

N° d'ordre : 32 07

# **THESE**

présentée à

**L'UNIVERSITE BORDEAUX 1**

**ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGENIEUR**

par Céline MANDALLENA

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR**

Spécialité : MECANIQUE

\*\*\*\*\*

## **Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation**

\*\*\*\*\*

Soutenue le 19 juillet 2006

Après avis de :

Bruno PEUPORTIER, Responsable scientifique, Ecole des Mines de Paris  
Youssef DIAB, Professeur, Université de Marne La Vallée

Devant la commission d'examen formée de :

Jean-Rodolphe PUIGGALI, Professeur, Université Bordeaux 1  
Philippe LAGIERE, Maître de Conférences, Université Bordeaux 1  
Catherine SEMIDOR, Professeur, Ecole d'Architecture de Bordeaux

Invités :

Emmanuelle BAUDOUIN, Conseil Régional d'Aquitaine  
Suzanne DEOUX, MEDIECO



## Remerciements

J'aime lire la partie des remerciements d'une thèse. Elle est la plus libre d'expression, et souvent révélatrice d'éléments contextuels et personnels sur l'ouvrage présenté. A mon tour de m'extraire de la rédaction académique pour dédier ces quelques lignes aux rencontres humaines privilégiées et aux évènements qui sont le contenant de ce travail.

Commençons par le commencement. Si vous m'aviez dit à la fin de mes études que je réaliserais une thèse dans le domaine du bâtiment, je vous aurais soutenu mordicus que non, hors sujet, je ne m'intéresse qu'à l'écologie, les bâtiments sont le domaine des architectes.

J'ai bien sûr compris que la réalité est plus complexe et ses éléments si liés les uns aux autres que travailler à l'amélioration environnementale de n'importe quelle composante de nos sociétés est une contribution. Et le domaine du bâtiment est un mastodonte.

Diplômes de biologie et biochimie en poche, volonté de travailler concrètement dans le domaine de l'environnement bien en tête, ce sont les rencontres et les affinités, comme souvent, qui m'ont conduite vers la démarche de qualité environnementale dans le bâtiment. J'étais cependant bien inquiète, il y a quatre ans, d'entamer un travail contenant pour moi une si grande part d'inconnu. Aujourd'hui je suis heureuse d'avoir réalisé ce voyage.

Ma reconnaissance va aux nombreuses personnes qui m'ont incitée, aiguillée, aidée, entourée sur ce parcours, qui de par le sujet va au-delà de celui d'un jeune chercheur.

### *En commençant par le laboratoire de recherche qui m'a accueillie,*

Merci à Jean-Rodolphe Puiggali, Professeur à l'Université Bordeaux 1, Directeur de thèse et Directeur du laboratoire d'accueil de ce travail, qui a courageusement et rigoureusement dirigé cette thèse, qui a accepté ses aspects atypiques tout en m'inculquant régulièrement les éléments plus orthodoxes d'un travail scientifique. Merci pour son suivi, ses conseils, sa compréhension et merci de son souci du devenir de ses étudiants.

A Philippe Lagièrre, Maître de Conférence à l'Université Bordeaux 1, tuteur et initiateur de ce sujet de travail, merci pour sa capacité à partager, à échanger, pour les nombreux apports et conseils prodigués. Il a su tout au long de ces années me motiver, m'aider quand besoin, avec ce savant mélange de vraie gentillesse et de franchise doublé d'une vision professionnelle positive et constructive que j'espère pouvoir apprécier encore longtemps.

### *En poursuivant par la cellule de transfert du laboratoire qui a assuré la partie opérationnelle des travaux,*

A Gregori Goossens, ingénieur au sein de la cellule Ecocampus, réalisateur, installateur, et assureur de la maintenance de tout le système de suivi des paramètres d'ambiance et de consommation, merci pour sa gentillesse, pour son savoir faire et son obstination à sauvegarder les données et à rendre le système accessible, ce n'était pas chose facile.

Ma reconnaissance va également à Christophe Devel, Directeur d'Ecocampus. Merci à lui pour ses nombreux conseils avisés, du domaine de la recherche au domaine technique, pour son professionnalisme, son esprit de synthèse et son soutien.

### *En continuant par le milieu de la recherche,*

Merci tout particulièrement à Bruno Peuportier, responsable scientifique à l'Ecole des Mines de Paris, pour avoir accepté de contribuer à ce travail et partagé ses informations. Sa vue objective sur l'ACV des bâtiments, les impacts environnementaux engendrés par les activités humaines, a été très bénéfique à ce travail et à son auteur. De même, merci aux membres du jury pour leur lecture attentive du manuscrit. A Youssef Diab, Professeur à l'Université Marne la Vallée, pour ses remarques constructives ; à Catherine Sémidor, Professeur à l'école d'Architecture de Bordeaux, pour son sens du détail et son enrichissement au thème du confort acoustique. A Suzanne Déoux, de MEDIECO, pour sa bonne humeur, son dynamisme contagieux et son incroyable enthousiasme pour le domaine de la santé et du bâtiment. A Emmamuelle Bauduin, Directrice du Service des

Constructions au Conseil Régional d'Aquitaine, qui a su apporter son intéressante vision de gestionnaire de patrimoine sur ce travail.

Merci à Aline Barlet, psycho-environnementaliste, pour nos échanges fructueux dans le domaine des sciences de l'homme et de la société. Cet aspect du travail a constitué et constituera encore longtemps pour moi le challenge le plus intéressant dans les réflexions d'amélioration de nos rapports à notre environnement.

#### *En élargissant aux acteurs économiques sollicités,*

Ce travail est également le résultat d'une collaboration enrichissante avec les acteurs du projet Feder que cette thèse a hébergé. Merci à Joël Maurice de BDM Architectes, Pierre Roca et Philippe Nanot d'Ingérop Sud-Ouest pour leurs points de vue de maître d'œuvre et de professionnels du bâtiment. A Valérie Dézausier et Virginie Larroque de l'Ecole des Mines d'Ales, pour leur participation à l'étude sur les COV de l'air des maternelles. Les interventions sur site furent joyeuses et instructives. Aux personnes de la Mairie de Pessac ; à Michel Lerredde, pour son intérêt et pour avoir autorisé le suivi de deux bâtiments de la commune ; à Christine Quinton, pour sa gentillesse et sa patience à m'aiguiller dans le dédale des données de la commune ; à Laure Curvale, pour ses conseils et son intérêt pour ce travail ; aux techniciens du CTM qui ont participé à l'instrumentation des deux bâtiments. Un grand merci à Dominique Gorse, de ERSOL Architectes, pour sa grande disponibilité, pour avoir mis à ma disposition toutes les informations de conception sur le bâtiment Bellegrave dont j'avais besoin. Merci pour son intérêt et son implication.

Merci à Eric Aufaure, responsable régional de l'ADEME, pour son aide au lancement du travail, son intérêt et ses nombreuses recommandations.

La multiplicité des domaines d'étude de ce travail a engendré la richesse des acteurs rencontrés, qui vont du laboratoire de recherche au bureau d'étude, de la maîtrise d'ouvrage à l'utilisateur. J'ai tout particulièrement apprécié cette diversité. Merci à tous.

#### *Pour finir,*

Une pensée particulière à Gilles Olive, personnage hors du commun, participant d'influence à l'apparition de la démarche HQE et fondateur des Clubs D2C. Merci de son concours à la construction de ce travail, de ses conseils, de toutes les intéressantes conversations que nous avons pu avoir sur le terrain politique du bâtiment en France.

A deux collègues de travail qui sont devenues deux amies. Merci à Sylviane Ranoux et Hélène Boisserie, du Service Technologie de l'Environnement du Conseil Régional d'Aquitaine, pour leur soutien sincère, leur gentillesse, leurs conseils tout au long de mon parcours, mais aussi pour leur compétence et leur avis professionnel.

Le cadre humain de ce travail a été déterminant pour sa réalisation (quel travail ne dépend pas de son cadre ?). Merci à tous ceux que j'ai croisé durant ces 4 années. A Jean-François Bonnet pour ses éclairages, à Elena Palomo pour le recul qu'elle m'a aidé à prendre. A toute l'équipe Ecocampus. A Nathalie Sicre pour sa gentillesse et sa douceur avec mes enfants. A tous les doctorants du laboratoire pour les sympathiques cafés salvateurs. Un merci particulier à Muriel Boré et Sylviane Boya, secrétaires du laboratoire, pour leur amabilité, leur disponibilité et leur aide pour les épreuves et obligations administratives de ce travail.

A Cécile Rabier, compagne joyeuse et amie de toute situation. Que nos balades sportives et nos soirées arrosées continuent ! A Xavier Goossens, homme rare, oserais-je dire homme durable ? Que nos échanges et nos sorties perdurent. A José Manuel Rozot, office room mate de choc, merci pour ses nombreuses interventions Excel et du piment apporté au bureau isolé du bas.

Longue vie à ces amitiés précieuses.

A Michel, pour sa patience, son soutien et ses encouragements confiants pendant ces 4 années bien occupées.

Enfin, à mes deux enfants, merci au regard neuf qu'ils posent chaque jour sur ce monde et sur nous, qui constitue pour moi le moteur principal de ma motivation à travailler sur la voie du ralentissement à notre consumérisme effréné de la planète.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
<b>Première Partie : Le bâtiment tertiaire en France, enjeux environnementaux et réponses.....</b>	<b>17</b>
1-1 <i>Chiffres et enjeux liés au secteur du bâtiment et à ses usages.....</i>	19
1-1-1 De la problématique environnement à la problématique parc bâti existant .....	19
1-1-2 Les bâtiments tertiaires : définition, phases de vie .....	20
1-1-2-1 Le bâtiment tertiaire en France.....	20
1-1-2-2 Les phases de vie d'un bâtiment.....	23
1-1-2-3 Acteurs de la phase d'exploitation.....	24
1-1-3 Enjeux environnementaux liés au secteur du bâtiment tertiaire .....	27
1-1-3-1 Consommations du parc tertiaire bâti.....	29
1-1-3-2 Enjeux environnementaux .....	32
1-1-4 Enjeux socio économiques liés aux bâtiments tertiaires .....	35
1-1-4-1 Les enjeux sociologiques.....	35
1-1-4-2 Les enjeux économiques.....	36
1-1-5 Synthèse des émissions à l'environnement par phase de vie .....	36
1-2 <i>Réponses françaises à ces enjeux : éléments de réflexion sur la démarche Haute Qualité Environnementale</i>	39
1-2-1 La démarche Haute Qualité Environnementale .....	39
1-2-1-1 Association HQE : 1992 à 2005 .....	39
1-2-1-2 Définition et référentiels.....	39
1-2-1-3 Application de la démarche : forces et faiblesses .....	40
1-2-1-4 Les acteurs de la démarche.....	42
1-2-1-5 Etat des lieux .....	43
1-2-1-6 Evolution actuelle et certification.....	46
1-2-2 Les principales réglementations liées à l'énergie et l'environnement .....	47
1-2-3 Les démarches volontaires.....	48
1-2-4 Regard sur les initiatives internationales .....	48
1-3 <i>Les méthodes de suivi et d'évaluation actuelles .....</i>	49
1-3-1 Méthodes d'évaluation existantes.....	49
1-3-1-1 Le « benchmarking » .....	49
1-3-1-2 Les audits.....	50
1-3-1-3 Post Occupancy Evaluation .....	50
1-3-1-4 Méthode d'Analyse de Cycle de Vie .....	50
1-3-1-5 Empreinte écologique.....	50
1-3-2 Gestion environnementale des bâtiments : état des outils et expériences .....	51
1-3-2-1 Outils d'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment .....	51
1-3-2-2 Exemples d'évaluation de bâtiments tertiaires en exploitation.....	54
1-3-3 Synthèse et analyse des outils existants.....	57
1-4 <i>Objectifs de ce travail.....</i>	58
<b>Deuxième partie : Construction d'une méthode d'évaluation des performances environnementales d'un bâtiment en exploitation.....</b>	<b>63</b>
2-1 <i>Le système « bâtiment / usagers » .....</i>	65
2-1-1 Définition des frontières du système .....	65
2-1-2 Spécificités d'un bâtiment d'enseignement scolaire.....	67
2-2 <i>Organisation de la méthode d'évaluation .....</i>	69
2-2-1 Définition des thèmes et des indicateurs .....	69
2-2-2 Définition et construction des référentiels.....	71
2-2-3 Les indicateurs d'évaluation de la méthode.....	73
2-2-3-1 Evaluation environnementale : indicateurs de la bibliographie internationale .....	73
2-2-3-2 Transposition des indicateurs de la démarche HQE pour la phase d'exploitation.....	74
2-2-3-3 Liste des indicateurs retenus.....	75
2-2-4 Méthode d'évaluation OPALE : Optimisation des Performances par des Actions de Limitations des Emissions .....	78

2-3 Détermination des indicateurs et de leurs référentiels .....	80
2-3-1 Indicateurs et référentiels du thème « coûts d'exploitation » .....	80
2-3-1-1 Coût de l'énergie (énergie combustible et électricité) .....	81
2-3-1-2 Coût de l'eau .....	82
2-3-1-3 Coût total énergie et eau .....	83
2-3-1-4 Coût entretien et maintenance .....	84
2-3-1-5 Coût d'exploitation .....	85
2-3-2 Indicateurs et référentiels du thème consommations « eau et énergies » .....	86
2-3-2-1 Consommation d'énergie thermique .....	86
2-3-2-2 Consommation d'électricité spécifique .....	87
2-3-2-3 Energie primaire totale consommée sur le site .....	88
2-3-2-4 Consommation d'eau .....	91
2-3-3 Indicateurs et référentiels du thème « environnement » .....	92
2-3-3-1- Emission de gaz à effet de serre .....	92
2-3-3-2 Déchets radioactifs .....	94
2-3-3-3 Déchets d'activités .....	96
2-3-3-4 Pollution des eaux .....	98
2-3-3-5 Pollution de l'air : acidification et ozone photochimique .....	99
2-3-4 Indicateurs et référentiels du thème « confort santé » .....	102
2-3-4-1 Confort thermique .....	102
2-3-4-2 Qualité de l'air .....	104
2-3-4-3 Confort visuel .....	107
2-3-4-4 Confort acoustique .....	109
2-3-4-5 Qualité du site .....	111
2-3-5 Indicateurs et référentiels du thème « usages » du bâtiment et des systèmes techniques .....	111
2-3-5-1 Connaissance du bâtiment .....	111
2-3-5-2 Utilisation des éclairages .....	112
2-3-5-3 Utilisation des équipements .....	113
2-3-5-4 Utilisation de l'eau .....	114
2-3-5-5 Conscience environnementale .....	114
2-3-6 Indicateurs et référentiels du thème « gestion » .....	115
2-3-6-1 Température intérieure et régulation du chauffage .....	115
2-3-6-2 Mise en place de systèmes d'éclairage non énergivores .....	116
2-3-5-3 Niveaux de ventilation .....	117
2-3-5-4 Information aux acteurs .....	117
2-3-7 Synthèse de 6 thèmes : signature environnementale du bâtiment .....	118
2-4 Synthèse des thèmes d'évaluation .....	120
2-4-1 Schéma fonctionnel de la méthode .....	120
2-4-2 Adaptation au terrain opérationnel : la nécessité du test .....	121
2-5 Extension : introduction d'indicateurs environnementaux à l'échelle d'un patrimoine .....	122
2-5-1 Indicateurs environnementaux de suivi proposés .....	122
2-5-2-1 Indicateur de pollution atmosphérique .....	123
2-5-2-2 Indicateur de pollution des eaux .....	124
2-5-2-3 Indicateur de production de déchets radioactifs .....	124
2-5-2-4 Indicateur d'émission de gaz à effet de serre .....	124
2-5-2-5 Indicateur « achats durables » .....	125
2-5-2 Présentation d'un outil de suivi et d'évaluation de patrimoines .....	127
2-5-3 Implications organisationnelles : données et responsabilités .....	127
<b>Troisième partie : Application à deux bâtiments tertiaires .....</b>	<b>131</b>
3-1- Présentation du terrain opérationnel .....	133
3-1-1 Ecoles maternelles suivies : Bellegrave et Jules Ferry .....	133
3-1-1-1 Critères de choix des sites .....	133
3-1-1-2 Présentation des bâtiments .....	133
3-1-2 Moyens techniques mis en oeuvre .....	137
3-1-2-1 Présentation de la campagne de mesures .....	137
3-1-2-2 Développements spécifiques et moyens d'exploitation des données .....	139
3-1-3 Présentation de l'enquête .....	140
3-2- Résultats de l'enquête auprès des usagers .....	141
3-2-1 Remarques préliminaires .....	141
3-2-2 Validation de la qualité environnementale par la satisfaction des usagers .....	142
3-2-3 Identification des usages responsables des performances du bâtiment .....	146

3-2-4	Enquête chez les enfants.....	148
3-2-5	Conclusion de l'enquête : avantages et limites.....	150
3-3-	<i>Evaluation environnementale de 2 maternelles : résultats selon la méthode OPALE</i> .....	152
3-3-1	Thème « Coûts d'exploitation» .....	152
3-3-2	Thème consommations « Eau et énergie » .....	153
3-3-3	Thème « Environnement » .....	154
3-3-4	Thème « Confort santé » .....	156
3-3-5	Thème « Usages du bâtiment et des systèmes techniques » .....	157
3-3-6	Thème « Gestion ».....	159
3-3-7	Synthèse : signature environnementale .....	160
3-3-8	Apports du capteur TEHOR dans l'évaluation d'un bâtiment en exploitation .....	162
3-3-8-1	Validations à l'échelle d'un bâtiment tertiaire du capteur TEHOR.....	162
3-3-8-3	Conclusion sur la mise en œuvre du TEHOR à l'échelle d'un site tertiaire de taille moyenne .....	170
3-4	<i>Décomposition des usages par l'analyse des données ECOSYS</i> .....	171
3-4-1	Bilan et analyse des consommations pour le chauffage.....	171
3-4-2	Usages de l'électricité.....	173
3-4-3	Usages de l'eau.....	174
3-4-4	Gestion de la ventilation.....	175
3-4-5	Point particulier : mesures hyperfréquences.....	176
3-5	<i>Les points d'amélioration soulevés par le test</i> .....	177
3-5-1	Apports de l'enquête : corrélation avec mesures et points clé.....	177
3-5-2	Réduction de la campagne de mesures : discussion sur deux niveaux possibles de la méthode.....	179
3-5-2-1	Evaluation OPALE réduite.....	179
3-5-2-2	Evaluation OPALE complète .....	181
3-5-3	Informations des tableaux de bord résultants de l'évaluation.....	182
<b>Quatrième partie : Management environnemental de l'exploitation des bâtiments.....</b>		<b>185</b>
<b>4-1- Indicateurs environnementaux et acteurs de la phase d'exploitation : une histoire de langage .....</b>		<b>187</b>
4-1-1	<i>Perception de la notion d'indicateur environnemental par les acteurs</i> .....	187
4-1-1-1	Qu'est-ce qu'un indicateur .....	187
4-1-1-2	Qu'est-ce que l'environnement .....	187
4-1-1-3	L'indicateur environnemental d'évaluation des performances du système « bâtiment-usagers ».....	188
4-1-2	<i>Présentation des acteurs à l'interface de l'évaluation : langages et objectifs</i> .....	189
4-1-2-1	Paysage des acteurs à l'interface des indicateurs environnementaux .....	189
4-1-2-2	Acteurs scientifiques .....	189
4-1-2-3	Maîtres d'ouvrage et décisionnaires.....	190
4-1-2-4	Acteurs grand public .....	191
4-1-2-5	Maîtres d'oeuvre .....	192
4-1-3	<i>Principes pour une bonne communication entre les différents acteurs</i> .....	193
4-1-3-1	Les obstacles à un langage commun pour les indicateurs environnementaux.....	193
4-1-3-2	Quel langage des indicateurs environnementaux et pour quels acteurs ? .....	195
<b>4-2- Quelques opérations de communication réalisées .....</b>		<b>196</b>
4-2-1	<i>La communication sur l'environnement et ses objectifs en France</i> .....	196
4-2-2	<i>Synthèse de quelques opérations réalisées</i> .....	196
4-2-3	<i>Retours d'expérience et perception des indicateurs environnementaux en France</i> .....	199
<b>4-3- Communication des indicateurs : proposition d'un management environnemental d'exploitation .....</b>		<b>200</b>
4-3-1	<i>Management environnemental à destination des usagers</i> .....	200
4-3-1-1	Critères de management d'usage.....	200
4-3-1-2	Exemple de tableau de bord à destination des usagers.....	201
4-3-2	<i>Management environnemental à destination des gestionnaires</i> .....	204
4-3-2-1	Critères de management de gestion.....	204
4-3-2-3	Structure de management de gestion proposée .....	205

<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>207</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>211</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>217</b>
<b>Annexe 1 : Analyse en composantes principales des données de température intérieure .....</b>	<b>223</b>
<b>Annexe 2 : Liste des produits bénéficiant d'un écolabel (ADEME, 2003) .....</b>	<b>224</b>
<b>Annexe 3 : Données mesurées sur les deux bâtiments .....</b>	<b>225</b>
<b>Annexe 4 : Liste des appareils utilisés pour la campagne préliminaire .....</b>	<b>226</b>
<b>Annexe 5 : Plans des sites et mise en place des capteurs, maternelle Bellegrave .....</b>	<b>227</b>
<b>Annexe 6 : Système d'acquisition des données d'ambiance intérieure .....</b>	<b>229</b>
<b>Annexe 7 : Description du capteur TEHOR.....</b>	<b>232</b>
<b>Annexe 8 : Développements effectués pour le système ECOSYS .....</b>	<b>234</b>
<b>Annexe 9 : Questionnaire d'enquête à destination des adultes.....</b>	<b>236</b>
<b>Annexe 10 : Questionnaire réduit à destination des adultes .....</b>	<b>241</b>
<b>Annexe 11 : Questionnaire à destination des enfants .....</b>	<b>243</b>
<b>Annexe 12 : Détail des taux d'acquisition des informations des capteur TEHOR.....</b>	<b>245</b>
<b>Annexe 13 : Analyse du coût de mise en œuvre du capteur TEHOR.....</b>	<b>246</b>
<b>Annexe 14 : Signature énergétique des deux maternelles .....</b>	<b>247</b>
<b>Annexe 15 : Analyse des consommations d'électricité.....</b>	<b>249</b>
<b>Annexe 16 : Outil OPALE : présentation sur l'école Bellegrave.....</b>	<b>250</b>
<b>Annexe 17 : Etude particulière : les composés organiques volatils dans les deux maternelles .....</b>	<b>256</b>
<b>Annexe 18: Définition des zones de confort hygrothermique .....</b>	<b>259</b>
<b>Annexe 19 : Tableaux de bord.....</b>	<b>260</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Durées moyennes des différentes phases de vie d'un bâtiment tertiaire .....	23
Figure 2 : Etapes de la phase de conception .....	23
Figure 3 : Acteurs de la phase d'exploitation .....	25
Figure 4 : Chaîne des différents types d'indicateurs dans une évaluation environnementale .....	27
Figure 5 : Flux entre environnement et activités anthropiques .....	29
Figure 6 : Consommations d'énergie par usage, parc des bâtiments tertiaires, Union Européenne, 2000 .....	30
Figure 7 : Enjeux environnementaux du parc bâti .....	32
Figure 8 : Simulation de consommation d'énergie primaire .....	37
Figure 9 : consommation d'énergie finale en fonction des postes .....	37
Figure 10 : Importance relative par phase de vie des indicateurs environnementaux, outil EQUER .....	38
Figure 11 : Les 14 cibles de définition de la qualité environnementale .....	41
Figure 12 : Répartition en fonction du type de bâtiments HQE® répertoriés, année 2005 .....	44
Figure 13 : Couplage évaluation et retour d'information vers les acteurs de la phase d'exploitation .....	60
Figure 14 : Niveau d'étude de l'objet .....	65
Figure 15 : Système bâtiment-usagers .....	66
Figure 16 : Structuration entre thèmes et indicateurs .....	70
Figure 17 : Méthode de construction des référentiels .....	71
Figure 18 : Classification des impacts environnementaux de la méthode d'évaluation .....	73
Figure 19 : Cibles de la démarche HQE prise en compte dans l'évaluation .....	74
Figure 20 : Relations ente impacts environnementaux et performances en phase d'exploitation .....	75
Figure 21 : Présentation synthétique de la méthode d'évaluation .....	77
Figure 22 : Phasage de l'étude .....	78
Figure 23 : Thèmes d'évaluation et des indicateurs développés .....	80
Figure 24 : Coût de l'énergie par surface, années 2002 à 2005 .....	81
Figure 25 : Coût de l'eau par personne, années 2002 à 2005 .....	82
Figure 26 : Coût total eau gaz électricité, années 2002 à 2005 .....	83
Figure 27: Coût entretien maintenance par surface, années 2002 à 2004 .....	84
Figure 28: Coût d'exploitation par surface, années 2002 à 2004 .....	86
Figure 29 : Consommation d'énergie par surface, années 2002 à 2004 .....	87
Figure 30 : Consommation d'électricité spécifique par surface, années 2002 à 2004 .....	88
Figure 31 : Consommation d'énergie primaire par surface, années 2002 à 2004 .....	89
Figure 32 : Consommation d'eau par surface, années 2002 à 2005 .....	91
Figure 33 : Emission de gaz à effet de serre par surface, années 2002 à 2005 .....	93
Figure 34 : Emission de gaz à effet de serre par site, années 2002 à 2005 .....	93
Figure 35 : Production de déchets radioactifs par surface, années 2002 à 2005 .....	95
Figure 36 : Production de déchets radioactifs par site, années 2002 à 2005 .....	95
Figure 37 : Production de déchets d'activités par surface, années 2002 à 2005 .....	97
Figure 38 : Indice de pollution des eaux par surface, années 2003 .....	98
Figure 39 : Emissions de dioxyde de soufre SO <sub>2</sub> et formation d'ozone photochimique O <sub>3</sub> par surface, années 2003 à 2005 .....	101
Figure 40 : Emissions de dioxyde de soufre SO <sub>2</sub> et formation d'ozone photochimique O <sub>3</sub> par site, années 2003 à 2005 .....	101
Figure 41 : Illustration du calcul de l'indicateur de confort hygrothermique .....	103
Figure 42 : Evolution de la concentration de CO <sub>2</sub> , classe .....	106
Figure 43 : Contours d'intelligibilité égale pour une pièce de 300 m <sup>3</sup> .....	109
Figure 44 : Evolution de la moyenne de la température intérieure, Bellegrave, novembre 2005 .....	115
Figure 45 : Signature environnementale d'un bâtiment performant bien géré .....	118
Figure 46 : Signature environnementale d'un bâtiment performant mal géré .....	118
Figure 47 : Signature environnementale d'un bâtiment peu performant bien géré .....	119
Figure 48 : Signature environnementale d'un bâtiment peu performant mal géré .....	119
Figure 49 : Schéma fonctionnel de la méthode OPALE .....	121
Figure 50 : Suivi instrumenté d'un bâtiment .....	137
Figure 51 : Présentation du système d'acquisition des données d'ambiance intérieure .....	138
Figure 52 : Résultats de l'enquête sur la qualité des espaces extérieurs .....	142
Figure 53 : Résultats de l'enquête sur la qualité de l'environnement intérieur .....	143
Figure 54 : Résultats de l'auto perception des usages .....	146
Figure 55 : Résultats des critères de connaissance des systèmes du bâtiment .....	147
Figure 56 : Résultats sur les critères d'amélioration des usages .....	148
Figure 57 : Résultats de l'enquête chez les enfants .....	149
Figure 58 : Comparaison des mesures de température d'un capteur TEHOR et d'une boule noire .....	163
Figure 59: Illustration de la mesure TEHOR et TELAIRE de la température, mai 2005 .....	164

Figure 60 : Mesures TEHOR et TELAIRE de l'humidité relative, mai 2005.....	164
Figure 61 : Tracé d'une semaine type, température et humidité relative, mai 2005 .....	166
Figure 62: Pourcentages de points situés dans la zone de confort pour plusieurs mois .....	166
Figure 63 : Semaine type de mesure de l'éclairage naturel et artificiel.....	167
Figure 64 : Nombre d'heures d'éclairage inutile par zone de circulation et par mois .....	168
Figure 65 : Taux d'occupation des différentes zones des écoles Bellegrave et Jules Ferry.....	169
Figure 65 : Evolution des températures intérieures et extérieures, du 5 au 11/12/05 .....	171
Figure 67 : Diagramme des puissances instantanées et des consommations cumulées, .....	173
Figure 68 : Evolution du taux de CO <sub>2</sub> , journées types, école Bellegrave .....	175
Figure 69 : Evolution du taux de CO <sub>2</sub> , journées types, école Jules Ferry.....	176
Figure 70 : Les 3 objectifs des indicateurs environnementaux d'évaluation du bâtiment en exploitation.....	188
Figure 71 : Les 4 acteurs de communication des indicateurs environnementaux du bâti .....	189
Figure 72 : Langages et objectifs des 4 acteurs d'utilisation des indicateurs environnementaux du bâti .....	194

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Fonctions types du bâtiment .....	21
Tableau 2 : Répartition des bâtiments tertiaires par branches, année 2001 .....	22
Tableau 3 : Actions des usagers dans le bâtiment.....	26
Tableau 4 : Enjeux environnementaux, sociétaux et économiques liés aux bâtiments.....	28
Tableau 5 : Parcs et consommations du secteur tertiaire, année 2002 .....	30
Tableau 6 : Consommation d'énergie finale du parc des bâtiments d'enseignement en ktep, année 1999.....	31
Tableau 7 : Impacts environnementaux .....	33
Tableau 8 : Pouvoir de réchauffement et part respective des 5 gaz à effet de serre du bâtiment en 2003 .....	34
Tableau 9 : Emissions du secteur résidentiel et tertiaire, 2003 .....	34
Tableau 10 : Nombre d'opérations HQE® recensées par Région en 2005.....	44
Tableau 11 : Synthèse des outils d'évaluation des impacts environnementaux dus aux bâtiments.....	53
Tableau 12 : Performances environnementales de quelques bâtiments en exploitation en France.....	54
Tableau 13 : Liste des opérations certifiées au 28/02/2006 .....	55
Tableau 14 : Bilan de l'audit de 24 lycées publics d'Aquitaine, année 2002 .....	56
Tableau 15 : Degré d'implication de l'utilisateur dans la consommation d'un service du bâtiment .....	60
Tableau 16 : Fonctions que le bâtiment doit remplir pour répondre aux besoins des 3/6 ans.....	68
Tableau 17 : Liste des thèmes et indicateurs retenus .....	76
Tableau 18 : Emissions de dioxyde de soufre SO <sub>2</sub> et formation d'ozone photochimique O <sub>3</sub> exprimés en kg/kWh utile .....	100
Tableau 19 : Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air .....	105
Tableau 20 : Valeurs d'éclairage recommandées pour les établissements d'enseignement par l'AFE .....	108
Tableau 21 : Valeurs de niveaux d'éclairage recommandées pour différentes tâches.....	108
Tableau 22 : Temps de réverbération et niveaux équivalents pour les bâtiments d'enseignement.....	109
Tableau 23 : Facteurs d'émission de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME <sup>1</sup> .....	125
Tableau 24 : Emission de CO <sub>2</sub> équivalent, en application de 2 méthodes, année 2004.....	125
Tableau 25 : Exemples de postes d'achats et choix de qualités environnementales affichées.....	126
Tableau 26 : Conditions de mise en œuvre de l'intégration d'indicateurs environnementaux dans un outil de suivi de patrimoines.....	128
Tableau 27 : Objectifs de qualité environnementale de l'école Bellegrave .....	135
Tableau 28 : Synthèse des caractéristiques des deux écoles.....	136
Tableau 29 : Synthèse du suivi des postes de consommation d'électricité.....	139
Tableau 30 : Critères d'évaluation abordés dans l'enquête –juin 2005- .....	141
Tableau 31 : Analyse des résultats sur la qualité des espaces extérieurs .....	144
Tableau 32 : Analyse des résultats sur la qualité des espaces intérieurs.....	145
Tableau 33 : Taux d'acquisition des données par capteur TEHOR, sur une année de mesures.....	165
Tableau 34 : Durées d'éclairage inutile (h) en fonction des zones de chaque école, année 2005.....	168
Tableau 35 : Caractérisation de l'enveloppe des maternelles .....	172
Tableau 36 : Puissances installées par postes, école Bellegrave.....	173
Tableau 37 : Proportions des postes de consommation d'eau, année 2004 .....	175
Tableau 38 : Mesures hyperfréquences .....	176
Tableau 39 : Comparaison des résultats d'enquête et de mesures .....	178
Tableau 40 : Mesures et indicateurs de la méthode OPALÉ réduite .....	180
Tableau 41 : Caractéristiques des tableaux de bord à destination des gestionnaires et des usagers .....	182
Tableau 42 : Ecoprofil comparatif et indicateurs d'impacts environnementaux .....	190
Tableau 43 : Répartition des niveaux de campagnes de sensibilisation en 2004 .....	197
Tableau 44 : Exemples de campagnes nationales de sensibilisation à l'environnement.....	198
Tableau 45 : Organisation de la gestion environnementale d'un bâtiment en exploitation pour les usagers.....	203
Tableau 46 : Management environnemental d'un bâtiment en exploitation pour les gestionnaires .....	206



## INTRODUCTION

En France, le développement durable et de ses concepts se sont traduits dans le domaine du bâtiment par l'émergence des principes de qualité environnementale, véritable enjeu de société pérenne.

Ces principes, cristallisés autour de la démarche Haute Qualité Environnementale, visent à limiter les impacts du bâtiment, tant sur l'environnement extérieur que sur les usagers, et ce dans toutes ses phases de vie : conception-réalisation, gestion, rénovation et destruction.

La démarche HQE<sup>®</sup> est développée dans ses concepts et référentiels, ainsi que promue auprès des acteurs de la construction, publics et privés, par l'association HQE<sup>®</sup>, depuis 1996. A ce jour, on estime à environ 420 le nombre de réalisations HQE<sup>®</sup> en France [Chautard, 2004].

Un constat s'impose après 10 ans d'application de cette démarche novatrice. Dans le domaine des constructions, les acteurs professionnels proposent en France des démarches de conception avancées, relativement élaborées (réglementation astreignante, nombreux textes, référentiels de la démarche HQE<sup>®</sup>), alors que :

- **Sur le terrain opérationnel peu de constructions sont réellement évaluées** en terme de performance énergétique, de gestion de l'eau et des déchets, de qualité d'usage, de sensibilisation et satisfaction des usagers. En un mot, la démarche HQE<sup>®</sup>, ou plus généralement la qualité environnementale (QE) dans les constructions manque de **retour d'expérience** et d'évaluation de ses réelles performances sur le terrain.
- Le véritable enjeu, environnemental, mais aussi économique et social, est le parc existant et son exploitation.

Parallèlement, nous pouvons poser que la démarche HQE<sup>®</sup>, ou l'introduction d'une meilleure qualité environnementale des bâtiments, représente un potentiel considérable d'amélioration des impacts environnementaux de ce secteur d'activités anthropiques. C'est donc une démarche nécessaire. Or où se situent le véritable enjeu et les vraies actions à mener ? Le terrain opérationnel de la HQE<sup>®</sup>, bien qu'en constant développement, représente actuellement moins de 1 % des constructions en France, qui représentent elles-mêmes environ 1 % du parc bâti total. La volonté du Ministère du Logement est d'atteindre 10 % des constructions neuves en 2010. Il reste que 99 % des bâtiments ne sont pas et ne seront pas touchés par l'application de la démarche HQE<sup>®</sup> avant un terme relativement long et incertain. Et c'est sur ce parc existant et son exploitation que se situe l'enjeu environnemental majeur. Il est intéressant à ce niveau, en s'inspirant de l'opérationnalité de la démarche HQE<sup>®</sup> sur des bâtiments en exploitation ou en rénovation, de construire et proposer un management d'usage, qui permettrait de s'orienter vers une amélioration globale de la gestion des bâtiments, via des variations au niveau des comportements, des usages, et permettrait un amoindrissement plus immédiat et significatif des impacts environnementaux du bâti.

A partir de ces constats, nous posons la problématique suivante de recherche sur les bâtiments en exploitation, plus particulièrement les **bâtiments tertiaires type enseignement** et bureaux, que nous déclinons en 3 points principaux :

- Quelle **méthode** employer pour **évaluer** au mieux un bâtiment en phase de gestion, au niveau environnemental, social (usages) et économique ? Quels enseignements tirer des opérations existantes et des expériences pour orienter au mieux des actions de management, d'équipements, etc., à l'échelle du bâtiment ?
- Quel **management d'usage** mettre en place pour obtenir la meilleure qualité d'exploitation d'un bâtiment, « HQE<sup>®</sup> » ou non, et avoir de bonnes performances environnementales en prenant en compte les besoins, us et coutumes des usagers, dans le but d'identifier les améliorations potentielles via la gestion au quotidien du bâtiment (usages, équipements minimum éventuels à mettre en place, etc.), et ce en bonne adéquation avec les occupants et les gestionnaires ?
- A partir de là, comment intervenir pour **améliorer les performances à l'échelle d'un patrimoine ou d'un territoire** ? Comment passer d'une gestion de bâtiment, « HQE<sup>®</sup> » ou non, à celle d'un patrimoine ? Quels critères supplémentaires introduire pour améliorer les performances

environnementales d'un ensemble bâti ? Sur ce point, nous proposons simplement quelques pistes de réflexion.

La méthode de travail adoptée pour traiter ces questions est la suivante.

Dans la première partie du document, nous proposons une analyse succincte du parc bâti en France et des enjeux environnementaux en résultant. Nous décrivons le système bâtiment-acteurs de la phase d'exploitation. Les outils d'évaluation de la qualité environnementale actuels que nous avons identifiés sont synthétisés. Nous dégageons de ces analyses le contexte et les objectifs principaux de notre travail.

Dans une deuxième partie, nous présentons la méthode d'évaluation d'un bâtiment en exploitation. Nous définissons les limites du système étudié, ainsi que la structure de la méthode et le mode de calcul de chaque indicateur, puis la construction de chaque référentiel d'évaluation. Une série d'indicateurs de type 'benchmarking' a été élaborée, dont nous justifions la construction et les échelles d'évaluation. Ces indicateurs ont été construits à partir d'une relecture et d'une simplification des indicateurs du référentiel de définition explicite de la qualité environnementale de l'association HQE, transposé à la phase d'exploitation, et dans une optique de mise en œuvre terrain de ces indicateurs. Nous proposons enfin, et à partir des indicateurs développés dans la méthode, une réponse à la problématique de l'intégration de critères environnementaux dans les tableaux de bord de suivi et d'évaluation à l'échelle du patrimoine. Les données nécessaires au calcul des indicateurs devant être aisément accessibles au gestionnaire, quelle organisation cela suppose-t-il en amont ?

Dans un troisième temps, nous testons cette méthode d'évaluation en grandeur nature sur deux bâtiments d'enseignement préscolaire. Cette partie met en œuvre une métrologie originale avec de nouveaux capteurs d'ambiance (capteurs TEHOR), de consommation d'énergie et d'eau. Cette métrologie a permis de suivre les bâtiments sur une année, et de valider ce nouveau système. Nous dégageons les points sensibles de la méthode révélés par le test terrain, et nous proposons une version simplifiée de l'évaluation. De plus, la réalisation d'une série d'enquêtes, construites pour récolter la satisfaction et les observations des occupants, a permis de mettre les résultats en parallèle avec les mesures, de valider le protocole d'enquête, et le questionnaire lui-même, outil incontournable de récolte de l'expérience et de la satisfaction des usagers.

Pour terminer, nous ouvrons la réflexion sur le retour d'information à opérer vers les acteurs de la phase de vie du bâtiment, afin de les amener à de meilleures pratiques, que ce soit au niveau du gestionnaire ou de l'occupant. Nous posons la question du type de tableau de bord et de son contenu en fonction des acteurs. Les tableaux de bord proposés sont des tableaux de bord environnement, en extension des tableaux de bord énergie actuellement de plus en plus utilisés.

Notre travail s'appuie sur plusieurs thématiques de recherche :

- la Maîtrise de la Demande d'Énergie (MDE), à travers les études de C.Devel, Université Bordeaux 1,
- l'évaluation des impacts environnementaux sur le cycle de vie des bâtiments, notamment par les travaux de Bruno Peuportier, de l'école des Mines de Paris,
- la méthode d'évaluation au stade conception développée par Nadège Chatagnon, Université de Savoie, qui a constitué une base de réflexion pour une transposition de ses travaux à la phase d'exploitation,
- enfin, au niveau technique, les travaux reposent sur la mise en œuvre et la validation de nouveaux capteurs d'ambiance (TEHOR) et d'un système d'acquisition des données (ECOSYS), qui ont permis la réalisation du suivi en continu de différents bâtiments. A ce niveau deux sites ont été équipés : le cœur du travail, y compris sa partie expérimentale, fut réalisé sur la commune de Pessac (bâtiments d'enseignement).

Par un processus aval amont d'analyse des données, la méthode réalise le diagnostic de ce que nous pourrions appeler la **signature environnementale** du bâtiment évalué. Elle propose aussi des préconisations amenant une optimisation de cette efficacité. Ces préconisations s'adressent aux gestionnaires, aux usagers, et à la maîtrise d'ouvrage.

Cette méthode est évolutive et peut être appliquée à minima à des bâtiments du secteur tertiaire de type enseignement et bureaux.

En corollaire, nous discutons l'intérêt de développer la mesure de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air intérieur sur un macrocapteur de suivi des paramètres d'ambiance intérieure à des fins d'optimisation de ventilation et d'économies d'énergie.

Nous avons également abordé l'échelle du patrimoine, en proposant le développement d'indicateurs environnementaux dans un outil de suivi des paramètres d'écogestion eau énergie déchets, actuellement développé et opérationnel au sein de la cellule de transfert ECOCAMPUS.



---

## **Première Partie : Le bâtiment tertiaire en France, enjeux environnementaux et réponses**

---

Les impacts sur l'environnement sont de plus en plus manifestes, et chaque personne est aujourd'hui informée, à un niveau plus ou moins conséquent, que ses actes ont des répercussions environnementales. Une rationalisation des activités anthropiques doit nécessairement s'opérer si on désire laisser à nos enfants un monde riche et sain. Cette réalité n'échappe à aucun secteur, et le bâtiment existant est l'un des premiers pollueurs parmi nos activités, mais aussi un secteur où les économies potentielles sont conséquentes.

Le but de notre première partie est de présenter le contexte et les objectifs de ce travail.

Nous rappelons pour commencer les événements historiques clé de l'émergence des problématiques environnementales globales, pour focaliser ensuite sur le secteur des bâtiments.

Avant d'analyser le système « bâtiment-usagers » opérant en phase d'exploitation, nous résumons les enjeux et grands impacts environnementaux dus au secteur tertiaire des parcs bâtis en France.

Nous synthétiserons ensuite les outils d'évaluation que nous avons identifiés, avant de présenter les objectifs de notre travail.

<i>1-1 Chiffres et enjeux liés au secteur du bâtiment et à ses usages .....</i>	<i>19</i>
<i>1-2 Réponses françaises à ces enjeux : éléments de réflexion sur la démarche Haute Qualité Environnementale .....</i>	<i>39</i>
<i>1-3 Les méthodes d'évaluation et de suivi actuelles .....</i>	<i>49</i>
<i>1-4 Objectifs de ce travail.....</i>	<i>58</i>



## **1-1 Chiffres et enjeux liés au secteur du bâtiment et à ses usages**

### **1-1-1 De la problématique environnement à la problématique parc bâti existant**

Depuis les années 1970, la prise de conscience des multiples problèmes liés à la pollution et à l'altération de notre environnement n'a cessé de croître. Elle a en France, entre autre, abouti à la naissance de la démarche Haute Qualité Environnementale, qui se préoccupe plus spécifiquement des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment.

Nous rappelons ici quelques évènements clé de l'émergence de la démarche HQE® dans le contexte global des problématiques environnement.

#### **Prise de conscience de la limitation des ressources naturelles**

En 1972, la Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, à Stockholm, regroupe 113 nations, et affirme la nécessité d'un développement harmonieux avec l'environnement. Elle place les questions écologiques au rang des préoccupations internationales.

En 1973, le premier choc pétrolier entraîne une prise de conscience décuplée des limites des ressources énergétiques de la planète.

Dans les années 80, plusieurs évènements marquants entraînent une prise de conscience de l'instabilité économique et sociale liée aux problèmes et aux accidents environnementaux : la catastrophe de Tchernobyl (notion de non limitation de l'environnement, ...), les manifestations de l'effet de serre, la déforestation massive, ...

L'apparition de l'expression « Développement Durable », est proposée pour la première fois en 1980 dans la Stratégie mondiale de la conservation publiée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le Fond mondial pour la nature (WWF) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE).

En 1987, le Rapport Brundtland, aboutit à une vulgarisation et une diffusion de plus en plus large du concept de développement durable, qu'il définit comme « un développement qui répond aux besoins des générations actuelles sans pour autant compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Ensuite la Déclaration de Rio, en 1992, sur l'environnement et le développement, dit « Sommet Planète Terre », est adoptée par 178 nations (retenons que la Déclaration de Rio n'est pas juridiquement contraignante, mais les gouvernements sont moralement 'obligés' d'adhérer à ses principes).

Enfin en 1997, la symbolique Conférence de Kyoto, traité international, propose un calendrier de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui est signé par uniquement 38 pays, avec un objectif de réduction globale de 5,2 % des émissions de dioxyde de carbone d'ici 2012 par rapport aux émissions de 1990 (ce qui correspond à 8 % pour la France).

#### **La mise en oeuvre du développement durable dans le bâtiment**

La question de la qualité environnementale des bâtiments s'impose en France dans les années 90. En 1993, le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, crée l'Atelier d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments (ATEQUE) dont l'objectif était de développer des outils d'amélioration de la qualité environnementale des bâtiments et de créer un pôle d'expertise de ladite qualité.

En 1993, le gouvernement lance les réalisations expérimentales Haute Qualité Environnementale, dites « Rex HQE® ».

L'Association HQE, est créée en 1996, et se voit donner pour rôle de définir la qualité environnementale des bâtiments, dont elle construit les référentiels.

Au niveau international, naissance en 1998 au Canada de l'Initiative internationale Green Building Challenge. Ce mouvement regroupe 14 pays, dont la France, qui mettent en commun leurs connaissances pour faire progresser le concept de green building, ou bâtiment écologique.

Plus spécifiquement relatif à l'essor de la démarche Haute Qualité Environnementale, signalons quelques repères :

- en 2000 se tient la première Conférence du « Sustainable Building », ou « Défi bâtiment écologique » 2000, à Maastricht, Pays-Bas,
- en 2001, les Premières Assises de la Démarche HQE® « Etat des lieux », marquent le début de la diffusion large des référentiels de la qualité environnementale du secteur de la construction, et début de l'impact réel du concept sur les professionnels autres qu'institutionnels.

On observe une croissance constante de l'intérêt à la problématique « bâtiments et environnement », au niveau international, européen, français, régional et local. Cependant la qualification des impacts environnementaux dus aux bâtiments et à leurs différentes phases de vie reste globale, notamment à travers les chiffres liés aux consommations d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre. En avril 2006, lors des Cinquièmes Assises de la démarche HQE® « Savoir faire de la HQE®, de l'idée à l'usage » , la problématique des bâtiments existants, ainsi que les réelles performances des bâtiments ayant fait un effort de qualité environnementale et existants depuis plusieurs années, est toujours partiellement abordée.

Dans les paragraphes suivants, nous allons aborder plus précisément le secteur tertiaire du bâtiment. Nous définirons les fonctions du bâtiment tels que nous les concevons pour cette étude. Nous regarderons quels sont les principaux postes de consommation dans le secteur tertiaire, puis nous aborderons les enjeux environnementaux liés au parc bâti en France.

## **1-1-2 Les bâtiments tertiaires : définition, phases de vie**

### **1-1-2-1 Le bâtiment tertiaire en France**

#### *Définition du bâtiment et de ses fonctions*

Définir le bâtiment peut se faire de façon très succincte, mais peut s'avérer très complexe si on désire prendre en compte les aspects sociaux, culturels, de santé, d'économie, etc., que le bâtiment abrite et dont il est le lieu privilégié.

Nous posons la définition de 'bâtiment', issue d'une synthèse de définitions couramment rencontrées dans les dictionnaires. Ce travail étant consacré au bâtiment en phase d'exploitation, ou phase de vie, nous définirons ensuite plus personnellement le système « bâtiment-usagers-gestionnaires », ou plus simplement « bâtiment-usagers ».

Un **bâtiment** est une construction dotée d'un toit, de murs et d'équipements, destiné à abriter (des intempéries) et protéger (du froid, du chaud, de l'humidité, de la sécheresse, de l'ensoleillement) des personnes ou des biens, et destiné à héberger un certain nombre d'activités (habitation, bureautique, entrepôt, enseignement, ...). De part ses fonctionnalités, le bâtiment est donc le lieu de transit de différents flux : énergie (régulation du climat intérieur, alimentation des équipements d'activité, ...), eau (besoins sanitaires et entretien), matières premières ou élaborées, activités humaines, ...

Le bâtiment a plusieurs grands rôles importants dans les sociétés humaines :

- rôle social,
- rôle culturel,
- rôle économique,
- rôle urbain et géographique.

Enfin, au cœur de nos préoccupations dans cette étude, le bâtiment a des conséquences en terme d'impacts environnementaux.

En phase d'exploitation, le bâtiment n'est plus l'« objet bâtiment » délivré à la fin de la réalisation de l'ouvrage, mais un système en activité, assimilable à un système vivant, le **système « bâtiment-usagers »**.

Il possède des entrants (énergie, eau, matériaux divers), des sortants (déchets, eaux grises, produits de combustion), une organisation structurale complexe (réseaux électriques, réseaux aérauliques, réseaux hydrauliques, locaux et zones de circulation, ouvrants et fermants sur l'extérieur), et une activité propre exercée par les usagers : ici une des activités du secteur tertiaire.

Ce système s'inscrit dans un tissu géographique, urbain, périurbain ou rural, avec lequel il a des relations spécifiques et indispensables : circulations, acheminement des entrants et sortants.

Il fonctionne aussi à travers un système administratif et technique de gestion, d'entretien, de maintenance, d'approvisionnements de différentes natures.

Tous ces paramètres peuvent avoir un impact sur les performances environnementales d'exploitation du bâtiment. Par exemple si la commune ne fait ni tri ni traitement spécifique en fonction du type de déchets, le bâtiment ne pourra pas être performant sur l'aspect recyclage des déchets.

Les différentes catégories de personnes intervenant sur la phase de vie du bâtiment sont définies comme suit dans notre étude :

- Les occupants ou usagers : personnes occupant quotidiennement ou régulièrement le bâtiment et y exerçant une activité particulière.
- Les gestionnaires : personnes responsables de la gestion technique et administrative du bâtiment. Les gestionnaires peuvent être publics ou privés. Les gestionnaires publics ont en général la charge du coût d'exploitation du bâtiment, et sont responsables des grands choix de gestion : dates de démarrage et d'arrêt des systèmes de chauffage, planning d'entretien, achats des produits d'entretien et des équipements, choix des entreprises et consignes aux prestataires ...
- Le personnel d'entretien : géré par les gestionnaires, est en charge de l'action d'entretenir (lavage, hygiène des surfaces, gestion des déchets sur site, ...).
- Les intervenants en maintenance : interviennent dans le réglage, le suivi des équipements (chauffage, ventilation, ...), les réparations des équipements défectueux.
- Les visiteurs occasionnels : passant ponctuellement dans le bâtiment.

### ***Du bâtiment 'classique' au bâtiment 'HQE®'***

Les fonctions du bâtiment sont multiples et dédiées aux activités des hommes ou de leur biens. Le **tableau 1** présente les fonctions types minimales que l'on peut attendre en fonction de l'effort et du développement de la qualité environnementale sur les constructions. A chaque démarche supérieure d'abord de la qualité sur le bâtiment, de nouvelles exigences apparaissent.

**Tableau 1 : Fonctions types du bâtiment**

Fonctions de base	Bâtiment traditionnel	Construction bioclimatique	Bâtiment HQE®
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abriter</li> <li>• Protéger</li> <li>• Chauffer</li> <li>• Eclairer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fournir les services appropriés à l'activité hébergée</li> <li>• Respects de la réglementation, par exemple pour les conditions sécurité, de confort hygrothermiques, visuel, acoustique S'harmoniser avec le cadre extérieur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economies d'énergie (optimisation des apports solaires, utilisation d'énergie renouvelable)</li> <li>• Optimisation de l'éclairage naturel</li> <li>• Optimisation de la ventilation naturelle</li> <li>• Optimisation du confort hygrothermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimisation du confort visuel, olfactif et acoustique</li> <li>• Minimisation des impacts de l'environnement intérieur sur l'homme (santé)</li> <li>• Minimisation des impacts sur l'environnement extérieur</li> <li>• Optimisation du coût d'exploitation</li> </ul>

## ***Les bâtiments tertiaires***

### Diversité des parcs

On appelle bâtiment tertiaire l'ensemble des bâtiments de :

- commerce, bureaux, enseignement,
- santé, action sociale,
- habitats communautaires
- sport, loisirs,
- cafés hôtels restaurants (ensemble appelé « CAHORE »)

Ce secteur constitue un ensemble complexe à forte variabilité dans les usages, l'utilisation de l'énergie, les modes de gestion, et de consommation.

Les bâtiments tertiaires regroupent en France une surface de 815 millions de m<sup>2</sup>, dont 140 pour les bâtiments de l'Etat [Aulagnier *et al.*, 2005]. Le **tableau 2** donne la répartition des surfaces par branche.

Tableau 2 : Répartition des bâtiments tertiaires par branches, année 2001

Branche	Milliers de m <sup>2</sup>	%
Commerces	188 303	23,1 %
Bureaux	172 786	21,2 %
Enseignement	166 391	20,4 %
Café hôtel restaurants	54 256	6,7 %
Habitat communautaire	53 521	6,6 %
Santé	93 920	11,5 %
Sport	61 073	7,5 %
Commerces	188 303	23,1 %
Transports	24 341	3 %
Total	814 591	100 %

Source : CEREN, 2001

Ce sont les branches « commerce, bureaux et enseignement » qui sont les plus importantes, avec près de 65 % des surfaces.

Le taux de renouvellement du parc des bâtiments tertiaires est, en France, de 1,8 % sur les années 2000 et 2001, plus élevé que celui du résidentiel à 1 %, mais il reste à un niveau relativement faible, en particulier au regard de sa vétusté : la proportion de bâtiments tertiaires construits avant 1975 est de 3/4 (2/3 pour le résidentiel en comparaison) [Rosenstein, 2005].

En terme de patrimoine et de surface, en 2010, 50 % des bâtiments en France seront encore des bâtiments construits avant le choc pétrolier de 1973 et représenteront les deux tiers des consommations.

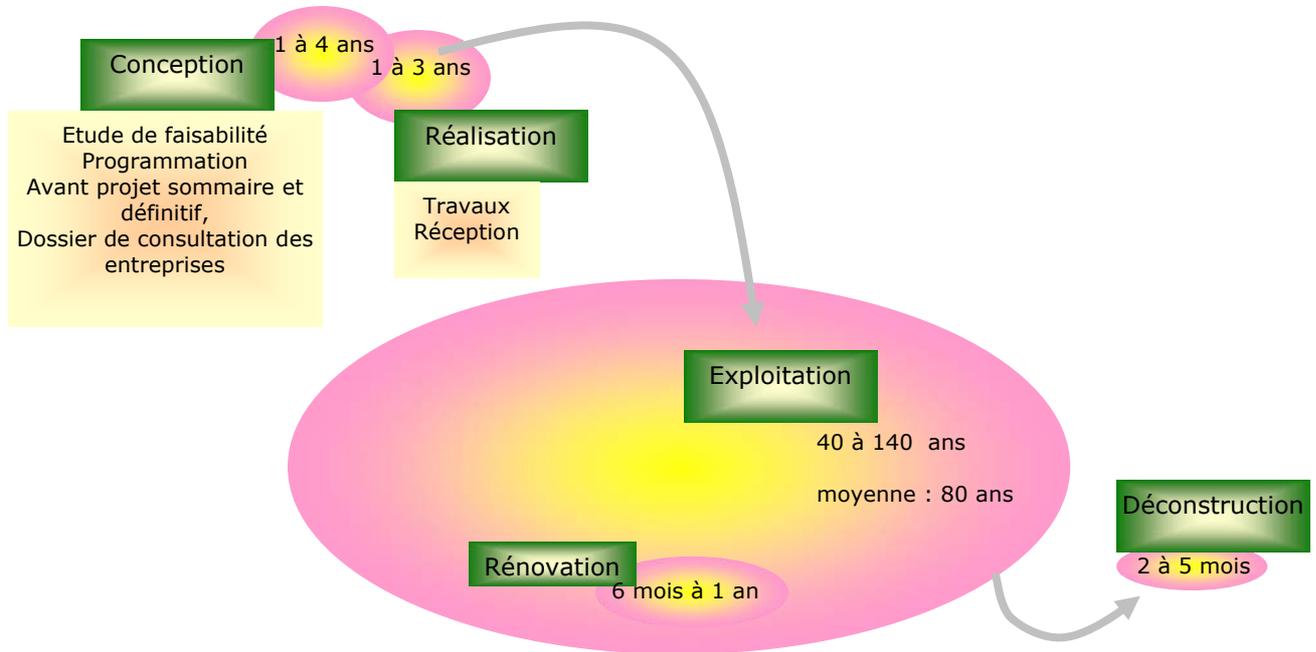
L'emprise artificielle au sol (habitats, infrastructures, bâtiments, équipements sportifs, etc.) représentent 8 % du territoire national, et croît rapidement [Naizot, 2005].

Nous allons dans la partie suivante nous attacher à identifier l'importance de chaque phase de vie vis-à-vis des enjeux environnementaux, sociaux et économiques du secteur du bâtiment tertiaire.

## 1-1-2-2 Les phases de vie d'un bâtiment

Les différentes phases de vie d'un bâtiment sont représentées dans la **figure 1**, avec une estimation, pour les bâtiments tertiaires classiques (hors bâtiments historiques), de leur durée.

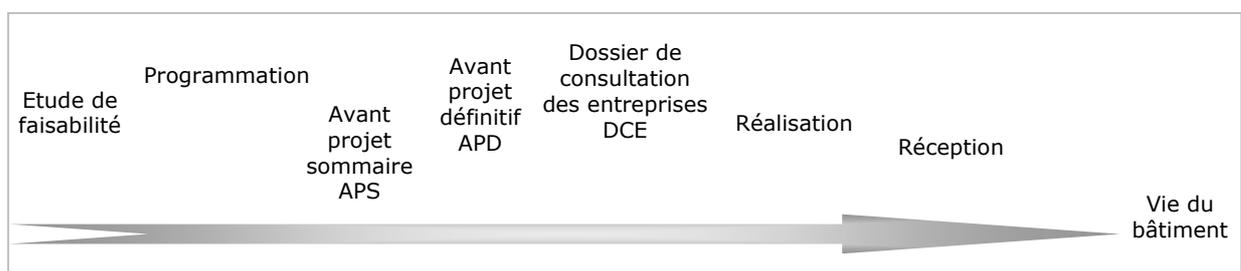
Figure 1 : Durées moyennes des différentes phases de vie d'un bâtiment tertiaire



Elles ont chacune une durée différente, ainsi que des impacts environnementaux différents, en nature et en intensité.

La phase de conception est la phase où les acteurs ont le degré de liberté le plus fort pour mettre en place les conditions de réalisation de la qualité environnementale. Elle est elle-même constituée de plusieurs étapes, comme indiqué dans la **figure 2**.

Figure 2 : Etapes de la phase de conception



Après discussion avec plusieurs maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, nous avons établi que les étapes de la conception/construction où se jouent les décisions cruciales pour la qualité résultante future du bâtiment sont : la **programmation**, l'avant projet sommaire et la réalisation.

Par la suite, c'est la **qualité d'utilisation** du bâtiment en phase d'exploitation, comprenant l'entretien et la maintenance, qui aura une influence déterminante sur la qualité environnementale résultante du bâtiment.

La phase de conception est ‘figée’ en phase d’exploitation, et ne sera donc pas abordée dans cette étude, même si nous rappellerons son rôle déterminant.

La phase de réalisation est une phase délicate, la phase de « passage de l’idée à la réalité », qui doit permettre de construire le bâtiment, et tout défaut de réalisation entraînera une QE moins performante. Citons typiquement l’introduction de ponts thermiques dans l’enveloppe.

La phase d’exploitation, phase de vie du bâtiment, est celle où va se manifester, peu ou prou, la QE du bâtiment, par l’ambiance intérieure qu’il offre aux occupants, par ses consommations, par l’entretien et la maintenance qu’il demandera. Cette QE du bâtiment dépendra non seulement de l’état du bâtiment, dans le sens de ce qu’il est et de ce qu’il peut faire, mais aussi des modes conjugués de gestion et d’usages dont il sera l’objet. La phase d’exploitation est ponctuée en moyenne d’une rénovation majeure tous les 30 à 40 ans.

Enfin arrive la phase de déconstruction, la plus courte dans le temps, dont l’efficacité environnementale dépendra du savoir faire des entreprises de déconstruction, de leur cahier des charges, du management de l’opération (clarté des documents techniques de conception du bâtiment), ainsi que des choix de conception et de rénovation (facilité de démontage des équipements et matériaux, recyclage, ...).

Notons un élément remarquable, que nous nous gardons de critiquer : les phases de conception, et dans une moindre mesure de déconstruction, sont soumises à des réglementations nombreuses et évolutives. En revanche la phase d’exploitation est beaucoup moins cadrée, si ce n’est par les obligations sanitaires ou de sécurité sur les systèmes de chauffage à combustible.

### **1-1-2-3 Acteurs de la phase d’exploitation**

Afin d’opérer une action sur un bâtiment en exploitation, il convient d’identifier les acteurs et les actions de chacun sur le bâtiment.

La phase d’exploitation du bâtiment se déroule via 4 catégories d’acteurs.

Une première catégorie d’acteurs est celle des responsables administratifs, qui sont parfois les propriétaires (en particulier dans les bâtiments publics), en charge principalement de la rédaction des exigences envers les acteurs techniques, de la gestion financière, ainsi que des plannings d’occupation.

Les acteurs techniques, parfois identiques aux responsables administratifs des bâtiments, incluent les sociétés de services, les fournisseurs, et les entreprises de maintenance. Ce sont les acteurs qui vont avoir un rôle de management des équipements du bâtiment, des contrôles de conformité et de performance technique.

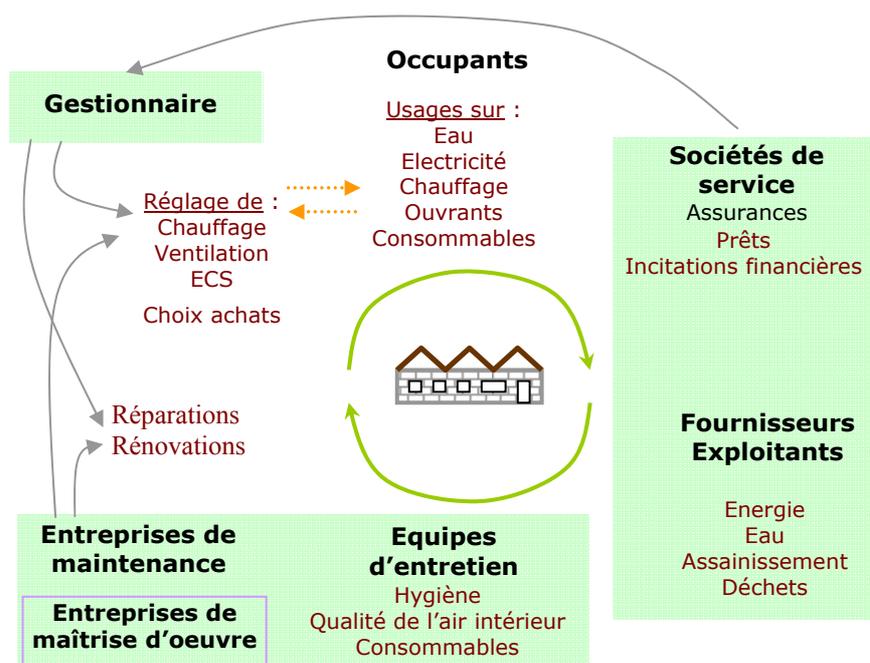
Les deux premières catégories d’acteurs ont un rôle de gestionnaire, technique ou administratif, ou de service autre, mais qui n’utilisent pas le bâtiment.

Le troisième type d’acteurs est celui des usagers, que nous appellerons aussi utilisateurs ou occupants. Ils font quotidiennement appel aux services et fonctions du bâtiment, ils l’habitent.

Enfin les services que nous qualifierons de satellitaires à l’activité du bâtiment dans sa phase de vie, qui rassemble les services financiers (assurances, banques, services de l’Etat pour les aides et incitations financières).

La **figure 3** présente différents types d’acteurs et d’actions sur le bâtiment et ses fluides, qui vont par la suite être liés aux impacts environnementaux.

Figure 3 : Acteurs de la phase d'exploitation



Les usagers sont les occupants quotidiens des lieux. Ils font appel aux différents services du bâtiment avec des pratiques plus ou moins responsables, étant de façon générale peu informés sur les enjeux de leurs habitudes, sur les consommations d'énergie, l'utilisation de l'eau, l'utilisation économe ou pas des consommables, le tri effectif des déchets.

Le gestionnaire peut être le propriétaire du bâtiment, comme c'est le cas pour les écoles publiques et par commune d'implantation. Il opère des actions administratives et techniques sur le bâtiment. Ainsi, il est en charge de l'entretien, de la maintenance, du choix et des cahiers des charges des différents prestataires, des marchés publics d'achats de certains consommables pour les écoles. Il fixe avec ses partenaires les choix de gestion en fonction des bâtiments (températures de consigne, lancement des ballons d'eau chaude sanitaire, ...), et des plannings d'occupation des locaux. Il lui appartient de décider des rénovations majeures à effectuer sur son patrimoine.

La quantification de la contribution des différents acteurs est délicate, et nous n'avons trouvé aucune étude sur le sujet. Si nous arrivions à montrer que, sur un bâtiment de type enseignement ou bureaux, le gestionnaire et ses différents partenaires ont réglé correctement les horloges et les consignes des appareils les plus consommateurs d'énergie, (chauffage, climatisation, ventilation, débit et minuterie de l'eau, minuterie des éclairages, ...), que les plans d'achats en quantités et qualités sont pertinents par rapport à l'activité hébergée par le bâtiment, que les produits d'entretien sont hautement recyclables et peu toxiques, par exemple, alors nous disposerions d'une base suffisante pour dire que les mauvaises performances d'un bâtiment proviennent des occupants.

Mais si, comme c'est très majoritairement le cas, les réglages et la gestion ne sont que partiellement optimisés, on ne peut tirer de conclusion sur la part de responsabilité des différents acteurs quant aux impacts environnementaux.

**Cependant, si le rôle des différents acteurs est difficilement appréciable, les différents postes de consommations sont connus, avec une précision variable d'une étude à l'autre (voir 1-3-1).**

Notre objectif étant de qualifier l'action des usagers et des gestionnaires sur les performances environnementales du bâtiment, nous proposons dans le **tableau 3** une liste des usages (actions des usagers sur le bâtiment et les flux du bâtiment).

Tableau 3 : Actions des usagers dans le bâtiment

<b>Action de l'utilisateur</b>	<b>Besoin pour l'utilisateur</b>	<b>Flux impliqués</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Appuyer sur l'interrupteur de l'éclairage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eclairer un local ou une partie de local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Electricité</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tourner le robinet d'eau ou appuyer sur la fontaine automatique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Boire / se laver les mains / remplir un récipient ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eau</li> <li>Electricité ou combustible pour l'eau chaude sanitaire</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tourner le bouton du thermostat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Régler la température ambiante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Electricité, gaz, fioul, bois ...selon système de chauffage</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ouvrir la fenêtre / la porte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aérer naturellement</li> <li>Faire baisser la température</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Déclencher et régler le système de ventilation du bâtiment (gestionnaire, maintenance)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ventilation mécanique des locaux pour renouveler l'air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Electricité</li> <li>Flux secondaires en cas de sur ventilation : gaz, fioul, bois</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Manger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Déchets organiques</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipements liés aux activités (bureautique, audiovisuel, cuisson, ...) SELON ACTIVITE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Création d'un environnement propice à l'activité : information, communication, stockage, transit, ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Electricité</li> <li>Déchets d'activité (papiers, ...)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation des sanitaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hygiène</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eau</li> <li>Déchets organiques</li> <li>Produits d'entretien</li> </ul>

### 1-1-3 Enjeux environnementaux liés au secteur du bâtiment tertiaire

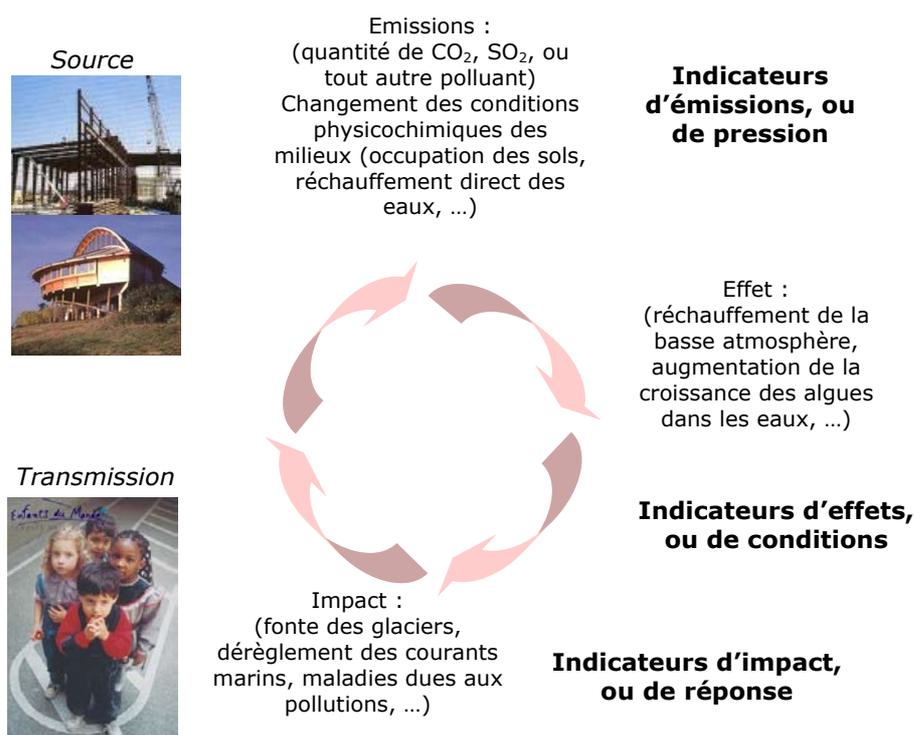
Nous rappelons tout d'abord la chaîne « source, émissions, effet, impacts », qui sont des niveaux différents dans la chaîne d'évènements aboutissant aux dérèglements environnementaux constatés, et dont la compréhension est indispensable à une bonne lecture des indicateurs que nous développons dans notre méthode d'évaluation.

Comme le représente la **figure 4**, une source émet une quantité donnée de polluants, ou consomme une quantité de ressources, ou change les conditions d'un milieu. Au niveau de la source la quantification des émissions, ou son estimation, donne lieu à des indicateurs d'émission, ou encore indicateurs de pression environnementale.

L'effet des émissions à l'environnement est plus complexe à évaluer, car il dépend du milieu récepteur et de multiples interactions avec ce milieu. Enfin l'impact sera le(s) résultat(s) de l'effet aux différentes échelles d'observation possibles.

En prenant l'émission de dioxines en sortie de cheminée d'incinérateur pour exemple, l'indicateur d'émission pourra être la quantité de dioxines par m<sup>3</sup> d'air sortant ; l'indicateur d'effet sera la quantité de dioxines accumulée dans les organismes et le danger toxique ainsi construit ; l'impact sera par exemple le développement de tumeurs ou la dégénérescence du système nerveux selon le type d'organisme récepteur, ou à plus large échelle la diminution du taux de croissance de l'espèce considérée.

Figure 4 : Chaîne des différents types d'indicateurs dans une évaluation environnementale



Le **tableau 4** retrace les principaux enjeux au niveau des 3 domaines du développement durable, l'environnement, le social, et l'économique.

Tableau 4 : Enjeux environnementaux, sociétaux et économiques liés aux bâtiments

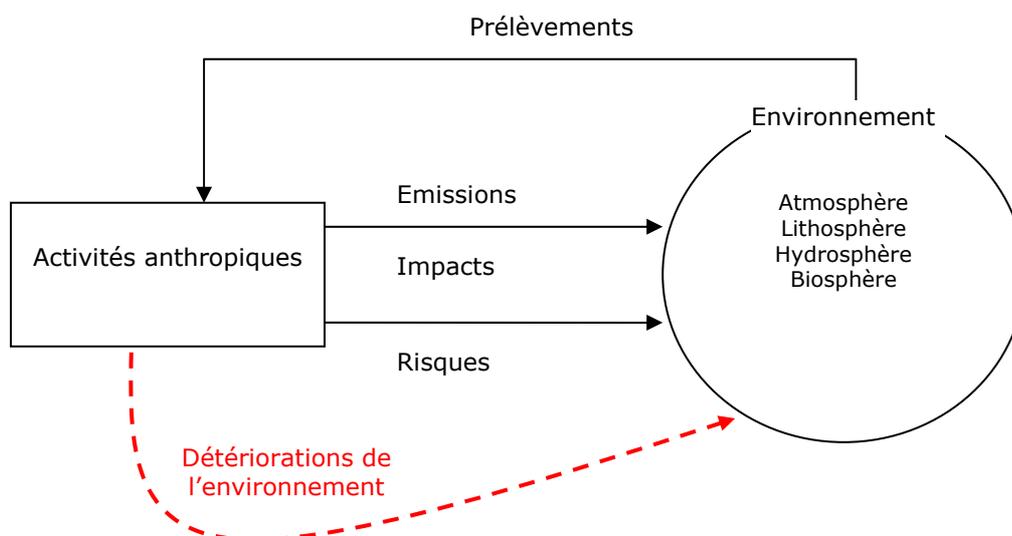
Enjeux environnementaux	Impacts / effet	Source	Illustration d'usage responsable
Bouleversements climatiques, disponibilité de l'énergie, éco-réfugiés, inondations sécheresse, famines ...	Réchauffement climatique	Emission de gaz à effet de serre	Chauffage par combustion
Qualité globale des compartiments eau air et sols. Viabilité de l'environnement. Santé	Contamination potentielle des endroits de stockage, danger de dispersion en cas d'accident majeur. Effet mutagène sur les êtres vivants.	Déchets radioactifs	Chauffage électrique, utilisations de l'électricité
Epuisement des ressources de matières premières Diminution de la biodiversité, Changement de l'albédo et renforcement de l'effet de serre	Appauvrissement des ressources non renouvelables	Utilisation de matières premières non renouvelables ou renouvelées, exploitation forestière, ...	Fabrication de matériaux
Dégradation des forêts, des structures, des sols, morts de plans d'eau, ...	Pluies acides	Emission de SOx et NOx	Chauffage par combustion, matériaux bois, ...
Qualité des paysages, inondations, biodiversité, ...	Mitage du territoire	Développement et étalement des villes, de l'habitat individuel, réseaux de transports liés, ...	Utilisation et occupation des sols et des territoires
Appauvrissement des ressources en eau potable	Dégradation de la qualité des nappes phréatiques	Polluants chimiques, microbiologiques	Lavages, procédés industriels, décharges, rejets directs de déchets aqueux ou non
Enjeux sociaux	Effet	Source	Usage implicite
Bien être, santé	Confort hygrothermique	Conditions de température et d'humidité	Consommation d'énergies, limitation de la ventilation, isolation du bâtiment, ...
Santé	Sensibilisation, irritation des poumons : toxicité des polluants gazeux	Qualité de l'air : composition, durée d'exposition, sensibilité de l'utilisateur	Ventilation, émission de polluants gazeux : CO, VOC, PM, ...
Intégration, communication, liberté d'action, santé, confort	Confort acoustique	Vibrations sonores, martèlements, isolation acoustique du bâtiment (interne et externe)	Marchés, parlés, musique, ... et certains équipements (machines à laver, ...)
Bien être, santé	Confort visuel	Choix des matériaux, équipements, lumière naturelle, subjectivité, ...	Eclairage, aménagements et équipements, ...
Enjeux politiques ou économiques	Résultat	Cause / source	Décisions
Justification de la gestion des fonds publics	Coût d'investissement	Choix des matériaux et techniques, prix du marché, quantités	Exigences et moyens de la maîtrise d'ouvrage
Image politique	Affichage et engagement	Sensibilité et attente du grand public	Formation, sensibilisation
Efficacité, durabilité, adéquation du bâtiment	Gestion et suivi	Volonté de gestion, moyens de suivis	
Viabilité économique	Coûts induits	Gestion, consommations	Affichage des performances
Changement des façons de penser	Coût global	Gestion, choix de conception	

Nous détaillons ensuite ces enjeux, en les chiffrant quand cela est possible.

### 1-1-3-1 Consommations du parc tertiaire bâti

Les activités anthropiques exercent une pression sur l'environnement à plusieurs niveaux. Comme le résume la **figure 5**, elles effectuent des prélèvements sur le milieu, opèrent des transformations en nature et en quantité sur les différents compartiments de l'environnement, sans savoir quelle est l'adéquation entre ces actions et la capacité d'absorption ou de tolérance des systèmes, et ceci, comme nous pouvons le voir actuellement, jusqu'à leur dérèglement, réversible ou non [Glenn, 2001].

Figure 5 : Flux liant activités anthropiques et environnement



Ces différentes pressions sur l'environnement sont bien illustrées et connues via les consommations d'eau et d'énergie, que nous discutons avant de détailler les enjeux environnementaux de la phase d'exploitation.

#### Consommation d'énergie

Les consommations énergétiques sont le premier grand poste d'impacts environnementaux majeurs. Avant de donner les chiffres estimés actuellement sur ces émissions et impacts, nous développons ici la situation de consommation énergétique du parc tertiaire.

De par leur exploitation, notamment, les bâtiments étaient responsables en France, en 2002, de 46 % de la consommation nationale d'énergie (70,4 millions de tonnes équivalent pétrole pour le secteur tertiaire et résidentiel) ; 67 % de cette consommation sont attribuables au secteur résidentiel, et 33 % au tertiaire.

En terme de consommation énergétique, en 2001 la moyenne était de 224 kWh d'énergie finale selon [Aulagnier *et al.*, 2005]. Les chiffres de ratios de consommation énergétique avancés par le collectif « Isolons la Terre » [www.isolonslaterre.org] sont de 375 kWh/(m<sup>2</sup>.an) d'énergie primaire pour les bâtiments construits avant 1975, 200 kWh/(m<sup>2</sup>.an) pour les bâtiments récents et moins de 100 kWh/(m<sup>2</sup>.an) pour les bâtiments neufs actuels, ce qui semble une estimation optimiste (voir 3-2-2).

Le tableau 5 présente les ratios de consommation par surface pour les différentes branches du secteur tertiaire. Nous retiendrons les chiffres du parc des bâtiments d'enseignement pour la suite de ce travail.

Tableau 5 : Parcs et consommations du secteur tertiaire, année 2002

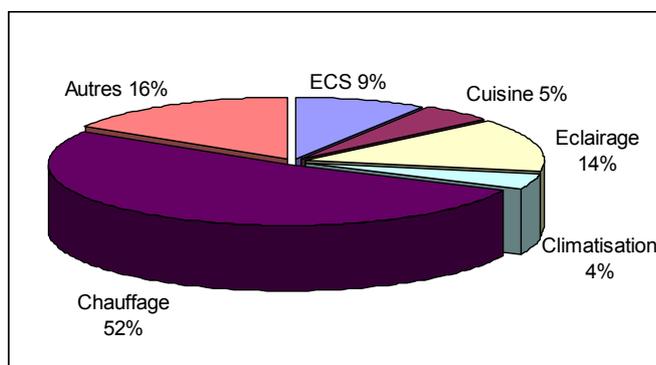
Branches	M m <sup>2</sup>	TWh énergie finale	Chauffage	ECS	Cuisson	Electricité spécifique	Climatisation	kWh/m <sup>2</sup> énergie finale
Commerces	188,2	49,7	22,2	2,9	1,1	20,5	2,9	264
Bureaux	172,8	51,2	28,5	1,4	0,8	16,3	4,2	296
<b>Enseignement</b>	166,4	26,6	19,9	2,4	1,6	2,3	0,3	<b>160</b>
Santé, action sociale	93,9	26,6	14,9	3,7	1,2	5,3	1	283
Sport, loisir	61,1	17	9,1	3,8	0,4	2,9	0,8	278
Cafés hôtels restaurants	54,3	22,6	9,8	2,6	5,9	3,3	0,9	416
Habitat communautaire	53,5	12,3	7	2,1	1,3	1,9	0,1	230
Transports	24,3	8,7	4	0,5	0,2	3,8	0,1	358
Total	814,6	214,1	115,4	19,4	12,7	56,3	10,3	263
Pourcentages		100	54	9	6	26	5	

Nous remarquons que la plus faible consommation au m<sup>2</sup> est celle des bâtiments d'enseignement, du fait probablement des obligations réglementaires, et du souci de gestion de ces bâtiments par les gestionnaires de parc, contrairement aux bâtiments comme les cafés/hôtels/restaurants où les utilisateurs sont beaucoup plus variés et les flux plus importants.

#### Utilisation de l'énergie en fonction des usages dans les bâtiments tertiaires

Les consommations d'énergie en fonction des usages sont données par la **figure 6** [source : Commission Européenne, 2000, ec.europa.eu/energy].

Figure 6 : Consommations d'énergie par usage, parc des bâtiments tertiaires, Union Européenne, 2000



Il apparaît que les postes de chauffage et d'utilisation de l'électricité spécifique (éclairages, prises, ...) sont les deux postes les plus importants.

Les chiffres que nous avons présentés jusqu'ici permettent de situer l'étendue des différents ratios de consommation énergétique, et de situer les bâtiments d'enseignement dans ces ratios.

Nous allons focaliser sur le parc des bâtiments d'enseignement, qui nous intéresse plus particulièrement dans ce travail. Le **tableau 6** rassemble les informations au niveau national des consommations d'énergie par poste, selon différentes sources.

**Tableau 6 : Consommation d'énergie finale du parc des bâtiments d'enseignement en ktep, année 1999**

Branche d'énergie	Type	Gaz	Fioul	Electricité	Charbon	Bois	Réseau de chaleur	Energies renouvelables	Total
Enseignement		945	641	396	136	13	127	Insignifiant	2 258
	%	31,2 %	22,4 %	38,8 %	4,9 %	0,4 %	2,2 %		100 %

Source : CEREN, 1999

En terme de consommation d'énergie finale, le gaz possède la meilleure efficacité énergétique et domine logiquement les autres types d'énergies pour les surfaces chauffées, avec (42,7 % des surfaces chauffées), puis le fioul (25,7 %) mais qui baisse continuellement, et enfin l'électricité, (21,8 %), en constante progression.

La part des énergies renouvelables dans le secteur tertiaire n'est pas encore développée à une échelle significative.

### **La consommation d'eau potable**

Elle s'élève pour les bâtiments du secteur résidentiel et tertiaire à 6640 millions de m<sup>3</sup>, soit 15 % des prélèvements d'eau et 22 % de la consommation nette d'eau des activités humaines réunies. Si les quantités d'eau ne sont pour l'instant pas problématiques, la qualité des eaux potables ou potabilisées prélevées est de plus en plus mauvaise, du fait d'une surexploitation des nappes par rapport à leur capacité de renouvellement naturelle, ainsi que du fait de la migration de plus en plus profonde de polluants comme les nitrates ou les pesticides.

La problématique de l'eau en France n'est, sauf contexte local exceptionnel, pas lié à la quantité mais à la qualité des eaux.

Les usages de l'eau dans le bâtiment sont :

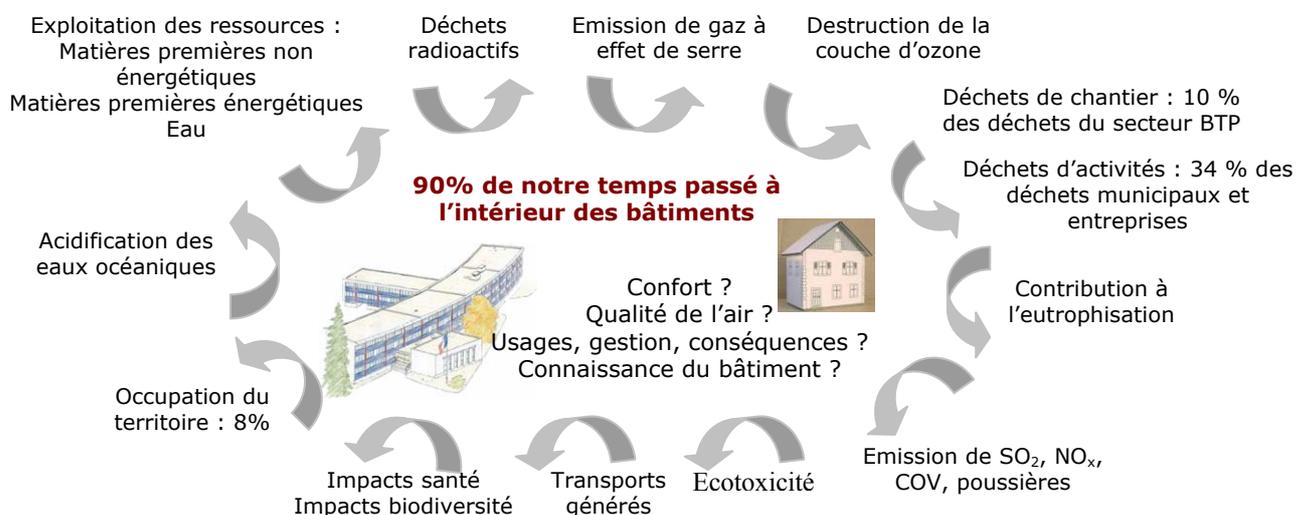
- L'eau potable pour l'alimentation et l'hygiène.
- L'eau pour les toilettes, qui peut être de l'eau de pluie traitée.
- L'eau des circuits de chauffage, qui peut être de l'eau de pluie traitée.
- L'eau pour l'arrosage, qui peut être de l'eau de pluie non traitée.
- L'eau pour le lavage des sols, des bacs, ... , qui peut être de l'eau de pluie traitée.

Un chiffre peut résumer le potentiel d'économie sur l'eau. La consommation domestique estimée par personne et par jour est de 137 litres [www.lyonnaise-des-eaux.fr]. Seule l'eau consommée est réellement indispensable à un prélèvement sur source, soit 2 litres par jour. Les comportements économes, le retraitement des eaux et la récupération des eaux pluviales représentent une économie d'environ 135 litres d'eau de nappe phréatique par jour et par personne.

### 1-1-3-2 Enjeux environnementaux

Les enjeux environnementaux liés au secteur du bâtiment sont multiples, comme le résume la **figure 7**.

Figure 7 : Enjeux environnementaux du parc bâti



Source des chiffres : ADEME, 2002

Le potentiel d'amélioration de ce secteur d'activités anthropiques est remarquable et peu investi.

Certains impacts environnementaux majeurs apparaissent difficilement accessibles : impacts sur la santé, transports générés et impacts générés, acidification et smog, contribution à l'eutrophisation ; on pourrait rajouter écotoxicité, et atteinte à la biodiversité par exemple.

Avant de détailler ces problématiques environnementales par rapport au secteur du bâtiment en France, nous avons synthétisé quelques chiffres clé ramenés à l'habitant, pour avoir une idée des flux en jeu.

- La moyenne d'émission de gaz à effet de serre en France est de 1,8 tonne eq C par habitant en 1998, soit 6,6 tonnes eq CO<sub>2</sub>.
- L'évaluation de l'empreinte écologique moyenne d'un français montre la disponibilité de 2 ha par personne, et une consommation de 3,1 Ha par personne (voir en 1-3-1-5).  
[[www.wwf.fr/empreinte\\_ecologique/EmpreinteFrance](http://www.wwf.fr/empreinte_ecologique/EmpreinteFrance)]
- La consommation d'eau potable est de 200 litres par jour, (consommations implicites -l'eau qu'il a fallu pour produire la nourriture consommée, ...- non comptabilisées)
- La moyenne de consommation d'énergie primaire est 4,2 tep/an/habitant en France  
[<http://www.wise-paris.org/>, 1999]

Les indicateurs environnementaux développés par les études internationales sont regroupés dans le **tableau 7**, tiré de [Peuportier, 2003].

Tableau 7 : Impacts environnementaux

Impacts environnementaux	Echelle
Effet de serre	Globale 
Destruction de la couche d'ozone	
Epuisement des ressources	
Atteintes à la biodiversité	
Déchets nucléaires	
Effets de la pollution de l'air	
Prélèvement et pollution des eaux	
Déchets	
Pollution des sols	
Déchets radioactifs	
Risques	Locale 
Dégradation des écosystèmes	
Dégradation des paysages	
Occupation des sols	
Perturbation du microclimat	
Bruit	
Odeurs	
Qualité de l'air	
Conditions d'hygiène	
Qualité des eaux	
Champs électromagnétiques	
Sources d'inconfort	
Risques	

Les chiffres qui suivent, qui concernent les émissions de polluants atmosphériques et l'utilisation des sols dues aux bâtiments, éclairent et concrétisent l'importance des émissions de ce secteur, et illustrent le poids des constructions et de l'existant ainsi que leur considérable potentiel d'amélioration, qui motive tout l'intérêt et la nécessité d'améliorer la qualité environnementale du bâti.

### ***Les polluants atmosphériques***

Ils sont tous en progression, sauf le dioxyde de soufre.

#### **Emission de gaz à effet de serre**

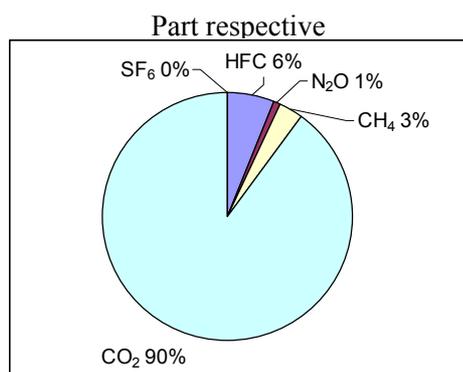
Sur un parc total bâti estimé à 30 millions de bâtiments, le secteur résidentiel et tertiaire représente en 2005, 45,8 % de la consommation d'énergie, 25 % de l'émission de CO<sub>2</sub> soit près de 20 % de la contribution au réchauffement global (soit 95 millions de tonnes eq CO<sub>2</sub>).

[source CITEPA / CORALIE format CCNUCC – Mise à jour décembre 2005].

Différents gaz sont responsables de l'augmentation de l'effet de serre. Le protocole de Kyoto définit 6 gaz concernés par la lutte contre l'effet de serre. On exprime le pouvoir de réchauffement global par rapport à celui du CO<sub>2</sub> sur 100 ans, et donc en équivalent CO<sub>2</sub> (ou en équivalent carbone). **Le tableau 8** résume leur contribution pour le secteur du bâtiment.

Tableau 8 : Pouvoir de réchauffement et part respective des 5 gaz à effet de serre du bâtiment en 2003

Gaz	Pouvoir de réchauffement global
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
SF <sub>6</sub>	23900
HFC	De 5435 à 1732 selon les molécules



Malgré son faible pouvoir de réchauffement global, le CO<sub>2</sub> est responsable de 70 % de l'effet de serre en France.

Le **tableau 9** regroupe les substances pour lesquelles le secteur du résidentiel/tertiaire impute pour plus de 5 % aux émissions totales, toutes activités confondues en France (métropole et outre mer). On remarque que globalement le secteur résidentiel est responsable de la majorité des émissions, et que les composés pour lesquels la part du secteur tertiaire est prépondérante sont les hexafluorocarbonates, dus aux systèmes de refroidissement des bâtiments.

Tableau 9 : Emissions du secteur résidentiel et tertiaire, 2003

Substance	Kilo tonnes		%
	Résidentiel	Tertiaire	
SO <sub>2</sub>	37,8	21,9	<b>12</b>
NO <sub>x</sub>	63,9	35,4	<b>8</b>
COVNM	334,7	15	<b>25</b>
CH <sub>4</sub>	157,5	2	<b>6</b>
CO	1765,1	14,2	<b>30</b>
CO <sub>2</sub>	89,6	29,3	<b>24</b>
HydroFluoroCarbones	748	5637	<b>58</b>
As	3	0	<b>23</b>
Cr	15,1	0	<b>30</b>
Cu	10,1	0	<b>6</b>
Pb	28,8	0,1	<b>16</b>
Se	2,2	0	<b>17</b>
Zn	92,9	0,1	<b>18</b>
Dioxines et furanes	32,4	0,1	<b>13</b>
HAP	30	0,1	<b>85</b>
PCB	15,9	0,1	<b>16</b>
Poussières	115	4,7	<b>8</b>

source : [CITEPA, 2005]

### Les sols

Les constructions représentent en France une occupation de 8 % de la surface du territoire (agriculture non comprise).

Les sols sont une ressource écologique importante et non renouvelable, de par leur rôle :

- de biotope,
- d'épuration,
- de recyclage de la matière organique,
- de transfert de pollution,
- de risques d'inondation,
- d'albédo, par exemple

Les sols pollués peuvent également représenter une menace par relargage des polluants vers l'intérieur d'un bâtiment et des usagers.

### **Autres impacts**

Le secteur du BTP est également très significatif de par ses impacts :

- sur la santé publique, puisque nous passons plus de 90 % de notre temps de vie dans les bâtiments,
- sur la faune et la flore de son lieu d'implantation et des sites environnants.

L'identification de ces enjeux est importante dans la réflexion que l'on doit avoir sur l'amélioration de la QE du bâti et l'identification des questions les plus importantes.

Où se situe l'action sur le bâti potentiellement la plus conséquente sur les impacts environnementaux majeurs ? Ces actions sont-elles les mêmes selon que l'on considère le niveau local, le niveau planétaire, si on prend par exemple l'émission de gaz à effet de serre ?

Certaines cibles et critères ne répondant pas judicieusement à ces enjeux pourront ainsi être éliminés ou peu abordés sur ce travail.

Nous avons posé les éléments d'importance du secteur du bâtiment, et de ses pressions sur l'environnement. Nous discutons à présent le rôle sociétal et économique du bâtiment, car les relations avec les enjeux environnementaux sont étroites.

## **1-1-4 Enjeux socio économiques liés aux bâtiments tertiaires**

### **1-1-4-1 Les enjeux sociologiques**

Les enjeux sociologiques regroupent les enjeux « relatifs aux rapports entre les groupes ou les classes de la société, ou qui vise la préservation ou l'amélioration de la vie commune d'une société ou d'un groupe » [Le Grand Dictionnaire].

Ces liens sociaux et leurs évolutions sous-tendent les actions, les enjeux, les logiques d'acteurs, les coopérations et partenariats, des transformations dans les pratiques sociales et professionnelles, et ont des conséquences significatives sur les comportements et les conséquences environnementales des activités humaines.

De façon indirecte, hébergeant une grande partie des activités humaines, les bâtiments tertiaires participent à l'organisation de la société. Sous ses différentes formes, il est un élément central à la fois physique et psychologique de la vie des hommes, et constitue un enjeu important dans l'évolution des faits sociaux. Nous pouvons citer plusieurs enjeux sociologiques, dont la plupart retrouveront leur importance dans la suite du travail d'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment.

- L'activité hébergée par le bâtiment a une influence sur le comportement des usagers, qui se conforment généralement à cette activité (on court dans une école, on est calme dans un hôpital, préoccupé au centre des impôts, attentif dans un établissement de l'ordre public, détendu et naturel dans son habitat personnel, etc.).
- La position géographique, qui influe sur les modes d'habitation de l'espace, et les déplacements autour du bâtiment, donc indirectement les modes d'habitation (concentration des résidences, éloignement des secteurs urbains, distance domicile travail, ...).
- Le bâtiment peut induire une certaine identification à son histoire et la culture qui lui est liée.
- La qualité de vie offerte par les bâtiments à leurs occupants définit pour ces derniers des standards de confort qui entrent dans la définition de ce qu'un bâtiment doit mettre à disposition, engendrant ainsi l'évolution des exigences des usagers, par exemple en ce qui concerne le confort thermique. Les standards de températures considérées comme confortables ont augmenté pour

passer de 19 °C dans les années 80 à 22 °C aujourd'hui. Or 1 °C en plus correspond à 10 % de consommation supplémentaire.

- L'organisation du bâtiment va influencer sur la communication entre les groupes d'utilisateurs, et favoriser ou non la cohésion sociale. Ceci est également vrai à l'échelle du quartier.

Les bâtiments sont donc des lieux incontournables et stratégiques, en fonction de leurs occupants, de leurs activités, pour véhiculer à la fois le bon exemple en terme de performances environnementales et de management d'utilisateurs. Ils représentent un potentiel dans la prise de conscience collective des conséquences directes et indirectes de nos activités quotidiennes.

### 1-1-4-2 Les enjeux économiques

Nous illustrons brièvement ici les enjeux économiques, qui mettent en lumière l'implication de ce secteur dans les arbitrages, les décisions, les implications dans le temps sur la gestion du cadre bâti par rapport au cadre en construction, et enfin les incidences sur l'amélioration de la qualité environnementale.

Avec près de 20 % du PIB (source INSEE), le secteur du bâtiment représente 6 % de la population active, soit 1,4 millions de personnes [SNDD, 2002]:

- 270 000 entreprises,
- 28 200 architectes inscrits au tableau de l'Ordre, [www.architectes.org]
- 10 000 maîtres d'œuvre.

En terme d'investissements et de coût de fonctionnement, le chiffre d'affaire du bâtiment s'élève à 77 milliards d'euros par an (chiffres de 2001), et si l'on inclut les coûts de fonctionnement, on passe à 304 milliards d'euros par an [Actes : Troisièmes Assises de la démarche HQE, novembre 2003, Bordeaux].

Le secteur du bâtiment dispose de marges de progrès très importantes : la non qualité représente environ 10 % de ce chiffre (donnée 2001). Il sera important de définir plus tard la « **non qualité** » et ses **répercussions économiques**, via ses incidences sur la santé, et les besoins accrus en maintenance, par exemple.

La phase d'exploitation du bâtiment représente en moyenne 90 % du coût total sur la durée de vie du bâtiment (données du Ministère de l'Environnement). Les questions de coûts sont importantes et méritent de poser certaines définitions. Savoir de quoi on parle quand on évoque les termes de coûts différés, coût global, coût d'investissement, permet de mieux être à même de juger de l'intérêt économique de l'amélioration de la qualité environnementale, et est un critère de décision de 1<sup>er</sup> ordre pour les maîtres d'ouvrage. De plus, les enjeux économiques par les impacts sur la santé et la productivité des hommes sont réels, mais non, ou difficilement, chiffrés.

### 1-1-5 Synthèse des émissions à l'environnement par phase de vie

Peu d'études quantifient par des mesures la part de responsabilité des phases de vie construction-exploitation-rénovation-destruction d'un bâtiment, mais tous les acteurs s'entendent sur le rôle majeur de la phase d'exploitation.

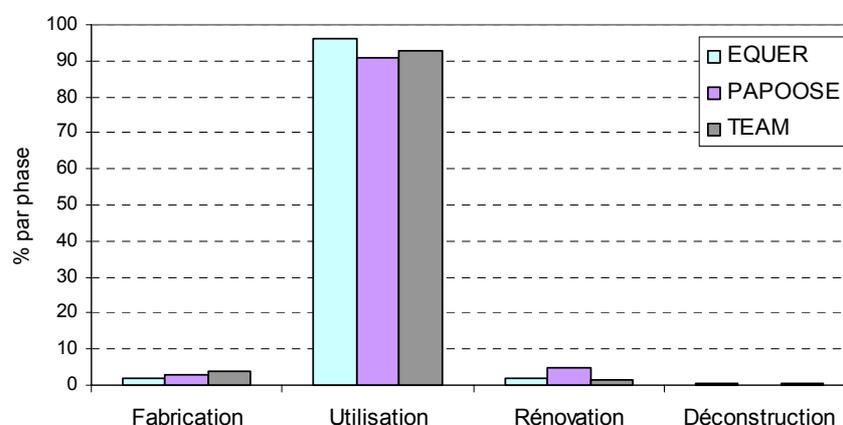
Nous présentons ci-après les résultats synthétiques de deux références qui comparent l'importance relative de chaque phase de vie du bâtiment vis à vis de certains impacts environnementaux [Nibel, Rialhe, 1999 ; Guiavarch, 2003].

[Nibel., Rialhe, 1999] présente quatre outils de simulation d'indicateurs environnementaux, qui sont :

- EQUER, logiciel d'analyse du cycle de vie des bâtiments,
- ESCALE, méthode d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments au stade de la conception,
- PAPOOSE, outil de programmation et d'analyse de projets,
- TEAM, outil en analyse de cycle de vie.

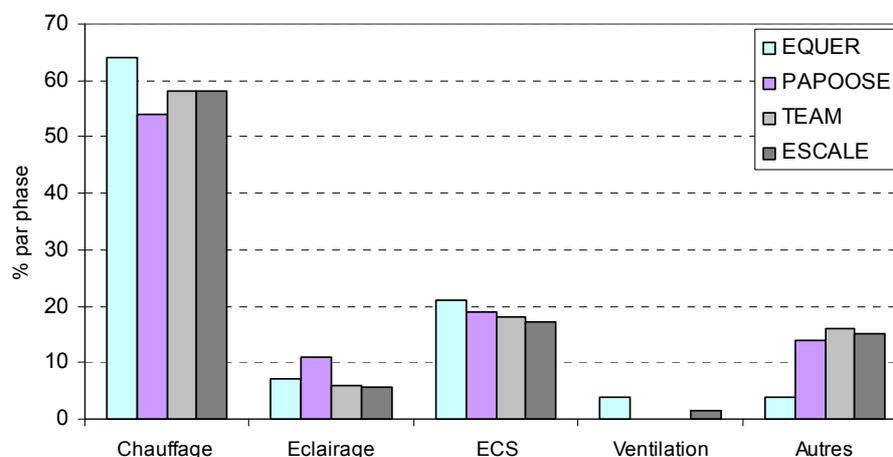
Les indicateurs communs présentés sont « énergie primaire, effet de serre, émission de déchets radioactifs, eau », et ont été appliqués sur une des premières opérations HQE construite en France, (Rex HQE Castanet Tolosan, 50 maisons individuelles, près de Toulouse). L'indicateur de comparaison des résultats sur les 4 outils le plus significatif est celui de l'énergie primaire. Les résultats en fonction des phases de vie sont présentés dans la **figure 8** (l'outil ESCALE n'a pas fait l'objet de la simulation sur cette étude). La phase d'exploitation regroupe les phases d'utilisation et de rénovation sur les **figures 8, 9 et 10**.

Figure 8 : Simulation de consommation d'énergie primaire



Le deuxième résultat intéressant sur ces outils est la consommation d'énergie finale par usage, que nous pourrions comparer avec nos mesures, et donnée par la **figure 9**.

Figure 9 : Consommation d'énergie finale en fonction des postes et des phases de vie



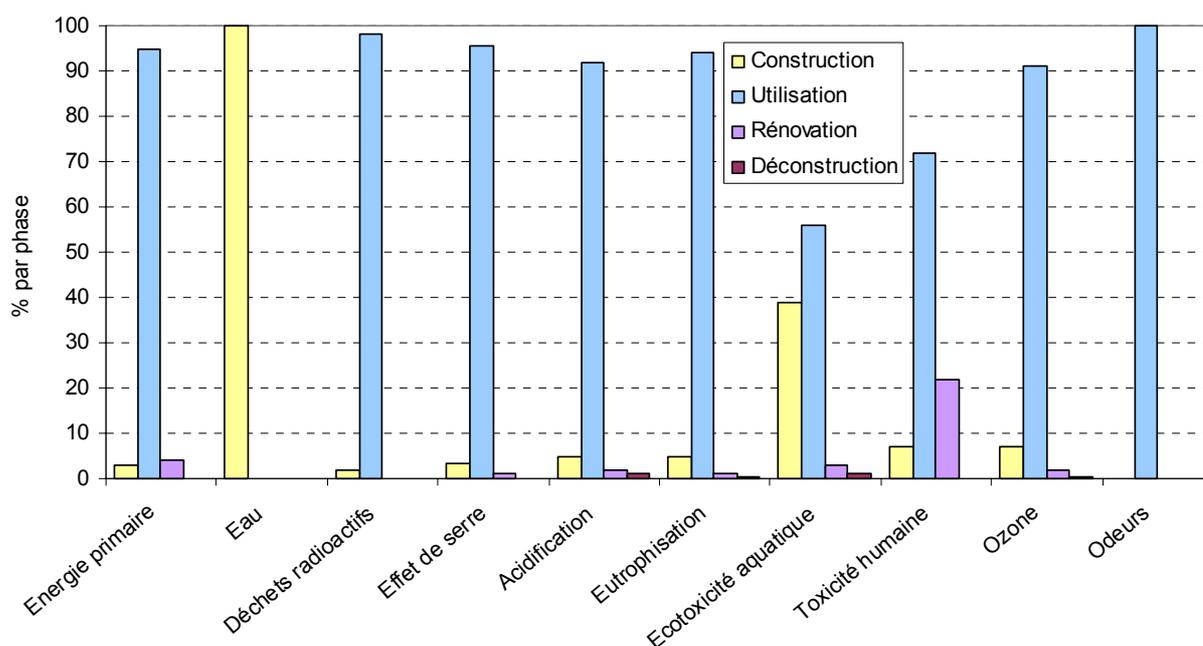
Ces quatre outils ne partent pas exactement de la même définition du système et des mêmes bases de données pour les facteurs d'émissions à l'environnement, mais il apparaît clairement que la phase d'utilisation est la phase la plus importante en terme d'impacts environnementaux sur la durée de vie du bâtiment (simulée à 80 ans).

Une autre simulation a été réalisée sur un projet de bâtiment performant de bureaux, de 1700 m<sup>2</sup>. En terme énergétique, et toujours en se basant sur une durée de vie de 80 ans, avec une rénovation majeure, l'auteur estime un bâtiment très performant à :

- 6 % de consommation d'énergie primaire pour la phase de construction,
- 93 % pour la phase d'exploitation,
- moins de 1 % pour la phase de rénovation,
- et moins de 1 ‰ pour la phase de démolition [Guiavarch, 2003].

Il est évident que les bâtiments existants ont, dans leur exploitation, une importance majeure sur l'environnement, s'ils sont moins performants que les bâtiments neufs. Ceci est illustré par la représentation dans la **figure 10** de la part des différentes phases de vie pour chaque indicateur développé par l'outil EQUER [Nibel, Rialhe, 1999].

Figure 10 : Importance relative par phase de vie des indicateurs environnementaux, outil EQUER



Ces études montrent, tant en qualifiant les consommations énergétiques que les différents impacts environnementaux développés par les outils de simulations, que le véritable enjeu et la préoccupation immédiate à avoir sur les impacts environnementaux des bâtiments portent sur le parc existant, et que l'optimisation à opérer sur son exploitation et d'importance première.

Nous avons discuté des enjeux environnementaux liés aux différentes phases de vie des bâtiments tertiaires et montré l'importance de la phase de vie des bâtiments. Nous focalisons à présent et dans le reste du document sur la phase d'exploitation.

## 1-2 Réponses françaises à ces enjeux : éléments de réflexion sur la démarche Haute Qualité Environnementale

Ayant, précédemment, et durant la réalisation de la thèse, assisté au démarrage de la démarche HQE à l'échelle nationale, notamment par l'organisation des 3 premières Assises de la démarche HQE, je propose dans les paragraphes suivants une réflexion sur cette démarche et l'état des lieux actuel de sa mise en œuvre, à travers les acteurs et les réalisations.

### 1-2-1 La démarche Haute Qualité Environnementale

#### 1-2-1-1 Association HQE : 1992 à 2005

L'Association HQE<sup>®</sup> est une association loi 1901. Elle a deux objectifs principaux.

- Développer et promouvoir la démarche HQE<sup>®</sup> pour fonder un langage commun pour la mouvance HQE<sup>®</sup> afin d'optimiser sa dynamique. L'association a réalisé deux référentiels à ce jour. Le référentiel de « définition explicite de la qualité environnementale » et le référentiel de « système de management environnemental » d'une opération.
- Regrouper les entités collectives concernées pour élaborer de manière consensuelle ce langage commun, afin qu'il soit légitime.

Son apparition s'est opérée dans le contexte chronologique suivant :

1992 Publication du livre vert de l'écologie urbaine dans la construction et l'habitat

1993 Création sous l'égide du PUCA de l'Atelier Technique pour l'Evaluation de la Qualité Environnementale (ATEQUE)

1994 Lancement des opérations exemplaires (REX HQE) dans le domaine de l'habitat social

1995 Expérimentation du premier lycée HQE : Maximilien Perret, à Alfortville en Val de Marne

1996 Création de l'Association HQE par l'ADEME, le PUCA, le Ministère de l'Environnement, le CSTB, la FFB, l'ARENE et l'AIMCC. Publication des travaux de l'ATEQUE

2001 Premières Assises de la Démarche HQE

2004 Reconnaissance de l'association HQE comme association d'intérêt public

2005 Premières certification « NF bâtiments tertiaires – Démarche HQE délivrées par l'Association HQE ou l'AFNOR pour les bâtiments d'enseignement ou de bureaux.

La traduction opérationnelle de la démarche HQE<sup>®</sup> est donc récente, les premières opérations exemplaires ayant été lancées en 1994 (Rex HQE).

Parallèlement à l'association HQE<sup>®</sup> se sont créés en juin 2002 les Clubs D2C, pour Développement Durable du Cadre de vie bâti, structure associative réunissant globalement les mêmes entités que l'association HQE<sup>®</sup>, et complétée d'un grand nombre d'acteurs du bâtiment non institutionnels. Les Clubs D2C ont pour objectif de coordonner le côté **opérationnel** des réalisations HQE<sup>®</sup>.

#### 1-2-1-2 Définition et référentiels

La démarche HQE<sup>®</sup> est une approche typiquement française de la qualité environnementale du bâti, et présente deux volets.

- 1) Tout d'abord définir les exigences pour améliorer la **qualité environnementale** (QE) des bâtiments (QEB) construits ou adaptés (*ie* rénovés pour une nouvelle utilisation).
- 2) Ensuite, mettre en place et utiliser un **système de management environnemental** (SME) des opérations afin de définir l'organisation des actions amenant à la QEB.

Il est nécessaire ici de citer la **définition formelle de la QE des bâtiments**.

« La qualité environnementale d'un bâtiment correspond aux caractéristiques du bâtiment et du reste de la parcelle de l'opération de construction ou d'adaptation du bâtiment qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur, et de création d'un environnement intérieur sain et confortable » [DEQE].

Il est à noter que le sigle HQE<sup>®</sup> a été déposé par l'AIMCC. De manière usuelle, nous parlerons de **qualité environnementale des bâtiments**.

Les deux référentiels principaux de la démarche HQE sont : le référentiel de définition explicite de la qualité environnementale, dit « DEQE », datant de novembre 2001 et donnant une définition aussi rigoureuse que possible de ce qu'est la qualité dans un bâtiment ; et le système de management de l'opération, actuellement en réécriture, qui explique comment l'opération doit être conduite pour obtenir cette qualité.

La définition exigeancielle de la qualité environnementale d'un bâtiment se décline sur 14 cibles, réparties en 4 domaines, eux mêmes répartis en 2 composantes : maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur (éco-construction et éco-gestion) et création d'un environnement intérieur satisfaisant (confort et santé). La **figure 11** schématise les 14 cibles.

Le référentiel concernant le système **de management environnemental** (SME) des opérations est destiné au maître d'ouvrage qui peut l'adapter et l'appliquer. Ce référentiel définit les exigences environnementales de l'opération, organise et met en œuvre les procédures, caractérise le résultat de l'opération (QE obtenue). Enfin, le SME permet d'amorcer la mise en place d'une certification du management environnemental par le maître d'ouvrage sur son opération.

### 1-2-1-3 Application de la démarche : forces et faiblesses

La démarche HQE s'applique principalement à la phase de conception des bâtiments, mais peut s'étendre à une rénovation. Elle se veut un outil opérationnel décrivant aux concepteurs la qualité d'un bâtiment afin de respecter les principes de développement durable.

Le rayon d'action de la démarche HQE est quasi illimité, car tout acteur du bâtiment peut accéder aux référentiels de définition de la qualité environnementale des bâtiments, et essayer de l'appliquer à son opération. Cependant, de par la complexité du système « bâtiment-environnement-économie » et adéquation avec les marchés, les fournisseurs et les savoirs faire des entreprises (nous pourrions rajouter les financeurs, les assurances,...), la mise en œuvre de la démarche peut être vite limitée dans un premier temps, correspondant au temps pour les multiples acteurs de s'adapter à de nouvelles exigences, à de nouvelles technologies, à des délais différents, etc.

Dans un premier temps la démarche HQE a surtout concerné les opérations publiques et le grand tertiaire, notamment en raison des aides financières de l'Etat et du fait que les maîtres d'ouvrages allaient être les gestionnaires des bâtiments construits. L'image amenée par une prise en considération des problèmes environnementaux joue également son rôle.

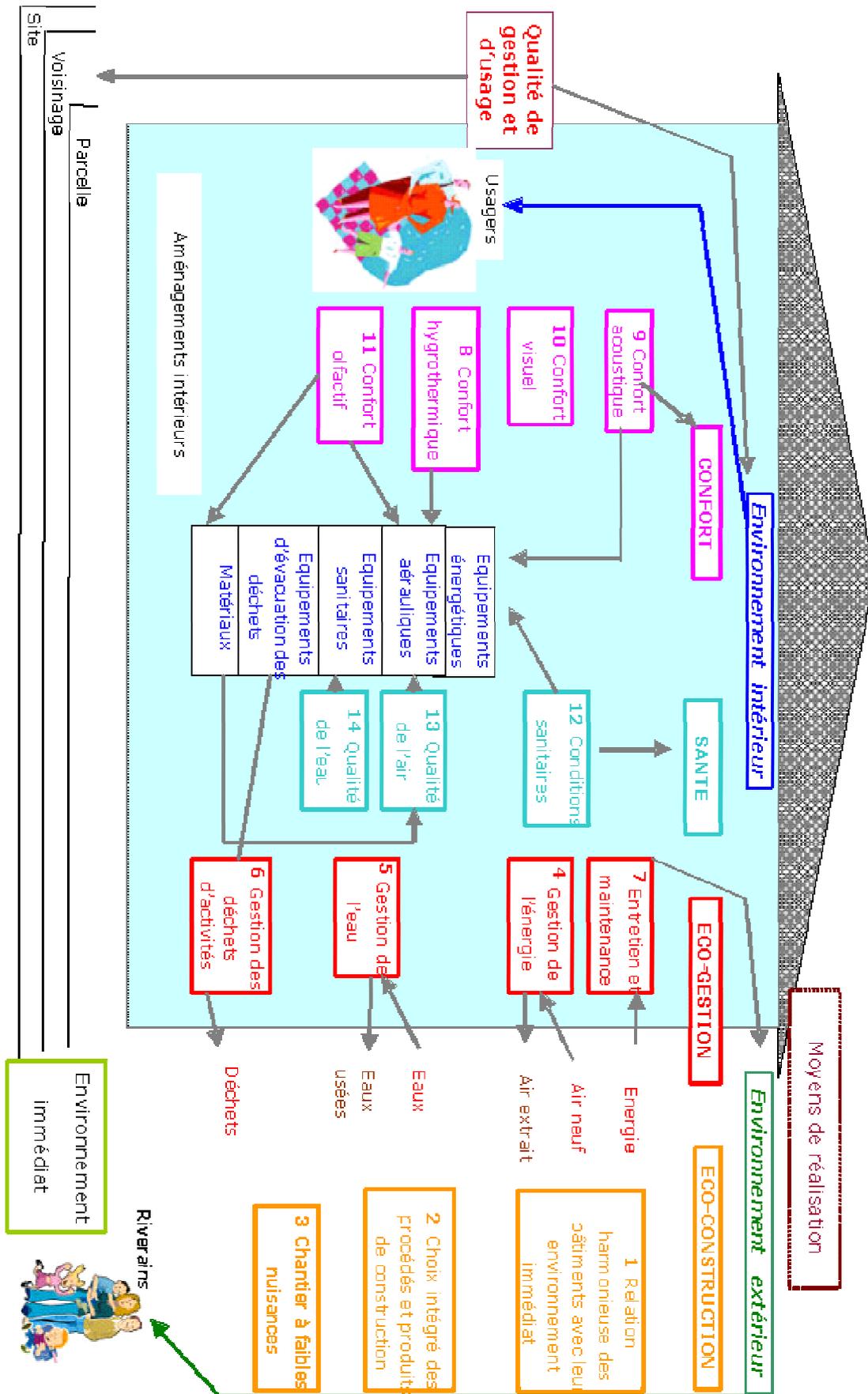
Je résume ici une brève interview menée auprès de professionnels du bâtiment, qui sont acteurs actifs de la qualité environnementale en France.

La grande force de la démarche est d'avoir posé une base, au travers des référentiels et d'autres labels (Qualitel, Minergie, ...) ; même si elle est critiquable dans les moyens de mise en œuvre, elle permet de fédérer les professionnels et de savoir de quoi nous parlons, qu'est-ce que la qualité environnementale.

La diversité et la compétition apparente entre les différentes professions qui traitent de la qualité environnementale (bio climaticiens, bio constructeurs, architectes climaticiens, environnementalistes, etc.) trouvent un terrain commun de langage et d'objectifs.

Cependant les polémiques naissent entre les divers praticiens, et la prise en compte politique au travers de l'Association HQE manque encore d'envergure. Les personnes interrogées souhaiteraient une action plus fédératrice de l'Association HQE.

Figure 11 : Les 14 cibles de définition de la qualité environnementale



D'après G.OLIVE, 2001

D'autres limites apparaissent (synthèse de discussions, [Actes : Deuxièmes Assises de la démarche HQE]).

Limites humaines : la sensibilisation et la formation des professionnels du bâtiment est l'un des secteurs où la démarche tarde le plus à émerger significativement, depuis les architectes, les ingénieurs, les thermiciens, les installateurs, les fabricants, ... Toute la filière est à sensibiliser et à former à la problématique environnementale, aux réponses que chaque professionnel peut y apporter, en restant économiquement avantageuse pour chacun.

Limites organisationnelles : l'adaptation du marché, des produits, l'adaptabilité de l'état de l'art, et suite à ce que nous venons de voir, constituent un frein majeur, qui se traduit par le temps de réponse de chaque secteur professionnel. L'enjeu est la mise en place efficace des liens entre eux lors d'une opération.

Cela implique :

- le développement à la fois de nouveaux produits et techniques,
- l'évolution de l'état de l'art dans la mise en œuvre des différents professionnels,
- puis la compréhension et l'utilisation par les usagers et les entreprises de maintenance,
- et enfin l'implication des filières de recyclage et de traitement.

L'implication politique, nécessaire, est encore faible. L'implication politique dans le développement de la qualité environnementale des bâtiments se manifeste surtout au niveau des collectivités territoriales. Elle est peu présente dans les aides publiques aux initiatives privées, mais les éléments de mise en place des dispositifs d'information et d'aides financières commencent à voir le jour [Dexia, 2005], notamment au travers des initiatives régionales ou d'Agences Locales (ARENE, Agences locales de l'énergie, antennes régionales de l'ADEME, ...). Replacés dans un contexte plus large que celui du bâtiment, les engagements politiques en matière de lutte contre les problèmes environnementaux restent très faibles, et ce malgré les discours de plus en plus engagés des représentants du Gouvernement. Ceci est tout particulièrement manifeste dans les actions contre l'émission des gaz à effet de serre : effort de ferroutage inexistant, augmentation des tarifs des transports en commun, multiplication du réseau routier, mise en suspend de taxes sur les industries pour le CO<sub>2</sub>, ... [Quirion, 2003]. Ces prises de position et surtout ces passages à l'acte correspondent pourtant à un enjeu de société durable.

Contexte du besoin d'une certification de gestion :

La démarche HQE<sup>®</sup> est restée jusqu'en 2005 une démarche volontaire. Les bâtiments HQE<sup>®</sup> étaient donc auto-déclarés, ce qui a permis la libre appropriation de la démarche de qualité environnementale par les acteurs, et a contribué à sa diffusion, mais qui a aussi engendré la réalisation de contre-exemples de bâtiments HQE. Une certification a été développée [CSTB, 2005], elle est aujourd'hui disponible pour la phase de conception/réalisation.

De nombreuses structures privées et publiques, organisations, associations, collectivités territoriales, etc., sont engagées dans la démarche HQE<sup>®</sup>. Si nous pouvons être satisfaits du développement de la démarche dans la sensibilité des différents acteurs du bâtiment, il reste que, pour l'instant, le nombre de réalisations n'est pas significatif en regard du parc bâti français.

#### **1-2-1-4 Les acteurs de la démarche**

Les acteurs de la démarche HQE sont tous les acteurs du secteur du bâtiment, plus particulièrement aujourd'hui les acteurs de la phase de conception : maîtres d'ouvrage publics et privés, architectes, ingénieurs, bureaux d'études, industriels, artisans, entrepreneurs, ...

Mais l'idée fondamentale de maîtrise des impacts du bâtiment doit et commence à s'étendre au niveau des différentes phases de vie du bâtiment autres que conception, (phase d'exploitation, déconstruction), ainsi qu'aux différentes échelles spatiales, l'échelle du quartier et de la ville, ou autrement dit du cadre de vie bâti (développement récent de la démarche HQE<sup>2®</sup> de l'Association HQE, concepts des Clubs du Développement Durable du Cadre de Vie Bâti, etc.).

Les conditions clé pour la mise en œuvre de la qualité environnementale sont, comme dans tout système décisionnel, l'implication et la motivation du donneur d'ordre, la maîtrise d'ouvrage. Ensuite la maîtrise d'œuvre doit savoir répercuter les exigences engendrées par les objectifs de qualité environnementale formulés par la maîtrise d'ouvrage. Le rôle des programmistes est, sur les opérations d'envergure, important pour cette formulation.

Sur la phase d'exploitation du bâtiment qui nous concerne ici, l'acteur clé est le gestionnaire pour tous les réglages et interventions mineures sur le bâtiment, mais en terme de réduction des émissions, le rôle des usagers peut être tout à fait déterminant. Cependant la phase d'exploitation et de management environnemental du bâtiment n'est pour l'instant pas clairement abordée par la démarche HQE®.

Au niveau des Régions de France, les travaux de l'Association HQE® définissent plusieurs états d'évolution des acteurs dans la mise en œuvre de la démarche HQE®.

Etat 1 : Au commencement, les acteurs publics en particulier sont volontaires et fortement intéressés par la démarche HQE®, ce qui se traduit par l'expérimentation, au travers des opérations pilotes ou de démonstrations, par la programmation de séminaires d'information, de sensibilisation et de formation à la démarche HQE®.

Etat 2 : Après un certain temps passé et quelques opérations effectuées, se forme progressivement un réseau de compétences, et le nombre d'opérations en cours ou en projet augmente.

Etat 3 : Au bout d'une deuxième génération d'opérations, les réseaux, les acteurs, les entreprises sont mieux constitués et identifiés. La démarche HQE® est pour certains de ces acteurs publics généralisée pour des opérations types (bâtiments d'enseignement et logements par exemple). Un véritable savoir-faire s'instaure à tous les niveaux (institutionnel, soutien financier, maîtrise d'ouvrage, architectes, assistance à maîtrise d'ouvrage, bureaux d'étude, recherche et formation... et pour les plus avancés : filière locale intégrée -Nord-Pas-de-Calais et Alsace-).

La structuration des acteurs privés est identique, bien que les aides financières soient plus succinctes.

Nous citons le rôle amont indispensable à la fois du domaine politique d'incitation à la mise en œuvre de la qualité environnementale, suivi des aides financières et des différentes réglementations fixant un niveau minimum de performances, en particulier dans le domaine énergétique.

### **1-2-1-5 Etat des lieux**

#### **Réalisations**

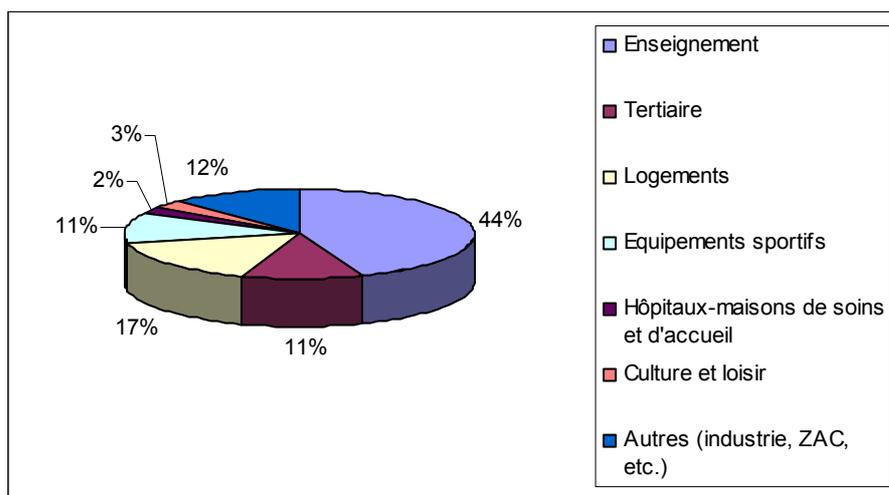
La seule synthèse des réalisations HQE® en France à ce jour a été réalisée par l'Association HQE® sur la base de réponses volontaires à une enquête ainsi que sur la base des financements d'aide à la construction HQE [Chautard, Bouleau, 2005]. Cet état des lieux omet donc la partie la plus dissimulée des opérations à qualité environnementale développée, réalisées ou en préparation, qui sont les créneaux non subventionnés : opérations de particuliers, opérations à bonne qualité environnementale mais pas déclarée comme telle, etc.

Actuellement, on estime donc à 600 le nombre d'opérations auto déclarées HQE® en France (scolaire, logements, tertiaire, services, gares, mairies, gymnases, etc.). Le **tableau 10** et la **figure 12** montrent le nombre et la répartition de ces opérations en fonction des régions et du type de bâtiment.

Tableau 10 : Nombre d'opérations HQE<sup>®</sup> recensées par Région en 2005

Régions	Nombres d'opérations		
	réalisées	en cours	en projet
ALSACE	16	8	4
AQUITAINE	2	21	0
AUVERGNE	4	9	0
BOURGOGNE	1	16	0
BRETAGNE	46	0	0
CENTRE	0	0	10
CHAMPAGNE-ARDENNE	10	9	15
FRANCHE-COMTE	33	25	0
ÎLE DE France	1	30	50
MARTINIQUE	1	3	16
MIDI PYRENEES	4	37	0
NORD PAS DE CALAIS	74	6	20
HAUTE NORMANDIE	4	22	0
BASSE NORMANDIE	0	0	0
PAYS DE LA LOIRE	1	4	0
PICARDIE	0	1	3
POITOU CHARENTES	2	15	0
PACA	5	15	0
RHONE ALPES	55	0	0
Totaux	<b>259</b>	<b>221</b>	<b>118</b>

Figure 12 : Répartition en fonction du type de bâtiments HQE<sup>®</sup> répertoriés, année 2005



D'après [Chautard, Bouleau, 2005]

Les projets du secteur privé, beaucoup plus difficilement identifiables car ne se réclamant pas forcément de la démarche HQE<sup>®</sup>, et ne recevant pas d'aides financières, seraient également intéressants à comptabiliser.

Les projets, dans leur ensemble de plus en plus nombreux, sont très disparates à l'usage, mais aussi dans leur approche environnementale. Du fait de la variété et de la multiplicité des acteurs, (institutionnel, financeurs, décideurs, tertiaire, services, usagers, fournisseurs de matériaux, etc.), du fait de l'absence de méthode et de référence pour « construire HQE<sup>®</sup> », malgré l'existence du référentiel sur les cibles HQE<sup>®</sup> et du référentiel SME, du fait de l'absence de certification jusqu'à fin 2005, les opérations étaient auto-déclarées HQE<sup>®</sup> sans évaluation ni contrôle de la qualité de l'opération, ce qui laissait la porte ouverte à certaines anomalies d'affichage. La certification tentera d'y apporter une certaine vérité. Mais la question de « comment faire de la HQE<sup>®</sup> ? » n'a pas encore de vraie réponse.

L'enjeu est de créer des systèmes d'accès simplifiés à la démarche HQE<sup>®</sup>, de construire et de diffuser les outils adaptés, pour les différentes phases de la construction et les différents types d'opérations.

Une certification est cependant disponible depuis peu, mais les référentiels de toute sorte se sont développés de façon incontrôlée à travers les régions, et les consensus ne se mettent en place sur cette question que très lentement. La démarche HQE<sup>®</sup> gagne également de nouveaux terrains d'application : la déconstruction, le bâti existant soumis à rénovation ou restructuration, et l'échelle du cadre de vie bâti et des territoires.

Du côté gouvernemental, les engagements et commandes en matière de démarche HQE<sup>®</sup> ont été particulièrement exprimés au cours de l'année 2001. Marie-Noëlle Lienemann, alors Secrétaire d'Etat au Logement, avait demandé de produire un moyen d'identifier les opérations qui se sont engagés dans une démarche HQE<sup>®</sup>, et avait annoncé l'objectif de 10% des constructions neuves HQE<sup>®</sup> pour l'année 2005. En 2002, le séminaire gouvernemental sur le développement durable inscrit la Haute Qualité Environnementale dans ses 6 thèmes de travail de stratégie nationale (thème 2 : territoires et développement durable).

Les changements politiques et le contexte autour de l'association HQE<sup>®</sup> et de ses faibles moyens d'actions ont ralenti une émergence qui apparaissait consensuelle en 2001.

L'Association HQE<sup>®</sup> regroupe les régions en 3 états d'avancement de la mise en œuvre de la démarche HQE<sup>®</sup> :

- Les régions qui en sont au stade de « l'**apprentissage** » et des premières réflexions, (le Centre, la Martinique, la Basse Normandie, la Picardie et le Pays de la Loire).
- Le deuxième groupe de régions se caractérise par une phase de « **développement** » de la démarche HQE<sup>®</sup>, (l'Aquitaine, l'Auvergne, la Bretagne, la Bourgogne, l'Île de France, le Midi-Pyrénées, la Haute-Normandie, le Poitou-Charentes et PACA).
- Le troisième groupe de régions se situe en phase de « **maturité** », (l'Alsace, la Champagne-Ardenne, la Franche-Comté, le Nord-Pas-de-Calais et la région Rhône-Alpes).

### **Focus sur la région Aquitaine**

La région Aquitaine s'est fortement engagée dans la démarche HQE<sup>®</sup> à partir de l'année 2001, au travers de l'organisation des premières, deuxième et troisième assises de la démarche HQE<sup>®</sup>, et sur des actions concrètes sur le patrimoine des 150 lycées d'Aquitaine, via un outil de suivi et de gestion des cibles d'éco-gestion, et via la restructuration et construction HQE<sup>®</sup> d'établissements d'enseignement.

En dehors des engagements propres au Conseil Régional d'Aquitaine, plusieurs collectivités engagent des opérations appliquant certains critères de la démarche HQE<sup>®</sup>. Citons l'opération phare du lycée de Blanquefort, deux écoles et le centre de la commune de Pessac, Bègles, Mérignac, la CUB, etc. Le Conseil Régional s'est engagé sur la restructuration HQE<sup>®</sup> de 8 lycées en Aquitaine.

## **1-2-1-6 Evolution actuelle et certification**

### **Contexte du besoin d'une certification de gestion**

La déclaration d'un bâtiment « démarche HQE<sup>®</sup> » est depuis début 2005 soumise à certification par le CSTB pour les opérations de bâtiments tertiaires, et par l'organisme Qualitel et Cequami pour le résidentiel (maisons individuelles et logements collectifs respectivement).

Cependant persistent des auto-déclarations d'application des principes de la démarche de qualité environnementale, ce qui est une démonstration de la force du concept et de l'appropriation de ce dernier par les acteurs de la construction, qui peuvent rester dans l'objectif de la qualité environnementale sans passer par une certification.

### **Principe de la certification**

L'élaboration de la certification se veut en concertation avec des professionnels du bâtiment, et s'appuie sur les travaux de l'association HQE<sup>®</sup> (référentiel DEQE et SME) et de l'ADEME [ADEME, 2002].

Elle porte à la fois sur l'opération (certification de l'opération via le système de management de l'opération), et sur la qualité environnementale du bâtiment en phase de conception (QEB attendue).

Elle se ferait aux trois étapes suivantes : définition du programme et décision de l'enveloppe budgétaire prévisionnelle, dossier de consultation des entreprises et passation des travaux, puis réception de l'ouvrage.

En terme de performances, 7 cibles devront être classées performantes ou très performantes (4 performantes et 3 très performantes), et 7 maximum devront être au niveau réglementaire. Il appartient au maître d'ouvrage de fixer les cibles prioritaires à traiter par la maîtrise d'œuvre. Les documents de travail du CSTB seront analysés dans notre recherche (projet de certification des opérations tertiaires en phase conception).

### **Problèmes actuels identifiés sur la certification**

De nombreux freins apparaissent et sont exprimés par les acteurs de la construction sur la certification des opérations tertiaires [Assises de la démarche HQE, 2003]. Ces éléments sont pour nous à prendre en compte dans la façon de mener notre travail sous certains aspects. En effet, un travail sur l'évaluation des bâtiments en phase de gestion correspond à la phase opérationnelle n°4 de la certification, actuellement en cours, mais qui s'inspirera des étapes précédentes.

De façon synthétique, les problèmes qui semblent apparaître sont [Actes : Troisièmes Assises de la démarche HQE<sup>®</sup>, 2003]:

- Une institutionnalisation trop forte de l'élaboration de la certification qui ne reflète pas les vrais attentes et problèmes des professionnels de terrain : ces attentes et difficultés sont à connaître pour les éviter et faire un travail aussi utile que possible pour les acteurs du bâtiment, depuis la maîtrise d'ouvrage jusqu'à l'utilisateur ;
- Le domaine du tertiaire est tellement varié qu'il semble difficile de mettre au point un système de certification qui couvre de façon ouverte et adaptée l'ensemble des variétés d'opérations. De plus, un projet HQE<sup>®</sup> se doit d'aborder les spécificités régionales voir locales. La certification se veut souple, évolutive et adaptative, mais la difficulté persiste ;
- Quel référentiel fixe les niveaux dits performants et très performants par rapport à la réglementation, elle-même parfois déjà exigeante sur certains critères ? Actuellement aucun consensus n'est trouvé sur cette question. Notre travail se veut force de propositions en réponse à quelques une de ces questions.

## 1-2-2 Les principales réglementations liées à l'énergie et l'environnement

C'est par l'évolution des législations et à travers les différentes réglementations, notamment les réglementations thermiques, que les améliorations sont apparues sur les bâtiments neufs depuis 1975. Le cadre réglementaire présenté ici se résume aux trois axes principaux d'engagements de la France : protocole de Kyoto, directive européenne, lois françaises. Nous résumons les principaux textes, ce qui met en valeur la concentration des préoccupations sur les aspects énergétiques en ce qui concerne les améliorations à amener aux bâtiments existants.

### **Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie**

La « loi LAURE » « reconnaît à chacun le droit à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé ». Elle instaure des principes d'inventaire des sources, de surveillance de la qualité de l'air dans les centres urbains, de maîtrise des émissions par les sources fixes et mobiles.

### **RT 2005**

Elle renforce la réglementation thermique pour les bâtiments neufs. Une exigence de 15 % de plus est prévue tous les 5 ans jusqu'en 2015. L'objectif est d'obtenir au moins 30% de réduction des gaz à effet de serre émis par les bâtiment d'ici 2015. Les économies visées pour le tertiaire sont de 25 % pour l'efficacité énergétique.

### **DEPE**

La Directive Européenne de Performance Energétique des Bâtiments vise, pour les bâtiments supérieurs à 1000 m<sup>2</sup>, à l'adoption commune d'une méthodologie de calcul pour la performance énergétique des bâtiments, la fixation de seuils de performance minimales (- 40% pour la consommation énergétique du tertiaire), l'étude de faisabilité de mise en place de systèmes alternatifs d'approvisionnement en énergie, l'affichage de la performance énergétique du bâtiment, et enfin au contrôle des systèmes de chauffage par des professionnels indépendants.

Les mesures sur l'existant comprennent l'affichage obligatoire de « l'étiquette énergie » comportant les consommations d'énergie primaire et les améliorations nécessaires pour les locaux vendus (effectif depuis 2006) et les locaux loués (en 2007).

Soulignons ici que cette directive peut être considérée peu contraignante par rapport aux performances prouvées par les constructions « passive haus ».

### **Loi SRU**

La loi Solidarité et Renouvellement Urbain, entrée en vigueur en juin 2001, introduit des dispositions visant à protéger l'acquéreur d'un immeuble. Parmi ces dispositions, certaines ont des conséquences sur les performances énergétiques : garantir l'état du logement, effectuer un diagnostic technique, fournir un carnet d'entretien, ...

Deux projets à l'horizon 2050 en matière de réglementation sont en préparation : le **plan CLIMAT 2004** et la **Loi d'orientation de l'énergie de 2005**, dite LOE. Le plan CLIMAT prévoit la démolition et reconstruction de 200 000 logements sur 5 ans. La LOE prévoit que toute rénovation de prix supérieur à 25 % de la valeur du bâtiment (de surface supérieure à 1000 m<sup>2</sup>) devra respecter des exigences énergétiques proches de la RT 2005 et fixées dans le « Livre Blanc des Energies » 2003.

**La loi du 13 juillet 2005** fixant les **orientations de la politique énergétique** (LOE) annonce la mise en place de mesures favorables au développement des énergies renouvelables, notamment la mise en place d'un plan « Face sud » qui assurera la promotion et la diffusion des énergies renouvelables dans le bâtiment pour y renforcer les apports thermiques et électriques naturels. Ce plan doit assurer la mobilisation des moyens nécessaires pour atteindre un objectif d'installation de 200 000 chauffe-eau solaires et de 20 000 toits solaires par an en 2010.

En outre, les PME-PMI peuvent bénéficier d'aides financières pour l'étude et la mise en place de projets utilisant des énergies renouvelables.

### 1-2-3 Les démarches volontaires

Les labels "haute performance énergétique" et "très haute performance énergétique", délivrés par le Comité Français d'accréditation (COFRAC), attestent la conformité des bâtiments nouveaux à un référentiel qui intègre un niveau de performance énergétique supérieur à l'exigence réglementaire (inférieur de 8 % et 15 % respectivement à la référence définie par la RT 2000). Ces labels sont délivrés uniquement à des bâtiment ayant fait l'objet d'une certification portant sur la sécurité, la durabilité et les conditions d'exploitation des installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de climatisation et d'éclairage ou encore sur la qualité globale du bâtiment.

Le Label Suisse MINERGIE® est un label de qualité destiné aux bâtiments résidentiels et tertiaires neufs et rénovés. Il prend en compte la consommation finale d'énergie et le confort d'habitation et de travail, en particulier à travers : une enveloppe étanche, une isolation thermique épaisse, un bon système d'aération.

D'autres labels existent que nous ne détaillerons pas : Label Promotelec confort habitat neuf - Label Promotelec habitat existant, ...

Les prémices du bâtiment à énergie positive : il s'agit de rendre peu à peu les bâtiments énergétiquement autonomes, par le développement des énergies renouvelables, par la construction de locaux qui consomment beaucoup moins d'énergie, par leur orientation, par l'utilisation des ressources naturelles : soleil, vent, végétation, optimisation de l'éclairage naturel, utilisation des transferts de l'énergie afin d'obtenir des gains ou des pertes de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment.

Les bâtiments à énergie positive : le concept vise le développement de bâtiments à très haute performance énergétique alimenté par des énergies renouvelables pouvant conduire progressivement et à long terme (20-25 ans) à un bâtiment assurant ses propres besoins en énergie, voire même restituant de l'énergie sur le réseau.

### 1-2-4 Regard sur les initiatives internationales

Beaucoup d'actions sont menées sur la scène internationale en matière de développement de la qualité environnementale des constructions.

Au Canada, une société internationale sans but lucratif, iiSBE (international initiative for Sustainable Built Environment) s'occupe de la promotion d'adoption de politiques dans le domaine de l'environnement. Elle recense les actions en cours et met en place un forum d'échange d'informations sur les actions et initiatives. iiSBE a également en charge la gestion du Green Building Challenge, soit plus de 20 pays qui développent des systèmes comme le GBTool [Cole, 2002]. Un système d'information du bâti durable SPIS, est actuellement en développement. Pour le Green Building Challenge, 600 délégués étaient présents en 1998 et plus de 1000 en 2002 à Oslo, ce qui démontre l'intérêt grandissant au niveau international de la question de la qualité environnementale des constructions. Il est à noter que le thème du GBC 2005 était **l'évaluation des bâtiments**, en mettant en avant les notions de **simplicité et de rapidité**, qui sont primordiales. iiSBE a également développé un outil type base de données permettant de trouver tout type d'informations dans le domaine de la construction durable (techniques, acteurs, politique, outils disponibles, etc.).

Quatre évènements majeurs sont à citer sur le contexte international :

Tout d'abord Rio plus 10, soit la **conférence de Johannesburg**.

Deux éléments importants sont à retenir. Tout d'abord le président des Etats Unis, premier pays émetteur des gaz à effet de serre, a annoncé son désengagement du protocole de Kyoto. Parallèlement, le Président français a lui réaffirmé le développement durable comme une priorité française, a rebaptisé le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, et a créé un secrétariat d'état au développement durable. Cela s'est concrétisé pour

commencer par le séminaire gouvernemental sur le développement durable, où les engagements du gouvernement ont été réaffirmés.

La conférence **Sustainable Building 2002** à Oslo.

Plus de 65 pays et 1000 participants, soit un certain succès. Cependant deux éléments doivent venir pondérer ce succès. Tout d'abord les outils développés présentent une certaine divergence de résultat, qui questionne largement leur validité et reproductibilité à différentes opérations. Ensuite, la participation de la France à cette manifestation internationale était bien trop insuffisante, au regard des développements de méthodes et de concepts dont nous disposons et sur lesquels il y a beaucoup à communiquer.

Le **World GBC 2002** qui s'est déroulé à Austin au Texas.

Le congrès du World Green Building Council, initiative américaine, a réuni aux Etat Unis plus de 2000 participants à 90 % américains, ce qui autorise à parler de succès américain.

Et enfin au niveau européen les **travaux ISO**.

Quatre textes normatifs sont en cours de finalisation sous un calendrier pressant issus entre autre des réflexions menées au sein de l'AFNOR. Parmi ces textes, la norme NF XP P 01 010 qui concerne l'information sur la qualité environnementale des produits de construction. La France a pris la présidence et le secrétariat du comité à l'origine de ces 4 textes, ce qui va lui permettre de figurer et de valoriser les travaux de l'AFNOR au plan international.

Sont également en cours de rédaction :

- ISO/TC59/SC3 ISO/AWI 21931 sur la durabilité des constructions et l'évaluation des impacts environnementaux ;
- ISO/TC59/SC3 ISO/AWI 21930 sur la déclaration environnementale des matériaux de constructions ;
- ISO/TC59/SC3 ISO/AWI 21932 sur les indicateurs de durabilité.

Le « Green Building Assessment » :

A la lecture des actes du colloque « Green Building Challenge », sur la partie « assessment » ou évaluation, nous nous rendons compte que beaucoup d'outils ont été développés pour la partie conception des bâtiments, mais que peu, voire aucun outil ni méthode ne focalisent sur la phase gestion.

## **1-3 Les méthodes de suivi et d'évaluation actuelles**

### **1-3-1 Méthodes d'évaluation existantes**

Les méthodes les plus utilisées évaluent les performances d'un bâtiment sur des aspects énergétiques. D'autres méthodes multicritères évaluent plus largement les impacts environnementaux.

#### **1-3-1-1 Le « benchmarking »**

Le benchmarking signifie analyse comparative. C'est donc une démarche d'évaluation fondée sur des comparaisons d'informations.

Ces informations peuvent être « internes », pour un ensemble de bâtiments d'un patrimoine immobilier par exemple, ou « externes », à partir de données autres : bâtiments du même type, réglementation, ...

Nous appliquons dans ce travail le principe du benchmarking interne. La finalité est d'optimiser la gestion à la fois d'un bâtiment, mais l'outil peut s'appliquer à l'échelle du patrimoine [ECOWEB, 2002]. La méthode s'appuie sur l'analyse d'écarts, ce qui permet :

- de situer les performances du bâtiment,
- d'analyser ces performances à des fins d'optimisation,
- de décider des actions à mener à court, moyen et long terme.

### **1-3-1-2 Les audits**

Audits énergétiques : méthode focalisant sur le domaine des énergies.

Il s'agit d'une évaluation des performances énergétiques d'un site par un diagnostic à partir des consommations (facturées et mesurées), d'analyses et de préconisations. L'objectif est de diminuer les charges énergétiques sans nuire au confort. Il peut donc s'agir uniquement d'une optimisation tarifaire de contrat (exemple : PAPTER, outil d'EDF).

Audit environnemental : le principe est le même que l'audit énergétique, mais les performances sont estimées sur une méthode définissant des critères environnementaux et en attribuant des points sur chaque critère en fonction du respect d'un certain nombre de conditions : solutions techniques, seuils de performance, choix de matériaux, etc.

C'est le cas des outils BREEAM ou LEED.

### **1-3-1-3 Post Occupancy Evaluation**

La « post occupancy evaluation », ou POE, est une méthode basée sur la synthèse de l'expérience et de la satisfaction des occupants et gestionnaires techniques d'un bâtiment. Elle fait également appel à des mesures physiques dans certains cas. Elle est conduite par une personne dans la première année de vie de l'activité hébergée par le bâtiment (ce qui veut dire qu'elle s'applique à une entreprise qui déménage par exemple) et s'appuie sur une enquête qui se veut complète sur la qualité du bâtiment, à travers des éléments techniques, des éléments de confort, d'adaptation du bâtiment à l'activité qui s'y déroule, ce qui suppose une série d'indicateurs économiques et sociétaux [Jaunzens, 2003].

### **1-3-1-4 Méthode d'Analyse de Cycle de Vie**

L'analyse de cycle de vie est un raisonnement d'évaluation des impacts environnementaux d'un objet ou d'un système évalué dit « du berceau à la tombe ». Cette méthode dépend donc de la définition du périmètre d'étude de l'objet et de la précision de l'état des connaissances à la fois sur :

- Les facteurs d'émission à l'environnement,
- Les impacts environnementaux engendrés.

C'est actuellement une méthode largement utilisée pour des outils de management et d'aide à la décision, et a donné lieu à la méthode normative ISO 14040.

### **1-3-1-5 Empreinte écologique**

L'empreinte écologique est basée sur une méthode d'évaluation de la pression qu'exerce l'homme sur la nature, et s'exprime en terme d'équivalent surface terrestre. Cet outil évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins d'absorption de déchets. Le principe est donc en résumé : quelle taille devrait avoir une île pour assurer la survie d'un nombre donné de personnes sans que cette communauté ne consomme et dégrade irrémédiablement son environnement ? Cette taille est l'empreinte écologique de l'activité d'une société dans des conditions de vie données.

## 1-3-2 Gestion environnementale des bâtiments : état des outils et expériences

### 1-3-2-1 Outils d'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment

Une synthèse des outils d'évaluation de la qualité environnementale des opérations HQE<sup>®</sup> est présentée ci-après.

Il en ressort les constats suivants :

- Beaucoup d'outils existent, la majorité étant consacrée à la phase de conception, pour une évaluation des impacts environnementaux.
- Aucun outil n'a été trouvé pour une évaluation en phase de gestion, sur les aspects environnementaux, sociaux et avec une analyse financière à minima.
- Beaucoup d'outils sont spécifiques et s'intéressent à la thermique, l'acoustique, les facteurs d'éclairage et à l'efficacité énergétique des bâtiments.

L'évaluation environnementale d'un bâtiment fait appel à un audit qualitatif et quantitatif, et relève de multiples critères : consommations énergétiques, émissions de gaz à effet de serre, effluents liquides, déchets solides, emprise géographique, dégradation des écosystèmes, pollutions des compartiments eau, sol, atmosphère, ensemble des êtres vivants, ainsi que confort et santé des occupants.

Les outils d'évaluation disponibles prennent actuellement peu en compte l'utilisateur, tant pour ce qui est de l'impact de l'environnement intérieur sur l'utilisateur, que pour ce qui est de l'influence des usagers sur les impacts environnementaux extérieurs du bâti en exploitation ; or cette influence est tout particulièrement déterminante.

Le manque de moyens méthodologiques et d'outils d'analyse spécifiques à la phase d'exploitation est observé aussi bien au niveau national qu'europpéen et international.

Les raisons en sont les suivantes :

- La démarche HQE<sup>®</sup> est opérationnelle depuis peu d'années, et c'est surtout en phase conception que les outils ont vu le jour. Le besoin d'outils en phase d'exploitation est apparu très récemment.
- On compte actuellement peu de bâtiments construits selon la démarche HQE<sup>®</sup> en cours d'exploitation depuis suffisamment de temps et **avec un suivi** permettant d'avoir du recul quant à ses performances [Association HQE, 2002].
- La construction d'un bâtiment HQE<sup>®</sup> entraîne pour la maîtrise d'ouvrage un 'surcoût' apparent qui est l'un des freins à la mise en place d'un suivi minimum des performances de l'ouvrage, ce suivi ayant lui aussi un coût.
- L'évaluation environnementale seule d'un bâtiment est déjà une tâche complexe et coûteuse.
- L'utilisateur était majoritairement considéré comme acteur « post-conception », et c'est en dehors du champ de la HQE que l'on trouve la préoccupation des études sociales dans le bâtiment (problématiques de l'étalement urbain, pratiques sociales et logement, ...) [Levy, 2005 ].
- Beaucoup de critères d'évaluation dans le domaine du confort et des comportements sont des critères qualitatifs et subjectifs, donc difficiles à évaluer, et réclamant un certain consensus.

Ces outils sont majoritairement conçus pour la phase de conception du bâtiment, et ne permettent pas de lier les impacts aux usages, donc de proposer des modifications soit dans le management de gestion, soit dans les comportements humains, soit dans certains équipements techniques amenant à une amélioration des performances environnementales du bâtiment, ne serait-ce par exemple que sur la gestion de l'eau et de l'énergie. En revanche les outils de spécialistes de la maintenance existent par corps de métiers et sont très dédiés (chauffage, climatisation, etc.).

De plus un certain nombre d'aspects spécifiques à la phase de gestion ne sont pas pris en compte du fait que ces outils s'adressent à la phase de conception : choix du gestionnaire dans les prestataires de services, exigences des différents cahiers des charges, pénalités éventuelles, choix des fournisseurs, de la nature de l'énergie achetée, choix des consommables fournis pour l'activité hébergée par le bâtiment,

choix des produits d'entretien, mise en place de système de tri en amont et en aval du bâtiment, sensibilisation, formation et motivation des usagers, comportement des usagers, ...

Les travaux menés par l'Association HQE® sur les indicateurs environnementaux proposent une liste exhaustive de ces indicateurs, mais le *modus operandi* de mesure et d'évaluation de ces indicateurs n'est pour l'instant que partiellement élaboré et opérationnel [Duchene-Marullaz et al., 2001].

A ce jour peu d'études ont été identifiées dans le domaine des interactions entre usagers et performances environnementales ; le champ à investir est donc riche et novateur.

L'analyse des quelques principaux outils existants dans le domaine de l'évaluation des impacts environnementaux d'un bâtiment a montré leur complexité, leur spécificité d'application et l'occultation des aspects liés aux usages, comme le montre le **tableau 11**. La colonne « phase de vie rendue » exprime les phases de vie que l'outil va évaluer, en général par simulation, et la colonne « phase de vie d'utilisation de l'outil » désigne le moment de la vie du bâtiment où l'outil est préférentiellement utilisé. On note que seul ECOWEB s'adresse spécifiquement à la phase d'exploitation, sur des données non pas simulées mais facturées.

Il existe et se développe actuellement au plan international un certain nombre d'outils d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, en particulier en phase de conception. Nous avons fait un premier bilan de ces outils et de leur champ d'application.

Nous détaillons ici 5 outils parmi les plus utilisés.

**LEED**, (Leadership Energy Environment Design), l'outil américain, est majoritairement appliqué aux Etats Unis, mais difficilement exportable car adapté aux réglementations américaines. L'approche d'évaluation est subjective et les coefficients d'évaluation arbitraires. On retrouve néanmoins cette certification dans de nombreux pays (USA, Mexique, Brésil Japon, Italie, Espagne, Emirats Arabes Unis, Australie, Chine et Corée).

**GBTTool**, d'origine canadienne, est complet, en libre accès Internet, très complexe et plutôt réservé à des experts. Il traite des phases de conception (APD et projet) et d'exploitation.

**BREEAM**, l'outil anglais, est l'un des premiers apparus. Il est très utilisé en Angleterre et au Canada ; développé par le Building Research Establishment, cet outil a une approche portée sur le processus de conception dans les toutes premières phases, lors de l'esquisse. Il est basé sur la méthode descendante à points de type diagnostic environnemental. L'outil prend en compte management, énergie, matériaux, confort, transport, implantation, pollution atmosphérique. Son atout majeur est sa clarté. Sa faiblesse, comme toutes les méthodes d'évaluation basées sur l'état des connaissances des impacts environnementaux des composés, réside dans la prise en compte partielle des sources amenant à un impact environnemental, ainsi qu'à l'état d'avancement encore approximatif des bases de données des facteurs d'impacts environnementaux, variables d'un environnement à un autre, d'une espèce vivante à l'autre, ...

Les bases de données source de ces outils sont mises à jour au fur et à mesure des avancées de connaissances.

**CASBEE**, (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) le dernier né japonais, reprend les principes de l'outil LEED. Il est basé sur un rapport entre impacts environnementaux extérieurs/intérieurs, et introduit la notion de culture et de caractère régional de la construction. Cet outil couvre les quatre champs d'évaluation suivants: (1) Efficacité énergétique, (2) Efficacité des ressources (matières premières), (3) Environnement local et (4) Environnement. Ces quatre champs sont en grande partie identiques à ceux des cibles des outils d'évaluation existants au Japon et à l'étranger. Cependant, ils ne représentent pas nécessairement les mêmes concepts.

**ESCALE**, l'outil français présenté au GBC 2002, n'est pas accessible ni diffusé en France. Il simule au stade conception les performances attendues sur toutes les cibles (sauf la cible chantier et la cible conditions sanitaires), sans aborder les aspects de confort ou de coût.

Tableau 11 : Synthèse des outils d'évaluation des impacts environnementaux dus aux bâtiments

Spécificités de l'outil					Prise en compte des aspects liés		Support de l'outil	Phase(s) de vie d'utilisation de l'outil
Nom	Phases du cycle de vie rendue	Méthode, thème(s)	Auteurs	Pays	aux données financières	aux usagers		
Approche du SBI	Ensemble du cycle de vie	ACV, Energie, émissions	Institut de recherche sur le bâtiment	Danemark	non	non	Logiciel	Conception
ATHENA	Ensemble du cycle de vie	ACV	ATHENA Institute	Canada	non	non	Logiciel	Conception
BATIMPACT	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	SA Carat Environnement	France	non	non	Logiciel	Conception
BEPAC	Fabrication de produits - utilisation	Méthode globale	SA Fraic Maibc	Vancouver Canada	non	non	Label/certification	Conception
BREAM	Fabrication de produits - utilisation	Méthode globale	BRE	UK	non	non	Label/certification	Conception
CASBEE	Conception exploitation rénovation	Energie-émissions-matières	JSBC	Japon	non	non	Logiciel	Conception
EACB	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	Danish Building and Urban Research Institute	Danemark	non	non	Logiciel	Conception
ECO-QUANTUM	Ensemble du cycle de vie	Energie-émissions-matières	W/E Sustainable Building	Pays-Bas	non	non	Logiciel	Conception
ECOWEB	Exploitation	Energie, CO <sub>2</sub> , déchets, eau	EcoCampus	France	oui	non	Logiciel en ligne	Exploitation
EQUER	Ensemble du cycle de vie	Energie-émissions-matières	CEP, B. Peuportier	France	non	non	Logiciel	Conception
ESCALE	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	CSTB	France	non	non	Logiciel	Esquisse APS APD projet
GBTool	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	Nils Larsson	Canada	oui	non	Logiciel	Conception
Green Housing A-Z	Ensemble du cycle de vie	ACV	Univ. Utsunomiya	Japon	non	non	Logiciel	Conception
LEED	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale à points	GB Council	USA	oui	non	Logiciel	Conception
Méthode de SOCOTEC	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	SOCOTEC	France	non	non	Logiciel	Conception
OPTIMIZE	Fabrication de produits	Energie-émissions	Canadian Housing Information Centre	Canada	oui	non	Logiciel	Conception
PAPOOSE	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	Tribu	France	oui	non	Logiciel	Conception
TEAM	Construction	ACV matériaux	EcoBilan	France	non	non	Logiciel	Conception

EQUER est l'outil français de l'école des Mines de Paris. Il est commercialisé et couplé à un logiciel de simulation thermique (PLEIADES-COMFIE, développé par le CEP de l'école des Mines de Paris). Cet outil de présentation conviviale utilise la méthodologie en analyse de cycle de vie, et développe 12 indicateurs environnementaux à partir de la base de données suisse Oekoinventare [Frischknecht et *al.*, 1996] et sous forme d'éco-profil en sortie. Depuis les premiers essais réalisés pour l'exposition Ecologis, le logiciel a été utilisé pour divers projets : lycées, lotissements, bâtiments tertiaires. EQUER a aussi été appliqué dans les projets européens REGENER (intégration des énergies renouvelables) et REGEN LINK (réhabilitation de logements sociaux). Une comparaison inter modèles a été menée dans le cadre du réseau thématique PRESCO.

ECOWEB, comme nous le verrons plus précisément dans la deuxième partie, est un outil Internet de suivi type tableau de bord multi-sites pour les postes «Energies, eau, déchets », qui permet une évaluation des performances de parcs de bâtiments. Cet outil est le seul identifié à se baser sur les consommations réelles des bâtiments existants pour en réaliser une évaluation et une analyse multicritères détaillée.

### 1-3-2-2 Exemples d'évaluation de bâtiments tertiaires en exploitation

Les retours d'expériences sur les bâtiments HQE<sup>®</sup> avec une évaluation des performances environnementales annoncées à la conception restent rares. Lors des Assises de la démarche HQE<sup>®</sup> 2006, certains résultats ont été communiqués, que nous synthétisons ici avec d'autres informations que nous avons rassemblées. Par ailleurs ces évaluations détaillent rarement la méthode de calcul des indicateurs employée.

Les **tableaux 12 et 13** rassemblent les résultats des plusieurs réalisations déclarées HQE<sup>®</sup>, dont les opérations lauréates et pilotes pour la certification CSTB bâtiments tertiaires, [ADEME 2002 ; ARENE IDF 2005, Assises HQE 2006] ainsi que la synthèse des travaux réalisés via les campagnes de suivi ECOWEB [ECOCAMPUS 2004 et 2005].

Nous avons volontairement focalisé sur les bâtiments tertiaires et plus particulièrement d'enseignement dans cette synthèse.

Tableau 12 : Performances environnementales de quelques bâtiments en exploitation en France

Critère	Lycée des technologies <sup>1</sup> , Limoges Evaluation GBTool	Lycée Jacquard Caudry <sup>1</sup> Région NPDC Evaluation GBTool	Lycée technique Léonard de Vinci <sup>1</sup> , région NPDC Evaluation GBTool	Lycée Jean Perrin <sup>2</sup> , (95) Ratios d'émissions d'EDF	Résidence Saint Exupéry <sup>1</sup> à Verberie Evaluation GBTool
Densité	15,1 m <sup>2</sup> /pers	12,5 m <sup>2</sup> /pers	12,4 m <sup>2</sup> /pers	14,3 m <sup>2</sup> /pers	21,9 m <sup>2</sup> /pers
Consommation annuelle d'énergie finale	88 kWh/m <sup>2</sup>	73 kWh/m <sup>2</sup>	91 kWh/m <sup>2</sup>	189 kWh/m <sup>2</sup>	188 kWh/m <sup>2</sup>
Emission de CO <sub>2</sub> kg eq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	15,21	12	15	41,9	34,7
Emission de SO <sub>2</sub>	0,016 kg/m <sup>2</sup>	6,8 kg/m <sup>2</sup>	8,7 kg/m <sup>2</sup>	nd	0,03 kg/m <sup>2</sup>
Emission de NO <sub>x</sub>	0,023 kg/m <sup>2</sup>	11,9 kg/m <sup>2</sup>	15,2 kg/m <sup>2</sup>	nd	0,05 kg/m <sup>2</sup>
Emission de CH <sub>4</sub>	0,092 kg/m <sup>2</sup>	0,033 kg/m <sup>2</sup>	0,042 kg/m <sup>2</sup>	nd	0,21 kg/m <sup>2</sup>
Emission de particules	nd	1,2 g/m <sup>2</sup>	1,5 g/m <sup>2</sup>	nd	nd
Consommation d'eau	3,5 m <sup>3</sup> /pers	2,1 m <sup>3</sup> /pers	2,4 m <sup>3</sup> /pers	nd	40 m <sup>3</sup> /pers
Déchets radioactifs	nd	nd	nd	43 kg/an	nd
Dépenses	nd	nd	nd	8,6 €/m <sup>2</sup>	nd

<sup>1</sup> ADEME, 2002      <sup>2</sup> ARENE IDF 2005      nd : non disponible

Note : La production de déchets radioactifs est liée à la consommation d'électricité d'origine nucléaire.

Nous remarquons une grande disparité des ratios, que cela soit par surface ou en fonction des effectifs. Le **tableau 13** rassemble des ratios d'émission de CO<sub>2</sub>, de consommation prévisionnelle d'énergie et de coût pour plusieurs bâtiments tertiaires. Là encore nous observons une disparité importante des données. Les émissions de CO<sub>2</sub> s'échelonnent de 13 à 18 kg eq CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>.an), la consommation d'eau de 230 à 760 l/(m<sup>2</sup>.an), la consommation d'énergie finale de 60 à 220 kWh/(m<sup>2</sup>.an). La part du budget consacrée à la qualité environnementale de l'opération varie de 5 à 10 % du budget total.

**Tableau 13 : Liste des opérations certifiées au 28/02/2006**

Opérations	Type d'ouvrage	Conso. prévisionnelle d'énergie finale kWh/(m <sup>2</sup> .an) <sub>SHO</sub> N	Emission de CO <sub>2</sub> kg eq CO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> .an) <sub>SHON</sub>	Consommation prévisionnelle d'eau potable l/(m <sup>2</sup> .an) <sub>SHON</sub>	Part du budget consacrée à la qualité environnementale
A4C (Paris 13 <sup>ème</sup> )	Bureaux	222,2	17,8		
Bâtiment 270 (Aubervilliers, 93)	Bureaux		15,1	253	
Immeuble Boulogne-Billancourt (92)	Bureaux Commerces	61,6	13	759 (RIE compris)	
Centre de relations clients Printania (Bourges, 18)	Bureaux	141,12	15,6		5 %
Crédit Agricole d'Ille et Vilaine (St Jacques de la Lande, 35)	Bureaux				9 %
Lycée de Chevilly Larue (94)	Enseignement				10 %
Pôle administratif de la Ville des Mureaux (78)	Bureaux	90 (simulation)	15,6	383	4 %
Siège de la Holding Bouygues SA (Paris 8 <sup>ème</sup> )	Bureaux	184,8			
Tour Granite (La Défense, 92)	Bureaux	191	15,8	231	
Tour Olivier de Serres (Paris 15 <sup>ème</sup> )	Bureaux		17	412	
Collège Jean-Claude Izzo (Marseille, 13)	Enseignement	79	7,6	269	
Equipement culturel (Fontaine, 38)					
Faculté des Sciences Economiques, Sociales et Juridiques (Mulhouse, 68)	Enseignement	234	19	931	3,5 %
Lycée Carnot site Sampraix (Roanne, 42)	Enseignement	112,4 (moyenne)	27		
Nouvel hôpital d'Alès (Alès, 30)		192,4	26	36 022 m <sup>3</sup> /an	

Nous observons des différences d'évaluation assez marquées, en particulier pour les émissions de dioxyde de soufre. Les méthodes d'évaluation ne sont pas précisées et peuvent être très différentes, de même que l'origine de l'énergie.

Il reste donc aujourd'hui difficile d'avoir une idée correcte de la performance d'un bâtiment, et il n'y a pas encore de consensus sur les méthodes d'évaluation ; cependant la problématique émerge et des efforts d'affichage sont réalisés.

En région Aquitaine, un effort important de suivi des parcs bâtis a débuté via les travaux de la cellule ECOCAMPUS, que nous abordons ici.

Cette structure a développé un outil Internet de suivi en temps réel des performances eau énergie et déchets de parcs de bâtiments tertiaires, ECOWEB. En 2002 la campagne d'audit et de suivi de 137 lycées publics de la Région Aquitaine débutait. Les coûts et consommations permettent de classer les bâtiments sur une échelle de type benchmarking basé sur l'existant, noté de A à G (explicités en deuxième partie, A pour excellent et G pour très mauvais). L'outil permet de faire apparaître les bâtiments prioritaires, pour : soit un diagnostic approfondi, soit l'application des actions de préconisation délivrées par l'outil. Les lycées sont classés en 8 types, représentant 1,9 millions de m<sup>2</sup> :

- ✓ Lycée Professionnel (LP)
- ✓ Lycée Général et Technologique (LGT)
- ✓ Lycée Général (LG)
- ✓ Lycée Technique (LT)
- ✓ Lycée Polyvalent (LPOL)
- ✓ Lycée Enseignement Adapté (LEA),
- ✓ Lycée Professionnel Agricole (LPA),
- ✓ Lycée Enseignement Maritime (LEMA)

Nous présentons les principaux résultats de cette campagne pour le type LG, résumés dans le tableau 14. Ainsi le **tableau 14** exprime ici que, sur le parc des 137 bâtiments de lycées évalués par l'outil, pour les 24 sites de lycées généraux (LG), le prix moyen des postes cumulés eau énergie électricité se répartit entre 3,9 et 9,19 €/m<sup>2</sup>, et que 5 de ces sites sont dans la catégorie A définie par l'outil.

Tableau 14 : Bilan de l'audit de 24 lycées publics d'Aquitaine, année 2002

24 sites LG	Valeur moyenne	Répartition
Prix moyen au m <sup>2</sup>	5,9	3,9 à 9,19 € TTC/m <sup>2</sup>
% du budget alloué à l'énergie (gaz, bois, fioul)	49,2 %	5 en classe A 3 en B
% du budget alloué à l'électricité	35,6 %	5 en C
% du budget alloué à l'eau	15,2 %	8 en D
Coût par élève €TTC/élève/an	117	2 en E 0 en F 1 en G
Consommation d'énergie chauffage	68	58 à 78 kWh /m <sup>2</sup>
Consommation d'électricité	27	25 à 30 kWh/m <sup>2</sup>
Consommation d'eau	3,75	3,2 à 4,5 m <sup>3</sup> /pers

L'outil permet de réaliser une projection des économies réalisables, qui montre un gain de 4,5 M d'euros pour l'ensemble des 137 lycées, sur 4 ans d'exploitation.

Notons que ces chiffres ne prennent pas en compte le poste déchets.

Ces analyses ont également été réalisées sur les bâtiments de :

- l'Université Bordeaux 1, et d'autres universités (5 universités participant au programme MDE-CAMPUS [Lagière P., De Baudreuils., 2004])
- les bâtiments de la ville de Pessac,
- les logements collectifs de Gironde Habitat,
- le parc régional Périgord Limousin,
- les collèges des Hauts de Seine,
- etc.

### 1-3-3 Synthèse et analyse des outils existants

L'évaluation d'un objet ou l'évaluation comparative de plusieurs objets, ici de bâtiments en exploitation, dépend d'une part des objectifs de l'utilisateur de l'évaluation, donc de ses critères de décision, et d'autre part de l'identification et de la définition des sources ou effets environnementaux que l'on désire considérer.

Les méthodes « à points », (BREEAM, LEED), opérationnelles depuis une dizaine d'années, permettent d'obtenir des points selon les actions réalisées en faveur de l'environnement à l'occasion d'un projet de bâtiment. Il n'y a pas de point de passage obligé, ce qui peut être vu comme un avantage de simplicité, mais on pourrait critiquer le fait qu'on additionne des concepts totalement différents, sans rapport entre eux. De plus l'utilisateur peut être tenté de sélectionner les points les plus faciles dans le référentiel pour obtenir une note élevée.

Pour l'outil GBTool, il ne s'agit pas d'une certification par tierce partie, mais d'une auto-évaluation du projet par son maître d'ouvrage. Les spécificités de la méthode BREEAM sont d'une part la référence à 7 secteurs plutôt que 14 cibles, et d'autre part la comparaison à une référence (choisie par le Maître d'Ouvrage) et exprimée en pourcentage, ce qui permet une évaluation relative mais qui reste subjective au choix de la référence. De plus les techniques d'évaluation élémentaires utilisées, c'est-à-dire l'évaluation d'un effet ou d'un impact selon un critère, ne sont pas toujours désignées dans les outils (cas du GBTool par exemple).

Les outils basés sur l'analyse en cycle de vie sont plus holistiques (EQUER), mais font appel à des inventaires et des bases de données complexes et encore incomplètes. Pour une évaluation des impacts environnementaux potentiels, ils présentent cependant la qualité méthodologique d'être impartiaux et de considérer *a priori* (en l'état des connaissances) tous les effets possibles pour une variante d'un projet.

Cependant, les outils PAPOOSE, EQUER, ESCALE et TEAM, appliqués à une même opération, donnent des résultats encore assez divergents [Nibel, 1999]. Des travaux plus récents [Peuportier *et al.*, 2004], montrent des écarts de plus ou moins 10% sur les indicateurs environnementaux comme les émissions de gaz à effet de serre pour les cas étudiés.

De plus, certains de ces outils sont actuellement relativement complexes d'abord et d'utilisation.

Un frein majeur de ces outils est le degré de connaissance que la communauté scientifique a sur les relations complexes et diverses, de source à effet, puis des impacts environnementaux. Le degré de confiance sur les facteurs d'impacts environnementaux [Frischknecht *et al.*, 1996] actuellement disponibles est en constante évolution et laissent encore des incertitudes importantes.

Un autre frein est la spécificité de certains outils au contexte réglementaire, politique et environnemental de leur pays d'origine pour leur application à l'étranger. Une adaptation des référents est alors nécessaire (BREEAM, LEED).

Ces constats amènent à soulever le problème de la nécessité d'une procédure de concertation pour le développement de méthodes d'évaluation de la qualité environnementale (QE) des bâtiments, pour des finalités aussi diverses que l'aide à la décision pour la conception et l'adaptation de bâtiments ou leur qualification.

Nous résumons les manques qui apparaissent de cette synthèse des méthodes d'évaluation :

- Les outils d'évaluation sont nombreux pour la phase de conception, et l'état des connaissances des facteurs d'émission et des effets à l'environnement progresse. La méthodologie ACV semble la plus rigoureuse en la matière, même si elle ne permet pas de prendre en compte les critères qualitatifs d'une vie de bâtiment : bruit, esthétique, confort thermique, ... On peut cependant imaginer la combiner avec d'autres méthodes.
- La phase d'exploitation du bâtiment est souvent modélisée suivant des scénarios d'usages dans les outils d'évaluation disponibles, mais peu d'entre eux se préoccupent spécifiquement de la phase d'utilisation par une évaluation terrain.
- Les outils disponibles semblent encore complexes d'utilisation.

## 1-4 Objectifs de ce travail

Ce travail s'inscrit dans la lutte contre le changement climatique, dans la gestion optimisée de l'énergie, de l'eau et des déchets, dans la lutte contre les pollutions, et dans la **prise de conscience des impacts des activités humaines** sur la biosphère, depuis le niveau local jusqu'au niveau planétaire.

*Destinataires des résultats et applications prévues de la méthode*

Elle peut être appliquée par des structures privées ou publiques, et pourra être utile :

- dans la mise en œuvre des référentiels de constructions ou rénovation HQE<sup>®</sup>,
- dans la validation des performances prévues pour des bâtiments neufs,
- dans le cadre de la politique de constructions et habitats,
- et de la politique de management environnemental des bâtiments.

Les destinataires de cette **méthode d'évaluation** sont principalement les gestionnaires et les usagers des bâtiments, mais aussi le secteur de la recherche, les organismes responsables de l'édification des références réglementaires de performances environnementales, les agences d'architectes et bureaux d'études. La vérification des performances environnementales est de plus en plus demandée par les concepteurs et les gestionnaires.

L'utilisation principale est celle de l'aide à la décision pour les gestionnaires, acteur central des réglages majeurs sur le bâtiment, et de support de sensibilisation et d'information pour les occupants des bâtiments, deuxièmes acteurs dans les performances d'un bâtiment en phase d'**exploitation**, de par leurs actions et leurs exigences de confort.

### **Construction d'une méthode d'évaluation de bâtiments tertiaires en phase d'exploitation**

Le bâtiment a des impacts environnementaux majeurs sur l'environnement et constitue un secteur d'intervention prioritaire de diminution des émissions de gaz à effet de serre et autres polluants. Si la phase de conception est déterminante sur les performances environnementales potentielles du bâtiment, [Chatagnon, 1999], la gestion du parc existant représente la problématique actuelle majeure, et cela pour une durée conséquente étant donné le faible renouvellement du parc. Il est cependant difficile d'intervenir sur les habitudes des occupants. Les gestionnaires sont en revanche plus sensibles aujourd'hui aux problèmes environnementaux.

Il est important pour eux de pouvoir évaluer les bâtiments dont ils ont la responsabilité et la charge. Ils sont responsables des choix de gestion (réglages chauffages, ventilation, rénovations, investissements, choix des prestataires et cahiers des charges, etc.), ils sont également au centre des campagnes d'information et de sensibilisation pouvant être menées sur leurs bâtiments.

Nous avons ici construit une méthode d'évaluation des performances environnementales d'un bâtiment tertiaire en phase d'exploitation, que nous avons enrichie de paramètres de performances de gestion et d'usages afin d'identifier la source éventuelle des performances d'un site évalué.

Nous avons baptisé notre méthode OPALE, pour Optimisation des Performances par des Actions de Limitations d'Emissions.

Les objectifs sont aussi de :

- vérifier les véritables performances des bâtiments conçus selon la démarche phare française d'intégration de critères environnementaux au bâtiment,
- retirer des bâtiments exemplaires des enseignements pour les préconiser aux bâtiments traditionnels, c'est à dire la quasi-totalité du parc bâti français et le véritable enjeu, des préconisations d'usage et d'exploitation amenant des impacts environnementaux amoindris.

En résumé, les objectifs directs visés par ce projet sont :

- le développement d'un nouveau système permettant l'évaluation de la Qualité Environnementale (QE) et l'optimisation de la gestion du bâti, en regardant attentivement les liens usages - impacts environnementaux,
- le suivi du couplage des cibles écogestion / confort s'inscrivant dans la démarche Haute Qualité Environnementale,

- la mise en oeuvre d'une nouvelle technologie de capteurs de suivi du comportement d'un bâtiment, le système Ecosys, comprenant le capteur TEHOR,
- la construction d'un outil, à terme exploitable, développé en lien et pour les maîtres d'ouvrage et maîtres d'oeuvre régionaux.

Par ces travaux nous souhaitons développer un outil d'évaluation du bâtiment en phase d'exploitation, simple à mettre en oeuvre, focalisant sur les fluides quantifiables, la maintenance et les aspects liés à l'usage et au confort.

Le cahier des charges de cet outil est de :

- développer une série d'indicateurs de performances hétérogènes et explicites pour les utilisateurs de la méthode
- rester exhaustif (globale et multicritères) et impartial dans les indicateurs environnementaux développés
- être applicable aux bâtiments tertiaires, en particulier d'enseignement et aux bâtiments de bureaux,
- proposer un management d'usage adaptable, évolutif, et **reproductible à tout type de bâtiment tertiaire**
- **d'améliorer les performances en terme d'impacts environnementaux** dus à l'exploitation des bâtiments par l'utilisation d'un outil permettant d'opérer une rétroaction sur les préconisations de gestion et d'usage du bâti, et d'amener des critères forts à prendre en compte dans la conception, en particulier dans la phase de programmation,
- enfin pouvoir évoluer en fonction des connaissances, en particulier des facteurs d'émission à l'environnement.

Les enjeux sont entre autre la validation de la mise en oeuvre des méthodes de conception selon la démarche HQE<sup>®</sup>, et l'amélioration des performances environnementales non seulement des bâtiments HQE<sup>®</sup> mais de tout type de bâtiment, la méthode se voulant duplicable sur toute construction, en neuf ou en existant.

D'autres gains implicites sont à noter, et sont importants, bien que difficilement chiffrables :

- un meilleur confort ou une meilleure productivité, suite aux préconisations d'usage ou/et d'équipements,
- une meilleure santé,
- une plus longue durabilité des bâtiments,
- une meilleure image pour le gestionnaire par une réelle implication et des actions de terrain en accord avec le développement durable.

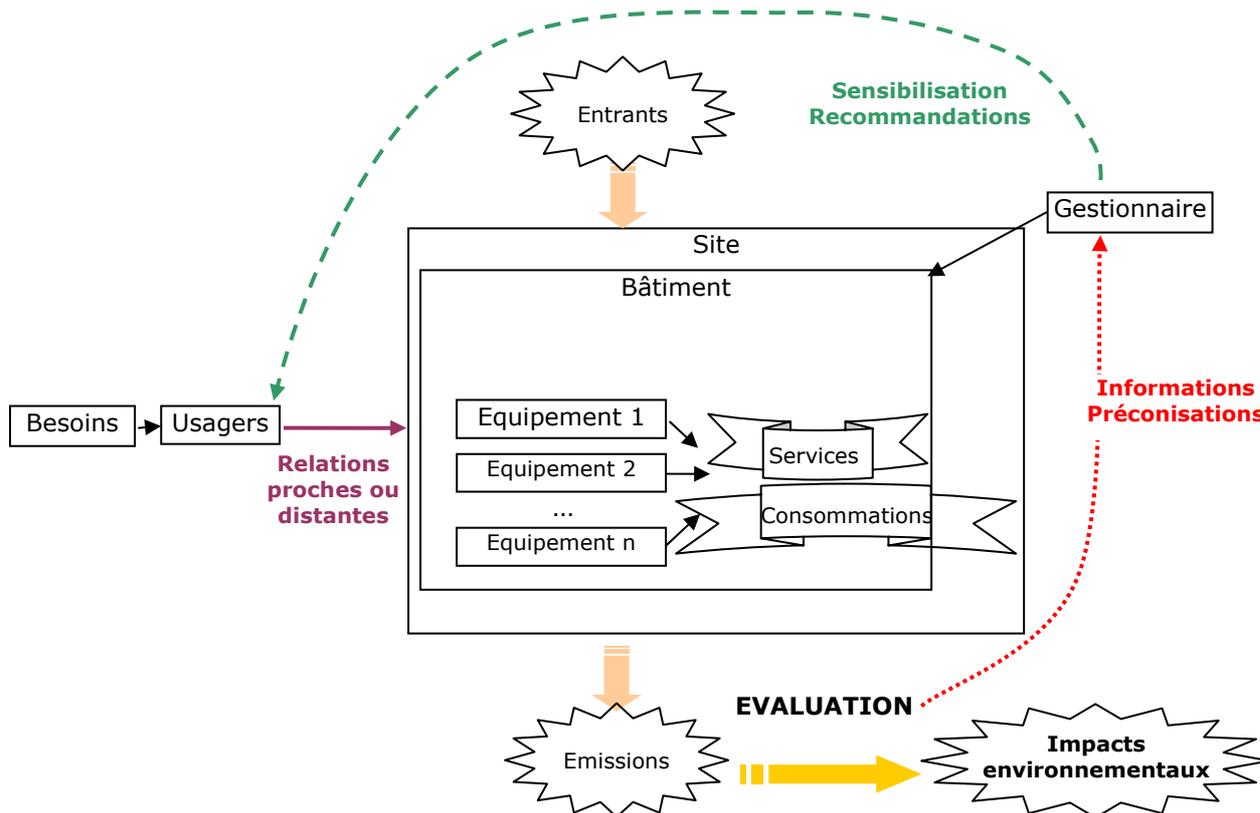
### **Utilisation de la méthode d'évaluation dans le management d'usage : tableau de bord et sensibilisation**

L'objectif « descendant » de la méthode d'évaluation est qu'elle soit aussi percutante et claire que possible pour pouvoir, moyennant une présentation adaptée, informer le gestionnaire et sensibiliser l'occupant, pour entraîner des changements d'habitude, et optimiser les gestes d'utilisation des services du bâtiment.

La **figure 13**, illustre les relations investies par la méthode d'évaluation depuis les acteurs intervenant dans la phase d'exploitation et les impacts environnementaux, en cheminant par l'utilisation et la gestion du bâtiment, de ses systèmes, et de ses occupants. L'utilisateur va, dans le cadre du bâtiment qu'il occupe, se préoccuper de la tâche pour laquelle il est présent, et utiliser plus ou moins efficacement dans ce but les services du bâtiment (équipements, eau, consommables, ...).

L'utilisation de ces services va, via les indicateurs de l'évaluation, amener de nouvelles informations, à la fois au gestionnaire et à l'utilisateur. Nous pouvons représenter ces informations comme transitant par le bâtiment ou l'équipement et depuis l'entrée (la ressource matérielle, énergétique, informationnelle) vers la sortie (émissions à l'environnement, informations données par la méthode que l'on a pour objectif de développer).

Figure 13 : Couplage évaluation et retour d'information vers les acteurs de la phase d'exploitation



L'utilisation des équipements ou d'un local du bâtiment relève de plusieurs niveaux d'implication, en fonction de l'aspect collectif ou individuel du service sollicité, le premier faisant moins appel à la vigilance et à la responsabilité des utilisateurs. Le **tableau 15** rassemble ces différents niveaux. L'action directe est physiquement déclenchée par l'utilisateur, l'action indirecte est automatisée dans le bâtiment et gérée par le gestionnaire.

Tableau 15 : Degré d'implication de l'utilisateur dans la consommation d'un service du bâtiment

Nature de l'action	Individuelle ie dépendant d'un seul utilisateur	Partagée	Collective
Directe	Convecteur personnel Informatique personnelle Entretien Eclairage personnel Cuisine personnelle WC Lumière dans certains cas	Impressions et copies Fax Cuisine du personnel Volets roulants électriques	Eclairage des circulations Pompes du système de chauffage
Indirecte	Utilisation personnelle de consommables (papier, ..)	Chauffage ou climatisation de la pièce	Eclairage public Ventilation ECS Equipements de sécurité

D'après [Devel, 2002]

L'action individuelle signifie dépendant d'un seul individu, mais elle peut être destinée à plusieurs individus. Par exemple l'action d'entretien ne dépend que d'une personne par zone, mais est destinée à l'ensemble des utilisateurs, contrairement à l'utilisation d'un convecteur personnel.

Ces informations seront importantes pour l'objectif de prise de conscience des impacts environnementaux dus aux actes quotidiens de chacun.

## **Validation expérimentale d'un outil de suivi des performances énergétiques d'un bâtiment : le système Tehor-EcoSys**

La construction de la méthode a été réalisée sur la base, pour partie, de mesures faites par un nouveau système de mesure et de suivi des paramètres énergétiques et d'ambiance interne, développé dans un précédent travail de recherche [Devel, 2002]. Notre objectif était donc de valider la mise en œuvre et l'utilisation de ce nouveau système, comprenant la partie capteurs (capteurs TEHOR) et la partie logicielle (logiciel d'acquisition et de traitement ECOSYS).

## **Passage de l'application de la méthode à l'échelle du patrimoine**

La méthode d'évaluation s'applique à un bâtiment pour une année, et propose des indicateurs de performances environnementales.

L'objectif est d'intégrer certains de ces indicateurs environnementaux à un outil de suivi des performances d'un patrimoine de bâtiments. Le but est de donner au gestionnaire des indications afin d'améliorer la gestion de son parc de bâtiment sur une gamme de critères un peu plus large que le secteur énergétique. Une possibilité d'application est discutée, sur l'outil de suivi en ligne des performances énergétiques ECOWEB.



---

## **Deuxième partie : Construction d'une méthode d'évaluation des performances environnementales d'un bâtiment en exploitation**

---

Nous avons décrit dans la première partie les problématiques environnementales liées aux constructions, et positionné l'importance prépondérante de la phase d'exploitation des bâtiments existants. Nous avons positionné ce travail sur une évaluation des performances de l'ensemble bâtiment-usagers-gestionnaires, pour des bâtiments tertiaires de type enseignement scolaire.

Le bilan des outils existants nous a permis d'identifier les manques correspondant à la phase d'exploitation et les adéquations avec les acteurs de terrain. Nous avons ainsi posé les objectifs de ce travail.

Dans cette deuxième partie nous nous attachons à définir les frontières du système évalué, la portée des indicateurs environnementaux proposés. Nous présentons les choix de méthode adoptés pour la construction des indicateurs, ainsi que leurs règles d'agrégation en thèmes d'évaluation. Enfin, une étape clé dans toute méthode d'évaluation est développée : la construction des échelles d'évaluation, ou référentiels.

<i>2-1 Le système « bâtiment / usagers »</i> .....	65
<i>2-2 Organisation de la méthode d'évaluation</i> .....	69
<i>2-3 Détermination des indicateurs et de leurs référentiels</i> .....	80
<i>2-4 Synthèse</i> .....	120
<i>2-5 Extension : introduction d'indicateurs environnementaux à l'échelle d'un patrimoine..</i>	122



## 2-1 Le système « bâtiment / usagers »

### 2-1-1 Définition des frontières du système

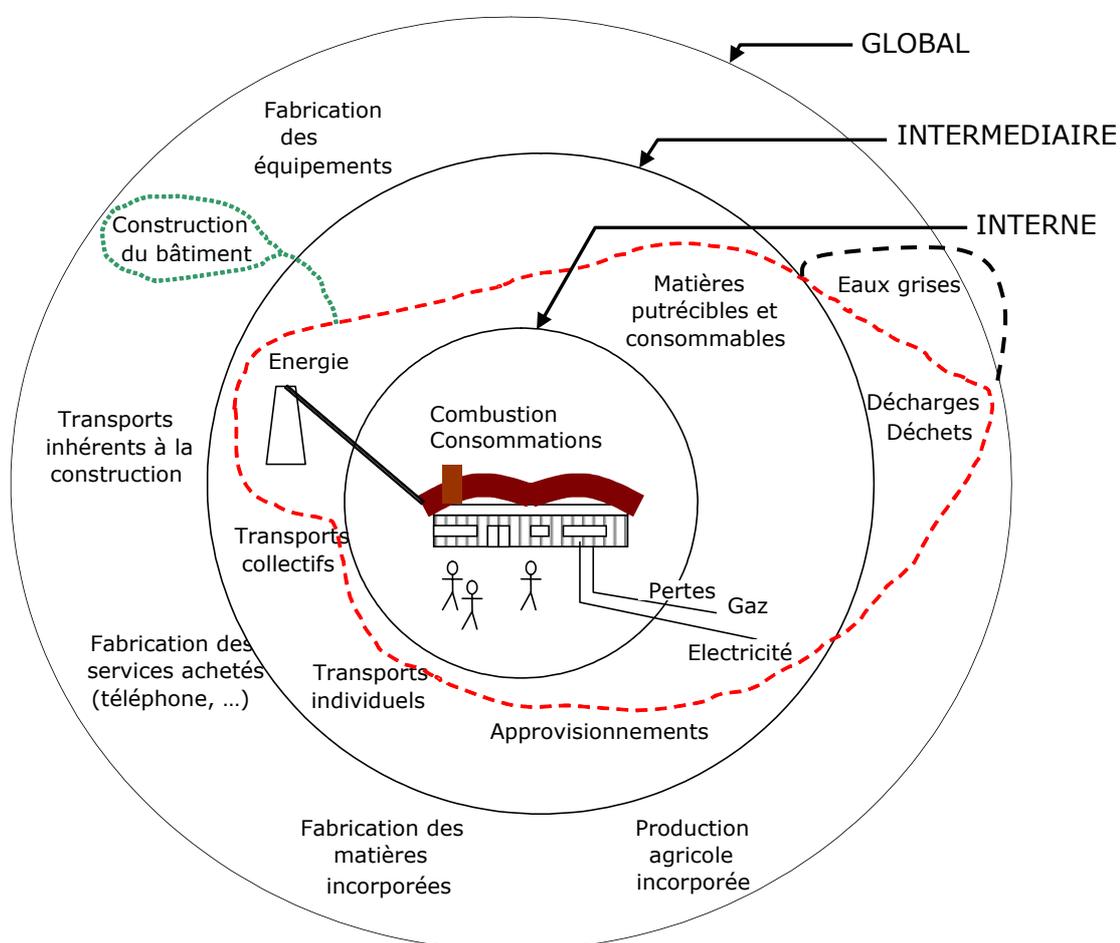
Dans l'optique d'une évaluation environnementale d'un objet, nous pouvons nous placer à trois niveaux d'étude par rapport à cet objet. Ces trois niveaux sont représentés sur la **figure 14**, issue de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME [ADEME, 2005].

1) La prise en compte de tous les entrants et sortants, directs et indirects, c'est-à-dire la connaissance du système complet depuis le bâtiment lui-même jusqu'aux impacts dus à la fabrication des matériaux, leur transport, les services connexes, ... correspond au niveau global. C'est un niveau très complexe pour un système comme le bâtiment et ses usagers.

2) Le niveau intermédiaire prend en compte les entrants et sortants du système avec les systèmes de production et traitements ultérieurs des rejets (déchets, effluents liquides principalement, et résidus d'UIOM).

3) Enfin, les entrants et sortants seuls et directs par rapport au système définissent le niveau interne.

Figure 14 : Niveau d'étude de l'objet



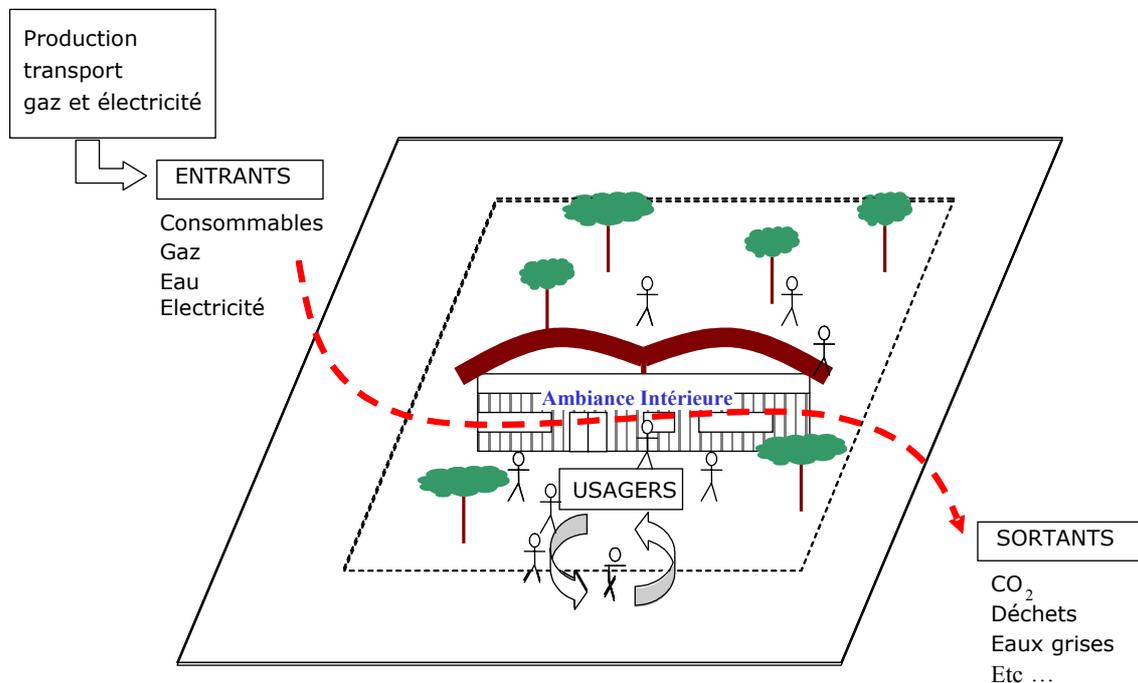
Nous nous positionnons à un niveau semi intermédiaire (correspondant au périmètre en pointillés), étant donné que nous étudions la phase d'exploitation (la phase de construction n'est pas prise en compte). Les frontières sont cependant légèrement variables en fonction des données disponibles sur l'ACV de chaque indicateur.

Les transports ne sont pas pris en compte. En effet, les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux transports sont en général du même ordre, voire supérieures, à celles de l'activité du bâtiment en propre, ce qui ne permet pas une comparaison des performances de gestion d'un bâtiment à l'autre.

Néanmoins la liste des préconisations de bonnes pratiques comportera les modes de déplacements non motorisés ou collectifs.

La **figure 15** représente le système étudié. L'impact de la construction n'est considéré étant donné que nous considérons la phase d'exploitation.

Figure 15 : Système « bâtiment-usagers »



Sont pris en compte dans l'évaluation et comme précisés par la suite : la fabrication et le transport de l'énergie (ici gaz et électricité), l'eau, les consommables, les déchets d'activité, leur traitement, les déchets radioactifs, les eaux grises (hors rejets humains, indépendants du bâtiment), les rejets à l'atmosphère.

### Flux pris en compte

Plusieurs méthodes peuvent être employées pour évaluer les émissions à l'environnement d'un système. La méthode qui semble aujourd'hui la plus complète et présentant donc le moins de risque de 'déplacements' de pollutions est l'analyse en cycle de vie, comme précisé en première partie.

Nous avons pris en compte dans notre étude des coefficients d'émissions à l'environnement le plus fidèles possible à la méthodologie ACV. Cependant pour certains indicateurs, comme la pollution de l'eau, cela s'est avéré difficile. L'objectif est aussi de pouvoir évaluer un bâtiment par rapport à une référence, ici un ensemble de bâtiments existants. Donc, même si pour certains indicateurs d'émissions, toutes les étapes du cycle de vie de l'objet considéré (par exemple un litre de lessive ou un m<sup>3</sup> de gaz), ne sont pas prises en compte, le méthode permet toujours de comparer un bâtiment à un autre.

Deux principes régissent la méthode :

- le principe d'impartialité, pour prendre en compte tous les aspects positifs ou négatifs des entrants considérés,
- le principe de précaution, par lequel on tient compte d'une émission, même si les effets environnementaux qui lui sont relatifs ne sont pas encore avérés, ou si les facteurs d'émission connus ne prennent pas en compte toutes les phases de vie de l'unité d'énergie ou de matériau analysé par exemple [Gauthier *et al.*, 2004].

La méthode arrive donc à l'apparente incohérence de présenter certains indicateurs d'émission prenant en compte plus d'étapes de leur cycle de vie que d'autres indicateurs. Par exemple, pour le poste consommation de gaz, le cycle de vie de production et consommation du gaz est pris en compte par les facteurs d'émissions que nous utilisons, mais pour les déchets d'activités les facteurs d'émission ne concernent que la phase de destruction. La base de données de facteurs d'émission utilisée, extraite de [Frischknecht *et al.*, 1996] dans l'outil EQUER, ne contient pas en l'état actuel tous les facteurs d'émissions pour toutes les phases de vie des matériaux ou types d'énergie répertoriés. Cependant, malgré les différences de définition des indicateurs, la comparaison des bâtiments entre eux et l'évaluation sont réalisables.

De plus, évaluer les impacts environnementaux eux-mêmes, c'est-à-dire les effets sur les différents composants de l'environnement, dans leur nature et dans leur amplitude, est une tâche très complexe. Elle dépend des composés émis, de leurs quantités, de leur interactivité, de la réceptivité du système et de chaque organisme. En l'état des connaissances, évaluer les impacts à l'échelle d'un bâtiment reste relativement peu exact. Ceci est vrai par exemple pour les impacts dus aux émissions de gaz à effet de serre, ou l'incertitude sur les quantités émises est proche de 18 % [CITEPA, 2005]. De plus, il est hasardeux voir impossible de synthétiser les différents impacts possibles.

L'évaluation ne pourra s'arrêter aux seuls impacts environnementaux. Le bâtiment est une somme d'interactions avec les usagers, les systèmes techniques, ainsi qu'avec tous les fluides qui y transitent et s'y transforment. Ce n'est pas un système opérant linéairement d'une cause à un effet, il est soumis à de multiples phénomènes de régulation ou de mauvais réglages, qui peuvent être de nature technique, et aller jusqu'aux aspects psychologiques soutenant certains comportements. Pour rendre compte de ces phénomènes, la méthode d'évaluation intègre par conséquent, de façon simple, les régulations des systèmes, les usages, la communication entre gestionnaire et occupants.

## 2-1-2 Spécificités d'un bâtiment d'enseignement scolaire

La méthode développée dans ce travail s'adresse dans son ensemble au bâtiment tertiaire. Cependant le travail présenté est s'appuie sur des établissements d'enseignement scolaire. Nous introduisons ici les spécificités de ce type de bâtiment.

Un bâtiment scolaire (école maternelle et primaire, collège, lycée) est destiné à l'accueil et à l'éducation scolaire d'enfants de 3 à 6 ans (maternelle), 6 à 12 ans (primaire). Il doit donc offrir les conditions favorables à l'apprentissage des enfants et au travail du corps enseignant.

Définir des indicateurs de performance d'un bâtiment veut dire avoir bien répertorié les fonctions que le bâtiment doit remplir pour les usagers. Nous nous sommes donc penchés en priorité sur les besoins des enfants dans leur bâtiment d'enseignement.

L'organisation spatio-temporelle est importante et doit répondre aux besoins spécifiques des enfants, de 3 à 6 ans sur une maternelle : besoins physiologiques, psychologiques, support et cadre pédagogique du bâtiment.

La plupart de ces besoins vont être traduits par les indicateurs de qualité de vie (acoustique, visuel, thermique, qualité de l'air par exemple) ; ces indicateurs seront basés sur des mesures ainsi que sur l'enquête réalisée auprès des jeunes utilisateurs des locaux.

Le **tableau 16**, s'inspirant d'un travail de la mission départemental de la ville de Créteil, permet de lister les éléments importants à prendre en compte dans l'évaluation du bâtiment.

Tableau 16 : Fonctions que le bâtiment doit remplir pour répondre aux besoins des 3/6 ans

Besoins des enfants		Conséquences organisationnelles
Besoins physiologiques	Repos	Existence de coins confortables Aménagement de dortoirs Respect du rythme des enfants
	Propreté	Toilettes et sanitaires accessibles Dimensionnement à l'échelle de l'enfant, hors du passage direct des autres Eviter les gênes et respecter l'intimité des enfants Mise en place de chasses et robinets claires et solides
	Ambiance thermique	Maintien d'une température et d'une humidité adaptée à l'activité de l'enfant : 20 à 22 °C en classe, atelier, salle de garderie, 19°C en dortoir, 19°C en salle d'évolution
	Ambiance Visuelle	Assurer un bon éclairage avec un apport optimal de lumière naturelle
	Qualité de l'air	Renouvellement de l'air adapté : - ventilation forcée en hiver, - ventilation naturelle en été, - taux de CO <sub>2</sub> à maintenir en dessous de 1000 ppm Gestion des ouvrants en cas de circulation intense à proximité de l'école Demande d'aménagement des voies de circulation Interdiction des brûlages dans les quartiers aux alentours, ...
Besoins moteurs	Mouvements	Espaces propices à une circulation intense des enfants Existence de salle(s) spécifique(s) : éducation physique, relaxation, avec mise à disposition de matériel varié
Besoins psychologiques	Sécurité affective	Aménagements permettant l'établissement de repères dans l'espace et le temps ( <i>casiers personnalisés pour les affaires, portes manteaux avec des crochets efficaces, recoins aménagés, éclairages variables, ...</i> )
	<i>Entrer en relation avec les autres</i>	<i>Aider l'enfant dans la construction de son identité. Se connaître, connaître les autres. Bonne acoustique des locaux.</i>
	Jeux seul / avec les autres	Installation de coins de jeux variés et adaptés Aménagements intérieurs permettant la formation de petits groupes ou le décroisement (mise en grands groupes avec les autres classes). Aménagements extérieurs pour les jeux d'eau ou de graine
Besoins d'apprentissage	Parole	Acoustique adaptée. Locaux permettant des situations favorisant les échanges : groupes et ateliers de langage, coins jeux... Bibliothèque pour la recherche documentaire. <i>Découverte de la littérature de jeunesse, exploration d'albums, mise en réseaux des livres, des comptines, chants, jeux de mots ...</i>
	Découverte Raisonement	Locaux autorisant les enfants à chercher, à expérimenter, à valider des hypothèses, à stimuler la curiosité et à répondre au besoin de comprendre : - ateliers pour petits groupes, - espaces extérieurs aménagés, - matériaux adaptés aux usages (poinçonnages et collages en surface verticales, peinture et collages en surfaces horizontales, besoins de points d'accroches à travers la classe, ...)
	Création Imagination	Arts visuels : Surfaces, murales en particulier, permettant la mise en valeur d'œuvres d'enfants, d'artistes. Aménagement de prise de courant en hauteur : 1 point par façade de classe au minimum pour les équipements audiovisuels.

## 2-2 Organisation de la méthode d'évaluation

### 2-2-1 Définition des thèmes et des indicateurs

Pour évaluer un bâtiment, il nous faudra expliciter au préalable :

- Définir les thèmes d'évaluation ainsi que leur logique d'organisation
- Définir les indicateurs et leur expression
- Préciser les référentiels et leur domaine d'existence
- Construire une méthode d'agrégation qui permette de regrouper et d'exprimer les indicateurs en indicateurs plus globaux, ou en thème d'évaluation.

Nous définissons tout d'abord deux termes de vocabulaire récurrents de notre travail : indicateur, thème d'évaluation.

**Définition d'un indicateur** : variable synthétique et significative, utilisée pour mesurer un résultat obtenu, l'état d'un phénomène ou le déroulement d'un processus, une utilisation de ressources, une émission de polluants, un confort, une satisfaction, un critère de qualité. Un indicateur peut être une mesure, ou agréger significativement plusieurs variables. Un indicateur correspond à une période dans le temps et à un espace physique précis. Les données obtenues pour l'indicateur sont soit quantitatives soit qualitatives.

**Définition d'un thème d'évaluation** : ensemble d'indicateurs groupés pour leur cohérence de signification et selon les objectifs de l'évaluation. Un thème d'évaluation rassemble en général 4 à 6 indicateurs, quantitatifs et /ou qualitatifs. L'évaluation globale d'un thème se fera par agrégation, comme expliqué ci-après.

Les thèmes d'évaluation pourront également être agrégés en une note globale d'évaluation du système bâtiment/usagers. Cependant cette démarche entraîne la perte de beaucoup d'informations, et la méthode permettra de remonter vers le détail de chaque indicateur.

L'objet de l'indicateur est de rendre accessible et d'exprimer le sens que l'analyse des données apporte.

Il peut provenir :

- d'une ou plusieurs données combinées,
- ou d'une ou plusieurs données combinées à un ou plusieurs autres indicateurs.

Le formalisme de présentation d'un indicateur comprendra toujours :

- sa performance, exprimée sur une échelle de A à G, en référence à la nouvelle directive sur l'affichage de la performance énergétique des bâtiments, ou encore à la performance de consommation des appareils électroménagers,
- un sens d'évolution, par rapport à sa valeur précédente si elle est connue.

Un indicateur est défini dans l'espace (en ce qui nous concerne, site, bâtiment, type de local par exemple), dans le temps (mois, années, ...), et correspond à une typologie d'usagers ou de gestionnaires (occupants, entretien, administration, gestionnaires techniques).

Afin d'être facilement lisibles, les indicateurs sont classés par thèmes d'évaluation.

Les indicateurs de notre méthode d'évaluation sont des indicateurs d'EMISSION. Ils ne prennent pas en compte la sensibilité des milieux récepteurs et n'évaluent pas les effets sur ces milieux.

Par exemple l'indicateur « gaz à effet de serre » est une estimation de l'émission équivalente de CO<sub>2</sub>, mais nous n'estimerons pas l'effet (l'augmentation de la température de la troposphère), ni l'impact (changements climatiques et autres conséquences dues à l'augmentation de la température).

## Méthodologie d'agrégation des indicateurs

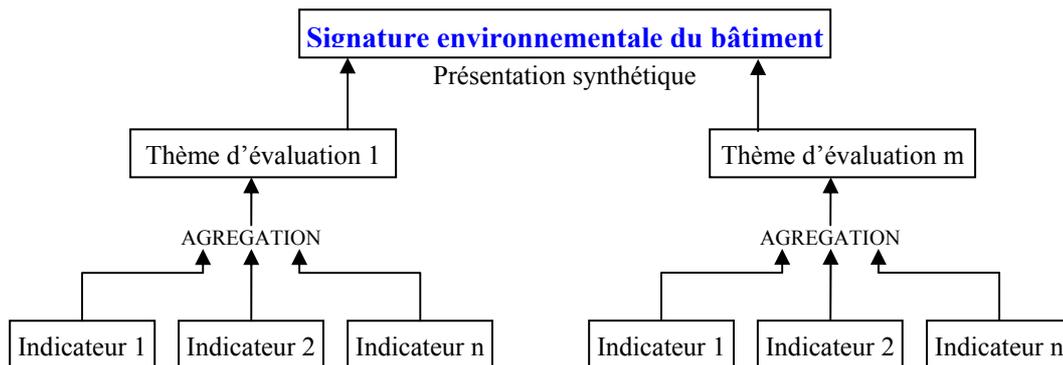
Il existe plusieurs façons de pondérer les différents indicateurs d'un thème d'évaluation :

- ✓ Sans pondération (ou isopondération)
- ✓ Avec pondération

Opérer une agrégation des différents indicateurs environnementaux introduit une perte des informations et est donc sujet à controverse. En revanche, une agrégation permet de voir rapidement si le thème évalué est globalement performant ou non.

Quand une mauvaise performance est observée, (ou une bonne), la méthode permet de descendre dans la description de la performance de chaque indicateur, comme le montre la **figure 16**.

Figure 16 : Structuration entre thèmes et indicateurs



Les indicateurs de chaque thème sont regroupés pour exprimer la performance synthétique du thème lui-même. Pour calculer la performance globale du thème, plusieurs possibilités s'offrent à nous :

- prendre en compte uniquement certains indicateurs (par exemple le coût d'exploitation est redondant avec ses sous-indicateurs),
- pondérer certains indicateurs (si le milieu dans lequel se trouve le bâtiment est très sensible aux émissions de particules par exemple),
- ou appliquer une moyenne arithmétique entre les indicateurs.

Nous avons opté pour une moyenne arithmétique, étant donné que nous n'avons pas de priorité par rapport aux critères d'évaluation développés ; mais la méthode permet d'appliquer tous les choix possibles.

En revanche nous avons évité les redondances, en particulier pour les indicateurs de coûts.

## Présentation des résultats

Les référentiels sont présentés sous la même forme que l'étiquette de performance énergétique proposée par la directive européenne de performance énergétique des bâtiments (DEPE), ce qui permet une lecture aisée et plus universelle.

Les indicateurs sont présentés dans des tableaux synthétiques, sous trois formes différentes pour les indicateurs quantitatifs :

1. donnée globale du site,
2. ratio par surface,
3. ratio par effectifs.

La représentation graphique des résultats peut revêtir différentes formes : histogrammes, courbes, graphiques polaires, ... Pour chaque thème d'évaluation nous avons fait le choix de la forme de graphique polaire.

## 2-2-2 Définition et construction des référentiels

Chaque indicateur doit pouvoir se référer à une échelle d'évaluation, ou référentiel.

**Définition d'un référentiel** : un référentiel est un ensemble de données contenant les "références" d'un système, auxquelles les indicateurs font appel pour situer une performance.

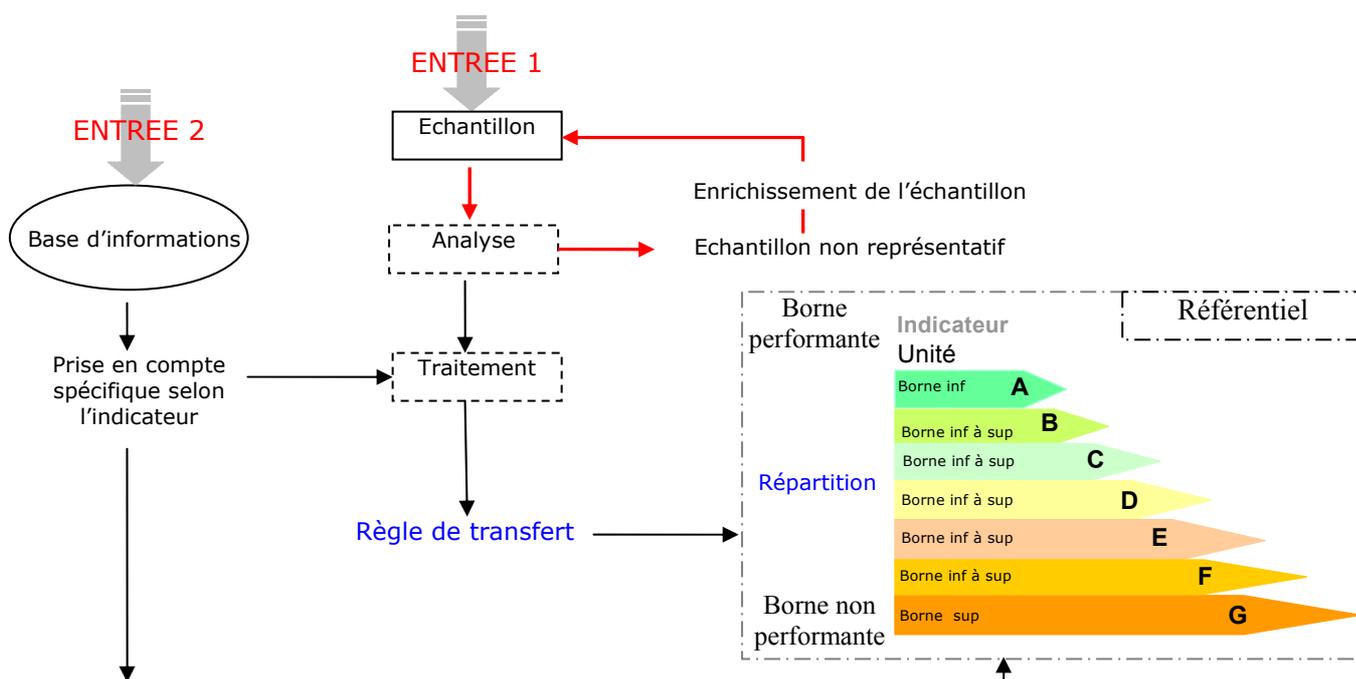
Les référentiels, ou échelles d'évaluation, nécessitent des mises à jour, et sont stockés dans une base de données particulières et identifiées, les "données de référence". Les applications de la méthode d'évaluation y font appel chaque fois qu'elles en ont besoin. Les référentiels sont la clé de voûte de notre système d'évaluation et d'information. Nous décrivons les règles auxquelles obéit leur construction, et donnons pour chaque indicateur un exemple d'application.

Notre méthode est de type '**benchmarking par rapport à l'existant**'. C'est une démarche d'évaluation de consommations, de ratios, de pratiques dans un bâtiment par comparaison avec des référentiels construits sur des bâtiments existants, et ceci dans un objectif d'amélioration.

La **figure 17** schématise le mode de construction des référentiels. La méthode consiste à étudier un échantillon de données le plus représentatif possible du critère étudié. Par exemple pour les données de consommations, nous utilisons les données d'exploitation d'un ensemble de bâtiments que nous considérons comme un échantillon représentatif du type de bâtiment évalué dans notre étude. Pour les données de confort nous utilisons plus largement les références bibliographiques, ainsi bien sûr que les données issues de nos mesures.

Nous introduisons également des données issues des réglementations, de la bibliographie ou de pratiques connues et validées.

Figure 17 : Méthode de construction des référentiels



Le référentiel des indicateurs est une échelle de notes de A à G, choisie pour sa référence à la classification de la performance énergétique actuelle des produits électroménagers. Cette notation est largement employée par ailleurs et son choix permet une cohérence de langage dans les travaux qui se mettent en place au niveau régional, en France et en Europe.

Au niveau régional, l'outil ECOWEB [ECOWEB, 2002, 2004, 2005], outil de suivi et d'évaluation des consommations eau et énergie des lycées aquitains (137 bâtiments), de logements HLM, et des écoles de la commune de Pessac.

Au niveau national, les travaux de Bruno Peuportier sur l'évaluation en phase conception des constructions [Peuportier, 1998 ; Peuportier, 2003], ont contribué à l'élaboration des indicateurs environnementaux.

A l'échelle européenne, la Directive 2002/91/CE du Parlement européen et du Conseil, du 16 décembre 2002, sur la performance énergétique des bâtiments [Journal officiel L 001, du 04.01.2003] utilise ce système de notation de la performance énergétique (transposition dans les États membres au 4 janvier 2006).

Autre exemple, la campagne d'affichage des performances énergétiques des bâtiments communaux, Display, qui regroupe 1200 bâtiments sur 20 communes européennes. Cette campagne a débuté fin 2004 [DISPLAY, 2004].

Une fois l'échantillon constitué, nous l'analysons et le traitons pour établir la grille de répartition (ou règle de transfert) qui va permettre d'attribuer une note sur le référentiel choisi de A à G pour le critère évalué.

Pour chaque indicateur, on se pose la question de la taille de l'échantillon, de sa représentativité, de l'espace et de la dimension temporelle lui correspondant, et de données bibliographiques existantes.

L'unité de l'indicateur sera traitée avec attention : par exemple une consommation aura une pertinence différente selon qu'on l'exprime par bâtiment, par personne ou par surface.

Ensuite les données seront filtrées pour déterminer les bornes inférieures et supérieures d'existence des indicateurs, ainsi que la tendance de répartition de l'échantillon entre ces deux bornes. Le but est que cette répartition soit la plus discriminante possible sur l'indicateur considéré.

Pour assurer une discrimination maximale des bâtiments nous avons appliqué une règle d'égalité de répartition dans les 7 catégories de notation de A à G, pondérée toutefois par la prise en compte d'informations spécifiques selon les indicateurs : références bibliographiques, réglementations, ...

Cette grille de transfert va donc être dépendante non seulement de la répartition des valeurs dans l'échantillon, mais aussi des exigences réglementaires ou bien de valeurs servant de repère issues notamment d'études bibliographiques.

L'étape d'analyse de l'échantillon consiste à le confronter à plusieurs étapes :

1. Correspondances des bornes inférieures et supérieures du domaine d'existence à ceux extraits de la bibliographie.
2. Représentativité de l'échantillon par rapport à la diversité du parc de ce type de bâtiment (date de construction, type de construction, pourcentage de bâtiments du parc pris en compte sur une commune ou un département par exemple).

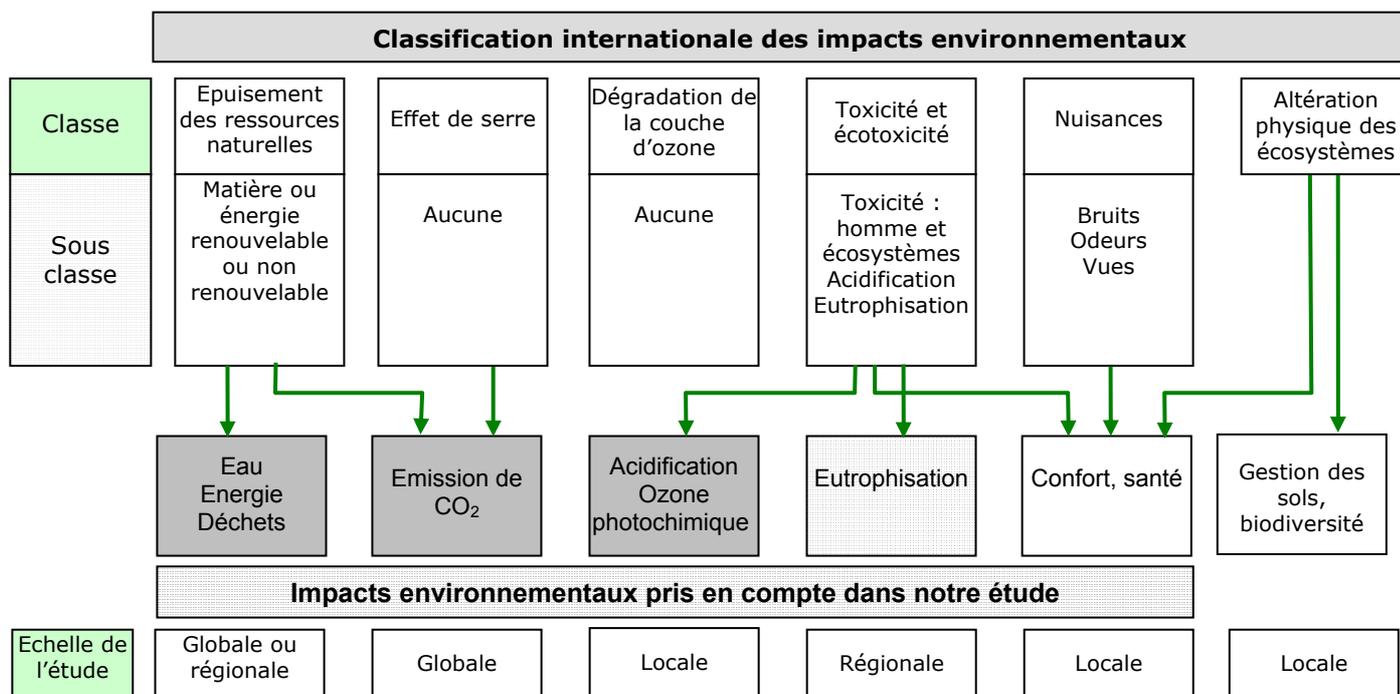
Quand l'échantillon n'est pas un paramètre de parc construit, comme par exemple les indicateurs de confort où l'on ne dispose que de peu de mesures, nous appliquerons tout de même la même logique mais en nous appuyant plus largement sur la bibliographie.

## 2-2-3 Les indicateurs d'évaluation de la méthode

### 2-2-3-1 Evaluation environnementale : indicateurs de la bibliographie internationale

La bibliographie internationale est très riche dans le développement d'indicateurs environnementaux [Myrsini *et al.*, 2006 ; Harris, 1999]. La **figure 18** montre de quelle façon nous avons organisé les thèmes d'évaluation par rapport à la littérature internationale.

Figure 18 : Classification des impacts environnementaux de la méthode d'évaluation



Dans un souci de lisibilité et de clarté de la méthode, nous n'avons pas suivi la classification internationale des impacts environnementaux pour notre méthode d'évaluation. En effet nous avons pour objectif de bâtir une méthode d'évaluation qui soit adaptée et réellement exploitable par les futurs utilisateurs, acteurs économiques et acteurs terrains de la gestion du bâtiment.

Les indicateurs de toxicité sont extrêmement difficiles à obtenir avec un bon degré de confiance, et dépendent de bases de données complexes. Pour cette raison, nous ne les avons pas pris en compte. Il est cependant à noter par exemple, que le terme toxicité peut être influencé par le tri des plastiques, qui ne seront alors pas brûlés, ce qui dégagera moins de dioxines par exemple, de même les produits d'entretien engendrent une certaine toxicité des eaux en sortie de station d'épuration.

Les indicateurs de gestion des sols ne sont plus variables en phase d'exploitation (contrairement à la conception) et ne sont donc pas pris en compte. Les indicateurs de biodiversité ont également été exclus, vu leur complexité. Le but final est bien d'avoir des indicateurs de performance suffisants et explicites pour les usagers et les gestionnaires, afin de les engager vers un management optimisé du bâtiment dans son ensemble.

## 2-2-3-2 Transposition des indicateurs de la démarche HQE pour la phase d'exploitation

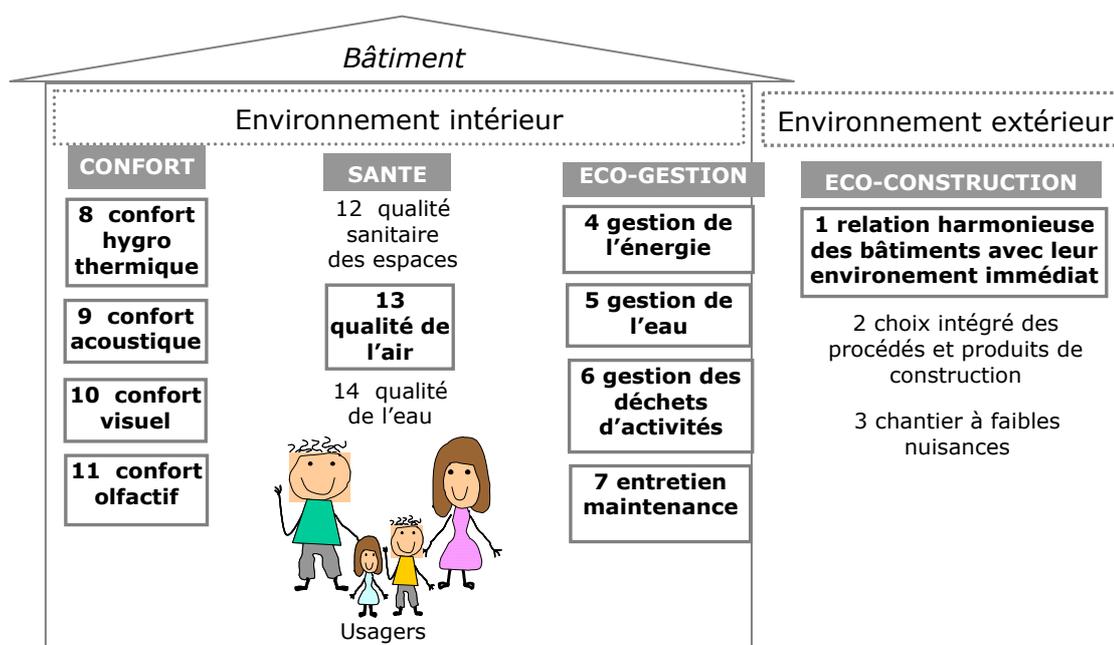
Les thèmes d'évaluation sont choisis en déclinant les indicateurs du référentiel de définition explicite de la qualité environnementale (dit DEQE) et en les transposant de façon opérationnelle à la phase d'exploitation ainsi qu'aux différents suivis raisonnablement réalisables (voir 2-2-3-1).

Cependant le référentiel DEQE n'aborde pas certains indicateurs de gestion, comme l'utilisation et la régulation des systèmes techniques, ou encore le communication gestionnaires occupants.

Nous considérons, parmi les 14 cibles de la démarche HQE, celles qui sont relatives à la phase de vie du bâtiment, comme indiqué en gras dans la **figure 19**. Les indicateurs ont retenus notre attention en fonction de 3 critères :

1. pertinence : caractéristiques de la phase d'exploitation, relevant éventuellement d'une rénovation légère pour leur amélioration,
2. faisabilité : dont l'évaluation demande la mise en œuvre de mesures réalistes en l'état des connaissances et des techniques de mesures (températures, niveaux d'éclairage, qualité de l'air, etc.), et ne dépendant pas de facteurs ou de données extrêmement complexes ou chers à obtenir,
3. simplicité : n'exprimant pas des notions complexes que seuls les spécialistes sauraient interpréter.

Figure 19 : Cibles de la démarche HQE prise en compte dans l'évaluation



Les cibles écartées sont les cibles de conception, la cible de « qualité sanitaire des espaces », car bien qu'abordée par la méthode, elle demande des analyses microbiologiques que nous n'avons pas mis en œuvre, et constitue également l'un des aspects les moins explicites de la démarche. La cible « qualité de l'eau » a été écartée pour les mêmes raisons, mais également parce que les exigences réglementaires sur la qualité des eaux du réseau en France nous semblent une base fiable et suffisante de garantie de qualité. Le référentiel compte plus de 160 indicateurs de qualité, qu'il nous a semblé inutile de faire figurer dans ce document. On passe ainsi à un référentiel de 26 indicateurs évaluables en phase exploitation, moyennant un certain nombre d'informations.

### 2-2-3-3 Liste des indicateurs retenus

Différents entretiens avec des acteurs de la phase d'exploitation ont permis de rendre plus objective la sélection des indicateurs par rapport aux besoins des acteurs opérationnels et à leur langage (voir quatrième partie de ce rapport). Nous avons en effet recueilli durant notre travail l'avis de professionnels du bâtiment susceptibles de vouloir évaluer leurs opérations en exploitation, dans un but de validation de leur savoir faire. Il s'agit donc d'architectes, de bureaux d'études, et de gestionnaires de parcs (ici collectivité territoriale).

Les critères d'évaluation demandés sont :

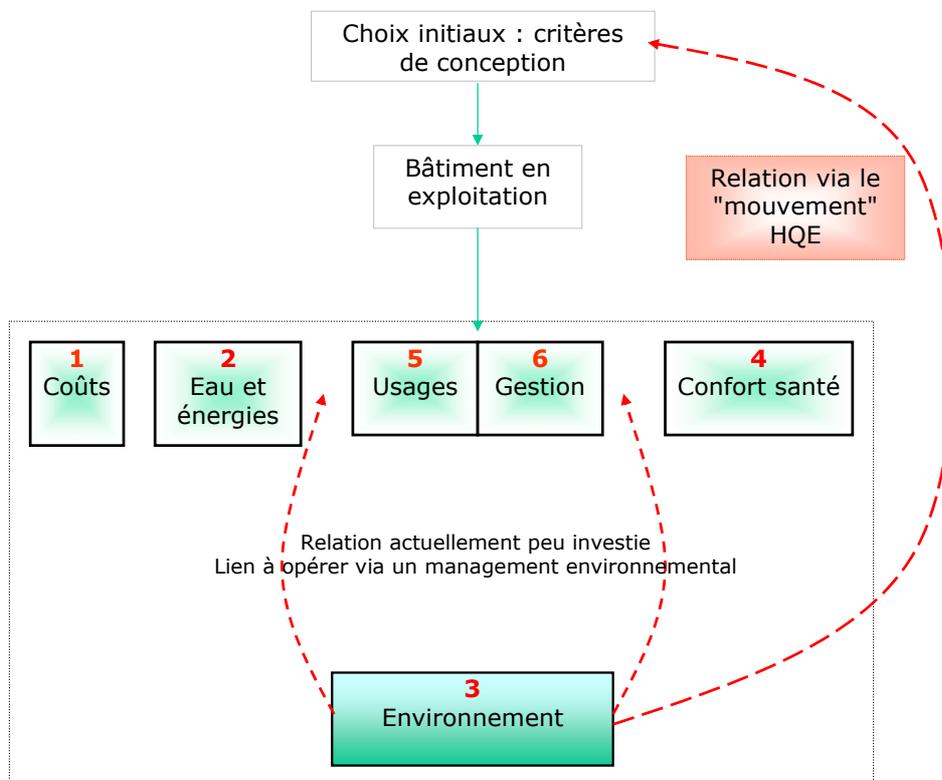
- les critères économiques, avec le coût d'exploitation en particulier, en différenciant les différents postes de dépenses,
- les critères de confort, acoustique et visuel en particulier,
- les indicateurs réglementaires de performance environnementale : énergie primaire et émission de gaz à effet de serre.

#### Organisation des indicateurs :

Ces indicateurs ont été classés en 6 thèmes d'évaluation. La **figure 20** présente ces thèmes, et leur organisation. L'un des objectifs centraux de ce travail est d'opérer une relation entre les performances environnementales du site et les choix de gestion et d'usages.

Ce lien n'est actuellement quasiment pas étudié pour la phase d'exploitation. En revanche le lien entre les performances environnementales prévisibles et modélisées pour un bâtiment neuf est abordé, via la démarche HQE® notamment, ou par des outils comme Equer [Peuportier, 2003].

Figure 20 : Relations ente impacts environnementaux et performances en phase d'exploitation



Le **tableau 17** synthétise les indicateurs développés dans notre méthode d'évaluation.

Tableau 17 : Liste des thèmes et indicateurs retenus

Thème	Indicateur	Sous indicateur ou base	Unité	Destinataire de l'indicateur
Coûts	Coût d'exploitation	Coût énergie	€TTC/(m <sup>2</sup> .an) €TTC/(pers.an)	Gestionnaire
		Coût eau		
		Coût entretien maintenance		
	Investissements QE			
Eau et énergie	Consommation d'eau		l, l/(m <sup>2</sup> .an)ou l/(pers.an)	
	Consommation d'énergie primaire	Consommation de gaz	kWh ep /(m <sup>2</sup> .an)	
		Consommation d'électricité	kWh ep /(m <sup>2</sup> .an)	
Environnement	GES		kg eq CO <sub>2</sub> kg eq CO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> .an) kg eq CO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> .an)	Tous
	Déchets radioactifs		dm <sup>3</sup> 10 <sup>-3</sup> dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .an) 10 <sup>-3</sup> dm <sup>3</sup> /(pers.an)	
	Pollution des eaux	TGAP (phosphates et chore)	s.u.	
	Déchets ménagers		t kg/(m <sup>2</sup> .an) kg/(pers.an)	
	Pollution de l'air	Acidification et ozone photochimique	kg g/(m <sup>2</sup> .an) g/(pers.an)	
Confort santé	Confort thermique	Confort thermique d'été	Unités spécifiques	
		Confort thermique d'hiver		
	Confort visuel	Facteur de lumière du jour et éclairage artificiel		
	Confort acoustique	Temps de réverbération et niveaux de bruits équivalents		
	Qualité de l'air intérieur	CO <sub>2</sub>		
	Qualité du site	Enquête		
Usages	Utilisation des éclairages	Campagne de mesures	Unités spécifiques	
	Utilisation de l'eau			
	Tri des déchets			
	Connaissance du bâtiment			
	Conscience environnementale			
	Régulation du chauffage			
Gestion	Régulation de la ventilation	Enquête	Unités spécifiques	Gestionnaire
	Mise en place de systèmes d'éclairage non énergivores			
	Mise en place d'un système d'information			
	Régulation du chauffage			
Tableau de bord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usagers et gestionnaires</li> <li>• Gestionnaires</li> </ul>	Sensibilisation Information Préconisations	Toutes	Selon type de tableau de bord

Le but des 2 types de ratios (par surface ou par personne), est de :

1. Pouvoir disposer d'une vue d'ensemble ; en effet un bâtiment ayant une performance moyenne, par exemple d'émission équivalente de CO<sub>2</sub> par m<sup>2</sup>, peut quand même rester, si sa surface est très importante, le bâtiment le plus émetteur du parc géré pour ce thème. D'autres bâtiments, plus petits, et ayant une performance moins bonne, seront cependant au global moins émetteurs.
2. Pouvoir effectuer un comparatif par ratio de surface.
3. Pouvoir effectuer un comparatif par personne, ce qui est utile pour un fluide comme l'eau, mais donne aussi des indications intéressantes en terme d' « efficacité par usager » du bâtiment et de ses occupants.

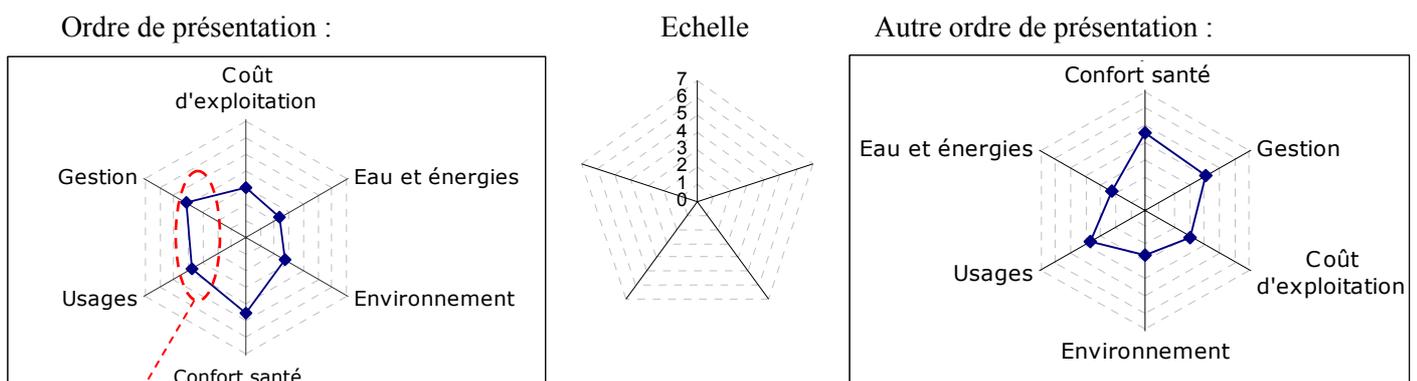
Ces différents ratios permettent également de remonter à un paramètre de réflexion important pour la maîtrise d'ouvrage, et pour la maîtrise d'œuvre : la densité d'occupation (nombre de personnes par m<sup>2</sup>). Ce paramètre a des conséquences sur l'occupation du territoire, mais aussi sur toutes les consommations relevant de la surface d'un bâtiment, les besoins en énergie, l'entretien et produits d'entretien, en éclairage, ... Le challenge est donc de trouver pour la maîtrise d'ouvrage, en collaboration avec la maîtrise d'œuvre, le bon compromis entre la surface la moins « envirovore », et la surface suffisante, dans de bonnes conditions de confort d'espace, aux activités des occupants.

Pour chaque indicateur, nous présentons :

- La définition du champ de chaque indicateur
- Les données, quantifiées, ou mesurées, ou qualitatives, ou calculées, ou estimées
- L'unité
- Les frontières du système
- Les facteurs d'émission pris en compte

La représentation, en graphiques polaires, est construite avec un ordre précis des thèmes d'évaluation pour la signature environnementale. L'ordre de présentation permet de faire ressortir et de visualiser les performances de gestion et d'usages en « face » des performances environnementales et de confort santé, comme illustré par la **figure 21**.

Figure 21 : Présentation synthétique de la méthode d'évaluation



Le groupe « gestion – usages » est 'en face' des autres thèmes d'évaluation, ce qui facilite l'interprétation de la signature environnementale, comme nous le verrons en troisième partie.

## 2-2-4 Méthode d'évaluation OPALE : Optimisation des Performances par des Actions de Limitations des Emissions

Notre travail se positionne sur des bâtiments en exploitation de type tertiaire d'enseignement scolaire.

La méthode a pour double objectif :

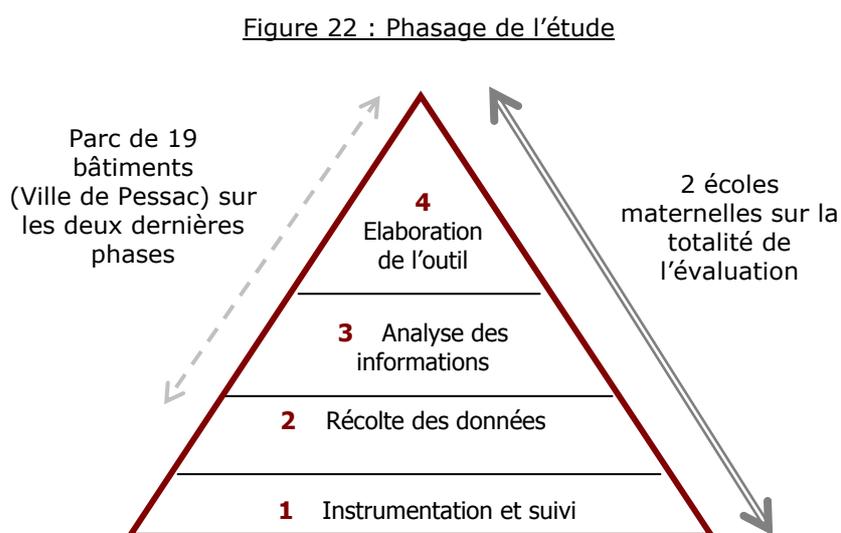
- la discrimination des bâtiments d'un parc, pour avoir un ordre de priorité en vue par exemple d'une éventuelle intervention,
- et leur évaluation sur les plans de l'environnement, du confort et des usages.

La méthodologie mise en œuvre reprend les différents points abordés en introduction et propose les tâches suivantes :

- 1- Au niveau du site évalué, décrire le site et son fonctionnement, à la fois architectural, technique et humain. Déduire l'instrumentation nécessaire au suivi du site.
- 2- Etablir la liste des indicateurs pertinents d'évaluation environnementale et d'usage. Etablir les échelles de notations pour les indicateurs quantitatifs (« benchmarking ») et qualitatifs.
- 3- Récouter les informations environnementales, sociales et économiques corrélées (enquêtes, mesures continues et ponctuelles sur site, études documentaires, observations).
- 4- Au niveau des usagers, analyser les liens entre les usages et les performances environnementales du bâtiment exploité par des enquêtes ciblées.
- 5- Au plan technique, tester l'intégration d'outils de suivi en continu des paramètres température, éclairage, humidité, présence, consommation énergétique, qualité de l'air. Lier les informations récoltées aux usages.
- 6- Développer l'outil de suivi et d'évaluation de bâtiments en gestion intégrant les paramètres d'usages liés aux performances environnementales.
- 7- Proposer une méthode de l'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment en phase de gestion en intégrant les aspects liés aux usages.
- 8- Tester l'outil sur un parc de bâtiments.
- 9- Critiquer et établir le bilan du retour d'expérience sur la méthode développée.

### Description et phasage de l'étude et de ses éléments techniques

L'élaboration et l'expérimentation de l'outil d'évaluation environnementale et sociale du bâtiment requièrent 4 phases principales, montrées en **figure 22**.



Afin de développer un tel outil, nous avons mis en œuvre un système de suivi des performances attendues d'un bâtiment : énergétique et thermique du bâtiment, éclairage, acoustique, qualité de l'air, gestion de l'eau.

Nous avons utilisé et validé deux systèmes récemment développés par Ecocampus<sup>®</sup>, cellule de transfert du laboratoire TREFLE.

1. Les **capteurs TEHOR** (pour Température Eclairage –artificiel- Humidité Occupation Rayonnement -naturel-), qui sont des modules unitaires d'acquisition des paramètres température, éclairage, humidité, occupation d'un local. L'installation de capteurs dans chaque pièce d'un bâtiment a permis un suivi fin sur ces paramètres. Ces capteurs sont liés à une passerelle, qui assure la communication des informations par réseau Ethernet, réseaux satellites et courants porteurs. Les informations sont centralisées sur une centrale d'acquisition (PC), d'où le suivi à distance et la télémaintenance ne présentent pas de difficulté. Le système complet d'acquisition des données est nommé **ECOSYS**.
2. Le **système ECOWEB**, logiciel d'exploitation des données, qui a permis l'analyse dans le but d'optimiser la gestion des fluides quantifiés par l'outil. Actuellement opérationnel sur l'eau, l'énergie et l'occupation, le logiciel recevra lors de ce projet un complément de fonctionnalité vers d'autres critères HQE<sup>®</sup>, en particulier la qualité de l'air intérieur et certains indicateurs environnementaux.

Une analyse détaillée du référentiel DEQE [Duchene-Marullaz *et al.*, 2001] de l'association HQE<sup>®</sup> définissant en particulier les cibles 4 à 13 a été effectuée (les cibles d'écoconstruction ont déjà été évaluées par la maîtrise d'ouvrage, et ne concernent pas la phase d'exploitation). Nous en avons extrait les critères ayant une signification et une mise en œuvre terrain raisonnable aux plans qualitatifs ou quantitatifs dans le cadre de l'exploitation d'un bâtiment.

Nous avons effectué une réécriture directement compatible avec les objectifs de suivi et de validation visés ici.

Une base de données spécifique a été construite et intègre :

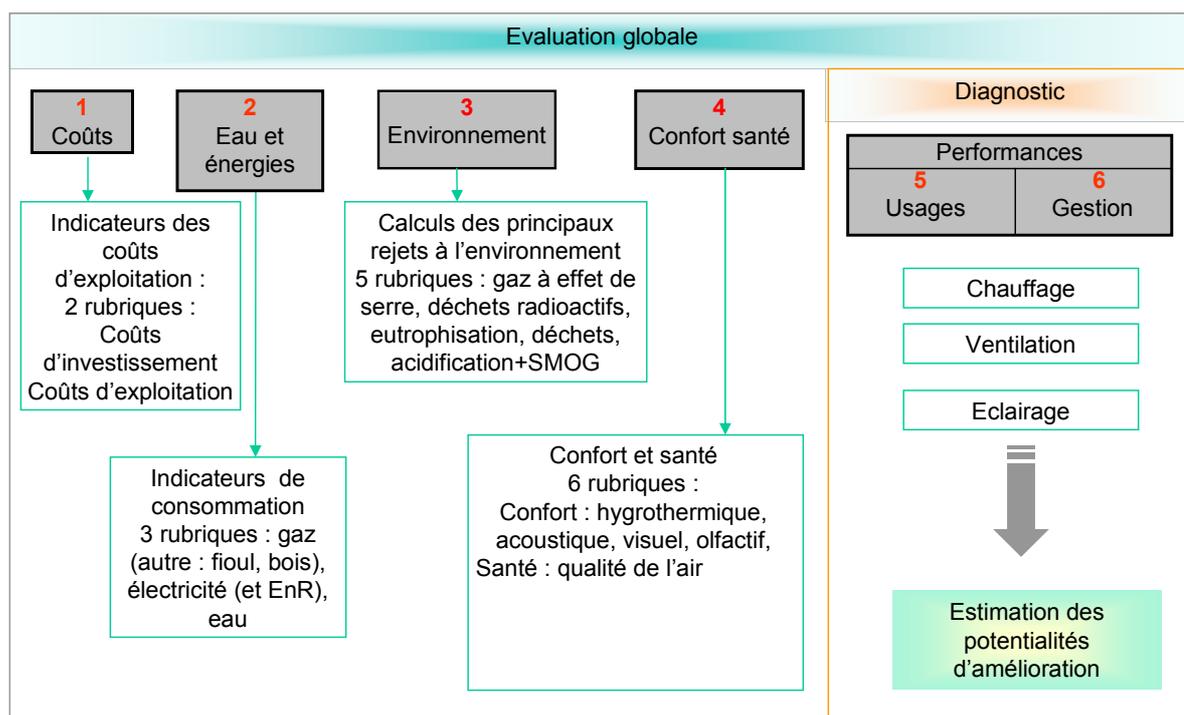
- Les données recueillies via les capteurs TEHOR,
- Les données liées à l'acoustique, à l'éclairage, à la qualité de l'air
- Ainsi que les informations issues des questionnaires d'enquêtes auprès des utilisateurs, ciblant en particulier le confort et les usages.

L'outil développé s'appuie sur une base de données traduite dans un document Excel, de façon à pouvoir s'adresser facilement à tout acteur de maîtrise d'ouvrage ou maîtrise d'œuvre. En un fichier unique sont rassemblées toutes les informations collectées ; elles sont synthétisées sous forme d'indicateurs interprétables et exploitables par l'utilisateur.

La visualisation des indicateurs et de l'évolution des performances dans le temps est simple et directe. La **figure 23** déploie les indicateurs de chaque thème d'évaluation.

- Les coûts d'exploitation et les consommations d'eau et d'énergie forment deux premiers thèmes.
- Les impacts environnementaux forment le troisième thème d'évaluation, basé sur les deux premiers.
- L'ensemble confort et santé, forme le 4<sup>ème</sup> thème.
- Enfin les performances d'usages et de gestion composent les deux derniers thèmes d'évaluation, et sont les indicateurs 'diagnostic', qui doivent permettre d'identifier la cause d'une mauvaise (ou bonne) performance observée.

Figure 23 : Thèmes d'évaluation et des indicateurs développés



## 2-3 Détermination des indicateurs et de leurs référentiels

Nous présentons ici conjointement chaque indicateur et la construction de son référentiel d'évaluation. Pour les indicateurs quantitatifs, les expressions seront à la fois des ratios (notamment par surface et par personne) et des quantités globales par site.

La taille des échantillons pour les indicateurs de coûts et de consommations est de 100 % des écoles de la commune, ce qui est considéré comme représentatif pour notre étude.

Pour une meilleure clarté, nous avons séparé pour chaque indicateur :

- une partie encadrée résumant son utilité, sa définition, son mode de calcul,
- une partie non encadrée décrivant le mode d'obtention de son référentiel à partir de notre échantillon de bâtiments existants de même type.

### 2-3-1 Indicateurs et référentiels du thème « coûts d'exploitation »

Les indicateurs du thème coûts d'exploitation sont exprimés en €TTC et basés sur les données et factures fournies par la ville partenaire de ce travail et commune d'implantation des deux bâtiments que nous présentons en troisième partie. Ils contiennent donc les différentes taxes liées aux consommations des fluides, de l'entretien et de la maintenance.

Pour les indicateurs de coût et de consommation, les points particuliers dus aux fuites ont été supprimés de la base de données.

### 2-3-1-1 Coût de l'énergie (énergie combustible et électricité)

Définition de l'indicateur : cet indicateur rassemble le coût de la consommation des quantités de kWh par m<sup>2</sup> chauffé des énergies utilisées sur le site : énergie fossile (gaz, bois charbon, fioul), et électricité.

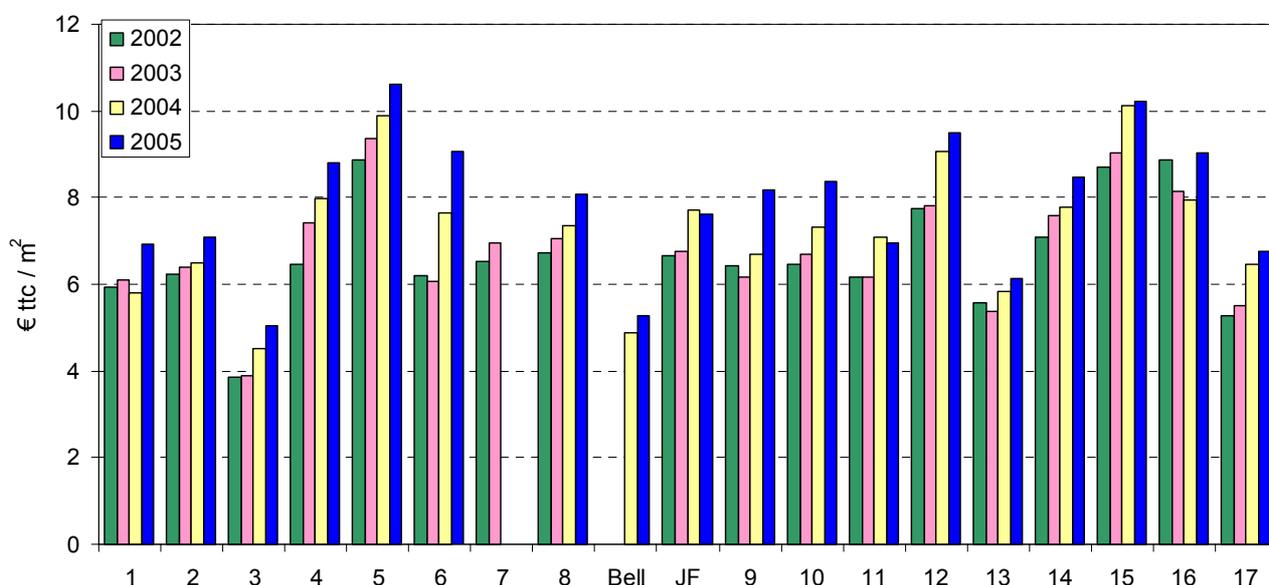
Il permet au gestionnaire et à l'utilisateur de situer sa dépense énergétique en terme économique ; il peut donc être utilisé pour visualiser les économies possibles et les reports sur le budget pédagogique par exemple dans le cas d'une école.

En cas de production d'énergie renouvelable par le bâtiment, le coût est soit décompté automatiquement, soit à décompter, en cas de revente à EDF en particulier.

#### Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants

La **figure 24** représente ici le calcul de l'indicateur de coût de l'énergie par surface. Les histogrammes absents correspondent aux années d'arrêt d'exploitation des bâtiments.

Figure 24 : Coût de l'énergie par surface, années 2002 à 2005

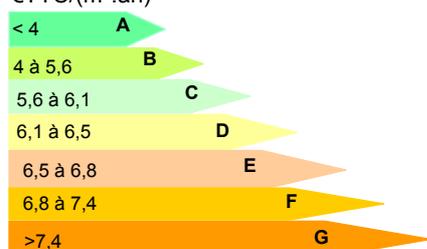


Pour définir le référentiel d'évaluation, la répartition de ces points dans les 7 classes du référentiel de performance, de A à G, est réalisée de la manière la plus discriminante possible, c'est-à-dire en répartissant les 72 points de mesure équitablement dans chaque classe de performance.

#### Référentiel du coût énergie

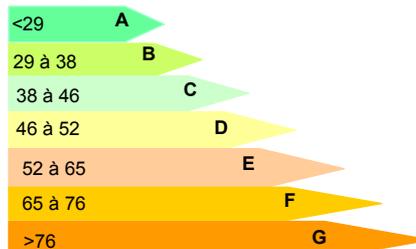
##### Coût énergie par surface

€TTC/(m<sup>2</sup>.an)



##### Coût énergie par personne

€TTC/(pers.an)



Note : Il sera intéressant de pouvoir départager les écoles chauffées par combustion ou à l'électricité (ici aucune).

## 2-3-1-2 Coût de l'eau

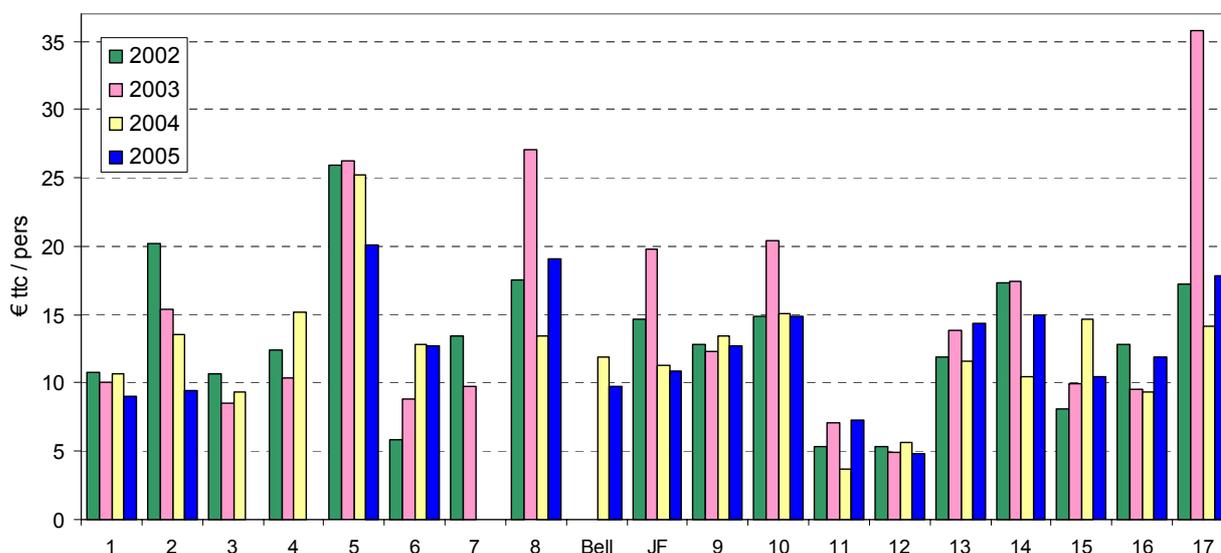
Définition de l'indicateur : coût de l'eau, par personne ou par m<sup>2</sup> et par an, en € ttc.

Le coût de l'eau peut s'exprimer par un ratio basé soit sur la surface utile du bâtiment soit par le nombre d'usagers. La bibliographie prend en général en compte la surface du bâtiment, ce qui ne nous paraît pas pertinent car la surface n'exprime ni le type d'usage ni le nombre d'usagers. Nous choisirons les deux indicateurs de façon à garder un sens à l'expression de l'indicateur (ratio au nombre de personnes) et de façon aussi à pouvoir effectuer un comparatif avec les éléments de bibliographie (ratio à la surface).

### Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants

La **figure 25** représente le calcul de l'indicateur de coût de l'eau par personne. Les mêmes calculs ont été réalisés pour les ratios par surface.

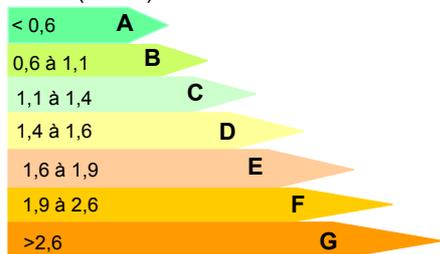
Figure 25 : Coût de l'eau par personne, années 2002 à 2005



### Répartition discriminante des points

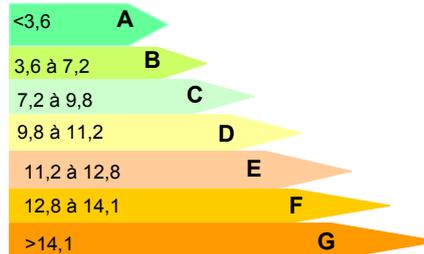
#### Coût eau par surface

€TTC/(m<sup>2</sup>.an)



#### Coût eau par personne

€TTC/(pers.an)



### 2-3-1-3 Coût total énergie et eau

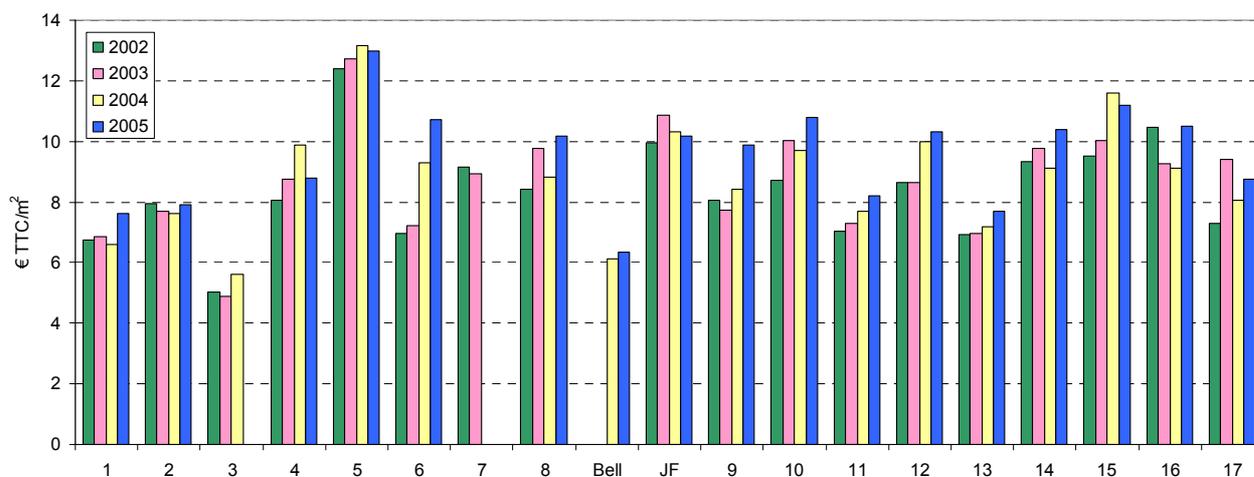
Définition de l'indicateur : coût de l'ensemble des fluides eau, gaz ou autre énergie thermique, et électricité.

Rassembler les fluides consommés par le bâtiment permet au gestionnaire d'appréhender le coût d'exploitation dans son expression la plus simple, c'est-à-dire sans la prise en compte de l'entretien et des déchets. Cet indicateur a été spécifiquement demandé par les gestionnaires rencontrés au cours du travail de thèse.

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 26** représente ici le calcul de l'indicateur de coût eau énergie par surface.

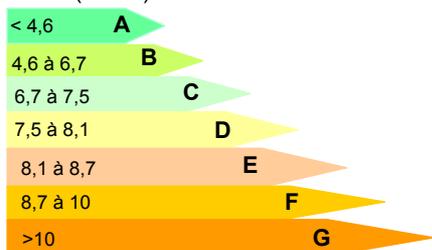
Figure 26 : Coût eau gaz électricité par surface, années 2002 à 2005



L'échelle de performance est obtenue par simple addition des deux précédentes

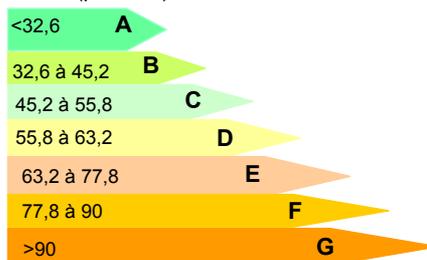
Coût eau énergie par surface

€TTC/(m<sup>2</sup>.an)



Coût eau énergie par personne

€TTC/(pers.an)



## 2-3-1-4 Coût entretien et maintenance

Définition de l'indicateur : Coût des achats de produits d'entretien et hygiéniques, interventions techniques sur les écoles, hors rénovations importantes (augmentation de surface, abatement de murs, changement de toutes les menuiseries, etc.). Ces coûts prennent en compte les contrats de chauffage P2 et P3 (voir glossaire).

Les coûts sont rapportés au m<sup>2</sup>, ainsi qu'en fonction des effectifs.

Les coûts d'entretien et de maintenance sont importants à prendre en compte, car ils sont souvent au moins aussi conséquents, en terme économique, par rapport au coût des fluides.

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 27** représente ici le calcul de l'indicateur de coût entretien maintenance par surface. Les données de l'année 2005 n'étaient pas disponibles.

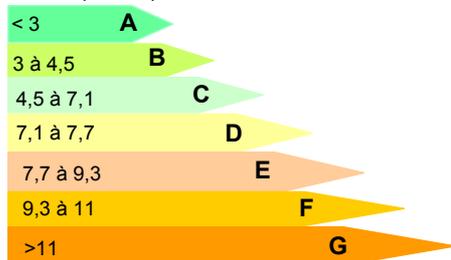
Figure 27: Coût entretien maintenance par surface, années 2002 à 2004



Répartition discriminante des points :

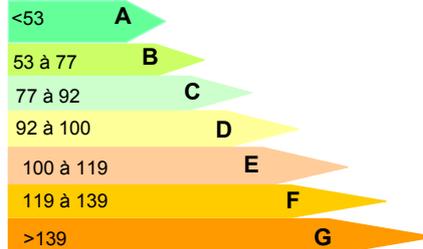
Coût entretien maintenance par surface

€TTC/(m<sup>2</sup>.an)



Coût entretien maintenance par personne

€TTC/(pers.an)



*Remarques* :

- Nous avons essayé d'exprimer un indicateur de coût prenant en compte la part salariale liée à l'entretien quotidien des bâtiments, sur la base d'un salaire annuel moyen par agent d'entretien, du nombre d'agents par école et du temps de travail contractuel. Cette analyse permet certes d'avoir une estimation de ce coût (entre 30 et 100 €TTC/m<sup>2</sup>), mais la part salariale est telle que la marge d'erreur

de son calcul peut occulter les fluides. De plus, il conviendrait, si on désire prendre les salaires en compte, de prendre aussi ceux de la maintenance des bâtiments (agents techniques de la mairie), ce qui devient complexe. Une approche globale possible pour un gestionnaire d'un parc comme une mairie, est d'avoir l'enveloppe budgétaire totale et de faire un ratio direct en la divisant par le nombre de bâtiments gérés.

- Dans une approche organisationnelle et qualitative, nous avons eu du mal à rassembler les données d'achats (quantités et qualités) et d'entretien/maintenance, gérées dans des services différents et non centralisés. De plus il nous a semblé que la multiplicité des types de produits d'entretien ne facilitait ni un décompte des substances nuisibles à l'environnement, ni un suivi aisé de leurs quantités.

### 2-3-1-5 Coût d'exploitation

Définition de l'indicateur : le coût d'exploitation correspond habituellement au coût annuel des consommations de gaz, d'électricité, d'eau, abonnements aux fournisseurs (inclus en partie dans le prix des unités délivrées), des prestations d'entretien (produits) et de la maintenance du bâtiment. Toutes ces données ne sont pas facilement accessibles. De plus il est intéressant pour le gestionnaire de disposer du détail des coûts à l'origine du coût d'exploitation. Cet indicateur peut être exprimé par site, par m<sup>2</sup> ou par personne.

Le coût d'exploitation s'exprime en €TTC /an, par :

$$E_{\text{exp}} = E_{\text{gaz}} + E_{\text{elec}} + E_{\text{eau}} + E_{\text{déch}} + E_{\text{ent}} + E_{\text{main}}$$

avec : (données annuelles en € ttc)

$E_{\text{gaz}}$  , coût de la consommation de combustible (gaz, ou bois, fioul, ...)

$E_{\text{elec}}$  , coût de l'électricité

$E_{\text{eau}}$  , coût de la consommation d'eau

$E_{\text{déch}}$  , coût des déchets (ramassage et traitement)

$E_{\text{ent}}$  , coût de l'entretien

$E_{\text{main}}$  , coût des interventions de maintenances, incluant les contrats de maintenance des installations de chauffage gaz P2 et P3 (voir glossaire)

On exprimera les ratios par surface (S = surface chauffée du bâtiment en m<sup>2</sup>) et par effectifs (F).

Cet indicateur, ainsi que les sous indicateurs précédents, sont directement calculés à partir des factures des différents postes de dépenses.

 Il convient de rester prudent sur la signification des indicateurs de coût. Une augmentation (ou une éventuelle baisse) peut être due à des variations de prix d'abonnement ou d'unité de kWh ou de m<sup>3</sup> d'eau. On ne réalise pas une analyse environnementale d'un bâtiment à partir du coût d'exploitation. Son intérêt dans le cadre d'une évaluation des impacts environnementaux d'un bâtiment est restreint. Il permet cependant d'avoir accès à des paramètres financiers, incontournables pour les gestionnaires.

### Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 28** représente ici le calcul de l'indicateur de coût d'exploitation surface.

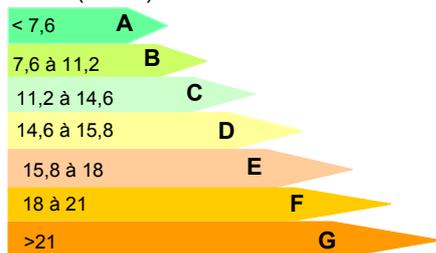
Figure 28: Coût d'exploitation par surface, années 2002 à 2004



### Répartition discriminante des points :

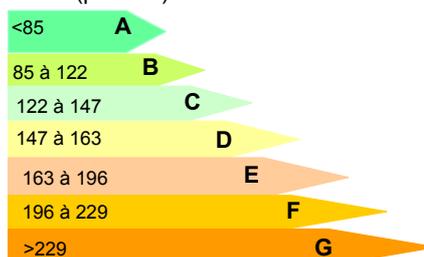
#### Coût d'exploitation par surface

€TTC/(m<sup>2</sup>.an)



#### Coût d'exploitation par personne

€TTC/(pers.an)



## 2-3-2 Indicateurs et référentiels du thème consommations « eau et énergies »

### 2-3-2-1 Consommation d'énergie thermique

Définition de l'indicateur : consommation de combustible à usage d'énergie thermique (gaz, fioul, électricité, chauffage urbain, ...) en kWh/(m<sup>2</sup>.an).

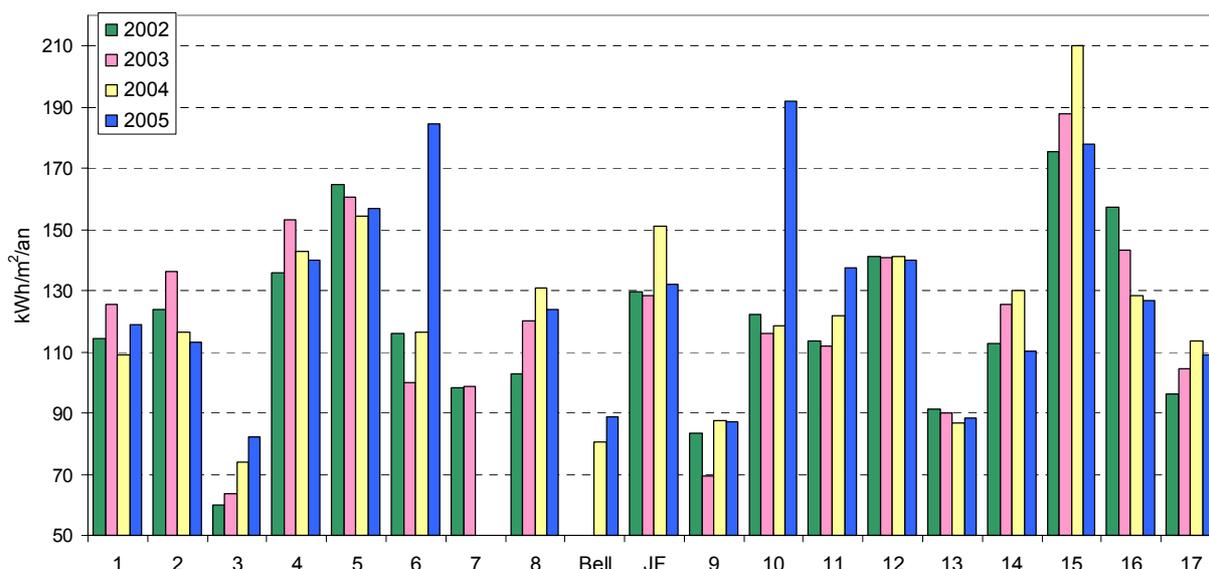
Les énergies renouvelables n'entrent donc pas en compte dans le calcul de l'indicateur.

*Note* : l'expression la plus pertinente serait un ratio volumique, mais la donnée du volume est rarement disponible et cette expression nécessiterait une campagne de métrage ou un travail sur plans pour quasiment tous les bâtiments.

### Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 29** représente ici le calcul de l'indicateur de consommation d'énergie thermique par surface.

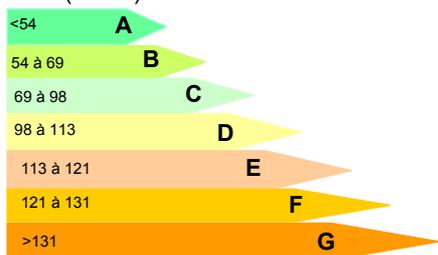
Figure 29 : Consommation d'énergie par surface, années 2002 à 2005



Répartition discriminante des points :

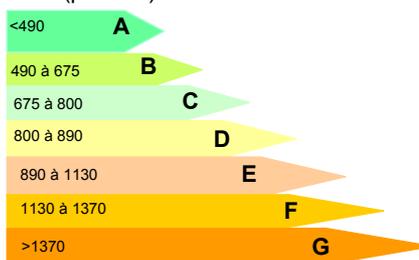
Consommation d'énergie thermique par surface

kWh/(m<sup>2</sup>.an)



Consommation d'énergie thermique par personne

kWh/(pers.an)



Remarque : l'utilisation de l'énergie renouvelable est prise en compte implicitement dans l'expression des consommations d'énergie, qu'elle fait diminuer, et figure explicitement dans la mise en forme Excel de l'outil.

**2-3-2-2 Consommation d'électricité spécifique**

Définition de l'indicateur : consommation d'électricité dédiée aux usages spécifiques (hors chauffage) en kWh/m<sup>2</sup>.

Là encore, la consommation d'énergie électrique d'origine renouvelable hors réseau (solaire, éolien) n'entre dans le calcul de l'indicateur qu'implicitement, puisqu'elle va entraîner une diminution de celui-ci. On pourrait objecter qu'il faudrait prendre en compte (décompter) la part renouvelable de l'électricité du réseau -la part hydroélectrique-. Cependant, en l'état d'équipement en production d'électricité d'origine renouvelable des bâtiments tertiaires, il nous a semblé plus pertinent de nous en tenir à la consommation d'électricité du réseau, et de ne décompter que l'électricité produite - éventuellement - par le bâtiment.

Nous avons alors :

$$E_{elec} = E_{elec-rés} - E_{ENR}$$

avec :

$E_{elec}$ , consommation d'électricité totale,  $E_{elec-rés}$ , consommation de l'électricité du réseau,  $E_{ENR}$ , production d'électricité d'origine renouvelable, non consommée par le bâtiment.

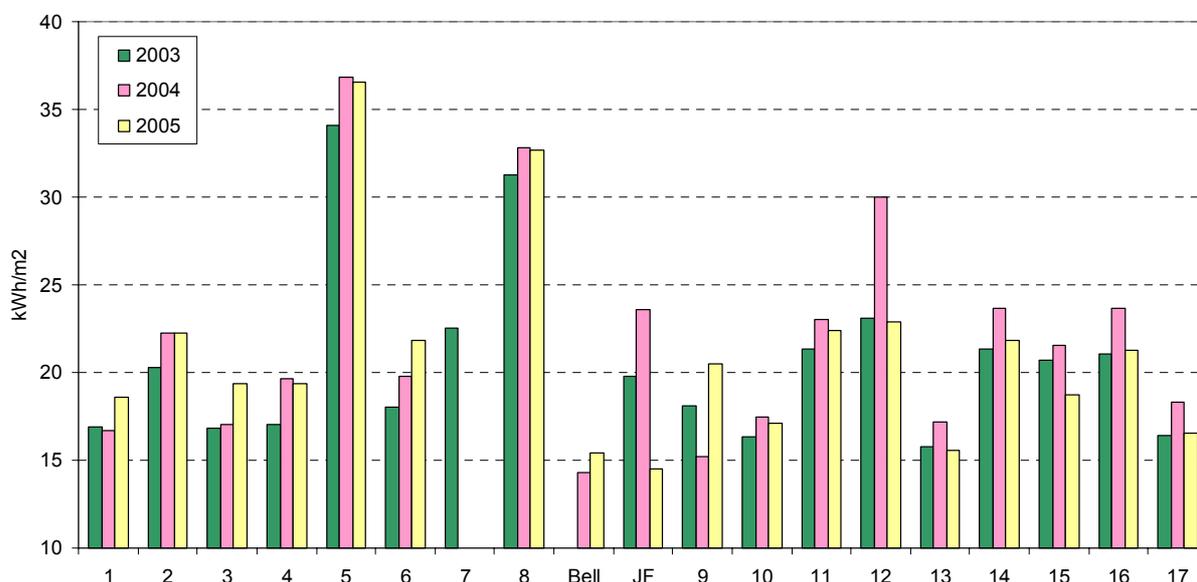
Si l'électricité renouvelable est consommée par le bâtiment, alors :

$$E_{elec} = E_{elec-rés} + E_{ENR}$$

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 30** représente ici le calcul de l'indicateur de consommation d'électricité spécifique par surface.

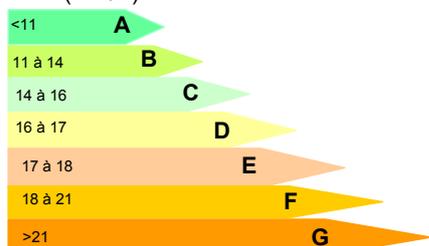
Figure 30 : Consommation d'électricité spécifique par surface, années 2002 à 2004



Répartition discriminante des points :

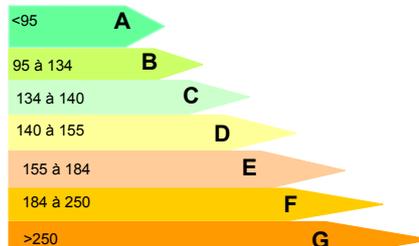
Consommation d'électricité spécifique par surface

kWh/(m².an)



Consommation d'électricité spécifique par personne

kWh/(pers.an)



### 2-3-2-3 Energie primaire totale consommée sur le site

Définition de l'indicateur : l'énergie primaire correspond à l'énergie avant perte de production, de rendement, de distribution et de transformation vers les consommateurs. Pour l'électricité le facteur entre l'énergie finale et l'énergie primaire est en France, au vu du mixe nucléaire/renouvelable/fossile, de 2,58 [DGEMP]. Il est de 1 pour les combustibles fossiles, et 0 pour les énergies renouvelables (on pourra trouver des valeurs qui diffèrent de ces facteurs ; par exemple si on utilise les références de la base suisse Oekoinventare, le ratio énergie primaire énergie finale est estimé à 3,1 pour l'électricité et 1,3 pour le gaz [Frischknecht, 2003]).

Influence des conditions climatiques : afin de comparer deux bâtiments dans deux zones climatiques différentes (ou deux années), on multipliera l'énergie primaire consommée par le facteur de correction climatique, ou par les DJU, pour comparer correctement les évolutions de consommation d'une année à l'autre. L'énergie primaire englobant les consommations non destinées au chauffage, on pourra incorporer

le facteur de correction climatique uniquement à la part thermique de la consommation d'énergie primaire.

Cet indicateur se calcule à partir des consommations énergétiques :

$$C_{EP} = 2,58 \cdot C_{elec \cdot spec} + \frac{DJ_{année}}{DJU_{30}} \cdot C_{chauf}$$

avec :

$C_{EP}$  , consommation annuelle d'énergie primaire du site, en kWh ep/an

$C_{elec \cdot spec}$  , consommation d'électricité spécifique, en kWh

$C_{chauf}$  , consommation de combustible : gaz, fioul, bois, chauffage urbain, ..., (ici gaz), en kWh

$DJ_{année}$  , degrés jour base 18 de l'année évaluée, et  $DJU_{30}$  , DJU trentenaires (2037 °C.j pour bordeaux)

Les degrés jours unifiés (base 18°C pour la température intérieure) sont de 1747 pour l'année 2003, 1950 pour l'année 2004 et 1968 pour 2005.

Nous négligeons la part de consommation des services : téléphonie, acheminement de l'eau en particulier. L'utilisation ou la production d'énergie renouvelable est décomptée de fait par la prise en compte uniquement des consommations d'énergie électrique ou d'énergie thermique.

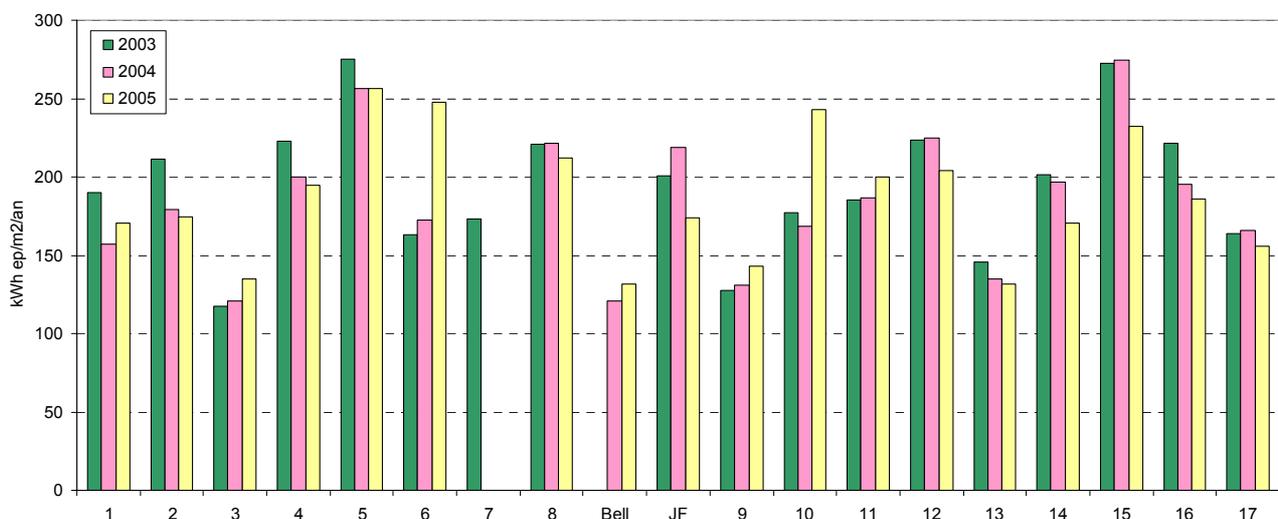
Le ratio de 2,58 est la valeur de conversion fixée par les pouvoirs publics pour tenir compte des pertes générées par l'ensemble production - transformation haute tension - transport - transformation basse tension - distribution qui caractérise une production d'électricité [ADEME, 2005]. Ce facteur traduit également la composition énergétique moyenne française responsable de production de CO<sub>2</sub> à différentes quantités, selon la nature de la production d'électricité. Le thermique classique (charbon, gaz, fuel) représente près de 8 % de la production d'électricité nationale, l'hydraulique environ 14 %, et le nucléaire environ 78 % [Rapport environnement EDF, 2004].

Ce rapport pourra changer en fonction de la composition d'une énergie locale qui utiliserait par exemple 50 % d'électricité du réseau et 50 % d'électricité éolienne locale. Dans ce cas le calcul de la valeur de correction sera adapté, pour converger vers 0 en cas de l'utilisation d'une électricité renouvelable seule.

#### Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 31** représente le calcul de l'indicateur de consommation d'énergie primaire par surface.

Figure 31 : Consommation d'énergie primaire par surface, années 2002 à 2004

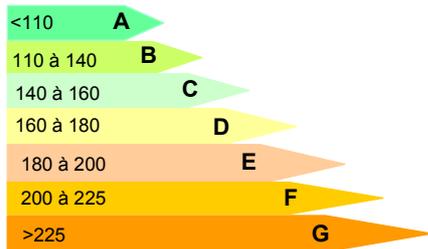


### Répartition discriminante des points :

Si nous effectuons la répartition sans prendre en compte les éléments de la bibliographie, qui modifieraient l'homogénéité de la répartition, nous obtenons le référentiel de notation suivant :

#### Consommation d'énergie primaire par surface

kWh ep/(m<sup>2</sup>.an) Parc 19 bâtiments

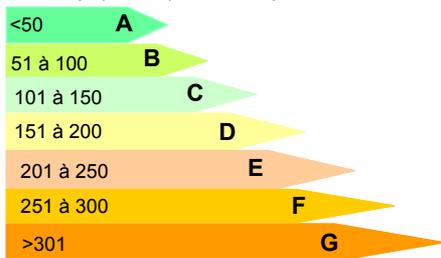


### Informations supplémentaires :

Cette grille diffère du référentiel de la directive européenne de performance énergétique des bâtiments (DEPE), ainsi que des seuils encore plus performants que l'on peut observer sur des bâtiments proches des bâtiments dits passifs (Passiv Haus, label suisse Minergie), ou possédant un approvisionnement en énergies renouvelables [PREDAC, 2004].

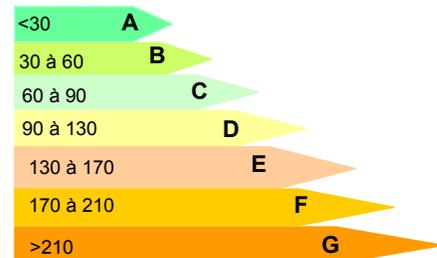
#### Consommation d'énergie primaire par surface

kWh ep/(m<sup>2</sup>.an) Etiquette DEPE



#### Consommation d'énergie primaire par surface

kWh ep/(m<sup>2</sup>.an) Bâtiments passifs



Nous pouvons choisir ici de construire un référentiel très exigeant prenant en compte les potentialités d'un bâtiment passif par exemple. Cela aurait cependant pour conséquence une distinction moins nette des performances des bâtiments d'une commune ou d'une région, selon l'échelle choisie.

Une autre solution consiste à garder l'échelle d'évaluation la plus discriminante possible mais à afficher également en complément l'échelle des bâtiments les plus performants possibles actuellement.

## 2-3-2-4 Consommation d'eau

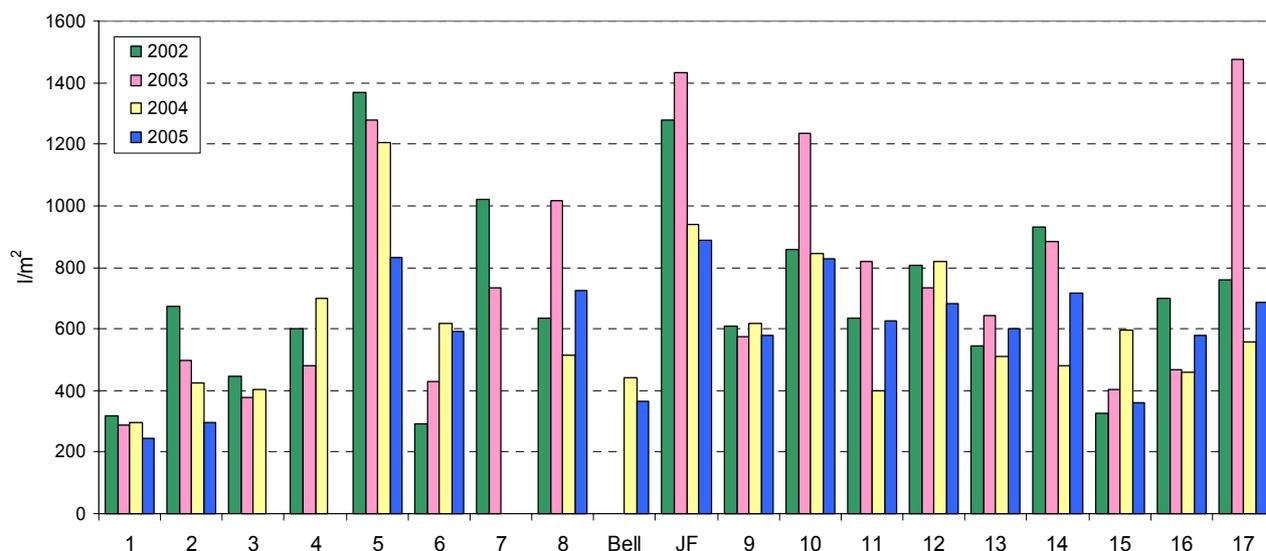
Définition de l'indicateur : consommation annuelle d'eau d'un site, par personne, et par m<sup>2</sup>.

Cet indicateur illustre à la fois les usages des occupants, et la performance des systèmes de distribution.

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 32** représente ici le calcul de l'indicateur de consommation d'eau par surface.

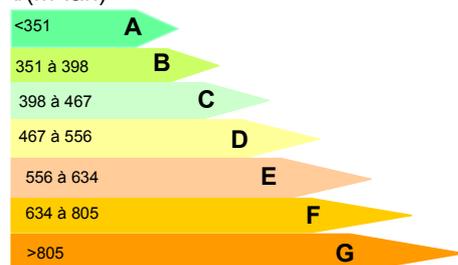
Figure 32 : Consommation d'eau par surface, années 2002 à 2005



Répartition discriminante des points :

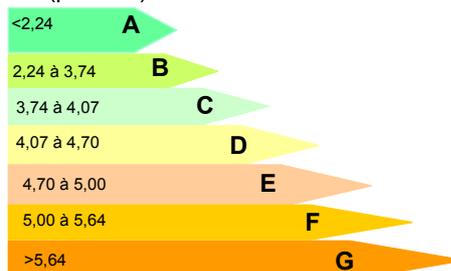
Consommation d'eau par surface

l/(m<sup>2</sup>.an)



Consommation d'eau par personne

m<sup>3</sup>/(pers.an)



## 2-3-3 Indicateurs et référentiels du thème « environnement »

### 2-3-3-1- Emission de gaz à effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel mais amplifié par les activités humaines. Les gaz à effet de serre sont multiples et ont des contributions différentes. Le CO<sub>2</sub> dégagé par les consommations de combustibles fossiles contribue à 55 % de l'effet de serre, les chloro fluoro carbonates à 25 % et le méthane à 15 %. Les 5 % restants incombent au protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O, à l'ozone O<sub>3</sub> et à l'hexa fluorure de soufre SF<sub>6</sub> [Peuportier, 2003].

Définition de l'indicateur : Nous prenons en compte les gaz les plus facilement quantifiables, responsables de 70 % de l'effet de serre au niveau global. Les deux gaz retenus sont le dioxyde de carbone, et le méthane du aux fuites du réseau. L'unité d'expression est le kg d'équivalent dioxyde de carbone : kg eq CO<sub>2</sub> (l'équivalent carbone s'emploie aussi). Les facteurs d'émission que nous avons retenus sont ceux de la méthode bilan carbone de l'ADEME version 3 [ADEME, 2005], qui sont conçus pour donner des ordres de grandeur et dont la marge d'erreur est pour certains assez importante (5 % d'erreur par kWh de gaz, 10 % par kWh d'électricité du réseau, 30 % d'erreur par kg de déchets d'activité incinéré ou mis en décharge).

L'expression de l'indicateur peut se faire par site, par surface et par personne, comme tous nos indicateurs quantitatifs.

Les activités prises en compte sont les postes de consommation d'énergie, la production de déchets d'activités, (estimés après observations et consultations du personnel d'entretien) :

$$GES = (C_{gaz} \cdot 0,064) + (C_{elec.spe} \cdot 0,023 + C_{elec.chauf} \cdot 0,091) + (Q_{dech.inc} \cdot 0,1470 + Q_{dech.dech} \cdot 0,1738)$$

avec :

*GES*, quantité équivalente de carbone émis, en kg eq carbone. On multiplie par le rapport du poids moléculaire du dioxyde de carbone par rapport au carbone (44/12) pour avoir la mesure en kg eq CO<sub>2</sub>.

*C<sub>gaz</sub>* et *C<sub>elec.spe</sub>*, respectivement consommation de combustible (ici gaz) et d'électricité spécifique, en kWh

*C<sub>elec.chauf</sub>*, électricité dédiée au chauffage du bâtiment

*Q<sub>dech.inc</sub>*, quantités de déchets d'activité du bâtiment incinérés

*Q<sub>dech.dech</sub>*, quantités de déchets d'activité mis en décharge

Les coefficients attribués aux différentes consommations sont les coefficients de la méthode bilan carbone de l'ADEME [ADEME, 2005]. Pour les bâtiments chauffés à l'électricité, l'indicateur différencie la part d'électricité spécifique et la part d'électricité dédiée au chauffage, cette dernière étant plus conséquente en émission de gaz à effet de serre du fait de l'utilisation des centrales thermiques classiques en cas de pointes de consommation, notamment pour le chauffage en saison froide (nous avons pris en compte la saisonnalité de la valeur moyenne d'émission de CO<sub>2</sub> par kWh).

Les quantités de déchets incinérés ou valorisés sur notre commune sont de 90 %, nous avons considéré 90 % de déchets incinérés et 10 % de déchets mis en décharge.

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 33** représente ici le calcul de l'indicateur de l'émission de gaz à effet de serre par surface. Nous indiquons également l'émission par site en **figure 34**.

Figure 33 : Emission de gaz à effet de serre par surface, années 2002 à 2004

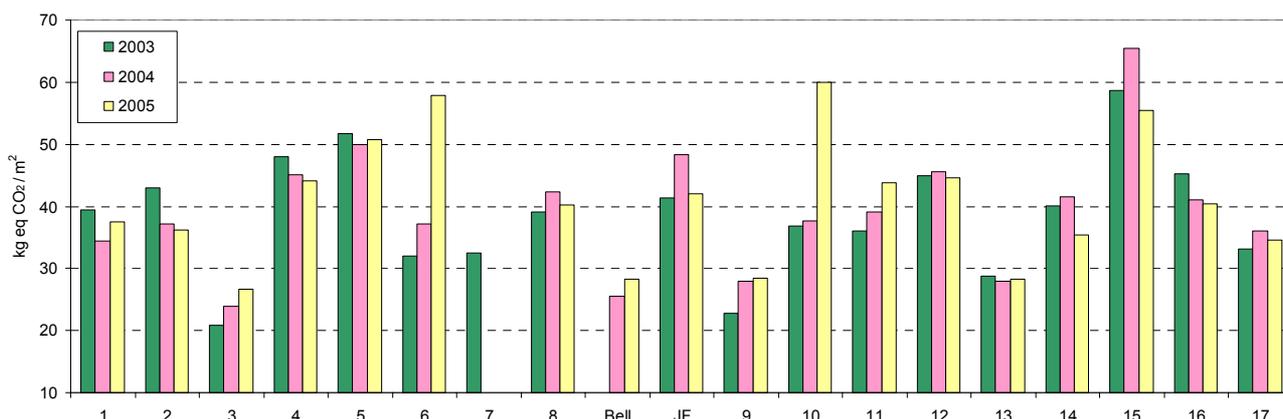


Figure 34 : Emission de gaz à effet de serre par site, années 2002 à 2004



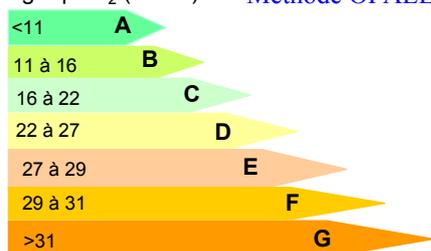
On voit en comparant les deux figures, que dans une optique de suivi et d'actions correctives sur ce paramètre, l'expression par unité de surface n'est pas suffisante. En effet un ratio n'indique pas l'importance des quantités totales émises. Il est à ce niveau indispensable de tenir compte du bâtiment global, ce qui justifie entièrement l'intégration des paramètres environnementaux dans un outil de suivi d'un parc de bâtiment.

Nous avons voulu estimer l'influence de la part des déchets sur le paramètre « émission de CO<sub>2</sub> équivalent ». Nous avons pris pour base 0,7 kg de déchets (y compris déchets restauration) par personne et par jour, (chiffre moyen déduit des observations et remarques du personnel d'entretien). Globalement la différence est de 17 %. Ou encore, et pour donner un ordre de grandeur, si on prend en compte les déchets dans le calcul de l'indicateur, les émissions augmentent en moyenne de 1,75 kg eq CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>.an) sur l'année 2004 par exemple.

Répartition discriminante des points et valeurs de la directive européenne :

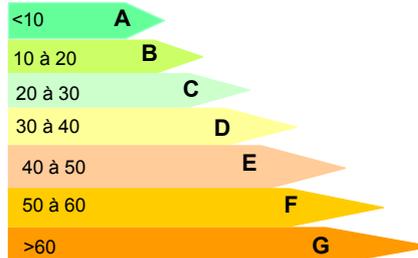
Emissions de gaz à effet de serre par surface

kg eq CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>.an) Méthode OPALE



Emissions de gaz à effet de serre par surface

kg eq CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>.an) Etiquette DEPE



Ici encore nous avons le choix de prendre en compte ou non l'échelle proposée par la directive européenne de performance énergétique des bâtiments ; notre échelle d'évaluation est plus discriminante sur le parc de bâtiments évalué, et nous retiendrons donc ce référentiel. Il reste cependant possible de faire la comparaison avec l'échelle de la DEPE.

### 2-3-3-2 Déchets radioactifs

Définition de l'indicateur : l'indicateur déchets radioactifs exprime la quantité globale en volumes produits de déchets A+B+C, consécutifs à la consommation de la part nucléaire de l'électricité, pour le bâtiment et par an. Il prend en compte la composition de l'énergie et favorisera logiquement les énergies renouvelables. Nous exprimerons l'indicateur en g/an pour que l'unité reste perceptible par les utilisateurs de la méthode. Le recyclage des déchets consomme également une certaine quantité d'énergie électrique, et sera pris en compte dans l'indicateur.

Selon les indicateurs du rapport annuel Développement Durable de EDF, année 2004, un kWh produit (non pas consommé) engendre 8,64 mg de déchets à vie courte (inférieure à 30 ans) et à activité de faible à moyenne, et 0,85 mg de déchets à vie longue et à forte activité.

Selon les valeurs de la base suisse Oekoinventare [Frischknecht *et al.*, 1996], un kWh nucléaire du réseau produit  $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ dm}^3$  de déchets radioactifs. Nous prendrons cette valeur comme référence car elle intègre les phases amont et aval de l'extraction et du traitement des déchets.

Le facteur de production de déchets radioactif par kg de déchets d'activités ( $1,62 \cdot 10^{-5} \text{ dm}^3/\text{kg}$ ) est calculé sur la base d'une composition moyenne de déchets d'activités, toujours à partir des valeurs de la base suisse. Le rendement entre le kWh brut produit et le kWh consommé est en moyenne de 88 % (avec la prise en compte du rendement du réseau de distribution, 7% sont consommés par les pertes sur lignes et 5% par les auxiliaires de distribution, dont les pompes centrales).

Nous calculons alors la production moyenne de déchets radioactifs pour un bâtiment par la formule suivante :

$$Q_{DRA} = f_1 \cdot C_{nucl} + f_2 \cdot Q_{déchets} + f_3 \cdot C_{én} + f_4 \cdot C_{eau} + f_5 \cdot E_G$$

avec :

$Q_{DRA}$ , quantité de déchets radioactifs produite par la part nucléaire de l'électricité, et du recyclage des déchets, en  $\text{dm}^3/\text{an}$ .

$C_{nucl}$ , consommation de kWh nucléaires de l'électricité, sachant que l'électricité classique du réseau est composée de 78 % d'électricité nucléaire, en kWh.

$Q_{déchets}$ , quantité de déchets d'activité recyclés, en kg.

$C_{én}$ , consommation d'énergie thermique (kWh).

$C_{eau}$ , consommation d'eau potable ( $\text{m}^3$ ).

$E_G$ , eaux grises traitées (nombre de personnes).

$f_1$  à  $f_5$ , facteurs d'émissions [Frischknecht *et al.*, 1996].

#### Informations complémentaires

Le cycle de production de l'électricité nucléaire entraîne la production de 3 grands types de déchets radioactifs, [www.andra.fr] :

- les déchets de type A, à faible et moyenne activité (entre 100 et 1 000 becquerels par gramme) et à vie courte (période de moins de 30 ans), qui proviennent des opérations d'exploitation des centrales,
- les déchets de type B, à moyenne activité, à vie longue (période supérieure à 30 ans), qui proviennent du fonctionnement des installations de fabrication et de retraitement du combustible, ainsi que des matériaux de structure des éléments combustibles,
- les déchets de type C, à forte et très forte activité, composés d'éléments à la fois à vie courte et à vie longue, qui proviennent des combustibles irradiés, et sont vitrifiés (96 % de la radioactivité des déchets et 2 % du volume, source ANDRA).

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 35** représente ici le calcul de l'indicateur de production de volumes de déchets radioactifs par surface. Nous avons exprimé l'indicateur par site pour avoir une indication sur la contribution globale de chaque bâtiment, par personne et par m<sup>2</sup> pour avoir la performance de chaque bâtiment en **figure 36**.

Figure 35 : Production de déchets radioactifs par surface, années 2002 à 2004

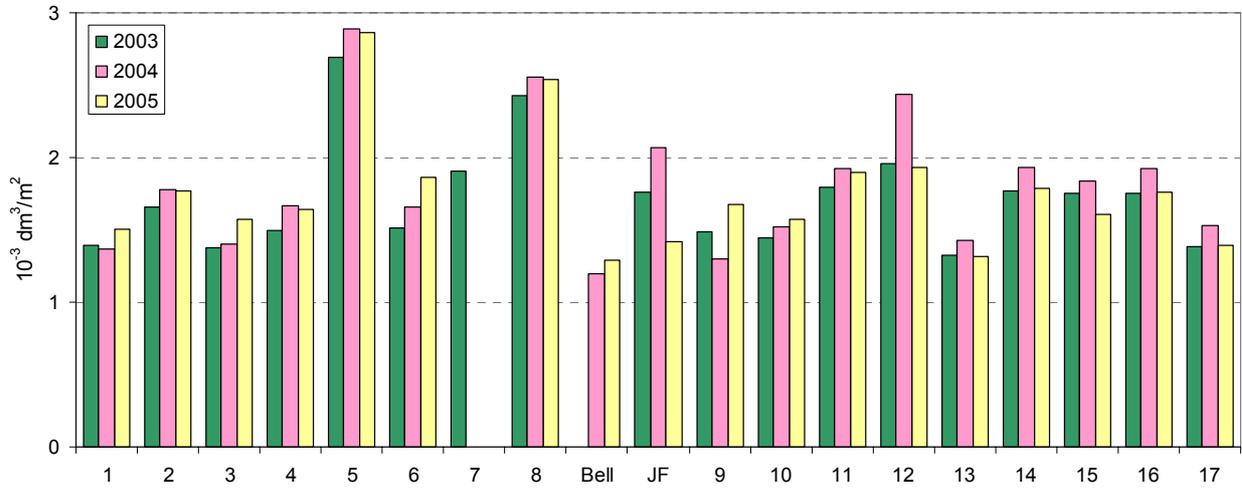
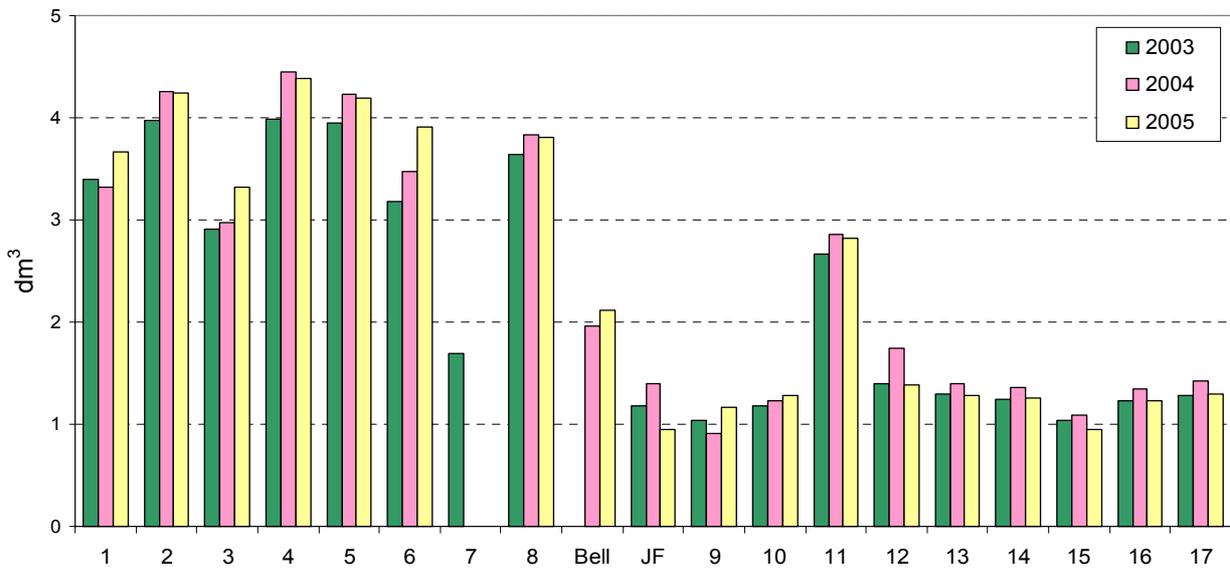


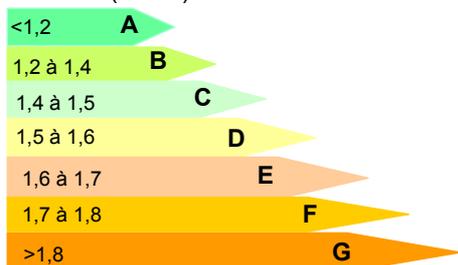
Figure 36 : Production de déchets radioactifs par site, années 2002 à 2004



Répartition discriminante des points :

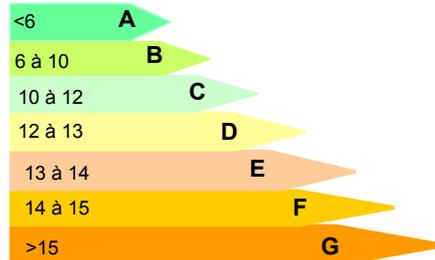
Production de déchets radioactifs par surface

10<sup>-3</sup> dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.an)



Production de déchets radioactifs par personne

10<sup>-3</sup> dm<sup>3</sup>/(pers.an)



### 2-3-3-3 Déchets d'activités

Les quantités de déchets d'activités ne sont pas mesurées, et sont difficiles à estimer. Les services de ramassage ne font aucun comptage par type de déchets, de bâtiment, ni même par commune. La taxe appliquée est fonction du volume et du nombre de bacs, pas de leur remplissage ou de la qualité de leur contenu.

Trois démarches sont possibles.

1) On peut partir de la base d'achats de matériel réalisés par la mairie. Le temps de vie du matériel pédagogique (dessin, peintures, écriture, ...) étant relativement court, et inférieur ou égal à l'année. Il faut y ajouter la fourniture du nombre de repas, en y appliquant un taux de consommation, source d'erreur car différent d'une école et d'un repas à l'autre. S'y rajoutent les emballages annuels des produits et matériel d'entretien. Cette démarche néglige une partie des déchets : le matériel et les goûters fournis par les parents, les apports du personnel enseignant lui-même (donnée d'enquête et observation). Elle demande également une sortie d'information spécifique sur la base de données du gestionnaire du bâtiment (ici la commune) : poids total de papiers achetés par école, quantité de feutres, de peinture, ... or la classification des achats est en général différente et fastidieuse à qualifier et quantifier, ce qui représente donc un travail à mettre en place par le gestionnaire avec ses fournisseurs. En revanche, une fois établi, ce travail permettrait par la suite de savoir à quel niveau agir, pour faire diminuer la quantité de déchets difficilement revalorisables par exemple (en supposant que cela n'entrave pas les activités pédagogiques elles-mêmes évidemment). C'est la base de comptage la plus exacte réalisable actuellement. Un impact économique peut également être attendu de ce suivi des consommables.

2) On peut partir sur la base d'une quantité donnée de déchets par personne ; les bâtiments sont alors directement classés en fonction de leurs effectifs, ce qui n'est sûrement pas judicieux, mais peut dans un premier temps donner des indications. C'est la démarche que nous avons adoptée ici faute de données.

3) Une troisième option est de mettre en place dans les établissements un système de comptage des déchets : observation et relevé des taux de remplissage et contenu moyen des bacs. Cela nécessite la désignation d'une personne chargée sur place de cette observation et de noter sur une feuille de relevés ses observations, 2 fois par semaine (i.e. fréquence hebdomadaire de ramassage des bacs).

Définition de l'indicateur : quantité de déchets d'activités produite par an (périssables, papiers, cartons, plastiques, verres, métaux, peintures, déchets de jardin, ...).

On pourrait pondérer les quantités de déchets en fonction de leur devenir : le principe serait de rendre l'indicateur plus performant avec la part grandissante de déchets recyclés et valorisés. Cependant ces proportions ne dépendent pas du bâtiment mais de la commune et de sa gestion des déchets.

Dans tous les cas l'indicateur doit prendre en compte la destination des déchets, ainsi que la qualité de la valorisation énergétique (traitement des effluents gazeux des incinérateurs de la commune). Cela implique un comptage par type de déchets et une connaissance du devenir des déchets, ce qui n'est actuellement pas le cas, mais commence à se mettre en place.

Nous désirons qualifier la production de déchets de l'activité du bâtiment par sa gestion et ses usages, et sa qualité : tri existant et efficace ou pas.

Etant donné que l'on peut difficilement pour l'instant estimer la part de déchets triés avec une erreur tolérable, nous appliquons le principe suivant : si un tri est mis en place et appliqué à l'intérieur du bâtiment, au niveau de chaque poubelle puisque c'est leur point de chute, alors on suppose que le tri est suivi en aval par la commune, donc que le recyclage est optimisé, et le bâtiment augmente d'une classe de performance par rapport à sa production globale seule.

En l'état de nos données nous avons appliqué la méthode de la quantité moyenne par enfant : selon les observations des institutrices, 0,4 kg de déchets moyen par enfant dans l'école et 0,3 de déchets de restauration, par jour, soit une quantité de déchets totale :

$$Q_{banals} = 0,7 \cdot E \cdot N_{jours\ ouvrés}$$

avec  $Q_{banals}$ , quantité de déchets d'activités du bâtiment, en tonnes par site

$E$ , effectif de l'école (adultes et enfants),

$N_{jours\ ouvrés}$ , nombre de jours ouvrés, ici 182 par an.

Pour information, les proportions de déchets valorisés énergétiquement, recyclés et mis en décharge sont, au niveau de la Communauté Urbaine de Bordeaux pour 2003, respectivement de : 63, 27, et 10 % (soit 90 % de déchets recyclés en tout) [[www.bordeaux-metropole.com/servicedesdechets/](http://www.bordeaux-metropole.com/servicedesdechets/)].

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 37** représente le calcul de l'indicateur de production de déchets d'activités par surface.

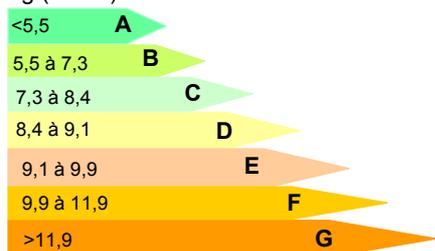
**Figure 37 : Production de déchets d'activités par surface, années 2002 à 2005**



Référentiel :

Production de déchets d'activité par surface

kg/(m<sup>2</sup>.an)



La raison d'être d'un indicateur étant d'informer sur le potentiel d'amélioration, via le tableau de bord des usagers ou gestionnaires, les améliorations que l'on peut attendre sur les déchets d'activité dans un bâtiment d'enseignement sont par exemple : le pourcentage de tri des déchets recyclables (et recyclés par la collectivité), les quantités émises par une meilleure maîtrise de l'utilisation des matériaux et une limitation du gaspillage, la qualité des matériaux par des choix plus appropriés à l'achat (limitation des plastiques non recyclables ou chargés en chlore, ...).

### 2-3-3-4 Pollution des eaux

L'un des effets majeurs de pollution des eaux est l'eutrophisation. C'est une forme à la base naturelle de pollution de certains milieux aquatiques, qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues, que celles-ci prolifèrent et entraînent un appauvrissement en oxygène et la fin de la vie aérobie du milieu. Ce phénomène accéléré est aussi appelé dystrophisation. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore (contenu dans les phosphates des détergents en particulier) et l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites). Il est à noter que le phosphore est le facteur limitant, et donc le principal nutriment responsable de l'eutrophisation des eaux. La réduction de l'eutrophisation doit porter en priorité sur les phosphates qui en sont la forme dissoute.

Les lessives représentent 11% de l'apport de phosphates dans les eaux de surface européennes, 23% provenant des rejets domestiques dans les eaux usées, 49 % de l'agriculture, 7 % de l'industrie et 10 % de l'érosion naturelle [www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/]. En terme de quantités, les phosphates rejetés dans l'environnement proviennent, en France, à parts sensiblement égales, de sources agricoles (engrais) et industrielles, de déjections humaines et de détergents ou lessives phosphatées. En Europe de l'Ouest, la pollution ponctuelle par les phosphates est estimée à 3,5 grammes par habitant et par jour : 1,2 gramme provient des excréments humains, et le reste surtout des détergents.

Par rapport aux activités du bâtiment, les apports en azote sont principalement dus aux déjections humaines. Or ce facteur est inhérent à l'homme et non aux bâtiments (sauf à considérer un système de toilettes sèches par exemple). Le deuxième poste de rejets de produits polluants les eaux du bâtiment sont les produits d'entretien.

Le phosphore étant le facteur limitant, nous nous baserons sur cette donnée pour l'indicateur. Cependant comment exprimer un indicateur d'eutrophisation sur l'activité d'un bâtiment d'enseignement et sachant que l'eutrophisation est un phénomène complexe et dépendant de beaucoup d'autres facteurs que l'apport en phosphates ? De plus, la quantité exacte de produits consommés dans un bâtiment, et le contenu de chacun de ces produits en phosphates (mais il y a bien d'autres composés), est d'une part difficilement accessible, et d'autre part non ou mal communiquée par les fabricants.

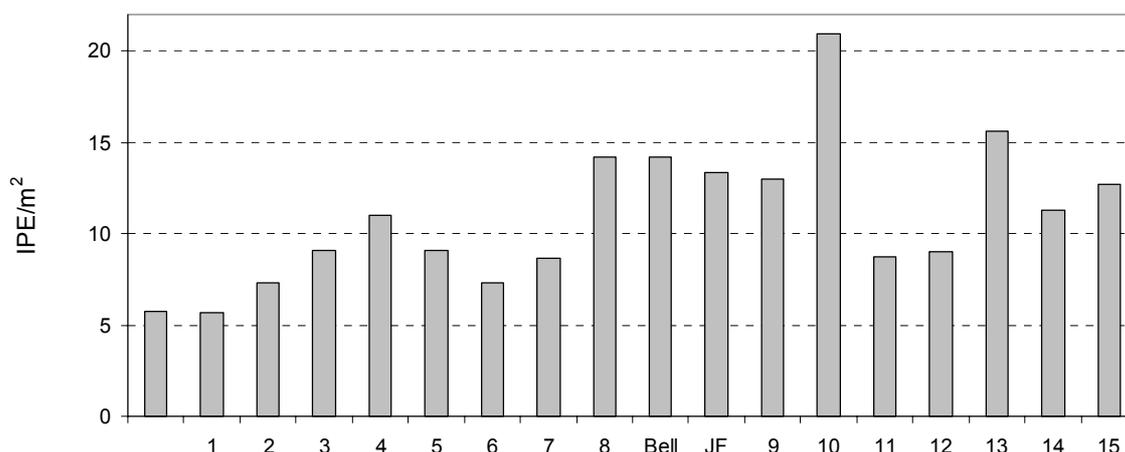
Définition de l'indicateur : la donnée la plus fiable (et disponible) que nous avons pu récolter auprès du gestionnaire est la taxe générale d'activités polluantes. Cette taxe est calculée à partir du contenu en phosphates et en chlore notamment. Nous avons basé l'indicateur sur le montant global de la TGAP pour chaque bâtiment de notre base de données, sur l'année 2003, les années 2004 et 2005 n'étant pas disponibles.

Il faudra rester critique sur les résultats car le non emploi de produits riches en phosphates ne veut pas dire l'emploi de produits plus respectueux de l'environnement, ici des eaux en particulier. De plus, l'hygiène doit être respectée sur des bâtiments d'enseignement scolaires.

#### Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

Le calcul de l'indicateur de pollution des eaux par surface est illustré en **figure 38**.

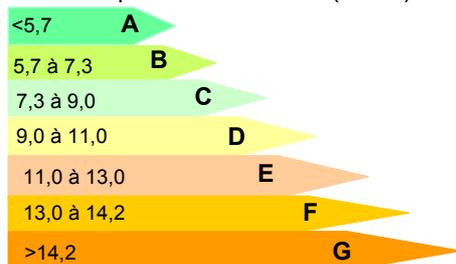
Figure 38 : Indice de pollution des eaux par surface, années 2003



## Répartition discriminante des points :

### Indice de pollution des eaux par surface

Indice de pollution des eaux / (m<sup>2</sup>.an)



*Remarque* : nous pourrions nous attendre à une régularité des chiffres meilleure que pour les autres indicateurs, étant donné que le mode d'emploi des produits est identique, et qu'ils sont les mêmes pour les écoles. Or certains établissements ont un indicateur 3 fois plus important. Ceci peut être dû à une commande excessive de produits ou à de mauvais usages (dilutions insuffisantes par exemple).

### 2-3-3-5 Pollution de l'air : acidification et ozone photochimique

L'acidification et l'ozone photochimique sont la conséquence de l'émission à l'atmosphère de composés tels le dioxyde de soufre, ou d'oxyde d'azote pour l'acidification ; l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>), les particules, mais aussi les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les composés organiques volatils (COV), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et le monoxyde de carbone (CO) pour le smog. La plupart de ces composés sont des précurseurs d'ozone photochimique. Ces deux manifestations sont les plus importantes de la pollution de l'air en milieu urbain.

Les pluies acides sont la manifestation majeure de l'acidification de l'atmosphère. Elles sont dues à la formation d'acides nitriques et sulfuriques formés par combinaison de pluie et d'oxydes d'azote et de soufre. Ces polluants proviennent des rejets en zones urbaines. Le soufre est une impureté contenue dans quasiment tous les combustibles fossiles. Les principales sources sont les centrales thermiques, les centres de production de chauffage, et les grosses installations de combustion de l'industrie. Les secteurs tertiaire et résidentiel (chauffage individuel ou collectif) constituent le deuxième type d'émetteur, alors que les transports ne représentent qu'une faible part des émissions totales, pour la plupart à cause du trafic diesel. Ainsi, les émissions de dioxyde de soufre sont surtout concentrées en période de chauffe hivernale. Il se transforme rapidement dans l'air en acide sulfurique, très hygroscopique, qui conditionne la formation des smogs acides. L'anhydride sulfureux est aussi responsable des pluies acides, en provoquant une acidification incessante du pH des précipitations dans l'ensemble des pays industrialisés. Ce qui engendre notamment un dépérissement à vaste échelle des forêts de conifères, et de l'acidification des eaux des lacs situés sur terrains cristallins. Une conséquence moins connue est les dommages portés aux écosystèmes côtiers, aux sols, aux monuments historiques, ainsi qu'aux eaux profondes qui se retrouvent chargées en métaux lourds du fait de leur relargage en surface par acidification.

L'ozone photochimique est lié au smog, ou brouillard photochimique, qui prend forme lorsque l'air stagne, c'est-à-dire quand il y a très peu de vent (les conditions météorologiques jouent donc un rôle important). D'un point de vue santé, l'ozone photochimique, combiné aux autres polluants de la basse atmosphère, contribue à des milliers de décès prématurés survenant chaque année à l'échelle du pays, ainsi qu'à des hospitalisations et des consultations médicales plus fréquentes, et à des centaines de milliers de journées perdues au travail et à l'école. L'ozone photochimique se manifeste en particulier dans smog d'été.

Définition de l'indicateur : Nous évaluons la contribution d'un bâtiment au phénomène d'acidification et de formation d'ozone photochimique en nous basant sur :

- le type d'énergie utilisée,
- la performance des systèmes de combustion (rendements de combustion),
- l'existence et le fonctionnement de système de filtrage des fumées en sortie de chaufferie, par exemple, pour comparer des bâtiments ou des modes de gestion entre eux,
- ainsi que les modes de traitement des déchets, sources de polluants atmosphériques importantes.

Les facteurs d'émission prennent en compte les phases amont de production de ces composés. On exprime la somme des quantités de SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> produites, en procédant à une iso pondération des deux types de composés.

$$Q_{Pol.Atm} = Q_{SO_2} + Q_{O_3}$$

avec :

$$Q_{SO_2} = k_{SO_2, Elec.Spec} \cdot C_{Elec.rés} + k_{SO_2, Elec.chauf} \cdot C_{Elec.chauf} + k_{SO_2, Gaz} \cdot C_{Gaz} + Q_{Déch.inc} \cdot k_{SO_2, déch.inc}$$

$$Q_{O_3} = k_{O_3, Elec.Spec} \cdot C_{Elec.rés} + k_{O_3, Elec.chauf} \cdot C_{Elec.chauf} + k_{O_3, Gaz} \cdot C_{Gaz} + Q_{Déch.inc} \cdot k_{O_3, déch.inc}$$

et :

$Q_{SO_2}$ , quantité de SO<sub>2</sub> émise à l'atmosphère, en kg

$Q_{O_3}$ , quantité de O<sub>3</sub> équivalente émise à l'atmosphère, en kg

$k_{SO_2}$ , constante d'émission de SO<sub>2</sub>, variable selon le type de combustible ou d'énergie

$k_{O_3}$ , constante d'émission de O<sub>3</sub>, variable selon le type de combustible ou d'énergie

$C_{Elec.rés}$ , consommation d'électricité à usage spécifique, en kWh

$C_{Elec.chauf}$ , consommation d'électricité du réseau à usage thermique, en kWh

$C_{Gaz}$ , consommation de gaz, en kWh

$Q_{Déch.inc}$ , quantité de déchets incinérés, en kg

les facteurs d'émissions sont exprimés dans le **tableau 18**.

Tableau 18 : Emissions de dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> et formation d'ozone photochimique O<sub>3</sub> exprimés en kg/kWh utile [Frischknecht *et al.*, 1996]

Origine	Valeur par kWh d'origine	
	k <sub>SO2</sub> g / kWh	k <sub>O3</sub> g / kWh
<i>Elec.Spec</i> : électricité spécifique	0,380	0,160
<i>Elec.chauf</i> : électricité chauffage	0,790	0,350
<i>Gaz</i> : gaz	0,360	0,300
bois	0,801	1,165
fuel	0,835	0,658
chauffage urbain fuel	0,804	0,649
charbon	3,497	0,887
chauffage urbain gaz	0,369	0,247
<i>Déch.inc</i> : déchets incinérés	0,590	0,470

Note : l'indicateur exprimé prend en compte le gaz comme énergie thermique, mais il peut s'agir du bois, du gaz, du fuel, ...

**Remarque** : On observera que **l'énergie bois n'est pas neutre au niveau environnemental**.

En effet, 80 % des particules émises par le chauffage au bois ont un diamètre inférieur à 1 micron (µm) et pénètrent jusqu'aux alvéoles pulmonaires, y amenant leur contenu en composés aromatiques polycycliques, entre autre [Van Lith *et al.*, 2006]. L'utilisation du cycle du carbone pour une exploitation énergétique est un atout majeur, mais il ne faut pas oublier la part de polluants émis par cette combustion. L'utilisation de l'énergie bois sera durable uniquement avec une **vision globale du processus**, notamment de ses **impacts toxicologiques**, ce qui implique une **dynamisation des technologies d'utilisation du bois**, ainsi qu'une **promotion de la culture et du niveau d'information des usagers**, notamment en ce qui concerne les différents systèmes de combustion du bois.

L'indicateur permet de comparer plusieurs bâtiments entre eux, mais ne quantifie pas sa participation en propre à la formation d'ozone et à l'acidification locale : pour cela il faudrait avoir une caractérisation et une quantification de toutes les activités locales : transport, bâtiments, industrie, activités naturelles, ...

Nous avons choisi de classer les combustibles par les quantités de SO<sub>2</sub> et ozone émis à l'atmosphère par unité d'énergie utile produite.

Nous avons pris en compte dans le calcul de l'indicateur la production indirecte de polluants atmosphériques impliqués dans les phénomènes d'acidification et l'ozone pour l'électricité, en fonction de la part d'électricité produite par les centrales thermiques (actuellement en hausse à 8,2 % du kWh produit, chiffres 2004) et des rejets atmosphériques des centrales. Cette contribution est globale et non locale.

Répartition des points de mesures sur les bâtiments existants :

La **figure 39** représente le calcul de l'indicateur d'émission de quantités de SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> par surface. La **figure 40** montre les émissions correspondantes annuelles par site.

Figure 39 : Emissions de dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> et formation d'ozone photochimique O<sub>3</sub> par surface, années 2003 à 2005

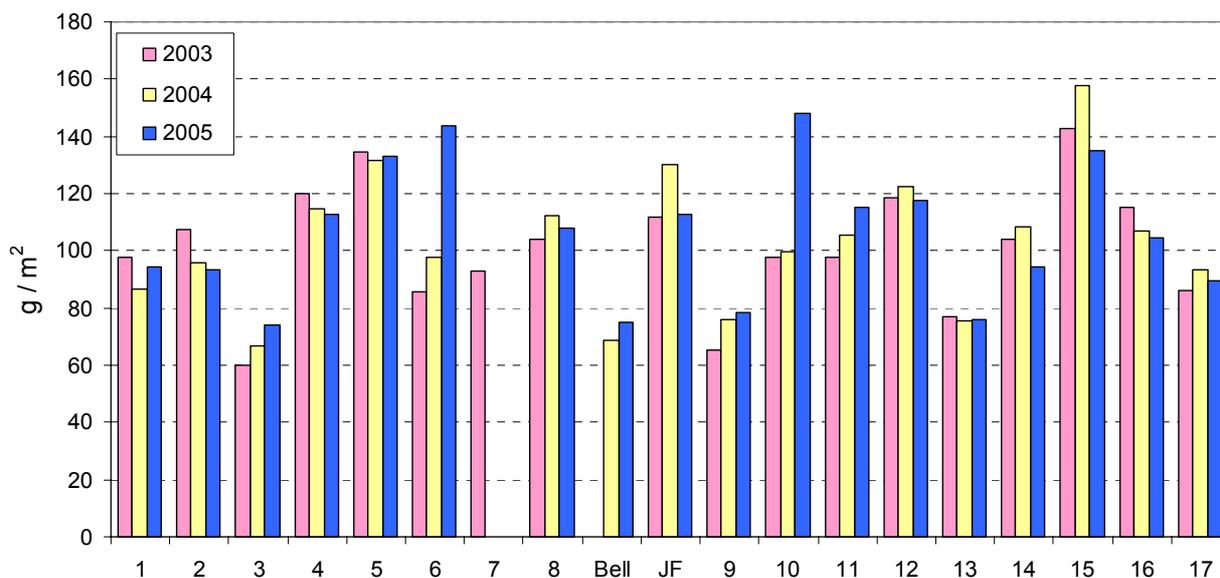
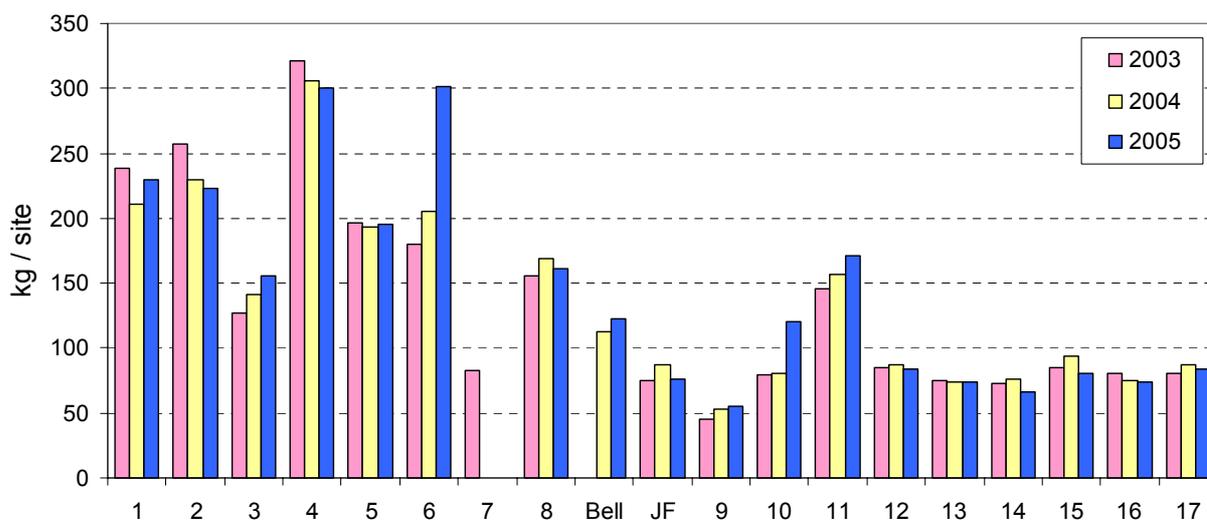
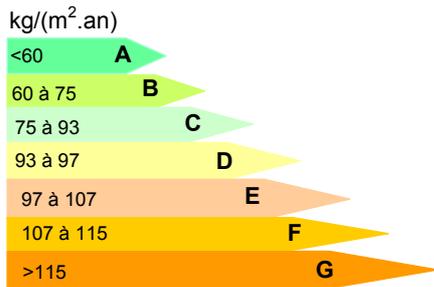


Figure 40 : Emissions de dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> et formation d'ozone photochimique O<sub>3</sub> par site, années 2003 à 2005

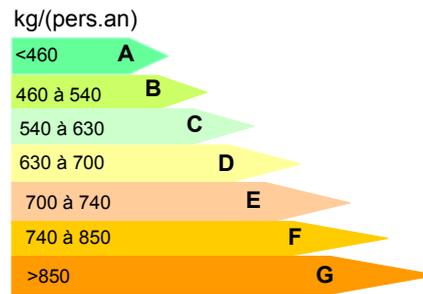


## Référentiels :

### Emissions de SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> par surface



### Emissions de SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> par personne



*Remarque* : la prise en compte de la part d'électricité produite à partir de combustibles fossiles, soit moins de 10 % du kWh, amène un changement significatif dans l'indicateur d'émission de substances acidifiantes et génératrices d'ozone. Nous pouvons évoquer à cela deux raisons :

- le rendement du système de conversion d'énergie thermique en électricité est faible (de l'ordre de 30%),
- le type de combustible des centrales est différent, plus producteurs de polluants que le gaz naturel, en particulier le charbon et le fioul.

## 2-3-4 Indicateurs et référentiels du thème « confort santé »

### 2-3-4-1 Confort thermique

Le Grand Dictionnaire le définit comme la « convergence vers leur point optimum de tous les facteurs qui conditionnent l'échange thermique entre l'homme et l'entourage : température de l'air, des parois, convection, état hygrométrique ».

La bibliographie [Fanger, 1973] définit le confort hygrothermique au travers de 2 paramètres principaux : la température opérative, et l'indice PMV de Fanger.

La température opérative dépend de la température radiante moyenne, la température de l'air et de la vitesse de l'air. La température radiante moyenne est pondérée par les surfaces de parois, les températures de surface intérieure des parois en contact avec l'air de la zone étudiée. Pour une vitesse de l'air faible ( $\leq 0,1$  m/s), la température opérative est moyenne entre la température radiante moyenne et la température d'air de la zone étudiée considérée comme uniforme.

L'indice PMV, (predicted mean vote), établi par le Professeur Fanger (Danemark), a été construit en exposant 1300 personnes à des conditions de vêtue, de métabolisme, de température moyenne radiante de température et de vitesse de l'air ( $T_{opérative}$ ) et d'humidité différentes. De ces conditions, on déduit un bilan thermique dans une échelle allant de -3 pour une ambiance très froide à +3 pour des conditions très chaudes, et en passant par 0, conditions de thermoneutralité du bilan. Du vote des 1300 personnes, l'auteur a déduit un indice PPD moyen estimant le degré d'insatisfaction des personnes (pour  $PMV = 0$ ,  $PPD = 5\%$ ).

L'instrumentation que nous avons développée ici a pour objectif une évaluation globale de la qualité environnementale du bâtiment et ne focalise pas spécifiquement sur le confort. Nous supposons pour notre évaluation des conditions de vêtue adaptées et standards, un métabolisme d'activité moyenne, une vitesse de l'air fixe, nous assimilons la température opérative à la température de l'air sec, donnée par le capteur TEHOR [Cornée, 2004], et utilisons aussi le paramètre d'humidité relative.

**Définition de l'indicateur** : Nous établissons notre évaluation du confort hygrothermique en fonction de deux indicateurs : confort thermique d'été et confort thermique d'hiver. Ces deux indicateurs sont calculés par le pourcentage de points en dehors des zones de confort (définition et diagramme psychrométrique en annexe), en nous basant sur une période de 2 mois (2 mois d'hiver, deux mois d'été), et ce sur les heures d'occupation.

Expression de l'indicateur :

$$CHT = \frac{N_{Conf}}{N_{Occ}} \cdot 100$$

avec :

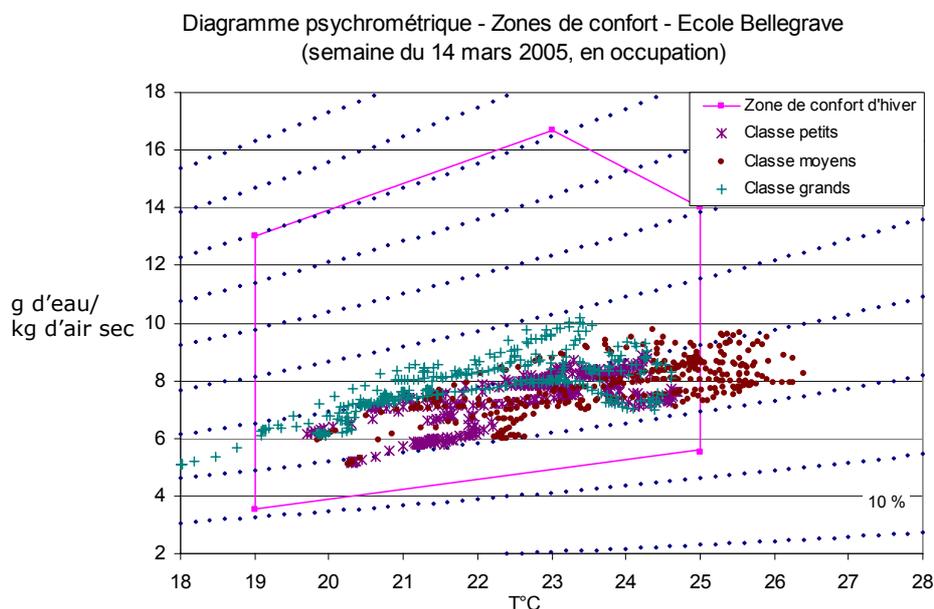
$CHT$  , confort hygrothermique (hiver ou été), en pourcentage de point dans la zone de confort

$N_{Conf}$  , nombre de points de mesure situés dans la zone de confort

$N_{Occ}$  , nombre total de points de mesure en période d'occupation

La **figure 41** illustre le mode de calcul de l'indicateur.

Figure 41 : Illustration du calcul de l'indicateur de confort hygrothermique



#### Informations et données :

Les paramètres du confort hygrothermique se mesurent directement, et pour compléter l'évaluation, la satisfaction des usagers peut être reflétée par une enquête.

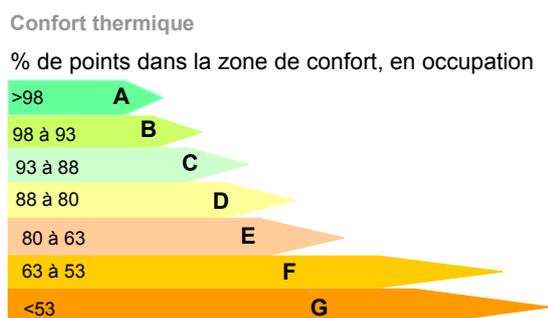
Notre base sera la somme des mesures du confort thermique à l'échelle de la semaine sur toute la période de mesures, sur chaque local du bâtiment suivi. Cela permet d'avoir des semaines chaudes, des semaines froides, des semaines humides, etc. Nous supposons que cet échantillonnage sera représentatif de toutes les situations de confort, les deux bâtiments ayant été suivis pendant un an.

Les enquêtes permettront de venir infirmer le sens que nous pouvons ou pas donner aux mesures.

#### Construction du référentiel :

Nous obtenons des pourcentages de points compris dans les zones de confort allant de 98 % à 25 %, pour chacune des zones de confort été et hiver. Les zones de confort que nous avons pris en compte diffèrent sensiblement des zones définies par l'Ashrae [ASHRAE Handbook, 2001], qui sont relativement chaudes. Les deux zones de confort que nous avons retenues (été et hiver) sont définies précisément en annexe 18. Pour déterminer les zones du référentiel, nous avons effectué une iso-répartition des points de pourcentage de confort atteints sur des durées de 1 semaine, sur les 6 classes équipées et sur 2 mois de mesures pour chaque saison.

#### Référentiel du confort thermique d'été et d'hiver :



#### Remarques :

Pour rendre compte du confort total du bâtiment, on ne saurait se limiter aux seules salles de cours. Il faut rendre compte du confort thermique de chaque zone.

On pourrait pondérer l'importance des zones en fonction du temps d'occupation. Mais la durée passée dans un type de pièce ne détermine pas forcément de l'importance ou l'exigence de confort hygrothermique.

Doit-on donner plus d'importance à l'inconfort dû à des températures trop élevées ou trop basses ? Nous avons décidé d'accorder la même importance à chaque type de local, ainsi qu'aux températures élevées ou fraîches.

Dans cette considération, et afin d'étudier comment évaluer le confort thermique global à partir des mesures des locaux instrumentés, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) des données (voir annexe 1). Dans ce cas d'étude, l'emploi de l'ACP a permis de voir que les deux bâtiments sont thermiquement homogènes, ce qui permet de réduire le nombre de capteurs de température aux zones significatives. En revanche, elle ne pourra pas indiquer si cette procédure est reproductible sur un bâtiment différent, même si elle donnera des éléments de réflexion.

Ceci nous indique que la mesure du confort peut se résumer aux données d'un nombre réduit de capteurs, judicieusement distribués sur chaque école (par exemple, il est intéressant d'utiliser pour les mesures les enregistrements des sondes de régulation de température de consigne des centrales de traitement d'air).

### 2-3-4-2 Qualité de l'air

La problématique de la qualité de l'air intérieur est importante dans les écoles françaises, et nous a semblé mériter un éclairage. Le jeune âge des enfants en école préscolaire et leur métabolisme en font des usagers tout particulièrement sensibles à la qualité de l'air, souvent déficiente dans les établissements français [Kirchner *et al.*, 2005 ; Barles, 2002]. Les différences entre les enfants et les adultes expliquant leur plus grande vulnérabilité sont multiples : la croissance et le développement de la fonction respiratoire, l'inefficacité des systèmes de détoxification, l'immaturité des défenses immunitaires, la fréquence des infections respiratoires qui augmentent les effets des polluants pouvant atteindre les poumons des enfants. Le débit minimal d'air neuf prescrit pour les écoles équipées d'une ventilation mécanique est établi sur la base d'une concentration en CO<sub>2</sub> inférieure à 1000 ppm [Circulaire du 9 mai 1985] et est de 15 m<sup>3</sup>/(pers.h). Il est de 18 m<sup>3</sup>/(pers.h) pour les adultes (bureaux).

La réglementation considère donc que les besoins en air neuf des enfants en plein développement est inférieure à ceux des adultes. Or l'important coût énergétique de la croissance de l'enfant, et le rapport surface d'échange respiratoire/poids d'un enfant sont supérieurs à ceux d'un adulte, ce qui veut dire que ses échanges avec l'air sont bien plus conséquents. Les besoins énergétiques sont environ de 100 kcal/(kg.j) pendant la première année de vie, de 80 kcal/(kg.j) à 10 ans et de 45 kcal/(kg.j) dès l'âge de 20 ans. La consommation d'oxygène assimilable au métabolisme de repos chute de 7,35 ml/(kg.min) à 3,86 ml/(kg.min) entre 6 et 25 ans. Le métabolisme de base d'un enfant est plus de deux fois celui d'une adulte. Il chute entre 6 et 18 ans de 19 % et 27 % respectivement chez les garçons et les filles. De plus l'activité physique des enfants en milieu scolaire est également plus importante que celle des adultes. Les débits de ventilation devraient par conséquent être plus importants pour les jeunes enfants que pour les adultes [synthèse d'une communication personnelle, S.Déoux, mai 2006]

L'indicateur de la qualité de l'air est donné dans certaines études [RSEIN, 2005] par la concentration en dioxyde de carbone. Il a été établi une plage de concentrations de dioxyde de carbone correspondant à une qualité d'air acceptable. Le dioxyde de carbone est produit par la respiration humaine et sa concentration ne peut être réduite de façon significative que par une ventilation, naturelle ou artificielle suffisante. Le degré de ventilation nécessaire pour maintenir une faible teneur en dioxyde de carbone à l'intérieur permet également de réduire les concentrations d'autres polluants intérieurs et d'améliorer la qualité générale de l'air à l'intérieur.

Le dioxyde de carbone est un indicateur représentatif de la qualité de l'air dans le cas des édifices où d'importantes sources de dioxyde de carbone sont produites par métabolisme ou par combustion, ce qui est le cas de la plupart des immeubles d'enseignement ou de bureaux.

Des études, [CSTB, 2002], [ASHRAE Handbook, 2001], indiquent que des concentrations de dioxyde de carbone supérieures à 1000 ppm (pour parties par million) sont synonymes d'un approvisionnement en air frais insuffisant. Cependant, bien d'autres facteurs influent sur la qualité de l'air intérieur, comme l'indique le **tableau 19**.

**Tableau 19 : Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air [ASPA, 2005]**

Facteur	Source
Températures et taux d'humidité extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emplacement inadéquat des thermostats</li> <li>• Mauvaise régulation de l'humidité</li> <li>• Incapacité du bâtiment à compenser les changements climatiques extrêmes</li> <li>• Equipement et procédés ajoutés par les occupants</li> </ul>
Dioxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respiration humaine</li> <li>• Combustion de combustibles fossiles</li> <li>• (p. ex. chaudières au gaz et à l'essence, dispositifs de chauffage)</li> </ul>
Monoxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz d'échappement des automobiles</li> <li>• (garages, quais de chargement, prises d'air)</li> <li>• Combustion, fumée de tabac</li> </ul>
Formaldéhyde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneaux de contreplaqué ou de particules non scellés</li> <li>• Isolant d'urée-formaldéhyde</li> <li>• Tissus, colles, tapis, meubles, papier autocopiant</li> </ul>
Particules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fumées, prises d'air, papier</li> <li>• Isolant des conduites, résidus aqueux, tapis</li> <li>• Filtres pour CVC</li> <li>• Ménage des locaux</li> </ul>
Composés organiques volatils (COV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machines à copier ou imprimantes, ordinateurs</li> <li>• Tapis, meubles</li> <li>• Produits de nettoyage, fumée, peintures</li> <li>• Adhésifs, produits de calfeutrage</li> <li>• Parfums, fixatifs pour cheveux, solvants</li> </ul>
Ventilation inadéquate (apport insuffisant d'air extérieur, débit et circulation de l'air insuffisants)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures d'économie d'énergie et d'entretien</li> <li>• Conception ou fonctionnement inadéquats du système</li> <li>• Modification du système de CVC par l'occupant ou le gestionnaire</li> <li>• Mauvais aménagement des locaux</li> <li>• Dérèglement du système</li> </ul>
Matière microbienne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau stagnante dans le système de CVC</li> <li>• Matières humides et mouillées</li> <li>• Humidificateurs, plateaux de drainage de condensât</li> </ul>

Nous avons basé notre détermination de la qualité de l'air intérieur sur la mesure de la concentration en CO<sub>2</sub>. Même si ce paramètre décrit de manière incomplète la qualité de l'air intérieur, il caractérise correctement le renouvellement d'air pour les volumes à occupation importante. Enfin on sait que l'air extérieur est, sauf cas exceptionnel, moins pollué que l'air intérieur.

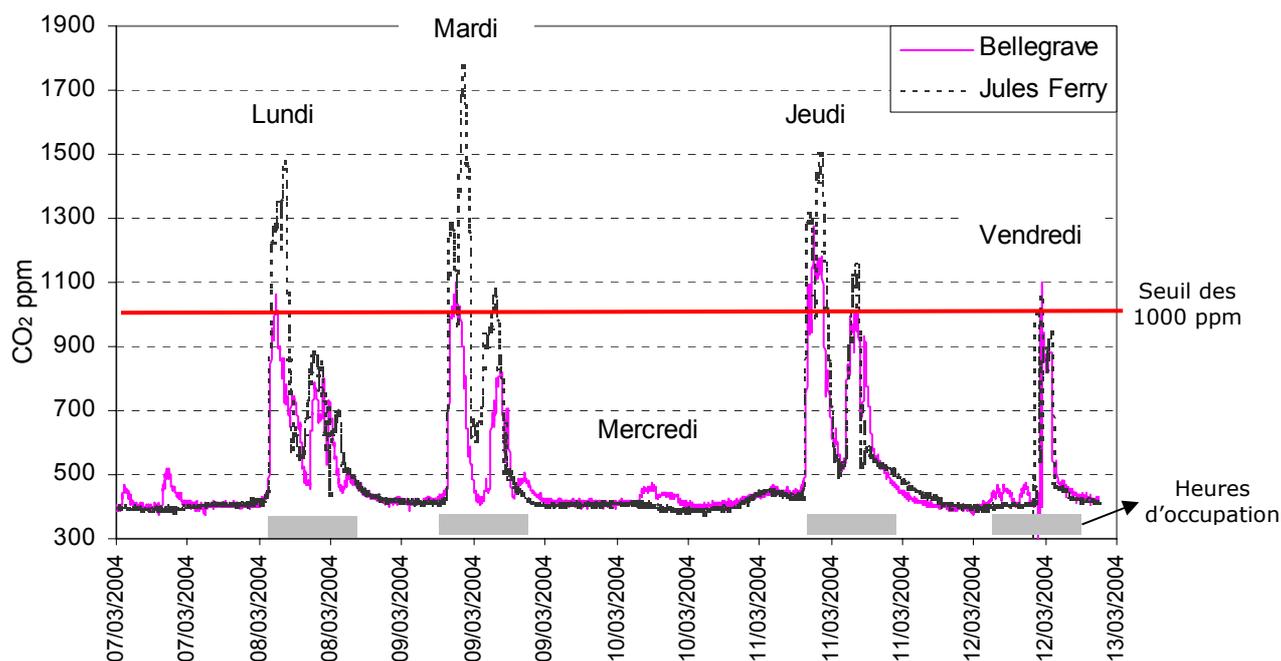
**Définition de l'indicateur** : Une bonne qualité de l'air intérieur correspond à un air intérieur du bâtiment qui soit suffisamment exempt de contaminants biologiques, physiques et chimiques pour assurer qu'il n'y ait aucun danger pour la santé et la sécurité des occupants.

Nous avons pris comme seuil de qualité de l'air acceptable 1000 ppm, qui est le seuil couramment utilisé en France. Cependant le seuil est plus bas dans certains pays ; les finlandais utilisent le seuil de 800 ppm par exemple [RSEIN, 2005].

Des limites réglementaires ont été précisées pour les substances suivantes : aldéhydes (totaux); dioxyde de carbone; monoxyde de carbone; dioxyde d'azote; ozone; matières particulaires; dioxyde de soufre; vapeur d'eau. Cependant seule la mesure du dioxyde de carbone est aisée en continue, et la vapeur d'eau n'est pas pertinente à cause de ses sources multiples.

La **figure 42** illustre le calcul de l'indicateur de qualité de l'air intérieur.

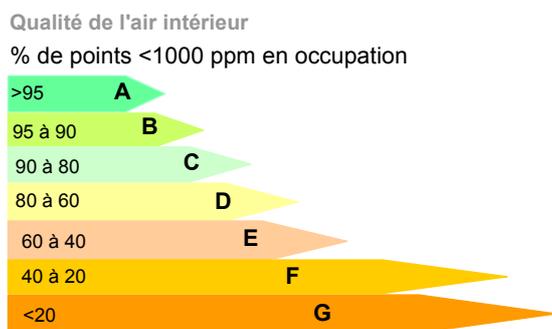
Figure 42 : Evolution de la concentration de CO<sub>2</sub>, classe



On observe des pourcentages dans les classes (toujours calculés par rapport à l'occupation), de 14 % à 35 % au-dessus des 1000 ppm, en hiver et respectivement pour l'école Bellegrave et l'école Jules Ferry, et 23 % et 30 % en saison chaude.

#### Répartition discriminante des mesures :

La même problématique que pour le confort thermique se pose. Comment qualifier globalement la qualité de l'air selon les différentes zones du bâtiment ? Nous avons choisi comme indicateur le pourcentage de temps pendant lequel la concentration de CO<sub>2</sub> est en deçà du seuil des 1000 ppm dans les zones où les enfants sont les plus nombreux et où ils passent le plus de temps : les classes.



#### *Remarque :*

L'emploi courant des désodorisants aujourd'hui connus [BEUC, 2005] comme trop chargés en COV et dégradant largement la qualité de l'air, même s'ils sentent « bon », nous a semblé dommageable (sans compter leurs déchets d'emballage). Ils sont remplaçables par des produits plus sains et plus éducatifs (lavande ...).

Une étude particulière sur les composés organiques volatils, autres polluants potentiels de l'air dans les locaux, a été réalisée sur ces deux écoles. Les résultats de cette étude sont présentés en annexe 17. Ils concluent à des concentrations faibles, dues en particulier au choix de mobilier très basse émission de COV pour l'école Bellegrave, et à l'âge des matériaux sur l'école Jules Ferry.

### 2-3-4-3 Confort visuel

Le confort visuel peut se définir à partir des conditions d'éclairage, naturel et/ou artificiel, satisfaisantes pour permettre l'activité de l'utilisateur. Cela implique un éclairage lumineux suffisant, une absence d'éblouissement, ainsi qu'un bon rendu des couleurs.

Nous prendrons en compte les deux paramètres suivants :

- l'optimisation de l'utilisation de la lumière naturelle autorisée par l'orientation et les ouvrants vitrés des pièces, paramètres exprimés par le facteur de lumière du jour FLJ,
- ainsi que le pourcentage des locaux éclairés artificiellement au niveau conseillé (ou plus) par l'Association Française de l'Eclairage (AFE).

Le facteur de lumière du jour, noté FLJ, est le rapport de l'éclairage uniformément réparti reçu au point de mesure dans la pièce sur l'éclairage mesuré à l'extérieur (donc en plein jour au même instant de mesure). Il est exprimé en pourcentage. On considère qu'un FLJ de 2 % à 2,5 % assure une bonne exploitation de la lumière naturelle dans un local [CSTB, 2005].

Par exemple à Pessac, l'éclairage est en moyenne de 10 000 lux pendant 74 % du temps de 9h à 17h, juillet et août exclus, et 15 000 lux pendant 55 % du temps. Cela donne un éclairage intérieur naturel prévisible de 200 lx pendant 74% du temps si le FLJ du local est de 2 %.

Le FLJ est également garant dans un local d'une ouverture visuelle minimale sur l'extérieur, ce qui participe à la sensation de confort visuel..

La valeur de 2 % peut cependant paraître faible au regard d'autres travaux de recherche sur la qualité des ambiances intérieures. En effet, le professeur C-A Roulet du LESO /EPFL recommande que le FLJ dépasse 3 à 4 %, et l'INRS retient 5 %, pour tenir compte notamment de l'absorption des vitrages et de leur empoussièrément.

**Définition de l'indicateur** : il est basé sur le FLJ ainsi que l'éclairage artificiel en différents points des pièces principales (classes, bibliothèque, bureaux). Dans la mesure où un bâtiment d'enseignement est appelé à des usages de 8h30 à 17h, nous avons appliqué une pondération sur le FLJ de  $\frac{3}{4}$  et de  $\frac{1}{4}$  sur la conformité de l'éclairage artificiel. Nous exprimons alors le confort visuel comme un indice, par agrégation de la note pondérée du FLJ et de la conformité des niveaux d'éclairages artificiels (note pondérée de la proportion de locaux à éclairage artificiel réglementaire).

$$CV = 0,75 \cdot N_{FLJ} + 0,25 \cdot N_{P_{\text{écl. régl}}}$$

avec :

$CV$  , indice confort visuel

$N_{FLJ}$  , note attribuée au facteur de lumière du jour, allant de 1 à 7 (trois mesures par pièce).

$N_{P_{\text{écl. régl}}}$  , note attribuée au pourcentage de locaux à niveau d'éclairage artificiel conforme aux recommandations, allant de 1 à 7 (trois mesures par pièce).

Le pourcentage de locaux éclairés au niveau recommandé correspond au nombre de locaux où l'éclairage mesuré est égal ou supérieur aux recommandations de l'AFE [AFE, 1987], sur le nombre total de ces locaux (classes, bibliothèque, restauration, bureaux, circulations).

On accorde ici une pondération relative à l'éclairage naturel plus importante, car le bâtiment est utilisé presque exclusivement le jour. Cela est plus sain pour les occupants et permet des économies d'électricité sur le poste éclairage. L'attribution de cette pondération est donc arbitraire et sujette à discussion. La note 7 de la grille de confort visuel correspond à une pièce dont le FLJ est égal ou supérieur à 6%, et où, si l'utilisation de l'éclairage artificiel est requise, le niveau d'éclairage artificiel est supérieur ou égal à 700 lux. Nous avons observé 700 lux dans les classes et cela nous a paru très agréable.

Un facteur important de confort lumineux, le rendu des couleurs, pourra être pris en compte dans les préconisations en cas d'action de modification de l'ambiance lumineuse.

### Informations supplémentaires :

L'Association Française de l'Éclairage recommande les valeurs d'éclairage pour des établissements d'enseignement, et pour différentes tâches ; ces valeurs sont rassemblées dans les **tableaux 20 et 21**.

**Tableau 20 : Valeurs d'éclairage recommandées pour les établissements d'enseignement par l'AFE**

Local	Eclairage moyen à maintenir <sup>1</sup> (lux)
Classe	325 à 425
Restauration	325
Dortoir	250
Bibliothèque	425
Circulation	80
Bureau	400
Sanitaires	200
Salle d'évolution	250

<sup>1</sup> Intégrant la période de vieillissement

**Tableau 21: Valeurs de niveaux d'éclairage recommandées pour différentes tâches**

Type d'activité	Eclairage (lux)
Circulation dans des aires publiques mal éclairées	30
Orientation rapide pour des visites de courte durée	50
Tâches visuelles strictement occasionnelles	100
Tâches avec exigences visuelles simples	300
Tâches avec exigences visuelles moyennes	500
Tâches avec exigences visuelles élevées	1 000
Tâches très méticuleuses	3 000 à 10 000

La grille de lecture proposée des performances du FLJ et de l'éclairage artificiel est la suivante :

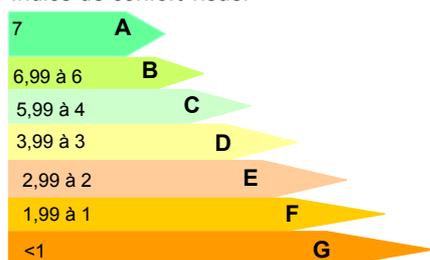
	Confort visuel						
	7	6	5	4	3	2	1
<b>FLJ</b> Classes, bibliothèque, restauration, évolution	6	4	3	2	1	0,6	<0,6
Circulations, bureaux	4	2,5	2	1,5	1	0,5	<0,5
<b>Eclairage</b> , Classes, bibliothèque, bureaux	700	500	400	300	150	80	<80
Circulations	200	160	120	80	60	40	<40
Restauration, évolution	600	400	300	200	120	80	<80

Un éclairage très confortable se situe entre 500 et 1 000 lux, mesuré à 76 cm (30 pouces) du sol [AFE, 1987].

### Référentiel du confort lumineux :

#### Confort visuel

Indice de confort visuel



### 2-3-4-4 Confort acoustique

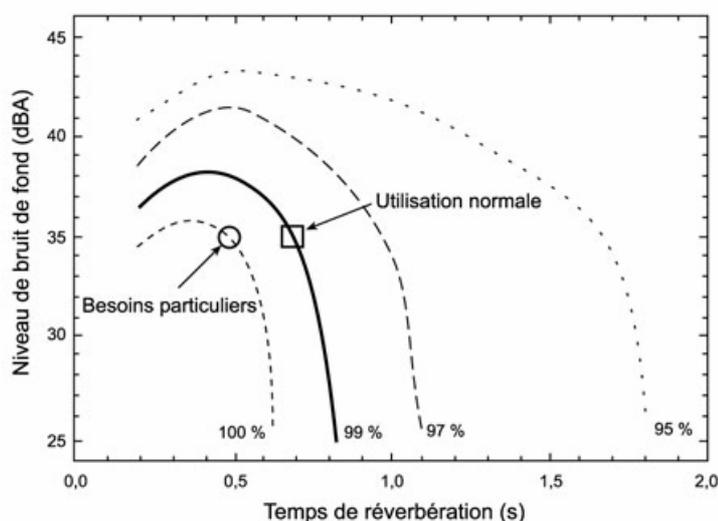
Le confort acoustique peut être défini comme la sensation d'aise ou de gêne procurée par l'environnement sonore d'un individu ou d'un groupe d'individus, dont les éléments sont : l'intensité des sons, la propagation et les temps de réverbération, la durée, la nature et le contexte (notion d'acceptabilité sociale des bruits).

La durée de réverbération est notée  $T_r$  en français. Elle est défini comme le temps en secondes mis par un signal pour décroître de 60 dB. Les valeurs habituellement constatées vont de quelques 1/10èmes à 2 secondes.

La durée de réverbération est liée aux caractéristiques de géométrie et d'absorption des locaux. La réverbération est grande si le volume est grand et/ou si l'absorption est faible. Les objectifs de conception pour des salles de 100 à 1000 m<sup>3</sup> sont de 0,5 à 0,8 secondes. Le confort acoustique lié aux caractéristiques intrinsèques d'un local dépend donc : de la typologie -usage- du local, de son volume, des matériaux des parois. En utilisation viendront se rajouter le remplissage, via le mobilier et les usagers eux-mêmes.

Nous définirons un indicateur de confort acoustique simple à partir de son éloignement des valeurs de la Nouvelle Réglementation Acoustique, pour les paramètres de temps de réverbération  $T_r$ , et de niveaux sonores équivalents  $Leq$ . Nous nous appuyons également sur les études d'intelligibilité, qui établissent que pour le temps de réverbération, une valeur trop élevée contribue au brouhaha et diminue l'intelligibilité des paroles, préoccupation importante dans des locaux d'enseignement. A contrario, des valeurs trop basses, même si rarement rencontrées, amoindrissent également l'intelligibilité, comme le montre la **figure 43** suivant, extrait de [Bradley, 2002].

Figure 43 : Contours d'intelligibilité égale pour une pièce de 300 m<sup>3</sup>



#### Informations supplémentaires :

La Nouvelle Réglementation Acoustique et l'arrêté du 25 avril 2003 donnent les repères de valeurs seuils. Le **tableau 22** regroupe les temps de réverbération et les niveaux équivalents réglementaires pour les bâtiments d'enseignement scolaire.

Tableau 22 : Temps de réverbération et niveaux équivalents pour les bâtiments d'enseignement

Local	$T_r$	Niveau équivalent $Leq$
Classe, salle de jeux, administration volume < 250 m <sup>3</sup>	0,4 < $T_r$ ≤ 0,8 s	25 à 43 dB (A) pour le bruit de fond
Classe, restauration, salle de jeu 512 m <sup>3</sup> > volume > 250 m <sup>3</sup>	0,6 < $T_r$ ≤ 1,2 s	45 à 70 dB (A) de $Leq$ (bureau calme à bruits dérangeants)

Définition de l'indicateur : L'indicateur de confort acoustique est basé sur deux paramètres mesurables :

- le temps de réverbération des locaux,
- et les niveaux sonores équivalents atteints sur des durées définies (30 minutes).

Nous attribuons une iso pondération de 1/2 à chacune de ces variables dans l'indicateur, de la façon suivante :

$$CA = 0,5 \cdot No_{Tr} + 0,5 \cdot No_{Leq}$$

avec :

- CA , indice de confort acoustique,
- Tr , temps de réverbération en secondes,
- $No_{Tr}$  , note attribuée à la mesure du Tr,
- Leq , niveau de bruit équivalent, en dB(A),
- $No_{Leq}$  , note attribuée à la mesure de Leq.

Et selon la grille de lecture de la note suivante :

Confort acoustique		7	6	5	4	3	2	1
Tr		0,3 à 0,7	0,3 à 0,8	0,3 à 0,8	0,8 à 1	0,8 à 1	0,8 à 1	>1
Leq		25 à 30	30 à 35	35 à 40	25 à 30	35 à 40	>40	>40

Echelle de l'indicateur confort acoustique :

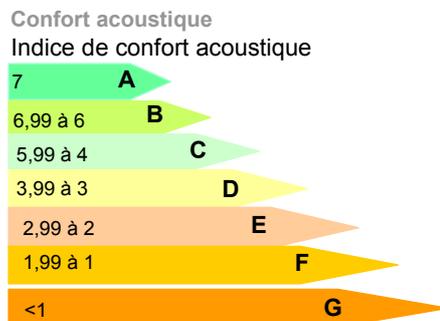
En nous basant sur les principes déduits de la courbe des contours d'intelligibilité des paroles, représentée dans le schéma précédent, et en nous plaçant dans le cas d'une utilisation normale (hors besoins particuliers correspondant aux malentendants, aux enfants en très bas âge, ...), nous obtenons les variations suivantes de nos deux paramètres :

1. Tr : de 0,1 à 2 secondes (avec augmentation du volume de la salle considérée)

ET

2. Niveau de bruit de fond Leq : correspond au bruit des appareils, des perturbations extérieures et aussi des activités des occupants dans le local (autres que l'orateur) de 25 à 43 dB(A).

Référentiel :



Un sonomètre portable a été disposé successivement dans deux classes par bâtiment, et ce afin de mesurer le niveau de bruit à l'intérieur d'une salle de classe inoccupée. Pour chacune des deux écoles la durée de mesure a été de 2 heures.

Nous comparerons par la suite les résultats à la satisfaction des usagers, donnée par l'enquête. Le but est de montrer si les résultats d'enquête coïncident avec les caractéristiques acoustiques intrinsèques du bâtiment, ce qui aidera à déterminer si une amélioration de l'utilisation des lieux est préconisée, dans la densité d'occupation des lieux, ou les activités par exemple, ou si une rénovation des surfaces est à envisager.

Une centrale d'acquisition Symphonie avec le logiciel acoustique dbBati 02 ont permi de mesurer les durées de réverbération.

**Dans les paragraphes qui suivent, certains indicateurs seront issus de la campagne d'enquête et seront relatifs à des critères plus subjectifs et qualitatifs que précédemment.**

### **2-3-4-5 Qualité du site**

Définition de l'indicateur : l'indicateur de qualité du site est basé sur l'appréciation des usagers sur le bâtiment et ses aménagements extérieurs, à travers les résultats d'enquête.

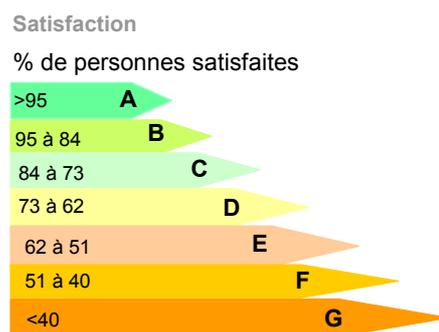
Différents aspects sont pris en compte :

- implantation sur le site,
- organisation des espaces,
- sensation visuelle des matériaux,
- vue globale,
- qualité de paysage du site,
- stationnements, accès.

Le référentiel de satisfaction sur les différents aspects d'appréciation possible est construit en fonction des 3 repères suivants :

- 100 % de satisfaits ne sera jamais atteint, donc la performance excellente est fixée à 95 % de personnes satisfaites,
- un bâtiment ancien ou de qualité moyenne satisfait au moins 60 % des personnes,
- si moins de 40 % des personnes sont satisfaites le critère est très mauvais.

Référentiel de satisfaction :



## **2-3-5 Indicateurs et référentiels du thème « usages » du bâtiment et des systèmes techniques**

### **2-3-5-1 Connaissance du bâtiment**

Définition de l'indicateur : il s'agit d'apprécier le degré de connaissance du bâtiment et de ses équipements par les usagers, exprimé par l'enquête.

Cet indicateur est destiné à la fois :

- aux usagers, afin de leur faire prendre conscience de leur méconnaissance des outils « techniques », même si elle ne doit pas être poussée,
- et aux gestionnaires, pour leur traduire le besoin d'information des usagers.

L'indicateur est construit sur 3 items d'enquête :

- 1) système d'utilisation de l'énergie,
- 2) connaissance de systèmes de distribution d'eau,
- 3) systèmes de gestion des déchets.

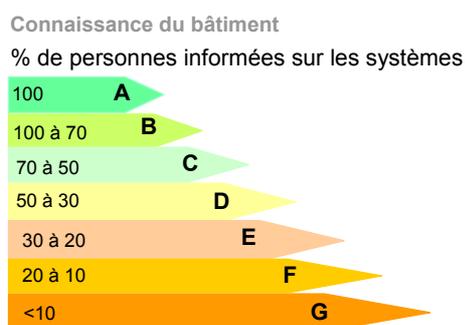
Le référentiel de connaissance est construit en fonction des postulats suivants, constatés dans les deux bâtiments instrumentés.

Tout d'abord, il faut distinguer parmi les usagers, les adultes des enfants. Une proportion de 100 % des adultes connaissant suffisamment le bâtiment et ses systèmes est possible, ce qui implique une formation. La sensibilisation des enfants à l'utilisation des commandes auxquelles ils ont accès est également possible ; néanmoins seuls les adultes entrent dans l'évaluation du bâtiment au niveau des usages.

Dans un bâtiment très mal géré, on considère que 5 % des usagers connaissent les systèmes.

Enfin, dans un bâtiment courant, où les usagers n'ont pas reçu de formation, les connaissances sont éparpillées entre le personnel d'entretien et la directrice de l'établissement. On considère alors que 30 % des occupants sont avertis sur l'utilisation correcte des systèmes.

### Référentiel :



Ici la règle de découpage en classes égales entre les bornes du référentiel pour obtenir des intervalles identiques n'est pas appliquée. En effet, nous avons observé une méconnaissance globale du bâtiment et de ses systèmes chez une majorité de personnes, et ce, de façon identique sur les deux bâtiments instrumentés ainsi que sur d'autres maternelles du parc de Pessac. Notre but étant de discriminer les bâtiments et leurs usagers, nous avons arbitrairement posé le niveau D de performance à 30% des personnes qui connaissent le bâtiment et ses systèmes, ce qui est relativement conséquent.

On pourra combiner l'indicateur de connaissance du bâtiment avec l'indicateur de conscience environnementale. En effet, on peut s'attendre à ce que les utilisateurs ayant une bonne prise de conscience des problèmes environnementaux soient d'autant plus désireux et à même d'optimiser leurs usages au quotidien.

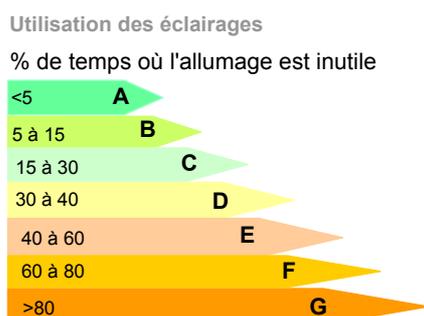
### 2-3-5-2 Utilisation des éclairages

Nous proposons pour cet indicateur deux formulations possibles, une à partir des mesures, et une à partir de l'enquête uniquement.

Définition de l'indicateur basé sur la campagne de mesures : pourcentage de temps d'utilisation inutile de l'éclairage artificiel : absence, niveau d'éclairage naturel suffisant. On considère :

- une excellente performance pour 5 % d'utilisation inutile
- une mauvaise performance plus de 80 % d'utilisation inutile.

### Référentiel :

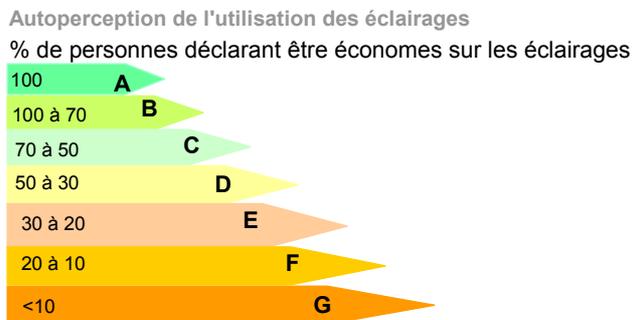


Définition de l'indicateur basé sur l'enquête : Expression (enquête) par les usagers eux-mêmes de leur attention à l'utilisation effective de l'éclairage artificiel.

L'indicateur, sous ses deux formes (mesures et résultats d'enquête), a 2 objectifs.

- 1) Tout d'abord il indique au gestionnaire le type de régulation à mettre en place dans le bâtiment, selon les zones (indicateur établi par mesures).
- 2) Ensuite, il permet de vérifier l'adéquation entre les mesures sur la campagne TEHOR et les résultats d'enquête, ce qui permet de valider (ou d'infirmer) la forme « enquête » de l'indicateur.

Le référentiel est le même que pour la connaissance des systèmes du bâtiment :



Comme nous le montrera l'application de la méthode, les résultats issus de l'enquête doivent être interprétés car ils sont subjectifs, et des mesures terrain restent incontournables pour l'évaluation de cet indicateur.

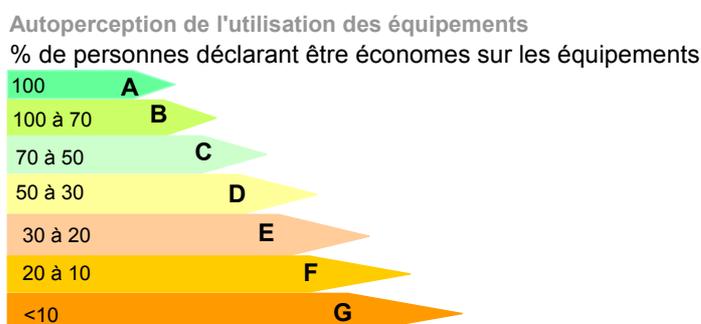
### 2-3-5-3 Utilisation des équipements

Définition de l'indicateur : expression (par les résultats d'enquête) par les usagers eux-mêmes de leur attention à l'utilisation modérée des équipements (convecteurs personnels, appareils audiovisuels, veille des appareils).

Comme précédemment, cet indicateur a un double objectif :

- 1) indiquer au gestionnaire les priorités d'affichage sur les bons modes d'utilisation des appareils
- 2) vérifier via la campagne ECOSYS la cohérence entre l'enquête (les bonnes intentions des usagers) et les mesures sur site.

Nous utilisons la même base de référentiel :



## 2-3-5-4 Utilisation de l'eau

### Définition de l'indicateur

Cet indicateur est basé sur l'écart de la performance réelle à performance maximale qu'il est possible d'obtenir en l'état d'équipement du bâtiment existant. Par exemple, cela exclut la prise en compte d'un système de récupération des eaux pluviales, même si on pourra indiquer l'impact de cette installation sur la consommation.

Pour construire le référentiel d'évaluation, nous partons des bornes suivantes : la consommation minimale est de 4 lavages de mains, 4 chasses d'eau, 0,8 litre de boisson, 1,2 litres de lavage (cuisines, entretien), soit 16 litres par personne et par jour ouvré.

Nous fixons la meilleure performance à moins de 10 % d'éloignement à cette consommation. La répartition entre les bornes 10 % et 100 % d'éloignement est arithmétique.

$$UE_{eau} = \left( \frac{Q_{réelle} - Q_{ref}}{Q_{réelle}} \right)$$

avec :

$UE_{eau}$  , indice d'efficacité de l'usage de l'eau, en pourcentage, basé sur la consommation par personne,

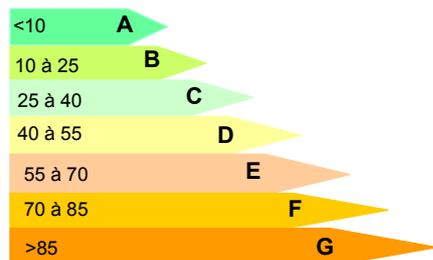
$Q_{réelle}$  , consommation réelle d'eau en m<sup>3</sup>,

et  $Q_{ref}$  , consommation d'eau de référence, en m<sup>3</sup>.

Nous obtenons les deux référentiels suivants :

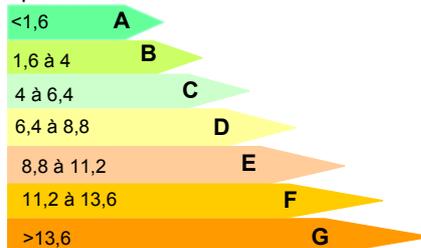
#### Utilisation de l'eau

% d'écart à la consommation minimale



#### Utilisation de l'eau

l/pers d'écart à la consommation minimale



## 2-3-5-5 Conscience environnementale

Définition de l'indicateur : l'indicateur de conscience, ou préoccupation environnementale, est établi à partir de l'enquête. Il retranscrit le pourcentage de personnes qui déclarent être préoccupées par les problématiques environnementales.

Son objectif est d'indiquer au gestionnaire l'importance et l'orientation à donner à une campagne de sensibilisation.

Si les occupants apparaissent très préoccupés par l'environnement, une campagne de sensibilisation pourra focaliser sur un contenu plus formateur en matière de bonnes pratiques et de leurs conséquences. Si les occupants sont majoritairement non préoccupés par l'environnement, la campagne s'appuiera plutôt sur une sensibilisation aux problématiques et enjeux environnementaux actuels.

Une campagne de sensibilisation / formation doit être mise en place de façon **évolutive**. Elle doit véhiculer un message pendant deux mois, par exemple, puis changer, sans quoi le message finit par disparaître aux yeux de son destinataire, et perd tout de son impact, voire de sa crédibilité. Une évaluation est aussi nécessaire, pour vérifier son effet, et pour l'orientation de l'évolution de la campagne.

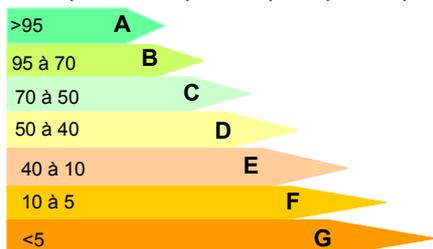
Pour ce faire, les établissements d'enseignement sont un terrain de prédilection et d'exemplarité. Les élèves peuvent eux-mêmes s'approprier le problème et mettre en œuvre la campagne d'information.

C'est de plus l'une des lignes directrices de l'Education Nationale [Circulaire EEDD, 2004], et l'un des points des **agendas 21** (agendas 21 scolaires, auxquels participe ECOCAMPUS au niveau du comité de pilotage).

### Référentiel :

#### Préoccupation environnementale

% de personnes préoccupées par les problématiques environnementales



## 2-3-6 Indicateurs et référentiels du thème « gestion »

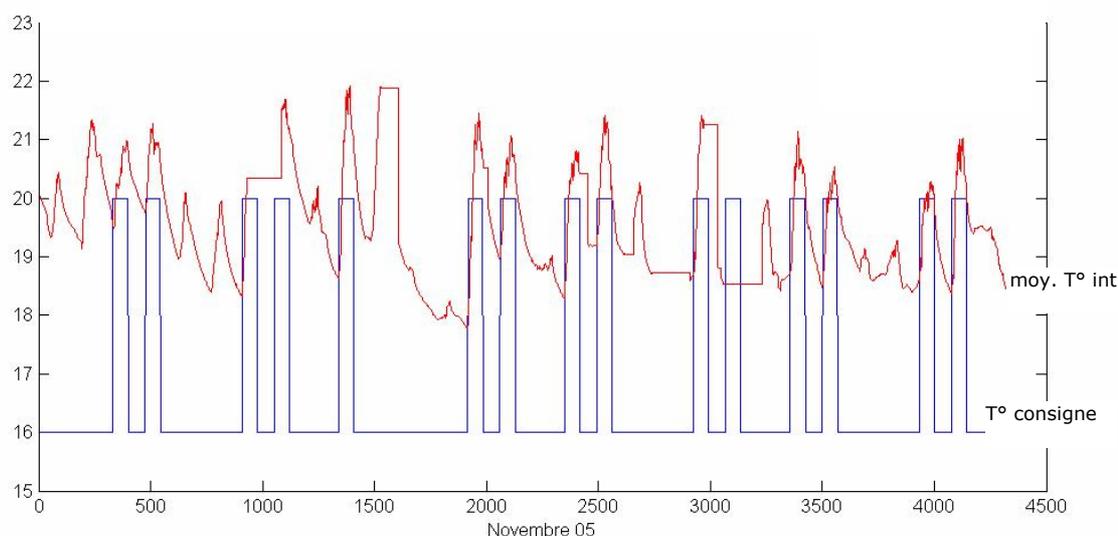
### 2-3-6-1 Température intérieure et régulation du chauffage

Le maintien des niveaux de température intérieure de consigne est l'un des facteurs les plus impactants sur la dépense énergétique, sur l'indicateur d'émission d'équivalent CO<sub>2</sub> et sur le confort thermique d'hiver.

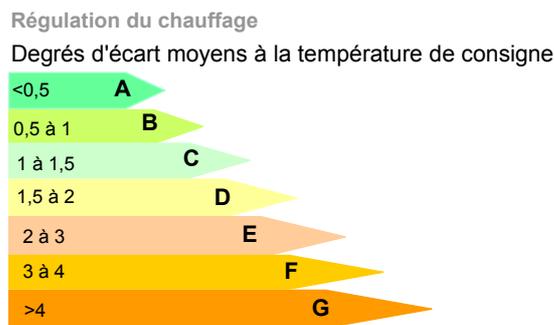
Définition de l'indicateur : nous exprimerons l'écart entre la température de consigne conseillée et la température moyenne mesurée, en °C. La note maximale correspond à 0°C d'écart à la moyenne de la température, et la plus mauvaise performance à 4 °C d'écart.

La **figure 44** montre le tracé de la température moyenne intérieure pour le mois de novembre, calculée par moyenne arithmétique simple des mesures effectuées sur les 12 capteurs de l'école Bellegrave, et de la température de consigne (basée sur les résultats d'ACP, annexe 1).

Figure 44 : Evolution de la moyenne de la température intérieure, Bellegrave, novembre 2005



## Référentiel :



Nous rappelons ici qu'un écart de 1°C correspond à une augmentation de la consommation d'énergie thermique de 7 %.

Nous utilisons la température moyenne du bâtiment, calculée ici avec nos capteurs, mais il est possible de se baser sur les indications des sondes de température de consigne, présentes sur les bâtiments ayant une gestion technique centralisée (GTC). En cas d'absence de sonde, on pourra se baser sur l'enquête de satisfaction, ou réaliser une campagne minimale de mesures telle que précisée dans la page d'accueil de la méthode développée ici (annexe 16).

### 2-3-6-2 Mise en place de systèmes d'éclairage non énergivores

**Définition de l'indicateur :** pourcentage des locaux du bâtiment équipés en éclairages basse consommation et en détecteurs de présence, selon l'indice proposé suivant :

$$ENE = \frac{100}{7} \left( 5 \cdot \frac{S_{fc}}{S_{ecl}} + 2 \cdot \frac{S_{cp}}{S_{ecl}} \right)$$

avec :

ENE , indice de présence de systèmes d'éclairage non énergivores, en pourcentage

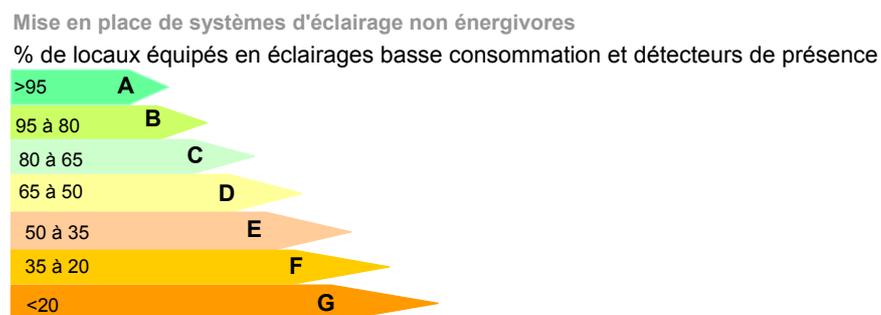
$S_{fc}$  , surface du bâtiment à éclairage de faible consommation, en m<sup>2</sup>

$S_{cp}$  , surface du bâtiment équipée de détecteurs de présence (ou autres systèmes de temporisation), en m<sup>2</sup>

$S_{ecl}$  , surface éclairée, en m<sup>2</sup>

La pondération des paramètres « détecteurs de présence » et « éclairage basse consommation » peut être changée. Nous avons ici pris en compte les résultats de faible efficacité obtenus avec les détecteurs de présence, et privilégié l'éclairage basse consommation (en affectant une pondération de 5).

## Référentiel :



### 2-3-5-3 Niveaux de ventilation

Définition de l'indicateur : cet indicateur exprime en pourcentage de satisfaction des besoins de ventilation tels que définis dans le règlement sanitaire départemental et la circulaire du 9 mai 1985.

$$E_{Vent} = \left| \frac{Q_{mes}}{Q_{ref}} \right| \cdot 100$$

avec :

$E_{Vent}$  , indice d'efficacité de la ventilation en pourcentage

$Q_{mes}$  , débit réel mesuré, en m<sup>3</sup>/h, (mesures en période d'hiver)

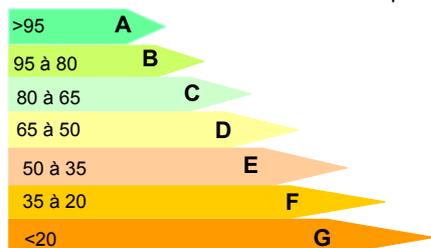
$Q_{ref}$  , débit de référence, calculé à partir de la valeur de 15 m<sup>3</sup>/(pers.h) multiplié par l'effectif moyen de la pièce

Si le débit de ventilation est inférieur au débit de référence, les besoins de renouvellement de l'air ne sont pas assurés. Si le débit de renouvellement de l'air est supérieur au débit recommandé, dans le cas d'une ventilation mécanique, on aboutit à des pertes énergétiques inutiles (on suppose des conditions de ventilation en période de chauffe ou de refroidissement mécanique du bâtiment, hors utilisation des ouvrants).

#### Référentiel :

##### Régulation de la ventilation

% de couverture des besoins définis par le règlement sanitaire



### 2-3-5-4 Information aux acteurs

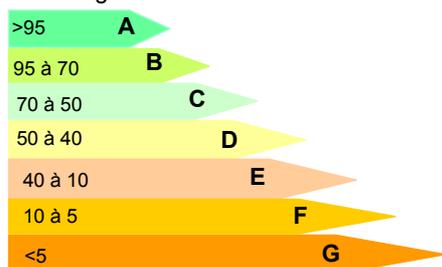
Définition de l'indicateur : cet indicateur retranscrit l'information à laquelle les usagers ont le sentiment d'avoir accès concernant les équipements, les bonnes pratiques et leurs conséquences. Il exprime le pourcentage d'usagers qui s'estiment bien informés.

Son objectif est d'inciter le gestionnaire à déployer sur place des informations relatives aux bons usages du bâtiment et de permettre l'appropriation de ces informations par les usagers. Il complète l'indicateur de préoccupation environnementale.

Le référentiel est le même que précédemment :

##### Information aux usagers

% d'usagers s'estimant informés sur le bâtiment



## 2-3-7 Synthèse de 6 thèmes : signature environnementale du bâtiment

Les indicateurs de chaque thème sont regroupés pour exprimer la synthèse de performances du thème. Pour calculer la performance globale du thème, plusieurs possibilités s'offrent à nous : prendre en compte uniquement certains indicateurs (par exemple le coût d'exploitation est redondant avec ses sous indicateurs), pondérer certains indicateurs (si le milieu dans lequel se trouve le bâtiment est très sensible aux émissions de particules par exemple), ou appliquer une moyenne simple entre les indicateurs.

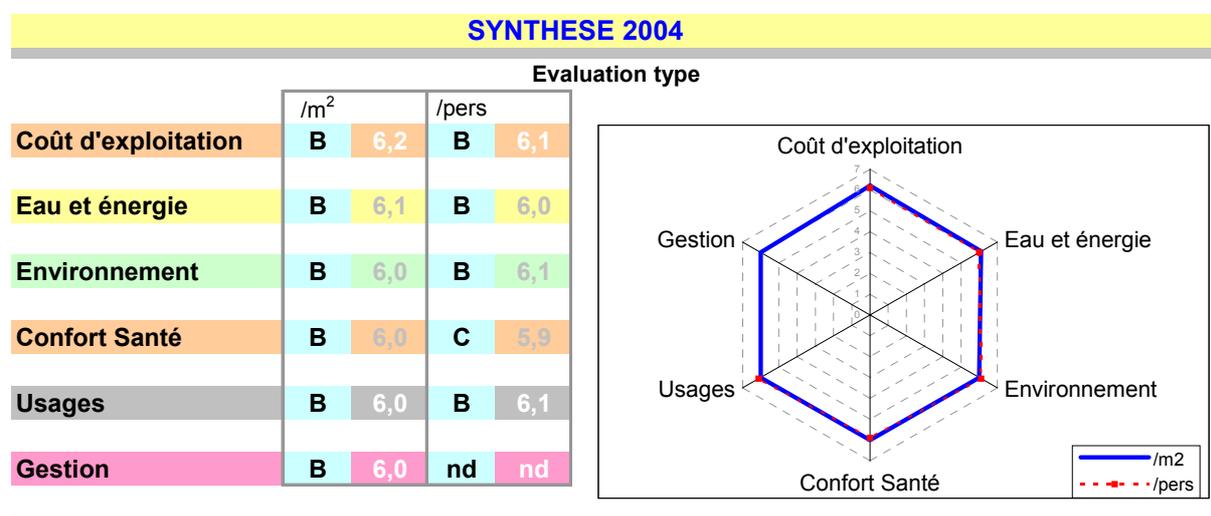
Après différents tests, nous avons opté pour une moyenne arithmétique simple, mais d'autres choix sont possibles.

Les graphiques polaires synthétiques présentent les performances par surface et par personne (thèmes coûts, eau énergie, environnement), ou en fonction des mesures ou de l'enquête (thèmes confort santé, usages, gestion).

Les **figures 45 à 48** présentent quelques exemples de profils type de signature environnementale, avec l'analyse que l'on peut en déduire.

Un bâtiment performant bien géré présente un profil uniforme sur tous les thèmes d'évaluation. Les potentiels d'amélioration sont donc très faibles.

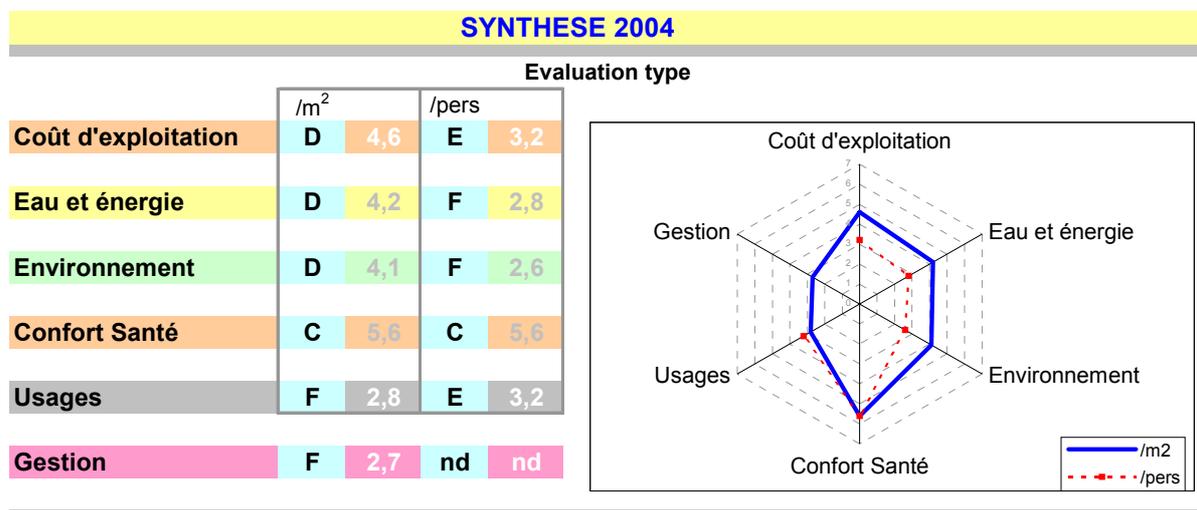
Figure 45 : Signature environnementale d'un bâtiment performant bien géré



Un bâtiment performant mal géré présente une dissymétrie caractéristique entre :

- les performances de coûts, de consommations eau et énergie, de confort santé, et d'environnement, moyennes à bonnes,
- et les performances d'usage et de gestion, moyennes à mauvaises.

Figure 46 : Signature environnementale d'un bâtiment performant mal géré



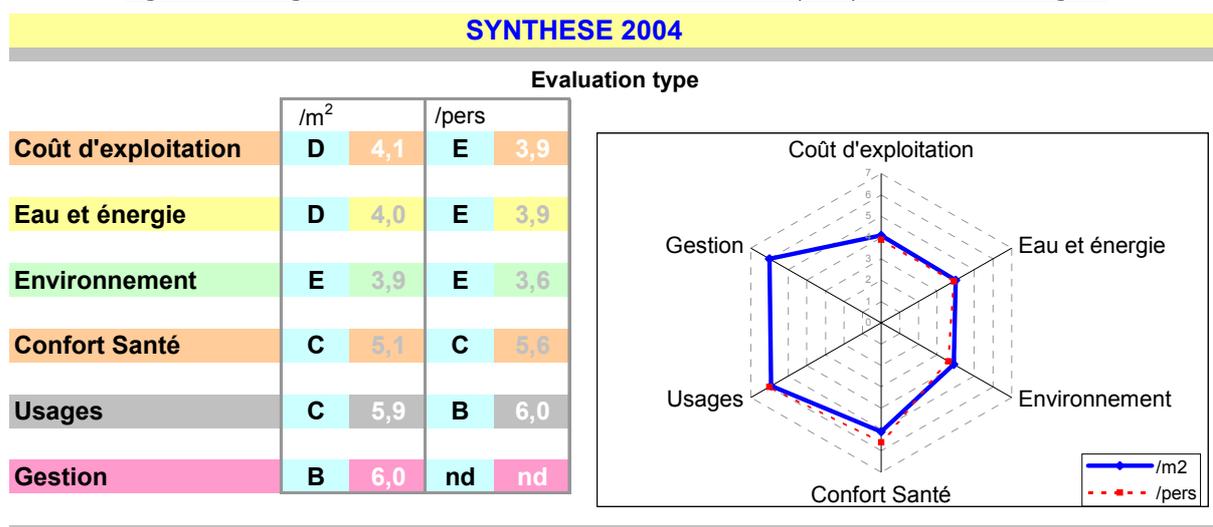
Les potentiels d'amélioration sont importants et clairement identifiés comme imputables à la gestion et aux usages.

A l'opposé, un bâtiment peu performant et bien géré (et utilisé) montrera :

- les performances de coûts, de consommations eau et énergie, de confort santé, et d'environnement, moyennes,
- et les performances d'usage et de gestion, bonnes.

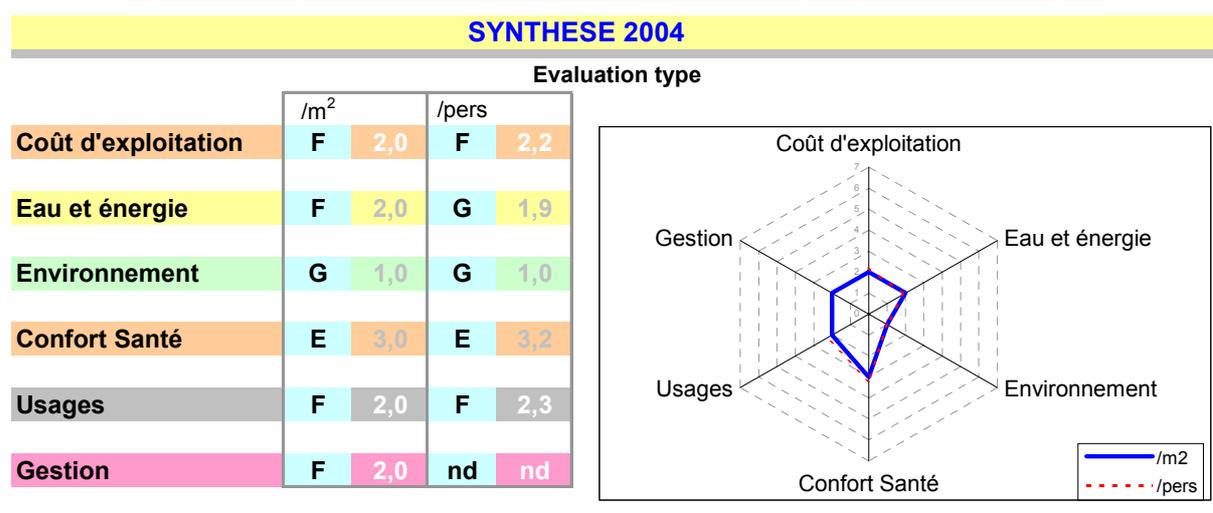
Les potentiels d'amélioration sont dans ce cas faibles sans une intervention sur le bâtiment et ses systèmes (amélioration de l'enveloppe, installation de systèmes de gestion du chauffage, équipements économes en eau, ...).

Figure 47 : Signature environnementale d'un bâtiment peu performant bien géré



Enfin, un bâtiment peu performant et mal géré présentera un profil uniforme et centré sur les valeurs les plus faibles du diagramme polaire, pour tous les thèmes d'évaluation. Dans ce cas les potentiels d'amélioration sont importants et passent dans un premier temps par les usages et la gestion.

Figure 48 : Signature environnementale d'un bâtiment peu performant mal géré



*Remarque :*

Les impacts environnementaux peuvent être mauvais, même si l'énergie et l'eau sont bien gérées. Le choix du type d'énergie ou les quantités de déchets et leur traitement peuvent avoir des conséquences significatives sur l'environnement par exemple.

## Potentiels d'amélioration

Les potentiels d'amélioration sont directement calculés à partir des indicateurs de performance et leur référentiel.

Nous les présentons en troisième partie (3-3), ainsi que leur mode de calcul, dans l'application de la méthode à deux maternelles.

## Exploitation sous forme de tableaux de bord

Deux types de tableaux de bord sont extrapolables à partir de la méthode décrite.

Un **tableau de bord à destination des usagers**, ayant deux objectifs d'information.

- Tout d'abord une information relative aux **performances** du bâtiment, qui exploite les indicateurs les plus démonstratifs de la signification environnementale des performances, et donne aux occupants un comparatif avec des valeurs usuelles (par exemple en surface de lac pollué, en potentialité d'effet cancérigène, en terme économique, en distance parcourue par une automobile, en surface écologique, ...).
- Ensuite, le tableau pourra mettre en parallèle des mauvaises performances les préconisations de **bonnes pratiques** qui permettraient d'améliorer les performances par les usages. Sa périodicité ne doit pas être supérieure à l'année.

Un **tableau de bord à destination des gestionnaires**, plus complet, avec des préconisations plus techniques. Le même principe de visualisation des potentiels d'amélioration y sera mis en œuvre. La périodicité peut être de 1 à 3 ans, selon l'urgence révélée par les mauvaises performances (les bâtiments performants donc correctement gérés et utilisés peuvent avoir un suivi moins vigilant, l'attention du gestionnaire ne pouvant se multiplier sur tous les bâtiments en même temps).

Des propositions de tableaux de bord seront présentées plus en détail en quatrième partie de ce mémoire, et une proposition de présentation est donnée en 19.

## 2-4 Synthèse des thèmes d'évaluation

### 2-4-1 Schéma fonctionnel de la méthode

Nous avons explicité le choix des indicateurs d'évaluation de la méthode.

La construction de leurs référentiels respectifs, basée sur le principe du « benchmarking » par rapport à l'existant, est une méthode évolutive, basée sur des performances concrètes et existantes de parcs bâtis.

La présentation de l'étiquette de la performance énergétique de la directive européenne, de A à G, a été adoptée, et développée pour chaque référentiel.

Les indicateurs développés sont :

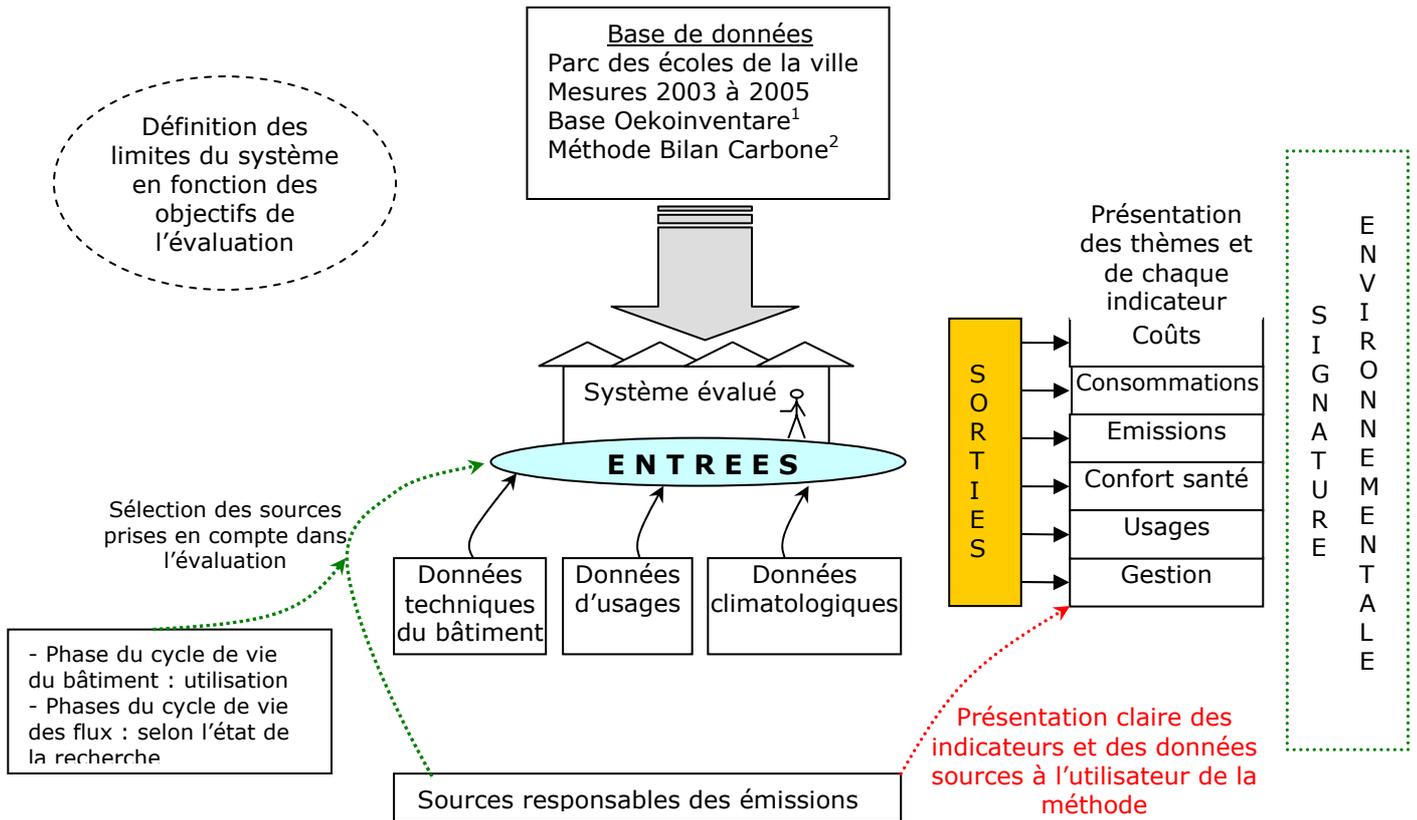
- Quantitatifs, pour les aspects liés à l'évaluation d'émissions à l'environnement et aux consommations,
- à la fois quantitatifs et qualitatifs pour les aspects liés aux régulations principales des systèmes du bâtiment (chauffage, ventilation),
- quantitatifs et subjectifs, pour les indicateurs relatifs à la satisfaction et à la perception des occupants.

Nous avons décrit le mode d'agrégation des indicateurs en précisant la possibilité de moduler les pondérations, si l'utilisateur le juge pertinent.

Enfin, nous avons précisé la présentation des résultats et la forme synthétique de l'évaluation, ou signature environnementale, le mot environnement étant ici pris au sens large.

La **figure 49** présente le schéma fonctionnel de la méthode d'évaluation.

Figure 49 : Schéma fonctionnel de la méthode OPALE



<sup>1</sup> [Frischknecht *et al.*, 1996], <sup>2</sup> [ADEME, 2005]

La méthode d'évaluation, qui aboutit à une « signature environnementale du bâtiment », ne doit pas avantager un type d'énergie par rapport à un autre. Elle prend en compte le cycle de vie le plus complet possible pour les énergies et les déchets, de façon à éviter le phénomène de déplacement des pollutions, lié à une prise en compte incomplète des tenants et des aboutissants lors d'une décision.

Par exemple, l'énergie bois mal gérée amène l'émission de fortes quantités de polluants atmosphériques irritants, cancérigènes et rémanents, ce qui doit apparaître dans la méthode via un indicateur (ici acidification et ozone photochimique).

Ce principe d'impartialité de la méthode est appliqué à tous les critères que nous avons pu identifier sur la phase d'exploitation, et demandera une constante mise à jour des facteurs d'émission.

## 2-4-2 Adaptation au terrain opérationnel : la nécessité du test

Nous avons proposé une méthode d'évaluation d'un bâtiment tertiaire en phase d'exploitation, en sélectionnant 26 indicateurs opérationnels permettant d'effectuer une analyse multicritère du système « bâtiment-usagers-gestionnaires ».

Cette sélection s'est faite sur la base d'une appréciation subjective, des moyens de suivi et de mesures existants, dans la limite de moyens de mise en œuvre relativement larges [Mandallena, 2005], mais non démesurés.

Afin de valider cette méthode, il semble incontournable de la mettre en œuvre et de la **tester à l'échelle du bâtiment**. Ce passage au test terrain permettra de soulever des problématiques et d'améliorer l'adaptation de la méthode à la réalité d'un bâtiment, de ses usagers et de ses gestionnaires, ainsi qu'à l'organisation qui le régit.

Les problématiques que nous pouvons questionner sont de plusieurs natures.

**Problématiques organisationnelles :**

- Comment se déroule en pratique une évaluation du bâtiment, et quelle est l'interaction avec les acteurs d'usages et de gestion ?
- Quelles sont les données disponibles auprès des gestionnaires ?
- Quelle est la réponse des usagers face à une enquête qui investit leurs habitudes d'utilisation des systèmes techniques du bâtiment ? Quelles sont leur opinion ou sensibilité personnelle par rapport aux problématiques environnementales ?

**Problématiques techniques :**

- Le système de suivi des paramètres d'ambiance intérieure et la chaîne d'acquisition des données sont-ils opérationnels en grandeur nature ?
- Quelle surveillance demanderont-ils ?
- Quels seront les principaux dysfonctionnements techniques dans les mesures ?
- Les capteurs mis en œuvre sont-ils tous nécessaires au suivi du bâtiment ?

**Problématiques liées au management :**

- Comment faire passer les informations données par l'évaluation au niveau des différents acteurs de l'exploitation ?
- Comment organiser les actions et la réponse après une première évaluation ?

En nous appuyant sur l'expérience du suivi de deux bâtiments, nous apporterons dans la suite de ce document des propositions de réponses à ces différentes questions.

## **2-5 Extension : introduction d'indicateurs environnementaux à l'échelle d'un patrimoine**

Nous analysons ici la démarche globale qu'un gestionnaire peut mener pour identifier les bâtiments qui vont nécessiter une évaluation environnementale plus détaillée, et agir. La directive européenne de performance énergétique des bâtiments engage désormais les gestionnaires et les concepteurs à afficher les performances de consommation des constructions dont ils sont responsables. Nous proposons ici de pousser cette logique d'évaluation et d'affichage vers des indicateurs environnementaux. Nous nous appuyons pour cela sur un outil existant d'évaluation de parcs bâtis, ECOWEB®.

### **2-5-1 Indicateurs environnementaux de suivi proposés**

Dans ce contexte d'aide à la décision, et dans le but d'une gestion environnementale réelle d'un patrimoine, il est intéressant de disposer, parallèlement aux indicateurs de consommations, d'indicateurs d'émissions à l'environnement. Il semble évident qu'en application du principe de précaution, réduire les consommations énergétiques est le moyen le plus direct de réduire les pressions sur l'environnement. En effet, la libéralisation des marchés de l'énergie et la diversité des sources d'approvisionnement peuvent conduire à se poser des questions quant aux choix les plus responsables vis-à-vis de l'environnement.

L'objectif de ces indicateurs est d'être aussi impartial que possible dans une décision, et de pouvoir prendre en considération les différentes sources de pollution inhérentes à des choix de gestion et d'approvisionnement. Le risque sans ces informations est de déplacer les pollutions. Par exemple sans indication sur la pollution de l'air, un gestionnaire peut décider d'équiper une série de chalets avec des poêles à bois. Son indicateur d'émission de gaz à effet de serre sera performant, mais les émissions de particules et de composés aromatiques toxiques rémanents seront conséquentes. Il devra donc trouver un moyen d'éviter ces émissions ou changer d'alternative énergétique.

Ces indicateurs permettent donc au décisionnaire d'être plus averti dans la pertinence de ses choix en fonction du contexte de son parc bâti : présence d'énergies locales, pollutions locales à prendre en compte, sensibilité environnante du milieu (espèces sensible, zones protégées, ...).

Les indicateurs environnementaux que pourrait proposer un outil de suivi de patrimoine doivent également être aisément lisibles par l'utilisateur.

Dans cet objectif, nous proposons 5 indicateurs d'émissions à l'environnement :

1. Un indicateur d'émission de polluants atmosphérique, hors effet de serre : « pollution atmosphérique »
2. Un indicateur de pollution des eaux, « pollution des eaux »
3. Un indicateur de production de déchets radioactifs, « déchets radioactifs »
4. Nous proposons un indicateur d'émission de gaz à effet de serre plus complet, c'est-à-dire intégrant les déchets, « GES »
5. Enfin nous proposons et discutons un indicateur de choix de gestion durable des achats, « achats durables »

Soit 4 indicateurs directement environnementaux, et un indicateur indirectement environnemental et à caractère social pour la gestion des achats.

Nous définissons ces indicateurs de la même façon que pour la méthode OPALE.

Nous avons déjà discuté de la pertinence d'être aussi proche que possible d'un niveau global des objets évalués, afin de ne pas déplacer les sources d'émissions et les pollutions engendrées. Tout comme pour OPALE, nous proposons de prendre en compte les facteurs d'émissions de la base Oekoinventaire, actuellement l'une des plus étendues dans la délimitation du système. Nous présenterons cependant une comparaison des résultats obtenus avec les coefficients de la méthode bilan carbone de l'ADEME.

### 2-5-2-1 Indicateur de pollution atmosphérique

Nous avons défini un indicateur de pollution de l'air prenant en compte les émissions de SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>, principaux polluants responsables de l'acidification pour le premier et de la formation d'ozone photochimique pour le deuxième.

L'indicateur agrège ces deux phénomènes avec une isopondération 1/1. Cette agrégation est discutable car elle ne rend pas compte de l'importance de chacun des composés, cependant elle permet d'exprimer une pollution globale de l'air pour ces deux paramètres, et l'indicateur autorise le détail de la contribution de chacun des deux types de pollution.

Rappel de la définition de l'indicateur :

$$Q_{Pol.Atm} = Q_{SO_2} + Q_{O_3} \quad ,$$

avec :

$$Q_{SO_2} = k_{SO_2Elec.Spec} \cdot C_{Elec.rés} + k_{SO_2Elec.chauf} \cdot C_{Elec.chauf} + k_{SO_2Gaz} \cdot C_{Gaz} + Q_{Déch.inc} \cdot k_{SO_2déch.inc}$$

$$Q_{O_3} = k_{O_3Elec.Spec} \cdot C_{Elec.rés} + k_{O_3Elec.chauf} \cdot C_{Elec.chauf} + k_{O_3Gaz} \cdot C_{Gaz} + Q_{Déch.inc} \cdot k_{O_3déch.inc}$$

et :

$Q_{SO_2}$ , quantité de SO<sub>2</sub> émise à l'atmosphère, en kg,

$Q_{O_3}$ , quantité de O<sub>3</sub> équivalente émise à l'atmosphère, en kg,

et les constantes d'émission à l'environnement, résumées dans le **Tableau 18** (voir 2-3-3-5).

Il est difficile de trouver d'autres sources de facteurs d'émissions. Par exemple le rapport environnemental d'EDF 2004 nous indique une émission de 0,46 g/kWh de SO<sub>2</sub> pour l'électricité du réseau en 2004.

### 2-5-2-2 Indicateur de pollution des eaux

Nous avons défini l'indicateur de pollution des eaux sur la base de la taxe générale d'activités polluantes. Cette taxe, instituée le 1er janvier 1999, est en effet disponible sur les documents du gestionnaire. Elle porte sur huit catégories d'activités polluantes :

- le stockage et l'élimination des déchets ;
- l'émission dans l'atmosphère de substances polluantes ;
- le décollage d'aéronefs sur les aéroports recevant du trafic public ;
- la production d'huile usagée ;
- **les préparations pour lessives et les produits adoucissants et assouplissants pour le linge ;**
- les matériaux d'extraction ;
- les produits antiparasitaires à usage agricole et les produits assimilés ;
- l'autorisation d'exploitation et l'exploitation des établissements industriels et commerciaux qui présentent des risques particuliers pour l'environnement.

La seule catégorie concernant les bâtiments d'enseignement préscolaires et scolaires est la catégorie des lessives. La taxe est calculée suivant 3 taux, dépendants de la teneur en phosphate notamment :

- teneur nulle ou inférieure à 5 % du poids : 71,65 euros/tonne
- teneur comprise entre 5 % et 30% du poids : 79,27 euros/tonne
- teneur supérieure à 30 % du poids : 86,90 euros/tonne

### 2-5-2-3 Indicateur de production de déchets radioactifs

Nous avons précédemment défini cet indicateur par :

$$Q_{DRA} = \left( \frac{1}{0,88} \cdot C_{Nucl} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \right) + (1,62 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{déchets})$$

avec :

$Q_{DRA}$  , quantité de déchets radioactifs produite par la part nucléaire de l'électricité, et du recyclage des déchets, en  $dm^3/an$ .

0,88 est le rendement de distribution du réseau

$C_{Nucl}$  , consommation de kWh nucléaires de l'électricité, sachant que l'électricité classique du réseau est composée de 78% d'électricité nucléaire,

$Q_{déchets}$  , quantité de déchets d'activité recyclés, en kg.

### 2-5-2-4 Indicateur d'émission de gaz à effet de serre

Nous avons précédemment décrit le calcul de l'émission de gaz à effet de serre en prenant en compte les consommations d'énergie thermique, et d'électricité spécifique ; nous avons vu que l'élimination des déchets d'activité (donc sans même prendre en compte la production des consommables ou de leurs emballages) contribue pour environ 17 % à cet indicateur, ce qui n'est pas négligeable (2-3-3-5).

Les coefficients présentés sont ceux de la méthode bilan carbone de l'ADEME [ADEME, 2005]. Nous présentons dans la **tableau 23** un comparatif avec les coefficients de la base de données suisse Oekoinventare. L'unité d'énergie de comparaison est le kWh d'énergie utile.

Les quantités de déchets incinérés ou valorisés sur notre commune sont de 90 %, nous avons donc appliqué le facteur suivant à la quantité totale de déchets d'activité des bâtiments :

$$f = 0,9 \cdot 0,14705 + 0,1 \cdot 0,1738$$

Tableau 23 : Facteurs d'émission de la méthode Bilan Carbone de l'ADEME<sup>1</sup>  
et de la base Oekoinventare<sup>2</sup>

Poste <sup>a</sup>	Emission de CO <sub>2</sub> équivalente <sup>1</sup>	Emission de CO <sub>2</sub> équivalente <sup>2</sup>
Electricité nucléaire	7,2 g/kWh	8,70 g/kWh
Electricité gaz	366 à 476 g/kWh	788,04 g/kWh
Electricité fuel	586 à 733 g/kWh	902,88 g/kWh
Electricité charbon	733 à 1026 g/kWh	1 080,36 g/kWh
Electricité hydraulique	3,6 g/kWh	4,22 g/kWh
Electricité éolien (marginal)	3,6 à 16 g/kWh	non spécifié
<b>Electricité réseau</b> , ou spécifique <sup>3</sup>	60 g/kWh	82,12 g/kWh
Electricité réseau, hiver	180 g/kWh	183,92 g/kWh
<b>Chauffage gaz</b> <sup>3</sup>	234 g/kWh	302,22 g/kWh
Chauffage fuel	82 g/kWh	365,76 g/kWh
Chauffage bois	0 g/kWh <sup>b</sup>	31,03 g/kWh
Chauffage urbain gaz	non spécifié	288,97 g/kWh
Chauffage urbain fuel	non spécifié	361,08 g/kWh
Déchets incinérés	539 g/kg	496,58 g/kg
Déchets mis en décharge	638 g/kg	non spécifié

<sup>a</sup> Extraction, traitement, transport, combustion

<sup>b</sup> En supposant les ressources en bois correctement gérées

<sup>3</sup> ADEME, note de cadrage sur les émissions de CO<sub>2</sub>.

Pour exemple, les différentes méthodes « Bilan Carbone ADEME » et les coefficients de la base de données suisse Oekoinventare donnent les résultats suivants en application aux deux écoles suivies, pour l'année 2004. Les calculs sont effectués en prenant en compte la même émission moyenne de déchets par personne que pour la méthode OPALE. Le **tableau 24** présente les résultats du calcul de l'indicateur sur les deux écoles suivies dans ce travail.

Tableau 24 : Emission de CO<sub>2</sub> équivalent, en application de 2 méthodes, année 2004

<b>kg/(m<sup>2</sup>.an)</b>	<b>Ecole Bellegrave</b>	<b>Ecole Jules Ferry</b>
Méthode Bilan Carbone	23,8	45,8
Facteurs d'émission Oekoinventare	29,2	55,9

Les résultats avec les facteurs d'émission de la base suisse donnent des émissions plus importantes (de 22% par rapport aux résultats avec la méthode ADEME), car la prise en compte du cycle de vie de chaque poste énergétique ou matériau est plus globale que la méthode bilan carbone. Par exemple, le transport et les pertes pour le gaz sont considérés.

### **2-5-2-5 Indicateur « achats durables »**

L'indicateur « achats durables » est un indicateur sur les choix de qualité physique et éthique des matériaux de consommation (activités pédagogiques, entretien, ...) en vue :

- d'une fabrication non polluante,
- d'un recyclage aisé, ou d'une destruction peu/non polluante,
- du respect des travailleurs (conditions de travail et rémunération).

Cet indicateur a également pour but d'introduire des notions d'équité économique et sociale par l'origine contrôlée des produits de consommation courante (produits étiquetés commerce équitable, produits issus de l'agriculture raisonnée, produits d'entretien respectueux de l'environnement et des usagers, ...) [Chauveau, Rose, 2003].

Cet indicateur participerait à une prise de conscience et au développement de la prise en compte de l'environnement lors de la phase d'achat des produits. Enfin, il communiquerait sur l'exemplarité des collectivités territoriales. Il témoignerait du rôle actif et responsable des structures et des hommes qui les

amment, dans leur engagement à mettre en œuvre des politiques d'achats conscientes, justes, durables sans rester uniquement spectateur du fonctionnement de leur structure de travail [Chosson, 2002].

La difficulté de cet indicateur réside dans le peu d'informations aisément accessibles au consommateur, fut-il une collectivité territoriale comme le cas se présente pour notre étude. Accéder par exemple à la composition ou même à la teneur moyenne des produits d'entretien en tensioactifs, chlore, nitrates, phosphates, c'est révélé trop contraignant.

Nous pouvons actuellement nous baser sur les indications de la taxe générale d'activités polluantes pour les produits d'entretien, des labels de certification de bonnes pratiques pour la fabrication des produits à base de bois, les aliments, les plastiques (recyclabilité ...).

Ainsi, en fonction de l'activité du bâtiment, ici enseignement, nous listons dans le **tableau 25** les produits achetés et les choix de qualités qui peuvent se présenter. En **gras** figurent les postes identifiés comme les **plus significatifs** du point de vue du potentiel de pollution, en fabrication et en destruction, pour une activité d'enseignement scolaire.

Tableau 25 : Exemples de postes d'achats et choix de qualités environnementales affichées

Etape 1 : produire la liste des produits d'activités du bâtiment (enseignement)	Etape 2 : lister en face les garanties exigibles en tant que consommateur et acheteur	Etape 3 : faire le bilan des choix responsables effectués.
<b>Papiers</b>	Label NF environnement	Réponse oui / non  Pourcentages de produits respectueux de l'environnement et de l'homme
Crayons, ciseaux	Recyclabilité	
<b>Colles</b>	Basse émissivité en composés organiques volatils	
<b>Peintures</b>		
Livres		
<b>Produits d'entretien</b>	Label NF environnement	
Désodorisants	Composition et teneurs en principaux polluants	
Papier toilette	Remplacer par des produits naturels	
	NF environnement	
Aliments	NF agro-alimentaire Agriculture biologique (huiles, ...) Agriculture raisonnée Commerce équitable (ex : Max Havelaar, Tarnsfair, Fair Trade, Artisans du Monde)	
Autres ... (produits <b>plastiques, piles</b> , meubles, ...)	Selon activités	

Il reste que ces choix doivent entrer dans une marge de manœuvre économique supportable pour les achats. Un surcoût est envisageable mais doit rester raisonnable, justifié et accepté par le gestionnaire.

Parallèlement, il est probable que la surveillance rapprochée des achats en quantité et qualité aboutisse à une meilleure gestion des flux, et donc à des économies.

#### Définition de l'indicateur « achats durables »

Nous pouvons définir l'indicateur « achats durables » comme une agrégation des achats des différents produits de l'activité du bâtiment.

Se pose alors le problème de la pondération : il serait logique de pondérer en fonction du potentiel de pollution induit par la quantité et la nocivité de chaque consommable acheté. Cela suppose néanmoins que l'on connaisse ce potentiel de pollution. Or les bases de données en la matière sont quasi inexistantes.

Nous appliquons donc pour l'instant une pondération plus importante pour les postes d'achats de nature plus conséquente en potentiel de pollution (plastiques, piles, colles, solvants, peintures), ou/et en impacts sur la santé (désodorisants, produits d'entretien).

Nous arrivons à une expression sous forme d'indice de l'indicateur « achats durables » :

$$AD = 100 \cdot \frac{2 \cdot (\sum_i N_{pp}) + \sum_j N_{ps}}{2 \cdot i + j}$$

avec :

$AD$ , indicateur d'achats durables (pourcentage)

$N_{pp}$ , notes de chaque poste d'achats importants (en gras dans le tableau), (indice  $pp$  pour postes principaux)

$N_{ps}$ , notes de chaque poste d'achats secondaires (indice  $ps$  pour postes secondaires)

$i$ , nombre de postes d'achats à caractère plus polluant

$j$ , nombre de postes d'achats à caractère polluant modéré

L'échelle d'évaluation de l'indicateur varie donc de la valeur la plus performante ( $2 \cdot i + j$ ) à la moins performante, 0. Cette notation peut sans problème être ramenée à une échelle A à G.

Pour illustration nous proposons en annexe une liste des catégories de produits bénéficiant d'écolabels.

## 2-5-2 Présentation d'un outil de suivi et d'évaluation de patrimoines

Nous avons envisagé l'intégration des indicateurs environnementaux à un outil capable d'évoluer de la finalité tableau de bord énergétique au tableau de bord environnemental, et choisi la plateforme ECOWEB, actuellement largement utilisée en Aquitaine.

ECOWEB® [Devel, 2002 ; Lagièrre, 2004] est un outil de suivi des consommations eau, énergie, déchets, et d'analyse des besoins énergétiques d'un patrimoine. Il permet, à partir d'une simple saisie Internet des données facturées (ou relevés compteurs), d'effectuer une analyse et un bilan des fluides, et de classer les bâtiments d'un parc bâti par performance, sur une échelle de A à G : analyse globale des coûts, de l'échelle d'un bâtiment seul à un ensemble de bâtiments, analyse des consommations d'eau, d'énergie, d'électricité, et analyse par usage. L'outil fournit des indicateurs de performance par type d'activité (par exemple bâtiments d'enseignement et type d'enseignement, bureaux, ...).

Actuellement, les indicateurs développés par l'outil sont exprimés par site, par ratios de surface, et d'effectifs, pour les paramètres suivants :

- consommation d'électricité spécifique (kWh),
- consommation d'énergie : gaz, bois, fioul, électricité (kWh),
- consommation d'eau (m<sup>3</sup>),
- coûts : global et par fluide (€ ttc),
- émission de CO<sub>2</sub> équivalente (kg eq CO<sub>2</sub>),
- énergie primaire (kWh ep).

Soit un total de 24 indicateurs possibles.

Les référentiels sont construits selon une méthode de benchmarking actif basé sur les données entrées dans l'outil chaque année pour les bâtiments suivis par l'outil.

C'est donc une aide à la décision pour les conceptions de gestion et les investissements sur les parcs bâtis, dans le cadre de rénovations, de changements techniques, de choix des fournisseurs.

## 2-5-3 Implications organisationnelles : données et responsabilités

Le calcul des indicateurs environnementaux proposés doit rester abordable et répondre aux contraintes d'un outil grande échelle. Les informations doivent être disponibles aisément et amener un contenu d'un intérêt réel. Les indicateurs qui peuvent être développés ne doivent pas introduire de contrainte importante dans la source des données nécessaires à leur évaluation, et doivent rester suffisamment représentatifs des émissions à l'environnement.

Les indicateurs environnementaux proposés demandent une organisation plus contraignante, centralisée et transparente des données, au niveau de la mise en place de départ de cette organisation ; cependant ils sont tous calculables avec les données additionnelles peu nombreuses.

Nous synthétisons dans le **tableau 26** les données nécessaires au calcul des indicateurs proposés ainsi que les implications conséquentes en terme d'organisation pour disposer de ces données.

**Tableau 26 : Conditions de mise en œuvre de l'intégration d'indicateurs environnementaux dans un outil de suivi de patrimoines**

Indicateur	Données nécessaires		Organisation nécessaire	
	Gestionnaire	Outil d'évaluation	Humaine et administrative	Technique
Pollution atmosphérique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation d'énergie thermique, consommation d'électricité spécifique, d'électricité pour le chauffage</li> <li>- Quantités de déchets et composition moyenne</li> <li>- Connaissance des taux de déchets recyclés, incinérés, valorisés, mis en décharge (donnés par la communauté urbaine)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration des facteurs d'émission de SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, par type d'énergie utilisée et par catégorie de traitement de déchets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centraliser les commandes ou la réception des achats</li> <li>Exiger sur les factures les poids par nature de matériaux</li> <li>Demander au fournisseur d'énergie la composition moyenne des combustibles</li> </ul>	
Pollution des eaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantités et composition des produits d'entretien des locaux et de lavage (linge, vaisselle)</li> <li>- Type de système de traitement des eaux grises et connaissance de l'efficacité des stations d'épurations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration de la donnée TGAP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exigences d'affichage clair de la TGAP et de la composition des produits en polluants par les fournisseurs</li> <li>Réduction de la variété des produits achetés</li> </ul>	Mise à jour des facteurs d'émission de la base Oekoinventare, ou Bilan Carbone
Déchets radioactifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mixe énergétique de l'électricité</li> <li>- Quantités, répartition et traitement des déchets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intégration des facteur de production de déchets radioactifs par</li> <li>- kWh nucléaire consommé</li> <li>- kg de produits consommés (fabrication et destruction)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comptabilité des consommables (pour le traitement des déchets, qui induisent des consommations d'électricité fonction de leur nature et des process)</li> </ul>	Intégration logicielle des nouveaux indicateurs dans l'outil
Gaz à effet de serre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Données énergétiques facturées</li> <li>- Quantités, nature et destination des déchets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facteurs d'émissions par postes :</li> <li>Energie thermique</li> <li>Electricité spécifique</li> <li>Electricité pour le chauffage</li> <li>Destruction des produits d'activités</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centraliser les commandes ou la réception des achats</li> <li>Exiger sur les factures les poids par nature de matériaux</li> <li>Demander au fournisseur d'énergie la composition moyenne des combustibles et consommables</li> </ul>	
Achats durables	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantités</li> <li>- Qualité (composition)</li> <li>- ertificats : commerce équitable, agriculture raisonnée, gestion certifiée pour les produits bois, ...</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Suivi des achats</li> <li>Cahier des charges environnemental des achats</li> <li>Exigences de labels environnementaux</li> <li>Elimination des désodorisants en bombe</li> </ul>	

La contrainte principale au niveau des gestionnaires est la mise en place d'une comptabilité claire des consommables, en nature et en quantité. A partir de ces données, les indicateurs sont quasiment tous calculables, aux nuances près suivantes :

- les apports des occupants en produits générateurs de déchets sont négligés
- le calcul d'émission de dioxyde de soufre et d'ozone photochimique dépend de la destination moyenne des déchets communaux, et non de l'école

De plus, l'indicateur de déchets (actuellement difficilement renseignable sur les outils de suivis), est directement établi ; il néglige cependant les apports des usagers dans le bâtiment (goûters des enfants, matériel pédagogique).

Pour l'indicateur d'achats durables, une solution peut être de fixer un objectif de 30 % des produits labellisés la première année, puis 60 % puis 90 %. Il conviendra de rester vigilant sur la signification des labels, sur les valeurs de respect de l'environnement, d'équité sociale et économique qu'ils revendiquent.

Au niveau technique de développement de l'outil, la contrainte majeure réside dans la mise en place et le développement logiciel des nouveaux indicateurs dans l'outil, qui pourra aboutir à la création de nouvelles entrées, et à la présentation d'un tableau de bord plus conséquent.

Un calcul à minima des indicateurs environnementaux « pollution atmosphérique », « déchets radioactifs », « gaz à effet de serre », est actuellement possible en l'état des données entrées dans l'outil ECOWEB, c'est-à-dire sans la prise en compte des déchets et des produits d'entretien, mais avec un développement logiciel.



---

## Troisième partie : Application à deux bâtiments tertiaires

---

Nous avons présenté en deuxième partie la structure d'une nouvelle méthode d'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment en exploitation. Nous passons ici à l'étape suivante, qui consiste au test et à la validation de la méthode sur deux bâtiments.

Nous présentons tout d'abord succinctement les deux bâtiments, ainsi que les moyens techniques utilisés pour l'évaluation environnementale *in situ*.

Nous décrivons l'enquête réalisée, et exposons ensuite les résultats complets de l'enquête, pour en extraire les paramètres qui seront spécifiquement prises en compte dans l'évaluation.

Les résultats complets pour chaque école sont présentés par thème d'évaluation dans la troisième sous partie.

Nous analysons spécifiquement les résultats du système d'acquisition des données qui a été mis en œuvre, afin de le valider et de dégager les améliorations à envisager, ainsi que les perspectives possibles pour cet outil de suivi d'un bâtiment.

Une fois tous les résultats obtenus et décrits, nous pouvons discuter des problématiques soulevées par le test terrain réalisé, et nous proposons une amélioration de la méthode en fonction des difficultés identifiées. Deux niveaux d'évaluation de la méthode sont présentés, qui dépendent du nombre et du type d'informations disponibles.

<i>3-1- Présentation du terrain opérationnel.....</i>	<i>133</i>
<i>3-2- Résultats de l'enquête auprès des usagers.....</i>	<i>141</i>
<i>3-3- Evaluation environnementale de 2 maternelles : résultats selon la méthode OPALE....</i>	<i>152</i>
<i>3-4- Décomposition des usages par l'analyse des données ECOSYS.....</i>	<i>171</i>
<i>3-5- Les points d'amélioration soulevés par le test.....</i>	<i>177</i>



## **3-1- Présentation du terrain opérationnel**

### **3-1-1 Ecoles maternelles suivies : Bellegrave et Jules Ferry**

#### **3-1-1-1 Critères de choix des sites**

Pour les besoins de l'étude, il nous fallait trouver deux bâtiments tertiaires en exploitation, d'activité identique, dont un de conception haute qualité environnementale. En raison du besoin de se rendre de façon hebdomadaire sur les lieux, ils devaient se situer dans un périmètre relativement proche. De plus, il fallait obtenir l'accord des gestionnaires et dirigeants des deux bâtiments pour intervenir dans les locaux. Toutes ces conditions ont pu être réunies sur deux bâtiments d'enseignement préscolaire, en Gironde : la maternelle Jules Ferry et la maternelle Bellegrave.

#### **3-1-1-2 Présentation des bâtiments**

##### **- Ecole maternelle Jules Ferry, conception 1960/1980**

###### Contexte

L'école maternelle publique Jules Ferry a été choisie comme bâtiment existant "ordinaire", représentatif de la majorité de bâtiments construits avant 1970, et élément de comparaison à l'école HQE® : mêmes usages, énergie de chauffage identique, nombre d'élèves comparable, situation géographique très proche, orientation globale du bâtiment identique.

Elle a été construite en 1954 et a subi deux rénovations et agrandissements importants, respectivement en 1971 et 1986.

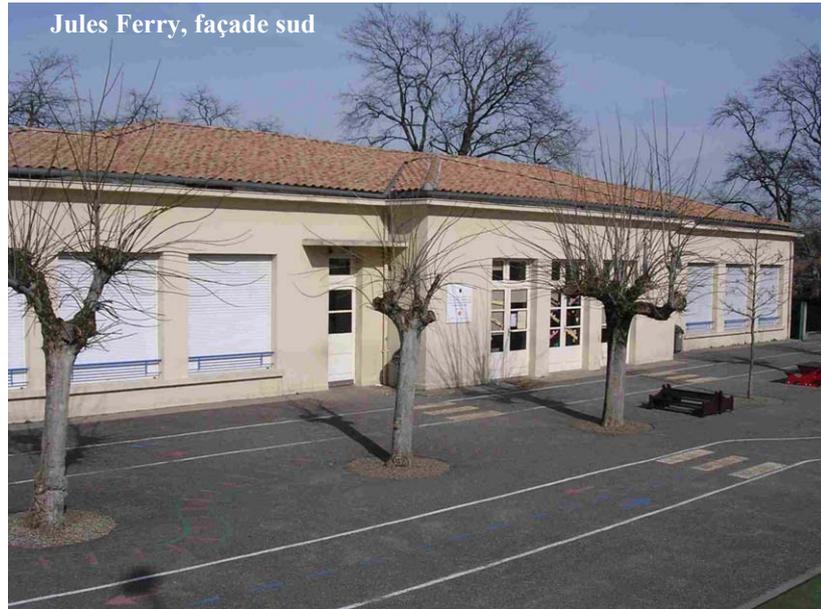
La restauration collective est dans un bâtiment séparé des locaux d'enseignement.

Elle possède 5 classes, soit une capacité de 150 personnes.

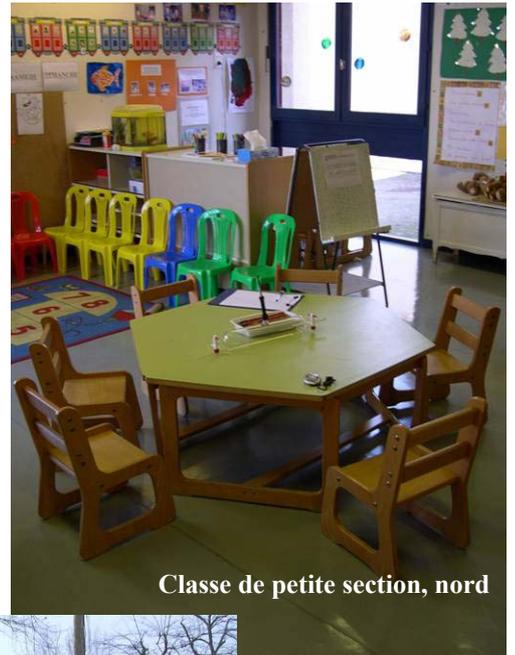
###### Situation géographique

Cette école se situe en zone pavillonnaire en limite du domaine universitaire. Elle donne sur deux rues et un rond point. La circulation autour du site est relativement constante et de flux moyens au long de la journée, en raison de la proximité du domaine universitaire et de nombreux laboratoires.

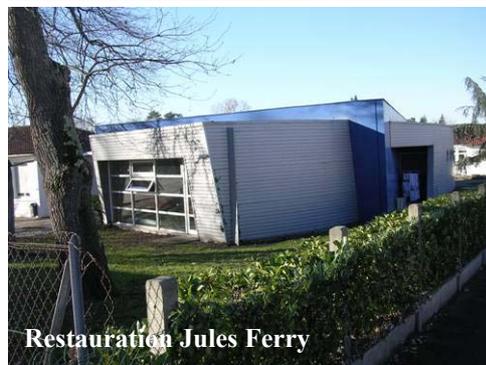
Photos des bâtiments :



Jules Ferry, façade sud



Classe de petite section, nord



Restauration Jules Ferry



Entrée Jules Ferry, façade est



Bellegrave, vue aérienne sud-ouest



Classe de petite section, nord



Vue des cours privées centrales



Circulation sud

- **Ecole maternelle Bellegrave, conception Haute Qualité Environnementale**

Contexte

Dans le cadre de la création de 5 classes de maternelle, de 2 classes de primaire, et de la reconstruction d'un groupe scolaire, la commune et la Communauté Urbaine ont lancé la construction d'une école en appliquant les principes de la démarche Haute Qualité Environnementale, sur proposition de la maîtrise d'oeuvre. L'école a été construite en 2002/2003, et est entrée en exploitation le 2 janvier 2004.

Situation géographique

L'école est construite sur la ZAC de la commune, au milieu d'une zone d'habitations collectives HLM R+4 à l'ouest et au sud, d'un petit château (Bellegrave) et de jardins à l'est, et d'un stade de foot au nord avec antenne relais de téléphonie de 20 m. La circulation est faible autour de l'école, sauf aux heures d'entrée et de sortie des enfants.

Traitement de la qualité environnementale

Le **tableau 27** présente succinctement les cibles de qualité environnementale que la maîtrise d'ouvrage a choisi de traiter.

Tableau 27 : Objectifs de qualité environnementale de l'école Bellegrave

Cible	Traitement (objectifs)
Insertion dans le site	Toitures végétalisées pour vis-à-vis avec les HLM entourant l'école, et insertion dans l'ensemble vert formé par le parc à l'est et le stade de foot au nord. Plantations nombreuses et variées. Large parvis pour la circulation
Confort hygrothermique	Chauffage gaz au sol basse température. Double vitrage très basse émissivité. Ventilation double flux. Confort d'été via ventilation nocturne, orientation nord des salles de classe, orientation sud de la solarisation. Protection par brises soleil mobiles ou débord de préau.
Confort visuel	Espaces larges, grands volumes, large utilisation de l'éclairage naturel par mise en place de nombreux puits de jours en toiture. Mise en place de vitrages de solarisation équipés de volets automatiques sur toutes les pièces pédagogiques.
Choix intégré des procédés et matériaux	Large utilisation du bois. Murs en brique monomur. Menuiseries alu-bois. Bitume poreux dans les cours. Lino et Fermacel.
Gestion de l'énergie	Isolation et inertie de l'enveloppe par briques monomur, vitrage à faible émissivité, ventilation double flux, éclairage économe et soumis à des capteurs de présence, ventilation réglée sur le planning d'occupation.
Entretien et maintenance	Nombreux locaux, destinés aux équipes et matériel d'entretien. Accessibilité des espaces et vitrages. Revêtements lino et carrelages faciles à nettoyer.
Gestion de l'eau	Temporisation des rejets d'eaux de pluie via la toiture végétalisée. Distribution d'eau à débit limité pour les enfants.
Conditions sanitaires	Grande variété des espaces, ensoleillés, ombragés, couverts, abrités, plantés, ludiques.
Qualité de l'air	Ventilation double flux, ventilation du haut vers le bas pour chaque classe. Choix de meubles sans émissions de formaldéhydes, classe EI.
Confort acoustique	Utilisation de matériaux à bonne isolation phonique et agencement des locaux visant à diminuer d'éventuels parasitages acoustiques
Qualité de l'eau	RAS
Confort olfactif	RAS
Gestion des déchets	Mise en place d'un local isolé visuellement.
Chantier à faible nuisance	Exigences de la maîtrise d'ouvrage non relayées par les entreprises du chantier.

Le **tableau 28** synthétise les caractéristiques principales des deux bâtiments que nous avons évalués pour la réalisation de ce travail.

Tableau 28 : Synthèse des caractéristiques des deux écoles

	Ecole Bellegrave	Ecole Jules Ferry
Date construction	2002	1956, rénovation 1986
Activité	Enseignement, école maternelle (enfants de 3 à 6 ans)	
SHON (m <sup>2</sup> )	1710 bâtiment en RDC	648, et 220 pour la restauration bâtiments en RDC
Volume (m <sup>3</sup> )	4352	1690
Surface site (m <sup>2</sup> )	5516 avec restauration	Ecole 3300,
Surfaces locaux principaux (m <sup>2</sup> )	Classes (7) : 60    Ateliers (4) : 20 Dortoirs (3) : 42 Evolution : 202 Bibliothèque : 76    Restauration : 120	Classes (5) : 37 Dortoir unique : 66 Evolution : 102 Bibliothèque : 35    Restauration : 90
Energie chauffage	gaz	gaz
Capacité (élèves)	196 (7 classes dont 1 inoccupée)	140 (5 classes)
Puissance chaudière installée	160 kW	2 fois 98 kW
Type de chauffage	Sol basse température	Mural classique
Nombre de pièces	27	12
Système de ventilation	VMC double flux	Aucune, extraction dans les sanitaires
Enveloppe	Monomur en façades nord, toiture végétale isolation	Parpaing de 18, toiture classique isolation laine de verre, tuiles brique
Charpente	Poteaux poutres et bois	Murs porteurs directs
Menuiseries	Bois-aluminium, double vitrage très basse émissivité. Brises soleils mécaniques	Bois, simple vitrage Volets roulants manuels
Sols	Lino (classes, évolution, restauration) Carrelages (circulation, sanitaires)	Lino (classes, évolution, restauration) Carrelages (circulation, sanitaires)
Equipement mobilier et pédagogique	Très important, façades sud des classes entièrement équipées de placards ; tables chaises, poufs, tapis, tableaux, jeux, ...	Peu abondant : pas de vrais placards, tables et chaises, matériel pédagogique 'suffisant', sans plus
Points d'eau (restauration non comptée)	Enfants : 48 fontaines, 29 cuvettes, 14 éviers classes, 2 douches Adultes : 5 WC, 2 douches, 2 éviers entretien, 3 éviers personnel ECS : 13 ballons    Extérieur : 6 points	Enfants : 24 fontaines, 14 cuvettes, Adultes : 1 WC, 1 évier entretien, 1 évier personnel, 1 douche ECS : 2 ballons    Extérieurs : 2 points
Gestionnaire	Mairie de la commune	

### - Climat et géographie

Le secteur est sous influence d'un climat tempéré océanique de type atlantique, humide et doux tout au long de l'année, bien que les dernières années aient vu des extrémités de chaleur et de sécheresse sur de courtes durées (quelques semaines). Les étés sont doux et chaud, de température moyenne 21 °C, les hivers doux avec 6°C [meteofrance.fr, contrat recherche d'accès à la base de données Climathèque].

Les extrêmes relevés dans l'agglomération de Bordeaux sont les suivants :

- 40 jours de gelée par an, sur décembre et février, rarement inférieur à -10°C,
- 2 semaines de fortes chaleur, supérieure à 30°C, entre juillet et août,
- 4 jours de grêle, 78 jours de brouillard, de janvier à septembre.

Les précipitations les plus importantes sont plutôt localisées sur la période d'hiver.

Les températures s'échelonnent de -10 à 35°C, la période la plus chaude étant le mois d'août.

L'ensoleillement est maximale sur la période juin août.

Le niveau kéraunique (nombre d'orages par an) est de 25.

Les vents sont à dominante sud-ouest, en général assez modérés. La période de forts vents est située vers mars à mai, d'orientation globale sud-ouest.

Le socle géologique est formé de sables, graviers et galets amenés par la Garonne (dépôts sableux d'âge quaternaire), dans une matrice argileuse. Les sols sont de la famille des sols noirs de la lande humide (sols podzolisés et hydromorphes), caractérisés par des pH acides dans les couches supérieures.

Les nappes phréatiques superficielles sont affleurantes à 2 m de la surface en été, et sont caractérisées entre autre par une grande richesse en fer.

### 3-1-2 Moyens techniques mis en oeuvre

#### 3-1-2-1 Présentation de la campagne de mesures

Chaque bâtiment a été instrumenté de façon à pouvoir obtenir les données nécessaires suivants les objectifs d'évaluation, exprimés en deuxième partie. La **figure 50** synthétise les types de mesures utilisés sur site.

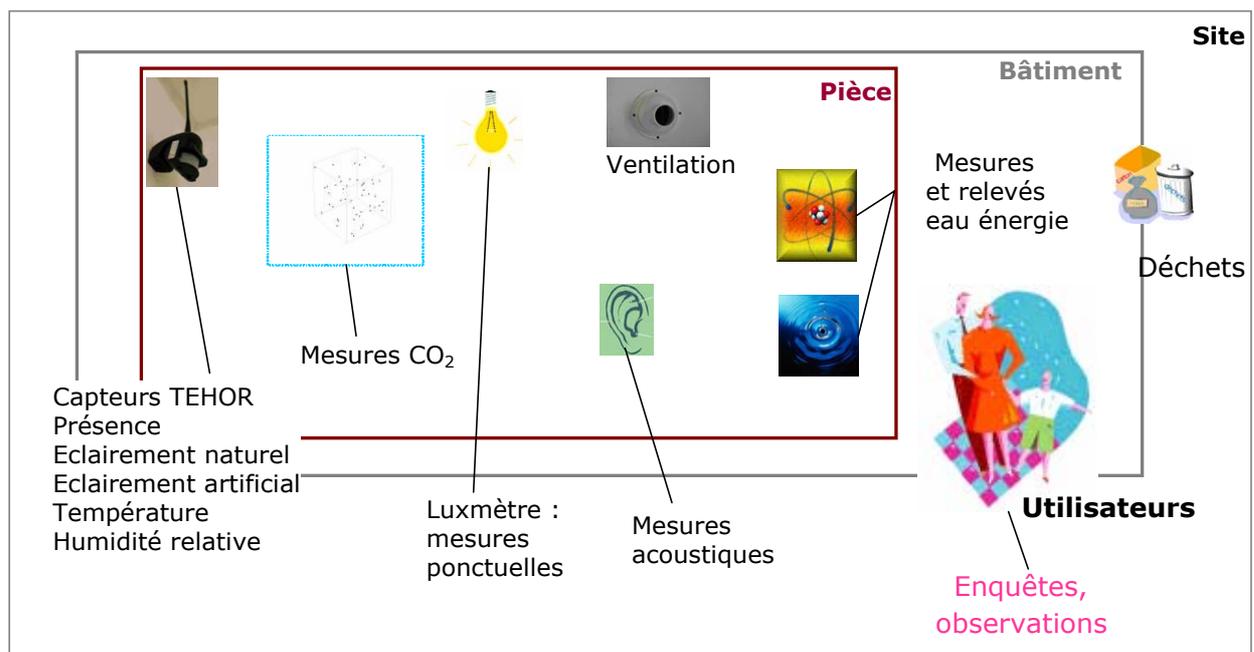
Sont suivis en continu (mesures au pas de temps de 10 minutes) :

- Energie (ici gaz), électricité, eau
- Température, éclairage naturel, éclairage artificiel, humidité relative, occupation
- Dioxyde de carbone

Et ont fait l'objet d'une campagne spécifique sur des périodes courtes :

- L'acoustique
- L'éclairage naturel et artificiel
- La ventilation
- La mesure des composés organiques volatils

Figure 50 : Suivi instrumenté d'un bâtiment



Les périodes de mesures, les appareils utilisés, les variables mesurées et les indicateurs qu'ils permettent de calculer sont rassemblés dans l'annexe 3.

Une campagne de mesures préliminaires à l'aide de capteurs HOBO et d'une boule noire a été réalisée afin de valider les emplacements des capteurs TEHOR, et de pré tester le système de suivi de paramètres d'ambiance intérieure et énergétique ECOSYS-TEHOR, (annexe 4).

Nous avons choisi de suivre le plus grand nombre de pièces possible avec les moyens impartis, à savoir : Classes, bibliothèque, restauration, circulations, salle d'évolution, ainsi que salle de réunion pour l'école Bellegrave. N'ont pas été instrumentés : le bureau de direction, les locaux d'entretien et locaux techniques, les cuisines et les pièces d'entrepôt de matériel pédagogique.

Les différents capteurs du suivi en continu ont été disposés dans les bâtiments selon les emplacements donnés en annexe 5.

Ces mesures nous ont également permis de décider du pas de temps permettant de qualifier l'indicateur nécessitant le pas d'échantillonnage le plus fin. La campagne de mesures préliminaire était fixée à un pas de 2 minutes. Les calculs sur les indicateurs de confort hygrothermique, d'utilisation de l'éclairage artificiel et de qualité de l'air intérieur montrent des valeurs invariantes pour des pas de temps s'échelonnant de 2 à 10 quasiment 15 minutes ; nous avons par précaution adopté un pas de temps de 10 minutes.

### Qualité des mesures et des données

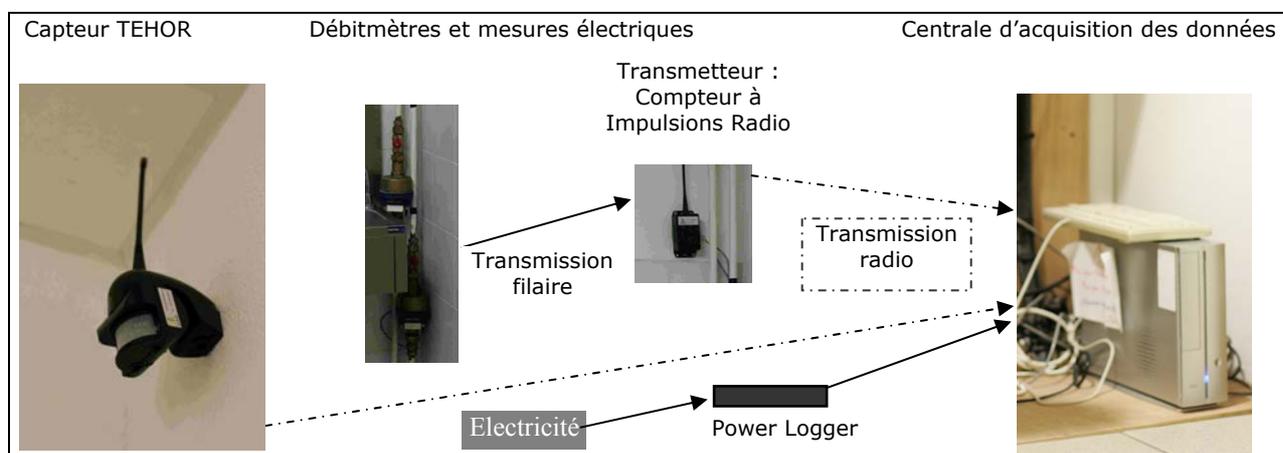
Certains phénomènes introduisent des incertitudes dans les mesures et donc dans les indicateurs, et doivent être pris en compte : précision des mesures, défauts d'acquisitions, hypothèses de départ pour les calculs d'indicateurs, variabilité fine des scénarios d'occupation (nombre d'enfants, activités), ...

Nous discuterons ces imprécisions, cependant nous resterons sur une analyse de l'évolution des paramètres et ne nous attacherons pas à une analyse fine et poussée de la qualité des données.

### Le système d'acquisition des données ECOSYS

Les données (capteurs TEHOR, présenté en annexe 7, débitmètres, pinces thoriques, compteur de calories, données météo) sont stockées et organisées par un système nommé ECOSYS. Chaque capteur disposé dans le bâtiment transmet sa mesure à une passerelle radio (power logger pour les données électricité) qui émet l'information vers le récepteur et enregistreur, une unité centrale, où un logiciel spécialement développé classe et enregistre toutes les données. L'annexe 7 présente plus précisément le système ECOSYS ainsi que les différents appareils utilisés pour le suivi des deux bâtiments. La **figure 51** expose quelques photos des appareils de la campagne de mesures.

Figure 51 : Présentation du système d'acquisition des données d'ambiance intérieure



#### ➤ Electricité

En résumé, le suivi couvre les proportions des différents postes de consommation pour les deux écoles, présenté dans le **tableau 29**. Les pourcentages correspondent aux puissances installées.

Tableau 29 : Synthèse du suivi des postes de consommation d'électricité

Ecole	Bellegrave	Jules Ferry
Eclairage	Suivi complet	Suivi complet
Appareils de cuisine	Suivi 60 %	Suivi complet
Ventilation mécanique	Suivi complet	Aération des sanitaires
ECS	Suivi 90 %	Suivi complet
Convecteurs personnels	Suivi complet	Non
Général	Suivi complet	Suivi complet
Nombre de points de mesures	55	23

### ➤ Consommations d'eau

#### **Ecole maternelle de Bellegrave**

Pour l'instrumentation de suivi des consommations d'eau de Bellegrave, 5 compteurs avec têtes impulsionnelles et 2 têtes impulsionnelles pour le compteur général et la chaufferie ont été posés.

Ainsi le pourcentage des postes de points de consommation d'eau suivi est de :

Total des postes de consommation d'eau suivis : 50 %  
 Sanitaires cuvettes : 58 %                      Fontaines : 33 %  
 Cuisines : 100 %                                  Eviers classes : 7 %

*Note : on entend par postes de consommations d'eau le nombre de points de consommation possible. Par exemple si le bâtiment possède 28 robinets de fontaines et que 14 sont suivis par mesures, on estimera la mesure totale du poste « fontaines » en sachant que l'on mesure 50 % de la consommation possible. Ceci suppose une équi-fonctionnalité des équipements.*

#### **Ecole maternelle Jules Ferry**

Pour l'instrumentation de suivi des consommations d'eau de Jules Ferry, 4 compteurs avec têtes impulsionnelles plus 2 têtes impulsionnelles pour les compteurs généraux de la maternelle et de la cuisine ont été posés.

Ainsi le pourcentage des postes de points de consommation d'eau suivis est de :

Total des postes de consommation d'eau suivis : 65%  
 Sanitaires cuvettes : 70 %                      Fontaines : 40 %  
 Cuisines : 100 %                                  Eviers classes : 50 %

### **3-1-2-2 Développements spécifiques et moyens d'exploitation des données**

Les données sont enregistrées sous une base de données unique pour chaque site.

La chaîne d'acquisition des données a nécessité des développements électroniques et des développements logiciels conséquents en temps homme, déplacements et matériel (plusieurs mois de travaux ont été nécessaires : développements, mises en place, tests, validations). Ces travaux ont tous été réalisés par Ecocampus.

Nous les présentons en annexe 8, où nous décrivons également le mode d'interrogation de la base de données.

### 3-1-3 Présentation de l'enquête

Parallèlement aux mesures physiques sur le bâtiment, nous avons récolté l'opinion des différents types d'utilisateurs sur les qualités du bâtiment, ainsi que leur propre comportement et sensibilité pour les problèmes environnementaux.

Le personnel enseignant, le personnel en charge de l'entretien ainsi que les enfants ont répondu à l'enquête, réalisée en juin 2005.

L'enquête auprès des différents occupants a été réalisée afin de :

- récolter l'opinion et la satisfaction des personnes, valider la qualité environnementale de l'école neuve par une confrontation de l'opinion et de la perception des utilisateurs aux ambitions du programme,
- pouvoir croiser certaines des mesures physiques sur les deux bâtiments avec les usages qu'ils abritent,
- comparer une école ayant fait un effort de conception environnementale à une école traditionnelle datant des années 50 (partiellement rénovée en 1986), sur une gamme relativement complète des critères de la qualité environnementale du bâtiment,
- identifier les usages responsables des performances ou contre performances observées,
- montrer quels pouvaient être les leviers, techniques ou comportementaux, d'une amélioration de ces usages,
- valider l'enquête elle-même pour être intégrée à la méthode d'évaluation de la qualité environnementale de bâtiments d'enseignement.

Le petit nombre d'adultes travaillant dans les bâtiments a permis une enquête de type semi ouverte (voir le glossaire) et accompagnée : la bonne compréhension des questions et l'expression libre des enquêtés a autorisé une identification issue de l'expérience d'usage des causes de confort/inconfort ou de satisfaction/insatisfaction que le bâtiment offre. Ce mode d'enquête a de plus permis d'avoir un retour de 100 % des personnes soumises à l'enquête.

Nous avons également proposé une enquête destinée aux enfants, qui a été posée par chaque institutrice. Les questions soumises aux enfants étaient bien évidemment beaucoup plus simples et adaptées.

Nous avons choisi de réaliser cette enquête le plus tard possible par rapport à la mise en service du bâtiment Bellegrave (janvier 2004), afin de laisser au gestionnaire du bâtiment le temps de régler correctement les différentes installations, ainsi qu'aux occupants le temps de s'approprier les lieux et de connaître le bâtiment.

L'enquête se composait de 93 questions (voir le questionnaire en annexe 9) réparties en 4 thématiques différentes : « informations générales » (4 questions), « le bâtiment et son environnement extérieur » (17 questions), « l'environnement intérieur du bâtiment » (52 questions), enfin « usages et conscience du bâtiment par l'utilisateur » (18 questions). Il fallait 15 à 20 minutes pour remplir le questionnaire.

Les thèmes d'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment sont issus d'une sélection et d'une simplification effectuée à partir du référentiel de la définition explicite de la qualité environnementale (DEQE) appliqué à la phase de gestion. Le DEQE étant conçu pour la phase de conception, certains thèmes d'évaluation, relatifs notamment à la préoccupation des utilisateurs vis-à-vis de l'environnement, de leurs usages, et au niveau d'informations mises à leur disposition, ont été rajoutés, et sont synthétisés dans le **tableau 30**.

Tableau 30 : Critères d'évaluation abordés dans l'enquête –juin 2005-

Thèmes	Critères	Référence aux 14 cibles
Environnement extérieur	Implantation globale	1
	Organisation des espaces	1
	Accès	1
	Environnement paysagé	1
	Stationnements	1
	Equipements extérieurs (vélos, bancs, ...)	1
	Vues	1
	Matériaux extérieurs	2
Environnement intérieur	Confort thermique (hiver, été)	8
	Confort visuel : éclairage naturel et artificiel	10
	Confort acoustique	9
	Qualité de l'air et confort olfactif	11 et 13
	Organisation des espaces de travail	12
Usages	Gestion de l'énergie (éclairages, équipements, chauffage, ouvrants et occultants)	4
	Gestion de l'eau	5
	Gestion des déchets	6
'Conscience' des usagers	Evolutivité des usages	Aucune
	Préoccupation environnementale	
	Exportation des bonnes pratiques	
Information	Connaissance des systèmes de gestion de l'eau / des déchets	
	Connaissance des systèmes de gestion du chauffage	
	Connaissance des équipements électriques	
	Information mise en place et demande d'information	

## 3-2- Résultats de l'enquête auprès des usagers

### 3-2-1 Remarques préliminaires

#### Conditions générales de l'enquête

Les enquêtes ont été réalisées sur la semaine du 6 au 10 juin 2005. Les questionnaires ont été présentés à chaque personne adulte le jeudi de la semaine précédente pour permettre de mieux répondre aux questions, de raccourcir et de faciliter l'entretien la semaine suivante.

L'école Jules Ferry comporte 5 institutrices (ou professeurs des écoles, mais nous préférons le terme institutrice), 5 ATSEM employées par la mairie, qui secondent les institutrices lors des activités pédagogiques ainsi que pour l'entretien des classes, trois personnes pour l'accueil périscolaire des enfants, 2 employées en CDD pour l'entretien du bâtiment, soit 15 adultes.

L'école Bellegrave comporte 6 institutrices, 6 ATSEM, trois personnes pour l'accueil périscolaire, 3 employées en CDD pour l'entretien du bâtiment, soit 19 adultes.

Le nombre de questionnaires est de 26/34 adultes en raison des absences et intermittences (certains employés sont à mi temps) lors de l'enquête, ainsi que de la réticence de certains syndicats d'employés de mairie face à l'enquête.

Les questionnaires destinés aux enfants ont été soumis par les institutrices qui ont compté les mains levées pour chacune des réponses proposées aux questions. Les questions posées et les résultats relatifs à la perception des enfants seront présentés en dernière partie.

Quelques réponses multiples dans les petites sections (certains enfants lèvent la mains deux fois pour une seule réponses par exemple) ont constitué la seule difficulté au dépouillement.

L'école Jules Ferry abrite 148 enfants (5 classes) et l'école Bellegrave 170 (6 classes).

### Méthode d'évaluation d'un critère à partir des résultats de l'enquête

Chaque critère est évalué par une note sur une échelle de 5 points allant de 0 à 4 (très peu satisfait, peu satisfait, moyennement satisfait, satisfait, très satisfait) ou par le pourcentage de réponses positives ou négatives pour les questions n'appelant pas de notation.

L'échelle à 5 points pourrait présenter l'inconvénient de permettre une note moyenne 'refuge' ; les résultats montrent cependant qu'elle est suffisamment large pour permettre une bonne discrimination des réponses.

Pour évaluer un critère à partir des différentes questions le concernant, une moyenne non pondérée est effectuée sur les notes de ces différentes questions, ou sous critères, et ramené à une expression en pourcentage. Il a en effet été montré [Colet et Miriel, 2004], que prendre en compte une pondération sur un ensemble de sous critères d'évaluation n'amène pas de résultats suffisamment différents ou significatifs d'une moyenne simple des notes de ces différents sous critères. Par exemple la qualité de l'air sera évaluée en moyennant les notes sur la satisfaction de la qualité de l'air intérieur, la perception du renouvellement de l'air et la satisfaction relative au confort olfactif. Permettre à l'enquête de pondérer l'importance de ces différentes notes n'aurait pas amené de différence significative sur la note globale.

Nous avons le choix dans nos analyses de prendre en compte tous les critères abordés par l'enquête, ou de mener une analyse permettant d'identifier les critères déterminants. En effet plus il y a de critères plus les notes se moyennent, sans que les critères ou questions multiples n'apportent plus d'enseignements. De plus les questions ouvertes ont été riches en informations sur les causes de confort ou d'inconfort.

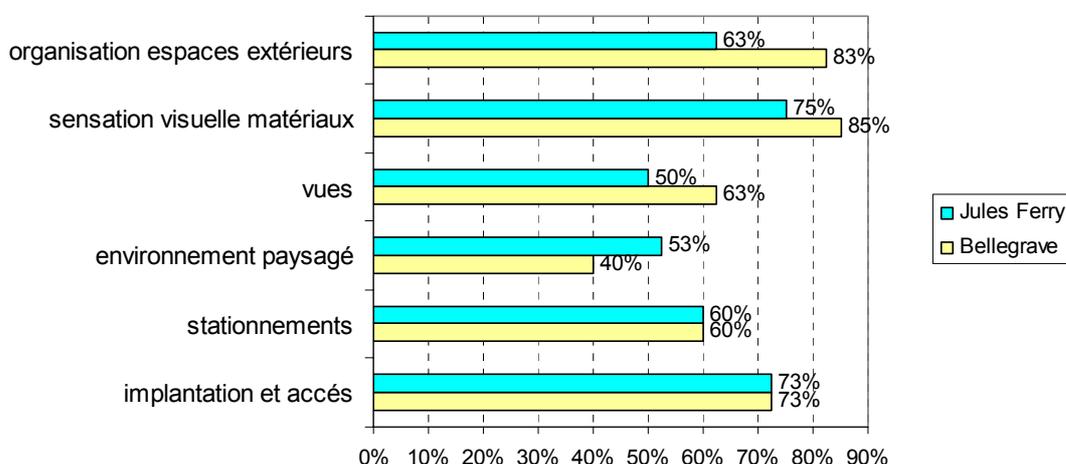
Nous avons ici un premier enseignement sur la méthode du questionnaire : les questions posées peuvent être réduites à certains éléments discriminants de l'enquête. Nous pourrions donc dans notre méthode d'évaluation simplifier le questionnaire. Nous présentons en annexe 6 le questionnaire final, déduit des résultats.

### 3-2-2 Validation de la qualité environnementale par la satisfaction des usagers

L'ensemble des résultats obtenus pour la qualité de l'extérieur et de l'ambiance intérieure des 2 bâtiments sont présentés sur les **figures 52 et 53**. Les taux représentés sont les taux de satisfaction.

Le premier constat général sur les **espaces extérieurs** est une relative homogénéité des résultats entre les deux bâtiments, et ce malgré l'aspect neuf et moderne de l'école ayant fait un effort de qualité environnementale, et en particulier d'insertion dans le site, ainsi que les différences importantes de surfaces des sites et d'environnements immédiat. Cependant, l'école Bellegrave obtient une meilleure appréciation sur l'organisation des espaces extérieurs, les matériaux et les vues autour du bâtiment.

Figure 52 : Résultats de l'enquête sur la qualité des espaces extérieurs

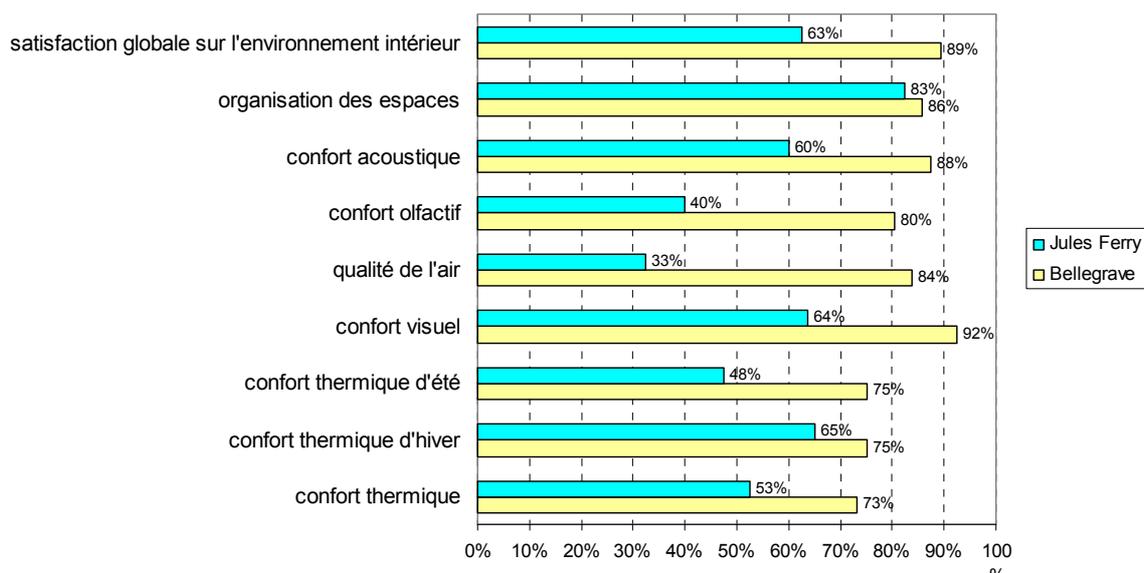


Les questions ouvertes (voir le glossaire) montrent que ce sont les habitudes et l' « adoption » du site sur l'école Jules Ferry qui entraînent une différence. Les usagers ont en effet eu le temps d'établir leurs modes d'usages et de construire leurs repères sur ce bâtiment. Le critère dont le résultat est clairement favorable à l'école Jules Ferry est le paysagement ; la végétation a en effet eu plusieurs années pour se développer (les arbres ont pour certains plus de 50 ans).

Nous retenons un enseignement et une interrogation à cette étape des résultats : une enquête pour évaluer les qualités d'un bâtiment doit se faire quand les usagers ont bien « pris possession » des lieux ; une année et demi d'occupation reste un temps insuffisant pour comparer avec un bâtiment occupé depuis plus de 10 ans, et il eût été intéressant d'attendre au moins une année de plus pour ce travail, mais les délais étaient incompatibles ; si les usagers avaient pu visiter l'autre école, les différences d'appréciation auraient-elles été beaucoup plus importantes, puisqu'ils auraient disposé d'un référent ?

La différence d'appréciation entre les deux écoles est plus marquée en ce qui concerne **l'ambiance intérieure**. En effet, un certain nombre de critères d'évaluation apparaissent nettement contrastés : le confort acoustique, le confort visuel, le confort thermique d'été, la qualité de l'air. Ces caractéristiques font toutes partie des points de traitement de l'opération par la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage de l'école Bellegrave.

Figure 53 : Résultats de l'enquête sur la qualité de l'environnement intérieur



Les critères d'organisation des espaces et de confort thermique d'hiver ne présentent pas de divergence marquée. L'organisation des espaces est sans doute difficile à appréhender pour les usagers, qui n'ont pas recours à toutes les zones du bâtiment (aires de service, ...) et donc ne sont pas forcément à même de juger correctement ce critère, extrêmement différent entre les deux bâtiments.

Le confort thermique d'hiver fait partie des exigences hautes du programme de l'école HQE®. Nous citerons ici l'opinion mitigée des utilisateurs de Bellegrave quant au chauffage par le sol, mal réglé (trop chaud selon les institutrices). Il est en effet apparu un certain nombre de problèmes de réglages du système pendant la première année qui ont pénalisé le confort thermique.

Les **tableaux 31 et 32** rassemblent les principaux résultats obtenus (sous forme de notes de 0 à 4). Les performances de l'école Jules Ferry sont également présentées. Une réflexion est proposée sur l'origine des différences de résultats (du point de vue de la perception des usagers), avec les objectifs du programme de l'école Bellegrave.

Tableau 31: Analyse des résultats sur la qualité des espaces extérieurs

Critère	Bellegrave			Jules Ferry	
	Exigence du programme	Note de 0 à 4	Remarques	Note de 0 à 4	Remarques
Implantation et accès	Atteinte. Insertion dans le site, protection des espaces extérieurs des vents, ensoleillement optimisé en hiver, parvis large de circulation	2,9	Les espaces de circulation et de stationnement n'ont pas été traités par la commune et manquent d'organisation, voire de sécurité. Circulation des bus de l'école très aisée. Peu d'équipements pour les vélos.	2,9	Le manque de place par rapport aux effectifs pénalise l'opérationnalité des espaces extérieurs.
Environnement paysagé	Mauvaise. 10 % de surface végétalisée avec une bonne diversité	1,6	Peu d'irrigation et pas d'entretien des végétaux pourtant nombreux plantés. Pas assez d'arbres / zones d'ombre en été dans les cours. Plantation de variétés toxiques.	2,1	La végétation est très ancienne et développée, et la cour plus équipée.
Organisation des espaces extérieurs	Atteinte. Accès différencié pour l'aire de service, desserte sécurisée pour les transports en commun	3,2	Accès piétons pas encore sécurisé, et impression de l'esplanade trop « minérale », ce qui rejoint le paysagement. Circulation des véhicules et piétons aux heures d'arrivée et de départ améliorables. Abondance de bois et de vitrage ressenti comme précaire bien qu'esthétique.	2,5	Bâtiment plus compact et deux entrées directes sur les classes.
Matériaux	Atteinte	3,4	Sur l'aspect esthétique rendu l'esthétique (les usagers ne sont pas à même de porter des jugements techniques). Menuiseries bois/aluminium appréciées.	3	Matériaux traditionnels : maçonnerie peinte, toiture tuile, menuiserie bois/vitrages simples vieillottes
Qualité globale des espaces extérieurs	Satisfaisante	2,7	Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les deux bâtiments sur l'appréciation globale de la parcelle. Le bâtiment Bellegrave est desservi dans la perception globale de la qualité du site par la pauvreté du paysagement. En revanche les volumes et les formes sont appréciés ; la toiture végétalisée interpelle et on regrette le temps de pousser importants des plants.	2,5	Satisfaction imputable plus aux habitudes qu'aux qualités des matériaux.

Tableau 32: Analyse des résultats sur la qualité des espaces intérieurs

Critère	Bellegrave			Jules Ferry	
	Exigence du programme	Note de 0 à 4	Remarques	Note de 0 à 4	Remarques
Confort visuel	Atteinte, utilisation optimisée de l'éclairage naturel. Couleurs intérieures variées. Efficacité de l'éclairage artificiel apprécié	3,7	Point fort du bâtiment très apprécié des usagers. Les usagers apprécient la double orientation Nord Sud des vitrages, mais signalent toutefois quelques éblouissements en particulier en hiver. Seule la partie administrative (bureau de la directrice et salle de réunion des maîtres) sont peu éclairables naturellement. Eclairage artificiel de bonne qualité et souplesse d'utilisation	2,5	Surfaces vitrées et brises soleil peu abondants, orientation non étudiée. Classes nord très sombres
Confort thermique d'été	Atteinte, confronter avec les mesures physiques	3	Compromis entre éclairage naturel optimisé et confort d'été : atteint mais serait encore meilleur si la ventilation forcée de nuit marchait. Bonne utilisation des brises soleil	1,9	Manque de ventilation. Locaux Sud en surchauffe
Confort thermique d'hiver	Atteinte, confronter avec les mesures physiques	3	Malgré les pannes de début d'exploitation et les réglages tardifs. Le chauffage par le sol ne fait pas l'unanimité.	2,6	
Confort acoustique	Atteinte. Mise en place de matériaux / éléments performants à l'isolement acoustique	3,5	Excellente isolation entre les locaux. Les maîtresses sont parfois obligées de laisser les portes ouvertes pour savoir ce qui se passe dans la pièce à côté ou le couloir. Bruits d'équipements (ventilation) partiellement corrigé	2,4	Inconfort identifié à une sur occupation des locaux
Qualité de l'air	Atteinte. VMC double flux et nombreux ouvrants pour la ventilation d'été.	3,4	Critère difficile à évaluer pour l'utilisateur car les excès de CO <sub>2</sub> ou les traces de COV sont difficilement perçus par l'homme, et les mauvaises odeurs, en générale occasionnelles, ne sont que rarement toxiques. Malgré cela les usagers ont apprécié la qualité de l'air dans leurs locaux, même si certains ont trouvé les débits d'air un peu forts en sortie de bouche d'aération (assimilé en fait à une gêne thermique et corrigé par une orientation différente des bouches).	1,3	Pas de VMC, les occupants ont identifié un manque de renouvellement de l'air, sauf en été où tous les ouvrants sont mis à contribution
Organisation des espaces intérieurs	Atteinte	3,4	Surfaces et volumes très appréciés. Fonctionnalité des espaces ateliers et évolution bonne. Utilisation de l'aire de service pour la garderie (car entrée trop éloignée)	3,3	Maîtrise des lieux due à l'habitude. Bâtiment plus compact, déplacements plus aisés, entretien plus facile
Nuisances extérieures	Atteinte	2,8	Nuisances ressenties par grand vent : vibration des pare soleils. Présence de l'antenne relais de téléphonie mobile inquiétante pour les usagers	2	Gêne par les bruits et odeurs dus à la circulation : fumées de jardin du voisinage
Qualité globale du cadre de travail	Atteinte	3,6	Cadre ressenti comme privilégié et de qualité globale remarquable, malgré des problèmes ponctuels dans le temps ou dans l'espace	2,5	Matériaux vieillots, pas de ventilation, matériels insuffisants (rangements, matériel d'entretien), Occupation trop dense / surfaces insuffisantes

Pour le personnel d'entretien, l'activité est plus intense sur l'école Bellegrave du fait des surfaces importantes ; les locaux techniques y sont en revanche très bien équipés, pratiques et confortables.

### 3-2-3 Identification des usages responsables des performances du bâtiment

Les parties suivantes du questionnaire, « usages » et « connaissance des systèmes du bâtiment » demandent plus de prudence dans les interprétations que l'on pourrait faire, puisqu'elles expriment le résultat de l'opinion que les usagers ont sur ce qu'ils pensent faire tous les jours, ou encore sur ce qu'ils déclarent faire.

Ces résultats sont cependant intéressants, car nous allons pouvoir les comparer à nos mesures physiques, et donc valider leur concordance ou non. Quel que soit ces résultats, nous pourrions réfléchir sur la cause des décalages entre les déclarations des usagers et leurs gestes réels, ainsi que sur l'utilisation de ce type de résultat d'enquête.

La **figure 54** présente les taux de réponses positives pour les différents critères du questionnaire.

Cette partie de l'enquête avait pour but l'identification des usages responsables des performances de consommations constatées sur les deux bâtiments. Elle regroupe deux types d'usagers différents :

- les occupants,
- le personnel d'entretien,

et ce via 6 critères principaux : gestion de l'énergie (électricité et système de chauffage), gestion de l'eau, gestion des déchets, entretien pour les personnes en charge, ouvrants et occultants.

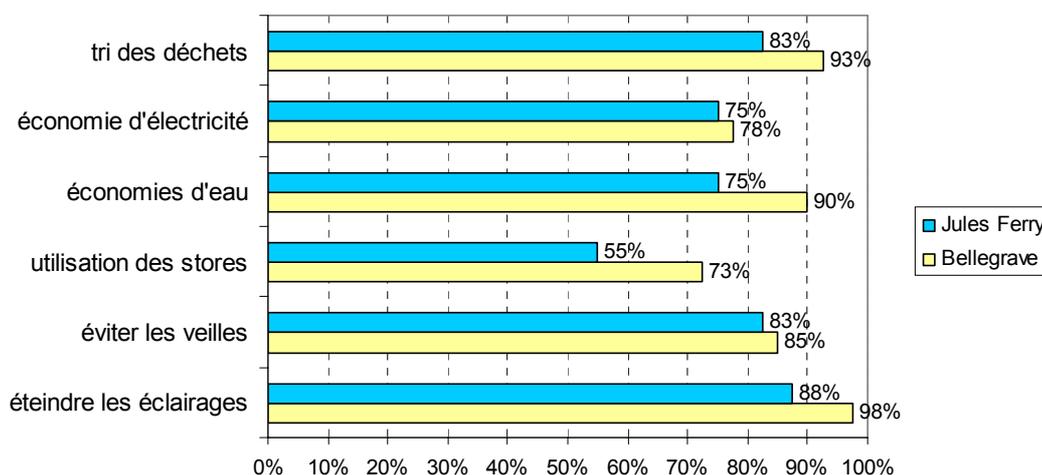
Les usagers sont regroupés quand la question leur est commune.

Cette partie de l'enquête a pour objectif d'être utilisée pour l'évaluation des gains de consommation ou de performance environnementale, sur des scénarios d'usages plus informés et volontaires.

Le premier constat est la bonne utilisation que l'ensemble des usagers (>75 %) pense faire de tous les services du bâtiment, (stores et ouvrants exclus), ce qui est exprimé par la note globale.

Le deuxième constat réside dans la faible différence des opinions entre les deux sites, ce qui montre que nous avons affaire à la même catégorie d'usagers en ce qui concerne l'utilisation et la connaissance des systèmes du bâtiment.

Figure 54 : Résultats de l'auto perception des usages



L'école Bellegrave montre cependant une homogénéité de pourcentage de réponses positives de bonnes pratiques légèrement supérieures à l'école traditionnelle (de 3 à 15 %). Il est trop tôt, et une seule étude ne suffit pas, pour déduire une influence du bâtiment lui-même sur les usages, à l'exception des équipements existants. Les stores et les brises soleil sont largement plus présents sur l'école Bellegrave, amenant les usagers à s'en servir et à y faire attention.

La hiérarchie de conscience des usages est, pour les occupants, et dans l'ordre décroissant : les éclairages, les déchets, l'eau, la veille des appareils et enfin l'utilisation des stores et ouvrants.

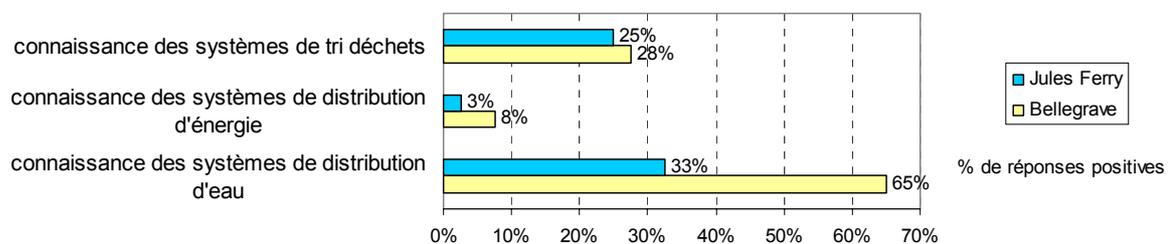
Il nous semblait intéressant de mettre, en parallèle de cette perception des usages, la connaissance que les usagers ont des systèmes. La **figure 55** présente les pourcentages de réponses positives aux questions de connaissances des systèmes de :

- distribution de l'eau,
- distribution de l'énergie,
- gestion des déchets.

Le premier résultat remarquable est le faible pourcentage d'usagers ayant une connaissance minimale des systèmes asservissant le bâtiment : entre 20 et 33 %. Cependant, en fonction des postes, cette méconnaissance des systèmes est nuancée.

Entre 90 et 100 % des personnes déclarent faire attention à ne pas laisser l'éclairage sous tension inutilement ou à être vigilant aux veilles, et 75 à 90 % des personnes pensent utiliser l'eau ou l'énergie rationnellement. Deux personnes sur trois seulement disent connaître les systèmes d'économie sur la distribution de l'eau, et sont au courant de leur mise en place ou non sur leur site de travail (pour note, seules les chasses d'eau à deux vitesses semblent faire partie du paysage des systèmes connus). Pour l'énergie, quasiment aucune personne ne sait quels sont les modes et les systèmes d'économie d'énergie, ce qui est en totale contradiction avec les déclarations de la partie conscience d'utilisation.

**Figure 55 : Résultats des critères de connaissance des systèmes du bâtiment**



En effet, comment 90 % des personnes pourraient-elles utiliser rationnellement l'énergie quand seules 3 % d'entre elles connaissent les divers dispositifs d'économie d'énergie ? Economiser l'électricité du poste équipements (prises de courant, appareils électriques) est le paramètre que les occupants perçoivent ou maîtrisent le moins.

Nous en concluons que les utilisateurs des deux écoles pensent et veulent bien faire, mais manquent totalement d'information, voire de formation, pour y parvenir.

### Leviers d'amélioration des usages

La dernière partie du questionnaire « amélioration des usages, et informations » avait pour objectif de rendre compte de la capacité des usagers à changer leur comportement, et d'aborder l'un des moyens qui favoriserait ce changement d'usages. Quels seraient les moyens d'infléchir les actions quotidiennes des usagers ? L'intervention technique est bien sûr possible, vers la mise en place de systèmes mieux réglés, plus économes. Mais le comportement humain interviendra toujours en fin de chaîne. Le moyen le plus direct et le plus accessible au gestionnaire d'un bâtiment est la mise à disposition d'informations pour l'utilisateur. L'information à diffuser nous semble de trois types :

- 1) les bonnes pratiques (**gestes responsables**),
- 2) l'utilisation des systèmes (**informations techniques**),
- 3) les raisons de prendre soin de mettre ces pratiques en œuvre (**informations d'ordre éducatif**).

Cette partie de l'enquête a de plus permis de « faire parler la conscience » que les usagers ont de l'environnement à travers leurs usages dans un bâtiment.

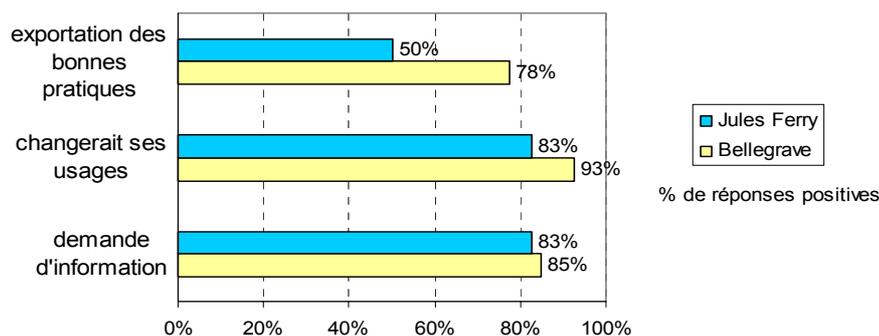
Les critères abordés étaient les suivants, et sont représentés dans la **figure 56**.

- « demanderait des informations »,
- « ne se sentirait pas contraint de changer ses usages »,
- « exporterait ses pratiques dans n'importe quel autre bâtiment ».

Il en ressort quelques éléments intéressants, surprenants, voir encourageants pour inciter à des usages plus responsables et économes.

Il apparaît que les occupants sont dans l'ensemble préoccupés par l'environnement, (note moyenne sur la volonté à évoluer de 72 à 85 %). De plus, la préoccupation des usagers face aux problématiques environnementales semble plus prononcée dans le bâtiment Bellegrave. Il semble ici qu'on doive considérer que le bâtiment « HQE® » a une influence sur la sensibilisation des usagers, de par sa conception, et de par les informations, même succinctes, qu'ils ont reçues sur le fait qu'il s'agit d'un bâtiment ayant fait un effort de qualité environnementale.

Figure 56 : Résultats sur les critères d'amélioration des usages



Pour terminer, et cela a pu en partie être amené par le questionnaire lui-même, 80 à 85 % des personnes seraient demandeurs de plus d'informations, afin d'améliorer leurs gestes au quotidien et leurs diverses consommations. Un bémol à cette demande majoritaire : l'information doit rester **simple** d'accès, **claire**, ludique, **directe**, **ciblée**.

De plus, 80 à 90 % des usagers seraient d'accord 'à priori' pour changer leurs usages, ce qui est encourageant pour la mise en place d'une campagne d'information sur ce type de bâtiment.

L'enquête proposait 3 modes d'information différents.

Le mode d'information choisi par les usagers est quasi unanimement des affichettes simples mises en place aux endroits stratégiques : robinets, chasses d'eau, convecteurs, éclairage, appareils, poubelles, produits d'entretien. Un poster général d'information placé à l'entrée principale du bâtiment serait aussi un mode de communication apprécié. En revanche, le cahier d'information a totalement été rejeté par les personnes questionnées, ce qui explique en partie que les documents disponibles dans un bâtiment ne soient jamais lus par les non professionnels.

### 3-2-4 Enquête chez les enfants

L'objectif était de recueillir l'appréciation des petits utilisateurs et principaux intéressés de l'exploitation d'une école maternelle. Les questions font donc appel autant à la perception physique des lieux par l'enfant qu'affective. Nous désirions, en orientant les questions sur le bâtiment, seulement savoir si l'enfant se sent bien dans l'école, et donc si le bâtiment participe correctement à sa mission d'hébergement d'activité d'éducation préscolaire.

Le questionnaire (présenté en annexe 11) a préalablement été validé par le personnel enseignant. Le principe de l'enquête était simple : la maîtresse avait pour charge de poser 21 questions aux enfants et de leur demander de répondre en levant la main pour dire oui ou en s'abstenant pour dire non.

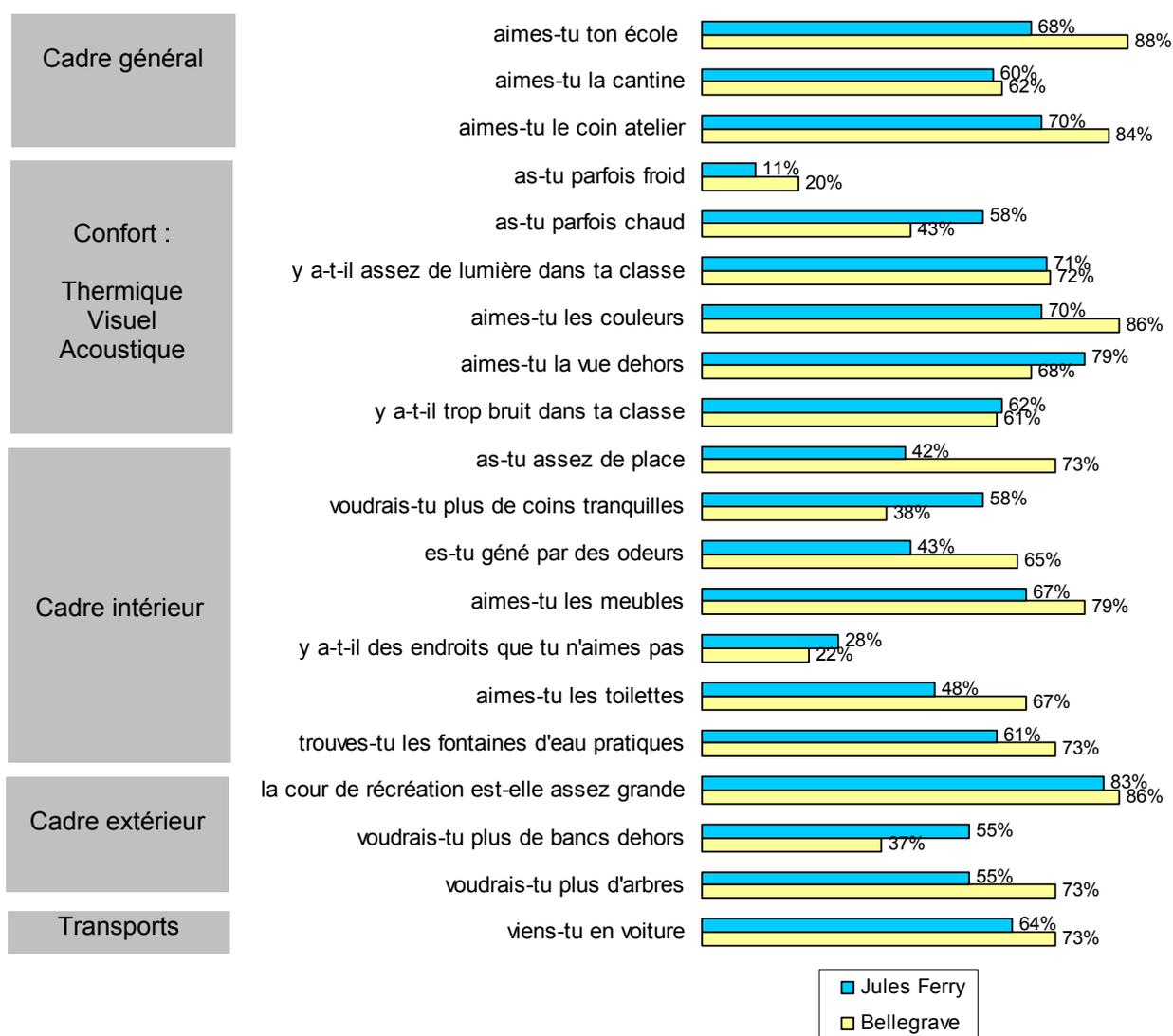
L'enquête s'est bien déroulée d'une façon générale ; toutefois quand l'attention des enfants s'est relâchée, en particulier chez les petites sections, l'institutrice a déroulé l'enquête en deux temps. Certaines questions ont eu des réponses multiples, ce qui a constitué la seule difficulté du dépouillement.

Les résultats sont rassemblés dans la **figure 57**; les chiffres indiqués sont les pourcentages de réponses positives. Nous en tirons plusieurs enseignements.

Tout d'abord les enfants semblent, malgré leur jeune âge, capables de donner une opinion sur les locaux qui les abritent. Nous retrouvons en effet des différences significatives et faisant sens sur des critères simples :

- la végétation de la parcelle, plus abondante sur Jules Ferry, est plus réclamée sur Bellegrave ;
- la place disponible par enfant, beaucoup plus importante sur Bellegrave, est demandée sur Jules Ferry, tout comme les « petits coins pour être tranquilles » ;
- la sensation de chaleur et de froid, corrélée avec l'enquête des adultes (exemple sur Bellegrave : 57 et 36 % des adultes associent l'inconfort thermique respectivement au trop chaud et au trop froid, pour 43 et 20 % des enfants).

Figure 57 : Résultats de l'enquête chez les enfants



Il convient cependant de rester prudents sur les interprétations des résultats. En effet, si l'adulte est influencé par ses acquis et sa condition du moment quand il répond à une enquête, cela est encore plus vrai pour l'enfant, qui s'attache énormément aux côtés affectifs de sa perception pour donner une réponse. Ainsi, même si à la question « aimes-tu ton école » plus d'enfants répondent « oui » sur l'école Bellegrave, la première réponse que l'enfant donne à « qu'est-ce que tu préfères à l'école » est « la maîtresse » (ou « les jeux »).

Certains critères semblent indifférenciables chez l'enfant d'une école à l'autre :

- la lumière, pourtant très différente entre les deux sites,
- le bruit, également différent,
- la cantine, la taille de la cour de récréation.

En revanche, les enfants traduisent bien la différence de qualité entre une école traditionnelle et une école ayant fait un effort de qualité environnementale, sur les appréciations :

- de place dans la classe,
- de confort thermique,
- d'équipements,
- de confort olfactif,
- de végétation,
- et sur l'appréciation générale de l'école.

Nous pouvons ici nous poser une question intéressante. Peut-on considérer que les réponses dont la différence est faible entre les deux sites (<5% par exemple) sont des critères indépendants de la qualité environnementale du site au regard des petits usagers ? Il faudra réaliser une campagne d'enquête plus importante, sur d'autres écoles HQE® et traditionnelles, pour pouvoir y répondre.

Suite à ce retour d'expérience, le questionnaire a été légèrement amélioré, le nombre de questions posées aux enfants a été réduit de 20% (voir en annexe 6 les questionnaires définitifs enfants et adultes)

### **3-2-5 Conclusion de l'enquête : avantages et limites**

Comme pour toute enquête, il convient de rester prudent sur l'ubiquité de la méthode. Elle a été testée avec satisfaction sur deux écoles maternelles, et semble donc s'adapter à ce type de bâtiments. Cependant chaque construction et chaque type d'usager a ses particularités, et le questionnaire peut être adapté aux spécificités de chaque bâtiment évalué : existence d'un contexte particulier, de nuisances extérieures, de spécificités culturelles locales, de besoins particuliers ou d'exigences des occupants, ... On ne saurait dissocier l'usager du bâtiment de la méthode d'évaluation, la mission du bâtiment étant précisément définie et existante à travers ses usagers.

Les personnes interrogées vont avoir tendance à répondre à une attente sociale par rapport aux questions, et non aux faits. Cela montre la limite de la méthode et l'utilité des mesures avec capteurs. Néanmoins l'enquête permet de montrer ce que l'évaluation via les usagers peut révéler, et ce que les capteurs ne pourront pas apporter.

L'enquête a clairement montré les meilleures performances du bâtiment ayant fait un effort de qualité environnementale dans sa conception. Le confort visuel est sans doute le point le plus remarquable de l'ambiance intérieure, avec une utilisation recherchée de la lumière naturelle. Le confort acoustique est également bien ressenti par les usagers, mais il est peut-être dû en partie à la densité plus faible d'occupation des lieux. La qualité de l'air fait également partie des critères remarquables par les usagers, tant dans la qualité sur l'école équipée d'un système de ventilation que dans la non qualité sur l'école dépourvue de ventilation centralisée .

Le confort thermique n'est, malgré l'installation de chauffage par le sol et la ventilation double flux, pas encore à l'optimum que l'on pourrait supposer, cet aspect ayant pour l'instant été biaisé par les pannes et les réglages de la première année d'utilisation.

En terme d'apports aux usagers par rapport aux besoins spécifiques de leurs activités, il ressort que l'école Bellegrave offre de meilleures conditions d'apprentissage pour les enfants et de meilleures

conditions de travail pour le personnel enseignant. En particulier, le décloisonnement possible dans les ateliers des classes permet aux enfants de s'isoler, de profiter d'une période de calme, et à l'institutrice de travailler dans une ambiance plus sereine. Cela montre que l'**occupation est un critère important** pour tous les types de confort.

Une des perspectives sera de continuer ce type d'enquête auprès des gestionnaires, afin de mettre en évidence (ou pas), la facilité de gestion de ce type de bâtiment par rapport au bâtiment traditionnel.

Il faut bien évidemment, comme pour toute enquête « locale », garder à l'esprit que la reproductibilité du questionnaire est toujours questionnable, et que d'autres enquêtes devront sans doute voir certains aménagements et modifications dans les questions présentées.

Les résultats ont également permis de mettre en évidence une partie des éléments de qualité prévus au programme de l'opération. Des mesures sont cependant nécessaires à une évaluation holistique des qualités du bâtiment et de leur correspondance aux éléments de programmation.

Il semble en revanche qu'une enquête montre difficilement d'où viennent les performances ou contre performances d'usages. Les personnes qui ont répondu à l'enquête ont toutes déclarées avoir de bonnes pratiques, ce que ne confirment pas les mesures physiques, ne serait-ce que sur l'éclairage. Pourtant, en aparté, et avant les entrevues, nous avons bien précisé aux répondants que l'enquête n'est ni un jugement, ni un établissement de performance personnelle, et que les erreurs, les méconnaissances sont présentes chez tous les usagers d'un bâtiment.

Le manque d'information et d'éducation environnementale des usagers est sans doute une cause de ce décalage entre l'enquête et les mesures.

Il en découle directement que le premier levier d'amélioration des usages est l'information aux utilisateurs. La satisfaction des occupants sur la qualité environnementale de leur lieu de travail et d'apprentissage pour les enfants a pu être évaluée simplement, et leur consultation a amené des éléments intéressants tant pour la conception que pour la gestion. Nous citerons ici uniquement les éléments relatifs à une bonne utilisation des systèmes du bâtiment. Deux éléments entrent en jeu :

- existence et présentation des équipements (et leur efficacité intrinsèque),
- l'utilisation qu'en fait l'utilisateur, rationnelle ou non, elle-même dépendante de facteurs éducationnels, psychologiques et contextuels (utilisateur informé, utilisateur disponible et responsable, situation favorable à une utilisation rationnelle du système).

Les usagers se sentent concernés par l'environnement et sont très majoritairement désireux d'un comportement « éco-responsable », pour reprendre un terme à la mode. Cependant ils sont déjà soumis à un certain nombre de contraintes, et feront difficilement l'effort d'aller chercher les informations par eux-mêmes.

Donc tant qu'il ne sera pas mis à la disposition de l'utilisateur des explications simples, ciblées, voire ludiques sur l'utilisation des divers services et fluides que le bâtiment pourvoit, ces commandes ne seront pas optimisées et une utilisation irrationnelle de l'énergie et de l'eau s'en suivra, aspects thermiques compris. De plus, nous pouvons par avance nous questionner sur l'efficacité de la mise en place permanente par exemple d'affichettes, comme suggéré. L'efficacité d'un affichage vient souvent de sa nouveauté, ce qui voudrait dire un renouvellement des messages d'utilisation rationnelle des fluides, sous une période à identifier, et qui correspond au temps que met l'utilisateur pour ne plus voir le message à côté de la commande, qui lui est pourtant destiné ...

Une solution serait la mise en place d'un tableau à affichage électronique, (ce qui se fait déjà dans certains bâtiments). Le tableau donnerait de façon hebdomadaire une information aux gestionnaires et usagers sur les consommations, les performances potentielles, et les gestes à mettre en œuvre pour les réaliser. La quatrième partie de ce document aborde plus précisément de cette communication.

Enfin, l'analyse de l'enquête a abouti à une modification du nombre de questions et à leur forme pour certaines, pour aboutir à un formulaire type d'enquête applicable et adaptable à tout bâtiment d'enseignement du préscolaire au lycée, ou de bureaux.

### 3-3- Evaluation environnementale de 2 maternelles : résultats selon la méthode OPALE

Nous avons présenté en deuxième partie la méthode d'évaluation, et défini les indicateurs. Les résultats de l'enquête ont été explicités. Nous allons à présent aborder les résultats selon la méthode d'évaluation OPALE sur les 2 bâtiments testés. Notons que les explications des différents champs apparaissent en sélectionnant chaque cellule de la méthode sous le tableur.

#### 3-3-1 Thème « Coûts d'exploitation »

La forme de présentation des résultats est générique pour tous les indicateurs. Chaque indicateur est présenté par personne et par m<sup>2</sup> chauffé. Les coûts sont exprimés en euros TTC.

Les ratios par surface sont figurés **en gras**, étant donné que c'est l'unité la plus utilisée par les autres méthodes, et en particulier par l'affichage prévu par la directive européenne.

Le thème d'évaluation est représenté sous forme d'un graphique polaire regroupant les indicateurs (voir 2-2-3-3).

Les résultats permettent de faire la comparaison entre plusieurs postes ou rapprochements de postes de dépenses.

Les **potentiels d'amélioration, Pot A**, sont calculés par comparaison à la borne la plus performante des référentiels. Donc ici tous les potentiels sont des potentiels d'économie, en €/tcc/an.

#### Ecole Bellegrave :

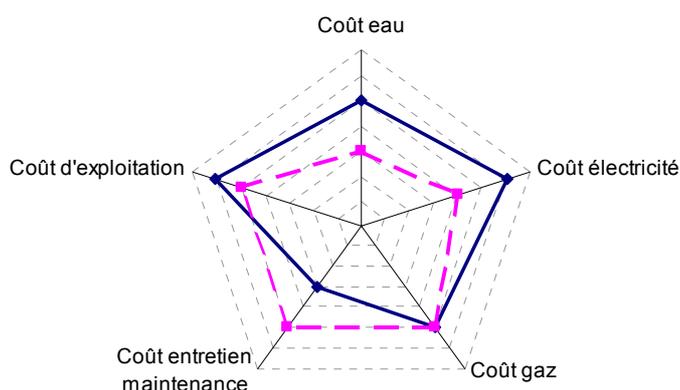
Coûts	Valeur	Unités	Pot A	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Coût eau	2 030	€ TTC	1 418	<b>1,2</b>	<b>C</b>	11,9	E	<b>C</b>
Coût électricité	3 783	€ TTC	426	<b>2,3</b>	<b>B</b>	22,3	D	
Coût gaz	4 191	€ TTC	1 081	<b>2,6</b>	<b>C</b>	24,7	C	
Coût énergie	7 974	€ TTC	1 507	<b>4,9</b>	<b>B</b>	46,9	D	
Coût eau gaz électricité	10 004	€ TTC	2 925	<b>6,1</b>	<b>B</b>	58,8	D	
Coût entretien maintenance	14 538	€ TTC	9 627	<b>8,9</b>	<b>E</b>	85,5	C	
Coût d'exploitation	24 542	€ TTC	12 552	<b>15,0</b>	<b>B</b>	144,4	C	

#### Ecole Jules Ferry :

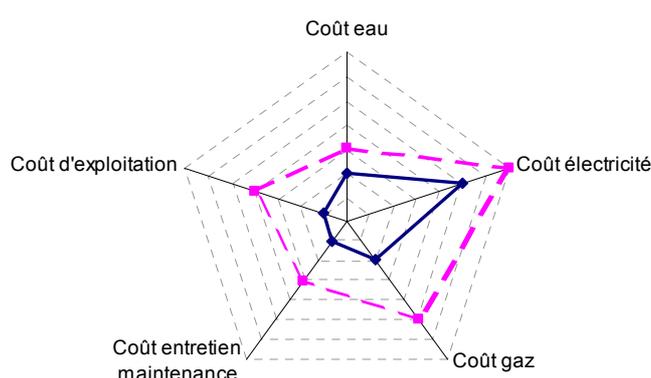
Coûts	Valeur	Unités	Pot A	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Coût eau	1 741	€ TTC	1 183	<b>2,6</b>	<b>F</b>	11,2	E	<b>E</b>
Coût électricité	1 678	€ TTC	300	<b>2,5</b>	<b>C</b>	10,8	A	
Coût gaz	3 515	€ TTC	2 238	<b>5,2</b>	<b>F</b>	22,7	C	
Coût énergie	5 193	€ TTC	2 538	<b>7,7</b>	<b>G</b>	33,5	B	
Coût eau gaz électricité	6 934	€ TTC	3 721	<b>10,3</b>	<b>G</b>	44,7	B	
Coût entretien maintenance	16 356	€ TTC	14 340	<b>24,3</b>	<b>G</b>	105,5	E	
Coût d'exploitation	23 290	€ TTC	18 061	<b>34,7</b>	<b>G</b>	150,3	D	

Pour chaque école on effectue le tracé en diagramme polaire des performances, par surface et par personne.

### Ecole Bellegrave :



### Ecole Jules Ferry :



— Ratio par m<sup>2</sup>  
- - - Ratio par pers

Nous observons ici que, par rapport à la surface, l'école Bellegrave est performante dans le coût d'exploitation ; cependant si on regarde le coût ramené à l'effectif, la performance est moins bonne, proche de celle de l'école Jules Ferry, sauf pour le coût de maintenance (ce qui semble normal pour une école neuve). Notons que l'école Bellegrave n'a pas encore son effectif maximum (une classe reste vacante).

Pour l'école Jules Ferry les performances sont relativement mauvaises, ce qui est du en partie à une fuite d'eau importante dans l'année. Le coût de l'électricité en ratio par effectif est bon, ce qui peut s'expliquer par la forte densité d'occupation des lieux.

## 3-3-2 Thème consommations « Eau et énergie »

### Expressions des ratios du tableau des indicateurs :

- pour les consommations d'eau, le ratio par surface est exprimé en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, et le ratio par personne en m<sup>3</sup>/pers.
- pour l'électricité et le gaz, les ratios sont en kWh/m<sup>2</sup> et kWh/pers.
- pour l'énergie primaire, les ratios sont en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup> et kWh<sub>ep</sub>/pers. Les chiffres sont calculés avec correction climatique (voir 3-4-2-1).

### Ecole Bellegrave :

Eau et énergie	Valeur	Unités	Pot A	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Consommation d'eau	722	m <sup>3</sup>	341	0,441	A	4,2	D	B
Consommation d'électricité	23 370	kWh	5 363	14,3	C	137,5	C	
Consommation de gaz	131 649	kWh	43 251	80	C	774,4	C	
Energie primaire	197 958	kWh ep	17 888	121	B	1164,5	C	

### Ecole Jules Ferry :

Eau et énergie	Valeur	Unités	Pot A	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Consommation d'eau	631	m <sup>3</sup>	284	0,939	G	4,1	D	F
Consommation d'électricité	15 861	kWh	8 469	23,6	G	102,3	B	
Consommation de gaz	101 437	kWh	65 149	151	G	654,4	B	
Energie primaire	146 993	kWh ep	73 073	219	F	948,3	B	

Pour rappel, PA : potentiel d'amélioration

### Calcul des potentiels d'amélioration :

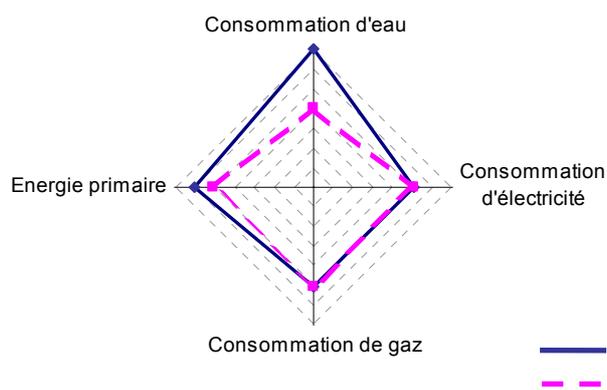
Consommation d'eau : valeur d'eau en m<sup>3</sup> économisable, par comparaison de la consommation à la meilleure performance du référentiel. On peut aussi calculer cette valeur en l/(pers.j) économisable, ce qui est plus concret pour l'utilisateur. Ici, respectivement pour Bellegrave et Jules Ferry, 11 et 10 l/(pers.j).

Consommation d'électricité et de gaz : valeur en kWh économisable, par comparaison à la consommation de la meilleure performance du référentiel.

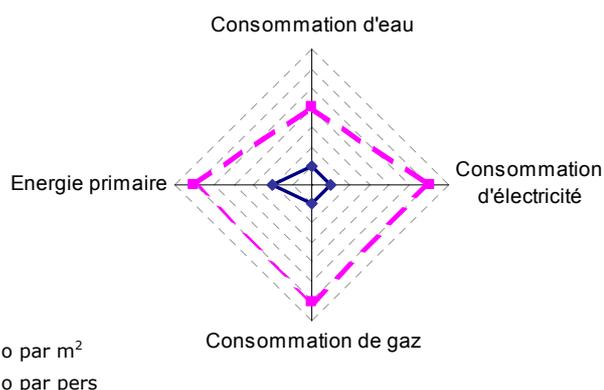
Consommation d'énergie primaire : valeur en kWh<sub>ep</sub> économisable, par comparaison à la consommation de la meilleure performance du référentiel.

### Graphiques polaires :

#### Ecole Bellegrave :



#### Ecole Jules Ferry :



L'importante surface du bâtiment Bellegrave se visualise bien ici, car les ratios au m<sup>2</sup> introduisent un vrai clivage des performances de consommation, contrairement au ratio par effectif, où les performances sont plus proches entre les deux écoles.

### **3-3-3 Thème « Environnement »**

#### Expressions des ratios du tableau des indicateurs :

- pour les émissions de CO<sub>2</sub> les calculs sont en équivalents CO<sub>2</sub>, sachant que certaines études l'expriment en équivalent carbone (on a 1 eq C = 44/12 CO<sub>2</sub>). Les ratios par surface et personne sont en kg eq CO<sub>2</sub>.
- pour les déchets radioactifs, l'indicateur est en dm<sup>3</sup> par site, en dm<sup>3</sup> par surface et cm<sup>3</sup> par personne, de déchets A+B+C,
- l'indicateur de pollution des eaux est sans unité, c'est un indice, il est basé sur un calcul de taxe générale d'activités polluantes,
- les déchets ménagers sont exprimés en tonne par site, en kg par personne et kg par surface,
- enfin l'indicateur de pollution de l'air est calculé par la somme des émissions des composés SO<sub>2</sub>, et ozone photochimique, en kilogrammes, dues aux combustions (ici gaz) ainsi qu'à la part thermique de l'électricité, et aux traitements des déchets. Les ratios sont en kg/site, kg/m<sup>2</sup> et mg/pers.

#### **Ecole Bellegrave :**

Environnement	Valeur	Unités	Pot A	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Emission équivalent CO <sub>2</sub>	50 939	kg eqCO <sub>2</sub>	12 474	31,1	D	299,6	E	B
Déchets radioactifs	1,8	dm <sup>3</sup>	1,1	1,1E-03	A	10,483	C	
Pollution des eaux	14,1	indice	30%	8,6	C	83,2	E	
Déchets ménagers	12,4	tonnes	3,1	7,6	C	0,7	D	
Pollution de l'air	112,9	kg	67,89	0,069	B	664,04	D	

### Ecole Jules Ferry :

Environnement	Valeur	Unités	Pot A	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Emission équivalent CO <sub>2</sub>	40 377	kg eqCO <sub>2</sub>	17 709	<b>60,1</b>	G	260	D	<b>F</b>
Déchets radioactifs	1	dm <sup>3</sup>	0,4	<b>1,6E-03</b>	D	6,910	B	
Pollution des eaux	10	indice	60%	<b>14,1</b>	F	61,3	B	
Déchets ménagers	11	tonnes	2,8	<b>16,8</b>	G	0,7	D	
Pollution de l'air	88	kg	42,68	<b>0,130</b>	G	566	C	

#### Calcul des potentiels d'amélioration :

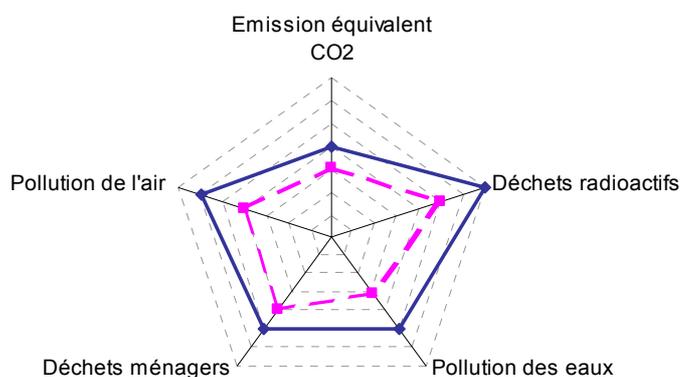
L'émission d'équivalent CO<sub>2</sub> évitable est calculée par comparaison à la performance 'A' au m<sup>2</sup>. Le potentiel d'amélioration est exprimé en tonnes.

Le même principe est appliqué pour les déchets radioactifs, dont le potentiel d'amélioration est exprimé en dm<sup>3</sup>, les déchets ménagers, exprimés en tonnes, la pollution de l'air, exprimée en kilogrammes.

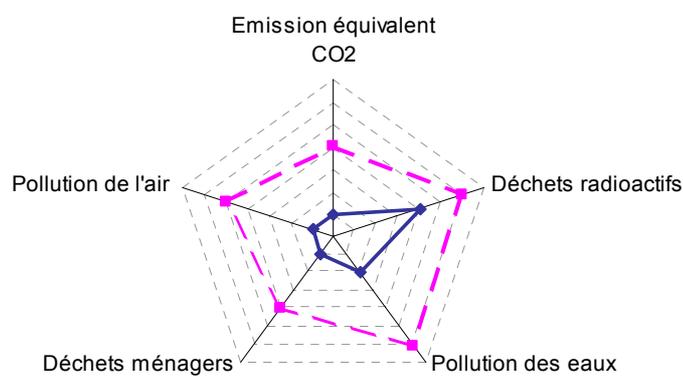
La contribution à la pollution des eaux est exprimée en pourcentage de l'indice de pollution, basé sur la taxe générale d'activités polluantes.

#### Graphiques polaires de synthèse :

##### Ecole Bellegrave :



##### Ecole Jules Ferry :



— Ratio par m<sup>2</sup>  
 - - - Ratio par pers

L'effet de surface de l'école Bellegrave est bien perceptible sur cette représentation, où l'école Jules Ferry paraît plus performante au ratio par personne, étant plus densément peuplée. Nous rappelons ici que pour l'instant l'école Bellegrave est utilisée au 6/7<sup>ème</sup> de sa capacité puisqu'une classe est encore inoccupée. Nous rappelons ici la différence de densité de population sur les deux bâtiments : école Bellegrave et école Jules Ferry : 9,6 et 4,3 m<sup>2</sup>/pers, ou encore respectivement 1 et 2,3 personnes pour 10 m<sup>2</sup>.

On peut donc expliquer une consommation d'eau plus importante au m<sup>2</sup>, pour l'école Jules Ferry, mais la surconsommation de chauffage est plus liée aux systèmes et à l'enveloppe du bâtiment ; la vétusté du bâtiment anciennement construit se traduit bien dans ses impacts environnementaux.

L'électricité, apparaissant via les déchets radioactifs notamment, semble également 'gaspillée' sur le site de l'école Jules Ferry. Ceci peut être du au parc éclairage, aux équipements (assez peu nombreux cependant), et à l'eau chaude sanitaire.

*A partir d'ici apparaissent aussi les indicateurs issus des résultats des enquêtes précédemment exposées (voir 3-2). Les graphiques polaires de synthèse présentent à la fois les résultats des mesures, et ceux des enquêtes. Il n'y a donc plus de ratio.*

### 3-3-4 Thème « Confort santé »

#### Expressions des indicateurs du tableau:

- le confort acoustique et le confort visuel sont des indices
- le confort thermique est basé sur le pourcentage de points situés dans la zone de confort
- l'indicateur qualité de l'air est basé sur le pourcentage de points sous le seuil de 1000 ppm.

#### **Ecole Bellegrave :**

Confort Santé	Valeur	Unités	Pot A	Unités	Note mesures	Enquête	Note enquête	Note globale
Confort acoustique	6	indice	13	dB A	C	87,5	B	B
Confort visuel	7	indice	0%	éclairage artificiel	A	92,5	B	
Confort thermique hiver	85	%	10	%	C	75	C	
Confort thermique été	89	%	6	%	C	75	C	
Qualité de l'air intérieur	91	%	9	%	B	85	B	

#### **Ecole Jules Ferry :**

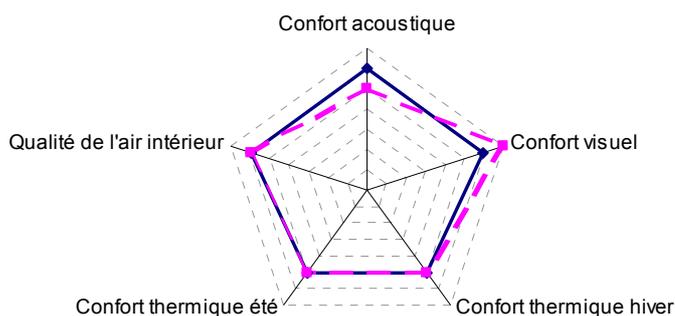
Confort Santé	Valeur	Unités	Pot A	Unités	Note mesures	Enquête	Note enquête	Note globale
Confort acoustique	7	indice	8	dB A	B	72	C	D
Confort visuel	3	indice	100%	éclairage artificiel	E	65	D	
Confort thermique hiver	60	%	35	%	F	72	G	
Confort thermique été	86	%	9	%	C	65	D	
Qualité de l'air intérieur	62	%	38	%	D	32,5	G	

#### Calcul des potentiels d'amélioration :

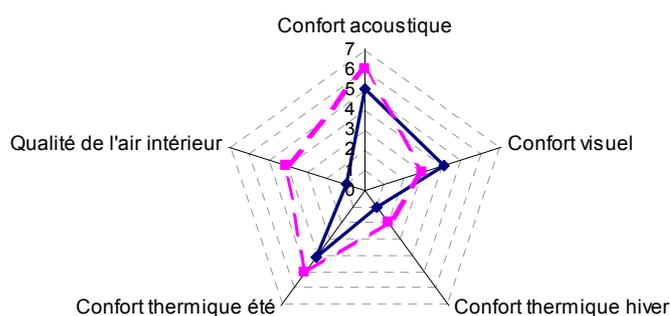
- Le potentiel d'amélioration du confort acoustique est basé uniquement sur le bruit de fond. Nous supposons en effet que modifier le temps de réverbération implique une rénovation conséquente de la pièce, qui peut se justifier si le confort est mauvais. Cet indicateur est donc exprimé en dB (A). Sa mise en œuvre peut se traduire par une attention menée sur les sources de bruit de fond : activités parallèles aux classes (donc planning des classes), appareils, ouverture des fenêtres pendant les horaires de circulation importante par exemple.
- Le potentiel d'amélioration du confort visuel est basé sur le pourcentage de locaux à éclairage artificiel conforme aux recommandations de l'AFE. De la même façon que pour le temps de réverbération, il nous apparaît que modifier le facteur de lumière du jour signifie une rénovation importante des locaux, de la menuiserie à minima.
- Le potentiel d'amélioration du confort thermique est calculé par comparaison à la performance 'A', ce qui peut être assez exigeant.
- Le potentiel d'amélioration de la qualité de l'air intérieur est calculé de la même façon.

#### Graphiques polaires de synthèse :

##### **Ecole Bellegrave :**



##### **Ecole Jules Ferry :**



— Enquête  
- - Mesures

Les différences de confort entre les deux écoles apparaissent clairement.

Nous observons ici un bon accord entre les mesures et les résultats d'enquêtes sur le bâtiment Bellegrave, et d'apparentes incohérences sur les bâtiments Jules Ferry, en particulier pour la qualité de l'air intérieur.

L'école Bellegrave est de façon naturelle plus performante (très performante) pour le confort visuel, avec une large optimisation de la lumière naturelle et des éclairages artificiels performants. Le confort acoustique est également très bon, sur les deux écoles, ce qui est corroboré par nos mesures acoustiques.

Les différences éventuelles entre l'enquête et les mesures peuvent s'expliquer par les raisons suivantes.

Le confort acoustique a été caractérisé par des mesures « à vide », ce qui montre que l'influence de l'occupation est très importante et peut facilement dégrader les bonnes caractéristiques acoustiques d'un local. On sait en effet que la densité d'occupation sur l'école ancienne est plus importante que sur l'école neuve : respectivement 1 et 2,3 personnes sur 10 m<sup>2</sup>, ou 2,15 et 1,28 m<sup>2</sup> par élève dans les classes.

La qualité de l'air intérieur est difficilement perceptible par l'utilisateur, sauf s'il y a des odeurs, ce qui est le cas plus particulièrement sur l'école Jules Ferry. Les concentrations de CO<sub>2</sub> sur l'école Bellegrave sont plus basses que sur l'école Jules Ferry, cependant nos mesures sur les débits de ventilation en occupation et en hiver montrent un renouvellement de l'air faible (10 à 80 m<sup>3</sup>/h selon les pièces, par insuffisance du système de ventilation). On peut donc se poser la question de la pertinence de l'application du taux de 15 m<sup>3</sup>/h/pers recommandé par le règlement sanitaire départemental (RSDT 1978) pour les écoles équipées d'un système de ventilation spécifique. Si ce taux était appliqué, la QAI serait certes encore meilleure, mais la répercussion sur les consommations énergétiques serait certainement importante, or nos mesures montrent qu'elles seraient inutiles. Par conséquent le suivi du paramètre CO<sub>2</sub>, que l'on pourrait incorporer au capteur TEHOR, permet de trouver le bon compromis entre le taux de ventilation utile pour un renouvellement de l'air sain et des déperditions minimales par ventilation.

La satisfaction sur le confort hygrothermique d'hiver peut être faussée le jour de l'enquête par une ambiance plus chaude ou froide que d'habitude, ce qui amène la personne interrogée à être moins objective par rapport à la situation moyenne du bâtiment.

### 3-3-5 Thème « Usages du bâtiment et des systèmes techniques »

#### Expressions des indicateurs du tableau:

- l'utilisation des éclairages est exprimé en pourcentage du temps d'éclairage inutile (mesuré) et en pourcentages de personnes estimant gérer correctement l'éclairage (enquête)
- l'indicateur utilisation de l'eau est exprimé en pourcentage d'écart à la consommation minimale (mesuré) et en pourcentage de personnes estimant faire des efforts d'économies d'eau (enquête)
- le tri des déchets est basé sur le tri communal et l'effort de tri des usagers (enquête)
- les indicateurs de connaissance du bâtiment et de préoccupation environnementale sont les résultats de l'enquête, en pourcentages.

#### Ecole Bellegrave :

Usages	4,0	Valeur	Unités	Pot A	Unités	Note mesures	Enquête	Note enquête	Note globale
Utilisation des éclairages		70	%	65	%	F	95	B	D
Utilisation de l'eau		46	%	11	l/(pers.j)	D	90	B	
Tri des déchets		75	%	25	%	C	90	D	
Connaissance du bâtiment		nd	%	68	%	nd	33	D	
Préoccupation environnementale		nd	%	10	%	nd	85	B	

## Ecole Jules Ferry :

Usages	Valeur	Unités	Pot A	Unités	Note mesures	Enquête	Note enquête	Note globale
Utilisation des éclairages	70	%	65	%	F	95	B	F
Utilisation de l'eau	40	%	10	l(pers.j)	C	90	B	
Tri des déchets	75	%	25	%	D	90	D	
Connaissance du bâtiment	nd	%	80	%	nd	20	E	
Préoccupation environnementale	nd	%	18	%	nd	78	B	

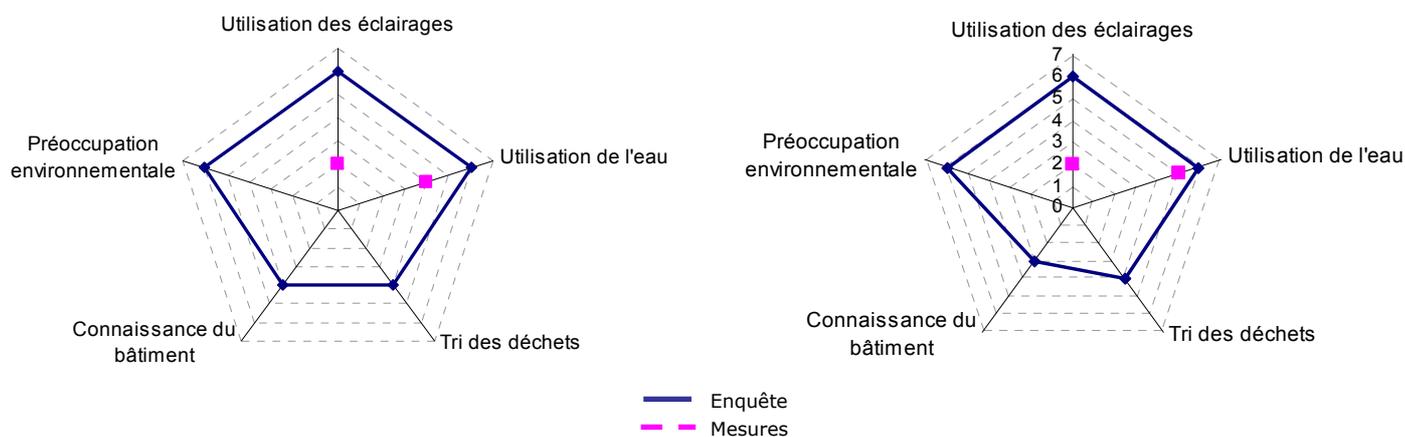
### Calcul des potentiels d'amélioration :

- le potentiel d'amélioration sur l'utilisation des éclairages est calculé par comparaison à la borne 'A' du référentiel correspondant. Sur l'école Jules Ferry une économie de 65 % du temps éclairé est donc réalisable par une attention consacrée à l'utilisation des commandes et à l'utilisation optimale de l'éclairage naturel.
- le potentiel d'amélioration sur l'utilisation de l'eau est calculé par écart à la performance raisonnablement réalisable sur le bâtiment.
- le potentiel d'amélioration du tri des déchets n'est pas calculé, la réponse est oui ou non pour l'instant, quand une comptabilité des déchets sera en place, une estimation des améliorations pourra être effectuée.
- le potentiel d'amélioration sur la connaissance du bâtiment est calculé par comparaison à la borne 'A' du référentiel correspondant. Ici, pour les deux écoles, environ 70 % des gens ne connaissent pas le bâtiment, ce qui indique l'utilité d'une campagne d'information et de formation.
- enfin, l'indicateur de préoccupation environnementale, ou conscience environnementale, montre, toujours d'après les résultats d'enquête, qu'une grande majorité d'utilisateurs est sensible aux problèmes environnementaux, ce qui permet d'être optimiste sur les effets d'une campagne d'information sur la bonne utilisation des systèmes du bâtiment.

### Graphiques polaires de synthèse :

#### Ecole Bellegrave :

#### Ecole Jules Ferry :



La première observation est que les deux écoles ont des indicateurs d'usages similaires.

Ceci montrerait, classiquement, que les usagers sont soucieux de l'environnement, connaissent mal les systèmes, pensent utiliser au mieux les éclairages et l'eau. Les mesures montrent cependant que l'utilisation des éclairages est mauvaise et que la consommation d'eau est trop importante, en particulier sur l'école neuve. Nos observations sur place ont expliqué cette mauvaise performance : les débits des robinets des fontaines et la durée des poussoirs sont tous deux inutilement élevés. Un réducteur de pression en tête de réseau pourrait palier partiellement au fort débit.

Remarquons que l'indicateur de tri des déchets est uniquement basé sur le tri effectué par la communauté urbaine de Bordeaux. Une démarche auprès des usagers des deux écoles est en cours.

Enfin, les usagers des deux écoles connaissent très mal les systèmes, et une campagne d'information et de sensibilisation serait incontournable pour une amélioration des usages.

### 3-3-6 Thème « Gestion »

#### Expressions des indicateurs du tableau:

- La régulation du chauffage est exprimée en °C d'écart moyen à la température ambiante de consigne recommandée (ici 20°C, consigne du questionnaire). Le signe '- ' précise éventuellement si l'écart de température à la moyenne est négatif.
- La gestion de la ventilation est exprimée, pour les locaux les plus occupés (classes), en pourcentage de couverture réglementaire de la ventilation. Cet indicateur ne présume pas de la qualité de l'air.
- La mise en place de systèmes d'éclairage non énergivores est exprimé en pourcentage de nombre de locaux correctement équipés.
- L'indicateur de sensibilisation et d'information des usagers est issu des résultats d'enquête, et correspond au pourcentage d'occupants estimant être informés sur la façon d'utiliser les systèmes du bâtiment.

#### Ecole Bellegrave :

Gestion	Valeur	Unités	Pot A	Unités	Note	Note globale
Régulation du chauffage	3,20	°C	2,7	°C	F	E
Gestion de la ventilation	22	%	73	%	F	
Systèmes d'éclairage	78	%	22	%	C	
Information à l'utilisateur	18	%	78	%	F	

#### Ecole Jules Ferry :

Gestion	Valeur	Unités	Pot A	Unités	Note	Note globale
Régulation du chauffage	2,54	°C	2,0	°C	E	F
Gestion de la ventilation	0	%	95	%	G	
Systèmes d'éclairage	0	%	100	%	G	
Information à l'utilisateur	15	%	80	%	F	

#### Calcul des potentiels d'amélioration :

Le même procédé est appliqué à tous les indicateurs du thème gestion pour calculer le potentiel d'amélioration. Chaque résultat est comparé avec la borne 'A' des référentiels correspondants.

Ainsi, pour l'école Bellegrave un défaut important de réglage du chauffage entraîne un écart de plus de 2 degrés à gagner en moyenne avec la température de consigne (sur la saison de chauffe novembre et décembre 2005), et l'école Jules Ferry est également surchauffée avec 2 degrés moyens d'écart.

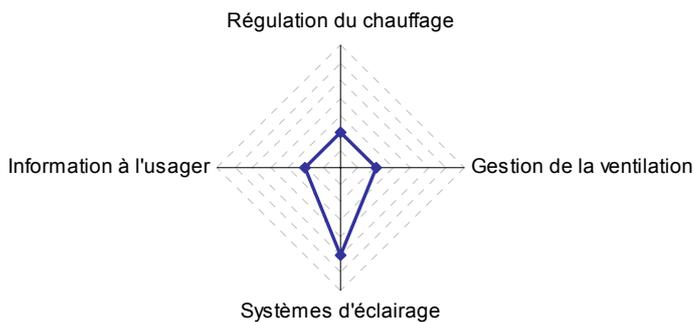
Le système de ventilation est encore mal réglé sur l'école Bellegrave, et il est inexistant sur l'école Jules Ferry, où l'amélioration consisterait donc à le mettre en place.

Les systèmes d'éclairage sur l'école Bellegrave sont peu énergivores, mais les minuteries des éclairages à capteurs de présence sont encore trop longues, entraînant des durées d'éclairage inutiles de 60 à 200 heures par mois sur les circulations.

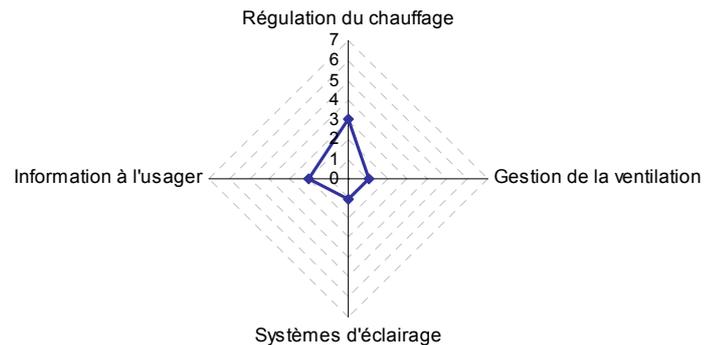
Enfin, 80% des usagers estiment ne pas avoir accès à l'information sur les systèmes du bâtiment, ce qui renforce la nécessité d'une campagne d'information.

## Graphiques polaires de synthèse :

### Ecole Bellegrave :



### Ecole Jules Ferry :



La synthèse du thème « gestion » montre une déficience de réglage des systèmes pour les deux écoles.

Le système de chauffage est réglé sur une température de consigne trop haute et/ou des relances mal adaptées à l'occupation.

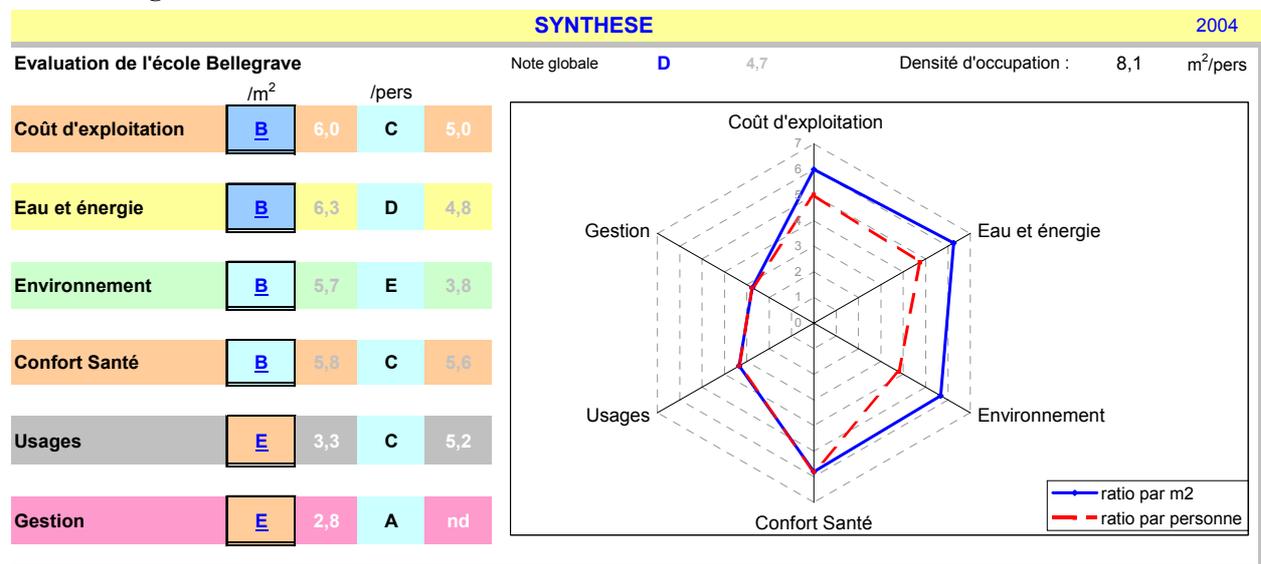
Le système de ventilation de l'école neuve est mal réglé ou en panne ; malgré ceci nous gardons en mémoire la bonne performance de la qualité de l'air, ce qui montrerait que le respect de la consigne 15 m<sup>3</sup> par personne et par heure est peut-être sur évalué, avec ses conséquences en pertes thermiques.

Enfin, l'information aux occupants est inexistante sur les deux bâtiments.

## 3-3-7 Synthèse : signature environnementale

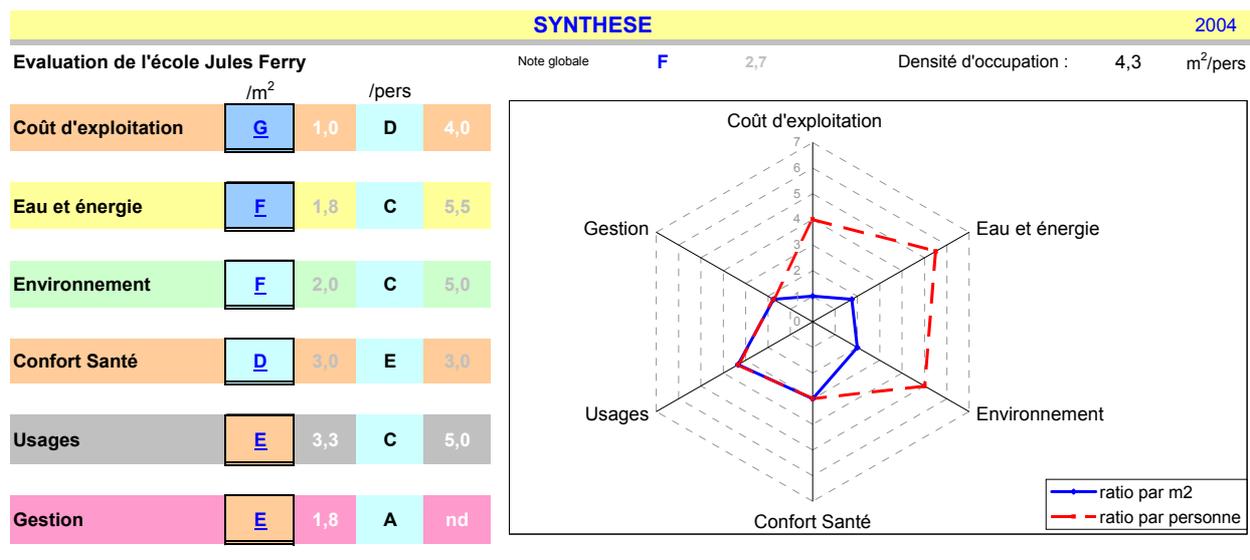
Les signatures environnementales sont obtenues telles que décrit en deuxième partie (2-3-7).

### Ecole Bellegrave :



La signature du bâtiment Bellegrave correspond à celle d'un bâtiment performant, mais pas encore géré optimalement. En effet, nous constatons des performances relativement satisfaisantes sur tous les thèmes d'évaluation, sauf pour les thèmes gestion et usages, ce qui laisse supposer que l'amélioration de ces derniers permettrait d'atteindre pour ce bâtiment les meilleures performances du parc observé. Nous observons encore l'influence de la surface sur les ratios au m<sup>2</sup>.

## Ecole Jules Ferry :



La signature du bâtiment Jules Ferry correspond à celle d'un bâtiment peu performant, où usages et gestion (sur les critères développés dans cette méthode : chauffage, ventilation, éclairages, systèmes d'information aux occupants) sont déficients. Les ratios par personne sont cependant satisfaisants, et proches de ceux du bâtiment Bellegrave pour les consommations d'eau et d'énergie, ce qui laisse supposer un comportement relativement identique des usagers pour les consommations d'eau, et l'émission de déchets par exemple.

Il se dégage de la **comparaison de ces deux signatures** des résultats que l'on pouvait anticiper, mais aussi des informations moins attendues.

Le bâtiment Bellegrave est bien plus performant que le bâtiment Jules Ferry, cependant il n'est pas le plus performant du parc des écoles de la ville de Pessac. Il pourrait encore améliorer ses performances par de meilleurs réglages sur le système de **chauffage**, les **débâts d'eau** des fontaines, les **minuteries des éclairages**, la mise en place du **tri des déchets** et le contrôle de la **qualité des achats**, ainsi que par une **sensibilisation suivie et évolutive des occupants**.

Le système de **ventilation** est déficient sur le bâtiment Bellegrave ; cependant cela ne semble pas dégrader la qualité et le renouvellement de l'air. On peut en tirer plusieurs conclusions. Le taux de 15 m<sup>3</sup>/(pers.h) (proposé par la circulaire du 9 mai 1985) n'est pas toujours judicieux, et peut entraîner des pertes énergétiques thermiques significatives inutiles (28 % selon le calcul du bureau d'étude de la maîtrise d'œuvre sur ce bâtiment). Ensuite les usages dans les locaux influent grandement sur le besoin de renouvellement d'air. Si les institutrices ont un planning qui fait souvent changer les enfants de lieu, cela contribue à un renouvellement de l'air dans les locaux en gardant une ventilation moins importante.

Nous en concluons qu'une bonne façon de réguler la ventilation pour trouver l'optimum entre la qualité de l'air intérieur et des pertes thermiques les plus faibles possible est de mettre en place un système de régulation de la ventilation basé sur des capteurs de CO<sub>2</sub>.

Le bâtiment Jules Ferry dispose de moins de locaux et d'une absence de VMC (ventilation mécanique contrôlée), ce qui impacte directement la qualité de l'air intérieur. L'absence de détecteurs de présence n'influe a priori pas beaucoup sur le temps d'éclairage inutile ; dans les circulations, ces temps vont de 60 à 120 heures par mois. Nous avançons ici l'hypothèse suivante : il est plus aisé et plus naturel de contrôler manuellement les éclairages sur de petites surfaces, alors que sur de grandes où plus de monde circule le réflexe est plutôt de laisser l'éclairage fonctionner. D'où l'intérêt de mettre en place des capteurs de présence avec des minuteries adaptées. L'optimum serait un régulateur autorisant l'éclairage à se mettre en marche uniquement si l'éclairage naturel n'est pas suffisant, avec une minuterie adaptée à la tolérance de fréquence 'éteint/allumé' du système d'éclairage.

Le **comportement des usagers sur ces bâtiments est semblable**, ce qui est compréhensible. Cette reproductibilité des comportements dans les établissements d'enseignement (ici maternelles) nous autorise à penser que les actions d'amélioration de management d'usage et de gestion sont autant à même de fonctionner sur ces deux bâtiments que sur les autres.

Cependant, et comme le montre l'enquête (voir annexe), les **différences de conception** des lieux amènent des possibilités **d'usages et d'activités pédagogiques variées** ; les institutrices de l'école Bellegrave ont, sans contexte, manifesté la souplesse d'utilisation des différents locaux, et considèrent ces espaces (ateliers, cours privatives) comme des outils pédagogiques appréciables. Les enfants aussi ont fait la différence avec leur ancienne école (voir en annexe la synthèse de l'enquête chez les enfants).

Nous revenons ici à notre réflexion sur le **critère de surface** à accorder par personne lors de la conception d'une école. L'école Bellegrave semble satisfaire pleinement les occupants ; elle est conçue pour 7 classes de 26 élèves et deux adultes, ainsi que 3 personnes pour l'entretien, ce qui amène à un peu plus de 8 m<sup>2</sup> par personne (calculs hors restauration, tous les enfants ne sont pas en demi pension). L'école Jules Ferry, malgré sa petite surface, fonctionne tout à fait normalement, bien que le sureffectif se fasse sentir sur les enfants et l'équipe enseignante. La surface est de 4,3 m<sup>2</sup> par personne. Sans pouvoir trancher entre ces deux valeurs, nous pouvons cependant avancer que ce sont deux bornes à ne pas dépasser. Une, sous peine de rendre le fonctionnement des lieux difficile, l'autre parce que cela amènerait à aller à contrario de l'objectif de réduction des **impacts environnementaux** d'un bâtiment. Ceci est encore plus vrai pour un bâtiment où l'équipe maîtrise d'ouvrage / maîtrise d'œuvre et gestionnaire s'est donnée comme objectif une réduction des impacts environnementaux.

### **3-3-8 Apports du capteur TEHOR dans l'évaluation d'un bâtiment en exploitation**

Cette partie du travail est spécifique à l'apport du système ECOSYS/Capteur TEHOR, et traite aussi du confort et de la qualité de l'air.

#### **3-3-8-1 Validations à l'échelle d'un bâtiment tertiaire du capteur TEHOR**

Le macrocapteur TEHOR est présenté en annexe 5 b.

#### **Validations antécédentes du capteur TEHOR**

Le capteur doit permettre d'évaluer le confort hygrothermique, les économies réalisables sur le poste éclairage, et la gestion du chauffage.

La validation du capteur et de son système d'acquisition a été réalisée à l'échelle du local et de plusieurs locaux [Devel, 2003 ; Cornée, 2004]. Globalement pour le comportement du macrocapteur, il ressort de ces études les éléments de validation et d'incertitude suivants :

- Pour un emplacement correctement choisi (dégagé pour ne pas obstruer la détection de présence, loin de toute source de chaleur, de froid ou d'humidité, hors ensoleillement), la mesure de température du TEHOR est proche de celle d'une boule noire, assimilable à la température de l'air sec, et proche de la température opérative de la pièce.
- Pour la mesure de l'humidité, la comparaison à la mesure de référence donne des résultats très proches, mais les variations rapides de l'humidité sont difficilement suivies par le capteur.
- L'occupation est le paramètre le plus déterminé par l'emplacement du capteur, aussi a-t-il fait l'objet d'une attention particulière. Il faut vérifier que le rayon de détection du capteur ne soit pas gêné par un obstacle (meuble, ouverture de porte, poste informatique, ...). La mesure de l'occupation est fiable et sensible (il suffit d'une personne), mais elle n'est pas proportionnelle, il est donc impossible de déterminer le nombre de personnes. La réponse est donc assimilable à oui/non.

- La mesure de l'éclairage naturel est sensible mais dépend du positionnement du capteur. Pour qualifier le niveau d'ensoleillement d'une pièce, des mesures préalables sur site sont nécessaires, que l'on peut ensuite corrélérer à la mesure du capteur.
- La mesure de l'éclairage artificiel est également dépendante de la position du capteur dans le local. Elle est sensible et permet de différencier un éclairage artificiel dans le local d'un éclairage artificiel voisin.
- Le comportement du macrocapteur en cas d'humidité importante et constante n'a pas été validé. Ce n'est cependant pas une condition ambiante courante dans un bâtiment tertiaire.

### Validation à l'échelle d'un bâtiment et de deux années

L'installation de 10 et 15 capteurs TEHOR avec les stations d'acquisition sur deux bâtiments a permis d'amener quelques enseignements sur sa réelle mise en œuvre. Nous nous proposons ici de vérifier :

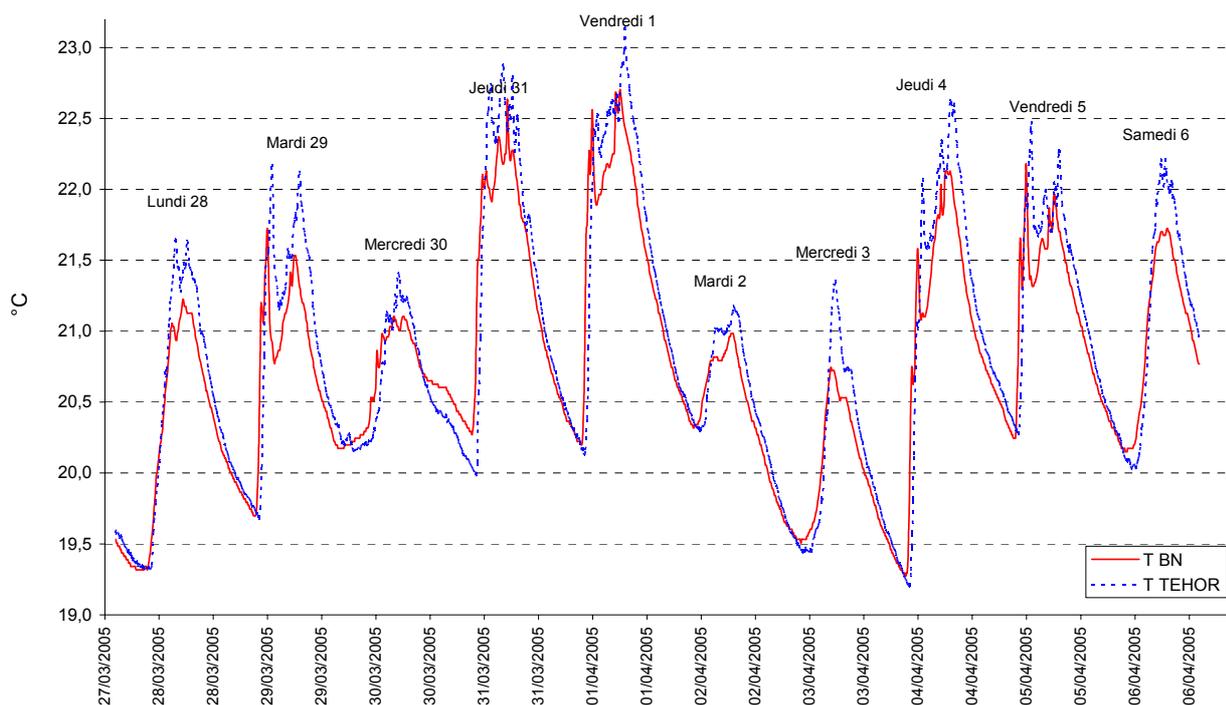
- la stabilité des mesures, pour chacun des 5 paramètres : absence de dérive, maintien de la précision,
- le taux d'acquisition de chaque capteur sur une période de suivi de 1 an,
- la longévité supposée de la batterie,
- l'exploitabilité des mesures données après requêtes Access,
- le coût de mise en œuvre.

#### Stabilité des mesures :

Les capteurs ont été vérifiés et étalonnés avant leur mise en service, en septembre 2004. Une vérification d'absence de dérive a été effectuée après leur mise en service à l'aide d'un thermomètre à boule noire, 7 mois après.

La **figure 58** montre, sur une période de mesure de 10 jours, un écart type de 0,8 °C. Sachant que la boule noire a une dynamique inférieure au capteur TEHOR, nous pouvons avancer que l'écart type entre la mesure de la référence et le TEHOR est inférieur à 0,8 °C, ce qui est tout à fait acceptable pour le suivi du confort thermique et la caractérisation énergétique du bâtiment.

Figure 58 : Comparaison des mesures de température d'un capteur TEHOR et d'une boule noire



Nous n'avons pas effectué cette vérification sur tous les capteurs, car il n'est pas aisé de laisser une boule noire dans une salle de maternelle en activité. Cependant les capteurs ont tous fait l'objet d'un contrôle qualité avant leur mise en service et devraient donc montrer des performances similaires.

Une deuxième vérification du maintien de l'évolution des mesures consiste en la comparaison avec les mesures du capteur TELAIRE. Ce capteur a servi au suivi des concentrations de CO<sub>2</sub>, mais il est également étalonné et certifié par le fournisseur, pour la mesure de température et d'humidité relative, et constitue une bonne comparaison pour valider les mesures TEHOR.

La **figure 59** montre l'évolution des mesures de température pour les deux capteurs sur une période de 20 jours. La **figure 60** montre la même comparaison, mais pour le paramètre humidité relative. Les écarts types entre les courbes TEHOR et TELAIRE (1,3 °C pour la température et 5,2 % pour l'humidité relative sur un mois et demi de suivi), restent suffisamment faibles pour le suivi du confort thermique et des performances de gestion du chauffage.

Figure 59: Illustration de la mesure TEHOR et TELAIRE de la température, mai 2005

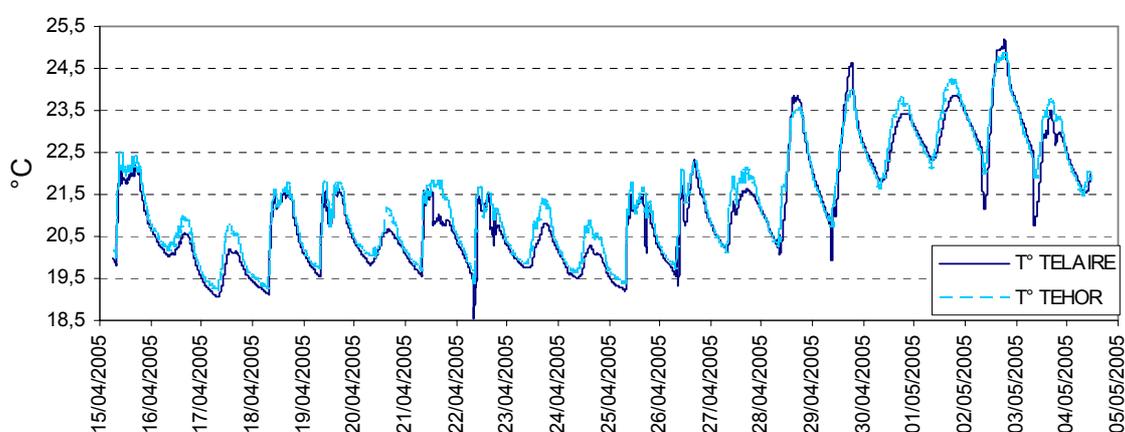
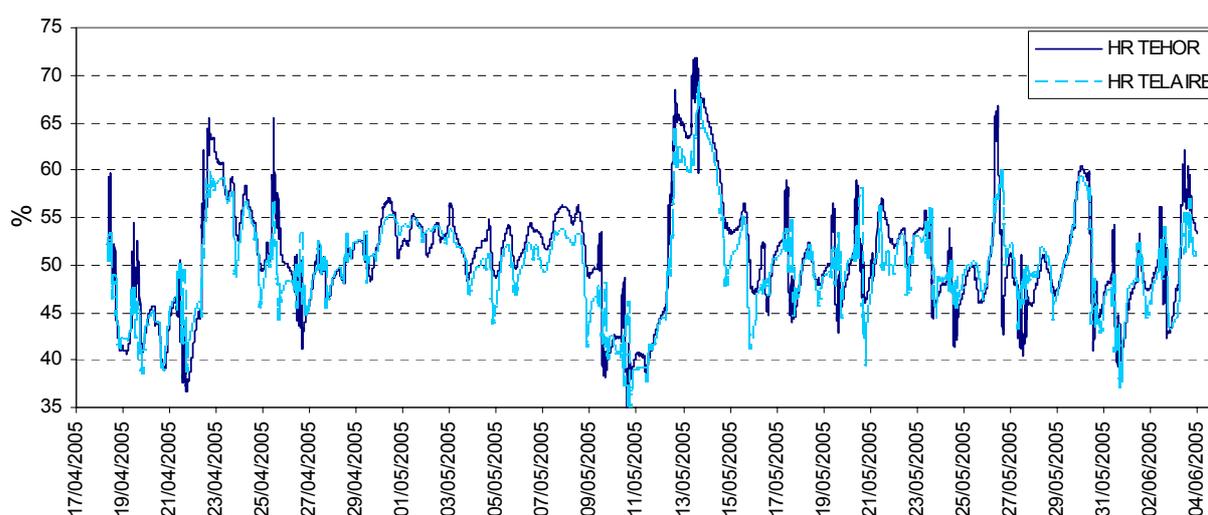


Figure 60 : Mesures TEHOR et TELAIRE de l'humidité relative, mai 2005



### Dérive des capteurs

Au bout de 2 ans de mesures, nous avons observé une dérive sur le seul paramètre de l'occupation, sur 13 % des capteurs. Cependant cette dérive ne concerne que la mesure de base (bruit de fond du signal), et n'influence pas la mesure de l'occupation en présence de personnes (c'est-à-dire l'amplitude maximale du signal).

### Taux d'acquisition sur une période de suivi de 1 an

La construction de la base de données permet de déterminer le taux de bonne ou mauvaise (ou absente) acquisition pour toutes les données. Nous présentons en **tableau 33** les résultats principaux des taux d'acquisition, sur l'année de campagne de mesure. L'annexe 12 donne les détails de ces chiffres.

Tableau 33 : Taux d'acquisition des données par capteur TEHOR, sur une année de mesures

Bellegrave	10	11	12	2	23	24	25	3	4	6	7	8	9
Total *	73%	73%	73%	72%	56%	70%	68%	68%	73%	71%	73%	67%	71%
En alimentation	95%	96%	95%	94%	72%	91%	89%	88%	94%	93%	95%	87%	93%

Jules Ferry	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Total *	79%	41%	87%	87%	89%	88%	85%	74%	77%	78%
En alimentation	94%	90%	96%	95%	96%	95%	94%	96%	96%	96%

\* en tenant compte des coupures de courant

Nous avons considéré 2 taux différents d'acquisition. Le premier, global, de 70 % pour Bellegrave et 79 % pour Jules Ferry, prenant aussi en compte les pertes de données dues aux coupures de courant des bâtiments ; le deuxième, caractérisant uniquement le capteur et le système d'acquisition et d'enregistrement des données, de 91 % pour Bellegrave et 95 % pour Jules Ferry, les pertes des données étant essentiellement dues aux arrêts de transmission dus aux batteries déchargées des capteurs ayant effectué la campagne préliminaire de mesures.

L'acquisition des données s'effectue à plus de 90 % hors coupures de courant ; le système serait très fiable s'il pouvait s'affranchir totalement des variations d'alimentation de l'unité centrale d'acquisition et d'enregistrement des données.

### Longévité supposée de la batterie

En incluant les périodes de test et de campagnes préliminaires, les capteurs TEHOR ont été utilisés sur deux années. Pendant cette durée, 30 % d'entre eux ont eu besoin d'un changement de batterie. Néanmoins ces capteurs sont ceux qui avaient servi durant 3 mois aux mesures les plus fines en pas de temps (initialement de 2 minutes), afin de décider du pas de temps d'échantillonnage de la campagne longue durée. Nous en concluons donc que, pour des mesures toutes les 10 minutes, la batterie du capteur TEHOR peut tenir sans dysfonctionnement sur une durée de plus de 2 ans, durée maximale que nous avons observée durant les campagnes de mesures menées.

Le choix du pas de temps d'échantillonnage et de transmission des mesures à la station d'acquisition est donc déterminant pour l'autonomie de la batterie.

### Exploitabilité des mesures données après requêtes Access

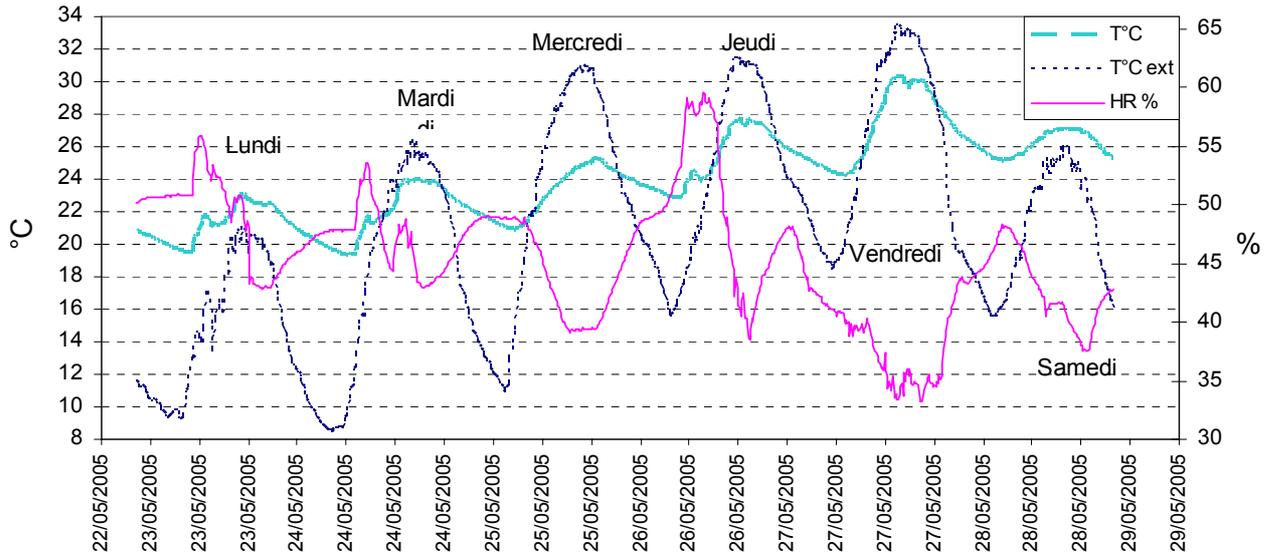
Les informations données par le système TEHOR ECOSYS doivent permettre de qualifier aisément :

- le confort thermique,
- le taux d'occupation,
- l'utilisation de l'éclairage et les économies potentielles sur ce poste,
- l'utilisation du chauffage.

La base de données a été construite et utilisée pour ces objectifs. Les résultats à l'échelle d'un bâtiment tertiaire ont été présentés précédemment de façon synthétique via les résultats de l'outil OPALE. Nous détaillons ici les étapes d'obtention de ces résultats.

Nous traçons dans la **figure 61** une semaine type d'enregistrement des paramètres température et humidité relative dans une salle de classe.

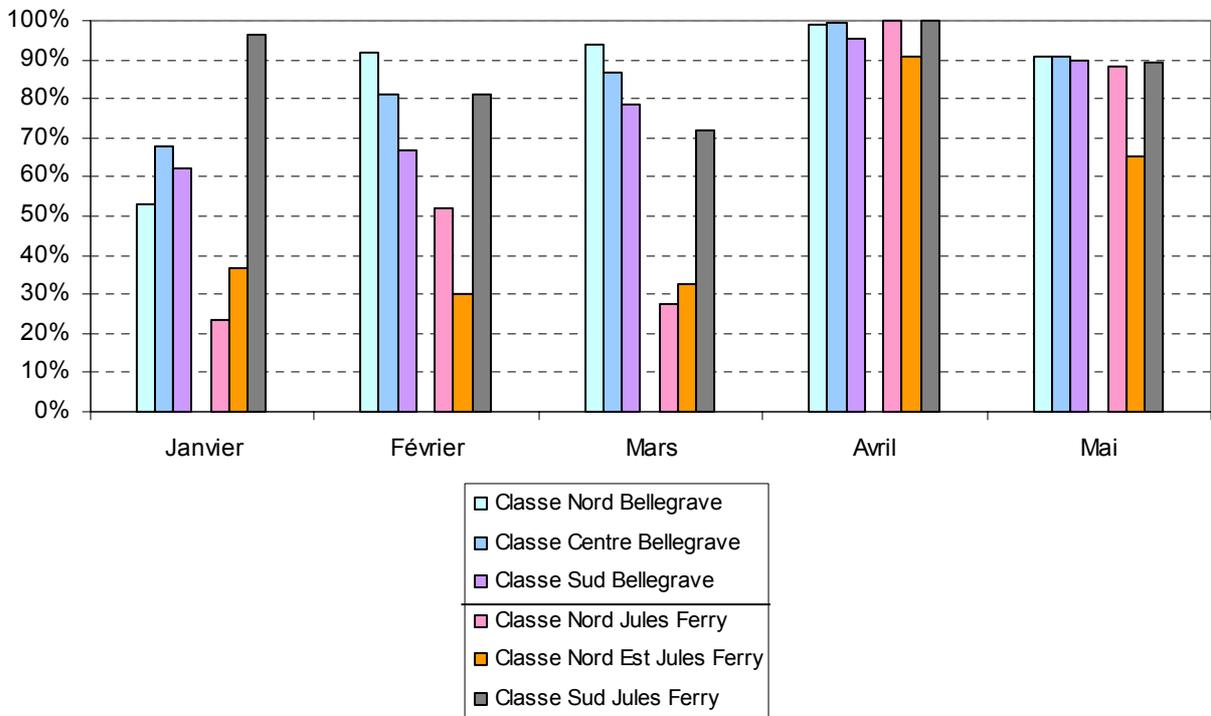
Figure 61 : Tracé d'une semaine type, température et humidité relative, mai 2005



Pour exemple, le pourcentage de points en présence et dans la zone de confort est de 96 %, soit un très bon confort thermique durant cette semaine.

Afin de connaître la mesure du confort thermique sur une durée plus conséquente, nous représentons en **figure 62** les pourcentages de confort thermique pour 5 mois d'occupation, de janvier à mai 2005, sur les deux écoles suivies.

Figure 62: Pourcentages de points situés dans la zone de confort pour plusieurs mois



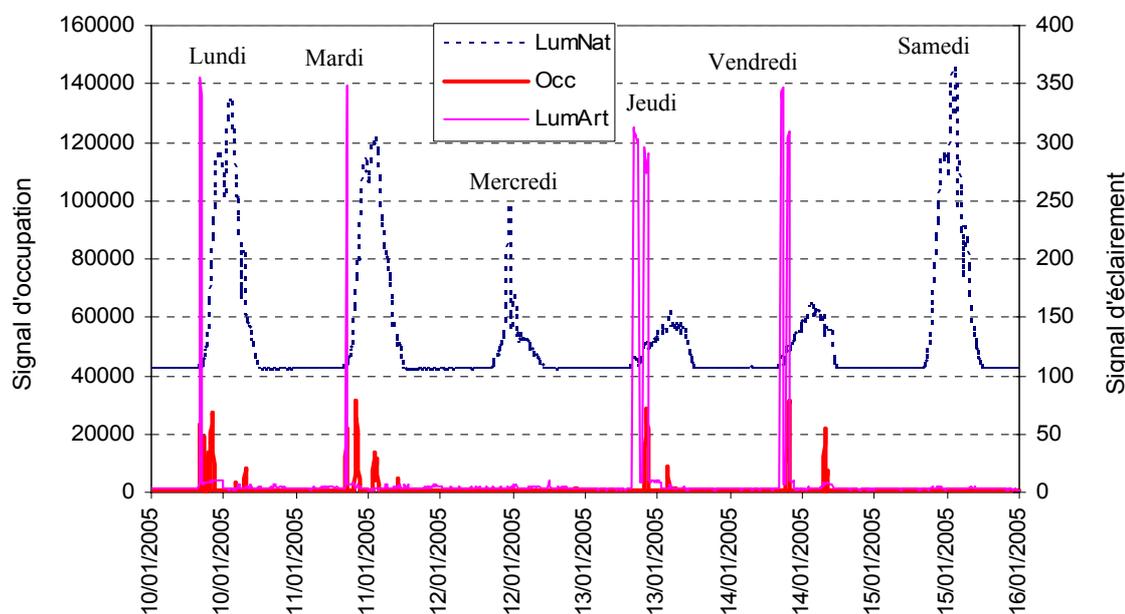
Les données TEHOR permettent de suivre de façon fine le confort hygrothermique, en imposant lors des requêtes de données les conditions sur la zone de confort et la présence.

### Qualification de l'utilisation des éclairages

L'utilisation efficiente des éclairages est établie en croisant les mesures de présence, d'éclairage naturel et d'éclairage artificiel.

La **figure 63** montre une semaine type sur les 3 paramètres éclairage (classe centre est, Bellegrave).

Figure 63 : Semaine type de mesure de l'éclairage naturel et artificiel



Sur cette semaine, le nombre d'heures d'utilisation inutile de l'éclairage est de 1h20. Le suivi autorisé par le capteur est là aussi fin, et une visualisation directe du nombre d'heures inutiles d'éclairage est également possible par traitement direct des données lors de leur extraction.

Les conditions sont à imposer sur le niveau de présence, et le niveau d'éclairage naturel au-delà duquel l'utilisation des éclairages artificiels est inutile. Afin de calculer le nombre d'heures d'éclairage artificiel évitable, nous avons fixé un seuil d'éclairage naturel au-delà duquel l'éclairage artificiel est superflu. Nous avons fixé ce seuil à 400 lux.

Ainsi, sur la base de durées mensuelles, la **figure 64** présente les résultats de durée d'éclairage inutile obtenus pour les zones de circulation (ou « communs »), sur 2005, et pour les deux écoles.

L'éclairage inutile varie sur une gamme de durées très large, de 15 à 180 heures par mois sur les zones de circulation. Cela illustre la nécessité de bien penser le mode d'éclairage de ces zones, et de bien régler les équipements en place (minuterries des capteurs, affichage de vigilance en cas d'absence de capteurs par exemple).

Pour toutes les zones suivies, les résultats sur 5 mois sont exposés dans le **tableau 34**.

Le traitement des données éclairage et présence permet d'identifier précisément les postes d'économie sur l'éclairage par zones.

- Pour l'école Bellegrave : la circulation entretien.
- Pour l'école Jules Ferry la variabilité des temps d'éclairage inutile est plus importante et dépend des usages plus que des zones.

Figure 64 : Nombre d'heures d'éclairage inutile par zone de circulation et par mois

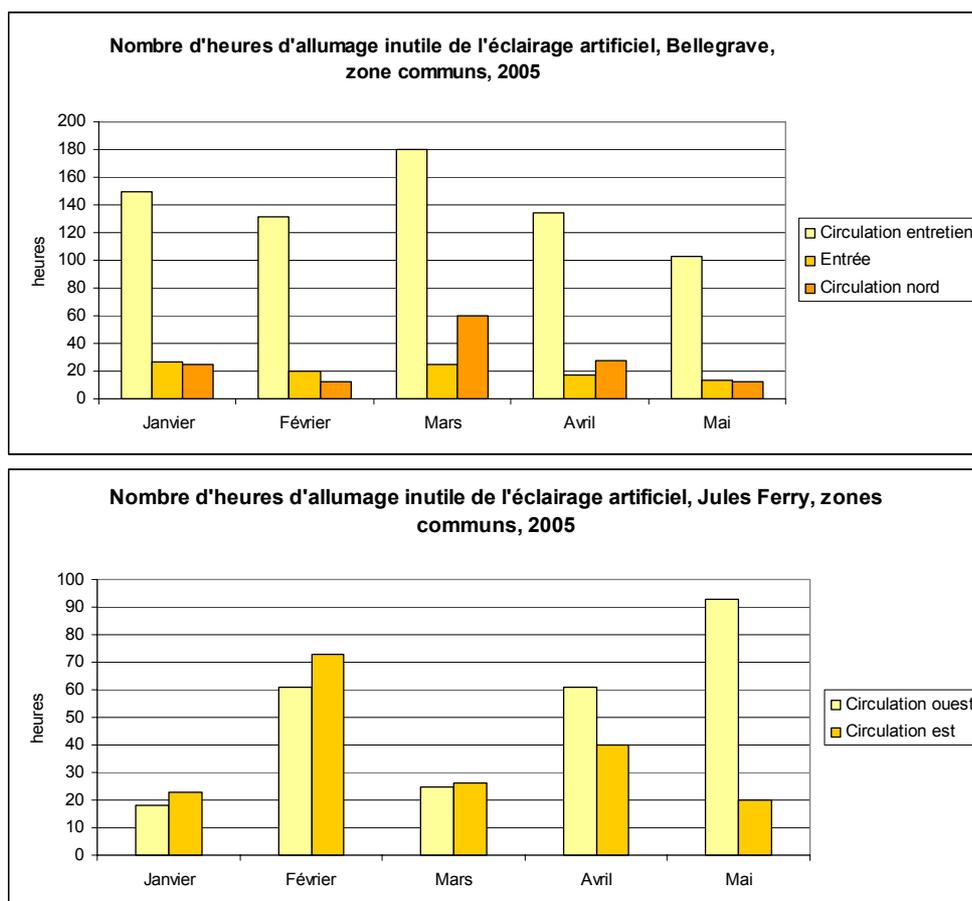


Tableau 34 : Durées d'éclairage inutile (h) en fonction des zones de chaque école, année 2005

<b>Bellegrave</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>
Classe petits	28	30	38	11	21
Classe moyens	75	59	46	19	12
Classe grands	46	46	57	15	50
Circulation entretien	149	nd	180	nd	103
Circulation communs	25	nd	24 à 60	nd	16
Salle réunion	112	63	84	56	66
Restauration	95 et 85	68 et 51	45 et 33	40 et 30	15 et 11
Evolution	130 et 123	22 et 24	11 et 30	77 et 24	50 et 7
Bibliothèque	nd	26	70	23	156
<b>Jules Ferry</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>
Classe petits	7	39	12	17	26
Classe moyens	8	44	15	22	30
Classe grands	5	3	4	7	6
Circulation entretien	23	60	25	25	93
Circulation commun	18	7	26	4	20
Restauration	8 et 8	9 et 15	42 et 68	19 et 51	7 et 40
Evolution	13 et 11	49 et 29	35 et 37	nd	51 et 32
Bibliothèque	17	133	54	nd	nd

nd : non déterminé

### Taux d'occupation

Les horaires administratifs d'utilisation du bâtiment sont 8h30-16h30, 7h30-18h30, en incluant l'accueil périscolaire des enfants. Les capteurs vont permettre de constater les écarts entre l'occupation administrative théorique et l'occupation réelle des locaux. Le calcul du temps occupé des locaux se fait sur le temps de présence d'ouverture du bâtiment : de 7h30 à 18h30.

Pour le taux d'occupation du bâtiment, le calcul est fait sur les 365 jours de l'année (182 jours ouvrés).

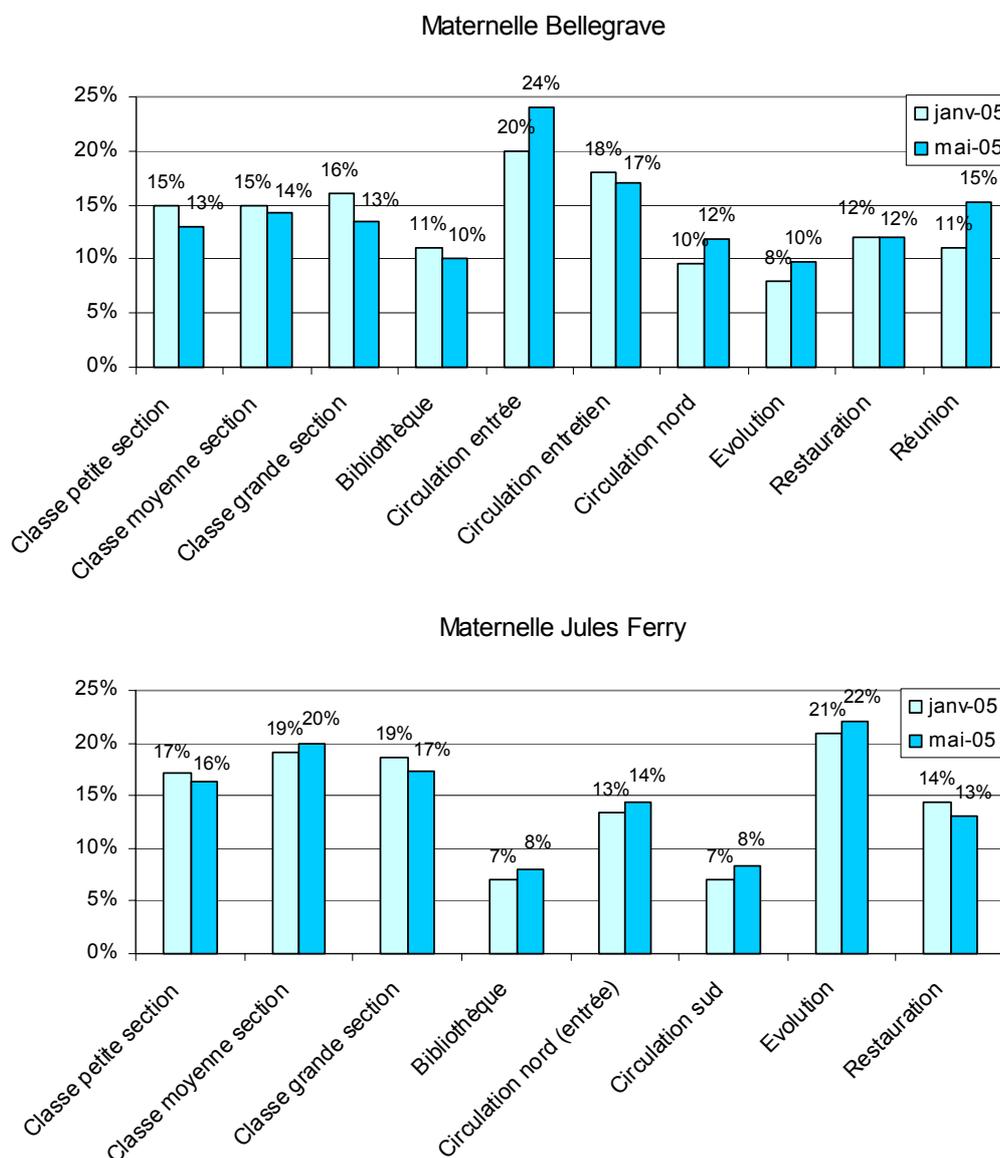
L'évolution de l'occupation en fonction des zones suivies du bâtiment est présentée par la **figure 65**.

L'occupation s'avère très variable, ce qui confirme l'avantage d'un éclairage naturel des communs (circulations), en fixant correctement la durée et le niveau d'éclairage naturel qui déclenche automatiquement les éclairages sur ces zones.

Le suivi de l'occupation permet de visualiser une diversité d'occupation plus marquée des différents locaux sur l'école ayant fait un effort de qualité environnementale. En termes uniquement énergétiques, cette variabilité de l'occupation a des conséquences :

- Sur les besoins d'éclairage
- Sur les besoins de ventilation
- Sur la qualité de l'air

Figure 65 : Taux d'occupation des différentes zones des écoles Bellegrave et Jules Ferry



La plus grande variété de locaux sur l'école Bellegrave entraîne de façon logique une utilisation diversifiée et une présence plus répartie des occupants dans le bâtiment. Ceci se manifeste par une plus grande utilisation des circulations, et des taux d'occupation plus faibles dans les différentes salles.

Nous présentons en annexe 13 les coûts de mise en œuvre du capteur TEHOR sur les deux bâtiments.

### **3-3-8-3 Conclusion sur la mise en œuvre du TEHOR à l'échelle d'un site tertiaire de taille moyenne**

Nous avons mis en œuvre le capteur TEHOR pour un suivi des paramètres d'ambiance intérieure et énergie du bâtiment, sur deux bâtiments d'enseignement, au pas de temps de 10 minutes et sur une durée de deux ans. Les **mesures sont stables dans le temps**, mais dépendent des **emplacements** choisis pour poser les capteurs. L'autonomie des capteurs est à surveiller et dépend du pas de temps d'échantillonnage.

La base de données engendrée au pas de temps de 10 minutes, est opérationnelle, mais reste lourde à exploiter. De plus les mesures se sont déroulées sur deux ans, mais une campagne de mesures sur un mois d'hiver, un mois de mi saison et un mois d'été sont suffisants pour évaluer le bâtiment et les usages.

Adopter un pas de temps de 15 minutes serait raisonnable pour le suivi du confort thermique ; le développement d'une consolidation des données et d'un prétraitement des informations permettrait d'en faciliter l'exploitation, en particulier pour :

- L'indicateur de durée d'éclairage inutile, où la sélection des niveaux de présence et d'éclairage naturel peut être automatisée.
- Les taux de présence, où les horaires d'occupation peuvent également être automatisés.
- Le confort thermique, où une saisie de la zone de confort simplifierait le mode d'obtention de l'indicateur.
- La gestion du chauffage, qui nécessite de fixer les températures de consigne et les plannings d'occupation.
- La gestion de la ventilation, qui demande aussi le planning d'occupation.

Bien que l'utilisation que nous avons pu réaliser lors de ce travail ait été relativement contraignante, en temps et en nombre de données, les résultats valident le potentiel d'utilisation de ce système, en particulier sur les paramètres :

- de confort,
- d'utilisation des éclairages,
- d'identification des zones d'économies d'énergie,
- de gestion du système de chauffage,
- de caractérisation de l'enveloppe du bâtiment avec les données météo et énergétiques thermiques.

Il peut également et parallèlement être utilisé pour sensibiliser les occupants à leurs pratiques, par la mise en place d'un tableau de bord d'affichage des indicateurs d'usage, comme nous l'abordons en quatrième partie.

### 3-4 Décomposition des usages par l'analyse des données ECOSYS

#### 3-4-1 Bilan et analyse des consommations pour le chauffage

L'énergie pour le chauffage est principalement conduite par les gestionnaires (réglages des départs et températures de consigne, réglages du systèmes de ventilation : débits et planning de marche), mais aussi partiellement dans ce type de bâtiment tertiaire par les usagers : ouverture des portes ou fenêtres, utilisation des convecteurs personnels, ouverture / fermeture des occultants solaires.

Nous analysons ici la gestion globale du chauffage en construisant la signature énergétique du bâtiment, en jours ouverts et en jours fermés. Cela permettra de quantifier :

- les apports gratuits,
- les consommations d'énergie,
- les déperditions dues à l'enveloppe et à la ventilation.

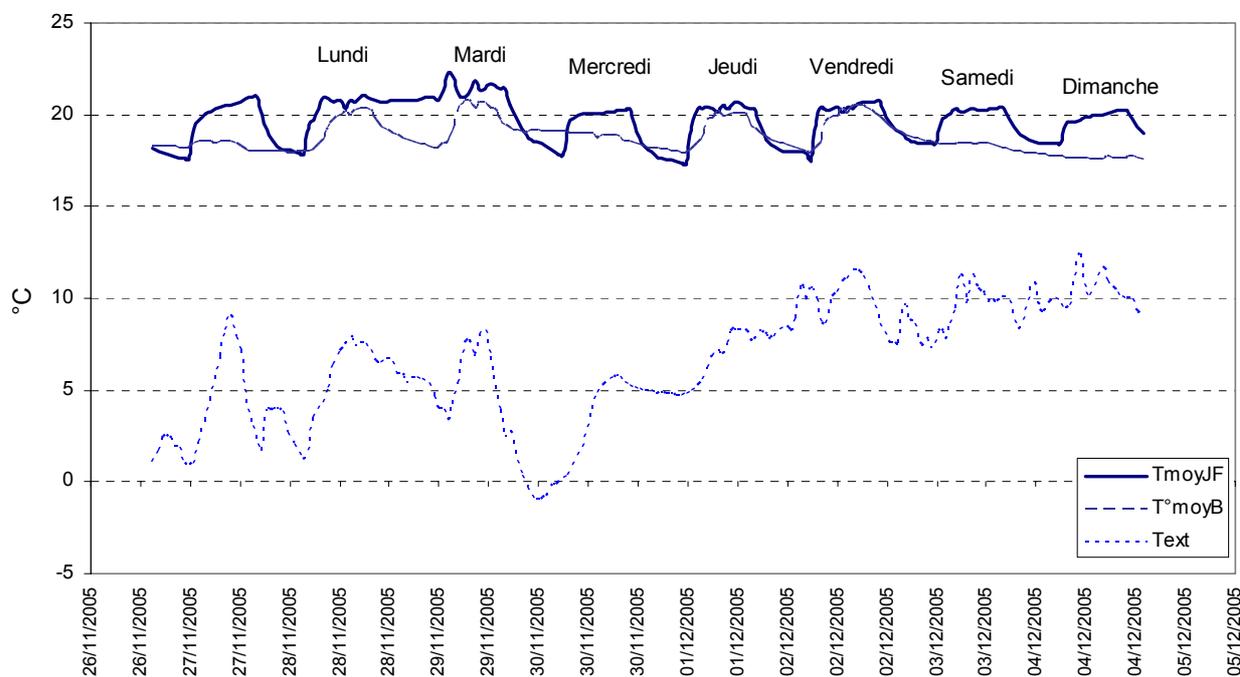
Pour ce, nous analysons les données suivantes :

- moyenne de la température intérieure,
- température extérieure,
- énergie consommée par le système de chauffage.

Le tracé de la moyenne de la température intérieure pour les deux bâtiments, et de la température extérieure, peut donner une première indication sur le comportement des deux bâtiments (**Figure 66**):

On constate un défaut de gestion des jours non ouverts (mercredi, samedi et dimanche) sur l'école Jules Ferry, où le chauffage est en marche le week-end et le mercredi.

Figure 66 : Evolution des températures intérieures et extérieures, du 5 au 11/12/05



Les données permettent le tracé de la signature énergétique du bâtiment, en différenciant les jours ouverts des jours non ouverts. Cela permet de mettre en évidence l'impact des usages du bâtiment sur les apports passifs.

Le détail des flux pris en compte pour la signature énergétique des deux bâtiments sont présentés en annexe 10. La période d'analyse est celle du 4 novembre 2005 au 18 janvier 2006 (soit 70 jours).

Le **Tableau 35** présente les résultats pour les deux maternelles. Les surfaces sont les surfaces nettes au sol. Une comparaison au volume global des pièces a également été estimée.

Nous constatons que, sur l'école Bellegrave, les déperditions sont un peu plus importantes que sur le bâtiment Jules Ferry. Ceci peut être dû en particulier à la présence d'une Ventilation Mécanique Centralisée sur Bellegrave. Les apports gratuits sont en revanche beaucoup plus conséquents sur l'école Bellegrave.

La comparaison entre les jours fermés et les jours avec occupation permet de mettre en évidence des effets différents de l'occupation sur les deux bâtiments.

Sur le bâtiment des années 60, les déperditions et les apports gratuits sont relativement plus importants en période d'occupation. La présence des usagers n'apporte pas d'apports gratuits significatifs. Leurs activités entraînent des déperditions supplémentaires par rapport à celles dues à l'enveloppe seule (utilisation des ouvrants).

A l'inverse, sur le bâtiment ayant fait un effort de qualité environnementale, les déperditions et les apports gratuits sont un peu plus conséquents en période d'inoccupation. Nous pouvons émettre l'hypothèse que la faible compacité du bâtiment Bellegrave introduit des déperditions relativement importantes. L'occupation peut être vecteur d'apports gratuits plus importants qu'en inoccupation, en particulier par l'ouverture des nombreux brises soleils et volets mécaniques du bâtiment.

**Tableau 35 : Caractérisation de l'enveloppe des maternelles**

<b>Jours ouverts</b>	Déperditions W/°C			Apports gratuits moyens Wh		
	Bâtiment	W/°C /m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		Bâtiment	Wh /m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup>	
Maternelle Bellegrave	3 083	0,67	1,9	123 000	26,8	75
Maternelle Jules Ferry	1 273	0,68	1,9	- 9443	- 4,2	- 14
<b>Jours fermés</b>	Déperditions W/°C			Apports gratuits moyens Wh		
	Bâtiment	W/°C /m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		Bâtiment	Wh /m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup>	
Maternelle Bellegrave	3 480	0,76	2,1	623 300	136	381
Maternelle Jules Ferry	822	0,43	1,2	- 11 669	- 6,2	- 17
<b>Global annuel</b> (jours ouverts et jours fermés)	Déperditions W/°C			Apports gratuits moyens Wh		
	Bâtiment	W/°C /m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		Bâtiment	Wh /m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup>	
Maternelle Bellegrave	3 381	0,73	2,1	359 000	78,3	219
Maternelle Jules Ferry	945	0,50	1,4	- 21 669	- 11,5	- 32

En conclusion, l'étude des données énergie permet de qualifier réellement l'enveloppe d'un bâtiment. Elle montre ici que celle du bâtiment Bellegrave n'est pas plus performante que celle du bâtiment Jules Ferry, mais que les ouvrants vitrés importants permettent des apports solaires passifs plus conséquents sur le bâtiment qui a fait un effort de qualité environnementale.

### 3-4-2 Usages de l'électricité

Les analyses qui suivent entrent dans le cadre de la thèse mais sont difficilement accessibles pour une évaluation par un gestionnaire, car elles nécessitent des traitements informatiques poussés.

Nous discutons ici des postes de consommation de l'école Bellegrave.

Les postes de consommations que nous avons suivis sont :

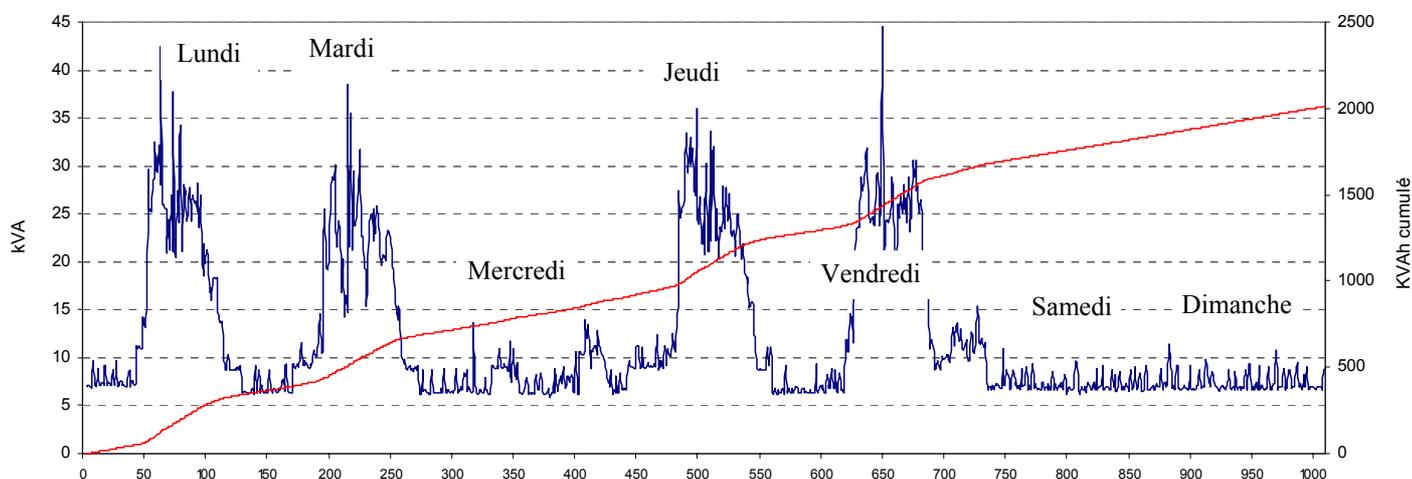
- La ventilation
- Les convecteurs personnels
- L'éclairage
- Les appareils de cuisine

Le **tableau 36** décrit les puissances installées par poste. La puissance souscrite est de 42 kVA, soit 37 % de la puissance installée. Or la courbe de charge d'une semaine de saison froide (présentée en **figure 67**) montre un appel de puissance maximum de 44 kVA, ce qui montre que la puissance souscrite est adaptée.

Tableau 36 : Puissances installées par postes, école Bellegrave

Désignation	Nb	Puissance totale installée en kW	%
Chaufferie (pompes, ...)	1	10,00	8,9%
CTA	3	12,00	10,6%
Extracteurs	4	2,00	1,8%
ECS	13	26,50	23,5%
Collecteurs	11	5,50	4,9%
Cuisines		27,00	23,9%
Pares soleils		11,50	10,2%
Eclairage circulations et sanitaires		3,80	3,4%
Eclairage administration		1,33	1,2%
Eclairage classes		6,61	5,9%
Eclairage dortoirs		1,94	1,7%
Eclairage évolution		2,06	1,8%
Eclairage restauration et cuisines		1,86	1,7%
Eclairages extérieurs		0,63	0,6%
Eclairage tout sauf circulations		14,45	12,8%
Eclairage total		18,24	16,2%
Puissance installée		112,74	

Figure 67 : Diagramme des puissances instantanées et des consommations cumulées, école Bellegrave



Note : L'unité kVA permet de s'affranchir du «  $\cos \phi$  ».

Nous constatons que pour les jours ouvrés, la consommation du bâtiment « au repos » est constante, et d'environ 8 kVAh. Cette consommation permanente de fond est due aux auxiliaires de sécurité, aux pompes du système de chauffage et aux extracteurs de ventilation en régime réduit.

La « journée électrique » d'un bâtiment d'enseignement semble relativement reproductible, avec un appel de puissance s'échelonnant de 7 à 30 kVA en moyenne, qui est maximal en milieu de journée. Le mercredi ne voit qu'une activité d'utilisation de la salle d'évolution, la consommation est donc très probablement celle de l'éclairage.

La décomposition des parts de consommations en fonction des usages, pour la période d'hiver et pour la période d'été, est présentée en annexe 15.

Sur l'école Bellegrave, la consommation due au poste ventilation et pompes du système de chauffage est la plus importante (46 %), suivie du poste éclairage (19 %), autres (21 %, dont notamment prises, pompe de la chaufferie), puis eau chaude sanitaire (8 %). Restent marginaux (<5%) les postes cuisines et convecteurs personnels.

Les économies réalisables se situent principalement sur le poste ventilation et éclairages. L'utilisation des prises de courant n'est pas déterminable, car nous n'avons ici pas suivi les consommations des autres sous postes.

Les usages qui peuvent être délestés pour éviter les appels de puissance sont :

- L'éclairage des circulations grâce à la présence des puits de jour, mais avec un asservissement à la luminosité extérieure
- Les appareils de vaisselle peuvent être utilisés après les appareils de préchauffage des aliments.
- La ventilation mécanique, principal poste de consommation électrique, peut être optimisée en s'adaptant mieux aux horaires d'occupation des classes : 8h30 11h30 et 13h30 16h30, au lieu de 7h18h, ce qui permettrait une baisse de 54 % de la durée de ventilation en régime haut.
- L'éclairage des classes, de la bibliothèque et de la restauration peuvent être mieux gérés suite à une sensibilisation des usagers. Le temps d'allumage inutile, de 70 % dans les classes avec des durées variant de 11 heures à 75 heures, doit pouvoir au minimum être ramené à la valeur la plus basse observée, c'est-à-dire une dizaine d'heures par mois.

### 3-4-3 Usages de l'eau

Les usages de l'eau qui ont été instrumentés sont :

- Les sanitaires (WC et fontaines séparément)
- Les éviers des classes
- Les cuisines

Les résultats des consommations par poste pour les 2 écoles sont donnés dans le **tableau 37**.

La consommation optimale que nous avons proposée pour le calcul de l'indicateur de potentiel d'économies d'eau est, nous le rappelons, par personne et en moyenne pour une journée passée dans le bâtiment :

- 4 chasses d'eau soit 12 litres,
- 4 lavages de mains soit 2 litres,
- 1,2 litres de boisson,
- 0,8 litres pour le reste (lavage, extérieur),

soit en tout 16 litres par personnes et par jour.

Le potentiel d'amélioration est calculé sur cette base et sur le nombre de personnes. Il est de 188 m<sup>3</sup>, soit à minima de 7 litres par personne et par jour sur l'école Jules Ferry, et 7,3 litres par personnes et par jour sur l'école Bellegrave. Nous pouvons difficilement imputer préférentiellement cette économie potentielle à un poste précis de consommation. On ne sait pas en effet si les usages 'autres' sont correctement gérés par rapport aux besoins.

Tableau 37 : Proportions des postes de consommation d'eau, année 2004

	Ecole Bellegrave		Ecole Jules Ferry	
	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>
Cuisines	19	133	18	113,6
WC	24	173	29	183
Fontaines	7	51,3	12	76
Eviers classes	1	4,4	2	12,6
Autres (extérieur, entretien, chaufferie, fuites)	50	361	39	246
Total		722		631

Ces calculs n'intègrent pas des modifications matérielles type rénovations ou récupérations d'eau pluviales, elle se basent sur des suppositions d'usages plus contrôlés, et d'actions sur la consommation comme des réducteurs de pression et d'embouts économiseurs, dont les économies sont réelles et facilement mesurables.

### 3-4-4 Gestion de la ventilation

Le poste de ventilation est un poste clé pour la qualité de l'air intérieur, mais a aussi une incidence sur la maîtrise de l'énergie, et les consommations d'électricité. Le bâtiment Bellegrave est équipé d'une ventilation mécanique double flux, c'est-à-dire bien équipé par rapport à la totalité des bâtiments d'enseignement scolaires français [Jédor, 2005].

Nous montrons dans les **figures 68 et 69** l'évolution de la concentration de CO<sub>2</sub> pour 3 journées types, sur chacune des écoles. Les concentrations de l'école équipée d'un système de ventilation sont plus basses et très souvent inférieures au seuil recommandé de 1000 ppm de CO<sub>2</sub>. Sur l'école dépourvue de ventilation, le taux de CO<sub>2</sub> est élevé et les enfants sont, la majorité du temps, confinés dans un air au dessus du seuil recommandé pour le CO<sub>2</sub>. Ceci est plus marqué le matin (en raison des activités concentrées en classe le matin). La ventilation joue donc correctement son rôle sur l'école Bellegrave.

Figure 68 : Evolution du taux de CO<sub>2</sub>, journées types, école Bellegrave

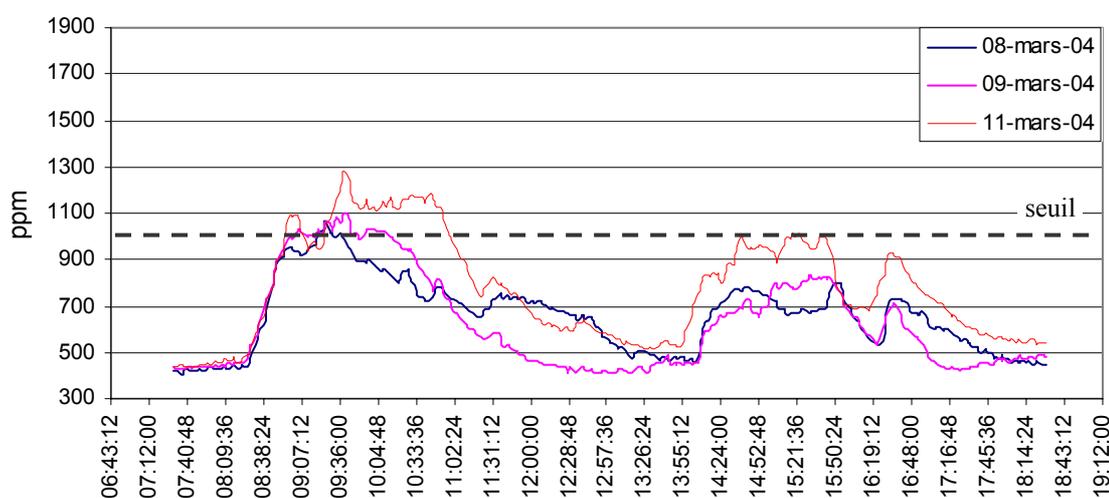
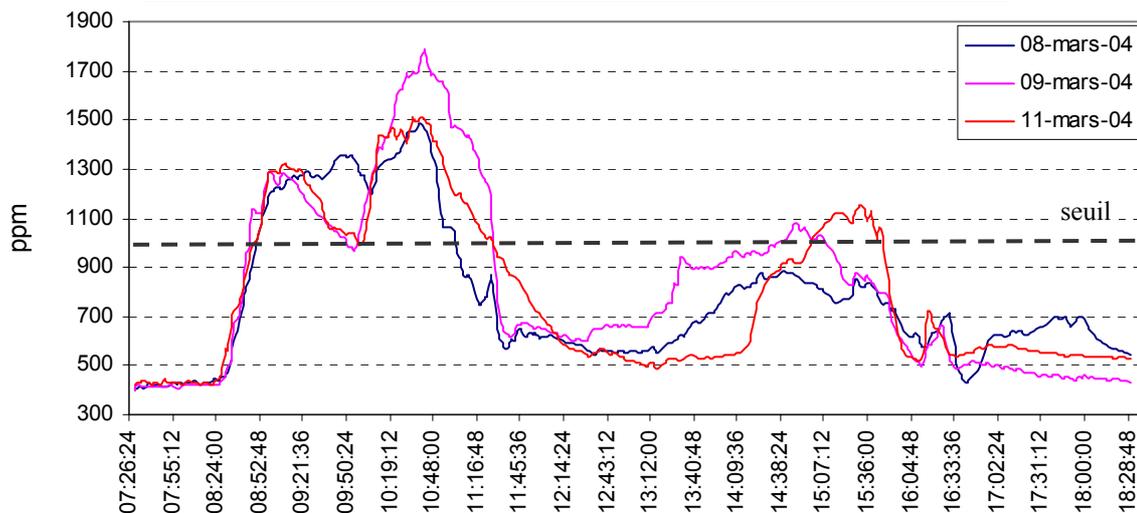


Figure 69 : Evolution du taux de CO<sub>2</sub>, journées types, école Jules Ferry



Cependant, les mesures de ventilation montrent de très faibles débits, (entre 10 et 80 m<sup>3</sup>/h dans les salles de classe et les dortoirs, en mars 2005). De plus les appels de puissance d'électricité des centrales de traitement de l'air montrent un fonctionnement de 7h10 à 18h10. Les mesures de concentration de CO<sub>2</sub> montrent que le taux n'atteint la valeur de 900 à 1000 ppm qu'au bout de 30 minutes d'occupation de la classe, pièce la plus petite où les enfants vont être dans la journée. Ces différents éléments nous amènent à conclure sur les points suivants :

- Le réglage de la ventilation serait excessif, s'il respectait le taux conseillé de 15 m<sup>3</sup>/(h.pers) sur l'école équipée d'une VMC
- La durée du fonctionnement de la ventilation est mal adaptée à l'occupation, les enfants n'arrivant qu'à 8h20, et repartent à 16h30. La plage d'utilisation des CTA peut être réduite à ces horaires en régime haut.

### 3-4-5 Point particulier : mesures hyperfréquences

Ce critère n'est pas abordé par la méthode, mais il nous a semblé intéressant de faire figurer dans ce travail les mesures hyperfréquences réalisées sur le site Bellegrave en raison de la présence d'une antenne de relais téléphonie de 20 m, ces mesures étant rarement disponibles.

Rappelons ici que la norme d'exposition en France est de 41V/m. Le **tableau 38** rassemble les mesures (mesures extrapolées à trafic maximal) pour un point dans le bâtiment et un point dans la cour d'école. Les valeurs sont de l'ordre de 1% de la limite en vigueur, ce qui est très faible.

Tableau 38 : Mesures hyperfréquences

V/m	GSM 900 MHz	GSM 1800 MHz
Classe des petits, 80 m de l'émetteur	0,14	0,88
Cour, 80 m de l'émetteur	0,13	0,32

Le niveau de champ électrique cumulé sur la bande 100k à 3 GHz est de 0,58 V/m au point de mesure de la petite section, et le niveau de champ électrique cumulé sur la bande 100k à 3 GHz est de 0,03 V/m au point de mesure de la cour.

### 3-5 Les points d'amélioration soulevés par le test

Les points d'amélioration de la méthode sont de 2 types :

- L'enquête et la simplification du questionnaire
- La réduction de la campagne de mesures nécessaires à l'évaluation.

#### 3-5-1 Apports de l'enquête : corrélation avec mesures et points clé

##### Sélection des questions clé de l'évaluation

L'enquête amène des résultats qui sont tous exploitables pour une évaluation du bâtiment, si on se place au niveau du point de vue de l'utilisateur. Cependant nous pouvons effectuer une simplification, afin :

- de sélectionner les plus pertinents d'entre eux,
- d'identifier et d'éliminer les éléments d'enquête dont les résultats ne sont pas fiables.

Une agrégation de questions sur un même thème est également discutable.

L'objectif est double :

- simplifier l'évaluation en sélectionnant les résultats les plus significatifs,
- vérifier la validité de ces critères par comparaison aux résultats des mesures.

Par exemple, l'information de satisfaction sur le confort thermique d'hiver peut-elle suffire, ou bien est-elle peu fiable, auquel cas des mesures sont indispensables à l'évaluation de ce paramètre.

Le **tableau 39** rassemble les critères d'évaluation de la méthode et les résultats d'enquête que nous pouvons comparer aux mesures. Les pourcentages cités sont dans l'ordre de ceux de l'école Jules Ferry puis Bellegrave.

Il apparaît que les indicateurs que l'enquête ne peut permettre d'évaluer sont, en l'état de perception et d'information des usagers interrogés sur cette étude :

- L'utilisation des éclairages
- L'utilisation de l'eau
- L'utilisation de l'énergie.

Comme nous avons commencé à le dire lors des résultats d'enquête, les décalages entre les mesures physiques et les résultats d'enquête peuvent être dus à une faible représentation des usagers de leurs propres actions, par manque d'habitude, car, traditionnellement, les consommations dont ils sont à l'origine les préoccupent peu. Une campagne de sensibilisation devra appuyer cet aspect de réalisation constante et lucide des gestes : « appuyer sur le bouton », « consommer l'eau », « mettre à la poubelle », etc.

Les indicateurs de l'enquête qui apparaissent les plus proches des mesures sont :

- Le confort visuel
- Le confort hygrothermique d'hiver
- Le confort hygrothermique d'été
- La qualité de l'air intérieur

L'indicateur de confort acoustique demandera confirmation pour d'autres études. En effet le facteur d'habitude et d'acceptabilité sociale du bruit biaise les réponses des personnes [Barlet *et al.*, 2005]. Les mesures de temps de réverbération montrent une bonne caractéristique d'atténuation acoustique des locaux sur les deux écoles, mais l'utilisation et les bruits d'activités peuvent entraîner une détérioration du confort acoustique. De plus, les mesures réalisées pour cette étude sur le bruit de fond équivalent sont dépendantes des conditions du jour des mesures, et peuvent s'avérer faussées.

Tableau 39 : Comparaison des résultats d'enquête et de mesures

Indicateurs d'usages de la méthode d'évaluation	Résultats d'enquête	Résultats des mesures	Concordance
Economie d'électricité	75 et 78 % des personnes estiment faire attention à ne pas gaspiller l'énergie	22 % et plus de 50 % de consommation d'électricité économisable	NON
Consommation d'eau	75 et 90 % des personnes estiment faire attention à ne pas gaspiller l'eau	47 % et 45 % de quantités d'eau économisables	NON
Confort acoustique	60 et 88 % des personnes sont satisfaites	Temps de réverbération corrects, 8 et 13 dB(A) au dessus du niveau de bruit de fond confortable	Fiable
Confort visuel	64 et 92 % des personnes sont satisfaites	Indice de 3 et 7, 0 % et 100 % de conformité des éclairages artificiels	OUI
Confort hygrothermique d'hiver	65 et 75 % des personnes sont satisfaites	35 % et 10 % des points en dehors de la zone de confort thermique d'hiver	OUI
Confort hygrothermique d'été	48 et 75 % des personnes sont satisfaites	9 % et 6 % des points en dehors de la zone de confort thermique d'été	OUI
Qualité de l'air intérieur	33 et 84 % des personnes sont satisfaites	62 % et 91 % des points sous la limite des 1000 ppm de CO <sub>2</sub> en occupation, zones classes	OUI
Utilisation des éclairages	88 et 98 % des personnes déclarent être vigilantes aux éclairages inutiles	70 % de durée d'éclairage artificiel inutile	NON

L'enquête réalisée peut être simplifiée, pour des bâtiments d'enseignement préscolaires et scolaires, sur les questions relatives aux usages des thèmes du questionnaire :

- éclairage,
- électricité spécifique,
- énergie thermique,
- gestion des achats et des déchets,
- utilisation des produits d'entretien

Cependant, ces questions peuvent avoir un rôle de sensibilisation des usagers par leur simple présence dans le questionnaire.

### **En conclusion**

Pour une évaluation fine de la perception des usagers, le questionnaire utilisé ici nous semble opérationnel et relativement complet. Il a également servi à évaluer la satisfaction dans des locaux de bureaux, ce que nous ne présentons pas dans ce travail.

Pour une évaluation rapide, il est possible de simplifier de façon importante le questionnaire, et de conserver uniquement la globalité des thèmes d'évaluation de la méthode OPALE. Cependant les résultats ainsi obtenus seront moins complets et sans doute moins justes qu'avec le questionnaire complet. En effet, la récurrence d'un thème dans deux questions différentes qui s'y rapportent permet à la fois :

- d'avoir une indication plus complète sur la réponse,
- de permettre à la personne interrogée de réfléchir différemment à la question posée et donc de fournir une réponse plus réfléchie.

Une deuxième possibilité de simplification est de poser le questionnaire à 3 personnes ressources parmi les usagers. Ici pour une école : directrice de l'établissement, personne la plus ancienne dans les lieux, responsable de l'entretien.

### **3-5-2 Réduction de la campagne de mesures : discussion sur deux niveaux possibles de la méthode**

L'instrumentation et la base de données résultantes de ce projet de recherche aboutissent à un niveau d'informations sur la caractérisation du bâtiment que l'on peut qualifier de très important. Nous partons donc ici d'un niveau d'informations que nous pouvons qualifier de maximal pour un suivi réalisé par un gestionnaire. Nous nous attachons dans la partie suivante à réduire le nombre d'informations tout en gardant pour contrainte une évaluation des performances environnementales du bâtiment, des usagers et de la gestion raisonnablement bonne. Nous nous donnons deux niveaux d'évaluation, répondant aux deux situations dans lesquelles les gestionnaires ou professionnels du bâtiment peuvent se trouver : un objectif d'évaluation réduite et un niveau d'évaluation complet.

#### **3-5-2-1 Evaluation OPALE réduite**

L'évaluation réduite se réalise dans deux contextes différents :

- besoin de réaliser une évaluation rapide du bâtiment sans déployer de moyens spécifiques, en complément du suivi ECOWEB par exemple.
- ou tout simplement besoin d'évaluer le bâtiment mais manque de moyens.

Elle permet de déterminer tous les indicateurs de la méthode d'évaluation développée, mais avec une certitude sur les résultats moins sûre qu'avec la méthode complète.

#### **Enquête :**

- Plusieurs possibilités sont envisageables ; dans un ordre croissant de traitement des informations :
- Enquête réduite à 3 personnes clé (voir le questionnaire réduit en annexe 10; ce questionnaire n'a cependant pas été testé).
- Enquête complète visant 3 personnes ressources. : cela nous semble le meilleur compromis en terme de quantité d'informations et de temps investi.
- Enquête réduite à tous les occupants.

#### **Mesures :**

- Données principales de conception : surfaces, enveloppe, type de chauffage, puissance
- Factures (consommations, entretien maintenance, achats, et coûts) ou relevés des compteurs eau électricité et gaz (ou autre énergie thermique)
- Enregistrements des sondes de consignes de température ambiantes : pas de temps disponible, ou de 20 minutes si réglable, 3 capteurs dans le bâtiment (leur distribution est à considérer en fonction de la ventilation des volumes et des types de zones (voir annexe 1)).
- Données météo départementales

L'expression de la confiance sur les indicateurs est exprimée dans le **tableau 40** sur une échelle d'appréciation allant de --- à +++. Le degré de confiance maximal +++ est le même que celui de la méthode complète : il n'exprime pas le degré de confiance scientifique de l'indicateur mais le niveau de certitude par rapport à son obtention par la méthode complète.

Tableau 40 : Mesures et indicateurs de la méthode OPALE réduite

OPALE						
Thème	Indicateur	Données	Equipement	Pas de temps Durée	Lieu de mesure	Confiance sur l'indicateur
Coûts	Coût eau	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Coût électricité	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Coût énergie	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Coût entretien maintenance	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Coût d'exploitation	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
Eau et énergie	Consommation d'eau	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Consommation d'électricité	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Consommation d'énergie (gaz)	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
	Consommation d'énergie primaire	Facture	Aucun	Année	Aucun	+++
Environnement	Emissions équivalent CO2	Factures	Aucun	Année	Aucun	+++
	Déchets radioactifs	Factures	Aucun	Année	Aucun	+++
	Pollution des eaux	Factures	Aucun	Année	Aucun	+++
	Déchets ménagers	Observations hebdomadaires	Aucun	Semaine	Local déchets	+
	Pollution de l'air	Factures	Aucun	Année	Aucun	+++
Qualité de vie	Confort acoustique	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	++
	Confort visuel	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	++
	Confort hygrothermique hiver	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	++
	Confort hygrothermique été	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	++
	Qualité de l'air intérieur	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	---
Usages	Utilisation des éclairages	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	---
	Utilisation de l'eau	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	+
	Tri des déchets	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	+++
	Connaissance du bâtiment	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	+++
	Préoccupation environnementale	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	+
Gestion	Régulation du chauffage	Enregistrement des sondes de régulation	Aucun	Pas de temps disponible de la GTC		+++
	Gestion de la ventilation *	Débits	Anémomètre	Journée	Classes, dortoirs, cuisines	+++
	Systèmes d'éclairage *	Niveaux d'éclairement	Luxmètre	journee	Tous locaux de vie	+++
	Information à l'utilisateur	Enquête	Aucun	Journée	Aucun	++

\* Indicateurs non déterminables sans mesures

### 3-5-2-2 Evaluation OPALE complète

Lorsque le gestionnaire l'a décidé, l'évaluation complète se réalise avec le questionnaire d'enquête chez tous les usagers du bâtiment, ici les adultes et les enfants, ainsi que la campagne de mesures suivante. L'annexe 16 présente la campagne de mesure et l'évaluation complète de l'école Bellegrave, telle que présentée sous tableau.

#### Mesures

Les données principales de conception à connaître sont les surfaces, le type d'enveloppe, le type de chauffage et sa puissance, le type d'éclairage en place, le type de ventilation.

Les données de consommations, entretien maintenance, achats, et coûts sont fournies par les factures.

L'évaluation du confort et de la gestion du chauffage nécessite la pose de 3 capteurs de température au minimum dans le bâtiment. L'utilisation des mesures de température de consigne ambiante est possible.

Le pas de temps d'enregistrement des données que nous concluons des mesures réalisées est de 15 minutes, pendant 3 semaines d'hiver, 3 semaines d'été à minima.

Les mesures ponctuelles des niveaux d'éclairement des principales zones occupées, se font en 3 points par salle.

La détermination du confort acoustique demande les mesures des temps de réverbération et des niveaux de bruits de fond du bâtiment ; une évaluation de la qualité d'exploitation des locaux peut également se faire par la mesure des niveaux équivalents en occupation.

La mesure des concentrations en CO<sub>2</sub> sur 2 semaines d'hiver et 2 semaines d'été permettent de qualifier la qualité de l'air intérieur sur le confinement.

Les débits de ventilation vont qualifier à la fois la gestion de la ventilation et la qualité de l'air.

Enfin, un comptage des déchets et des achats permet d'évaluer l'émission de déchets de l'activité du bâtiment, ainsi que l'efficacité de consommation des usagers.

Le degré de confiance avec la méthode OPALE complète est de +++ pour l'évaluation de tous les indicateurs, sauf les indicateurs où la perception et l'exigence des occupants sont concernées, où encore où le mode d'évaluation proposé nous semble améliorable.

- Le **confort acoustique** (++) est soumis à l'occupation, et malgré une bonne caractérisation à vide l'occupation peut dégrader la qualité acoustique pour les occupants.
- Le calcul des **déchets ménagers** (++) est incomplet car ne comptabilise pas les apports des usagers et de la coopérative de l'école.
- Le **confort visuel** (++) relève de facteurs physiologiques et psychologiques liés aux individus, donc relativement variable, ainsi qu'à certains paramètres que l'évaluation n'a pas pris en compte (rendu des couleurs en particulier).
- Le **confort hygrothermique** (été et hiver) (++) est également soumis à la sensibilité et à la condition de chacun ; l'évaluation par les mesures ne reflète donc pas forcément très fidèlement la perception des occupants. De plus les mesures par un nombre réduits de capteurs s'exposent à ne pas prendre en compte des zones inconfortables (qui peuvent toutefois apparaître lors de l'enquête dans les questions ouvertes).
- La **qualité de l'air intérieur** (++) est évaluée sur le seul paramètre du CO<sub>2</sub>, et donc ne pourra rendre compte d'un niveau de COV ou radon élevé par exemple. Cependant le bon renouvellement de l'air est garant d'une dilution de tous les composés que pourrait émettre l'environnement intérieur.
- Enfin, la **conscience environnementale** (+), est un indicateur soumis aux déclarations des occupants, et peut être biaisée par la présence de l'enquêteur lors de la réponse, la personne enquêtée ayant tendance à répondre à une attente sociale, et non à la réalité.

### 3-5-3 Informations des tableaux de bord résultants de l'évaluation

Les Tableaux de Bord doivent permettre :

- de connaître l'état des performances environnementales du bâtiment,
- d'indiquer des actions correctives aux mauvaises performances,
- d'indiquer les résultats des actions mises en œuvre lors d'un suivi,
- enfin de sensibiliser et d'informer les occupants et les gestionnaires aux enjeux environnementaux.

Le Tableau de Bord usagers contient 8 indicateurs de 3 types :

- les indicateurs d'état qui décrivent la situation des émissions à l'environnement,
- les indicateurs de potentialité d'amélioration qui décrivent concrètement l'écart à la performance raisonnablement atteignable ; ce sont des indicateurs d'objectifs,
- les indicateurs de réponse qui correspondent aux actions à mettre en place pour diminuer les émissions à l'environnement et donc les pressions exercées sur ce dernier.

Deux types de tableaux de bord sont présentés :

- un à destination des usagers et des gestionnaires,
- un à destination des gestionnaires uniquement.

Nous synthétisons dans le **tableau 41** les principales caractéristiques de ces 2 tableaux de bord.

Tableau 41 : Caractéristiques des tableaux de bord à destination des gestionnaires et des usagers

Indicateurs d'état	Indicateurs de potentialités	Indicateurs de réponses	Forme et fréquence	Acteurs
<b>Tableau de bord USAGERS</b>				
Affiche : - consommations d'énergie et d'eau, - production de déchets d'activités, tri, - utilisation rationnelle de produits d'entretien écologiques, - coûts	Montre la correspondance concrète aux indicateurs de pollution, Illustrer simplement et objectivement l'objectif de réduction d'émission	Indique : -Bonnes pratiques correspondant à chaque objectif visé -Liens avec les responsables administratifs des actions préconisées	Poster Affichettes des enfants  <i>Inférieure ou égale à l'année</i>	Occupants du bâtiment Equipes d'entretien
<b>Tableau de bord GESTIONNAIRES</b>				
Affiche tous les indicateurs des thèmes coûts eau et énergie, environnement, confort santé, usages et gestion	Donne la correspondance aux indicateurs de pollution	Indique : - Actions techniques - Indication des temps de réponse souhaitables et - responsables des actions	Cahier  <i>Annuelle 2 ou 3 ans pour les bâtiments performants</i>	Gestionnaires administratifs et techniques

Le tableau de bord pourra prendre en compte tout ou partie des indicateurs de performances dégagés de l'évaluation du système « bâtiment-usagers-gestionnaires ». La prise en compte du nombre et du type d'indicateurs dépendra de la cible du tableau de bord, autrement dit des usagers concernés, ainsi que de l'analyse des résultats effectuée par le gestionnaire . La méthode a en effet été construite avec pour but de permettre au gestionnaire de savoir à quel auditoire il va s'adresser dans son effort de gestion environnementale de bâtiment.

Nous détaillons dans ce mémoire une présentation possible des tableaux de bord à partir des résultats de l'évaluation des performances environnementales sur les 2 écoles (en quatrième partie).



---

## Quatrième partie : Management environnemental de l'exploitation des bâtiments

---

Une méthode d'évaluation de la qualité environnementale a été développée et présentée pour deux bâtiments en phase d'exploitation. Les résultats de la méthode d'évaluation appliquée à deux écoles ont été décrits. Nous avons discuté leur pertinence et l'optimisation de leur mode de détermination, via 6 thèmes d'évaluation. Nous abordons à présent la dernière partie de ce travail, qui a pour objectif de reboucler sur notre préoccupation centrale, **la réduction des émissions à l'environnement**. Nous proposons une réflexion aux questions suivantes :

Comment sont perçus les indicateurs environnementaux par les acteurs de l'exploitation d'un bâtiment ?

Que faire des résultats de l'évaluation ?

Quel retour présenter vers les acteurs de la phase d'exploitation afin d'entraîner une amélioration de leurs pratiques ?

Quelles données, sous quelles formes, avec quelle fréquence de mise à jour ?

Pour essayer d'apporter des réponses à ces questions, nous analyserons dans un premier temps les objectifs et les langages des différents types d'acteurs. Leur regard sur les problématiques environnementales en général, puis leur appréciation des indicateurs environnementaux dans le contexte du bâti seront présentés.

Par la suite, nous synthétiserons différentes démarches de sensibilisation et d'information déjà réalisées, ainsi que l'évaluation de l'efficacité des campagnes.

Nous discuterons ensuite des moyens envisagés de communication des informations générées par l'évaluation, le tableau de bord, vers les différentes familles d'acteurs, et ce en appliquant les grands principes que nous aurons dégagés de l'analyse initiale. Ce retour sera illustré par la présentation de tableaux de bord issus de l'évaluation des deux écoles sur lesquelles nous avons travaillé pour cette étude.

Nous proposons pour finir une structure de management environnemental pour les usagers et les gestionnaires des bâtiments.

<i>4-1- Les indicateurs environnementaux et les acteurs de la phase d'exploitation : une histoire de langage</i> .....	187
<i>4-2- Quelques opérations de communication réalisées</i> .....	196
<i>4-3- Communication des indicateurs : proposition d'un management environnemental d'exploitation</i> .....	200



## 4-1- Indicateurs environnementaux et acteurs de la phase d'exploitation : une histoire de langage

### 4-1-1 Perception de la notion d'indicateur environnemental par les acteurs

Nous revenons ici sur la définition d'« indicateur », d'« indicateur environnemental » et de leur signification par rapport au bâtiment pour les acteurs non scientifiques, à qui les résultats de l'évaluation vont être en partie destinés. Une réponse aux questions « quelle est la notion d'environnement que nous impliquons dans un indicateur environnemental », et « comment l'indicateur relie la réalité 'bâtiment' à la réalité 'environnement' » est proposée.

#### 4-1-1-1 Qu'est-ce qu'un indicateur

La définition du Nouveau Petit Robert nous dit « variable ayant pour objet de mesurer ou apprécier un état, une évolution ».

L'origine du mot indicateur nous a semblée tout à fait appropriée à la signification et aux objectifs des indicateurs environnementaux. Le mot indicateur vient « du latin *indicare*, "dénoncer", "révéler", "évaluer", "faire connaître le caractère de (un être, un évènement) en servant d'indice", "donner le prix de", et *indicere*, "déclarer officiellement", "notifier", "annoncer", "imposer, prescrire", ainsi que du bas latin *indicator*, "accusateur" », [Le Robert Historique, 1998].

Plusieurs significations contemporaines couramment employées peuvent être listées pour illustrer le mot indicateur. Par exemple :

- un appareil donnant une information physique mesurée,
- en chimie, une substance changeant de couleur avec les conditions physicochimiques du milieu,
- en physique et en médecine, un traceur radioactif,
- en éducation, les notes d'évaluation,
- en économie, le taux de croissance, d'inflation, le taux de chômage,
- en sociologie, le taux de scolarisation.

Les indicateurs doivent réunir 3 qualités centrales pour parler aux acteurs et rendre compte d'une réalité complexe, [Adriaanse, 1993]: **simplicifier, quantifier, communiquer.**

#### 4-1-1-2 Qu'est-ce que l'environnement

Nous avons extrait de la définition du Petit Robert « ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) dans lesquelles les organismes vivants (en particulier l'homme) se développent ».

Là encore, la signification première du mot nous semble révélatrice. En 1265, le mot avait pour sens « circuit, contour ». Puis en 1921 « ensemble des éléments et phénomènes physiques qui environnent un organisme vivant, se trouvent autour de lui ». Ce n'est qu'en 1960 que le mot prend le sens que nous lui connaissons, « ensemble des conditions naturelles et culturelles susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines », [Le Robert Historique, 1998].

La notion première de « contour » illustre particulièrement bien le **défaut persistant de prise de conscience** des problématiques environnementales, pourtant importantes et en constante augmentation à toutes les échelles de notre planète. Les anglo-saxons ont donné à ce phénomène le nom de NIMBY, pour « not in my back yard », « tant que ça ne se passe pas chez moi, dans mon milieu, cela ne me concerne pas, je ne m'y intéresse pas, et de fait je n'agis pas en conséquence ».

Actuellement, le mot environnement prend lentement auprès du public non scientifique le sens beaucoup plus large qu'il signifie en sciences du vivant.

### 4-1-1-3 L'indicateur environnemental d'évaluation des performances du système « bâtiment-usagers »

A partir des deux définitions que nous avons données pour indicateur et environnement, nous proposons notre définition de l'indicateur environnemental dans le cadre qui nous préoccupe ici, qui est la mise en place d'un management environnemental pour les usages d'un bâtiment.

L'indicateur environnemental est une information quantitative qui rend compte de l'état des pressions vers l'environnement dues à l'exploitation du bâtiment. Sa force est de faire référence à des limites hautes et basses de performance. Il permet à l'utilisateur de situer le bâtiment dans lequel il travaille et vit chaque jour, et où il met en œuvre un certain nombre d'actions, à travers des systèmes d'asservissement, dont les consommations ont des répercussions environnementales qui lui sont clairement perceptibles et dont il est directement responsable.

L'indicateur environnemental permet d'évaluer, avec une période qui lui est propre, l'état du système « bâtiments/usagers/environnement ». Il donne des informations ponctuelles dans le temps sur un système en évolution permanente.

L'indicateur environnemental permet de personnaliser les enjeux environnementaux et de responsabiliser l'utilisateur (et le gestionnaire).

Un deuxième aspect des indicateurs environnementaux est qu'ils représentent, sur le plus long terme, un véritable outil de :

- communication,
- sensibilisation,
- prise de conscience.

Ils agissent comme un relais entre les usagers et l'environnement, ils définissent les priorités d'actions, pour l'utilisateur, et pour le gestionnaire, pour qui les indicateurs sont une aide à la décision.

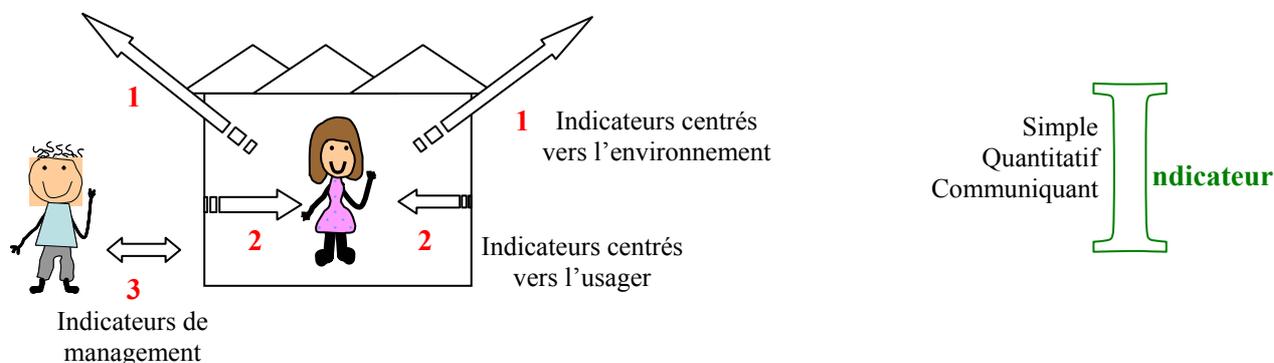
La **figure 70** schématise les différents objectifs d'évaluation des indicateurs.

Un premier type d'indicateurs est centré sur l'environnement ; ces indicateurs doivent donc être perçus par les utilisateurs de la méthode comme les impacts de l'utilisation du bâtiment sur l'environnement.

Un deuxième type d'indicateurs est centré sur les usagers, et reflète les impacts du bâtiment sur ses occupants.

Un troisième type d'indicateurs est centré sur le gestionnaire ; ils traduisent l'impact de la gestion du bâtiment, à la fois sur les performances : 1) du bâtiment en exploitation (donc des indicateurs centrés sur l'environnement), 2) des conditions de confort et de santé des usagers (donc des indicateurs centrés sur les usagers).

Figure 70 : Les 3 objectifs des indicateurs environnementaux d'évaluation du bâtiment en exploitation



## 4-1-2 Présentation des acteurs à l'interface de l'évaluation : langages et objectifs

Une condition nécessaire (mais pas suffisante) pour que l'indicateur environnemental soit efficace est qu'il intègre les besoins, les attentes, les capacités de compréhension et les possibilités d'actions des usagers.

La partie qui suit traite des acteurs entrant en interaction avec le bâtiment et les indicateurs environnementaux du bâtiment. Elle s'appuie sur une synthèse d'une partie des travaux de S.Dammann, [Dammann, 2004], sur les actes de la troisième édition des assises de la démarche HQE<sup>®</sup>, ainsi que sur les différents entretiens que nous avons pu avoir avec des acteurs de maîtrise d'ouvrage, gestionnaires, maîtres d'œuvres, usagers et scientifiques.

### 4-1-2-1 Paysage des acteurs à l'interface des indicateurs environnementaux

L'enjeu de communication entre les acteurs accédant aux indicateurs environnementaux est primordial. Ils sont classés en **figure 71** en 4 types : les acteurs scientifiques, les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre (architectes, bureaux d'études, etc.), et les usagers ou plus largement les acteurs grand public.

Les acteurs scientifiques vont élaborer les indicateurs environnementaux, être garants de leur pertinence et de leur calcul.

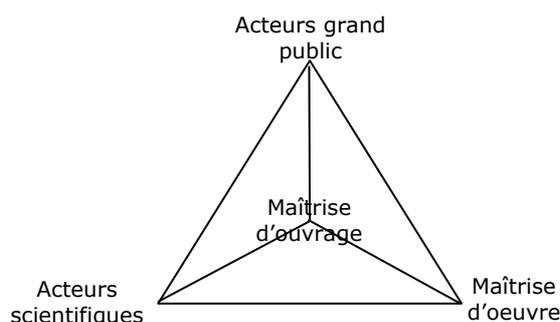
Les 3 autres catégories d'acteurs vont lire interpréter, se servir chacun à leur niveau des indicateurs environnementaux.

Les maîtres d'ouvrage, qui sont décisionnaires, arbitrent les financements, effectuent les modes de gestion, sont acteurs centraux des performances en exploitation avec les usagers, et décident des opérations de sensibilisation.

Les maîtres d'œuvres vont élaborer les nouveaux bâtiments (mais aussi de nouvelles techniques) et doivent intégrer les exigences des décisionnaires, notamment en terme de performances environnementales.

Les acteurs grand public vont élire les décisionnaires, utiliser les bâtiments et être les acteurs clé de leur performance.

Figure 71 : Les 4 acteurs de communication des indicateurs environnementaux du bâti



Pour une coordination efficace des actions, une compréhension mutuelle des acteurs et une convergence de leurs objectifs sont incontournables.

### 4-1-2-2 Acteurs scientifiques

Il s'agit ici des chercheurs, développeurs des indicateurs environnementaux, mais aussi des bureaux d'études appliquant les démarches des chercheurs, ou proposant leurs propres indicateurs environnementaux.

Les objectifs de ces acteurs sont de :

- développer des indicateurs environnementaux scientifiques, experts, significatifs, quantifiés,

- évaluer scientifiquement les bâtiments,
- s'assurer que ces efforts de construction d'indicateurs amènent à de véritables améliorations liées à l'environnement (ce rôle est partagé avec les acteurs de gestion).

Les exigences des acteurs scientifiques portant sur les indicateurs sont :

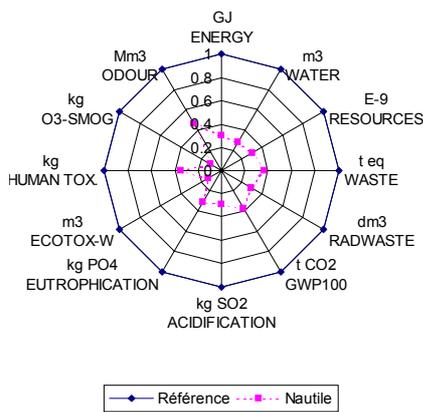
- qu'ils soient scientifiquement et environnementalement justifiés, précis, quantitatifs,
- qu'ils couvrent de la façon la plus complète possible le cycle de vie du bâtiment et des différents fluides.

Les acteurs scientifiques considèrent globalement que les indicateurs environnementaux sont la seule base rigoureuse et fiable d'aide à des décisions responsables vis-à-vis de l'environnement.

Les indicateurs environnementaux majoritairement développés par ces acteurs sont multi échelles spatiales, et concernent le court, moyen et long terme : les effets environnementaux globaux et régionaux, l'utilisation des ressources, la qualité des ambiances intérieures.

Deux extraits des travaux de B.Peuportier [Peuportier B., 2000] et du travail de thèse d'Alain Guiavarch [Guiavarch, 2003] donnent un exemple d'une série d'indicateurs environnementaux pour des bâtiments en projet. Le **tableau 42** rassemble ces 2 extraits, illustrations de la spécificité des communications scientifiques par rapport à un public soit professionnel du bâtiment soit non professionnel (« grand public »).

**Tableau 42 : Ecoprofil comparatif et indicateurs d'impacts environnementaux**



Indicateur	Batiment seul	Batiment + CES.
Energie (GJ)	6,98E+04	6,48E+04
Eau (m3)	9,90E+04	9,97E+04
Ressources (10 <sup>-9</sup> )	3,07E+01	3,04E+01
Déchets (teq.)	1,08E+03	1,09E+03
Déchets Rad. (dm <sup>3</sup> )	1,42E+02	1,40E+02
Effet de serre (teq.CO2)	1,91E+03	1,62E+03
Acidification (kg SO2)	4,58E+03	4,44E+03
Eutrophisation (kg PO4)	1,20E+04	1,20E+04
Smog d'été (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	7,96E+02	7,24E+02

Nous constatons que ces indicateurs concernent des échelles différentes de temps et d'espace. Leur formulation s'adresse à des spécialistes et est difficilement accessible à un public non scientifique. En effet, chaque indicateur demande pour sa compréhension une connaissance environnementale minimale des tenants et aboutissants qui lui sont relatifs.

La catégorie des acteurs scientifiques comprend également les sociologues, les psychologues environnementalistes, qui étudient en particulier les modes de communication entre les différents acteurs, et vont se préoccuper de la lisibilité des indicateurs environnementaux. Cependant actuellement, ces acteurs ne sont pas souvent inclus dans les études, ce qui a justifié une certaine transversalité dans la rédaction de ce document.

#### 4-1-2-3 Maîtres d'ouvrage et décisionnaires

Il s'agit ici des acteurs de décision et de gestion. Ce groupe d'acteurs comprend la sphère politique de décision (instances nationales, régions, communes), les gestionnaires privés de patrimoines et de bâtiments.

Ces acteurs ont en charge la gestion des bâtiments (existants ou en projet). Deux de leurs principaux soucis vont être :

- de maîtriser leur budget,
- d'obtenir une image valorisante de leurs décisions.

Les indicateurs environnementaux sont considérés par ce groupe d'acteurs principalement comme :

- un moyen d'information pour communiquer sur la responsabilité environnementale qu'ils sont soucieux d'avoir : communication vers les services, vers les clients, vers les médias,
- un moyen d'assurance de la qualité de leur gestion, de prévention et de réduction des risques environnementaux (par application du principe de précaution),
- un moyen de diminuer le coût d'exploitation.

La demande principale des acteurs décisionnaires pour les indicateurs environnementaux est qu'ils soient :

- compréhensibles par les autres acteurs (services, clients, médias),
- opérationnels, c'est-à-dire basés sur des données faciles d'accès et peu coûteuses,
- fiables.

Les acteurs décisionnaires focalisent plutôt sur les indicateurs de coûts de la phase de conception et d'utilisation, les indicateurs de consommation d'énergie, ainsi que les indicateurs de qualité d'ambiance intérieure (confort acoustique, etc.). D'autres aspects, comme les transports, le style de vie, semblent moins prioritaires. Les échelles de temps prises en compte par les maîtres d'ouvrage et gestionnaires sont du court au moyen terme, plus rarement sur le long terme.

Nous résumons ici pour exemple le contenu de la fiche d'évaluation du lycée de Caudry, dans la région Nord-Pas-de-Calais [Gaz de France, 2005]. Le document rassemble un descriptif du projet, avec, traditionnellement, les cibles HQE® traitées par l'opération. Les indicateurs environnementaux de la fiche sont les besoins énergétiques (par postes principaux), la consommation d'eau et l'émission de CO<sub>2</sub> annuels. Ces indicateurs présentent également les potentiels d'économies par rapport à une conception uniquement réglementaire. Les informations données sont :

- descriptives, sur la qualité du bâtiment,
- réduites sur les impacts environnementaux, en particulier sur leur diversité (consommations et quantités équivalentes de CO<sub>2</sub> émis).

Cette fiche illustre le **manque d'information** et de formation mises à disposition à la fois des acteurs gestionnaires et usagers des bâtiments. Elle constitue cependant une première approche d'information environnementale vers les acteurs non spécialistes, qui est reprise, et harmonisée, via la directive européenne de performance énergétique des bâtiments ; ces démarches peuvent être complétées par un tableau de bord environnemental, mettant à disposition une vision plus complète et avertie des impacts environnementaux de l'exploitation du bâtiment.

#### 4-1-2-4 Acteurs grand public

Il s'agit des usagers des bâtiments et des clients (acheteurs) non professionnels.

Les conclusions de [Dammann, 2004] rejoignent les déclarations que nous avons notées lors de nos enquêtes. Les objectifs de ces acteurs, sont, en ce qui concerne les aspects environnementaux du bâtiment :

- Créer une identité et une cohérence sociale entre les utilisateurs du bâtiment, en conférant la qualité de durable ou écologique à l'utilisation et aux pratiques qu'ils ont dans le bâtiment.
- Avoir une perception claire des efforts environnementaux qu'ils mettent en œuvre.

Les différents entretiens que nous avons eus lors de l'enquête montrent que les indicateurs environnementaux ne sont pas familiers aux usagers, (*a fortiori* ceux concernant l'évaluation des performances environnementales d'un bâtiment), et que ces derniers ne sont pas habitués à agir en fonction de leur éventuelle lecture.

Les indicateurs environnementaux sont considérés d'un côté comme utiles auprès des experts concernés, mais difficilement compréhensibles ; d'un autre côté ils sont considérés comme relativement rebutants de par leur complexité, et pas toujours fiables, de par l'incompréhension qu'il peuvent susciter.

Il n'y a pas de consensus de lecture d'un indicateur environnemental par les acteurs grand public, contrairement aux acteurs scientifiques.

Pour les acteurs grand public, les qualités essentielles pour une bonne compréhension et une appropriation des indicateurs sont qu'ils soient :

- issus de mesures concrètes et de principes compréhensibles,
- rendus sous une expression plutôt qualitative que quantitative,
- dotés d'une signification acceptée de style de vie et d'usages,
- fiables et correspondent aux préoccupations environnementales de la vie et des décisions des acteurs.

L'intérêt majeur est porté par ces acteurs aux indicateurs traduisant des problèmes environnementaux **locaux**, dans le temps et dans l'espace, portant préférentiellement sur l'ambiance intérieure, et l'utilisation des fluides aisément perceptibles (déchets d'activité par exemple). Les résultats des sondages IPSOS donnés en (4-2-3) illustrent les indicateurs perçus et qui commencent à être compris par le grand public. **Les indicateurs connus par le grand public restent peu nombreux, et souvent seulement partiellement compris.**

#### 4-1-2-5 Maîtres d'oeuvre

Il s'agit principalement des architectes, bureaux d'études et concepteurs de nouvelles technologies du domaine du bâtiment.

Les objectifs de ces acteurs sont principalement de :

- défendre leurs compétences de professionnel et généralistes de la création de bâtiments,
- éviter toute restriction à leur degré de liberté de dessin,
- éviter l'introduction de contraintes ennuyantes, consommatrices de temps et peu rémunérées.

Les différentes discussions de maîtres d'oeuvre lors des troisièmes assises de la démarche HQE® montrent qu'une partie de ce corps de métier considère les indicateurs environnementaux comme :

- un frein au droit légitime des architectes à définir eux-mêmes le « bâtiment écologique »,
- un danger à la liberté de création architecturale,
- l'introduction de travaux supplémentaires contraignants qui se situent en dehors de leur champ de compétences.

Malgré ces réticences, la contrainte environnementale est globalement comprise. Les indicateurs environnementaux préférentiellement admis sont les indicateurs de type check-list, basés sur des principes et des mesures concrètes, amenant des informations (indications) non ambiguës, et amenant des réponses réalistes aux questions quotidiennes de la maîtrise d'oeuvre.

La demande principale vers les indicateurs est qu'ils soient :

- faciles à utiliser,
- ne demandent pas de travail supplémentaire,
- ne restreignent pas la liberté de création architecturale,
- soient dans le champ de compétence des maîtres d'oeuvre,
- soient préférentiellement qualitatifs que quantitatifs.

Les indicateurs environnementaux les plus intéressants pour ces acteurs sont des indicateurs locaux, (ambiance intérieure, qualité esthétique, ergonomie) ; le réchauffement climatique et l'utilisation des ressources sont également considérés comme pertinents.

Nous citerons ici la présentation de la restructuration en 2001 d'une école sur la ville d'Angers [[www.angers.fr/](http://www.angers.fr/)]. Le document, émis par le gestionnaire de l'école, présente clairement les objectifs d'une démarche environnementale, et appuie les efforts de management à mettre en oeuvre sur la chaîne « conception-réalisation-exploitation » du bâtiment. Les indicateurs environnementaux présentés constituent une description des actions prévues. Ce document de communication, que nous estimons très

bien conçu, est une illustration de **la difficulté** et du **besoin d'évaluation** d'un bâtiment. En effet, malgré l'effort de transparence et d'information réalisé, le document ne donne aucun chiffre d'impacts ou d'émissions à l'environnement qui matérialise concrètement les incidences d'exploitation du bâtiment, et informe sur les impacts environnementaux.

Les liens entre les maîtres d'œuvre lors de la création d'un bâtiment, et le management de gestion et d'usages adaptés à mettre en œuvre dans la phase de vie du bâtiment, sont peu développés et appliqués. La chaîne de la qualité environnementale a tendance à s'arrêter à la réception des travaux, ce qui est insuffisant.

### 4-1-3 Principes pour une bonne communication entre les différents acteurs

#### 4-1-3-1 Les obstacles à un langage commun pour les indicateurs environnementaux

En repartant des liaisons explicitant les 4 acteurs de la perception des problématiques environnementales liées au bâti, (**figure 71**), nous avons élargi les contraintes aux exigences et perception de ces acteurs tels que nous venons de les appréhender.

Ainsi, la **figure 72** fait apparaître des degrés de relations entre les effets contraignants pour chaque classe d'acteurs.

Esquissons ici une qualification globale des relations entre les acteurs afin d'identifier les obstacles à la communication et à la compréhension des indicateurs environnementaux.

Les scientifiques proposent des indicateurs environnementaux fiables, parfois complexes, et significatifs.

Les décideurs, (maîtres d'ouvrage et gestionnaires) interprètent les indicateurs et hiérarchisent les priorités d'une construction ou les choix d'une gestion.

Les acteurs grand public élisent les décideurs, utilisent les bâtiments, et sont récepteurs des efforts de sensibilisation aux enjeux environnementaux.

Enfin, les acteurs de maîtrise d'œuvre et les entreprises prestataires de services proposent une solution répondant aux demandes des décideurs, et doivent intégrer les exigences environnementales dans leur conception ou leur domaine de compétence (suivi et réglage des installations par exemple).

Les **acteurs scientifiques** et les **acteurs de gestion** ont une relation **proche** : leurs exigences sur les indicateurs environnementaux sont similaires (rigoureux, fiables, quantitatifs), et ils sont intéressés par les indicateurs traduisant les échelles globale et régionale d'impacts. Les différences et obstacles de langage que l'on peut observer, à partir des différentes évaluations réalisées et publiées, sont :

- les unités d'expression, imprécises et variables quand elles ne sont pas publiées par des acteurs scientifiques ; mais perçues comme complexes pour certaines (énergie primaire par exemple)
- le contenu des indicateurs ; les acteurs scientifiques vont préférer les indicateurs rigoureux, alors que la demande des gestionnaires va être des indicateurs simples, clairs et synthétiques.

Les **acteurs scientifiques** et les **acteurs grand public** ont une relation **faible**. Les différences de connaissances engendrent une distance importante entre ces deux catégories d'acteurs. Le meilleur terrain d'écoute des acteurs grand public vers les aspects scientifiques de l'évaluation d'un bâtiment est l'ambiance intérieure, notamment à travers les indicateurs de santé et de confort.

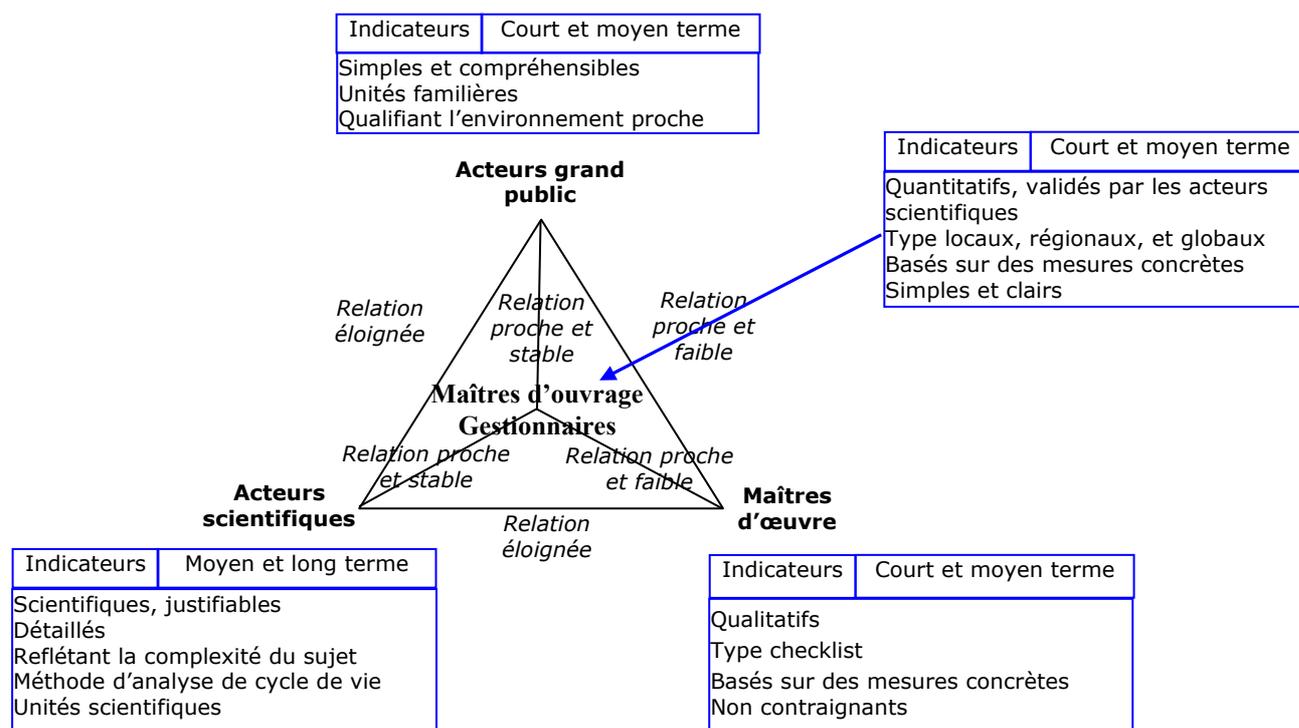
Avec les **maîtres d'œuvre**, les **acteurs scientifiques** ont une relation **faible**. Les maîtres d'œuvre considèrent globalement les indicateurs environnementaux comme intéressants dans une évaluation. Ils manquent encore de connaissance environnementale pour les intégrer pleinement dans leurs travaux et accepter les contraintes qui peuvent découler du calcul ou des résultats des évaluations.

Les **acteurs de gestion** et les **acteurs grand public** ont une relation **proche**, avec la même demande de simplicité et de clarté pour les indicateurs environnementaux. Cependant les acteurs de gestion préfèrent les indicateurs scientifiques fiables basés sur le principe de l'analyse en

cycle de vie, alors que les acteurs grand public vont mieux s'appropriier des indicateurs familiers, comme une consommation d'électricité ou de gaz. L'effort de formation est à appuyer à ce niveau.

Les **liens les plus forts** sont les liens entre les **maîtres d'ouvrage** et les **acteurs scientifiques** ; les liens les plus **faibles** sont entre les acteurs **grand public** et les **maîtres d'œuvre**. La relation entre les maîtres **d'œuvre** et les **scientifiques** est également **faible**. Cette toile des relations entre les 4 types d'acteurs de communication des indicateurs environnementaux indique les liens à renforcer à travers différents modes de formation et de sensibilisation.

Figure 72 : Langages et objectifs des 4 acteurs d'utilisation des indicateurs environnementaux du bâti



Plusieurs niveaux de communication peuvent être développés selon la volonté des acteurs de s'investir dans des effort de compréhension et de formation sur :

- les indicateurs environnementaux,
- les objectifs et besoins des autres sphères d'acteurs.

Les obstacles à un langage commun sont la lisibilité et la simplicité des indicateurs environnementaux, car ils traduisent des notions temporelles et spatiales d'impacts parfois complexes.

Une uniformisation des unités d'expression est également nécessaire. Selon les acteurs, la demande est variable sur la nature des indicateurs (quantitatifs, qualitatifs), leur sens (échelle spatiale et temporelle) ; la diversité de culture et de connaissance des acteurs soutend ces différentes exigences et objectifs sur les indicateurs environnementaux.

L'accessibilité, la qualité et le coût des données sont également importants pour l'obtention des indicateurs.

L'objectif est donc d'amener une compréhension des enjeux environnementaux qui permette de déplacer la préoccupation des acteurs depuis leur environnement proche (le confort et la santé pour le grand public, la liberté de création pour les maîtres d'œuvre) vers l'environnement réel, au sens scientifique.

Les relations entre les acteurs sont cependant en constante évolution, à travers les débuts de campagnes d'information réalisées, ainsi que les multiples impacts environnementaux de plus en plus manifestes, dans un contexte actif de prise de conscience des dégradations de l'environnement.

#### 4-1-3-2 Quel langage des indicateurs environnementaux et pour quels acteurs ?

A partir de l'analyse des différents modes de langages des acteurs gravitant autour du bâtiment, nous résumons et commentons ici les trois scénarios possibles de relations entre les différents acteurs (extrait de [Dammann, 2004]), depuis la version la plus avancée à la situation actuelle, que dessine la réglementation.

- 1) "*Relations avancées*" : les indicateurs environnementaux développés et transmis entre les 4 différentes catégories d'acteurs sont tous utilisés, et l'absence de langage commun est pallié par des efforts importants de communication. Cette situation est aujourd'hui peu probable en l'état d'avancement de la formation des différents acteurs, hors acteurs scientifiques.
- 2) "*La science démocratisée*" : les acteurs scientifiques, le grand public et les décideurs se mettent d'accord sur des indicateurs globaux et locaux, basés sur la méthode d'analyse en cycle de vie, et en accord avec la simplicité demandée par les maîtres d'ouvrages, les gestionnaires et le grand public. Plusieurs niveaux d'agrégation des indicateurs sont proposés pour pouvoir à la fois, rendre compte d'indicateurs complexes vers les acteurs grand public, et garder le niveau de complexité des indicateurs environnementaux pour les acteurs scientifiques.
- 3) "*Restons simples*" : le grand public (les usagers), les décideurs et les architectes se mettent d'accord sur des indicateurs types 'check-list', simples et concrets, caractérisant un milieu aux frontières limitées (niveau local et non global). Ce scénario, s'il constitue une base d'avancée d'un langage commun, présente le danger de ne pas favoriser une prise de conscience avertie des dangers et de la réalité des impacts environnementaux.

Chacun de ces trois scénarios devra respecter les paramètres d'action de sensibilisation précédemment évoqués :

- ne pas être alarmiste, cela risquerait d'engendrer un comportement de repli des personnes, qui peut déjà s'observer pour certains usages (cas des transports et du confort thermique en particulier),
- ne pas fixer des objectifs trop ambitieux, cela découragerait les usagers,
- faire le lien entre l'environnement global, dont l'utilisateur ne se sent pas concerné, et son environnement immédiat, qui le préoccupe beaucoup plus,
- et surtout être accompagnée sur le terrain, par un suivi de la mairie, du gestionnaire, via un bilan annuel, ...

Il est nécessaire que les **usagers se sentent concernés**, responsables par leurs actes à la fois de consommateurs et d'éducateurs, et soient récompensés concrètement de leurs efforts : par exemple par un report du budget énergétique économisé, sur le budget de la coopérative ou le budget pédagogique de l'école, mais aussi par une **satisfaction psychologique** et une **valorisation de soi**. Il est envisageable de mettre en place à la fois l'**affichage des engagements**, à chaque niveau de responsabilité (différentes catégories d'usagers, gestionnaires), ainsi qu'un système de pénalisation en cas d'écart important. Ce système de pénalisation peut revêtir des formes uniquement informatives (affichage des mauvaises performances), ou passer par une réalité financière, mais cet aspect de **sanctions de mauvaise gestion** ou de mauvais usages reste **délicat**.

## 4-2- Quelques opérations de communication réalisées

### 4-2-1 La communication sur l'environnement et ses objectifs en France

Nous ne développerons pas le sujet riche et large de la communication sur l'environnement en France. Notre objectif ici est d'en souligner à la fois les faiblesses, voire les incohérences, mais aussi les efforts et les résultats.

Les objectifs de ces campagnes de sensibilisation sont :

- alerter sans dramatiser,
- inciter à agir pour une cause d'intérêt général,
- montrer des gestes simples et de bon sens à mettre en œuvre en les expliquant,
- former.

Cependant, les actions annoncées ne semblent pas assez ambitieuses par rapport aux efforts qu'il faudrait consacrer à nos changements d'habitudes pour endiguer les multiples dégradations à l'environnement dont nous sommes responsables [Odum, 2006].

Citons ici un exemple concret. Le dossier de presse de communication des nouvelles mesures pour encourager les économies d'énergie, émis par le Ministère de l'Economie et des Finances [<http://www.industrie.gouv.fr/infopres/presse/>], déclare que « la loi du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique [...] se donne un cap sur les 30 ans à venir [...], recèle une vision, avec de véritables objectifs à long terme et tous les ingrédients pour une politique énergétique durable ».

Nous pouvons observer, en parallèle à ce texte, nos voisins européens, comme la Suède, déclarer pouvoir se passer de pétrole sur les 15 ans à venir [<http://www.sweden.gov.se/>], avoir un taux de production d'énergies renouvelables de plus de 25 % et en constante progression, avec en parallèle une régression de leur parc nucléaire. Un **questionnement** ne peut que se poser sur la volonté, les **engagements** et les **moyens** déployés par la France (mais aussi par d'autres pays) pour s'engager réellement sur une **politique énergétique** et sur la voie du Développement Durable, pourtant largement communiqué et présent dans les discours des différents dirigeants.

Signalons de plus **l'incohérence des messages envoyés vers le grand public**, entre les spots publicitaires extrêmement nombreux, encourageant la consommation à tout va, aveugle, irréfléchie, relayant le consommateur au rang de produit consommé par les grandes enseignes de commercialisation, et au milieu desquels apparaissent de temps en temps des messages de développement durable, d'économies d'énergie, dont on ne peut que se féliciter mais qui perdent beaucoup de leur contenu et peuvent même perdre leur sens et leur valeur au vu à la fois du peu d'espace qu'ils prennent sur le paysage médiatique, et de la place incohérente et insuffisante qui leur est accordée.

Ceci dit, nous restons les premiers responsables de nos choix de consommateurs. Un certain nombre d'efforts sont réalisés par les pouvoirs publics, et commencent à être perçus par le grand public ainsi que par les différentes catégories de professionnels de notre société (industriels, professionnels du bâtiment, élus, etc.).

### 4-2-2 Synthèse de quelques opérations réalisées

D'une façon globale et aux différents niveaux de communication, du national au local, les opérations de sensibilisation sont en majorité des campagnes nationales et destinées vers le grand public (65 % des campagnes), comme résumé dans le **tableau 43**.

Tableau 43 : Répartition des niveaux de campagnes de sensibilisation en 2004  
 [http://www.industrie.gouv.fr/infopres/presse/]

Dimension	%	Destinataires	%
Nationale	65	Grand public	65
Régionale ou locale	35	Scolaires	14
		Autres (industriels, collectivités territoriales)	21

Les exemples principaux de communication vers le grand public sur les problèmes environnementaux et les conseils de bonnes pratiques sont présentés dans le **tableau 44**.

D'autres mesures, non pas de sensibilisation mais d'incitation, sont mises en œuvre, en particulier à travers les crédits d'impôts et les aides financières, pour :

- les équipements de production d'énergie renouvelable,
- l'amélioration de l'isolation thermique de l'habitat,
- l'acquisition de véhicules dits « propres » (gaz naturel de ville, gaz de pétrole liquéfié, combinés électrique/thermique).

L'exemple des véhicules pourrait être extrapolé vers le secteur des bâtiments. L'affichage de la performance environnementale a été mise en place et est désormais assimilée par les usagers : la consommation au kilomètre et l'émission de CO<sub>2</sub> au kilomètre. Le paramètre de consommation se retrouve sur le tableau de bord du véhicule sous forme de consommation moyenne instantanée. Ce principe pourrait être appliqué dans le bâtiment, afin de faire « lever le pied » aux usagers les moins attentifs.

Parallèlement aux campagnes massives de sensibilisation, beaucoup de publications vers le grand public et les professionnels (exemples : [Gauzin-Müller D, 2001 ; Deoux, 2005]) alertent sur les sujets de qualité environnementale et de santé. Les manifestations nationales, régionales et locales de professionnels sont également en constante augmentation.

Tableau 44 : Exemples de campagnes nationales de sensibilisation à l'environnement

Nom de la campagne	Thématique(s)	Durée	Moyen(s)	Résultats
Faisons vite, ça chauffe -ADEME- 	Economies d'énergie et réchauffement climatique	Mai 2004 – aujourd'hui	Spots TV, radio, (RTL, France Inter, Europe 1, RMC Info, Nostalgie), presse écrite, site web	1400 actions concrètes enregistrées par le Club Planète Gagnante en 2004, 2500 en 2005
Réduisons vite nos déchets, ça déborde -ADEME- 	Gestion des déchets Consommation responsable	2005 – aujourd'hui	Spots TV, radio, presse écrite, site web, panneaux d'affichage	1400 actions concrètes enregistrées par le Club Planète Gagnante en 2004, 2500 en 2005
Défi pour la planète -Fondation Nicolat Hulot- 	Globale	Mai 2005 – aujourd'hui	Spots TV, radio, presse écrite, site web	Plus de 300 000 signataires en 2006
1000 défis pour ma planète -MEDD, MJENR, MAAPAR- 	Globale, éducation à l'environnement (pour les – de 26 ans)	1993 – aujourd'hui	Opérations terrain, diffusion via : radio, presse écrite locale et nationale, site web	1149 projets déposés en 2002, 867 sélectionnés en 2002
Semaine du développement durable -MEDD- 	Développement durable – toutes thématiques environnementales, sociétales et économiques	Une semaine par an depuis juin 2003	Actions concrètes terrain (27 % en sensibilisation) Diffusion par spots TV, site Web, presse écrite et radio	1410 actions sélectionnées, 744 labellisées (2005) -567 actions associatives -506 actions territoriales -120 actions scolaires -140 actions d'entreprises
Opération « Stop Pub » -MEDD- 	Limitation du gaspillage via les imprimés de publicité	2004 – aujourd'hui	Distribution d'une affichette	5 % des français l'affichent sur leur boîte aux lettres en 2005
Opération « Il y aura-t-il assez d'eau pour tout le monde » -MEDD- 	Limitation du gaspillage de l'eau potable	2006 – aujourd'hui	Presse quotidienne régionale	En cours

### 4-2-3 Retours d'expérience et perception des indicateurs environnementaux en France

Peu de retours d'expérience sont disponibles ; car peu de diffusions des indicateurs environnementaux ont été réalisées, et aucun dans le secteur du bâtiment jusqu'à très récemment, en particulier vers le grand public. Nous abordons la question du retour des efforts d'information en donnant quelques chiffres de ce que le grand public sait et de ce qui le préoccupe dans le domaine de l'environnement.

Ces chiffres sont issus d'enquêtes IPSOS

- Les 10-15 ans <sup>1</sup> :
  - les deux tiers des 10-15 ans sont inquiets pour l'avenir de la planète, en ce qui concerne la nature et l'environnement ; ils pensent pour une très grande majorité que les choses vont en se dégradant,
  - 9 jeunes sur 10 pensent que la planète sera en moins bon état qu'aujourd'hui en 2025 si on ne fait rien,
  - plus de 7 jeunes sur 10 se montrent critiques vis-à-vis de leurs aînés. 60% estiment qu'ils font certes des efforts mais qu'ils pourraient en faire plus, tandis que 14% considèrent qu'ils n'en font pas assez,
  - 34% sont prêts à toujours éteindre la lumière en sortant d'une pièce,
  - 36% toujours trier les déchets dans différentes poubelles de la maison,
  - 14% à inciter le plus souvent possible leur famille à utiliser les transports en commun plutôt que la voiture,
  - 11% à bien vouloir toujours mettre un pull ou une autre couverture, plutôt qu'augmenter le chauffage,
  - 9% à ne jamais gaspiller du papier, et utiliser du papier recyclable,
  - 34% des 10-15 ans considèrent que c'est par la télévision qu'ils s'informent le mieux sur l'état de l'environnement et de la nature, les professeurs arrivant en deuxième position (24%).

Les inquiétudes principales restent analogues à celles des adultes : pollution de l'air (43%) et réchauffement climatique (32%). Suivent la disparition des espèces (30%), la pollution de l'eau (28%), et la disparition des forêts (26%).

- Les adultes :
  - deux Français sur trois ont déjà entendu l'expression " développement durable ",
  - moins d'un Français sur 10 l'appréhende dans toutes ses dimensions,
  - 8 % associent spontanément les trois piliers du développement durable (économie, social et environnement),
  - hiérarchisation des priorités : la protection de l'environnement et des grands équilibres de la planète (34 % ), suivie de l'équité sociale et la lutte contre la pauvreté et les inégalités (32 %) et une nouvelle forme de croissance économique (24 %).

L'étude montre aussi que les Français attendent en priorité des **informations pratiques** sur le développement durable et se déclarent prêts à des comportements plus responsables:

- 94 % des personnes interrogées disent limiter leur consommation d'eau et d'énergie,
- 89 % déclarent trier leurs déchets ménagers,
- 88 % déclarent privilégier l'achat de produits respectant les règles du commerce éthique.

---

<sup>1</sup> Document du site de l'ADEME. L'enquête a été réalisée par téléphone sur un échantillon national représentatif de 504 jeunes de 10-15 ans du 29 avril au 2 mai 2005.

Les sondages IPSOS donnent quelques indications de l'impact de ces campagnes de sensibilisation. Ainsi, les personnes interrogées déclarent avoir modifié dans leurs usages :

- Extinction des lumières inutiles (45 %)
- Utilisation d'ampoules à économie d'énergie (14 %)
- Economiser l'eau (25 %)
- Prendre une douche au lieu d'un bain (10 %)
- Utiliser au mieux le thermostat (15 %)

En revanche, très peu de personnes mettent en avant les deux grands potentiels d'économies d'énergie : les transports et l'isolation des bâtiments. La préoccupation environnementale arrive en tête de liste des inquiétudes des personnes interrogées (60 % des personnes la classent en 1<sup>er</sup>).

La question se pose quant à l'efficacité des efforts de sensibilisation, pour une prise de conscience et une modification des mentalités à long terme. Changer la façon dont les gens envisagent certains actes au point qu'ils fassent un effort conscient pour adopter une attitude différente et durable sur des années est un travail difficile, qui ne peut se mesurer que sur le long terme. Si l'impact immédiat d'une campagne de sensibilisation est facile à établir via des indicateurs de nombre de prospectus distribués, de consultation de site Internet, d'enquêtes, c'est une observation terrain et quantifiée sur les impacts environnementaux eux-mêmes qui permettra de répondre à la question de savoir si les mentalités ont effectivement changé.

Une étude réalisée par l'ADEME et l'institut IPSOS rassemble des informations sur la perception d'un indicateur diffusé vers le grand public, l'effet de serre et le changement climatique.

- 71 % des personnes pensent que la problématique de l'effet de serre est une certitude
- plus de 60 % des personnes ne savent pas définir même vaguement ce qu'est l'effet de serre
- 75 % des personnes pensent qu'il faut modifier en profondeur nos modes de vie et de consommation.

Au regard de ces différents sondages, il est clair que les problématiques environnementales éveillent les intérêts ; cependant, pour des raisons économiques, par des déficiences d'éducation, des manques de clairvoyance, ces préoccupations ne trouvent pas encore d'écho significatif dans nos modes de vie et nos rythme de consommation, ni dans la quantité et la qualité des informations mises à la disposition des différents acteurs. L'introduction plus systématique de tableaux de bord environnementaux peut contribuer à cette défaillance d'information face à nos modes de vie, d'usages et de consommation.

### **4-3- Communication des indicateurs : proposition d'un management environnemental d'exploitation**

Nous venons de voir que les indicateurs environnementaux ne sont pas simples à communiquer efficacement entre les différents acteurs de l'exploitation d'un bâtiment. Nous proposons ici un compromis de simplicité et de diversité des indicateurs environnementaux développés en deuxième partie de ce travail.

#### **4-3-1 Management environnemental à destination des usagers**

##### **4-3-1-1 Critères de management d'usage**

Le management est un concept voisin de celui de la gestion. Il correspond à l'ensemble des techniques visant à optimiser l'usage des ressources d'une organisation, d'un groupe de personnes, en vue de la réalisation d'un objectif, ici l'information, la prise de conscience des responsabilités de chacun, pour changer et optimiser les utilisations du bâtiment et de ses systèmes.

Nous avons extrait du Thésaurus Larousse 1992 les concepts qui nous semblaient intéressants à rassembler autour de la notion de management et organisation : « conduite, gestion, coordination, communication, schématisation, planification, programmation, prédiction ». Nous retenons en priorité :

- Communication
- Gestion
- Prédiction

Et nous rajouterons identification.

L'un des outils de **communication** et de **gestion** des acteurs est le tableau de bord. Il rassemble différents indicateurs d'évaluation (communication), des préconisations d'amélioration conseillées et des responsables des actions, avec un calendrier de mise en œuvre (gestion), et propose une projection à la fois des améliorations possibles et des impacts environnementaux (prédiction).

Le tableau de bord, les indicateurs et les quelques préconisations d'usages mises en face vont remettre en cause l'usager et la finalité d'une partie de ses gestes quotidiens. Dans leur environnement proche, où beaucoup de commodités sont mises en place et de nombreuses habitudes sont prises, la remise en cause et le changement des pratiques va dépendre d'une multitude de facteurs. Si nous ne pouvons agir sur l'individu, nous pouvons réfléchir au meilleur moyen de l'interpeller et de susciter un passage à l'acte, car tout l'enjeu des efforts de communication est là. L'usager ne doit pas être spectateur devant le tableau de bord. Il doit se l'approprier et s'en sentir acteur et responsable. Le tableau et ses indicateurs doivent présenter des liens directs et évidents entre l'usager et les améliorations ou bonnes pratiques recommandées. C'est le concept d'identification, le plus difficile à réaliser, car rencontrant le plus de résistance.

#### 4-3-1-2 Exemple de tableau de bord à destination des usagers

La forme suggérée est le poster, une affiche de taille A0 (suggestion) disposée par exemple dans l'entrée du bâtiment, ou dans un endroit où tous les usagers circulent et peuvent consulter les informations mises à leur disposition. Cette forme a été préférée à l'unanimité lors de l'enquête auprès des usagers. Les autres formes suggérées étaient un cahier d'information (format magazine A4), ainsi que des affichettes réparties dans le bâtiment (qui ont également suscité l'intérêt des usagers).

La stratégie de présentation des indicateurs environnementaux et des bonnes pratiques peut passer par :

- Une identification simple de chaque indicateur environnemental. Cette **identification** peut être **imposée** (logo pour l'eau, l'énergie, les déchets, l'information, etc.), ou bien **libre** à une **appropriation par les usagers**, en particulier dans les établissements d'enseignement.
- Une campagne d'affichage via le poster mais aussi via des petites **plaquettes** positionnées au niveau des **commandes** des différents systèmes que l'usager utilise (interrupteurs, appareils, poubelles...).
- Une brochure ludique, mise à disposition des personnes en demande d'information plus complète, faite en papier recyclé à haut rendement, pour montrer l'exemple..
- Eventuellement inscription du bâtiment qui effectue une opération particulière à la semaine du développement durable.

La présentation peut revêtir plusieurs aspects, libre selon le réalisateur du poster.

Les qualités que doit réunir cette forme de présentation poster du tableau de bord sont les suivantes : simplicité, concision, clarté, avec une touche d'humour ou autre aspect ludique, qui nous semblent essentielle à une accroche puis à la lecture complète du tableau.

Les indicateurs proposés ici sont regroupés par type de fluide pour une bonne compréhension par le destinataire du média.

Le tableau de bord des usagers ne se préoccupe pas de la performance notée du bâtiment par rapport aux autres bâtiments du parc géré par la commune. Cette information est destinée aux gestionnaires.

En revanche il présentera cette information sous la forme du potentiel d'amélioration visé, c'est-à-dire des économies réalisables en comparaison au bâtiment le plus performant du référentiel d'évaluation. De cette façon même si le bâtiment a une bonne performance, les usagers restent toujours encouragés à mettre en œuvre une démarche d'amélioration de leurs usages.

Au niveau du management des actions, parmi les usagers du bâtiment il est nécessaire de mettre en place un certain nombre de responsables d'actions, comme l'expose le **tableau 45**, qui présente le management environnemental au niveau pour les usagers. La trame globale est une **information** des usagers par le gestionnaire, puis l'**établissement** avec les usagers des **objectifs** de qualité d'usages, passant par une certaine supervision de **responsables** nommés à cet effet

Les échelles de temps peuvent aller de un an dans une première phase de mise en place du management environnemental, d'acceptation et d'appropriation des différentes responsabilités, puis se réduire à l'échelle trimestrielle, si le bâtiment peut s'équiper d'un tableau de bord digital par exemple, comme nous l'avons évoqué en 4-2-2.

Ces actions peuvent être rassemblées et intégrées à un Agenda 21 de l'école.

La personne désignée pour vérifier globalement que les actions sont menées peut être la Directrice de l'école ; c'est cependant déjà la personne la plus chargée en tâches administratives. Une personne responsable de l'entretien peut être chargée du respect des consignes de tri des déchets, et faire remonter au gestionnaire les problèmes de gaspillage de nourriture s'ils dépassent les 20 % par exemple.

L'attention continue sur l'utilisation de l'éclairage, de l'eau, est l'affaire de chacun et peut s'introduire par une campagne de sensibilisation que le personnel enseignant et les enfants peuvent s'approprier via un programme pédagogique.

Cette démarche a été lancée sur les deux écoles suivies, avec une aide financière de la Mairie, de l'ADEME et de la Communauté Urbaine :

- chaque classe s'est équipée d'une poubelle à triple compartiment pour le papier, le verre et le plastique. un container à pile est disposé à l'entrée des écoles.
- différents programmes pédagogiques de 6 semaines ont été mis en place pour chaque section (petite, moyenne et grande), et couvrent des domaines de l'environnement adaptés à la maturité des enfants (déchets, cycle de l'eau, etc.).

L'annexe 17 présente des posters types pour les usagers et les gestionnaires, pour l'école Bellegrave et l'école Jules Ferry.

Tableau 45 : Organisation de la gestion environnementale d'un bâtiment en exploitation pour les usagers

Que faire	Qui le fait	Comment	Quand
<b>Première réunion d'information</b> sur la problématique environnementale et la volonté de prendre les choses en main au niveau du bâtiment	La mairie La directrice	Réunion avec tous les usagers du bâtiment (sauf enfants)	Dès que la décision est prise unilatéralement entre la direction de l'école et le gestionnaire
Deuxième réunion avec <b>annonce des objectifs</b> d'usages, et présentation des <b>moyens d'actions</b>	La mairie La directrice	Réunion avec tous les usagers du bâtiment (sauf enfants)	Deux semaines après la première réunion par exemple
Fixer les <b>priorités</b> d'action par responsable	Le gestionnaire avec les usagers	Réunion avec tous les usagers du bâtiment (sauf enfants)	Pour le long terme
<b>Nommer</b> plusieurs <b>responsables</b>	Volontariat, entente entre les usagers, sous la direction d'un responsable (le gestionnaire)	Réunion avec tous les usagers du bâtiment (sauf enfants)	Pour un an minimum
Responsabiliser sur les éclairages	Le responsable désigné de l'éclairage	Affichage, discussions	En continu
<b>Noter les dysfonctionnements</b> et les transmettre au gestionnaire	Le responsable du personnel d'entretien	Emails, notes	En continu
Responsabiliser sur le chauffage	Le gestionnaire	Réunion 2 : concertation sur un cahier des charges établi par le gestionnaire, avec aide extérieur si nécessaire	Au plus tôt, démarrage en début d'année
Responsabiliser sur les consommables	Le responsables déchets	Discussion, affichage	En continu
Informersur la consommation d'eau	Le responsable eau	Affichage, discussion	En continu
Réaliser un <b>programme pédagogique</b> sur chacun des thèmes eau énergie déchets consommables	Le personnel enseignant	Enseignements, projets, sortie, interventions extérieures	Cycle de 6 semaines par an sur 3 ans

E  
V  
O  
L  
U  
T  
I  
O  
N  
  
C  
H  
R  
O  
N  
O  
L  
O  
G  
I  
Q  
U  
E

## 4-3-2 Management environnemental à destination des gestionnaires

### 4-3-2-1 Critères de management de gestion

Deux critères de management de gestion vont être l'activité du bâtiment et sa taille. Un bâtiment de grande taille demandera un maillage de la gestion par zone par exemple. L'activité du bâtiment sera importante dans la forme et le contenu que la campagne d'information pourra revêtir.

L'état général et les équipements dont dispose le bâtiment vont être des critères de gestion importants. Par exemple si le bâtiment est équipé d'une gestion technique centralisée, la gestion environnementale à mettre en place sera plus aisée que sur un bâtiment sans suivi ni réglages possibles à distance, et l'organisation conséquente sera plus lourde.

Pour communiquer le management de gestion, plusieurs médias sont envisageables.

- La première forme de communication nous semble être la réunion d'information de mise en place du management environnemental, avec comme pour les usagers, l'établissement d'objectifs et de responsables bien identifiés.
- Ensuite, la forme de cahier permettrait de rassembler les informations nécessaires, d'être facilement consultable, transportable, transmissible, reproductible. Par exemple une brochure mise à disposition des personnes en demande d'information plus complète.
- La mise en place d'une rubrique sur le site web de la collectivité ou de la structure qui s'engage dans une gestion durable de ses bâtiments.

Pour une valorisation des efforts réalisés par les services et les personnes, une diffusion de l'information par relais radios et presse écrite locale peut être effectuée, en parallèle à une inscription des efforts de sensibilisation aux événements des agendas 21 scolaires, ou, encore, à la semaine du développement durable.

Le site Internet, ou le cahier, devront contenir à minima les informations rassemblées en annexes 15.

Ils devront, tout comme le poster, être simples, concis, clairs, et intégrer la partie responsabilités par type d'acteur de gestion du management.

Le tableau de bord des gestionnaires intégrera la notion de notation du bâtiment par rapport aux autres dans un souci de hiérarchisation des priorités d'action.

Les indicateurs proposés en annexe sont regroupés par type de fluide, pour une bonne compréhension par le destinataire du cahier.

Le tableau de bord et ses indicateurs aident le gestionnaire administratif et technique à fixer des objectifs en matière de gestion environnementale.

La page suivante présente le contenu type du cahier à destination des gestionnaires ; l'exemple pris est celui de l'école Jules Ferry.

Les améliorations proposées sont celles menant à la performance 'A'. Cela peut paraître exigeant pour les bâtiments les moins performants, mais les potentiels d'amélioration constituent un objectif ainsi qu'une information sur les meilleures potentialités en l'état du parc bâti. Il permettra par la suite de savoir de combien on s'est rapproché de l'objectif, après une action corrective. De plus, prendre la borne 'A' comme comparatif permet de mesurer la 'distance' avec les meilleurs bâtiments, ce qui donne une idée de la priorité d'action. La priorité d'action doit cependant être recoupée avec les chiffres globaux d'émission donnés par la méthode, c'est-à-dire ne pas fournir uniquement les ratios (par surface ou effectif).

Les petites flèches indiquent l'évolution de l'indicateur par rapport à une précédente évaluation. La flèche vers le haut signifie une amélioration de l'indicateur (donc une flèche de coût qui monte signifie des coûts qui diminuent), le référent étant l'année passée. En conséquence, cette évaluation étant la première, il n'y a pas de comparatif pour les thèmes qualité de vie, usage et gestion (les factures permettent une comparaison pour les indicateurs de coûts, de consommations et d'émissions à l'environnement).

Suite au **tableau de bord** récapitulatif des performances environnementales du bâtiment et des objectifs d'amélioration à mettre en main des gestionnaires administratifs et techniques, suit la synthèse de l'**organisation de la gestion environnementale** de l'évaluation, du suivi et de l'amélioration des performances du bâtiment.

Ces actions, leur ordre dans le temps et l'identification des acteurs et responsables clé sont indispensables pour atteindre les objectifs d'amélioration que l'on se donne.

Des exemples de tableaux de bord sont proposés en annexe 15.

#### **4-3-2-3 Structure de management de gestion proposée**

Un gestionnaire tel une administration publique est l'un des acteurs de société qui se doit de donner l'exemple, en mettant en place un management environnemental dans la gestion de ses bâtiments, et en communiquant de façon transparente sur ses résultats. Le **tableau 46** présente une structure possible de mise en place, puis de fonctionnement acquis et ordinaire d'un management environnemental.

Le contenu de cette gestion est en relation étroite avec le management environnemental des usagers.

La trame globale est une **phase d'information** des acteurs de gestion, internes à la structure de gestion administrative du bâtiment ainsi qu'externe (entreprises, prestataires de services, fournisseurs).

Cette phase d'information est menée en parallèle d'une **première évaluation des bâtiments** gérés par la commune (en l'occurrence), qui permet d'identifier les bâtiments où l'action est prioritaire.

Par la suite les **objectifs** d'amélioration sont fixés par les gestionnaires, en collaboration avec une aide extérieure si besoin est. A chaque objectif sont assignés un responsable ou un groupe de responsables, ainsi qu'une échéance.

Le coût en temps et le coût budgétaire de la mise en place d'un management environnemental est à prévoir, et à répartir sur les gains d'exploitation optimisée des bâtiments.

De plus et comme développé en 2-5-3, une certaine réorganisation des données d'exploitation des bâtiment est à mettre en place et à centraliser (données facturées, types et quantités d'achats, etc.).

Il est clair que la motivation des différents acteurs entrants dans la mise en place d'une gestion environnementale est essentielle et déterminante pour les résultats, et que cette motivation passera par les connaissances et les repères de valeurs des différents acteurs.

Tableau 46 : Management environnemental d'un bâtiment en exploitation pour les gestionnaires

Que faire	Qui le fait	Comment	Quand
Effectuer une <b>analyse environnementale</b> fixant les bâtiments à action prioritaire	Le gestionnaire : services techniques	Utilisation d'un outil d'analyse de patrimoine	Une fois par an pour chaque bâtiment au moins
Réaliser le <b>tableau de bord</b> par une analyse environnementale complète sur les bâtiments prioritaires identifiés	Le gestionnaire, assistance par une agence de l'énergie par exemple	Analyse des factures et réalisation de l'enquête à minima	Une fois par an pour les bâtiments les moins performants Moins souvent pour les bâtiments non prioritaires
Fixer les <b>priorités</b> d'action	Le gestionnaire	Par analyse du tableau de bord et des moyens disponibles : rédaction d'un cahier des charges des actions prioritaires à réaliser sur les bâtiments sélectionnés	Avant la réunion avec les usagers des bâtiments concernés
<b>Inform</b> er une première fois <b>les usagers</b> : des problèmes environnementaux liés au bâtiment ; de l'analyse environnementale de leur bâtiment	Le gestionnaire	Réunion 1 : information fixant la problématique et les solutions envisagées Proposer un <b>pourcentage</b> des économies réalisées répercutées sur le <b>budget pédagogique</b>	Au plus tôt, avant la proposition du plan d'actions
<b>Inform</b> er les <b>entreprises</b> et prestataires de la problématique et des projets d'amélioration en cours	Le gestionnaire	Réunion temps 1: ou/et courriers	Après analyse environnementale et cahier des charges des priorités d'action
<b>Imposer</b> un plan d'actions aux prestataires	Le gestionnaire	Réunion temps 2 : avec cahier des charges, échéancier, pénalités	Après information des prestataires et entreprises
<b>Proposer</b> un plan d'actions aux usagers	Le gestionnaire en accord avec les usagers	Réunion 2 : concertation sur un cahier des charges établi par le gestionnaire, avec aide extérieur si nécessaire	Au plus tôt, démarrage en début d'année
<b>Désigner</b> au niveau du bâtiment le <b>responsable des actions environnement</b> : personnel d'entretien, directrice, institutrice	Concertation usagers/responsable de la mairie qui prend note de la nomination de la personne ressource	Engagement volontaire pour un rôle de coordinateur(trice) : supervise les actions et leur déroulement Impliquer tous les usagers	Pour deux ans minimum Optimal à trois ans : durée du cycle pédagogique des enfants, les projets sont plus cohérents
Mettre en place une vraie <b>campagne d'information</b> dans le bâtiment	Le gestionnaire	Affichettes créées par les élèves Poster ou autre tableau de bord environnemental à l'entrée du bâtiment	Après avoir désigné le coordinateur environnement du bâtiment Durée max 6 mois avant changement des affichettes, durée de 1 an max pour le tableau de bord
Evaluer les nouvelles performances environnementales	Le gestionnaire	Utilisation d'outils type Ecoweb et OPALE pour une analyse complète	Un an après le début de la campagne et ou des actions correctives définies dans le cahier des charges

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Compte tenu des échelles de temps de renouvellement des parcs bâtis, la problématique environnementale posée est celle de l'exploitation des bâtiments existants, même s'il reste important d'intégrer dans la conception des nouvelles constructions la dimension environnement.

### *Analyse de la démarche*

L'ensemble des bâtiments en exploitation constitue un double enjeu environnemental. Un premier enjeu, direct, par les impacts environnementaux imputables à ce secteur d'activités anthropiques. Un deuxième enjeu, indirect, par la prise de conscience des gestionnaires et des occupants, c'est-à-dire de nous tous, et ce quels que soient nos niveaux de responsabilités, des impacts environnementaux engendrés par nos gestes quotidiens, non seulement sur les fluides eau et énergie, mais aussi sur les consommables et la gestion que nous en faisons, sur les transports, et enfin dans le message que nous passons à nos proches et à nos enfants.

L'évaluation des impacts environnementaux consécutifs à l'exploitation d'un bâtiment relève de plusieurs disciplines, qui ont encore du mal à travailler ensemble dans un objectif de réduction des émissions et des impacts vers l'environnement. Les domaines scientifiques impliqués dans l'évaluation quantifiée des différents composés émis vers les milieux, et les impacts qui résultent, constitue un premier ensemble de disciplines variées dont les protagonistes commencent à interagir (énergétiques, thermique, chimie, biochimie, écotoxicologie, etc.). Mais l'introduction de l'activité et du comportement humain dans le système « bâtiment-usagers » engendre des besoins d'études encore plus transversales, sociologiques, psychologiques, de communication, qui établissent le lien indispensable entre le domaine spécialisé des sciences d'évaluation des impacts environnementaux, et la lecture et l'appropriation que les gestionnaires et les usagers peuvent avoir. Ce lien est aujourd'hui peu investi dans les sujets de recherche et d'enseignement, alors que le besoin de transversalité est actuellement important pour permettre une compréhension de la complexité et des interactions nombreuses qui génèrent des impacts environnementaux.

### *Synthèse du travail*

Dans cette vision de la problématique, ce travail a proposé une méthode d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires, sur le domaine peu abordé des bâtiments en exploitation. L'objectif est de quantifier pour diminuer les émissions à l'environnement, à la fois par une sensibilisation des occupants, et une intégration de la préoccupation environnementale dans les objectifs, les actions et les obligations des gestionnaires et des usagers.

Dans notre première partie, l'analyse d'une part du parc existant en France et d'autre part des besoins des acteurs de son exploitation nous ont montré que la méthode d'évaluation devait prendre en compte deux éléments importants :

- tout d'abord la problématique environnementale elle-même, que nous avons simplifiée aux émissions à l'environnement,
- ensuite les besoins des utilisateurs de la méthode d'évaluation.

Nous avons par conséquent décidé d'évaluer un bâtiment en fonction des objectifs, des dispositions et du langage des acteurs de la phase d'exploitation. Six thèmes d'évaluation ont été développés, où sont distribués 26 indicateurs facilement compréhensibles. Cinq de ces thèmes sont indirectement liés à l'environnement : « coûts », « consommations », « confort santé », « performances d'usage », « performances de gestion ». Le thème « consommations » regroupe l'eau et l'énergie. Le thème « émissions à l'environnement » regroupe 5 indicateurs calculés à partir de la base des facteurs d'émission Okoinventare ; il prend en compte le cycle de vie le plus complet en l'état actuel des connaissances.

Deux des thèmes d'évaluation permettent de remonter aux causes des performances des thèmes « coûts », « consommations », « environnement » et « confort santé ». Ces 2 thèmes, « performances de gestion » et « performances d'usage », présentent les deux sujets de diagnostic du bâtiment. Ils permettent de refléter

la mise en place d'une organisation minimale d'exploitation du bâtiment pour une optimisation de ses performances, ainsi que l'implication et le niveau d'information des 2 familles d'acteurs que sont les gestionnaires et les occupants.

Les 6 thèmes d'évaluation sont regroupés sous forme d'une signature environnementale du bâtiment, qui constitue la présentation synthétique de l'évaluation. La méthode permet d'accéder à chaque indicateur, et est évolutive en cas de changement de type d'énergie ou de type d'usage par exemple.

Malgré la multitude d'indicateurs que l'on peut développer sur un bâtiment, nous avons choisi de réduire ceux-ci aux stricts paramètres de la gestion et de l'usage, sans actions conséquentes sur le bâti pour le calcul des potentiels d'amélioration. Les indicateurs, dont la liste est issue de dialogues avec les acteurs de la phase d'exploitation, et d'une lecture du référentiel DEQE de la démarche HQE<sup>®</sup>, sont simples et transparents, permettant une bonne appropriation par les utilisateurs, et permettant également d'identifier aisément la cause d'une mauvaise performance.

L'application de la méthode d'évaluation sur deux bâtiments d'enseignement préscolaire a permis de construire 2 types de campagne de suivi pour 2 niveaux d'évaluation d'un bâtiment en phase d'exploitation : un niveau minimum sans métrologie spécifique, basé sur une enquête ; et un niveau complet, permettant de déterminer avec une bonne certitude tous les indicateurs de la méthode.

Une version disponible sous tableur a été développée, que nous avons nommée OPALE (Optimisation des Performances par des Actions de Limitation des Emissions).

Un corollaire à ce travail a été la validation de la mise en œuvre d'un système de suivi fin des performances énergétique et de confort d'un bâtiment : le système ECOSYS, avec en particulier les capteurs TEHOR. L'étude montre les résultats et les avantages d'un suivi en continu d'un bâtiment par ce système. En revanche, le coût de mise en œuvre et de maintenance est encore très élevé. L'analyse de la base de données résultante a mis en évidence les postes de consommation où les potentiels d'économie (en quantité de fluide) sont les plus importants, à confort des occupants égal : éclairage (communs), ventilation et chauffage.

Nous avons proposé une réflexion sur la possibilité du passage d'une évaluation environnementale de l'échelle du bâtiment à celle du patrimoine. Cela consistait à discuter de la faisabilité de développer des indicateurs environnementaux sur un outil de suivi des performances énergétiques de patrimoines bâtis. Cinq indicateurs ont été proposés, dont trois sont directement opérationnels sur un outil existant (ECOWEB), avec les données dont dispose le gestionnaire ; les deux autres indicateurs requièrent une réorganisation des données plus exigeante par le gestionnaire, en particulier en ce qui concerne les produits consommables.

Pour terminer ce travail, et revenir sur les moyens de diminuer les impacts environnementaux dus à l'exploitation d'un bâtiment, nous avons analysé, bien que ce ne soit pas dans le domaine de compétences du Laboratoire TREFLE, et donc de façon sans doute marginale, le mode de communication entre la sphère des acteurs scientifiques et celles des autres acteurs. L'analyse des interactions entre les catégories d'acteurs identifiées de la phase d'exploitation, à savoir la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage et les gestionnaires, les occupants ou grand public, nous a permis de synthétiser les critères d'un indicateur environnemental efficace : simple, quantitatif, communiquant. L'aspect communication est délicat et déterminant pour opérer entre les différentes catégories d'acteurs, et par conséquent pour la mise en œuvre par tous des bonnes pratiques, et ce sur le long terme. Nous avons à la suite de cette discussion proposé un mode de management de gestion et d'usage, via différents tableaux de bord notamment.

#### *Applicabilité de la méthode*

Les résultats de l'évaluation de deux bâtiments d'enseignement préscolaire ont été présentés avec la méthode aux utilisateurs potentiels (gestionnaires, concepteurs désirant évaluer leurs réalisations, occupants), qui ont exprimé leurs désirs de discuter plus en avant de l'utilisation pérenne d'OPALE, sur les bâtiments dont ils assurent la gestion, ou qu'ils ont conçus.

### *Limites de la méthode*

Evaluer la qualité environnementale des bâtiments en exploitation est une tâche ardue, en raison de la complexité des phénomènes responsables des impacts environnementaux, et de la variabilité introduite sur le système par le comportement des hommes.

Pour ces raisons la méthode s'est limitée à une expression des émissions de polluants vers l'environnement, local ou global, et n'a pas abordé les impacts environnementaux. Pour certains indicateurs, les données sont actuellement difficiles à obtenir, comme la pollution des eaux, ou la nature, les quantités et le devenir des déchets. Par ailleurs, les calculs d'émission sont eux-mêmes dépendants de l'état d'avancement des connaissances sur les facteurs d'émission sur le cycle de vie complet des fluides concernés.

Le deuxième biais introduit par la méthode est la simplification importante du nombre d'indicateurs. Cette simplification a été opérée dans un objectif de lisibilité et d'utilisation opérationnelle de la méthode par les acteurs de gestion et d'utilisation des bâtiments.

### *Perspectives d'évolution de la méthode et des autres aspects du travail présenté*

L'évaluation des bâtiments en exploitation, et le retour de cette évaluation vers les gestionnaires et les occupants des bâtiments constituent un domaine relativement nouveau. L'outil développé, même dans sa première forme, simple et modeste, pourra constituer une aide à la gestion et à la décision pour les gestionnaires, et un guide vers des usages responsables pour les occupants.

L'un des prochains développements pourra être d'exprimer et de traduire les impacts environnementaux, et non uniquement les émissions. Il est également possible d'ajouter les indicateurs que nous avons éliminés pour cette première méthode d'évaluation, car trop complexes et incertains : toxicité humaine, biodiversité, épuisement des ressources.

Le tableur que nous avons développé pourra faire l'objet d'améliorations et être traduit dans un environnement informatique plus convivial.

La méthode pourra être appliquée à d'autres types de bâtiments (bureaux, lycées, ...), tertiaires ou résidentiels, et développer des indicateurs supplémentaires, spécifiques à chaque activité.

Il sera possible, après un premier temps d'appropriation de la méthode et de familiarisation avec les problématiques environnementales, de qualité de vie, d'introduire des indicateurs connexes, en particulier sur l'énergie renouvelable ou les transports propres, aujourd'hui malheureusement marginaux.

La base de donnée engendrée par l'instrumentation mise en place sur ces deux bâtiments pourra faire l'objet de multiples applications dans les domaines de la thermique du bâtiment, de l'énergétique, des usages. L'analyse de la base de données n'a en effet pas été poussée, et pourra servir à d'autres recherches sur la qualité environnementale des bâtiments, dont le diagnostic et la signature énergétique des bâtiments [Ahmrani, thèse CSTB en cours].

Sur un aspect plus technique, le travail a clairement montré les avantages énergétiques et qualitatifs pour l'air intérieur via l'utilisation d'un capteur de paramètres d'ambiance intérieure couplé au paramètre concentration de CO<sub>2</sub>, pour une optimisation de la ventilation mécanique, et pour les locaux à fréquentation importante (type écoles, bureaux, lycées, administrations, ...).

La possibilité du développement du principe de tableau de bord environnemental à l'échelle du patrimoine a été introduite. Les indicateurs environnementaux proposés pour être appliqués sur un outil de suivi de patrimoine bâti pourront être testés, à la fois dans la mise en œuvre et dans la lecture qu'en font les gestionnaires, déjà favorables dans le cadre de ce travail.

La volonté de ce travail était d'amener une contribution à la lourde problématique environnementale résultant de l'exploitation des bâtiments où nous vivons. Cette problématique trouvera une solution à travers trois éléments : les progrès et les performances des systèmes, une véritable gestion environnementale des bâtiments, la prise de conscience et des changements de mœurs vers des pratiques responsables, économes, je rajouterai plus équitables.



## Bibliographie

ADEME, 2000, Opinions et comportements des usagers face à la collecte sélective, Collection Connaître pour agir.

ADEME, 2002, Qualité environnementale des bâtiments, Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment, 294 p.

ADEME, juin 2002, document « Bâtiments et démarche HQE ».

ADEME, 2005, Bilan carbone d'une activité industrielle ou tertiaire, version 3, 220 p.

ADEME, 2005, Note de cadrage sur le contenu du kWh par usage en France, 5 p, (14 janvier 2005).

ADEME et AICVF, 1993, Enseignement : programmer, concevoir, gérer, Ed. PYC.

Adriaanse A., 1993, Environmental Policy Performance Indicators: a study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands, Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, The Netherlands.

AFE, 1987, Association Française de l'éclairage, 'Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires', éd. Lux.

AIE Thermique, 2003, Rapport : Calculs réglementaires RT 2000, Climawin 3,1 b, école maternelle de Pessac Bellegrave.

Arrêté du 29 novembre 2000 relative aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, JO du 30 novembre 2000.

Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement, 3p.

ASHRAE Handbook, 2001, Technical Committees and Task Groups, Fundamentals, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE Handbook, 2001, Ventilation for acceptable indoor air quality, (ANSI/ASHRAE Standard 62), Atlanta, GA., page 7, table 1.

ASPA, 2005, Campagne de mesure du formaldéhyde dans les établissements scolaires et d'accueil de petite enfance de la ville de Strasbourg : bilan des niveaux mesurés, , ASPA 05061301,39.

Association HQE, 2002, Rapport sur les centres de ressources HQE et les opérations recensées en 2002, <http://www.assohqe.org/docs/Les%20centres%20de%20ressources%20HQE.pdf>

Aulagnier S., Couturier B., Greffier T., Perrin J.F., 2005, Bâtiment et effet de serre, le chantier de l'isolation dans les bâtiments existants, Rapport de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 120p, [http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole\\_virt/trav-eleves/cc/cc0405/batiment.doc](http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0405/batiment.doc)

Barles P., 2002, Qualité de l'air et maîtrise de l'énergie dans les crèches : synthèse d'une étude de terrain, rapport réseau RSEIN, 9 p.

Barlet A., Merida E., Sémidor C., 2005, Du confort global au confort sonore dans les écoles maternelles, impact de modifications des ambiances acoustiques, Colloque européen « construire avec les sons ».

- BEUC, (Bureau Européen des Consommateurs), janvier 2005, Emission of chemicals by air fresheners : Tests on 74 consumer products sold in Europe”, Rapport, 51 p.
- Bradley J.S, 2002, Acoustical Design of Rooms for Speech, Construction Technology Update N°51, NRC-CNRC, Institute for Research in Construction, march 2002.
- Breton P., 1996, L’argumentation dans la communication, Collection Repères, Ed. La Découverte, 120 p.
- Bernd Polster, 1995, Contribution à l’étude de l’impact environnemental des bâtiments par analyse de cycle de vie, thèse de docteur en énergétique, Ecole des Mines de Paris.
- Chatagnon N, 1999, Développement d’une méthode d’évaluation de la qualité environnementale des bâtiments au stade de la conception, thèse de doctorat, Université de Savoie.
- Chautard G., 2004, Le mouvement HQE® dans les régions, 4eme Assises HQE, Reims, 10 et 11 mars 2005. <http://www.assoqhe.org/docs/HQEdanslesregions.doc>
- Chautard G., Bouleau D., 2005, Le mouvement HQE® dans les régions, 4eme Assises HQE, Reims, Association HQE <http://www.assoqhe.org/docs/HQEdanslesregions.doc>
- Chauveau A., Rose J.J., 2003, La pression de la société civile – La consommation citoyenne, Extrait de : Développement durable : l’entreprise responsable, p11-15.
- Chosson A., 2002, Consommateur-citoyen ou usager du développement durable, Les nouveaux utopistes du développement durable de Anne-Marie Ducroux, Ed. Autrement, Collection Mutations, n°216, p163-168.
- Circulaire EEDD : Circulaire n°2004-110 du 8/7/2004 relative à la généralisation d’une éducation à l’environnement pour un développement durable (EEDD).
- CIREN, 2005, Compte Rendu de la Journée Atelier du 13 mai 2005 sur la Socio-économie de l’énergie dans le bâtiment : «La réduction des consommations d’énergies et des émissions dans le bâtiment : quelles associations de moyens technologiques et institutionnels».
- CITEPA, 2005, Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France, séries sectorielles et analyses étendues, CORALIE, format secten, 247 p.
- Citherlet S., Hand J., 2002, Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program, Building and environment, 37, p845-856.
- CNRS, dossier Eutrophisation, 2005 : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>
- Cole R.J., 2002, Review of GBTool and analysis of GBC 2002 Case-Study Projects, report : [http://www.iisbe.org/iisbe/gbc2k2/GBC\\_2002\\_Analysis.pdf](http://www.iisbe.org/iisbe/gbc2k2/GBC_2002_Analysis.pdf)
- Cornée F., 2004, Projet ECOSYS phase 1-2, expérimentation et validation de nouveaux équipements et systèmes de maîtrise du confort et de la demande énergétique à l’échelle d’une ou plusieurs pièces, 163 p.
- CSTB, 2002, Rapport exécutif Observatoire de la Qualité de l’Air Intérieur, 78p.
- CSTB, 2005, Référentiel technique de certification, Bâtiments Tertiaires - Démarche HQE®- Bureau et Enseignement, partie III.
- Dammann S., 2004, Environmental indicators for buildings, a search for a common language, Danish Building and Urban Research, Horsholm, Allemagne, 309 p.

Décret n° 95-20 du 9 janvier 1995 relatif aux caractéristiques acoustiques de certains bâtiments autres que l'habitation et leurs équipements.

Dehausse R., 1988, Energétique des bâtiments, Situation, besoins, PYC ED., 275 p.

DEQE, 2001, Définition explicite de la qualité environnementale, référentiel des caractéristiques HQE®, Association HQE®.

Deoux S., Deoux P., 1993, L'écologie, c'est la santé, Ed. Frison-Roche. 539 p.

Deoux S., Deoux P., 2002, Guide de l'Habitat Sain, Medieco Editions, GEODIF diffusion-Groupe Eyrolles, octobre 2004, 537 p.

Devel C., 2003, Elaboration et expérimentation d'outils interactifs basés sur les NTIC et appliqués à la maîtrise de la demande de l'énergie dans le secteur « grand tertiaire », thèse de doctorat, Université Bordeaux I.

Devel C., 2004, Etude des lycées d'Aquitaine.

Devel C., Lagière P., 2005, Etude des bâtiments de la Ville de Pessac.

Directive 2002/91/CE du Parlement européen et du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments, Journal officiel des Communautés européennes, janvier 2003

Duchene-Marullaz P. et al., 2001, Définition Explicite de la Qualité Environnementale, Référentiel des caractéristiques, Association HQE®, 26 p.

ECOWEB, 2002, Nouveau système Internet de suivi des consommations d'eau et d'énergie, et de gestion des déchets de patrimoines bâtis, <http://www.ecocampus.net/ecoweb/site/defaultFlash.html>

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2004-2005, Rapport, Bâtiment et effet de serre, atelier Changement Climatique.

EDF, 2004, Rapport environnement.

Ersol, 2002, Rapport acoustique, école maternelle de Pessac- Bellegrave.

Ersol, 2002, Notice d'éclairage naturel, école maternelle de Pessac- Bellegrave.

Etienne J., Bloess F, Noreck J.P., Roux J.P., 1995, Dictionnaire de sociologie, les notions, les mécanismes, les auteurs, Ed. Hatier.

Fanger, P.O., 1973, Thermal Comfort. Analysis and Application in Environmental Engineering. New York. MacGraw-Hill Book Co.

Frischknecht R. et al., 1996, Oekoinventare von Energiesystemen, 3, Auflage, ETH Zurich / PSI Villigen, 1817 p.

Frischknecht R., Jungbluth N. (Eds), 2003, en collaboration avec Althaus H.J., Doka R., Hellweg S., Hirschier R., Nemenecek T., Rebitzer G., Spielmann M., Eco invent reports, Swiss center for life cycle inventories, Dübendorf.

Gauthier D., Mazéas H., Lecouls H., 2004, Les Analyses de Cycle de Vie, Académie des Technologies, <http://www.senat.fr/rap/r05-125/r05-1259.html>, 88p.

Gaz de France, 2005, Qualité environnementale des bâtiments, fiches d'évaluation d'opérations HQE®.

Gauzin-Müller D, 2001, L'architecture écologique, Ed. Le Moniteur, 178 p.

- Givoni, Baruch, 1998, Climate considerations in building and urban design, New York. Van Nostrand, Reinhold cop.
- GLENN J.C., and Gordon T.J., 2001, The Millennium Project:: Challenges We Face at the Millennium, Technological Forecasting and Social Change, Volume 66, Issues 2-3, pg. 129-312.
- Goossens X., 2005, La maîtrise de la demande en eau et en énergie en agriculture irriguée : de l'évaluation des enjeux à la proposition d'actions ciblées, thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.
- GRECO, SAGACités, 2002, Vers un système d'aide à la gestion des ambiances urbaines, rapport n°99 V0532.
- Guiavarch A., 2003, Etude de l'amélioration de la qualité environnementale du bâtiment par intégration de composants solaires », Université de Cergy Pontoise, 313 p.
- Ghiglione R., Matalon B., « Les enquêtes sociologiques, théorie et pratique », ED. Armand Colin, 1978.
- Harris D.J., 1999, A quantitative approach to the assessment of the environmental impacts of building materials, Building and Environment, 34, p 751-758.
- IES Lighting Handbook, 2000, 9e Édition. Illuminating Engineering Society of North America, p. 10 à 13.
- Jédor B, 2005, Qualité de l'air intérieur dans les écoles maternelles et primaires : spécificités de la problématique et implications en terme d'évaluation et de gestion des risques sanitaires, Rapport de l'Ecole Nationale de la santé publique, 65 p.
- Kirchner S., Ramalho O., Segala C., Riberon J., 2005, Point sur les données de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur sur les écoles et les études à venir, Colloque « La qualité de l'air intérieur, écoles et habitats, 3p.
- Lagiere P., 2005, Laboratoire TREFLE, Université Bordeaux 1, Note faisant suite à la journée atelier du GAT12.
- Lagière P., De Baudreuils., 2004, Programme MDECAMPUS 2003-2004 : rapport final du programme ADEME/EDF de Maîtrise de la Demande d'Electricité mené sur 5 Universités et du colloque, MEDD2004, Talence : [www.ecocampus.net/](http://www.ecocampus.net/).
- Larroque, 2005, Rapport d'analyse des composés organiques volatils sur deux maternelle de la commune de Pessac, 45 p.
- Laurent A.M., 2005, Bilan de la qualité de l'air dans 10 écoles parisiennes, Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, [http://rsein.ineris.fr/actualite/actu\\_pdf/23\\_AMLaurent.pdf](http://rsein.ineris.fr/actualite/actu_pdf/23_AMLaurent.pdf)
- Lee W.L., Iik F.W.H., 2004, Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency, Progress in Energy and Combustion Science, p 477-499.
- Le Moigne J.L, 1999, « La modélisation des systèmes complexes », ed. Dunod, 178p.
- Lee W.L., Yik F.W.H., 2004, Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency, Progress in Energy and Combustion Science, 30, p 477-499.
- Lenoble-Pinson M., La rédaction scientifique, Conception, rédaction, présentation, signalétique, Ed. DeBoeck Université, 144 p.
- Levy J.P., Levy-Vroelant C., 'Du domicile à la ville. Vivre en quartier ancien', p.76 : 'Habiter son logement : présence et usages'.
- Logiciel Equer, Ecole de Mines de Paris, simulation dynamique et de l'analyse de cycle de vie, 2003.

Mandallena C., 2005, Rapport de projet FEDER : Développement d'une méthode d'évaluation des performances environnementales de bâtiments en phase d'exploitation : application à deux écoles maternelles.

Mosqueron L., Kirchner S., Nedellec V., Bilan des études françaises sur la mesure de la qualité de l'air intérieur des bâtiments (1990-2001), Environnement, Risques & Santé, Vol.1, Numéro 1, mars-avril 2002 : 31-41.

Moya J., Bearer F. C., Etzel. A. R., 2004, Children's Behavior and Physiology and How It Affects Exposure to Environmental Contaminants, Pediatrics 113, p996-1006.

Matarasso P., 2004 : Compte Rendu de la Journée Atelier du 13 mai sur la Socio-économie de l'énergie dans le bâtiment : «La réduction des consommations d'énergies et des émissions dans le bâtiment : quelles associations de moyens technologiques et institutionnels».  
<http://www.centre-cired.fr/forum/article127.html>

Mustonen R. et al., Rapport STUK, 1997, Enhanced radioactivity of buildings materials, Report N° 96-ET-003-EC.

Myrsini G., Zissis S., 2006, Development of a database system for the calculation of indicators of environmental pressure caused by transport, Science of the Total Environment 357 (2006), p 247– 270  
[www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)

Naizot F., 2005, Ifen, Les changements d'occupation des sols de 1990 à 2000 : plus d'artificiel, moins de prairies et de bocages, 4 p. <http://www.ifen.fr/publications/DE/PDF/de101.pdf>

Nathanson T., 1995, Guide technique pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les immeubles à bureaux, Santé Canada.

Nibel S., Rialhe A., 1999, Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments : mise en œuvre et comparaison, ed.PUCA, 111 p.

Olive G., 1999, ATEQUE, 5 ans de travaux, Ed.PUCA, 110 p.

Odum T. H., Odum T., E., 2006, The prosperous way dow, Energy 31, p 21-32.

Peuportier B., 1998, Projet européen REGENER : analyse de cycle de vie des bâtiments, EMP, 28p.

Peuportier B., 2003, Eco-Conception des bâtiments : bâtir en préservant l'environnement, Ecole des Mines de Paris, 275 p.

Peuportier *et al.*, 2004, Inter-comparison and benchmarking of LCA-based environmental assessment and design tools, PRESCO project, SB 2004.

PREDAC, 2004, European Actions for Renewable Energies :  
[http://www.cler.org/predac/IMG/pdf/PREDAC\\_WP4-Resume.pdf](http://www.cler.org/predac/IMG/pdf/PREDAC_WP4-Resume.pdf)

RSEIN, 2005, Rapport du colloque 'Qualité de l'air dans les écoles', 4 juillet 2005, réseau RSEIN.  
<http://www.air-interieur.org/actualite/infoslist.asp>

Rosenstein F., 2005, Les enjeux de l'efficacité énergétique en France, ADEME, présentation.  
<http://www.energy-base.org/fileadmin/media/base/downloads/Energieliefer-Contracting/>

SNDD, 2002, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Séminaire gouvernemental sur le développement durable, <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/dossier-seminaire28novembre2002-2.pdf>

Theys J., 1996, L'expert contre le citoyen : le cas de l'environnement, Notes du Centre de Prospective et de Veille Scientifique, MELTT, ME, p 9-16 et 35-39..

TRIBU, 2002, Evaluation synthétique de la qualité environnementale, phase APS.

Van Lith S., Alonso-Ramírez V., Jensen P., Frandsen F., Glarborg P., 2006, Release to the Gas Phase of Inorganic Elements during Wood Combustion. Part 1: Development and Evaluation of Quantification Methods, Energy Fuels, ASAP.

Wursheisen G., 2002, Héritage architectural ou urbain et développement durable, Sommet mondial du Développement Durable, Berlin, 8p.

## Sites web

ADEME, campagne sur les déchets : <http://www.reduisonsnosdechets.org>

AGORA [http://agora.qc.ca/mot.nsf/Dossiers/Dechet\\_radioactif](http://agora.qc.ca/mot.nsf/Dossiers/Dechet_radioactif)

ANDRA : <http://www.andra.fr> ANDRA

Association HQE : Rapport sur les centres de ressources HQE et les opérations recensées en 2002, <http://www.assohqe.org/docs/Les%20centres%20de%20ressources%20HQE.pdf>

Cellule Ecocampus, Description du capteur Tehor : <http://www.ecocampus.net/tehor/> ; Outil de suivi et de gestion des bâtiments ECOWEB : <http://www.ecocampus.net/ecoweb/>

CSTB : <http://www.cstb.fr/produits/certification/>

Défi pour la terre : <http://www.defipourlaterre.org/>

Display, campagne d'affichage des performances : [www.display-campaign.org](http://www.display-campaign.org)

EDF, Modèle ENVI : [http://www.suden.org/francais/demarches\\_outils/documents/Modele\\_ENVI\\_SILENE.pdf](http://www.suden.org/francais/demarches_outils/documents/Modele_ENVI_SILENE.pdf)

Mission départementale de Créteil, Les apprentissages à l'école maternelle : prendre en compte les besoins des enfants : [http://www.ac-creteil.fr/ID/94/c14/maternelle/html/miss\\_app\\_besoin.html#debut](http://www.ac-creteil.fr/ID/94/c14/maternelle/html/miss_app_besoin.html#debut)

Predac, European Actions for Renewable Energies : [http://www.cler.org/predac/IMG/pdf/PREDAC\\_WP4-Resume.pdf](http://www.cler.org/predac/IMG/pdf/PREDAC_WP4-Resume.pdf)

Site de l'institut Passiv Haus', allemagne : <http://www.passiv.de/>

Site de la Communauté Urbaine de Bordeaux : [http://www.lacub.com/servicedesdechets/cub\\_dechets/cub\\_dechets\\_resultats.asp](http://www.lacub.com/servicedesdechets/cub_dechets/cub_dechets_resultats.asp)

Site du CNRS , dossier Eutrophisation : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>

Site du Ministère de l'industrie : [http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se\\_elec.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_elec.htm)

Site du Ministère de la santé : [http://www.sante.gouv.fr/hm/dossiers/bruit/circulaire\\_281204.pdf](http://www.sante.gouv.fr/hm/dossiers/bruit/circulaire_281204.pdf)

Ville d'Angers, présentation de l'opération de l'école Adrien Tigeot : [http://www.angers.fr/page/p-277/art\\_id-1204/](http://www.angers.fr/page/p-277/art_id-1204/)

## Glossaire

**Complexité** : Le comportement d'un système est qualifié de complexe s'il recèle une part d'imprévisibilité potentielle. La notion de complexité apparaît le plus souvent avec la nécessité d'intégrer un ou plusieurs acteurs humains dans le fonctionnement du système.

**Confort thermique** : État d'esprit dans lequel se trouve une personne satisfaite de la température ambiante. Les facteurs qui influent sur le confort thermique sont la température de l'air, la température radiante moyenne, la stratification et le mouvement de l'air, le taux d'humidité relative, le niveau d'activité et les vêtements.

**Consommation d'eau** : part de l'eau de source prélevée et consommée par l'homme, sans restitution à la source. Les atteintes à l'eau sont alors de deux types : quantitatif (raréfaction de la ressource) et qualitatif (pollution et dégradation de la qualité des eaux).

**Court, moyen, long terme** : On entend, communément et en moyenne, par court terme une échéance variant de 1 jour à quelques mois, par moyen terme une durée de 1 à 5 ans, et par long terme une échelle de temps supérieure à 5 ans.

**Critère** : Élément de jugement, de diagnostic. Élément retenu pour déterminer la nature, l'ordre de grandeur et les effets d'un phénomène.

**DJU** : Degrés jour unifié, permet d'opérer une correction climatique sur les mesures afin d'effectuer une comparaison sur des bases comparables.

**Durabilité** au sens de développement durable : Capacité d'un système à se développer sans amoindrir les moyens de développement des générations futures. On associe alors le développement durable comme la recherche d'un équilibre entre les sphères sociales, environnementales et économiques.

**Efficacité** : Capacité d'un système à satisfaire la fonction pour laquelle il a été conçu. L'efficacité peut s'exprimer par le rapport entre le résultat recherché et le résultat obtenu. Cette notion n'intègre pas les ressources nécessaires pour la réalisation de la fonction, contrairement à l'efficience.

**Efficience** : Part des ressources effectivement mobilisées pour la réalisation d'une fonction qui est strictement utile à cette fonction. De fait l'efficience énergétique des systèmes des bâtiments est généralement très faible.

**Emission de CO<sub>2</sub> et équivalent CO<sub>2</sub>** : Emission de gaz à effet de serre en kg d'équivalent CO<sub>2</sub>. On se sert de l'équivalent CO<sub>2</sub> pour exprimer les différents gaz à effet de serre (principalement méthane, monoxyde d'azote, hydro fluorocarbures, péro fluorocarbures, et hexa fluorosulfures) et fonction de leur équivalence en CO<sub>2</sub> en terme de pouvoir à effet de serre, de façon à pouvoir comparer ces gaz entre eux, et à évaluer l'effet de serre global.

**Energie finale** : Energie disponible au niveau du consommateur final.

**Energie primaire** : Source d'énergie n'ayant subi aucune transformation, immédiatement après captage ou extraction (ex. : pétrole, charbon, gaz naturel, énergie renouvelable).

**Energie utile** : Forme d'énergie qui contribue directement à la réalisation d'un service énergétique. Energie dont dispose le consommateur après la dernière conversion par ses appareils (exemples : la chaleur, l'énergie mécanique, la lumière).

**Enquête** : Étude minutieuse et approfondie, exécutée par un enquêteur, soit auprès d'un groupe d'individu ou d'un individu isolé. Une enquête consiste en une collecte d'informations qualitatives et/ou quantitatives relatives à une population déterminée, dans une situation déterminée, dans le but d'en déduire des

caractéristiques d'ensemble. Une enquête est une étude d'un problème social, et s'effectue classiquement par voie de questionnaire ou de sondage, réalisée sur un échantillonnage représentatif.

**Enquête semi ouverte** : Enquête réalisée à l'aide d'un questionnaire comprenant deux types de questions : les questions fermées, où l'enquêté est contraint et doit répondre à l'aide d'une liste préétablie de réponses ; les questions ouvertes, auxquelles le sujet répond s'il le désire, et donne les détails et commentaires de façon libre. Les questions ouvertes peuvent avoir pour objectif d'aider à l'identification de critères importants, que l'enquêteur aurait omis.

**Enquête accompagnée** : Enquête où l'enquêteur accompagne l'enquêté pour ses réponses. Ce mode d'enquête permet d'avoir un retour garanti sur les questionnaires, mais est très consommateur en temps. La présence de l'enquêteur peut permettre de mieux expliquer les questions, mais peut aussi biaiser les réponses.

**Équité** : Équilibre de la répartition dans l'espace et entre les catégories sociales et professionnelles, de la disponibilité et de l'accessibilité pour les hommes de certains services indispensables à une vie décente [Goossens, 2005].

**Gaspiiller** : Dépenser avec profusion, consommer sans discernement. Le gaspillage correspond à la perte d'un bien ou d'un service produit qui n'a finalement satisfait aucun besoin... On dit qu'il a été «fabriqué en pure perte». L'un des problèmes et des causes des problématiques environnementales est que ce n'est pas cette conception du gaspillage qui est celle de l'économie de marché. Lorsque par exemple, un grande quantité de carburant est consommée au cours d'un bouchon routier, on peut dire, suivant la définition précédente, qu'il y a eu «consommation de carburant en pure perte», or pour le producteur de carburant c'est tout à fait le contraire, il a vendu de grandes quantité de carburant, c'est tout bénéfice pour lui. D'ailleurs au niveau du système économique ceci correspond à une production de bien qui a fait tourner l'entreprise, qui a pu verser des salaires et qui donc a réalisé une valeur qui a rapporté un profit, profit distribué et/ou réinvesti,...

**Gestionnaire** : personne ou ensemble de personnes chargées, dans les limites d'un mandat conféré par l'organisation à laquelle il appartient (publique ou privée), de la gestion technique ou administrative du bâtiment. Cette tâche inclue le suivi technique, la gestion des crédits, l'élaboration des précisions budgétaires, l'affectation du personnel, l'organisation matérielle.

**Habiter** : Littéralement « vivre avec ».

**Indicateur** : Paramètre significatif utilisé pour mesurer un résultat obtenu, l'état d'un phénomène ou le déroulement d'un processus, l'utilisation des ressources. Un indicateur correspond à une période dans le temps et à un espace physique précis. Les données obtenues périodiquement par l'indicateur sont quantitatives ou qualitatives.

**IUOM** : Unité d'incinération des ordures ménagères.

**P2 et P3** : contrat de petit entretien (réglage, nettoyage) et gros entretien (changement des grosses pièces par exemple) du système de chauffage à combustible.

**PCI** : Pouvoir Calorifique Inférieur : Quantité de chaleur produite lors de la combustion complète d'un combustible, ne prenant pas en compte l'énergie disponible dans les produits de combustion non refroidis (fumées).

**Qualité de l'air intérieur** : Caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'air intérieur dans les lieux de travail non résidentiels où aucun procédé ou opération de nature industrielle ne peuvent influencer sur le confort ou la santé de l'occupant.

**Référentiel** : ou ensemble universel. Mise en commun d'un ensemble de données en vue de la construction d'une échelle d'évaluation ou référent universel.

**Surface utile** : Surface qui peut être occupée pour y exercer une fonction ou assurer un service déterminé : séjour, travail, entrepôt, ou toute autre fonction du bâtiment.

**Tableau de bord** : Document de synthèse (outil de gestion) présentant les indicateurs nécessaires aux usagers et dirigeants du bâtiment pour suivre les performances de celui-ci, et pour prendre rapidement les mesures qui s'imposent afin de redresser une situation qui menace l'atteinte des objectifs prévus. Le tableau de bord présente les données de manière synthétique, sous forme de tableaux, de diagrammes ou de graphiques. Il peut être accompagné de documents plus ou moins analytiques permettant de rendre compte du fonctionnement du bâtiment dans tous les domaines : financement, exploitation, entretien maintenance, gestion des fluides et des contrats, responsabilités et ressources humaines. Les indicateurs quantitatifs ou qualitatifs du tableau de bord, en nombre variable, sont des informations significatives, parfois appelées clignotants, choisies en fonction d'une activité déterminée (consommations, confort, environnement, ...). Ils peuvent apparaître en valeur absolue, sous forme d'écarts significatifs, de représentations graphiques, de séries statistiques. La qualité des indicateurs (ratios, graphes, indicateurs d'alerte, bilans) est en rapport avec les objectifs assignés à l'activité et leur pertinence à répondre aux attentes informationnelles requises pour le suivi, l'évaluation et le pilotage.

**Taux de ventilation** : Quantité d'air de l'extérieur distribuée à l'intérieur, en % du volume intérieur ou en m<sup>3</sup>/heure.

**Usager** : Personne qui a recours à un service du bâtiment.

### Eco labels : exemples



**Marque NF Environnement** : écolabel français. Créée en 1991, cette marque est la propriété de l'AFNOR, qui en assure la gestion et la promotion. Ces critères liés à l'aptitude à l'usage et à la qualité écologique des produits sont répertoriés au sein d'un Règlement Technique, spécifique à chaque catégorie de produits.

La marque NF-Environnement certifie des produits qui présentent des impacts moindres sur l'environnement et une aptitude à l'usage au moins équivalente à celle d'autres produits similaires. Elle peut également s'appliquer à des produits qui, de par leur fonction, réduisent les impacts sur l'environnement. (site ADEME)



L'Eco-label Européen existe depuis 1992, il atteste qu'un produit respecte plus l'environnement, tout en étant aussi efficace et aussi performant qu'un produit semblable destiné au même usage. (site européen de l'éco label : <http://www.eco-label.com/>)



Le label **Forest Stewardship Council (FSC)** a été créé à l'initiative du WWF. Ce logo est apposé sur les bois et produits dérivés issus de forêts en exploitation "durable", c'est-à-dire respectant les populations, l'environnement et les ressources naturelles. (site du label FSC : <http://www.fsc.org/fsc>).



La marque **NF Agro-alimentaire** est une marque volontaire de certification délivrée par AFAQ AFNOR Certification. Elle apporte une preuve indiscutable que le produit agro-alimentaire répond aux besoins du marché et est conforme à des caractéristiques de qualité définies dans un référentiel de certification.

Ce référentiel est constitué de normes françaises, européennes ou internationales élaborées en concertation entre les industriels, les distributeurs, les associations de consommateurs, les laboratoires et les pouvoirs publics. Elles concernent les caractéristiques du produit telles que sa composition, sa régularité, son mode de fabrication...

Logement économe	Logement
451 A	XXX kWh/m <sup>2</sup> .an
51 à 90 B	
91 à 150 C	
151 à 230 D	
231 à 330 E	
331 à 450 F	
451 ou supérieur G	
Logement énergivore	

**Etiquette de performance énergétique** des appareils électroménagers : mises en place par la Communauté européenne depuis 1995, elle guide et signale les appareils électroménagers et les ampoules économes, pour chaque renouvellement d'appareil. Cette information est spécifique d'un aspect du cycle de vie des appareils : leur consommation lors de l'utilisation.



Label délivré par **Max Havelaar** (association à but non lucratif), garantissant des produits (café, riz, sucre, cacao, etc.) répondant aux standards internationaux du commerce équitable.

L'objectif du commerce équitable est notamment d'assurer une juste rémunération du travail des producteurs et artisans les plus défavorisés et de garantir le respect des droits fondamentaux des personnes (refus de l'exploitation des enfants, du travail forcé, de l'esclavage).

Les standards sont définis par type de produit par FLO-International (Fairtrade Labelling Organizations International). Le prix minimum garanti permet de couvrir les coûts d'une production durable ainsi que le versement de la prime de développement pour la création d'écoles, de centres de santé, pour l'achat de terres, etc. (site [www.commerceequitable.org](http://www.commerceequitable.org)).



L'**agriculture biologique** constitue un mode de production soucieux du respect des équilibres naturels (absence de pesticides, d'engrais chimiques, d'OGM, limitation des intrants, etc.) dont les exigences sont définies dans la réglementation européenne sur l'agriculture biologique. Par ailleurs, ce mode de production favorise la biodiversité et la vie des sols, l'économie d'énergie fossile, la création d'emplois, l'évolution des modes de pensées et d'exploitation.



logo européen  
pour les produits  
biologiques

La mention d'un organisme certificateur agréé par les pouvoirs publics garantit qu'un produit est « issu de l'agriculture biologique » et composé d'au moins 95 % d'ingrédients issus de ce mode de production. Il existe un logo européen pour les produits biologiques. Notons qu'en France, la marque AB est plus exigeante que la seule réglementation européenne.



Selon la norme ISO 14 021, l'anneau de Möbius est le symbole du **recyclage**. Cette représentation du logo de Möbius signifie : « ce produit ou cet emballage est recyclable ».

Les produits qui l'arborent, ou leur emballage, sont recyclables. Mais attention, ils seront effectivement recyclés : si le système de collecte ou la filière de recyclage existent, et si l'utilisateur respecte les consignes de tri.



« Ce produit ou cet emballage contient 65 % de matières recyclées » :

## **ANNEXES**



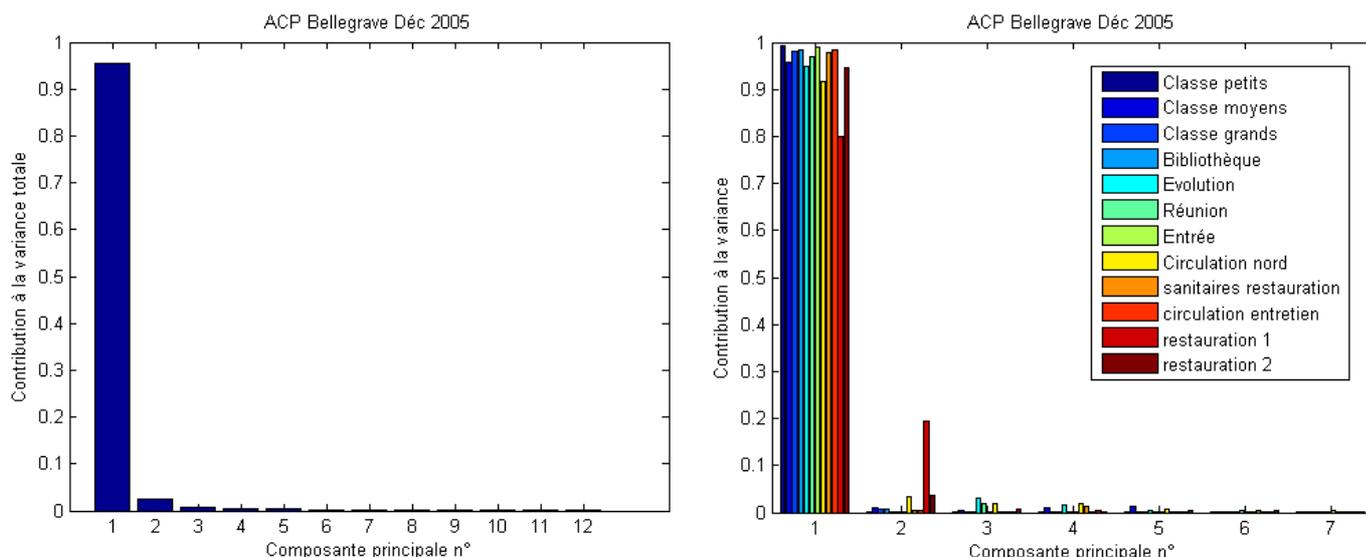
## Annexe 1 : Analyse en composantes principales des données de température intérieure

### Principes de l'analyse en composantes principales (ACP)

On dispose d'un nuage de points, dans un espace de dimension élevée, dont on extrait difficilement des informations utiles. L'ACP génère un sous-espace de dimension inférieure, tel que la projection sur ce sous-espace retienne le plus d'informations possible, i.e., tel que le nuage de points projeté soit le plus dispersé possible. Cela permet de réduire la dimension du nuage de points.

L'étude est réalisée sur 2 mois d'hiver (novembre décembre 2005) sur la mesure des températures données par une dizaine de capteurs TEHOR par école (12 sur Bellegrave et 8 sur Jules Ferry), au pas de 10 minutes et en mesures continues.

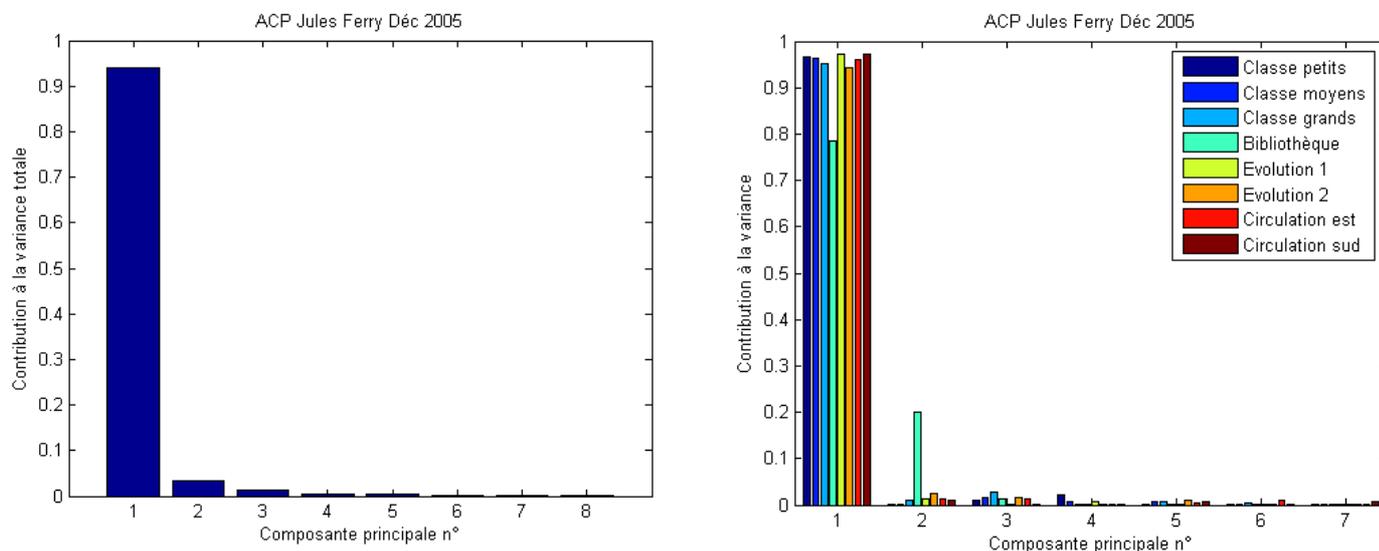
### Résultats sur l'école Bellegrave :



La figure ci-dessus montre que le bâtiment est thermiquement homogène, la composante 1 rassemblant plus de 95 % des informations. Pour réduire le nombre de capteurs significatifs, une méthode consiste à sélectionner les capteurs amenant les informations les plus différentes. Ici les capteurs de la salle de classe à l'est des grands, la restauration, la zone de circulation nord.

Il est également remarquable que ces trois zones sont desservies par trois centrales de traitement d'air différentes, ce qui indiquerait que placer une sonde de température dans chaque CTA est suffisant pour le suivi du confort, voire pour l'optimisation énergétique du poste de chauffage.

### Résultats sur l'école Jules Ferry :



Nous voyons que les 3 capteurs amenant le plus d'informations sont les capteurs des zones bibliothèque (ouest), classe d'évolution (sud ouest) et classe des petits (au nord). Ce bâtiment ne possède pas de système de ventilation, et ces trois zones correspondent aux trois zones les plus contrastées du point de vue de l'orientation (zones nord, sud), et du volume (pièce à grande taille). Nous notons une homogénéité thermique d'hiver à peine moins marquée que le bâtiment Bellegrave, sans doute grâce au faible volume du bâtiment.

## Annexe 2 : Liste des produits bénéficiant d'un écolabel (ADEME, 2003)

Catégories de produits et écolabels (juin 2003)	
Ecolabel européen	Ecolabel NF Environnement
- peintures et vernis	- peintures et vernis
- produits textiles	- colorants universels
- détergents pour textiles	- peintures routières
- détergents pour lave-vaisselle	- mobilier de bureau
- lave-vaisselle	- mobilier scolaire
- lave-linge	- colles pour revêtements de sols
- ampoules et tubes électriques	- sacs poubelle
- réfrigérateurs et congélateurs	- sacs sortie de caisse
- ordinateurs personnels	- enveloppes postales
- ordinateurs portables	- cartouches d'impression laser
- matelas	- aspirateurs
- chaussures	- composteurs individuels
- papier d'impression	- filtres à café
- papiers toilette et essuie-tout	- balles de lavage
- amendements organiques	- profilé de décoration
- nettoyants universels et nettoyants pour sanitaires	- absorbants tous liquides utilisables sur sol
- détergents pour vaisselle à la main	- lubrifiants pour chaîne de tronçonneuse
- téléviseurs	
- service hôtelier	
- revêtements de sols durs	

Nous présentons dans le glossaire une brève définition de la signification de labels environnementaux.

### Annexe 3 : Données mesurées sur les deux bâtiments

Tableau des moyens instrumentés mis en œuvre :

Equipement	Donnée	Mise en œuvre	Indicateur	Pas de temps	Lieu de mesure
Capteur TEHOR	T°C	sept 2004 à janv 2006	Pourcentage de temps de dépassement de la température de consigne	10 min	3 classes Restauration Circulation Bibliothèque Evolution Salle de réunion
	HR %		Pourcentage de temps de confort et d'inconfort		
	Mesure présence		Taux d'occupation		
	Mesure éclairage naturel		Economies réalisables sur le poste éclairage Qualification de l'utilisation des éclairages		
	Mesure éclairage artificiel		Confort visuel		
Station météo Kimo	T°C, HR %, rayonnement		Indicateurs énergétiques		Extérieur Bellegrove
Capteurs TELAIRE	CO <sub>2</sub>	oct-04	Qualité de l'air	10 min	Classes Dortoirs Extérieurs
		mar-05 juin-05	Efficacité de ventilation		
Compteur calories	W (chauffage)	oct-05 à janv-06	Consommation d'énergie	10 min	Chaudière
			Economies potentielles		
			Indicateurs énergétiques		
Pinces thoriques	W (électricité)	janv-05 à janv-06	Emissions CO <sub>2</sub>	10 min	<i>Postes :</i> éclairage ventilation cuisines ECS
			Consommations par postes		
			Economies potentielles d'électricité		
			Pics de consommation par usages		
			Actions prioritaires de gestion		
Luxmètre	Niveaux d'éclairage naturels et artificiel	janv-04	Confort visuel	Ponctuel	Classes Circulations Restauration Bibliothèque Evolution Réunion
Sonomètre intégrateur	Niveaux de bruits Temps de réverbération	janv-04	Confort acoustique	Ponctuel	Classes Restauration Bibliothèque Evolution
Estimations	Quantité et nature des déchets d'activités	mars-05	Quantités de déchets	Hebdomadaire	Site
			Emission de CO <sub>2</sub>		
			Potentiel de tri et de réduction		
Factures Données du gestionnaire	Coûts	selon émission	Coûts d'exploitation	2002 à 2005	Compteurs
	Quantités (kWh, m <sup>3</sup> , ...)		Coûts par postes		
			Economies potentielles		
Enquête	Données d'usages	juin-05	Taux de satisfaction	Annuel	Site
			Pourcentages d'"éco responsables"		
			Orientation des efforts de sensibilisation		

La répartition des capteurs sur site dans les différents types de pièces a été faite en fonction :

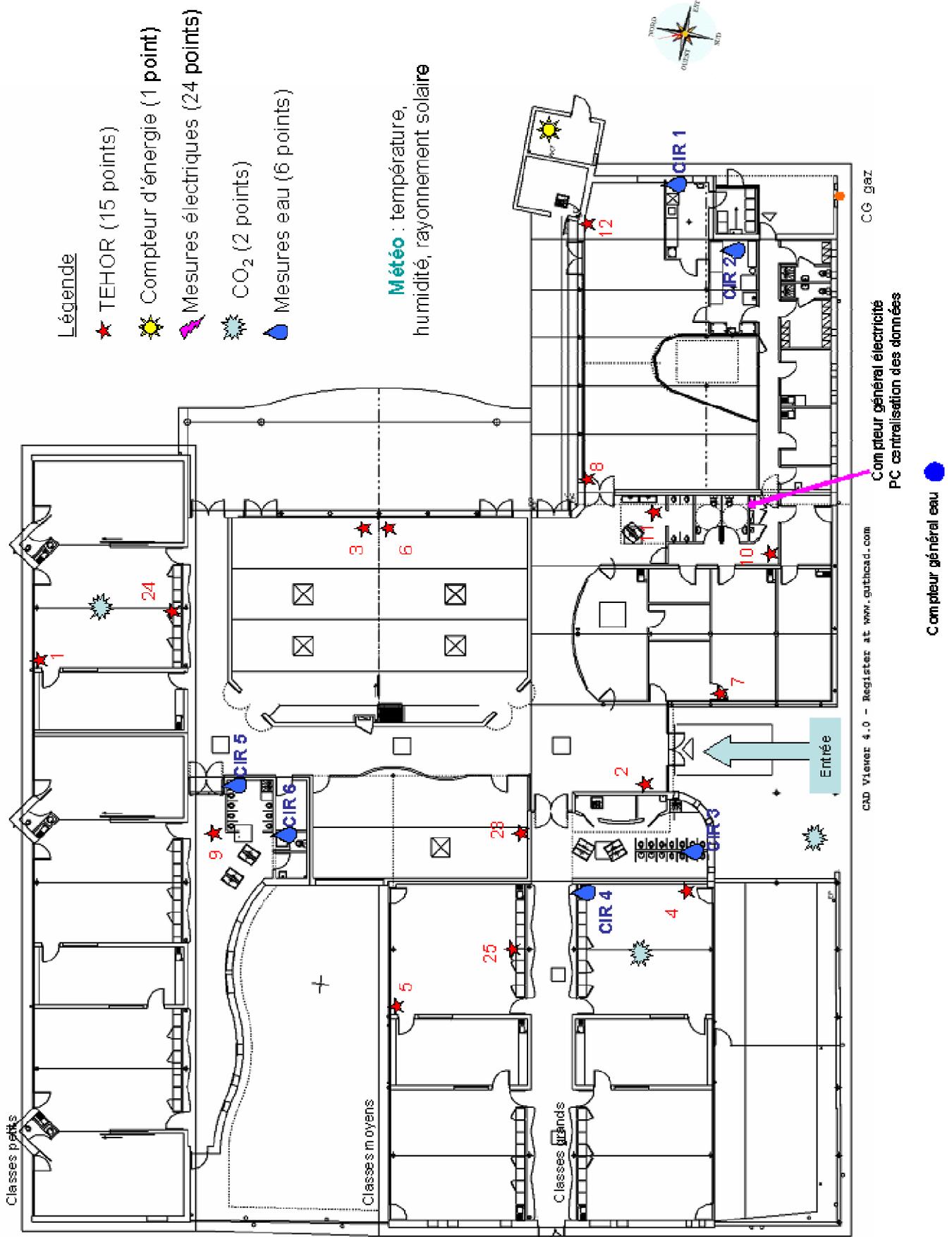
- du type d'usage des pièces, différencié au maximum,
- du nombre de capteurs que l'on pouvait installer.

#### Annexe 4 : Liste des appareils utilisés pour la campagne préliminaire

Nous avons testé et validé les emplacements des capteurs sur les 2 bâtiments, ainsi que la position de la centrale d'acquisition en fonction de son éloignement des différents capteurs. Les capteurs HOBO (T°C, éclairement, humidité, CO<sub>2</sub>) ont été placés dans les classes sud et nord-est des deux bâtiments.

Type de mesure et appareils	Date	Fréquence et durée	Objectifs
Capteurs HOBO et TEHOR	Du 09/01/04 au 13/02/04	Mesures continues (pas de 2 minutes)	Vérification de la température et de l'humidité, validation des emplacements
Capteurs CO <sub>2</sub> Telaire	Du 05 au 12/03/04	Mesures continues (pas de 2 minutes)	Indicateur de la qualité de l'air et du renouvellement de l'air (efficacité de la ventilation)
Enquête enseignants	Le 21/03/04	Evaluation sur une durée vécue (donc pseudo continue)	Evaluation préliminaire de la satisfaction de cette catégorie d'utilisateur du bâtiment, identification des points faibles de l'enquête
Mesures température de boule noire	Du 5 au 12 février 2004	10 minutes	Validation de l'emplacement et de la mesure température de capteur TEHOR
Données Météo France issues de la base de données Climathèque	Du 01/01/04 au 30/03/04	Horaire	Pour corrélation des résultats avec les conditions extérieures : température, humidité, éclairement (intensité et durée)

# Annexe 5 : Plans des sites et mise en place des capteurs, maternelle Bellegrave



# Plans des sites et mise en place des capteurs, maternelle Jules Ferry

## Légende

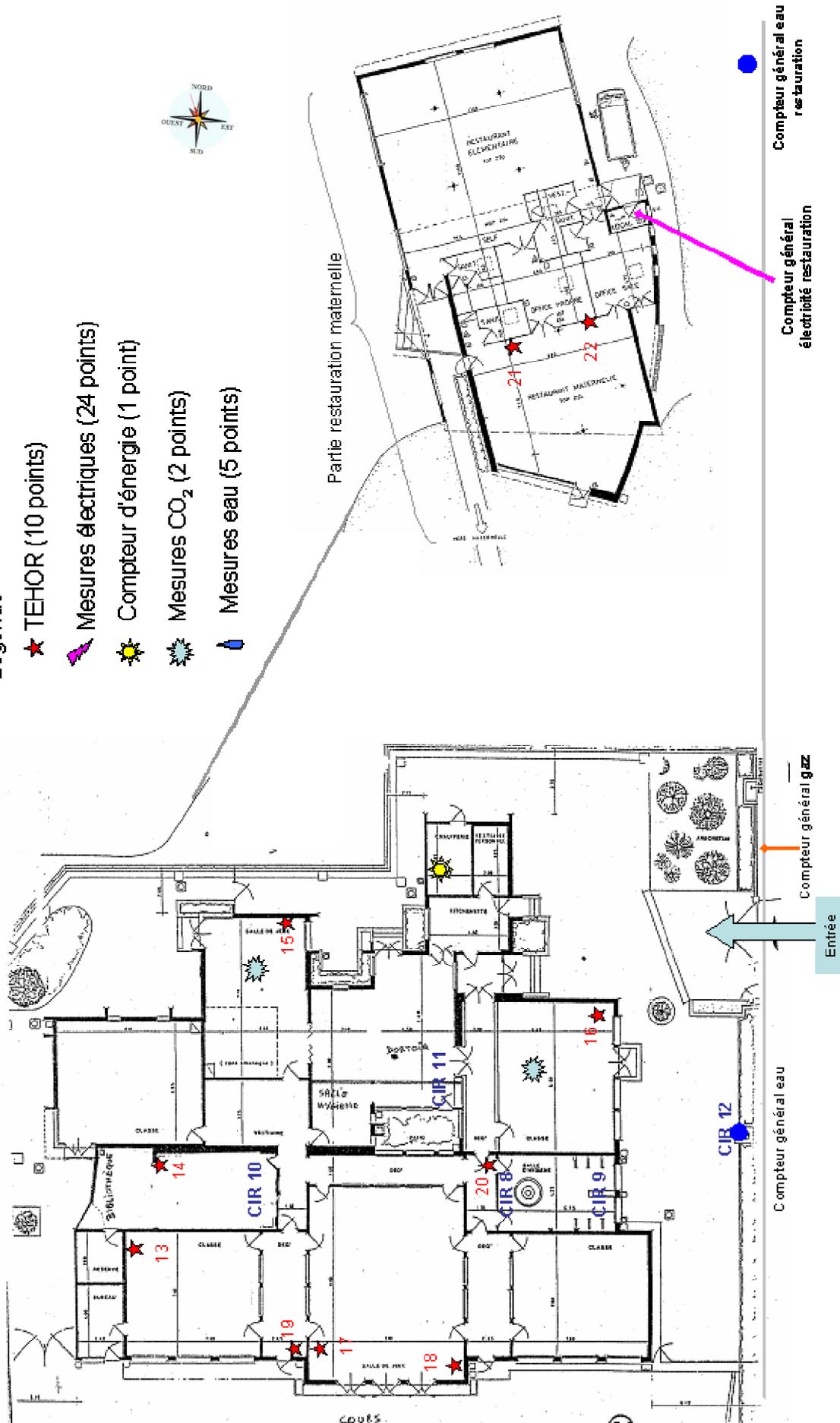
★ TEHOR (10 points)

🌿 Mesures électriques (24 points)

☀️ Compteur d'énergie (1 point)

☁️ Mesures CO<sub>2</sub> (2 points)

💧 Mesures eau (5 points)

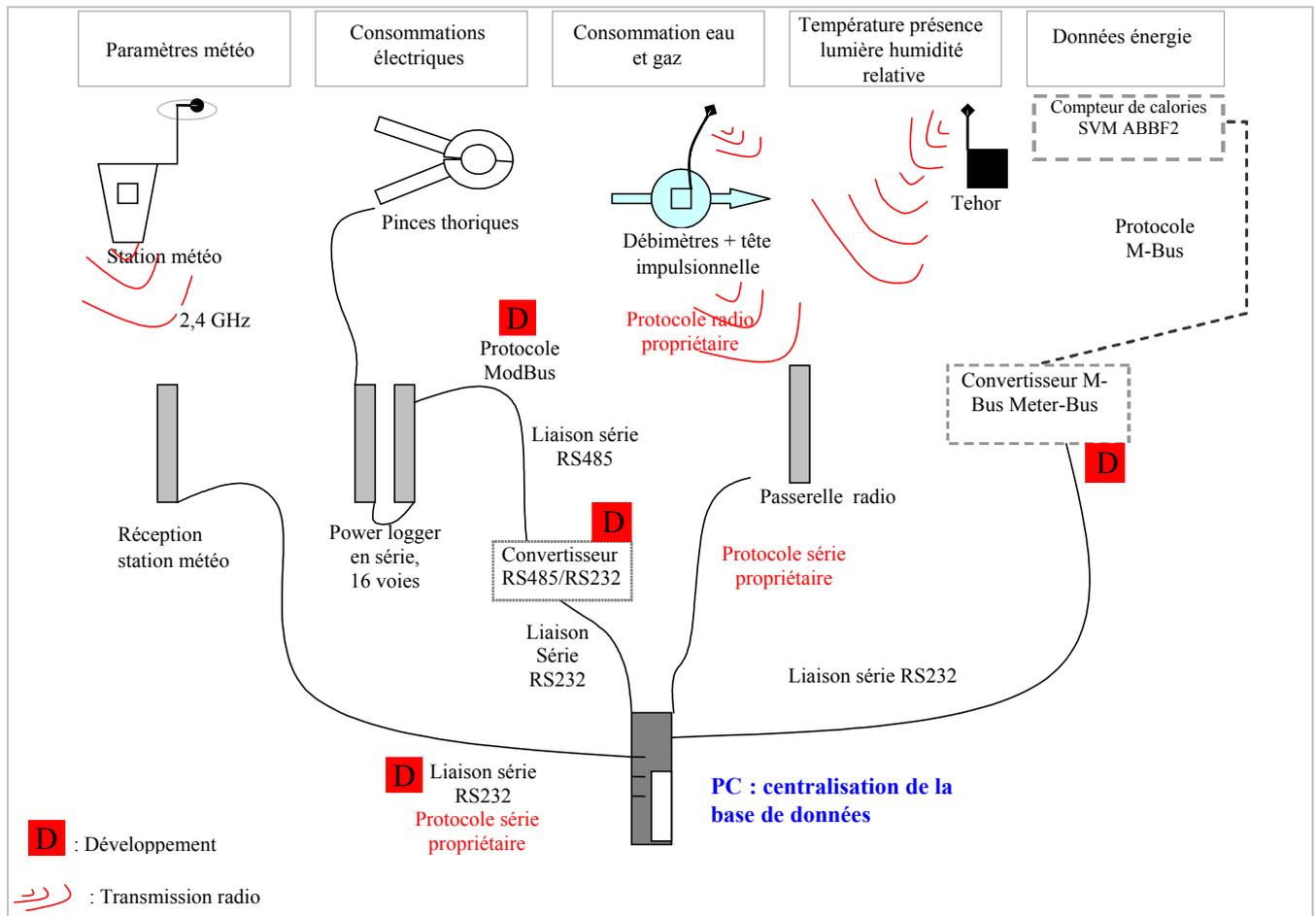


## Annexe 6 : Système d'acquisition des données d'ambiance intérieure

Hormis les capteurs CO<sub>2</sub>, tous les appareils sont reliés à cet ordinateur central qui enregistre les données en continu, à raison d'une mesure toutes les 10 minutes, formant ainsi une base de données unique par site et en fonction du temps.

Un ordinateur a été installé sur Bellegrave, et deux sur l'école Jules Ferry (en raison de l'éloignement de la partie restauration). Les logiciels de gestion des données ont été spécialement développés et continuellement optimisés pour faciliter l'exploitation de la base d'informations générée. Le système est schématisé sur les deux figures suivantes.

### Schématisation du système d'acquisition des données d'exploitation du bâtiment ECOSYS



➤ Les capteurs TEHOR (éclairage naturel et artificiel, présence, température d'air sec, humidité relative), ont été placés dans des zones aussi neutres que la configuration des lieux le permettait, et validés par la campagne de mesures préliminaires : entre 180 et 220 cm du sol, hors de portée des enfants, à l'abri d'un ensoleillement direct ou d'une source de chaleur ou de froid, ou encore d'humidité, et dans une zone dégagée pour la mesure de l'occupation.

Ecole Bellegrave : 13 appareils

Ecole Jules Ferry : 10 appareils

➤ Electricité

Les postes de consommation éclairage, eau chaude sanitaire (ECS), ventilation (CTA), convecteurs personnels et général ont été suivis. Par déduction le poste "autres" (majoritairement des prises d'appareils divers) a été déduit. Voici l'instrumentation précise mise en place sur les deux sites.

Postes de suivi des consommations d'électricité, école Bellegrave

<b>Bellegrave</b>			
Numéro du capteur : 3			
Input ID	départ TD	Postes couverts	Postes non couverts
1, 2, 3	general ECL 3	ECL biblio, classes, ateliers Réunion rased sanitaires adultes Circulation rased bureau direction	Laverie vestiaires blocs secours Eclairages extérieurs
4, 5, 6	ECL CIR	Toutes circulations	Toutes prises
7, 8, 9	GEN DIV 2	3 ECS	Eclairage évolution, sanitaires Eclairage sanitaires restauration
10, 11, 12	GEN DIV 3	7 ECS	Sonnerie, alimentation brises soleil
13, 14, 15	GEN DIV 4	2 CTA et 2 extractions	
Numéro du capteur : 5			
Input ID	départ TD	Postes couverts	Postes non couverts
1, 2, 3	GEN ECL 2	Tous éclairages, Restauration	Entretien buanderie rangement
4, 5, 6	GEN ECL 1	Tous éclairages Restaurant accueil garderie	Eclairage local rangement Eclairage de 2 dortoirs
7, 8, 9	GEN TD	Général armoire TD	
Numéro du capteur : 7			
Input ID	départ AGBT	Postes couverts	Postes non couverts, déduits
0, 1, 2	GEN DIV 1	1 ECS 1 laverie	Alimentation chaufferie Interphone, parafoudre
3, 4, 5	GEN DIV 2	1 CTA, 2 extracteurs	Central intrusion
13, 14, 15 14 15	GENERAL	General	
Numéro du capteur : 4			
Input ID	départ AGBT	Postes couverts	Postes non couverts, déduits
0, 1, 2	Gen CONV	7 Convecteurs	
3, 4, 5	Q35 APP CUIS	Machine à laver	Plaques chauffantes
6	Q 33	Kitchenette salle personnel	
7, 8, 9	Q 34	Four Cuis	
10, 11, 12	ECL 3	Eclairages pièces	
13	ECL 1	Eclairages pièces	
14	ECL 2	Eclairages pièces	

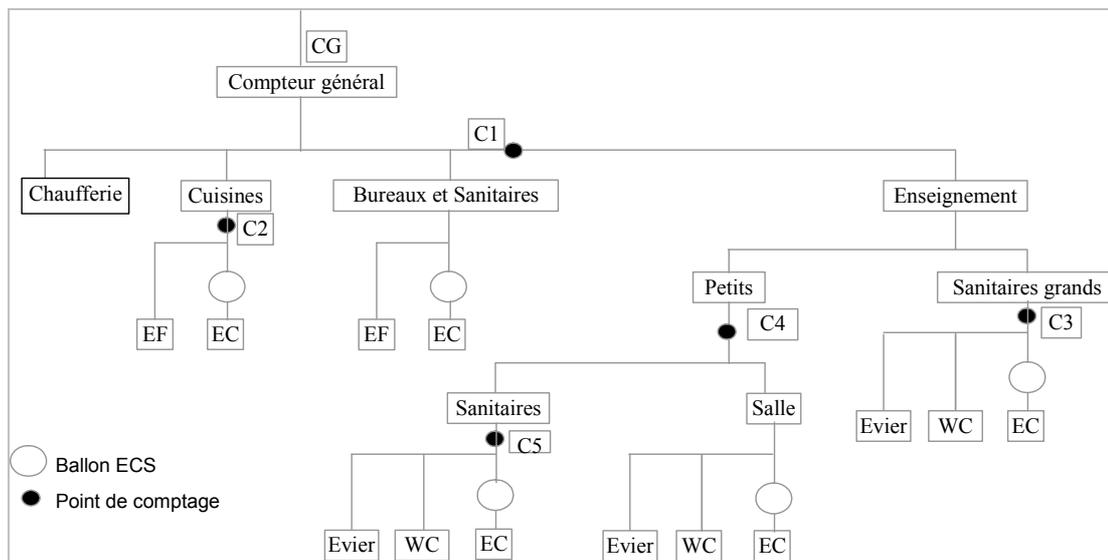
Postes de suivi des consommations d'électricité, école Jules Ferry

<b>Jules Ferry</b>		
Numéro du capteur : 8		
Input ID	Postes couverts	Postes non couverts, déduits
0	ECS 150 l	Convecteur personnels
1	Extraction office	
2, 3, 4	Protection circulation	
5, 6, 7	Coffret existant	
8, 9, 10	Alim tableaux	
13, 14, 15	GENERAL	
Numéro du capteur : 6		
Input ID	Postes couverts	Postes non couverts
0, 1, 2	Chauff élec K2	
3, 4, 5	ECS	
6, 7, 8	ECL	

➤ Consommations d'eau

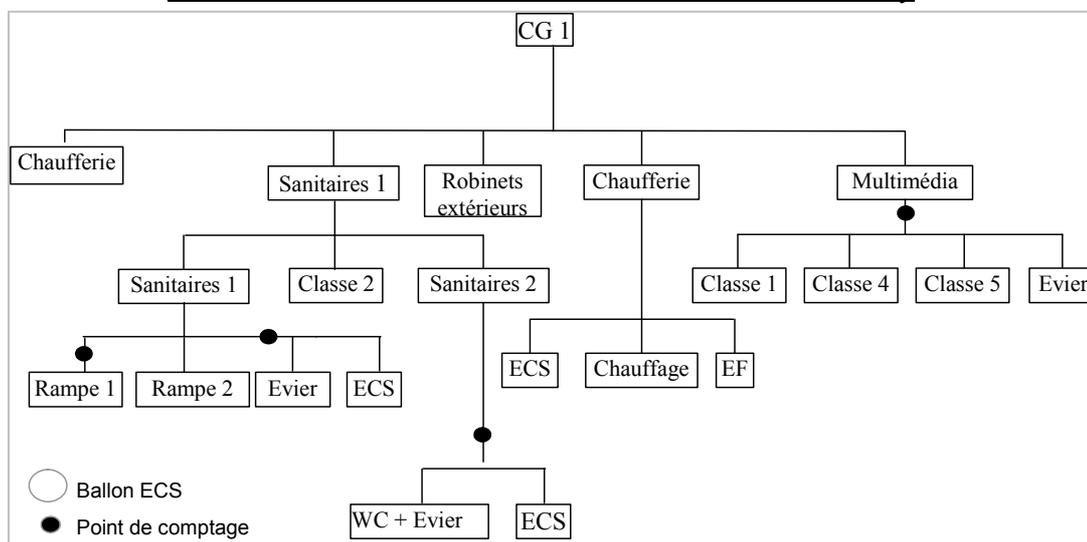
**Ecole maternelle de Bellegrave**

Points de suivi des consommations d'eau de l'école Bellegrave



**Ecole maternelle Jules Ferry**

Points de suivi des consommations d'eau de l'école Jules Ferry



## Annexe 7 : Description du capteur TEHOR

Le capteur TEHOR a été développé dans le travail de recherche de C.Devel [Devel, 2003].

L'idée de départ de la création de ce capteur est qu'il est nécessaire d'intégrer, en plus des mesures classiques de température et d'hygrométrie ambiantes, l'occupation et le niveau d'éclairage naturel, pour avoir une base d'information complète, intégrant le besoin, afin d'évaluer précisément les économies réalisables sur le poste éclairage, qui représente 35 à 40 % de la consommation d'électricité spécifique d'un bâtiment d'enseignement [www.syndicat-eclairage.com].

Le macrocapteur permet cette approche fine des paramètres d'ambiance et déduit des données énergétiques.

C'est un macro capteur sans fil des paramètres ambiants d'un local : température, éclairage (naturel et artificiel), humidité, occupation. Il est utilisable sur des bâtiments anciens comme neufs, et permet un suivi « temps réel » rapide et simple des paramètres ambiants. Son autonomie est de 3 ans, et il ne nécessite pas de câblage réseau.

L'interface logicielle est basée sur la technologie « Hot Plug and Play », qui permet une acquisition des informations immédiates. L'interface de visualisation propose un historique des valeurs mesurées et divers traitements : température moyenne, temps de fonctionnement de l'éclairage artificiel... Le capteur est compatible avec les systèmes de GTC et de domotique. Les domaines d'application sont : la gestion du confort, la gestion de l'éclairage, l'audit énergétique, l'optimisation des consommations, éventuellement la détection d'intrusion...

### Caractéristiques des mesures :

Température : -10 à 50 °C ± 0,1 °C

Humidité : 0 à 100% ± 3%

Eclairage : 0 à 4000 lux ± 5lux

Portée radio : 40 m

Fréquence d'acquisition : 5s mini

Autonomie sur pile: 3 ans

Exploitations des données

Interface graphique : application ou Internet

Suivi temps réel

Analyses des historiques

Gestion du parc de capteurs

Interopérabilité : ODBC, OPC, Service Web

### Voici quelques données techniques :

Poids : 250 grammes

Taille : 10\*12\*15, sans l'antenne

Température : -10 à 50 °C ± 0,1 °C , capteur SHT 75 Sensirion

Humidité relative : 0 à 100 % ± 3 % , capteur SHT 75 Sensirion

Lumière naturelle et artificielle : 0 à 4000 lux ± 5lux, photodiode à amplification, détection sensible, y compris en second jour pour les 2 paramètres

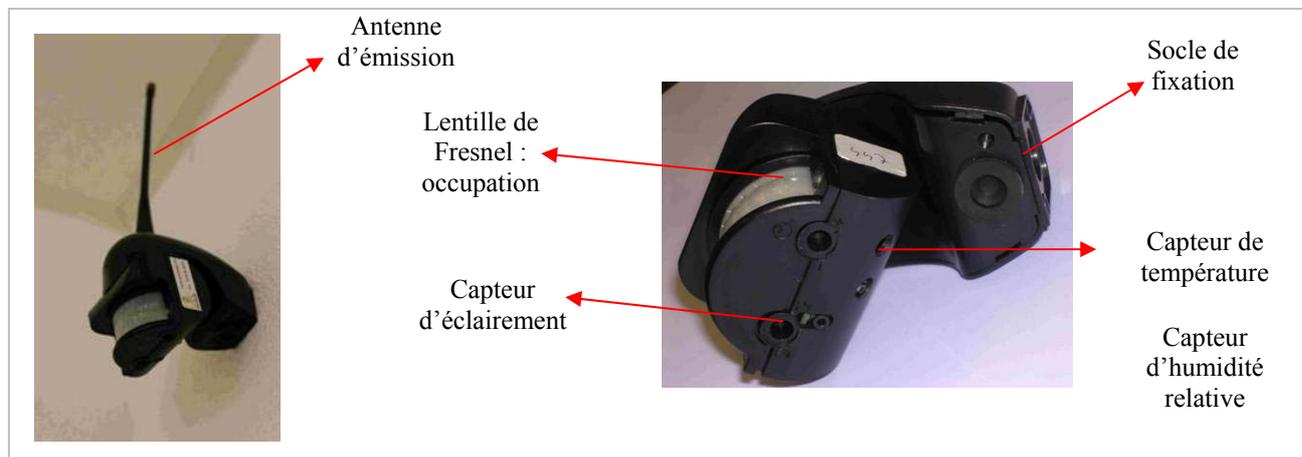
Fréquence d'acquisition : 5s minimum

Occupation : capteur pyro électrique infrarouge passif, réponse non proportionnelle, assimilable à oui / non

Autonomie du capteur : 3 ans

Rayon d'émission radio : 40 mètres dans le bâtiment

### Détail du capteur TEHOR



Le capteur TEHOR envoie 5 valeurs au pas de temps choisi (minimum 1 minute), ici 10 minutes, soit 262 800 données par capteur et par an. La base de données est gérée par le système de gestion SQL server. Elle stocke et organise les valeurs, qui sont ensuite consolidées sous logiciel Firebird, ce qui permet ainsi une exploitation immédiate par la création de requêtes. Nous avons utilisé le logiciel Access pour effectuer nos requêtes. La sélection des données voulues se fait par choix de la période désirée, du pas de temps, du capteur, du type de donnée.

## Description des appareils de mesure

### Capteurs Telaire® 7001

Capteur infrarouge portable de dioxyde de carbone avec enregistreur Hobo, gamme de 0 à 10 000 ppm, résolution  $\pm 1$  ppm, précision  $\pm 50$  ppm ou  $\pm 5\%$  jusqu'à 5 000 PPM, reproductibilité  $\pm 20$  ppm, dépendance à la température :  $\pm 0.1\%$  par  $^{\circ}\text{C}$  or  $\pm 2$  ppm par  $^{\circ}\text{C}$ , temps de réponse  $<60$  secondes for 90% de changement d'échelle, calibration tous les 12 mois, températures de fonctionnement de 0 to  $40^{\circ}\text{C}$ .

### Sonomètre

Mesure des bruits de fonds et niveaux équivalents : Sonomètre intégrateur portatif Kimo SDB 02+, gamme de mesure : 30-110 dB(A).



Mesure des temps de réverbération : Centrale d'acquisition Symphonie avec logiciel acoustique dbBati 02.

### Luxmètre

Mesure des éclairages naturel et artificiel : luxmètre portatif Delta OHMHD 8366, avec trépied.

### Anémomètre

Anémomètre Kimo VTM, et cône Kimo K35.

## Annexe 8 : Développements effectués pour le système ECOSYS

Les développements électroniques (de capteurs et de boîtiers) ont été nécessaires, car les produits correspondants aux besoins des mesures n'existaient pas dans le commerce. Les produits développés ont été :

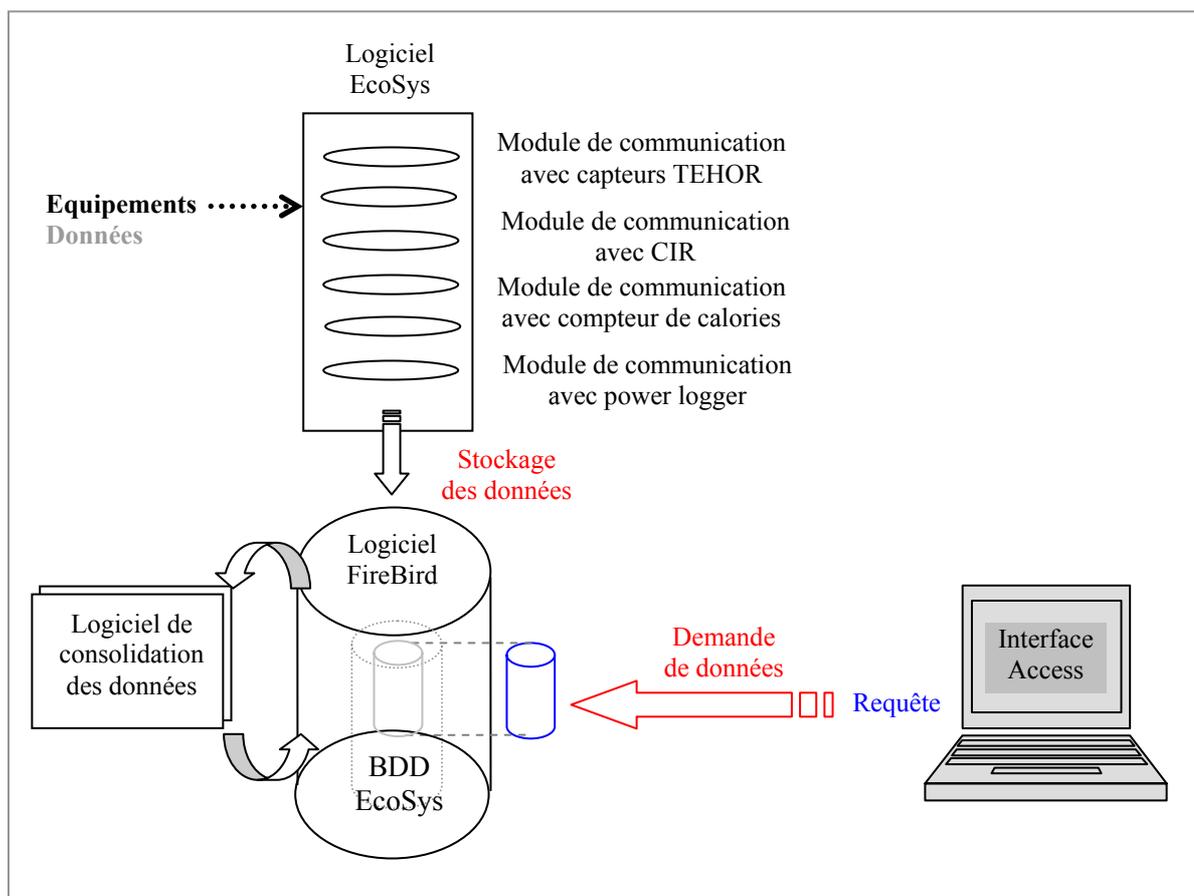
- Les compteurs à impulsion radio, avec les problématiques liées à la consommation d'énergie (ces appareils sont autonomes), et la transmission radio,
- Les power loggers, pour pouvoir instrumenter les armoires électriques en respectant les contraintes d'encombrement dans l'armoire, en posant un nombre de points élevé (une boîte power logger permet de centraliser 16 mesures, ce qui ne se trouve pas dans le commerce), et en intégrant le protocole Mod-Bus.

Les développements informatiques ont également été conséquents.

Les protocoles ont chacun nécessité le développement de logiciels spécifiques de communication avec les équipements, en intégrant différents protocoles, (Mod-Bus, courant pour les appareils industriels ; Meter-Bus, spécifique au comptage) :

- Power logger,
- Compteur impulsion radio,
- Compteur d'énergie,
- Un système de consolidation des données (pour la synchronisation des dates) a également été mis au point

### Schématisation de l'organisation du système d'acquisition des données ECOSYS



Les bases de données sont au format FireBird (système de gestion de bases de données relationnel), développé pour la communauté des logiciels libres, dimensionné pour gérer des bases de données conséquentes (plusieurs téra octets).

Pour faciliter l'exploitation, nous avons utilisé l'interface d'interrogation des données du logiciel Microsoft Access, s'appuyant sur une liaison ODBC vers Firebird.

Le système attribue à chaque donnée, outre une date, un ensemble constituant une clé d'identification. Cet ensemble de critères permet d'identifier les données pour réaliser une interrogation de la base de données. Il faut les éléments suivants :

- une période dans le temps (par exemple du 1<sup>er</sup> au 10 janvier 2005),
- un numéro de capteur (pour la localisation),
- le type de donnée (par exemple le capteur TEHOR en possède 5),
- le numéro de voie (par exemple les power logger en ont 16).

Une fois prélevées, le traitement des données est ensuite effectuable sous n'importe quel logiciel selon les besoins : Microsoft Excell, Matlab, ...

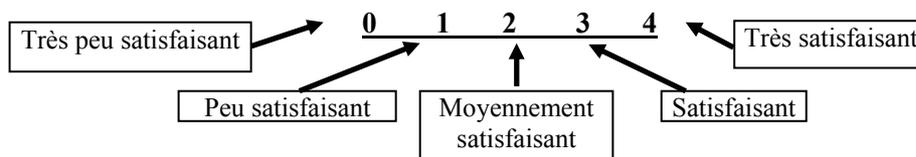
## Annexe 9 : Questionnaire d'enquête à destination des adultes

### Evaluation de la qualité environnementale du bâtiment « XXX » : usages et qualité de confort de votre lieu de travail

Date \_\_\_\_\_

Ce questionnaire a pour but de détailler votre appréciation de la qualité du bâtiment où vous travaillez. Il est composé de 4 parties : informations générales, extérieur du bâtiment, intérieur du bâtiment, bâtiment et usager.

Pour certaines questions, une échelle de notation a été adoptée : merci d'entourer la note choisie :



Merci de prendre 15 minutes afin de permettre cette étude sur la qualité d'un bâtiment d'enseignement, menée conjointement avec la municipalité de Pessac et l'Université Bordeaux 1.

#### Informations générales

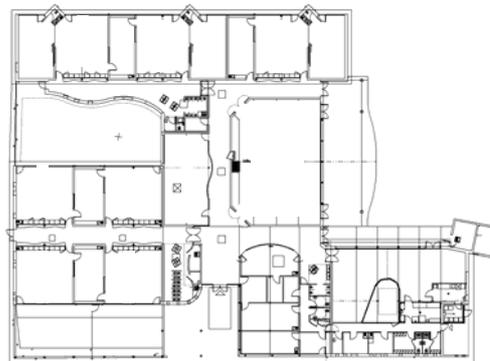
Monsieur  Madame

Age :    20/30                    30/40                    40/50                    >50

Activité :    Enseignante     ATSEM     Accueil     Entretien     Psychologue   
                  Médecin                     Autre

Hachurez la localisation principale de votre activité dans le bâtiment :  
(une seule réponse SVP) :

Classes    Ateliers    Bureaux administratifs    Locaux d'entretien  
Cuisine    Restauration    Cour    Bibliothèque    Salle d'évolution



#### Le bâtiment et son environnement

##### Accès local et stationnement

**Quel est votre moyen de transport le plus fréquent pour vous rendre sur votre lieu de travail ?**

Voiture                     A pied   
Vélo                     Transport collectif

Distance approximative domicile – travail : \_\_\_\_\_ km .

Etes-vous satisfait(e) :

- des accès au bâtiment :    0    1    2    3    4

- des aires de stationnement    0    1    2    3    4

##### Abords paysagers du bâtiment

**Etes-vous satisfait(e) du paysagement de la parcelle du bâtiment :**

0    1    2    3    4

Vous souhaiteriez : (*plusieurs réponses possibles*)

plus de verdure     plus de bancs     autre  précisez :

**Etes-vous satisfait(e) des vues sur l'extérieur :**    0    1    2    3    4

<b>Nuisances</b>	<b>Quelles autres nuisances extérieures auriez-vous éventuellement à signaler ?</b> Vents <input type="checkbox"/> Odeurs <input type="checkbox"/> Vibrations <input type="checkbox"/> Autre :
<b>Matériaux du bâtiment</b>	<b>Les matériaux composant le bâtiment vous semblent-ils :</b> Résistants aux intempéries en externe      oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Résistants aux usages en interne              oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Donner une sensation visuelle désagréable    oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Remarque :
<b>Organisation du bâtiment</b>	<b>Etes-vous satisfait(e) de l'organisation globale du bâtiment (fonctionnalité des espaces) :</b> 0 <u>  1  2  3  4</u> <b>Votre zone principale de travail vous semble-t-elle :</b> Bien disposée dans le bâtiment    oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> De surface suffisante                    oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Bien équipée : - en prises    oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> - en appareils    oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Evolutive dans la disposition du mobilier et des équipements      oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>

### L'environnement intérieur du bâtiment

<b>Confort thermique de votre local de travail</b>	<b>Etes-vous globalement satisfait(e) du confort thermique ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <b>Précisez :</b>	
		Matinée <span style="float: right;">Après-midi</span>
	Hiver	0 <u>  1  2  3  4</u>
		Raison de l'inconfort (note 0 à 2) Sensation de froid <input type="checkbox"/> de chaud <input type="checkbox"/>
	Eté	0 <u>  1  2  3  4</u>
		Raison de l'inconfort (note 0 à 2) Sensation de froid <input type="checkbox"/> de chaud <input type="checkbox"/>

<b>Gestion de l'énergie</b>	<b>En cas d'absence supérieure à une heure, éteignez-vous les éclairages artificiels ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
	<b>Le soir, laissez-vous certains appareils en veille</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
	<b>Utilisez-vous les stores :</b> <b>pour réguler les apports de lumière naturelle ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <b>pour minimiser les déperditions de chaleur le soir en hiver ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> <b>pour réguler les apports thermiques en été ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
	<b>Etes-vous satisfait(e) de vos possibilités de régulation :</b>
	- de la température intérieure :      0 <u>  1  2  3  4</u> - de l'éclairage naturel :              0 <u>  1  2  3  4</u> - de la ventilation naturelle :        0 <u>  1  2  3  4</u>



<b>Entretien</b>	<p><b>Etes-vous satisfait(e) de l'entretien / de la facilité d'entretien des lieux :</b> 0 <u>  1  2  3  4</u></p> <p><b>La fréquence d'entretien des lieux est-elle :</b> Elevée (une fois par jour au moins) <input type="checkbox"/> Moyenne (une fois/sem) <input type="checkbox"/> Faible (une fois/mois) <input type="checkbox"/></p> <p><b>Quel est selon vous le principal frein à l'entretien des locaux ?</b> surfaces importantes <input type="checkbox"/> qualité des sols délicate <input type="checkbox"/> inadaptation des produits sols <input type="checkbox"/> accessibilité des vitrages <input type="checkbox"/></p> <p>Autre, précisez :</p> <p>Vous travaillez dans un bâtiment dit « à haute qualité Environnementale » ; <b>qu'y a-t-il de remarquable selon vous par rapport à un bâtiment conventionnel :</b></p> <p><b>Ce qui vous semble mériter une amélioration :</b></p>									
<b>Acoustique</b>	<p><b>Etes-vous satisfait(e) du confort acoustique dans vos locaux de travail :</b> 0 <u>  1  2  3  4</u></p> <p><b>Les bruits internes vous dérangent-ils ?</b> Locaux voisins oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Machines oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Autre oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Précisez : (ventilation, ...)</p>									
<b>Qualité de l'air</b>	<p><b>Etes-vous satisfait(e) de la qualité de l'air intérieur :</b> 0 <u>  1  2  3  4</u></p> <p><b>Le renouvellement d'air vous semble-t-il suffisant :</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>Observations :</p>									
<b>Confort olfactif</b>	<p><b>Etes-vous satisfait(e) du confort olfactif :</b> 0 <u>  1  2  3  4</u></p>									
<b>Eclairage naturel</b>	<p><b>Etes-vous satisfait de l'éclairage naturel de vos locaux de travail ?</b> (qualité de la luminosité) :</p> <table border="1" data-bbox="424 1384 1437 1597"> <thead> <tr> <th></th> <th>matinée</th> <th>après-midi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hiver</td> <td>0 <u>  1  2  3  4</u></td> <td>0 <u>  1  2  3  4</u></td> </tr> <tr> <td>Été</td> <td>0 <u>  1  2  3  4</u></td> <td>0 <u>  1  2  3  4</u></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Etes-vous gêné(e) par le soleil direct :</b> En été : matin <input type="checkbox"/>1 après-midi <input type="checkbox"/>2      En hiver : matin <input type="checkbox"/>3 après-midi <input type="checkbox"/>4</p>		matinée	après-midi	Hiver	0 <u>  1  2  3  4</u>	0 <u>  1  2  3  4</u>	Été	0 <u>  1  2  3  4</u>	0 <u>  1  2  3  4</u>
	matinée	après-midi								
Hiver	0 <u>  1  2  3  4</u>	0 <u>  1  2  3  4</u>								
Été	0 <u>  1  2  3  4</u>	0 <u>  1  2  3  4</u>								
<b>Eclairage artificiel</b>	<p><b>Votre satisfaction de l'éclairage artificiel de votre pièce(s) de travail :</b> 0 <u>  1  2  3  4</u></p> <p><b>Essayez-vous de minimiser l'éclairage artificiel quand l'ensoleillement paraît suffisant ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>Remarques :</p>									
<b>Bruits</b>	<p><b>Etes-vous gêné(e) par les bruits :</b> De trafic <input type="checkbox"/> Activités du site (route, etc.) <input type="checkbox"/> Bruits de fond (vent, etc) <input type="checkbox"/></p>									

## Le bâtiment et vous

<b>Usages</b>	<p><b>Trouveriez-vous <u>contraignant</u> :</b></p> <p>D'éteindre vos appareils (tous) en quittant votre lieu de travail chaque soir ? (pas de mise en veille) <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p>De veiller à utiliser au mieux l'éclairage naturel ? <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p>De trier (<i>plus, si cela est déjà fait</i>) vos déchets ? <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p>De choisir vos équipements en tenant compte de leur consommation électrique ? <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p><b>Remarques :</b></p>
<b>Cadre</b>	<p><b>Quelle est votre satisfaction de la qualité de votre cadre de travail ?</b> 0 <u>  1  2  3  4</u></p> <p><b>A travers quels éléments particuliers ?</b>  éclairement naturel <input type="checkbox"/> espaces <input type="checkbox"/> ergonomie <input type="checkbox"/> mobilier <input type="checkbox"/>  couleurs <input type="checkbox"/> acoustique <input type="checkbox"/> thermique <input type="checkbox"/>  Autre, précisez :</p> <p><b>Que suggéreriez-vous pour l'améliorer ?</b></p>
<b>Informations</b>	<p><b>Etes-vous informé sur les dispositifs d'économie d'énergie et d'eau dans vos locaux ?</b> <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p><b>Etes-vous informés sur le tri et la gestion des déchets ?</b> <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p><b>Désireriez-vous avoir plus d'informations sur vos possibilités de gestion sur l'eau, de l'énergie et des déchets dans ce bâtiment ?</b> <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p><b>Quelle forme vous semble la plus motivante :</b></p> <p>Affiches simples réparties aux endroits adaptés (sanitaires, boutons d'éclairage, ...) <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p>Cahier distribué réunissant toutes les informations sur le bâtiment : <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p>Poster général à l'entrée du bâtiment : <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p><b>Suggestion :</b></p> <p><b>Seriez-vous d'accord si on vous suggérait des comportements d'usages différents ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p><b>Pour quelles raisons ?</b></p> <p><b>La démarche d'amélioration de qualité du bâtiment dans lequel vous travaillez influence-t-elle vos choix en matière d'usage et de consommations dans votre logement ou dans n'importe quel autre bâtiment ?</b> <span style="float: right;">oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></span></p> <p>Raison :</p> <p style="text-align: center;"><i>Avec tous nos remerciements</i></p>

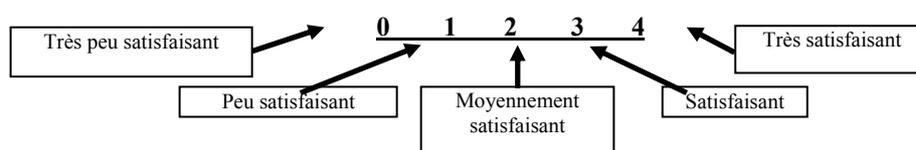
## Annexe 10 : Questionnaire réduit à destination des adultes

### Evaluation de la qualité environnementale du bâtiment « XXX » : usages et qualité de confort de votre lieu de travail

date

Ce questionnaire a pour but de détailler votre appréciation de la qualité du bâtiment où vous travaillez. Il est composé de 4 parties : informations générales, extérieur du bâtiment, intérieur du bâtiment, bâtiment et usager.

Pour certaines questions, une échelle de notation a été adoptée : merci d'entourer la note choisie :



Merci de prendre 5 minutes afin de permettre cette étude sur la qualité d'un bâtiment d'enseignement, menée conjointement avec la municipalité de Pessac et l'Université Bordeaux 1.

#### Informations générales

Monsieur  Madame  Age : 20/30      30/40      40/50      >50

Activité : Enseignement  Entretien  Autre

#### Le bâtiment et son environnement

<b>Accès local et stationnement</b>	<p><b>Quel est votre moyen de transport le plus fréquent pour vous rendre sur votre lieu de travail ?</b>                  Voiture <input type="checkbox"/> A pied <input type="checkbox"/> Vélo <input type="checkbox"/> Transport collectif <input type="checkbox"/>                  Distance approximative domicile – travail : _____ km .                   Etes-vous satisfait(e) des accès au bâtiment :      0    1    2    3    4</p>
<b>Abords paysagers du bâtiment</b>	<p>Etes-vous satisfait(e) du paysagement de la parcelle du bâtiment :                  0    1    2    3    4</p>
<b>Organisation du bâtiment</b>	<p>Etes-vous satisfait(e) de l'organisation globale du bâtiment (fonctionnalité des espaces) :                  0    1    2    3    4</p>

#### L'environnement intérieur du bâtiment

<b>Confort thermique de votre local de travail</b>	<p>Etes-vous globalement satisfait(e) du confort thermique ?    oui <input type="checkbox"/>    non <input type="checkbox"/>                  Précisez :</p> <p>Hiver      0    1    2    3    4                                      0    1    2    3    4</p> <p>Été          0    1    2    3    4                                      0    1    2    3    4</p>
<b>Acoustique</b>	<p>Etes-vous satisfait(e) du confort acoustique dans vos locaux de travail :                  0    1    2    3    4</p>

<b>Qualité de l'air</b>	<b>Etes-vous satisfait(e) de la qualité de l'air intérieur :</b> 0 <u>  </u> 1 <u>  </u> 2 <u>  </u> 3 <u>  </u> 4
<b>Confort olfactif</b>	<b>Etes-vous satisfait(e) du confort olfactif :</b> 0 <u>  </u> 1 <u>  </u> 2 <u>  </u> 3 <u>  </u> 4
<b>Eclairage naturel</b>	<b>Etes-vous satisfait de l'éclairage naturel de vos locaux de travail ? (qualité de la luminosité) :</b>  oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>
<b>Le bâtiment et vous</b>	
<b>Cadre</b>	<b>Quelle est votre satisfaction de la qualité de votre cadre de travail ?</b> 0 <u>  </u> 1 <u>  </u> 2 <u>  </u> 3 <u>  </u> 4  <b>A travers quels éléments particuliers ?</b> éclairage naturel <input type="checkbox"/> espaces <input type="checkbox"/> ergonomie <input type="checkbox"/> mobilier <input type="checkbox"/>  couleurs <input type="checkbox"/> acoustique <input type="checkbox"/> thermique <input type="checkbox"/>
<b>Informations</b>	<b>Etes-vous informé sur les dispositifs d'économie d'énergie et d'eau dans vos locaux ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>  <b>Etes-vous informés sur le tri et la gestion des déchets ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>  <b>Désireriez-vous avoir plus d'informations sur vos possibilités de gestion sur l'eau, de l'énergie et des déchets dans ce bâtiment ?</b> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>  <i>Avec tous nos remerciements</i>



Peux-tu dire pourquoi ?

---

Ce que tu préfères dans ton école :

---

Ce que tu n'aimes pas dans ton école :

---

Si tu avais le choix que changerais-tu, qu'apporterais-tu ?

des plantes                      plus de petits coins pour être tranquilles                      plus de bancs dehors

...

autres :

## Dans ta classe :

---

Est-ce que tu te sens bien dans ta classe ?	oui	non
---	-----	-----

---

Trouves-tu qu'il y a trop de bruit ?	oui	non
--------------------------------------	-----	-----

---

As-tu assez de lumière ?	oui	non
--------------------------	-----	-----

---

As-tu parfois trop de lumière ?	oui	non
---------------------------------	-----	-----

---

As-tu assez de place ?	oui	non
------------------------	-----	-----

---

Aimes-tu les tables, les chaises et les meubles ?	oui	non
---	-----	-----

---

T'arrive-t-il d'avoir chaud ?	beaucoup	pas souvent	presque jamais
-------------------------------	----------	-------------	----------------

---

T'arrive-t-il d'avoir froid ?	beaucoup	pas souvent	presque jamais
-------------------------------	----------	-------------	----------------

---

Aimes-tu la vue que tu as dehors ?	oui	non
------------------------------------	-----	-----

---

As-tu assez de place pour toi dans ta classe ?	oui	non
--	-----	-----

---

Aimes-tu l'atelier pour travailler ?	oui	non
--------------------------------------	-----	-----

*Merci !*

## Annexe 12 : Détail des taux d'acquisition des informations des capteur TEHOR

Tableau des taux d'acquisition des données pour un bâtiment d'une capacité de 220 personnes, 1710 m<sup>2</sup> de surface chauffée, de 13 pièces suivies :

Bellegrave	10	11	12	2	23	24	25	3	4	6	7	8	9
janvier	99%	99%	99%	96%	0%	61%	61%	82%	96%	82%	99%	99%	98%
février	96%	96%	96%	95%	90%	96%	96%	90%	95%	90%	95%	96%	95%
mars	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	96%	98%	98%	98%	98%
avril	90%	90%	90%	90%	53%	90%	89%	62%	89%	90%	90%	90%	89%
mai	100%	100%	100%	100%	37%	100%	100%	88%	97%	100%	100%	100%	98%
juin	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
juillet	96%	96%	95%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	95%
août	99%	99%	97%	98%	98%	98%	98%	99%	99%	98%	99%	20%	96%
septembre	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
octobre	21%	21%	21%	9%	21%	21%	20%	21%	20%	21%	21%	21%	21%
novembre	83%	83%	83%	78%	83%	81%	82%	80%	82%	83%	83%	83%	82%
décembre	100%	100%	100%	100%	97%	97%	82%	100%	100%	99%	100%	100%	85%
Total *	73%	73%	73%	72%	56%	70%	68%	68%	73%	71%	73%	67%	71%
En alimentation	95%	96%	95%	94%	72%	91%	89%	88%	94%	93%	95%	87%	93%

\* en tenant compte des coupures de courant

Tableau des taux d'acquisition des données pour un bâtiment d'une capacité de 170 personnes, 678 m<sup>2</sup> de surface chauffée, de 10 pièces suivies :

Jules Ferry	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
janvier	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	6%	6%
février	92%	89%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	56%	56%
mars	86%	21%	87%	87%	87%	87%	86%	87%	99%	99%
avril	72%	0%	89%	89%	89%	88%	89%	89%	99%	99%
mai	99%	0%	99%	99%	99%	100%	99%	99%	90%	90%
juin	92%	0%	100%	100%	96%	92%	95%	99%	98%	98%
juillet	99%	0%	99%	99%	99%	99%	98%	0%	99%	99%
août	99%	2%	99%	99%	94%	100%	99%	2%	99%	99%
septembre	10%	92%	74%	72%	98%	85%	55%	100%	1%	19%
octobre	87%	84%	90%	81%	97%	94%	81%	99%	87%	87%
novembre	100%	100%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	96%	96%
décembre	96%	88%	100%	100%	100%	94%	99%	99%	92%	92%
Total *	79%	41%	87%	87%	89%	88%	85%	74%	77%	78%
En alimentation	94%	90%	96%	95%	96%	95%	94%	96%	96%	96%

\* en tenant compte des coupures de courant

### **Annexe 13 : Analyse du coût de mise en œuvre du capteur TEHOR**

Le déploiement de l'instrumentation sur les deux bâtiments de ce travail permet d'avoir un premier aperçu du coût de mise en œuvre d'un suivi TEHOR d'un bâtiment.

Ici les frais engagés pour un suivi de 2 ans s'élèvent à :

Moyens	Prix € HT
Installation sur site	1 750
Suivi et maintenance	5 600
Démontage	1 050
Exploitation des données	8 400
Capteurs (27)	5 200
Total	22 000

Notons qu'il s'agit d'une application dans le cadre d'un projet de recherche et que le capteur n'est pas encore produit ou utilisé au stade industriel. De plus nous montrerons par la suite que le nombre de capteurs installés sur le bâtiment peut être réduit pour une qualité de suivi constante du bâtiment.

Le coût de mise en œuvre et de suivi du système reste encore à optimiser. En effet le système a eu besoin de nombreux ajustements, en particulier sur la première année de mise en œuvre, qui ont augmenté les coûts. Ces ajustements et développements bénéficient à l'optimisation du système par ses concepteurs.

*Remarque* : Sur les deux bâtiments que nous avons instrumentés, les capteurs n'ont fait l'objet d'aucune remarque (critique esthétique, gêne éventuelle ressentie, etc.).

## Annexe 14 : Signature énergétique des deux maternelles

Le bilan des flux à l'équilibre thermique d'un bâtiment est, de façon simplifiée à l'instant (t):

$$BC(t) + AS(t) + AI(t) = DP \cdot (T_{int}(t) - T_{ext}(t)) + ST(t)$$

avec :

$BC(t)$ , besoins de chauffage à couvrir pour maintenir la température intérieure (en watts)

$AS(t)$ , gains solaires récupérés (en watts)

$AI(t)$ , apports internes récupérés (occupants et appareils électriques) (en watts)

$DP$ , coefficient de déperditions thermiques par transmission et renouvellement d'air (en W/°C)

$T_{int}(t)$ , moyenne des températures intérieures (en °C)

$T_{ext}(t)$ , température extérieure, (en °C)

$ST(t)$ , chaleur stocké par accumulation thermique, négligé sur un temps long, (en watts)

A partir des mesures effectuées sur les 2 sites, on peut déduire, pour une période de temps de 24 heures, le bilan thermique global pour chacun des 2 bâtiments :

$$CC = DP \cdot \left( \sum_0^{24} (T_{int} - T_{ext}) \right) - AG$$

avec :

$CC$ , besoins thermiques quotidiens pour le chauffage (en Wh mesurés par compteur de calories),  
 $AG$ , apports gratuits récupérés (en Wh),

$\sum_0^{24} (T_{int} - T_{ext})$ , Somme (sur 24 heures) des écarts mesurés entre températures intérieure et extérieure (en °C.h).

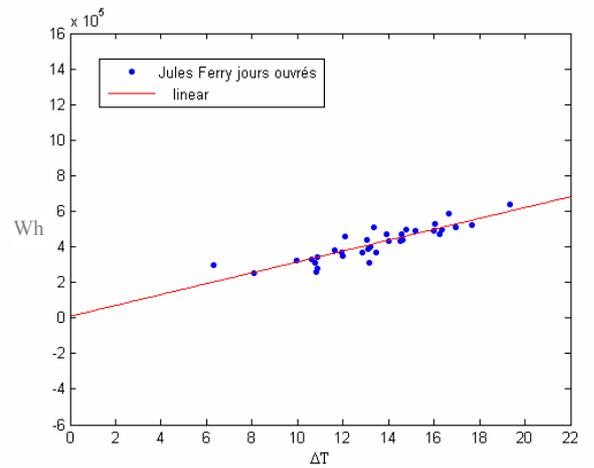
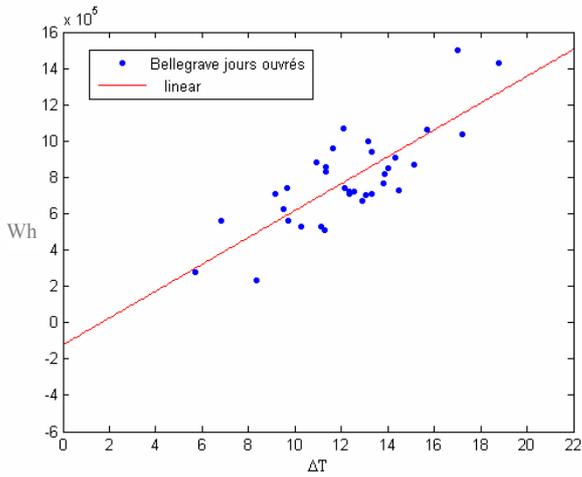
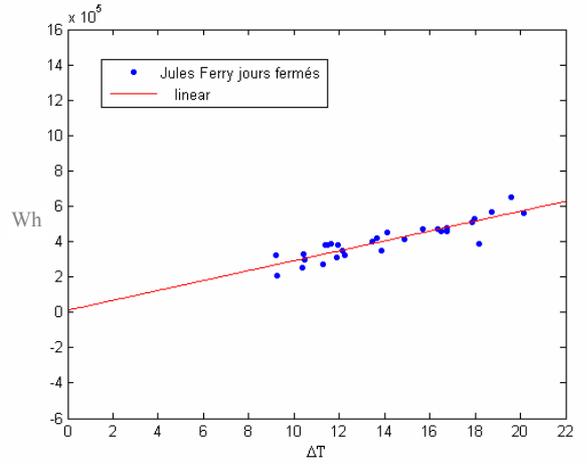
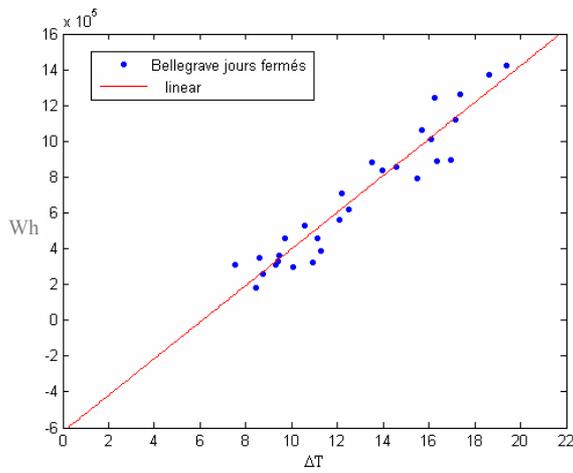
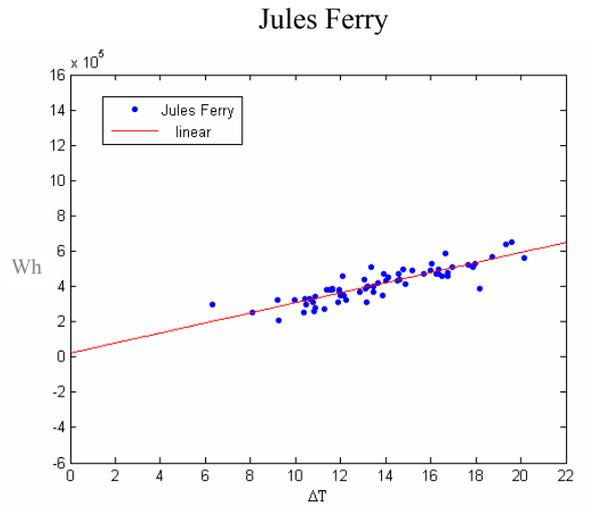
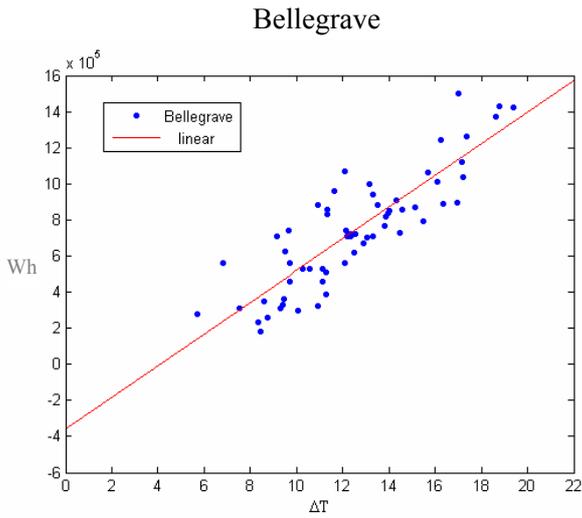
Sur les graphiques, sont portés en abscisse, les valeurs  $\Delta T$  exprimant l'écart intérieur/extérieur moyen et en ordonné, les valeurs  $CC$ . Nous avons présenté 3 types de graphiques pour chacun des 2 sites :

- 1) tous les jours ouverts,
- 2) tous les jours fermés,
- 3) l'ensemble des jours sans distinction.

On identifie ainsi l'impact de l'occupation sur le comportement thermique de chacun des bâtiments.

La pente de la droite nous donne une estimation du coefficient de déperditions thermiques moyen, et le croisement avec l'axe des ordonnées nous renseigne sur les apports passifs globaux, et en partie sur l'efficacité solaire.

Signature énergétique globale, jours fermés et jours ouverts , nov 2005 à janv 2006

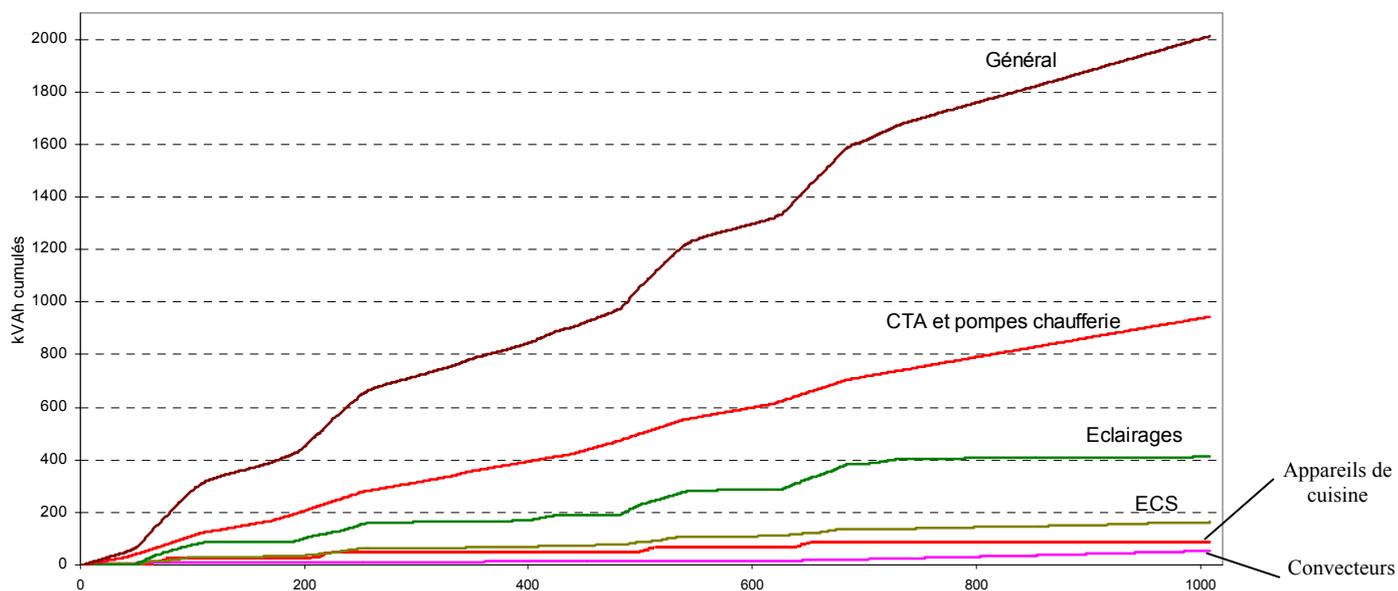


Surfaces  
Volumes

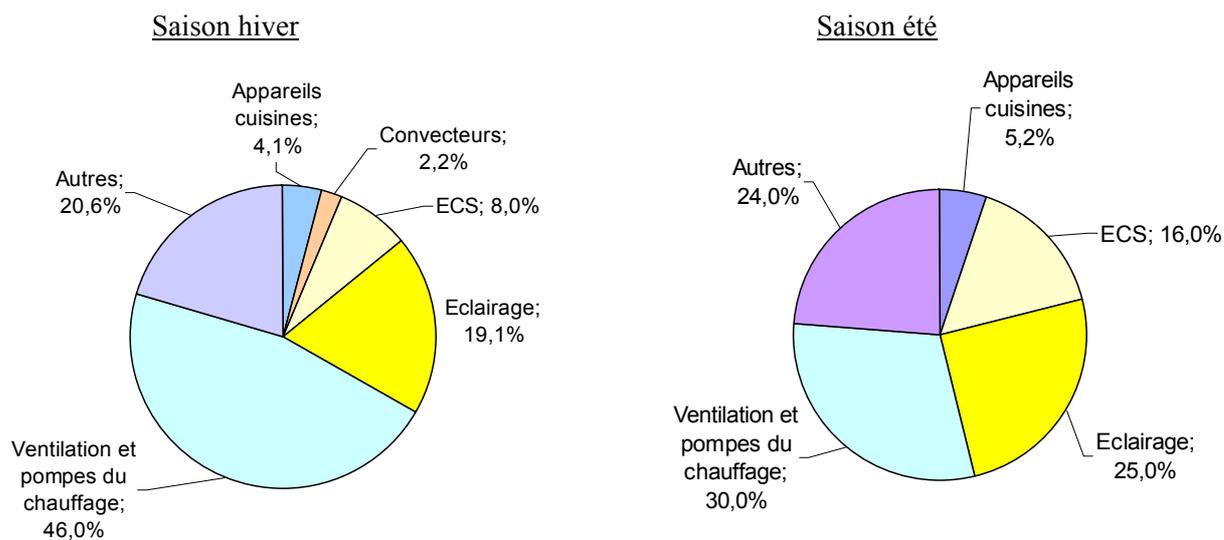
Jules Ferry 678 m<sup>2</sup> Bellegrave 1637 m<sup>2</sup>  
Jules Ferry 1882 m<sup>3</sup> Bellegrave 4584 m<sup>3</sup>

## Annexe 15 : Analyse des consommations d'électricité

Tracé d'une semaine type de consommation par poste, école Bellegrave, semaine de février 2005



Parts de consommation d'électricité pour les différents postes, école Bellegrave



## Annexe 16 : Outil OPALE : présentation sur l'école Bellegrave

### Page 1 : notice

### Notice

**OPALE : Optimisation des Performances par Actions de Limitation des Emissions**

**Introduction**

Ces pages proposent une méthode d'évaluation simple d'une liste de performances environnementales de bâtiments d'enseignement, à partir de données classiquement disponibles sur un bâtiment tertiaire (indicateurs de niveau 1). Il est construit pour un bâtiment et pour une année d'exploitation.  
Un deuxième niveau d'évaluation nécessite des données à importer suite à une instrumentation à minima des bâtiments.

**Comment utiliser et lire ce fichier**

Ce fichier d'évaluation environnementale et économique se compose de 4 feuilles de saisie des données d'exploitation du bâtiment : **carte d'identité du bâtiment** avec données de conception, effectifs, équipements principaux et renseignement sur les gestionnaires et responsables de maintenance (données administratives) ; **consommations et coûts** (eau énergie déchet entretien); **confort et santé (données obtenue par une campagne de mesure parallèle); enquête** auprès des personnes ressource du bâtiment évalué. La feuille **Indicateurs** synthétise ces données et expriment l'évaluation du bâtiment sous forme d'indicateurs placés sur une échelle d'évaluation commune. Dans un deuxième temps l'outil présentera une liste de préconisations envisageables face aux résultats des indicateurs et fonction des responsabilités.  
L'échelle d'évaluation est obtenue à partir d'une base de données de 19 écoles de la ville de Pessac. Il conviendra de compléter cette échelle avec une base de données à l'échelle départementale par exemple pour ce type de bâtiment.

**Référentiel de notation**

Les référentiels sont construits à ce jour sur une base de données de 19 sites sur 3 années d'exploitation, avec pour soucis une discrimination maximale des bâtiments entre eux. Elle demandera complément par la suite.  
Dans la partie INDICATEURS, l'échelle de notation de A à G est notée sur les graphiques polaires respectivement de 7 à 1

**Codes de couleur**

Un code de couleur informe sur le type de paramètre s'affichant dans l'outil :

	donnée indispensable au calcul des indicateurs de niveau 1
	donnée issue des enquêtes
	donnée(s) issue(s) de la base de donnée lourde
	performance globale d'un thème d'évaluation

**Définition de la campagne de mesures à minima**

Acoustique : temps de réverbération dans les classes et la restauration  
Eclairage : vérification des niveaux d'éclairage naturel et artificiel  
Confort thermique et énergie : campagne de mesure un mois d'hiver et 1 mois d'été  
Qualité de l'air : mesures par capteur Telaire une semaine en été une semaine en hiver, classes et dortoirs  
Ventilation : mesure des débits des classes et dortoirs

**Campagne de mesures réalisée**

**Capteurs Tehor :** température, éclairage, humidité, Présence, mesures en continu

**Luxmètre :** mesures ponctuelles éclairage naturel / artificiel

**Mesures acoustiques**

**Utilisateurs**

**Enquêtes, observations**

## Page 2 : Fiche du bâtiment

Fiche du bâtiment				
<b>Données administratives</b>				
Année de l'évaluation	2004			
Type d'activité hébergée	Enseignement		Effectifs (élèves + adultes)	170
Nom du bâtiment	Maternelle Bellegrave		Effectif moyen par classe (élèves + adultes)	30
Adresse complète	rue du Colonel Jacqui 33600 Pessac			
Station météo de référence	Mérignac		Nombre de jours ouverts par an	182
Gestionnaire	commune de Pessac			
Maître d'ouvrage	CUB			
Maîtres d'œuvre	Architecte	Ersol		
Entreprises de maintenance	Chauffage	Elyo		
	Ventilation	Elyo		
Date de mise en exploitation	01/01/2004			
Dernière rénovation				
Durée de vie estimée	40	ans		
<b>Surfaces</b>			<b>Volumes</b>	
Surface du site	5 602	m <sup>2</sup>	Volume chauffé	4 584 m <sup>3</sup>
Emprise au sol	3 569	m <sup>2</sup>		
Surfaces imperméabilisée	2 090	m <sup>2</sup>		
Surface chauffée	1 637	m <sup>2</sup>		
Surface végétalisée	600	m <sup>2</sup>		
<b>Energie</b>		centrale gaz sol basse T°C	<b>Système de ventilation mécanique</b>	
Energie de chauffe	gaz de ville		double flux	
Puissance chaudière	160	kW	Débit de ventilation régime haut	1 290 m <sup>3</sup> /h
Energie ECS	électricité		Débit de ventilation régime bas	1 090 m <sup>3</sup> /h
Energie verte	0	kW	Débit de ventilation restauration	919 m <sup>3</sup> /h
			Débit max réel classes	100 m <sup>3</sup> /h
			Débit max réel dortoirs	90 m <sup>3</sup> /h
<b>Eau</b>		Nb	m <sup>3</sup> /an	<b>Eclairages</b>
Cuvettes enfants	29			Surfaces éclairages manuels
Fontaines enfants	48			S. éclairages manuels faible consommation
Evers enfants	14			Surface détection automatique
WC adultes	5			Puissance électrique installée
Cuisine points d'eau	5			Surface éclairage à faible consommation
Points extérieurs	8			
<b>Equipements</b>			<b>Déchets d'activité</b>	
Puissance électrique installée			% tri communal	75
Convecteurs personnels			% valorisation communal	15
Cuisines			Tri dans le bâtiment par tous les usagers	1
<b>Détail des surfaces</b>				
bibliothèque	75,9	m <sup>2</sup>		
cuisines	25,9	m <sup>2</sup>		
restauration	120,6	m <sup>2</sup>		
salles administration	77,3	m <sup>2</sup>		
classes	573,1	m <sup>2</sup>		
dortoirs	125,3	m <sup>2</sup>		
locaux techniques	63,1	m <sup>2</sup>		
locaux entretien et personnel	28,1	m <sup>2</sup>		
locaux rangement	25,7	m <sup>2</sup>		
circulations	332,7	m <sup>2</sup>		
sanitaires	93,7	m <sup>2</sup>		
évolution	200,2	m <sup>2</sup>		
surfaces extérieures	1 828,8	m <sup>2</sup>		

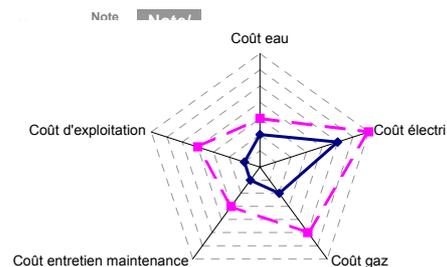
Consommations et coûts annuels							2004
<b>Coûts</b>		€ ttc			DJU annuels	1948	
Eau	2 030				DJU 30aires	2037	
Electricité	3 783						
Gaz	4 191						
Eau électricité gaz	10 004						
Entretien (achats)	1 680						
Maintenance	8 893						
Investissements QE	0						
<b>Consommations annuelles du site</b>			Référence				
<b>Eau</b>	722	m <sup>3</sup>	495				
Utilisation des eaux pluviales	0	(1:oui, 0:non)					
<b>Energie</b>							
Electricité	23 370	kWh	% nucléaire	78	% thermique	8,9	
Gaz	131 649	kWh	% renouvelable		13,1		
Bois		kWh					
Fuel		kWh					
Mazout		kWh					
Production d'énergie renouvelable	0	(1:oui, 0:non)					
<b>Entretien maintenance</b>							
P2	3 965	€ttc					
P3		€ttc					
Détergents lessives savons	294	l					
Détartrants et produits chlorés	526	l					
TGAP € ttc	14,1	€ ht					
<b>Déchets</b>							
Estimation des déchets quotidien par personne	0,7	kg					
Tri des déchets (1 : oui , 0 : non)	1						

Confort et Santé			2004
<b>Confort thermique d'hiver</b>			Unités
Mesure du temps de confort, zone classes	82	%	
Mesure du temps de confort, zone restauration	80	%	
Mesure du temps de confort, zone bibliothèque	91	%	
Mesure du temps de confort, zone circulations	91	%	
Mesure du temps de confort, zone évolution	88	%	
% de personnes satisfaites	75	%	
<b>Confort thermique d'été</b>			
Mesure du temps de confort, zone classes	88	%	
Mesure du temps de confort, zone restauration	82		
Mesure du temps de confort, zone bibliothèque	91		
Mesure du temps de confort, zone circulations	89		
Mesure du temps de confort, zone évolution	97		
% de personnes satisfaites	75	%	
Satisfaction du confort thermique chez les enfants	69	%	
<b>Confort visuel</b>			Références
Facteur de Lumière de Jour (%)	6	%	2
Niveau d'éclairage artificiel des classes	470	lx	400
Niveau d'éclairage artificiel de la bibliothèque	540	lx	425
Niveau d'éclairage artificiel de la restauration	392	lx	325
Niveau d'éclairage artificiel des circulations	130	lx	80
% d'éclairage artificiel réglementaire	100	%	
% de personnes satisfaites	92,5	%	
Satisfaction du confort visuel chez les enfants		%	
<b>Confort acoustique</b>			
Temps de réverbération des classes	0,5	secondes	
Temps de réverbération de la restauration	0,7	secondes	
Niveau de bruit de fond équivalent	38	dB(A)	
% de personnes satisfaites	87,5	%	
Satisfaction du confort acoustique chez les enfants	39	%	
<b>Qualité de l'air</b>			
% de points <1000 ppm en occupation	91	%	
% de personnes satisfaites	85	%	
<b>Qualité du site</b>			
% de personnes satisfaites	90	%	
Satisfaction globale sur l'école pour les enfants	88	%	
<b>Usage et gestion</b>			
% de personnes déclarant connaître les systèmes du bâtiment	32,5	%	
% de personnes sensibles aux problèmes environnementaux	85	%	
% de personnes ayant accédé à une information sur les bonnes pratiques	17,5	%	

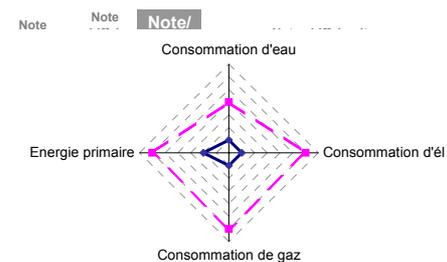
INDICATEURS

Détails des indicateurs

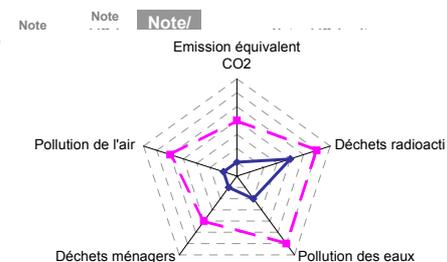
Coûts	Valeur	Unités	PA	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Coût eau	1 741	€ TTC	1 183	2,6	F	11,2	E	G
Coût électricité	1 678	€ TTC	300	2,5	C	10,8	A	
Coût gaz	3 515	€ TTC	2 238	5,2	F	22,7	C	
Coût énergie	5 193	€ TTC	2 538	7,7	G	33,5	B	
Coût eau gaz électricité	6 934	€ TTC	3 721	10,3	G	44,7	B	
Coût entretien maintenance	16 356	€ TTC	14 340	24,3	G	105,5	E	
Coût d'exploitation	23 290	€ TTC	18 061	34,7	G	150,3	D	



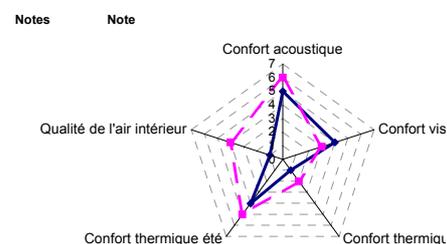
Eau et énergie	Valeur	Unités	PA	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Consommation d'eau	631	m <sup>3</sup>	284	0,939	G	4,1	D	F
Consommation d'électricité	15 861	kWh	8 469	23,6	G	102,3	B	
Consommation de gaz	101 437	kWh	65 149	151	G	654,4	B	
Energie primaire	146 993	kWh ep	73 073	219	F	948,3	B	



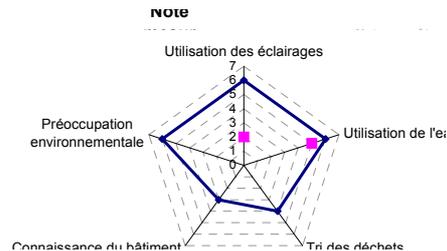
Environnement	Valeur	Unités	PA	Ratio /m <sup>2</sup>	Note /m <sup>2</sup>	Ratio /pers	Note /pers	Note globale
Emission équivalent CO <sub>2</sub>	40 377	kg eqCO <sub>2</sub>	17 709	60,1	G	260	D	F
Déchets radioactifs	1	dm <sup>3</sup>	0,4	1,6E-03	D	6,910	B	
Pollution des eaux	10	indice	60%	14,1	F	61,3	B	
Déchets ménagers	11	tonnes	2,8	16,8	G	0,7	D	
Pollution de l'air	88	kg	42,68	0,130	G	566	C	



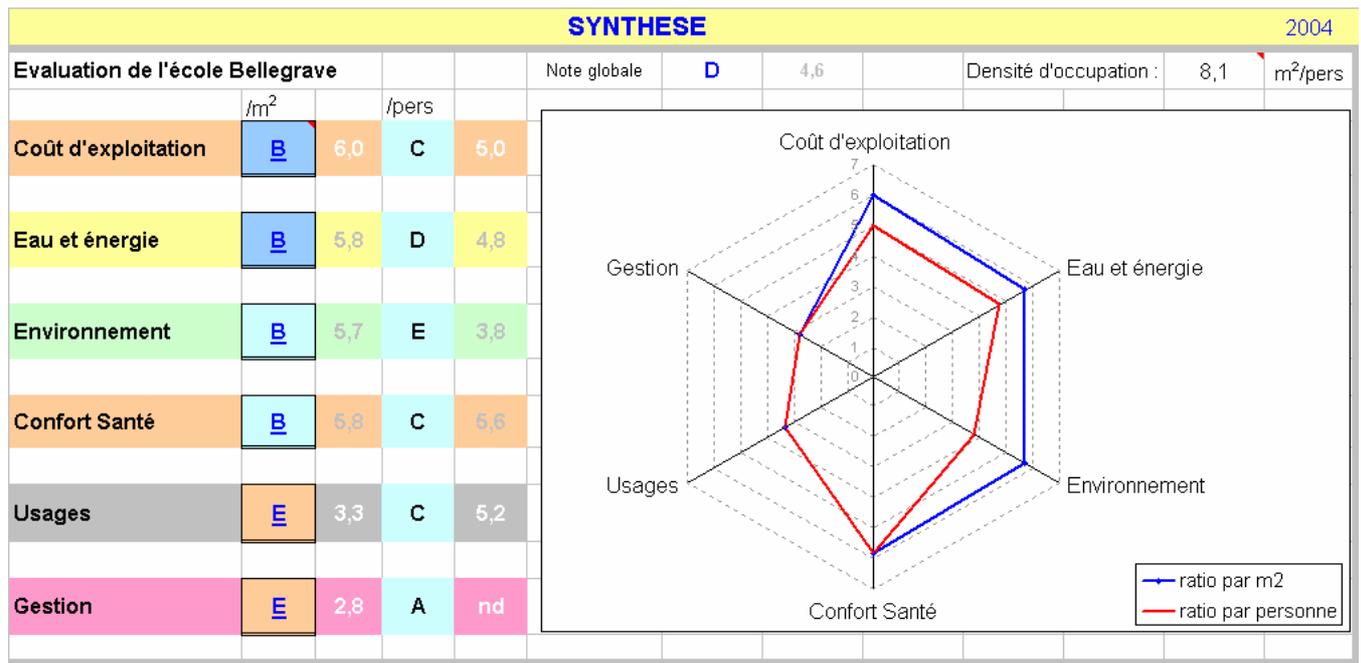
Confort Santé	Valeur	Unités	PA	Unités	Note mesures	Enquête	Note enquête	Note globale
Confort acoustique	7	indice	8	dB A éclairage artificiel	B	72	C	D
Confort visuel	3	indice	100%		E	65	D	
Confort thermique hiver	60	%	35		F	72	G	
Confort thermique été	86	%	9		C	65	D	
Qualité de l'air intérieur	62	%	38		D	32,5	G	



Usages	Valeur	Unités	PA	Unités	Note mesures	Enquête	Note enquête	Note globale
Utilisation des éclairages	70	%	65	%	F	95	B	F
Utilisation de l'eau	40	%	10	(pers.)	C	90	B	
Tri des déchets	75	%	25	%	D	90	D	
Connaissance du bâtiment	nd	%	80	%	nd	20	E	
Préoccupation environnementale	nd	%	18	%	nd	78	B	



## Page 6 : Signature environnementale du bâtiment



## Annexe 17 : Etude particulière : les composés organiques volatils dans les deux maternelles

Ce travail a été effectué en collaboration avec Valérie Desausier et Virginie Larroque de l'Ecole des Mines d'Alès, Laboratoire Génie de l'Environnement Industriel à Pau.

L'école Bellegrave est nommée « Bell » et l'école Jules Ferry est nommée école « JF » dans les graphiques. Le n°1 correspond aux classes des petits et le n° 2 aux classes des moyens.

Les mesures ont été effectuées dans 2 classes de chaque établissement en hiver (mars 2005) et en été (juin 2005). L'influence des produits de nettoyage a également été étudiée.

Quatre campagnes de prélèvements ont été effectuées. Une en hiver, avant ménage, une en hiver après ménage et de même en été.

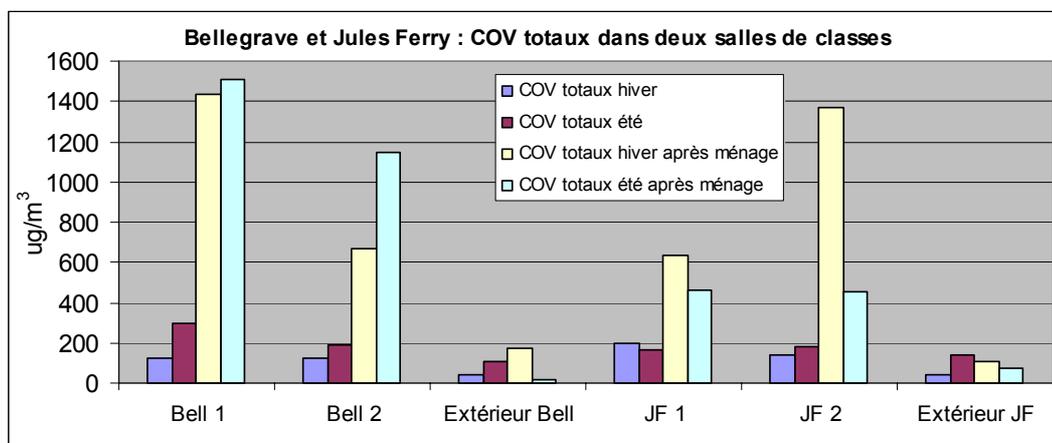
A chaque campagne, deux classes (une classe des « petits » et une classe des « moyens ») et l'air extérieur de chaque bâtiment ont été étudiés. Pour les campagnes avant ménage, le ménage a été fait la veille et pour les campagnes après ménage, il a été fait quelques minutes avant le prélèvement en respectant les quantités de produit utilisées normalement.

	Hiver	Eté
Avant ménage	15 mars 2005	25 mai 2005
Après ménage	30 mars 2005	1 juin 2005

Deux méthodes ont été employées pour les prélèvements : Micro-Extraction sur Phase Solide pour les COV et cartouches DNPH pour les aldéhydes et cétones. Toutes les analyses ont été effectuées en chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS) 24 h maximum après prélèvement.

### Résultats sur les COV

Le graphique ci-dessous synthétise les mesures en hiver et en été, avant et après avoir fait le ménage, pour deux classes dans chaque école, et pour les COV totaux. Les concentrations de l'air extérieur sont également données.



Remarque : les deux écoles utilisent le même produit ménager. Donc, cela n'explique pas les différences de concentrations observées entre l'école Bellegrave et l'école Jules Ferry. En revanche, sur chaque lieu de prélèvement, trois mesures successives ont été réalisées. On remarque que sur ces points à quelques minutes d'intervalles, les différences de concentration des COV sur un même lieu de prélèvement sont importantes (de 670 à 1400  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en hiver et de 450 à 1500  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en été).

Le niveau moyen des COV totaux, toutes classes confondues, avant ménage est de 190  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

### Influence du ménage

Après le nettoyage des sols, le niveau moyen de COV totaux est de 1000  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . On remarque donc la grande influence des produits ménagers sur l'émission de COV : on a, en moyenne, une augmentation d'un facteur 7 par rapport aux COV de « fond ».

La phase gazeuse issue du produit ménager pur a été analysée en GC/MS pour identifier les COV émis. Certains composés du produit de nettoyage sont présents dans la campagne avant. On ne peut cependant pas déterminer si ces composés sont présents dans l'air intérieur du fait des activités et des matériaux des classes, ou si ce sont des résidus du ménage de la veille (il est fait tous les soirs où l'école est ouverte aux élèves).

## Influence des saisons

Les campagnes ont été menées avant et après ménage, mais aussi en hiver et en été pour pouvoir faire une double comparaison. Dans le souci d'avoir plus de points de comparaison, connaissant les composés présents dans le produit ménager, les données avant ménage et après ménage ont été reprises en soustrayant tous les composés provenant du produit de nettoyage.

Pour le bâtiment Jules Ferry, que ce soit avant ou après ménage, l'hiver ou l'été, il n'y a pas de différences dans les quantités globales de COV.

Par contre, pour le bâtiment Bellegrave, même si les quantités de COV totaux sont comparables avant et après ménage, il y a une différence importante entre hiver et été : les quantités ont plus que doublé. Si on regarde plus précisément les résultats, on s'aperçoit que c'est au niveau de la classe des petits qu'il y a une forte augmentation par rapport aux autres campagnes. Ce sont principalement l'acide acétique, le benzaldéhyde et le triméthylbenzène qui en sont principalement responsables.

Le même effet, mais atténué, est constaté au niveau de la classe des moyens (on passe de 70 à 150  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ). Cet effet peut donc être dû aux matériaux de ces salles (qui émettent plus de COV que dans l'autre bâtiment puisqu'il est plus récent), ou à une activité pédagogique spécifique (peinture ou collage).

Par rapport à l'air extérieur, le nombre et les concentrations en COV sont beaucoup plus importants dans les atmosphères intérieures étudiées conformément à ce qui est déjà largement décrit dans la littérature.

Plusieurs familles physico-chimiques ont été identifiées :

- alcanes
- composés oxygénés (alcools, esters, acides, aldéhydes)
- composés aromatiques
- terpènes.

Globalement, les mêmes molécules sont retrouvées quelles que soient la nature du bâtiment et la saison. Les niveaux de COV totaux semblent s'établir autour de la centaine de  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour toutes les salles de classe étudiées. Cependant, il semblerait que pour des conditions estivales, le bâtiment Bellegrave émette plus de COV que le bâtiment Jules Ferry. Cela reste à confirmer, compte tenu du faible nombre de mesures.

Des prélèvements effectués immédiatement après nettoyage des sols montrent une augmentation très significative des concentrations de COV (jusqu'à 1500  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ). Cependant, l'effet de dilution est rapide : les concentrations diminuent fortement durant les quelques minutes correspondant à l'intervalle entre les prélèvements réalisés dans chaque salle.

L'examen détaillé des données ne permet pas de dégager, en l'état actuel des connaissances, de relation précise entre la nature des COV et leurs sources potentielles. De même, il est difficile de mettre en évidence des différences significatives entre les écoles Bellegrave et Jules Ferry, si ce n'est durant la campagne « été » et en considérant les COV totaux.

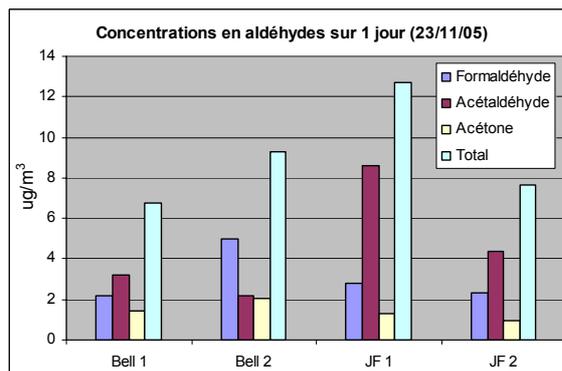
## Résultats sur les aldéhydes

Les aldéhydes sont des composés particulièrement nocifs pour le système respiratoire, le formaldéhyde étant actuellement identifié comme cancérigène.

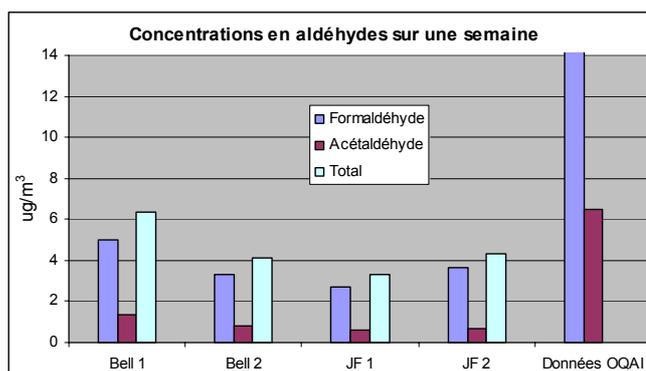
Ils sont présents dans les plastique et surfaces composites artificiels des meubles et sols artificiels notamment (panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de bois brut, livres et magazines neufs). Ils ont également la caractéristique de pouvoir être relargués de leur réservoir 8 ans après la mise en service des matériaux.

Les échantillons sont prélevés par deux types de systèmes : les cartouches DNPH sont utilisées pour l'échantillonnage des dérivés carbonyles (formaldéhyde par exemple) sur une durée de une heure, et un échantillonnage moyen est effectué sur une semaine par tubes Radiello. Les composés sont alors analysés en GC/FID selon la même méthode que pour les cartouches.

Résultats sur une heure de prélèvements



Résultats sur une semaine de prélèvements



### **Comparaison des classes d'un même bâtiment**

Dans le bâtiment Bellegrave, la classe des « moyens » présente des concentrations plus élevées que celle des « petits », avec une plus grande proportion pour le formaldéhyde (2,17 pour les « petits » contre 5,00  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour les « moyens ») et pour l'acétone (1,43 contre 2,06  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).

Dans le bâtiment Jules Ferry, c'est l'inverse : les concentrations sont plus élevées dans la classe des « petits » que dans celle des « moyens ». Les teneurs en acétone et en formaldéhyde sont similaires dans les deux classes.

### **Comparaison des deux écoles**

Pour les classes des « petits », les concentrations totales sont deux fois moins élevées dans l'école Bellegrave. La différence la plus importante étant observée pour l'acétaldéhyde, le formaldéhyde et l'acétone étant similaires.

Au contraire, pour les classes des « moyens », les concentrations totales sont plus élevées dans le bâtiment Bellegrave que dans le bâtiment Jules Ferry. Il y a aussi deux fois plus d'acétaldéhyde dans le bâtiment Bellegrave.

Ces résultats, ne permettent donc pas de faire une différence entre les deux écoles. Ceci peut sans doute s'expliquer par le fait que le prélèvement est ponctuel (sur trois heures) et que les composés étudiés ont comme sources possibles les activités des enfants (adhésifs, dissolvant, vernis, peinture) en plus des matériaux de construction.

Les classes des « petits » sont similaires pour les quantités de formaldéhyde ainsi que d'acétaldéhyde.

Pour les classes des « moyens », on a une plus grande quantité de composés pour le bâtiment Bellegrave (deux fois plus élevée que pour le bâtiment Jules Ferry).

### **Comparaison des classes pour un même bâtiment**

Dans le bâtiment Bellegrave, la classe des « moyens » présente toujours des concentrations importantes par rapport à la classe des « petits », comme remarqué sur l'échantillonnage ponctuel.

Par contre, pour le bâtiment Jules Ferry, les quantités dans les deux classes sont moins importantes que lors de l'échantillonnage ponctuel. Cependant, la classe des « petits » a toujours des valeurs plus élevées que la classe des « moyens », cette fois la différence étant due principalement au formaldéhyde contrairement à l'échantillonnage ponctuel où la différence était due à l'acétaldéhyde.

### **Comparaison avec des données de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur**

En France, peu d'études ont été menées sur la qualité de l'air intérieur. Elles n'ont commencé qu'à partir de 2000. Une vaste étude basée sur l'analyse d'aldéhydes a été réalisée dans les établissements scolaires ou les crèches de Strasbourg. Toutes les mesures des 131 établissements liés à la petite enfance (accueil, crèche, maternelle) montrent des moyennes de teneurs en formaldéhyde de 20  $\mu\text{g.m}^{-3}$  ce qui est très élevé par rapport aux valeurs que nous avons obtenues lors de cette campagne, et de 8  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en acétaldéhyde.

Plus précisément, pour le formaldéhyde, les gammes de concentrations trouvées sont de 6 à 29  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour 31 lieux d'accueil petite enfance, de 9 à 54  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour 57 écoles maternelles et de 9 à 49  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour 53 écoles élémentaires.

L'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a mené une étude [33] sur 90 logements. La concentration moyenne relevée en formaldéhyde est de 24  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , mais avec des concentrations allant de 2 à 75  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

Cette campagne a permis de mettre en évidence les composés carbonylés dans deux écoles maternelles.

Les données sont largement inférieures à la valeur guide donnée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sur ce composé qui est de 100  $\mu\text{g.m}^{-3}$  sur 30 min d'échantillonnage.

Globalement, les basses concentrations en COV et aldéhydes sur les deux écoles trouvent deux explications possibles : sur l'école Jules Ferry, anciennement construite et rénovée, les matériaux sont vieux de plus de 10 ans pour la plupart et le matériel pédagogique n'est pas aussi abondant que dans l'école neuve. Sur cette dernière la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage ont pris soin de choisir des revêtements et des meubles classés très basses émissions en aldéhydes (formaldéhyde en particulier), ce qui explique les faibles concentrations malgré une abondance manifeste de meubles neufs et de matériaux d'activités pédagogiques.

## Annexe 18: Définition des zones de confort hygrothermique

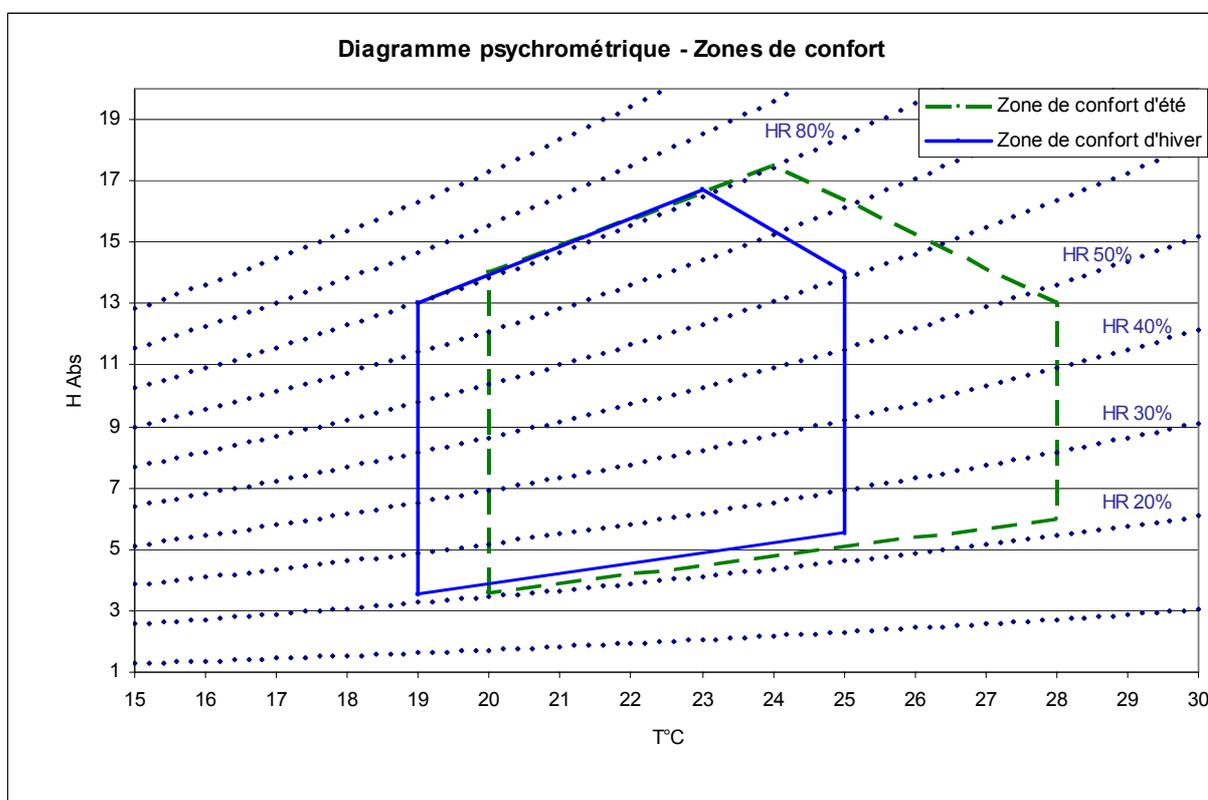
Deux zones de confort hygrothermiques ont été définies pour permettre la caractérisation du confort sur nos bâtiments. Une zone de confort d'été et une zone de confort d'hiver.

La bibliographie propose plusieurs définitions de ces zones.

Les normes américaines Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), définissent des zones de confort qui nous ont semblé trop décalées vers les hautes températures, aussi avons-nous défini une zone de confort pour l'été et une pour l'hiver très proche des zones définies par les travaux de Fanger et Givoni.

Nous avons supposés constants les paramètres suivants :

- vitesse de l'air inférieure à 0,1 m/s l'hiver et à 0,25 m/s l'été,
- stratification maximale de la température permise dans les locaux de 3 °C, entre les niveaux 0,1 m et 1,7 m mesurés au-dessus du sol,
- température minimale du plancher est fixée à 18 °C.



## Annexe 19 : Tableaux de bord

### Maternelle Jules Ferry Bilan des performances à destination des gestionnaires

Notation des performances :

Excellent - très bon - bon - moyen - médiocre - mauvais - très mauvais

A B C D E F G

Note

Potentiel d'amélioration

#### Qualité de vie

Confort thermique  
d'hiver

E

35 % du temps d'occupation hors de la zone de confort d'hiver

Confort thermique  
d'été

C

9 % du temps d'occupation hors de la zone de confort d'été

Confort visuel

E

100 % de locaux à éclairage artificiel ayant besoin d'amélioration sur le niveau d'éclairément

Confort acoustique

B

8 dB(A) à réduire sur le bruit de fond

Qualité de l'air  
intérieur

D

38 % du temps en occupation se situe au dessus des 1000 ppm (classes)  
Dortoir : 90 % du temps au dessus du seuil !

#### Usages

Utilisation des  
éclairages

F

Eclairages allumés inutilement 65 % du temps

Utilisation de l'eau

C

10 litres économisables par personne et par jour. Pose d'économiseurs.

Tri des déchets

D

A mettre en place

Connaissance du  
bâtiment

E

80 % des usagers n'ont pas d'information sur le bâtiment et l'utilisation efficiente des systèmes

Préoccupation  
environnementale

B

18 % des usagers restent à sensibiliser aux problématiques environnementales

#### Gestion

Gestion du  
chauffage

E

2 °C en trop d'écart constant à la température optimale à gagner

Gestion de la  
ventilation

G

Système à mettre en place

Gestion de  
l'éclairage

G

Tout le parc éclairage est vétuste

Information à  
l'utilisateur

F

80 % des usagers à informer sur les bonnes pratiques et leurs enjeux

Note globale

F

2004

2004

## Maternelle Bellegrave

### Bilan des performances à destination des usagers et des gestionnaires

#### Consommations et émissions

*Ca veut dire ...*

*Les bons gestes*

**Eau**

**D**

- 722 m<sup>3</sup> soit 23 l par personne et par jour
- 340 m<sup>3</sup> soit 11 l par personne et par jour

Préserver l'eau potable et la garder intacte pour les années à venir

Ces gestes sont simples et ont chacun des impacts multiples vers la diminution de la pression sur l'environnement.

**Gaz**

**C**

- 131 650 kWh
- 40 tonnes de CO<sub>2</sub>
- 87 kg de polluants atmosphériques
- 43 200 kWh

Eviter l'émission de  
 • 13 tonnes de CO<sub>2</sub>  
 • 28 kg de polluants atmosphériques  
 Economiser les réserves en gaz

Utiliser les chasses d'eau économiques  
 Signaler les fuites  
 Remplir les machines à laver à l'optimum  
 Utiliser économiquement les robinets  
 Récupérer l'eau de pluie pour les jardins

**Electricité**

**C**

- 23 350 kWh
- 1,5 dm<sup>3</sup> de déchets radioactifs
- 2 tonnes de CO<sub>2</sub>
- 12 kg de polluants atmosphériques
- 5 350 kWh

Eviter la production de  
 • 0,35 dm<sup>3</sup> de déchets radioactifs  
 • 440 kg de CO<sub>2</sub>  
 • 3 kg de polluants atmosphériques

Signaler les surchauffes  
 Eviter de laisser fenêtres ou portes ouvertes  
 Régler les thermostats en dessous de 20°C

**Coûts**

**B**

**Economie annuelle potentielle de plus de 3 000 €**

**Déchets**

**D**

- 11,4 tonnes
- 3 tonnes de CO<sub>2</sub>
- 12 kg de polluants atmosphériques
- 0,18 dm<sup>3</sup> de déchets radioactifs
- 10 tonnes
- 820 kg de CO<sub>2</sub>
- 3,3 kg de polluants atmosphériques

Autant d'eau, d'énergie et de matières premières économisées  
 Diminution d'émissions cancérigènes à l'air via les incinérateurs

Trier les déchets dans chaque poubelle, en particulier plastiques et métaux  
 Eviter les gaspillages  
 Choisir les matériaux

**Pollution de l'air**

**B**

- 46 tonnes de CO<sub>2</sub>
- 12 kg de polluants acidifiants et irritants dans l'atmosphère
- 18 tonnes de CO<sub>2</sub>
- 7 kg de polluants acidifiants et irritants dans l'atmosphère

Protection contre le changement climatique et la pollution locale de l'air

Utiliser le moins de produits possibles  
 Chercher des procédés économes en produits : exemple de la vapeur

**Pollution des eaux**

**C**

- Indice de 14
- Baisse de l'indice de 4 soit 30 % d'émissions polluantes évitables

Protéger des nappes  
 Protéger les eaux des substances eutrophisantes et/ou toxiques

Choisir des produits respectueux de l'environnement, utiliser des doses minimum

**Transport**

- 74 % de déplacements en voiture vers cette école
- Equivalent à la consommation énergétique annuelle du bâtiment ...

Consommation des voitures supérieure à la consommation de gaz de tout le bâtiment ... autant d'émissions

Marche à pieds pour trajets inférieurs à 800 m  
 Utilisation de vélos et transports en commun  
 Covoiturage, utilisation de véhicules peu consommateurs

2004

## Maternelle Bellegrave

### Bilan des performances à destination des gestionnaires

Notation des performances :

Excellent - très bon - bon - moyen - médiocre - mauvais - très mauvais

A

B

C

D

E

F

G

Note

Potentiel d'amélioration

#### *Qualité de vie*

Confort thermique d'hiver

C

10 % du temps d'occupation hors de la zone de confort d'hiver

Confort thermique d'été

C

6 % du temps d'occupation hors de la zone de confort d'été

Confort visuel

A

100 % de locaux sont conformes aux recommandations d'éclairage artificiel

Confort acoustique

C

13 dB(A) à réduire sur le bruit de fond

Qualité de l'air intérieur

B

9 % du temps en occupation se situe au dessus des 1000 ppm (classes)  
Dortoir : 30 % du temps au dessus du seuil

#### *Usages*

Utilisation des éclairages

F

Eclairages allumés inutilement 70 % du temps

Utilisation de l'eau

D

11 litres économisables par personne et par jour. Pose de réducteurs de pression et d'économiseurs

Tri des déchets

D

A mettre en place

Connaissance du bâtiment

E

68 % des usagers n'ont pas d'information sur le bâtiment et l'utilisation efficiente des systèmes

Conscience environnementale

B

10 % des usagers restent à sensibiliser aux problématiques environnementales

#### *Gestion*

Gestion du chauffage

F

Plus de 2 °C en trop d'écart constant à la température optimale à gagner

Gestion de la ventilation

F

Système en défaillance ou réglé à trop faible débit (100 m<sup>3</sup> /classe)

Gestion de l'éclairage

C

Minuteries des zones automatisées trop longues

Information à l'utilisateur

F

78 % des usagers à informer sur les bonnes pratiques et leurs enjeux

Note globale

**D**  
2004

## Tableau de bord à destination des gestionnaires

### Jules Ferry Maternelle

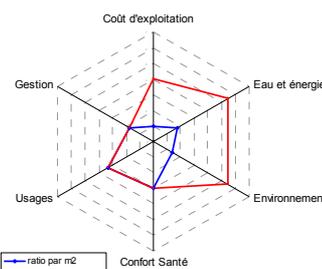
Date construction : 1956

Dernière rénovation : 1986

Densité d'occupation : 4,6 m<sup>2</sup>/pers

## Tableau de bord des performances environnementales

Année 2004 **F**



Notation des performances :

excellent 7- très bon 6 - bon 5 - moyen 4 - médiocre 3 - mauvais 2 - très mauvais 1

A

B

C

D

E

F

G

INDICATEURS	NOTE	Potentiel	PRECONISATIONS
<b>Coûts € ttc</b>			
Coût d'exploitation	G ↓	18 000 € ttc	Voir les postes de dépenses. Renégocier les contrats d'exploitation
Coût électricité	C ↑	300 € ttc	Identifier l'usage responsable
Coût gaz	F ↓	2 200 € ttc	Optimiser le chauffage
Coût eau	F ↑	1 100 € ttc	Réduire les débits et les durées des fontaines
Coût entretien maint.	G ↓	14 300 € ttc	Négocier les contrats P2 et P3. Juger une rénovation importante
<b>Consommations</b>			
Electricité	G ↑	8 400 kWh	Identifier le poste consommateur principal
Gaz	G ↓	65 100 kWh	Optimiser le chauffage : consigne, relances
Eau	D ↑	284 m <sup>3</sup>	Réduire les débits et les durées des fontaines. Surveiller les fuites
<b>Environnement</b>			
Emission eq. CO <sub>2</sub>	G ↓	18 t eq CO <sub>2</sub>	Réduire le chauffage, l'électricité, les déchets, les choix de conso.
Déchets radioactifs	F ↓	0,4 dm <sup>3</sup>	Réduire l'électricité nucléaire
Déchets d'activités	F ↓	3 t	Choix d'achats, utilisation rationnelle, tri
Pollution des eaux	G	Baisse de l'indice : 60 %	Choix des produits d'entretien, quantités utilisées
Pollution de l'air	G ↓	42 kg	Choix d'énergies. Tri des déchets
<b>Qualité de vie</b>			
Confort thermique	E	22 %	Réglage des températures de consigne
Qualité de l'air intérieur	D	32 % (classes)	Pose et réglage ventilation, ventilation naturelle
Confort acoustique	B	8 dB(A)	Usages des locaux : organisation. Usages des appareils. Fenêtres
Confort visuel	E	100 % des luminaires	Remplacer les luminaires défectueux
<b>Usages</b>			
Eclairages	F	65 % du temps	Sensibilisation
Eau	C	40 % de la conso.	Information et sensibilisation
Tri des déchets	D	A mettre en place	Mise en place de containers. Sensibilisation, information
Connaissance du bât.	E	80 % à former	Séance d'information 1 fois par an par exemple
Préoccupation envir.	B	18 % à sensibiliser	Séance de sensibilisation 1 fois par an par exemple
<b>Gestion</b>			
Chauffage	E	2 °C à gagner	Réglage relance et consigne
Ventilation	G	95 % à améliorer	Mise en place du système
Eclairages	G	95 % à améliorer	Mise en place de régulateurs. Va et viens dans grandes pièces
Information	F	80 % à informer	Mise en place d'une information minimale avec sensibilisation



## Résumé

Dans le contexte de réduction des impacts environnementaux consécutifs à l'exploitation des bâtiments existants, ce travail a pour objet de développer et d'appliquer une méthode opérationnelle d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires.

Notre recherche, de par sa finalité et son objectif opérationnel, s'inscrit à la convergence de 3 disciplines :

- 1) **Maîtrise de la Demande d'Énergie** : les consommations énergétiques représentent la cause principale des impacts environnementaux du secteur du bâtiment, en particulier pour les émissions de gaz à effet de serre.
- 2) Les indicateurs que nous avons construits, sont basés sur des facteurs d'émission construits à partir de l'approche en **Analyse en Cycle de Vie**, démarche la plus exhaustive à ce jour.
- 3) Afin de nous inscrire dans l'évolution actuelle des acteurs et de leurs référentiels, nous nous sommes également appuyés sur la **démarche Haute Qualité Environnementale** pour structurer les indicateurs de la phase d'exploitation.

La méthode qui en découle, nommée OPALE (**Optimisation des Performances par des Actions de Limitation des Emissions**), est relative aux bâtiments tertiaires existants. On utilise les techniques de benchmarking et d'analyse multicritères afin d'informer au mieux, les gestionnaires, les exploitants et les usagers des bâtiments, ainsi que les acteurs de la maîtrise d'œuvre. Au final, nous avons proposé un mode de présentation simplifié des résultats, sous forme de tableaux de bord environnementaux regroupant 26 indicateurs sur six thèmes centraux :

- 4 thèmes « performances », coûts, consommation d'eau et d'énergie, émissions à l'environnement, qualité de vie,
- 2 thèmes « diagnostic », qualité des usages et qualité de gestion du bâtiment.

Chaque thème d'évaluation regroupe des indicateurs de performance, exprimés par ratio de surface et d'effectifs, et classés sur une échelle de A à G. Le but est de pouvoir identifier les défaillances de gestion ou d'usage responsables de contre performances. Une synthèse sous forme de **signature environnementale** du bâtiment permet l'accès à tous les indicateurs développés et propose une visualisation des potentiels et des solutions d'améliorations.

La méthode a été testée sur deux écoles maternelles, dont une construite en 2003, suivant une démarche Haute Qualité Environnementale<sup>®</sup>. Une instrumentation détaillée y a été menée, avec l'appui de la cellule ECOCAMPUS, et a permis de valider l'application d'un nouveau système de suivi des paramètres d'ambiance intérieure et d'énergie, le capteur TEHOR<sup>®</sup> et son système d'acquisition et d'analyse ECOSYS<sup>®</sup>. De ces mesures, nous avons déduit un protocole expérimental minimal mais suffisant pour une évaluation multicritères du bâtiment.

Un questionnaire d'enquête a été construit et utilisé pour recueillir les avis des usagers : satisfaction, connaissance des systèmes du bâtiment, habitudes d'utilisation, aptitude à évoluer vers de meilleurs usages.

L'application de la méthode OPALE sur ces deux bâtiments a montré les potentiels d'amélioration, et ce, rapporté aux données globales de 3 années d'exploitation d'un parc de 19 écoles. On met clairement en évidence qu'un bâtiment construit avec des critères de qualité environnementale présente de meilleures performances qu'un bâtiment classique. Mais sans la mise en place d'un management et d'une gestion environnementale continue, qui passe notamment par une formation des usagers, des choix de consommations plus responsables, les seules qualités initiales et intrinsèques d'un bâtiment sont insuffisantes.

*Mots clé : Qualité environnementale des bâtiments, réduction des émissions, évaluation, exploitation, management, usages.*

## Abstract

In the context of environmental impacts due to the use phase of existing buildings, the purpose of this study was the development of an operational environmental assessment method used to evaluate as well as improve the environmental quality of public buildings in use.

We based our study on three disciplines. First, *energy demand management*, as energy consumptions stand for the more important environmental impacts, especially for greenhouse emissions. Secondly, our indicators are based on the *life cycle analysis*, this approach being the most accurate known until today. In the third place, and in order to insure a good understanding of our study by the field actors, we also built our indicators on the French "*High Environmental Quality*" process. We reduced and adapted them to the use phase of the building. This method, named OPALE, is a benchmarking assessment on existing buildings of the same type. The method can be used by stock managers, users of the buildings, or any actor from the design stage who would like to validate one of his built projects. Our main goal being the reduction of emission towards the environment, we have proposed a way of investigating communication between scientific, management and occupant actors. This consideration led to the proposition of simple environmental scorecards, made to lead to behaviour changes.

OPALE considers 26 assessment criteria aggregated through 6 main themes.

- Four are performance themes : costs, consumptions, environmental releases, comfort and health.
- Two are diagnosis themes : occupancy quality and management quality.

The main goal is to identify the cause of low performances in order to act upon them. Each assessment criterion is expressed both by the surface and by the number of pupils, and is ranked on a scale from A to G. A final environmental profile gives access to each of the 26 indicators. Realistic improvement potentials are expressed with a list of either occupancy or management actions related to each indicator.

The method was tested on a field scale on two nursery schools during two years, one of them being a green building. Our measurements allowed identifying a simple and minimal campaign to assess the environmental quality of the building. A survey was developed and simplified in order to inquire uses, satisfaction, knowledge, and the aptitude or the will to improve towards friendly environment occupancy of the building. The application of the OPALE method on the two nursery schools showed the potential improvements of the two buildings compared to a database of 19 nursery schools and 3 years of running. It clearly sets that a green building has better performances than a regular building, with same uses, but that without a regular and adapted environmental management, which includes involvement of the users, the green building qualities are wasted.

On a technical matter, this work has validated the building scale use and advantages of a new monitoring system for energy and comfort optimisation : the TEHOR<sup>®</sup> multisensor and its database acquiring system ECOSYS<sup>®</sup>.

*Key words : Green building, environment, assessment, existing stocks, management, uses, environmental awareness.*