HAL
open science

La prise en compte des incertitudes dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires : démarche HQE®

Hussam Alhamwi

To cite this version:

Hussam Alhamwi. La prise en compte des incertitudes dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires : démarche HQE®. Autre. Université Paris-Est, 2012. Français. NNT : 2012PEST1173 . pastel-00836644

HAL Id: pastel-00836644

https://pastel.hal.science/pastel-00836644

Submitted on 21 Jun 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS-EST

Thèse de doctorat d'Université Paris-Est

Spécialité Génie Civil

Hussam ALHAMWI

La prise en compte des incertitudes dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires- Démarche HQE®

Thèse dirigée par Youssef DIAB

Soutenue le 12 décembre 2012

Jury :

Vincent BECUE,	Professeur, Doyen de la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, Université de Mons	Rapporteur
Olivier BLANPAIN,	Professeur à l'Université Lille 1	Rapporteur
Youssef DIAB,	Professeur à l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée	Directeur de thèse
Jean Charles FRA,	Ingénieur Bureau d'études MEV	Examinateur
Katia LAFFRECHINE,	Maître des conférences à l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée	Examinateur
Denis MORAND,	Maître des conférences à l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée	Examinateur

Remerciements

*J'adresse, tout d'abord, mes plus vifs remerciements à **Youssef DIAB,** directeur de cette thèse, qui m'accueilli chaleureusement au sein de son laboratoire parmi l'équipe de Génie Urbain, qui m'a témoigné son soutien, son expérience et m'a encouragé tout au long de l'élaboration de cette thèse.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Denis MORAND**, qui a co-encadré mon travail, pour sa gentillesse et ses conseils, sa patience, sa disponibilité et pour avoir patiemment lu ce mémoire.*

*Il m'importe de remercier également **Katia LAFFRECHINE,** qui a aussi participé à l'encadrement de mes recherches. Elle m'a beaucoup apporté, tant sur le plan professionnel qu'humain.*

*Je remercie Messieurs **Olivier BLANPAIN** et **Vincent BECUE** d'avoir accepté la charge de rapporter ce travail. Monsieur **Jean Charles FRA** m'a fait l'honneur de faire partie de mon jury de thèse, je lui exprime ma profonde gratitude.*

Je tiens à remercier toute l'équipe du département Génie Urbain que j'ai eu plaisir de rencontrer, secrétaires, doctorants et maîtres des conférences. Je ne saurais oublier Raymonde, Abboud, Hélène, Irène, Yaarob.

Papa, Maman, Ayham et Manar pour vos aides sentimentales et vos prières. Je ne remercierai jamais assez ma chère épouse Kholoud, sans qui l'accomplissement de cette thèse n'aurait pas eu lieu dans ces délais. Durant cette période particulièrement dure pour notre vie de famille, elle a toujours été là pour moi et pour notre fille Sama.

*Avant de terminer, je remercie du fond de mon cœur la générosité de mon pays la **Syrie**. Je souhaite que la paix revienne en **Syrie**.*

Résumé :

Le secteur de la construction est considéré comme un des facteurs principaux qui affectent la dépense énergétique et les émissions des gaz à effet de serre. Dès lors, la valorisation de la qualité environnementale des bâtiments constitue une réponse importante aux enjeux du développement durable. Dans ce contexte, notre recherche aborde le problème de l'incertitude inhérente aux démarches HQE®, notamment dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires. Notre étude s'appuie sur la théorie des possibilités qui présente des atouts intéressants au regard de notre problématique, notamment sa capacité à modéliser l'expertise humaine et la présentation simple et unique des incertitudes et des imprécisions sur la base d'un volume limité d'informations.

Ce travail vise à associer une crédibilité à l'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment en traitant des paramètres tant quantitatifs que qualitatifs. La modélisation des incertitudes permet aux concepteurs de mieux hiérarchiser les impacts des différents paramètres contribuant à l'amélioration de la qualité environnementale d'un bâtiment et d'identifier les informations qui nécessiteraient en priorité une instigation plus poussée afin de crédibiliser l'évaluation environnementale.

Mots-clés : HQE®, QEB, Evaluation environnementale, Théorie des possibilités, Incertitudes, Modélisation, Décision.

Abstract :

It is well known that the construction sector is considered one of the main factors that affect the energy consumption and the emissions of greenhouse gases. Thus, the enhancement of the environmental quality of buildings is an important response to the challenges of sustainable development. In such context, this research discusses the problem of the uncertainty inherent in the French approach HQE®, particularly the assessment of the environmental quality of tertiary buildings.

In fact, this study is based on possibility theory, which presents interesting advantages in terms of our problem, especially its ability to model human expertise or knowledge in addition to simple and unique presentation of uncertainties and inaccuracies on the basis of a limited amount of information.

Moreover, this work aims to associate a credibility assessment of the environmental quality of buildings by handling two types of input parameters which are the quantitative and the qualitative ones. This uncertainty modeling offers the designers a better prioritization of the impacts of the different parameters, which thus contribute to the improvement of the environmental quality of a building, and identify the information that would require more instigation to enhance the credibility of the environmental assessment.

Keywords: HQE, Green Building, Environmental assessment, Possibility theory, Uncertainty, Modeling, Decision

Introduction : 4

Partie I 7

I.1 Le développement Durable : 8
I.2. Le poids et l'impact du secteur du bâtiment sur l'environnement : 9
I.3. La démarche Haute Qualité Environnementale (HQE®) : 12
I.3.1. Principes de la démarche HQE® : 16
I.3.2. Management environnemental 17
I.3.3. Le concept de la qualité environnementale des bâtiments : 20
I.3.3. a. Performance des bâtiments 20
I.3.2. b. Le référentiel de la qualité environnementale des bâtiments QEB 24
I.4. Schéma des certifications environnementales 28

Partie II 31

II. Représentation de l'imperfection 33
i. Préambule 33
II.1. Introduction : 33
II.2. Les imperfections des informations et des connaissances: 34
II.2.1 Information imprécise 35
II.2.2 Information incertaine 35
II.2.3 L'incertitude dans le domaine du Bâtiment 36
II.2.4 L'incertitude dans l'évaluation de la QEB 38
II.3 Représentation de l'imprécision et de l'incertitude : 41
II.3.1 Théorie des probabilités 42
II.3.2 La logique floue 43
II.3.3 Théorie des sous-ensembles flous 45
II.3.3.a La notion d' α-coupe 49
II.3.4 Théorie des possibilités 50
II.3.4.a. Mesure de possibilité 52
II.3.4.b. Mesure de nécessité 52
II.4. La construction d'une distribution de possibilité : 53
II.5. La fusion des données 54

Partie III 57

Le plan de la recherche : 58
III. Analyse des opérations certifiées HQE® 59
III.1. Les étapes du travail : 59
III.1.a. Classification selon la localisation en France 59
III.1.b. Classification selon le profil de performance environnementale 61
III.1.c. la rectification de profil environnemental 68
Conclusion : 71
III.2. Analyser des cibles prioritaires 72
III.3. Le questionnaire : 73
III.3.a. Construire le questionnaire et analyse des réponses: 74

Patie IV..... 79

IV. La réglementation thermique : 79
i. Préambule :..... 79
IV.1. Introduction :..... 79
IV.2. L'évolution des réglementations thermiques et les nouveautés :..... 81
IV.2.1. Entre 2000 et RT2005..... 81
IV.2.2. Entre RT2005 et RT2012..... 86
IV.2.3. Les évolutions de la RT 2005 par rapport à la RT 2000 :..... 89
IV.2.4. Les évolutions de la RT 2012 par rapport à la RT 2005..... 90
IV.3. Les méthodes de calcul:..... 92
IV.3.1. L'option « Calculs »..... 94
IV.3.2. Le calcul de Cep [Th-CE]:..... 96
IV.3.3. Le calcul de $U_{bât}$ [Arrêté 2006] [Th-CE]:..... 97
IV.4. Les labels : 99
IV.5. Conclusion : 102

Partie V :..... 104

V. La méthodologie pour l'intégration des incertitudes :..... 105
i. Préambule..... 105
V.1. Introduction : 105
V.2. Méthodologie du traitement des paramètres quantitatifs et qualitatifs..... 106
V.2.1. La démarche du traitement des paramètres quantitatifs :..... 109
V.2.1.1 Modélisation des paramètres quantitatifs..... 109
a) la fonction d'imprécision des données;..... 109
b) la fonction de contrainte;..... 109
V.2.1.2 Croissement selon le cas pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation de chaque sous-cible 109
V.2.1.3 Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)..... 110
V.2.2. Le traitement des paramètres quantitatifs :..... 111
V.2.2.1.a. La fonction d'imprécision 111
V.2.2.1.b. La fonction de contrainte..... 112
V.2.2.2. La fusion possibiliste proposée et ses règles..... 113
V.2.2.3. Évaluation du degré de vérité d'une proposition..... 118
V.2.3. La démarche du traitement des paramètres qualitatifs :..... 121
1. Modélisation des paramètres qualitatifs :..... 122
2. Croisement selon le cas pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation de chaque sous-cible..... 123
3. Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)..... 123
V.2.4. Le traitement des paramètres qualitatifs 123
V.2.4.1. La façon de modéliser des paramètres qualitatifs identifiés dans notre étude: 123
V.2.4.2. la combinaison entre les paramètres qualitatifs pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation :..... 125
V.2.4.3. Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)..... 128
V.3. Les outils proposés dans cette recherche :..... 129

V.3.1. L'outil N°1 pour traiter une préoccupation avec un paramètre quantitatif imprécis : 130
V.3.2. L'outil N°2 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres quantitatifs imprécis : 134
V.3.2.1. La température des couleurs T_c : 134
V.3.2.2. L'Indice de Rendu des Couleurs IRC : 137
V.3.3. L'outil N°3 pour traiter une préoccupation avec un paramètre qualitatif imprécis : 141
V.3.4. L'outil N°4 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres qualitatifs imprécis 143
V.3.5. L'outil N°5 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres un quantitatif et un qualitatif imprécis 145

Conclusions Générales: 154

Références : 157

Index des illustrations..... 167

Annexes : 171

Index:..... 207

Introduction :

Dans le contexte du changement climatique résultant de différents facteurs, le secteur du bâtiment est considéré comme étant responsable de 25% des émissions de Gaz à Effet de Serre en France. Il est par ailleurs consommateur de plus de 30 % de l'énergie produite. Si l'on considère de plus l'épuisement des sources d'énergies non renouvelables, la valorisation de la qualité environnementale des bâtiments constitue une contribution importante aux enjeux liés au développement urbain durable. En outre, la complexité liée à la gestion environnementale d'un bâtiment, et l'engagement français pour les questions environnementale liées au développement durable, amènent les acteurs du bâtiment en France à proposer une démarche française originale et spécifique appelée HQE® (Haute qualité environnementale) comme une contribution importante du secteur du bâtiment.

En effet, pour décrire la qualité environnementale d'un bâtiment sur l'ensemble des étapes de son cycle de vie, l'ensemble des acteurs du bâtiment doit adopter un "langage commun". Cette description a été traduite par un contenu concret basé sur 14 cibles qui est très positif et utile. Néanmoins, du point de vue mathématique, un besoin de prendre les incertitudes en considération est aussi important. C'est-à-dire, l'inexactitude ne peut pas être ignorée à long terme parce que tous les projets sont soumis à au moins un certain degré d'incertitude.

En effet, les données de la certification sont divisées entre les cibles qualitatives et les cibles quantitatives. Les dernières peuvent être présentées à une échelle numérique, mais ce n'est pas le cas pour les données qualitatives. D'ailleurs, les avis personnels dans les préoccupations qualitatives sont souvent évalués subjectivement et les mesures dans les cibles quantitatives ne sont pas faites complètement sans erreur. Au regard de ces faits, les deux types de cibles sont face à l'imperfection.

Peu de recherches ont été menées concernant l'incertitude dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments. Le but de cette recherche est de fournir une étude d'application de la théorie des possibilités dans l'évaluation de la Qualité Environnementale des Bâtiments. Cette théorie présente des atouts intéressants pour notre problématique, notamment sa capacité à modéliser l'expertise humaine et la présentation simple et unique des incertitudes et des imprécisions, tout à partir d'un volume limité d'informations. Cette

modélisation des incertitudes permet aux concepteurs une meilleure hiérarchisation des impacts des différents paramètres contribuant à l'amélioration de la qualité environnementale d'un bâtiment. Ainsi à fiabiliser les résultats de cette évaluation par associer une crédibilité aux informations issues de l'évaluation de QEB en traitant des paramètres quantitatifs et qualitatifs.

Pour réaliser l'objectif de cette recherche nous avons divisé notre analyse en 4 parties :

La première partie : Cette partie est consacrée à définir le cadre de l'étude de la problématique de cette recherche. Nous montrerons dans cette partie l'indispensabilité d'appliquer les concepts du développement durable au bâtiment, afin de réduire les impacts sur l'environnement lors de la construction et du fonctionnement du bâtiment. Ainsi, puisque l'approche française de la HQE® est la proposition officielle pour mettre ces concepts en vigueur, notamment à travers de son volet concernant la Qualité Environnementale du Bâtiment, nous présenterons les principaux enjeux et objectifs de cette démarche. Nous réaliserons aussi une analyse aux principales difficultés liées à ce concept et à sa place dans le développement durable et soulignerons les principales lacunes liées à la qualité des données.

La deuxième partie : Cette partie présentera les méthodes d'analyse de l'imperfection d'un côté et de l'imprécision et l'incertitude de l'autre. Cela s'appuie sur des analyses bibliographiques génériques liées aux sciences de l'information et à la bibliographie propre aux modèles d'analyse de la Qualité Environnementale. Notamment l'exigence de faible quantité de données disponibles et surtout à leurs incertitudes, incomplétudes et imprécisions.

La troisième partie : Sera destinée à illustrer une analyse détaillée des opérations certifiées HQE®. Cette étape a pour objectif de définir les cibles prioritaires pour les Maîtres d'Ouvrage. Les résultats obtenus par cette partie nous permettront d'élaborer un questionnaire. Alors, grâce aux réponses de ce questionnaire, nous aurons le moyen d'appliquer la méthode de modélisation adoptée par notre recherche pour traiter l'imperfection des paramètres étudiés.

La quatrième partie : Traite les réglementations thermiques. Elle commence par montrer des exigences qui composent les réglementations thermiques. Puis elle montre les nouveautés et les modifications entre les trois réglementations 2000, 2005, 2012.

La cinquième partie : Véritable cas d'étude et d'application au bâtiment tertiaires certifié HQE® (La Bibliothèque Universitaire Centrale de Marne La Vallée). Il permet de présenter de différents outils proposés pour modéliser des incertitudes dans l'évaluation des cibles de la Qualité Environnementale du Bâtiment (QEB).

Notre recherche se termine par une conclusion qui ouvre des perspectives pour la suite des recherches à mener dans ce domaine.

Partie I

I.1 Le développement Durable : 8
I.2. Le poids et l'impact du secteur du bâtiment sur l'environnement : 9
I.3. La démarche Haute Qualité Environnementale (HQE®) : 12
I.3.1. Principes pour la démarche HQE® : 16
I.3.2. Management environnemental 17
I.3.3. Le concept de la qualité environnementale des bâtiments : 20
I.3.3. a. Performance des bâtiments 20
I.3.2. b. Le référentiel de la qualité environnementale des bâtiments QEB 24
I.4. Schéma des certifications environnementales 28

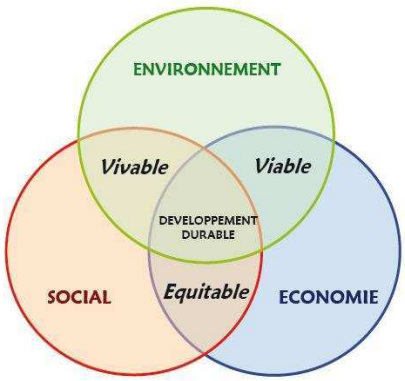
I.1 Le développement Durable :

En 1987, l'ancien Premier ministre en Norvège et présidente de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement, Madame Gro H. Brundtland s'attacha à définir ce concept de *Sustainable Development* par "*un développement qui répond au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs*"**[Brundtland, 1987].** Ainsi deux concepts sont inhérents à cette notion :

- Le concept des **besoins** essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité,
- L'idée des **limitations** que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.

Depuis cette date, le concept de développement durable a été adopté dans le monde entier[*].

L'instauration du développement durable en milieu urbain, est un argument essentiel pour établir un contexte cohérent, lisible et logique de l'action publique locale. Cette recherche de compromis raisonnable entre les différents enjeux est l'élément fondamental de notre réflexion **[Diab, 2000]**. Le développement durable se positionne, quoi qu'il en soit mondial ou local, ville ou bâtiment à l'intersection des univers social, environnemental et économique (Figure 1).



Source : MEEDDM

Figure 1 : Approche de Développement Durable

Comme l'amélioration du cadre de vie est de plus en plus confrontée aux menaces que notre mode de développement fait peser sur un environnement fragile et sur les grands équilibres de la planète ; alors, le développement durable ne doit plus être un simple équilibre et devienne à moyen terme un art de vivre, il serrait intéressant d'intégrer aux cercles initiaux celui relatif à l'univers culturel. De ce fait, l'objectif premier du développement durable est d'obtenir un compromis entre le besoin d'un essor économique, l'exigence d'une protection accrue des espaces naturels et nécessité d'une coexistence harmonieuse des différentes communautés **[Diab et al., 2000]**. Ce compromis passe par une meilleure compréhension des enjeux, des modalités de mise en œuvre des politiques

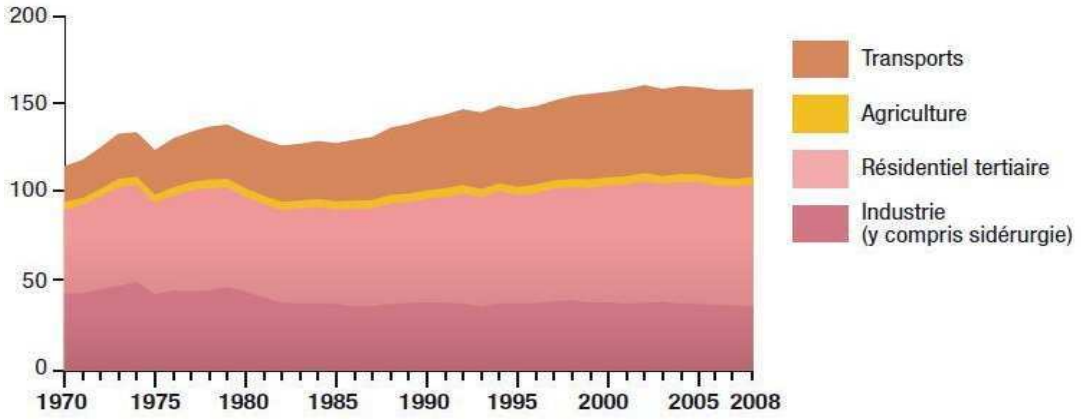
[*] http://www.developpement-durable.gouv.fr

publiques et des incertitudes liées aux enjeux techniques. En effet, le génie urbain est le levier d'action pour la mise en place de politiques urbaines durables respectant les enjeux environnementaux et intégrant les aspects socio-économiques locaux des milieux urbains **[Diab, 2002]**.

Si un seul de ces trois cercles est négligé ou une seule de ces trois intersections est affaiblie, la viabilité du système peut être remise en cause. Car l'être humain est à la fois le garant de la durabilité et le coupable de la non-durabilité du développement **[Chêne, 2011]**. De ce fait, il est indispensable d'appliquer les concepts du développement durable au bâtiment afin de réduire les impacts sur l'environnement lors de la construction et du fonctionnement du bâtiment. On doit s'assurer que l'effort mis en place par les maîtres d'ouvrages est bien d'exiger d'intégrer le développement durable, surtout la qualité environnementale dans tous nouveaux projets de construction de bâtiments.

I.2. Le poids et l'impact du secteur du bâtiment sur l'environnement :

Le secteur de la construction est le plus gros consommateur d'énergie en France parmi tous les autres secteurs économiques. Cette constatation concerne le secteur du bâtiment neuf et existant[1]. Ce dernier est le principal poste de dépense énergétique dans certaines villes comme Paris. La Figure 2 présente les principaux chiffres de la consommation d'énergie finale par secteur en France.



(Mtep)	1970	1980	1990	2000	2005	2006	2007	2008
Industrie (y compris sidérurgie)	43,7	44,8	38,5	38,8	37,7	37,2	37,0	36,2
Résidentiel tertiaire	47,4	53,8	59,1	66,4	69,4	68,0	67,6	69,4
Agriculture	4,5	4,8	4,7	4,5	4,3	4,3	4,2	4,3
Transports	20,4	31,5	40,9	48,7	49,7	50,1	50,9	50,2
TOTAL	**116,0**	**134,9**	**143,2**	**158,4**	**161,1**	**159,7**	**159,7**	**160,0**

Source : MEEDDM/SOeS, données corrigées du climat

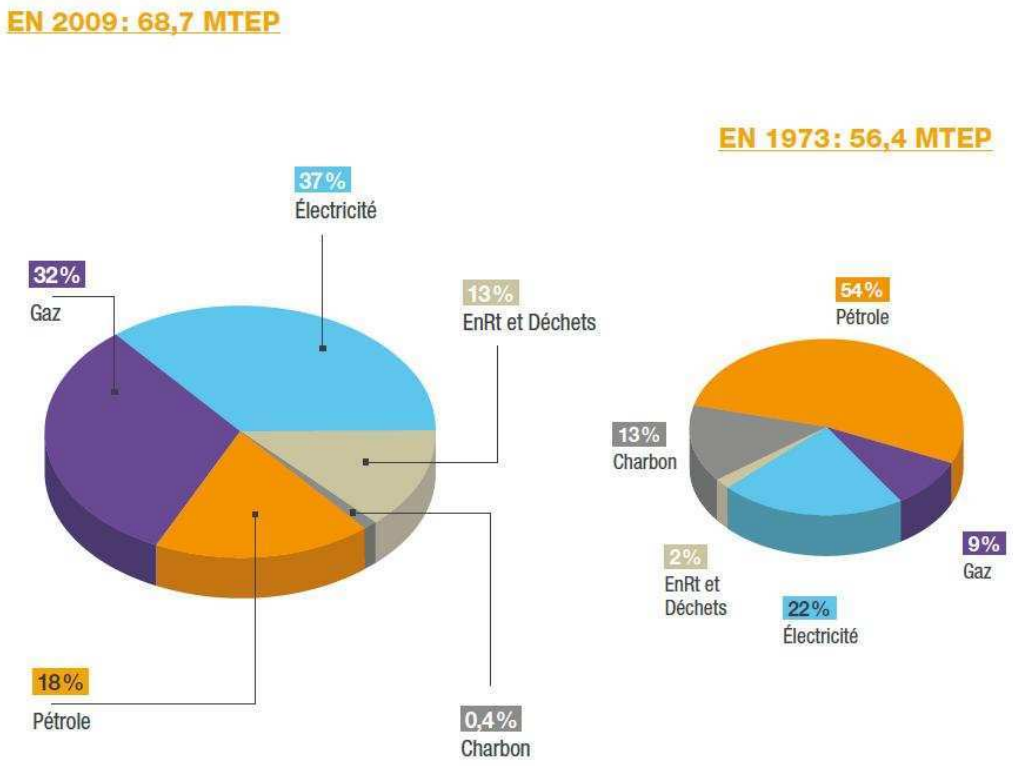
Figure 2 : La consommation d'énergie finale par secteur en France

[1] ADEME

En effet, l'immobilier et la construction en France représentent chaque année [2] :

- 43 % des consommations d'énergie (figure 3);
- 23 % des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) (figure 5);
- 40 % des déchets produits (déchets ménager, hors déchets industriels) ;
- 4.7 % du territoire national ;
- 18 % des prélèvements d'eau correspondant à la consommation d'eau potable.

D'ailleurs, l'ensemble des bâtiments de commerce, bureaux, enseignements, santé, loisirs, hôtels et restaurants, etc. Dits **bâtiments tentiaires** représentaient en 2007 près de 60% de l'ensemble des surfaces chauffées en France (figure 4). Notre recherche concerne les performances environnementales de ce type de bâtiments.



Source : SOES/CGDD/ MEEDDM

Figure 3 : Evolution de la consommation finale d'énergie du Résidentiel-tertiaire entre 1973 et 2009

Cependant le flux annuel de constructions et leur très longue durée de vie constituent des caractéristiques à priori pénalisantes pour des progrès rapides du secteur. En effet, pour que les performances globales du secteur deviennent acceptables, il faudrait entamer des travaux

[2] Source BIPE, société d'études économiques, dont les chiffres différent légèrement de ceux de la loi Grenelle1, mais sans que ces écarts modifient les conclusions à en tirer.

importants de rénovation car le volume des bâtiments existants appelés couramment « stock » est conséquent. Une analyse de la performance thermique des logements parisiens qui a été faite par APUR, estime que 92% des logements parisiens ont été construits entre 1801 et 2000, 45% entre 1851 et 1939 et 37% entre 1945 et 2000.

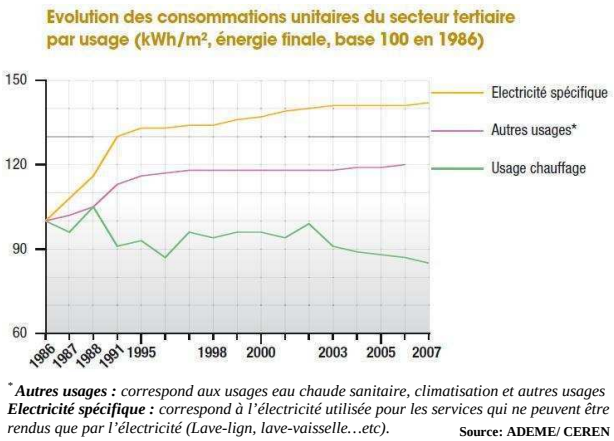


Figure 4: L'évolution des consommations

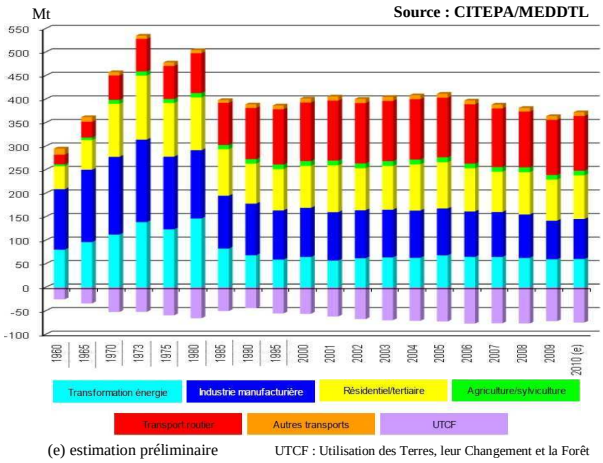


Figure 5: L'évolution des émissions de gaz Co_2 par secteur en France

Ces chiffres justifient la réflexion sur les moyens à mettre en œuvre pour réduire l'impact environnemental global du secteur qui impose de travailler sur la construction et sur le parc. A savoir que les bâtiments neufs consomment trois fois moins d'énergie au mètre carré que les bâtiments existants. (Figure 6).

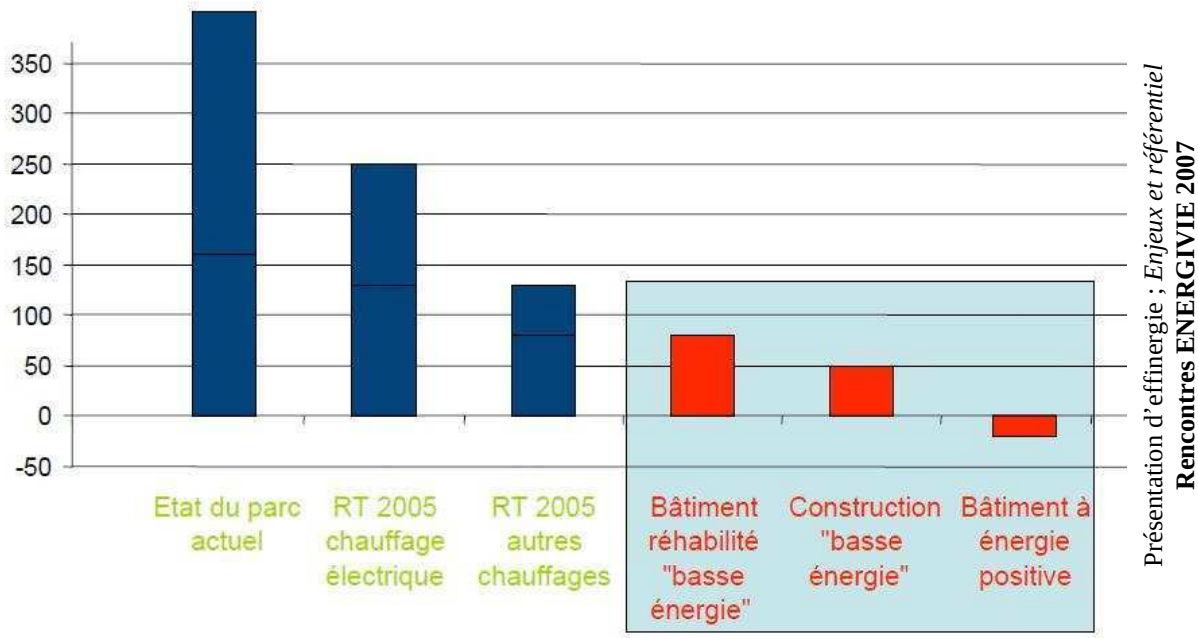


Figure 6 : Consommation (kWh/m^2.an – énergie primaire) pour les besoins de chauffage, climatisation, ventilation et production d'eau chaude sanitaire

Mandallina, (2006) a proposé une nomination des bâtiments classiques et d'autres de Haute Qualité Environnementale. Cette nomination a été faite selon leurs réponses aux besoins. Alors, nous appelons bâtiment classique un objet qui peut répondre aux fonctions suivantes :

1. fournir les services appropriés à l'activité hébergée ;
2. respecter les règlementations comme les conditions de sécurité, du confort hygrothermique, visuel et acoustique etc. ;

Par contre, un bâtiment Haute Qualité Environnementale répond à des exigences imposées par la démarche HQE® qui sont :

1. optimiser le confort visuel, olfactif, acoustique et hygrothermique ;
2. minimiser les impacts de l'environnement intérieur sur la santé de l'homme ;
3. minimiser les impacts du bâtiment sur l'environnement extérieur ;

I.3. La démarche Haute Qualité Environnementale (HQE®) :

La Haute Qualité Environnementale (HQE®) se définit comme étant une démarche de management de projet visant à obtenir la qualité environnementale d'une opération de construction ou de réhabilitation **[Certivéa, 2008]**. C'est une approche qui s'applique à réduire fortement les impacts environnementaux des projets de construction. La notion de Qualité Environnementale est cependant très floue, car elle n'est pas perçue de la même manière pour tous les acteurs. Les architectes continuent à contester son caractère normatif « bridant » la créativité, les ingénieurs les difficultés de mise en œuvre de certaines cibles et les maîtres d'ouvrages ont du mal à admettre les surcoûts souvent générés par cette exigence.

La certification NF Bâtiments Tertiaires- Démarche HQE® est une approche française née d'une initiative portée depuis 1996 par l'association HQE. Cette certification de référence a été développée par Certivéa, filiale du groupe CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Elle est en quelque sorte le prolongement naturel et logique du développement urbain durable vers l'univers du bâtiment, et dans une moindre mesure, vers celui des travaux publics.

La certification HQE® est une démonstration faite par un organisme tiers. Elle garantit par une marque qu'un bâtiment répond à des caractéristiques bien définies. Elle est une attestation rendue nécessaire pour crédibiliser des engagements des acteurs dans une démarche réelle en faveur du développement durable et la qualité environnementale, mais également pour attester

de la qualité et de la véracité des résultats obtenus par cette démarche. Par la même, cela permet de valoriser les acteurs et leurs réalisations à travers des démarches crédibles.

L'opération de construction est un processus long (de quelques années pour la programmation, la conception, la réalisation, à des dizaines d'années d'exploitation). Elle implique un nombre important d'acteurs. En effet, tout projet comprend trois dimensions liées directement à la construction **[Platzer, 2009] :**

- une dimension temporelle : programmation, conception, construction, exploitation,
- une dimension structurelle, les acteurs : investisseur, maître d'ouvrage, architecte, entreprises, exploitants…etc,
- une dimension physique, le découpage du bâtiment : les ouvrages, murs, toitures, chauffage, portes et fenêtres.

Mais la performance environnementale impose une quatrième dimension (figure 7), que la Démarche HQE® arrive à organiser.

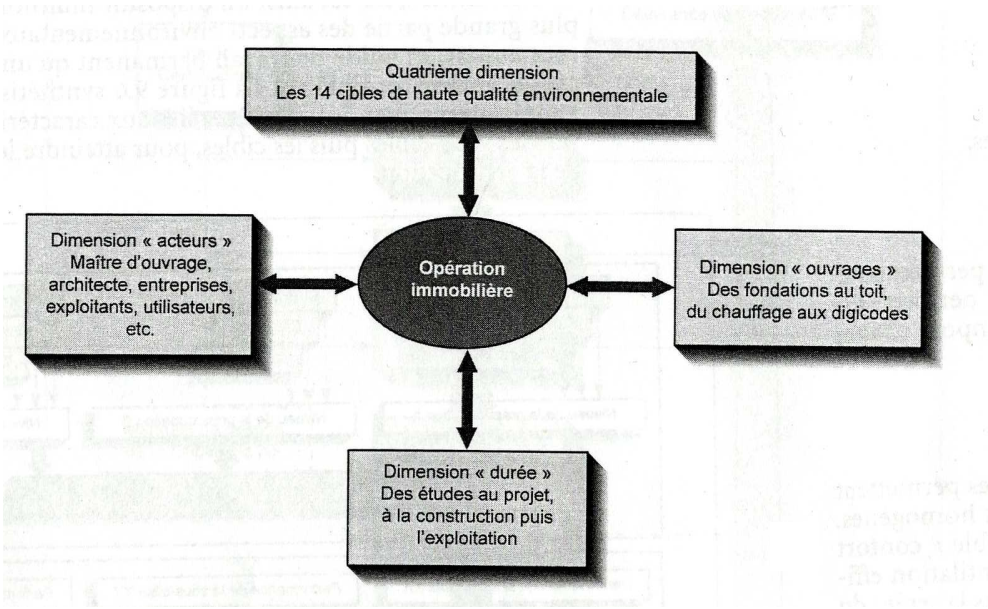


Figure 7 : La démarche HQE®, quatrième dimension du projet immobilier **[Platzer, 2009]**

La Haute Qualité Environnementale doit conjuguer la maîtrise des impacts des constructions sur l'environnement extérieur avec la mise en œuvre d'un environnement intérieur sain et confortable. La démarche HQE® correspond à un processus volontariste d'un maître d'ouvrage visant à **[Hetzel, 2009]**:

- Evaluer et maîtriser les impacts de son projet de bâtiment sur l'environnement,
- Caractériser ces impacts en facteurs d'émissions (air, eau, sols, déchets),

- Réduire l'impact global, tout en maîtrisant le confort et la santé.

Cependant, cette mission est d'autant plus délicate que nous passons environ 80% de notre temps à l'intérieur des bâtiments et que, par conséquent, le confort et les conditions sanitaires de nos constructions sont primordiaux. Sachant que nous devons prendre en compte le respect des habitants qui vivent aujourd'hui dans ces bâtiments, mais aussi les générations qui les utiliseront demain.

Chaque étape de la vie d'un bâtiment est couverte par une étape de la certification HQE. La méthode française d'évaluation est un ensemble d'actions, qui visent dans les différentes phases relatives au bâtiment à l'acte de construction, à planifier, mettre en œuvre, vérifier et enregistrer pour assurer la prise en compte de l'environnement, du confort et de la santé. Elle s'appuie sur trois volets [3]:

1. Un système de management environnemental de l'opération (SME) qui permet de mobiliser l'ensemble des acteurs pour atteindre les objectifs qui sont déjà fixés par le maître d'ouvrage dans le cadre de son programme.
2. 14 cibles qui permettent de structurer une réponse variée et adaptée au contexte technique, architectural et économique pour atteindre les objectifs du maître d'ouvrage sans imposer aucune solution préalable. Autrement dit, la Qualité Environnementale du Bâtiment (QEB).
3. Des indicateurs de performance sont élaborés, ils permettent d'évaluer les impacts environnementaux générés par l'ouvrage. 4 sont jugés prioritaires **[Certivéa, 2008] [XP P01-020-1, 2005]**.

La mise en œuvre d'un Système de Management d'Opération permet d'organiser l'opération pour atteindre les objectifs de la qualité environnementale déjà définis, tout en maîtrisant l'ensemble des processus opérationnels liés à la programmation, la conception et la réalisation de l'ouvrage.

D'ailleurs, la Qualité Environnementale du Bâtiment est déclinée en 14 cibles (figure 8) qui offrent un langage commun, décrivant précisément les caractéristiques environnementales d'une opération. Ces 14 cibles sont elles-mêmes déclinées en sous-cibles, représentant les

[3] http://assohqe.org/

préoccupations majeures associées à chaque enjeu environnemental, puis en préoccupations élémentaires.

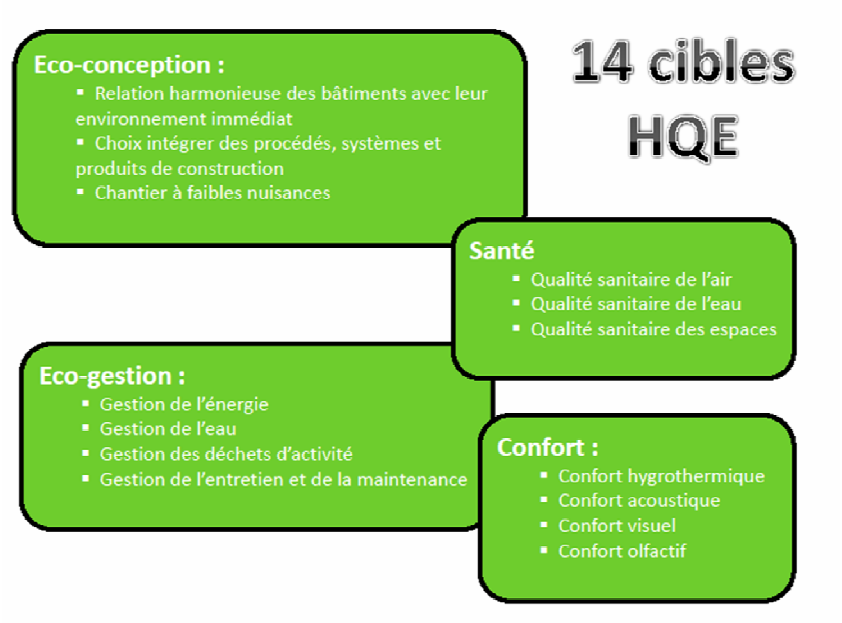


Figure 8 : Les 14 cibles de la démarche HQE®

L'obtention de la certification HQE® est conditionnée pour l'obtention d'une évaluation Très Performante sur 3 des 14 cibles, Performante sur 4 autres, et d'obtention des performances de Base sur 7 d'entre elles**.** (Figure 9) **[Guide Pratique 2008]**.

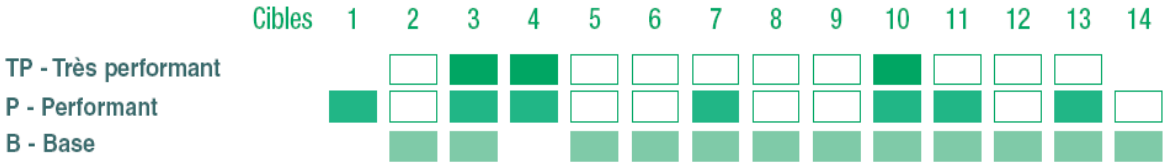


Figure 9 : Exemple de profil environnemental permettant d'obtenir la certification HQE®

La démarche HQE® s'appuie sur une notion « cible », qui est essentielle pour **[Platzer, 2009]**:

- fédérer les acteurs du projet ;
- éviter de déterminer les solutions *a priori* et laisser les projets se développer selon les domaines suivants :
  - le bâtiment en harmonie avec son environnement extérieur,
  - la qualité des ambiances intérieures créées,
  - l'attention portée au bien-être des occupants,
  - les filières de production,
  - la gestion durant toute la vie de la construction.

Notre recherche consiste à identifier les sources d'incertitude dans les cibles prioritaires définies pour les Maîtres d'Ouvrages pendant le processus d'évaluation de la qualité environnementale puis à évaluer l'influence de ces incertitudes. Cette analyse permet d'identifier les données prioritaires à collecter dans la recherche d'une plus grande précision. Elle permet enfin de préciser le degré de crédibilité de l'évaluation finale.

I.3.1. Principes de la démarche HQE® :

Plusieurs principes se sont imposés afin d'améliorer et développer la démarche HQE®. Le cadre commun, qui rassemble toute l'application des politiques, est les protocoles internationaux faisant suite au sommet de la Terre à Rio en 1992. Ces grands principes sont **[Hetzel, 2008]**:

1. une approche environnementale et sanitaire des bâtiments se fondant sur des évaluations en respectant différents niveaux d'impacts : niveau planétaire, niveau régional et niveau local,
2. une approche type « cycle de vie » qui permet de fournir un cadre et un contenu à la démarche,
3. la notion d'unité fonctionnelle, c'est-à-dire, à la définition par type de bâtiment d'un usage représentatif avec une durée de vie typique qui permet de comparer des situations proches en termes d'usage,
4. la démarche s'applique aux bâtiments neufs et existants en phase de conception, de réalisation, d'utilisation et de déconstruction,
5. la conception ou la réhabilitation doivent relever de l'éco-conception HQE® qui se définit par la mise en œuvre simultanée et itérative du SME et du référentiel d'évaluation de la qualité environnementale. L'objectif étant de réduire les impacts sur l'environnement extérieur des bâtiments tout en maintenant et améliorant la qualité de l'environnement intérieur assurant aux usagers un cadre de vie confortable et sain,
6. le bâtiment ne peut pas dans le cadre du développement durable être dissocié du territoire dans lequel il est inséré,
7. Il n'est pas possible d'affirmer qu'une solution technique résolve définitivement la question complexe des impacts environnementaux et sanitaires. Il faut choisir les solutions avec discernement en sachant qu'il est nécessaire de suivre l'évolution des connaissances.

I.3.2. Management environnemental

La qualité environnementale répond non seulement à une approche statique de type contrôle de seuils (évaluation des niveaux requis pour les critères techniques de qualité), mais aussi à une approche dynamique de progrès. Elle met en œuvre des processus d'amélioration continue, puisque sa vocation première est l'amélioration individuelle et collective au service d'un objectif planétaire. **[Platzer, 2009]**

Sur le principe de certification dans la démarche HQE®, on s'appuie sur un point fort du référentiel de la démarche HQE®, c'est le Système de Mangement de l'Opération (SMO) qui est la colonne vertébrale de cette démarche. Il permet de suivre l'opération dès le début jusqu'à la livraison, c'est-à-dire, de la phase préfaisabilité de la conception jusqu'à la phase d'exploitation. Où les acteurs des opérations doivent prendre en charge le pilotage de l'opération et la mise en œuvre de bonnes pratiques du management environnemental. La permanence d'un système de management de l'opération permet de s'assurer que l'opération est bien pilotée et maintenue dans le temps **[Certivéa, 2006].**

D'ailleurs, à l'intérieur de système de mangement environnemental il y a d'un côté, la prise en compte du contexte de l'opération qui permet de hiérarchiser les objectifs environnementaux en fonction du contexte, et des besoins prévus par les propriétaires où par les habitants et les futurs utilisateurs du bâtiment. De l'autre côté, le SME permet d'organiser l'opération pour atteindre les cibles, donc de mettre en harmonie l'ensemble des acteurs qui concourent à la réussite de l'opération.

Le rôle du maître d'ouvrage est essentiel dans les opérations de qualité environnementale. C'est lui qui valide la programmation et les allocations de ressources. C'est pourquoi le système de management environnemental de l'opération est alors une déclinaison du SMO du maître d'ouvrage et de son organisme (Figure10).

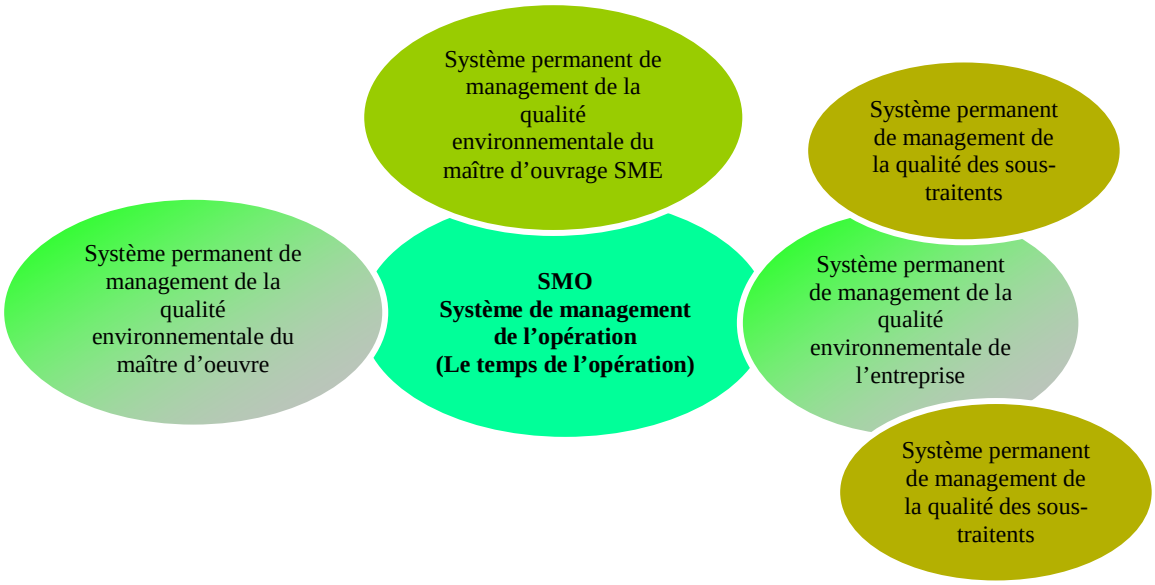


Figure 10 : Management de la qualité environnementale **[Platzer, 2009]**

Le système de management environnemental est un outil de gestion du projet qui doit améliorer le dialogue entre les acteurs de l'opération. Il permet de s'organiser de manière à réduire et maîtriser les impacts de l'opération sur l'environnement. Il inscrit l'engagement d'amélioration environnementale d'opération de la collectivité, en permettant au maître d'ouvrage de se perfectionner continuellement. Atteindre la performance dans une démarche HQE® ne se fait pas par hasard, mais par une mobilisation d'intelligence collective de l'ensemble des acteurs qui adhérent au système de management.

La réalisation d'une opération de Qualité Environnementale ne peut se faire qu'avec anticipation, concertation et organisation entre acteurs. C'est pourquoi la mise en place d'un système de management environnemental de l'opération (SME) est indispensable. **[Asso. HQE, 2010]**. Ainsi, les principaux objectifs du SME sont[3] de :

- Améliorer la performance du système de gestion avec l'introduction d'un nouvel angle critique.
- Maîtriser les risques pour le site.
- Se différencier par rapport à la concurrence.
- Valoriser l'image du projet.
- Communiquer de manière transparente vis-à-vis du personnel, des riverains, des clients, des assureurs, etc.

Les deux approches normatives d'un Système de Management Environnemental sont l'ISO 14001 et le SMEA (Système de Management Environnemental et d'Audit) qui est également appelé le EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) qui va beaucoup plus loin que le système mis en place par la norme ISO 14001 en rendant obligatoire un certain nombre de points supplémentaires. La différence entre le règlement EMAS et la norme ISO14001 est que l'organisme est obligée de communiquer une déclaration environnementale aux parties prenantes dans le cadre du règlement EMAS. La partie liée aux systèmes de management environnemental n'est pas traitée dans le cadre de cette recherche qui est limitée aux questions du référentiel QEB. D'ailleurs, les normes ISO qui décrivent les SME sont[4] :

- Les normes ISO 14001 [ISO 96-1] et ISO 14004 [ISO 96-2], définissent les spécifications et lignes directrices pour l'utilisation et la mise en œuvre du SME.
- Les normes ISO 14010 [ISO 96-3], ISO 14011 [ISO 96-4] et ISO 14012 [ISO 96-5] définissent les principes et procédures de l'audit environnemental, ainsi que les critères de qualification des auditeurs environnementaux.

En résumé, cette démarche de management environnemental a pour but de justifier la qualité environnementale, en demandant au maître d'ouvrage tout d'abord de déterminer le profil de la qualité environnementale pour son bâtiment. Ensuite, il s'engagera à préparer et disposer tous les moyens nécessaires à la réussite d'objectifs précis. D'autre part, cela permet de planifier l'opération et de définir les domaines de responsabilités des acteurs. En conséquence, le type des relations contractuelles ainsi que les modes de communications avec les parties intéressés fait également parti du système de management. Autrement dit, c'est un outil de pilotage de la réalisation elle-même.

[4] http://www.dictionnaire-environnement.com/

I.3.3. Le concept de la qualité environnementale des bâtiments :

I.3.3. a. Performance des bâtiments

L'utilisation rationnelle de l'énergie et des ressources énergétiques fossiles en particulier, la limitation des émissions de gaz à effet de serre, la maîtrise des risques sanitaires et plus généralement de toutes formes de nuisance, constituent des enjeux déterminants pour les décennies à venir. **[Cole, 1998]**.

En effet, plusieurs études ont été réalisées pour comparer les outils d'évaluation environnementale des bâtiments **[Fosboerg, 2004] [Todd et al., 2001]**, et montrer les différences entre les résultats des outils **[Aotake et al., 2005][Erlandsson, 2003][Kawazu et al., 2005].**

Par contre, certains ouvrages ont été élaborés autour des méthodes d'évaluation environnementale des bâtiments **[Cole, 2004] [Cooper, 1999] [Crawley, 1999]**. La première véritable tentative de créer des outils complets pour évaluer la qualité environnementale des bâtiments a été « the Building Research Etablishement Enviromental Assessement Method » (BREEAM) **[Crawley, 1999]**. BREEAM, a été créée en 1990 au Royaume-Uni **[Grace, 2000].** Depuis, de nombreux outils différents ont été proposés à travers le monde **[DOE, 1996/2006] [IEA annexe 31, 2001] [Reijnders, 1999]**. En outre, la Comité Européen de Normalisation (la durabilité des travaux de construction) « CEN/TC » a développé des méthodes normalisées pour évaluer les aspects de durabilité des ouvrages de construction (nouveaux et existants), et aussi des normes pour la déclaration environnementale des produits de construction **[CEN, 2005].**

La question de l'environnement est par essence une question mondiale, et la démarche de réduction de l'impact environnemental de l'immobilier est présente aussi dans plusieurs pays du monde. En effet les pays anglo-saxons, sont beaucoup plus pragmatiques que la France. Ils ont des systèmes basés sur l'amélioration continue, c'est-à-dire sur la valorisation des progrès effectués, il est très facile d'obtenir une certification LEED, mais une fois certifié, plusieurs niveaux de qualité existent et permettent à chacun (maîtres d'ouvrages, architectes, gestionnaires de parc immobilier, fabricants de matériaux ou de composants, ….etc.) de s'améliorer à chaque audit. Il n'est pas impossible de prévoir comment la certification HQE va se développer à l'international. Mais comme dans beaucoup de domaine, le système

américain LEED a déjà gagné la bataille **[Moniteur, 2012]**. Nous montrons ici des synthèses d'autres labels environnementaux reconnus mondialement **[Montharry, 2009]**:

1. Royaume-Uni : le système BREEAM :

   Le porteur de ce label est le Building Research Establishment (BRE), filiale de l'association BRE Trust, dont l'objet est de promouvoir l'excellence et l'innovation dans le bâti. BRE est le centre de ressource de référence au Royaume-Uni sur la construction, l'énergie, l'environnement et la maîtrise des risques dans le bâti.

   La méthode a été lancée en 1990 pour les immeubles de bureaux, mais il existe aujourd'hui des déclinaisons pour le commerce, l'industrie et le logement. Selon BRE, la méthode BREEAM (*BRE Environmental Assessment Method*) est la plus utilisée au monde pour évaluer et améliorer la performance environnementale des bâtiments. BREEAM évalue la performance des bâtiments sur les points suivants :

   - Système de management ;
   - Energie ;
   - Santé et bien-être ;
   - Pollution ;
   - Transport ;
   - Occupation des sols ;
   - Biodiversité ;
   - Matériaux ;
   - Eau.

   Des points sont attribués pour chaque domaine selon sa performance. Un système de pondération permet d'agréger ces notes afin d'obtenir une note finale, elle-même traduite par une mention : passable, bon, très bon ou excellent. Celle-ci, accordée sous forme de certificat, peut ensuite être utilisée à des fins promotionnelles. L'intérêt de cette certification, outre sa simplicité (quatre niveaux de performance), est qu'elle porte aussi bien sur les nouveaux bâtiments que sur le patrimoine bâti.

2. Etats-Unis : le label LEED :

   Le label LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) a été développé par l'USGBC (*United States Green Building Council*), association dédiée à la promotion de bâtiments rentables, agréables à vivre, et affichant une bonne performance

environnementale. LEED est aujourd'hui la méthode d'évaluation environnementale des bâtiments de référence aux Etats-Unis, et devient le standard du marché. LEED couvre une gamme de certifications qui visent :

- Les constructions ou réhabilitations majeures de bâtiments tertiaires (LEED-NC) ;
- Les opérations sur l'habitat existant de bâtiments tertiaires (LEED-EB) ;
- Les opérations sur les intérieurs de bâtiments tertiaires (LEED-CI) ;
- Les opérations sur les enveloppes de bâtiments tertiaires (LEED-CS) ;
- Les logements (LEED-H) ;
- Les quartiers (LEED-ND).

Le système LEED utilise 34 critères qui peuvent au maximum donner une note de 69 points. Ces critères se répartissent dans les thèmes suivants :

- Chantier propre ;
- Economie d'eau ;
- Efficacité énergétique ;
- Sélection des matériaux ;
- Qualité environnementale des intérieurs ;
- Innovation.

Selon la note obtenue par le bâtiment sur les 69 points possible, celui-ci obtiendra l'une des certifications suivantes :

- LEED Certified : 26-32 points ;
- LEED Silver : 33-38 points ;
- LEED Gold : 39-51 points ;
- LEED Platinum : 52 points et plus;

La certification porte sur les plans du bâtiment, et donc sur la performance attendue, et non sur une performance constatée. Un nombre croissant de collectivités locales exige la certification LEED dans ses appels d'offres. Le tableau 1 donne une synthèse des propriétés de chacune des méthodes.

HQE France	**BREEAM** Royaume-Uni	**LEED** Etats-Unis	**Commentaires**
Système de management d'opération	Système de management	Innovation et méthodes de conception	Sur ce thème, LEED se limite à la conception, BREEAM et HQE convergent
Maintenance et pérennité des performances environnementales			
Gestion de l'énergie	Energie	Energie et atmosphère	Convergence de principe
Confort hygrothermique	Santé et bien-être	Qualité de l'environnement intérieur	Fort déploiement des cibles HQE® par rapport aux approches LEED et BREEAM
Confort acoustique			
Confort olfactif			
Confort visuel			
Qualité sanitaire de l'eau			
Qualité sanitaire de l'air			
Qualité sanitaire des espaces			
Gestion des déchets d'activité	Pollution		Peu de convergences entre les approches
Chantier à faible impact environnemental			
Relation du bâtiment avec son environnement immédiat	Transport	Gestion environnementale du site	Fort déploiement de la méthode BREEAM
	Occupation des sols		
	Ecologie biodiversité		
Gestion de l'eau	Eau	Gestion de l'eau	Convergence de principe
Choix intégré des produits, système et procédés de construction	Matériaux	Matériaux et ressources	Convergence de principe

Tableau 1 : comparatif des labels HQE, BREEAM et LEED **[Platzer, 2009]**

A notre avis, les démarche HQE® à la française présente l'avantage d'associer deux référentiels complémentaires et va au delà des questions uniquement performantielles, elle permet une meilleure gestion du projet de construction d'un bâtiment HQE.

I.3.2. b. Le référentiel de la qualité environnementale des bâtiments QEB

Chaque phase de la vie d'un bâtiment en construction, a différentes durées et différents impacts environnementaux. Mais la phase la plus importante est la phase de conception. Elle est une phase de processus de la gestion d'un projet qu'elle permet du passage d'un programme à un produit. C'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 **[Chêne, 2011]**.

Dans le domaine de l'évaluation environnementale, les outils utilisés varient dans une large mesure pour des éléments de construction, des bâtiments entiers et l'ensemble des cadres d'évaluation du bâtiment. Ainsi la méthode de l'évaluation fournit généralement un ensemble d'objectifs, qui seront utilisés comme un guide pour améliorer la conception. La qualité des données d'entrée est un des principaux problèmes des méthodes d'évaluation de la qualité environnementale. En effet, les résultats sont dépendants de la qualité et de la modélisation faites des données d'entrée.

En raison de l'importance de ces méthodes d'évaluation, il se trouve que la plupart des pays ont élaboré des approches adaptées à leur contexte local, qui permettent aux équipes de conception de mesurer la performance des bâtiments.

Source Association HQE

Figure 11 : Grille de lecture pour définir et mettre en œuvre et mesurer les enjeux de qualité environnementale à atteindre

Plusieurs définitions de la qualité environnementale d'un bâtiment sont proposées comme: « La qualité environnementale est une orientation partagée par l'ensemble des acteurs de la construction (maîtres d'ouvrages, maîtres d'oeuvre, architectes, bureaux d'études techniques, gestionnaires de parc immobilier, fabricants de matériaux ou de composants, etc.) qu'elle engage le secteur de la construction vers des démarches concrètes pour améliorer la qualité des ambiances intérieures et réduire les impacts environnementaux » **[ADEME, 2007]**, ou celle proposée par l'Agence de Protection Environnementale des Etats-Unis: « La construction verte qu'elle est également connue comme un bâtiment durable ou bâtiment à haute performance, est la création de structures en utilisant des procédés qui sont respectueux de l'environnement et économes en ressources tout au long du cycle de vie d'un bâtiment ; de l'implantation à l'exploitation et l'entretien. Même à la rénovation et à la déconstruction. Cette pratique se développe et complète les préoccupations classiques de conception du bâtiment en ce qui concerne l'économie, l'utilité, la durabilité et le confort » **[US EPA, 2009]**. Nous adoptons celle de l'Association HQE : «*La Qualité Environnementale d'un Bâtiment (QEB) est l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques intrinsèques du bâtiment, des équipements et de la parcelle à satisfaire les exigences liées à la maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et la création d'un environnement intérieur confortable et sain.*». Cette définition qui a été reprise dans la norme NF P01-020-1, ne définit pas les niveaux de qualité à atteindre mais permet à l'ensemble des acteurs du bâtiment d'adopter un "langage commun" pour décrire la qualité environnementale d'un bâtiment sur l'ensemble des étapes de son cycle de vie : conception, réalisation, exploitation, fin de vie. **[Asso. HQE, 2010]**. Ce concept de la qualité environnementale des bâtiments est utilisé dans les méthodes de certification des bâtiments. Cela veut dire que pour évaluer la QEB, il faut en premier lieu recueillir et analyser les données. Ensuite il faut évaluer ces informations au regard du critère de performance environnementale définis dans un référentiel.

Afin de maîtriser les impacts environnementaux des bâtiments, la norme française NF P 01-020-1 qui concerne la qualité environnementale des bâtiments, identifie les impacts environnementaux des bâtiments en deux catégories ;

1. impacts environnementaux extérieurs aux bâtiments qui sont :
   - pollution de l'air, des eaux et des sols ;
   - nuisances (bruits, odeurs,..)
   - épuisement des ressources naturelles non renouvelables ;
   - atteinte à la biodiversité ;

- quantité de déchets ultimes, y compris en fin de vie du bâtiment ;

2. impacts environnementaux intérieurs aux bâtiments qui sont :
   - conditions de confort à l'intérieur du bâtiment ;
   - conditions sanitaires à l'intérieur du bâtiment.

Les similitudes de formulation entre les impacts et les cibles peuvent apparaître troublants. En réalité, il s'agit de concepts fondamentalement différents :

- la mise en place de moyens techniques (des photopiles, des économiseurs d'eau, piloter finement les installations, etc.) pour assurer que les performances environnementales du bâtiment seront satisfaisantes, les cibles sont destinées aux architectes, bureaux d'études techniques, maîtres d'ouvrage, promoteurs et entreprises.
- les impacts portent sur la façon dont le bâtiment prend des mesures sur le reste de la planète, sur sa participation à la consommation d'énergie et sa production de déchets (figure12). L'important est alors ce qui se passe au niveau global plutôt que dans le bâtiment lui-même.

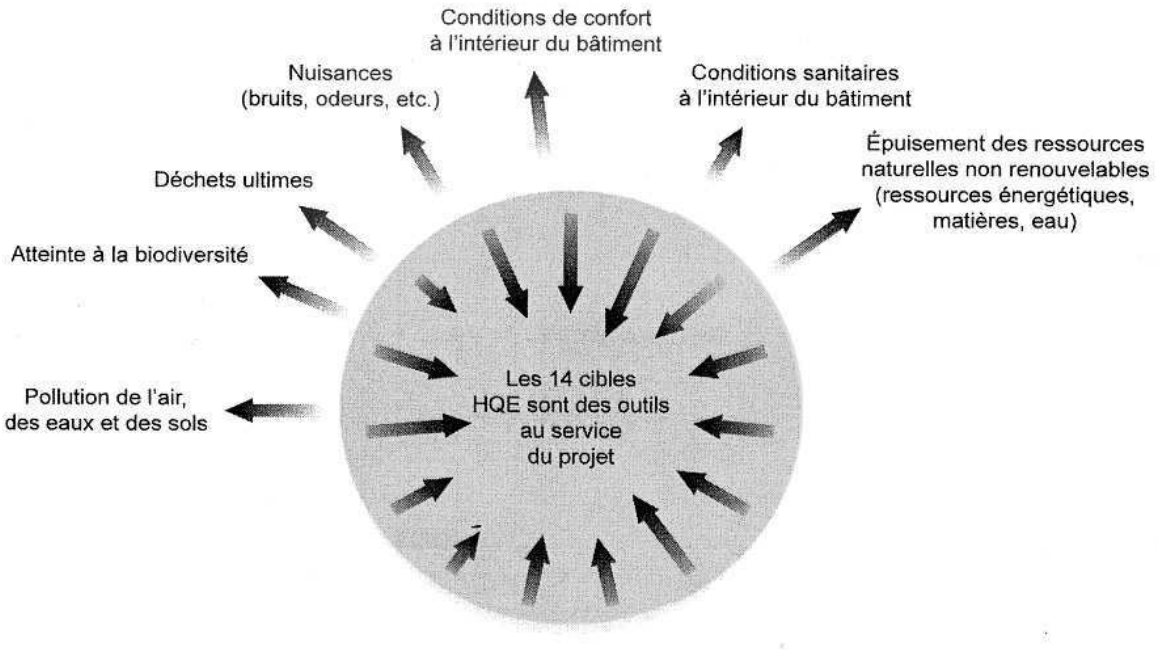


Figure 12: Impacts du bâtiment dans l'évolution globale de son environnement **[Platzer, 2009]**

L'objectif de ce contrôle des impacts est de pouvoir s'exprimer à travers des exigences générales et des indicateurs de performance, par lesquels nous pouvons mesurer la satisfaction

de chacun des objectifs de maîtrise des impacts environnementaux. A la fin, les résultats sont synthétisés dans un profil à 14 composantes, représentant les performances obtenues pour les 14 cibles de la QEB.

Pratiquement, l'évaluation de la performance environnementale d'un bâtiment est d'une part, l'agrégation entre les performances des préoccupations de chaque sous-cible pour avoir son niveau de performance, et d'autre part, une autre agrégation entre ces derniers pour avoir finalement une évaluation globale de la cible. Figure 13;

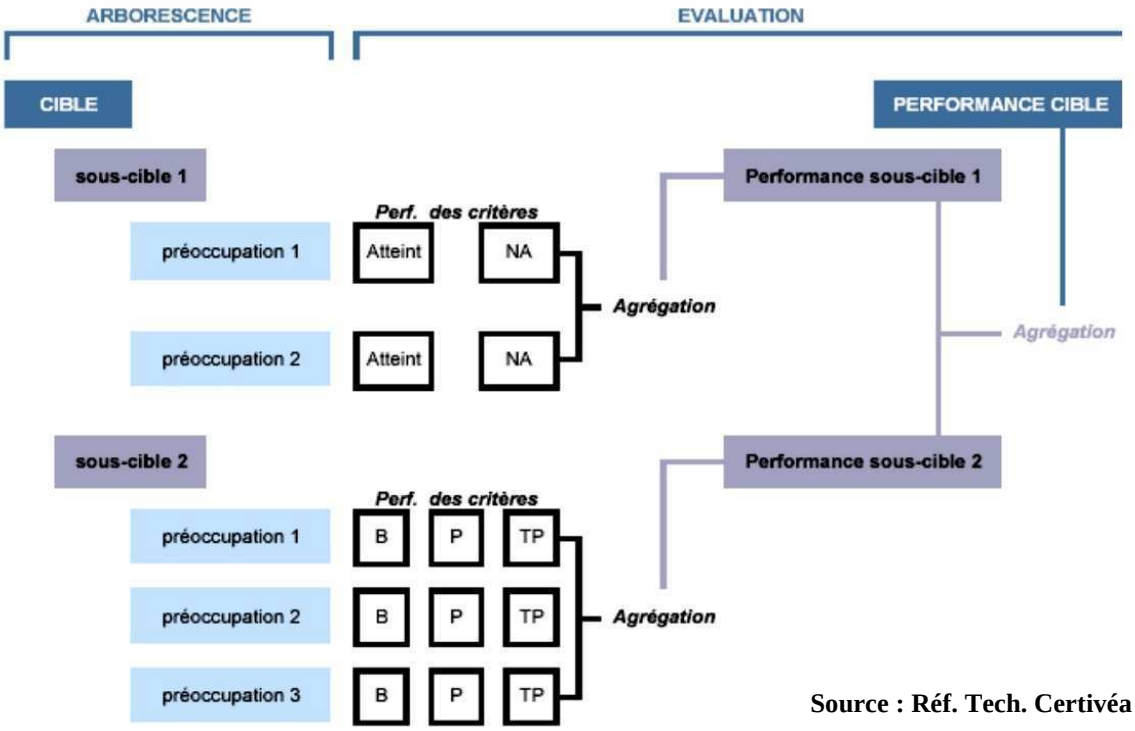


Figure 13 : Agrégation dans la certification HQE®

Dans le secteur du bâtiment, le besoin d'évaluer quantitativement les effets environnementaux des opérations de construction est devenu une condition pratique pour obtenir une construction durable **[Essa, 2007]**.

Les connaissances liées à la qualité environnementale des bâtiments sont souvent imprécises et entachées par les incertitudes qui proviennent de plusieurs sources (le milieu, les matières, les méthodes, les moyens, les décisions subjectives...etc.). En effet, le maître d'oeuvre joue un rôle important dans un processus où les acteurs sont très nombreux ce qui peut se traduire par une perte d'informations entre les intervenants successifs. **[Favre, 2000]**.

Normalement, les données utilisées par les acteurs des bâtiments ne sont pas toujours satisfaisantes au niveau de la précision. Cet aspect de non satisfaction existe à cause des valeurs obtenues par les méthodes et les croyances associées à ces méthodes. Cette réflexion nous conduit au fait qu'un développement doit être réalisé pour représenter les informations incertaines de ce domaine.

Notre démarche consiste à étudier les paramètres composants de la certification **NF Bâtiments Tertiaires-Démarche HQE®** sans ignorer les incertitudes des données. Cela permettra à l'utilisateur d'ajouter une crédibilité dans l'utilisation de cette méthode française pour l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments.
Ainsi, la représentation de ces incertitudes et des croyances associées à ces incertitudes et aux résultats obtenus est fondamentale. En effet, une certification peut être tributaire de la qualité des données fournies, mais surtout de la pertinence des acteurs qui étaient à l'origine de cette information.
Les méthodes possibilistes qui seront détaillées à la deuxième partie répondent à cette exigence de faible quantité de données disponibles et surtout à leurs incertitudes, incomplétudes et imprécisions.

I.4. Schéma des certifications environnementales

La figure 14 montre que les certifications environnementales composent le troisième niveau de la pyramide de la qualité environnementale des bâtiments.

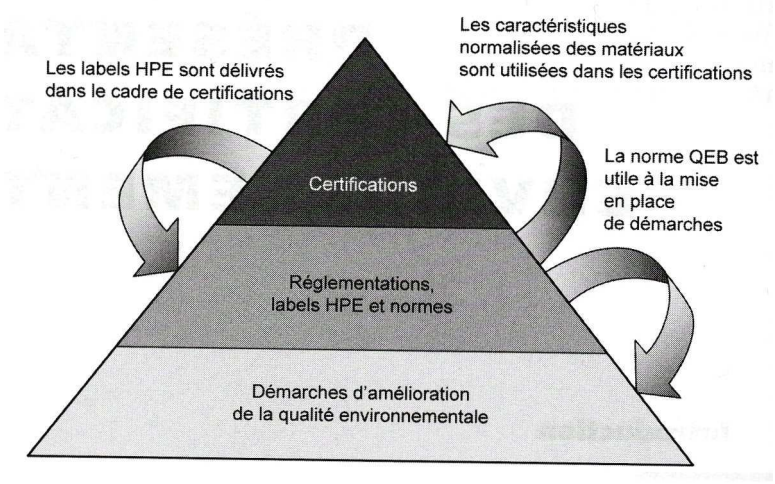


Figure 14 : Pyramide de la performance environnementale dans le bâtiment **[Platzer, 2009]**

La mobilisation des acteurs se situe à la base de cette pyramide, où elle s'effectue à travers des démarches environnementales, dont la plus répandue est la Démarche HQE®. Elle constitue le socle de cette démarche.

Les normes et règlementations qui permettent de fixer des minimums pour les différentes qualités des produits et des ouvrages, et de tracer les bases d'un cadre commun pour l'appréciation des démarches se présentent au premier niveau. Les performances énergétiques sont au premier plan, selon les conclusions du Grenelle de l'environnement.
Le second niveau de la pyramide montre qu'il est essentiel d'aller au-delà des minimums de règlementations, notamment dans les constructions neuves. Cette nécessité peut s'expliquer pour :

1. raisons sociales et collectives : Il faut anticiper, particulièrement dans le cas des bâtiments publics, afin que les bâtiments nouveaux ne se révèlent pas inadaptés demain ;
2. pour des raisons de marketing économique : non seulement un bâtiment à hautes performances se louera mieux, mais à terme il ne verra pas sa valeur s'effondrer pour cause d'inaptitude à l'usage ;
3. parce qu'il s'agit du rôle des certifications environnementales, qui ont pour objectif de différencier le produit, en assurant au client que le bâtiment réalisé et livré présente les caractéristiques fixées dans un référentiel donné.

Actuellement, de nombreuses certifications environnementales existent, et les appréciations réalisées dans le cadre des certifications environnementales supposent que les opérations auditées respectent au préalable l'ensemble des réglementations en vigueur. En effet, la certification fait l'objet d'un contrôle par les pouvoirs publics, qui s'assurent que le référentiel est accessible à tous et que l'organisme certificateur présente les qualités requises.

D'un point de vue technique, les données de la certification sont divisées entre les cibles quantitatives et les cibles qualitatives. Les deux types de cibles font pourtant face à l'imperfection et l'imprécision des données et des avis d'experts : les avis personnels dans les préoccupations qualitatives sont souvent évalués subjectivement et les mesures dans les cibles quantitatives ne sont pas faites complètement sans erreur. Ainsi l'imprécision devrait être prise en compte dès le début, en évitant l'utilisation de valeurs supposées précises alors que les informations ne sont pas fiables **[Essa, 2007]**.

Nous allons élaborer dans les chapitres suivants une analyse détaillée des opérations certifiées HQE® afin de définir les cibles prioritaires pour les maîtres d'ouvrage. Cette étape préalable nous permettra d'accéder à la deuxième étape en ce qui concerne la préparation d'un questionnaire. Puis en s'appuyant sur les réponses de ce questionnaire nous aurons la base pour construire les fonctions de contraintes et les fonctions d'imprécisions. Touts ces notions et la méthodologie de travail seront traitées et présentées en détail dans les parties suivantes.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux enjeux et objectifs de la Haute Qualité Environnementale. Nous avons aussi analysé les principales difficultés liées à ce concept et à sa place dans le développement durable et souligné les principales lacunes liées à la qualité des données.

Partie II

II. Représentation de l'imperfection 33
i. Préambule 33
II.1. Introduction : 33
II.2.1 Information imprécise 35
II.2.2 Information incertaine 35
II.2.3 L'incertitude dans le domaine du Bâtiment 36
II.2.4 L'incertitude dans l'évaluation de la QEB 38
II.3 Représentation de l'imprécision et de l'incertitude : 41
II.3.1 Théorie des probabilités 42
II.3.2 La logique floue 43
II.3.3 Théorie des sous-ensembles flous 45
II.3.3.a La notion d' α-coupe 49
II.3.4 Théorie des possibilités 50
II.4. La construction d'une distribution de possibilité : 53
II.5. La fusion des données 54

Dans cette deuxième partie nous présentons les méthodes d'analyse de l'imperfection d'un côté et de l'imprécision et l'incertitude de l'autre.

Cela s'appuie sur des analyses bibliographiques génériques liées aux sciences de l'information et à la bibliographie propre aux modèles d'analyse de la Qualité Environnementale.

II. Représentation de l'imperfection

i. Préambule

L'objectif de ce chapitre est de présenter une synthèse sur les moyens utilisés pour manipuler l'imperfection des données et les techniques adoptées pour intégrer l'imprécision ainsi que modéliser les incertitudes, les imprécisions et les incomplétudes relatives aux données et connaissances.

II.1. Introduction :

Pour la première fois, avec les travaux de Huygens, Pascal et J. Bernoulli, la formalisation de l'incertain est apparue au XVIIe siècle. Malgré que ces travaux ne parlaient jamais de la notion de probabilité, mais ils traitaient les problèmes des jeux et en déduisaient une théorie de la chance. Dès 1680 une théorie mathématique des probabilités et de leurs combinaisons a proposé par Bernoulli. Ce dernier a proposé la loi des grands nombres qui permet d'estimer *a posteriori* une probabilité inconnue *a priori* à partir de l'observation de fréquences d'occurrence. Plus tard en 1711, Moivre a simplifié la théorie proposée par Bernoulli, où l'on trouve la première règle d'additivité et une représentation des probabilités entre 0 et 1. Au XVIIIe siècle, Lambert, poursuivant les travaux de Bernoulli, a traité de la théorie des erreurs et a proposé une méthode connue sous le nom de "Maximum de vraisemblance". Plus tard, Bayes a calculé la probabilité connaissant le nombre de succès dans un échantillon et l'a exprimée en terme de probabilité initiale (*a priori*), finale (après l'expérience) et vraisemblance (probabilité de l'expérience sachant la probabilité initiale) alors que Bernoulli estime le nombre de succès à partir de la connaissance de probabilité. Les travaux de Bayes ont été repris par Laplace qui a proposé le principe d'équiprobabilité si l'on a aucune raison de penser autrement **[Dubois, 2006]**.

Le XIXe siècle a vu le développement de la loi gaussienne en utilisant le maximum de vraisemblance dans le problème de l'estimation des erreurs d'observations. Mais la notion de probabilité est restée liée à la notion de la fréquence jusqu'au XXe siècle avant les travaux de De Finetti et Ramsey. L'émergence de l'informatique, la naissance de l'intelligence artificielle, la représentation des connaissances et le raisonnement entachés d'incertitude, d'imprécision et de contradiction ont conduit les chercheurs à revenir sur la notion subjective de la probabilité à laquelle un grand nombre des chercheurs étaient intéressés du point de vue philosophique par rapport aux probabilités objectives **[De Finetti, 1937] [Ramsey, 1926].**

A partir des années 60, de nouvelles théories de l'incertain qui ne sont pas liées aux probabilités sont apparues. Zadeh a inventé la théorie des sous-ensembles flous **[Zadeh, 1965]**, Shortliffe et Buchanan **[Buchanan, 1984]** ont développé le formalisme des "facteurs de certitude" pour un système expert à base de règles à application médicale (MYCIN). Shafer a exposé la théorie des fonctions de croyance **[Shafer, 1976]**. Ensuite, Zadeh a introduit la théorie des possibilités, en relation avec la théorie de sous-ensembles flous **[Zadeh, 1999],** développée ensuite par Dubois et Prade **[Dubois, 1988].** Walley a introduit la théorie des probabilités imprécises **[Walley, 1991]**. Ces nouvelles théories connaissent aujourd'hui un grand développement dans le traitement de l'incertain et en fusion d'informations imparfaites.

II.2. Les imperfections des informations et des connaissances:

On appelle information toute collection de symboles ou de signes produits soit par l'observation de phénomènes naturels ou artificiels, soit par l'activité cognitive humaine, et destinée à comprendre le monde qui nous entoure, à aider à la prise de décision ou à communiquer avec des individus **[Dubois, 2006].**
Alors, une distinction apparaît pour deux sortes d'informations : objectives et subjectives. Les informations objectives sont issues de l'observation directe de phénomènes, tandis que celles dites subjectives sont les informations exprimées par des individus et conçues sans le recours à l'observation directe du réel.

Une information peut prendre deux formes : numérique et symbolique (qualitative). Les informations numériques (généralement objectives) peuvent saisir en différentes formes : nombres, intervalles de nombres, etc. Par contre, les informations symboliques (subjectives) sont exprimées en langage naturel et souvent codées par des représentations logiques ou graphiques. Néanmoins, cette distinction n’est pas stricte ; autrement dit : une information subjective peut être numérique, et l'information objective peut être symbolique.

Ainsi une autre distinction est présente entre deux types d'information: l'information contingente et l'information générique. L'information contingente concerne une situation particulière, la réponse à une question sur l'état courant du monde, comme par exemple une observation, ou un témoignage. Ce type d’information est très présent dans la description de

la cible 1 de la HQE®. L'information générique se réfère à une classe de situations, par exemple un modèle statistique issu d'un ensemble représentatif d'observations. Elle est très présente dans les cibles techniques. Cette distinction est importante dès qu'on aborde les problèmes d'inférence ou de révision d'informations incertaines. De plus, une problématique comme l'apprentissage ou l'induction s'intéresse à l'élaboration de connaissances génériques à partir d'informations contingentes. Inversement, l'inférence statistique peut être vue comme l'utilisation d'une connaissance générique sur la fréquence d'un événement pour estimer un degré de confiance en l'occurrence contingente de cet événement dans une situation particulière.

En générale, une information est parfaite si elle est précise et certaine. Mais chaque source d'information étant en général imparfaite, les données disponibles pour un système d'informations sont souvent imparfaites. L'imperfection est due à l'incertitude, l'imprécision et l'inconsistance. Ces dernières notions représentent les aspects majeurs des données imparfaites **[Bordat, 1986] [Dubois, 1988][Dubois, 2001][Dubois, 2006][Bouchon-Meunier, 2003][Smets, 1996]**. Nous proposons les définitions les plus connues de ces notions.

II.2.1 Information imprécise

L'imprécision selon **[Boissier, 1993]** : *concerne des informations mal définies; nous lui associons les qualificatifs de type environ, à peu près, dans l'intervalle, compris entre, approximativement…, il représente de la qualité de la connaissance que nous avons d'un phénomène*. Alors, une information est dite imprécise si elle est insuffisante pour permettre de comprendre une situation donnée.

II.2.2 Information incertaine

L'incertitude; *résulte essentiellement d'une épreuve dont le résultat n'est pas connu a priori et pourrait changer si on la recommençait, il représente la variabilité intrinsèque d'un phénomène*. **[Boissier, 1993].** On peut donc regarder l'incertitude comme le manque d'informations suffisantes pour arriver à des conclusions correctes.

Il y a au moins deux causes de l'incertitude **[Dubois, 2003]:**

- La variabilité des phénomènes. C'est-à-dire, la réponse probabiliste en fonction de la fréquence observée.
- Le caractère incomplet de l'information disponible ; où les réponses sont, plus ou moins, précises en fonction de la connaissance détenue par les individus.

Pour que nous jugions si l'information soit vraie ou fausse, nous devons évaluer soit la probabilité, soit la possibilité ou la certitude d'une proposition qui est incertaine. Alors, une proposition peut être incertaine si : l'information disponible est incomplète (imprécise, vague…), ou elle est contradictoire (variabilité, conflit,..). Par contre, nous disons qu'une proposition floue est incertaine si le calcul de son degré de vérité est non faisable **[Dubois, 2003]**. Dans ce contexte, nous pouvons différencier clairement les concepts d'imprécis et d'incertain : l'imprécis concerne le contenu de l'information tandis que l'incertain est relatif à sa vérité, entendue au sens de sa conformité à une réalité **[Bouchon-Meunier, 1995]**. Cela nous amène à la notion de **connaissance incomplète** où l'incomplétude est l'absence de connaissances, c'est-à-dire l'impossibilité d'obtenir certains renseignements. Ces renseignements sont parfois chers à obtenir ou demandent beaucoup de temps pour être mesurés. Cette connaissance incomplète est importante dans la logique d'intégration des incertitudes dans l'analyse de la HQE.

Les imperfections dans les connaissances proviennent d'erreurs dues à des instruments de mesure ou d'observation, de difficultés dans la perception de certains éléments du système, de l'expression de lois générales auxquelles il existe éventuellement des exceptions **[Bouchon-Meunier, 1996].** Ces imperfections sont appelées de façon générale **incertitudes**, parce que leur présence conduit à un doute sur la valeur d'une variable, sur une conclusion relative au système étudié, sur une décision à prendre.

II.2.3 L'incertitude dans le domaine du Bâtiment

Relativement au fonctionnement d'un système, surtout d'un système complexe comme le bâtiment, deux domaines peuvent être définis **[Desroches, 1995]** dans **[Lair, 2000]** (figure15):

- Un domaine de connaissance dans le quel il est possible de décrire tous les états de fonctionnement d'un système et les relations entre le système et l'environnement,
- Un domaine d'inconnaissance sur les états de fonctionnement du système ou sur son environnement. Il correspond essentiellement à un changement, inconnu actuellement, de l'utilisation du produit.

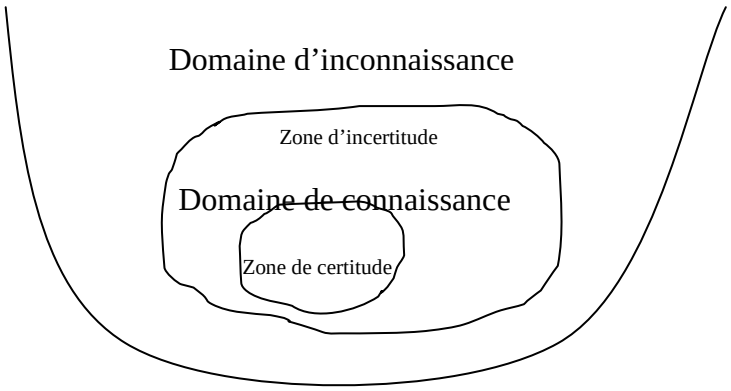


Figure 15 : Domaines de connaissance et d'inconnaissance **[Desroches, 1995]**

La domaine de connaissance peut être décomposé en deux zones complémentaires : la zone de certitude et la zone d'incertitude. La première est une zone de connaissance déterministe de tous les états du système. Quant à la zone d'incertitude, elle correspond à une connaissance qualitative des états du système, associée à une connaissance aléatoire de chacun d'eux pour une situation donnée. Dans cette zone, il y a ce que nous pourrions savoir mais qui est trop difficile à obtenir (il nécessite des connaissances étrangères au domaine du bâtiment), et aussi ce que nous savons mais qui est mal formalisé.

Dans notre cadre d'études, celui du bâtiment, nous nous bornerons au domaine de connaissance. Où la zone d'incertitude est très étendue, compte tenu de toutes les méconnaissances auxquelles nous sommes confrontés (méconnaissance du système, de l'environnement, des actions accidentelles…. Etc.).

En général, les données et les connaissances intervenant dans les indicateurs de performance d'un bâtiment peuvent être aussi bien précises qu'imprécises, certaines qu'incertaines, numériques que linguistiques ou objectives que subjectives. La nature de ces données dépend de plusieurs paramètres tels que le degré de flexibilité introduite dans les objectifs et les conditions de la prise de mesure **[Essa, 2007]**.

En conséquence, les indicateurs de performance doivent inclure un mécanisme homogène d'évaluation en prenant en compte des aspects éventuels de nuance, d'imprécision, d'incertitude et de subjectivité.

II.2.4 L'incertitude dans l'évaluation de la QEB

Lorsque l'imprécision des données croît, l'imprécision des résultats qu'on en déduit ne peut que croître **[Dubois, 1987]**. En conséquence, la représentation des données imparfaites et le raisonnement en présence d'incertitude devraient être développés dans le domaine de la QEB. D'ailleurs, le retour d'expérience joue un rôle important dans l'évaluation de l'incertitude sur la qualité environnementale des bâtiments. Mais pour certaines raisons, ces expériences ne sont pas faciles à exploiter **[Alhamwi, 2008]**:

- les projets ne se ressemblent pas.
- compte tenu de ce fait, les équipes de projet ne sont pas motivées pour construire la "mémoire" du chantier.
- il n'existe pas de procédure standard de recollement.

De cela, dans le cadre de l'évaluation des bâtiments, la construction de n'importe quel modèle implique l'utilisation des données caractéristiques de ces bâtiments ; celles-ci permettent de comprendre les fonctionnements de ces bâtiments. Alors, l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments nécessite trois types de données :

- <u>Données physiques :</u> les données décrivant le bâtiment (les dimensions, les composants de ce bâtiment…). Les imprécisions et les incertitudes de ces données peuvent être liées à l'accessibilité et la disponibilité des données. Où la fiabilité des techniques mises en œuvre pour accéder à ces données est très importante pour définir la précision des valeurs.
- <u>Données du fonctionnement de bâtiment :</u> si les mesures simples ne permettent pas d'évaluer les sous cibles, des simulations sont nécessaires pour effectuer cette évaluation. (le cas de la consommation d'énergie totale d'un bâtiment par exemple). Les imprécisions et les incertitudes de ces modèles sont liées à la connaissance du fonctionnement du bâtiment et à l'existence d'une théorie fiable susceptible de les décrire **[Karnib, 1996]**.
- <u>Données décrites par des déclarations linguistiques :</u> la façon la plus simple d'acquérir ce type de données est de s'adresser directement aux experts. Dans le domaine du bâtiment, il existe plusieurs typologies de réponse comme par exemple (à peu près, environ, complet, …etc).

Situer le traitement d'incertitudes dans le contexte de la qualité environnementale des bâtiments exige une analyse de sources de ces incertitudes. La figure 16 résume certains facteurs qui jouent un rôle important au moment où l'on définit la précision des résultats de l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments QEB. **[Essa, 2007].**

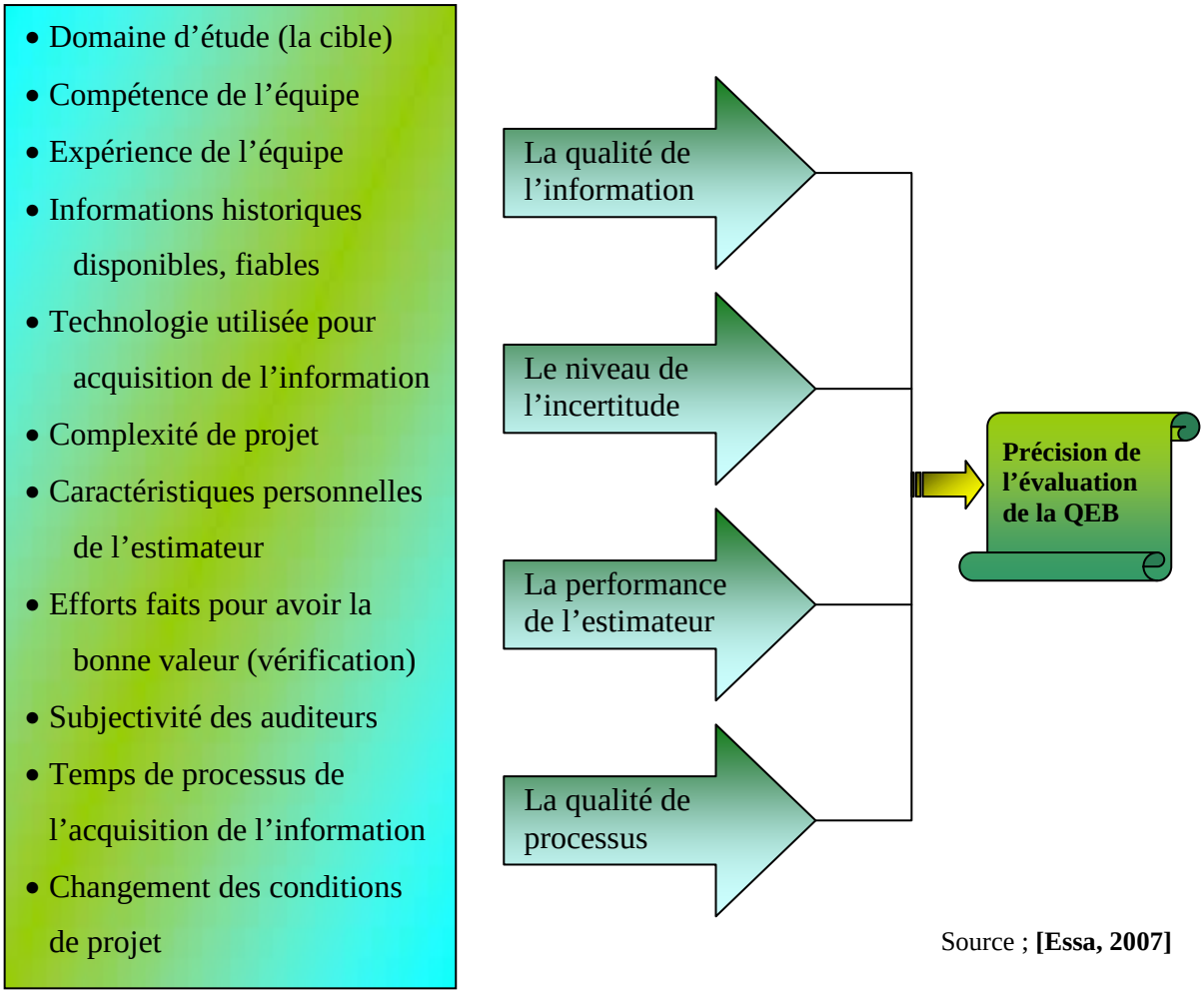


Figure 16 : les sources d'incertitudes des données dans l'évaluation de la QEB

Pour bien prendre en compte l'incertitude dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, nous avons réalisé une analyse pour : D'une part, déterminer les cibles de niveau très performant choisies prioritairement par les maîtres d'ouvrages, d'autre part intégrer mathématiquement, les valeurs d'incertitudes dans l'évaluation environnementale du bâtiment de manière à atteindre un profil de performance environnementale fiable et crédible. Cette analyse sera présentée ultérieurement, partie III.

Sachant que les données quantitatives peuvent être représentées sur une échelle numérique, contrairement aux données qualitatives. L'intégration des valeurs d'incertitudes dans l'évaluation sera fait en utilisant la théorie des possibilités. Cette théorie nous permettra de traiter les données de la certification qualitatives autant que celles quantitatives. Nous ferons une présentation détaillée pour cette théorie et ses interprétations et notions dans le chapitre II.3.4.

II.3 Représentation de l’imprécision et de l’incertitude :

La crédibilité d'un modèle quelconque, c’est-à-dire son aptitude à ne pas être contredit dans ses conclusions par un modèle de même complexité, dépend de la quantité des données et de la finesse du modèle.

Logiquement, plus les données sont importantes, plus la crédibilité des résultats en sera augmentée. En revanche, plus le modèle est précis et « fin », plus il sera difficile de généraliser des résultats extrêmement ciblés à d’autres cas, même légèrement différents.

D’ailleurs, plus de données ne se justifie que par plus de finesse, et réciproquement, plus de finesse nécessite plus de données. De ce fait, une augmentation de la crédibilité peut être obtenue par :

- L’augmentation de la quantité des données,
- La diminution de la finesse de modélisation,
- L’intégration de l’incertitude dans notre modélisation sous diverses formes : probabilité, ensembles flous… etc.

En utilisant toutes les données disponibles, et seulement les données disponibles, nous cherchons par conséquent à atteindre un compromis ou un optimum crédibilité.

Un individu peut avoir des difficultés à décrire de manière précise son état de connaissance. Il peut paraître plus naturel de fournir un ensemble des valeurs possibles. Cette caractérisation de l'incertitude non pas par un nombre unique mais par plusieurs valeurs a ouvert la voie à plusieurs théories de gestion et de manipulation de l'imperfection durant les trente dernières années **[Shafer, 1976] [Dubois, 1988] [Walley, 1991] [Molchanov, 2005].** D’ailleurs une hiérarchie se trouve de représentations à base de familles convexes de probabilités, incluant la théorie des probabilités imprécises **[De Campos, 1994]**, la théorie de fonctions de croyance de Shafer **[Shafer, 1976]**, les ensembles aléatoires **[Molchanov, 2005]**, la théorie des possibilités **[Dubois, 1987] [Dubois, 2008].** Des liens de passage existent entre l'une et l'autre de ces théories. Une étude détaillée de ces théories est explorée par Destercke S. **[Destercke, 2008]**, qui offre un panorama des théories de l'incertain en mettant l'accent sur des aspects qui permettent d'unifier ces cadres et de chercher le meilleur cadre à appliquer pour une situation donnée.

II.3.1 Théorie des probabilités

La théorie des probabilités est le plus ancien outil mathématique pour traiter l'incertitude. La mieux développée mathématiquement et la plus utilisée dans le monde du génie civil et urbain. Elle était la seule à interpréter la notion de hasard et d'incertitude. C'est ainsi qu'il existe des critiques sur l'utilisation du calcul des probabilités dans les processus de décision chez les experts. De façon précise, il y a des cas où les experts ne raisonnent pas de façon conforme aux axiomes de la théorie mathématique des probabilités. En effet, le succès des méthodes probabilistes dans plusieurs disciplines scientifiques ne justifie pas son usage universel comme outil unique pour traiter l'incertitude au sens général. Cette approche reste très mathématique et loin de pouvoir intégrer les appréciations subjectives **[Klir, 1999]**. Elle est mal adaptée à la modélisation de l'imprécision des opinions d'experts et limite le choix des méthodes de fusion quand il s'agit de synthétiser une information interprétable à partir d'un ensemble d'informations provenant de plusieurs experts **[Sandri et al, 1990]**. Des évolutions récentes ont permis de palier en partie à ces carences.

Selon **[Dubois, 1987]** la théorie des probabilités n'est pas toujours directement utilisable, car le modèle probabiliste est adapté à la saisie d'informations précises, mais dispersées. Dès que la précision fait défaut, on tend à sortir du domaine de validité du modèle.
La théorie des probabilités, outre d'étudier les phénomènes aléatoires, elle est la théorie additive de l'incertain. Or, cet axiome est discutable lorsqu'on s'intéresse aux mesures subjectives.

En effet, l'utilisation de la théorie des probabilités dans le cadre de notre étude n'est pas adaptée pour plusieurs raisons **[Essa, 2007]**:

1. les informations disponibles ne fournissent pas de donnée répétable, donc la construction de distribution de probabilité n'est pas réalisable ;
2. la seconde est que la masse des données n'est pas suffisante pour établir des fréquences d'apparition des phénomènes. Ainsi il n'est pas envisageable de donner des probabilités.
3. la simulation de performance d'un bâtiment ne peut pas reposer sur la seule approche probabiliste.

II.3.2 La logique floue

En effet, la certitude, la subjectivité avec laquelle les connaissances sont acquises et la précision de la variable sont considérées très importantes pour juger la qualité des informations. Mais quand on travaille dans un monde flou, il faut toujours éviter d'utiliser des valeurs très précises. Nous dans plusieurs pratiques de notre vie quotidienne, faisons de la logique floue. Notre cerveau fonctionne en logique floue ; Par exemple, les règles de conduite automobile à l'approche d'un carrefour contrôlé par feux, sont des règles floues. C'est-à-dire, si le feu est orange et si ma vitesse est moyenne, ainsi si le feu est loin alors je freine doucement ! Nous pouvons inscrire plusieurs exemples variés de ce cas-là. Bien que la logique classique a des limites concernant la fiabilité de la décision, il est constaté généralement que la logique floue propose tant la souplesse que la fiabilité en ce qui concerne l'aide à la décision. Autrement dit, contrairement à la logique algébrique qui n'accepte que "oui" ou "non" comme appartenance à une proposition, en logique floue, il n'y pas seulement "oui" et "non" comme appartenance à cette proposition. En effet, l'approche des problèmes par la logique floue est différente de celle adoptée, a priori, dans une démarche scientifique. Elle est beaucoup plus pragmatique que déterministe. **[Lee, 2005][Lescieux, 2008].**

Par l'innovation de la théorie de la logique floue, un autre type d'incertitude, à savoir l'incertitude possibiliste, peut être formellement utilisée. Notons par ailleurs que le processus décisionnel dans le génie civil a une nature imprécise.

La Logique Floue (LF) a été proposée par Zadeh en 1965. Depuis son invention, cette théorie a suscité une vive attention (mais aussi de nombreuses critiques) en raison de ses atouts **[Zadeh, 1965] [Zadeh, 1973]**. Sachant que la théorie de la logique floue est une théorie puissante pour manipuler l'information imprécise, elle a été appliquée dans les processus décisionnels (la programmation linéaire, la prise de décision multicritères, la programmation dynamique) où la nature imprécise des informations est très courante **[Zimmermann, 1991]**. Parmi ses applications les plus intéressantes, la théorie de la logique floue a été largement appliquée dans la commande floue **[Bouchon-Meunier et al., 1998]**.

La logique floue se propose de remplacer les variables de la logique classique par des variables flous. D'ailleurs, les variables linguistiques jouent un rôle important dans l'établissement de la logique floue **[Zadeh, 1973] [Shapiro, 2004].** Le concept de ces variables a permis à Mamdani de développer les premiers contrôleurs flous, et d'aborder ainsi une vision linguistique de la commande des processus **[Marsala, 2003].**

Les règles floues sont énoncées en langage naturel. Elles nous donnent un moyen à représenter les connaissances humaines en langage naturel et à modéliser les imprécisions, en intégrant des éléments qualitatifs dans une analyse quantitative. La logique floue est simplement le « mappage » à partir d'un espace de mesure d'entrée à une sortie mesurable à l'aide des variables linguistiques. Elle estime les variables d'entré de façon approximative, fait de même pour celles de sortie, et ordonne un ensemble de règles permettant de déterminer les sorties en fonction des entrées.

En pratique, les systèmes de logique floue traitent de variables d'entrées floues et fournissent aussi de résultats sur des variables de sorties floues. Alors, la fuzzification est le processus de cohérence d'une valeur numérique aux variables linguistiques avec une association de degré d'appartenance (valeur de vérité). En effet, la fuzzification des variables est une phase délicate du processus mis en oeuvre par la logique floue. Elle est souvent réalisée de manière itérative et requiert de l'expérience.
D'ailleurs, nous appliquons une opération logique par laquelle nous admettons une proposition en vertu de sa liaison avec d'autres propositions tenues pour vraies. Cette opération nous l'appelons l'**inférence floue (**Figure 17**).** Où les deux principales méthodes d'applications sont : la méthode de Mamdani et la méthode de Larsen.

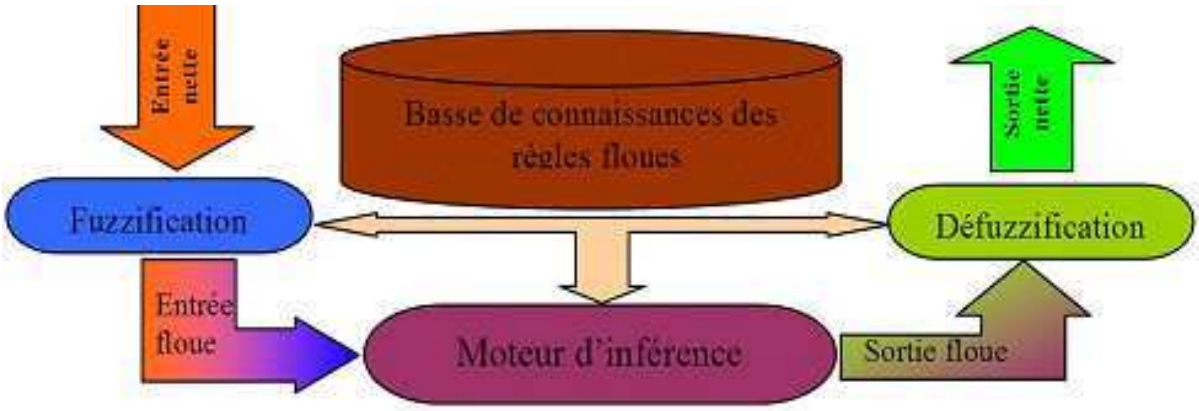


Figure 17 : Un Système d'inférence floue

Grâce au savoir accumulé par les experts, à l'aide de techniques d'interrogation et de questionnement, il est possible de construire un système permettant de transmettre ce savoir à un ordinateur. Mais souvent ce passage de l'expert au système est très difficile à mettre en oeuvre. D'une part le savoir est parfois intuitif et inconscient ce qui est pas facile à exprimer et d'autre part pour certains domaines il n'existe aucun expert **[Marsala, 2003].**

Un point important dans les inconvénients de ce système à notre contexte, surtout le système qui s'appuie sur la méthode de Mamdani, est la subjectivité de sa construction. De plus, la nature trop abstraite des résultats pour en ressortir une quelconque interprétation, et le manque de logique rigoureuse. C'est la raison pour laquelle il n'est pas utilisé dans le cadre de notre travail. La construction de système d'inférence symbolique sera expliquer dans la cinquième partie de ce document. Ce système va nous aider à modéliser les incertitudes dans un cas spécial.

II.3.3 Théorie des sous-ensembles flous

Les ensembles flous ont contribué à un certain renouvellement des approches existant de l'aide à la décision. Une quantité floue modélise une quantité vaguement perçue ou imprécisement connue, vue comme un ensemble de valeurs possibles aux contours mal délimités.

Il est très important de ne pas être obligé de définir un seuil sur la valeur d'entrée d'un système de décision. En effet, une erreur de 1% sur la valeur d'un seuil peut provoquer une erreur de 100% sur la décision dans un cas simple. Dans ce cas, la décision est justement de l'appartenance ou non à l'ensemble défini par ce seuil. Ce changement est indiqué par la figure 18 suivante ;

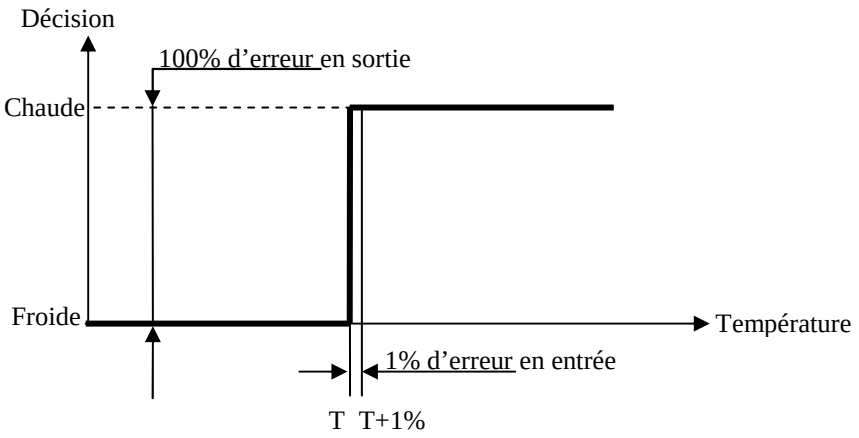


Figure 18 : Le changement de décision avec l'erreur d'entrée **[Hansruedi, 1994]** cité par **[Essa, 2007]**

Alors, selon Zadeh qui a proposé cette théorie dès 1965 ; la motivation principale de la théorie des sous ensembles flous est de pouvoir envisager les problèmes traités par les sciences de l'ingénieur sous l'angle de la connaissance humaine **[Zadeh, 1965]**. Elle a été introduite pour

éviter les passages brusques d'une classe à une autre. Donc le concept d'ensemble flou permet de considérer des classes d'objets dont les frontières ne sont pas clairement déterminées, à travers d'une fonction d'appartenance des objets à la classe, en prenant des valeurs entre 0 et 1, contrairement aux ensembles « Booléens » dont la fonction caractéristique ne prend que deux valeurs possibles 0 ou 1. Par contre, les ensembles flous ont le grand avantage de constituer une représentation mathématique de labels linguistiques utilisés largement dans l'expression de connaissances expertes quantitatives. Ils apparaissent comme un moyen de réaliser l'interface entre l'information quantitative (numérique) et l'information qualitative (linguistique).

Plus formellement, soit X, un ensemble dénombrable ou non. Un sous-ensemble flou *A* de X est caractérisé par sa fonction d'appartenance μ_A, telle que :

$$\mu_A : X \longrightarrow [0, 1]$$

$$x \longrightarrow \mu_A(x)$$

Où $\mu_A(x)$ représente le degré d'appartenance avec lequel *x* appartient à l'ensemble flou *A*. La théorie des sous-ensembles flous généralise la théorie des ensembles classiques, car la fonction d'appartenance $\mu(x)$ renvoie les éléments $x \in$ X non seulement sur l'ensemble {0,1}, mais sur tout l'intervalle réel [0,1]. Autrement dit, un degré égal à 0 s'exprime pour une non appartenance absolue au sous-ensemble floue *A*. et au contraire, un degré égal à 1 indique une appartenance totale au sous-ensemble floue *A*. Les deux caractéristiques principales d'un sous ensemble flou sont **[Bouchon-Meunier, 1992] [Dordan, 1995]**:

1. le **support** de *A*; c'est-à-dire la partie de X sur laquelle la fonction d'appartenance de *A* au moins n'est pas nulle. Il est définit par:

$$\text{Support } (A) = \{x \in X \,/\, \mu_A(x) \neq 0\}$$

2. la **hauteur** de *A*; c'est-à-dire la plus grande valeur prise par la fonction d'appartenance de *A*. Elle est définit par:

$$h\,(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x)$$

Généralement, les types de fonctions d'appartenance peuvent être montrés comme dans la figure 19 ;

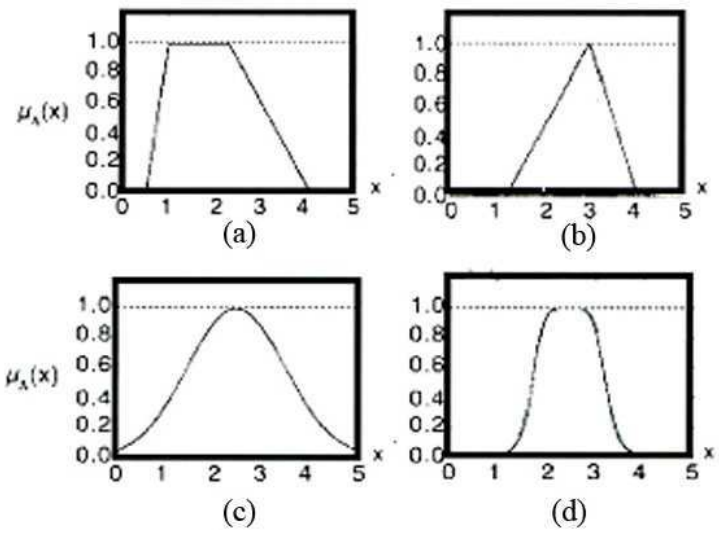


Figure 19 : Les formes de fonction d'appartenance

(a). trapézoïdal : il est utilisé pour exprimer le mot approximativement. Il peut être symétrique ou dissymétrique ;

(b). triangulaire : il est utilisé pour exprimer le mot environ. Il peut être aussi symétrique ou dissymétrique ;

(c). gaussien ;

(d). non-linaire quelconque (cloche généralisée).

En général, on choisit le type de sous ensemble flou selon la situation mais il faut noter que le type trapézoïdal est le plus utilisé **[Shapiro, 2004]**. Dans l'annexe II nous présentons l'interprétation de certaines fonctions d'appartenance et les opérations des ensembles flous.

D'ailleurs, la qualité des sous ensembles flous permet de réaliser l'interface entre l'information numérique et celle symbolique permet l'utilisation des catégories aux limites mal définies, les situations intermédiaires entre le tout et le rien, l'utilisation de valeurs approximatives. Dans **[Jiménez, 2005]** nous avons trouvé cinq significations pour le degré d'appartenance. Elles sont très utiles pour le travail de modélisation des cibles HQE que nous allons considérer. Nous les illustrerons ici avec l'ensemble flou :

- **Le degré d'appartenance comme un degré de préférence**

Dans ce cas là la signification associée au degré d'appartenance est dans le sens d'une valeur. Par exemple, nous recherchons quelqu'un de 1m75, mais une personne de 1m73 est

préférable à une personne de 1m71. Cela signifie que l'importance est donnée par une relation de préférence de la forme:

$$\mu_{grande}(1m71)= 0.1 < \mu_{grande}(1m73)= 0.5 < \mu_{grande}(1m75)= 1$$

- **Le degré d'appartenance comme un degré d'accomplissement**

Ici, la signification associée au degré d'appartenance est dans le sens d'une satisfaction d'une propriété (un ensemble flou). Si la propriété est accomplie totalement, alors on associe un degré 1, tandis que si la propriété n'est pas accomplie absolument alors on associe un degré 0. Par exemple, supposons que la propriété à satisfaire soit que la taille de gens soit comprise absolument entre 1m75 et 1m80. Donc dans ce cas on a :

$$\mu_{grande}(1m76)= 1 \text{ ou } \mu_{grande}(1m73)= 0 \text{ ou } 0 < \mu_{grande}(1m73) < 1$$

- **Le degré d'appartenance comme un degré de nécessité**

Dans ce cas là la signification associée au degré d'appartenance est dans le sens d'un jugement incertain. Par exemple si on a μ_{grande} (1m73)= 0.5, cela signifie qu'il est plus ou moins certain que la taille soit 1m73 à un degré 0.5.

- **Le degré d'appartenance comme un degré de possibilité**

Ici la signification associée au degré d'appartenance est dans le sens d'un jugement possible. Par exemple si on a μ_{grande} (1m73)= 0.5, cela signifie que il est plus ou moins possible (mais pas certain) que la taille soit 1m73 à un degré 0.5.

- **Le degré d'appartenance comme un degré de similitude**

Dans ce cas la signification associée au degré d'appartenance est dans le sens d'une comparaison entre deux propriétés (deux ensembles flous). Pour cela on utilise le degré de possibilité et le degré de nécessité.

Il semble intéressant d'appliquer la théorie des sous ensembles flous à la représentation des paramètres des bâtiments. En effet, les imprécisions de ces paramètres sont facilement prises en compte par cette théorie. Mais il reste le problème des incertitudes qui accompagne les connaissances théoriques concernant le bâtiment. Pour résoudre ce problème on va faire appel à la théorie des possibilités.

II.3.3.a La notion d' α-coupe

Pour utiliser des critères de prise de décision ou des connaissances de la théorie classique des ensembles, il est souvent intéressant de se référer à des sous-ensembles ordinaires correspondants de façon approximative à un sous-ensemble floue donné. **[Bouchon-Meunier, 1992].**

Les ensembles flous peuvent être décrits en utilisant efficacement un concept important appelé une α-coupe ce qui est nécessaire aussi de faciliter l'exécution des opérations des ensembles flous [**Ayyub, 2006].** Pour un ensemble flou *A* défini sur X univers (domaine) et un certain nombre α dans l'intervalle unitaire de l'adhésion [0,1], l'α-coupe de *A* (ou sous-ensemble de niveau α), notée par A_α, est l'ensemble qui se compose de tous les éléments de *A* avec des degrés d'appartenance supérieurs ou égaux à α, c'est-à-dire :

$$A_\alpha = \{x \in X / \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

Généralement, plus on est exigent sur la notion d'appartenance, plus on augmente le seuil et moins il existe d'éléments de domaine X satisfaisant cette notion d'appartenance. (Figure 20). Pour plus d'information, plusieurs études de α-coupe sont présentées dans **[Shapiro, 2004]**.

Lorsqu'on construit une α-coupe A_α du sous-ensemble flou *A*, on peut dire que α représente le seuil à partir duquel la notion d'appartenance, bien que relative dans la définition de *A*, est considérée comme suffisante pour en construire le sous-ensemble approché A_α. **[Bouchon-Meunier, 1992]**.

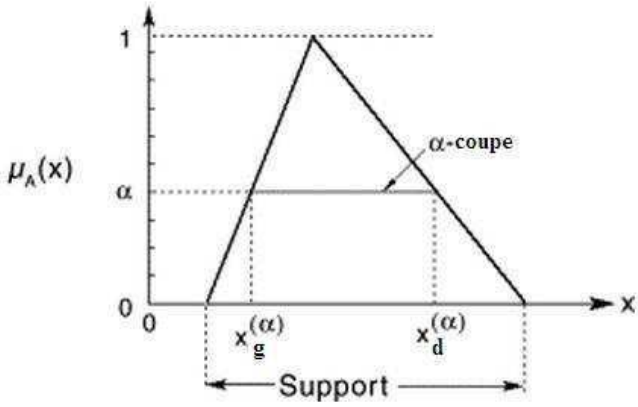


Figure 20 : Le concept de α-coupe

Le concept α-coupe est très utile dans le monde de la logique floue. Il limite le domaine considéré à un ensemble d'éléments avec le même degré d'appartenance α. Les autres valeurs qui n'appartiennent pas à l'intervalle ne sont pas considérées.

La famille des α-coupes est une représentation du sous-ensemble flou auquel elle est associée, et un théorème de décomposition permet de décrire n'importe quel sous-ensemble flou de X à partir de ses α-coupes.

II.3.4 Théorie des possibilités

Aristote : *Si un événement est nécessaire, c'est que son contraire est impossible*;

Lorsque la théorie des probabilités semble pauvre pour la manipulation et la représentation de la méconnaissance (l'ignorance partielle ou totale). Elle ne permet pas de représenter d'une manière rigoureuse et propre un état d'ignorance ou de connaissance partielle. Autrement dit, elle ne peut proposer un modèle à partir d'un volume limité d'informations. Par contre, les connaissances en Intelligence Artificielle sont souvent données sous forme de propositions en langage naturel. De fait, la théorie des possibilités qui a été proposée en associant à la théorie des ensembles flous, est une solution pour éviter les inconvenants précédents. Celle solution est mise en œuvre par intégrer plusieurs techniques d'incertitude, notamment en vertu d'être le résultat d'intersection de statistique, de logique et la théorie de probabilité. Figure 21 ;

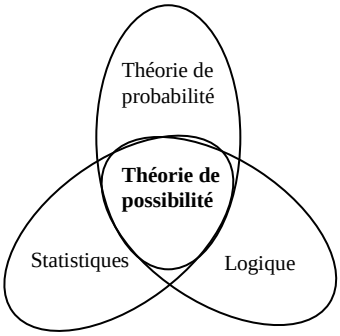


Figure 21 : Théorie de possibilité

La théorie des possibilités quantitative semble être un cadre prometteur pour le raisonnement probabiliste en information incomplète **[Dubois, 1994]**. La théorie des possibilités est l'un des outils mathématiques pour représenter, gérer et évaluer des incertitudes à l'aide des ensembles flous définis sur un domaine ordonné. Cette théorie est considérée parmi les branches les plus importantes de la logique floue **[Zadeh, 2005]**. Elle a été introduite et formalisée aussi par Zadeh en 1978 au travers de la ***mesure de possibilité*** et de la ***mesure de nécessité***, puis elle a été développée par Prade et Dubois **[Dubois, 1988]** pour prendre en compte des incertitudes sur les connaissances **[Marsala, 2003].**

« *Un des avantages de la théorie des possibilités, c'est qu'elle permet à la fois de représenter l'imprécision (sous la forme d'ensembles flous) et de quantifier l'incertitude, sous la forme d'une paire de nombres possibilité/nécessité* » **[Dubois, 1987]**.

Le possible et le nécessaire ont été souvent considérés comme des catégories de type tout ou rien. Mais le possible a comme le probable deux interprétations :

- Physique : mesure de la difficulté matérielle d'effectuer une action ;
- Epistémique : jugement subjectif qui engage peu son auteur.

Au contraire, le nécessaire est une notion beaucoup plus affirmative, au sens physique ou épistémique **[Dubois et al, 1999]**.

La notion ***distribution de possibilité*** est un objet fondamental de la théorie de possibilité. En effet, la distribution de possibilité $\pi(x)$ est l'équivalent numérique de la fonction d'appartenance $\mu(x)$ de sous-ensemble flou. Mais selon **[Hadj-ali, 1996]** ceci ne signifie pas qu'une fonction d'appartenance et une distribution de possibilité représentent le même concept. En fait, la théorie des possibilités qui fournit des degrés compris entre 0 et 1 utilise aussi la notion de fonction d'appartenance mais pour modéliser cette fois non plus l'aspect graduel d'une classe, mais des états d'incertitudes **[Berrah, 2002]**.

En effet, avec la théorie des possibilités, plusieurs sortes de problèmes peuvent être abordés, notamment les problèmes de l'interprétation d'un ensemble de données brutes de façon symbolique, mais aussi, les problèmes de représentation de l'imprécis et de l'incertain, et leur propagation. Ces problèmes se rencontrent surtout en intelligence artificielle, mais aussi en analyse de risque basée sur des opinions d'experts.

Les outils de la théorie des possibilités permettent d'aborder certains aspects de la modélisation des raisonnements mais aussi le stockage informatique d'informations imparfaites. Il y a, les problèmes de satisfaction et de propagation de contraintes, où une agrégation des préférences issues de points de vue multiples et toujours effectuée. C'est le cas notamment dans les problèmes de conception, d'aide à la décision. **[Dubois, 2003]**. La problématique de notre travail se trouve dans ce groupe.

Tous les atouts de la théorie des possibilités font que cet outil est le plus adapté à notre étude. Cependant quelques difficultés se existent :

- La détermination des valeurs d'incertitudes relatives aux paramètres,
- Le calcul du degré de vérité des résultats de l'évaluation de la QEB en tenant compte des incertitudes des connaissances disponibles et les imprécisions des paramètres du bâtiment.

II.3.4.a. Mesure de possibilité

La mesure de possibilité, notée Π, est une mesure non probabiliste de l'incertitude d'un événement plus ou moins possible sur un domaine ordonné. C'est-à-dire, elle évalue à quel point cet événement est possible.

Supposons que *A* est un événement défini sur un domaine X, et alors la mesure de possibilité de l'événement *A*, notée $\Pi(A)$, est une fonction de X dans l'intervalle réel [0,1].

- Si $\Pi(A)= 0$ alors l'événement *A* est complètement impossible,
- Si $\Pi(A)= 1$ alors l'événement *A* est complètement possible,
- si $0 < \Pi(A) < 1$ alors l'événement *A* est plus ou moins possible.

Maintenait, si la probabilité de l'événement *A* est égale à 1, cela signifie que l'événement *A* est complètement certain (ou sûr) et la probabilité de l'événement contraire de *A* dans X est égale à 0, mais $\Pi(A)=1$ ne signifie pas que l'événement *A* soit complètement certain.

Par ailleurs soit A^c l'événement contraire (ou complémentaire) de *A* avec $\Pi(A, A^c)= \max(\Pi(A), \Pi(A^c))=1$ cela signifie que l'événement *A* peut être complètement possible et l'événement contraire de *A* aussi (cas où $\Pi(A)=\Pi(A^c) =1$). Dans ce contexte, l'incertitude d'un événement est décrite à la fois par une mesure de possibilité de cet événement et par la mesure de possibilité de l'événement contraire dans un domaine ordonné. Il faut donc introduire une nouvelle mesure pour exprimer le fait qu'un événement est complètement certain.

II.3.4.b. Mesure de nécessité

La mesure de nécessité, notée N, est définie comme $N(A)=1-\Pi(A^c)$ qu'il faut lire comme la nécessité d'un événement est égale à 1 moins la possibilité de l'événement contraire. Cette définition contient le fait que d'une manière générale, la mesure de nécessité, ou certitude, de l'événement *A* sur un domaine X, notée $N(A)$, est une fonction de X dans l'intervalle réel[0,1] :

- si $N(A)=0$ alors l'événement *A* est complètement incertain,

- si N(A)=1 alors l'événement A est complètement certain,
- si 0<N(A)<1 alors l'événement A est plus ou moins certain.

Soit N$(A,A^c)=min$(N(A),N(A^c))=0 cela signifie que l'événement A peut être complètement incertain et son contraire aussi (cas où N(A)=N(A^c)=0$)$ ou au moins un événement n'est pas certain. Il résulte que la possibilité d'un événement est plus grande que sa certitude, puisque $\Pi(A)\geq N(A)$. Dans **[Dubois, 1988]** autres relations et propriétés entre les mesures de possibilité et de nécessité sont détaillées. D'un point de vue pratique, les deux mesures possèdent les propriétés essentielles suivantes :

$$\Pi(A\cup B) = \max(\Pi(A), \Pi(B))$$

$$N(A\cap B) = \min(N(A),N(B))$$

$$\Pi(A<1) \Rightarrow N(A=0) \text{ ou encore } (\Pi(A) <1) \Rightarrow (\Pi(A^c)=1)$$

$$N(A>0) \Rightarrow \Pi(A=1) \text{ ou encore } (N(A>0) \Rightarrow (N(A^c)=0)$$

Nous considérons que ces événements sont flous, car l'objectif est de pouvoir manipuler des informations imparfaites (ou mal définies). Un événement flou (ou mal défini) peut être représenté par un ensemble flou sur un domaine ordonné que l'on interprète comme le fait, imprécis, que la valeur d'un paramètre donné appartient à cet ensemble flou. Dans **[Dubois, 1988]** et **[Salotti, 1992]** se trouve la justification mathématique qui permet d'étendre les mesures de possibilité et de nécessité à des ensembles flous, et donc dans cette thèse nous avons gardé la même syntaxe pour ces mesures.

II.4. La construction d'une distribution de possibilité :

La différence entre la mesure de possibilité et la distribution de possibilité est que la première est appliquée à des parties élémentaires de l'ensemble de référence, alors que la deuxième est appliquée à la totalité de l'ensemble. **[Bouchon-Meunier, 1992].**

La distribution de possibilité, notée par π, est une application d'un ensemble d'états possibles X vers l'échelle [0, 1] traduisant une connaissance partielle sur le monde. $\pi(x) = 1$ correspond à un état possible, $\pi(x) = 0$ correspond à un état impossible. Alors, une distribution de possibilité normalisée exprime qu'un des états est totalement possible, ce qui se traduit par la condition :

$$\max_{x\in X} \pi(x) = 1$$

Si, $\max_{x \in X} \pi(x) < 1$ ceci indique une contradiction interne dans la représentation, qui est alors partiellement incohérente **[Brini et al., 2008]**.

La manière la plus simple de construire une distribution de possibilité numérique consiste à demander à l'exploitant de préciser les intervalles les plus et les moins possibles, puis d'effectuer une interpolation conforme à la construction d'un sous ensemble flou **[Berrah, 2002]**. En fait, la théorie des possibilités qui fournit, comme nous avons indiqué, des degrés compris entre 0 et 1 utilise aussi la notion de fonction d'appartenance pour modéliser des états d'incertitudes attachés à de l'imprécision **[Berrah, 2002]**.

Il existe plusieurs manières de modéliser les données de l'évaluation de la QEB. Nous avons choisi le modèle trapèze pour la distribution de possibilité car ce modèle nous a paru le mieux adapté à notre domaine d'étude.
Dans **[Bouchon-Meunier, 1995]** l'auteur fait remarque que par expérience, *la forme des courbes utilisées pour présenter les distributions de possibilités (les sous ensemble flous) influence relativement peu les résultats du traitement. D'autre part, il est souvent illusoire d'utiliser des modèles très compliqués à cause du faible nombre d'informations disponibles pour les construire.* L'auteur propose raisonnablement de considérer des fonctions d'appartenance classiques de forme trapézoïdale ou triangle afin de simplifier le traitement des variables.

II.5. La fusion des données

Les bases théoriques de la fusion de données ont été établies dans les années 1960, avec les recherches de Zadeh, Shafer et Dempster. Le développement de la fusion s'est réalisé dans les années 1980. Elle est maintenant utilisée dans des domaines très variés comme le domaine médical, le domaine militaire, le domaine satellitaire, en robotique etc. Cet essor est dû à la multiplication des sources d'informations et des données disponibles, et à une demande toujours plus forte de rapidité de traitement. La fusion répond aussi à une demande d'aide à la prise de décision. **[Lecomte, 2005]**.

Il existe plusieurs définitions de la fusion d'information, mais nous reprenons ici la définition couramment acceptée, c'est la définition proposée par **[Bloch, 2003]**: "*La fusion*

d'information consiste à combiner des informations issues de plusieurs sources afin d'améliorer la prise de décision".

En fait, la décision n'est prise qu'en dernier lieu, sur le résultat de la combinaison. Dans la théorie des ensembles flous et des possibilités, de multiples modes de combinaison sont possibles **[Dubois, 1985a] [Yager, 1991]**. L'idée générale derrière une approche possibiliste de la fusion d'informations est qu'il n'existe pas de mode unique de combinaison. Tout dépend de la situation étudiée et de la confiance accordée aux capteurs **[Barra, 2000], [Frenoux, 2004]**. Par contre, nombreux auteurs ont proposé une étude précise et détaillée des opérateurs de fusion dans le cadre possibiliste **[Bloch, 1996][Bouchon-Meunier, 1995][Dubois & al., 1999][Ovchinnikov, 1998]**.
Généralement, la qualité de la décision mesure essentiellement selon deux critères **[Bloch, 1996] :**

- le premier porte sur la « netteté » de la décision : le degré d'appartenance maximum (ou plus généralement celui correspondant à la décision) est comparé à un seuil, choisi selon les applications (et éventuellement selon l'opérateur de combinaison choisi);
- le deuxième porte sur le caractère « discriminant » de la décision, évalué par comparaison des deux valeurs les plus fortes.

Dans le cas où ces critères ne sont pas vérifiés pour un élément, celui-ci est placé dans une classe de rejet, ou re-classifié en fonction d'autres critères.

En fait, la théorie des possibilités offre un cadre privilégié pour une information de combinaison ou fusion de données. Cet avantage s'explique par les contraintes élastiques qui régissent les concepts de base relatifs à cette théorie. Par conséquent, plusieurs combinaisons sont disponibles allant de la conjonctive à l'adoption par le mode disjonctif compromis. Toutefois, cela implique deux problèmes majeurs: comment donner une bonne représentation possibiliste pour un élément d'information donné, et comment choisir le mode de combinaison. Pour ce dernier objectif, Dubois et Prade ont proposé une combinaison adaptative dont le comportement se déplace progressivement de la conjonctive à disjonctive dès qu'il existe un conflit entre les sources.

Les données caractéristiques du bâtiment en général, l'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment en particulier, se situent dans un contexte où l'incertitude et

l’imprécis cohabitent. Par conséquent, la création d’un outil capable de donner une idée par rapport à l’exactitude de l’évaluation de la QEB en utilisant ces données et ces connaissances sera indispensable. L’outil qui sera expliqué dans la partie suivant de notre manuscrit permet de donner des résultats fiables en utilisant la gestion d’incertitudes et d’imprécisions.

Partie III

Le plan de la recherche : 58
III.1. Analyse des opérations certifiées HQE® 59
III.1. Les étapes du travail : 59
III.1.a. Classification selon la localisation en France 59
III.1.b. Classification selon le profil de performance environnementale 61
III.1.c. la rectification de profil environnemental 68
Conclusion : 71
III.2. Analyser des cibles prioritaires 72
III.3. Le questionnaire : 73
III.3.a. Construire le questionnaire et analyse des réponses: 74

Le plan de la recherche :

La figure 22 présente la démarche adoptée pour tenter de trouver des réponses à la problématique de cette recherche :

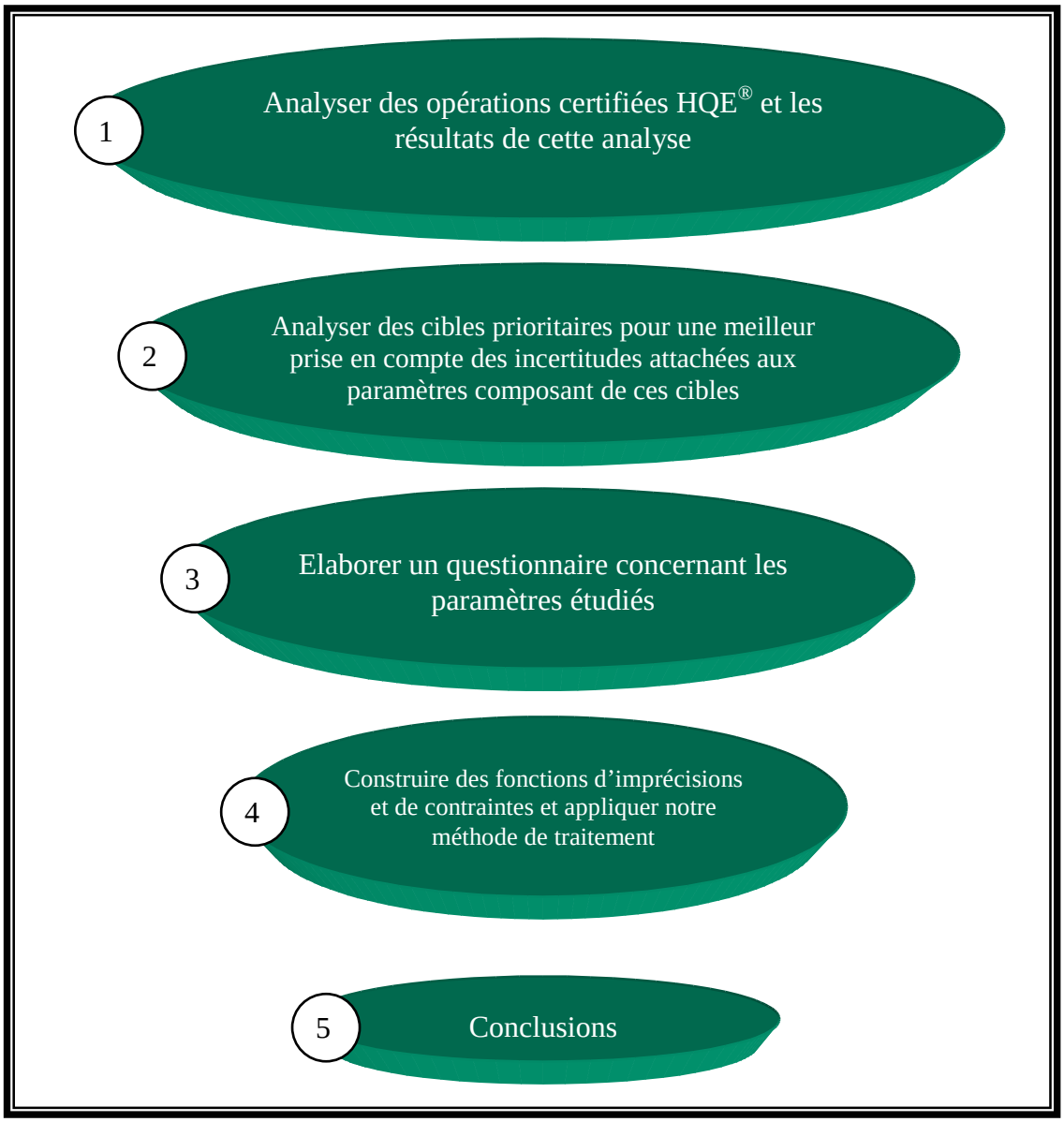


Figure 22 : le plan de travail

III. Analyse des opérations certifiées HQE®

Le développement durable est identifié de plus en plus comme un sujet majeur par les directeurs immobiliers. La 3ème étude annuelle réalisée par le CoreNet Global et Jones Lang LaSalle auprès de plus de 230 directeurs immobiliers des régions Amérique, Europe et Asie Pacifique, a montré que 89% des directeurs considèrent le développement durable comme un critère majeur dans les décisions d'implantation. **[Jones Lang LaSalle, 2009]**

D'ailleurs, la démarche HQE® est une approche française globale et générique visant, dès l'origine, à prendre en compte la problématique de l'environnement dans le bâtiment. De ce fait, la Qualité Environnementale du Bâtiment inscrit l'ensemble des objectifs de préservation des ressources, réduction des pollutions et réduction des déchets dans les différentes phase au long de la vie du bâtiment. Le résultat de l'évaluation quantitative de la qualité environnementale est compris comme un ensemble de valeurs d'indicateurs environnementaux. **[XP P01-020-3, 2009] [Hetzel, 2008].**

Dans ce chapitre, notre but est d'identifier les cibles jugées prioritaires pour les maîtres d'ouvrage.
Pour arriver à notre objectif, nous avons commencé par organiser et classifier toutes les opérations certifiées NF Bâtiments Tertiaires associée à une Démarche HQE® jusqu'à février 2010 **[Certivéa, 2010]**.

III.1. Les étapes du travail :

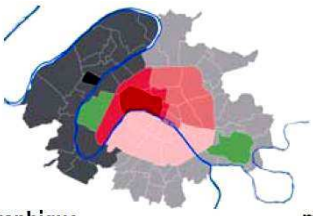
III.1.a. Classification selon la localisation en France

Dans la première étape, cette classification a été faite selon leurs emplacements en France.
Nous avons traité toutes les opérations publiées dans la liste de février 2010, soient 390 projets ont eu la certification *NF Bâtiments Tertiaires HQE®*, dont 4 opérations situées hors France (1 en Algérie, 1 à Bruxelles et 2 à Luxemburg).[5]

En effet, la plupart des opérations HQE livrées se situent principalement dans le Croissant Ouest et la 1ère Couronne de Paris. A noter qu'un bâtiment HQE livré sur 5 se situe en 1ère Couronne Nord (principalement à Saint-Denis). **[Jones Lang LaSalle, 2009]**

[5] 747 opérations certifiées NF Bâtiments Tertiaires démarche HQE® dont 200 en 2011 **[Le Moniteur, 2012].**

Début 2012, environ ¾ des surfaces construites dans le cadre d'opérations certifiées HQE® en France ont été réalisées en l'Ile-de-France avec une forte concentration en périphérie (Figure 23). C'est surtout le sud de Paris (couleur rose sur la carte) qui verra sortir de terre de nombreux projets durables où 40% des bâtiments HQE livrables en 2012 se situent dans la 1ère Couronne Sud, la Boucle Sud et la 2ème Couronne Sud. **[Jones Lang LaSalle, 2009]**



Secteur géographique	m² HQE
Paris Centre Ouest	75 000 m²
Paris Nord Est	82 000 m²
Paris Sud	72 000 m²
La Défense	68 000 m²
Croissant Ouest	333 000 m²
1ère Couronne	285 000 m²
2ème Couronne	253 000 m²
TOTAL	**1 168 000 m²**

Sources : Jones Lang LaSalle/Certivéa au 1er octobre 2009

Figure 23: Réparation géographique des opération HQE® en IDF

Ces données ont été vérifiées par notre analyse qui confirme que la majorité des opérations certifiées sont réalisées en IDF avec 235 opérations de 390 opérations certifiées. La deuxième région française à valoriser la démarche HQE® est la région Nord-Pas-de-Calais avec très 27 opérations (Figure 24). Cette différence est liée aux moyens dont disposent chacune des deux régions. Nous notons que la démarche HQE® a trouvé sa genèse dans le Nord de la France.

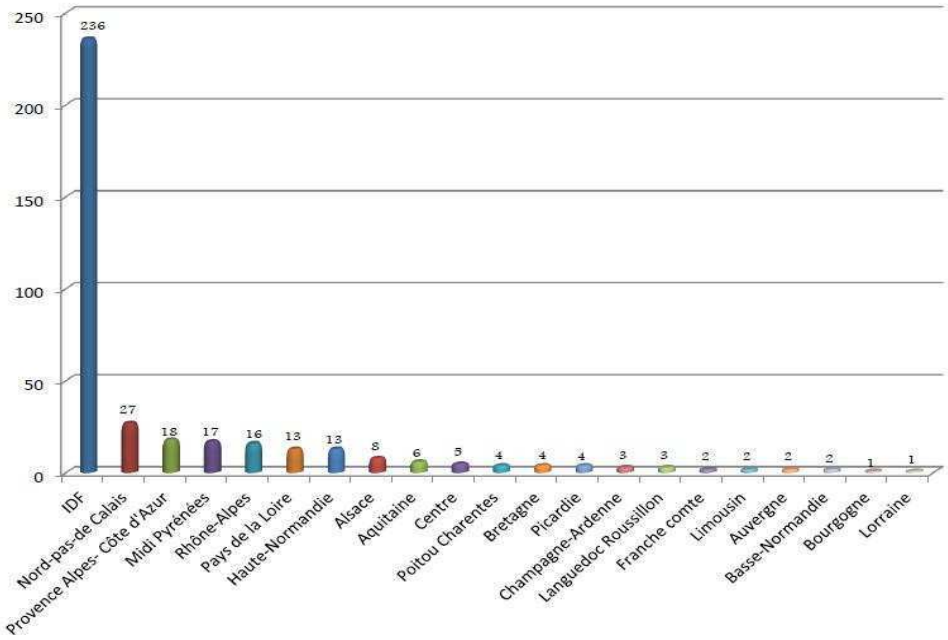


Figure 24 : Localisation de 386* opérations certifiées en France

* Il faut bien noter qu'il y a 4 opérations de 390 opérations certifiées sont situées hors France

La justification à été confirmée par l'entretien avec Mr. Patrick NOSSENT, présidant de Certivéa et Cequami. En répondant à une question que nous lui avons posé pendant la journée de la 8ème assise de HQE® **[Assise HQE, 2011]:** « *Parce qu'on a la majorité des bureaux sont déjà en IDF, et plus de 50% des certifications Certivéa sont des bureaux, c'est pourquoi la concentration des certifications est importante en IDF*».

Une des questions importantes qui pourrait être soulevée par cette étude consiste à s'interroger sur les relations entre attractivité commerciale/promotion immobilière et le lien avec la certification HQE® proposée ou demandée par les promoteurs. En effet, Cette corrélation n'est pas facile à établir.

III.1.b. Classification selon le profil de performance environnementale

Dans un deuxième temps, nous avons réalisé un autre classement des opérations selon leurs profils de performance environnementale. Nous avons commencé par regrouper tous les projets qui ont un niveau base de performance (B), c'est-à-dire, nous avons cherché premièrement tous les projets qui ont eu la certification HQE® avec le niveau B pour la première cible. Ensuite nous avons cherché tous les projets qui ont eu la certification HQE® avec le niveau B de performance pour la deuxième cible, et pour le reste des cibles. Enfin, nous avons répété les étapes précédentes de travail pour le niveau performant (P), idem pour le niveau très performant (TP).

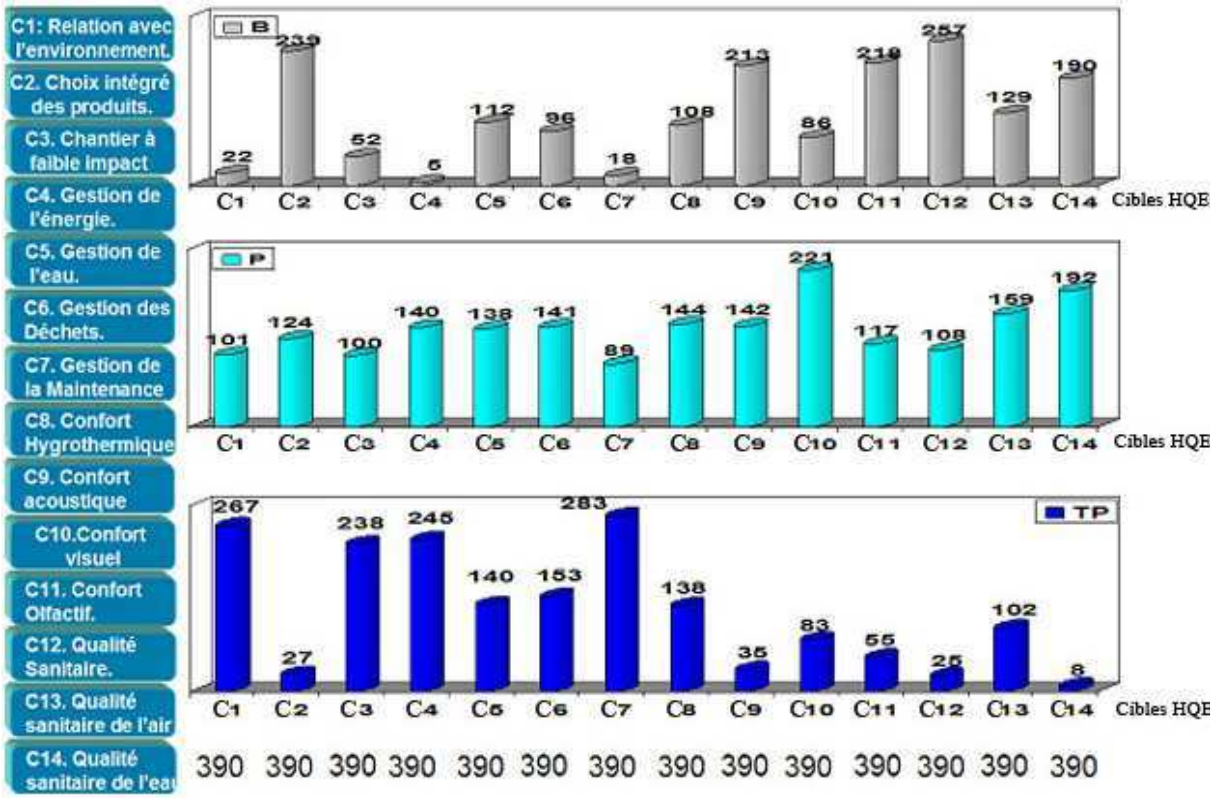


Figure 25 : Les opérations certifiées selon les nivaux de performances

La figure 25, montre un profil environnemental global de toutes les opérations certifiées. Il présente le nombre d'opérations dans chaque niveau de performance pour toutes les cibles. Par exemple : Pour la première cible (C_1 : Relation avec l'environnement), on constate qu'il y a 22 projets sur 390 qui ont eu de niveau Base (B), par contre, il y a 101 projets de niveau performant (P) et 267 projets de niveau très performant (TP).

L'analyse que nous avons réalisée sur les opérations diffusées dans la « liste des opérations certifiées NF Bâtiments Tertiaires » mise à jour le 11/02/2010, nous a amené à identifier des opérations qui ont été certifiées pour les phases programme/conception et pas pour la phase de réalisation. En revanche, nous avons constaté qu'il y avait 72 opérations qui ont débuté un processus de certification, et se sont arrêtées à la phase programme en 2009. Elles n'ont pas suivi le processus conception et par conséquent la réalisation.
Ces remarques ont eu une explication claire de la part de Mr. NOSSENT : « En fait, *généralement, c'est une question de planification de l'opération, c'est-à-dire que le projet est déjà analysé pour les phases de programme et conception mais il n'est pas encore livré, donc cette opération pourrait être certifiée pour la phase de réalisation. Par contre, il y avait deux exceptions pour deux opérations qui ne sont jamais certifiées pour la phase de réalisation parce qu'elles n'ont pas respecté les critères de cette phase* » **[Assise HQE, 2011]**.
Ce constat montre la difficulté liée à la temporalité des opérations immobilières qui sont très longues.

D'ailleurs, cet histogramme pose plusieurs questions fondamentales auxquelles nous allons tenter de répondre dans les paragraphes suivants ;

Tout d'abord, l'explication justifiant qu'environ de 70% des opérations certifiées ont obtenu la certification avec un niveau Très Performant de la cible1 (Relation avec l'environnement) est qu'il y a des exigences faciles à atteindre pour toutes opérations. A titre d'exemple nous citons les préoccupations liées au niveau Très Performant. Elle varient entre ; la présence des zones de stationnement réservées aux véhicules propres équipées de dispositifs favorisant leur utilisation, et l'existence de dispositions pour récupérer des eaux de ruissellement polluées et traitement avant rejet, passant par l'aménagement de la parcelle en prenant en compte le risque de pollutions des espaces extérieurs du sol ou de l'air (plantés non allergènes), en finissant par des dispositions prises pour optimiser le droit aux vues des riverains au regard de la situation de l'existant. **[Certivéa, 2006][Certivéa, 2008]**.

En deuxième lieu, cette analyse montre que plus de 61% des opérations ont eu la certification avec niveau Base de performance de la cible2 « Choix intégré des produits». Quelques éléments d'explications peuvent être avancés :

A l'exception de la difficulté d'accès aux informations concernant les produits commerciaux et leurs contributions aux impacts environnementaux du bâtiment, il y avait notamment la complexité propre inhérente aux données et la difficulté de leur traitement. Par ailleurs, une grande ambiguïté existe dans la définition des données. Par exemple:
Dans la caractérisation de la préoccupation 2.4.1 (Connaître l'impact sanitaire des produits de construction vis-à-vis de la qualité d'air intérieur) il se trouve : « Emission de COV et formaldéhyde des produits de construction ». Mais après avoir cherché la définition de COV nous trouvons selon l'article 2 de la Directive n° 1999/13/CE du 11/03/99: ***"composé organique volatile (COV)"*** : tout composé organique ayant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293, 15 K ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières.
Hélas, l'effort pour traduire des données techniques en outil pratique et « communicant » n'a jamais été mis en place malgré l'effort, bénévole de quelques personnes et la bonne volonté des ingénieries du CSTB. Alors, le produit final reste triste et peu attrayant. **[Hetzel, 2010]**

En ce qui concerne la cible 3 « Chantier à faible impact environnemental», les exigences imposées, sont considérées comme exigences non complexes d'atteindre. Il s'agit à travers des dispositions afin de:

- limiter les nuisances de chantier (acoustiques, visuelles et du trafic des véhicules) ;
- limiter toutes les sorts des pollutions (sol, eau, air) ;
- limiter les consommations de ressources ;

En finissant par la bonne gestion des déchets laquelle représentée par la quantification des déchets de chantier par catégorie et une bonne organisation du tri et du stockage des déchets sur le chantier pour finalement, avoir une valorisation des déchets. A noter que cette cible correspond généralement aux politiques de chantiers verts mis en œuvre par les entreprises.
Outre ce qui précède, les interactions de la cible 3 avec les cibles 1, 4 et la 5 joue un rôle très important pour que plus de 61% des opérations aient la certification avec un niveau Très Performant de la cible 3.

Ensuite, la cible 4 « Gestion de l'énergie » est la traduction opérationnelle des efforts faits par les maîtres d'ouvrage pour limiter les consommations d'énergie pendant la phase d'exploitation de l'ouvrage, et par là même limiter l'épuisement des ressources énergétiques non renouvelables et les émissions de polluants atmosphériques et de déchets radioactifs **[Certivéa, 2006]**. De ce fait, sachant que cette cible doit obligatoirement être atteinte à un niveau Performant ou Très Performant, les exigences supplémentaires pour atteindre un niveau Très Performant restent modérées **[Hetzel, 2009]** :

- Obtenir en valeur absolue une performance de l'enveloppe du bâtiment qui soit supérieure à l'exigence de la réglementation ;
- Afficher une demande de l'énergie primaire consommée inférieure à 20% du niveau réglementaire ;
- Obtenir une expression des besoins énergétiques par nature de consommation énergétique (% énergie par usage) ;
- Exprimer la production énergétique locale en énergie renouvelable.
- Traduire la demande globale en contribution des gaz à l'effet de serre (en kg de eqCo2) ;

Ce qui, peut-être, explique ce pourcentage élevé des niveaux Performant et Très Performant pour cette cible dans la figure 25.

Probablement qui réponde à la question ; pourquoi l'opération N° NF 380/09/337 en IDF qui a était enlevée de la liste des opérations certifiées à partir de celle du 14/12/2011, a eu la certification sans respect du profil environnemental (avec niveau TP pour la cible 4 et niveau Base pour toutes les autres) ? « *En fait, elles ne sont pas de HQE® exactement mais NF BBC-Effinergie 2005* » Mr. NOSSENT à **[Assise HQE, 2011].**

Quant à la cible 5 « Gestion de l'eau », la gestion de l'eau vise à limiter l'épuisement de la ressource naturelle, les pollutions potentielles et les risques d'inondation. En sachant que le prix de l'eau* est compris entre 2,26 €/m^3 et 7,05 €/m^3 prix très faible au regard des enjeux. Gérer l'eau sur une opération de construction environnementale vise à s'intéresser aux aspects suivants **[Certivéa, 2008]**:

- alimentation en eau potable ; c'est-à-dire la nécessité de travailler à l'exploitation rationnelle des ressources disponibles et à l'optimisation de la quantité d'eau consommée pour les différents usages.

* Le Magazine 60 millions de consommateurs ;

- gestion des eaux pluviales à la parcelle qui permet d'avoir une action à l'échelle micro urbaine visant à limiter le ruissellement des eaux afin de prévenir le risque d'inondation dans les zones sensibles et limiter la pollution diffuse.
- évacuation des eaux usées qui vise à encourager le recours à l'assainissement individuel par des systèmes innovants.

La variété des pourcentages entre les trois niveaux de performance vient de la diversité des projets où le désir de maître d'ouvrage à réaliser des études de faisabilité pour avoir le niveau Performant sur quelques sous-cible, ou à mettre des dispositions justifiées et satisfaisantes pour avoir le niveau Très Performant sur d'autres, reste un choix subjectif.

D'ailleurs, les déchets d'activité sont traités à la marge dans la cible 6 « Gestion des déchets d'activité» de la démarche HQE®. Cette cible devrait être toujours fixée en Très Performant car :

- son traitement est simple et peu coûteux,
- les indicateurs sur le bâtiment sont faibles en pourcentage de la surface utile ;

Cependant, beaucoup de maîtres d'ouvrage considèrent que cette cible doit être traitée en Base car ils ne connaissent pas les futurs utilisateurs et ne peuvent donc pas intervenir dans leur mode de gestion **[Hetzel, 2009]**. Cette argumentation pourrait expliquer la diversité des pourcentages entre les trois niveaux de performance pour les opérations certifiées dans notre analyse.

La cible 7 « Gestion de la Maintenance » correspond au concept ″Servir pendant toute la vie du bâtiment″.

Il s'agit de s'assurer que les performances environnementales prévues en phase de Programmation / conception ont toutes les chances d'être pérennes en phase d'exploitation. Pour cela, il convient d'anticiper quelques enjeux spécifiques aux activités de l'exploitant et de les intégrer dans les choix de conception, et plus en amont dans les exigences de programmation. **[CSTB, 2005] [Certivéa, 2006][Certivéa, 2008].**

En effet, les engagements concernant le niveau Très Performant des préoccupations de cette cible surtout *″les interventions d'entretien/maintenance, y compris pour le remplacement de tous équipements, peuvent être effectuées sans gêner les occupations ″* sont des notions de simplicité et peuvent prendre en compte par les utilisateurs en façon n'est pas prévue par le Certivéa.

D'ailleurs, la contribution des postes entretien et maintenance représente 53% du coût global appliqué aux bâtiments tertiaires dans leurs cycles de vie (Tableau 2). Cela donc décrit logiquement la raison pour laquelle plus de 72% des opérations certifiées aient cette cible avec un niveau Très Performant.

Eléments contribuant à l'entretien et maintenance	Contribution en coût global appliqué aux bâtiments tertiaires (%)
Rénovation des systèmes énergétiques	6,43 %
Maintenance nettoyage	19,3 %
Réparation intérieure et extérieure, équipements	9,9 %
Rénovation	17,5 %
Σ	**53,13 %**

Source [Hetzel, 2009]

Tableau 2 : la contribution des éléments liés à la maintenance en coût globale appliqué aux bâtiments tertiaires

Cependant, il serait intéressant de vérifier après quelques années d'exploitation de quelques opérations certifiées si la performance annoncée est respectée, et d'identifier les paramètres éventuels qui ont pu causer ce décalage, surtout que l'on sache il est nécessaire de traiter les fonctions associées aux éléments plutôt que les éléments eux-mêmes.

Par rapport à la cible 8 « confort hygrothermique », nous pourrions identifier un lien fort avec la cible 4 en ce qui concerne :

- la présence des dispositifs pour assurer le fonctionnement de programmation et régulation des installations de chauffage,
- la présence des dispositions pour optimiser le système de ventilation, assurance que la température résultante dans les espaces à occupation prolongée est contrôlée.

Basé sur ce qui a été mentionné ci-dessus, nous comprenons pourquoi cette cible a été traitée comme une annexe de la cible 4.

Par ailleurs, nous notons que la plupart des opérations ont eu la certification avec un niveau Base ou performant pour la cible 9 « Confort acoustique » à cause de :

1. la réalisation d’une étude acoustique spécifique et la mise en oeuvre des solutions identifiées comme les plus performantes par cette étude doit être faite pour avoir le niveau Très Performant.
2. la difficulté d’obtenir les conditions techniques les plus favorables qui conviennent : d’assurer l’isolation acoustique de locaux, l’affaiblissement des bruits de chocs et d’équipements, et l'adaptation de l'acoustique interne des locaux et la réduction des bruits gênants produits a l’intérieur même du local.**[Certivéa, 2006]**

Pour la cible 10 « Confort visuel », il est très clair que les plupart des sous-cibles sont considérées atteintes du niveau Performant avec des exigences raisonnables comme «Accès à la lumière du jour ou à des vues dans 40% de la surface des espaces sensibles » ou comme «Dispositions justifiées et satisfaisantes pour protéger les espaces identifiées sensibles à l’éblouissement vis-à-vis du soleil afin de limiter l’éblouissement direct ou indirect dans ces espaces ». Par contre, ces sous-cibles deviennent plus exigeantes pour atteindre le niveau Très Performant comme «accès à la lumière du jour ou à des vues dans 60% de la surface des espaces sensibles » et « Dispositions justifiées et satisfaisantes pour conduire, filtrer et/ou diffuser la lumière du jour dans ces espaces afin de contrôler l’apport en lumière naturelle et de limiter l’éblouissement direct ou indirect dans ces espaces» respectivement. Ces raisons pourraient décrire pourquoi environ 57 % des opérations certifiées dans notre analyse ont eu la certification avec le niveau Performant concernant cette cible. A noter que cette cible est souvent source de divergence entre les acteurs, et pose des problèmes à la réception du bâtiment, ce qui est le cas sur la Bibliothèque Centrale de l’UPEMLV, et implique un retard de livraison.

En ce qui concerne la cible 11 « Confort Olfactif » et la cible 13 « Qualité sanitaire de l’air », la frontière entre le confort olfactif et la qualité sanitaire de l'air est trop mince pour que le référentiel puisse distinguer des préoccupations et des critères intégralement spécifiques à l'une ou l'autre de ces thématiques. C'est pourquoi la structure et le contenu des cibles 11 et 13 sont fortement similaires avec plus 85% pour la cible 11 et 73% pour la cible 13 des opérations certifiées ont eu la certification avec l’ensemble de deux niveaux de performance base et performant.

La cible 12 «Qualité sanitaire des espaces » aborde les risques sanitaires qui pourraient éventuellement être engendrés par les équipements et surfaces présents dans l'espace intérieur d'un ouvrage.
En effet, les intersections de cette cible avec les autres cibles comme la cible 2 « Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction » et surtout les cibles 13 et 14, le manque du niveau Très performant pour quelques sous-cibles et le passage brutal de niveau Base à niveau Très performant dans les autres. Tous ces points expliqueraient pourquoi quasiment 66% des opérations de notre étude ont eu la certification avec le niveau Base et 6% du niveau TP pour cette cible.

Finalement, nous pouvons juger qu'il n'existe pas de repère pour la cible 14 « Qualité sanitaire de l'eau ». Parce que, l'action de réduire le risque sanitaire consiste à travailler sur les facteurs cités plus hauts. Par conséquent, la qualité sanitaire de l'eau est évaluée au regard des préoccupations majeures suivantes **[CSTB, 2005]**:

- assurance de la qualité et de la durabilité des matériaux employés dans le réseau intérieur
- organisation et protection du réseau intérieur
- maîtrise de la température dans le réseau intérieur
- maîtrise des traitements anti-corrosion et anti-tartre

Bien que la majorité des dispositions utilisées permettent de limiter le risque sanitaire, cette préoccupation relève plus de la bonne pratique que de la réglementation. Nous constatons qu'il n'existait pas de niveau Très Performant de cette cible dans l'évolution des référentiel jusqu'au référentiel de décembre 2008 où se trouve des niveaux TP pour quelques sous-cibles. Cette observation explique l'absence d'analyse de la cible Qualité sanitaire de l'eau dans le processus de certification.

III.1.c. la rectification de profil environnemental

Dans cette troisième étape, nous ne traitons que du niveau très performant (TP) du profil environnemental global parce que : d'une part, les cibles de ce niveau sont les plus difficiles à atteindre, et d'autre part, à cause de leurs sensibilités liées aux changements de leurs sous-

cibles et leurs préoccupations. Cependant, cet histogramme (Fig. 25) n'a pas pris en considération les différences, issues d'évolution, entre les référentiels appliqués.

Pour cette raison, nous avons classé ces opérations en plusieurs catégories selon les référentiels applicables (tableau 3).

Référentiel Applicable		Projets	Départements																				
			IDF	Nord-pas-de Calais	Provence Alpes-Côte d'Azur	Midi Pyrénées	Rhône-Alpes	Pays de la Loire	Haute-Normandie	Alsace	Aquitaine	Centre	Poitou Charentes	Bretagne	Picardie	Champagne-Ardenne	Languedoc Roussillon	Franche comte	Limousin	Auvergne	Basse-Normandie	Bourgogne	Lorraine
Applicable du 1er fév. 2005 au 31déc 2006	Bureau-Enseignement	96	60	11	5	3	1	2	6	1	1	1	1	1	1	1	1						
Août 2006 et son erratum du 30 mars 2007	Bureau-Enseignement	246	146	14	12	13	11	10	7	7	4	4	1	3	2	1	2	1	1	2	2		1
Septembre 2006 au 30 juin 2008	Bureau-Enseignement	6	4	1									1										
Décembre 2008	Bureau-Enseignement	18	12	1	1	1	2						1										
Au 17 mars 2009	Bureau-Enseignement	1	1																				
Commerce décembre 2008		5	2					1			1							1					
Santé juillet 2008		2	1																1				
Hôtellerie janvier 2009		5	3				1								1								
Plateforme Logistique janvier 2009		10	7				1									1						1	
Σ		390	236	27	18	17	16	13	13	8	6	5	4	4	4	3	3	2	2	2	2	1	1

Tableau 3 : Les opérations certifiées selon le référentiel applicable

Le tableau 3, montre les opérations certifiées en regroupant ces opérations par région et par référentiel applicable.

Cette étape a dévoilé le résultat suivant : les majorités de ces opérations ; 342 opérations sur les 390 opérations en total, ont eu les certifications avec deux référentiels :

1. Le référentiel du 1er février 2005 au 31 décembre 2006 ;
2. Le référentiel août 2006 et son erratum du 30 mars 2007 ;

Figure 26 : répartition des opérations certifiées par régions

Ensuite, nous avons calculé, pour les deux référentiels appliqués, le pourcentage affecté à chaque cible par rapport au total des opérations certifiées.

Dans la suite de l'analyse, nous allons nous traiter le choix des cibles très performantes dans le profil environnemental. En effet, en raison de la difficulté d'atteindre la haute performance de certaines cibles, et à l'évaluation des sous-cibles, il est important de clarifier cette question de choix des cibles prioritaires. Autrement dit, nous avons cherché à identifier une éventuelle réflexion au sein des maîtrises d'ouvrages concernant l'identification d'une cible très performante prioritaire.

Après avoir analysé ces opérations dont 96 opérations du premier référentiel « **Le référentiel du 1er février 2005 au 31 décembre 2006** » et les 246 opérations du deuxième **« Le référentiel août 2006 et son erratum du 30 mars 2007** », nous avons trouvé les résultats suivants :

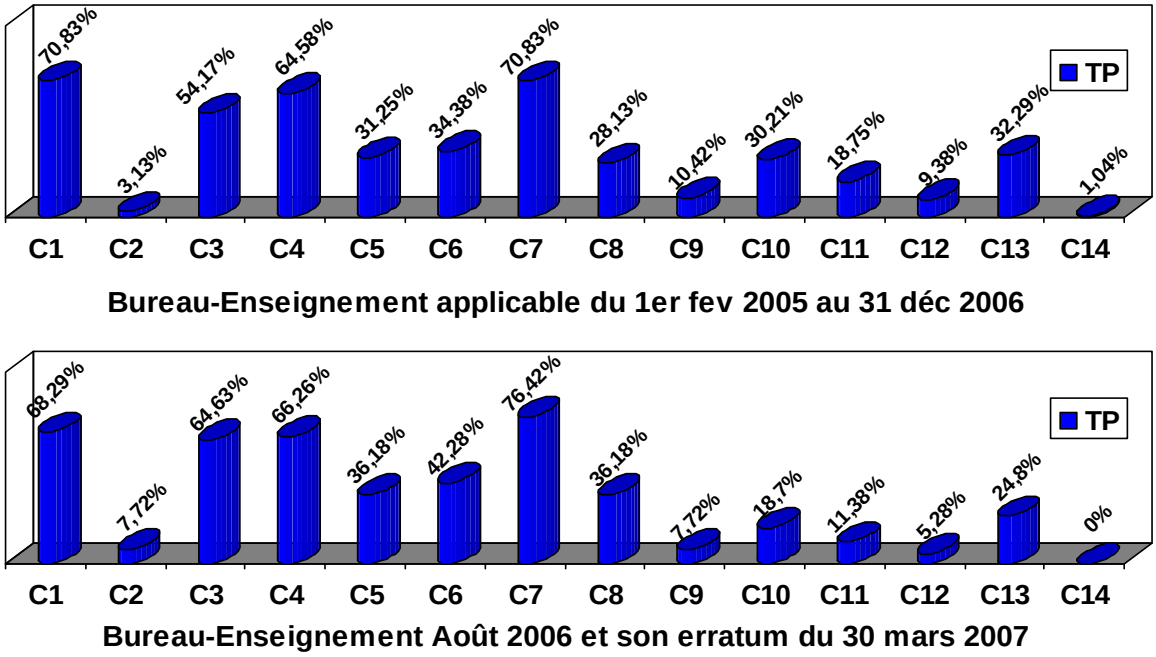


Figure 27 : Comparaison de nivaux TP des opérations (deux référentiels)

Malgré l'évolution remarquable qui a été faite sur les référentiels appliqués **[Certivéa 2006]** et en analysant les réponses mentionnées ci-dessus, nous constatons que les quatre cibles : C_1 (Relation avec l'environnement), C_3 (Chantier à faible impact environnemental), C_4 (Gestion de l'énergie) et C_7 (Gestion de la Maintenance) restent les plus visées par les maîtres d'ouvrages.

En revanche, les cibles : C_2 (Choix intégré des produits), C_9 (Confort acoustique), C_{11} (Confort Olfactif), C_{12} (Qualité Sanitaire) et C_{14} (Qualité sanitaire de l'eau) se présentent comme les cibles les moins prioritaires aux maîtres d'ouvrages. (Figure 27).

Conclusion :

Pour le moment, le facteur essentiel du choix des cibles prioritaire pour les maîtres d'ouvrage est lié à facilité de mise en ouvre de cette cible, ainsi cela se traduit par la facilité d'accès aux informations et bien évident c'est la question du coût/surcoût.

Sachant que la cible 4 doit être obligatoirement de niveau performant ou très performant, nous constatons que les exigences modestes pour la cible 1 d'un coté, et la facilité d'atteindre les exigences de la cible 3 d'autre coté. Parallèlement, la simplification des conditions qui peuvent prendre en compte et en même temps le poids économique de la cible7, tous ces facteurs contribuent efficacement pour que ces cibles 1, 3, 4 et 7 soient considérées des cibles prioritaires de niveau très performant pour les maîtres d'ouvrages.
Par contre, la complexité des données et la difficulté de les traiter, sans oublier l'ambiguïté dans la définition des données, tous ces points apportent pour que les cibles comme 2, 9, 11 et 12 atteignent au niveau base pour la plupart des opérations certifiées dont ont traité dans notre analyse.

Par conséquent, toutes ces observations nous orientent vers une analyse qui devient impérative aux incertitudes attachées aux cibles. Nos résultats nous permettent de construire un questionnaire sur les paramètres composant les cibles étudiées. En tenant compte que ces cibles sont considérées comme les cibles les plus prioritaires pour les maîtres d'ouvrages.

Le questionnaire que nous établirons est destiné aux auditeurs qui font partie des personnes clefs identifiées. Leurs réponses pourraient nous permettre d'améliorer la qualité des données d'entrée, par l'intégration des incertitudes intrinsèques à ces paramètres. Ce sujet sera bien montrer et expliquer en détail dans le chapitre suivant de notre travail.

III.2. Analyser des cibles prioritaires

Pour certains Maîtres d'ouvrages, le choix du profil environnemental de leurs projets est bien guidé par des avis qui recherchent le moins d'impact financier sur le projet.

Dans cette partie nous discutons de l'analyse des cibles prioritaires pour prendre en compte des incertitudes attachées aux paramètres qui composent ces cibles. En effet, à partir du constat stipulant que les cibles 1, 3, 4 et 7 sont considérées des cibles prioritaires pour les maîtres d'ouvrages, nous nous sommes concentrés initialement dans notre analyse sur ces cibles pour identifier les paramètres incertains.

Véritablement, l'analyse des cibles 1, 3 et 7 est confrontée au fait que toutes les préoccupations de sous-cibles, sont des paramètres qualitatifs. Autrement dit, l'analyse de tous ces paramètres est faite d'un point de vue subjectif. La vérification de l'atteinte de chaque niveau de performance de ces cibles est pratiquement, un processus d'identification et de justification afin de vérifier si les dispositions sont bien prises en compte ou non.

Par contre, la cible 4 a montré une gamme de paramètres intéressants, sur lesquels nous allons baser notre questionnaire pour analyser les incertitudes associées:

$U_{bât}$: Le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment,
I4 : L'indice de perméabilité à l'air,
C_{ep} : La valeur absolue du coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire,
$Qn_{eq\text{-}Co2}$: Les quantités de CO_2 (eq-CO_2) générées par l'utilisation de l'énergie,
$Qn_{eq\text{-}So2}$: Les quantités de SO_2 (eq-SO_2) générées par l'utilisation de l'énergie,

L'analyse de la cible 5 nous a fournie un autre paramètre. Il s'agit de s'assurer que des dispositions sont prises pour économiser la ressource en eau potable dans les sanitaires de l'ouvrage :
$CC_{\text{sanitaires communs}}$: La consommation conventionnelle du Bâtiment.

En effet, en raison de la difficulté de traiter tous les paramètres des cibles d'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment QEB dans une seule étude, il est important de restreindre le choix sur les cibles prioritaires. Autrement dit, nous avons cherché à identifier

une éventuelle réflexion au sein des maîtrises d'ouvrages concernant l'identification des cibles très performante prioritaires.

III.3. Le questionnaire :

Dans le secteur du bâtiment, la condition pratique pour obtenir une construction durable, est le fait de savoir et savoir-faire évaluer quantitativement les effets environnementaux des opérations de construction. D'ailleurs, les valeurs obtenues par les méthodes appliquées dans ce domaine et les croyances associées à ces méthodes, produisent des informations utilisées par les acteurs des bâtiments, qui ne sont pas toujours satisfaisantes au niveau de la précision. Cette réflexion nous amène au fait qu'un développement doit être réalisé pour représenter les informations incertaines de ce domaine **[Essa, 2005].**

L'évaluation de l'incertitude n'est pas une activité purement mathématique : elle nécessite une connaissance détaillée du domaine étudié. La qualité et l'utilité de l'incertitude attachée au résultat dépendent donc en dernière instance des capacités des personnes qui donnent les valeurs à analyser d'une façon critique la situation **[Eurachem, 2000].**

En effet, pour bien quantifier les incertitudes, nous avons besoin d'un savoir de spécialiste (connaissance technique) qui se traduira par un avis donné pour prendre une décision. Selon **[Talon, 2006]**, le dire d'expert peut être quantitatif et/ou qualitatif, mais il passe toujours par ces deux phases :

- L'élicitation, c'est-à-dire le recueil de ces connaissances,
- La formalisation.

Mais un dire de spécialiste est effectivement entaché d'incertitude et/ou d'imprécision. Pour cela, la distribution de possibilité permet de la formaliser parfaitement.

Bien que l'on connaisse les opinions subjectives varient d'une personne à l'autre, elles sont influencées par le sens commun, les connaissances spécialisées, les expériences et observations générales. Donc, un degré de croyance fourni par des experts est toujours utile pour quantifier les incertitudes.

III.3.a. Construire le questionnaire et analyse des réponses:

Dans ce paragraphe, nous abordons la troisième phase d'étude, celle-ci à consister à élaborer un questionnaire concernant les paramètres étudiés. En effet, l'enquête initiale lancée dans notre recherche a été conçue pour rassembler les informations concernant les imprécisions de certains paramètres (représentée dans l'annexe VI). De plus, elle a permis de collecter des informations qui pourraient être nécessaires pour modéliser les connaissances théoriques concernant les mêmes paramètres du bâtiment. Pour répondre le mieux possible à nos interrogations, nous avons cherché des bureaux d'études qui certifient leurs projets NF Bâtiments Tertiaires- Démarche HQE®, des auditeurs et des consultants qui sont agréées pour justifier cette démarche. Le nombre d'acteurs du bâtiment interrogés est 45.

Malgré les difficultés auxquelles nous avons été confrontées pour rassembler ce type d'information, nous avons obtenu un taux de réponse de 38%, ce nous a semblé tout à fait raisonnable si l'on compare au taux moyen de 20 à 30% constaté dans le domaine de la construction **[Akintoya, 2000].**

Dans ce questionnaire nous avons travaillé à éviter un des points faibles qui est apparu dans le précédant travail **[Essa, 2007]** qui a été réalisé au sein de notre laboratoire. Notre proposition était : de recueillir les pourcentages minimal et maximal d'imprécision pour chacun des paramètres étudiés à la place d'un intervalle d'imprécision. Cette proposition visait à réduire l'imperfection inhérente à la représentation de l'intervalle d'imprécision en valeur de pourcentage minimale et maximale. D'ailleurs, notre proposition a permis aux experts de choisir librement leurs valeurs de pourcentage (minimale et maximale). Par conséquent, la valeur adoptée pour chacun des paramètres étudiés était la valeur la plus fréquente dans les réponses qu'on a reçu (annexe VI). Autrement dit, la valeur adoptée est la meilleure représentant des avis d'experts en ce qui concerne les pourcentages minimal et maximal d'imprécision pour chacun des paramètres étudiés. Noter que nous avons bien respecté la loi de distribution en ce qui concerne l'apparition de toutes les valeurs d'une variable théorique **[Pouillot, 2002]**.

Dans le cadre de notre travail, l'appel que nous avons effectué aux experts a pour objectif de rassembler l'information concernant autant l'imprécision des paramètres étudiés que la tolérance des paramètre de référence. Elle donne une estimation des imprécisions et des

incertitudes de certains paramètres utilisés au moment de l'évaluation de cibles de la QEB par la méthode NF Bâtiments Tertiaires- Démarche HQE®.

A la suite de l'analyse détaillée que nous avons effectuée dans le chapitre précédant pour les cibles intitulées **prioritaires** pour les maîtres d'Ouvrages, nous avons élaboré la première partie du questionnaire pour les paramètres suivants :

$U_{bât}$: Le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment,

I4 : L'indice de perméabilité à l'air,

C_{ep} : La valeur absolue du coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire,

$Qn_{eq\text{-}Co2}$: Les quantités de CO_2 (eq-CO_2) générées par l'utilisation de l'énergie,

$Qn_{eq\text{-}So2}$: Les quantités de SO_2 (eq-SO_2) générées par l'utilisation de l'énergie,

$CC_{\text{sanitaires communs}}$: La consommation conventionnelle du Bâtiment.

Pourcentage d'incertitude	**Les paramètres étudiés**					
	$U_{bât}$	**I4**	**C_{ep}**	**$Qn_{eq\text{-}Co2}$**	**$Qn_{eq\text{-}So2}$**	**CC_{SC}**
Min	5%	10%	5%	5%	5%	10%
Max	20%	50%	40%	15	15	20%

Tableau 4 : Pourcentages des réponses reçues concernant les incertitudes des paramètres étudiés

Le tableau 4 montre les valeurs reçues par les réponses au questionnaire. En effet, nous constatons que la plupart des experts considèrent que les imprécisions les plus importantes concernent l'isolation thermique du bâtiment. Autrement dit, les déperditions thermiques et par conséquent la consommation d'énergie.

La construction des fonctions d'imprécision utilisées dans notre application a été faite en fonction des résultats de ce questionnaire.

D'ailleurs, la deuxième partie du questionnaire a été conçue pour évaluer le pourcentage de la tolérance au moment de l'attribution de l'évaluation aux préoccupations qui contient les paramètres étudiés. En fait, il y a certaines conditions imposées dans chaque préoccupation des cibles, le but est de quantifier la tolérance réelle de l'application de ces conditions. Aussi, comme l'étape précédente, grâce à cette quantification, les fonctions de contrainte seront construites.

Pour cette partie notre démarche était de trouver la moyenne des valeurs de tolérance minimale et maximale. Ces dernières représentent aussi la valeur la plus fréquente dans les réponses au questionnaire (Tableau 5).

Pourcentage de tolérance	Les paramètres étudiés			
	$U_{bât\text{-}ref}$	$I4_{ref}$	$C_{ep\ ref}$	CC_{ref}
Min	5%	5%	5%	5%
Max	10%	10%	10%	10%
Moyenne	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%

Tableau 5 : les pourcentages des réponses reçues par rapport aux incertitudes des contraintes imposées aux paramètres étudiés

Dans ce tableau, les réponses les plus fréquentes sont 5% pour la valeur minimale de chacun des paramètres étudiés, et 10 % pour la valeur maximale. Dans le calcul, la valeur 7,5 % a été adoptée pour présenter la tolérance des fonctions de contraintes imposées aux paramètres étudiés. Ce choix nous semblait raisonnable car 7,5 % est la moyenne des valeurs les plus fréquentes dans les réponses reçues. Cette valeur a été utilisée pour construire les fonctions de contrainte.

La dernière question porte sur une citation des cibles qui sont considérées prioritaires par les maîtres d'ouvrages. Le but de cette question est de savoir quelles sont les cibles les plus importantes pour les maîtres d'ouvrages. Par conséquent, ces réponses feraient un référentiel de comparaison pour nos résultats obtenus lors de l'analyse précédente en ce qui concerne les cibles choisies prioritairement par les maîtres d'ouvrages.

	Les cibles													
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**	**C11**	**C12**	**C13**	**C14**
Pourcentage des réponses	83%	6%	67%	100%	43%	6%	83%	6%	3%	6%	0%	0%	0%	0%

Tableau 6 : les cibles prioritaires pour les Maîtres d'Ouvrages

Le tableau 6 présente les pourcentages des réponses reçues qui montrent les cibles choisies prioritairement par les Maîtres d'Ouvrages. Il était très clair que la plupart des avis des experts considèrent que les cibles : C1 « Relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat », C4 « Gestion d'énergie » et la cible 7 « Gestion de l'entretien et

de la maintenance » sont les cibles choisies prioritairement par les Maîtres d'Ouvrages, et que les cible C3 et C5 viennent en deuxième lieu, en revanche toutes les autres sont considérées comme des cibles non prioritaires.

Ces conclusions justifient nos résultats obtenus dans l'analyse du chapitre précédent, où notre analyse apporte que les cibles 1, 3, 4 et 7 sont considérées comme des cibles prioritaires de niveau très performant pour les maîtres d'ouvrages. Et que les cibles comme 2, 9, 11 et 12 atteignent au niveau base, c'est-à-dire qu'elles sont considérées des cibles non prioritaires.

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'intégrer les points de vue des acteurs dans la modélisation des incertitudes et de comprendre les formations utilisées pour le choix des cibles prioritaires.
Cette analyse est fondamentale afin de donner une certaine crédibilité à la démarche HQE® auprès des Maîtres d'Ouvrages.

Partie IV

IV. La réglementation thermique : 79
i. préambule : 79
IV.1. Introduction : 79
IV.2. L'évolution des réglementations thermiques et des nouveautés : 81
IV.2.1. Entre 2000 et RT2005 81
IV.2.2. Entre RT2005 et RT2012 86
IV.2.3. Les évolutions de la RT 2005 par rapport à la RT 2000 : 89
IV.2.4. Les évolutions de la RT 2012 par rapport à la RT 2005 90
IV.3. Les méthodes de calculs: 92
IV.3.1. L'option « Calculs » 94
IV.3.2. Le calcul de Cep [Th-CE] : 96
IV.3.3. Le calcul de $U_{bât}$ [Arrêté 2006] [Th-CE] : 97
IV.4. Les labels : 99
IV.5. Conclusion : 102

IV. La réglementation thermique :

i. Préambule :

A la suite de l'analyse que nous avons réalisée dans la troisième partie (III) de ce mémoire, analyse qui nous a permis de déterminer les cibles prioritaires des maîtres d'ouvrages, nous avons réalisé une analyse des préoccupations composant chacune de ces cibles prioritaires. Puis, en nous appuyant sur les résultats de ces analyses, nous avons identifié les outils pour construire notre enquête sur les paramètres étudiés.

Compte tenu du fait que les préoccupations liées à la cible 4 nous ont paru souvent prioritaires, nous avons souhaité analyser l'évolution réglementaire dans le domaine de la thermique du bâtiment depuis l'an 2000.Pour cela, nous avons réalisé une analyse historique et technique du parcours de la réglementation thermique en prenant en compte toutes les modifications et les évolutions qui ont été faites de l'une à l'autre.

IV.1. Introduction :

Prenant en compte le fait que les ressources naturelles s'épuisent et que le prix du baril de pétrole a été multiplié par 2.8 en 4 ans de 2002 à 2006 et que le fioul domestique a augmenté de 30,8 % en une seule année (2005[6]), la France s'est engagée, nationalement et internationalement, à réduire la consommation d'énergie des bâtiments (45 % des consommations totales d'énergie d'ici 2020) qui contribuent pour plus du quart à la production des gaz à effet de serre. Sur cette base une nouvelle réglementation thermique a été produite pour les bâtiments neufs, instituant le fait qu'elle est révisable tous les 5 ans de manière à faire évoluer le niveau des exigences périodiquement.

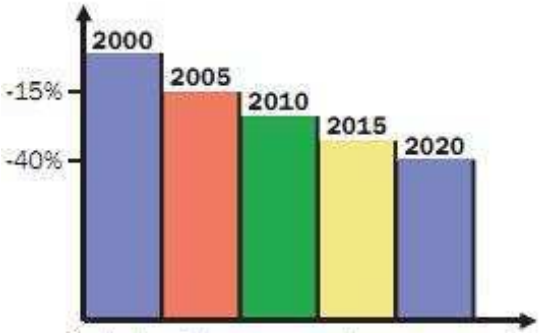


Figure 28 : Evolution de la consommation moyenne des bâtiments neufs par rapport aux bâtiments RT2000

Source : MECSL*

[6] La RT 2005

Chaque réglementation est un pas vers une amélioration énergétique. Ainsi, la RT 2000 a permis de progresser par rapport à la RT 1988 qui avait elle-même permis d'intégrer les précédentes évolutions[1,2]. La RT 2005 permettait de faire encore progresser les exigences. Cela veut dire que la Réglementation Thermique 2005 s'est inscrite dans la continuité de la RT 2000 et qu'elle a spécifié clairement les objectifs de la réglementation thermique des constructions neuves[3] :

- une limitation du recours à la climatisation,
- une amélioration de la performance énergétique de la construction neuve d'au moins 15%, pour un objectif de 40% en 2020 (Figure 28),
- la maîtrise de la demande en électricité,
- la reprise de la structure réglementaire ainsi que les principes qui permettaient au maître d'ouvrage de choisir la solution la plus économique pour atteindre la performance exigée.

La RT 2012 est encore plus exigeante. Nous montrerons dans ce chapitre l'évolution des réglementations thermiques en précisant les nouveautés qui ont été ajoutées et les modifications qui ont été faites de la RT 2000 à la RT 2012.

Nous commençons premièrement par une présentation essentielle des exigences et des piliers qui composent les réglementations thermiques. Deuxièmement, nous montrons les nouveautés et les modifications de la RT 2005 par rapport à la RT 2000, puis de la RT 2012 par rapport à la RT 2005.

Ensuite, nous rappelons les options et les formules adoptées dans la méthode de calcul. Dans ce mémoire, nous ne traitons ensuite que de la réglementation thermique 2005, car notre travail a été fait sur les opérations qui ont été certifiées, bâtiments tertiaires HQE® sous les exigences des cette réglementation.

Enfin, nous présentons nos critiques et nos commentaires sur la RT2005 et la RT2012 dans la dernière section.

Pour plus de détails, nous citons dans l'annexe III l'histoire des réglementations thermiques de l'année 1974 jusqu'à la année 2012, puis un rappel et des définitions des règles de calcul utilisées pour le bâti, pour finir par les définitions des mots utilisés dans notre texte.

---

[2] La RT 2000

[3] Plan climat 2004

* MECSL : *Ministère de l'Emploi de la Cohésion Sociale et du Logement*

IV.2. L'évolution des réglementations thermiques et les nouveautés :

IV.2.1. Entre 2000 et RT2005

Similaire à la RT 2000 dans sa structure, la RT 2005 impose toujours des garde-fous et des références aux systèmes et aux produits (Tableau 7).

Parois	RT 2000		RT 2005	
	U paroi maximale (W/m².K)	R paroi minimale (m².K/W)	U paroi maximale (W/m².K)	R paroi minimale (m².K/W)
Murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol	0,47	2,0	0,45	2,05
Murs en contact avec un volume non chauffé	-	-	0,45 / b*	2,05
Combles et rampants	0,30	3,2	0,28	3,45
Toitures terrasses	0,36	2,6	0,34	2,80
Toitures en tôles métalliques étanchées	0,47	2,0	0,34	2,80
Planchers hauts en béton ou en maçonnerie	0,36	2,6	0,34	2,80
Planchers bas sur vide sanitaire	0,43	2,0	0,40	2,15
Planchers sur local non chauffé	-	-	0,40	2,15
Planchers bas donnant sur l'extérieur	0,36	2,6	0,36	2,60
Planchers bas donnant sur parking collectif	0,36	2,5	0,36	2,50
Planchers bas sur terre-plein Isolation périphérique sur :	-	1,4 Risolant 1,50 m	-	1,7 Risolant 1,20 m
Fenêtres et porte-fenêtres prises nues donnant sur l'extérieur	2,90	-	2,60	-
Façades rideaux	2,90	-	2,60	-
Coffrets de volets roulants	-	-	3,00	-

b* : le coefficient de réduction des déperditions vers les volumes non chauffés,

Source : http://www.afipeb.org

Tableau 7 : Les exigences minimales : garde-fous des parois

Le tableau 7 nous montre que de nouvelles exigences sont imposées dans la RT2005 pour le coefficient de transmission thermique par les parois U. Nous pouvons par exemple distinguer qu'il y a une limite pour le coefficient de flux pour les **planchers sur local non chauffé** alors que ce paramètre n'était pas concerné dans la RT 2000.

Par ailleurs, la RT 2005 a accru la valeur minimum de la résistance thermique R (l'inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température d'un kelvin entre les deux faces de ce système).

Les tableaux (8, 9) présentent des valeurs de référence des coefficients de transmission thermique. Dans ces tableaux, il est facile de remarquer que les garde-fous et les références dans la RT 2005 sont renforcés par rapport à la RT 2000, pour permettre d'atteindre les performances suivantes :

- Renforcement d'environ 10 % de la performance des parois.
- Diminution d'environ 20 % des pertes par ponts thermiques.

Parois	RT 2000		RT 2005	
	Zones H1 et H2	Zone H3	Zones H1, H2 et H3 (> 800m)	Zone H3 (≤ 800m)
Murs en contact avec l'extérieur (a1)	0,40	0,47	0,36	0,40
Combles et rampants (a2)	0,23	0,30	0,20	0,25
Toitures terrasses (a3)	0,30	0,30	0,27	0,27
Planchers bas (a4)	0,30	0,43	0,27	0,36
Portes (a5)	1,50	1,50	1,50	1,50
Fenêtres et portes-fenêtres (a6)*	2,40	2,60	2,10	2,30
Fenêtres et portes-fenêtres équipées de fermeture (a7)	2,00	2,35	1,80	2,10

* a6 = a7 pour le secteur résidentiel

Source : http://www.afipeb.org

Tableau 8 : Les valeurs de référence des parois sont exprimées par les coefficients de transmission thermique de a1 à a7 exprimés en W/m².K

Ce renforcement des exigences a été fixé pour tenir compte de toutes les techniques constructives ayant un impact positif sur la maîtrise de l'énergie en confort d'été ou d'hiver. En effet, la réglementation n'a pas pour but d'écarter une technique constructive, mais plutôt d'en valoriser ses meilleures performances et de soutenir ses améliorations[7].

Zones H1, H2 et H3				
Ponts thermiques	RT 2000		RT 2005	
Planchers bas / murs (a8)	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,50 0,50 -	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,40 0,40 0,40
Planchers intermédiaires sous combles / murs (a9)*	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,70 0,90 0,90	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,55 0,60 0,60
Toitures terrasses / murs (a10)*	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,70 0,90 0,90	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,50 0,60 0,60

Source : http://www.afipeb.org

* Pour les bâtiments autres que les maisons individuelles, les coefficients a9 et a10 sont pris égaux à 0,70 jusqu'au 31 décembre 2007.

Tableau 9 : Les valeurs de reference des ponts thermiques sont exprimees par les coefficients de transmission thermique lineique a8, a9 et a10 exprimes en w/m.k.

[7,2] MEDDTL, ADEME

Il faut signaler qu'une bonne évolution de l'isolation d'enveloppe concernant les secteurs résidentiel et tertiaire a été faite dans la RT 2005 par rapport à la RT 2000. Ainsi, le coefficient de déperditions par les parois et les baies du bâtiment $U_{bât}$ ne peut excéder le coefficient maximal $U_{bât\ max}$ de déperditions par les parois et les baies du bâtiment. Ce coefficient $U_{bât\ max}$ est déterminé en fonction de l'usage du bâtiment et le coefficient de déperditions de base par les parois et les baies du bâtiment $U_{bât\ base}$ avec :

- pour les maisons individuelles : $U_{bât\ max} = U_{bât\ base}$ x 1,20;
- pour les autres bâtiments d'habitation (logement collectif) : $U_{bât\ max} = U_{bât\ base}$ x 1,25;
- pour le secteur tertiaire : aucune limitation ne se trouvait dans la RT 2000, mais dans la réglementation 2005, une limite apparaîtrait sur la compensation entre enveloppe et les équipements de 50 % ($U_{bât\ max} = U_{bât\ base}$ x 1,50) ;

$U_{bât\ base}$ est calculé de manière identique à $U_{bât\ réf}$ mais en prenant en compte les surfaces exactes de vitrage du projet et non celles de référence (dont la valeur pour les logements est fixée à $^1/_6$ de la surface habitable). Nous montrons un peu plus tard dans cette partie les méthodes de calcul de ces coefficients de déperditions mentionnés ici.

L'étanchéité à l'air du bâti est caractérisée dans la réglementation thermique 2005 par un coefficient de perméabilité I4. Les perméabilités mesurées dans de nombreuses études permettent de déduire qu'entre un quart et un tiers de l'air neuf provient de « fuites » » (les infiltrations) de l'enveloppe des bâtiments. Les flux d'air n'étant pas maîtrisés, ces infiltrations parasites peuvent dégrader la qualité de l'air, et causer une augmentation des besoins de chauffage de l'ordre de 10% pour des systèmes de ventilation simple flux et jusqu'à 25% pour des systèmes de ventilation double flux. **[CETE 2006].** La RT 2005 a fixé des objectifs de l'enveloppe du bâtiment de référence, et a permis de valoriser une démarche qualité sur l'étanchéité à l'air. Dans le cadre du label BBC-Effinergie, le traitement de la perméabilité à l'air est obligatoire pour le résidentiel[8]. Malgré tout, l'étanchéité à l'air est trop souvent négligée en France.

Parallèlement, les exigences sur les équipements, comme pour l'enveloppe, ont été renforcées autant en chauffage gaz qu'en chauffage électrique. La grande nouveauté réside cependant dans l'introduction d'une nouvelle exigence relative à l'eau chaude sanitaire. Pour

[8] ADEME, MEDDE

promouvoir et encourager l'utilisation d'énergies renouvelables, la RT 2005 pénalise les bâtiments résidentiels ne disposant pas d'eau chaude sanitaire solaire. Par exemple :

Si une maison individuelle avec chauffage électrique ou gaz (chaudière hors volume chauffé) a installé moins de 2 m^2 de panneaux solaires, les consommations d'énergies pour la production d'eau chaude sanitaire seront réduites de 20 % en référence (pénalisation de 20%) ; La pénalisation sera de 10 % en logement collectif avec chauffage électrique à moins d'avoir installé 1 m^2 de panneaux solaires.

De même, le niveau de référence a été renforcé en ce qui concerne la ventilation et les réductions des déperditions liées à la ventilation deviennent :

Energie	RT 2000	RT 2005
Effet joule (électrique)	20% (H1 et H2) 0% (H3)	25%
Gaz	0%	10%

Source : http://www.afipeb.org

Tableau 10 : les réductions des déperditions liées à la ventilation

Afin de maîtriser le recours à la climatisation et de valoriser les systèmes de rafraîchissement passifs, la RT 2005 définit 2 catégories de locaux **[Arrêté 2010]** (Tableau 11):

1. Un local est de catégorie CE2 s'il est muni d'un système de refroidissement et si l'une des conditions suivantes est respectée :
   * simultanément, le local est situé dans une zone à usage d'habitation ou d'enseignement, ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3, et le bâtiment est construit en zone climatique H2d ou H3 à une altitude inférieure à 400 m
   * le local est situé dans une zone à usage de bureaux, et ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3 ou ne sont pas ouvrables en application d'autres réglementations ;
   * le local est situé dans une zone à usage de bureaux et le bâtiment est construit soit en zones climatiques H1c ou H2c à une altitude inférieure à 400 m, soit en zones climatiques H2d ou H3 à une altitude inférieure à 800 m.

2. Les autres locaux sont de catégorie CE1.

Usages	Zones de bruit	Zones climatiques													
		H1a	H1b	H1c ≤ 400 m	H1c > 400 m	H2a	H2b	H2c ≤ 400 m	H2c > 400 m	H2d ≤ 400 m	H2d > 400 m et ≤ 800 m	H2d > 800 m	H3 ≤ 400 m	H3 > 400 m et ≤ 800 m	H3 > 800 m
Habitation, hébergement	BR1														
	BR2									CE2			CE2		
	BR3														
Enseignement	BR1														
	BR2									CE2			CE2		
	BR3														
Bureaux	BR1			CE2				CE2							
	BR2	CE2			CE2				CE2	CE2	CE2	CE2	CE2		CE2
	BR3														
Etablissements : commerce spectacle, conférence sanitaire…	BR1	CE2													
	BR2														
	BR3														

Tableau 11 : la définition des catégories des locaux CE1/CE2

Enfin, le Tableau 12 montre un extrait détaillé des évolutions et nouveautés de la réglementation thermique entre RT 2000 et RT2005 :

Domaine d'application	RT 2000	RT 2005
Consommations énergétiques totales	Exprimées en kWh/an d'énergie primaire C ≤ Créf	Exprimées en kWh/m².an d'énergie primaire C ≤ Créf
Consommations énergétiques pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire	-	Exprimées en kWh/m².an d'énergie primaire $C_{Chauffage} + C_{ECS} \leq C_{epmax}$
Energies renouvelables	-	Intégrées et valorisées
Conception bioclimatique	-	Valorisée
Fiche de synthèse	-	Mise en place
Climatisation	-	Intégrée
Etanchéité à l'air	Forfaitaire (meilleure valeur possible si mesurée pour chaque ouvrage)	Forfaitaire (meilleure valeur possible résultant de mesures sur échantillonage de construction)
Parois	Valeurs de garde-fous et de référence	Renforcement d'environ 10 % de la performance des parois
Ponts thermiques	Valeurs de garde-fous et de référence	Diminution d'environ 20 % des pertes par ponts thermiques
Compensation entre enveloppe et systèmes	Maison individuelle : 30 % max Logement collectif : 30 % max Tertiaire : non défini	Maison individuelle : 20 % max Logement collectif : 25 % max Tertiaire : 50 % max
Zones climatiques	H1 H2 H3	H1a, H1b, H1c H2a, H2b, H2c, H2d H3
Température intérieure conventionnelle	Calculée par bâtiment	Calculée par zone d'usage, chacune devant respecter $Tic_{réf}$ pour être conforme
Eclairage	Bâtiments tertiaires	Tous les bâtiments
Equipements (eau chaude sanitaire solaire, ventilation…)	Valeurs de garde-fous et de référence	Renforcement des exigences

Tableau 12 : les évolutions entre RT2000 et RT 2005

IV.2.2. Entre RT2005 et RT2012

De plus en plus, la volonté d'avoir plus de performance énergétique et de réduire durablement la consommation énergétique autant que les émissions de gaz à effet de serre progresse. Après avoir divisé la consommation énergétique des constructions neuves par deux, le Grenelle de l'environnement l'a divisé de nouveau par 3 grâce à une nouvelle réglementation thermique, dite RT 2012, qui permettra de prendre le chemin des bâtiments à énergie positive en 2020.

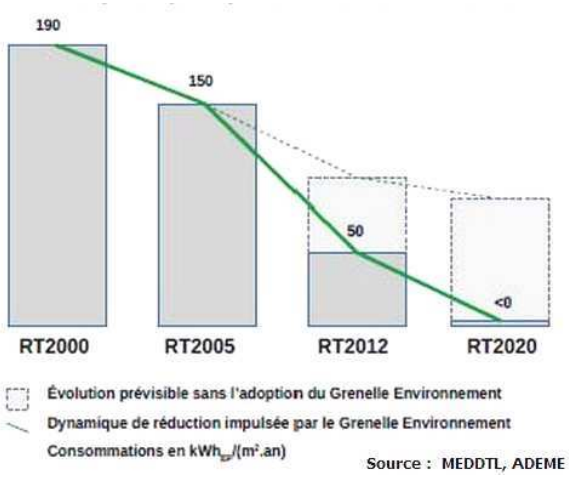


Figure 29 : Evolution des exigences réglementaires de consommation énergétique des bâtiments neufs : Une rupture opérée par **le Grenelle Environnement**

La RT 2012 comporte trois exigences de résultat[9] :

1. **Limiter les besoins énergétiques du bâtiment par une conception bioclimatique**

   L'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est définie par le coefficient «$Bbio_{max}$» (besoins bioclimatiques du bâti) qui est une innovation conceptuelle, sans équivalant, pour le moment, en Europe. Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre. On revient donc là sur un concept introduit dès la réglementation de 1982 (le coefficient B).

   Le $Bbio_{max}$ se définit par la formule suivante :

$$Bbio_{\max} = Bbio_{\max moyen} \times \left(M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf}\right)$$

   Avec :

   $Bbio_{max\ moyen}$: valeur moyenne du $Bbio_{max}$ définie par type d'occupation du bâtiment ou de la partie de bâtiment et par catégorie CE1/CE2 ;

   $M_{bgéo}$: coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

   M_{balt} :coefficient de modulation selon l'altitude ;

[9] MEDDTL

M_{bsurf} : pour les maisons individuelles ou accolées, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie de bâtiment ;

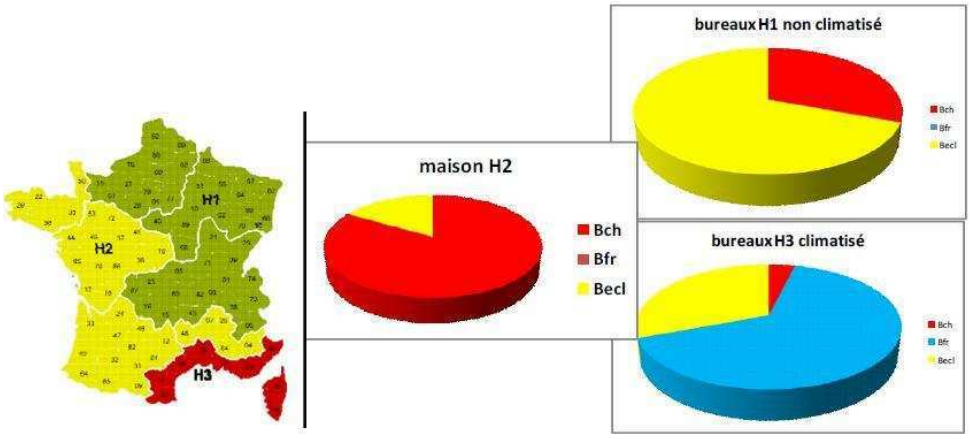


Figure 30 : La variété de la répartition des 3 composants de Bio (chauffage, refroidissement, éclairage) – **Source : MEDDTL**

2. **Des équipements performants pour une consommation énergétique réduite**

L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire se traduit par le coefficient « $C_{ep\ max}$ », portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs). Conformément à l'articles 4 de la loi Grenelle1 du 3 août 2009, la valeur du $C_{ep\ max}$ s'élève à 50 $kWh_{ep}/(m^2.an)$ d'énergie primaire en moyenne, modulé selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO_2. Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des équipements énergétiques performants, à haut rendement.

La consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire $C_{ep\ max}$ est définie comme suite :

$$Cep_{\max} = 50 \times M_{ctype} \times \left(M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csurf} + M_{cGES}\right)$$

Avec :

M_{ctype} : coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;

$M_{cgéo}$: coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

M_{calt} : coefficient de modulation selon l'altitude ;

M_{csurf} : pour les maisons individuelles ou accolées et les bâtiments collectifs d'habitation, coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou de la partie de bâtiment ;

M_{cGES} : coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées, pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur et de froid faiblement émetteur en CO_2.

3. L'exigence de confort d'été dans les bâtiments non climatisés

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Ces catégories (CE1 et CE2) dépendent du type d'occupation et de la localisation (zone climatique, altitude, proximité de zones de bruit). Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été, n'excède pas un seuil.

La réglementation thermique 2012 s'articule autour des 5 usages que représentent le chauffage, l'éclairage, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et la climatisation, pour lesquels la RT 2012 impose, afin de permettre de promouvoir la conception bioclimatique du bâtiment, une montée en puissance des produits et équipements énergétiquement très performants avec en particulier la mise en œuvre des solutions d'isolation thermique haute performance et une attention particulière à l'étanchéité à l'air du bâtiment.

Figure 31 : Les 3 exigences de la RT2012 en adoptant du Grenelle Environnement

IV.2.3. Les évolutions de la RT 2005 par rapport à la RT 2000 :

Toute d'abord, afin de permettre aux concepteurs d'obtenir un indice simple de performance qui permet de qualifier la consommation énergétique, et pour faciliter les comparaisons entre bâtiments, une expression ″par m^2″ pour l'unité de mesure de la consommation de l'énergie primaire (C_{ep}, $C_{ep\ réf}$) a été introduite en 2005. La consommation d'énergie annuelle du bâtiment n'est plus exprimée en KWh/an mais en KWh/m^2.an où la surface utilisée pour le calcul est la SHON[*].

De plus, un nouveau paramètre est introduit uniquement dans le secteur résidentiel : la consommation énergétique maximale ($C_{ep\ max}$) qui permettra de comparer en valeur absolue deux postes importants de consommation énergétique de divers bâtiments dans une zone climatique donnée. Cela permet ainsi de comparer en valeur relative leurs consommations énergétiques totales par rapport à une référence. En effet, ce paramètre regroupe les consommations de chauffage et de production de l'eau chaude sanitaire. Celles-ci doivent être inférieures à des consommations maximales établies pour les zones climatiques H1, H2 et H3.

$$C_{ep} \leq C_{ep\ réf} \text{ et } C\ Chauffage + CECS \leq C_{ep\ max}$$

De plus, dans le contexte de réduction de la consommation globale d'énergie du bâtiment, et afin de maîtriser le côté économique, une intégration des consommations de climatisation a été faite par la prise en compte de la consommation d'énergie attachée au système de refroidissement. Ainsi, une classification des bâtiments en fonction de leur besoin ou non de climatisation est établie. Pour cela, le maître d'ouvrage est obligé de fournir un cycle de synthèse d'études thermiques à la fin des travaux. Sinon, un système de sanction pourrait être mis en place[**].

Ensuite, une valorisation de l'architecture bioclimatique a été faite avec pour objectif principal d'obtenir des conditions de vie et de confort d'ambiance convenables et agréables de manière la plus naturelle possible. Ceci peut se faire notamment en exploitant des énergies renouvelable disponibles sur le site afin de réduire le plus possible d'utilisation des énergies fossiles ou d'électricité, et afin de ne pas utiliser autant que possible des moyens techniques

[*] SHON : La Surface Hors Œuvre Nette ;
[**] MEDDTL, ADEME.

polluants et non renouvelables. Par exemple, les projets architecturaux qui ne prévoiraient pas la production d'eau chaude par capteurs solaires sont pénalisés au niveau du calcul de référence. Au contraire, la loi d'orientation de la politique énergétique du 13 juillet 2005 prévoit un dépassement maximal du Coefficient d'Occupation des Sols (COS) de 20 % (Annexe V) lorsque les constructions répondent à des critères de performance énergétique ou qu'elles comportent des équipements de production d'énergie renouvelable.

Enfin, une simplification des données d'entrée des calculs et une recherche d'unification des résultats obtenus par les divers logiciels de calcul facilitent le contrôle et la compréhension des études. Par exemple, une correction des données météorologiques a donné lieu à une définition plus fine des zones climatiques en fusionnant celles d'hiver (H1, H2, H3) et celles d'été (Ea, Eb, Ec, Ed) de la RT 2000. Les nouvelles zones sont désormais H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d et H3.

IV.2.4. Les évolutions de la RT 2012 par rapport à la RT 2005

La réglementation thermique RT 2012 a pour objectif, comme la RT 2005, de réduire la consommation énergétique des bâtiments par une évolution technologique et industrielle dans la conception et l'isolation des bâtiments et d'avoir un bouquet énergétique équilibré avec une émission faible de gaz à effet de serre. Il faut noter qu'elle devient plus exigeante en termes de performance du bâtiment par rapports aux réglementaires précédents. Les principales évolutions sont :

- L'expression des exigences de performance énergétique globales (chauffage, refroidissement, production d'eau chaude sanitaire, éclairage artificiel, auxiliaires) en valeur absolue de consommation. Autrement dit, il n'est plus demandé de comparer chaque bâtiment à un bâtiment de référence thermique. Le niveau moyen de la consommation maximale d'énergie primaire doit être inférieur à 50 $kWh_{ep}/m^2.an$;

- Remplacement du coefficient $U_{bât}$ qui ne prenait en compte que le niveau d'isolation, par le coefficient Bbio (le besoin bioclimatique) qui est considéré comme un indicateur qui rend compte de la qualité de la conception de l'isolation du bâtiment

indépendamment du système de chauffage, et qui en même temps valorise l'isolation performante et la conception bioclimatique ;

- Une suppression de nombreux « **garde-fous** » techniques de la RT 2005. En revanche, de nouvelles exigences de traitement des ponts thermiques sont fixées. En outre, le traitement de la perméabilité à l'air des logements neufs et le recours aux énergies renouvelables sont exigés ;

- Pour garantir la qualité architecturale du bâtiment et le confort d'habitation, une exigence de surface minimale de baies vitrées est fixée à $^{1}/_{6}$ de la surface habitable ;

- Des exigences d'efficacité énergétique minimale du bâti sont introduites pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage artificiel ainsi que pour atteindre une température intérieure conventionnelle en été pour certains types de bâtiments ;

- Objectif de réduction de la consommation d'énergie primaire de 150 milliards de kWh entre 2013 et 2020, et réduction des émissions de CO_2 entre 13 et 35 millions de tonnes de CO_2 (selon la méthode) entre 2013 et 2020

Les changements et les exigences imposés par la RT 2012 ont été élaborés à partir d'études technico-économiques par lesquelles un optimum a été déterminé entre l'impact des exigences sur le coût de la construction et le gain en matière de consommation d'énergie et de confort. En effet, la disponibilité de nombreuses solutions techniques favorisera la compétition, ce qui entraînera une baisse des prix des matériaux et équipements. Les possibilités accrues de combinaison de solutions entre bâti et systèmes permettront d'atteindre des coûts de construction très proches des coûts actuels.

IV.3. Les méthodes de calcul:

La Réglementation Thermique 2000 reposait sur deux méthodes de calcul qui ont été développées par le CSTB* : Th-C pour évaluer la consommation d'énergie dans le bâtiment et Th-E pour évaluer la température intérieure pour le confort d'été ainsi que leurs valeurs de référence. (Figure 32).

La méthode de calcul Th-C a eu pour objectif le calcul du coefficient C, lequel fait intervenir les valeurs des caractéristiques thermiques des produits, et du coefficient $C_{ref.}$ Mais cette méthode de calcul Th-C ne prenait pas en compte la consommation d'énergie due au refroidissement.

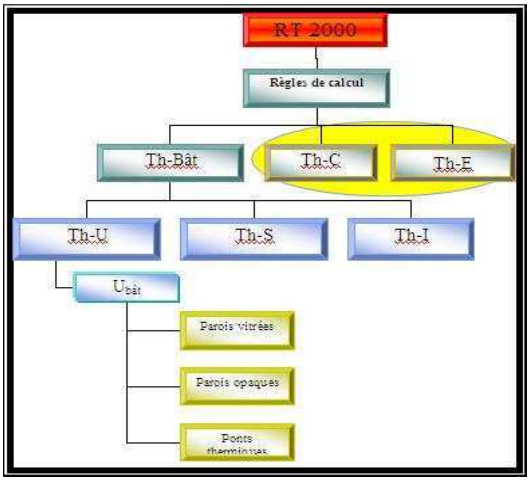


Figure 32 : L'arbre des règles de calcul en RT 2000 en intégrant le moteur de calcul composant de TH-C et TH-E

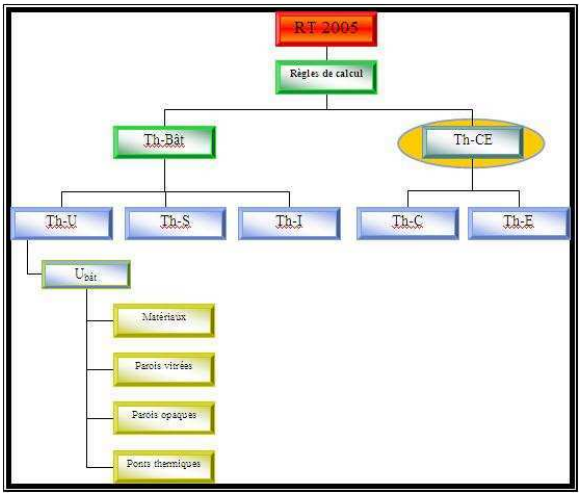


Figure 33 : L'arbre des règles de calcul en RT 2005 en intégrant le moteur de calcul TH-CE

La méthode de calcul Th-CE 2005 avait pour objet le calcul réglementaire des consommations d'énergie C_{ep} en chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire et éclairage des bâtiments ainsi que le calcul réglementaire de la température intérieure conventionnelle Tic, atteinte en été dans un bâtiment lors d'épisodes de forte chaleur à l'extérieur. Elle n'avait pas pour vocation de faire un calcul de consommation réelle compte tenu des conventions retenues notamment pour les apports, les températures de consigne et les horaires d'occupation. **[Th-CE]**.

La méthode de calcul Th-BCE 2012 a pour objet le calcul réglementaire des coefficients Bbio, C_{ep} et Tic. Elle n'a pas pour vocation de faire un calcul de consommation réelle compte tenu

* CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment ;

des conventions retenues. Cette méthode de calcul utilise comme données d'entrée tous les éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements qui sont définis de façon opposable.

Ces données d'entrée des éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements sont constituées de deux types de paramètres différents :

1. Des paramètres dits intrinsèques qui correspondent aux caractéristiques propres du composant ;
2. Des paramètres dits d'intégration correspondant à la mise en œuvre dans le projet étudié.

Par exemple, le coefficient U d'une baie est un paramètre intrinsèque alors que son orientation est un paramètre d'intégration.

Les éléments apportés après la réception du bâtiment ainsi que les paramètres indépendants du bâtiment intervenant dans la méthode de calcul sont définis de façon conventionnelle.

Le coefficient Bbio exprimé en points caractérise l'efficacité énergétique du bâti. Il permet d'apprécier celui-ci par rapport aux besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage artificiel. Il s'appuie sur la valorisation des éléments suivants :

- La conception architecturale du bâti (implantation, forme, aires et orientation des baies, accès à l'éclairage naturel des locaux),
- Les caractéristiques de l'enveloppe en termes d'isolation, de transmission solaire, de transmission lumineuse, d'ouverture des baies et d'étanchéité à l'air,
- Les caractéristiques d'inertie du bâti.

Le coefficient C_{ep} exprimé en kWh/m² SHON.an d'énergie primaire représente les consommations d'énergie de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire, d'auxiliaires et d'éclairage des bâtiments. Ce coefficient C_{ep} ajoute au coefficient Bbio l'impact des systèmes énergétiques suivants :

- Systèmes de chauffage et de refroidissement, y compris les auxiliaires,
- Systèmes d'eau chaude sanitaire y compris les auxiliaires,
- Auxiliaires de ventilation (l'impact des débits d'air étant pris en compte dans les consommations des systèmes de chauffage et de refroidissement).
- Systèmes d'éclairage,
- Systèmes de production locale d'énergie, y compris les auxiliaires.

Le coefficient Tic exprimé en °C est la température opérative (correspondant à la sensation de l'occupant) maximale horaire calculée en période d'occupation pour un jour chaud d'été conventionnel, associée à une séquence chaude représentative. **[Th-BCE]**

Dans ce qui suit, nous allons présenter les options et les formules de calculs adoptées par la réglementation thermique 2005 puisque c'est dans ce contexte qu'a été menée notre recherche.

IV.3.1. L'option « Calculs »

La complexité de cette option rend obligatoire l'utilisation de l'informatique par un professionnel averti.

En effet, est considéré comme satisfaisant la réglementation thermique RT2005 tout bâtiment neuf pour lequel le maître d'ouvrage est en mesure de montrer que sont respectées simultanément les conditions suivantes :

1. Le coefficient C_{ep} (consommation de chauffage, d'ECS, de ventilation, de refroidissement, d'éclairage, exprimée en kW.h d'énergie primaire), du bâtiment est inférieur ou égal au coefficient C de référence de ce même bâtiment, noté $C_{ep\ réf}$.

   Ce coefficient peut être représenté sous forme d'un profil représentant les performances du bâtiment selon les différents postes de consommation (chauffage, refroidissement, ECS, ventilation, éclairage). Si le bâtiment étudié reprend toutes les caractéristiques du bâtiment de référence, il respecte de fait la réglementation. Mais il peut également la respecter en étant plus performant sur certains postes et moins sur d'autres (dans la limite des garde-fous). On notera que pour les bâtiments de type CE1, la référence ne comporte pas de refroidissement. Donc, si le bâtiment étudié comporte, lui, un refroidissement, il devra être particulièrement performant sur les autres postes afin de pouvoir respecter la réglementation.

2. Pour les logements, le coefficient C_{ep} (chauffage, refroidissement, ECS) est inférieur ou égal à un coefficient maximal $C_{ep\ max}$ déterminé selon les modalités de l'arrêté du 19 juillet 2006 (Tableau 13). Cette limite supérieure de la consommation en kWh/(m^2.an) dépend de l'énergie, de la zone climatique, de l'utilisation et éventuellement d'autres paramètres.

Zone climatique*	Combustibles fossiles	Chauffage électrique (y compris pompes à chaleur)
H1	130 kWh primaire/ (m^2.an)	250 kWh primaire/ (m^2.an)
H2	110 kWh primaire/ (m^2.an)	190 kWh primaire/ (m^2.an)
H3	80 kWh primaire/ (m^2.an)	130 kWh primaire/ (m^2.an)

* les zones climatiques sont définies dans l'arrêté du 19 juillet 2006

Tableau 13 : La consommation maximale exprimée en énergie primaire pour les consommations de chauffage, refroidissement et production d'eau chaude sanitaire.

3. Dans le cas d'un bâtiment possédant des zones de type CE1 (pas de justification de recours à la climatisation) et pour chacune de ses zones définies par son usage, la température intérieure conventionnelle atteinte en été Tic est inférieure ou égale à la température intérieure conventionnelle de référence du bâtiment notée $Tic_{réf}$ (26°C ou plus, selon les cas) et déterminée sur la base des caractéristiques thermiques de référence telles que spécifiées dans l'arrêté RT2005.

4. Les caractéristiques de l'isolation thermique des parois, des baies, des équipements de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire, de refroidissement, d'éclairage et des protections solaires sont au moins égales aux caractéristiques thermiques minimales définies dans l'arrêté RT2005 (notion de garde-fous). (figure 34).

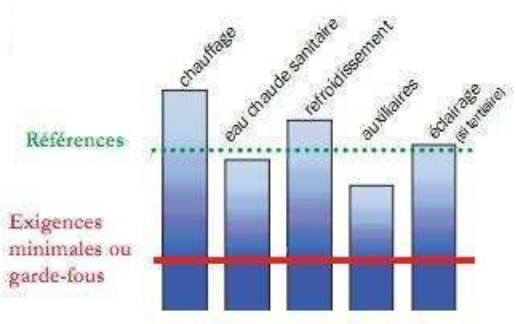


Figure 34 : Principe de compensation entre les postes de déperdition- **Source : RT2005**

IV.3.2. Le calcul de Cep [Th-CE]:

Ce calcul tient compte du contexte climatique du bâtiment. Généralement, le règlement fournit, selon 8 zones (Figure 35), les données climatiques horaires nécessaires qui sont:

- la moyenne des températures extérieures
- la moyenne de l'ensoleillement sur un plan vertical orienté au sud, à l'est, au nord et à l'ouest et sur un plan horizontal
- la température d'eau froide
- la répartition statistique du vent

Il fournit également, toujours selon les 8 zones, la température extérieure conventionnelle de base. Ces données (sauf l'ensoleillement) sont corrigées en fonction de l'altitude.

C_{ep} est calculé pour une année civile, laquelle est divisée en périodes de 1 mois, elles-mêmes subdivisées en sous-périodes (normales, nuit, week-end, vacances).

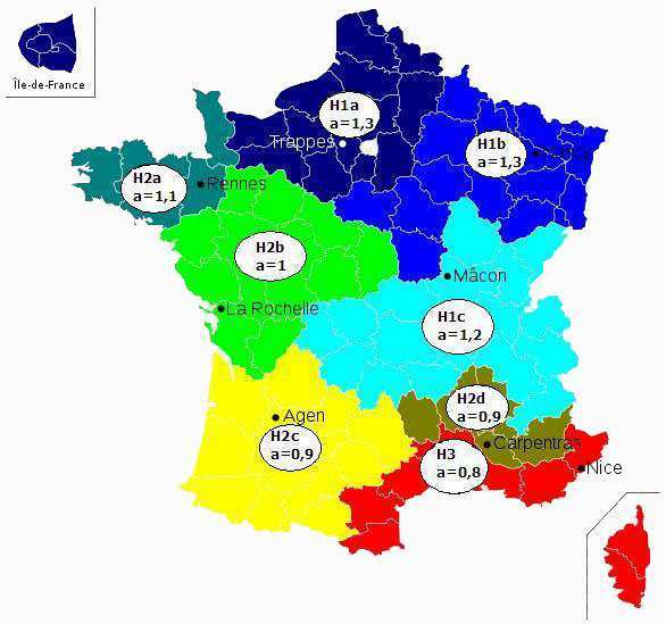


Figure 35 : Les zones climatiques

Le coefficient C_{ep} du bâtiment est exprimé en kWh d'énergie primaire par m² de SHON par an ($kWh_{ep}/(m^2$ SHON.an)).

Il est obtenu par la formule suivante :

$$C_{ep} = C_{ch} \cdot C_{ep\text{-}ch} + C_{fr} \cdot C_{ep\text{-}fr} + C_{ecs} \cdot C_{ep\text{-}ecs} + C_{ecl} \cdot C_{ep\text{-}ecl} + C_{vent} \cdot C_{ep\text{-}vent} + C_{aux} \cdot C_{ep\text{-}aux} - E_{pv} \cdot C_{ep\text{-}pv}$$

Où :

C_{ch} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant au chauffage hors auxiliaires et ventilateurs, en kWh/m^2,

C_{fr} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant au refroidissement hors auxiliaires et ventilateurs, en kWh/m^2,

C_{ecs} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant à l'eau chaude sanitaire hors auxiliaires, en kWh/m^2,

C_{ecl} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant à l'éclairage, en kWh/m^2,

C_{vent} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant aux ventilateurs, en kWh/m^2,

C_{aux} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant aux autres auxiliaires de distribution et génération, en kWh/m^2,

E_{pv} représente la fourniture d'énergie photovoltaïque, en kWh/m^2,

$C_{ep.ch}$, $C_{ep.fr}$, $C_{ep.ecs}$, $C_{ep.ecl}$, $C_{ep.vent}$, $C_{ep.aux}$ et C_{ep-pv} sont les coefficients de transformation en énergie primaire correspondant respectivement au chauffage, au refroidissement, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage, à la ventilation et au photovoltaïque.

Il apparaît clairement que la plupart des paramètres jouent un rôle important pour l'imprécision de la valeur du coefficient C_{ep}. Par exemple, nous avons constaté qu'un certain nombre de données d'entrée étaient fournies avec des valeurs par défaut. C'est le cas des coefficients de transformation en énergie primaire (2,58 pour l'électricité et photovoltaïque et 1 pour les autres énergies).

IV.3.3. Le calcul de $U_{bât}$ [Arrêté 2006] [Th-CE]:

Les déperditions thermiques par transmission à travers les parois et les baies sont caractérisées par le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment, appelé $U_{bât}$ exprimé en W/m².K :

$$U_{bât} = \frac{\text{Somme des déperditions de la zone}}{A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7}$$

Par ailleurs, la valeur du coefficient $U_{bât}$ prise en référence, appelé « coefficient moyen de référence de déperdition par les parois et les baies du bâtiment », noté « $U_{bât\text{-}réf}$ », s'exprime sous la forme suivante :

$$U_{bât\ réf} = \frac{a1.A1+a2.A2+a3.A3+a4.A4+a5.A5+a6.A6+a7.A7+a8.L8+a9.L9+a10.L10}{A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7}$$

Avec :

A1 : surface des parois verticales opaques, y compris les parois verticales des combles aménagés et les surfaces projetées des coffres de volets roulants non intégrés dans la baie, à l'exception des surfaces opaques prises en compte dans A5, A6 et A7 ;

A2 : surface des planchers hauts et toitures autres que ceux pris en compte en A3 ;

A3 : surface des planchers hauts donnant sur l'extérieur en béton ou en maçonnerie pour tout bâtiment, et surface des planchers hauts à base de tôles métalliques nervurées des bâtiments non résidentiels ;

A4 : surface des planchers bas ;

A5 : surface des portes, exception faite des portes entièrement vitrées ;

A6 : surface des fenêtres, des portes entièrement vitrées, des portes-fenêtres et des parois transparentes ou translucides des bâtiments non résidentiels ;

A7 : surface des fenêtres, des portes entièrement vitrées, des portes-fenêtres ou des parois transparentes et translucides des bâtiments résidentiels ;

L8 : linéaire de la liaison périphérique des planchers bas avec un mur ;

L9 : linéaire de la liaison périphérique des planchers intermédiaires ou sous comble aménageable avec un mur ;

L10 : linéaire de la liaison périphérique avec un mur des planchers hauts en béton, en maçonnerie ou à base de tôles métalliques nervurées.

Le tableau 14, représente les valeurs des coefficients de a_1 à a_{10} :

Parois	RT 2005	
	Zones H1, H2 et H3 (> 800m)	Zone H3 (≤ 800m)
Murs en contact avec l'extérieur (a1)	0,36	0,40
Combles et rampants (a2)	0,20	0,25
Toitures terrasses (a3)	0,27	0,27
Planchers bas (a4)	0,27	0,36
Portes (a5)	1,50	1,50
Fenêtres et portes-fenêtres (a6)*	2,10	2,30
Fenêtres et portes-fenêtres équipées de fermeture (a7)	1,80	2,10

* a6 = a7 pour le secteur résidentiel

Ponts thermiques	RT 2005
Planchers bas / murs (a8)	Maisons individuelles : 0,40 Logements collectifs : 0,40 Autres bâtiments : 0,40
Planchers intermédiaires sous combles / murs (a9)*	Maisons individuelles : 0,55 Logements collectifs : 0,60 Autres bâtiments : 0,60
Toitures terrasses / murs (a10)*	Maisons individuelles : 0,50 Logements collectifs : 0,60 Autres bâtiments : 0,60

* Pour les bâtiments autres que les maisons individuelles, les coefficients a9 et a10 sont pris égaux à 0,70 jusqu'au 31 décembre 2007.

Tableau 14 : Les coefficients de transmission thermique linéaires et superficielles

Nous constatons qu'il y a peu de distinctions entre les zones climatiques aux niveaux des valeurs données dans ce tableau. Cette « uniformisation » ajoutée à l'utilisation de valeurs par défaut, génère un niveau non négligeable d'incertitude dans les calculs de plusieurs paramètres tels que C_{ep}, $C_{ep\ ref}$, U_{bat} et $U_{bat\ ref.}$

IV.4. Les labels :

La RT 2005 introduit en outre le label "Haute performance énergétique" non obligatoire, qui comprend 5 niveaux permettent de valoriser les efforts qui sont faits pour aller au-delà de la réglementation :

1. HPE 2005 pour les constructions dont les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 10% par rapport à la consommation de référence RT 2005 et pour l'habitat au moins 10% par rapport à la consommation maximale autorisée.

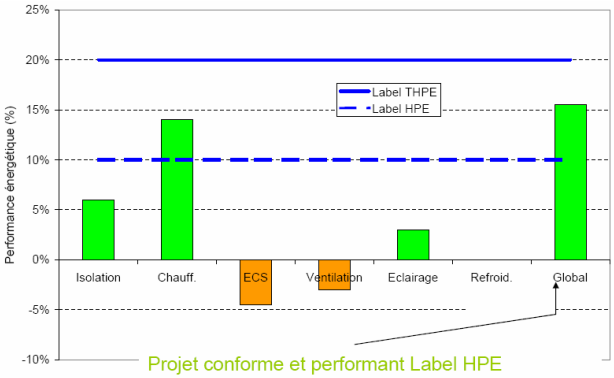


Figure 36: Combinaison entre les performances énergétiques des postes

2. THPE 2005 pour les constructions dont les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 20% par rapport à la consommation de référence RT 2005 et pour l'habitat d'au moins 20% par rapport à la consommation maximale autorisée.

3. HPE EnR 2005, basé sur les exigences du label HPE 2005 accompagnées d'exigences sur l'installation d'équipements d'énergie renouvelable :

* Soit le chauffage, et éventuellement la production d'eau chaude sanitaire, est assuré par une chaudière utilisant la biomasse, et en particulier le bois ;
* Soit, le bâtiment est raccordé à un réseau de chaleur alimenté par au moins 60 % de bois ou de biomasse, ce qui apporte une réponse aux collectivités territoriales qui font des efforts pour produire de la chaleur avec des combustibles renouvelables.

4. THPE EnR 2005 pour les constructions dont les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 30% par rapport à la consommation de référence RT 2005 et, pour l'habitat, au moins 30% par rapport à la consommation maximale autorisée, accompagné d'exigences sur l'utilisation d'équipements d'énergie renouvelable (capteurs solaires thermiques, capteurs photovoltaïques ou des éoliennes) ou de pompes à chaleur très performantes.

5. BBC 2005 : bâtiment basse consommation énergétique. Ce niveau reprend les résultats de l'étude menée dans le cadre du programme de recherche PREBAT, sur financement de l'ADEME, et réalisée par l'association EFFINERGIE. Ce niveau vise les bâtiments ayant une consommation très nettement inférieure à la consommation énergétique réglementaire avec :

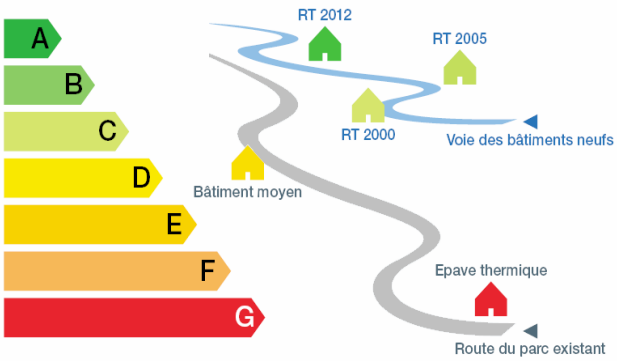


Figure 37 : La route vers un bâtiment BBC

* Un niveau d'exigence calé pour le résidentiel à 50 kWh_{ep}/m^2 en énergie primaire en prenant en compte les consommations de tous les usages (chauffage, refroidissement; production d'ECS, ventilation et éclairage) et décliné selon les zones climatiques et l'altitude du projet de construction;
* Une performance énergétique améliorée d'au moins 50 % par rapport à la performance réglementaire pour les bâtiments tertiaires.

On notera que l'exigence de consommation liée à ce label est devenu l'exigence de base de la RT 2012.

Conformément à l'article 4 de l'arrêté du 3 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attributions du label (HPE), les labels de «haute performance énergétique» peuvent être délivrés uniquement à des bâtiments ayant par ailleurs fait l'objet d'une certification multicritères*. En conséquence, l'Etat a passé des conventions avec des organismes de certification d'ouvrages, accrédités par le COFRAC, proposant de telles certifications

* MEDDTL, ADEME

multicritères, pour leur permettre de délivrer les cinq niveaux du label HPE en option de leur certification initiale.

	Certifications proposées pour lesquelles un label HPE peut être délivré	Domaine d'application
PROMOTELEC	• Label Performance	• Maisons individuelles en secteur diffus • Maison individuelles en secteur groupé • Logements collectifs
CERQUAL	• Qualitel • Habitat&Environnement • Habitat & Environnement EHPA-EHPAD	• Logements collectifs • Maisons individuelles en secteur groupé • EHPA - EHPAD
Céquami	• NF Maison Individuelle • NF Maison Individuelle démarche HQE®	Maisons individuelles en secteur diffus
CertiVéA	• NF Bâtiments tertiaires - Démarche HQE® & Label HPE • NF Bâtiments tertiaires - Label HPE	Bâtiments tertiaires

Figure 38 : Organismes certificateurs ayant passé une convention avec le ministère en charge de la construction, les autorisant à délivrer les labels HPE 2005 dans le cadre des certifications indiquées

Pour chacune des certifications listées dans ce tableau, les cinq niveaux du label HPE peuvent être délivrés (HPE 2005, HPE EnR 2005, THPE 2005, THPE EnR 2005, BBC 2005).

IV.5. Conclusion :

Après avoir vu toutes ces informations concernant les réglementations thermiques, nous constatons que la RT 2005 a constitué une avancée positive par rapport à la précédente réglementation mais qu'elle est restée en même temps très complexe et insuffisante pour plusieurs raisons.

- Premièrement, le CSTB a édité des textes qui ne sont pas assez contraignants pour lutter contre le changement climatique. En effet, il ne faut pas oublier que le secteur du logement est un des gros consommateurs d'énergies primaires (46 %). D'où l'accélération des processus afin d'anticiper les objectifs de 2020 en les rendant obligatoire dès 2012. Cela constitue une des avancées majeures du Grenelle de l'Environnement ;

- Deuxièmement, le manque de données et de statistiques sur l'impact sur la santé et l'environnement des produits et matériaux utilisés pour atteindre l'efficacité énergétique du bâtiment;

- Troisièmement, il n'existe pas de contrôle de qualité des réalisations d'isolation comme il en existe pour les installations électriques et de gaz ;

- Quatrièmement, la non prise en compte de l'impact écologique de la pompe à chaleur dans les constructions neuves, dans la rénovation et dans la substitution d'énergie ;

- Cinquièmement, beaucoup de solutions constructives classiques et éprouvées ne permettent plus de respecter les exigences réglementaires (surtout en chauffage électrique et isolation intérieure) ;

- Enfin, pas de prise en compte des ombrages : par exemple, des balcons agissent parfois comme des radiateurs faisant refroidir les parois en créant des turbulences.

Dans la nouvelle réglementation thermique 2012 les contraintes fortes sur la conception du bâti imposent de plus en plus à l'architecte créatif de devenir un technicien du bâtiment ! En effet, pour bien comprendre la méthode TH-BCE 2012, il est nécessaire de l'analyser dans le

détail. Mais, par manque du temps ou de savoir-faire et surtout avec le moteur de calcul élaboré par CSTB, l'ambiguïté et l'incertitude inhérente à cette méthode vont perdurer.

D'ailleurs, malgré 1337 pages, 17 chapitres, 249 tableaux références et la présence 588 fois du mot soleil, nous constatons que la « pompe à chaleur » n'est jamais citée, le mot CO_2 est cité seulement 2 fois pour parler de ventilation mais pas d'énergie ! La RT2012 semble donc être une réglementation de la performance énergétique exigeante mais dans laquelle la notion CO_2 est bien oubliée.

La spécificité française de la réglementation (notamment sur les notions de surface habitable) nécessite de faire des conversions en vue de faire des comparaisons à l'échelle européenne.
En dépit de toutes les observations qui ont été mentionnées ci-dessus, la performance énergétique est au cœur des objectifs d'amélioration des bâtiments. La réglementation thermique est d'ailleurs clairement intégrée dans la démarche française HQE® et plus précisément dans la cible 4 « la Gestion de l'énergie ».

D'autre part, après avoir réalisé cette étude, nous pouvons constater naturellement que la grande gamme des paramètres utilisés dans les méthodes de calcul, impose un degré d'incertitude intrinsèque aux paramètres autant mesurés que proposés, par conséquent, aux résultats de ces calculs. Cela justifie le but de cette recherche qui vise à prendre en compte l'incertitude et l'imprécision inhérentes aux paramètres étudiés afin d'évaluer leur influence sur l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments.

Cette analyse est fondamentale pour la suite de la recherche. Elle a, en effet, permis d'identifier les formations fondamentales pour la prise en compte des incertitudes dans l'analyse de la HQE®.

Partie V :

V. La méthodologie pour l'intégration des incertitudes :..... 105
i. Préambule..... 105
V.1. Introduction : 105
V.2. Méthodologie du traitement des paramètres quantitatifs et qualitatifs..... 106
V.2.1. La démarche du traitement des paramètres quantitatifs :..... 109
V.2.1.1 Modélisation des paramètres quantitatifs identifiés de l'étape précédente 109
a) la fonction d'imprécision des données;..... 109
b) la fonction de contrainte;..... 109
V.2.1.2 Croissement selon le cas pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation de chaque sous-cible 109
V.2.1.3 Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)..... 110
V.2.2. Le traitement des paramètres quantitatifs :..... 111
V.2.2.1.a. La fonction d'imprécision 111
V.2.2.1.b. La fonction de contrainte..... 112
V.2.2.2. La fusion possibiliste proposée et ses règles 113
V.2.2.3. Évaluation du degré de vérité d'une proposition..... 118
V.2.3. La démarche du traitement des paramètres qualitatifs :..... 121
1. Modélisation des paramètres qualitatifs :..... 122
2. Croisement selon le cas pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation de chaque sous-cible..... 123
3. Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)..... 123
V.2.4. Le traitement des paramètres qualitatifs 123
V.2.4.1. La façon de modéliser des paramètres qualitatifs identifiés dans notre étude: 123
V.2.4.2. la combinaison entre les paramètres qualitatifs pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation :..... 125
V.2.4.3. Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)..... 128
V.3. Les outils proposés dans cette recherche :..... 129
V.3.1. L'outil N°1 pour traiter une préoccupation avec un paramètre quantitative imprécis: 130
V.3.2. L'outil N°2 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres quantitatifs imprécis :..... 134
V.3.2.1. La température des couleurs T_c : 134
V.3.2.2. L'Indice de Rendu des Couleurs IRC : 137
V.3.3. L'outil N°3 pour traiter une préoccupation avec un paramètre qualitatif imprécis : 141
V.3.4. L'outil N°4 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres qualitatifs imprécis 143
V.3.5. L'outil N°5 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres (quantitatif et qualitatif) imprécis 145

V. La méthodologie pour l'intégration des incertitudes :

i. Préambule

Pour pouvoir aider une personne à prendre une décision, nous devons identifier ses préférences avant de pouvoir résoudre son problème. L'aide à la décision peut être définie comme la prise en compte de l'expérience, des données, et des connaissances spécifiques d'un problème, l'analyse et l'intégration de cette information pour produire un résultat aidant les décideurs **[CLARINET, 2002]**.

En effet, le passage de la situation problématique à un modèle d'aide à la décision et les actions possibles que ce modèle implique demandent l'utilisation de ce que nous appelons un modèle de rationalité : c'est l'outil de traduction de l'information informelle en une représentation formelle **[Tsoukiàs, 2007]**. Le problème de la décision existe depuis toujours. La diversité des méthodes proposées ou adoptées varie selon la façon d'effectuer la synthèse des informations contenues dans chaque critère et pour tous les acteurs.

V.1. Introduction :

La complexité liée à la gestion environnementale d'un ouvrage, et l'engagement français pour le développement durable dans le secteur du bâtiment, amènent les acteurs du bâtiment en France à proposer la démarche française HQE® (Haute qualité environnementale) comme une proposition pour répondre à ces enjeux. Mais, les connaissances fragmentées de cette démarche sont constatées sur les décalages qui apparaissent au moment de la comparaison entre les performances environnementales réelles d'un bâtiment et ses performances prévues.

L'évaluation ou l'estimation de la qualité au stade de la conception restera néanmoins toujours problématique. La prise en compte du développement des savoirs et des apprentissages collectifs liés à la conception des projets est faible **[Debizet et al, 2009].** On considérera toujours, par principe, que la conception se déroule comme une suite d'activités durant un long processus et que la réussite d'un projet passe nécessairement par des moments de partage **[Conan, 1990].**

Pour cela, ce chapitre aborde le problème des incertitudes qui existe dans la démarche HQE®, notamment dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments en phase de conception. Nous traitons ce problème afin d'ajouter une fiabilité à cette démarche française.

En effet, les connaissances par rapport à la qualité environnementale des bâtiments sont souvent imprécises et certains points de l'évaluation de cette qualité considèrent des décisions subjectives **[Essa, 2006]**.
Très peu de recherches ont été réalisées sur la prise en compte des incertitudes dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments.

Notre étude s'appuie sur la théorie des possibilités qui présente des atouts intéressants pour notre problématique, notamment sa capacité à modéliser l'expertise humaine. Elle vise à associer une crédibilité à l'évaluation de la QEB, en traitant des paramètres saisis tant quantitatifs que qualitatifs. Le choix de cette théorie présente l'avantage de pouvoir proposer des modèles à partir d'un volume limité d'informations. Cette modélisation des incertitudes permet aux concepteurs une meilleure hiérarchisation des impacts des différents paramètres contribuant à l'amélioration de la qualité environnementale d'un bâtiment.

V.2. Méthodologie du traitement des paramètres quantitatifs et qualitatifs

Puisque les données du projet étudié sont généralement des données imprécises, la quantification de ces données sera faite à l'aide de la théorie des possibilités, qui est capable de modéliser les imperfections de deux types de données (données quantitatives, données qualitatives). L'utilisation d'un système d'inférence flou permettra de modéliser le procédé d'expertises humaines basé sur des règles linguistiques. **[Dubois, 1996]**.

Comme nous avons montré dans la partie II que ce système comporte trois étapes (figure 39) :

1. **la fuzzification** : par laquelle nous transformons les valeurs numériques d'entrée en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition,
2. **le moteur d'inférence**, qui est constitué des règles expertes de type Si…Et…Si…alors…
3. **la défuzzification** : processus qui permet d'obtenir en sortie une valeur déterministe à partir d'un sous ensemble flou.

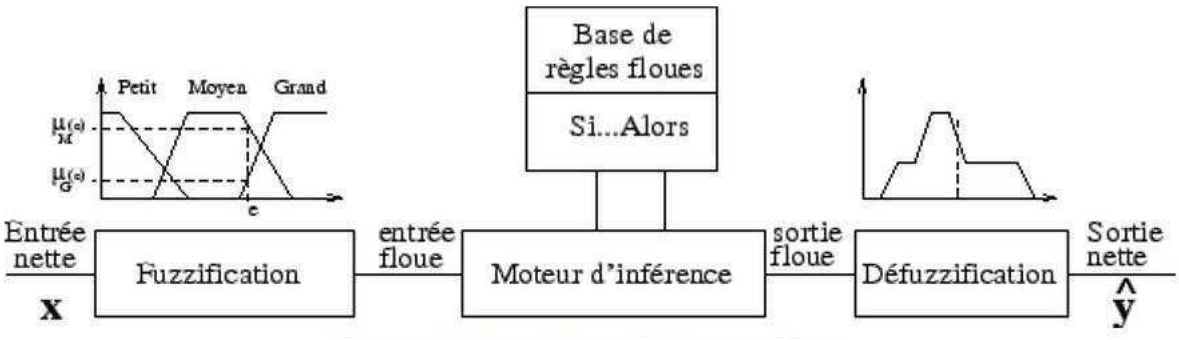


Figure 39 : Système d'inférence floue

Notre démarche propose un traitement pour tous les paramètres qui font partie de chaque sous-cible quantitative ou qualitative quelconque. Autrement dit, une fois l'analyse des incertitudes faite, des degrés de vérité de l'évaluation effectuée seront ajoutés au niveau de chaque sous-cible. Pour cela, afin d'avoir une évaluation finale au niveau de chaque cible étudiée, une agrégation entre les deux types de traitement est demandée.

En profitant du diagramme Ishikawa qui est appelé également diagramme des 5 M (Moyen, Main d'œuvre, Méthode, Milieu, Matière), diagramme utilisé pour trier toutes les idées et les ranger, nous montrons dans la figure 40 les étapes essentielles de la démarche globale de la méthode proposée dans cette thèse :

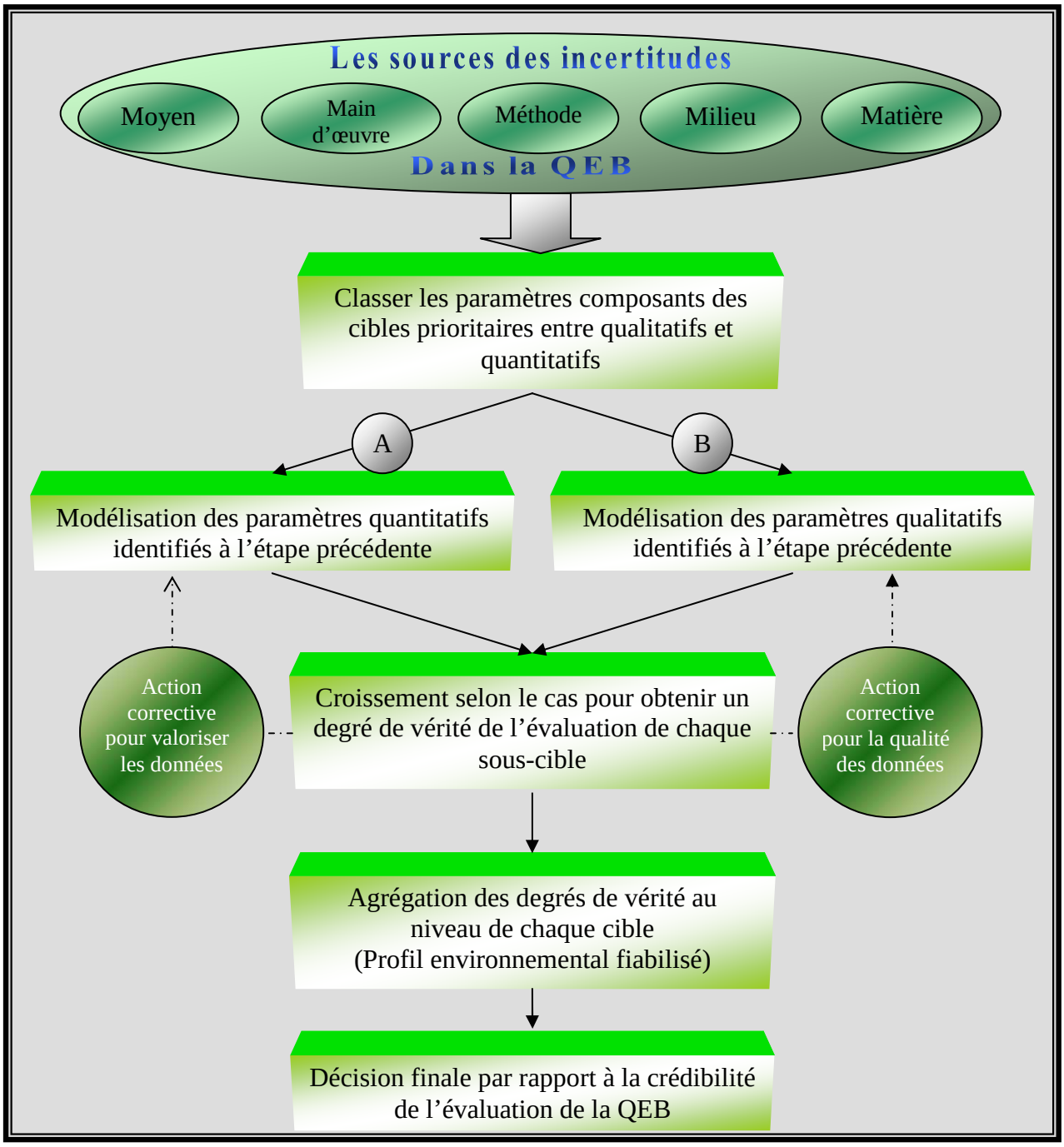


Figure 40 : La démarche globale

La figure 40 montre la méthodologie utilisée dans cette recherche qui se divise en deux schémas :

- Le schéma A pour traiter les paramètres quantitatifs;
- Le schéma B pour traiter les paramètres qualitatifs.

La considération des incertitudes dans l'analyse des paramètres quantitatifs (donnée mesurée), a donné lieu à la construction d'un trapèze et d'une forme du seuil (donnée théorique). En revanche, les paramètres qualitatifs ont été traités à l'aide de la constitution de tableaux et de règles.

Il s'agit maintenant d'assembler ces compositions pour obtenir une évaluation réelle, fiable et crédible suivant chaque paramètre.

Toutes ces modélisations seront présentées en détail dans les paragraphes suivants.

V.2.1. La démarche du traitement des paramètres quantitatifs :

Dans cette partie, nous décrivons la méthode proposée par le schéma (A) de la figure 40 où le traitement des paramètres quantitatifs sera décomposé en trois étapes essentielles.

V.2.1.1 Modélisation des paramètres quantitatifs

Dans cette étape nous élaborons deux fonctions :

a) <u>la fonction d'imprécision des données;</u>

Après avoir identifié les paramètres quantitatifs imprécis qui font partie des données de l'évaluation de la QEB, nous modélisons chaque paramètre en tenant compte du pourcentage, de la valeur des incertitudes, par rapport à la valeur initiale du paramètre. À ce stade, les sources d'imprécision de ces paramètres doivent être connues et recapitalisées (sources d'imprécision qui ont été formalisées grâce aux réponses à notre questionnaire).

b) <u>la fonction de contrainte;</u>

Cette fonction présente la tolérance de la condition imposée à ce paramètre par la certification. Comme mentionné précédemment, ce type de fonction modélise les connaissances théoriques du bâtiment en prenant en compte un pourcentage de tolérance proposé par les experts.

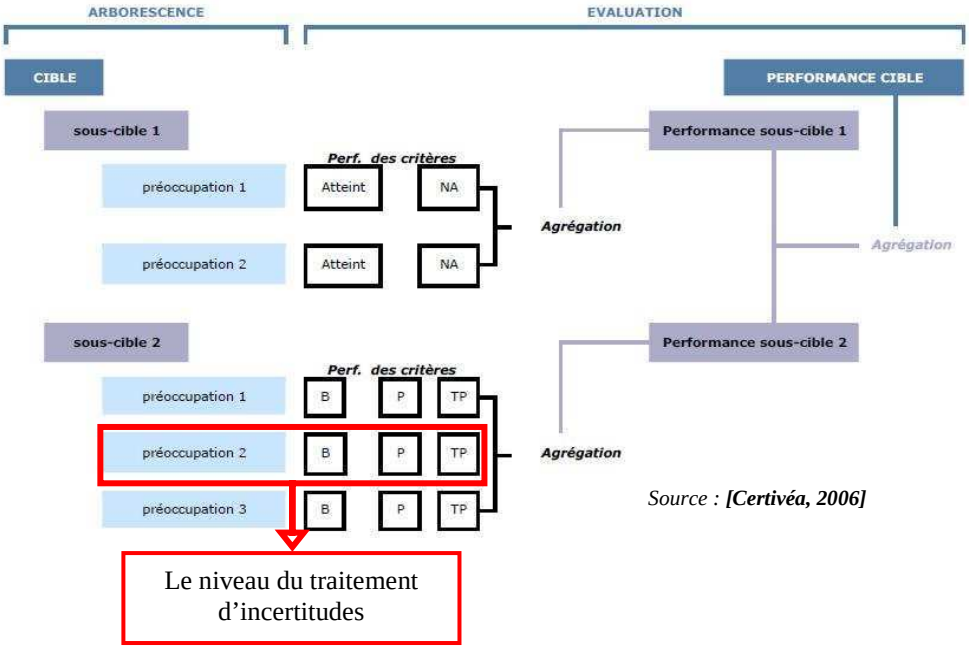
V.2.1.2 Croissement selon le cas pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation de chaque sous-cible

Dans le cas des paramètres quantitatifs, nous combinons les deux fonctions précédentes pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation ;

En fait, évaluer le processus de la décision dans la méthode d'évaluation la QEB de la démarche HQE® en fonction de l'imprécision (imprécision des données) et en fonction de contraintes (incertitudes des connaissances théoriques), c'est déterminer la compatibilité entre ces deux fonctions ou encore évaluer la compatibilité d'un sous-ensemble flou en respectant un autre sous-ensemble flou **[Dubois, 1987] [Zadeh, 1978]**. La comparaison des deux sous ensemble flous construits permet de propager l'imprécision et l'incertitude des données à travers un filtrage (opérateur) flou.

V.2.1.3 Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)

Dans cette étape, nous attribuons un degré de vérité final au niveau de chaque cible. En effet, le degré de vérité final d'une cible, vient d'une agrégation de tous les degrés des vérités partiels des sous-cibles composant de cette cible (Figure 41).



*Source : **[Certivéa, 2006]***

Figure 41 : Le niveau d'intervention du traitement des incertitudes dans l'évaluation de la QEB

La figure 41 montre l'agrégation faite dans la certification pour obtenir l'évaluation finale de chaque cible. Elle indique le niveau de la préoccupation pour lesquelles les outils vont traiter les imprécisions des paramètres et les incertitudes des connaissances.

Nous adoptons dans notre méthode trois significations attribuées au degré de vérité de l'évaluation. La signification de chacun de ces trois niveaux est la suivante :

- **Un degré de vérité fort** montre que les informations disponibles sont suffisantes ; aucune modification ne doit être faite ;
- **Un degré de vérité moyen** indique qu'un contrôle des paramètres clefs doit être entrepris ;
- En revanche, **un degré de vérité faible indique** que l'évaluation doit être revue à cause de l'inexactitude et du manque de précision des informations **[Essa, 2007].**

V.2.2. Le traitement des paramètres quantitatifs :

V.2.2.1.a. <u>La fonction d'imprécision</u>

L'élaboration de cette fonction a été faite grâce à la coopération des professionnels clefs de notre domaine de recherche. Leurs réponses à notre questionnaire en ce qui concerne les paramètres traités dans notre étude nous ont permis de construire nos fonctions d'imprécision et nos fonctions de contrainte.

Dans notre étude, nous présenterons chaque donnée quantitative par une distribution de possibilité qui s'appellera **la fonction d'imprécision** et qui sera construite à l'aide de l'intervalle « le plus possible » (complètement possible) d'une valeur et avec des intervalles partiellement possibles (où la possibilité varie entre 0 et 1). L'intervalle « le plus possible » peut arriver à 30% de la valeur initiale du paramètre du bâtiment **[Bouchon-Meunier, 1995]**. Nous avons sélectionné le modèle trapèze car il nous a paru le mieux adapté à ce domaine d'étude (Figure 42). L'ensemble des résultats du traitement des incertitudes est bien évidemment fortement lié au changement de la construction de cette fonction **[Thouvenin & al, 1998]**. En général, selon **[Dubois, 2003],** une distribution de possibilité attachée au paramètre *x* reflète l'idée que *x* peut posséder une certaine valeur que l'on ignore.

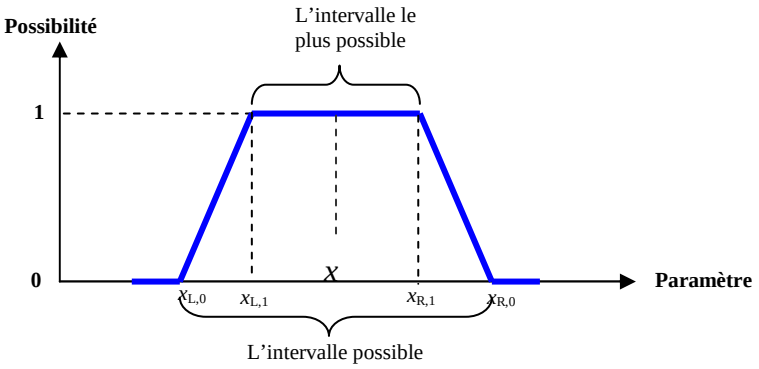


Figure 42 : La fonction d'imprécision de donnée

La figure 42 montre le type de graphique adopté pour nos modélisations des paramètres. Ce graphique est découpé en trois parties :

I. **le plateau de trapèze**, où la possibilité que la valeur réelle soit dans l'intervalle $[x_{L,1}, x_{R,1}]$ est maximale $\pi = 1$.

$$x = ½ (x_{L,1}, x_{R,1})$$

La valeur $(x\text{-}x_{L,1}) = (x_{R,1}\text{-}x)$ est quantifiée selon les réponses à notre questionnaire élaboré pour les paramètres étudiés. Cette valeur va changer d'un paramètre à l'autre.

II. **L'étalement de chaque côté de trapèze :** la valeur de paramètre dans les intervalles $[x_{L,0}, x_{L,1}]$ et $[x_{R,1}, x_{R,0}]$ a une possibilité inférieure à 1. Elle diminue au fur et à mesure qu'on s'approche de $x_{L,0}$ et $x_{R,0}$.
La valeur $(x\text{-}\ x_{l,0}) = (x_{R,0}\text{-}x)$ est quantifiée aussi selon les réponses à notre questionnaire.

III. **La partie en dehors du trapèze** : il est impossible que la valeur réelle soit inférieure à $x_{L,0}$ ou supérieure à $x_{R,0}$.

La valeur d'imprécision change d'un paramètre à l'autre. Ainsi, la sensibilité de ces paramètres est différente en fonction de ses propres caractéristiques. Tous ces points seront abordés en détail dans la section suivante.

V.2.2.1.b. <u>La fonction de contrainte</u>

La certification impose une référence avec laquelle le projet étudié est comparé. Cette valeur de référence peut elle-même être précise ou alors entachée également d'imprécision. Cette dernière a une relation avec la tolérance et la flexibilité de l'application. Les objectifs et les contraintes peuvent être représentés par des distributions de possibilité qui intègrent des éléments de préférence subjective **[Dubois, 1985a]**. Alors cette valeur de référence sera présentée aussi par une distribution de possibilités qui s'appellera **la fonction de contrainte** (Figure 43).

Les fonctions de contrainte dans notre travail sont élaborées à l'aide des connaissances d'experts issues du chapitre (**III.3.a.)** pour exprimer la quantification de la tolérance de la valeur de référence d'un paramètre.

Les types de conditions imposées dans la certification sont soit une valeur supérieure à une certaine valeur seuil (Figure; 43-1), soit une valeur inférieure à une certaine valeur seuil (Figure; 43-2);

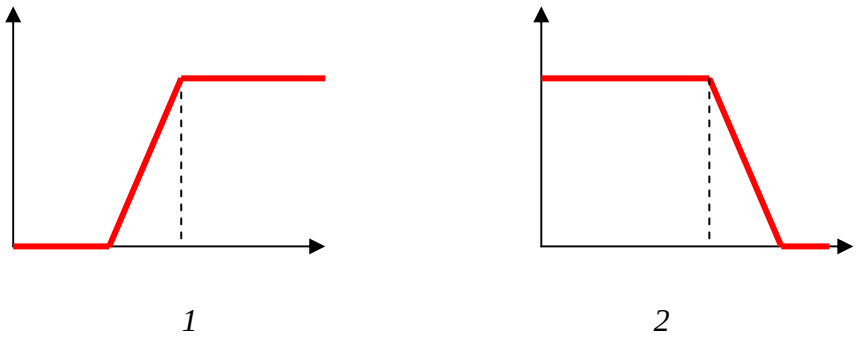


Figure 43 : La présentation des fonctions de contrainte

La figure 43 montre la possibilité de modéliser des fonctions de contraintes avec une gradualité proposée, ce qui introduit une flexibilité sur les valeurs que des paramètres peuvent avoir par rapport aux contraintes. Par exemple; le graphique (2) indique qu'une valeur de ce paramètre inférieur à la valeur préférée, donne une degré de vérité de l'évaluation proposée égale à **1**. Alors que les valeurs supérieures à la valeur limite donnent un degré nul. En conséquence le degré de vérité diminue avec l'augmentation de la valeur de paramètre, entre ces deux valeurs **[Dubois & al., 2001]**.

V.2.2.2. <u>La fusion possibiliste proposée et ses règles</u>

Comme nous avons indiqué précédemment dans le chapitre **(*II.3.3*)**, lorsque la logique floue ne permet pas de manipuler dans un même formalisme des imprécisions et des incertitudes sur les connaissances, la théorie des possibilités est la plus appropriée à notre méthode. Elle a la particularité de représenter les caractères vagues, flexibles et flous du langage naturel et de proposer une présentation simple et unique des incertitudes et des imprécisions.

La théorie des possibilités propose un cadre conceptuel pour les divers processus d'intégration des incertitudes dans l'évaluation de la QEB. Elle permet de représenter à la fois l'imprécision et de quantifier l'incertitude, par l'intermédiaire de distributions de possibilités $\pi_i = \mu_i$ et de deux mesures : une mesure de possibilité $\prod \in [0,1]$ et une mesure de nécessité $N \in [0,1]$.

$$\forall p \in P, \qquad \begin{cases} \prod(p) < 1 & \Rightarrow N(p) = 0 \\ N(p) > 0 & \Rightarrow \prod(p) = 1 \end{cases}$$

Ce qui signifie qu'une proposition classique est toujours complètement possible avant d'être quelque peu nécessaire (certaine). La fonction d'appartenance peut servir d'outil pour représenter une distribution de possibilité. Ceci ne signifie pas qu'une fonction d'appartenance et une distribution de possibilité représentent le même concept **[Hadj-ali, 1996]**. En fait, la théorie des possibilités qui fournit des degrés compris entre 0 et 1 utilise aussi la notion de fonction d'appartenance mais pour modéliser cette fois non plus l'aspect graduel d'une classe, mais des états d'incertitude **[Berrah, 2002].**

Il faut rappeler que l'application de la théorie des probabilités a des situations de processus décisionnel notamment dans l'évaluation de la QEB a plusieurs limitations. Ces limitations résultent notamment du fait du nombre de données qui ne permet pas d'avoir une utilisation raisonnable de la loi de distribution.

D'ailleurs, la fusion d'informations consiste à combiner des informations issues de plusieurs sources afin d'améliorer la prise de décision **[Bloch, 2003]**. Autrement dit, la combinaison des données vise essentiellement à réduire l'incertitude sur l'information. En conséquence, dans notre étude, nous allons évaluer la crédibilité de l'évaluation. Cela revient au calcul de la compatibilité entre deux distributions de possibilité **[Zadeh, 1978].**

Tout l'intérêt de la théorie des possibilités s'exprime avec une gamme riche et variée d'opérateurs. L'idée générale derrière une approche possibiliste de la fusion d'informations est qu'il n'existe pas de mode unique de combinaison **[Barra, 2000] [Frenoux, 2004]**.

Il est intéressant d'exécuter quelques calculs simples pour appréhender le comportement des règles de fusion. Dans ce but, nous proposons deux expérimentations numériques : Une liste d'intersections basiques et la fusion de deux données variables.

Pour savoir comment déterminer le degré de compatibilité entre les fonctions d'imprécision des données et les fonctions de contrainte des connaissances théoriques, il faut faire ce rappel théorique :

Soit C la proposition élémentaire **Condition** (expérimentation théorique) et F la proposition élémentaire **Fait** (données du bâtiment), faisant références à la même variable *x* sur un domaine. Les deux propositions sont respectivement présentées par $\prod_C$ et $\prod_F$. En général, le degré de compatibilité d'une évaluation imprécise peut être estimé à l'aide de deux mesures scalaires **[Hadj-Ali, 1995][Dubois, 1985a]** :

$$\Pi(C,F) = \underset{x \in X}{Sup} \min(\mu_C(x), \mu_F(x)) = \Pi(F;C)$$

$$\mathrm{N(C,F)} = \underset{x \in X}{\inf} \max(\mu_C(x), 1-\mu_F(x)) = 1-\Pi(C^c, F)$$

qui sont respectivement la possibilité et la nécessité de l'événement flou *x* calculées à partir de la distribution de possibilité $\pi_i = \mu_i$.

$\prod(C, F) \in [0, 1]$ est appelé mesure de possibilité : Elle évalue à quel point il est possible que la valeur désignée par F soit compatible avec C. C'est le degré maximal avec lequel un élément peut appartenir à la fois à C et à F.

$N(C, F) \in [0, 1]$ est appelé mesure de nécessité : Elle estime à quel point il est certaine (nécessaire) que la valeur désigné par F soit parmi les valeurs compatibles avec C (Figure 44).

L'opération de combinaison entre deux sous-ensembles flous revient à rechercher les maillons les plus fiables de la chaîne puis à faire ressortir le plus plausible **[Hadj-Ali, 1995]**.

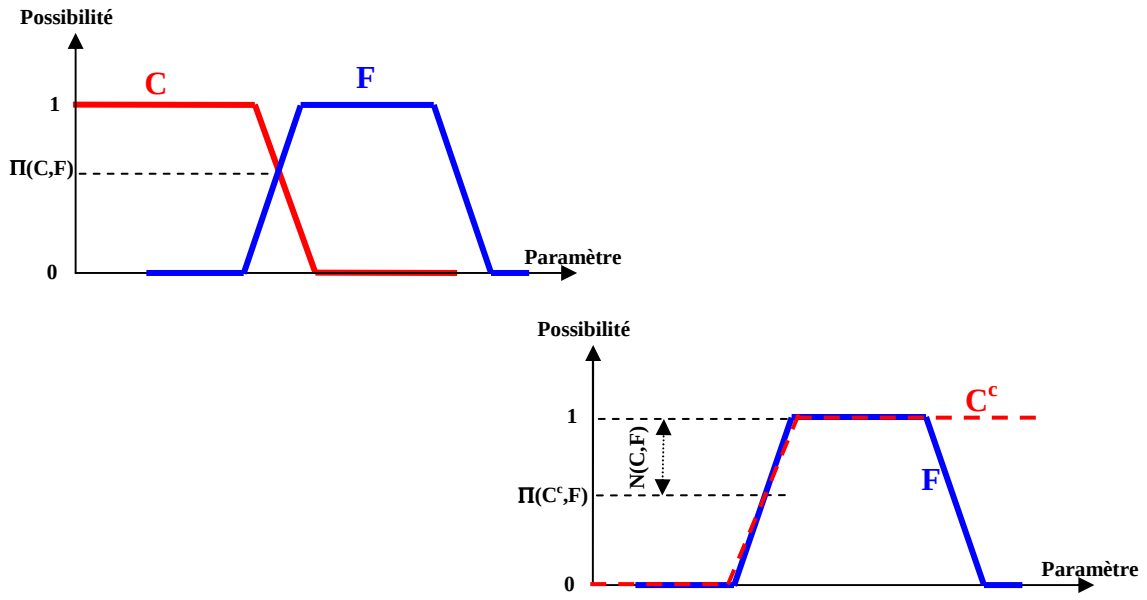


Figure 44 : Mesure de possibilité et mesure de nécessité

L'utilisation de l'opérateur $Sup_{\min}$ présente l'avantage majeur de produire une conclusion précise. Ainsi, de manière à obtenir une meilleure représentation du niveau de vérité de l'évaluation, chaque valeur du domaine de définition du paramètre étudié sera soumise au calcul du filtrage flou. Nous balayons l'axe des abscisses pour obtenir pour chaque abscisse un couple de points correspondant à l'intersection avec les deux distributions de possibilité (fonction d'imprécision et fonction de contrainte). L'ensemble de ces points forme une matrice à deux colonnes : La première colonne se rapporte à l'intersection avec la fonction de contrainte donnant le degré de vérité de l'évaluation. La seconde colonne est relative à l'intersection avec la fonction d'imprécision fournissant le niveau de possibilité correspondant **[Correc, 2005]**.

Afin de mieux comprendre comment obtenir cette matrice, nous montrons par la figure 45 la méthode pour obtenir cette matrice. En fait, la coupe A donne le couple I (1; 0,40) et la coupe B donne le couple II (0,7; 1). Ensuite l'ensemble des couples de points sert à tracer le graphique de la figure 46 qui représente les niveaux des possibilités en fonction des différents degrés de vérité de l'évaluation.

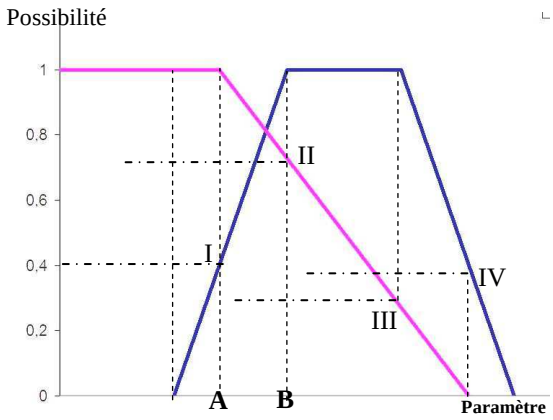


Figure 45 : Exemple de combinaison

Le graphique final résultant des intersections précédentes s'appellera ***le profil de compatibilité.*** Celui-ci représente les différents niveaux de vérité de l'évaluation avec les niveaux de possibilités correspondants. Concrètement, le degré de vérité le plus vraisemblable se situe entre 0,3 et 0,7 (où la possibilité =1).

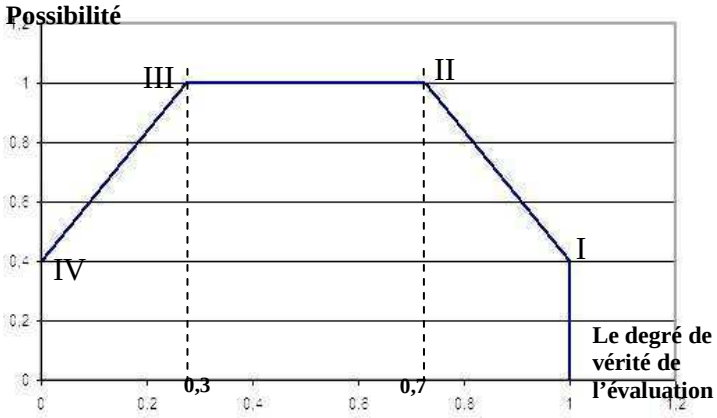


Figure 46 : Le profil de compatibilité

La lecture de ce profil de compatibilité indique que :

- Pour un degré de vérité de l'évaluation entre les points III et II, la possibilité pour que les données et l'objectif soient totalement compatibles est 1.
- Pour un degré de vérité de l'évaluation entre les points IV et III ou entre les point II et I, la possibilité est comprise respectivement entre 0,4 et 1. Cela signifie que la solution est partiellement compatible avec l'objectif.

En résumé, la théorie des possibilités nous permet de garder un lien sémantique entre les équations mathématiques et la réalité physique. Par ailleurs, mathématiquement, le principe de cette intersection donne lieu à 15 cas possibles (le tableau récapitulatif de tous ces cas d'intersections est annexé au mémoire : annexe IX). Nous présentons ci-dessous trois modèles (Tableau 15) correspondant à notre problématique.

Soit les trois fonctions de contraintes et d'imprécisions suivantes :

- **cas N°11** : fonction de contrainte du type « **inférieur à** », représenté par les trois couples de points (0 ; 1), (11 ; 1) et (18; 0) avec la fonction d'imprécision du modèle trapèze, représentée par les quatre couples des points (5 ; 0), (10 ; 1), (15 ; 1) et (20; 0).
- **cas N°12** : fonction de contrainte du type « **inférieur à** », représentée par les trois couples des points (0 ; 1), (11 ; 1) et (23; 0), avec la même fonction d'imprécision.
- **cas N°14** : ici, la fonction de contrainte représentée par les trois couples de (0 ; 1), (17 ; 1) et (23; 0) et toujours avec la même fonction d'imprécision.

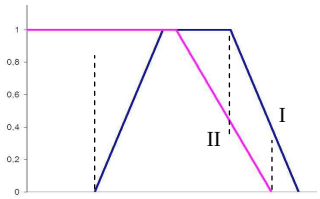
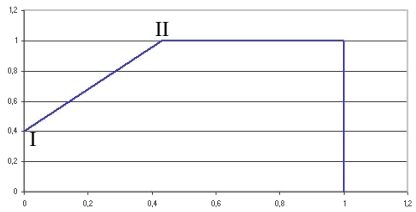
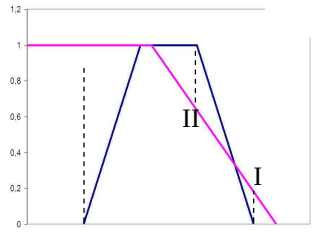
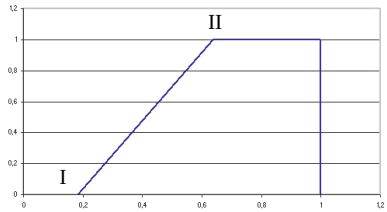
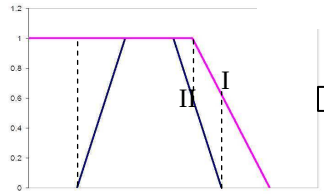
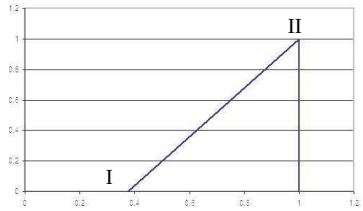
11		
12		
14		

Tableau 15 : Représenter de la compatibilité entre la fonction d'imprécision et la fonction de contrainte (des cas de fait)

Le premier cas de traitement d'incertitude est le plus simple car la condition est unique. Afin d'être présenté lisiblement, le résultat de compatibilité entre les deux distributions de possibilités va passer directement à la phase de défuzzification. Cette phase sera expliquée dans le paragraphe suivant.

V.2.2.3. <u>Évaluation du degré de vérité d'une proposition</u>

Le degré de vérité d'une proposition peut être vu comme une mesure de la conformité du contenu de cette proposition avec le contenu de notre connaissance de la réalité (qui peut être incomplète dans certain cas).

Le processus de défuzzification est important, parce qu'il peut traduire un sous-ensemble flou pour donner un nombre. Plusieurs méthodes de défuzzification sont proposées **[Saade et al., 2004][Lee, 2005]**:

1. le centre de gravité des surfaces (COG) : cette méthode prend en compte tous les résultats malgré quelques ambiguïtés. La méthode des centroïdes est de loin la meilleure. Elle consiste tout simplement à calculer le centre de gravité des surfaces (figure 47-1). Cette méthode est aussi la plus lourde en calcul. Elle représente réellement l'espérance mathématique au sens classique quand la fonction d'appartenance est normalisée au sens probabiliste **[Dubois, 2003]**. Bien que la méthode du centre de gravité donne la même valeur pour des sous-ensembles flous différents, cette méthode reste la plus utilisée,
2. la moyenne du maximum (mom) : l'inconvénient de la méthode de la moyenne des valeurs maximales de l'aire d'appartenance est qu'elle ne considère qu'une partie du sous-ensemble flou (figure 47-2),
3. le plus grand du maximum (som) : (figure 47-3),
4. le plus petit du maximum (figure 47-4).

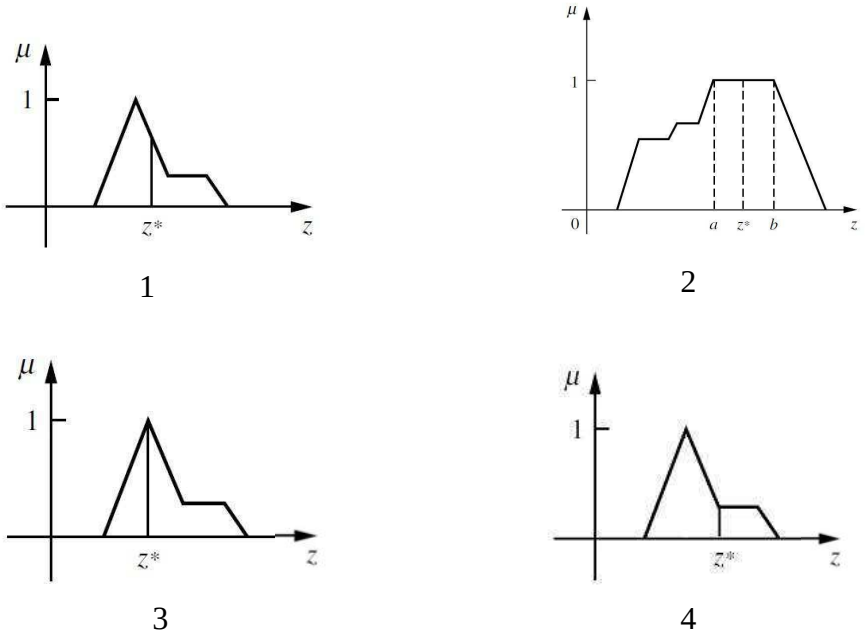


Figure 47 : Les différentes méthodes de défuzzification **[Ross, 2004]**

Bien évidemment, nous pouvons encore trouver d'autres méthodes qui nuanceraient le résultat. Mais l'essentiel est d'arriver à trouver une valeur cohérente par rapport à l'utilité que l'on cherche.

Mise à part la méthode de défuzzification la plus populaire qui est le calcul du centre de gravité, la méthode proposée par Dubois ce qui est le milieu des α-coupes semble être la façon la plus efficace parmi les autres méthodes **[Bonnal, 2004]**. En effet, les ensembles flous peuvent être décrits en utilisant efficacement un concept important appelé une α-coupe, concept permettant également de faciliter l'exécution des opérations des ensembles flous **[Ayyub, 2006].** Une α-coupe trouve la moyenne de n'importe quel intervalle flou comme dans l'équation suivante :

$$\text{La moyenne } E(A) = \frac{1}{2}\int_0^1 (a\alpha + b\alpha)d\alpha$$

Cette proposition est basée sur la méthode expliquée par **[Yager, 1981]**. La figure 48 montre le principe de cette méthode.

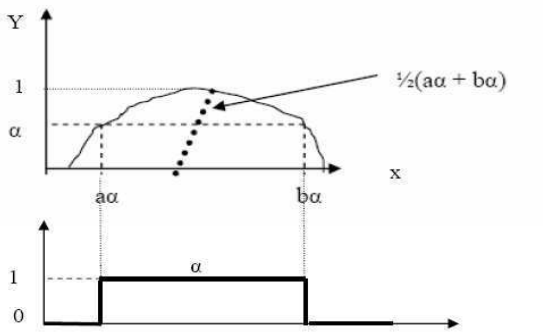
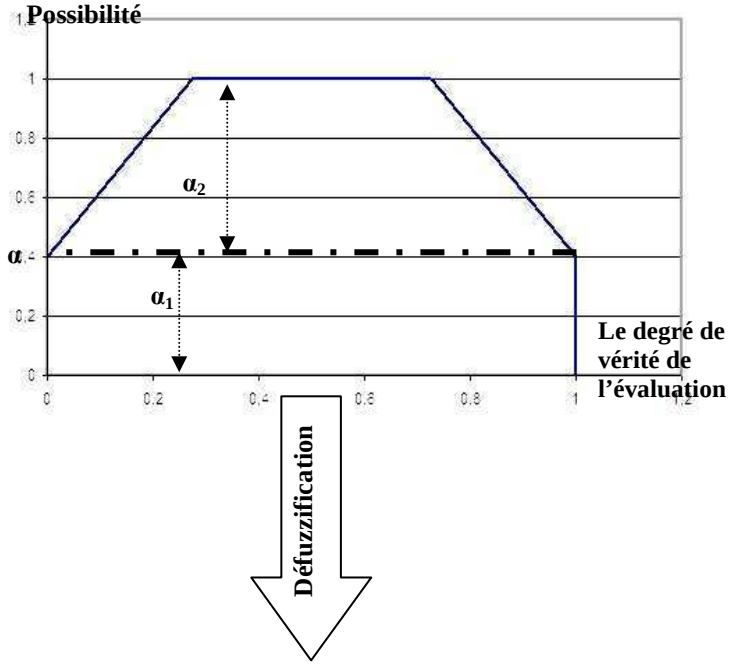


Figure 48 : Le milieu de α-coupes

Dans la figure ci-dessous, la ligne brisée représente la valeur de la moyenne pour chaque valeur du paramètre étudié qui a un degré de possibilité. Par conséquent, la valeur de la moyenne de ce sous-ensemble flou est égale à la surface entre cette ligne et l'axe Y Avec l'avantage de la linéarité, cette méthode ajoute à n'importe quel intervalle flou une quantité obtenue du milieu des segments produits par les α-coupes.



$$E(A) = \int_0^{\alpha_{\max}} M(A)d\alpha = \int_0^{0,4} M(A_{\alpha_1})d\alpha + \int_{0,4}^{1} M(A_{\alpha_2})d\alpha = 0,5$$

$$Où : M(A_{\alpha_i}) = \tfrac{1}{2}(a\alpha + b\alpha)$$

Figure 49 : Application du milieu α-coupe sur l'exemple d'illustration

L'application de cette méthode de défuzzification sur notre exemple présenté dans la figure48, donnera une valeur numérique (0,5 ici) qui sera attribuée à la crédibilité. Nous nous apercevons dans cet exemple, que le degré de crédibilité est moyen. A partir de ce résultat, notre recherche considère que l'évaluation du niveau de performance attribué à cette sous-cible n'est pas suffisamment crédible en raison de la qualité insuffisante des données. Par conséquent, un contrôle des paramètres doit être entrepris afin d'améliorer la qualité de ces informations.

V.2.3. La démarche du traitement des paramètres qualitatifs :

Le raisonnement qualitatif comprend tout ce qui est relatif à une description non numérique d'un système **[Monet, 1999]**. Les modèles qualitatifs ont pour objectif de déterminer les aspects fondamentaux d'un système ou mécanisme, tout en supprimant le détail. Des principes tels que l'abstraction et l'approximation sont fréquemment utilisés pour construire

des modèles basés plus sur les aspects qualitatifs que sur les aspects numériques d'un système **[Monet, 1999]**.

Le raisonnement qualitatif et la simulation qualitative permettent de « comprendre, expliquer un comportement observé et prévoir le future » sans connaître précisément les règles mathématiques qui régissent les phénomènes. Ainsi, à partir d'une description physique d'un système, nous déduisons et expliquons son comportement, nous recherchons tous les modes de fonctionnement et dysfonctionnement. **[Lair, 2000]**.

La figure 50 permet de situer l'étape (B) au cœur du dispositif :

1. Modélisation des paramètres qualitatifs :

Dans le monde classique, certaines caractéristiques sont de type booléen, telle que la présence d'une réglementation (oui ou non) **[Bussemey-Buhe, 1997]**. Ces caractéristiques sont la plupart de temps techniques dans le domaine de bâtiment, notamment dans la certification NF Bâtiments Tertiaires-Démarche HQE®. Dans cette dernière ces caractéristiques sont présentées par le mot (atteint ou non atteint). En revanche, dans le monde flou, les paramètres qualitatifs ordinaux peuvent être utilisés pour exprimer une nuance entre les deux réponses oui ou non.

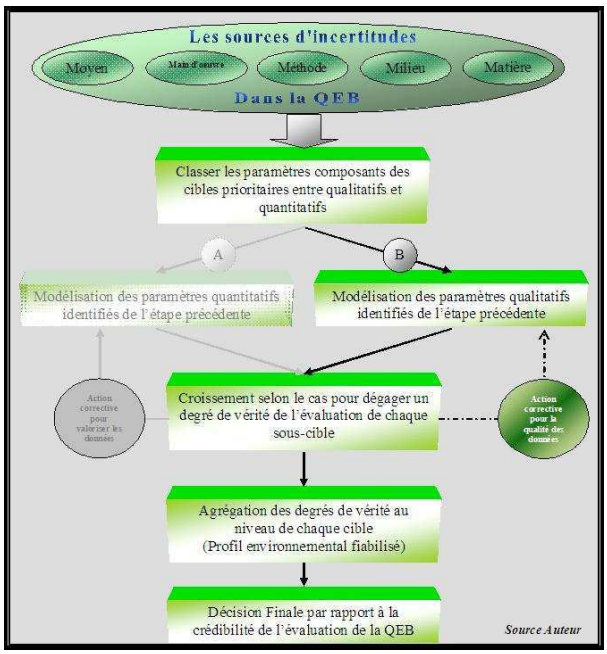


Figure 50 : La démarche globale **(Schéma B)**

L'estimation des paramètres qualitatifs ne peut pas se faire d'une manière identique aux paramètres quantitatifs. En fait, pour chaque paramètre qualitatif, il y a une question de type : la présence de telles dispositions est-elle sûre ou pas ? La réponse peut alors être « oui », « non » ou « peut–être ». Mais les réponses « Oui » et « Non » sont des réponses déterministes sans incertitudes, au contraire de la réponse « Peut-être » qui introduit une incertitude. Pour un bâtiment, les résultats de l'évaluation de la performance suivent la

logique des données. Donc, quand ces données sont de nature qualitative, alors les différentes réponses proposées sont aussi de nature qualitative pour le niveau de la vérité de l'évaluation.

2. **Croisement selon le cas pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation de chaque sous-cible**

Quant aux paramètres qualitatifs, nous obtenons le degré de vérité de l'évaluation par la construction de tableaux linguistiques qui permettent, en profitant de règles de combinaison qualitatifs, de faire la fusion qualitative. Cette fusion a pour objectif d'évaluer la compatibilité d'un paramètre flou en respectant l'autre **[Dubois, 1987] [Zadeh, 1978]**.

3. **Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)**

Comme nous avons cité précédemment, le degré de vérité final d'une cible, vient d'une agrégation de tous les degrés de vérité partiels des sous-cibles composant cette cible (Figure 3). Nous adoptons dans notre méthode trois niveaux attribuées au degré de vérité de l'évaluation : **fort**, **moyen** et **faible**.

V.2.4. Le traitement des paramètres qualitatifs

V.2.4.1. La façon de modéliser des paramètres qualitatifs identifiés dans notre étude:

Dans le cadre de la théorie des possibilités, l'idée de présenter les paramètres qualitatifs est simple. Il s'agit de demander au décideur d'exprimer linguistiquement le niveau de l'évaluation de performance puis de projeter ces niveaux sur l'intervalle [0,1] **[Dubois, 1985a]**. Ainsi, il n'y aura pas de valeur numérique en réponse aux questions posées, mais simplement deux ou trois choix possibles, qui vont avoir chacun un degré de possibilité.

Selon **[Dubois, 1985a]**, en présence d'un manque d'information, on ne peut plus répondre par oui ou par non à la question. Mais on peut évaluer la possibilité et la nécessité que la réponse soit oui. La possibilité que la réponse soit non est le complément à 1 de la nécessité que la réponse soit oui. De ce fait, la personne qui donne ces degrés de possibilité doit avoir des compétences dans le domaine de la QEB afin de renseigner le questionnaire mis au point. Sinon, il pourra se faire aider par plusieurs acteurs de ce bâtiment, qui l'orienteront dans sa recherche.

Les cas qui peuvent se représenter au moment de l'acquisition des réponses aux questions posées par rapport à la présence de certaines caractéristiques techniques sont :

1. l'information n'est pas accessible : alors, toutes les possibilités sont égales à 1,
2. l'information est accessible, mais partiellement : cette information permet de trancher sur les possibilités à attribuer.

Les trois degrés de possibilité peuvent se présenter pour la réponse à la question posée. Il faut noter que dans le domaine de la HQE®, un expert peut donner les possibilités correspondant aux degrés de vérité (faible, moyen et fort) en fonction de ses connaissances. La valeur *x* sera la certitude que l'expert peut apporter à la présence des dispositions demandées. Avoir un bon degré de vérité de l'évaluation de la performance d'un bâtiment dépend de la présence de toutes les dispositions demandées pour cette évaluation. Il est à noter que dans ce cas, au moins une réponse doit avoir un degré de possibilité égale à 1, c'est-à-dire qu'au moins une situation est possible **[Correc, 2005]**.

Mais la présentation de l'évaluation des paramètres qualitatifs de cette façon ne sera pas suffisante car nous aurons besoin de combiner le résultat de l'évaluation quantitative avec une évaluation qualitative. La présentation de trois degrés de vérité de l'évaluation avec trois possibilités (fort, moyen et faible) va nous aider à faire le passage entre les deux types de traitement. Ces degrés de vérité vont nous aider aussi à faire la combinaison quand deux paramètres qualitatifs seront évalués en même temps pour donner une évaluation à une préoccupation.

La présentation finale du degré de vérité sera qualitative. Cela veut dire que le degré de possibilité attribué va aider seulement à choisir entre les trois niveaux de vérité. En général, le degré choisi est le degré qui a la possibilité la plus élevée. Comme nous l'avons indiqué précédemment, les paramètres qualitatifs seront présentés à l'aide des règles dans un tableau (Tableau 16) :

Question posée	Réponse	La certitude de cette présence	La possibilité de l'évaluation
La présence des dispositions est-elle suffisante et justifiée?	Non	0	Π (vérité faible) =0
	Peut-être pas totalement	0	Π (vérité moyenne) =0
	Oui	1	Π (vérité forte) =1
	Non	1	Π (vérité faible) =1
	Peut-être pas totalement	0	Π (vérité moyenne) =0
	Oui	0	Π (vérité forte) =0
	Non	0	Π (vérité faible) =1-*x*
	Peut-être pas totalement	*x*	Π (vérité moyenne) =1-*x*
	Oui	1-*x*	Π (vérité forte) =1

Tableau 16 : Les possibilités des niveaux de vérité d'une évaluation avec un paramètre qualitatif

Pour le cas de réponse (peut-être pas totalement), la certitude que x est la satisfaction d'un fort degré de vérité donne dans la théorie des possibilités que Π (degré de vérité faible) =1-x car :

$$Si\ N\ (A) \geq x \Rightarrow \Pi\ (A) = 1,\ \Pi\ (A^c) \leq 1-x$$

Dans la certification, il y a beaucoup d'exemples qui correspondent à ce cas. La partie suivante contiendra des explications détaillées sur la présentation d'un paramètre qualitatif. La forme de présentation sera toujours comme dans le tableau 16.

V.2.4.2. la combinaison entre les paramètres qualitatifs pour obtenir un degré de vérité de l'évaluation :

Quand deux paramètres qualitatifs sont présentés dans la même préoccupation, alors une agrégation sera demandée de leurs degrés de vérité pour donner le degré de vérité total de la préoccupation. En général, les conditions de ces paramètres sont de type « la présence de telle disposition est justifiée ou pas ». Pour arriver à établir le lien entre les deux évaluations concernant les paramètres, une définition de trois niveaux de vérité devient nécessaire.

L'agrégation des degrés de vérité de l'évaluation qualitatifs passe par la construction de tableaux linguistiques. Ces tableaux ont pour vocation de fusionner ces degrés entre eux à partir de règles de combinaison. Ces dernières sont établies et regroupées par des experts dans le tableau symbolique d'inférence qui est le siège du raisonnement. En effet, les règles jouent un rôle important pour connaître les corrélations entre les informations concernant les deux paramètres et leurs effets sur le degré de vérité recherché. Le tableau 17 montre un exemple d'un groupe de règles de combinaison :

		Paramètres 2		
		Degré de vérité faible	Degré de vérité moyen	Degré de vérité forte
Paramètres 1	Degré de vérité faible	Faible	Faible	Moyen
	Degré de vérité moyen	Faible	Moyen	Moyen
	Degré de vérité forte	Moyen	Moyen	Fort

Tableau 17 : Exemple d'un groupe de regèles de combinaison

La création d'un tel système d'inférence linguistique permet de garder les mesures de confiance des entrées sur les résultats. L'idée est d'utiliser un système d'inférence flou, pour combiner les données du bâtiment et les connaissances théoriques autant quantitatives que qualitatives. Un système d'inférence flou sert à modéliser le procédé d'expertises humaines basé sur des règles linguistiques **[Dubois, 1996]**.

À partir de notre exemple proposé par le tableau 17 il est nécessaire d'étudier les diverses combinaisons rencontrées :

- Si le degré de vérité de deux évaluations est **Faible**, alors le degré de vérité de la préoccupation est **Faible**,
- Si le degré de vérité d'une évaluation est **Faible**, et l'autre est **Moyen**, alors le degré de vérité de la préoccupation est **Faible**,
- Si le degré de vérité de deux évaluations est **Moyen**, alors le degré de vérité de la préoccupation est **Moyen**,

- Si le degré de vérité d'une évaluation est **Faible**, et l'autre est **Fort**, alors le degré de vérité de la préoccupation est **Moyen**,
- Si le degré de vérité d'une évaluation est **Moyen**, et l'autre est **Fort**, alors le degré de vérité de la préoccupation est **Moyen**,
- Si le degré de vérité d'une évaluation est **Fort**, et l'autre est **Fort**, alors le degré de vérité de la préoccupation est **Fort**,

Pour bien comprendre le fonctionnement de la combinaison dans ce tableau, nous illustrons ce dernier en ajoutant des valeurs fictives (Tableau 18). Ces chiffres ajoutés sont les possibilités des différents niveaux de vérité. Lorsque les entrées du tableau sont connues, nous pouvons calculer le résultat en sortie par le biais des combinaisons proposées.

		Paramètres 2		
		Degré de vérité faible **0.1**	Degré de vérité moyen **1**	Degré de vérité forte **0.3**
Paramètres 1	Degré de vérité faible **0**	Faible	Faible	Moyen
	Degré de vérité moyen **0.4**	Faible	Moyen	Moyen
	Degré de vérité forte **1**	Moyen	Moyen	Fort

Tableau 18 : Un exemple de l'utilisation d'un opérateur *Sup min*

Le traitement est réalisé grâce à l'opérateur « le supérieur du minimum ». Cet opérateur retient, en quelques sortes, le maillon le plus plausible parmi les maillons les moins plausibles dans les comparaisons des degrés de vérité prises deux à deux.

Π(*Faible*) = Sup [min (0, 0.1), (0, 1), (0.4, 0.1)] = Sup (0, 0, 0.1) = 0.1

Π(*Moyen*) = Sup [min (0, 0.3), (0.4, 1), (0.4, 0.3), (1,0.1), (1,1)] = Sup (0, 0.4, 0.3, 0.1, 1) = 1

Π(*Fort*) = Sup [min (1, 0.3)] = 0.3

Nous pouvons conclure de ce calcul que le degré de vérité le plus plausible est le degré « **Moyen** », ce qui est tout à fait logique. Ce calcul est un calcul intermédiaire, le même procédé étant utilisé pour l'agrégation de tous les paramètres qualitatifs issus dans le

processus d'évaluation. Par conséquent, le degré de vérité final va juger l'évaluation de la préoccupation en fonction des degrés attribués à chaque niveau.

V.2.4.3. Agrégation des degrés de vérité au niveau de chaque cible (Profil environnemental fiabilisé)

Dans cette étape nous attribuons un degré de vérité final au niveau de chaque cible. A partir du résultat obtenu dans l'étape précédente, et selon la signification de degré de vérité adoptée dans notre étude, le degré de vérité « **Moyen »** indique qu'un contrôle de ces paramètres doit être entrepris.

En effet, le degré de vérité final d'une cible vient d'une agrégation de tous les degrés de vérités partiels des sous-cibles composant cette cible. Pour avoir un degré de vérité élevé pour une cible étudiée, il faut donc obtenir au préalable un degré de vérité élevé pour chacune de ses sous-cibles.

V.3. Les outils proposés dans cette recherche :

Dans cette partie, nous appliquerons la méthodologie proposée dans notre recherche aux paramètres qui font partie de notre questionnaire. Les exemples seront appliqués sur les paramètres de la « La Bibliothèque Universitaire Centrale de Marne La Vallée » (BUMLV).

L'Université de Marne-la-Vallée est un Établissement Public à caractère Culturel, Scientifique et Professionnel. Elle prend une nouvelle dénomination en 2007 et devient Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEMLV), suite à la création du PRES Université Paris-Est dont elle est membre fondateur. Le siège social de UPEMLV se situe sur la Cité Descartes, à Champs-sur-Marne à 15 Kms de Paris, et l'Université est également localisée à Meaux et Serris. Les 13 bâtiments composant le patrimoine de l'Université totalisent une surface d'environ 83 800 m² et sont à vocation pédagogique, scientifique et administrative[10] (Figure 51).

Figure 51 : L'Université PEMLV se située sur la cité Descartes

[10] http://www.univ-mlv.fr/

La BUMLV est organisée en Service Commun de Documentation (SCD), avec notamment une gestion centralisée des acquisitions documentaires et de leur traitement. Elle offre l'accès à des ressources électroniques disponibles sur le réseau local : banques de données bibliographiques et ressources en texte intégrale[11]. Elle gère 11 salles de lecteur, de surfaces très inégales comprises entre 45 m^2 et 1000 m^2. Ces salles ont été aménagées dans les bâtiments d'enseignement et de recherche en fonction de la place disponible et sans réelle prise en compte des besoins documentaires, des attentes des lecteurs et de celles des bibliothécaires.

La nouvelle Bibliothèque Centrale de l'Université Paris-Est Marne-La-Vallée devra pouvoir s'adapter aux évolutions des collections, des techniques de l'information et de la communication, des usages documentaires, des modes de travail. Ceci suppose qu'elle soit particulièrement flexible et adaptable, tant du point de vue spatial que technique : vaste plateaux sans porteurs intermédiaires, espaces de forme rectangulaire, réseaux de courants forts et fiables judicieusement conçus **[UMLV, 2008]**. Les points essentiels en ce qui concerne la certification et les cibles sont détaillés dans l'annexe VII.

V.3.1. L'outil N°1 pour traiter une préoccupation avec un paramètre quantitatif imprécis :

Pour certaines préoccupations, nous avons besoin de respecter une seule condition afin d'avoir une évaluation (Base, Performant ou Très Performant). Dans ce cas, le traitement de l'incertitude s'effectuera à l'aide de l'outil N°1.

Nous montrons ici un exemple sur le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment $\mathbf{U_{bât}}$. Comme nous l'avons indiqué dans notre analyse du chapitre IV, ce paramètre a été remplacé par le coefficient **Bbio** (le besoin bioclimatique) dans la nouvelle réglementation thermique 2012. Nous avons retenu ce paramètre car toutes les opérations qui ont eu le certificat HQE®, dont la BUMLV, ont été certifiées dans le cadre de la réglementation thermique 2005 qui considère ce paramètre $\mathbf{U_{bât}}$.

Améliorer l'aptitude de l'enveloppe à limiter les déperditions constitue une sous-cible de la cible numéro 4 (gestion d'énergie). Dans cette préoccupation (4.1.1), un critère compare le coefficient $U_{bât}$ (W / m^2. K), coefficient moyen de déperdition par l'enveloppe du bâtiment

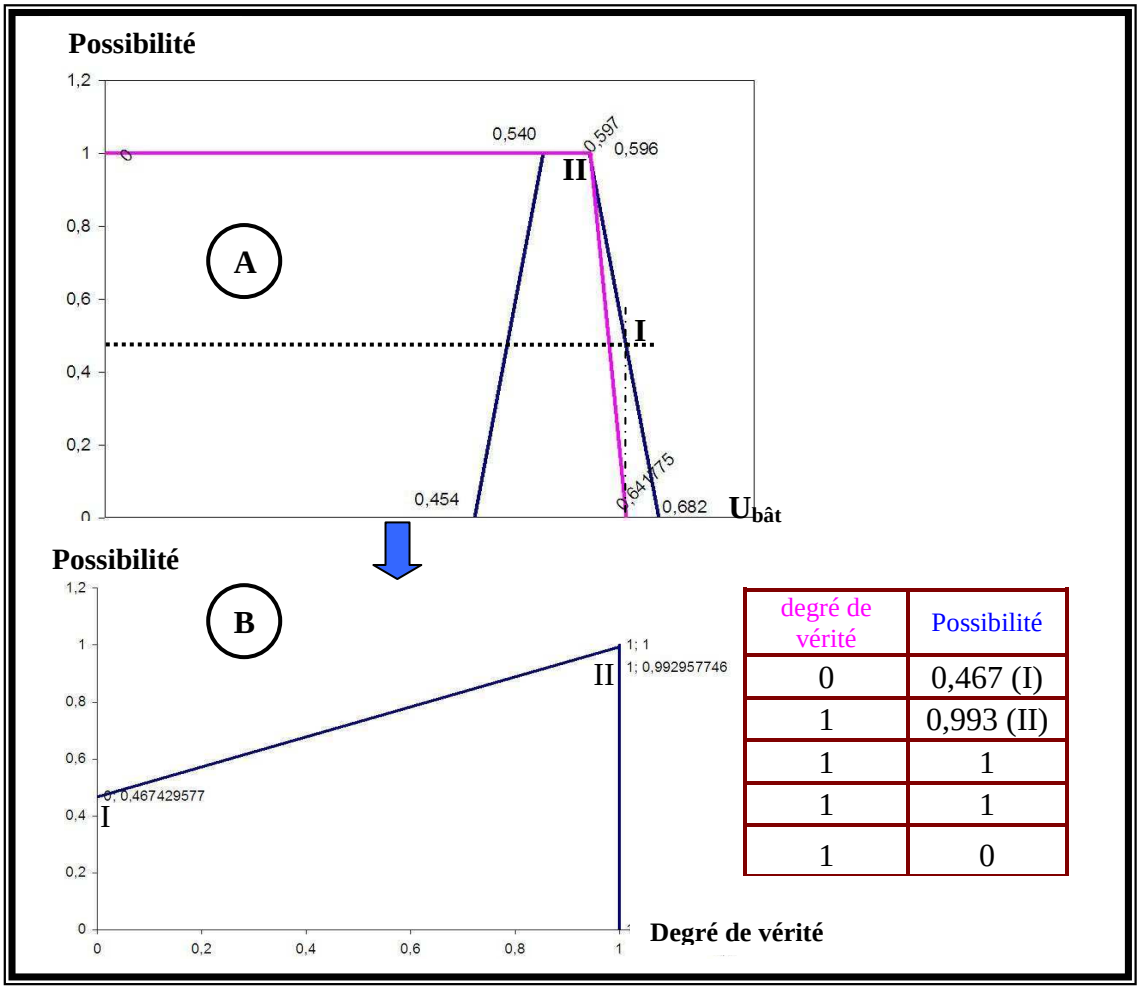
[11] http://www.univ-mlv.fr/bibliotheque-centrale/

calculé selon le RT2005 par la méthode TH-CE, à une référence estimée $U_{bât\ base}$. Si $U_{bât} < U_{bât\ base}$, alors le résultat de l'évaluation de cette préoccupation est "Performant". Cette évaluation sera incluse dans l'évaluation de la cible finale.

La modélisation de ce paramètre et de la fonction de contrainte $U_{bât\ base}$, a été élaborée grâce à la théorie des possibilités. Les résultats donnés par le calcul sont les suivants :

- Le $U_{bât}$ = **0.568** W / m^2. K
- Le $U_{bât\ base}$ = **0.597** W / m^2. K

En tenant compte des résultats issus de l'analyse du questionnaire, la modélisation de ce paramètre $U_{bât}$ sera faite avec ± 5% et ± 20% pour les valeurs minimum et maximum respectivement à travers la fonction de possibilité. La modélisation de la fonction de contrainte $U_{bât\ base}$ sera faite quant à elle avec une tolérance de +7.5 %. (Figure 52-A).



degré de vérité	Possibilité
0	0,467 (I)
1	0,993 (II)
1	1
1	1
1	0

Figure 52 : L'application de l'outil 1

Dans l'exemple montré sur la figure 52-A, la fonction de contrainte (en rose) indique que les valeurs d'$U_{bât}$ de moins de 0.597 donneront une crédibilité maximale, et les valeurs supérieures à 0.642 ne mèneraient à aucune crédibilité. Par ailleurs, la crédibilité théorique entre 0.597 et 0.642 diminue linéairement. Chaque valeur corrèle avec un niveau de crédibilité et avec un niveau de possibilité comme le montre la figure 52-A.

A titre exemple, la valeur 0.642 corrèle avec le niveau de vérité 0 et le degré de possibilité 0.467 ; ce point (I) est représenté sur le résultat de la combinaison (figure 52-B). Toutes les valeurs d'$U_{bât}$ sont étudiées et tous les couples de points sont transférés sur ce diagramme final. Ce sous-ensemble flou montre la possibilité de chaque niveau de vérité pour ce paramètre.

L'application de la méthode de défuzzification (le milieu des α- coupes), adoptée pour notre étude, donnera la valeur 0.8685. Par conséquent, nous considérons que la crédibilité de l'évaluation dans cet exemple est élevée. C'est-à-dire que l'évaluation du coefficient moyen de diminution par l'enveloppe du bâtiment $\mathbf{U_{bât}}$ est presque parfaite. Ce degré de vérité de l'évaluation est présenté dans la grille d'évaluation de la sous-cible comme dans le tableau 19.

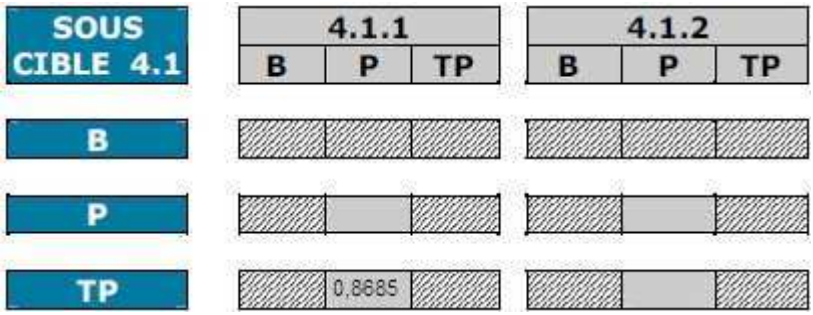


Tableau 19 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 4.1.1 dans la certification

On rappellera ici que l'évaluation de la performance de la cible 4 résulte de l'agrégation des performances des sous-cibles, lesquelles sont obtenues par l'agrégation des performances des préoccupations déterminées en fonction de critères d'évaluation (tableau 20).

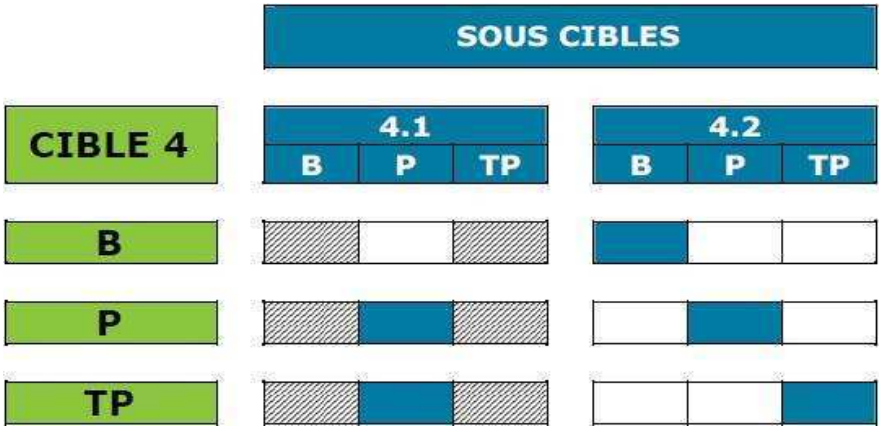


Tableau 20 : La combinaison entre les sous-cibles

Le tableau 20 indique que il n'y qu'un seul niveau de performance possible (P) pour la combinaison de la sous-cible 4.1. Par ailleurs, une case hachurée signifie que la préoccupation ou la sous-cible ne peut pas atteindre le niveau de performance correspondant car celui-ci n'est pas défini. Pour être « Performant » au niveau de cette cible, il faut donc avoir la combinaison de performances suivantes : (4.1 P) et (4.2 P). Pour atteindre le niveau TP, il faut avoir la combinaison (4.1 P) et (4.2 TP).

Dans notre cas, puisque l'évaluation de la cible 4 a été faite au niveau TP, la sous-cible 4.1 participera alors dans l'évaluation avec un niveau P mais dans la case située au regard de l'évaluation de niveau TP de la cible 4 (tableau 19).

On applique la même méthode de travail aux autres préoccupations qui n'ont qu'un seul paramètre quantitatif imprécis, plus précisément les éléments (I4, $C_{ep,}$ $Qn_{eq\text{-}Co2}$, $Qn_{eq\text{-}So2}$, CC) qui font l'objet de notre étude. Les résultats de ce traitement seront montrés dans l'annexe XI.

V.3.2. L'outil N°2 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres quantitatifs imprécis :

Pour certaines préoccupations, nous avons besoin de respecter plusieurs conditions afin d'avoir une évaluation (Base, Performant ou Très Performant). L'évaluation doit alors être fait pour préoccupation. Chaque paramètre doit donc avoir un traitement de l'incertitude. Le traitement de l'incertitude dans ce type de préoccupation s'effectuera à l'aide de l'outil N°2 : les deux traitements vont donner deux degrés de vérité.

Nous appliquerons l'outil N°2 sur l'une des sous-cibles de la cible 10 « **CONFORT VISUEL** », plus précisément sur la préoccupation 10.2.4 du référentiel appliqué (version 2006) pour les phases Programme et Conception. Il s'agit d'assurer des températures de couleur T_c et des indices de rendu des couleurs IRC adaptés aux activités des locaux. L'évaluation « Base » est atteinte lorsque les deux conditions $T_c \geq 3000$ k et IRC ≥ 80 sont satisfaites simultanément. T_c est l'indice de la température de couleurs et IRC (Indice de Rendu des Couleurs) est la capacité d'une lampe à restituer correctement les couleurs présentes dans l'environnement.

Il faut noter que l'évaluation de cette préoccupation doit être toujours « Base ». Ce sont les autres préoccupations qui changent l'évaluation finale de la sous-cible. Mais cette préoccupation reste importante car si elle n'est pas classée « Base », l'évaluation finale (Base, P et TP) ne peut être satisfaite **[Essa, 2007]**.

Pour présenter le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation, nous devons effectuer deux fois le traitement de l'outil N°1. Par la suite, on procède à une agrégation de deux niveaux de vérité issus. Cette agrégation sera faite en utilisant l'opérateur min.

V.3.2.1. La température des couleurs T_c :

La température de couleur caractérise la couleur apparente de la lumière émise par une source. Elle est exprimée en degrés Kelvin. Cette notion renseigne l'ambiance d'un espace éclairé : Plus la température de couleur est basse, plus la lumière émise est chaude, et plus la température de couleur est élevée, plus la lumière est froide (figure 53):

- 6500K : Lumière très froide, lumière d'hôpital,
- 4000K : Lumière blanche,
- 3000K : Lumière blanche et chaude,
- 2700K : Lumière chaude, éclairage de maison,
- mois de 2700K : lumière dorée.

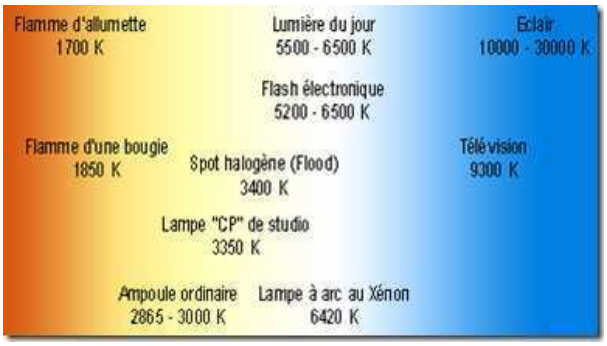


Figure 53 : Les gammes de température des couleurs

Le choix de l'appartenance colorée dépend des couleurs du local et de son ambiance. La couleur de la lumière artificielle a une action directe sur la sensation de confort de l'ambiance lumineuse d'un espace.

Une lumière de couleur "chaude" est composée majoritairement de radiations rouges et orange. C'est le cas des lampes à incandescence normales. Les tubes fluorescents standards génèrent une lumière "froide" composée principalement de radiations violettes et bleues. La figure 54 illustre la variation de la sensation de confort de l'ambiance lumineuse d'un local en fonction du niveau d'éclairement qui lui est fourni.

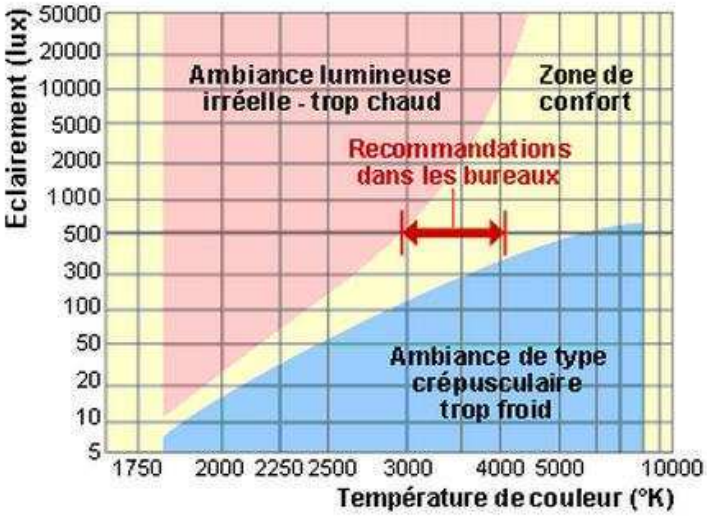


Figure 54 : Le confort de l'ambiance lumineuse[3]

Il est clair que plus une couleur est chaude visuellement, plus sa température (en degré Kelvin) est faible. De plus, les couleurs chaudes (rouge, orange) des objets sont plus agréables lorsqu'elles sont éclairées par une lumière chaude plutôt que par une lumière froide, mais par contre la lumière chaude tend à noircir les couleurs froides (bleu, violet). Les couleurs intermédiaires (jaune, vert) ont, de même que le blanc, un effet tonique et favorable à la concentration. Les couleurs foncées et le gris ont par contre une action déprimante. Enfin, les couleurs peuvent contribuer dans une large mesure à modifier la dimension apparente des surfaces et des volumes. Les couleurs chaudes seront de préférence utilisées dans des locaux de grandes

dimensions tandis que les couleurs froides seront choisies pour les locaux de dimensions réduites[12].

Dans le cadre de notre étude, la modélisation de l'imprécision de ce paramètre et la contrainte imposée sur ce paramètre par la condition $T_c \geq 3000k$ sont présentées dans la figure 55.

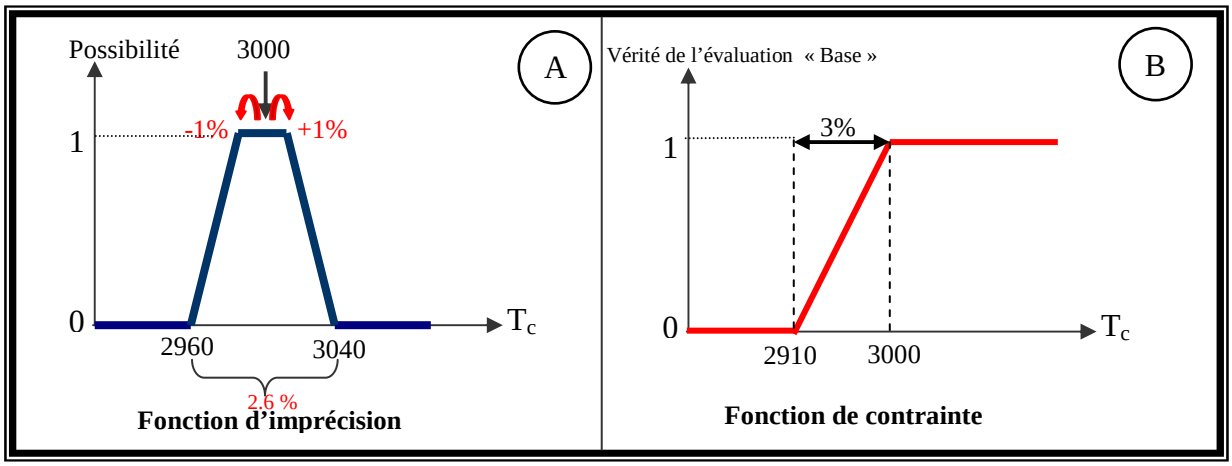
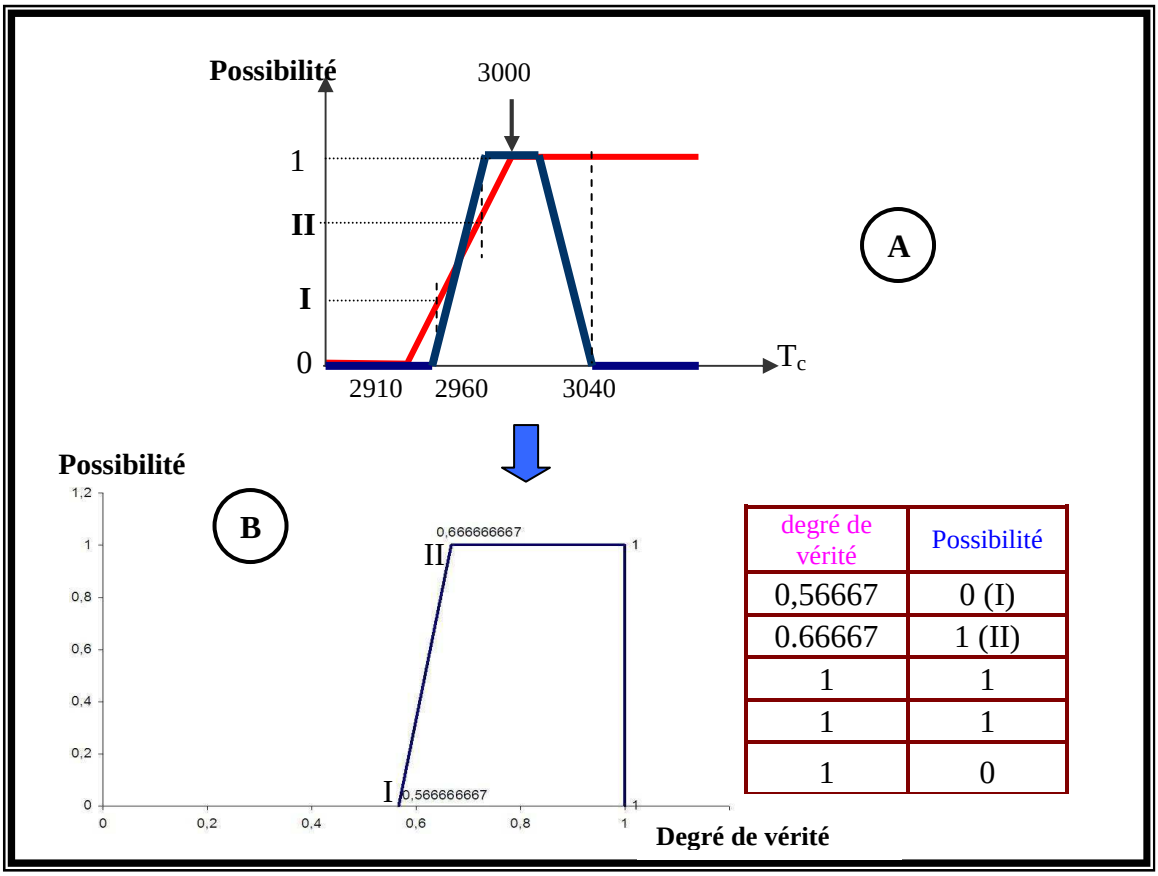


Figure 55 : Les fonctions d'imprécision et de contrainte pour le paramètre T_c

La modélisation montrée dans la figure 55 a été réalisée en s'appuyant sur les résultats obtenus par le travail précédent qui avait lieu dans notre laboratoire **[Essa, 2007]**.

La figure 55-B indique qu'une valeur supérieure à 3000 k donne un degré de vérité de l'évaluation proposé égal à 1. Les valeurs inférieures à 2910 k donnent un degré de vérité nul. L'intervalle [2910, 3000] décrit un degré de vérité croissant progressivement avec l'augmentation de la valeur de la température de couleur T_c. la combinaison des deux distributions de possibilités donne le profil de compatibilité vu dans la figure 56.

[12] http://www.energieplus-lesite.be



degré de vérité	Possibilité
0,56667	0 (I)
0.66667	1 (II)
1	1
1	1
1	0

Figure 56 : Le degré de vérité de l'évaluation en fonction de T_c

Le résultat de ce filtrage flou ne sera pas défuzzifié tout de suite car il faut le combiner avec le résultat de l'autre condition afin de donner un degré de vérité à l'évaluation de la préoccupation entière. Le traitement de la deuxième condition dans cette préoccupation (IRC ≥ 80) avec la théorie des possibilités se fera de la même façon.

V.3.2.2. L'Indice de Rendu des Couleurs IRC :

L'indice de rendu des couleurs permet de quantifier la "qualité" de la lumière blanche, c'est à dire, la capacité d'une source lumineuse à restituer correctement les couleurs présentes dans l'environnement.

L'aptitude de toute source d'éclairage donnée à représenter les couleurs en objets est son indice de rendu des couleurs ou IRC. Il est fondé sur une mesure relative qui cote la valeur de IRC des différentes sources d'éclairage sur une échelle de 0 à 100. Plus l'IRC est élevé, plus les couleurs semblent naturelles. Les lampes ayant de très bonnes (IRC de 70 à 80) et

d'excellentes (IRC de 80+) propriétés de rendu des couleurs sont acceptées comme fournissant un «éclairage de haute qualité» parce que les objets et les personnes éclairés semblent plus naturels. De plus, l'intensité lumineuse est perçue comme étant plus élevée[13] (Figure 57).

Dans notre cas d'étude, les lampes utilisées répondent à l'exigence suivante : IRC≥80. La valeur de IRC est 85 pour la plupart des locaux.

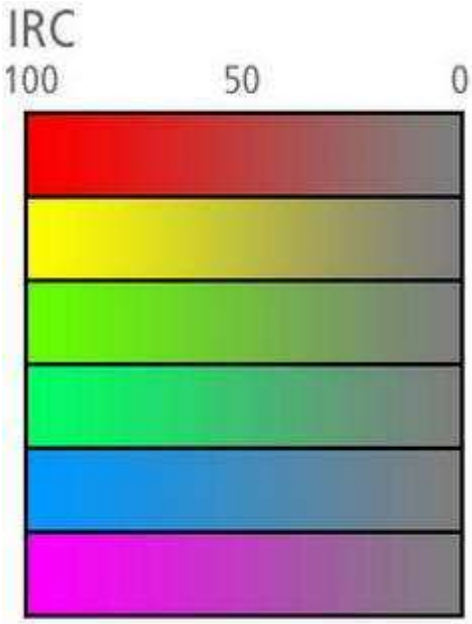


Figure 57 : Les valeurs de IRC pour plusieurs types de lampes [14]

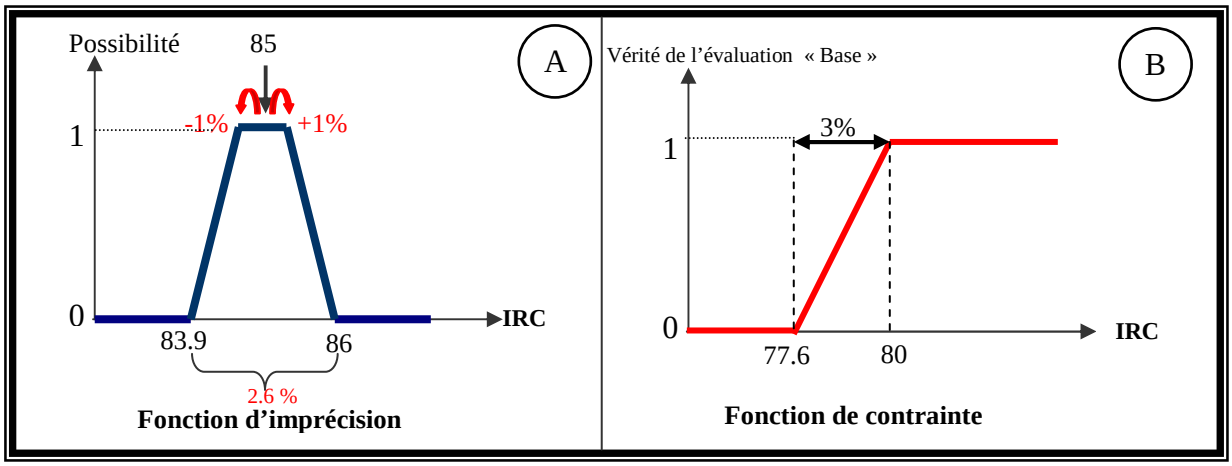
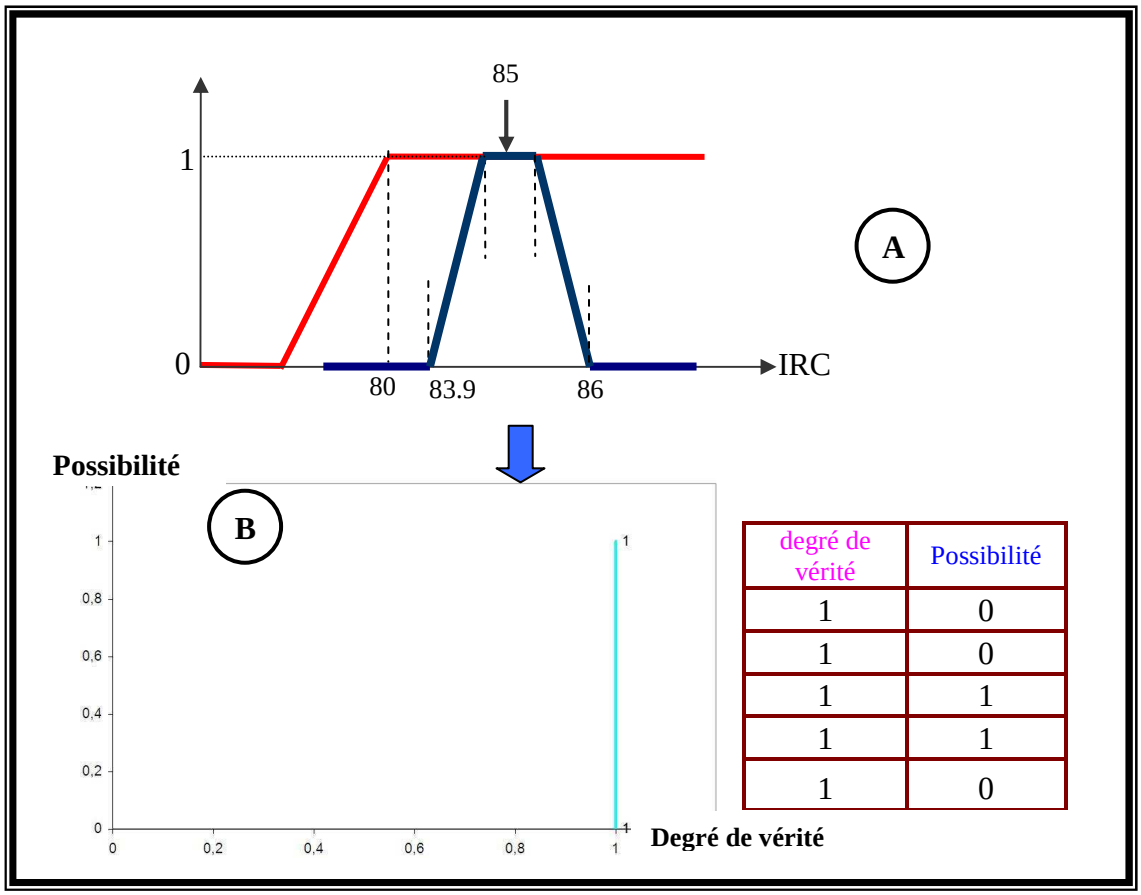


Figure 58 : Les fonctions d'imprécision et de contrainte pour le paramètre IRC

La figure 58 montre la modélisation avec la théorie des possibilités pour le paramètre IRC, avec une tolérance de 3% dans la fonction de contrainte IRC≥ 80. La modélisation a été réalisée en s'appuyant sur les résultats obtenus par le travail de **[Essa, 2007]**.

Le profil obtenu de la combinaison entre les deux fonctions est montré dans la figure 59:

[13] http://standardpro.com/
[14] http://www.energie-environnement.ch



degré de vérité	Possibilité
1	0
1	0
1	1
1	1
1	0

Figure 59 : Le degré de vérité de l'évaluation en fonction de l'IRC

Ce profil sera traité avec celui obtenu pour le traitement du paramètre T_c. Les deux ensembles donnent le degré de vérité de l'évaluation de cette préoccupation (Figure 60).

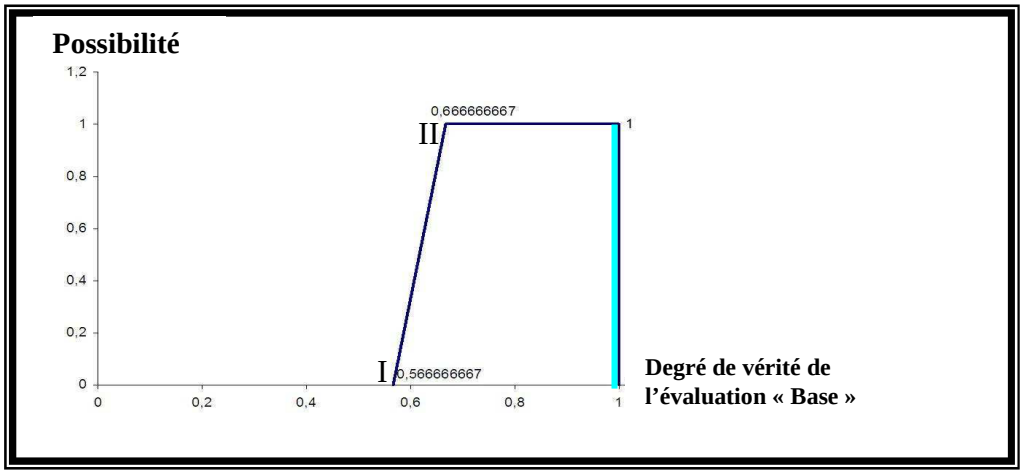


Figure 60 : La combinaison entre les deux fonctions obtenues du traitement de deux paramètres

En appliquant l'opérateur **min** pour les deux résultats des combinaisons, nous pouvons dégager la distribution de possibilité finale. Le profil de compatibilité qui correspond au paramètre T_c est le résultat de l'opérateur min. Dans ce cas, cette distribution (profil de compatibilité) va exprimer la relation entre le degré de vérité de l'évaluation et les niveaux de possibilité (figure 61).

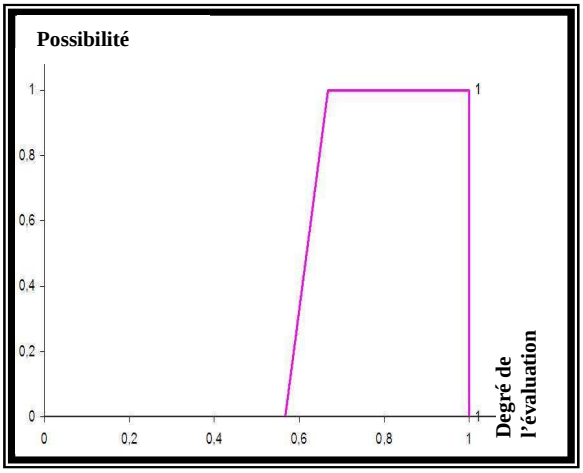


Figure 61 : Le sous-ensemble d'opérateur min

Grâce à la méthode de défuzzification adoptée par notre démarche (le milieu des α-coupes), nous obtenons la valeur :

$$E(A) = \int_0^{\alpha_{\max}} M(A)d\alpha = \frac{1}{2}\int (a\alpha + b\alpha) = 0{,}8083$$

Dans ce cas, le résultat est donc 0,8083. Ce degré de vérité de l'évaluation est introduit dans la grille de l'évaluation de la sous- cible comme dans le Tableau 21.

	PREOCCUPATIONS														
SOUS CIBLE 10.2	10.2.1			10.2.2			10.2.3			10.2.4			10.2.5		
	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP
B															
P										0.808					
TP															

Tableau 21 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 10.2.4 dans la certification

Nous considérerons que le degré de vérité obtenu dans cet exemple par rapport aux paramètres T_c et IRC est manifestement bon. Donc, le niveau de crédibilité de l'évaluation « Base » attribué à la préoccupation étudiée est fort. En outre, puisque le certificat du cas d'étude a été obtenu (Annexe VII) avec le niveau « Performant » de la cible 10 (Confort visuel), la participation de la sous-cible 10.2 aura lieu à ce niveau de performance de la cible. Autrement dit, pour être « Performant » en sous-cible 10.2, il faut avoir la combinaison des préoccupations suivante : (10.2.1 B) - (10.2.2 P) - (10.2.3 P) – (**10.2.4 B**) – (10.2.5 P). On rappelle qu'une case hachurée signifie que la préoccupation ne peut pas atteindre le niveau de performance correspondant car celui-ci n'est pas défini.

V.3.3. L'outil N°3 pour traiter une préoccupation avec un paramètre qualitatif imprécis :

L'application de cet outil sera montrée avec un exemple sur l'une des sous-cibles de la cible 4 (Gestion de l'énergie). Il s'agit de la réduction de la consommation d'énergie primaire et des pollutions associées (sous-cible 4.2.).
Dans cette sous-cible, nous distinguons l'évaluation de la préoccupation (4.2.3) « utilisation des énergies renouvelables locales » est de nature qualitative. Pour pouvoir attribuer l'évaluation **TP** à cette préoccupation, certaines dispositions doivent être justifiées et respectées. Le but alors est d'étudier la filière énergétique locale d'origine renouvelable en recherchant l'existence des dispositions suivantes :

- la pertinence de panneaux solaires thermiques pour l'ECS dans un immeuble de bureaux, alors que les consommations d'eau chaude (hors restaurant d'entreprise) sont faibles. Cela permet d'atteindre une efficacité des équipements en fonction tant du rendement que de l'impact environnemental global,
- les panneaux solaires photovoltaïques par lesquels une production d'électricité sera utilisée sur l'opération,
- le raccordement à un chauffage urbain, dès lors que ce dernier a pour origine une part significative d'énergies renouvelables, les déchets ménagers étant assimilés à une énergie renouvelable ;
- le bois, lorsque cette ressource est disponible localement.

Dans notre exemple (le bâtiment de la BUMLV), les besoins de production d'ECS sont réduits. Il n'a donc pas été retenu de panneaux solaires thermiques. Par ailleurs, les apports solaires sont limités par l'enveloppe à forte isolation et les vitrages performants (facteur solaire faible, boites vitrées réfléchissantes, sérigraphie sur le vitrage des patios). Pour l'aspect de limitation des besoins de chauffage, l'orientation des bâtiments apporte une autoprotection contre les vents dominants en hiver. En revanche, les besoins en éclairage sont diminués par un apport en lumière naturelle optimisé.

Pour ajouter un degré de vérité à l'évaluation à cette préoccupation, l'outil N°3 propose de s'assurer de la présence des dispositions. Cela se fait en posant la question suivante : est-ce que la présence de ces dispositions est vérifiée ?

La réponse à cette question nous amène à identifier la fiabilité du degré de la vérité. C'est-à-dire si la réponse est Oui, alors le degré de vérité est fort, si la réponse est Non, celui-ci est faible. Par contre, si la réponse est « Peut-être pas totalement », alors la réponse que l'expert apporte dans ce cas par rapport à la certitude d'avoir un bon degré de vérité va aider à donner les possibilités aux trois degrés linguistiques (faible, moyen, fort). Avec les efforts présentés dans la BUMLV, le degré de vérité de l'évaluation « TP » est fort.

Le tableau 22 montre la présentation de ce degré dans le cadre de la théorie des possibilités.

La présence des dispositions est suffisante et justifiée?	**La certitude de cette présence**	**La possibilité de l'évaluation**
Oui	1	Π (vérité forte) =1
Non	0	Π (vérité moyenne) =0
Peut-être pas totalement	0	Π (vérité faible) =0

Tableau 22 : le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation **4.2.3**

Ce degré de vérité de l'évaluation sera ajouté dans la grille de l'évaluation de la préoccupation de la sous-cible comme dans le tableau 23.

	PREOCCUPATIONS								
SOUS CIBLE 4.2	4.2.1			4.2.2			4.2.3		
	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP
B									
P									
TP									1

Tableau 23 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation **4.2.3** dans la certification

Il est évident que ce degré de vérité est élevé, c'est-à-dire que les informations disponibles sont suffisantes et aucun contrôle ou modification n'est demandé.

Pratiquement, puisque l'évaluation de la cible 4 a été faite au niveau TP, la sous-cible 4.2 participera dans l'évaluation par le niveau TP. C'est pour cette raison l'intervention du degré de vérité a été faite pour cette préoccupation à ce niveau d'évaluation.

V.3.4. L'outil N°4 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres qualitatifs imprécis

L'application de cet outil sera montrée sur un exemple constitué de l'une des sous-cibles de la cible 9 (**CONFORT ACOUSTIQUE**). Il s'agit de l'optimisation des dispositions architecturales pour protéger les usagers des nuisances sonores. Dans cette sous-cible, nous proposons cet outil pour traiter la préoccupation (9.1.1). En ce qui concerne l'optimisation du positionnement des locaux entre eux, le principe général est d'évaluer qualitativement chaque local « réception » par rapport aux locaux « émission » voisins. L'évaluation de cette préoccupation est de type **atteint** ou **non atteint**. L'évaluation s'effectue en vérifiant le respect simultané de deux conditions :

1. Dispositions relatives des locaux de même entité ou non, de contiguïté verticale ou horizontale au sein du bâtiment
2. Dispositions intérieures des locaux d'une même entité au sein du bâtiment

La réponse à ces conditions suppose les dispositions suivantes :

- limiter autant que possible le positionnement des locaux très sensibles en contiguïté avec un local à activité bruyante. Cette disposition a été mise en place dans la BUMLV grâce à plusieurs procédures : le rez-de-chaussée du bâtiment est conçu de manière à créer une transition douce depuis les espaces bruyants vers les espaces calmes ; le hall d'accueil regroupe à proximité les sanitaires et la circulation menant aux salles de consultation ; les espaces d'écoute et de consultation multimédia se trouvent éloignés des locaux précédemment cités, ainsi que les locaux les plus calmes qui sont les bureaux. L'auditorium est isolé du reste des espaces en étant positionné sous les salles de consultation. Aucun local n'est adjacent aux sanitaires. Le local chaufferie est désolidarisé du bâtiment et les CTA sont placées en toiture.
- regrouper autant que possible les locaux sensibles et très sensibles, et favoriser autant que possible la séparation des locaux sensibles par des parois lourdes et/ou des portes de distribution intermédiaires. Ces dispositions ont également été respectées dans le cas de la BUMLV : Les bureaux (annexe X) sont situés en périphérie nord pour capter la meilleure lumière, les locaux bruyants sont regroupés au centre du bloc. Cette disposition permet de concentrer au même endroit les plus fortes sources de nuisances sonores. Celles-ci sont séparées des bureaux par une zone moins bruyante qu'est la circulation. Les seuls locaux ayant une paroi commune avec les locaux bruyants sont les espaces de rangement.

Dans notre cas d'étude, les deux conditions sont satisfaites et le degré de vérité attribué à leurs évaluations est fort car l'évaluation de cette cible (Confort Acoustique) est très performante. Mais si l'on considère le cas d'un expert qui serait sûr à 80% que les conditions du positionnement des locaux très sensibles en contiguïté avec un local à activité bruyante sont satisfaites, alors les trois degrés de vérité auraient les possibilités suivantes :

Π (Degré de vérité fort) =1

Π (Degré de vérité moyen) =1-x= 1-0.8= 0.2

Π (Degré de vérité faible) =1-0.8= 0.2

Si l'expert est sûr à 100% que les conditions de regroupement les locaux sensibles et très sensibles sont satisfaites, alors les trois degrés de vérité présentent les possibilités suivantes :

Π (Degré de vérité fort) =1

Π (Degré de vérité moyen) =0

Π (Degré de vérité faible) =0

Même si l'évaluation de l'une des conditions n'est pas satisfaite à 100%, le degré de vérité peut être attribué à l'aide du moteur d'inférence symbolique (tableau 24).

		Paramètres 2		
		Degré de vérité faible **0**	Degré de vérité moyen **0**	Degré de vérité forte **1**
Paramètres 1	Degré de vérité faible **0.2**	Faible	Faible	Moyen
	Degré de vérité moyen **0.2**	Faible	Moyen	Fort
	Degré de vérité forte **1**	Moyen	Fort	Fort

Tableau 24 : Les règles linguistiques pour traiter deux paramètres qualitatifs

Le traitement en utilisant l'opérateur Sup min donne :

Π(*Faible*) = Sup [min (0.2, 0), (0.2, 0), (0.2, 0)] = Sup (0, 0, 0) = 0

Π(*Moyen*) = Sup [min (0.2, 1), (0.2, 0), (1, 0)] = Sup (0.2, 0, 0) = 0.2

Π(*Fort*) = Sup [min (0.2, 1), (1, 0), (1, 1)] = Sup (0.2, 0, 1) = 1

Ce degré de vérité montre que les dispositions adoptées sont suffisantes, aucune modification ne doit être faite. Ce degré de vérité de l'évaluation sera ajouté dans la grille de l'évaluation de la préoccupation de la sous-cible comme dans le tableau 25.

	PREOCCUPATIONS					
SOUS CIBLE 9.1	9.1.1		9.1.2		9.1.3	
	Atteint	NA	Atteint	NA	Atteint	NA
B	1 préoccupation atteinte sur 3					
P	2 préoccupations atteintes sur 3					
TP	1					

Tableau 25 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation **9.1.1** dans la certification

Dans ce tableau il est clair que la règle de combinaison des préoccupations est plus souple que dans les autres cas de combinaison. Elle n'impose que le nombre de préoccupations à satisfaire et laisse le choix de ces préoccupations. Puisque l'évaluation de la cible 9 (Confort acoustique) a été faite au niveau TP, la sous-cible 9.1 participera dans l'évaluation au niveau TP. C'est-à-dire, que pour atteindre le niveau TP de cette sous-cible, il faut considérer que toutes les préoccupations (**9.1.1)** – (9.1.2) – (9.1.3) sont atteintes, ce qui explique l'emplacement du degré de vérité dans ce tableau.

V.3.5. L'outil N°5 pour traiter une préoccupation avec deux paramètres un quantitatif et un qualitatif imprécis

L'analyse que nous avons élaborée sur l'évolution des référentiels de la démarche HQE® entre l'année 2005 et de 2008, nous amène à proposer des outils appropriés à chacune des préoccupations (annexe VIII).

Nous constatons qu'une évolution a été faite pour que les exigences demandées soient plus faciles à atteindre. Autrement dit, atteindre des niveaux de performance des préoccupations est devenu plus facile à réaliser, notamment après avoir réorganisé des préoccupations en augmentant leur nombre.

Par ailleurs, dans le procédé pour obtenir le certificat « démarche HQE® », il reste encore des préoccupations qui, pour le moment, nécessitent de traiter deux types différents de conditions. Il s'agit des paramètres de type qualitatif et quantitatif considéré simultanément. C'est alors l'outil N°5 le plus approprié dans ces cas.

Dans la certification, nous constatons que cet outil est utilisé pour traiter les préoccupations (3.2.1.), (8.2.3.) et (8.4.3.) qui ont deux types différents de paramètres. Par exemple, dans la sous-cible 8.2 (création de conditions de confort hygrothermique en hiver), pour assurer une vitesse d'air ne nuisant pas au confort, il faut que **V** (la vitesse d'air) soit inférieure ou égale à 0,2 m/s et que la présence d'un système de ventilation spécifique soit justifiée. Donc, deux conditions avec deux natures de traitement : la première est quantitative et la deuxième est qualitative. En outre, pour chercher le degré de vérité de l'évaluation de cette préoccupation, il faut avoir deux degrés de vérité: un pour le traitement quantitatif et l'autre pour le traitement qualitatif. Afin de pouvoir agréger ces deux types de paramètres, nous avons besoin de définir trois niveaux de vérité pour le paramètre quantitatif. Dans ce cas, l'échelle numérique sera toujours accompagnée de l'échelle linguistique. Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement. Généralement, à l'intérieur des bâtiments, l'impact sur le confort des occupants est considéré négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.2m/s.

Dans notre cas d'exemple de la BUMLV où le référentiel appliqué était celui de 2006, la valeur de la vitesse de l'air n'a pas été fournie par le cahier de conception environnementale. Donc, nous avons estimé que le fait que la condition $V \leq 0.2$ m/s a été considérée satisfaite laisse supposer que la valeur ne doit pas dépasser 0.2 m/s.

La modélisation de cette valeur sera établie avec des valeurs proposées d'imprécision qui seront de 2,5% et 5% pour les valeurs minimum et maximum respectivement. Par ailleurs, la modélisation de la valeur contrainte admettra une tolérance de 4%. Ces modélisations sont illustrées sur la figure62.

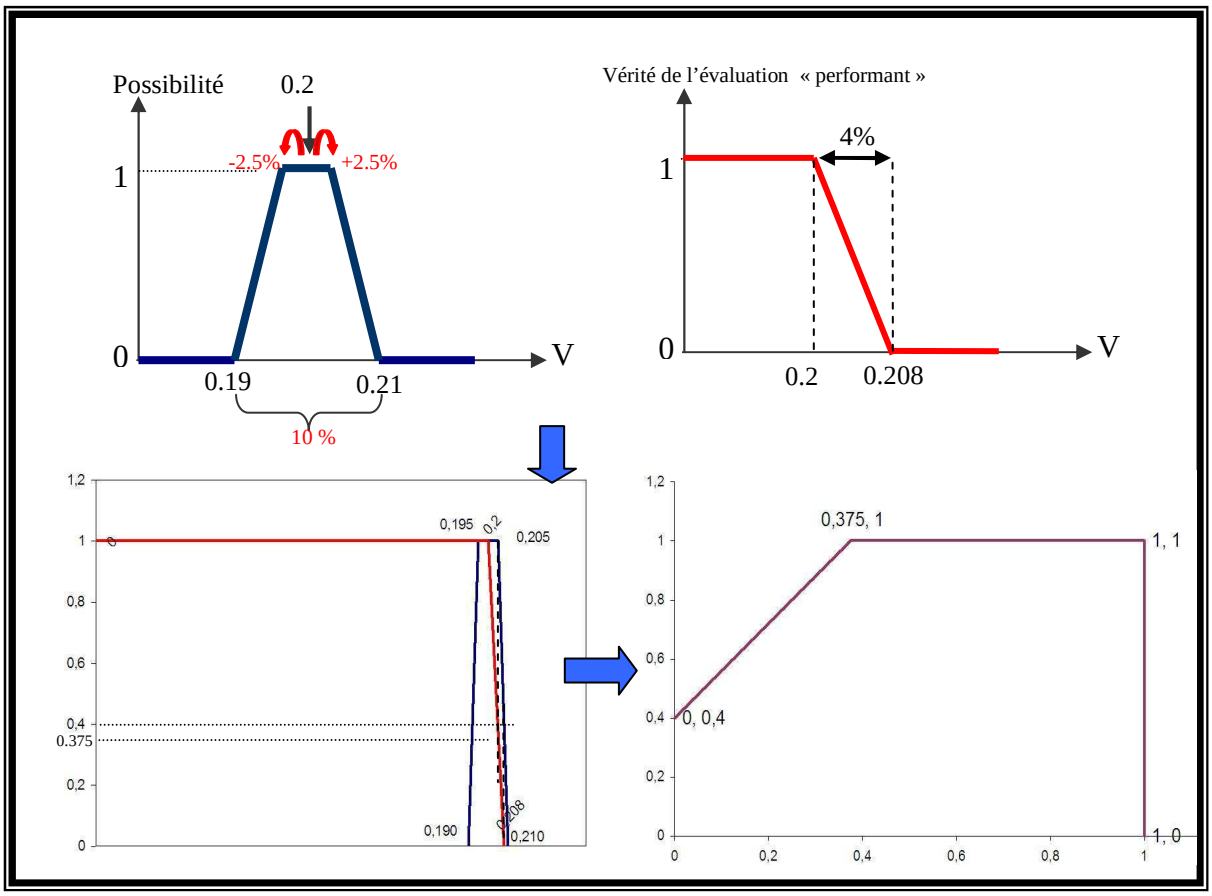


Figure 62 : Le profil de compatibilité concernant l'évaluation en fonction de V

L'étape suivante consiste à transformer le degré de vérité de l'évaluation (quantitatif) représenté par une distribution de possibilité de référence (V=0,2 m/s) en trois classes de degré de vérité de cette évaluation : faible, moyenne et forte. L'objectif de cette transformation est d'obtenir l'ensemble des degrés de vérité sous une même forme pour pouvoir les agréger afin d'obtenir un degré final associé à la préoccupation concernée. Autrement dit, le rôle des trois distributions de possibilité de référence est d'aider à analyser la compatibilité de la distribution de possibilité pour le paramètre étudié avec chaque référence.

Pour trouver les trois distributions de possibilités de références, en nous appuyant sur la norme NBN EN[15], nous avons supposé que les trois niveaux de vérité correspondent aux valeurs suivantes :

- degré de vérité fort quand la valeur de V est 0,13 m/s,
- degré de vérité moyen quand la valeur de V est 0,21 m/s,
- degré de vérité faible quand la valeur de V est 0,33 m/s,

[15] NBN EN 13779: ventilation dans les bâtiments non résidentiels en 2007

En maintenant les valeurs d'imprécision proposées lors de la modélisation de ces trois valeurs, le traitement de ces dernières se fera toujours avec la même fonction de contrainte (Figures 63, 64, 65) :

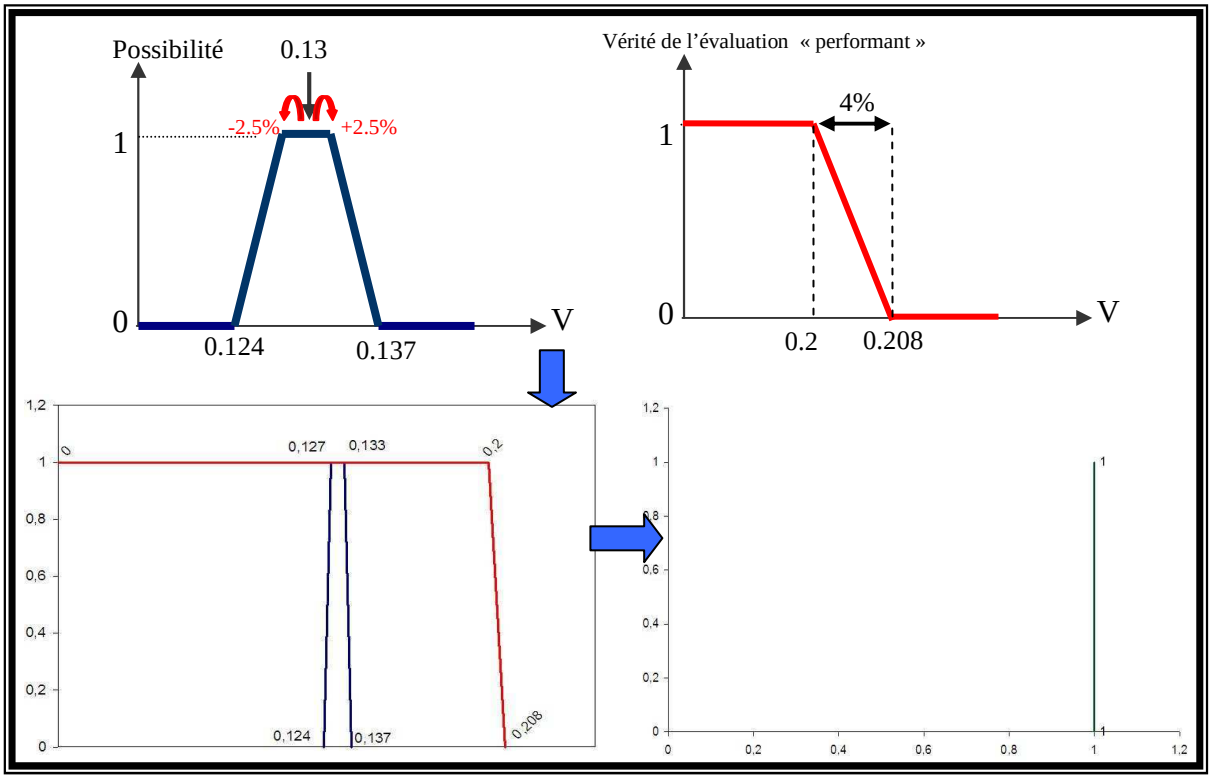


Figure 63 : Le profil de compatibilité du fort degré de vérité

De la même façon, nous traitons les degrés de vérité « moyen » et « faible », comme montré dans les figures suivantes :

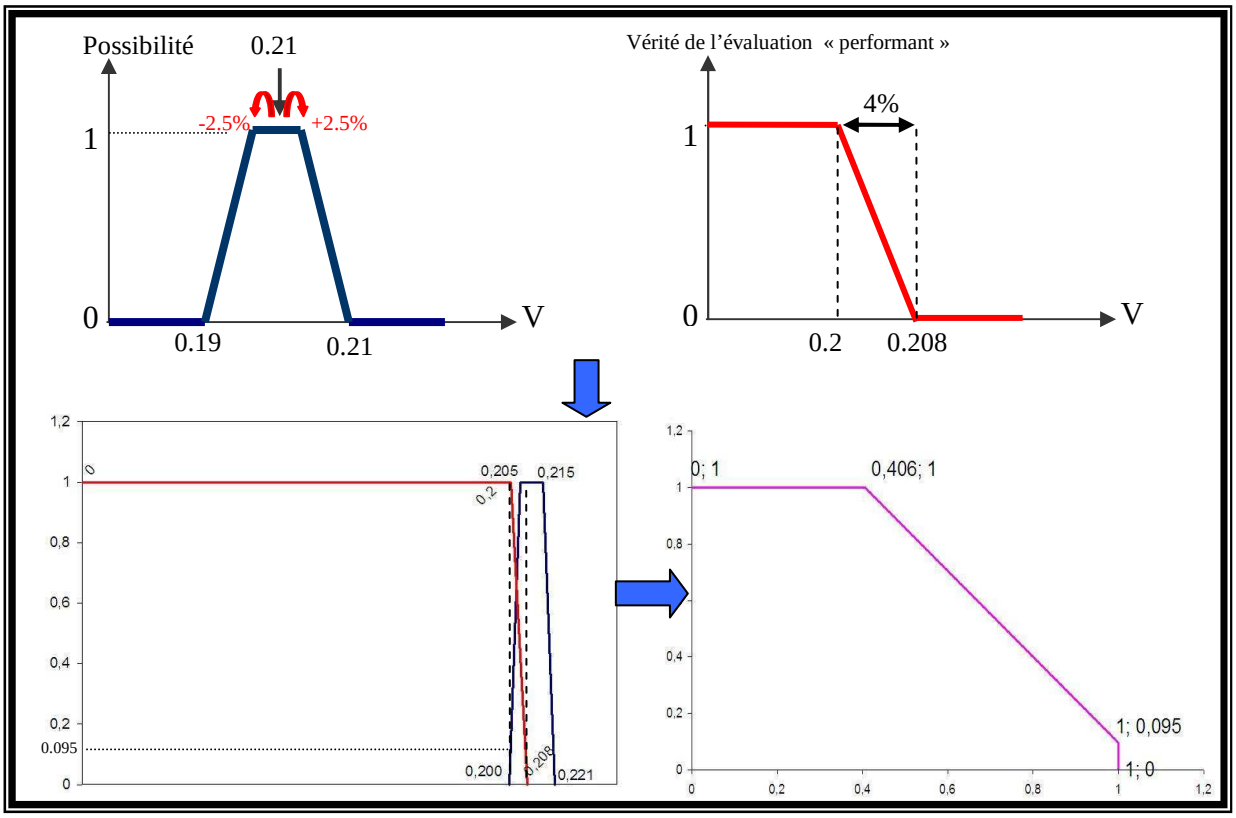


Figure 64 : Le profil de compatibilité du degré de vérité moyen

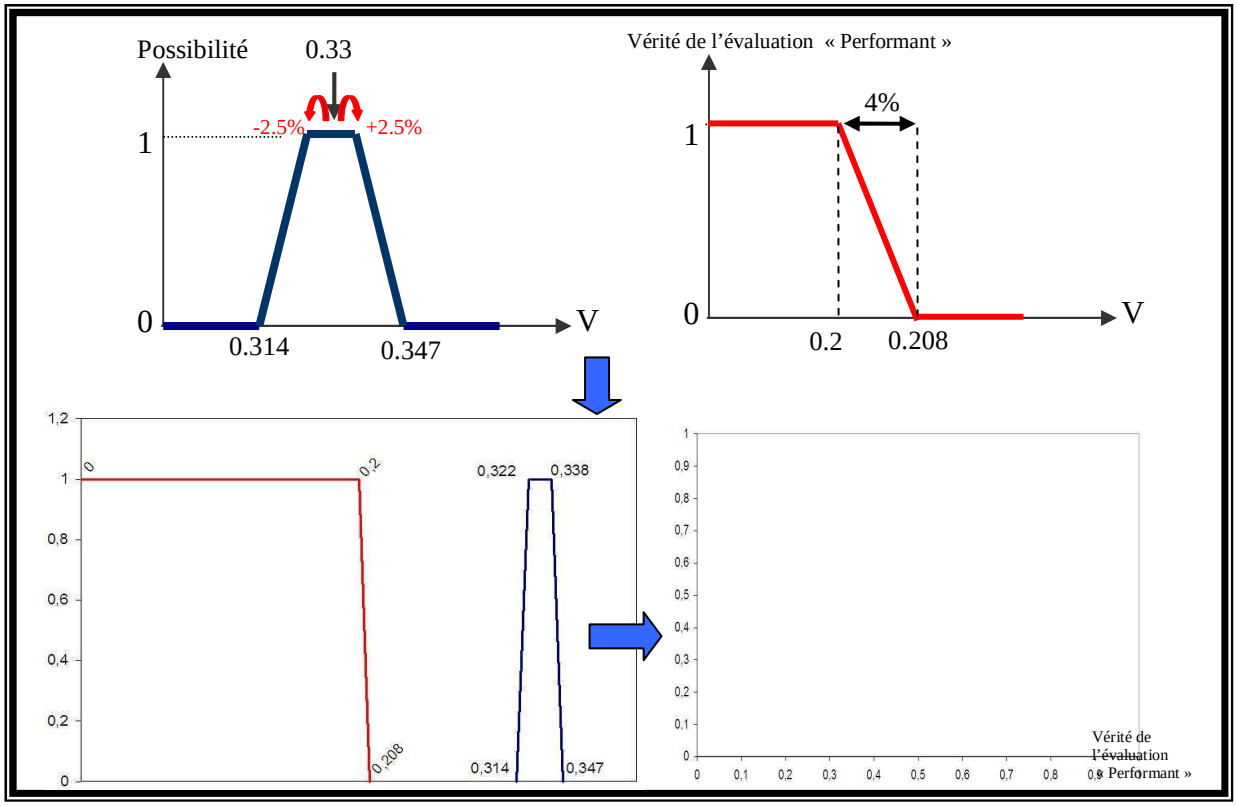


Figure 65 : Le traitement du degré de vérité faible

L'idéal aurait été de faire référence à des retours d'expérience pour donner les valeurs de ce paramètre correspondant aux degrés de vérité faible, moyen et fort. Cependant, la base de données dont nous disposons actuellement, n'est pas malheureusement assez riche pour satisfaire cette condition. Les valeurs adoptées sont choisies en faisant référence aux études bibliographiques.

L'étape suivante consiste à considérer la compatibilité de la distribution de possibilité issue du paramètre de notre exemple, avec les trois distributions de possibilité exprimant les vérités qualitatives de référence. Ces comparaisons sont réalisées deux à deux de la même manière que pour les combinaisons des données imprécises avec les connaissances théoriques des paramètres quantitatifs. L'opérateur utilisé est le *Sup* min :

$$\Pi(C,F) = \underset{x \in X}{Sup} \min(\mu_C(x), \mu_F(x)) = \Pi(F;C)$$

Cet opérateur détermine à quel point il est possible que la vérité de l'évaluation relative aux paramètres de ce bâtiment soit d'un niveau de vérité faible, moyen et fort. Cela va aider à donner un sens linguistique au graphique obtenu par le filtrage flou. Les résultats de trois combinaisons sont exposés dans la figue suivante :

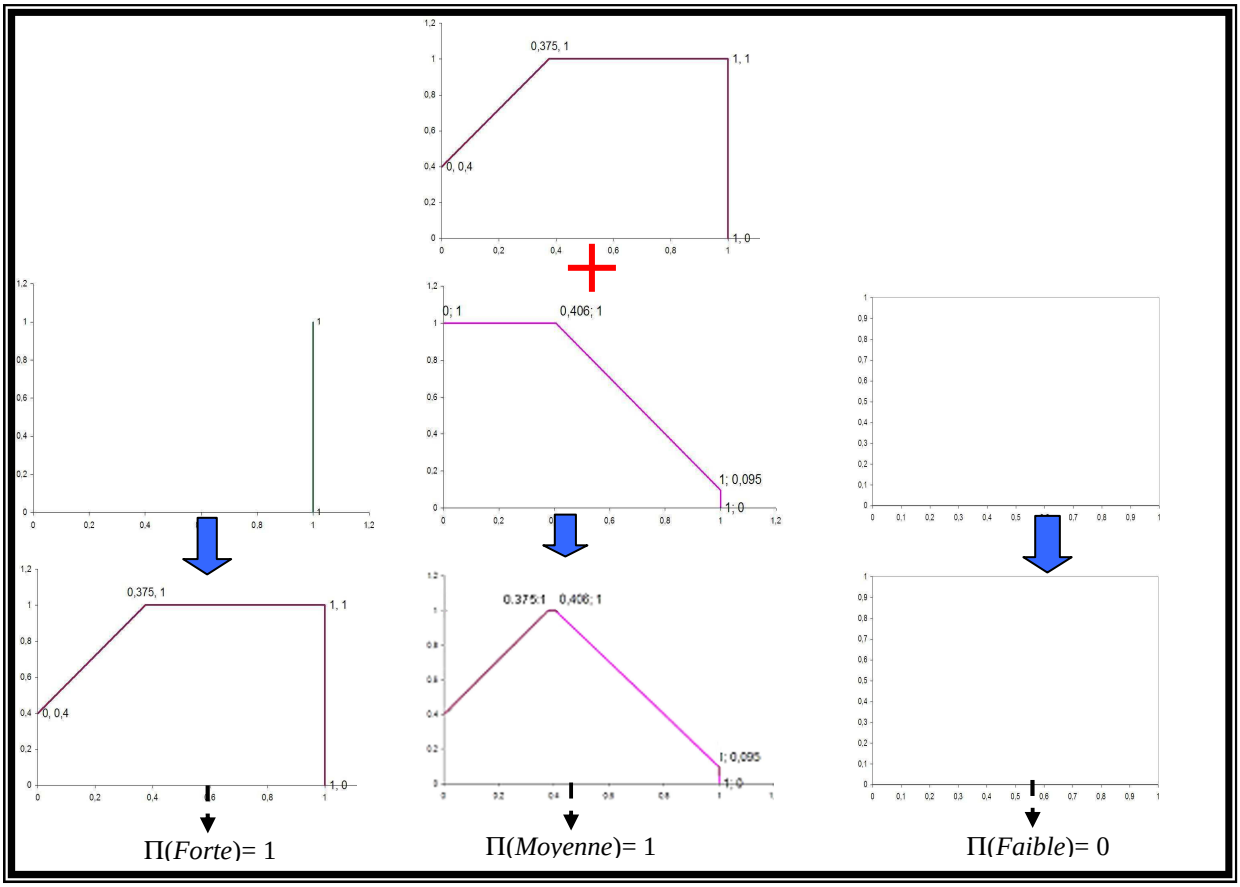


Figure 66 : Le résultat de la combinaison entre le cas étudié et les références

L'avantage de cette technique de combinaisons est la possibilité de continuer à propager les incertitudes des données en passant des résultats présentés sous la forme quantitative à la forme qualitative.

Quant au paramètre qualitatif et dans la mesure où le niveau de performance de cette cible est justifié du niveau « Performant », nous proposons que les bouches ne procurent pas un confort suffisant. Donc, la condition de la présence d'un système de ventilation spécifique n'est pas satisfaite. Le tableau 26 montre que la certitude de présence d'une telle disposition est nulle.

La présence des dispositions est suffisante et justifiée?	**La certitude de cette présence**	**La possibilité de l'évaluation**
Oui	0	Π (vérité forte) =0
Non	1	Π (vérité moyenne) =0
Peut être pas totalement	0	Π (vérité faible) =1

Tableau 26 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation **8.2.3** par rapport à la condition qualitative

L'application de règles de combinaisons donne le résultat reporté dans le tableau 27:

		Paramètres 2		
		Degré de vérité faible **1**	Degré de vérité moyen **0**	Degré de vérité forte **0**
Paramètres 1	Degré de vérité faible **0**	Faible	Faible	Moyen
	Degré de vérité moyen **1**	Faible	Moyen	Moyen
	Degré de vérité forte **1**	Moyen	Moyen	Fort

Tableau 27 : Les règles linguistiques (système d'inférence) du traitement d'une préoccupation a deux paramètres qualitatifs

L'utilisation de l'opérateur Sup min donne les résultats suivants:

Π(*Faible*) = Sup [min (0, 1), (0, 0), (1, 1)] = Sup (0, 0, 1) = 1

Π(*Moyen*) = Sup [min (0, 0), (1, 0), (1, 0), (1, 1), (1, 0)] = Sup (0, 0, 0, 1, 0) = 1

Π(*Fort*) = Sup [min (1, 0)] = 0

Nous pouvons conclure que le degré de vérité de l'évaluation varie entre faible et moyen. Nous en déduisons que les informations disponibles ne sont pas de qualité suffisante et que des investigations supplémentaires doivent être menées. Nous ne pouvons donc pas adopter ces valeurs pour les agréger avec les autres valeurs résultant de l'évaluation des autres préoccupations de la même sous-cible.

Toutefois, pour la poursuite de l'illustration de notre démarche, nous allons arbitrairement estimer que le degré de la vérité obtenu est « moyen ». Cette valeur sera ajoutée à l'évaluation finale de la sous-cible **8.2**[*] comme la montre le tableau suivant:

	PREOCCUPATIONS											
SOUS CIBLE 8.2	8.2.1			8.2.2			8.2.3			8.2.4		
	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP
B												
P					Moyen							
TP												

Tableau 28 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation **8.2.2** dans la certification

Pour attribuer un seul degré de vérité à chaque sous-cible, il faut disposer des degrés de vérité de chaque préoccupation. Une fois le calcul de ces degrés fini, l'agrégation sera faite en adoptant la valeur minimum de tous les degrés. Si un degré faible apparaît dans l'évaluation, il faut améliorer la qualité des données. L'agrégation ne doit pas être faite dans ce cas. Cette façon de présenter les degrés a été adoptée pour attirer l'attention des maîtres d'ouvrages sur les points les plus faibles au niveau de la précision.

D'autre part, l'évaluation de la sous-cible 4.2 sera accompagnée d'un degré de vérité qui est un degré « fort ». La première préoccupation a un degré de vérité de 0.943. Par contre la deuxième préoccupation a un degré de vérité de 1. Le calcul de ces degrés est présenté dans l'annexe XI. La dernière préoccupation de cette sous-cible a eu une évaluation qualitative et cela a dégagé un degré de vérité fort comme nous l'avons montré dans le paragraphe (***V.3.3.***) en présentant l'outil N°3.

[*] Il faut bien noter que la préoccupation 8.2.2 du référentiel de 2006 est devenue la préoccupation 8.2.3 de celui de 2008.

Après avoir fini le calcul des degrés de vérité de chacune des préoccupations, nous avons obtenu le degré de vérité final de cette sous-cible 4.2 qui est la valeur minimum de tous les degrés obtenus par le calcul qui est de 0.943 (Tableau 29).

0,943	PREOCCUPATIONS								
SOUS CIBLE 4.2	4.2.1			4.2.2			4.2.3		
	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP
B									
P									
TP 0,943			0,9433		1				1

Tableau 29 : Le degré de vérité de la sous-cible 4.2 dans la certification

Cette valeur obtenue sera adoptée dans le processus suivant d'agrégation avec la sous-cible 4.1. nous obtiendrons ainsi le degré de vérité final de la cible 4.

Nous ne traiterons pas le cas des autres sous-cibles dans la présente recherche mais les méthodes utilisées seraient les mêmes.

Synthèse de l'application :

La division des cibles en sous-cibles, ainsi que l'utilisation des préoccupations pour évaluer les sous-cibles a facilité l'intégration des incertitudes dans les processus d'évaluation.

Au niveau de chaque cible, le degré de vérité a été ajouté pour chaque préoccupation étudiée. L'agrégation des évaluations des préoccupations dans la certification nous a aidé à dégager un seul degré de vérité pour chaque sous-cible. De plus, comme nous avons pu montrer à travers cette application qu'un faible degré de vérité ne pourrait pas être compensé par un autre plus élevé. Nous montrerons ainsi aux acteurs du bâtiment que l'existence d'un faible degré de vérité exige une étude complémentaire pour améliorer la qualité des informations disponibles.

Enfin, de manière générale, nous avons pu montrer que le bâtiment test choisi (la bibliothèque centrale de Marne la Vallée) était décrit par des données de bonne qualité. Donc, l'utilisation de notre méthode n'a pas recommandé de rejeter certains calculs à cause du manque de précision. Nous avons juste identifié la nécessité de consolider certaines informations pour quelques évaluations.

Conclusions Générales:

La recherche que nous avons élaborée avait pour objectif de fournir une analyse de l'application de la théorie des possibilités dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments en phase de conception. Il s'agissait à terme de mettre à disposition du maître d'ouvrage d'une part et du concepteur d'autre part, un outil lui permettant d'évaluer la qualité environnementale des bâtiments (QEB) en intégrant les incertitudes portant sur les informations. Cette activité vise à fiabiliser les résultats de l'évaluation de la QEB en associant une crédibilité aux informations issues de cette évaluation.

Grâce à la souplesse de la méthode proposée dans cette recherche, l'intégration des incertitudes dans les processus d'évaluation est devenue possible, notamment pour les cas où l'information numérique est mal connue, ou insuffisamment décrite pour identifier une loi de probabilité. Pour cela, nous avons constaté que les techniques de la logique floue étaient bien adaptées à notre démarche.

Dans notre étude, nous avons présenté des outils permettant de traiter toutes les préoccupations associées aux cibles et sous-cibles de l'évaluation de la QEB. Nous avons traité trois types de préoccupations :

1. préoccupation avec un ou deux paramètres quantitatifs,
2. préoccupation avec un ou deux paramètres qualitatifs,
3. préoccupation avec deux paramètres : un quantitatif et un qualitatif.

Au cours de la mise au point de la méthodologie, des difficultés non prévues a priori sont apparues. Certaines sont d'ordre technique comme le manque d'informations. Ce problème constitue l'une des limites opérationnelles de nous outils. Par ailleurs, l'une des difficultés rencontrées résulte du fait que l'étude a été établie sur un sujet d'actualité qui évolue très vite notamment au niveau de la réglementation thermique qui entraîne un changement significatif de référentiels.

La traduction de notre démarche dans un langage informatique dispense d'un long calcul manuel et permet aussi son utilisation comme une boîte noire, ce qui simplifie l'appropriation des outils par leurs utilisateurs. La poursuite de cette recherche par l'automatisation des outils

proposés passera par un investissement important dans la programmation informatique sur les bases techniques et mathématiques posées dans le cadre de nos recherches.

Notre étude, et les développements qui peuvent en résulter, constitueront une aide pour les concepteurs qui souhaitent fiabiliser les résultats de l'évaluation de la QEB en associant une crédibilité aux informations issues de cette évaluation.

Nous estimons qu'au-delà de la qualité environnementale, d'autres domaines du bâtiment pourraient bénéficier de ce type d'approche comme l'estimation du coût de construction ou l'estimation des délais de réalisation.

Perspectives de la recherche :

Concernant la cible gestion de la maintenance, elle est à notre avis fondamentale dans la poursuite de cette recherche. En effet, un décalage important existe actuellement entre les préconisations élaborées en phase de conception et de réalisation et les résultats observés pendant l'exploitation des bâtiments certifiés. Le référentiel « Exploitation» de CERTIVEA doit répondre à cette attente. A notre avis, l'analyse des incertitudes liées aux paramètres de la conception doit être mieux prise en compte dans la politique de maintenance. Nous pensons que cette recherche peut être confrontée aux observations réelles afin d'établir des cahiers de maintenance prioritaire au service de la certification HQE®. D'où l'importance de cette phase : un 4ème audit à mettre en œuvre quelques années après la réception du bâtiment.

En fonction du degré de vérité que nous avons calculé, nous avons conclu par la crédibilité que nous pouvions accorder à la performance en estimant qu'elle était faible, moyenne ou forte. Mais nous retrouvons là notre problématique : comment définir de manière pertinent les intervalles qui nous permette de qualifier la crédibilité ? Ne devrait-on pas définir des intervalles à l'intérieur desquels la crédibilité pourrait être ni tout à fait forte ni tout à fait moyenne, reprenant ainsi les concepts des sous-ensembles flous ? A notre avis, une poursuite de cette recherche devrait aborder cette question.

A noter enfin que la démarche innovante utilisée de plus en plus pour attribuer un bonus aux constructions respectueuses de l'environnement, mérite une intégration des incertitudes dans l'attribution des aides. Elle reste actuellement très qualitative voire subjective.

Incertitudes sur le système de management :

Concernant le deuxième référentiel qui est le Système de Management d'Opérations, il organise les échanges entre acteurs. La prise en compte des incertitudes peut améliorer les échanges entre les Maîtres d'Ouvrages et les équipes de la Maîtrise d'œuvre. Actuellement, cette absence d'échanges est un facteur majeur du retard observé sur certaines opérations. La bibliothèque de l'UPEMLV est l'illustration de ce manque d'échange.

Références :

[ADEME, 2003] *Qualité Environnementale des bâtiments, manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment*, ADEME, 2003.

[ADEME, 2007] *Recensement et analyse des outils utilisés dans le cadre d'une démarche HQE® et développement d'une méthodologie d'aide à la décision*, ADEME, 2007.

[Akintoya, 2000] Akintoya A., *Analysis of factors influencing project cost estimating practice.* In Construction Management and Economics, 2000, vol. 18, issue 1, pp 77-89.

[Alhamwi, 2008] Alhamwi H., *La prise en compte des incertitudes sur les durées dans la planification des travaux de construction. Comparaison des outils mathématiques disponibles*, Mémoire de Master 2 Recherche en génie civil, Polytech'Lille et Université de Marne La Vallée, 2008.

[Aotake et al., 2005] Aotake N, Ofuiji N, Miura M, Shimada N, Niwa H., Comparison among results of various comprehensive assessment systems-a case study for a model building using CASBEE, BREAAM and LEED. In *proceedings of the 2005 Sustainable Building Conference (SB05)*, Tokyo, Japan; 2005.

[AQC, 2010] *Méthode d'analyse des premiers retours d'expériences*, REX BBC & risques, Agence Qualité construction, phase1, octobre 2010.

[Arrêté 2006] «Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments»

[Arrêté 2010] «Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments»

[Assaghir, 2010] Assaghir Z., *Analyse formelle de concepts et fusion d'informations : application à l'estimation et au contrôle d'incertitude des indicateurs agri-environnementaux*, thèse de doctorat, Université de l'INPL, 12/11/2010, 140p.

[Assise HQE, 2011] *La performance en marche !*, la 8ème assise de HQE®, Paris 7ème, 14 décembre 2011.

[Asso. HQE, 2010] *Prise en compte de l'environnement dans les bâtiments : La Qualité Environnementale des Bâtiments*, Association HQE, 2010.

[Ayyub, 2006] Ayyub B. & Klir G. **«***Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences*». Taylor & Francis Group, LLC, 2006, 380p.

[Béranger et al., 2006] Béranger S., Blanchard F., Archambault A. et Allier D., *Utilisation des Outils d'Aide à la Décision dans la Gestion des Mégasites*, Rapport final, Décembre 2006.

[Barra, 2000] Barra V., *"Fusion d'images 3D du Cerveau : Etude de Modèles et Applications"*, Ph.D. Thesis, université d'Auvergne, Clermont-Ferrand (France), 2000.

[Berrah, 2002] Berrah L., *L'indicateur de performance : concepts et applications*. Cépaduès éditions 2002, 172 p.

[Bharathi et al., 1985] Bharathi Devi B. and Sarma V. V. S., *Estimation of Fuzzy Memberships from Histograms*. Information Sciences, 35 :43–59, 1985.

[Bloch, 1996] Bloch I, «*Information Combination Operators for Data Fusion: A Comparative Review with Classification*», IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1:52-67, 1996.

[Bloch, 2003] Bloch, I., « *Fusion d'informations en traitement du signal et des images* », Lavoisier (eds), Hermes Science Publication, 2003.

[Boissier, 1993] Boissier D. et Al-Hajjar J., *Système intéractif d'aide à la décision (SIAD) et incertain en génie civil*, EuropIA'93 - Delft - The Netherlands - 21-24 juin 1993.

[Bordat, 1986] Bordat J., *Calcul pratique du treillis de galois d'une correspondance*. Mathématiques et Sciences Humaines, tome 96, pp. 31- 47, 1986.

[Bouchon-Meunier, 1992] Bouchon-Meunier B., *La logique floue, Que sais je ?*, PUF, N° 2702 presse Universitaire Française, 1992.

[Bouchon-Meunier, 1995] Bouchon-Meunier B., *Mesures floues. La logique floue et ses* applications. Addison-Wesley, 1995, 84-92.

[Bouchon-Meunier, 1996] Bouchon-Meunier B. et Nguyen H. T., *Les incertitudes dans les systèmes intelligents, Que sais je ?* PUF, N° 3110 presse Universitaire Française, 1996.

[Bouchon-Meunier et al., 1998]. Bouchon-Meunier B., Foulloy L. et Ramdani M., *Logique floue, Exercices corrigés et exemples d'applications*, Editions Cépaduès, Paris, 200 p, 1998.

[Bouchon-Meunier, 2003] Bouchon-Meunier B., *Logique floue, principes, aide à la décision*. Hermès, 2003.

[Brini et al., 2008] Brini, A., Boughanem, M. et Dubois D., *Un modèle de réseau possibiliste pour la recherche d'information*, irit, 2008.
http://www.irit.fr/~Didier.Dubois/Papers0804/Brini_bougha_dubois08.pdf

[Brundtland, 1987] *Our Common Future*; *Brundtland report*, the World Commission on Environment and Development (WCED), 1987. http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm

[Buchanan, 1984] Bruce G. Buchanan and E.H. Shortliffe, *Rule-Based Expert Systems, The Mycin experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Addison-Wesley Publishing Company, 1984.

[Bussemey-Buhe, 1997] Bussemey-Buhe C., *Développement d'une méthode de conception environnementale des bâtiments prenant en compte l'environnement de proximité*. Thèse de doctorat, université de Savoie, 197 p., 1997.

[Cardonnel, 2011] *RT 2012 : le moteur de calcul va faire perdurer le syndrome de la boîte noire*, article sur Le MONITEUR.fr, le 05/09/2011

[CEN, 2005] *Sustainability of for construction work*. Executive summary; 2005 http://www.cenorm.be/nr/cen/doc/ExecutivePDF/481830.pdf. Accessed Dec 2006.

[Certivéa, 2006] *Référentiel Technique de Certification Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® Bureau – Enseignement Août 2006*, Mise en application : 25/09/2006.

[Certivéa, 2008] *Guide pratique du Référentiel pour la qualité environnementale des Bâtiments Tertiaires – Bureau /Enseignement*, décembre 2008.

[Certivéa, 2010] *Liste des opérations certifiées NF Bâtiments Tertiaires associée à Démarche HQE et/ou BBC-Effinergie avec ou sans label HPE et classement Afilog*, Mise à jour du 11/02/2010.

[CETE 2006] : *Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments Généralités et sensibilisation*, CETE de Lyon, octobre 2006.

[CLARINET, 2002] *Review of Decision Support Tools for Contaminated Land Management and their use in Europe*, Workgroup 2, Publication Divers, 2002.

[CSTB, 2005] *Référentiel Technique de Certification Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® Bureau – Enseignement janvier 2005*, CSTB 2005.

[Chêne, 2011] Chêne F. et Legrand C., *Développement durable et haute qualité environnementale*, Voiron : Territorial éd., impr. 2011

[Cole, 1998] Cole R. J. *Emerging trend in building environmental assessment methods*. Building Research & Information, Volume 26, pp 3–16, 1998.

[Cole, 2004] Cole R. J., *Changing context for environmental knowledge*, Building Research & Information, Volume32, pp 91–109, 2004.

[Cooke, 2001] Cooke R., *Experts in uncertainty*. Oxford University Press, 2001.

[Cooper, 1999] Cooper I., *Which focus for building assessment methods- environmental performance of sustainability?* Building Research & Information, Volume 27, 1999.

[Correc, 2005] Correc A., *Approche possibiliste de prédiction des risques de dégradation des réseaux de distribution d'eau à l'intérieur des bâtiment,* Thèse de doctorat de l'université de Marne La Vallée, 219 P, 2005.

[Crawley, 1999] Crawley D. and Aho I., *Building environmental assessment methods: applications and development trends*. Build Res. Inf. 1999, 27:300–8.

[Debizet et al, 2009] Debizet G. & Henry E., *Qualité en conception, concourance et management de la qualité, Dernière version en vue d'une publication dans un ouvrage PUCA et RAMAU en 2009.*

[De Campos, 1994] De Campos L., J.F. Huete, and S. Moral. *Probability intervals: A tool for uncertain reasoning.* International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2(2) :167-196, 1994.

[De Finetti, 1937] De Finetti B., *La prévision : ses lois logiques, ses sources subjectives*. Technical document, Institut Poincarré, 1937.

[Desroches, 1995] Desroches A. *Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité.* Paris, Ed.: Lavoisier Tec et Doc, 188 pages, 1995.

[Destercke, 2008] Destercke S., *Uncertainty representation and combination: new results with application to nuclear safety issues*. PhD thesis, Université Paul Sabatier, 2008.

[Diab, 2000] Diab, Y., *Génie civil urbain et environnement : quelques pistes de recherche.* Habilitation à diriger des recherches, Université de Savoie – Chambéry, 200p, 2000.

[Diab et al., 2000] Diab, Y., Dupont, G., Achard G., Buhé C., *Aide à la décision dans le management de la qualité environnementale des bâtiments,* Second International Conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering. Lyon (France), Octobre 2000, pp 743-751.

[Diab, 2002] Diab Y., Chatagnon N**.,** *The environmental quality of civil engineering infrastructures,* International IABSE Conference : Towards a Better Built Environment, Innovation, Sustainability, Information Technology, Melbourne, pp. 108-116, septembre 2002.

[DOE, 1996/2006] DOE, *Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Energy Software Tool Directory.* 1996, updated 2006, http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory.Accessed Sep 2007.

[Dordan, 1995] Dordan, O. *Analyse qualitative,* Paris, Ed, Masson, 236 pages, 1995.

[Dubois, 1985a] : *Théorie des possibilités, Applications à la représentation des connaissances en informatique*. Ed. Masson, Paris, pp 60-69, 1985.

[Dubois, 1985b] Dubois, D. & Prade, H.**,** *A Review of Fuzzy Set Aggregation Connectives*, Information Sciences, Volume 36, pp: 85–121, 1985.

[Dubois, 1987] Dubois, D. & Prade, H.**,** *Théorie des possibilités : applications à la représentation des connaissances en informatique.* Edition Masson, 2e edition, 1987, 292 p.

[Dubois, 1988] Dubois, D. & Prade, H.**,** *Possibility theory: an approach to computerized processing of* uncertainty. Plenum Press, 1988.

[Dubois, 1994] Dubois D. et Prade H., *La fusion d'informations imprécises,* Traitement du Signal, Volume 11- N° 6, 1994.

[Dubois, 1996] Dubois D. et Prade H., *What are fuzzy rules and how we use them?* Fuzzy sets and systems, Volume 84, Issue 2, Pages 169–185, 1996.

[Dubois & al., 1999] Dubois D, Prade H., Yager R, «*Merging Fuzzy Information, in Fuzzy Sets in Approximate Reasoning and Information System*», The Handbook of Fuzzy Sets Series, Kluwer Academic Publishers, 1999.

[Dubois, 2001] Dubois, D. & Prade, H.**,** *La problématique scientifique du traitement de l'information.* Revue I3 : Information - Interaction - Intelligence, 1 :9-34, 2001.

[Dubois & al., 2001] Dubois D., Fargier H., Galvagnon V. *Ordonnancement dans l'incertain: L'approche par la théorie des possibilités,* Rapport IRIT/01-10 R, 23P, 2001.

[Dubois, 2003] Dubois, D. **«** *Représentations de l'incertain logique floue, probabilités non additives application à la fusion d'information et à l'évaluation multi-attribut* ». Support de cours de DEA-IIL, 2003.

[Dubois, 2006] Dubois, D. & Prade, H.**,** Représentations formelles de l'incertain et de l'imprécision. In *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision* - Volume 1, pages 111-165. Hermès -Lavoisier, 2006.

[Dubois, 2008] Dubois, D. & Prade, H.**,** A set-theoretic view of belief functions. In Roland Yager and Liping Liu, editors, Classic Works of the Dempster-Shafer *Theory of Belief Functions*, volume 219 of Studies in Fuzziness and Soft Computing, pages 375-410. Springer Berlin / Heidelberg, 2008.

[Erlandsson, 2003] Erlandsson M., Borg M., *Generic LCA —methodology applicable for buildings, construction and operation services — today practice and development needs,* Building and Environment, V 38, pp919–938, 2003.

[Essa, 2005] Essa R., Diab Y., Morand D., *Integration of uncertainties in the assessment of green buildings*, Europia 10, Tenth International Conference on Design Sciences & Technology, Europia editions, pp 117-126, 2005.

[Essa, 2006] Essa, R., *L'application de la théorie des possibilités dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments*, 24èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, 1 et 2 juin 2006 - La Grande Motte

[Essa, 2007] Essa R., *Contribution à l'intégration des incertitudes dans l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments.* Thèse de doctorat, Université de Marne la Vallée, 2007, 251p.

[Eurachem, 2000] Eurachem/citac *Quantifier l'Incertitude dans les Mesures analytiques*. SLR Ellison, 2000, 116 P.

[Favre, 2000] Favre, J. L. les incertitudes géographiques et géotechniques, dans *Risque et Génie Civil*. Actes du colloque, Paris – UNISCO. Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, pp187-229, 2000.

[Forsberg, 2004] Forsberg A., von Malmborg F., *Tools for environmental assessment of the built environment*, Building and Environment, V 39, pp 223–228, 2004.

[Frenoux, 2004] Frenoux E., « *Applications et validation de méthodologies de fusion de données en imagerie cérébrale* », Thèse, Présentée à l'université d'Auvergne pour l'obtention du grade de Docteur d'Université, 2004.

[Gacôgne, 1990] Gacôgne L., *Contribution à la représentation des connaissances floues et mise en oeuvre d'un système de raisonnement approché*. Thèse, Université Paris VII, 1990.

[Grace, 2000] Grace M., BREEAM: a practical method for assessing the sustainability of buildings for the new millennium. In *proceedings of the Sustainable Building*; Conference 2000, Maastricht, the Netherlands, 2000.

[Guide Pratique 2008] : Guide pratique du référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments. Certivéa, Décembre 2008.

[Hadj-ali, 1996] Hadj-ali A., *Raisonnement approché dans les systèmes experts – Méthodes basées sur les ensembles flous*. 4th Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence, p. 215-224.

[Hansruedi, 1994] Hansruedi B. *Réglage par la logique*, presses polytechniques et universitaires ROMANDES, pp. 215-224, 1996.

[Hetzel, 2008] *Bâtiment HQE® et développent durable- Guide pour les décideurs et les maîtres d'ouvrage*. Afnor éditions, 2ème édition 2008, 338p.

[Hetzel, 2009] Hetzel, J., *Bâtiment HQE® 100 questionnes pour comprendre et agir*. Afnor 2009.

[Hetzel, 2010] *Bâtiment HQE® et développent durable- Dans la perspective du Grenelle de l'environnement*. Afnor éditions, 3ème édition 2010, 464p.

[IEA annexe 31, 2001] Energy related environmental impact of buildings; 2001, http://www.annex31.com/. Accessed Sep 2007.

[Jeffreys, 1961] Jeffreys H., *Theory of probability*. Oxford University Press, 1961.

[Jiménez, 2005] Jiménez Candia L., *Gestion des connaissances imparfaites dans les organisations industrielles : cas d'une industrie manufacturière en Amérique Latine,* Thèse Doctorat, présentée à l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2005.

[Jones Lang LaSalle, 2009] *L'antisèche de l'immobilier durable*, disponible sur : http://www.joneslanglasalle.fr/ResearchLevel1/JLL_OnPoint_Immobilier_Durable_nov_09.pdf

[Kawazu et al., 2005] Kawazu Y, Shimada N, Yokoo N, Oka T. Comparison of the assessment results of BREEAM, LEED, GBTool and CASBEE. In *proceedings of the 2005 Sustainable Building Conference* (SB05), Tokyo, Japan; 2005.

[Karnib, 1996] Karnib A., *Approche multicritère pour l'aide au choix d'une solution de réseau technique urbain. Application au réseau d'assainissement pluvial,* Thèse de doctorat, université d'Artois, 166 p, 1996.

[Klir, 1992] Klir G. J. and Parviz B., *Probability-Possibility Transformations : A Comparison*. Int. J. General Systems, 21 :291–310,1992.

[Klir, 1999] Klir G. J. and Wierman M. J., *Uncertainty-Based Information: Elements of Generalized Information Theory*. Physica-Verlag, 170 p, 1999.

[Lair, 2000] Lair J., *Evaluation de la durabilité des systèmes constructifs du bâtiment.* Thèse de doctorat, université Blaise Pascal- Clermont II, 212 p, 2000.

[Lecomte, 2005] Lecomte G., *Analyse d'image Radioscopique et Fusion d'information multimodales pour l'amélioration de contrôle des pièces de fonderie,* Thèse Doctorat, présentée à L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.

[Lee, 2005] Lee K. H., *First course on fuzzy theory and applications,* Springer: Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 27,335 p., 149 illus, 2005.

[Le Moniteur, 2012] *Certification HQE, Labels de haute performance énergétique le bilan 2011 chiffré de Certivéa,* Le Moniteur Management, 18/01/2012.

[Lescieux, 2008] Lescieux M., *Introduction à la logique floue : Application à a commande floue,* Notes de cours, École Polytechnique de l'Université de Tours, 44 p.

[Linkov et al, 2004] Linkov I., Sahay S., Kiker G., Bridges T. & Seager T.P., *Multi-Criteria decision analysis: a framework for managing contaminated*

sediments, Strategic Management of Marine Ecosystems, Klumer, Amesterdam, 2004.

[Mandallina, 2006] Mandallina, C. *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale des bâtiments tertiaires en exploitation.* Thèse de doctorat à l'université de Bordeaux 1, 2006, 265p.

[Marsala, 2003] Marsala C. et Bouchon-Meunier B., apprentissage et extraction de connaissances. In *Traitement de données complexes et commande en logique floue*, Hermès, pp. 153-198, 2003.

[Michel, 1990] Michel C., *Concevoir un projet d'architecture*, L'Harmattan, Paris, 1990.

[Molchanov, 2005] Molchanov I.S., *Theory of random sets*, Springer, London, 2005.

[Monet, 1999] *The European Network of Excellence in Model-based Systems and Qualitative Reasoning.* http://monet.aber.ac.uk.

[Moniteur, 2012] *Breeam, Leed et HQE à la conquête du monde*, article publié sur LE MONITEUR, management, http://www.lemoniteur.fr/201-management/article/actualite/871078-breeam-leed-et-hqe-a-la-conquete-du-monde

[Montharry, 2009] Montharry D. et Platzer M., *La technique du bâtiment tous corps d'état*, Référence technique, Editions du moniteur, Paris, 2009.

[Neumaier, 2004] Neumaier A., *Clouds, fuzzy sets, and probability intervals*. Reliable Computing, 10 :249-272, 2004.

[Ovchinnikov, 1998] Ovchinnikov S, «*An Analytic Characterization of some Aggregation Operators*», International Journal of Intelligent Systems, 13:1-7, 1998.

[Platzer, 2009] Michel P., *Mesurer la qualité environnementale des bâtiments*, Méthodes globales, normes et certifications cas pratiques. Editions du moniteur, Paris, 2009.

[Pouillot, 2002] Pouillot R., *caractérisation d'une loi de distribution d'une variable entrant dans un modèle d'analyse de risque de probabilité*, Épidémiologie et Santé Animale, Vol 41, PP 113-143, 2002.

[Ramsey, 1926] Ramsey F.P., Truth and probability. In R. B. Braithwaite, editor, *The Foundations of Mathematics and other Logical Essays*, Histoy of Economic Thought Chapters, chapter 7, pages 156-198. Mc Master University Archive for the History of Economic Thought, 1926.

[Règles Th-Bât] *les règle Th-Bât*, Réglementation Thermique 2005, OB-V. 2006.

[Règles Th-I] *Règle de calcul Règles TH-I*, document règles TH-I : Caractérisation de l'inertie thermique des bâtiments, Réglementation Thermique 2000, version 2004.

[Règles Th-S] *Règle de calcul Règles TH-S,* document règles TH-S : Caractérisation du facteur solaire des parois de bâtiment, Réglementation Thermique 2005.

[Règles Th-U] Règle de calcul Règles TH-U, document règles TH-U : coefficient $U_{bât}$, OB-V. 2006.

[Reijnders, 1999] Reijnders L, van Roekel A., *Comprehensive and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings*. Journal of Cleaner Production, Volume 7, pp 221–225, 1999.

[Ross, 2004] Ross T. J., *Fuzzy Logic With Engineering Applications,* John Wiley & Sons Ltd, University of New Mexico, USA, SE, 2004.

[Saade et al., 2004] Saade J. J. & Diab H. B., *Defuzzification Methods and New Techniques for Fuzzy Controllers,* Iranian Journal Of Electrical And Computer Engineering, VOL. 3, N° 2, 2004.

[Salotti, 1992] Salotti S., *Filtrage flou et représentation centrée objet pour raisonner par analogie: le système FLORAN*. Thèse, Université Paris XI Orsay, 1992.

[Sandri et al, 1990] Sandri S.A., Dubois D. and Kalfsbeek H.W., *Elicitation, assessment and pooling of expert judgements using possibility theory*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, V3, pp 313-335, 1990.

[Sanvido, 1990] Sanvido V. B. and Merdeiros D. J., *Applying computer-integrated* manufacturing *concepts to construction*, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 116, pp 365-379, 1990.

[Shafer, 1976] Shafer G., *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, New Jersey, 1976.

[Shafer, 1986] Shafer G., *The combination of evidence*. International Journal of Intelligent Systems, 1(3):155-179, 1986.

[Shapiro, 2004] Shapiro, A. F., Fuzzy logic in insurance. In *Insurance; Mathematics and economics,* Volume 35, pp 399-424, 2004.

[Smets, 1996] Smets P., Imperfect information: Imprecision and uncertainty. In *Uncertainty Management in Information Systems*, pages 225-254. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1996.

[Talon, 2006] Talon A., *Evaluation des scénarii de dégradation des produits de construction.* Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont II, 240 p, 2006.

[Th-BCE] *Méthode de calcul Th-BCE 2012*, CSTB, 26/10/2010

[Th-CE] *Méthode de calcul Th-CE 2005*, Version 7.3, 15/03/2006.

[Thouvenin & al, 1998] Thouvenin G., Hornet P., Didry O., Giraud A., Homand F., Lassabatère T., *Étude de sensibilité de la restauration de la barrière ouvragée par des méthodes probabiliste*, Journées sur la fiabilité, 1998.

[Todd et al., 2001] Todd JA, Crawley D, Geissle S, Lindsey G., *Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge?*, Building Research & Information, V. 29, pp324–335, 2001.

[Tsoukiàs, 2007] Tsoukiàs A., *On the concept of decision aiding process: an Operational Perspective*, Annals of Operations Research, Springer, Volume 154, Number 1, 2007.

[UMLV, 2008] L'analyse de site de la Bibliothèque Centrale de l'Université Paris-Est Marne-La-Vallée, 2008.

[US EPA, 2009] U.S. Environmental Protection Agency, *Green Building Basic Information*, http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/about.htm

[Walley, 1991] Walley P., *Statistical Reasoning with Imprecise Probabilities*. Chapman and Hall, New York, 1991.

[XP P01-020-1, 2005] *Bâtiment : Qualité environnementale des bâtiments ; Partie 1*, Norme Française, *2005*.

[XP P01-020-3, 2009] *Bâtiment - Qualité environnementale des produits de construction et des bâtiments - Partie 3 : évaluation des performances environnementales d'un bâtiment*. Afnor 2009

[Yager, 1991] Yager R. R., *On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multi-Criteria Decision Making*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, volume18, PP: 183–190, 1988.

[Zadeh, 1965] Zadeh L.A., *Fuzzy sets*. Information and Control, 8(3): 338 - 353, 1965.

[Zadeh, 1973] Zadeh L. A., *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex System and Decision Processes*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3, N°. 1, January 1973.

[Zadeh, 1999] Zadeh L.A., *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility*. Fuzzy Sets System, 100:9-34, 1999.

[Zadeh, 2005] Zadeh L.A., *What Is Fuzzy Logic and What Are Its Applications?* 2005, http://www.eecs.berkeley.edu/IPRO/Summary/Old.summaries/03abstracts/zadeh.13.html

[Zeidan, 2002] Zeidan A. S., *Démarche d'estimation des délais de réalisation d'un tunnel en site urbain*, Mémoire de thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 3 avril 2002, pp51-187, 2002.

[Zimmermann, 1991] Zimmermann H. J., *Fuzzy Set Theory and Its Application*, 2nd ed. Kluwer Academic Publisher, Boston/ Dordrecht/ London. 432 p, 1991.

Index des illustrations

1. Liste des tableaux
2. Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : Approche de Développement Durable……8
Figure 2 : La consommation d'énergie finale par secteur en France..... 9
Figure 3 : Evolution de la consommation finale d'énergie du Résidentiel-tertiaire entre 1973 et 2009..... 10
Figure 4: L'évolution des consommations ……11
Figure 5 : Evolution des émissions de gaz Co^2 par secteur en France ……11
Figure 6 : Consommation (kWh/m^2.an – énergie primaire) pour les besoins de chauffage, climatisation, ventilation et production d'eau chaude sanitaire 11
Figure 7 : La démarche HQE®, quatrième dimension du projet immobilier 13
Figure 8 : Les 14 cibles de la démarche HQE® 15
Figure 9 : Exemple de profil environnemental permettant d'obtenir la certification HQE® 15
Figure 10 : Management de la qualité environnementale 18
Figure 11 : Grille de lecture pour définir et mettre en œuvre et mesurer les enjeux de qualité environnementale à atteindre..... 24
Figure 12: Impacts du bâtiment dans l'évolution globale de son environnement [Platzer, 2009] 26
Figure 13 : Agrégation dans la certification HQE® 27
Figure 14 : Pyramide de la performance environnementale dans le bâtiment [Platzer, 2009]..... 28
Figure 15 : Domaines de connaissance et d'inconnaissance [Desroches, 1995]..... 37
Figure 16 : les sources d'incertitudes des données dans l'évaluation de la QEB 39
Figure 17 : Un Système d'inférence floue..... 44
Figure 18 : Le changement de décision avec l'erreur d'entrée [Hansruedi, 1994] cité par [Essa, 2007]..... 45
Figure 19 : Les formes de fonction d'appartenance 47
Figure 20: Le concept de α-coupe……49
Figure 21 : Théorie de possibilité..... 50
Figure 22 : le plan de travail 58
Figure 23: Réparation géographique des opération HQE® en IDF ……60
Figure 24 : Localisation de 386 opérations certifiées en France 60
Figure 25 : Les opérations certifiées selon les nivaux de performances 61
Figure 26; répartition des opérations certifiées par régions……72
Figure 27 : Comparaison de nivaux TP des opérations (deux référentiels) 70
Figure 28: Evolution de la consommation moyenne des bâtiments neufs par rapport aux bâtiments RT2000 ….79
Figure 29 : Evolution des exigences réglementaires de consommation énergétique des bâtiments neufs : Une rupture opérée par le Grenelle Environnement……..87
Figure 30 : La variété de la répartition des 3 composants de Bio (chauffage, refroidissement, éclairage) – Source : MEDDTL..... 87
Figure 31: les 3 exigences de la RT2012 en adoptant du Grenelle Environnement……92
Figure 32: L'arbre des règles de calcul en RT 2000 en intégrant le moteur de calcul composant de TH-C et TH-E……93
Figure 33: L'arbre des règles de calcul en RT 2005 en intégrant le moteur de calcul TH-CE……93
Figure 34: Principe de compensation entre les postes de déperdition……/…..96
Figure 35: Les zones climatiques……97
Figure 36: combinaison entre les performances énergétiques des postes……100
Figure 37: la route vers un bâtiment BBC……101
Figure 38 : Organismes certificateurs ayant passé une convention avec le ministère en charge de la construction, les autorisant à délivrer les labels HPE 2005 dans le cadre des certifications indiquées 101
Figure 39 : Système d'inférence floue..... 107
Figure 40 : La démarche globale..... 108
Figure 41 : Le niveau d'intervention du traitement des incertitudes dans l'évaluation de la QEB..... 110
Figure 42 : La fonction d'imprécision de donnée..... 111
Figure 43 : La présentation des fonctions de contrainte 113
Figure 44 : Mesure de possibilité et mesure de nécessité..... 116
Figure 45: Exemple de combinaison……120
Figure 46 : le profil de compatibilité……121
Figure 47 : Les différentes méthodes de défuzzification 119
Figure 48 : Le milieu de α-coupes 120
Figure 49 : Application du milieu α-coupe sur l'exemple d'illustration..... 121
Figure 50 : La démarche globale (Schéma B) 122
Figure 51 : L'Université PEMLV se située sur la cité Descartes 129

Figure 52 : L'application de l'outil 1 ..... *131*
Figure 53 : Les gammes de température des couleurs *135*
Figure 54 : Le confort de l'ambiance lumineuse[3] *135*
Figure 55 : Les fonctions d'imprécision et de contrainte pour le paramètre T_c *136*
Figure 56 : Le degré de vérité de l'évaluation en fonction de T_c *137*
Figure 57 : Les valeurs de IRC pour *138*
Figure 58 : Les fonctions d'imprécision et de contrainte pour le paramètre IRC *138*
Figure 59 : Le degré de vérité de l'évaluation en fonction de l'IRC *139*
Figure 60 : La combinaison entre les deux fonctions obtenues du traitement de deux paramètres *139*
Figure 61 : Le sous-ensemble d'opérateur min *140*
Figure 62 : Le profil de compatibilité concernant l'évaluation en fonction de V *147*
Figure 63 : Le profil de compatibilité du fort degré de vérité *148*
Figure 64 : Le profil de compatibilité du degré de vérité moyen *149*
Figure 65 : Le traitement du degré de vérité faible *149*
Figure 66 : Le résultat de la comparaison entre le cas étudié et les références *150*

Liste des tableaux

Tableau 1 : comparatif des labels HQE, BREEAM et LEED [Platzer, 2009] *23*
Tableau 2 : la contribution des éléments liés à la maintenance en coût globale appliqué aux bâtiments tertiaires *66*
Tableau 3 : Les opérations certifiées selon le référentiel applicable *69*
Tableau 4 : Pourcentages des réponses reçues concernant les incertitudes des paramètres étudiés *75*
Tableau 5 : les pourcentages des réponses reçues par rapport aux incertitudes des contraintes imposées aux paramètres étudiés *76*
Tableau 6 : les cibles prioritaires pour les Maîtres d'Ouvrages *76*
Tableau 7 : Les exigences minimales : garde-fous des parois *81*
Tableau 8 : Les valeurs de référence des parois sont exprimées par les coefficients de transmission thermique de a1 à a7 exprimés en W/m².K *82*
Tableau 9 : Les valeurs de reference des ponts thermiques sont exprimees par les coefficients de transmission thermique lineique a8, a9 et a10 exprimes en w/m.k. *82*
Tableau 10 : les réductions des déperditions liées à la ventilation *84*
Tableau 11 : la définition des catégories des locaux CE1/CE2 ..... *85*
Tableau 12 : les évolutions entre RT2000 et RT 2005 ..... *85*
Tableau 13 : La consommation maximale exprimée en énergie primaire pour les consommations de chauffage, refroidissement et production d'eau chaude sanitaire. *95*
Tableau 14 : les coefficients de transmission thermique linéaires et superficielles *98*
Tableau 15 : Représenter de la compatibilité entre la fonction d'imprécision et la fonction de contrainte (des cas de fait) *118*
Tableau 16 : Les possibilités des niveaux de vérité d'une évaluation avec un paramètre qualitatif *125*
Tableau 17 : Exemple d'un groupe de regèles de combinaison *126*
Tableau 18 : Un exemple de l'utilisation d'un opérateur Sup min *127*
Tableau 19 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 4.1.1 dans la certification *132*
Tableau 20 : La combinaison entre les sous-cibles *133*
Tableau 21 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 10.2.4 dans la certification *140*
Tableau 22 : le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 4.2.3 ..... *142*
Tableau 23 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 4.2.3 dans la certification *142*
Tableau 24 : Les règles linguistiques pour traiter deux paramètres qualitatifs *144*
Tableau 25 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 9.1.1 dans la certification *145*
Tableau 26 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 8.2.3 par rapport à la condition qualitative *151*
Tableau 27 : Les règles linguistiques (système d'inférence) du traitement d'une préoccupation a deux paramètres qualitatifs *151*
Tableau 28 : Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 8.2.2 dans la certification *152*
Tableau 29 : Le degré de vérité de la sous-cible 4.2 dans la certification *153*

Annexes :

Annexe I: 172
Rappel historique sur la logique floue: les débuts et la maturité 172

Annexe II: 173
1. Les sous-ensembles flous 173

Annexe II : 176
Lien entre possibilités et ensembles flous 176

Annexe III : 178
Histoire des réglementations thermiques 178

Annexe IV: 182
Règles d'application pour le bâti : 182

Annexe V : 185
Le bonus COS : 185

Annexe VI : 187
Le questionnaire 187

Annexe VII : 188
Le certificat de la BUMLV 191

Annexe VIII : 192
L'évolution des outils entre les versions de référentiels 2005 et 2008 192

Annexe IX: 198
Les cas d'intersections entre les deux fonctions d'incertitudes 198

Annexe X : 203
Les positions des bureaux de la BUMLV 203

Annexe XI : 205
L'application de l'outil N° 1 205

Index: 207

Annexe I:

Rappel historique sur la logique floue: les débuts et la maturité

- **17ième siècle**: les connaissances incertaines ont été abordées par la notion de probabilité avec les travaux de Pascal, de Fermat et de Bernoulli.

- **Dans les années 30** : la notion de choix rationnel dans l'incertain a été formalisée par de Finetti et Ramsey. Dans le même temps, Russel a remarqué que la logique formelle semble mal adaptée pour formaliser le raisonnement humain.

- **1965:** Concept introduit par Pr. Lotfi Zadeh de l'université de Berkeley (Californie) à partir de l'idée d'appartenance partielle à une classe et de catégories aux limites mal définies. « **Fuzzy set theory** »: Définition des ensembles flous et opérateurs associés

- **1973:** L. A. Zadeh propose d'appliquer la logique floue aux problèmes de réglage. Premières applications: Systèmes experts, Aide à la décision en médecine, commerce…

- **1974:** Mamdani expérimente la théorie énoncée par Zadeh sur une chaudière à vapeur, matériel dont on connaît la complexité, introduisant ainsi la commande floue dans la régulation d'un processus industriel.

- **1978 :** L. A. Zadeh introduit la théorie des possibilités qui fait le lien entre les ensembles flous et la modélisation non probabiliste de l'incertitude.

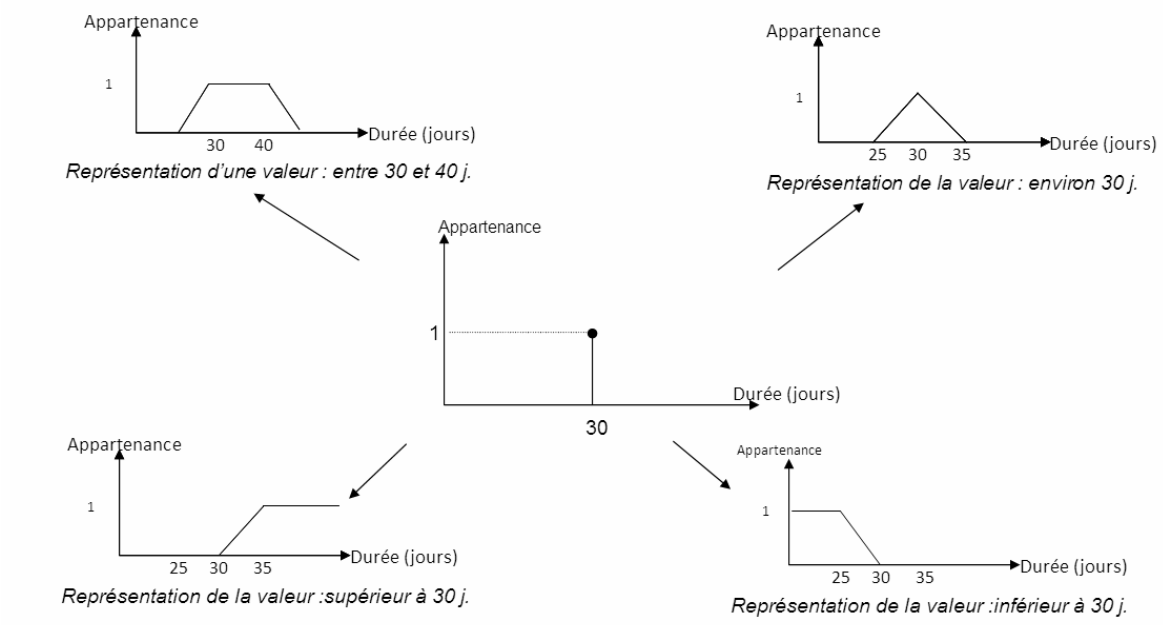
- **Longtemps universitaire :** Un nombre important d'applications de la commande floue a été développé depuis la fin des années 60, en Europe, aux Etats-Unis, en Chine et au Japon. Ce type de commande a été largement utilisé en Europe au début des années 70 et au Japon au début des années 80, notamment en 1985 les japonais introduisent des produits grand public « Fuzzy Logic Inside » pour en faire des succès industriels.

- **1990:** Généralisation de l'utilisation de cette technique :
  - appareils électroménagers (lave-linge, aspirateurs, autocuiseurs,...etc) ,
  - systèmes audio-visuels (appareils de photos autofocus, caméscope à stabilisateur d'images, photocopieurs,...)
  - systèmes automobiles embarqués (BVA, ABS, suspension, climatisation,...etc.),
  - systèmes autonomes mobiles,
  - systèmes de décision, diagnostic, reconnaissance,
  - systèmes de contrôle/commande dans la plupart des domaines industriels de production.

Annexe II:

1. Les sous-ensembles flous

La théorie des sous-ensembles flous a été appliquée à la prédiction, le processus décisionnel et le contrôle d'actions dans des environnements caractérisés par l'incertitude, le manque de précision, et la subjectivité. Les sous-ensembles flous sont un moyen de réaliser l'interface entre l'information quantitative et l'information qualitative. Les expressions linguistiques fournissent de nombreux exemples de quantités floues, comme par exemple « environ 30 », « moins que 40» et « beaucoup plus grand que 20 ». Le sens de ces expressions dépend bien-sûr du contexte dans lequel on les emploie. La figure suivante présente l'interprétation de certaines fonctions d'appartenance **[Alhamwi, 2008]**:



Lorsque nous estimons, par exemple, la durée d'une tâche à 30 jours, nous sommes en présence d'une information déterministe : nous pouvons faire un calcul partant de cette information, mais sans que le résultat en soit très fiable car pratiquement nous ne pouvons pas garantir que la tâche durera exactement 30 jours. Dans ce cas, l'approche floue constitue un compromis. Les exemples montrés ci-dessus constituent un modèle tel qu'il n'y a plus une valeur unique mais un ensemble de valeurs (ou intervalles dans certains cas). Chaque valeur est associée à un degré de confiance que nous appellerons l'appartenance.

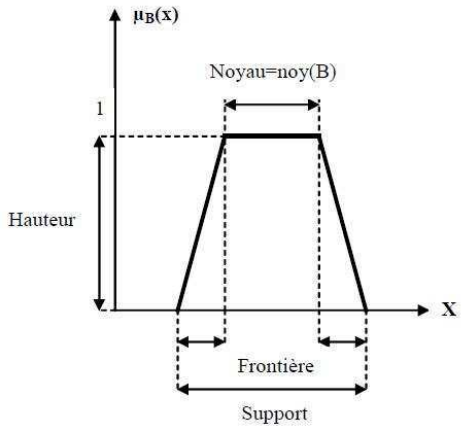
La notion de sous-ensemble flou a pour but de permettre des gradations dans l'appartenance d'un élément à une classe, c'est-à-dire d'autoriser un élément à appartenir plus ou moins fortement à cette classe. Elle évite l'utilisation arbitraire de limites rigides à des classes.

L'information apportée par un degré d'appartenance peut être plus qualitative (psychologique et linguistique) mais elle peut aussi être portée par une probabilité, c'est-à-dire une information plus quantitative puisqu'elle réfère à une fréquence. A partir d'une telle fonction, un certain nombre de caractéristiques du sous-ensemble flou peuvent être données **[Bouchon-Meunier, 2003]**:

- noyau, noté noy(B) : est l'ensemble des éléments pour lesquels la fonction d'appartenance est égale à 1 ;

$$\text{Noy}(B) = \{x \in X \mid \mu_B(x)=1\}$$

- support, noté supp(B) : est l'ensemble des éléments dont l'appartenance au sous-ensemble B n'est pas nulle ;



Sous-ensemble flou

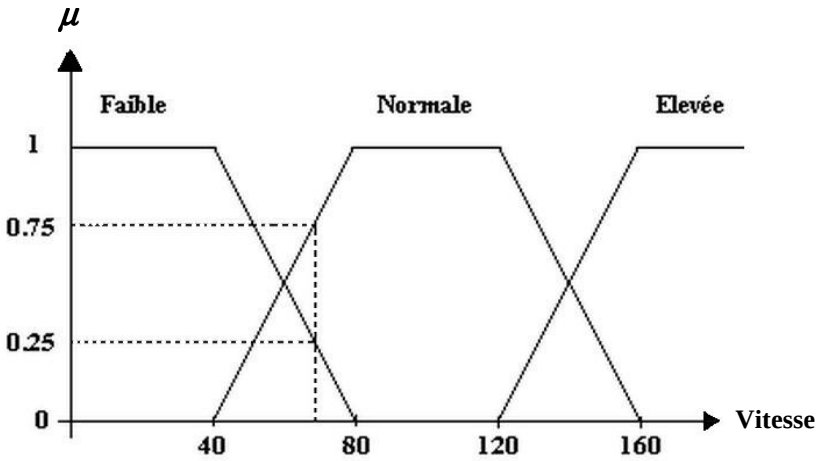
$$\text{Supp}(B) = \{x \in X \mid \mu_B(x)>0\}$$

- hauteur, noté h(B) : est la valeur maximale atteinte sur le support de sous-ensemble B

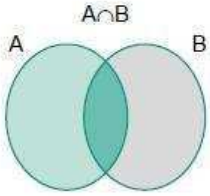
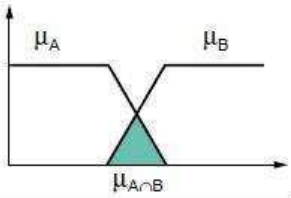
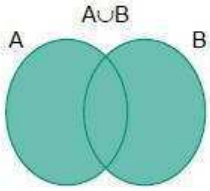
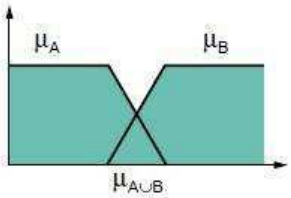
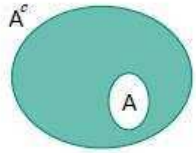
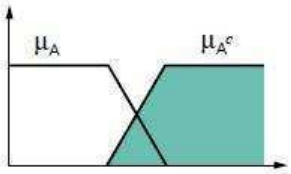
$$h(B) = \sup \mu_B(x)$$

si $h(B)=1 \Rightarrow$ le sous-ensemble B est normalisé.

La figure suivante présente un exemple de sous-ensembles flous associés aux trois variables linguistiques « faible », « normale » et « élevée » (qui qualifieraient une vitesse par exemple).



Dans cette figure, une vitesse peut appartenir à deux sous-ensembles flous en même temps. Ainsi, une valeur floue est une donnée de plus haut niveau qu'une simple valeur numérique dans le sens où elle généralise déjà un ensemble d'autre donnée avec des valeurs précises. Le tableau suivant présent les différents opérations de Zadeh entre les ensembles flous :

		Opérateur de ZADEH	Opération logique	
Intersection		$\mu_{A\cap B} = MIN(\mu_A, \mu_B)$	**ET**	
Union		$\mu_{A\cup B} = MAX(\mu_A, \mu_B)$	**OU**	
Négation		$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A$	**NON**	

Les opérations d'intersection, d'union et de complémentation usuelles pour les sous-ensembles flous peuvent être remplacées par d'autres opérateurs tels que le minimum, le maximum, la complémentation à 1. Toutes les opérations arithmétiques peuvent être effectuées pour les sous-ensembles flous, et les résultats seront des sous-ensembles flous eux-mêmes **[Bouchon-Meunier, 1995][Bouchon-Meunier, 2003]**.

Annexe II :

Lien entre possibilités et ensembles flous

Les notions de possibilités et de nécessité ont été introduites pour quantifier la certitude sur un événement. Lorsque cette quantification que l'on étudie est floue, on peut indiquer dans quelle mesure elle est possible et certaine, étant donné les connaissances préalables sur l'ensemble de référence X **[Bouchon-Meunier, 1992]**. Le lien entre possibilités et ensembles flous se fait par les concepts de *degré de possibilité* et de *distribution de possibilités* que nous allons illustrer à l'aide de l'exemple suivante :

Supposons que *A* est un ensemble flou et b est un paramètre (aussi dans la littérature on emploie le nom variable), tous les deux définis sur un domaine X (l'ensemble de toutes les valeurs possibles que peuvent prendre b et *A*). Or, pour évaluer la possibilité que la proposition floue "b est *A* " soit vraie, c'est-à-dire que chaque élément *x* sur un domaine X du paramètre b appartient à l'ensemble flou *A*, on utilise le degré d'appartenance de l'élément *x* à l'ensemble flou *A*. En effet, supposons que $\mu_A(x)=0$ pour tout *x* sur un domaine X, alors il est complètement impossible que l'élément *x* appartienne au paramètre b, autrement dit, il est tout à fait impossible que l'élément *x* soit la valeur du paramètre b. Maintenant, supposons que $\mu_A(x)=1$ pour tout *x* sur un domaine X, alors il est complètement possible que l'élément *x* appartienne au paramètre b, autrement dit il est tout à fait possible que l'élément *x* soit la valeur du paramètre b. Dans le cas intermédiaire $0<\mu_A(x)<1$, plus $\mu_A(x)$ est proche de 1 et plus la possibilité que *x* soit la valeur du paramètre b est grande, tandis qu'au contraire plus $\mu_A(x)$ est proche de 0 et plus la possibilité que *x* soit la valeur du paramètre b est petite.

En conséquence, pour tout élément *x* sur un domaine X, le *degré de possibilité* de la proposition floue "b $\in$ *A* ", c'est-à-dire que l'élément *x* appartient au paramètre b ($x \in$ b), est défini, par le degré d'appartenance de l'élément *x* à l'ensemble flou *A*.

En généralisant ce résultat, une *distribution de possibilités* sur un domaine X attachée au paramètre b, notée $\pi_b(x)$, pour tout élément *x* sur un domaine X, est définie par la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$, telle que:

$$\forall\ x \in X,\ \forall\ b, A \subseteq X : \pi_b(x) = \mu_A(x)$$

Cela signifie que si *A* est un ensemble flou et b un paramètre, avec b et *A* définis sur un domaine X, alors une distribution de possibilités sur un domaine X attaché au paramètre b, est

définie par un ensemble flou des éléments possibles du paramètre b. Il en résulte qu'une distribution de possibilités peut s'interpréter comme une fonction d'appartenance.

En général, une distribution de possibilités sur un domaine X attaché au paramètre b, est une fonction π de X dans l'intervalle réel [0,1] qui est normalisé, c'est-à-dire vérifiant pour tout élément x sur le domaine X que $sup\ (\pi_b(x))=1$, permet de construire une mesure de possibilité pour b de la forme $\Pi(b)=sup\ \pi_b(x)$. Où, $\pi_b(x)$ est le degré de possibilité que la valeur du paramètre b soit x, et sup est la borne supérieure de $\pi_b(x)$. Par dualité, la mesure de nécessité pour b est définie par $N(b)=1-\Pi(b^c)=inf(1-\pi_b^c(x))$, où, inf est la borne inférieure de $1-\pi_b^c(x)$. En conséquence, $1-\pi_b^c(x)$ est le degré de nécessité (certitude) que la valeur du paramètre b soit x. En conséquence, étant donné la distribution de possibilités $\pi_b(x)$, pour tout élément x sur un domaine X et pour tout ensemble flou B,M et $A \subseteq X$, qui traduit, d'une part, la restriction de la proposition floue *"B* est *M"* par la fonction d'appartenance $\mu_M(x)$, et d'autre part, la restriction de la proposition floue *"B* est *A"* par la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$, nous pouvons maintenant évaluer la mesure de possibilité et la mesure de nécessité de la proposition floue (ou événement flou) *"B* est *A"* sachant que *"B* est *M"*, par les équations de **[Zadeh, 1978]** :

$$\Pi(A,B) = sup_{x\in X} min(\pi_B(x),\mu_A(x)) = sup_{x\in X} min(\mu_M(x)),\mu_A(x)) \in [0,1] \quad (1)$$

$$N(A,B) = 1-\Pi(A,B) = 1-sup_{x\in X} min(\mu_M(x)),1-\mu_A(x)) = inf_{x\in X} max(1-\mu_M(x)),\mu_A(x)) \in [0,1] \quad (2)$$

On constate donc que dans l'équation (1), $\Pi(A,B)$ est la mesure de possibilité qui évalue la possibilité que la valeur de B soit A sachant que la valeur de B est M. Or, nous constatons que dans la théorie des possibilités de Zadeh, Prade et Dubois, la réflexion porte aussi sur les modalités du possible, du nécessaire et du réel.

En effet, la mesure de l'incertain est en fait imprécise car il s'agit d'un jugement incertain du réel. Et donc il y a toujours l'existence d'une subjectivité floue de l'être humain pour manipuler les concepts d'imprécision et d'incertitude autour d'une proposition floue (ou événement flou) de la réalité. Les outils logico-mathématiques proposés par Zadeh permettent de gérer cette subjectivité de l'individu autour d'une proposition floue (c'est-à-dire possible et/ou nécessaire) du monde réel, ou bien pour quantifier l'incertitude d'une affirmation relative à l'occurrence d'un événement flou, à l'aide des mesures de possibilités et de nécessités dans le cadre de la théorie des possibilités. **[Dubois, 1988]** développe ce sujet.

Annexe III :

Histoire des réglementations thermiques

1974 1ère étape : Pour répondre rapidement à l'augmentation du prix de l'énergie faisant suite au premier choc pétrolier en 1973, une isolation thermique performante pour les parois et une bonne gestion de la ventilation sont demandées pour les logements neufs. A cette fin, la réglementation introduit le coefficient G* (pour déperditions globales) qui doit être inférieur à un niveau de référence. Les exigences d'isolation relatives au chauffage électrique sont actualisées à un niveau plus élevé dans les années qui suivent.

1976 : Le secteur non résidentiel est concerné avec l'apparition du coefficient G1, lequel ne prend pas en compte les déperditions par renouvellement d'air.

1980 : Lancement du 1er label, le Label haute isolation pour inciter à dépasser l'exigence réglementaire et préparer les évolutions suivantes. Il s'agit alors d'inciter les concepteurs à aller au-delà du minimum réglementaire en favorisant notamment les apports solaires. 140 000 logements ont reçu ce label.

1982 2ème étape : Les niveaux d'isolation du Label haute isolation deviennent obligatoires pour tous les logements. Fait nouveau : les apports solaires sont déduits des déperditions pour calculer les besoins de chauffage. Le label devient le minimum réglementaire et les exigences ne visent non plus à limiter les déperditions mais à limite les besoins : c'est l'apparition du coefficient B.

1983 : Lancement des labels Haute Performance Énergétique (HPE) et Solaire. Quatre niveaux de performance sont proposés pour donner davantage de lisibilité aux efforts d'amélioration des performances du secteur de la construction. Le programme H2E85 (Habitat Économe en Énergie à l'horizon 1985) en est l'aboutissement.

* G: Coefficient de déperditions par m^3 et par degré ($W/m^3.K$)

1988 3ème étape : Premier renforcement de la réglementation pour le secteur non résidentiel : progression des labels HPE et Solaire, cette étape correspond au renforcement des performances exigées, au niveau 2 du Label HPE.

L'exigence réglementaire porte désormais sur la consommation C, "somme des besoins en chauffage corrigée des rendements des systèmes de chauffage ou d'eau chaude sanitaire". Le niveau d'exigence du secteur tertiaire est rehaussé et certaines exigences sont ajoutées en matière de régulation-programmation, de ventilation et de climatisation. Autrement dit, ce label devient le minimum réglementaire : Il ne s'agit plus de limiter les besoins mais de limiter les consommations, c'est à dire de favoriser également les équipements performants (y compris les équipements de production d'eau chaude sanitaire et de ventilation). La réglementation comporte alors 4 options au choix: option solutions techniques (sans calcul), option GV[**], option BV[***] et option C. Le niveau d'exigence est fonction décroissante de la complexité de l'option choisie (par exemple, l'option C entraîne des calculs très complexes mais son niveau d'exigence est moins élevé que celui correspondant aux autres options : en quelque sorte, puisque le calcul est plus précis, on accorde une plus grande confiance au résultat, ce qui permet d'abaisser le niveau d'exigence).

2000 La RT2000 : elle renouvelle complètement la réglementation thermique. Elle s'applique pour tous les permis de construire déposés à partir de 2 juin 2001. Elle porte sur les bâtiments neufs résidentiels et tertiaires. Elle vise à réduire d'environ 20% la consommation d'énergie par rapport à la précédente réglementation, ce qui représente 5% par rapport à la fin des années 90, dans les logements et 40% dans le tertiaire. Elle vise également à limiter l'inconfort d'été dans les locaux non climatisés. Elle laisse toute liberté de conception aux architectes et aux bureaux d'études de combiner les matériaux de construction et les systèmes de chauffage, ventilation, eau chaude sanitaire et d'éclairage pour le tertiaire pour atteindre le niveau de performance demandé. Cette étape correspond notamment à la mise en application des engagements de la France au niveau international (Accords de Rio et de Kyoto). Pour satisfaire la réglementation, le bâtiment doit désormais répondre à trois exigences fondamentales en termes d'économie d'énergie, de confort d'été et de performances minimales des composants.

[**] GV : Coefficient de déperditions par degré (W/K)

[***] Le coefficient BV exprimé en W/K caractérisé les besoins de chauffage.

Dans cette réglementation un remplacement des coefficients GV et G1, a été fait par le coefficient $U_{bât}$ qui est le coefficient de transmission surfacique moyen de l'enveloppe séparant l'intérieur du bâtiment de l'extérieur, d'un local non chauffé ou du sol.

2005 Evolution programmée de la RT2000 : la RT2005 généralise la prise en compte de l'éclairage et elle introduit le ratio kWh/an.m². De plus, le coefficient $C_{ep\ réf}$ qui doit être inférieur de 15% par rapport à la RT 2000, a remplacé le coefficient C_{ref}. Elle favorise le recours aux énergies renouvelables et pénalise le recours à la climatisation pour les bâtiments courants (bâtiments de la classe CE1, c'est-à-dire ceux pour lesquels on ne peut pas justifier clairement le recours à la climatisation). Au-delà de ces éléments, permettant d'améliorer la performance énergétique de la construction courante, les professionnels doivent préparer les solutions techniques qui permettront la réalisation de bâtiments à basse consommation. C'est pourquoi le gouvernement a mis en place un grand programme de recherche sur les économies d'énergie dans le bâtiment.

Le protocole instituant ce programme de recherche dénommé PREBAT a été signé le 25 avril 2006. Il prévoit de mobiliser des financements à hauteur de 62 millions d'euros sur trois ans. Les recherches viseront à développer des solutions techniques permettant :

- la réalisation de bâtiments neufs consommant moins de 50 kWh/m^2,
- la rénovation banalisée de bâtiments avec une performance énergétique aussi proche que possible de celle des bâtiments neufs, la réalisation de bâtiments à énergie positive.

Par ailleurs, la Fondation Bâtiment Énergie, qui réunit les financements de l'État et d'entreprises (Arcelor, EDF, Gaz de France et Lafarge) a lancé un appel à projets sur le thème des solutions de rénovation dans la maison individuelle existante.

2010-2012 : Une nouvelle étape fortement influencée par le grenelle de l'environnement, en vigueur à partir du 1er janvier 2013, et visant les performances des bâtiments dits BBC (50 kWh/m².an). Des changements et des exigences plus élevées sont imposés par cette réglementation thermique RT 2012 de manière générale plus lisible avec une grande liberté dans la conception des bâtiments, contribueront à l'atteinte des objectifs du Grenelle de l'environnement. L'application de la RT2012 est progressive :

- A partir du 28 octobre 2011 :les logements situés en zone ANRU[16], les bâtiments publics, les bureaux, les bâtiments d'enseignement et les établissements d'accueil de la petite enfance.

- 1 an après la publication des arrêtés spécifiques pour les autres bâtiments tertiaires.

- A partir du 1er janvier 2013 pour tous les bâtiments à usage d'habitation situés en dehors des périmètres de rénovation urbaine

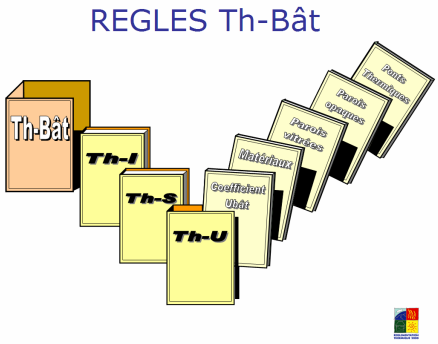
Dates repères de la RT 2010-2012

[16] Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine ;

Annexe IV:

Règles d'application pour le bâti :

1. **Règles Th-Bât :** Les règles Th-Bât sont citées dans la méthode de calcul Th-CE et ont pour objet principal la détermination de paramètres d'entrées du calcul du coefficient de consommation (C_{ep}) et de la température conventionnelle (T_{ic}) du bâtiment. Il concerne les caractéristiques des produits d'enveloppe. Ces règles comportent trois fascicules distincts établis conformément aux normes européennes : règles Th-I, règles Th-S et règles Th-U.



Règles TH-Bât

2. **Règles Th-I :** La démarche principale des règles Th-I consiste à déterminer la classe d'inertie quotidienne d'un bâtiment appelée « **classe d'inertie** » à partir des caractéristiques des parois. La « classe d'inertie » est utilisée comme donnée d'entrée dans les règles Th-C et Th-E. L'inertie thermique est une donnée de la réglementation thermique portant sur la limitation de l'inconfort thermique en saison chaude et la limitation de la consommation d'énergie des bâtiments. On distingue 3 types d'inertie thermique :
   - l'inertie horaire : qui est utilisée dans les règles Th-C pour caractériser l'intermittence de chauffage et de climatisation ;
   - l'inertie quotidienne : qui est utilisée dans les règles Th-E pour caractériser l'amortissement de l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement en saison chaude ainsi que dans les Th-C pour caractériser le taux de récupération des apports de chaleur en hiver (période de 24h) ;
   - d'inertie séquentielle : qui est utilisée dans les Th-E pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température en saison chaude (période de 12 jours). **[Règles Th-I]**.

3. **Règles Th-S :** Ces règles pour objet le calcul du facteur solaire S des composants de bâtiments (les masques, les baies, les parois opaques et les ponts thermiques). Le facteur solaire à prendre en compte peut différer selon l'objectif de la méthode de calcul utilisée (dimensionnement en climatisation, évaluation du confort d'été, méthode de calcul de consommations d'énergie des bâtiments chauffes, méthode de calcul de consommations d'énergie des bâtiments climatises), car ces méthodes peuvent prendre en compte des hypothèses par défaut différentes.

   Afin de limiter le nombre de cas envisagés, il a été retenu les deux cas de base suivants:

   1. Un calcul dit d'**hiver** correspondant aux méthodes de calcul de consommations d'énergie des bâtiments chauffes et a priori des bâtiments climatisés (pour ces derniers, les décisions finales ne pourront être prises qu'après accord au niveau national ou européen sur les hypothèses à retenir) ;

   2. Un calcul dit d'**été**, correspondant au dimensionnement des systèmes de climatisation (fonction refroidissement) et de confort d'été. Différents niveaux de calculs sont en général proposés :
      - méthode de référence, la plus proche possible des phénomènes physiques en jeu ;
      - méthode simplifiée, sur la base d'un nombre de paramètres limites ;
      - valeur forfaitaire (et conditions d'application associées).

   Le but consistait à chercher à ce que les simplifications se fassent sur la base d'une valeur raisonnablement pessimiste du résultat obtenu par rapport au domaine d'application vise. **[Règles Th-S]**.

4. **Règles Th-U :** Ces règles ont pour objet la détermination des caractéristique thermiques « utiles » des parois de construction (caractéristiques correspondants aux conditions moyennes de température, d'humidité et de résistances superficielles). Les règles TH-U donnent les modalités de calcul du $U_{bât}$

Règles TH-U

(coefficient moyen de perdition par transmission à travers les parois et les baies du bâtiment) et du $U_{bât\text{-}réf}$ (coefficient moyen de référence de perdition par les parois et les baies du bâtiment). **[Règles Th-U]**. Les règles Th-U sont divisées en cinq fascicules :

- Fascicule 1/5 « Coefficient $U_{bât}$ » :
  Ce fascicule commun aux quatre autres fascicules, décrit le contenu des règles Th-U et fixe les modalités de calcul de $U_{bât}$ et de $U_{bât\text{-}réf}$. Il rappelle le niveau réglementaire des composants d'enveloppe et donne également les définitions, les grandeurs physiques, les conventions et les unités utilisées.

- Fascicule 2/5 « Matériaux » :
  Ce fascicule donne les caractéristiques thermiques utiles des matériaux (conductivité thermique, capacité thermique massique et facteur de résistance à la vapeur d'eau).

- Fascicule 3/5 « Parois vitrées » :
  Ce fascicule décrit le principe de calcul des coefficients thermiques des parois vitrées et contient des valeurs par défaut calculées conformément aux normes correspondantes.

- Fascicule 4/5 « Parois opaques » :
  Ce fascicule décrit le principe de calcul des caractéristiques thermiques des parois opaques et des lames d'air et contient des valeurs par défaut calculées conformément aux normes correspondantes.

- Fascicule 5/5 « Ponts thermiques » :
  Ce fascicule décrit le principe de calcul des ponts thermiques et contient des valeurs par défaut des liaisons les plus courantes calculées conformément aux normes correspondantes.

Annexe V :

Le bonus COS :

Tel qu'introduit par articles L. 128-1 et L. 128-2 du code de l'urbanisme par l'article 30 de la loi de programme n°2005-781 sur les orientations de la politique énergétique et aux articles R. 111-21 et 22 du code de la construction et de l'habitation, l'arrêté du 3 mai 2007 définit les critères pour autoriser la possibilité de dépassement du coefficient d'occupation des sols (COS) de 20%. Cette mesure peut s'appliquer aussi bien aux constructions neuves qu'aux extensions de constructions existantes, à condition toutefois, que le conseil municipal ou l'établissement public de coopération intercommunal concerné ait délibéré sur son principe, qu'il ait un plan local d'urbanisme qui détermine un COS et qu'il ait indiqué les zones concernées. La parution de l'arrêté du 3 mai 2007 au Journal Officiel du 15 mai 2007 permet aux communes de délibérer immédiatement sur la mise en œuvre de cette procédure.

Pour en bénéficier, les constructions neuves de logements collectifs, de maisons individuelles groupées, d'immeubles à usage tertiaire doivent répondre aux critères des niveaux THPE EnR ou BBC du label « haute performance énergétique ». Le maître d'ouvrage doit joindre au dossier du permis de construire un document établi par un organisme habilité à délivrer le label HPE, attestant que le projet, au stade du permis de construire, respecte les critères de performance requis et que le demandeur s'est engagé à obtenir le label correspondant.

Pour les maisons individuelles isolées neuves, le bénéfice du dépassement du COS peut être accordé à la double condition : d'avoir un niveau de consommation inférieur de 20 % au moins à la consommation de référence résultant de l'application de la RT 2005 et de respecter une des quatre conditions portant sur l'utilisation des énergies renouvelables ou de pompes à chaleur performantes.

Pour les constructions existantes, les conditions s'appliquent au bâtiment et à son extension, pour respecter l'objectif de limitation des consommations énergétiques. Les planchers hauts sous combles perdus du bâtiment et de son extension doivent être suffisamment isolés. Le bâtiment doit faire l'objet de travaux d'installation d'équipements d'énergie renouvelable ou de

pompe à chaleur tels que l'ensemble des locaux, constitués par la partie existante et l'extension appartenant au même propriétaire, respecte une des conditions fixées.

Dans ces deux derniers cas, le maître d'ouvrage doit joindre au dossier de demande de permis de construire son engagement d'installer les équipements de production d'énergie renouvelable, assorti d'un document établi par un diagnostiqueur apte à établir un diagnostic de performance énergétique, attestant que les conditions sont réunies au stade du permis de construire.

Annexe VI :

Le questionnaire

LEESU
Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains

UNIVERSITÉ PARIS-EST Marne-la-Vallée

I- Dans le cadre de la certification HQE, pensez-vous qu'il existe une incertitude dans les données suivantes:

1. $U_{bât}$: Le coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment — Non☐ Oui☐ ⇨ $U_{bât}$: Min = ……. %, Max =……..%
2. I4 : L'indice de perméabilité à l'air — Non☐ Oui☐ ⇨ I4 : Min = ……. %, Max =……..%
3. Cep : La valeur absolue du coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire — Non☐ Oui☐ ⇨ Cep: Min = ……. %, Max =……..%
4. Qn_{eq}-CO_2 : Les quantités de CO_2 (eq-CO_2) générées par l'utilisation de l'énergie — Non☐ Oui☐ ⇨ $Qn_{eq\text{-}CO2}$: Min = ……. %, Max =……..%
5. $Qn_{eq\text{-}SO2}$: Les quantités de SO_2 (eq-SO_2) générées par l'utilisation de l'énergie — Non☐ Oui☐ ⇨ $Qn_{eq\text{-}SO2}$: Min = ……. %, Max =……..%
6. $CC_{\text{sanitaires communs}}$: La consommation conventionnelle du Bâtiment. — Non☐ Oui☐ ⇨ $CC_{\text{sanitaires communs}}$: Min = ……. %, Max =……..%

---

7. $U_{bât,base}$: La valeur de référence de $U_{bât}$ — Non☐ Oui☐
8. $I4_{,réf}$: La valeur de référence de I4 — Non☐ Oui☐
9. $Cep_{,réf}$: La valeur de référence de Cep — Non☐ Oui☐
10. $CC_{\text{réf sanitaires communs}}$: La valeur de référence de $CC_{\text{sanitaires communs}}$ — Non☐ Oui☐

II- Si Oui, quel est l'intervalle dans lequel se situe cette incertitude (valeur min et valeur max) :

III- Si Oui, proposez une tolérance sur la condition suivante :

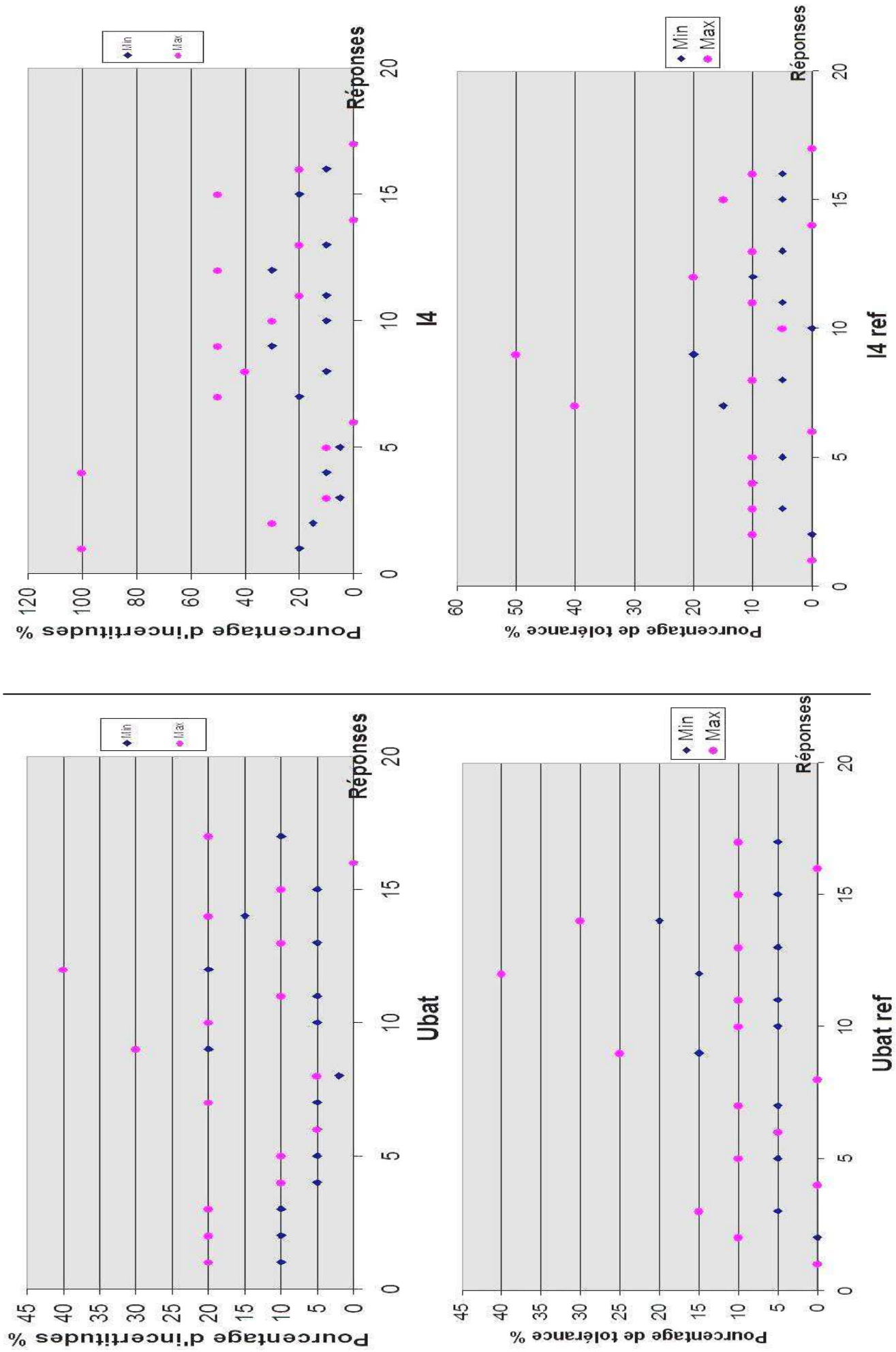
$U_{bât} < U_{bât,\,base}$ Min = ……. % , Max =……..%

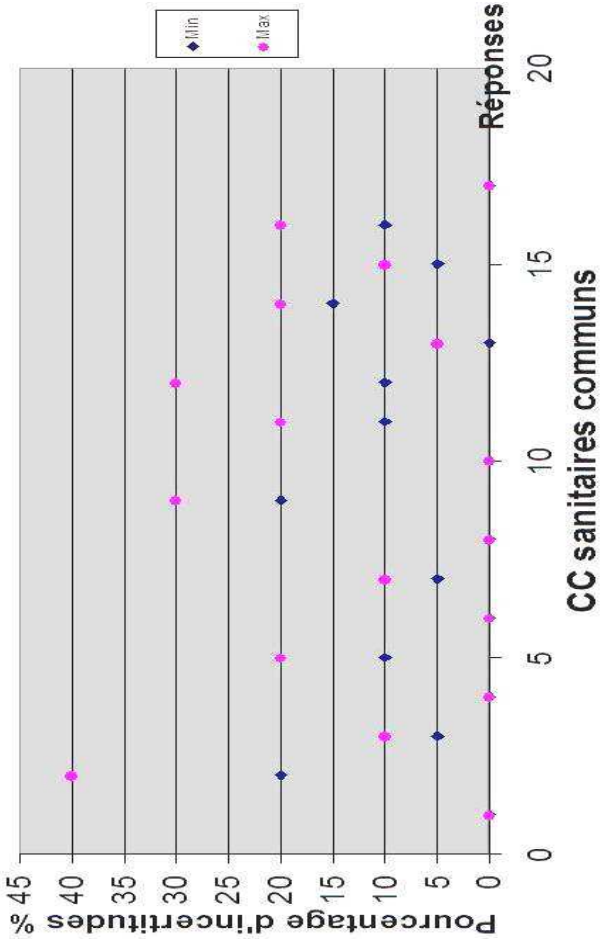
$I4 < I4_{,réf}$ Min = ……. % , Max =……..%

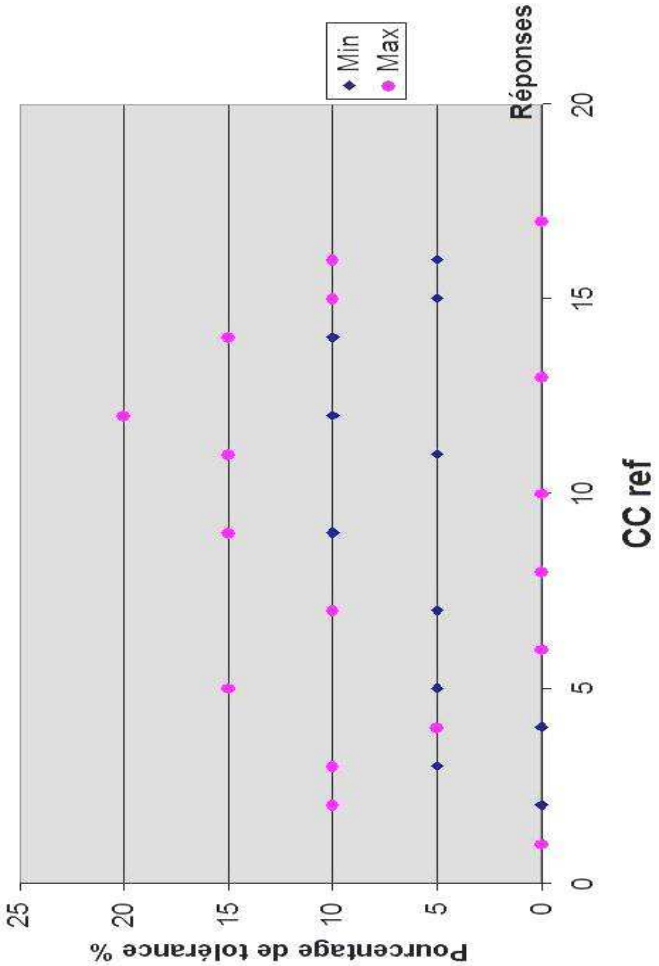
$Cep < Cep_{,réf}$ Min = ……. % , Max =……..%

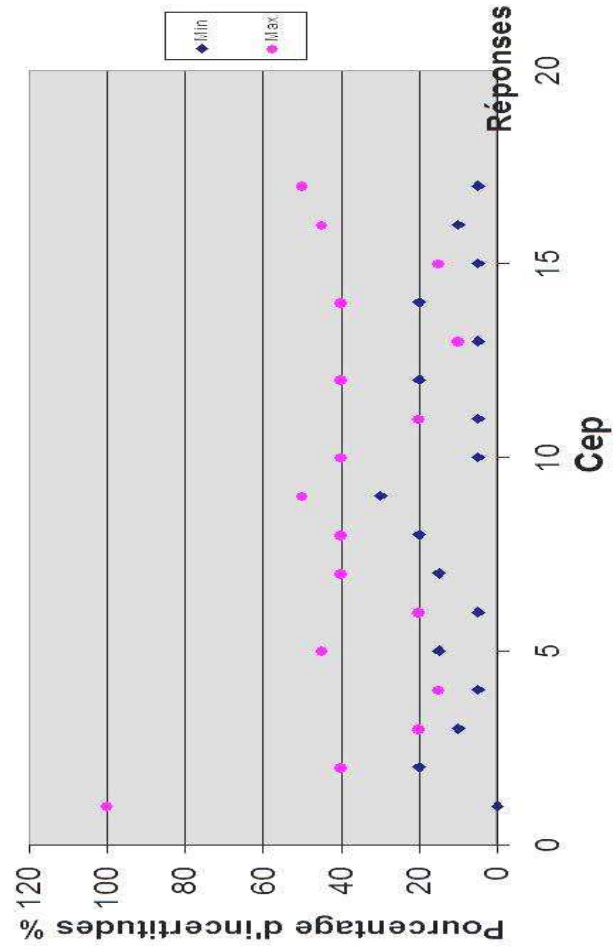
$CC_{sanit.\,com.} < CC_{ref\,sanit.\,com.}$ Min = ……. % , Max =……..%

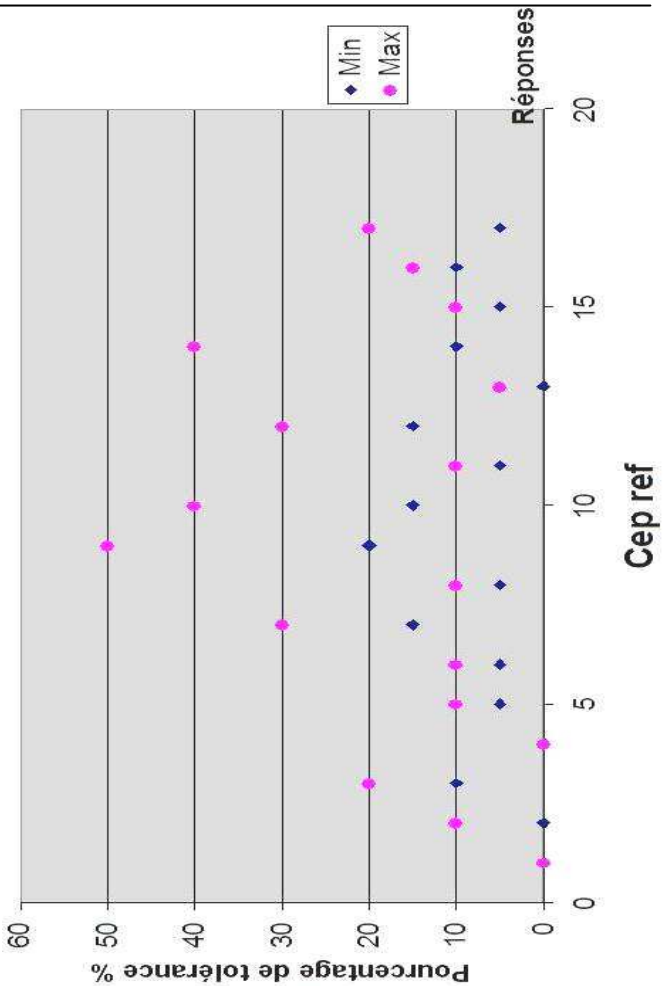
III- En vous appuyant sur votre expérience, quelles sont les cibles de niveau Très Performant choisies prioritairement par les Maîtres d'Ouvrages ?

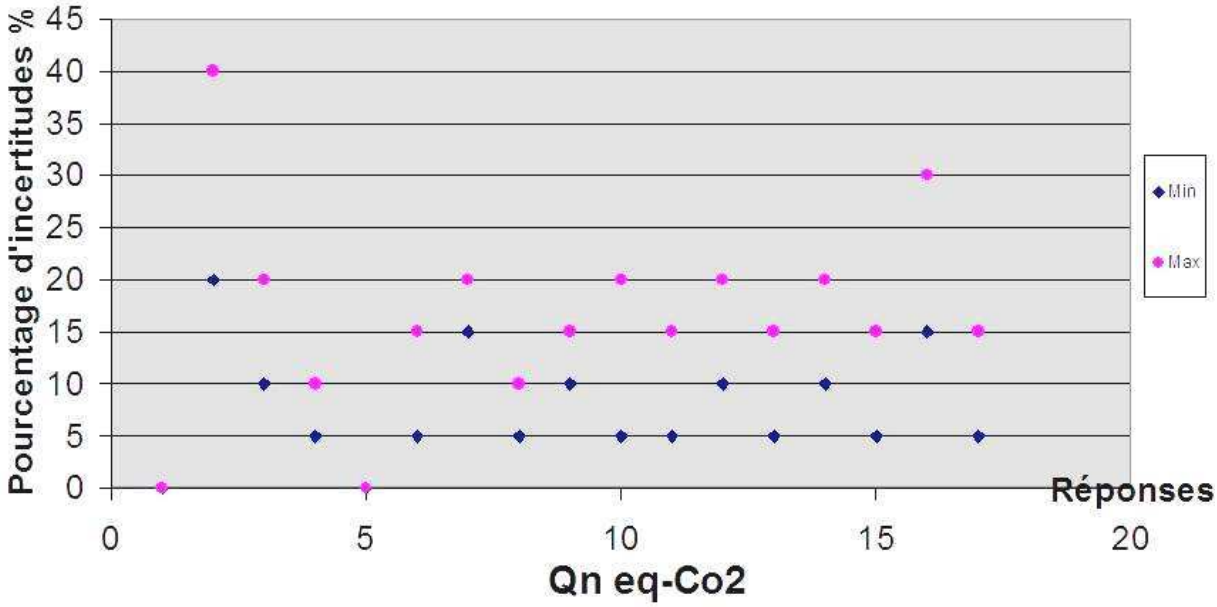

I4
Pourcentage d'incertitudes %
Réponses
Min
Max
I4 ref
Pourcentage de tolérance %
Ubat
Ubat ref

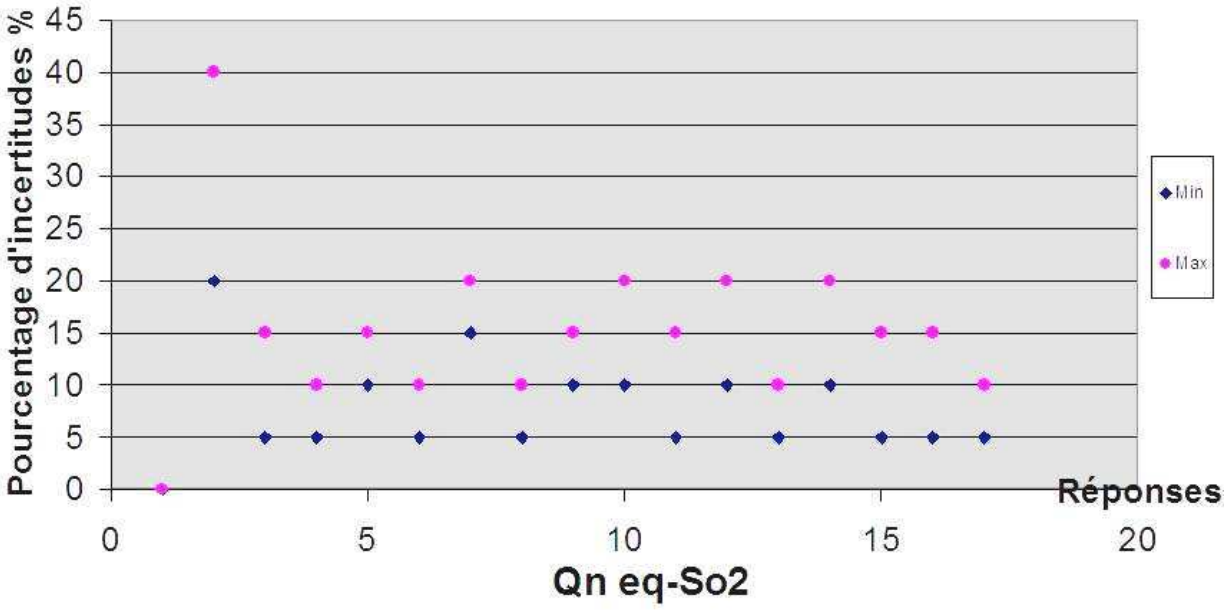

CC sanitaires communs
Pourcentage d'incertitudes %
Réponses
Min
Max


CC ref
Pourcentage de tolérance %
Réponses
Min
Max


Cep
Pourcentage d'incertitudes %
Réponses
Min
Max


Cep ref
Pourcentage de tolérance %
Réponses
Min
Max





Note : En cas d'absence de réponse, nous avons choisi de retenir la valeur 0 pour le min et le max.

Annexe VII :

Le certificat de la BUMLV

Annexe VIII :

L'évolution des outils entre les versions de référentiels 2005 et 2008

Modifié : il indique qu'il y a des modifications dans cette préoccupation par rapport à la même préoccupation du travail de **[Essa, 2007]**

Nouvelle : il indique que cette préoccupation est nouvelle par rapport au travail de **[Essa,2007]**

X : il indique que cet outil est nouveau ou modifié par rapport au travail de **[Essa, 2007]**

Cible	Sous-Cible	Préoccupation	outil
1. RELATION DU BÂTIMENT AVEC SON ENVIRONNEMENT IMMEDIAT	1.1. Aménagement de la parcelle pour un développement urbain durable	1.1.1. Assurer la cohérence entre l'aménagement de la parcelle et la politique de la collectivité	3
		1.1.2. Optimiser les accès et gérer les flux	3
		1.1.3. Maîtriser les modes de déplacement et favoriser ceux qui sont les moins polluants pour une fonctionnalité optimale	3
		1.1.4. Préserver / Améliorer la qualité écologique et paysagère du site	3
		1.1.5. Préserver / Améliorer la biodiversité	3
		1.1.6. Intégration paysagère de la gestion des eaux pluviales et/ou usées	3
	1.2. Qualité d'ambiance des espaces extérieurs pour les usagers	1.2.1. Créer une ambiance climatique extérieure satisfaisante	4
		1.2.2. Créer une ambiance acoustique extérieure satisfaisante	3
		1.2.3. Créer une ambiance visuelle satisfaisante	4
		1.2.4. Eclairage extérieur	4
		1.2.5. Assurer des espaces extérieurs sains	4
		1.2.6. Accessibilité, bien-être et convivialité	4
		1.2.7. Nuisance visuelle	3
	1.3. Impacts du bâtiment sur le voisinage	1.3.1. Assurer le droit au soleil et à la lumière aux riverains	4
		1.3.2. Assurer le droit aux vues aux riverains	3
		1.3.3. Assurer le droit à la santé aux riverains	4
		1.3.4. Assurer le droit au calme aux riverains	4
		1.3.5. Limiter la pollution visuelle nocturne	4
2. CHOIX INTEGRE DES PRODUITS, SYSTEMES ET PROCEDES DE CONSTRUCTION	2.1. Choix constructifs pour la durabilité et l'adaptabilité de l'ouvrage	2.1.1. Réfléchir sur l'adaptabilité de l'ouvrage dans le temps en fonction de sa durée de vie souhaitée et de ses usages	3
		2.1.2. Adapter les choix constructifs aux durées de vie de l'ouvrage	3
		2.1.3. Réfléchir sur la démontrabilité / séparabilité des produits, systèmes et procédés de construction	4
		2.1.4. Choisir des produits, systèmes ou procédés dont les caractéristiques sont vérifiées et compatibles avec l'usage	4
	2.2. Choix constructifs pour la facilité d'entretien de l'ouvrage	2.2.1. Assurer la facilité d'accès pour l'entretien du bâti	3
		2.2.2. Choisir des produits de construction faciles à entretenir et limitant les impacts environnementaux de l'entretien	3
	2.3. Choix des produits de construction afin de limiter les impacts environnementaux de l'ouvrage	2.3.1. Connaître la contribution des produits de construction aux impacts environnementaux de l'ouvrage	3
		2.3.2. Choisir les produits de construction pour limiter leur contribution aux impacts environnementaux de l'ouvrage	3
		2.3.3. Utiliser des matériaux et des produits issus de filières les plus courtes et moins polluantes	3
		2.3.4. Mettre en oeuvre un volume minimum de bois	3

	2.4. Choix des produits de construction afin de limiter les impacts sanitaires	2.4.1. Connaître l'impact sanitaire des produits de construction vis-à-vis de la qualité d'air intérieur	4
		2.4.2. Choisir les produits de construction pour limiter les impacts sanitaires de l'ouvrage	3
		2.4.3. Connaître les émissions de fibres et de particules des produits en contact avec l'air	3
		2.4.4. Limiter la pollution par les éventuels traitements des bois	3
3. CHANTIER A FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL	3.1. Optimisation de la gestion des déchets de chantier	3.1.1. Optimiser la collecte, le tri et le regroupement des déchets de chantier	4
		3.1.2. Valoriser au mieux les déchets de chantier en adéquation avec les filières locales existantes et s'assurer de la destination des déchets	-
		3.1.3. Réduire les déchets de chantier à la source	3
	3.2. Limitation des nuisances sur le chantier	3.2.1. Limiter les nuisances acoustiques	5
		3.2.2. Limiter les nuisances visuelles	3
		3.2.3. Limiter les nuisances dues au trafic	3
		3.2.4. Limiter les nuisances dues à la poussière, à la boue et aux laitances de béton	3
	3.3. Limitation des pollutions et des consommations de ressource sur le chantier	3.3.1. Limiter la pollution des eaux et du sol	4
		3.3.2. Limiter la pollution de l'air	3
		3.3.3. Limiter les consommations de ressources	4
4. GESTION DE L'ENERGIE	4.1. Réduction de la demande énergétique par la conception architecturale	4.1.1. Améliorer l'aptitude de l'enveloppe à limiter les déperditions	1
		4.1.2. Améliorer l'aptitude du bâtiment à réduire ses besoins énergétiques, en été comme en hiver	3
		4.1.3. Améliorer la perméabilité à l'air de l'enveloppe	1
	4.2. Réduction de la consommation d'énergie primaire	4.2.1. Réduire la consommation d'énergie primaire due au chauffage, au refroidissement, à l'éclairage, à l'ECS, à la ventilation, et aux auxiliaires de fonctionnement (selon le type de bâtiment)	1
		4.2.2. Utiliser des produits ou systèmes innovants ou non pris en compte par la règlementation thermique, et permettant un gain énergétique important	3
		4.2.3. Limiter l'éclairage artificiel non réglementaire	3
		4.2.4. Limiter les consommations des équipements électromécaniques	3
		4.2.5. Recours à des énergies renouvelables locales	3
	4.3. Réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère	4.3.1. Quantités d'équivalent CO2 générées par l'utilisation de l'énergie	1
		4.3.2. Quantités d'équivalent SO2 générées par l'utilisation de l'énergie	1
		4.3.3. Quantités de déchets radioactifs générées par l'utilisation de l'électricité du réseau	1
		4.3.4. Impact sur la couche d'ozone	3
5. GESTION DE L'EAU	5.1. Réduction de la consommation d'eau potable	5.1.1. Garantir une économie d'eau potable dans les sanitaires	1
		5.1.2. Garantir une économie d'eau potable pour l'arrosage des espaces verts et le nettoyage des locaux	3
		5.1.3. Limiter les consommations d'eau sur les systèmes énergétiques ou les systèmes caractéristiques des usages de l'ouvrage	3
	5.2. Optimisation de la gestion des eaux pluviales	5.2.1. Gestion de l'infiltration : Coefficient d'imperméabilisation	1
		5.2.2. Gestion de la rétention : Débit de fuite après réalisation	1
		5.2.3. Traitement des eaux de ruissellement	3
	5.3. Gestion des eaux usées	5.3.1. Identifier et pré-traiter les eaux usées	3
		5.3.2. Traiter sur site les rejets d'eaux usées	3
		5.3.3. Recycler les eaux usées	3

Cible	Sous-cible	Préoccupation	Outil
6. GESTION DES DECHETS D'ACTIVITE	6.1. Optimisation de la valorisation des déchets d'activité	6.1.1. Identifier et classifier la production de déchets d'activité afin de les valoriser au mieux	-
		6.1.2. Choisir les filières d'enlèvement des déchets en privilégiant leur valorisation	3
		6.1.3. Favoriser le tri des déchets à la source	3
		6.1.4. Favoriser la valorisation sur site des déchets d'activité	3
	6.2. Qualité du système de gestion des déchets d'activité	6.2.1. Faciliter la gestion des déchets par un dimensionnement adéquat des locaux/zones déchets	3
		6.2.2. Garantir l'hygiène et la sécurisation des locaux/zones déchets	3
		6.2.3. Optimiser les circuits de déchets d'activité	3
		6.2.4. Garantir la pérennité du système de gestion des déchets d'activité	3
7. MAINTENANCE - PERENNITE DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES	7.1. Maintien des performances des systèmes de chauffage et de rafraîchissement	7.1.1. Concevoir l'ouvrage de façon à faciliter les interventions d'entretien / maintenance pendant son exploitation	3
		7.1.2. Assurer une simplicité de conception des équipements et systèmes pour faciliter la maintenance et limiter la gêne occasionnée aux occupants durant les interventions de maintenance	3
		7.1.3. Mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des performances des systèmes de chauffage / rafraîchissement pendant l'exploitation de l'ouvrage	3
	7.2. Maintien des performances des systèmes de ventilation	7.2.1. Concevoir l'ouvrage de façon à faciliter les interventions d'entretien / maintenance pendant son exploitation	3
		7.2.2. Assurer une simplicité de conception des équipements et systèmes pour faciliter la maintenance et limiter la gêne occasionnée aux occupants durant les interventions de maintenance	3
		7.2.3. Mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des performances des systèmes de ventilation pendant l'exploitation de l'ouvrage	3
	7.3. Maintien des performances des systèmes d'éclairage	7.3.1. Concevoir l'ouvrage de façon à faciliter les interventions d'entretien / maintenance pendant son exploitation	3
		7.3.2. Assurer une simplicité de conception des équipements et systèmes pour faciliter la maintenance et limiter la gêne occasionnée aux occupants durant les interventions de maintenance	3
		7.3.3. Mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des performances des systèmes d'éclairage pendant l'exploitation de l'ouvrage	3
	7.4. Maintien des performances des systèmes de gestion de l'eau	7.4.1. Concevoir l'ouvrage de façon à faciliter les interventions d'entretien / maintenance pendant son exploitation	3
		7.4.2. Assurer une simplicité de conception des équipements et systèmes pour faciliter la maintenance et limiter la gêne occasionnée aux occupants durant les interventions de maintenance	3
		7.4.3. Mettre à disposition les moyens nécessaires pour le suivi et le contrôle des performances des systèmes de gestion de l'eau pendant l'exploitation de l'ouvrage	3
8. CONFORT HYGROTHERMIQUE	8.1. Dispositions architecturales visant à optimiser le confort hygrothermique en hiver et en été	8.1.1. Prendre en compte les caractéristiques du site (été principalement)	3
		8.1.2. Améliorer l'aptitude du bâtiment à favoriser de bonnes conditions de confort hygrothermique en hiver et en été	3
		8.1.3. Regrouper les locaux à besoin hygrothermique homogène (été ou hiver)	3
		8.1.4. Maîtriser l'inconfort de mi-saison	3

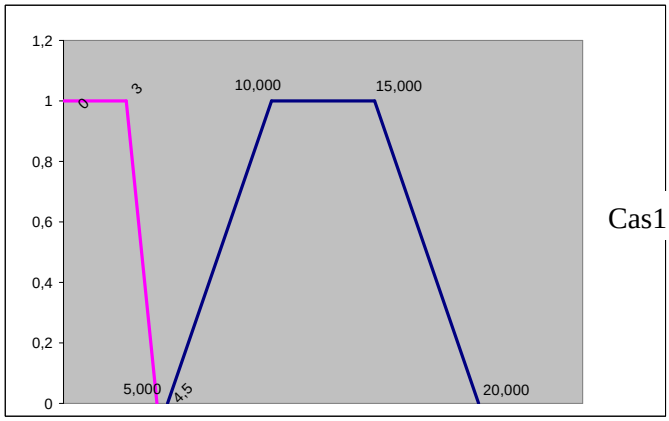
8. CONFORT HYGROTHERMIQUE	8.2. Création de conditions de confort hygrothermique en hiver		8.2.1. Définir / obtenir un niveau adéquat de température (résultante) dans les espaces	-
			8.2.2. Assurer la stabilité des températures en période d'occupation (pour les espaces à usage intermittent)	3
			8.2.3. Assurer une vitesse d'air et ne nuisant pas au confort	5
			8.2.4. Maîtrise de l'ambiance thermique par les usagers en période froide	3
	8.3. Création de conditions de confort hygrothermique en été dans les locaux n'ayant pas recours à un système de refroidissement	BÂTIMENT DE BUREAU	8.3.1 Assurer un niveau minimal de confort thermique et protéger du soleil les baies vitrées	1
			8.3.2. Assurer une ventilation suffisante lorsque les protections solaires sont en place (stores baissés) et maîtriser le débit d'air	1
		BÂTIMENT D'ENSEIGNE -MENT	8.3.1 Assurer un niveau minimal de confort thermique et protéger du soleil les baies vitrées	1
			8.3.2. Assurer une ventilation suffisante lorsque les protections solaires sont en place (stores baissés) et maîtriser le débit d'air	1
	8.4. Création de conditions de confort hygrothermique en été dans les locaux ayant recours à un système de refroidissement		8.4.1. Définir un niveau adéquat de température dans les espaces	-
			8.4.2. Assurer une vitesse d'air ne nuisant pas au confort	1
			8.4.3. Maîtriser les apports solaires et en particulier l'inconfort localisé dû au rayonnement chaud	5
			8.4.4. Maîtrise de l'ambiance thermique par les usagers en période chaude	3
			8.4.5. Maîtriser l'hygrométrie dans les espaces sensibles en période chaude	3
9. CONFORT ACOUSTIQUE	9.1. Optimisation des dispositions architecturales pour protéger les usagers des nuisances acoustiques		9.1.1. Optimiser la position des espaces sensibles et très sensibles par rapport aux nuisances intérieures	4
			9.1.2. Optimiser la position des espaces sensibles et très sensibles par rapport aux nuisances extérieures	3
			9.1.3. Optimiser la forme et le volume des espaces dans lesquels l'acoustique interne est un enjeu	3
	9.2. Création d'une qualité d'ambiance acoustique adaptée aux différents locaux	ESPACES DES BÂTIMENTS D'ENSEIGNEMENT	9.2.1. Isolement des espaces vis-à-vis de l'extérieur	1
			9.2.2. Niveau de bruits de choc transmis dans les espaces	1
			9.2.3. Niveau de bruit des équipements dans les espaces	1
			9.2.4. Acoustique interne des espaces	1
			9.2.5. Isolement au bruit aérien des espaces (réception) vis-à-vis des autres espaces (émission)	1
			9.2.6. Sonorité à la marche	3
		BUREAUX INDIVIDUELS	9.2.1. Isolement des bureaux individuels vis-à-vis de l'extérieur	1
			9.2.2. Niveau de bruits de choc transmis dans les bureaux individuels	1
			9.2.3. Niveau de bruit des équipements dans les bureaux individuels	1
			9.2.4. Acoustique interne des bureaux individuels	1
			9.2.5. Isolement au bruit aérien des bureaux individuels (réception) vis-à-vis des autres espaces d'activité « bureau » (émission)	1
			9.2.6. Sonorité à la marche des bureaux individuels	3
		BUREAUX COLLECTIFS	9.2.1. Isolement des bureaux collectifs vis-à-vis de l'extérieur	1
			9.2.2. Niveau de bruits de choc transmis dans les bureaux collectifs	1
			9.2.3. Niveau de bruit des équipements dans les bureaux collectifs	1

			9.2.4. Acoustique interne des bureaux collectifs	1
			9.2.5. Isolement au bruit aérien des bureaux collectifs (réception) vis-à-vis des autres bureaux collectifs et des espaces ouverts (émission)	1
			9.2.6. Sonorité à la marche dans les bureaux collectifs	3
		ESPACES OUVERTS DES BÂTIMENTS DE BUREAU	9.2.1. Isolement des espaces ouverts vis-à-vis de l'extérieur	1
			9.2.2. Niveau de bruits de choc transmis dans les espaces ouverts	1
			9.2.3. Niveau de bruit des équipements dans les espaces ouverts	1
			9.2.4. Acoustique interne des espaces ouverts	1
			9.2.5. Isolement au bruit aérien des espaces ouverts (réception) vis-à-vis des autres espaces ouverts (émission)	1
			9.2.6. Sonorité à la marche dans les espaces ouverts	3
		PLATEAUX A AMENAGER	9.2.1. Isolement des plateaux à aménager vis-à-vis de l'extérieur	1
			9.2.2. Niveau de bruits de choc transmis dans les plateaux à aménager	1
			9.2.3. Niveau de bruit des équipements dans les plateaux à aménager	1
			9.2.4. Acoustique interne des plateaux à aménager	1
			9.2.5. Potentiel d'isolement au bruit aérien entre espaces	1
			9.2.6. Sonorité à la marche dans les plateaux à aménager	3
		ESPACES ASSOCIES DES BÂTIMENTS DE BUREAU	9.2.1. Isolement des espaces associés vis-à-vis de l'extérieur	1
			9.2.2. Niveau de bruits de choc transmis dans les espaces associés	1
			9.2.3. Niveau de bruit des équipements dans les espaces associés	1
			9.2.4. Acoustique interne des espaces	1
			9.2.5. Isolement au bruit aérien des espaces associés (réception) vis-à-vis des autres espaces (émission) hors circulations	1
			9.2.6. Optimisation des critères d'ambiance acoustique dans les espaces associés	3
10. CONFORT VISUEL	10.1. Optimisation de l'éclairage naturel		10.1.1. Disposer d'accès à la lumière du jour dans les espaces sensibles	3
			10.1.2. Disposer d'accès à des vues sur l'extérieur dans les espaces sensibles	3
			10.1.3. Disposer d'un éclairement naturel minimal	2
			10.1.4. Qualité du traitement de la lumière naturelle	3
	10.2. Éclairage artificiel confortable		10.2.1. Disposer d'un niveau d'éclairement optimal	3
			10.2.2. Assurer une bonne uniformité de l'éclairage	1
			10.2.3. Éviter l'éblouissement dû à l'éclairage artificiel et rechercher un équilibre des luminances de l'environnement lumineux intérieur	3
			10.2.4. Assurer une qualité agréable de la lumière émise	2
			10.2.5. Maîtrise de l'ambiance visuelle par les usagers	3
11. CONFORT OLFACTIF	11.1. Garantie d'une ventilation efficace		11.1.1. Assurer des débits d'air adaptés à l'activité des locaux	3
			11.1.2. Éviter les déperditions d'air	3
			11.1.3. Assurer la maîtrise de la qualité d'air amené par conduit	3
			11.1.4. Assurer une atmosphère saine dans les espaces	3
			11.1.5. Assurer un balayage optimal de l'air intérieur dans les espaces	-

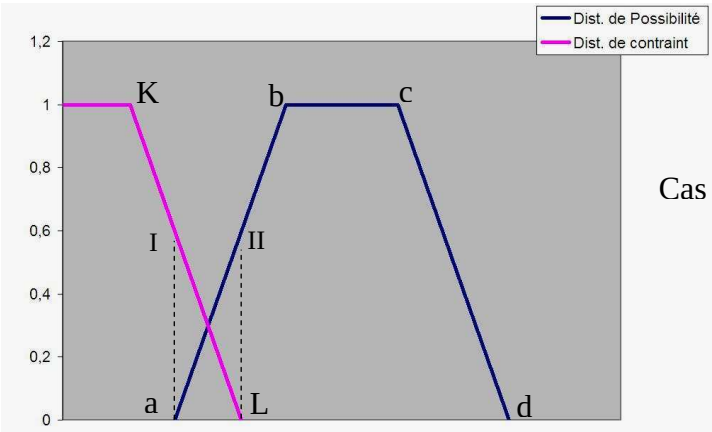
	11.2. Maîtrise des sources d'odeurs désagréables et création d'une ambiance olfactive agréable	11.2.1. Identifier et réduire les effets des sources d'odeurs	3
		11.2.2. Traiter les rejets malodorants pour éviter la diffusion des odeurs	3
		11.2.3. Assurer une ambiance olfactive agréable dans les espaces	4
12. QUALITE SANITAIRE DES ESPACES	12.1. Maîtrise de l'exposition électromagnétique	12.1.1. Identifier les sources d'émissions électromagnétiques	-
		12.1.2. Limiter l'impact des sources d'émission électromagnétique	3
	12.2. Création des conditions d'hygiène spécifiques	12.2.1. Créer les conditions d'hygiène spécifique	3
		12.2.2. Optimiser les conditions sanitaires des locaux d'entretien	3
		12.2.3. Favoriser une conception améliorant l'ergonomie afin de faciliter le nettoyage	3
		12.2.4. Choisir des matériaux limitant la croissance fongique et bactérienne	3
13. QUALITE SANITAIRE DE L'AIR	13.1. Garantie d'une ventilation efficace	13.1.1. Assurer des débits d'air adaptés à l'activité des locaux	3
		13.1.2. Éviter les déperditions d'air	3
		13.1.3. Assurer la maîtrise de la qualité d'air amené par conduit	3
		13.1.4. Assurer une atmosphère saine dans les espaces	3
		13.1.5. Assurer un balayage optimal de l'air intérieur dans les espaces	3
	13.2. Maîtrise des sources de pollution internes	13.2.1. Identifier et réduire les effets des sources de pollution internes	3
		13.2.2. Connaître les émissions de fibres et de particules des produits en contact avec l'air	3
		13.2.3. Limiter la pollution par les éventuels traitements des bois	3
		13.2.4. Prévenir le développement des bactéries dans l'air	3
		13.2.5. Connaître l'impact sanitaire des produits de construction vis-à-vis de la qualité d'air intérieur	3
		13.2.6. Choisir les produits de construction pour limiter les impacts sanitaires de l'ouvrage	3
	13.3. Maîtrise des sources de pollution externes	13.3.1. Identifier les sources de pollution externes	-
		13.3.2. Limiter l'entrée des polluants externes identifiés	3
		13.3.3. Assurer la maîtrise des pollutions	1
14. QUALITE SANITAIRE DE L'EAU	14.1. Qualité et durabilité des matériaux employés dans le réseau intérieur	14.1.1. Choisir des matériaux conformes à la réglementation	-
		14.1.2. Choisir des matériaux compatibles avec la nature de l'eau distribuée	-
		14.1.3. Respecter les règles de mise en oeuvre des canalisations	-
	14.2. Organisation et protection du réseau intérieur	14.2.1. Structurer et signaliser le réseau intérieur en fonction des usages de l'eau	-
		14.2.2. Séparer le réseau d'eau potable et les éventuels réseaux d'eau non potable (en cas de recours à une eau non potable)	3
		14.2.3. Protéger le réseau intérieur	3
	14.3. Maîtrise de la température dans le réseau intérieur	14.3.1. Maintenir les réseaux d'ECS et d'EFS à une température optimale	3
		14.3.2. Concevoir le(s) réseau(x) d'ECS afin de limiter les risques de légionellose	3
		14.3.3. Contrôler le maintien en température des réseaux	3
		14.3.4. Maîtriser les risques de brûlure	3
	14.4. Maîtrise des traitements	14.4.1. Ne pas traiter l'eau froide destinée à la consommation humaine	-
		14.4.2. Optimiser les traitements d'entretien du réseau intérieur	3
		14.4.3. Maîtriser les performances des traitements	3
	14.5. Maîtrise du risque sanitaire lié à la récupération et à la réutilisation sur site d'une eau non potable (en cas de réutilisation sur site d'une eau non potable)	14.5.1. Traiter les eaux non potables réutilisées	3
		14.5.2. Optimiser la conception des cuves de stockage de l'eau non potable réutilisée	3

Annexe IX:

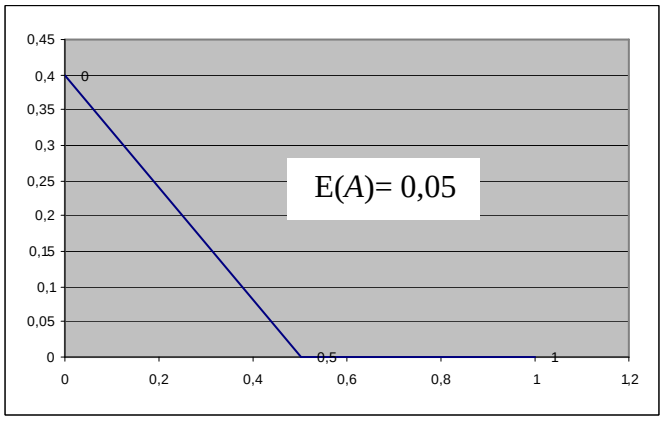
Les cas d'intersections entre les deux fonctions d'incertitudes



Cas1



Cas 2

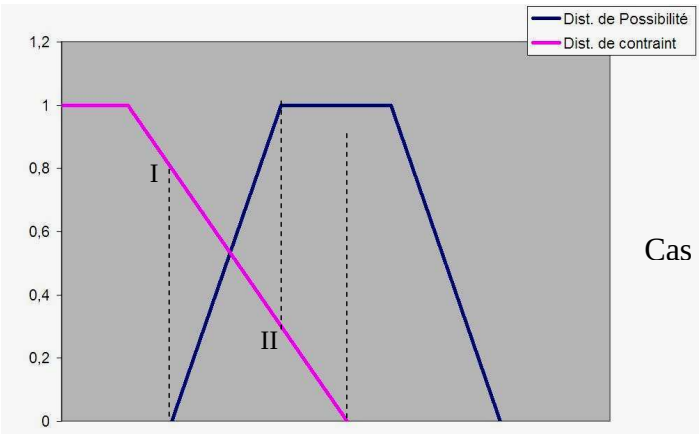


Si K< a
Et a < L ≤ b ⇨

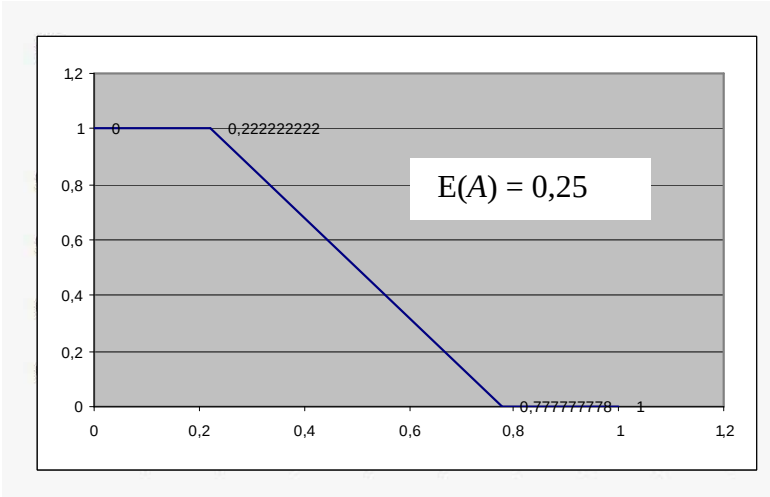
K= 3 . L = 7

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ I & 0 \\ 0 & II \end{pmatrix}$$

degré	possibilité
1	0
0,5	0
0	0,4



Cas 3

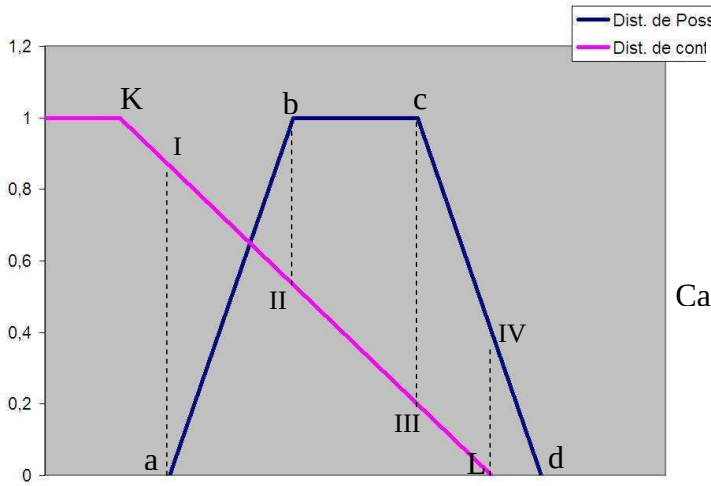


Si K< a
Et b < L ≤ c ⇨

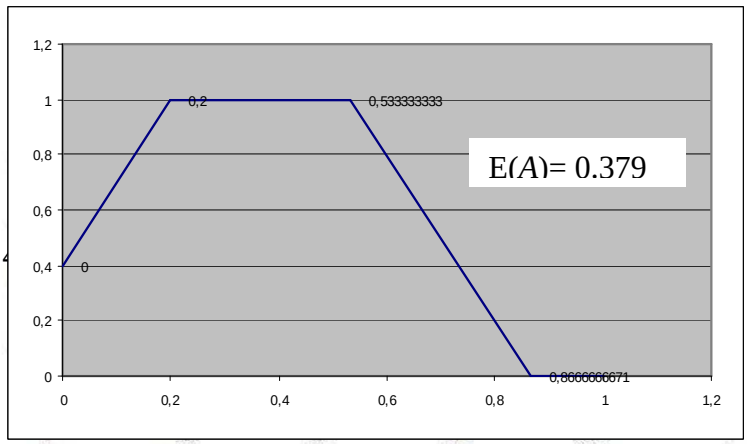
degré	possibilité
1	0
0,7777	0
0,2222	1
0	1

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ I & 0 \\ II & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

K= 3 , L = 12



Cas 4

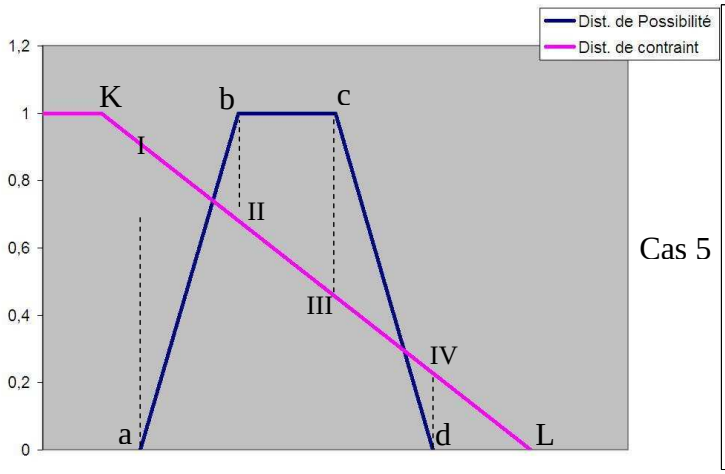


Si K < a
Et c < L ≤ d

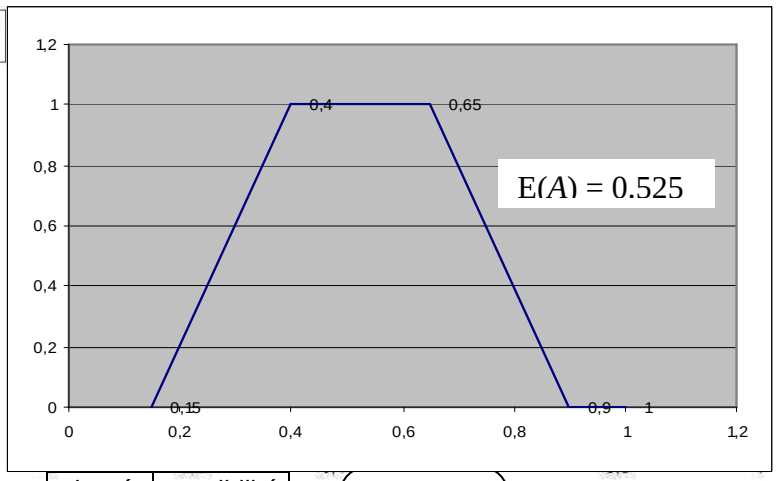
degré	possibilité
1	0
0,8667	0
0,5333	1
0,2	1
0	0,4

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ I & 0 \\ II & 1 \\ III & 1 \\ 0 & IV \end{pmatrix}$$

K= 3 . L = 18



Cas 5

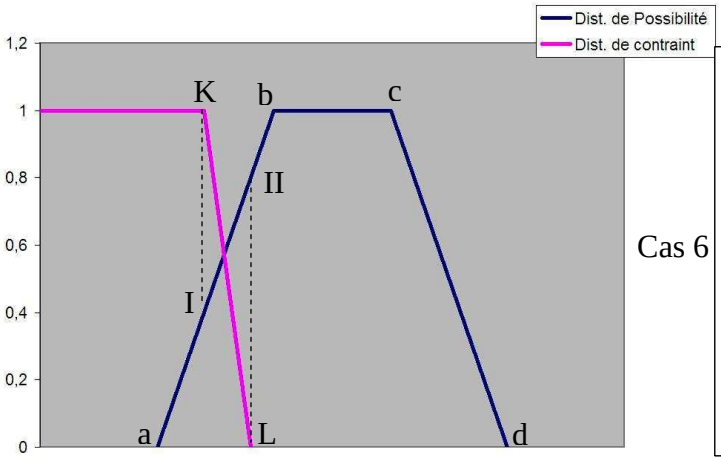


Si K < a
Et d < L

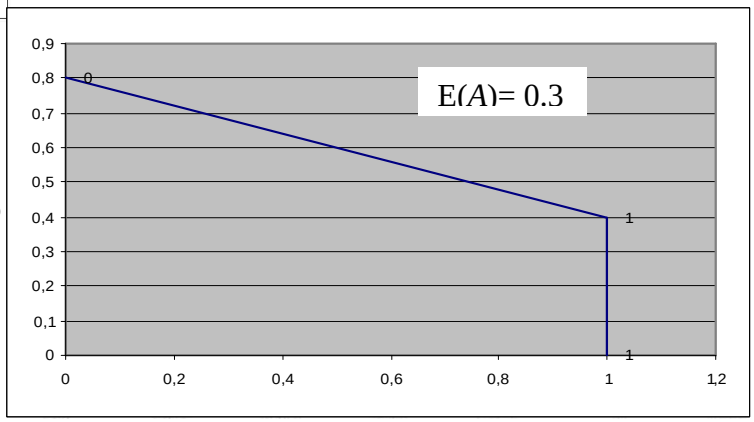
degré	possibilité
1	0
0,9	0
0,65	1
0,4	1
0,15	0

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ I & 0 \\ II & 1 \\ III & 1 \\ IV & 0 \end{pmatrix}$$

K= 3 . L = 23



Cas 6

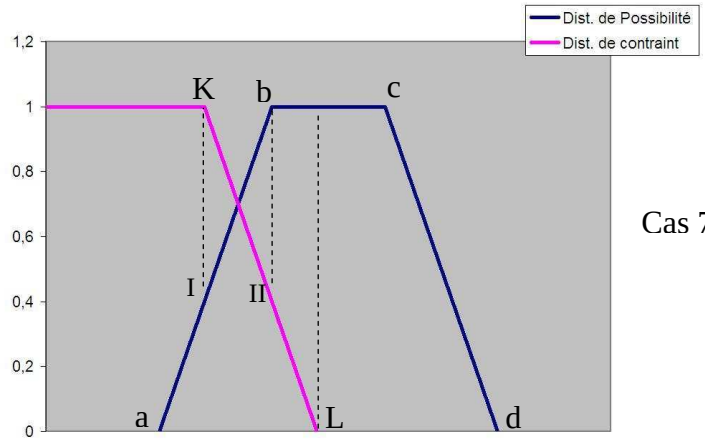


Si K ≥ a
Et L ≤ b

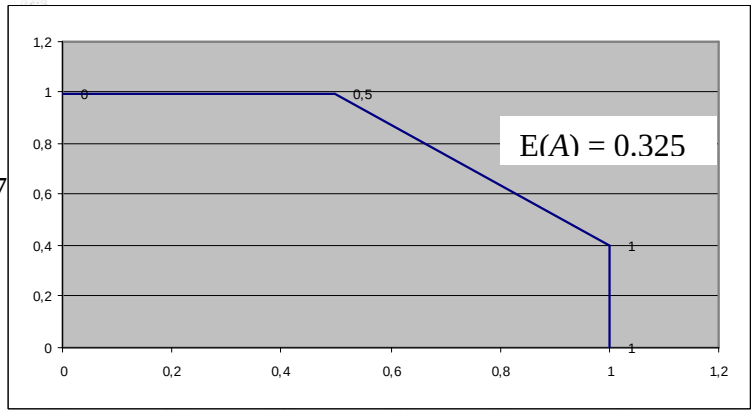
degré	possibilité
1	0
1	0,4
0	0,8

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & I \\ 0 & II \end{pmatrix}$$

K= 7 , L = 9



Cas 7

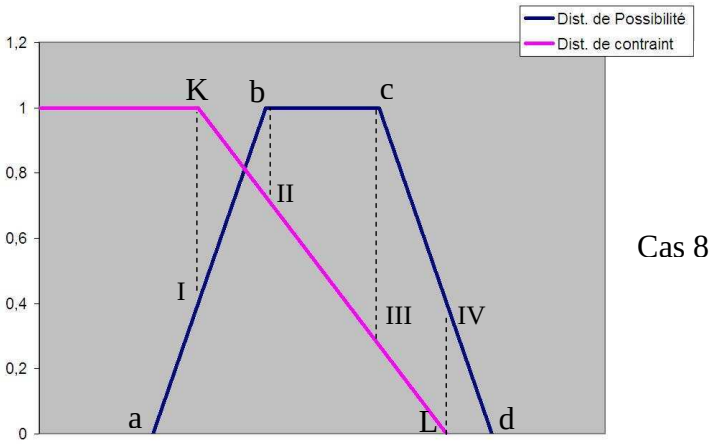


Si K ≥ a
Et b < L ≤ c

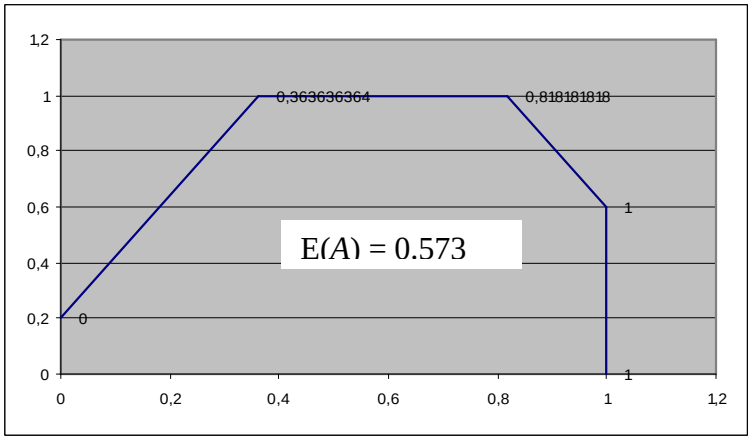
degré	possibilité
1	0
1	0,4
0,5	1
0	1

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & I \\ II & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

K= 7 , L = 13



Cas 8

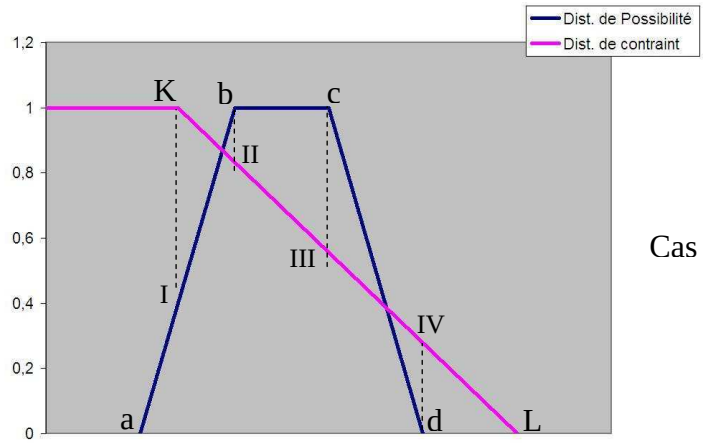


Si K ≥ a
Et c < L ≤ d

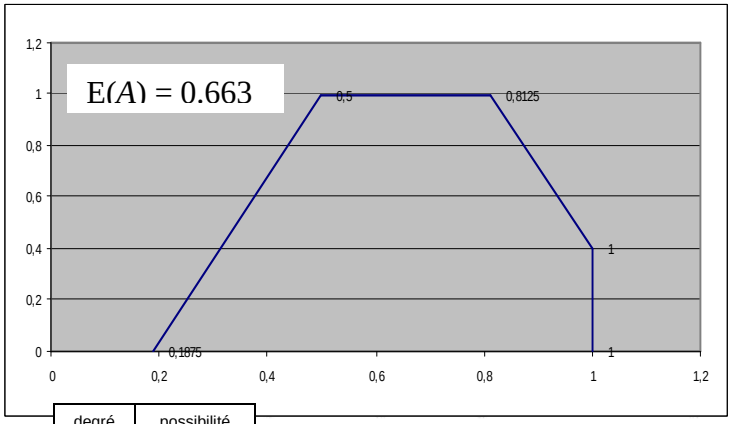
degré	possibilité
1	0
1	0,6
0,8182	1
0,3636	1
0	0,2

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & I \\ II & 1 \\ III & 1 \\ 0 & IV \end{pmatrix}$$

K= 8 , L = 19



Cas 9

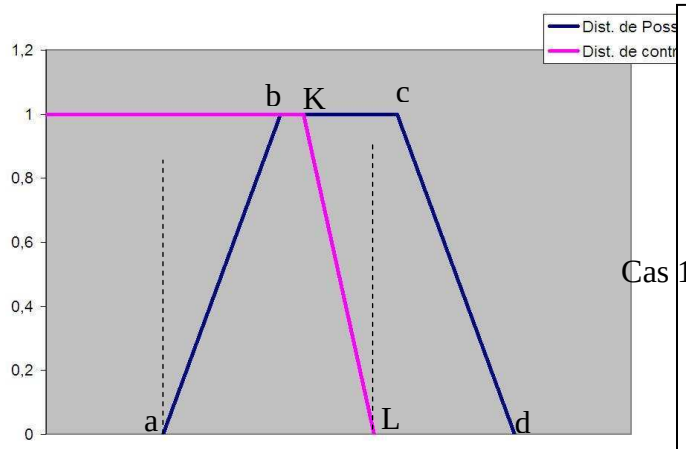


Si K ≥ a
Et L < d

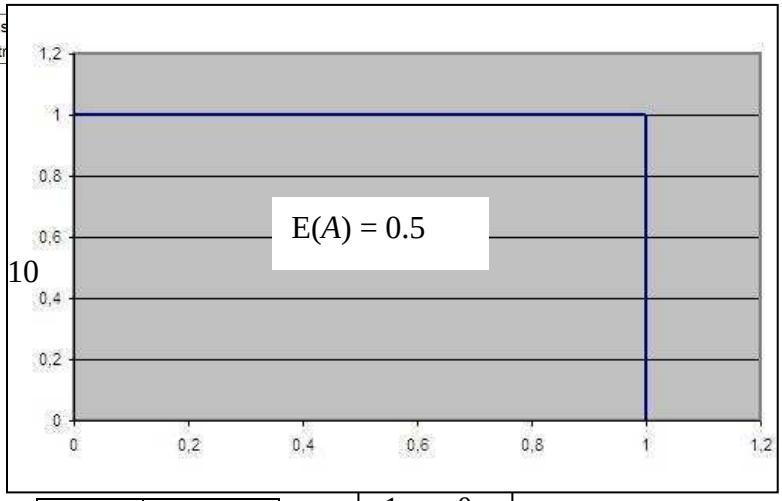
degré	possibilité
1	0
1	0,4
0,8125	1
0,5	1
0,1875	0

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & I \\ II & 1 \\ III & 1 \\ IV & 0 \end{pmatrix}$$

K= 7 , L = 23



Cas 10

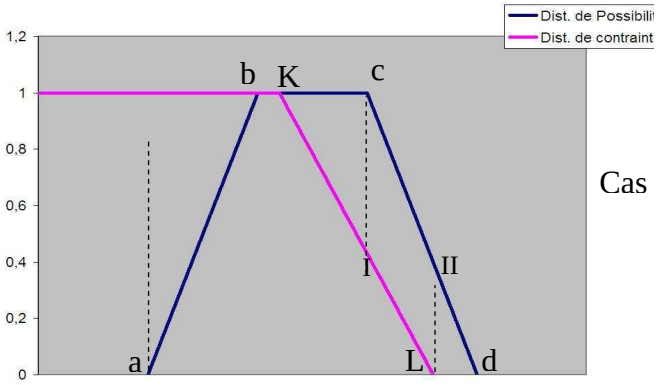


Si b ≤ K < c
Et b < L ≤ c

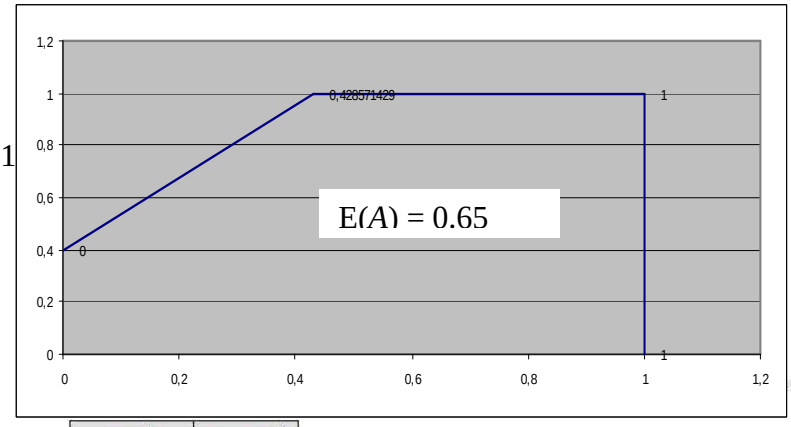
degré	possibilité
1	0
1	1
1	1
0	1

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

K= 12 . L = 14



Cas 11

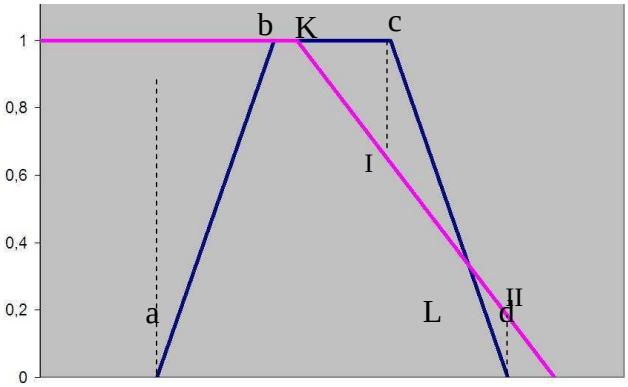


Si b ≤ K ≤ c
Et c ≤ L ≤ d

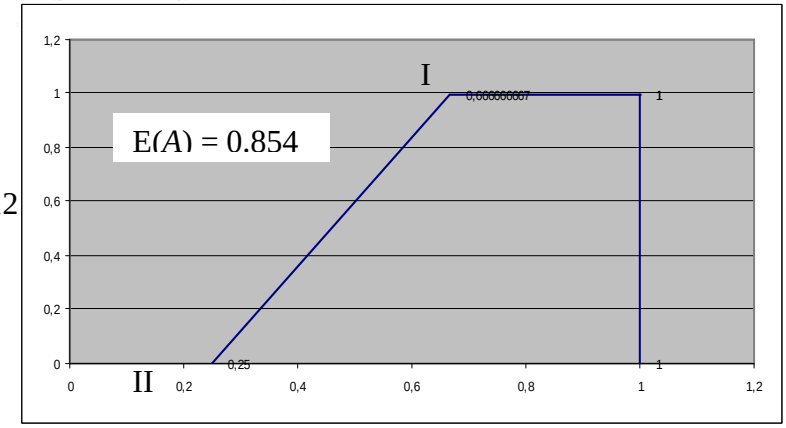
degré	possibilité
1	0
1	1
1	1
0,42857143	1
0	0,4

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ I & 1 \\ 0 & II \end{pmatrix}$$

K= 11 , L = 18



Cas 12

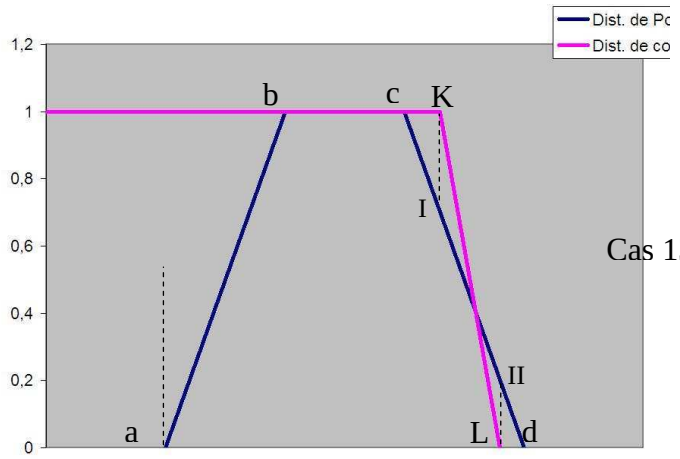


Si b < K < c
Et d ≤ L

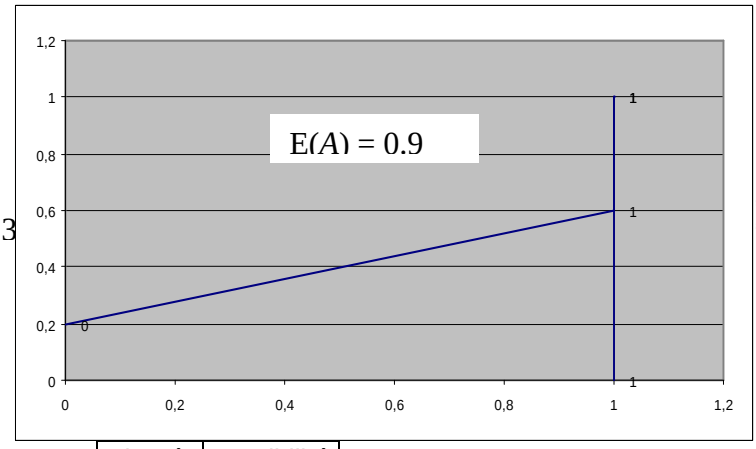
degré	possibilité
1	0
1	1
1	1
0,6667	1
0,25	0

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ I & 1 \\ II & 0 \end{pmatrix}$$

K= 11 , L = 23



Cas 13

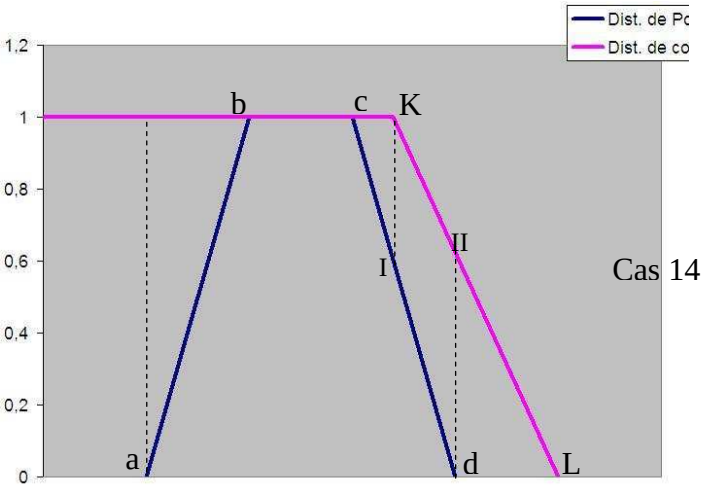


Si c < K < d
Et L < d

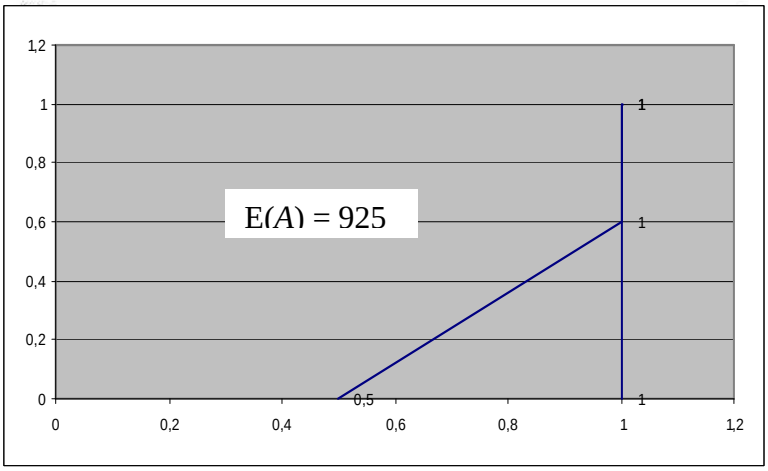
degré	possibilité
1	0
1	1
1	1
1	0,6
0	0,2

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & I \\ 0 & II \end{pmatrix}$$

K= 17 , L = 19



Cas 14

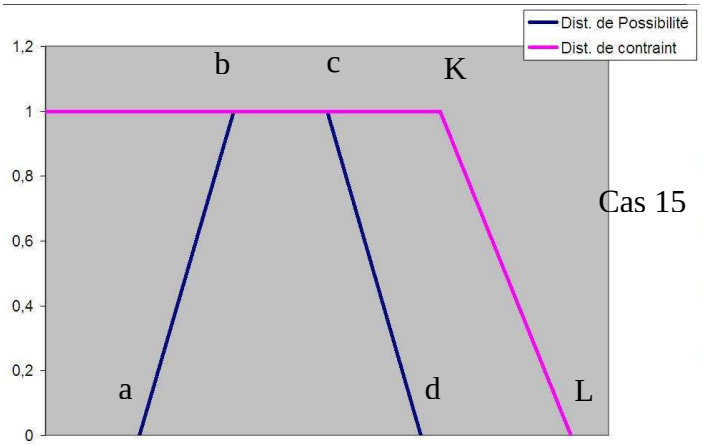


Si c ≤ K< d
Et d ≤ L

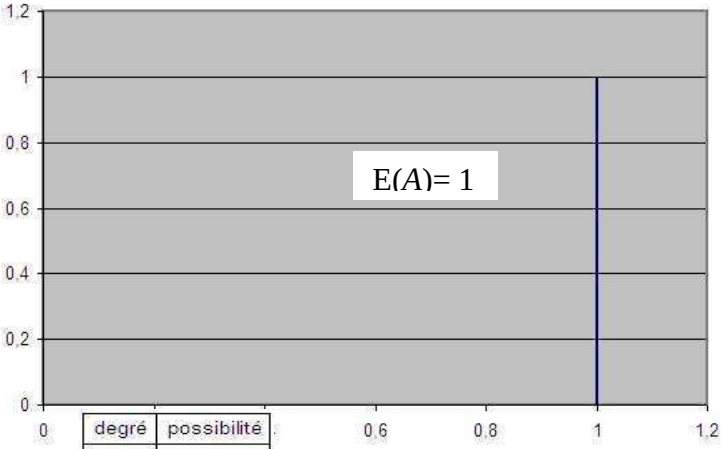
degré	possibilité
1	0
1	1
1	1
1	0,6
0,5	0

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & I \\ II & 0 \end{pmatrix}$$

K= 17 , L = 23



Cas 15



Si d ≤ K

degré	possibilité
1	0
1	1
1	1
1	0
1	0

K= 23, L = 25

Annexe X :

Les positions des bureaux de la BUMLV

Les bureaux, positionnés sur l'image ci-dessus, sont situés en périphérie nord pour capter la meilleure lumière, les locaux bruyants étant regroupés au centre du bloc. Cette disposition permet de concentrer au même endroit les plus fortes nuisances. Celles-ci sont séparées des bureaux par une zone moins bruyante qu'est la circulation. Les seuls locaux ayant une paroi commune avec les locaux bruyants sont les espaces de rangement.

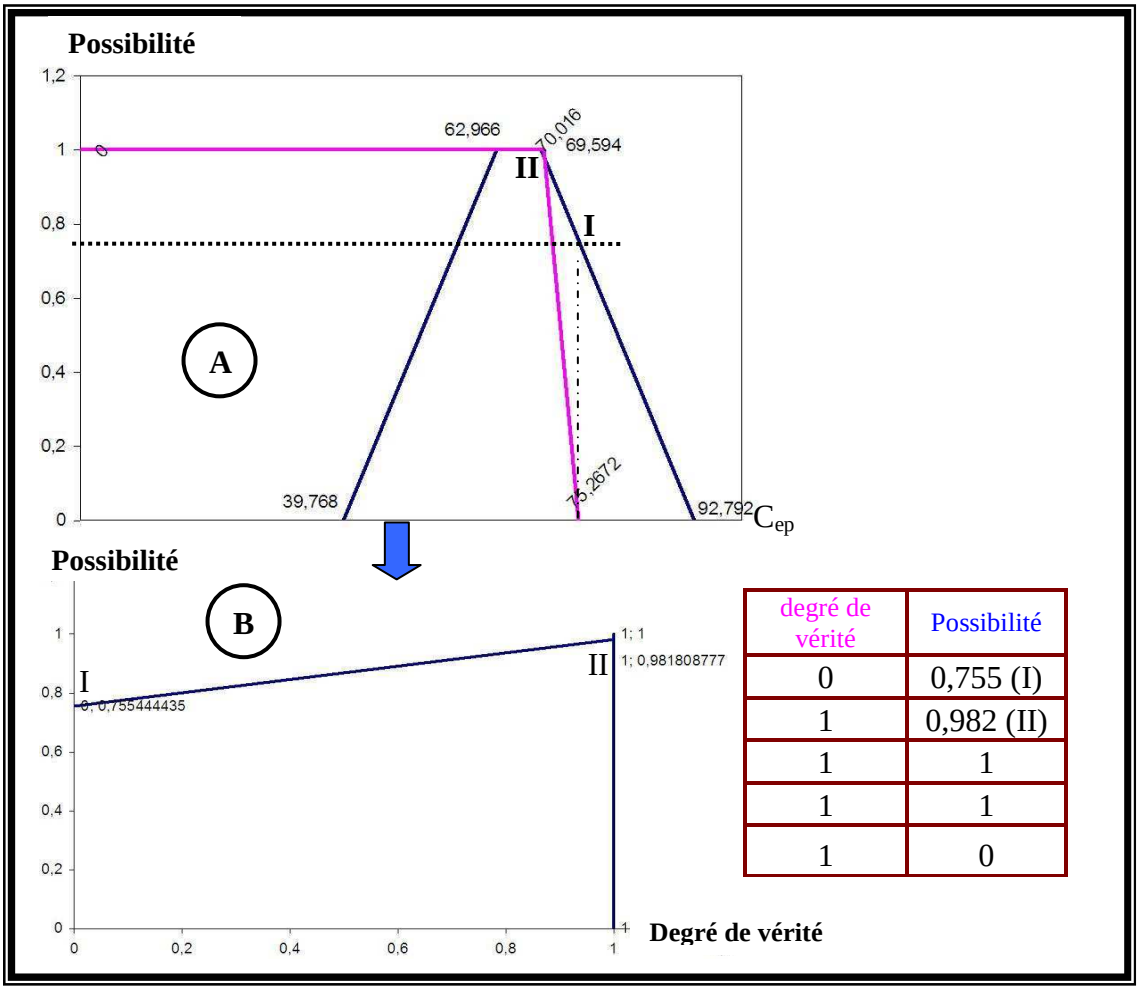
Annexe XI :

L'application de l'outil N° 1

C_{ep} : La modélisation de ce paramètre (la valeur absolue du coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire) et de la contrainte $C_{ep\ réf}$ a été élaborée grâce à la théorie des possibilités. Les résultats donnés par le calcul sont les suivants :

- Le C_{ep} calculé du bâtiment est de **66.28** $kWh_{ep}/\ m^2$ SHON/an.
- Le $C_{ep\ réf}$ du bâtiment est de **87.52** $kWh_{ep}/\ m^2$ SHON/an.

En tenant compte des résultats qu'on a obtenus avec l'analyse du questionnaire, la modélisation de ce paramètre C_{ep} sera faite avec ± 5%, ± 40% pour les valeurs minimum, maximum respectivement à travers la fonction de possibilité. La modélisation de la fonction de contrainte $C_{ep\ réf}$ introduira une tolérance de +7.5 %.



degré de vérité	Possibilité
0	0,755 (I)
1	0,982 (II)
1	1
1	1
1	0

Sachant que la cible 4 est traitée dans la certification avec le niveau de performance TP. Nous avons modélisé la fonction de contrainte en respectant l'exigence $C_{ep} \leq 0{,}80\ C_{ep\ réf} = 70.016$ $kWh_{ep}/\ m^2$ SHON/an.

L'application de la méthode de défuzzification adoptée dans notre étude donnera la valeur 0.9433. Par conséquent, nous considérons que la crédibilité de l'évaluation dans cet exemple est élevée. Ce degré de vérité de l'évaluation est présenté dans la grille d'évaluation de sous-cible comme dans le tableau suivant :

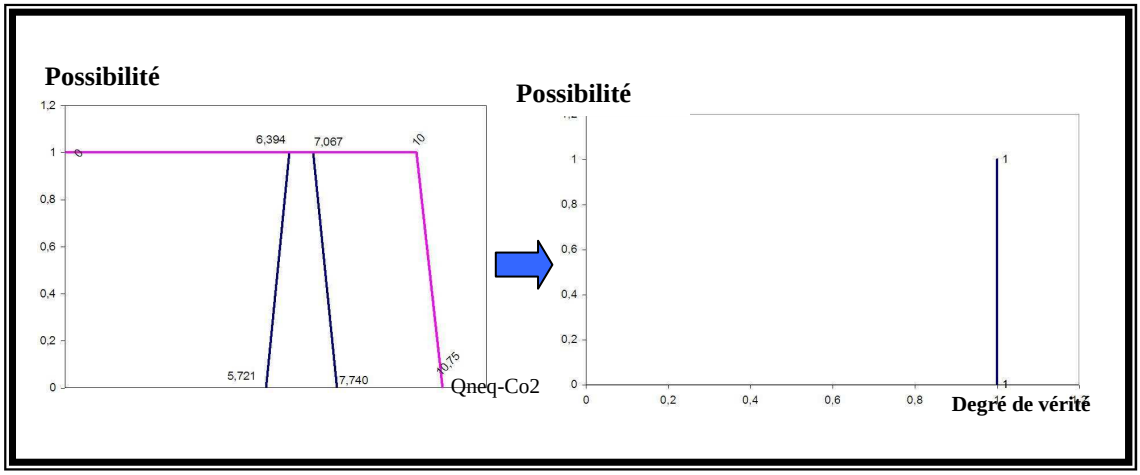
	PREOCCUPATIONS								
SOUS CIBLE 4.2	4.2.1			4.2.2			4.2.3		
	B	P	TP	B	P	TP	B	P	TP
B									
P									
TP			0,9433						

Le degré de vérité de l'évaluation de la préoccupation 4.1.1 dans la certification

Nous avons procédé de la même façon en ce qui concerne le paramètre $Q_{neq\text{-}CO2}$ (les quantités de CO_2 (eq-CO_2) générées par l'utilisation de l'énergie) avec les résultats donnés par le calcul qui sont les suivants :

- Le eq-CO_2 calculé du bâtiment est de **6.73** kg eq Co_2 /m² SHON.an.
- Avec le niveau TP de performance, le seuil d'émission d'équivalent CO_2 générés par l'utilisation de l'énergie doit être $\leq$ 10 kg eq CO_2/m² SHON.an.

La modélisation de ce paramètre sera faite avec ± 5%, ± 15% pour la fonction de possibilité. Et la fonction de contrainte sera avec une tolérance de +7.5 %.



La défuzzification du profil de compatibilité, donnera la valeur 1. Alors la crédibilité de l'évaluation dans ce paramètre est parfaite. Nous avons eu le même résultat en ce qui concerne le paramètre Qneq-So2.

Index:

Apports solaires :

Les apports solaires directs représentent l'énergie captée dans un bâtiment sous forme de chaleur sans disposition spécial de captage (à travers les fenêtres). Les apports solaires indirects proviennent d'une paroi accumulatrice interposée entre le soleil et le local à chauffer. Elle absorbe le rayonnement solaire, transformé aussitôt en chaleur et elle transmet ensuite cette énergie thermique avec quelque retard dans le local d'habitation. Les apports solaires séparés proviennent d'installations de captage et de stockage thermique dissociées du volume d'habitation. Les apports internes sont dus à la chaleur humaine, l'éclairage artificiel, aux équipements électroménagers ou à toute autre source à l'intérieur d'un bâtiment.

Bio-Construction :

Bâtiment réalisé selon les règles de l'éco-construction, mais allant au-delà. La bio construction en effet centre ses choix sur l'Homme en tant qu'occupant du lieu, avec une étude préalable du terrain, un choix de matériaux ayant de bonnes réponses biologiques, des technologies (électricité, chauffage, ventilation, sanitaire...) non polluantes, douces et agréables ;

Capteur solaire :

Un capteur solaire est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur. L'ouverture du capteur est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. Un capteur plan est un capteur sans concentration dans lequel la surface de l'absorbeur est sensiblement plane. Un capteur à circulation de liquide est un capteur dans lequel le fluide caloporteur est un liquide. Un capteur à air est un capteur dans lequel le fluide caloporteur est l'air.

Chaudière à condensation :

Chaudière qui condense les produits de combustion, ce qui lui permet un rendement 15 à 20 % supérieur à celui d'une chaudière standard

Chaudière basse température :

Chaudière fonctionnant à température plus basse qu'une chaudière standard et permettant de réaliser des gains de consommation de 10 à 12 %.

Coefficient de performance (chauffage) COP_c :

Evaluation de l'efficacité d'un appareil de chauffage, calculée en divisant l'énergie dégagée par la consommation d'énergie.

Coefficient de performance (refroidissement) COP_r :

Evaluation de l'efficacité d'un appareil de climatisation, calculée en divisant le refroidissement dégagé par la consommation d'énergie.

C_{ep} :

Consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux. Elle s'exprime en énergie primaire, soit kWh/m².an (m² de surface hors oeuvre nette SHON).

$C_{ep\ réf}$:

Coefficient C_{ep} de référence du bâtiment, déterminé sur la base des caractéristiques de référence pour l'isolation thermique, les apports solaires, la perméabilité à l'air, la ventilation, le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage des locaux, correspondant au «droit à consommer».

$C_{ep\ max}$:

Il existe une exigence minimale (ou « garde-fou ») pour le coefficient C_{ep} ; à vérifier si C_{ep} du projet est bien inférieur à $C_{ep\ max}$ variable selon l'énergie de chauffage (électricité ou combustibles) et la zone climatique.

Conductivité thermique :

C'est la propriété physique d'un matériau caractérisant sa capacité à conduire plus ou moins facilement la chaleur. Plus un matériau est conducteur de la chaleur, plus sa conductivité thermique est élevée. La conductivité thermique d'un matériau est fonction de :

- sa densité (plus un matériau est léger, plus il est isolant) ;
- sa température (plus un matériau est chaud, plus il est conducteur) ;

- sa teneur en eau et donc en humidité (plus un matériau est humide, plus il est conducteur).

D’une façon générale, plus un matériau est conducteur thermique et moins il est isolant. Rapporté aux matériaux et produits d’isolation, c’est le « lambda », exprimé en W/m.k. Plus il est élevé et moins le matériau est isolant.

Confort Thermique :

Le confort thermique est défini comme l'absence de "gêne thermique". En physiologie, il y a confort thermique lorsque pour une activité sédentaire et un habillement donné, les systèmes thermorégulateurs n'ont pas à intervenir selon des taux dépassant des valeurs de seuil.

Un diagramme psychrométrique montre comment varie l'humidité relative de l'air en fonction de la température sèche et de l'humidité absolue.

COP (Coefficient de performance) :

La performance énergétique d'une pompe à chaleur se traduit par le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommée par le compresseur. Ce rapport est le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur.

DPE :

Le concept de diagnostic de performance énergétique (DPE) pour les bâtiments est issu de la directive européenne 2002/91/CE du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments, qui demande aux Etats membres de renforcer la réglementation des bâtiments neufs, de mettre en place des réglementations lors des rénovations, d'instaurer l'inspection des chaudières et des systèmes de climatisation et de rendre obligatoire l'établissement d'un certificat de performance énergétique (appelé ultérieurement par la France, diagnostic) à la vente, à la location et à la construction. Diagnostic de la quantité d'énergie effectivement consommée d'un bâtiment: Pour la transaction à partir du 1er novembre 2006 Pour la location et la construction à partir du 1er juillet 2007.

E.C.S. :

Eau potable utilisée au quotidien aussi bien pour la toilette que pour la cuisine ou les besoins ménagers. La production d'eau chaude sanitaire peut être indépendante ou liée au chauffage.

Efficacité énergétique :

Rapport entre la quantité d'énergie récupérée et l'énergie consommée. Elle est exprimée par le COP (coefficient de performance) quand il s'agit de production de chaleur, par l'EER (coefficient d'efficacité énergétique) pour les appareils produisant du froid.

Gaz à effet de serre :

Gaz qui s'échappent lors de la combustion de combustibles fossiles comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO_2), l'anhydride sulfureux (SO_2) et les oxydes nitreux (NOx) ; on les nomme ainsi parce qu'ils contribuent au fait que l'atmosphère soit plus transparent au rayonnement solaire qu'au rayonnement tellurique.

Habitat passif :

L'habitat passif est une notion initiée en 1990 par l'ingénieur Wolfgang Feist pour qualifier un bâtiment dont la consommation énergétique au m² est très basse, voire entièrement compensée par les apports solaires ou émises par les apports internes (matériel électrique et occupation).

Une maison passive réduit d'environ 80% les dépenses d'énergie de chauffage par rapport à une maison neuve construite selon les normes allemandes d'isolation thermique de 1995, normes déjà très exigeantes.

Le programme CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards) a contribué à développer le concept de bâtiment passif, il avait pour but de promouvoir ce type de construction. Par l'intermédiaire de ce programme, l'Europe a financé des réalisations faites dans 5 pays : en Allemagne, en Autriche, en France, en Suisse et en Suède. Chaque pays participant devait démontrer la faisabilité technique et la rentabilité du projet et permettre la reproductibilité de ce type de construction.

Inertie thermique :

L'inertie thermique (ou la masse thermique) correspond au potentiel de stockage thermique d'un local ou d'une maison. L'ensemble des masses réparties à l'intérieur de l'enveloppe isolante d'une construction constituent l'inertie thermique intérieure : les parois en maçonnerie pleine, les dalles de plancher.

La propriété des constructions à forte inertie thermique est de conserver une température stable et de se réchauffer ou se refroidir très lentement, alors que les constructions à faible inertie suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de la température extérieure.

PAC :

Machine qui puise la chaleur dans le sol, une nappe d'eau ou l'air, l'augmente grâce à un compresseur et l'utilise pour le chauffage du logement. Elle permet de diviser, en moyenne, par trois la consommation d'énergie nécessaire au chauffage.

Ponts thermiques :

Il s'agit des parties de l'enveloppe d'un bâtiment où la résistance thermique est modifiée de façon sensible en raison :

- de la pénétration du froid du fait de matériaux ayant une conductivité thermique différente ;
- d'un changement local d'épaisseur des matériaux de la paroi, ce qui modifie la résistance thermique à cet endroit ;
- de véritables « fuites thermiques » aux liaisons entre parois, ou entre l'enveloppe et les huisseries.

Résistance thermique :

La résistance thermique indique la propriété d'une paroi à s'opposer à l'écoulement de la chaleur. C'est l'aptitude d'un matériau à s'opposer au transfert de calories. Plus la résistance thermique (R) est élevée, plus la paroi est isolante (épaisseur importante ou conductivité faible). C'est l'inverse du coefficient U, elle s'exprime en m^2.°C/W. L'indice R est étroitement lié à l'épaisseur du matériau.

Ainsi, pour obtenir un R = 2 il faut :

- 8 cm de laine minérale ;

- 2,20 m de parpaings ;
- 7 m de granit.

SHOB (Surface hors œuvre brute) :

Totalité de la surface des planchers, murs extérieurs compris.

SHON (Surface hors œuvre nette) :

Totalité de surface des planchers moins ce qui n'est pas aménageable (combles, sous-sols non aménageables, terrasses, emplacement de véhicules…).

Solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est l'énergie des photons dans la lumière transformée directement en électricité grâce à des cellules solaires qui sont fabriqués avec des matériaux semi-conducteurs. Une cellule photovoltaïque (ou photopile) est un dispositif qui transforme l'énergie lumineuse en courant électrique. La première photopile a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés," une technique appelée le "dopage" qui est utilisée dans tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel.

Tic :

La température intérieure conventionnelle atteinte en été est la valeur maximale horaire de la température en période d’occupation, pour le résidentiel la période d’occupation considérée est la journée entière.

Thermodynamique :

Discipline de la physique qui étudie la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique et réciproquement. Cette science s'intéresse aux relations entre les composés et la quantité de chaleur que ces réactions mettent en jeu.

$U_{bât}$:

Le coefficient $U_{bât}$ est le coefficient réglementaire de déperditions par les parois et liaisons du bâtiment ce qui caractérise le niveau d'isolation de l'enveloppe du bâtiment. Ce coefficient représente les pertes au travers d'un mètre carré de paroi extérieure du bâtiment pour 1°C d'écart entre la température intérieure et la température extérieure. Il est exprimé en $W/K.m^2$.

$U_{bât\ réf}$:

Le coefficient Ubât-réf (exprimé en $W/m^2.K$) représente le coefficient moyen de référence de déperditions du bâtiment par les parois et liaisons. $U_{bât\ réf}$ est calculé avec les exigences de référence de ces parois et liaisons.

$U_{bât\ max}$:

Les compensations entre la performance du bâti et celles des équipements est limitée, il existe une exigence minimale (ou « garde-fou ») sur le coefficient $U_{bât}$ notée $U_{bât\ max}$ et variable selon le secteur de construction (maisons, immeubles ou autres).

$U_{bât\ base}$:

Coefficient de déperdition de base par les parois et les baies du bâtiment. Idem à Ubât-réf mais il prend en compte les surfaces réelles des vitrages.

Vitrage

Un vitrage est un châssis garni de vitres qui laisse passer le rayonnement solaire de faible longueur d'onde appartenant pour l'essentiel au domaine visible, main ne transmet pas le rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde. Ce phénomène fait du verre un élément de prédilection pour la récupération du rayonnement solaire. Le taux de transmission d'un vitrage est en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement. Le bilan thermique d'un vitrage dans une paroi de bâtiment est la différence entre les gains de chaleur dus au rayonnement solaire et les déperditions thermiques pendant la période de chauffage. Il dépend du type de vitrage, son orientation et l'ensoleillement du lieu.

VMC (ventilation mécanique contrôlée) :

Dispositif permettant la circulation d'air dans un logement. Il est fondé sur une extraction d'air vicié dans les pièces techniques (cuisine, sanitaires) et une injection d'air sain dans les pièces de séjour.

Zones climatiques :

La France se découpe selon 8 zones climatiques différentes considérant les températures et l'ensoleillement. Ces 8 zones correspondent simplement à une combinaison des précédents réglementations thermiques, soit : H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, et H3.