

# Réduction de la consommation énergétique et l'obtention d'un haut niveau de confort hygrothermique et visuel à l'aide des outils de simulation.

Teresa de Queiroz Gaudin<sup>1,2</sup>, Gérard Gaudin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Av. Dos Ipês, s/n, Cidade Universitaria, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup> Gaudin Ingénierie S.A.R.L.

ZAC du Bois Cholet, 44860, Saint Aignan du Grand Lieu, France

[t.gaudin@gaudin-ingenierie.net](mailto:t.gaudin@gaudin-ingenierie.net), [g.gaudin@gaudin-ingenierie.net](mailto:g.gaudin@gaudin-ingenierie.net),

[www.gaudin-ingenierie.com](http://www.gaudin-ingenierie.com) & [www.revival-eu.net](http://www.revival-eu.net)



---

*RESUME.* Cet article présente la synergie entre les différents acteurs et les stratégies passives et techniques mises en place pour réaliser un bâtiment ayant une consommation réelle inférieure de 30% à la consommation réglementaire (niveau THPE-ENR) et un haut niveau de confort hygrothermique et visuel. Pour obtenir ces résultats, des outils d'aide à la conception ont été utilisés : Simulation Thermique Dynamique (TRNSYS, 2006) et Calcul du Facteur de Lumière du Jour en 3D. Grâce à une collaboration étroite entre le maître d'ouvrage, l'équipe de maîtrise d'œuvre et l'assistant au maître d'ouvrage AMO-HQE®, les objectifs ont été atteints. Cet article montre les apports des outils d'aide à la conception, les aspects plus significatifs et les résultats obtenus grâce à un intense travail de bonification effectué entre les phases esquisse, APS et PRO.

*MOTS-CLÉS :* Haute Qualité Environnementale, Simulation Thermique Dynamique, Facteur de Lumière du Jour.

---

*ABSTRACT.* This paper presents the passive and technology strategies and, the approaches between different actors, taken in account to realize a building with low energy consumption less than 30% of the regulation consumption in France (THPE-ENR) and, to obtain a high level of thermal and visual comfort. In order to obtain these results, we have used tools as thermal dynamic simulation (TRNSYS, 2006) and the calculation of daylight in 3D. With collaboration between owner, architects and environmental quality consultant, the objectives have been obtained. The owner's aiming is to certify an office building (6000m<sup>2</sup>) as "French High Environmental Quality (HQE®)". This paper shows the tools aspects to help the design building, the most significant aspects and, the results during the design evolution.

*KEYWORDS:* High Environmental Quality, Thermal Dynamic Simulation, Daylight.

---

## 1. PRESENTATION DU BATIMENT

Le maître d'ouvrage Normandie-Aménagement a décidé de réaliser un immeuble de bureaux de 6000 m<sup>2</sup>, situé à Colombelles (14) sur le campus technologique « EFFISCIENCE » (début des études en avril 2007, livraison du bâtiment 2 mai 2008). Normandie-Aménagement a décidé de faire certifier son bâtiment suivant la démarche « HQE® bâtiment tertiaire » (Référentiel millésime, CERTIVEA, 2006). Le profil (voir annexes 1 et 2 à la fin de cet article) est ambitieux avec 7 cibles sur 14 cibles visées en « TP » (Très Performant) dont : Cible 1 « Relation du bâtiment avec son environnement immédiat », Cible 3 « Chantier à faible impact environnemental », Cible 4 « Gestion d'énergie », Cible 6 « Gestion des déchets d'activité », Cible 7 « Maintenance, pérennité des performances environnementales », Cible 8 « Confort hygrothermique », Cible 10 « Confort visuel ».

### 1.1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DU SITE

Le site climatique est celui la ville de Caen (zone H1a). La station météorologique est Caen-Carpiquet. Le ciel Normand est souvent changeant, et les périodes où l'on voit se succéder averses et éclaircies sont assez fréquentes. Les journées entièrement grises plus rares à Deauville ou à Honfleur qu'en région parisienne. En fait, les heures de soleil ne sont globalement pas plus nombreuses qu'à Paris, mais réparties plus régulièrement. La partie sud-ouest du département, plus montagneuse, est l'une des régions françaises les plus humides. Les pluies n'y sont pas abondantes, mais très étalées dans le temps, sur un peu plus de 200 jours par an » (Kessler et Chambraud, 1993).

En été les conditions climatiques restent généralement modérées. Toutefois, il y a deux caractéristiques marquantes sur le site de Colombelles (situé sur plateau) :

- Vents abondants toute l'année (majoritairement du Sud-est au Nord-ouest),
- Été, des séquences chaudes durant 10 à 15 jours. Les risques de surchauffes partielles sont effectifs.

### 1.2. LE PROJET

Le projet concerne la construction d'un bâtiment à usage de bureaux situé sur le pôle technologique EFFISCIENCE, sur le plateau de Colombelles (14), à proximité de CAEN, Normandie, France. L'immeuble est entièrement conçu sur la base réglementaire du code du travail et intègre les éléments de la démarche de « Haute Qualité Environnementale - HQE® ».

Le projet regroupe en un seul bâtiment les espaces « en blanc » de bureaux et pré-câblé, en 3 niveaux, mode constructif en trames structurelles de 5.40 m, qui correspondent à des trames d'aménagement de 1.35 m, comprenant : bureaux, 2 halls principaux d'accueil, 2 escaliers, 2 ascenseurs, des locaux sanitaires. Les locaux techniques (chaufferie et CTA) sont en terrasse. L'effectif théorique d'occupation maximum du bâtiment est d'environ 240 occupants. La surface totale (SHON) est d'environ 4349 m<sup>2</sup> (RDC = 1459m<sup>2</sup> ; niveau 1 = 1452 m<sup>2</sup> ; niveau 2 = 1436 m<sup>2</sup>).

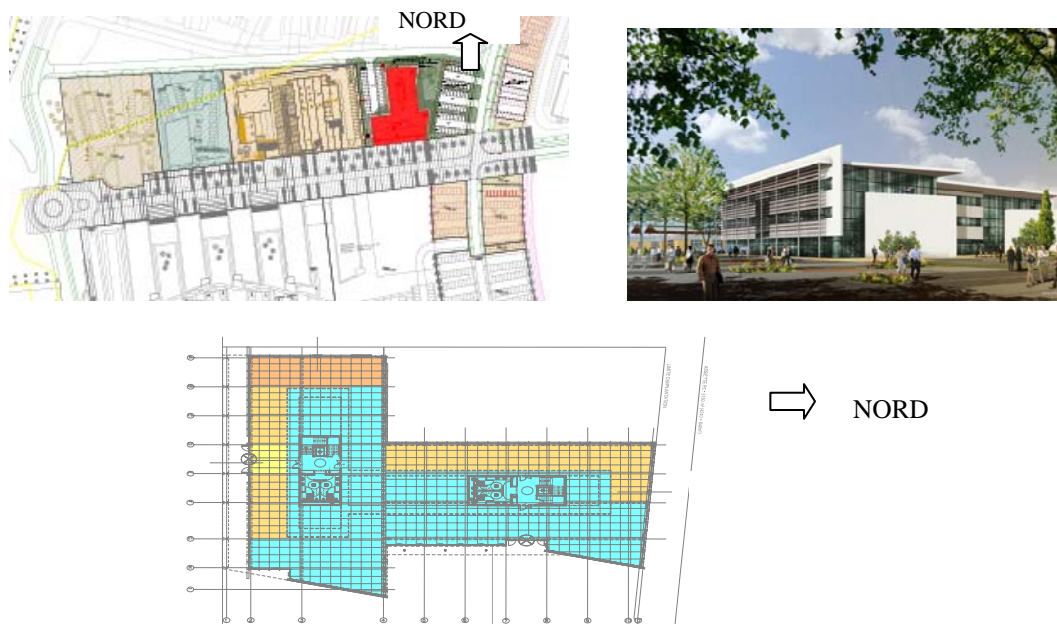


Figure 1 : En haut plan masse du site et perspective du bâtiment. En bas plan schématique d'un niveau du bâtiment (architecture : DEGW Espace Architecture).

### 1.3. CARACTERISTIQUES CONSTRUCTIVES



L'enveloppe architecturale a été optimisée conjointement par la Maîtrise d'œuvre dont l'agence DEGW (architectes M. Le Van Loi et Mme. Bei) et le cabinet Gaudin Ingénierie. Ces études ont permis d'atteindre des résultats exemplaires : confort hygrothermique, confort visuel et consommation énergétique. Les principales dispositions prises ont été : optimisation des surfaces utiles suivant l'orientation (travail entre l'architecte et AMO HQE®), mise en place de panneaux

photovoltaïques en brise-soleil sur façade Sud et stores extérieurs à l'Est et l'Ouest.

Figure 2 : Panneaux photovoltaïques utilisés en brise-soleil (dimensions calculées suivant TRNSYS).

### 1.4. COMPOSANTS OPAQUES

Les façades orientation Nord, Est et Ouest sont revêtues d'un parement en béton désactivé blanc. La façade Sud est protégée du rayonnement solaire par une structure recevant des lames en brise-soleil. Les vitrages des façades sont protégés par des stores extérieurs mobiles. Les parois opaques sont isolées par l'extérieur. Les menuiseries sont à double rupture de pont thermique, typt ouvrants ou oscillo-battante à la française. Allèges pleines en continuité du mur rideau ont remplissage en panneaux type vitrage sablé plus feutre opaque, tramé sur un multiple de 45 cm (châssis de 45 cm ou 90 cm). Faux plancher technique métal, dalles antistatiques sur les plateaux et faux plafonds minéral sur une trame de 1.35 m démontable et à fort coefficient d'absorption acoustique composent ce bâtiment.

### 1.5. COMPOSANTS VITRES

Les menuiseries extérieures sont en aluminium laqué et les surfaces vitrées sont équipées de doubles vitrages performants, à faible émissivité avec les coefficients suivants:

Tableau 1 : Coefficients thermiques des surfaces vitrées.

Façades	U-value (W/m².K)	U-window (W/m².K)	Facteur Solaire du vitrage
Nord et est	1.1	1.9	0.63
Sud et ouest	1.1	1.9	0.40

Les ponts thermiques liaison menuiserie et isolant sont traités dans le prolongement de l'isolation : ponts thermiques sol sur terre plein, au niveau des planchers intermédiaires et au niveau de toiture en terrasse.

## 2. PRINCIPALES PERFORMANCES DU BATIMENT

Les principales performances du bâtiment sont caractérisées par : l'enveloppe parfaitement isolée, caractérisée par le coefficient U-bat.

Tableau 2 : Coefficients thermiques.

U-bat réel	U-bat référence	Gain (%)
0.657 W/m <sup>2</sup> K	0.848 W/m <sup>2</sup> K	22.46

Le gain sur la consommation énergétique totale, avec le calcul du coefficient C de consommation suivant RT 2005 :

Tableau 3 : Consommation (RT 2005).

C réel	C référence	Gain (%)
91.0 kWh EP/m <sup>2</sup>	161.1 kWh EP/m <sup>2</sup>	43.49

L'architecture bioclimatique, la mise en place de panneaux photovoltaïques (en brise soleil), un éclairage naturel de qualité associé à un éclairage artificiel performant (détection de présence + gradation de la lumière en fonction de l'éclairement naturel) permettent d'économiser 60 % sur le poste électricité. Le prix du kWh est élevé. Les besoins de chauffage (hors perte par génération, émission et régulation) sont de 21.16 kWh/an m<sup>2</sup>. Les besoins de rafraîchissement pour une année climatique moyenne sont très faibles (proche de zéro) et de 10 kWh/an m<sup>2</sup> pour une année chaude (+3°C que les normales saisonnières).

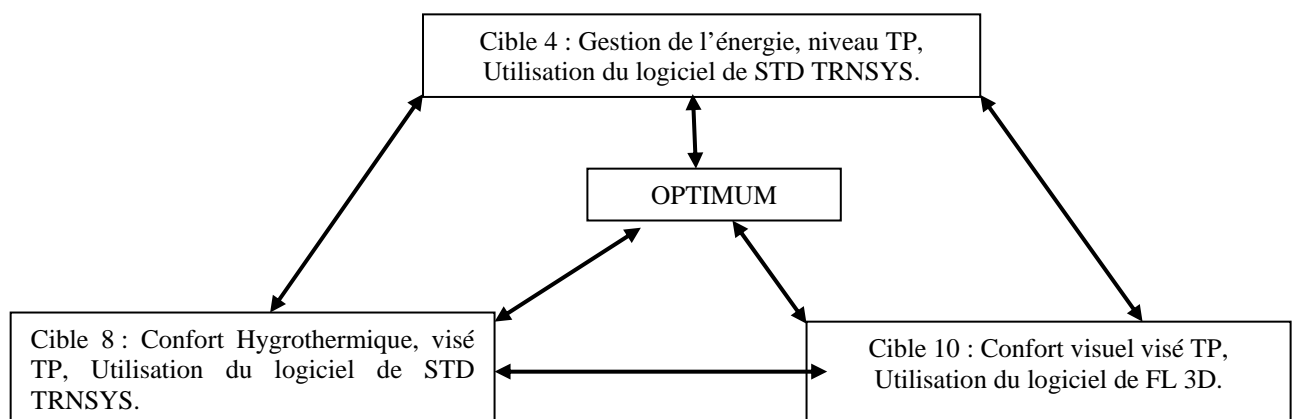
Du fait d'occupants utilisant un processus dégageant une quantité de chaleur importante, le deuxième niveau sera rafraîchi pour combattre ces apports calorifiques spécifiques. Outre l'architecture bioclimatique, la très haute isolation, les panneaux solaires photovoltaïques (200 m<sup>2</sup>), l'éclairage artificiel très performant, 3 points sont importants : 2 chaudières à condensation avec très haut rendement (108 % sur PCI) et faible émission de gaz à effet de serres, ventilation double flux comprenant variation de débit et récupération de calories supérieure à 77 % (certifiés Eurovent) et Gestion Technique Centralisée (GTC).

### 3. UTILISATION DES OUTILS DE CONCEPTION

#### 3.1. INTRODUCTION

Cette article traite de l'utilisation des outils de conception afin d'obtenir un profil optimum :

Tableau 4 : Organigramme d'interaction entre cibles et des outils.



L'objectif principal de ce travail est de démontrer comment ont été utilisés les outils d'aide à la conception (STD-TRNSYS et calcul du Facteur de Lumière du Jour en 3D) pour obtenir un haut niveau de performance.

### 3.2. PRINCIPAUX OBJECTIFS DANS LE CADRE D'UNE CERTIFICATION HQE®

Les objectifs suivants sont indispensables dans le cadre d'une certification HQE®: (i) consommation énergétique (cible 4) chaud et froid : consommation réelle < de 20 % au moins à la consommation réglementaire ; (ii) confort hygrothermique (cible 8) : le nombre d'heures durant laquelle la température résultante intérieure ne dépasse pas 28°C est inférieur à 50 heures ; (iii) confort visuel (cible 10) : Facteur de Lumière du Jour > à 2% dans 80% des cas.

## 4. COLLABORATION EFFECTUEE ENTRE MAITRISE D'ŒUVRE ET BUREAUX D'ETUDES

Grâce à un intense travail de collaboration et de bonification effectué entre l'équipe de maîtrise d'œuvre, les bureaux d'études et l'assistant au maître d'ouvrage (AMO-HQE), pendant les phases de conception du projet, les résultats ont été atteints. Les choix des outils de simulation ont permis d'obtenir un haut niveau de confort hygrothermique et visuel pour le projet. Nous démontrons cette optimisation au travers d'exemples graphiques sur l'avancement de la simulation thermique dynamique (à l'aide du logiciel TRNSYS) et du calcul d'éclairage naturel (facteur de lumière du jour en 3D) en certaines phases de la conception (à suivre).

### 4.1. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE (A L'AIDE DE TRNSYS)







#### 4.1.1. Résultats de la STD pour un climat moyen

Les résultats ci-après sont présentés pour la phase de projet définitif (PRO), en considérant l'efficacité des stores extérieurs et des vitrages plus performants. La forme graphique a une légende en couleur qui correspond au nombre d'heures où la température résultante par zone thermique dépasse 28°C.

Deux critères sont pris pour l'analyse des résultats:

- La température résultante maximum intérieure ne doit pas dépasser (un léger écart peut être exceptionnellement accepté) la température maximum extérieure.
- Si la température résultante intérieure :
  - Ne dépasse pas 28°C pendant plus de 30 h : zone très confortable,
  - Ne dépasse pas 28°C pendant plus de 50 h : zone moyennement confortable,
  - Si la température intérieure dépasse 28°C pendant plus de 60 heures → risque d'inconfort.

Afin d'éviter la lecture, un jeu de couleur :

LEGENDE COULEURS DES ZONES		
Nb d'heures où T° >28°		
< 30 h		← → TRES
de 30 à 50 h		← → MOYENNEMENT
de 50 à 70 h		← → NON CONFORTABLE
de 70 à 100 h		← →
de 100 à 150h		← →
> 150 h		← → INVIVABLE

} NON CONFORTABLE AVEC DIFFERENTES

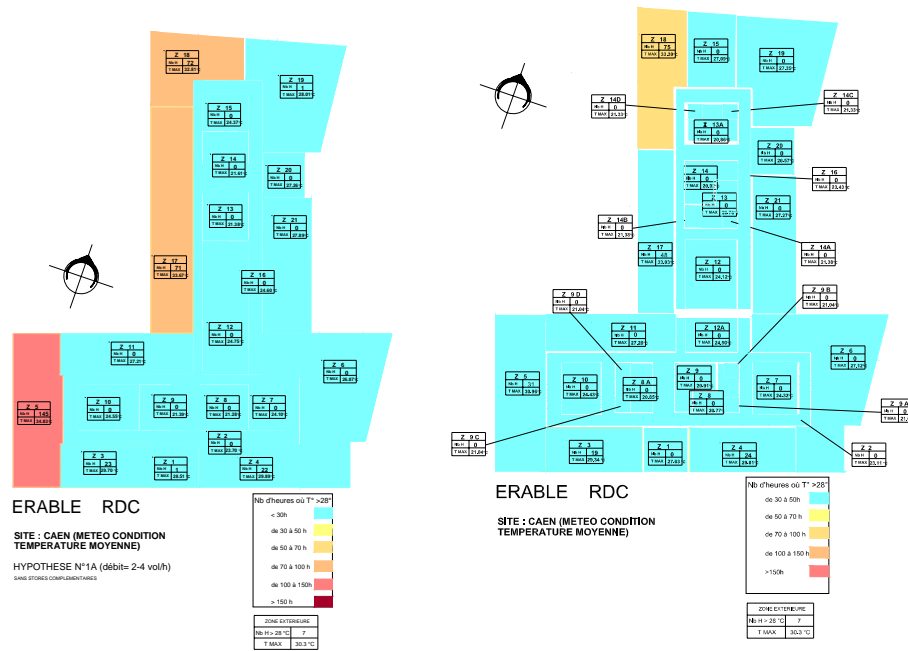


Figure 3: Premiers résultats de la STD phase APD, à gauche, sans stores extérieurs et à droite, la mise des stores extérieurs sur façade ouest.

Légende de la figure 3: couleur bleu = nombre maximum de 30 heures (TP) où la température résultante dépasse 28°C, couleur jaune = nombre d'heures maximum de 50 h (P).

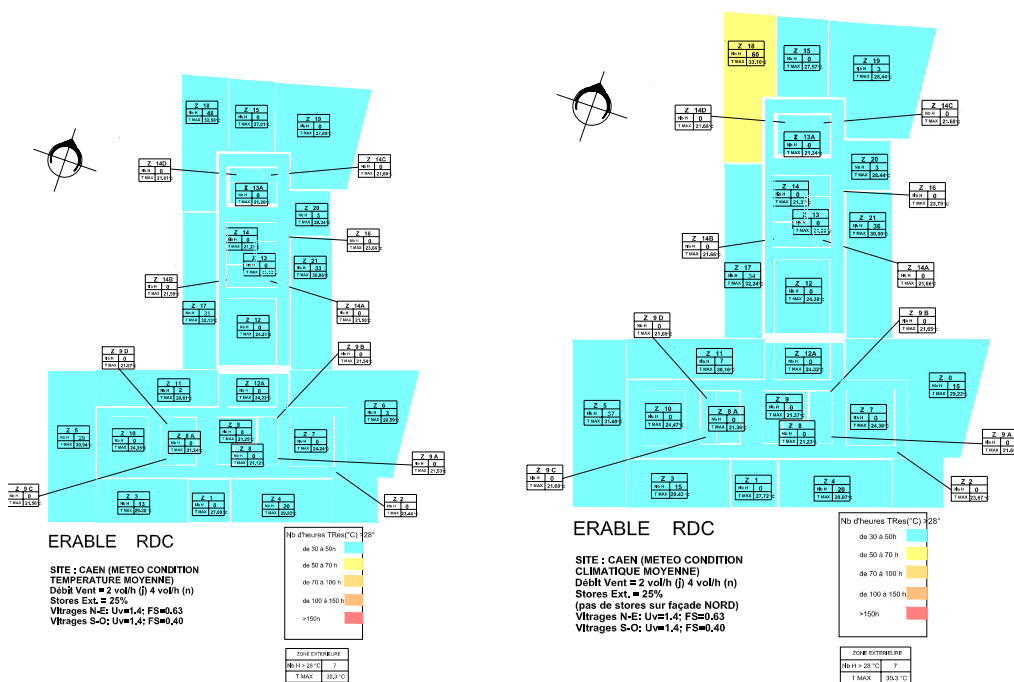


Figure 4: Derniers résultats de la STD phase PRO, à gauche, stores extérieurs sur toutes façades, à droite, façade nord sans stores.

Légende de la figure 4: couleur bleu = nombre maximum de 30 heures (TP) où la température résultante dépasse 28°C, couleur jaune = nombre d'heures maximum de 50 h (P).

## 4.2. ECLAIRAGE NATUREL – CALCUL DU FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR EN 3D

### 4.2.1. Découpage en zones d'éclairage naturel

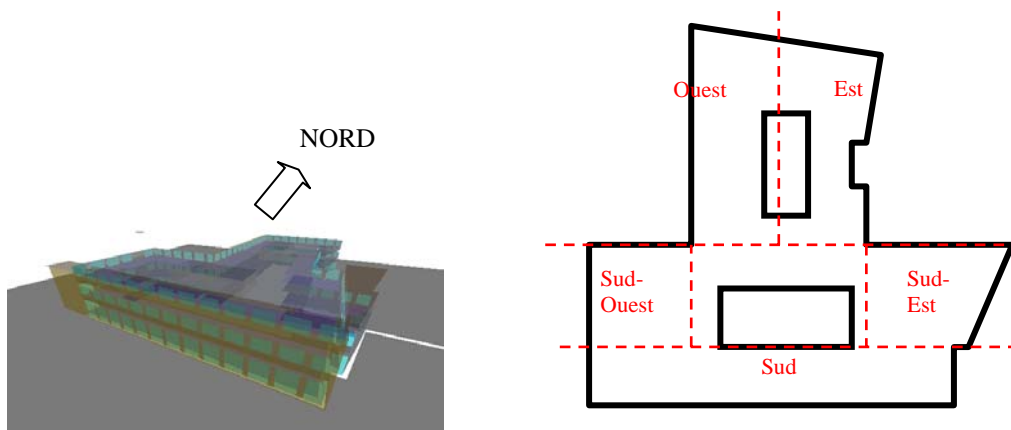


Figure 5 : Volumétrie du bâtiment (à gauche) et découpage en zones d'éclairage selon l'orientation.

Pour chacune des zones étudiées, les résultats des calculs sont représentés sous la forme d'une visualisation des capteurs dans les pièces. La couleur associée à chaque capteur représente le FLJ (voir un exemple sur illustration ci-après).



Figure 6: Résultat du FLJ pour la zone sud RDC du bâtiment.

## 5. CONCLUSION

Grâce à une collaboration étroite entre les acteurs du projet et à l'aide des outils d'aide à conception (STD et calcul de FLJ en 3D) pour optimiser le bâtiment, le niveau TP (Très Performant) a été obtenu pour les cibles 4 (gestion de l'énergie), 8 (confort hygrothermique), 10 (confort visuel).

## 6. BIBLIOGRAPHIE

TRNSYS/TRANSSOLAR Energietechnik (2006). TRNSYS -Transient System Simulation program. Multizone Building modeling.

CERTIVEA (2006). *Référentiel Technique de Certification. Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE. Bureau – Enseignement*. CERTIVEA. Editions Groupe CSTB. Mise en Application : 25 août 2006.

Jacques Kessler, André Chambraud (1993). *Tous les climats localité par localité*. Paris, Editions JC Lattès.

## 7. REMERCIEMENTS

Normandie Aménagement, DEGW Espace Architecture, GCI Construction, BET Babin, BET ROPTIN & Associés, INGE INFRA, BET ACOUSTIQUE DUCLOS, AVIENCE, CERTIVEA, Jean Marc DENIEL, Gaudin Ingénierie SARL.

## 8. ANNEXES

### 8.1. ANNEXE 1 : CERTIFICATION « NF-HQE® » (STADE CONCEPTION).



Figure 7: Certification « NF-HQE® » délivrée par CERTIVEA (profil obtenu lors de l'audit conception. L'audit réalisation aura lieu le 11 septembre 2008).

Nota : Au stade « audit réalisation » (11/09/2008): la cible 6 (gestion des déchets d'activité) a été évaluation TP.

### 8.2. ANNEXE 2 : EXTRAIT DE L'EVALUATION DE L'AUDITEUR CERTIVEA (M. PENNEL) - STADE CONCEPTION –

#### POINTS FORTS DE L'EVALUATION :

- Le document d'analyse et d'évaluation QEB est très complet : Il a permis à l'équipe de gagner en efficacité,
- La simulation thermique dynamique a servi d'outil de conception: échanges entre l'architecte et le BET,
- Le projet répond exactement au schéma global défini pour la zone d'activité,
- Bonne implication de l'équipe auditée: volonté de transparence et bon esprit constructif pendant l'audit.