

**CAHIER DES MODULES DE CONFÉRENCE  
POUR LES ÉCOLES D'ARCHITECTURE  
ET D'INGÉNIERIE DU BTP**

CONFÉRENCES : BÉTON, ARCHITECTURE, PERFORMANCES ET APPLICATIONS



**ÉTUDE DE CAS, LE SIÈGE DE L'ADEME**

UN BÂTIMENT BASSE CONSOMMATION EN BÉTON  
ARCHITECTE : FRÉDÉRIC ROLLAND



# ÉTUDE DE CAS, LE SIÈGE DE L'ADEME (AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE)

*UN BÂTIMENT BASSE CONSOMMATION EN BÉTON  
ARCHITECTE : FRÉDÉRIC ROLLAND*

## Sommaire

---

<b>Exemplarité et labellisation</b>	<b>6</b>
<b>Un marché de conception réalisation</b>	<b>7</b>
<b>Un projet bioclimatique</b>	<b>7</b>
<b>Lanternes magiques</b>	<b>10</b>
<b>Les choix constructifs</b>	<b>12</b>
<b>Performances techniques et exigences de labellisation</b>	<b>13</b>
<b>L'approche « sobriété énergétique »</b>	<b>13</b>
<b>Ventilation double flux</b>	<b>15</b>
<b>Baies vitrées : au croisement de la thermique et de l'éclairément</b>	<b>16</b>
<b>Un chantier à faibles nuisances</b>	<b>18</b>
<b>Contrôle et réception</b>	<b>19</b>

---



Implanté sur les hauteurs d'Angers, le nouveau siège de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) comprend un bâtiment ancien rénové et une extension réalisée en 2010, pour une SHON totale de 3 000 m<sup>2</sup>. Cette opération labélisée BBC, fait figure de référence en matière thermique et environnementale. Car le maître d'ouvrage souhaitait réaliser un bâtiment exemplaire, « reproductible » avec des solutions simples et peu coûteuses. Pour répondre à cette exigence technico-économique, l'architecte a dessiné un bâtiment en béton, avec isolation thermique extérieure et bardage.

Un niveau très performant a été appliqué à cinq des quatorze cibles de la démarche HQE® et la procédure de conception-construction a permis de répondre à tous ces enjeux dans un délai record.

---

## INTERVENANTS

---

Maître d'ouvrage: ADEME  
AMO: SAMOP  
AMO HQE: AREA Canopée  
Architecte: Frédéric Rolland  
Entreprise: GTB Construction  
Cotraitant études fluides/électricité: AREA Etudes  
Bureau d'études Structures:  
AREST/EVEN Structures

---

L'ADEME est née, en 1993, du regroupement de l'Agence pour la qualité de l'air (AQA), de l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME)<sup>1</sup> et de l'Agence pour la récupération et l'élimination des déchets (ANRED). C'est un

---

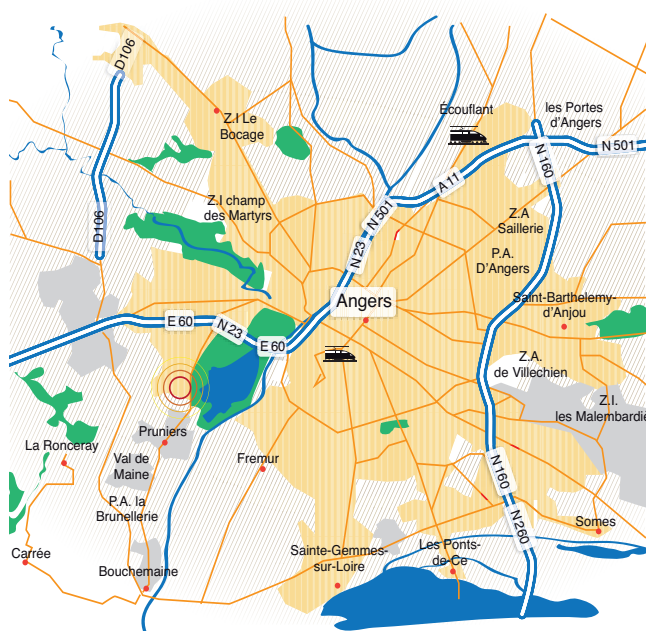
1. L'AFME était déjà issue du rapprochement de l'AEE (Agence pour les économies d'énergie), du COMES (Commissariat à l'énergie solaire), du Comité Géothermie et de la Mission nationale pour la valorisation de la chaleur.

établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

Ses missions, entièrement liées à l'environnement, relèvent à la fois de la recherche (par une incitation et un soutien au travers de financements), de

l'information, ou du conseil, et bien sûr de la réglementation. En effet, ses propres prescriptions inspirent les réglementations et législations qui concernent notamment la construction.

En 1993, l'esprit était à la décentralisation et le siège de ce nouvel établissement a été fixé à Angers. Différents projets ont été étudiés mais le choix s'est finalement fixé sur un site occupé auparavant par les Assurances Médéric. Ce terrain, situé sur le



Plan de situation

plateau de Grésillé sur les hauteurs dominant Angers à l'Ouest, portait déjà deux constructions datant des années 1980. Mais l'accueil de l'ensemble des personnels de l'ADEME a imposé la réalisation de constructions complémentaires.

Le plateau de Grésillé est particulièrement bien situé. Dominant Angers, il offre une vue privilégiée sur la ville mais est aussi très bien perçu de la vallée. Son environnement semi-urbain compte aussi bien des zones en voie d'urbanisation (essentiellement du pavillonnaire) que des terrains restés agricoles et des bois. Ces données comme l'identité même du maître d'ouvrage imposaient au projet et à la construction du siège de l'ADEME un cadre exigeant.

# Exemplarité et labellisation

La vocation et le rôle de l'ADEME ne sont pas sans conséquence sur ses propres réalisations. L'Agence se devait de faire construire, pour son propre siège, un immeuble qui présente des performances les plus exemplaires possibles, sans exiger pour autant un investissement considérable et des dispositifs trop complexes et trop sophistiqués pour être utilisés de façon courante dans d'autres constructions. Cette réalisation portait donc un enjeu technique et politique, permettant, comme expérience en vraie grandeur, la validation de certains choix, pour devenir un exemple d'efficacité technico-économique. Les objectifs du maître d'ouvrage ont

Mais, en cours d'études, les calculs ont montré que les options choisies permettaient d'ambitionner un niveau de performances encore supérieur: le BBC (Bâtiment Basse Consommation) Effinergie. À la demande du maître d'ouvrage, et malgré une conception déjà avancée, l'ensemble du projet a été revu dans cet objectif.

Concernant la Haute Qualité Environnementale (HQE®), le maître d'ouvrage a fixé des ambitions élevées en retenant cinq cibles très performantes dans les 14 cibles<sup>3</sup> du référentiel (au lieu de trois traditionnellement):

Cible 1 – relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat,

Cible 3 – chantier à faibles nuisances,

Cible 4 – gestion de l'énergie,

Cible 5 – gestion de l'eau,

Cible 6 – gestion des déchets d'activités.

Trois autres cibles étaient à atteindre au niveau « performant » :

Cible 8 – confort hygrothermique,

Cible 9 – confort acoustique,

Cible 7 – gestion de l'entretien et de la maintenance.

Un choix qui tient d'une part aux spécificités du site et aux implications qui en découlent (notamment la relation avec l'environnement) d'autre part aux vocations de l'ADEME dans sa mission publique (énergie, déchets, etc.)



été fixés en fonction des réglementations de l'époque, à un niveau de qualité élevé:

– performance énergétique THPE (Très Haute Performance Énergétique); c'est-à-dire une performance supérieure au niveau d'exigence réglementaire<sup>2</sup> RT 2005;

– une labellisation HQE® (Haute Qualité Environnementale).



2. Les consommations conventionnelles sont inférieures d'au moins 20 % par rapport à la consommation de référence RT 2005.

3. Les 14 cibles HQE® sont groupées en 4 familles. **Eco-Construction**: 1 - relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat, 2 - choix intégré des procédés et produits de construction, 3 - chantier à faibles nuisances ; **Eco-gestion**: 5 - énergie, 6 - eau, 7 - déchets d'activités, 8 - entretien et maintenance; **Confort** : 8 - confort hygrothermique, 9 - confort acoustique, 10 - confort visuel, 11 - confort olfactif ; **Santé**: 12 - conditions sanitaires des espaces, 13 - qualité de l'air, 14 - qualité de l'eau.

Pour le bâtiment ancien, en revanche, le respect des performances définies dans la RT 2005 constituait un objectif suffisant. Il a été accompagné d'une remise aux normes globale et d'une réorganisation d'open-spaces en bureaux individuels. Toutefois, une partie de ses façades supporte des panneaux photovoltaïques dont la production d'énergie compense une partie de celle utilisée par le site.

## Un marché de conception réalisation

Pour l'extension du bâtiment, l'ADEME a choisi la procédure de conception-réalisation qui consiste à confier la conception à une équipe rassemblant la maîtrise d'œuvre traditionnelle et l'entreprise, dès le lancement du projet. Ce dispositif, prévu dans la loi MOP, est utilisable dans des circonstances précisées par la loi et son décret d'application<sup>4</sup>.

Le choix de l'ADEME était guidé par trois raisons essentielles :

- le chantier du siège social constituait une sorte de chantier test aux exigences relativement élevées ;
- nécessitant la recherche de solutions globales, liées en partie aux conditions de réalisation d'une part parce que la performance finale dépendait de la qualité de la mise en œuvre ;

d'autre part parce que :

- le tout était à assurer dans un délai relativement court, exigeant un maximum de gain de temps.

L'appel d'offres a été remporté par une équipe formée de l'agence d'Architecture Frédéric Rolland d'Angers et l'entreprise GTB Construction de Nantes.

La conception-réalisation implique une démarche itérative du démarrage du projet jusqu'à la réalisation. À chaque étape, chaque option de conception conduit à une projection de l'ensemble de ses effets sur tout le projet. Si ces effets sont négatifs sur une autre attente du programme, soit elle est abandonnée, soit des corrections sont apportées ailleurs pour obtenir un bilan global positif. Pour le siège de l'ADEME, cette recherche itérative s'est particulièrement appliquée à la recherche du confort d'été.

## Un projet bioclimatique

Le terrain sur lequel a été érigé le siège de l'ADEME est situé sur les hauteurs à l'ouest d'Angers. Il descend en pente relativement marquée en direction de la ville et domine la vallée. Au nord, il est bordé de bois et de constructions tertiaires implantées dans de grands parcs. À l'Ouest, une zone cultivée le sépare d'un quartier pavillonnaire.



4. Article 18-I de la loi MOP : « Nonobstant les dispositions du titre II de la présente loi, le maître d'ouvrage peut confier par contrat à un groupement de personnes de droit privé ou, pour les seuls ouvrages d'infrastructures, à une personne de droit privé une mission portant à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux, lorsque des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage. »

Article 1 du décret 93-1270 du 29 novembre 1993 portant application de l'article 18-I de la loi MOP : « Il [le maître d'ouvrage] ne peut recourir au contrat de conception-réalisation que si l'association de l'entrepreneur aux études est nécessaire pour réaliser l'ouvrage, en raison de motifs techniques liés à sa destination ou à sa mise en œuvre technique. Sont concernées des opérations dont la finalité majeure est une production dont le processus conditionne la conception, la réalisation et la mise en œuvre ainsi que les opérations dont les caractéristiques intrinsèques (dimensions exceptionnelles, difficultés techniques particulières) appellent une exécution dépendant des moyens et de la technicité des entreprises. »



Les bâtiments préexistants à l'arrivée de l'ADEME épousent les courbes de niveau, leurs façades principales tournées vers la vallée. Ces deux constructions de deux et trois niveaux, allongées et légèrement décalées l'une par rapport à l'autre, sont reliées par un sas entièrement vitré qui accueille les circulations verticales.

Sur ce coteau dont l'aménagement est entièrement revu, appelé à recevoir un bassin de rétention qui se coule dans les méandres de la colline, et que la direction souhaite voir classer comme lieu protégé pour les oiseaux<sup>5</sup>, les architectes de l'agence Frédéric Rolland ont conçu une intervention à la fois discrète et efficace.



5. En lien avec la LPO (Ligue de Protection des Oiseaux).

Les concepteurs ont en effet projeté deux nouvelles constructions reliées aux anciennes par un pignon et par une passerelle. La première vient dans le prolongement de l'ancienne aile située en contrebas qu'il poursuit vers le sud; la seconde s'implante perpendiculairement à la pente et à l'ensemble des autres immeubles, dans la direction de l'est. Une nouvelle centralité est organisée autour de l'ancien sas et d'une passerelle reliant le niveau de l'accueil aux nouveaux édifices et permettant d'accéder directement à la salle de documentation située au bout du nouveau bâtiment Est. Les flux, auparavant conditionnés au seul passage par le sas, sont plus diversifiés. Moyens généraux et salles de réunions restent, à proximité de l'accueil, des points stratégiques de l'établissement, mais ne sont plus des points de passage obligés. D'un espace en baïonnettes de couloirs sans limite, on passe à des circulations rebouclées.

L'implantation des bureaux se fait à raison de cellules de 15 ou 20 m<sup>2</sup> selon qu'ils sont destinés à une ou deux personnes. Globalement, la distribution et les circulations sont aisément lisibles et le passage du niveau zéro de l'accueil au niveau 3 du





bâtiment Est assure un lien supplémentaire entre édifices d'époques différentes. Chaque nouvelle construction se termine par un pignon largement vitré, à la fois belvédère sur la campagne et la ville et symbole architectural, baptisé « tête » ou « lanterne magique » par l'architecte.

Le décaissé de 12 m entre le bâtiment ancien plus élevé et le sol bas des nouvelles constructions permet d'inclure ces dernières dans le relief de la colline. Un dispositif qui permet, par ailleurs de participer aux performances thermiques finales en profitant de l'inertie apportée par le sol qui l'entoure.



**FACADE EST**



**FACADE OUEST**



**FACADE SUD**



**FACADE NORD**





COUPE AA



COUPE BB



## Lanternes magiques

Les deux pignons de la nouvelle construction, et principalement celui qui donne sur la vallée et la ville, à l'Est, sont bien en vue des environs et surtout de la ville d'Angers. Ils ont fait l'objet d'une recherche architecturale poussée et aussi d'études particulières afin d'obtenir un confort en toutes saisons conforme aux exigences performanciellees fixées par le maître d'ouvrage. C'est ainsi qu'ils sont coiffés par une sorte de « cagoule » constituée d'une armature métallique fermée par un bardage de même nature au contour souligné par une peau intérieure rouge, dont la géométrie est irrégulière pour optimiser le confort d'été en limitant la durée d'impact direct du soleil sur le mur-rideau.



Quant aux façades, le procédé constructif en béton permettait une composition libre. Mais les contraintes performanciennes ont conduit les concepteurs à les composer en fonction des objectifs thermiques de confort d'été et d'hiver. Une approche particulièrement complexe et délicate qui conduisait à mesurer les effets de l'ajout de chaque modèle verrier et considérer ses conséquences en termes de confort, au risque de devoir déplacer la baie ou modifier ce complexe verrier dès lors que l'étude montrait un inconfort quelconque. L'étude a été menée bureau par bureau.



La passerelle qui assure le passage de l'accueil aux nouvelles constructions est un petit ouvrage simplement protégé de la pluie. Son platelage de bois, pas plus que les panneaux de verre qui en constituent les façades ne sont jointifs. Mais elle profite de l'ensoleillement sur une bonne partie de la journée.



## Les choix constructifs

Les bâtiments forment deux coques continues, plancher, voiles et dalle de toiture, isolées par l'extérieur, fermées en bout par les deux pignons vitrés et isolées par l'extérieur. L'ensemble du gros œuvre est réalisé en béton (fondations, refends et structure poteaux-poutres).

Ce choix est issu d'une réflexion menée dans le cadre de la conception-réalisation qui a présidé au projet. Si différentes possibilités (bois, métal) avaient été étudiées par les architectes, la solution béton s'est vite imposée pour répondre à différentes contraintes liées en grande partie aux exigences performancielles du projet.

Le fort consensus autour de la solution béton s'appuyait à la fois sur la sécurité qu'il garantissait pour atteindre les objectifs et la souplesse qu'il autorisait en termes de réalisation. Il constituait :

- la solution technico-économique optimale ;
- le matériau présentant la meilleure inertie ;
- le moyen le plus adapté pour supporter les planchers importants nécessaires à l'ouvrage ;
- le moyen le plus simple d'assurer la continuité de l'enveloppe ;
- un support idéal pour, à la fois, rationaliser la composition de la façade tout en laissant une grande liberté de choix de parement.



Enfin, pour l'entreprise, il apparaissait comme le plus adaptable aux conditions et exigences de chantier.

Au final, cette structure béton est d'autant plus efficace qu'elle est simple : voiles pour l'enveloppe, poteaux-poutres-dalles pour l'intérieur. D'autant que le béton est apparent à l'intérieur. Ce qui permet d'optimiser l'équilibre thermique en facilitant les échanges entre l'atmosphère intérieure et le matériau. L'élimination des calories est accélérée par la surventilation nocturne. On s'affranchit ainsi d'une climatisation.



# Performances techniques et exigences de labellisation

Le niveau de performance fixé par le maître d'ouvrage, soit au travers des objectifs de labellisation, soit du fait de la démarche HQE®, a conduit à des études exigeantes et des dispositifs particulièrement étudiés.

Les données géographiques et climatiques de la construction permettent de définir son  $Cep_{réf}$ , consommation d'énergie primaire de référence, et donc les contraintes thermiques auxquelles elle doit souscrire. Son classement en zone BR1 (de faible bruit) dispense de l'installation d'une climatisation, la ventilation pouvant se faire par ouverture des fenêtres.

Initialement, la recherche d'une labellisation Très Haute Performance Energétique (THPE) impliquait de parvenir à un niveau de consommation d'énergie primaire inférieur d'au moins 20 % par rapport à la consommation de référence décrite dans la RT 2005. Mais le passage à la labellisation BBC Effinergie, demandé en cours de projet élevait la barre. Il s'agissait de construire un bâtiment dont la consommation d'énergie primaire est encore moins élevée (la référence pour des logements est un maximum de 50 kWh/m<sup>2</sup>.an).

Enfin, si le maître d'ouvrage avait souhaité que soit étudié le recours à des énergies renouvelables, il était convenu d'éviter le recours à la climatisation.

---

## CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

---

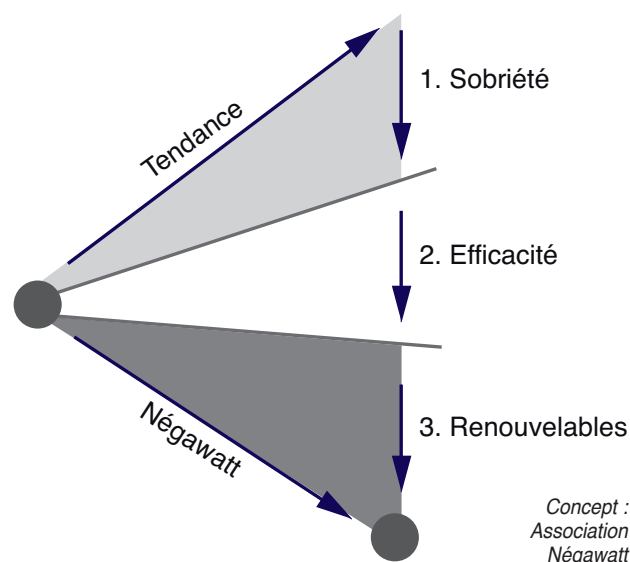
Département du projet : Maine et Loire  
Numéro de département : 49  
Bordure de Mer : Zone intérieure  
Altitude : 50 m  
Zone climatique : Zone H2b  
Exposition aux bruits générale : BR1  
Zone de type Bureaux : Surface 2700 m<sup>2</sup>  
Catégorie : CE1  
Surface SHON : 3089,80 m<sup>2</sup>

---

# L'approche « sobriété énergétique »

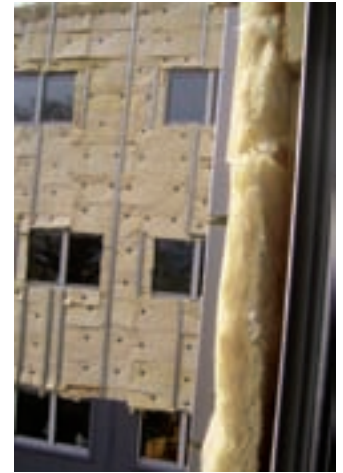
L'obtention d'un niveau BBC Effinergie (une consommation moyenne inférieure à 50 kWh/m<sup>2</sup>.an) impose de respecter des dispositifs qui se rapprochent des exigences de la RT 2012, sachant que le calcul se fait globalement sur l'ensemble de la réalisation en tenant compte aussi bien de ses dépenses que de ses apports (grâce par exemple à l'énergie solaire, éolienne, ou n'importe quelle énergie renouvelable). Ce sont donc deux aspects du dispositif qu'il convient de distinguer :

- la protection passive ;
- les apports éventuels.



Sur les conseils du BET HQE AREA Canopée, la sobriété énergétique, qui a été privilégiée, consiste en un bâtiment auto-économe et autorégulateur. Cette approche qui anticipait la démarche de la RT 2012, impose, en premier lieu, une enveloppe parfaitement isolée (avec l'élimination des ponts thermiques) et une étanchéité à l'air très performante. En second lieu, le dispositif constructif doit apporter l'inertie nécessaire à l'autorégulation. Un ensemble de qualités qui s'obtient notamment par une forte compacité du bâtiment qui se mesure par le rapport somme des surfaces déperditives au volume.

La compacité de 0,48 unité du siège de l'ADEME est assez élevée. Les performances de l'enveloppe sont obtenues par une isolation par l'extérieur de



forte épaisseur, par le traitement des ponts thermiques et par le choix de menuiseries et vitrages de hautes performances acoustiques et thermiques (menuiseries à rupture de pont thermique).

Les murs extérieurs comportent 18 cm de béton, 16 cm de laine de verre et un bardage métallique. Cet ensemble présente une résistance thermique  $R$  de  $3,90 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Sur la toiture-terrasse, 22 cm de PSE couvrent la dalle de béton de 18 cm et sont protégés par une étanchéité bitume élastomère ( $R$  du complexe  $5,55 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ). On distingue les planchers bas donnant sur l'extérieur et leurs 18 centimètres de dalle de béton et 16 centimètres de laine de verre, protégés par un bardage métallique

( $R = 3,90 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), des planchers bas intérieurs donnant sur local non chauffé, avec 12 cm de laine de verre et 20 cm de béton ( $R = 3,00 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), ou des planchers bas sur terre-plein, une dalle béton de 24 cm et un isolant PSE de 8 cm ( $R = 2,10 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ).

On obtient ainsi un bâtiment à forte inertie dont l'intérêt est d'améliorer considérablement le confort d'été. La RT 2005 définit des classes d'inertie qui sont repérées en sommant les points d'inertie de chaque paroi. Dans le cas du siège de l'ADEME, cette inertie atteint 23 points, la situant dans la classe très lourde. C'est grâce à cette inertie et au rafraîchissement assuré la nuit par une ventilation

### LES POINTS PRINCIPAUX DE LA SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE

**L'inertie thermique d'un bâtiment:** capacité de la construction à stocker des calories et des frigories dans ses murs, ses planchers, et à les restituer dans le temps. L'inertie est principalement fonction de la masse volumique des matériaux. Une forte inertie joue le rôle d'amortisseur (le bâtiment se réchauffe et se refroidit lentement) et permet de limiter l'amplitude des surchauffes pendant les jours d'été, en l'absence de climatisation. Le confort d'été est amélioré par le choix d'un bâtiment à forte inertie combinée à l'utilisation d'une surventilation nocturne qui permet d'évacuer la chaleur accumulée pendant la journée.

**Pont thermique:** discontinuité dans l'isolation due à la conception et/ou la réalisation du bâtiment et qui peut occasionner 20 % à 40 % des déperditions.

**Perméabilité à l'air:** la maîtrise des flux d'air. Ceux-ci sont contrôlés à travers des orifices volontaires (bouches de ventilation et entrées d'air) et/ou incontrôlés: 25 à 30 % de l'air neuf proviennent des défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Leur maîtrise nécessite un bon niveau d'étanchéité à l'air du bâtiment, afin de limiter les gaspillages d'énergie dus aux infiltrations. Le phénomène est accentué selon les conditions de vent et le mode de fonctionnement du système de ventilation.

régulée selon des sondes pré-réglées réparties en deux zones thermiques différenciées, que le niveau de confort d'été a été globalement accru. Pour renforcer l'inertie dans certaines zones où elle apparaissait insuffisante, créant ainsi des zones d'inconfort d'été, les concepteurs ont remplacé des cloisons par des murs en béton ou supprimé partiellement les faux plafonds, facilitant ainsi le rafraîchissement nocturne de la structure.

Les apports de chaleur sont liés aux apports internes (occupation humaine, informatique, systèmes de sécurité) et aux apports solaires (environ 40 %), en particulier dus aux vitrages avec un indice de solarisation de 70 % de vitrage orienté entre l'exposition sud-est et sud ouest. Le chauffage est assuré par l'installation existante (deux chaudières gaz à condensation de 450 et 430 kW) avec émissions par radiateurs eau chaude disposés en allège des fenêtres et équipés de robinets thermostatiques réglés à 19 °C. Le raccord au réseau de chaleur permet de faciliter l'exploitation avec un fonctionnement à l'identique comme dans l'existant réhabilité.

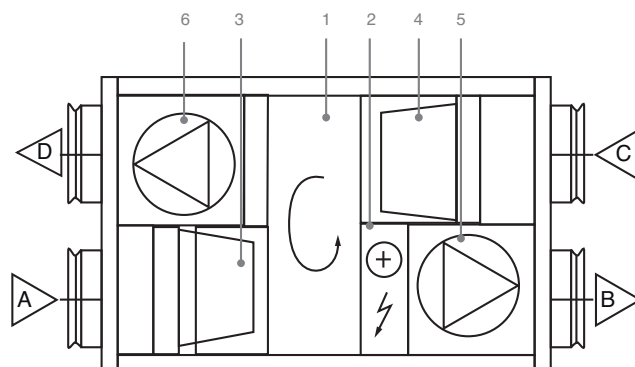
## Ventilation double flux

Une Centrale de Traitement d'Air à échangeur rotatif, d'une efficacité de 73 %, gère l'air neuf insufflé dans le bâtiment par la ventilation mécanique contrôlée. Cet air neuf est chauffé ou rafraîchi par l'air évacué à travers trois circuits :

- une récupération de l'air pollué par extraction dans les espaces de travail, par ventilateur avec filtres et gaines ;
- un soufflage d'air neuf dans les espaces de travail par ventilateur avec filtres et gaines ;
- l'échange de chaleur entre les deux circuits d'air par échangeur rotatif.

Cette ventilation est programmée selon trois débits :  
 – 1 vol/h en utilisation courante l'hiver de 7 h à 21 h ;  
 – 3 Vol/h en mi-saison et en été de 7 h à 21 h ;  
 – 6 Vol/h en surventilation nocturne entre 22 h et 7 h l'été, sur commande des sondes intérieures et extérieures. Cette surventilation est asservie à deux zones thermiques différentes dont les besoins en rafraîchissement sont différents.

### COMMENT FONCTIONNE LA CTA ?



Doc. Komfovent Kompakt Rego

L'air neuf prélevé à l'extérieur [A], après passage dans le filtre [3], le récupérateur [1] et la batterie chaude [2], est soufflé à l'intérieur des locaux par le ventilateur de soufflage [5]. La centrale produit trois débits différents d'air soufflé filtré [B] par action sur les variateurs de vitesses équipant les ventilateurs de soufflage et d'extraction [6] à des pressions constantes suivant une sonde de pression placée à la sortie de la CTA, sur la gaine de soufflage.

La température de l'air soufflé par la centrale de traitement d'air est maintenue constante par une action en cascade sur la batterie chaude antigel (400 W) et sur le récupérateur (échangeur rotatif [1]) : le contrôle de la température minimum de soufflage est effectué par le régulateur suivant les relevés d'une sonde placée sur la gaine de soufflage en sortie de la CTA.

L'air extrait des locaux [C] est, après récupération, rejeté [D] par le ventilateur d'extraction.



La ventilation est commandée par une CTA (Centrale de Traitement d'Air) elle-même pilotée par la GTC (Gestion Technique Centralisée) qui effectue la gestion des systèmes programmés pour être utilisés au plus juste des besoins (modulation des débits de ventilation selon l'occupation et les saisons, détection et gradation de l'éclairage artificiel, programmation du chauffage). Par le pilotage de toutes les installations techniques et le suivi des consommations du bâtiment (eau, calories, électricité...), la GTC permet de contrôler en permanence les installations en fonctionnement, et notamment d'émettre des alertes déclenchant des interventions rapides.



## Baies vitrées : au croisement de la thermique et de l'éclairage

Le rôle d'une paroi vitrée est d'abord d'apporter la lumière naturelle dans les locaux. C'est donc un élément du confort intérieur. Elle permet ainsi d'économiser l'énergie nécessaire à l'éclairage artificiel. En revanche, elle constitue une médiocre barrière thermique au regard d'une paroi pleine isolée. Ce qui influence le confort d'hiver (perte de chaleur) comme d'été (réchauffement trop élevé).

Il s'agit donc, pour les concepteurs de définir l'optimum d'équilibre entre ces deux contraintes. Pour le siège de l'ADEME, cet équilibre complexe a été obtenu à l'issue d'études itératives validées à chaque choix de baie par une simulation thermique dynamique. Les logiciels de simulation thermique



dynamique sont essentiellement utilisés pour la conception bioclimatique d'un bâtiment, l'analyse du confort thermique, l'évaluation des déperditions et des consommations. Le bâtiment est découpé en zones et les résultats (courbes de températures, consommations, apports solaires, températures maximales d'été, etc.) sont fournis par zone, pour des séquences de durée définie suivant les saisons.

L'ensemble des bureaux et des espaces de consultation de documents (salle de documentation, salles de réunion) dispose d'une fenêtre et possède donc un accès direct à la lumière naturelle. Le choix des menuiseries résulte d'un compromis entre une captation maximale de la lumière et le confort thermique en toute saison.

Les menuiseries retenues pour le siège de l'ADEME sont des menuiseries en aluminium avec rupture de pont thermique, caractérisées par la performance du châssis seul (coefficient de transmission thermique surfacique  $U_f = 3,00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) et des vitrages ( $U_g$  de  $1,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). En règle générale, le coefficient de transmission  $U_g$  des vitrages est

faible. La performance s'obtient par l'adjonction de deux à trois vitrages sur un châssis lui-même performant. Les coefficients de transmission  $U_w$  des menuiseries retenues lors de la phase étude, sont fixés à  $1,67 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Les menuiseries mises en œuvre ont un coefficient  $U_w$  légèrement inférieur en façades sud-est ( $U_w = 1,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), et supérieur pour les autres façades ( $U_w = 1,89 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).

Enfin, le mur-rideau qui ferme les pignons se caractérise par un coefficient de transmission  $U_w = 1,55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  alors qu'il avait été conçu avec un  $U_w = 1,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Tous les châssis, équipés de triple vitrage, sont à haute isolation acoustique AC3 (performances certifiées NF et Acotherm).

L'étude préalable a permis de simuler les éclairagements de chacun des locaux. Cette étude s'appuie sur différentes notions liées aux cônes de vues et au Facteur de Lumière de Jour ou FLJ (voir encadré). Globalement, les vues sont toutes satisfaisantes, les plus faibles appartenant, bien évidemment, aux locaux du rez-de-jardin donnant sur l'espace entre bâtiments.



---

### L'OPTIMISATION DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL

---

Le Facteur de Lumière de Jour sert de référence à la labellisation HQE® qui fixe sa valeur minimale à 1,5 % (bureaux avec travail prévu sur écran). Le Facteur de Lumière de Jour (FLJ) en un point de la pièce concernée est le rapport (en %) entre l'éclairage naturel obtenu en ce point et l'éclairage obtenu à l'extérieur (sur le même type de surface) au même moment par temps nuageux (valeurs obtenues par ciel couvert indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure). Le FLJ est influencé par différents éléments comme la nature et la couleur des revêtements auxquels sont attribuées des valeurs de réflexion lumineuse.

Les hypothèses de calcul du siège de l'ADEME, se fondaient sur une transmission lumineuse des vitrages de 60 %, des clartés de sols à 50 %, de plafond à 70 %, les murs pouvant varier selon les besoins.

Pour le confort d'été, la présence de stores vénitiens intégrés dans le triple vitrage bonifie la performance en limitant l'apport de chaleur par abaissement du facteur solaire de 25-28 % à 8-10 % pour les menuiseries retenues et les murs rideaux.

---



Le FLJ est supérieur à la valeur minimale de labellisation HQE® dans l'ensemble des bureaux sauf dix d'entre eux (soit de l'ordre de 8 %) qui ne représentent que 115 m<sup>2</sup> sur près de 2000 m<sup>2</sup>.

L'éclairage artificiel est assuré par des lampadaires sur pied pour chaque poste de travail. Un dispositif qui a permis d'éviter le passage de gaine dans les plafonds et ainsi simplifier conception et mise en œuvre.

Deux tubes de 55 Watts, à gradation et détection de présence et munis de sondes crépusculaires assurent une puissance moyenne installée de l'ordre de 9 W/m<sup>2</sup> pour la partie bureau et 8,6 W/m<sup>2</sup> pour l'ensemble des surfaces de l'extension (salle de documentation, locaux techniques, sanitaires, circulations, escaliers, passerelle...)

## Un chantier à faibles nuisances

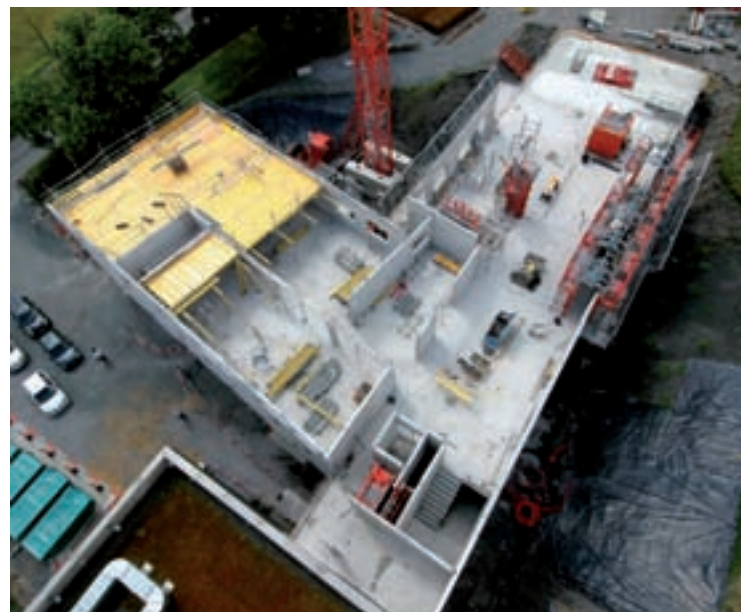
Répondre aux cibles choisies dans le cadre de la labellisation HQE® a imposé des choix de conception comme des dispositifs de réalisation spécifiques.

Pour satisfaire aux exigences de la cible 3 « Chantier à faibles nuisances ou à faible impact environnemental », l'entreprise a organisé une gestion différenciée des déchets à la source et élaboré



un processus de traitement pour valoriser les déchets en fonction des filières locales existantes et pour assurer leur mise en décharge. Au total, plus de 40 % des déchets sont recyclés. C'est d'ailleurs pour limiter les quantités de déchets que la dimension de certains locaux a été légèrement modifiée afin que la longueur des cloisons corresponde à un multiple de la largeur des plaques de plâtre.

La réduction du bruit, tant pour le confort des riverains que pour celui des collaborateurs de l'ADEME et des compagnons, a conduit à retenir un béton autoplaçant (BAP) qui se caractérise par une mise en œuvre ne nécessitant pas de vibration (moins de nuisances sonores) et facilement réalisable par pompage.



Ces bétons aux caractéristiques d'écoulement et de répartition dans les coffrages particulièrement intéressantes (ils ne présentent pas de phénomène de ségrégation), demeurent en outre homogènes et stables. Pour des classes de résistance équivalente, les modules élastiques et les résistances en compression sont analogues à ceux des autres bétons.

Les BAP se caractérisent plus particulièrement par leur fluidité, un faible ressuage, leur pompabilité ainsi qu'un bon maintien de leur ouvrabilité lors de leur mise en œuvre. Les principaux avantages de l'utilisation des BAP sont la réduction considérable de la pénibilité pour les ouvriers, le gain de sécurité, la qualité des parements accrue, l'emploi de matériels de levage de performances réduites, la réduction des délais, l'amélioration de la productivité. Esthétiquement, la qualité des parements qu'ils permettent d'obtenir est particulièrement satisfaisante.

Enfin, une minutieuse préparation du site et de son organisation était complétée par la recherche d'une dépense maîtrisée des ressources eau et énergie. Ainsi les installations de chantier avaient été prévues pour optimiser le recours à l'électricité et assurer le lavage des camions avec la quantité d'eau strictement nécessaire.

---

## LE PROCESSUS DE CERTIFICATION HQE®

---

La Démarche HQE® se structure en deux volets indissociables : le SMO, ou Système de Management de l'Opération (définition des cibles environnementales prioritaires et organisation pour les atteindre, durant les phases de programmation, conception, réalisation), la QEB, ou Qualité Environnementale du Bâtiment, structurée selon 14 cibles définies par l'Association HQE® et évaluée à plusieurs étapes d'avancement de l'opération.

L'attribution du certificat « NF Bâtiments Tertiaires - Démarche HQE® » est subordonnée à l'obtention d'un profil minimum sur les 14 cibles. Elle se fonde sur trois audits à la fin de la programmation, à la fin de la conception, à la fin de la réalisation.

La certification « NF Bâtiments Tertiaires - Démarche HQE® » a été réalisée par Certivéa, filiale du CSTB.

---

# Contrôle et réception

La stricte organisation du chantier et, notamment, le Plan de Prévention et de Contrôle (PPC) qui avait été mis en place, a considérablement sécurisé la réception. Le PPC s'appliquait à chaque lot et prévoyait :

- la validation de la conformité au programme des matériaux et produits retenus et de leurs performances par le BET HQE ;
- la validation de la conformité des matériaux et produits à leur réception sur chantier ;
- le contrôle systématique des modes opératoires spécifiques lors de la pose ;
- la validation globale de la tâche.

Le chantier qui a bénéficié à plein de cette organisation a même été terminé avec un mois d'avance sur le planning.

Une période d'essai a permis la mesure des niveaux d'isolement acoustique en façade, de débit en bouches d'extraction, d'éclairage dans les bureaux, etc. Autant de dispositifs qui participaient de l'obtention du label BBC Effinergie.

Rappelons que ce label n'était pas l'objectif du départ puisque le maître d'ouvrage avait envisagé le THPE. C'est seulement en cours de conception que l'évaluation des performances du bâtiment, conjointement à la prise en compte des exigences de la démarche HQE®, a conduit à envisager un objectif plus élevé. Cet objectif a finalement été atteint avec une consommation projetée de 31,6 kWep/m<sup>2</sup>.an (part du chauffage 20 %, de l'éclairage 40 %), soit très largement inférieure au niveau maximum fixé pour l'obtention du label BBC.<sup>6</sup>

Et si le surinvestissement de 350 k€ TTC induit par la recherche de la performance BBC est estimé à 5 % au regard de la seule application de la RT2005, le calcul montre que le retour d'investissement est de seulement 9 ans. En effet, la facture énergétique passe de 52 800 € TTC/an (RT 2005) à 11 000 € TTC/an (BBC).

---

6. Au moment de la conception du siège de l'Ademe, le niveau BBC était acquis pour une consommation inférieure de 50 % par rapport à la consommation de référence de la RT 2005 (-20 % pour le THPE). Dans la réglementation 2012, devraient figurer des valeurs de référence de consommation à l'instar de celle déjà fixée pour les logements : 50 kWh/m<sup>2</sup>.an

## RÉSUMÉ DES DONNÉES DU PROJET

- Surface hors d'œuvre nette (SHON): 3 089 m<sup>2</sup>
- Coût des travaux: 1 540 E HT/m<sup>2</sup> SHON; 6,9 % des coûts totaux ont été consacrés aux travaux de performance énergétique; aucun dépassement de coût à la livraison du bâtiment.
- Durée du chantier: 11 mois (pour 12 prévus au planning)

## DE LA RT 2005 À LA RT 2012

La RT 2005 est fondée sur des coefficients de référence qui permettent d'évaluer les performances de la construction projetée à des valeurs de référence. Il en ressort une série de calculs complexes qui s'appuient sur les points suivants.

- Une Cep (Consommation d'Énergie Primaire) inférieure ou égale à la  $Cep_{réf}$  (Consommation d'Énergie primaire de référence); cette consommation de référence s'obtient par la somme des consommations théoriques, en référence aux valeurs moyennes fournies réglementairement, des différents éléments, pris indépendamment. Il s'agit d'un calcul global qui permet des libertés de choix dans les options constructives ou les équipements.
- Pour le confort d'été une Tic (Température intérieure conventionnelle) inférieure ou égale à la  $Tic_{réf}$ .
- Un coefficient  $Ubât$  (qui définit les déperditions de l'enveloppe) inférieur ou égal à l' $Ubât_{réf}$  (ou l' $Ubât_{base}$ ) avec un maximum admissible  $Ubât_{max}$  (déperditions maximales autorisées) =  $1,5 Ubât_{base}$  (pour un bâtiment de bureaux).
- Des "garde-fous": ce sont des performances minimales requises pour une série de composants (isolation, ventilation, système de chauffage...) et au niveau des déperditions notamment pour les ponts thermiques.

La RT 2012, elle, est fondée sur des principes d'objectifs performanciers. Pour les atteindre, elle fixe des conditions impératives.

- Une garantie de qualité de mise en œuvre avec, en particulier un soin particulier apporté au traitement des ponts thermiques et de l'étanchéité à l'air, avec un test d'étanchéité à l'air obligatoire dans le collectif.

- Une garantie sur le confort d'habitation et la qualité de l'architecture en bâtiment d'habitation, avec, par exemple, une surface minimale de baies vitrées (1/6 de la surface habitable)
- Pour un bon usage du bâtiment, la mesure ou estimation des consommations d'énergie par usage, ainsi que l'information de l'occupant.

Cette réglementation s'appuie sur trois exigences de résultats.

- Le coefficient  $Bbio$ , de besoin bioclimatique  $Bbio$ , indicateur de la qualité de la conception « bioclimatique » de la construction, calculé en faisant la somme pondérée des besoins en chauffage, refroidissement et éclairage, doit être inférieur à  $Bbio_{max}$  (le  $Ubat$  disparaît).  $Bbio_{max}$  est établi à partir d'une valeur moyenne définie par type d'occupation du bâtiment et par catégorie (CE1/CE2) et modulée suivant la localisation géographique, l'altitude et la surface moyenne des logements du bâtiment.
- Le coefficient  $C_{max}$  représente la consommation d'énergie primaire. Ce coefficient établi à partir des postes de consommation en chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes) doit être inférieur à  $Cep_{max}$ , valeur moyenne fixée à 50 kWhEP/m<sup>2</sup>.an, et modulée selon le type d'occupation du bâtiment, la nécessité de climatiser ou non (CE1 ou CE2), la localisation géographique, l'altitude, la surface moyenne des logements et selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées.
- La température intérieure conventionnelle  $Tic$  atteinte au cours d'une séquence de cinq jours chauds doit être inférieure à une température de référence  $Tic_{réf}$ .