



Une conception durable

2



2.1 La qualité d'usage

"Quel qu'en soit l'exact contenu, l'utilité, qu'elle soit commodité, distribution, fonction ou usage, participe étroitement de la production architecturale et en constitue l'une des dimensions irréductibles. Par sa finalité même, l'architecture remplit une fonction qui n'a pas son équivalent dans les autres arts et qui en fait, selon Valéry (1944), le plus complet des arts"¹⁸.

La qualité d'un bâtiment public est indissociable de sa qualité d'usage, elle-même intimement liée au bien être et au confort, à la fonctionnalité, à l'accessibilité, à l'appropriation, à la sûreté et la sécurité, à la flexibilité, à l'évolutivité. La qualité d'usage est à la fois objective et subjective. Elle renvoie à des processus psychologiques, sociologiques et culturels relativement complexes. Elle varie dans le temps et selon les acteurs concernés. Dans un collège, une grande cour de récréation peut être vécue comme une source de plaisir pour les 3^{ème} et une source d'inquiétude pour les 6^{ème}. Dans un foyer d'accueil, la présence de cuisinettes dans les chambres est généralement sollicitée par les résidents, mais pas par le personnel qui y voit un frein au partage des repas, et donc aux efforts de resocialisation entrepris par l'institution. La qualité d'usage se mesure surtout par la capacité de l'ouvrage à répondre, au quotidien et de manière bienveillante, aux différents usages, pratiques et modes de vie de ses différents utilisateurs¹⁹ et usagers²⁰.

La qualité d'usage, pensée pour tous et évolutive, est une réponse aux exigences culturelles et sociales du développement durable. Sa prise en compte dans un projet durable suppose qu'une réflexion de fond soit menée pendant le temps de la programmation de l'opération pour cerner de manière la plus fiable possible les pratiques et les usages futurs. **Elle suppose aussi que cette réflexion se poursuive lors des études de conception au moins jusqu'à l'avant-projet détaillé (APD). Il n'est pas souhaitable que le travail programmatique s'arrête dès la désignation de la maîtrise d'œuvre.**

Ainsi, on peut qualifier de prise en considération de la maîtrise d'usage **l'activation de différentes démarches** contribuant à obtenir une qualité d'usage :

- **un recueil d'informations auprès des futurs utilisateurs et usagers** pour bien cerner leurs besoins et leurs attentes

(directement auprès d'eux ou en s'adressant à des médiateurs tels que des associations). Ce recueil d'informations doit être mené non pas à la manière d'un enregistrement, mais de façon active, en incitant les différents acteurs à prendre du recul et à se délier du poids des stéréotypes et des habitudes, en les sensibilisant aux enjeux du développement durable ;

- **une définition précise des modalités d'occupation des espaces et des rythmes de fonctionnement de l'ouvrage ;**
- **une démarche prospective**, visant à anticiper les évolutions, les bouleversements incessants des structures sociales et des modes de vie ;
- **l'intégration d'actions concrètes en faveur du développement durable** dans la définition et le dimensionnement des futurs espaces : des espaces suffisants pour le tri des déchets, des abris pour les deux roues, des voies douces, des jardins potagers, des conditions de confort équitables, des espaces partagés et dont l'occupation est optimisée, ...

Les thèses du développement durable légitiment plus que jamais la prise en compte des notions de la qualité d'usage. **Cela nécessite parfois de remettre en question des habitudes établies.** Par exemple, l'optimisation de l'usage de locaux publics au-delà de leur finalité première peut être interrogé. Bénéficier d'un système de rafraîchissement l'été, de très larges vues sur l'extérieur depuis son séjour, ou d'eau chaude pour se laver les mains sur son lieu de travail, font partie de nos standards de confort actuels. Ces exemples montrent que des arbitrages s'imposent au maître d'ouvrage entre l'ambition écoresponsable et un confort d'usage hérité d'une période d'abondance.

Dans une démarche de développement durable, la durabilité des performances environnementales escomptées est très largement dépendante de l'usage ultérieur du bâtiment ou de l'aménagement. Cet enjeu sensible suppose des **échanges avec les gestionnaires dès la phase amont des projets, puis l'accompagnement des dossiers des ouvrages exécutés (DOE) et des dossiers d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO) par un livret de gestion et d'usage durables à destination des utilisateurs et gestionnaires** (cf.3.6.1.). La gestion de l'espace et le suivi des consommations peuvent être organisés de façon participative et complétés par des actions de sensibilisation et de formation. Même si l'usage n'est pas parfait et que des résistances aux nouveaux standards de confort ou d'usage se manifestent, la mise à disposition d'un tel ouvrage durable reste de

toute façon plus responsable que la mise à disposition d'un ouvrage classique avec le même usage imparfait !

Il importe de rappeler que la qualité d'usage suppose, **en phase de fonctionnement et d'exploitation, d'une part d'assurer l'entretien et la maintenance de l'ouvrage** (un ascenseur qui tombe souvent en panne ou des vitrages sales nuisent à la qualité d'usage...) et d'autre part d'adapter les espaces quand ils deviennent obsolètes au plan fonctionnel, technique ou environnemental. **D'où l'importance d'une véritable gestion patrimoniale et de l'analyse en coût global.**

Ce qu'il faut retenir

La qualité d'usage, pensée pour tous et évolutive, est une réponse aux exigences sociales du développement durable. Sa prise en compte fait partie intégrante du processus de programmation.

Prévoir les usages à venir n'est pas facile et requiert une approche approfondie, méthodique, participative et prospective, avec les différents groupes d'acteurs concernés.

Entre la qualité d'usage et la qualité durable, le maître d'ouvrage doit souvent faire des compromis. Pour autant, une programmation durable doit favoriser des comportements vertueux en matière d'environnement, et donc être le moteur de nécessaires changements qui, pour être opérants, doivent être proposés, ou tout au moins compris et acceptés, par les futurs utilisateurs et usagers, d'où l'intérêt des démarches participatives.

La qualité d'usage suppose que l'ouvrage soit correctement entretenu au quotidien, et qu'il puisse être amélioré dès l'apparition d'éléments de détérioration ou d'obsolescence.

¹⁸ Daniel PINSON, "Usage et architecture", Éditions de l'Harmattan, Paris, 1993

¹⁹ Par utilisateurs, on entend les personnels intervenant dans le fonctionnement quotidien du bâtiment.

²⁰ Les usagers sont les destinataires finaux de l'ouvrage : les patients d'un hôpital, les lecteurs d'une bibliothèque, ...



Une démarche de développement durable implique d'intégrer la participation des habitants, usagers et partenaires (publics et privés) à la démarche de projet, depuis l'intention de faire du maître d'ouvrage jusqu'à la mise en service de l'opération et tout au long de la vie de l'équipement ou de l'aménagement. **Les modalités de cette participation sont adaptées en fonction de la nature et de la situation du projet, de ses enjeux et contraintes et selon les différentes étapes du processus.** Elles nécessitent un vrai savoir-faire.

"La programmation constitue une opportunité idéale pour mettre en place un processus participatif." Jodelle Zetlaoui-Léger, François Meunier octobre 2010

Différents niveaux d'implication des citoyens peuvent être identifiés (cf J. Zetlaoui-Léger, "L'implication des habitants dans des micro-projets urbains", Cahiers de l'Ecole d'architecture de La Cambre, 2005) :

- **l'information** : porter à la connaissance ;
- **la consultation** : recueillir un avis (enquête publiques, réunions publiques, enquêtes ad hoc,...) ;
- **la concertation** : organisation de groupes de travail pour aider à la définition d'un projet et aux décisions qui seront prises par les autorités compétentes ;
- **la participation** :
 - terme générique pour désigner l'implication des habitants ou usagers au projet,
 - ou dans son acception forte : permettre l'implication de tous les habitants ou usagers à tous les stades du projet, elle peut alors se décliner en :
 - **la co-production** : les habitants ou usagers contribuent à la production du projet ;
 - **la co-décision** : les habitants ou usagers (le cas échéant via des associations) décident de certaines actions concernant leur lieu de vie (petits aménagements,...).

Un bâtiment à la façon d'Alvar Aalto avec une rue intérieure et des volumes distincts...

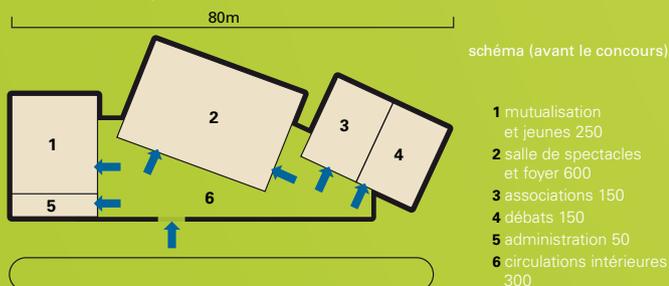


Schéma à la façon d'Alvar Aalto – Eric Daniel-Lacombe

Le centre socio-culturel de la ville de Buxerolles (8 700 habitants), située à proximité de Poitiers, est **issu d'un processus participatif mis en place dès 1999**. Celui-ci conduit à la définition d'un pré-diagnostic "social local" élaboré par la Fédération des centres sociaux. En juillet 2000, il est décidé de construire un équipement de 1 500 m². En avril 2001, est créée à partir d'un des groupes de concertation l'association "La maison des projets", ce qui permet de mener les premières actions et un travail approfondi sur les attentes en termes d'usages et de mode de gestion.

Une méthodologie de "programmation participative"¹ et citoyenne est proposée par l'équipe d'AMO. Trois instances sont mises en place et se réunissent de façon itérative : **une instance décisionnelle, une instance de citoyenneté et d'usages** (avec trois groupes de travail : "Culture", "Social" et "Maison des projets") **et une instance opérationnelle** (comprenant l'assistance à maîtrise d'ouvrage). La composition de ces groupes fluctue quelque peu au gré des changements de municipalité mais la structure et le fil directeur du projet sont maintenus au fil du temps, jusqu'à la définition du mobilier et la mise en service de l'équipement.

Chaque étape importante est validée par le maître d'ouvrage (approbation de la démarche, choix définitif du site, validation du programme définitif, choix du maître d'œuvre,...). Les sites pressentis ont en particulier été évalués dans le cadre de la concertation avec les habitants à partir de visites et de schémas d'emprise possible, au vu de critères partagés. Le choix définitif intervient avec la validation du pré-programme en juin 2001.

Avec le changement de municipalité, le programme prend une autre ampleur avec la création d'une salle de spectacles d'au moins 250 places. Le directeur du futur centre est désigné. **Des visites critiques d'autres équipements** sont organisées avec les groupes de concertation. Une culture commune se construit. **Des scénarios spatiaux sont proposés**, qui posent des questions problématiques d'usage sur certains espaces mais ne constituent en aucun cas des organisations fonctionnelles. Jodelle Zetlaoui-Léger s'exprime ainsi : "ces schémas doivent être porteurs d'intentions programmatiques explicites". **Ils figurent dans le concours sur esquisse lancé en mars 2002.**

Un village "à la manière" de Lucien Kroll, ou des maisons comme une ferme... avec une cour...

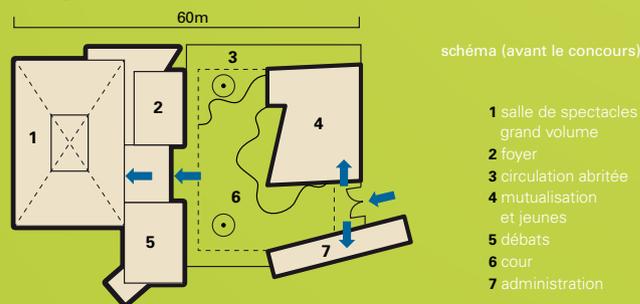


Schéma à la façon de Lucien Kroll- Eric Daniel-Lacombe

¹ Cf "Une expérience exemplaire de programmation participative : la Maison des projets de Buxerolles (86) Georges Gontcharoff avec la citation "Les groupes de travail proposent, le comité de pilotage valide, le conseil municipal décide" Jean-Marie Paratte, Maire de Buxerolles, bulletin municipal n°9, Juin 2001

Un exemple de démarche participative : la Maison des projets de Buxerolles (86)

L'organisation du projet lauréat répond bien aux enjeux du programme, en particulier à la prise en compte du futur rythme de vie du bâtiment afin d'en minimiser les coûts de fonctionnement et de rendre possible le prêt de certains espaces aux habitants de Buxerolles. La transition entre la salle de sports et les habitations voisines est bien travaillée au plan morphologique, de même que les conditions d'accueil de l'équipement.

À l'issue du concours, l'architecte retravaille certains aspects de son projet (entrée principale, cour intérieure,...) **en lien avec le comité de pilotage et l'équipe d'AMO.** Cette dernière joue un rôle de médiateur avec les usagers qui continuent à être réunis pour anticiper les enjeux d'usages et de gestion du futur équipement ; ceux-ci sont accompagnés dans une lecture critique des plans dont les résultats sont transmis au comité de pilotage. **L'ensemble du dispositif permet un travail fructueux entre les usagers, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre, à travers lequel se tissent des relations d'écoute, de respect et de confiance.**

Le centre socio-culturel est inauguré en décembre 2005. **L'équipement est alors en totale symbiose avec son usage.** Il est porté par l'association "La maison des projets" qui constitue un lieu-ressources d'écoute et d'animation pour les habitants et associations. **Le projet est évalué en 2007 sur le plan de son fonctionnement ;** la pertinence des principaux choix programmatiques et conceptuels réalisés est démontrée.

Façade entrée de la Maison des projets et cour intérieure de la Maison des projets

Les modalités de travail des trois types d'instances en phase de maîtrise d'œuvre : exemple d'itération

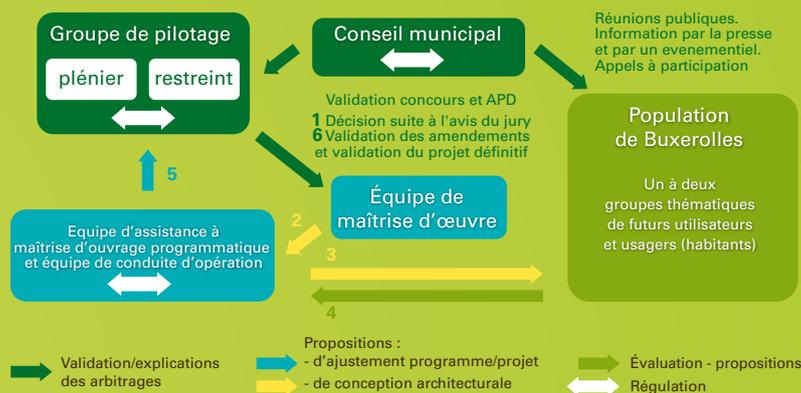
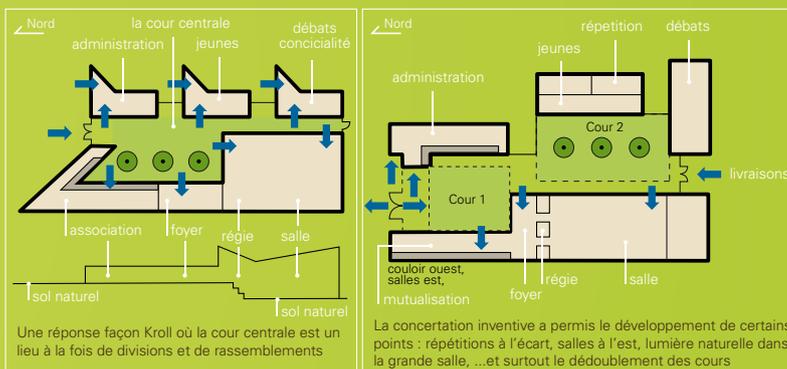


Schéma d'organisation du processus de projet - Jodelle Zetlaoui-Léger in "La programmation concertée et participative ; une démarche heuristique pour les projets d'urbanisme", Institut d'urbanisme de Paris, 2007.



Projet lauréat, équipe 3

Schéma (phase pro)

Schémas d'analyse du projet lauréat au stade du rendu de concours et en phase PRO - Eric DANIEL-Lacombe

Quelques données sur la Maison des projets de Buxerolles

Maîtrise d'ouvrage	Ville de Buxerolles (86)
Mandataire	Société d'économie mixte du Poitou (SEP)
Conseil de la MO	Eric Daniel-Lacombe, architecte ; Jodelle Zetlaoui-Léger, urbaniste - sociologue
Maîtrise d'œuvre	Gilles Daugan, Alain Volatron, architectes
Réalisation	2004 - 2005
Coût total	2 400 000 € HT
Surface	1 500 m ² SHON

2.2 La réaffirmation du coût global

Le coût global est une ancienne notion qui peine à être intégrée dans la pratique des projets publics, alors qu'elle est essentielle dans une démarche de développement durable. En montrant que les coûts différés peuvent représenter trois à quatre fois les coûts d'investissement, le coût global incite à anticiper les modalités et les coûts d'exploitation-maintenance d'un ouvrage lors de sa programmation et sa conception, et à associer toute recherche d'économies sur le coût des travaux à une analyse de leur impact sur le fonctionnement. Il met le maître d'ouvrage face à de nouvelles responsabilités en termes de gestion des deniers publics et l'invite à se doter de temps et de moyens suffisants pour opérer des choix stratégiques tenant compte de la vie future de l'ouvrage. Le "coût global élargi" comporte l'ensemble des coûts différés, notamment les coûts sanitaires.

En ce qui concerne les coûts de travaux, le coût global comprend les coûts d'investissement, qui correspondent à l'ensemble des dépenses engagées depuis l'origine du projet jusqu'à la réception définitive des travaux, **ainsi que les coûts "différés" qui recouvrent différents postes de dépense :**

- les **coûts d'exploitation** (consommations en énergie et autres fluides, gardiennage, ménage, ...);
- les **coûts de maintenance** (petit et gros entretien, contrats de maintenance des installations techniques, ...);
- les **coûts des travaux liés à des modifications fonctionnelles** (reclouisonnement, réorganisation des accès, ...);
- le **coût de pilotage de l'exploitation-maintenance** (moyens humains et informatiques, internes et externes);
- **éventuellement, le coût de fin de vie** (démolition).

La notion de coût global est d'ordinaire associée à la production d'un indicateur unique (le coût global) qui agglomère les coûts d'investissement et les coûts différés. Cet indicateur, savant et complexe, ne correspond pas à la pratique courante des maîtres d'ouvrage qui différencient les deux lignes budgétaires d'investissement et d'exploitation. **La démarche en coût global doit permettre de faire des choix sur le double critère des coûts d'investissement et des coûts différés.** De ce point de vue, la démarche bi-critère du coût global est plus pertinente que le calcul mono-critère dans l'évaluation réelle du coût d'une réalisation.

Parce qu'un bâtiment durable est susceptible de mobiliser plus de compétence, de recourir à des produits et procédés techniques innovants et des mises en œuvre plus soignées, **son coût de réalisation peut être impacté.** Cela pose un problème sensible lorsque les possibilités d'investissement public sont limitées. **Pour autant, des pistes d'économies peuvent être trouvées :**

- **les coûts de construction peuvent être réduits par le recours à une industrialisation très poussée** de la construction permettant la mise à disposition de produits diversifiés et performants **dans le cadre d'une architecture située et écoresponsable, afin d'éviter la dérive possible vers des projets-types ou le retour à une politique des modèles ;**
- **des actions volontaristes vis-à-vis des surcoûts générés par des normes mal adaptées peuvent être engagées,** par exemple contre le nombre pléthorique de places de stationnement imposé par certains PLU, ou contre des standards de confort d'un autre âge (la climatisation, par exemple) ;
- **la substitution aux coûts d'acquisition du foncier d'autres formes de coûts,** différés dans le temps (bail emphytéotique, pass-foncier®, ...);
- **la réduction des coûts de production par des initiatives alternatives comme les coopératives d'habitants** qui prennent en charge la maîtrise d'ouvrage des opérations et leur commercialisation ;
- les coûts de construction peuvent trouver leurs **variables d'ajustement à la faveur des synergies entre les différents acteurs de la maîtrise d'œuvre.**

Les coûts différés d'un bâtiment durable sont en revanche plus faibles que ceux d'un bâtiment non durable, grâce à la maîtrise des consommations énergétiques notamment, qui permet à la fois de réduire l'un des postes de dépenses d'exploitation les plus importants et d'obtenir une source significative de gains environnementaux.

L'estimation des coûts différés présente certaines limites car les taux d'inflation sont incertains, tout comme le prix des énergies, la durée de vie des équipements et des produits, les surcoûts d'entretien que les techniques durables génèrent avant qu'elles ne se généralisent. Par ailleurs, les coûts différés externes (ceux qui ne concernent ni le maître d'ouvrage, ni les utilisateurs du bâtiment) sur lesquels portent la plupart des gains d'une démarche durable (maîtrise des impacts sur l'effet de serre, amélioration de la santé publique, maîtrise de la dégradation de la biodiversité, maîtrise des pollutions de proximité, des déchets ultimes induits, des impacts

liés aux déplacements, diminution de l'absentéisme, ...) **restent très difficilement quantifiables.**

De fait, **il paraît nécessaire d'accompagner les indicateurs strictement économiques du coût global, tout d'abord, par des indicateurs comme le bilan carbone® ou l'empreinte écologique** qui constituent des outils complémentaires de diagnostic et d'aide à la décision, **puis par une approche pragmatique des coûts différés, à toutes les étapes d'un projet**, comme la MIQCP le préconisait dans son guide de 2006. L'approche en coût global porte en général sur l'ensemble des composantes de l'ouvrage mais elle peut aussi se focaliser sur l'une ou plusieurs d'entre elles, en vue de fonder certains choix (choix d'énergie, choix des revêtements de sol, ...).

Ce qu'il faut retenir

Le coût global présente l'avantage de mettre l'accent sur l'exploitation-maintenance d'un ouvrage et de relativiser ainsi les "surcoûts d'investissement" que génère le développement durable.

Plus qu'un outil de prévision économique, c'est avant tout un outil d'aide à la décision pour le maître d'ouvrage. On peut citer un responsable de la construction et de la gestion de collèges : "La notion de "surcoût d'investissement" ne se pose pas dans ces termes, puisqu'on veut que les équipements rendent le service pour lequel on les construit. On doit plutôt parler de maîtrise de qualité. Par exemple, poser du carrelage sur les murs des cuisines coûte plus cher que la peinture, mais facilite le nettoyage, diminue les risques sanitaires et se dégrade nettement moins vite. De même, on impose de mettre en place deux chaudières en parallèle pour pallier tout problème de panne qui empêcherait l'accueil des élèves. On a ainsi un prix qui correspond à un niveau de qualité d'usage nécessaire."²²

L'approche en coût global doit être corrélée à d'autres indicateurs comme le bilan carbone® ou l'empreinte écologique, et intégrer des critères difficilement quantifiables comme la santé ou le bien-être.

²² Extrait du propos de Daniel Lebreton, Directeur adjoint du Conseil général de l'Essonne, cité dans le guide "Ouvrages publics et coût global" MIQCP Janvier 2006

²³ Benoît GOETZ, Chris YOUNES, Philippe MADEC, "L'Indéfinition de l'architecture", éditions de La Villette, Paris, 2009

2.3 L'architecture dans une démarche de développement durable

2.3.1. Une métamorphose

L'architecture n'est plus seulement l'art de construire, même celui de construire environnemental. Comme l'homme lui-même dont elle partage la condition, l'architecture ne se laisse pas facilement fixer en une formule ou une figure universellement partagée²³. "Art de bâtir" pour Vitruve, "expression de l'être même des sociétés" pour Georges Bataille, "art du peuple pour le peuple" d'après William Morris ou encore "fabrication réfléchie des espaces" pour Louis Isidore Kahn, l'architecture aujourd'hui est confrontée à la crise globale qui menace la survie de l'espèce. Notre monde se transforme. Reconnue d'utilité publique et expression des cultures, l'architecture ne peut éviter les métamorphoses philosophique, scientifique, technique et politique du monde qui l'accueille.

Il convient de dépasser l'hégémonie techniciste. L'hégémonie de la résolution par la technique de la crise environnementale caractérise l'installation du développement durable mondial. Pour quelques maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre, il peut encore sembler suffisant d'afficher des dispositions techniques : un bardage bois, des panneaux solaires ou photovoltaïques, une noue, pour affirmer un engagement écoresponsable. Cela ne suffit évidemment pas. Même les procédures HQE, BREEAM, Leed, Casa Clima ou Minergie dépassent aujourd'hui le pur apport technologique.

La qualité environnementale puise dans une nouvelle relation de l'homme à la nature. La donne environnementale questionne les savoirs, régénère le projet, redonne sens aux actes, fait évoluer les conventions. Plaçant le projet de vie et de société au cœur des enjeux, elle est l'occasion historique de leur renouvellement, de leur métamorphose. Elle invite à de nouvelles démarches de projet susceptibles de faire évoluer l'acte architectural et ses conventions culturelles.

2.3.2 La culture, quatrième pilier du développement durable

Si pallier les excès de la technique requiert la technique, **force est de s'armer contre toute autre dérive techniciste**, surtout en France où le poids de la technique et de la science est lourd de raison. Depuis les périodes hygiénistes et fonctionnalistes, nous savons la nécessité de prendre garde aux discours faisant de la vérité scientifique un système, surtout quand ils articulent hygiène, santé, environnement et science.

La valeur d'une technique dépend de l'usage qu'on en a, et les usages procèdent de la culture. Aussi est-il utile de convoquer la culture comme quatrième pilier du développement durable. Ce que fit la France à Johannesburg en 2002²⁴ au nom de la protection des diversités culturelles. Dans son discours "La maison brûle, et nous regardons ailleurs", Jacques Chirac proposait comme troisième chantier : "la diversité. La diversité biologique et la diversité culturelle, toutes deux inscrites au patrimoine commun de l'humanité, toutes deux sont menacées." C'est à partir de ce constat que celui-ci ajoutait lors de la table ronde "Biodiversité, diversité culturelle et éthique" : "la culture s'imposera peu à peu comme le quatrième pilier du développement durable aux côtés de l'économie, de l'environnement et de la préoccupation sociale".

L'oubli initial de la culture comme quatrième pilier du développement peut d'ailleurs étonner. Le rapport Brundtland précisait bien que "deux concepts sont inhérents à cette notion [de développement durable] : **le concept de " besoins ", et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et 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.**"²⁵ Or, les notions même de besoin, d'état des techniques et des organisations sociales dépendent de l'histoire des peuples, des cultures, de ces "figures historiques cohérentes"²⁶ comme les nomme le philosophe Paul Ricœur.

Dans les domaines de la ville et de l'architecture, la revendication de la culture comme quatrième pilier du développement durable, renvoie d'abord à la notion de projet, et pas seulement à la protection des diversités culturelles. L'indien Rajendra W. Pachauri, président du GIEC, en 2002, dénonçait le poids des spécialistes de la science atmosphérique, de ses propres spécialistes, et exposait que la compréhension sociale et culturelle des politiques énergétiques sera la condition *sine qua non* des actions concrètes dans les divers pays. Au-delà de la dénonciation, il s'était agi pour lui de mettre en évidence l'écart existant entre la pensée technique abstraite due à l'universalité des données techniques et les conditions quotidiennes de la vie humaine toujours localisée. De fait — et même si nous assistons à une conscience mondialisée de la situation planétaire —, les modalités d'actions sont extrêmement dépendantes des cultures et contextualisées, dans une stratégie du disponible étendue aux matières et aux gens. Une belle idée n'est jamais réalisée si elle n'est pas comprise, appréhendée, appropriée par ceux qui la vivront.

2.3.3 Une démarche ouverte

L'architecture écoresponsable est une démarche globale, transversale et multicritère, fruit d'un engagement. Et si des catégories existent : high-tech, low-tech, éco-tech ou éco-soc²⁷, elles sont ouvertes, un concepteur recourant d'un projet à l'autre aux outils et concepts de l'une ou de l'autre.

La théorie des échanges

L'architecture écoresponsable, dans sa forme et ses espaces, se conçoit à partir des échanges dynamiques entre l'homme, les bâtiments et les éléments naturels, et avoisine la définition d'Etienne Louis Boullée (1728-1799) : une mise en œuvre de la nature ²⁸. Il y a un regain d'intérêt pour les **matériaux biosourcés** (terre, bois, pierre, chanvre, peintures naturelles...). Les **échanges entre intérieur et extérieur** réforment l'enveloppe du bâtiment, toutes ses faces réagissent.

On peut évoquer le concept d'"air exact"²⁹ utilisé par Le Corbusier dans la Cité radieuse : la ventilation des logements est assurée par des bouches réglables en façade ; l'air vicié est extrait par un conduit en partie centrale (dans la cuisine) qui débouche sur le toit-terrasse.

Les parois viennent chercher la terre, sa masse, son inertie, sa température stable.

Les toitures accueillent la végétation, servent à la photosynthèse, gardent l'eau de pluie, en autorisent l'évaporation ; elles se hérissent de **systèmes de ventilation naturelle** accélérant les effets aérauliques entre intérieur et extérieur ; elles se couvrent de **panneaux convertissant la lumière solaire en électricité et chaleur** ; elles s'ouvrent au passage de **la lumière naturelle, qui éclaire et chauffe.**

La façade s'imagine en coupe, plutôt qu'en élévation, proportion et harmonie, elle devient peau, membrane, lieu de l'osmose. Chaque élément de son épaisseur répond à une fonction : pare-pluie, isolation, préchauffage de l'air entrant, protection solaire, lumière, ventilation, clos, solidité et inertie...

L'approche environnementale associe enveloppe et structure. Les qualités porteuses cachent des dons thermiques, aérauliques et acoustiques. Interdépendantes, l'enveloppe et la structure s'entre-définissent et complètent leur apport à l'environnement et au confort. **Les matériaux à forte inertie thermique,** la terre, le béton ou la pierre, **sont revalorisés.** La lumière accroît son rôle, à la fois révélateur spatial et source thermique, aéraulique et énergétique. **Tous les projets recourent à l'effet de serre** pour chauffer l'air, réguler l'ambiance thermique, créer une zone de dépression en ventilation naturelle.

Une esthétique sans tabou

Au-delà des différences liées aux cultures et styles personnels des différents architectes, ce qui rapproche les diverses conceptions écoresponsables participe de l'ardeur générale **vers une alter architecture au service de l'homme et de la Terre, vers une limitation de l'impact des réalisations sur leur environnement immédiat, et plus largement sur la planète**. Les influences opèrent, sans mener à un autre style international. Loin de là.

Le projet environnemental investit les styles existants, et invente peu à peu sa propre esthétique. La large recherche de procédés environnementaux est **sans tabou esthétique, seul compte l'à-propos du dispositif. Elle se nourrit de l'emploi de matériaux renouvelables** les plus archaïques (architectures enterrées, couvertes de terre végétalisée, murs épais de pierre et de terre, forme minimale efficace : sphère, cylindre, ...) **et des apports de haute technologie** (serres, cheminées solaires, gestion technique centralisée (GTC), shunts, double peau, ...). Un ancien schéma iranien de ventilation naturelle, le badgir (voir page 54), captive autant qu'un brise-soleil horizontal devenu étagère à lumière. Le recours durable aux ressources locales accroît aussi **l'hétérogénéité de cette architecture "profondément influencée par son contexte aussi bien physique, géographique, climatique que culturel au travers notamment des cultures constructives qu'elle utilise"**³⁰. À la différence de la HQE qui ne valorisait pas initialement le rapport du bâtiment à son territoire, les pratiques écoresponsables affirment un engagement dans le lieu élargi aux terroirs. Dans un souci de gestion économe et équilibré du territoire, les projets se nourrissent de ce qui est à portée de mains. Les architectures durables dessinent leurs propres pays qui en retour les matérialisent.

2.3.4 Le rôle central de l'architecture

En intégrant une dimension éthique à l'emploi de la technique, la conception écoresponsable associe architecture et technique dans un vaste projet humaniste. En liant avec force le bâtiment et l'environnement, elle sort le projet des seules problématiques de forme et de mise en œuvre pour l'ouvrir à un nouvel espace-temps. Au sein de cette problématique de plus en plus large, nourrie des apports de champs connexes de plus en plus nombreux à intégrer, l'architecture est plus que jamais le cœur de la synthèse. En ce sens, comme l'évoque l'architecte ingénieur Jean-Marc Weill, elle est en condition de récupérer sa part d'ingénierie. Jusqu'à présent l'ingénierie était la garantie d'une certaine synthèse, mais comme la vision écoresponsable engage une nouvelle conception de l'espace, un nouveau rapport au temps, une nouvelle pensée des établissements

humains, l'architecture devient porteuse de la nouvelle synthèse. Il revient à l'architecture, comme à l'urbanisme, de confronter les cultures, les "figures historiques cohérentes", aux questions du futur, et d'innover pour inventer et accompagner le nouvel usage du monde.

Cette qualité architecturale (à reconstruire, à revendiquer) vise à remplir une tâche qui revient plus encore à l'architecture de nos jours : garantir le bien public, accueillir la chose commune, défendre l'en commun.

Ce qu'il faut retenir

L'architecture dans une démarche de développement durable constitue l'occasion de dépasser l'hégémonie techniciste et de convoquer la culture comme quatrième pilier du développement durable, ce que fit la France à Johannesburg en 2002 au nom de la protection des diversités culturelles.

La qualité architecturale ne peut pas être réduite à la somme d'une qualité environnementale du bâtiment augmentée d'une qualité d'usage, même si l'apparition conjointe de ces deux qualités reste encore une ambition. La qualité architecturale dérive de vertus multiples qui ne sont pas mesurables : le sens de l'histoire dans sa transformation, la capacité d'invention pour répondre spécifiquement aux enjeux d'un projet, la valeur esthétique de l'œuvre qui réjouit le cadre de vie, la pertinence sociale et culturelle des espaces produits, la juste mise en place des volumes dans leur lieu, le sens du détail dans la mise en œuvre, la compréhension de l'usage dans la durée, l'intégration perspicace des données techniques environnementales, le souci du bien-être au delà du confort, ...

L'architecture écoresponsable naît d'un engagement humaniste pour la multitude et se nourrit d'une démarche globale, transversale et multicritère, d'une approche holistique. Elle se conçoit à partir des échanges dynamiques, entre l'homme, la société et la Terre, entre les bâtiments et les éléments naturels, qui modifient la forme et les espaces. Elle recourt aux ressources locales et valorise un rapport immédiat au territoire, au terroir.

24 Discours du président de la République, 3/09/2002

25 Gro Harlem BRUNTLAND, "Our Common Future," ibid.

26 Paul RICCÉUR, "Histoire et Vérité", Seuil, Paris, 1955, p.296.

27 Rémy ROUYER, in "Architecture et développement durable, des lows-techs aux éco-socs.", Archi Créé, n°298, avril 2000.

28 Etienne Louis BOULLEE, "Essai sur l'art", Hermann éditeur, Paris, 1979.

29 cf notamment "Unité d'habitation Le Corbusier à Marseille" Travaux de l'Ecole d'architecture de Marseille-Luminy

30 Gilles PERRAUDIN, *La pierre : matériau écologique*

2.4 Une conception bioclimatique "élargie"

Si le développement durable n'a pas inventé la conception bioclimatique, il l'a profondément transformée et enrichie.

2.4.1. De la bioclimatique à la "bio tech"

Concevoir un bâtiment durable, c'est maîtriser ses besoins énergétiques : "L'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas". Quand on ne s'intéresse qu'aux questions énergétiques, la préoccupation est l'**efficacité énergétique**. Si on y ajoute les préoccupations de confort (thermique, visuel, olfactif, acoustique), l'objectif est **bioclimatique**. Cette approche consiste à couvrir en priorité les besoins des bâtiments par le bénéfice de techniques passives valorisant notamment le soleil, la lumière, le sol, c'est-à-dire les ressources gratuites offertes par l'environnement climatique du bâtiment, par le site.

Cette même démarche peut s'appliquer à d'autres domaines que celui de la climatisation. Ainsi, récupérer les eaux de pluie tombées sur la toiture pour les réemployer dans les sanitaires ou tout autre usage (entretien, arrosage) valorise aussi une ressource gratuite et offerte par l'environnement. De même, protéger du bruit en disposant dans le plan-masse un bâtiment écran entre la source de pollution sonore et le point de réception, participe d'une démarche de même nature, comme implanter et orienter les bâtiments de telle manière qu'ils reçoivent au mieux les apports solaires. Cette approche relève d'une démarche **bioclimatique élargie** ou mieux encore **bio tech**.

En effet, l'alternative classique low tech ou high tech n'a pas grand sens dans ce domaine, car certaines techniques passives sont de haute technicité. La démarche bio tech se fonde sur deux conditions : tout d'abord, puiser dans l'environnement du bâtiment l'essentiel des ressources nécessaires à son fonctionnement ; ensuite, assurer par le bâti lui-même, la protection contre les nuisances de l'environnement. Cette définition vaut autant à l'échelle du bâtiment qu'à celle de la ville ou d'un morceau de ville, dans une optique de **bioclimatique urbaine** ou de **bio-territorialité urbaine**.

Nourrie de l'architecture vernaculaire et de ses transcriptions modernistes, la conception bioclimatique a traversé la seconde moitié du siècle dernier pour se figer, en France, dans les années 80 en une doctrine qui resta marginalisée jusqu'à l'apparition des démarches de qualité environnementale des bâtiments. Notons cependant que des recherches mettaient déjà en avant l'importance de l'urbain et en particulier la capacité de la façade – épaisse – à résoudre la contradiction entre héliocentrisme et intégration au tissu urbain et comment cette articulation entre les deux termes de la contradiction peut enrichir le projet (par déformation, stratification, ...) ³¹.

La conception bioclimatique des années 80 reste néanmoins déterminée par son époque et son champ d'application. Elle se préoccupe essentiellement de maisons individuelles et de réduction des consommations de chauffage. Elle se caractérise par une différenciation des façades selon l'orientation, une dynamique de l'enveloppe, la mise en place d'espaces tampons (actifs et passifs) et l'introduction des temporalités (quotidiennes et saisonnières). La question centrale consiste alors à récupérer les apports solaires, avec le tropisme dominant de l'orientation Sud.

Dès lors que le sujet s'élargit de la maison individuelle aux logements collectifs, aux bureaux et aux bâtiments publics, les choses se complexifient ; le projet bioclimatique s'élargit des conditions thermiques d'hiver au confort d'été, à la lumière, à la qualité de l'air, au traitement du bruit, ... Dès lors, les règles passe-partout sautent, il n'y a plus d'orientation unique dans tous les cas de figure. Le projet devient spécifique, dans des sites et des configurations singulières auxquels il faut apporter des réponses particulières. En mettant le projecteur sur les apports de l'environnement au bâtiment, sur les transferts de flux dynamiques (soleil, lumière, bruit, air, ...) entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, la démarche bioclimatique attribue un rôle fondamental à l'interface entre l'extérieur et l'intérieur, c'est-à-dire à l'enveloppe du bâtiment. C'est celle-ci qui assure la fonction de filtre dynamique, totalement ou partiellement traversant, vis-à-vis des divers flux qui la traversent, souhaités ou non. En privilégiant l'enveloppe du bâtiment, la démarche bioclimatique entretient des rapports étroits avec l'architecture, sa peau, son apparence, son esthétique, sa présence dans un lieu chaque fois particulier.

³¹ "Architecture urbaine bioclimatique" Frédéric NICOLAS, Michel RÉMON, TRIBU, pour le compte du Plan Construction 1981-1985)

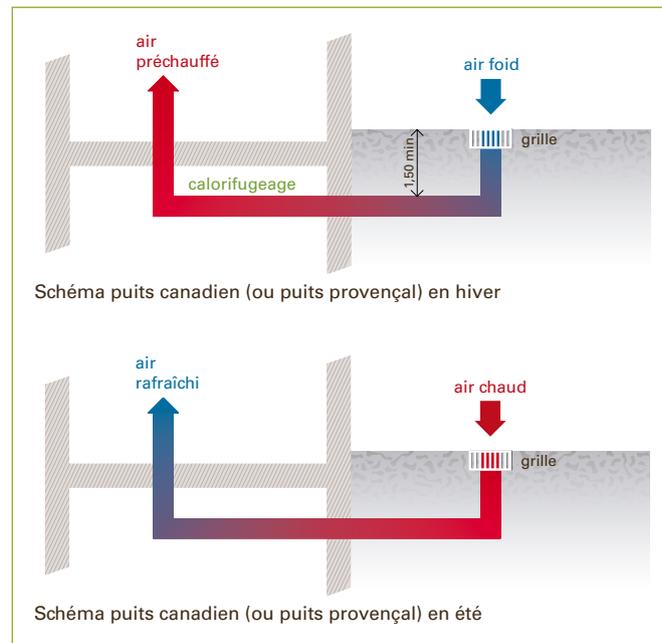
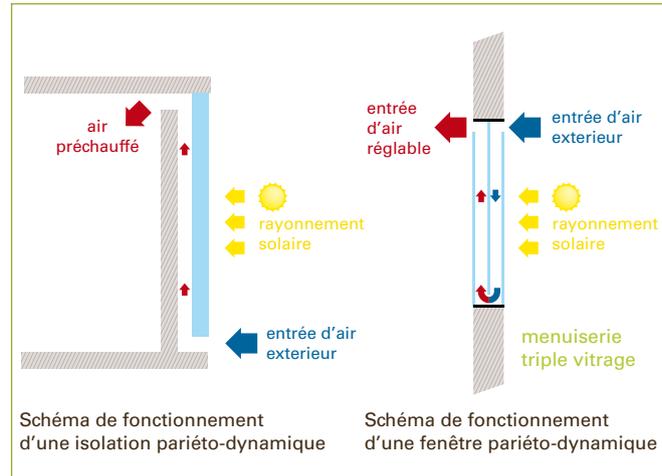
2.4.2 Anciens et nouveaux sujets de la bioclimatique

L'approche durable élargit tous les sujets de la bioclimatique et en apporte de nouveaux.

La thermique d'hiver

Les solutions passives en thermique d'hiver sont relativement réduites, connues et exploitées depuis longtemps :

- **l'isolation** vise à limiter, en hiver, les flux de déperdition de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur. Ce volet défensif de la bioclimatique a fait des progrès fantastiques : depuis les années "classiques" de la bioclimatique, la capacité d'isolation des murs a été multipliée au moins par cinq et celle des vitrages et des menuiseries extérieures à peu près dans le même ordre de grandeur. D'autres solutions techniques consistent à récupérer la chaleur perdue dans les murs pour la réintroduire à l'intérieur des locaux (systèmes pariéto ou perméodynamiques) ;
- **la récupération des apports solaires** reste le principal outil passif en logement et dans tous les bâtiments à faibles apports internes. Selon que cette question est plus ou moins bien traitée, la part des besoins couverts par les apports varie de 50 à 80%. Bien évidemment, pour les bâtiments à forts apports internes par les équipements techniques et le nombre d'occupants (bureaux, salles de classe, ...), la récupération des apports solaires ne joue qu'un rôle secondaire voire parfois contre-performant car générateur de surchauffes ;
- **la récupération de la chaleur du sol.** En dessous d'une certaine profondeur, la température du sol en hiver varie beaucoup moins et reste stable entre 14 et 15°C alors que l'air extérieur varie entre - 10 et + 10°C. Voilà une ressource inépuisable, exploitable pour préchauffer l'air neuf, par échange thermique avec le sol, en le faisant transiter dans des **puits canadiens** (réseaux de tuyauteries enterrées).





"En nous appuyant sur les ressources et les savoir-faire locaux pour limiter les techniques et produits importés, nous avons cherché un ancrage territorial exemplaire environnemental, mais aussi économique et social du projet. Et pour **démontrer qu'il existe une alternative à la production immobilière dakaroise, qui transpose encore souvent une architecture internationale largement déconnectée du contexte sénégalais**. C'est encore cette logique d'adaptation au pays, développée tout au long des études, qui a permis **qu'une entreprise générale sénégalaise** remporte l'appel d'offres des travaux et construise le lycée.

(...) Le projet est conçu comme un **campus scolaire unitaire**, identifiable comme entité autonome, lisible par son organisation et humain par l'échelle de ses espaces.

(...) **L'entrelacement des vides et des pleins**, lisible en plan-masse, génère de nombreux espaces de transitions architecturales. L'implantation des bâtiments d'enseignement en lanières resserrée crée des **entre-deux ombragés, des patios étroits et allongés, ouverts aux extrémités et rafraîchis par les plantations, dont la forme favorise la circulation de l'air.. Une grande toiture abrite les espaces communs du lycée**, administration, CDI, restaurant et gymnase, mais aussi des allées transversales de liaison. Compte tenu du climat, **toutes les dessertes sont extérieures**, à la fois lieux de vie à part entière et de promenade architecturale. Rochers, végétation, dessin des matériaux de sols font aussi partie intégrante du projet, de même que les brise-soleil et les préaux pergolas végétalisés de bougainvillées et autres essences tropicales.

À l'échelle de chaque bâtiment, plusieurs **solutions passives de protection solaire et de rafraîchissement se conjuguent en préservant l'éclairage naturel et le confort acoustique**. En façade avant des locaux d'enseignement, galeries et auvents empêchent le soleil d'impacter les façades aux heures les plus chaudes. En façade arrière, des **doubles murs ventilés** évitent à la paroi intérieure de chauffer, et forment des murs et des tableaux de fenêtres épais limitant l'ensoleillement direct. Ce vide entre façades permet aussi la mise en place des colonnes techniques. **Toutes les toitures ont une inertie renforcée ; toutes les salles ont des ouvertures traversantes et des hauteurs libres généreuses**. La période d'utilisation de **la climatisation, demandée au programme, est ainsi réduite à deux mois par an**, durant l'hivernage. Enfin, **des panneaux solaires pour l'eau chaude sanitaire, et une station d'épuration autonome pour le recyclage des eaux usées et l'arrosage des espaces extérieurs** dans le lycée, complètent les dispositifs environnementaux.

À l'exception de quelques ouvrages réalisés en béton banché, les bâtiments sont construits en **maçonnerie de parpaings et planchers hourdis**. **Les savoir-faire locaux ont été exploités également pour le second œuvre**.

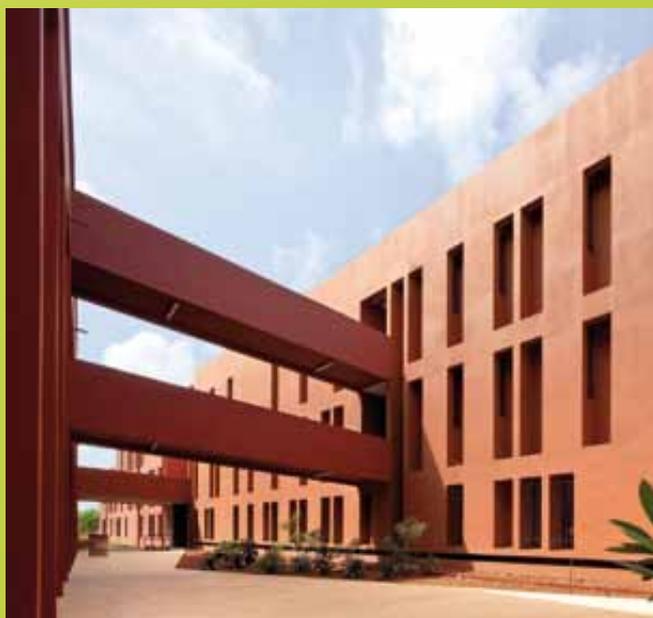
(...) Nous avons fait **le choix de couleurs denses et profondes pour les extérieurs**, travail mené avec l'appui du plasticien catalan Miquel MONT."

TERRENEUVE,
Olivier Fraisse
et Nelly Breton,
ADAM YEDID,
Extrait de la note
de présentation
architecturale.



Vue d'ensemble





Données sur le lycée français Jean Mermoz à Dakar

Maîtrise d'ouvrage	Agence pour l'enseignement français à l'étranger - AEFÉ - Paris
Conduite d'opération	Ambassade de France à Dakar puis Antenne immobilière de l'AEFE à Rabat
Maîtrise d'œuvre	TERRENEUVE Nelly Breton et Olivier Fraise, architectes mandataires; Adam Yedid, architecte associé ; Architecture et climat, architectes BET économie, Dakar ; SATOBA, BET structures ; ALTO, BET fluides ; GETRAP, économie ; Armelle Claude, paysagiste ; Ayda, acousticien ; Miquel Mont, plasticien coloriste.
Entreprise	Générale d'entreprise, Dakar
Réalisation	2006 - 2011
Coût total	15,7 M € HT valeur 2006
Surface	17 000 m ² SHON + 40 000 m ² surfaces extérieures



"Rendre hommage

Construire dans la cour haute d'un château dont la fondation puise à l'époque carolingienne est un événement rare dans la vie d'un architecte. Construire un musée archéologique au cœur même de la pièce archéologique majeure du musée : le château lui-même, place, pour le coup, l'architecte au cœur du rarissime...

Il nous a été demandé d'apporter **une strate de plus dans ce lieu**, alors que ce lieu est l'expression même d'un palimpseste architectural, d'un recouvrement de pierres sur des pierres, les époques et les styles couvrant les époques et les styles.

Nous avons cherché à **rendre hommage au lieu dans sa profondeur historique**, à en marquer l'originalité, c'est-à-dire à en faire l'origine de notre travail. Nous avons cherché à comprendre la valeur de ce lieu, son caractère, afin de ne pas nous mettre en concurrence avec lui, mais bien davantage de nous placer à son service."

Philippe Madec, extrait d'un texte pour La Semaine de l'Architecture

"Le Musée archéologique se tient dans la cour haute du château de Mayenne, l'un des rares monuments européens à posséder **des vestiges carolingiens significatifs**. La création de ce musée consiste en l'aménagement muséographique du Logis et son extension contemporaine.

Le bâtiment contemporain est en bois, à cause d'une **démontabilité souhaitée par les archéologues, et aussi pour des raisons purement architecturales**. La pierre signifie l'histoire, le pesant dans la gravité de l'histoire ; le bois, léger évite toute concurrence avec la pierre. Le bois, c'est la dépendance, le volume au service du Logis, mais c'est aussi la qualité environnementale. Quel matériau est plus durable que le bois ?

Ce bâtiment est construit **en chêne, de la filière locale**, structure, menuiserie, parquets, lambris intérieurs, et caillebotis extérieurs. **Seule la surtoiture est en pin sylvestre à cœur**, bois dont le pH n'attaque pas le cuivre de la toiture.

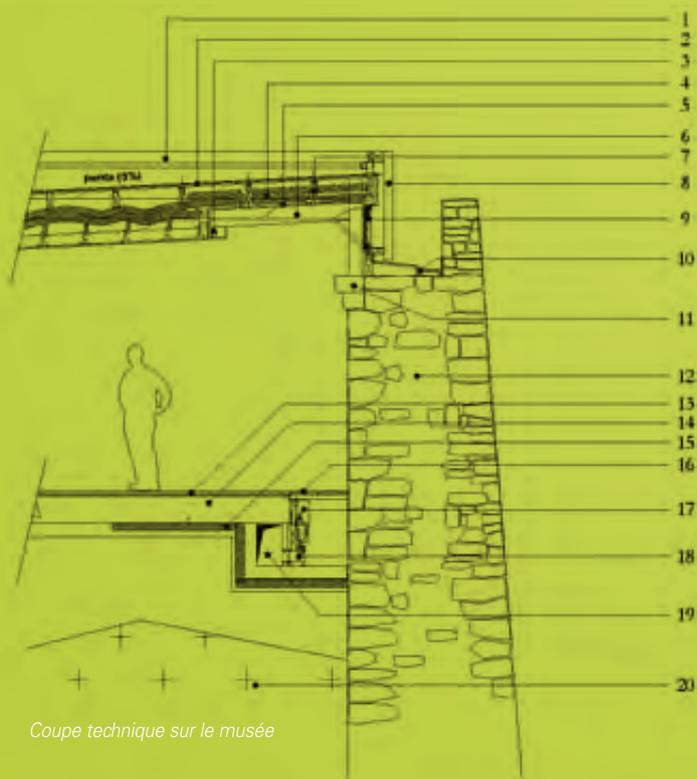
Le volume en bois de l'extension, inséré au creux de la cour, s'installe presque sans toucher ce qui est là, avec toujours un léger écart, une légère ombre, un peu de lumière, un peu d'air. La desserte verticale s'installe face au seul pignon XIX^e du château, dans un léger retrait ; les menuiseries sont suspendues à la charpente qui ne s'appuie pas sur les remparts ; un caniveau périphérique servant à l'entrée d'air du **puits canadien** retient le plancher avant qu'il n'atteigne les remparts.

Cet air récupère l'humidité de la muraille, la sèche et la rabat dans le volume en chêne qui en a besoin. La **lumière naturelle** est omniprésente.

Dans la partie ancienne, l'intervention contemporaine est réduite à **quelques lambris de chêne, à un revêtement de sol en chêne et en terre cuite** qui intègre l'infrastructure de la muséographie et à l'ouverture de trémies qui libèrent la hauteur de la tour carolingienne aujourd'hui intérieure au logis.

Différemment, sous le niveau du sol, vers les fouilles protégées sous un jardin d'inspiration médiévale, la pierre, le sable et le béton brut sont mis en œuvre."

Philippe Madec, extrait d'une contribution au Congrès ANABF, Bordeaux 2008



Coupe technique sur le musée



Vue intérieure



Vue de la cour d'entrée



L'adjonction discrète du bâtiment contemporain, qui utilise largement le chêne de la filière locale. Un puits canadien court le long de l'extension. La lumière naturelle est omniprésente.

Détail de l'articulation avec la muraille :

- 1- Surtoiture en pin sylvestre et cadre en acier galvanisé
- 2- Couverture en cuivre naturel
- 3- Luminaire encastré fluorescent
- 4- Isolant 200mm
- 5- Faux-plafond staff
- 6- Arbalétrier en Kerto
- 7- Panne en lamellé collé de pin
- 8- Protection solaire verticale en pin sylvestre
- 9- Menuiserie en chêne, imposte vitrée
- 10- Chéneau en cuivre
- 11- Corbeau en pierre où repose la menuiserie
- 12- Rempart
- 13- Parquet en chêne de 22mm sur lambourde 20/30mm
- 14- Dalle béton portée sur pieux
- 15- Isolation 100mm sur 1,50m de large en périphérie
- 16- Barreaudage en acier inoxydable
- 17- Tube à ailettes
- 18- Soufflage
- 19- Arrivée d'air du puits canadien
- 20- Sol existant respecté (vestiges)

Données sur le château de Mayenne

Maîtrise d'ouvrage	Ville de Mayenne
Maîtrise d'œuvre	atelierphilippemadec, architecture ; Acanthe (Guillaume Geoffroy Dechaume) et Mutabilis, paysage ; Créatime, scénographie ; I2C Ingénierie, BET généraliste ; ECSB (Gaétan Genès), structure bois ; Lagraph, signalétique
Réalisation	2003 - 2008
Coût	3 242 205 € HT
Surface	2 053 m ² SHON dont 1 015 m ² dans l'extension

La thermique d'été et le rafraîchissement naturel

Comme en thermique d'hiver, il s'agit de préoccupations simultanées de confort et d'économie d'énergie. Les ressources disponibles dans l'environnement sont plus nombreuses en thermique d'été qu'en thermique d'hiver :

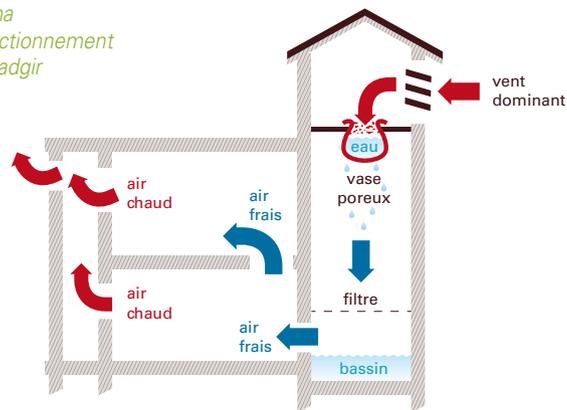
- Rien n'est plus simple que de se protéger contre les flux non souhaités en thermique d'été, et notamment solaires : il s'agit de **disposer des protections solaires efficaces, c'est-à-dire extérieures** (les protections intérieures ont une efficacité 3 à 4 fois moindre que les protections extérieures) **sur toutes les façades exposées. Les protections solaires fixes** (avancées de toit ou de balcon, auvents, casquettes, ...) **protègent bien du soleil direct, mais beaucoup moins bien du soleil diffus**, pourtant soleil direct et soleil diffus atteignent parfois le même ordre de grandeur. Volets et stores extérieurs sont efficaces pour le direct et le diffus. **Dans les climats à fort rayonnement solaire, la protection des murs et surtout de la toiture est une préoccupation légitime.**
- Où aller puiser les ressources de fraîcheur nécessaires au **rafraîchissement passif** des locaux ? D'abord dans l'air extérieur qui est souvent plus frais que l'air intérieur. C'est toujours le cas en mi-saison pour les locaux à forts apports internes, il s'agit alors de **free cooling** (rafraîchissement gratuit). C'est le cas en nuit d'été pour la plupart des bâtiments et cela nécessite alors une sur-ventilation nocturne. Ces techniques impliquent de forts débits de ventilation (6 à 10 volumes par heure), qu'il faut s'efforcer

de réaliser naturellement (locaux traversants, ...). Il faut aussi, et notamment en bureaux, pouvoir stocker cette fraîcheur la nuit pour en disposer dans la journée : c'est le rôle de l'inertie intérieure des locaux (planchers, sols, murs).



Le badgir, un système traditionnel de rafraîchissement naturel au Moyen-Orient

Schéma de fonctionnement d'un badgir



- **Le sol procure aussi de la fraîcheur.** Alors qu'en hiver, la température du sol est plus élevée que celle de l'air, en été, elle est plus fraîche (toujours de l'ordre de 14 à 15°C). Les mêmes techniques de tuyaux enterrés que le puits canadien peuvent être mises en œuvre, avec encore plus de résultats favorables : un puits provençal bien dimensionné et positionné permet d'abaisser la température de l'air neuf de 5 à 6°C. Peu de systèmes énergivores de rafraîchissement en sont capables.
- **Un des paramètres déterminants du confort d'été est le phénomène d'évapotranspiration de la sueur sur la peau.** Aussi, tout dispositif qui accélère ce phénomène est utile et notamment, la vitesse de l'air sur la peau. Le vent constitue, de ce point de vue, une ressource irremplaçable. Les dispositions architecturales et techniques qui le laissent entrer tout en le filtrant sont nécessaires à mettre en œuvre dans le projet, elles déterminent la configuration des espaces et la matérialisation de la façade : locaux traversants, à double orientation, porosité des façades, ...

La lumière et l'éclairage naturel

Couvrir une part importante des besoins d'éclairage par de la lumière extérieure s'impose tant pour des raisons énergétiques que pour des raisons physiologiques. Une prise en compte intelligente de la lumière naturelle permet de couvrir de 40% des besoins d'éclairage dans une pièce Nord à 60% dans une pièce Sud. Notons au passage que, contrairement à certaines approches simplistes, s'il y a bien autant de lumière naturelle venant du Nord que venant du Sud pour un ciel très couvert, dès qu'il y a du soleil dégagé, le Sud est bien mieux servi que le Nord.

Pour valoriser cette lumière naturelle, il faut la laisser rentrer, et donc disposer de surfaces vitrées un peu plus généreuses que le minimum de 17% demandé par la RT 2012. Il faut pouvoir abreuver de lumière naturelle tous les espaces qui en ont besoin (pour les bureaux ou le scolaire, tous les postes de travail). Cette nécessité implique de ne pas dessiner des locaux trop profonds, car au-delà de six mètres, la luminosité est extrêmement réduite. Mais moduler la lumière naturelle, parfois trop abondante, est nécessaire au confort d'usage : les stores intérieurs sont ici tout à fait indiqués, en complément des protections solaires extérieures.

Le facteur de lumière de jour (FLJ) est la part de la lumière naturelle émise qui est réellement disponible sur un plan déterminé, à l'intérieur du bâtiment. Dire que le FLJ est de 2% signifie que 2% de la lumière extérieure est disponible : si le ciel émet 5000 lux, un matin d'hiver, seuls 100 lux seront disponibles, ce qui est très peu. Par contre, si le ciel émet 40 000 lux, un jour d'été, 800 lux sont disponibles, ce qui est beaucoup. Si la fenêtre est orientée Sud et que le soleil brille, 1000 à 1500 lux seront disponibles, ce qui est beaucoup trop. C'est ce simplisme de l'indicateur FLJ, qui peut conduire à des ouvertures surdimensionnées, ou sous-dimensionnées, que certains professionnels remettent en cause.

L'air et la ventilation naturelle

En France, la ventilation mécanique est quasiment hégémonique. Elle a, certes, de nombreux avantages : elle permet de maîtriser les débits donc les consommations de dépenses pour le renouvellement d'air, elle permet de faire de la récupération de chaleur sur l'air extrait. Mais d'autres moteurs de ventilation, non énergivores, existent. C'est d'abord **le vent** qui, en créant des façades en surpression et des façades en dépression facilite les mouvements d'air à travers le bâtiment, pour peu que les locaux soient traversants et que toutes les pièces, y compris les pièces humides, soient en façade. C'est ensuite **le tirage thermique, l'effet cheminée**, qui, pour peu que la sortie d'air soit plus élevée que l'entrée et que l'air extérieur soit plus frais que l'intérieur, crée un appel d'air aux effets parfois très puissants. Ce tirage thermique peut être **assisté par le soleil (cheminées solaires) ou le vent (tourelle à vent)**.

2.4.3. Les principaux arbitrages bioclimatiques

L'approche écoresponsable de la bioclimatique induit la nécessité d'opérer des arbitrages entre des dispositions et des valeurs interdépendantes et apparemment contradictoires.

Sur l'implantation

L'approche strictement bioclimatique et énergétique conduit à privilégier les orientations Sud en résidentiel, Nord en tertiaire, les toits en pente à 45° vers le Sud pour les panneaux solaires thermiques ou à 30° pour les panneaux photovoltaïques. Elle conduit à écarter les bâtiments les uns des autres pour assurer un accès correct au soleil et à la lumière naturelle : le gabarit $L = 3H$ est l'optimum. Evidemment, tout ça ne fait pas de la ville et renvoie un peu trop à l'urbanisme moderniste.

L'urbanité induit des alignements le long de rues qui ne sont évidemment pas toutes orientées selon des axes Est-Ouest. Par ailleurs, la ville durable est aussi une ville dense, et le gabarit optimal est alors plus près de $L = H$ que de $L = 3H$! Trame urbaine et trame climatique obéissent à des logiques qui ne sont pas les mêmes. Il est possible de trouver un compromis sur une trame commune qui ne pénalise ni l'une ni l'autre des deux approches. Mais la plupart du temps, la solution réside dans un découplage total de la trame urbaine qui définit les îlots et les alignements des niveaux bas des bâtiments, et de la trame climatique qui définit l'orientation des principales surfaces vitrées et la disposition des toitures.

Il est de plus possible de travailler sur une stratification verticale des usages qui en découlent. La recherche "Architecture urbaine bioclimatique", précédemment citée (cf. 2.4.1), a étudié les bilans thermiques de deux configurations : la rue, de type $L=H$, et l'avenue, de type $L = 4 H$, pour toutes les orientations possibles de 22,5° en 22,5°, en faisant varier différents facteurs dont l'albedo du sol et celle des façades des immeubles.

"Un bon bâtiment est avant tout ultra contextuel, c'est-à-dire fait sur mesure, pour et avec le site. Il est parfaitement intégré dans le paysage, il est présent mais sans ostentation. Il est conçu en fonction des forces existantes et d'une certaine manière, il magnifie le site (le transfigure). Le bâtiment est judicieusement placé en fonction du soleil, du vent et du terrain afin de capter au mieux les énergies solaire, éolienne et géothermique. Enfin, il laisse une place prépondérante à la végétation."

Nicolas Michelin, extrait de "Cinq sur cinq - Dix projets sur mesure", Archibooks, Paris, 2008.

Sur la compacité

La conception bioclimatique des années 80 a fait de la compacité un dogme intangible ; c'était logique compte tenu de la faible efficacité des techniques d'isolation de l'époque. Ce n'est plus le cas aujourd'hui. **Dans une certaine mesure, la non compacité peut être compensée par des techniques d'isolation plus performantes pour permettre une plus grande qualité architecturale, un meilleur accès à la lumière naturelle ou au rafraîchissement naturel.** En effet, l'accès à l'air ou à la lumière extérieurs n'est guère possible au-delà de six ou sept mètres de profondeur. L'approche bioclimatique de ces questions conduit à de plus grandes surfaces de façade et à des bâtiments moins profonds, donc peu compacts. **Mais cette moindre compacité n'est acceptable que dans une certaine mesure, car pour atteindre les niveaux d'exigence très sévères d'un bâtiment passif, il faut mobiliser tous les moyens pour y parvenir, y compris celui de la compacité.** Il y a en effet de grandes difficultés à réaliser une enveloppe passive avec des compacités (exprimées en surface d'enveloppe divisée par le volume habitable)³² supérieures à 0,8 en collectif ou tertiaire, et à 1,2 en individuel ou tout petit tertiaire.

Sur les surfaces vitrées : "l'effet hublot"

A ce propos, l'arbitrage se complexifie car il fait intervenir plusieurs caractéristiques des surfaces vitrées : leur orientation, leur taille, leur transparence au soleil et à la lumière. En outre, plusieurs autres critères s'ajoutent : déperditions d'hiver, confort d'été et confort acoustique qui conduisent à réduire les surfaces vitrées, apports solaires d'hiver ou accès à la lumière naturelle qui, à l'opposé, conduisent à augmenter les surfaces vitrées. Sans parler du plaisir de la vue.

Dans ce cas, **il n'y a pas un seul arbitrage, mais une multitude d'arbitrages adaptés à chaque site ou climat spécifique, à chaque usage des locaux concernés.** Une seule certitude, le bon arbitrage n'est pas celui qui conduit à "l'effet hublot", c'est-à-dire à une réduction de la surface vitrée au minimum exigé par la réglementation thermique. Pour des indices d'ouverture³³ inférieurs à 20%, des déficits en éclairage naturel et, parfois, en apports solaires, apparaissent ; et, à l'inverse, des indices au-dessus de 30 à 35% entraînent de gros problèmes d'inconfort en été et de déperditions énergétiques en hiver.

³² Le coefficient de compacité varie sur une fourchette de 0,3 à 1 en collectif/tertiaire et de 0,9 à 1,5 en individuel

³³ Indice d'ouverture : rapport de la surface de baie en tableau à la surface dans œuvre, à l'échelle d'une pièce ou d'un bâtiment

Pour solutionner en partie ce problème, on peut faire référence aux trois fonctions de la fenêtre, chères à Le Corbusier et au mouvement moderne : la vue, l'éclairage et la ventilation. Ces fonctions peuvent être dissociées : l'éclairage peut être apporté par des impostes, qui sont les plus efficaces, la vue par des ouvertures de faibles dimensions cadrant des tableaux, et la ventilation par des ouvrants de confort, intégrés à ces dernières ou dissociés, qui ne sont alors pas nécessairement transparents et peuvent être laissés ouverts pour la sur-ventilation nocturne.

Sur les niveaux d'isolation : "l'effet thermos"

Le standard de la maison passive vient d'Allemagne avec 40 cm d'isolant par l'extérieur, une très faible perméabilité de la façade et de petites fenêtres en triple vitrage : un descriptif type "bouteille thermos" très adapté aux climats d'hiver rigoureux. Mais dès qu'on descend vers le Sud, les hivers deviennent moins longs et rigoureux, alors les derniers centimètres d'isolants s'avèrent de moins en moins efficaces. On a aussi de plus en plus envie d'une relation directe avec l'extérieur, alors que la performance énergétique des triples vitrages se fait au détriment de sa transparence au soleil (à moins d'utiliser la dernière génération, plus coûteuse, de triples vitrages aussi isolante que transparente).

L'"effet thermos" peut même devenir contre-performant quand il piège à l'intérieur de l'enveloppe les charges internes sources non plus d'apports gratuits mais de surchauffes. En ce sens, le standard de la maison passive avec ses 15 kWh/m² par an en besoins de chauffage constitue sans doute le bon arbitrage dans le Nord-Est de la France. Il est à redéfinir et à moduler pour les autres régions.

Sur les choix de ventilation : "l'effet confinement"

La fonction principale d'un système de ventilation relève de la qualité de l'air et consiste à assurer un renouvellement d'air correct dans les locaux. Et cette fonction doit être assurée avec la plus faible consommation d'énergie possible, pour amener l'air extérieur à la température de consigne, et pour faire fonctionner les ventilateurs. Deux préoccupations contradictoires.

La tradition française met l'accent sur le seul aspect énergétique. Les débits hygiéniques réglementaires, très marqués par la préoccupation énergétique, sont très bas, environ un tiers en dessous de ceux de nos voisins européens.

Dans les dernières années, a été mis en évidence l'impact de polluants liés au bâti, et non plus à la seule occupation : composés organiques volatils, fibres et particules, bio-contaminants, radon, ... Des enquêtes menées par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur constatent que près de la moitié des logements français est sous-ventilée. Il ne s'agit donc pas d'aggraver ce triste état en sous-ventilant les logements.

Le bon arbitrage ne doit pas conduire à privilégier la solution du confinement. Il est plutôt à trouver du côté des systèmes qui assurent **un bon équilibre entre qualité de l'air et consommations énergétiques** : le double flux avec récupération de chaleur en climat plus froid, la ventilation naturelle en climat plus chaud.

Ce qu'il faut retenir

Concevoir durable, c'est adopter une démarche bio tech. Plus large que la démarche bioclimatique, elle puise dans l'environnement du bâtiment l'essentiel des ressources nécessaires pour le faire fonctionner et assurer, par le bâtiment lui-même, la protection contre les nuisances de l'environnement.

Les solutions passives en thermique d'hiver sont relativement réduites, connues et exploitées depuis longtemps : isolation thermique, récupération des apports solaires, récupération de la chaleur du sol (puits canadien). L'été, les préoccupations simultanées de confort et d'économie d'énergie conduisent à installer des protections solaires efficaces (extérieures), protéger les murs et surtout la toiture dans les climats à fort rayonnement solaire, envisager un rafraîchissement passif (free cooling et sur-ventilation nocturne), aller chercher la fraîcheur dans le sol (puits provençal) et recourir à des dispositifs accélérant l'évapotranspiration.

Pour éclairer, une part importante des besoins est couverte par de la lumière naturelle. Pour ventiler, d'autres moteurs que la VMC, non énergivores, sont susceptibles d'être utilisés : le vent qui peut faciliter les mouvements d'air à travers les bâtiments, l'effet cheminée qui peut créer un appel d'air puissant, éventuellement assisté par le soleil (cheminées solaires), ou le vent (tourelle à vent).

Mais l'essentiel de la démarche de conception bioclimatique réside dans l'optimisation des arbitrages entre des préoccupations contradictoires :

- le tropisme climatique au Sud et le contexte urbain ;
- la compacité et la qualité de vie ;
- les déperditions d'hiver, le confort d'été ou acoustique d'une part, et les apports solaires d'hiver ou l'accès à la lumière naturelle, d'autre part ;
- le renouvellement correct de l'air et la moindre consommation d'énergie possible.

La ville de Pantin, avec l'aide de TRIBU (AMO HQE), lance en 2007 un concours pour un groupe scolaire qui se veut exemplaire, à la fois HQE et "zéro énergie".

L'atelier Méandre, lauréat du concours, est associé à des bureaux d'études qui ont également les compétences HQE. **Un véritable travail en synergie s'effectue entre maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage.**

En réponse au programme, les concepteurs se sont fixés les objectifs suivants :

- créer des **bâtiments compacts, bien orientés, isolés thermiquement et protégés des surchauffes** ;
- composer une **façade urbaine sur le canal** en harmonie avec le lycée voisin ;
- créer une **continuité visuelle entre la cour et le canal au travers d'un hall vitré** ;
- **adoucir l'ambiance le long de la rue** Delizy marquée par le trafic automobile et les façades imposantes sur sa limite Est ;
- **créer une continuité spatiale et visuelle avec la cour du lycée en cœur d'îlot.**

Un ensemble de 17 cibles proposé par TRIBU a permis de passer au crible différents aspects du projet, et en premier lieu le plan-masse et la conception d'ensemble. Ainsi, **l'étagement des bâtiments résulte à la fois d'une volonté bioclimatique en optimisant les apports solaires et en limitant les effets de masque et d'une intégration urbaine entre le canal et la rue Delizy.**

Plan masse :

- le bâtiment A au Nord (R+3), le long du canal, intègre les locaux communs et les classes élémentaires ;
- le bâtiment B abrite au rez-de-chaussée le centre de loisirs et en étage l'école maternelle ;
- le bâtiment C au Sud est à simple rez-de-chaussée et abrite la restauration scolaire, les préaux et la cour de récréation des maternelles sur sa toiture.

La structure en béton, en rez-de-chaussée des trois bâtiments, isolée par l'extérieur, assure l'inertie thermique nécessaire pour assurer le confort d'été des locaux fonctionnant en période estivale. **En étage la structure bois est constituée de poutres apparentes en lamell-collé. Les allèges sont constituées d'une haute poutre en lamell-collé, d'une forte épaisseur d'isolation, d'un vide d'air et d'un bardage extérieur en pin thermotraité.** L'étanchéité à l'air est particulièrement traitée. Les baies des salles de classe sont en triple vitrage avec des **stores extérieurs en tissus. Des claustras en bois protègent les baies vitrées des escaliers en façade Sud du bâtiment A.**



Vue façade Nord sur canal. Les classes élémentaires donnent au Nord et sont distribuées par des circulations côté Sud.

Une part importante de l'énergie est apportée par la récupération des apports solaires passifs et actifs (**panneaux photovoltaïques et tubes solaires thermiques en toiture,...**). Le **confort d'été** est assuré par l'inertie thermique et une **surventilation nocturne naturelle** (ouvrants opaques en façades et **cheminée solaire expérimentale**). Ce dernier dispositif utilise le tirage grâce à la chaleur en sous-face des panneaux photovoltaïques en toiture associé à un effet venturi. La couverture du bâtiment B est partiellement végétalisée. **Toutes les classes possèdent au moins un ouvrant pour l'accès direct à l'air extérieur.**



Coupe sur l'école maternelle et le centre de loisirs montrant le système de cheminée solaire et de traitement d'air

Le chauffage des classes est assuré par la présence des enfants et en appoint des **radiateurs basse température alimentés par la géothermie** (pompe à chaleur avec 15 sondes verticales à 100 mètres de profondeur).

Les espaces extérieurs sont soignés : **cour de récréation**, "jardin à regarder", "jardin à explorer", "jardin à traverser", "jardin pédagogique", ... Les déchets sont triés à tous les niveaux de l'école, un **bac à compost** est situé à côté du jardin pédagogique.

Tout au long du projet, des arbitrages prenant en compte les différents critères sont effectués pour optimiser les choix. Ainsi la **prise en compte du confort acoustique** a un impact sur la disposition des locaux afin de limiter les gênes et optimiser le confort. Des **faux-plafonds acoustiques** amortissent le bruit. **Côté rue, un mur de clôture en pavés de verre forme un écran acoustique complété par un écran végétal.**

La prise en compte du **confort visuel** conduit à prévoir des **allèges basses** pour permettre la vue, à choisir des **occultations mobiles** pour utiliser au maximum la lumière naturelle lorsque le soleil est absent, à **calculer les surfaces vitrées en adéquation avec les déperditions thermiques admissibles.**

Au-delà de la conception du bâtiment, les besoins en énergie sont réduits au maximum :

- **consignes de température basse** : 19°C pour les salles de classe et 15°C pour les circulations ;
- **nombre et la place des luminaires optimisés avec un héliomètre extérieur** pour réguler la lumière artificielle en fonction de la lumière naturelle ;
- **coupure générale de l'éclairage le soir** ;
- **réduction des besoins d'eau chaude sanitaire** ;
- **réduction du nombre d'équipements et surtout de leur puissance** notamment dans le restaurant et l'office ;
- **alimentation du lave-vaisselle par l'eau chaude solaire thermique** ;
- ...

Tout ce travail d'ajustement permet de réduire les consommations électriques globales des bâtiments (chauffage, ventilation, éclairage, ECS, équipements dont cuisine, pompe à chaleur) à **27 kWh/m² SHON/an, sans compter les panneaux photovoltaïques** (1 170 m²) qui produisent 110 500 kWh/ an. En prenant comme hypothèse une durée de vie de 80 ans pour l'école, **un travail de simulation conclut que les surcoûts énergétiques dus à la construction et à la fin de vie devraient être compensés en moins de six ans d'utilisation.**

Les consommations d'eau sont également réduites. Des appareils économes sont mis en place. Un système de récupération des eaux de pluie en toiture permet de couvrir **38% des besoins d'arrosage et nettoyage des espaces extérieurs et d'alimentation des chasses d'eau des sanitaires des élémentaires.**

La vie au quotidien du bâtiment intègre l'ensemble des choix et nécessite une implication de la part des élèves, des enseignants et des services municipaux.

Données sur l'école Antoine de Saint-Exupéry	
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Pantin
AMO développement durable	Tribu
Maîtrise d'œuvre	Atelier Méandre, Emmanuelle Patte et Christian Hackel
	Paysagistes : Panorama, Rodolphe Raguccia et Vania Dormoy
Entreprises	BET : Alto Ingénierie, Acoustique Vivie & Associés, EVP Anglade, SD Ingénierie, Novorest, ATPi
Réalisation	Rabot-Dutilleul, Aux charpentiers de France, Pechon/Axel, La Moderne
Coût total	2009 - 2010
Surface	10 M € HT
	3 560 m² SHON sur 5 101 m² terrain

2.5 L'énergie : une préoccupation incontournable

Même si l'énergie n'est pas la seule préoccupation d'une démarche de développement durable, elle en constitue aujourd'hui l'enjeu principal.

2.5.1. L'urgence des enjeux de la planète

Nous sommes sortis d'une ère d'énergie abondante et bon marché et entrés dans une ère nouvelle au cours de laquelle les sources d'énergie fossile (pétrole, gaz) deviennent de plus en plus rares :

- **l'énergie nucléaire n'a pas encore apporté toutes les réponses aux questions qui la handicapent sur le long terme** (quel devenir pour les centrales et les déchets nucléaires ?). Par ailleurs, ni les énergies renouvelables (vent, soleil, biomasse, mer), ni les énergies non renouvelables du futur (pile à combustible, fusion nucléaire) ne peuvent assurer une alternative suffisante dans les cinq à dix ans à venir ;
- en conséquence, **les coûts de l'énergie, fluctuants, vont connaître une hausse importante dans les prochaines années**. Les charges des bâtiments trop gourmands en énergie, vont devenir coûteuses voire trop coûteuses pour beaucoup. Le phénomène de précarité énergétique devient une menace grandissante, et pas seulement pour le logement. Certains bâtiments publics risquent de devenir ingérables ;
- du fait de la rareté, **l'approvisionnement énergétique va s'effectuer au fil du rasoir** ; les pannes et aléas de fourniture risquent de se multiplier comme cela s'est produit aux Etats-Unis, en Grèce ou en Italie dans les périodes de forte demande. Dans ces conditions, les bâtiments qui ne sont pas préparés à une certaine autonomie énergétique seront vite obsolètes et c'est tout un patrimoine qui sera dégradé ;
- enfin, **les graves impacts des consommations énergétiques fossiles sur l'avenir de la planète (dérèglement climatique) imposent le non gaspillage énergétique** comme une nécessité citoyenne pour toute entreprise responsable, individuelle ou collective, publique ou privée.

2.5.2. Les niveaux réglementaires

L'évolution des niveaux réglementaires

Dans ce contexte, le Grenelle de l'environnement a fortement réorienté les exigences pour la construction des bâtiments neufs dans les années à venir. **La réglementation thermique, ou RT 2012, vise à réduire de 40 à 50% les consommations par rapport à la RT 2005³⁴ pour les bâtiments publics neufs**. Les décrets concernant l'existant sont en préparation.

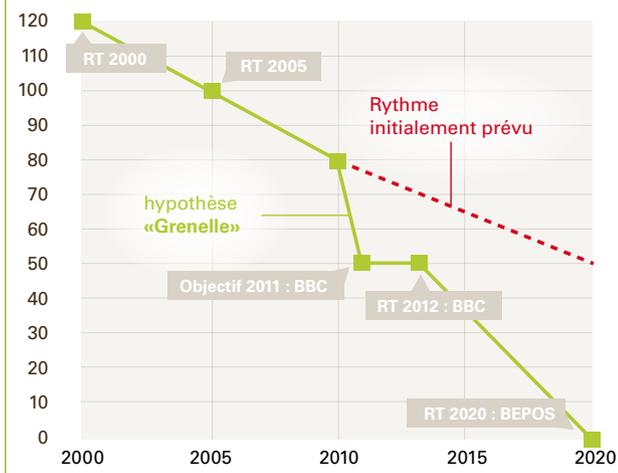
Cet objectif est applicable :

- aux permis de construire postérieurs au 1^{er} novembre 2011 pour les bâtiments publics, le tertiaire privé et les logements situés en zone de financement de l'ANRU (Agence nationale de la rénovation urbaine) ;
- aux permis de construire postérieurs au 1^{er} janvier 2013 pour tous les bâtiments ;
- les logements collectifs bénéficieront d'une exigence moins sévère (+15%) jusqu'au 1^{er} juillet 2015.

Un bâtiment dont les études commencent ne peut risquer d'être obsolète à sa livraison. **Il convient donc de viser dès à présent un niveau d'exigence au moins égal à la RT 2012. De plus, le bâtiment à énergie positive (BEPOS) constituera le niveau réglementaire en 2020.**

Tableau d'évolution des niveaux réglementaires

(source bureau d'études TRIBU)



Les niveaux réglementaires dépendent d'un certain nombre d'hypothèses à propos desquelles il n'existe pas de consensus aujourd'hui.

Les usages pris actuellement en compte dans le calcul réglementaire sont limités à six. Ce sont : le chauffage, l'eau chaude, la climatisation, l'éclairage, la ventilation et les auxiliaires de chauffage. En réalité, les usages de consommations d'un bâtiment sont plus nombreux. **Aux usages réglementés s'ajoutent d'autres usages cachés privés** (les prises, l'électroménager, la bureautique) **ou collectifs** (les ascenseurs, l'éclairage et la ventilation des parkings, l'éclairage extérieur) **sans compter des consommations liées à des processus spécifiques pour le secteur non résidentiel** (cuisine collective, plateaux techniques en hospitalier, ...). Même en excluant ces processus spécifiques, les consommations énergétiques totales peuvent atteindre le double des seuls usages réglementés. Et, **comme ces usages cachés ne sont pas réglementés, ils ne font pas vraiment l'objet des efforts de maîtrise d'énergie.**

Les coefficients pris en compte pour passer de l'énergie finale (mesurée au compteur à l'entrée du bâtiment utilisateur) **à l'énergie primaire** (après prise en compte de toutes les pertes et consommations induites tout au long de la chaîne de production et de distribution de l'énergie livrée) **sont appelés coefficient d'équivalence en énergie primaire.**

Ceux pris en compte dans la RT 2012 ne font pas consensus.

Tableau des coefficients d'équivalence en énergie primaire

(source bureau d'études TRIBU)

	RT 2012	physique
Combustibles fossiles	1	1 à 1,1
Electricité	2,58	2,7 à 3,25
Bois et biomasse	1 ³⁵	0,2 à 0,3
Réseaux de chaleur	1	0,5 à 0,9 ³⁶

L'utilisation de coefficients non physiques peut entraîner certaines contre-performances environnementales en sous-valorisant certaines sources comme le bois ou les réseaux de chaleur par rapport à d'autres comme les pompes à chaleur électriques. Une bonne stratégie de conception consiste à effectuer en priorité des choix sur tous les usages et sur des critères plus physiques, et à n'utiliser le calcul réglementaire que pour ce qu'il est, c'est-à-dire une vérification administrative.

34 Conformément aux conventions du calcul réglementaire, cet objectif est exprimé en énergie primaire, dans laquelle les consommations électriques sont affectées d'un coefficient 2,58, et ne concerne que quelques usages (chauffage, rafraîchissement, auxiliaires de chauffage, ventilation, éclairage).

35 0,6 pour le label BBC-effinergie®

36 Selon la part d'énergie renouvelable ou fatale (ordures ménagères) brûlée

2.5.3 La stratégie énergétique

En matière de stratégie énergétique, il est indispensable d'**établir une hiérarchie et une chronologie entre les différents choix de conception**, sans quoi on ne pourra éviter ce qui se manifeste encore trop souvent, c'est-à-dire la conception de bâtiments prétendus durables alors qu'ils sont des bâtiments énergivores simplement couverts de panneaux photovoltaïques.

La stratégie efficace est la suivante :

- réduire de façon draconienne les besoins du bâtiment ;
- récupérer toutes les pertes et les fuites qui peuvent l'être ;
- couvrir le reliquat par des systèmes énergétiques adaptés et un recours privilégié aux énergies renouvelables locales.

Les deux premiers points ont été développés au chapitre précédent sur la conception bioclimatique. Dans une telle stratégie, la couverture énergétique n'est qu'un appoint, quand les solutions concernant la conception bioclimatique ont été exploitées au mieux. Pour définir cet appoint, la stratégie ci-dessus évoque la notion de systèmes énergétiques adaptés.

Fournissons quelques exemples de cette adaptation :

- **la cohérence entre les systèmes et la nature ou l'usage du bâtiment étudié.** Ainsi des systèmes énergétiques inertes (planchers chauffants, par exemple) sont peu adaptés à des bâtiments très intermittents ; des technologies complexes (GTB lourde, asservissements généralisés) sont peu adaptées à des petits bâtiments et des usagers sans compétence de gestion particulière ; les systèmes de distribution et d'émission doivent être cohérents avec les exigences de flexibilité, ... ;
- **la cohérence entre les systèmes énergétiques et la conception du bâtiment** (structure, matériaux, inertie du bâtiment,...). Même si la conception bioclimatique ou "passive" est première (implantation par rapport au site, compacité, éclairage, isolation, confort d'été et inertie,...), il y a forcément des allers et retours entre choix constructifs et stratégie énergétique qui peuvent être facilités par certains outils (simulations thermiques dynamiques, ...) ;
- **la cohérence entre choix bioclimatiques et systèmes énergétiques.** La priorité accordée à l'approche bioclimatique détermine certains choix de systèmes, voire en interdit d'autres. Par exemple, le choix d'un puits canadien pour assurer rafraîchissement ou préchauffage de l'air neuf induit automatiquement une ventilation mécanique par simple, voire double flux. Une stratégie de

récupération de chaleur par double flux est difficilement compatible avec un préchauffage de l'eau chaude par pompe à chaleur (PAC) sur l'air extrait. Une stratégie de rafraîchissement passif qui fait appel aux dispositifs de surventilation nocturne naturelle et d'inertie est peu compatible avec un appoint éventuel par double flux rafraîchi ;

- **la cohérence entre les différents systèmes énergétiques.** Il s'agit bien de parvenir à une optimisation globale des consommations énergétiques tous usages et non pas d'optimiser usage par usage. L'exemple le plus parlant concerne l'interdépendance des systèmes de ventilation et de rafraîchissement. Il serait inutile de faire des économies importantes sur les consommations de climatisation, si le système de climatisation choisi, en privilégiant l'air comme vecteur de frigorifères, conduisait à des surconsommations de ventilation pour assurer les débits permettant de rafraîchir dans les meilleures conditions de confort ;
- **la cohérence entre différents modes de production d'énergie.** De ce point de vue, la cogénération bois ou huile végétale pure (production simultanée de chaud et d'électricité) assure une bonne optimisation puisqu'elle maximise, par la récupération des pertes de chaleur pour du chauffage ou de l'eau chaude, une production d'électricité par énergie renouvelable à faible rendement.

2.5.4 L'énergie grise

L'énergie grise est l'énergie nécessaire pour la fabrication, l'entretien, le renouvellement et la fin de vie des matériaux et ouvrages du bâtiment. Elle fait intervenir une vision du bâtiment sur tout son cycle de vie, du berceau (l'extraction des matières premières qui constitueront les matériaux mis en œuvre) à la tombe (la mise en centre d'enfouissement technique des déchets ultimes de ces matériaux après déconstruction), caractéristique d'une approche durable. Cette énergie grise se situe aujourd'hui dans une fourchette de 1000 à 2000 kWhEP/m²SDO, soit l'équivalent de 10 à 20 ans de consommation en utilisation d'un bâtiment au standard RT 2012. Il est clair qu'une évolution mal maîtrisée vers un standard plus performant (passif ou BEPOS) risque de voir les efforts en phase utilisation annulés par des surconsommations d'énergie grise. Une conception économe en matériaux, privilégiant les matériaux à faible contenu en énergie grise et/ou nécessitant peu de transport s'avère donc incontournable.

La norme NF P 01-010[1], qui doit cependant être actualisée à partir de la norme de mai 2011 (NF EN 15643-2), introduit quelque ambiguïté dans cette notion d'énergie grise en amalgamant dans les calculs d'Analyse

du cycle de vie (ACV), sous le terme "énergie primaire totale" les formes renouvelables et non renouvelables d'une "énergie procédé", celle qu'on appelle traditionnellement énergie grise, et d'une "énergie matière", contenue dans le matériau et qui serait dissipée si celui-ci était utilisé comme combustible et non pas comme matériau (bois par exemple). A travers la maîtrise de l'énergie grise, la préoccupation est bien celle de l'économie de ressources énergétiques épuisables sur le cycle de vie du matériau. L'énergie qu'il nous intéresse de maîtriser est donc bien d'abord "l'énergie grise procédé" fossile.

L'ADEME, dans son document "Objectif 2020 : Bâtiments à énergie positive – note de cadrage et perspective" (octobre 2009), précise :

"Dans la prise en compte de ces consommations, il est alors fondamental de définir quel indicateur il est le plus judicieux de retenir, en sachant que :

- "**l'énergie procédé**" est réellement consommée, tandis que "l'énergie matière" n'est pas consommée, mais elle est "stockée" dans le matériau et, de ce fait, n'est plus disponible ; prendre en compte "l'énergie primaire totale" dans le calcul de l' "énergie grise" ne permettrait plus de distinguer ces deux types d'énergie ;
- comptabiliser **la part "d'énergie primaire renouvelable"** parmi les consommations pose des questionnements vis-à-vis de la posture actuelle de la réglementation thermique, selon laquelle l'utilisation d'énergies renouvelables vient en déduction du bilan énergétique global et non en addition."

Même si l'énergie n'est pas la seule préoccupation d'une démarche de développement durable, elle en constitue un enjeu majeur, au moment où nous entrons dans une ère nouvelle au cours de laquelle les sources d'énergie fossile (pétrole, gaz) deviennent de plus en plus rares.

Ce qu'il faut retenir

En matière d'énergie, l'efficacité repose sur trois actions :

- réduire de façon draconienne les besoins du bâtiment ;
- récupérer toutes les pertes et les fuites qui peuvent l'être ;
- couvrir le reliquat par des systèmes énergétiques adaptés et un recours privilégié aux énergies renouvelables locales.

Dans une telle stratégie, **la couverture énergétique n'est qu'un appoint**, quand les solutions concernant la conception bioclimatique ont été exploitées au mieux (cf. 2.4).

Les bâtiments dont les études commencent aujourd'hui doivent viser un niveau de consommation de 40 à 50% plus faible que celui de la RT 2005, et **viser au minimum la RT 2012** réglementaire en 2011, 2013 ou au plus tard en 2015. La RT 2012 sera remplacée en 2020 par le Bâtiment à énergie positive (BEPOS).

2.6 Le choix des sources d'énergie et le recours aux énergies renouvelables

Après avoir épuisé les actions, les efforts et les stratégies pour limiter des besoins, la conception d'un projet durable passe par la réflexion sur l'emploi des énergies renouvelables et par l'argumentation d'un choix intégrant une analyse du gisement des énergies renouvelables locales à proximité du site de projet.

2.6.1. Les énergies du soleil et du vent

Le gisement en énergie du soleil et du vent est réparti sur l'ensemble du territoire français à des degrés divers. De vastes centrales solaires ou éoliennes l'exploitent. Mais il peut aussi l'être à l'échelle du bâtiment et de sa parcelle, dans une conception décentralisée, tout aussi exploitable. Selon les conditions climatiques de chaque région, il fournit une ressource moyenne annuelle située entre 1200 et 1800 kWh/m²/an.

Le solaire thermique est le chauffage d'un liquide à travers un capteur. C'est le mode d'exploitation le plus efficace de l'énergie solaire, avec des rendements de capteurs de 30 à 35% (part valorisée de l'énergie solaire incidente) pour les capteurs plats, et jusqu'à 50% pour des capteurs sous vide. L'exploitation du gisement est optimale pour les capteurs orientés Sud et inclinés de 30 à 45° par rapport à l'horizontale ; ceci crée de fortes contraintes quant à l'implantation et l'orientation des toitures. La meilleure exploitation du solaire thermique est le préchauffage d'eau chaude solaire. L'eau chaude fournie par les capteurs est à basse température ; un appoint est indispensable pour atteindre la température de 60°C nécessaire pour le stockage sans risque de légionellose.

Le solaire photovoltaïque est une production d'électricité. Deux technologies sont disponibles : celle au silicium amorphe avec des rendements de capteurs de 5 à 7%, et celle au silicium cristallin avec des rendements de 12% (poly-cristallins) à 15% (mono-cristallins). Comme pour les capteurs thermiques, l'optimum est en orientation Sud avec une inclinaison de 30 à 45°. En position verticale, le capteur perd 30% de son efficacité en orientation Sud, et 40% en orientation Est ou Ouest. La principale difficulté de la production photovoltaïque réside dans le stockage de l'électricité ainsi produite, aujourd'hui peu

performant d'un point de vue environnemental. Cette problématique est actuellement masquée par les tarifs de revente à EDF qui incitent à une réinjection immédiate au réseau de la totalité de l'électricité produite. Les conditions du rachat par EDF privilégient également aujourd'hui les solutions techniques intégrées dans le bâtiment, ce qui entraîne souvent des problèmes de qualité architecturale. Se posent de plus les questions de la réelle efficacité énergétique des installations, de la meilleure échelle pour produire (bâtiment ou îlot/quartier ?) et de l'alternative de l'autoconsommation. Cette dernière ne sera sans doute pas réalisable sans stockage, et suppose une mutualisation locale de la consommation et de la production. Il faut alors disposer, à l'échelle locale (basse tension), de réseaux maillés et intelligents capables d'assurer cette répartition (smart grids).

L'éolien est la production d'électricité par le vent. En France, cette énergie est plutôt exploitée par de grandes fermes éoliennes. Néanmoins, une production décentralisée par de petites éoliennes à l'échelle du bâtiment, dites éoliennes urbaines, est possible dans des zones où le régime des vents est suffisant et pas trop perturbé par le tissu urbain. Il s'agit, pour l'essentiel, de petites machines (1 à 10 kW) à axe horizontal ou vertical, ou encore de turbines silencieuses, à la différence des grandes éoliennes rurales ou en mer. Leur production varie, selon les régimes de vent, entre 2000 et 6000 kWh/an. Cette faible production ne peut constituer qu'un appoint, toujours inférieur à ce que peut fabriquer le solaire thermique, ou même photovoltaïque, sur une même surface, exception faite du cas très particulier des immeubles de grande hauteur en site dégagé et venté.

2.6.2. Les énergies du sol et de l'eau

Ces sources d'énergie utilisent, soit la force motrice d'un courant d'eau, soit l'énergie puisée dans le sol ou les nappes phréatiques. Cette énergie peut être exploitée directement ou valorisée par une pompe à chaleur. Dans ce dernier cas, la seule énergie renouvelable est celle extraite du sol ou de la nappe, soit 70 à 80% de l'énergie totale fournie.

- **La géothermie sur nappe.** Elle tire profit de ce que les nappes enterrées, au-delà d'une certaine profondeur, ont une température plutôt constante, de plus en plus élevée au fur et à mesure que l'on va profond. Cette température varie d'une douzaine de degrés à moins de 100 mètres dans le sol, à 60°C pour des nappes très profondes (1 000 mètres et plus). Aussi les nappes profondes peuvent être directement exploitées pour le chauffage alors que

les nappes plus superficielles nécessitent une pompe à chaleur pour doper leur plus faible température jusqu'à obtenir celle nécessaire au chauffage ou au rafraîchissement. Un puisage foré prélève l'eau de la nappe qui soit cède, soit reçoit des calories à travers un échangeur, avant d'être rejetée dans la nappe, à une température légèrement différente, un peu plus en aval. La technologie en nappe profonde ne peut s'appliquer qu'à de grosses installations amortissant le coût des forages et du réseau de chaleur indispensable. En ce qui concerne les nappes plus superficielles, et dont le renouvellement (en température et en débit) est plus difficile, la multiplication actuelle des prélèvements présente un risque qui, à terme, peut modifier durablement le régime de ces nappes : pourra-t-on alors continuer à parler d'énergie renouvelable ?

- **la géothermie sur sol superficiel.** L'énergie renouvelable est alors prélevée dans le sol, à très faible profondeur (de un à quelques dizaines de mètres) grâce à des capteurs enterrés (en nappe, en pieux ou en puits) constitués de tubes dans lesquels circule un fluide. Elle est également valorisée par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur. La part renouvelable représente, dans ce cas, de 65 à 75 % de l'énergie totale fournie. Le rééquilibrage, à un cycle annuel, des températures des sols nécessite le plus souvent un apport supplémentaire de chaud en hiver et de froid en été. Cette solution a également le gros inconvénient de quasiment "geler" le sol dans l'emprise des réseaux, aucune plante ne résistant aux températures de sol induites.
- **la petite hydroélectricité.** Une turbine immergée dans un courant d'eau produit de l'électricité, comme les moulins le font depuis bien longtemps.

2.6.3. Les énergies de la biomasse

L'énergie est tirée de produits de l'agriculture, dont le renouvellement, si l'exploitation est convenablement gérée, est assuré sur une saison ou une génération, selon les types de biomasse. L'énergie de la biomasse peut être exploitée de trois façons différentes :

- **par combustion**, la biomasse séchée est alors, soit directement brûlée, soit préalablement transformée pour être plus transportable et manipulable (plaquettes, pellets, granulats). La transformation permet aussi de meilleurs rendements de combustion ;
- **par pression**, une huile est obtenue et peut être transportée, stockée en citerne et brûlée, comme tout combustible liquide ;

- **par méthanisation**, c'est-à-dire par un processus naturel biologique de dégradation de la matière organique, on obtient un biogaz utilisé dans les mêmes conditions qu'un propane ou un gaz naturel.

Deux grandes catégories caractérisent la biomasse :

- **le bois a toujours été exploité pour la combustion.** Il connaît, depuis une dizaine d'années, un renouveau important et de nombreuses filières locales s'organisent. Le bois combustible est face à deux enjeux. Le premier est un enjeu d'approvisionnement : la production française est aujourd'hui excédentaire, la ressource est, en règle générale, bien gérée et renouvelée, mais si les réseaux existent, ils ne sont pas toujours organisés. Avec l'augmentation de la demande, des problèmes d'approvisionnement peuvent se poser dans les années à venir. La distance de transport est à contrôler : une cinquantaine de kilomètres maximum est souhaitable. Le deuxième est celui des émissions polluantes de proximité issues de la combustion (poussières, oxydes de soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatils). Celles-ci peuvent être contrôlées et filtrées sur les grosses installations (réseaux de chaleur bois, grosses chaufferies) ; ce n'est pas toujours le cas sur les petites installations (poêles à bois, chaudières de maison individuelle ou d'immeuble ...) ;
- **la combustion d'autres produits agricoles (soja, colza, tournesol, huile de palme, ...).** Elle est problématique pour deux raisons principales. D'une part, leur production, dans le cadre d'une agriculture productiviste, n'est pas toujours vertueuse du point de vue de l'environnement. Et d'autre part, la pression exercée, notamment sur les biocarburants, conduit à substituer des cultures à but énergétique à des cultures vivrières, dans les pays du Sud, mais aussi dans les pays européens. L'utilisation de biogaz ou d'huile végétale pure (HVP) exige donc de grandes précautions quant à l'origine des produits et à leur production.

Néanmoins, ces sources d'énergie sont appelées à un grand développement. **Les biomasses de deuxième génération** font l'objet de recherches en cours. Il s'agit, soit de valoriser les déchets de production agricole (pailles, feuilles, tiges, ...), soit de cultiver des produits spécifiques qui n'ont pas d'usage alimentaire (miscanthus ou algues par exemple). La transformation en huile végétale et surtout en gaz facilite le transport et, à terme, les biogaz pourront remplacer le gaz naturel dans le réseau de distribution de gaz.

2.6.4. Les énergies non renouvelables

Il est difficile, à ce jour, de faire un choix vertueux d'énergie fossile. Cela ne fait que renforcer l'importance à accorder à l'efficacité énergétique et au recours aux énergies renouvelables.

Bois		13
Réseau de chaleur		153
Gaz naturel		234
Fioul domestique		300
Charbon		384
Electricité	usages répartis sur l'année	52
	usages chauffage (saison de chauffe)	180

Les combustibles fossiles (gaz naturel, fioul, charbon) émettent tous du gaz à effet de serre, mais ne participent pas tous de la même manière au dérèglement climatique. Le fioul émet 30% de plus de gaz à effet de serre que le gaz naturel, et le charbon 65% de plus.

La filière nucléaire assure environ 80% de la production annuelle d'électricité en France et n'émet pas de gaz à effet de serre. Pour autant, en période de chauffe, la production d'origine nucléaire doit être complétée par celle des centrales thermiques. En effet, une centrale nucléaire est une lourde machine inerte, longue à mettre en route et à arrêter, difficile à réguler : elle ne permet donc pas d'assurer les pointes de demande. Celles-ci sont couvertes par de l'achat d'électricité (thermique) à l'étranger et par la production des centrales thermiques françaises. Toute demande supplémentaire d'électricité d'hiver va se traduire par une augmentation de cette part thermique. D'ailleurs, une douzaine de centrales thermiques sont en projet, en même temps que deux centrales EPR qui ne feront que remplacer l'une des cinquante-neuf vieilles centrales nucléaires en activité. Le risque est que le même phénomène se produise en été si la demande électrique de climatisation augmente : en effet, une bonne partie des centrales nucléaires sont en maintenance l'été, réduisant d'autant la capacité de production nucléaire. Il faut également rappeler que le devenir des déchets nucléaires n'est toujours pas réglé. L'enfouissement ne revient qu'à se défaire du problème sur les générations futures.

Ce qu'il faut retenir

Les énergies renouvelables utilisent :

- le soleil (panneaux thermiques ou photovoltaïques), et le vent (éoliennes) ;
- les énergies du sol et de l'eau (géothermie sur nappe, géothermie sur sol superficiel, petite hydroélectricité) ;
- les énergies de la biomasse (le bois, les produits agricoles tels que le soja, le colza, le tournesol, l'huile de palme, ...) qui sont appelées à connaître un grand développement.

Il est très difficile, aujourd'hui, de faire un choix vertueux d'énergie fossile :

- les combustibles fossiles (gaz naturel, fioul, charbon) émettent tous du gaz à effet de serre mais n'ont pas tous le même impact vis-à-vis du dérèglement climatique ;
- les centrales nucléaires ne permettent pas d'assurer les pointes de demande. De plus, elles ne sont pas sans risque et produisent des déchets radioactifs, héritage empoisonné pour les générations futures.

2.7 Des règles, des normes et des labels à foison

2.7.1. Les réglementations thermiques

Pour les bâtiments neufs, la RT 2005 est progressivement remplacée par la **RT 2012 qui vise un niveau équivalent au label BBC pour le neuf**. En bâtiment existant, deux réglementations existent depuis 2008, la RTex globale pour les rénovations les plus lourdes³⁷ et la RTex par éléments pour les autres opérations. Par ailleurs, une récente réglementation s'applique aux climats tropicaux (DOM) pour le logement³⁸.

Le format même de ces réglementations n'est pas à l'abri des interrogations suivantes :

- elles sont construites sur des scénarios conventionnels souvent éloignés de la réalité : un hôpital, occupé et chauffé en permanence,

a le même scénario d'occupation qu'un logement dans lequel les occupants sont absents une partie de la journée ; une salle de spectacle et un commerce ont le même scénario d'occupation qu'un bureau ou qu'une école ;

- elles ne prennent en compte que, au plus, six usages³⁹. Or, les usages énergivores d'un bâtiment, ignorés par la réglementation, sont bien plus nombreux (cf. 2.5.2.) ; pour la plupart des bâtiments, les consommations réelles sont de l'ordre du double des consommations réglementées ;
- elles utilisent pour l'équivalence entre énergie primaire et énergie finale⁴⁰ des coefficients conventionnels, souvent éloignés de la réalité physique : 2,58 pour l'électricité (physique entre 2,7 et 3,25), 1 pour la biomasse (physique entre 0,2 et 0,3), 1 pour tous les réseaux de chaleur (physique entre 0,5 et 0,85 pour les plus performants d'entre eux) ;
- elles fixent des exigences ramenées au mètre carré de SHON-RT⁴¹. Certes, comparée à la SHON, la SHON-RT est débarrassée des calculs purement administratifs (réductions de 5% pour la thermique et 5 m² pour les handicapés). Mais entrent toujours dans la SHON-RT les surfaces des murs, des isolants (sauf en réhabilitation), des nez de dalle extérieures, passerelles, coursives, des atriums, qui font que cette surface de référence n'entretient que des rapports éloignés avec la surface thermiquement efficace, ou même avec la surface d'usage.

La RT 2005 se limitait à la fonction de voiture balai qui évite aux traînards de rester sur le bord de la route, et à la méthode visant à comparer un projet à une référence.

À présent, il s'agit, et à juste titre, de fixer des exigences en valeur absolue et de définir des stratégies énergétiques. La méthode réglementaire n'est pas conçue à cette fin. Il convient donc de l'utiliser pour ce qu'elle sait bien faire : atteindre un niveau moyen des constructions neuves acceptables en évitant les distorsions les plus graves. Et dans les phases de la conception, il est préférable d'avoir recours à des méthodes de calcul et des conventions plus physiques grâce aux **simulations thermiques dynamiques (STD)**.

³⁷ Pour les bâtiments de plus de 1 000 m², construits après 1948 et dont le coût des travaux impactant sur l'énergie est supérieur à 25% de la valeur du bâtiment

³⁸ La RT DOM ou Réglementation Thermique DOM s'articule définie par le décret n° 2009-424 du 17 avril 2009 portant sur les dispositions particulières relatives aux caractéristiques thermiques, énergétiques, acoustiques et d'aération des bâtiments d'habitation dans les départements de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique et de La Réunion et l'arrêté du 17 avril 2009 définissant les caractéristiques thermiques minimales des bâtiments d'habitation neufs dans les départements de la Guadeloupe, de la Martinique, de la Guyane et de La Réunion

2.7.2 La cohérence réglementaire

Outre la réglementation thermique, un bâtiment est soumis à de nombreuses autres réglementations, acoustique, aération, accessibilité des handicapés, incendie. La cohérence entre toutes ces réglementations est loin d'être réalisée. Par exemple, un bâtiment durable, bioclimatique est un bâtiment ouvert sur l'extérieur, et à l'intérieur duquel l'air et la lumière doivent pouvoir circuler horizontalement et verticalement. Ce qui entre en contradiction avec la réglementation acoustique qui ferme sur l'extérieur comme sur l'intérieur, ou la réglementation incendie qui compartimente, souvent local par local, à la différence des réglementations anglo-saxonne ou allemande.

En matière de règlement sanitaire (ventilation hygiénique), l'arbitrage a été défini en 1978 dans le Règlement sanitaire départemental type (RSDT) et en 1982 pour les logements, dans l'arrêté du 24 mars 1982. Etant données les préoccupations énergétiques et les connaissances sanitaires de l'époque, cet arbitrage est largement favorable à l'économie d'énergie, au détriment de la qualité de l'air. Le déséquilibre a encore été aggravé par l'arrêté du 28 octobre 1983 sur la ventilation hygro-réglable. Le travail en cours sur l'évolution des règles devrait conduire à des taux de renouvellement d'air hygiénique plus élevés, plus proches de ceux de nos voisins européens. Enfin, en matière de maîtrise des risques sur la santé, les règles concernant le bâtiment sont encore rares et peu contraignantes. Dans ce domaine, presque tout reste à faire.

À l'échelle des produits, les Fiches de données environnementales et sanitaires (FDES) et la base de données INIES gérée par le CSTB ne couvrent pas actuellement l'ensemble des matériaux.

³⁹ Chauffage, climatisation, eau chaude, éclairage, ventilation et auxiliaires

⁴⁰ L'énergie finale est celle mesurée à l'entrée du bâtiment, "au compteur". L'énergie primaire rajoute à l'énergie finale toutes les consommations énergétiques et les pertes d'énergie engendrées par le processus de production et de transport de l'énergie, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets produits.

⁴¹ Dans la RT 2012, la SHON-RT, surface hors œuvre réglementation thermique remplace la SHON comme surface de référence. Il s'agit d'une sorte de surface hors œuvre brute, avant déduction des 5% thermiques et des 5 m² / logement handicapés.

2.7.3 Les labels énergétiques

Le label vise traditionnellement un niveau de qualité supérieur à celui de la réglementation. Il est défini et attribué par l'auteur du label. Il possède un cahier des charges et il est généralement complété par une certification. Aujourd'hui, quatre certificateurs sont agréés pour délivrer les labels. Trois d'entre eux (CERTIVEA en tertiaire, CERQUAL en logement collectif et individuel groupé et CEQUAMI en maison individuelle) ne délivrent le label qu'en association avec leur certification (HQE®, H&E, NF Maison Individuelle), même si un niveau dégradé de certification est toléré. Seul PROMOTELEC (logement) ne délivre qu'un label énergétique.

Tableau des labels énergétiques liés à la RT 2005 et aux RT ex
(source TRIBU – avril 2010)

label	habitat	tertiaire
HPE		$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 10\%$
HPE rénovation	$C_{EP} \leq 150 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{SHON}$ avec correction climatique	
THPE		$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 20\%$
HPE EnR	$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 10\%$ et	chauffage à 50% biomasse ou réseau de chaleur à 60% EnR
THPE EnR	$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 30\%$ et	50% eau chaude sanitaire solaire + chauffage à 50% biomasse
		ou 50% eau chaude sanitaire solaire + réseau de chaleur à 60% EnR
		ou 50% (eau chaude sanitaire + chauffage) solaire
		ou production photovoltaïque > 25 kWh _{EP} /m ² SHON
		ou PAC de COP annuel ≥ 3,5
BBC1	$C_{EP} \leq 50 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{SHON}$ avec correction climatique	$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 50\%$
BBC rénovation1	$C_{EP} \leq 80 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{SHON}$ avec correction climatique	$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 40\%$
BBC-Effinergie®	$C_{EP} \leq 50 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{SHON}$ avec correction climatique et mesure et exigence de perméabilité à l'air production locale électrique partiellement prise en compte dans C _{EP}	$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 50\%$
BBC Effinergie rénovation ¹	$C_{EP} \leq 80 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{SHON}$ avec correction climatique et mesure de perméabilité à l'air sans exigence production locale électrique partiellement prise en compte dans C _{EP}	$C_{EP} \leq C_{EP} \text{ référence} - 50\%$

¹pour BBC, le coefficient d'équivalence en énergie primaire du bois combustible est 0,6

Outre les labels franco-français, deux autres labels d'origine européenne peuvent être attribués en France : le label suisse MINERGIE® (résidentiel et tertiaire) décliné sur plusieurs niveaux de référence (MINERGIE®, MINERGIE-P® plus exigeant, MINERGIE-ECO® qui introduit des exigences environnementales non énergétiques et enfin MINERGIE-A® pour le zéro énergie), et le label allemand "maison passive" (passiv'haus) en résidentiel. Ces labels, strictement énergétiques (à l'exception de MINERGIE-ECO®) sont, évidemment, basés sur les normes de calcul allemandes ou suisses, fort différentes de la RT française. Ils définissent des standards énergétiques plus adaptés aux conditions climatiques continentales ou septentrionales qu'à la diversité des climats hexagonaux.

Un projet d'écolabel européen du bâtiment devrait permettre d'harmoniser les critères d'impact et les processus de certification.

Enfin, en climat tropical, un label (ECODOM) existe depuis la fin des années 90 pour le logement, ainsi que la méthode PERENE adaptée à la Réunion pour le résidentiel et le tertiaire.

Comparaison des labels européens pour du logement collectif

(source TRIBU – avril 2010)

	comparaison avec les conventions RT 2005				conventions spécifiques à chaque label		
	RT 2005	BBC/RT 2012	MINERGIE P	PASSIVHAUS	BBC	MINERGIE P	PASSIVHAUS
surface de référence	SHON-RT	SHON-RT	SHON-RT	SHON-RT	SHON-RT	SRE HO	SRE DO
équivalence en énergie primaire combustibles	1	1	1	1	1	1	1,1
équivalence en énergie primaire électricité	2,58	2,58	2,58	2,58	2,58	2	2,7
besoins de chauffage							15
	CEP				CEP		
3 usages : chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation	122	57	43	41		30	
6 usages : 3 usages + clim, éclairage, auxiliaires	130	65	51	48	65		
7 usages : 6 usages + électro-ménager	208	143	129	127			120

La SRE (surface de référence énergétique) est la surface des locaux chauffés.

Elle est équivalente à une surface habitable si les parties communes ne sont pas chauffées (hypothèse de notre comparaison).

Elle est comptée hors-œuvre pour Minergie et dans œuvre pour Passiv'haus.

2.7.4 Les normes environnementales liées au bâtiment

La norme est "un document établi par consensus, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats" (extrait du Guide ISO/CEI 2). En règle générale, la norme est d'application volontaire. Notons que **les normes n'ont pas de valeur réglementaire, mais elles doivent être prises comme références dans les marchés publics.**

Certains acteurs professionnels du secteur ont beaucoup milité pour une normalisation européenne de la qualité environnementale des bâtiments, qui soit le plus proche possible des pratiques hexagonales. Les motivations sont compréhensibles : définir un langage commun pour apaiser la communication commerciale sur ces thèmes, faire en sorte que ce langage commun soit le plus favorable possible aux initiateurs de ces normes et normaliser la mesure de la performance pour ouvrir un marché le plus large possible. **Cette démarche normative peut avoir le gros inconvénient de figer une démarche environnementale loin des préoccupations locales et de privilégier les thèmes quantifiables au détriment des aspects purement qualitatifs. Sans parler de certains thèmes qui ne peuvent être évalués selon les méthodes traditionnelles, comme l'usage et la qualité architecturale.** Une norme européenne qui définit le cadre méthodologique général a été publiée en décembre 2010 (NF EN 15643-1), visant notamment à l'obligation de procéder à l'évaluation de la performance environnementale. Le cadre de cette dernière est défini dans la norme NF EN 15643-2 qui date de mai 2011. Le cadre pour l'évaluation de la performance sociale (NF EN 15643-3) et le cadre pour l'évaluation de la performance économique (NF EN 15643-4) sont à l'état de projet.

A l'échelle du bâtiment, le cadre méthodologique est actuellement fixé par la **norme NF P01-020-1** sur les performances environnementales et sanitaires des bâtiments, qui définit les impacts environnementaux, les objectifs de maîtrise de ces impacts et leur traduction en termes de préoccupations et d'exigences, soit en français courant : un cadre normalisé d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments. Cette norme devra s'adapter aux référentiels de certification cités précédemment, de même que la norme expérimentale **NF XP P01-020-3**, de juin 2009, qui définit les indicateurs et les méthodes d'évaluation.

A l'échelle des produits, la norme **NF P01-010** est mise en œuvre dans les Fiches de données environnementales et sanitaires (FDES), la base de données INIES gérée par le CSTB et plusieurs logiciels d'évaluation de la qualité environnementale des produits et des bâtiments. Cette norme n'est pas à l'abri des critiques. Pour ne prendre qu'un seul exemple, elle agglomère sous le terme "consommations d'énergie primaire" plusieurs grandeurs qui, dans le sens commun des concepteurs, n'ont pas grand-chose à voir entre elles : l'"énergie procédé" que nous appelons habituellement "énergie grise" (voir 2.5.4) et "l'énergie matière", celle contenue dans le produit et qu'il libérerait s'il brûlait. Avec de telles conventions, les consommations de ressources énergétiques calculées n'ont plus grand-chose à voir avec la notion habituelle d'énergie grise et pénalisent lourdement tous les produits contenant une part importante de matières combustibles (bois ou autres matières issues de l'agriculture).

Tableau normatif des catégories d'indicateur

(source TRIBU)

	catégorie d'indicateur	unité
RESSOURCES	consommation de ressources énergétiques non renouvelables	kWh ep
	épuisement des ressources	kg eq Antimoine
		consommation d'eau
		potable
	non potable	m ³
	consommation de foncier	m ²
AIR	pollution de l'air	m ³ air
	changement climatique	kg eq CO2
	acidification atmosphérique	kg eq SO2
	formation d'ozone photochimique	kg eq C2H4
	destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC eq R11
EAU	pollution de l'eau	m ³ eau
	eutrophisation	kg eq PO4(2-)
DECHETS	dangereux	t
	non dangereux	t
	inertes	t
	radioactifs	t

2.7.5 Autres normes et standards

La plupart des normes et standards sur lesquels sont aujourd'hui conçus les bâtiments datent d'une période révolue, celle de l'énergie abondante et bon marché. Or, elles ne sont pas neutres sur cette question. Prenons quelques exemples :

- **les normes d'éclairage artificiel courantes conduisent à un surdimensionnement des puissances installées** (niveaux d'éclairement de 400 ou 500 lux voire plus, uniformité de 0,8 voire plus) qui, en l'absence malheureusement trop fréquente de système de gestion de l'installation, induisent d'importantes surconsommations énergétiques. Celles-ci sont reprises dans le code du travail et la plupart des cahiers des charges. Il serait donc utile de remettre à plat ces questions et de redéfinir un nouvel arbitrage entre économie d'énergie et conditions de confort. D'autant que, pour beaucoup d'utilisations, celles-ci conduiraient à des niveaux d'éclairement plutôt de l'ordre de 300 lux et à des uniformités plutôt à définir sur le plan de travail que sur la totalité du local ;
- **la norme NF ISO 7730** définissant le confort thermique a conduit aux exigences de températures (autrefois 22 ou 24°C, aujourd'hui 26°C) qui figurent dans les cahiers des charges pour le confort d'été. **Dans la plupart des locaux de travail, de telles exigences ne peuvent être obtenues que par de la climatisation ou, au mieux, un rafraîchissement mécanique énergivore.** Or, les récents travaux du laboratoire PHASE de l'Université Paul Sabatier (Toulouse), comme ceux de l'ASHRAE mettent en évidence, pour le confort d'été, l'inadaptation de la méthode de calcul des indicateurs de confort (PMV et PPD) de la norme ISO 7730 et le paramètre déterminant que constitue la vitesse d'air et qui permet d'augmenter les zones de confort de 3 à 4°C. C'est ce qu'exprimera la mise à jour 2010 du standard 55-2004 (confort thermique) de l'ASHRAE, véritable référence à l'échelle mondiale. Or une vitesse d'air plus importante ne nécessite pas de moyens techniques de production de froid et peut même s'obtenir naturellement ;
- **les standards de bureaux actuels sont très énergivores.** Des bâtiments de 18 m de profondeur conduisent à ce qu'un tiers de la surface du bâtiment, dont souvent les salles de réunion, soit sans accès possible à l'air ou à la lumière naturelle. Des façades entièrement vitrées et sans possibilité d'ouverture de fenêtres nécessitent ventilation et traitement d'ambiance mécaniques.

2.7.6 Les certifications environnementales

En matière de bâtiment, une certification est une procédure par laquelle une tierce partie indépendante, l'organisme certificateur, assure qu'une opération est conforme à des exigences spécifiées dans une norme ou un référentiel. Les différentes certifications disponibles sur le marché comportent toutes un volet qualité environnementale du bâtiment et un volet management plus ou moins poussé. Ce sont :

- la certification **NF Bâtiments Tertiaires Démarche HQE®** délivrée par CERTIVEA pour diverses typologies de bâtiments tertiaires (bureaux, commerce, hôtellerie, établissements de santé, ...);
- la certification **Habitat et Environnement (H&E)** délivrée par CERQUAL pour les bâtiments résidentiels collectifs ou individuels groupés ;
- la certification **Patrimoine Habitat et Environnement (H&E)** délivrée par CERQUAL Patrimoine pour les bâtiments résidentiels collectifs ou individuels groupés en rénovation ;
- la certification **NF Logement Démarche HQE®** délivrée par CERQUAL pour les bâtiments résidentiels collectifs ou individuels groupés réalisés par des promoteurs ;
- la certification **NF Maison Individuelle Démarche HQE®** délivrée par CEQUAMI pour les maisons individuelles ;
- la certification **NF Maison Rénovée Démarche HQE®** délivrée par CEQUAMI pour les maisons individuelles en rénovation ;
- la certification **NF Bâtiments tertiaires en exploitation** – démarche HQE® délivrée par CERTIVEA pour la phase d'exploitation.

Procédures lourdes, elles reposent sur un très grand nombre de critères d'évaluation (plus d'une centaine dans le tertiaire), et dont le domaine dépasse souvent celui de la qualité environnementale pour revenir à celui de la simple qualité technique.

Deux autres méthodes d'évaluation, d'origine étrangère, peuvent être utilisées en France : la méthode anglaise BREEAM ou la méthode américaine LEED. Elles ne cèdent en rien aux méthodes françaises en termes de complexité et ont l'inconvénient de n'être adaptées ni aux spécificités françaises en matière de développement durable (par exemple, l'importance des transports collectifs en matière de déplacement à faible impact), ni aux pratiques professionnelles hexagonales.

Notons que **la norme NF EN 15643-1 et ses dérivées** (NF EN 15643-2, 15643-3 et 15643-4) ont pour objectif final l'obligation d'évaluation et l'harmonisation des référentiels européens de certification. Toutefois, le texte prévoit des possibilités de dérogation sur justifications.

Par ailleurs, des référentiels environnementaux locaux ou régionaux émergent. Ils n'ont pas le statut de certification, mais possèdent l'avantage d'être spécifiques à un contexte local donné, ce qui est fondamental en matière de développement durable. Citons le "bâtiment durable méditerranéen" (BDM) en zone méditerranéenne, ou encore le référentiel Grand Lyon sur le territoire de l'agglomération lyonnaise. Ces référentiels intègrent des retours d'expériences et l'ensemble de ces démarches émane de professionnels locaux actifs sur ces questions (associations Envirobat Méditerranée, Ville et aménagement durable - VAD - en Rhône-Alpes,...).

Ce qu'il faut retenir

A l'échelle des bâtiments, les réglementations foisonnent, sans grande mise en cohérence des différents règlements, et avec des manques certains concernant la maîtrise des risques sur la santé, sans compter les doutes sur la fiabilité de certains éléments.

Aujourd'hui, la RT 2012 s'applique progressivement. Elle vise un niveau BBC et prépare un niveau BEPOS en 2020. Il existe par ailleurs différents labels et certifications français ou étrangers, plus ou moins adaptés à la réalité française.

Des certifications environnementales volontaires apportent l'assurance du respect d'un niveau d'exigence par une tierce partie indépendante et une prise en compte des spécificités de chaque projet et de ses enjeux, notamment par la hiérarchisation des cibles qui sont élaborées avec l'ensemble des parties prenantes du secteur.

Des référentiels environnementaux locaux ou régionaux, construits à partir de retours d'expériences, et qui n'ont pas le statut de certification, se développent. Ils présentent l'avantage d'être élaborés dans un un contexte local donné et de générer un milieu professionnel actif sur les questions du développement durable. C'est le cas, par exemple, du "bâtiment durable méditerranéen" (BDM), ou du référentiel Grand Lyon et des associations Envirobat Méditerranée et VAD en Rhône-Alpes.

Tout en espérant une simplification de la réglementation, il importe de répondre chaque fois à un programme spécifique et de donner un sens au projet global et à ses différents espaces, en intégrant des contraintes qui se superposent et parfois se contredisent.



UN RÉFÉRENTIEL ENVIRONNEMENTAL RÉGIONAL : LA DÉMARCHE BÂTIMENTS DURABLES MÉDITERRANÉENS EN PACA

En 2008, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) confie à l'association **Envirobot-Méditerranée**, dans le cadre du CoDéBâQuE (Comité régional de la concertation sur la qualité environnementale des bâtiments), **une mission d'animation et de réflexion pour réfléchir aux spécificités du bâtiment durable méditerranéen**. En effet, Envirobot Méditerranée travaille depuis le début des années 2000 sur les questions d'aménagement, de construction et de réhabilitation de bâtiments durables en PACA et mène des actions d'information et de sensibilisation des professionnels. **Cette mission aboutit à la création de l'association Bâtiments Durables Méditerranéens (BDM) en mai 2008**, labellisée Pôle régional d'innovation et de développement économique solidaire (PRIDES) en juillet de la même année.

L'association BDM réunit l'ensemble des acteurs du bâtiment engagés sur la voie du développement durable dans l'ensemble de la région PACA, toutes professions confondues de l'acte de bâtir ou de réhabiliter : maîtres d'ouvrages (publics ou privés), maîtres d'œuvre (architectes, bureaux d'étude), entreprises et artisans, organismes de formation, leurs représentants (organisations professionnelles, syndicats, chambres consulaires) ainsi que le centre de ressources et d'échanges Envirobot Méditerranée. Elle bénéficie du soutien de partenaires institutionnels privilégiés : la région PACA, l'ADEME PACA et l'Europe. L'objectif de BDM est de créer une **dynamique de professionnalisation de l'ensemble des acteurs de la filière vers le durable**, en développant le marché de ses adhérents.

Pour y parvenir, **l'association a notamment développé avec et pour les acteurs de la filière une démarche de qualité environnementale, sociale et économique du bâtiment méditerranéen : la démarche BDM**. Il s'agit du premier référentiel de la construction et de la réhabilitation durables en pays méditerranéen. Cette démarche innovante intéresse d'autres régions, que ce soit pour sa spécificité méditerranéenne, pour sa méthodologie ou pour ses fonctionnalités opérationnelles. **Ce référentiel sert d'ores et déjà d'inspiration pour l'élaboration du référentiel euro-méditerranéen du projet IRH-MED** (Logement innovant pour la Méditerranée).

Sept grandes familles de critères d'évaluation pour un bâtiment durable sont fixés : territoire et site, matériaux, énergie, eau, confort et santé, social et économie, gestion de projet. **Chacun de ces critères est mis en perspective avec les spécificités de l'environnement méditerranéen** : l'ensoleillement intense, les ressources en eau limitées, le régime particulier des vents, la vie à l'extérieur comme une habitude culturelle, ...

Ni label ni certification, c'est **un accompagnement méthodologique et un outil d'évaluation pratique** destiné à accompagner les acteurs de la construction et de la réhabilitation, tout au long de **trois étapes clés : la conception, le chantier et le fonctionnement du bâtiment**. Au 1er mai 2011, 64 projets ont été reconnus en Démarche BDM Or, Argent ou Bronze.

Pour plus d'information, voir le site Internet www.polebdm.eu

La plate-forme technologique est implantée sur le site du Technopôle Arbois Méditerranée, entre Aix-en-Provence et Marseille, entièrement géré par le Syndicat mixte de l'Arbois présidé par le Conseil général, sur lequel sont situés la gare Aix-TGV, des laboratoires de recherche, une université, des instituts de formation, et une centaine d'entreprises. Il est à une dizaine de kilomètres de l'aéroport Marseille Provence. La desserte locale est en partie assurée par des transports en commun.

Le bâtiment est basé sur la volonté :

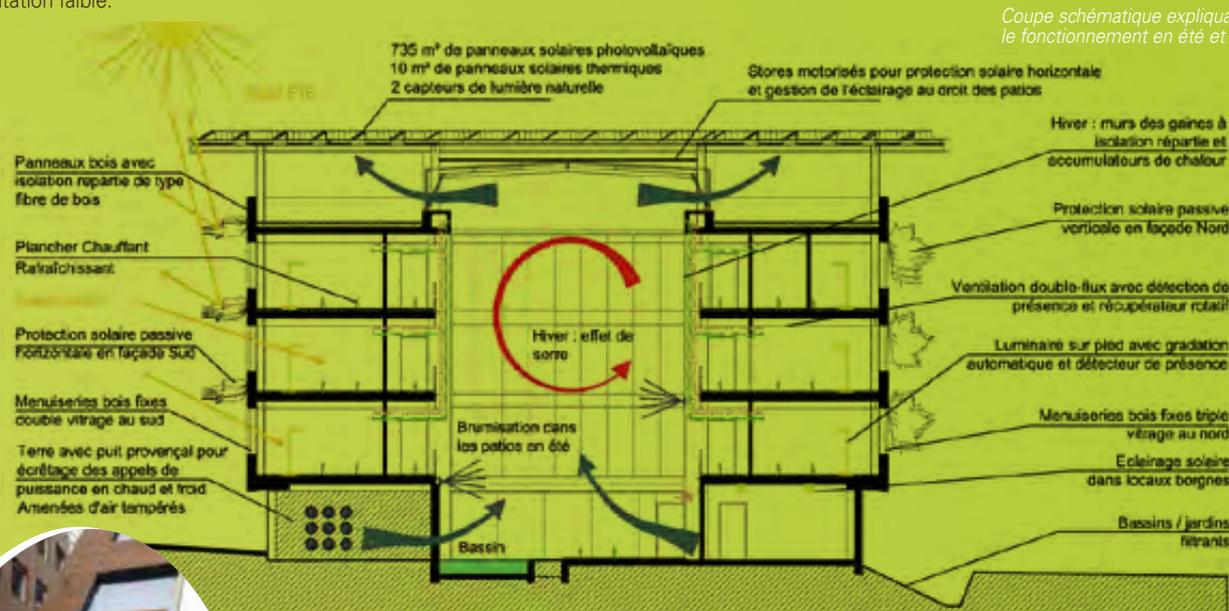
- **d'utiliser les propriétés des ressources et des phénomènes naturels comme l'eau de pluie, les courants d'air, l'évaporation, l'ombre, la lumière et le soleil... comme base de départ du travail sur la qualité environnementale du projet ;**
- **de limiter au maximum les besoins en énergie** pour permettre une production autonome couvrant voire dépassant ces besoins
- **par une isolation thermique très performante,**
- **par une conception permettant la généralisation de l'éclairage naturel dans chaque point du bâtiment** notamment dans les circulations et une **optimisation du rapport surfaces vitrées/surfaces pleines,**
- par la mise au point de brise-soleil **permettant un renforcement de la lumière naturelle sans occulter les surfaces vitrées,**
- **par la création d'un bâtiment épais et compact et la mise en œuvre de matériaux générant une forte inertie ;**
- **de limiter au maximum les impacts sur le site existant** et l'environnement immédiat notamment au niveau des terrassements ;
- **de limiter au maximum l'énergie nécessaire à la construction du bâtiment** en rationalisant les systèmes constructifs et en proposant des solutions techniques et architecturales peu consommatrices.



Perspectives du concours : vue d'ensemble de la façade Sud et vue du patio intérieur

Un bâtiment en démarche BDM : la plate-forme technologique – Technopôle de l'Environnement Arbois-Méditerranée (13)

L'objectif à atteindre est de réduire le curseur de la consommation d'énergie du bâtiment. Le choix de solutions techniques innovantes (puits canadiens, rafraîchissement par évaporation, éclairage solaire...) s'inscrit dans la volonté de concevoir un bâtiment économe en énergie qui présente un coût d'exploitation faible.



Ce bâtiment est labellisé Or en phase conception. Il doit passer le cap de la labellisation en phase chantier et en phase fonctionnement. Celle-ci ne fait pas rentrer le projet dans un cadre préétabli mais permet de prendre en compte toutes les innovations propres au projet. Elle est attribuée par une commission de professionnels, l'objectif étant pédagogique, et devant favoriser le retour sur expériences et la recherche continue d'amélioration des pratiques de l'ensemble des acteurs de la construction et de la réhabilitation (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, ...).

Données sur la plate-forme technologique

Maîtrise d'ouvrage	Syndicat de l'Arbois
Maîtrise d'œuvre	Régis Daniel, CCD Architecture
BET	GARCIA SECMO R2M HORIZONS
Conduite d'opération	Société SQUARE
Entreprises	BEC CONSTRUCTION – CRUDELLI - INEO
Réalisation	2010-2011
Coût total	11,5 M € HT
Surface	5 045 m ² SHON

Pose des panneaux préfabriqués et détail de la façade Sud avec les brise-soleil