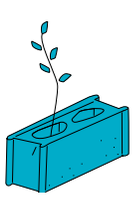
GUIDE

DES MATÉRIAUX POUR UNE CONSTRUCTION PLUS DURABLE

Les éco-matériaux : potentiels d'innovation et complémentarité avec les matériaux conventionnels

Ce guide est le résultat du cycle de rencontres sur les matériaux
« Le potentiel d'innovation des matériaux pour une construction durable »
commandité par Rennes Métropole en décembre 2017
et organisé par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de Rennes.



IAUR
institut d'aménagement et d'urbanisme de Rennes

METROPOLE Rennes
vivre en intelligence

AVANT-PROPOS

Le cycle de rencontres

Comment soutenir chaque année la construction de 4500 logements sur la métropole rennaise avec une assurance de qualité de construction, de santé et de bien-être à l'intérieur de ces habitats ? Comment y parvenir tout en respectant l'environnement ? Les textes regroupés dans ce guide ont pour ambition d'éclairer cette question sous le prisme des matériaux de construction.

Ce guide est issu de la réflexion d'un cycle de rencontres commandité par Rennes Métropole sur le potentiel d'innovation des éco-matériaux et de combinaison avec des matériaux conventionnels. Ce cycle de séminaires, de visites de chantiers et de rencontres régulières de travail[1] a permis de réunir près de 300 personnes à l'origine des commandes, de la conception et de la construction des ouvrages : maîtres d'ouvrages publics et privés, producteurs de matériaux de construction, architectes, bureaux d'études et ingénieurs, entreprises, usagers, etc. L'objectif de ces travaux est aussi de faciliter la rédaction des cahiers des charges des maîtres d'ouvrage sur le volet des matériaux de construction qui, demain, permettront de produire des bâtiments plus vertueux sur le plan environnemental tout en intégrant, entre autres, davantage d'éco-matériaux.

Le défi d'une construction plus durable

Le défi auquel sont confrontés les élus de la Métropole rennaise peut être ainsi résumé : Comment rendre plus "vertueuse" la construction de nouveaux bâtiments permettant d'accueillir de nouveaux habitants et de nouvelles activités tout en prenant en compte les améliorations suivantes : qualité sanitaire, usage des bâtiments, diminution des coûts globaux de construction (ex : frais de chauffage, entretien sur la durée de vie du bâtiment, coûts de démolition) ?

Ce défi des constructions de demain est directement corrélé au réchauffement climatique qui nécessite une adaptation des modes constructifs et l'usage de matériaux moins impactants pour l'environnement et plus protecteurs pour tous les résidents, y compris les plus fragiles d'entre eux (personnes âgées dépendantes, personnes disposant de faibles ressources économiques, etc.)

Différents types de matériaux

Les réflexions conduites au sein du comité d'experts, réuni régulièrement à l'occasion de ce cycle de rencontres, confortent celles des élus métropolitains, des maîtres d'ouvrage et des entreprises de construction mobilisées durant ce cycle de rencontres. Il n'est pas possible, dans le contexte actuel, de construire seulement avec des éco-matériaux ou issus du recyclage, dits écologiques, même s'il apparaît nécessaire de mieux les faire connaître en les utilisant. Il n'y a pas de "bons" ou de "mauvais" matériaux. Certains matériaux conventionnels pèsent lourd sur le bilan carbone du secteur de la construction et épuisent les stocks naturels (ex : le sable). Il en est de même pour certains matériaux naturels qui n'ont pas toutes les vertus. C'est le cas, notamment, de l'amiante ou du radon.

Pour le moment, il n'est pas question d'opposer ni d'exclure des matériaux ou des modes de construction mais plutôt de réfléchir à l'art de les combiner et d'être, ainsi, plus vertueux avec les matériaux existants. Cela passe notamment par l'étude de ce qui permet de les recycler. Autrement dit, dans cette phase de transition, il semble nécessaire de "poursuivre la construction" avec les matériaux conventionnels ayant déjà fait leurs preuves en termes de solidité et de coût. La perspective est alors de les améliorer en terme d'impact sur l'environnement et de faire exister, en les soutenant, les filières des "éco-matériaux".

Mais de quoi parle-t-on ? Les éco-matériaux sont considérés comme plus résilients pour la planète. Ils proviennent, soit des ressources naturelles locales, soit du recyclage. Trois types de matériaux sont distingués.

- **Les "biosourcés" :** le bois, la paille, le chanvre, le roseau.
- **Les "géosourcés" :** la terre crue.
- **Les "recyclés"** issus de produits industriels reconditionnés pour la construction : journaux, textiles pour les isolants, matériaux de construction issus des démolitions retrouvant une "seconde jeunesse".

Constat

Les travaux conduits dans le cadre de ce cycle de réflexion font le constat d'une certaine forme d'inertie et de cloisonnement de la chaîne de production des constructions (des maîtres d'ouvrage aux entreprises de construction). Il apparaît toutefois la volonté de relever le défi d'une construction plus durable, plus respectueuse de l'environnement et des usagers. Les maîtres d'ouvrage sont les premiers responsables de la mise en chantier des constructions. Ils ont, en effet, une responsabilité dans le choix, le suivi et la réalisation de l'ouvrage. Cependant, ils ont aussi autorité pour exprimer une exigence sur le choix des matériaux et de formaliser un cahier des charges en ce sens auprès des maîtres d'œuvre (CCTP [2] du marché de conception).

Les maîtres d'ouvrage sont pris entre la volonté d'innovation avec de nouveaux matériaux et la nécessité de construire davantage et le plus rapidement possible, au moindre coût. Cette situation a des conséquences très concrètes sur la qualité des constructions entraînant des malfaçons et des désordres constatés par les assureurs en charge d'engager les remboursements liés à la garantie décennale des constructeurs. Dans la très grande majorité des cas, il s'agit d'un défaut de mise en œuvre des matériaux par des compagnons parfois peu formés aux matériaux durables et/ou liés aux défauts de coordination sur le chantier : lieux de stockage des matériaux inappropriés, temps de séchage insuffisant des matériaux, substitution de matériaux moins coûteux mais peu compatibles entre eux.

Les maîtres d'œuvre ont de plus en plus de contraintes réglementaires, financières et organisationnelles qui rendent difficile leur mission première. Les architectes se retrouvent de plus en plus "fondus" dans une équipe de maîtrise d'œuvre pléthorique où plusieurs bureaux d'études techniques se côtoient (structures, thermiques, réglementaires, sanitaires, économiques, etc). Cela réduit leur marge financière et laisse moins de disponibilités pour concevoir des projets en interaction avec les maîtres d'ouvrage, les entreprises de construction et les usagers. Les temps consacrés au suivi et à la réception des chantiers s'en trouvent aussi fortement restreints.

Les entreprises de construction sont encouragées, par leurs fédérations [3], à s'engager dans des compétences environnementales, numériques et sociétales [4] dans le cadre de la filière du bâtiment durable. Les fédérations du bâtiment reconnaissent les difficultés à se transformer concrètement et à recruter des compagnons bien formés autour des compétences attendues pour relever les enjeux de la construction durable. Cette situation a des conséquences significatives sur les réalisations qui entraînent des malfaçons, du découragement et du désintérêt pour les

métiers du bâtiment. Du côté des petites entreprises artisanales, représentant les filières des éco-matériaux, elles ne semblent pas suffisamment matures et développées à ce jour pour concurrencer les matériaux conventionnels.

Les enjeux

Autrement dit, l'enjeu du moment est tout à la fois de faire émerger les filières plus respectueuses de l'environnement et de les mettre en lien avec les filières des matériaux plus conventionnels, invités à s'acculturer aux matériaux plus naturels afin qu'elles tirent ensemble des enseignements et développent des pratiques combinées sur les chantiers. Ce rapprochement souhaitable ne pourra être effectif que par la volonté des maîtres d'ouvrage d'exiger ces regroupements d'équipes pluridisciplinaires dès le début de la réflexion, chantier par chantier, en faisant du maître d'œuvre l'artisan de cette médiation dès l'origine du projet.

La plupart des acteurs rencontrés durant ce cycle de rencontres insistent sur cette nécessité de ne pas déconnecter la forme architecturale de la mise en œuvre des matériaux employés et des usages du bâtiment. Cette dynamique d'un travail collectif entre les différentes maîtrises concernées dans les projets (ouvrage, œuvre, usage et constructeurs) semble aujourd'hui souhaitée par un grand nombre d'acteurs.

Nous vivons une phase de transition écologique, sociale et numérique qui oblige de nombreux métiers à s'engager dans une vision plus systémique des problématiques à traiter et des solutions à rechercher. Cette question du rapport entre architecture, usage et assemblage des matériaux de nature diverse n'est pas seulement technique. Ces constructions sont, avant tout, conçues et mises en œuvre par des hommes et des femmes qui ont besoin de se parler, de se former et d'échanger en permanence sur les solutions à mettre en œuvre, au cas par cas, avant de pouvoir les reproduire à plus grande échelle.

Le rôle décisif du maître d'ouvrage

Un maître d'ouvrage résume bien le sentiment général du rôle qu'il doit assumer dans ce contexte de transition et d'incertitude du secteur du bâtiment :

"Lorsque vous regardez les autres types d'industrie (automobile, informatique, etc.), on ne produit plus du tout aujourd'hui comme on produisait il y a 10 ou 20 ans. Actuellement, dans le bâtiment, nous avons encore un peu tendance à produire comme dans les années 70 ou 80. Nous empilons des modules, nous coulons du béton, etc. Il faut compter 15 voire 18 mois de construction pour un bâtiment. Il y a eu, bien évidemment, des améliorations surtout en termes de sécurité sur les chantiers mais il n'y a pas eu de réelle révolution sur l'acte de construire. {...} Nous avons, parfois, des difficultés à mettre en œuvre certains matériaux un peu innovants parce qu'ils sont souvent un peu plus chers. {...} Je pense qu'un maître d'ouvrage est avant tout un chef d'orchestre. Celui qui finance une opération et qui est à l'initiative de cette évolution. Celui qui favorise la mise en œuvre de techniques et de matériaux innovants."

Nous savons que toutes les innovations et expérimentations se fragilisent si elles ne deviennent pas réelles et qu'elles ne visent pas leur reproductibilité. Le soutien économique de la puissance publique devient alors un des leviers importants d'accompagnement et de réussite de ces expérimentations.

Mode d'emploi

Ce guide à destination des maîtres d'ouvrages publics et privés est destiné prioritairement aux élus et leurs services de la Métropole rennaise ayant la responsabilité de commanditer des ouvrages pour leur collectivité ou d'inciter des maîtres d'ouvrages à construire sur leurs communes.

Il est aussi destiné à l'ensemble des acteurs qui souhaitent commanditer des ouvrages dans la métropole rennaise et, plus globalement, à ceux qui ont été mobilisés dans le cadre du cycle de rencontres commandité par Rennes Métropole sur le potentiel d'innovation des éco-matériaux et de leur combinaison avec des matériaux conventionnels : producteurs de matériaux de construction, architectes, bureaux d'études et ingénieurs, entreprises, usagers et citoyens impliqués, etc.

Ce guide vise quatre objectifs :

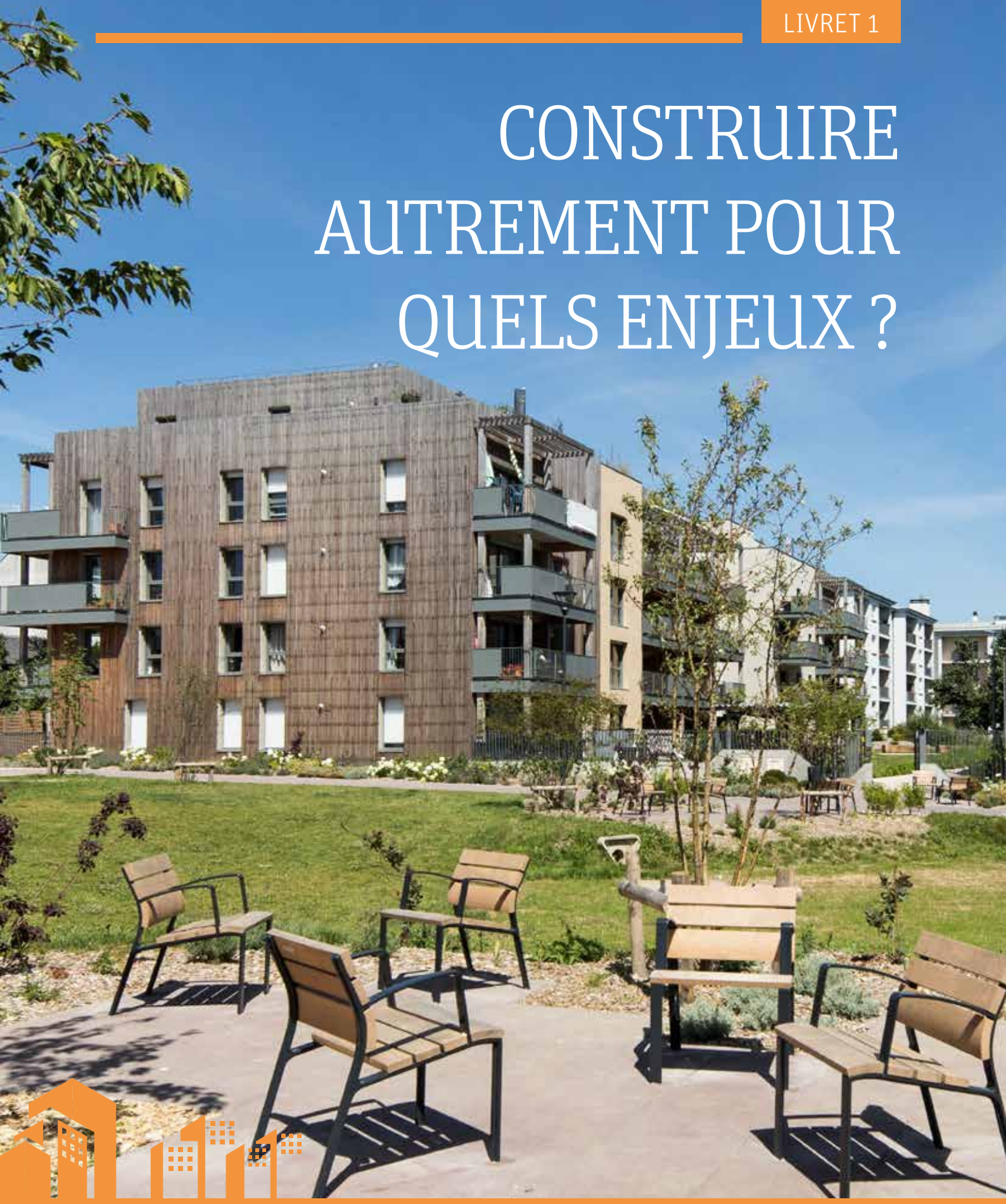
- Présenter les défis à relever dans le secteur du bâtiment autour de la santé et le bien-être. (Livret 1)
- Présenter de manière synthétique, sans prétention à l'exhaustivité des matériaux de construction, leurs caractéristiques, les aspects réglementaires dont ils dépendent et plus particulièrement les éco-matériaux. (Livret 2 / Fiches matériaux)
- Aider à la rédaction des cahiers des charges des maîtres d'ouvrage en direction des architectes et maîtres d'œuvre qui leur sont associés pour concevoir les logements et bâtiments durables de demain. (Livret 3)
- Aborder autrement la question du coût de construction. (Livret 3)

NOTES

1. Les informations sur ce cycle de rencontres sont disponibles en annexe de ce document.
2. Cahier des clauses techniques particulières
3. Fédération Française du Bâtiment (FFB) et Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB).
4. Ambition portée par le Campus des Métiers et des qualifications du Bâtiment durable par l'Académie de Rennes et la Région Bretagne créé officiellement le 6 février 2019 au Lycée Pierre Mendès France à Rennes.

LIVRET 1

CONSTRUIRE AUTREMENT POUR QUELS ENJEUX ?



SOMMAIRE

Introduction 3

Face aux enjeux, la loi évolue 3

Rennes Métropole, quelle exemplarité dans ses politiques publiques ? 3

Encourager l'utilisation des éco-matériaux avec les matériaux "conventionnels" 5

Des constructions avec des matériaux issus des ressources locales et naturelles 5

La structuration des filières des matériaux écologiques et des formations les mettant en œuvre sur les chantiers 5

La mise en œuvre de matériaux respectueux de l'environnement 6

La consommation des économies d'énergie et la réduction des gaz à effet de serre émis par le secteur du bâtiment 6

Construire des bâtiments favorables à la santé et au bien-être des usagers 8

Les principales sources de pollution intérieure 9

Identifier les polluants chimiques émis par les matériaux 10

- Les composés organiques volatils (COV) 10
- Les composés organiques semi-volatils (COSV) 10
- Les fibres minérales artificielles (FMA) 10
- Les poussières 10
- Les matériaux "innovants" 11

Assurer la traçabilité des polluants par l'étiquetage obligatoire et les différents labels pour guider le choix des matériaux 11

Favoriser l'équilibre ventilation, apports humides 14

Conception et chantier : deux phases clés pour la santé des usagers et des professionnels 15

Anticiper à la phase de conception 15

Assurer une bonne mise en œuvre en phase chantier 15

- Le non-respect des temps de séchages 16
- Les modes de stockage des matériaux inadaptés 16
- Les règles de mise en œuvre des systèmes de ventilation non-respectée 16

Programme de logements Gwenodenn, Rennes - Maîtrise d'ouvrage, Néotoa et Coop de construction - Maître d'œuvre, Tétrarc. © AC. Estève / Rennes, Ville et Métropole

Introduction

Face aux enjeux, la loi évolue

Plus possible aujourd'hui de faire abstraction des enjeux d'une meilleure performance énergétique des bâtiments en termes de chauffage, de climatisation, d'éclairage mais aussi de consommation en eau. Toutes ces consommations doivent être clairement orientées à la baisse voire, même, orientées à encourager la production d'énergie et la préservation de la ressource en eau.

En France, les bâtiments résidentiels et tertiaires produisent **24 % des émissions de CO_2[1] et consomment 44 % de l'énergie utilisée.**

Les consommations énergétiques et émissions de CO_2 des bâtiments sont liées à :

- la fabrication de nombreux matériaux de construction qui nécessite des cuissons à très haute température et du transport routier. Cette fabrication utilise et épuise les ressources naturelles,
- leur utilisation : chauffage et climatisation, production d'eau chaude, éclairage.

La Règlementation Thermique (RT 2012) a permis de réduire la consommation énergétique des constructions neuves (inférieure à 50kWh/an/m²). Avec la future réglementation thermique et environnementale[2] **RE 2020** du bâtiment neuf, il faudra tenir compte des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie (fabrication, construction, exploitation, destruction). **La Loi Relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV)** du 18 août 2015 fixe des objectifs plus ambitieux pour le secteur du bâtiment en dépassant l'approche purement énergétique afin d'appréhender les gisements de réduction d'émissions de CO_2 lors des phases de construction et d'exploitation :

- **Utiliser les matériaux biosourcés** issus de la biomasse, d'origine végétale ou animale, pour leur concours au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles. La loi de transition énergétique incite donc les pouvoirs publics à encourager l'utilisation de ces matériaux dans les projets de construction et de rénovation des bâtiments.
- **Privilégier les circuits courts** (procédé limitant au maximum le nombre d'intermédiaires entre le producteur et le consommateur final) et les acteurs locaux. Les bénéfices sont une diminution des gaz à effet de serre par la réduction des distances, un gain en efficacité et une valorisation des entreprises et ressources locales.

  Dans le secteur du bâtiment, ces circuits courts peuvent se trouver à plusieurs niveaux : un approvisionnement en matériaux locaux, une attribution de chantiers à des entreprises locales et une élimination des déchets de chantier dans des centres de valorisation à proximité.
- **Réemploi et utilisation de matériaux recyclés dans le bâtiment :**
  - Aujourd'hui peu développés en raison d'importantes contraintes règlementaires.
  - Des projets d'incorporation de matières premières secondaires dans la fabrication de produits de construction (tels que le béton, le verre et les laines minérales) sont en cours et se mettent en place progressivement.
  - Pour que cette filière se développe, les prescripteurs doivent promouvoir ce réemploi et l'utilisation de matériaux recyclés dont l'aptitude à l'emploi aura été démontrée, la maîtrise d'ouvrage publique devant donner l'exemple.

Cette exemplarité de la maîtrise d'ouvrage publique est encouragée par le décret n°2016-1821 du 21 décembre 2016 relatif aux constructions à énergie positive et à haute performance environnementale sous maîtrise d'ouvrage de l'État, de ses établissements publics ou des collectivités territoriales :

> *"Toutes les nouvelles constructions sous maîtrise d'ouvrage publique – État, établissements publics ou collectivités – devront faire preuve d'exemplarité énergétique (sobriété, EnR[3]) et environnementale (faible empreinte carbone)."*

Rennes Métropole, quelle exemplarité dans ses politiques publiques ?

Le Plan Local de l'Urbanisme Intercommunal (PLUi), le Plan Local de l'Habitat (PLH) et, plus particulièrement, **le Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET)** de Rennes Métropole convergent sur les mêmes objectifs de sobriété des consommations énergétiques et des ressources naturelles.

A travers son ambitieux **PCAET,** adopté le 4 avril 2019, Rennes Métropole s'inscrit dans une perspective d'un territoire post-carbone avec un double objectif à l'horizon 2030 de diviser par deux les émissions de gaz à

effet de serre par habitant par rapport à 2010. Le but est de permettre aux habitants, et en particulier aux plus fragiles, de bénéficier d'un cadre de vie qui contribue à leur santé et à leur bien-être. Rennes Métropole prépare également son territoire au changement climatique et souhaite des villes plus perméables et plus végétales susceptibles de limiter l'impact des épisodes caniculaires.

Nous retiendrons parmi les objectifs à atteindre à l'horizon 2030 :

- 100 % de logements passifs ou à énergie positive dans les opérations publiques.
- 100 % des déchets valorisés.
- 10 % de trafic routier en moins.
- Soutenir l'économie circulaire et l'éco-construction.
- Construire en anticipant les réglementations thermiques, notamment avec les matériaux biosourcés.

L'enjeu global consiste à encourager la construction durable, neuve et rénovée, visant la qualité de vie des occupants, la maîtrise des impacts sur l'environnement, l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments en mobilisant autant que possible des matériaux de construction issus des ressources naturelles et locales.

Cette nouvelle approche a nécessairement des impacts sur :

- Le choix des matériaux de construction.
- Leur provenance.
- Leur capacité à être recyclés.
- L'énergie utilisée pour leur fabrication.

La responsabilité du maître d'ouvrage dans le choix des matériaux n'est donc pas chose facile, tout particulièrement pour les élus qui connaissent peu le secteur d'activé du bâtiment. Nous trouverons, dans ce guide, une présentation de différents matériaux de construction : les matériaux conventionnels les plus connus mais aussi ceux qui le sont moins comme les matériaux dits écologiques.

L'objectif n'est pas de prendre parti pour les uns et pour les autres, chacun d'entre eux a des avantages et des inconvénients que nous présenterons. Comme évoqué dans l'avant-propos, il n'existe pas de bons et de mauvais matériaux, pas plus qu'il n'existe un matériau susceptible de tout faire. En résumé, il n'existe pas d'équivalent du "couteau suisse" pour les matériaux.

Ce livret entend donc traiter ces enjeux écologiques, environnementaux et sanitaires sous le prisme des matériaux de construction.

Programme de logements Gwenodenn, Rennes - Maîtrise d'ouvrage, Néotoa et Coop de construction - Maître d'œuvre, Tétrarc. © AC. Estève / Rennes, Ville et Métropole

Encourager l'utilisation des éco-matériaux avec les matériaux "conventionnels"

Des constructions avec des matériaux issus des ressources locales et naturelles

Même s'ils présentent souvent un surcoût initial, l'enjeu d'utiliser des matériaux naturels et locaux s'avère déterminant. Ce choix permet de développer le tissu social et économique local, de réduire le coût des transports et l'impact sur l'environnement. Nous savons que le secteur de la construction est un gros consommateur de ressources naturelles et d'énergie nécessaire à la transformation des ressources en matériaux.

LA PRODUCTION DU CIMENT

Elle nécessite l'exploitation de carrières de calcaires et d'argiles puis de concasser et de calciner ce mélange à haute température avant de transporter le ciment produit dans les fabriques de béton. Cette fabrication du ciment, puis du béton, très impactant pour les ressources naturelles, produit aussi beaucoup de CO_2 et par corrélation des Gaz à effet de serres (GES)[4] responsables en grande partie du réchauffement climatique. Les briques de terre cuite nécessitent aussi une cuisson à haute température et un séchage.

L'enjeu principal d'utiliser des matériaux écologiques est de réduire l'impact sur l'environnement en développant des procédés constructifs moins consommateurs d'énergie et de ressources naturelles non renouvelables.

La structuration des filières des matériaux écologiques et des formations les mettant en œuvre sur les chantiers

Afin de rendre pleinement visibles les matériaux écologiques dans les constructions contemporaines, il semble indispensable d'intensifier le nombre de constructions faisant usage des matériaux écologiques pour qu'ils pèsent davantage par rapport au secteur conventionnel, sans prétention à le remplacer et en assumant de les combiner. Une des difficultés à surmonter est que le système règlementaire et assurantiel a été fait pour des matériaux industriels. Même si cela fonctionne bien pour une filière industrielle (un propriétaire d'usine qui produit un matériau et opère le contrôle qualité en usine tout en mettant en place une formation adaptée pour l'emploi de ce matériau et en s'assurant de la qualité de la mise en œuvre sur le chantier), ce mode de production n'est pas adapté aux éco-matériaux. L'emploi de tels matériaux doit s'accompagner d'une mutation des modes de production des matériaux eux-mêmes, des modes de conception et de construction des bâtiments.

LA TERRE CRUE

La terre crue illustre la difficulté de ne plus être sur des systèmes répétitifs et industriels, ce qui est aussi le cas pour le bois, la paille, le chanvre, etc. Le matériau "terre crue" est variable à chaque extraction et peut être mis en œuvre selon plusieurs techniques. Cette situation encourage à croiser les savoir-faire architecturaux avec ceux des corps d'état de la construction (maçonnerie, charpente, couverture, menuiserie et plus largement le second œuvre).

L'objectif de mettre en synergie, dès l'amont du projet, vise à créer les conditions pour que les professionnels intervenant sur un même chantier puissent adapter la mise en œuvre vertueuse de leur propre matériau aux contraintes et règles de l'art des éco-matériaux.

Des méthodes ont été expérimentées pour permettre d'associer, le plus en amont possible des projets, le maximum d'acteurs (en particulier la maîtrise d'œuvre et les entreprises) pour lever des sources d'innovation dès la conception et assurer ainsi une bonne mise en œuvre lors de la phase de construction. De plus, ces méthodes conduisent à favoriser le dialogue entre les acteurs du projet.

Deux méthodes ont été expérimentées sur ces principes

Dès 2009, dans le cadre de sa démarche "BBC pour tous", Rennes Métropole a expérimenté la méthode de **Processus de Conception Intégrée (PCI)** pour viser la généralisation du standard de **Bâtiment Basse Consommation (BBC)** énergétique sur son territoire.

- **Le PCI est une démarche de réflexion globale** dans laquelle le projet est considéré dans sa totalité. La conception, la réalisation et l'utilisation d'un

bâtiment ne peuvent réussir qu'à la seule condition que tous les paramètres soient pris en compte dès le départ. Cette démarche préconise de mettre tout le monde autour de la table en amont et tout au long du projet. Chacun accepte de discuter librement sans idées préconçues et se met dans la posture de chercher collectivement des solutions. Ainsi les contraintes et les exigences de chacun des professionnels, liées à l'ensemble du projet sont prises en compte au bon moment. La contrepartie est d'allonger le planning de la conception qui doit permettre de trouver plus de source d'innovation et assurer une meilleure mise en œuvre à la phase chantier.

- **La démarche dite "performantielle"[5], peu développée en France,** est quant à elle utilisée dans le domaine du béton comme une démarche innovante, globale et prédictive de la durabilité des structures, fondée sur la notion d'indicateurs de durabilité. Elle doit favoriser l'innovation par une plus grande souplesse permise sur les choix de béton et de ses constituants. Elle consiste à faire confiance au savoir-faire combiné de l'architecte et des constructeurs par un dialogue permanent et des essais de validation de la mise en œuvre des matériaux sur le chantier.

Enfin, nous savons également que les matériaux naturels et locaux demandent des compétences élevées qui sortent de l'acte de bâtir à la chaîne. Cela peut être valorisant pour les compagnons qui sont, aujourd'hui, parfois peu motivés sur les chantiers et peu formés aux matériaux écologiques. L'enjeu devient alors humain, social et éducatif. L'investissement dans la formation devient une des priorités du secteur de la construction.

La mise en œuvre de matériaux respectueux de l'environnement

L'autre bonne raison de construire avec des écomatériaux locaux réside, potentiellement, dans le fait que des déchets peuvent être valorisés et devenir des matériaux de construction. C'est précisément le cas de deux d'entre eux : la ouate de cellulose et la terre crue.

- **La ouate de cellulose** est issue du recyclage de cartons et papiers ayant déjà servi. Ils sont reconditionnés pour en faire un matériau d'isolation, en remplacement des fibres de verres et de laine minérale.
- **Les terres d'excavation** sont issues des opérations d'aménagement et d'urbanisme. Celles-ci peuvent devenir un matériau de construction pour le gros œuvre. En effet, des déchets de terre peuvent être générés lorsque l'on construit une route, les fondations d'un bâtiment, etc. Il est ainsi produit un volume important de terre dont on ne sait pas quoi faire. Il est donc nécessaire de payer pour mettre ces terres en décharge alors que, dans le même temps, on puise dans les carrières pour sortir des graviers et du sable afin de faire des bétons. Sans avoir l'ambition de remplacer tout le béton, il est possible de substituer une partie des graviers et de sable en construisant avec des matériaux à base de terre crue.

L'important est que chaque matériau soit utilisé à bon escient. Il est possible d'économiser beaucoup de ressources naturelles en réutilisant des déchets qui devront être éliminés.

D'autres matériaux isolants sont également issus du recyclage :

- Les chutes de bois.
- Les déchets de la culture céréalière (ex : la paille).
- Les textiles jetés.

La consommation des économies d'énergie et la réduction des gaz à effet de serre émis par le secteur du bâtiment

Il est important de faire la différence entre deux types d'énergie définis ci-dessous :

L'ÉNERGIE GRISE

Énergie nécessaire pour assurer l'élaboration d'un produit depuis l'extraction des matériaux, leur traitement et leur transformation, jusqu'à la mise en œuvre du produit ainsi que les transports successifs nécessaires à cette mise en œuvre.

L'ÉNERGIE EN VUE DE SERVICE

Énergie consommée par le bâtiment à partir du moment où les clefs sont laissées au propriétaire : chauffer, ventiler, etc. C'est sur ce secteur que les économies sont encouragées depuis 30 ans en renforçant l'isolation et en optimisant la production de chaleur.

Le secteur du bâtiment est arrivé à réduire de façon importante **l'énergie en vue de service** mais au détriment de **l'énergie grise.** Des isolants ont ainsi été produits alors qu'ils coûtent beaucoup d'énergie à leur fabrication. Des systèmes de traitements de l'air sont aussi très énergivores à la fabrication et au recyclage. Aujourd'hui, le principal enjeu du secteur de la construction est de réduire cette part d'énergie grise et celle des gaz à effet de serre induits par l'énergie consommée. Une stratégie dite "bas carbone[6]" est mise en œuvre dans tous les secteurs d'activité et tout particulièrement celle du bâtiment.

D'un point de vue pratique, projet par projet et en fonction du lieu de la construction, il s'agit de rechercher, tout au long de la chaîne de "conception – réalisation

– exploitation" d'une construction, tous les "segments d'intervention" permettant d'économiser les ressources naturelles non recyclables.

Il s'agit notamment de :

- Limiter les dépenses énergétiques, les déplacements des matériaux de construction et l'usage d'engins consommateurs d'énergies fossiles.
- Imaginer toutes les ressources du projet permettant de limiter les gaz à effet de serre.
- Encourager toutes les sources d'absorption de carbone permettant de compenser la production de CO_2.

LE MUR EN TERRE CRUE

Un mur en terre crue va consommer 20 fois moins d'énergie que le mur en parpaings de béton. Ce choix précis d'usage de la terre permet de réduire par 20 l'impact environnemental en limitant les rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cela permet aussi d'utiliser un produit naturel avant qu'il ne devienne un déchet inerte dans une carrière. C'est autant de transport et de CO_2 en moins...

EXEMPLE DE COMBINAISON de matériaux conventionnels avec des éco-matériaux

Programme de logements Gwenodenn - Victor Rault, Rennes (Visite de chantier du 24/05/2018)

Maîtrise d'ouvrage : Néotoa et Coop de Construction

Maître d'œuvre : Tétrarc

Description

Bâtiment en béton avec des murs en briques, la brique présentant de meilleures performances thermiques.

Des bardages en bois (pin douglas) pour un aspect esthétique, en alternance avec des façades enduites.

Le bâtiment alterne deux typologies de balcons, apportant une qualité visuelle supplémentaire :

- Des balcons dits traditionnels en béton portés par la structure des dalles intérieures du bâtiment. Ce système est avantageux d'un point de vue constructif et de coût mais implique des surfaces structurellement limitées.
- Des balcons plus grands en bois (résineux lamellé) déportés structurellement et apportant des décrochés à la façade. On parle de bacs collaborant en béton, scellés et rivetés sur des poutres en bois. Ils sont désolidarisés du bâtiment. Une armature métallique assure la portance du plancher. Ce système est avantageux en termes de surface et pour éviter les ponts thermiques mais présente une complexité de mise en œuvre.

Construire des bâtiments favorables à la santé et au bien-être des usagers

Cette partie s'appuie sur les interventions de Charline DEMATTEO, ingénieur du génie sanitaire (Inddigo Nantes), d'Olivier BLANCHARD, enseignant-chercheur EHESP et IRSET (Inserm UMR 1085), de Sophie FRAIN, infirmière CMEI (Association Captair Bretagne), de Thomas LEMERRE, expert conseil (SOCABAT)

Selon l'**Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :**

> *"La santé est un état complet de bien-être physique, mental et social qui ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité."*

Il s'agit donc d'un concept large, influencé par de nombreux déterminants :

- Facteurs individuels génétiques (hérédité) et biologiques (vieillissement).
- Facteurs socioculturels et comportementaux (mode de vie, accès aux soins).
- Facteurs environnementaux.

Dans ces questions liées à l'environnement se trouve donc aussi la clef essentielle d'une meilleure santé.

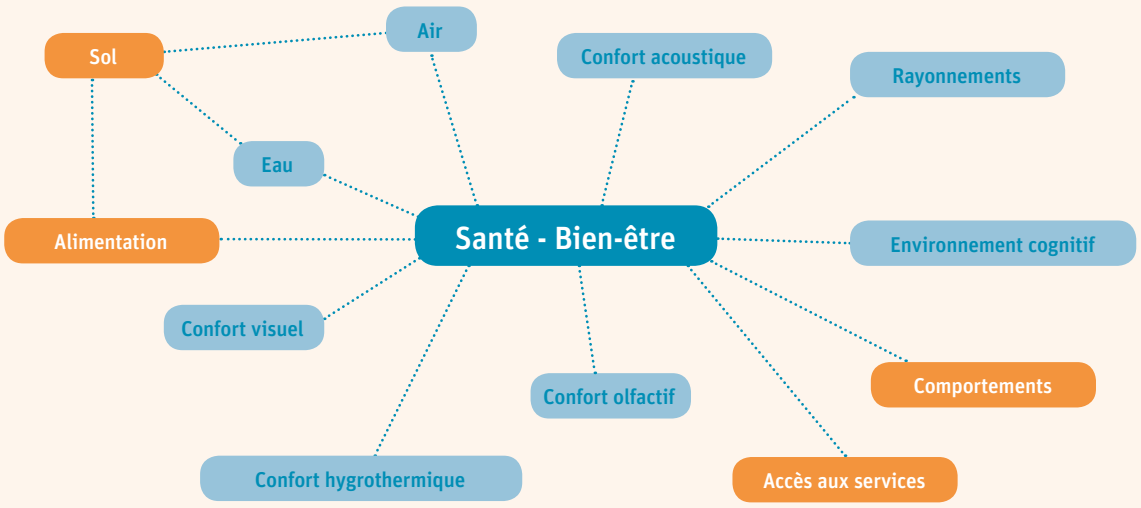
La santé environnementale représente un périmètre très large comme le montre le schéma ci-dessous. Les éléments en bleu ciblent les impacts potentiels des matériaux de construction.

Toujours selon l'OMS :

> *"La santé environnementale comprend les aspects de la santé humaine, y compris la qualité de la vie, qui sont déterminés par les facteurs physiques, chimiques, biologiques, sociaux, psychosociaux et esthétiques de notre environnement. Elle concerne également la politique et les pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé des générations actuelles et futures."*

La nécessité d'être conscient de ces risques et de les intégrer dans les pratiques de construction sont de la responsabilité des maîtres d'ouvrage, invités à faire des choix éclairés sur les matériaux, les modes constructifs et les aménagements intérieurs. Cela permet ainsi d'anticiper ces risques pour les générations actuelles et futures dans le cadre de pratiques de gestion, de résorption, de contrôle et de prévention des facteurs environnementaux susceptibles d'affecter la santé.

LA SANTÉ ENVIRONNEMENTALE, UN PÉRIMÈTRE TRÈS LARGE



Source : Charline Démattéo, Indiggo

Les principales sources de pollution intérieure

L'être humain passe la majorité de son temps dans un espace clos et se retrouve donc particulièrement exposé aux polluants de l'air intérieur. Or, l'air intérieur peut être **2 à 15 fois plus pollué** que l'air extérieur. A ce sujet, les professionnels de la santé constatent une augmentation des pathologies respiratoires et des allergies.

L'**Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI)** et le **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)** mènent tous deux des campagnes de mesures dans les logements. L'une des conclusions de la campagne 2014-2015 est particulièrement alarmante :

> *"Dans les logements performants en énergie, on observe un indice de contamination fongique plus élevé en proportion, des concentrations en hexaldéhyde, alpha-pinène et limonène plus élevées, et des températures intérieures plus élevées."*

En effet, depuis la RT 2012, les bâtiments sont de plus en plus isolés et cette volonté d'économies d'énergie a généré des bâtiments de plus en plus "étanches" à l'air extérieur. Ce processus peut être comparé à celui des bouteilles "thermos" avec des impacts forts sur la qualité de l'air intérieur. Les éventuels défauts d'étanchéité et de ponts thermiques ne peuvent plus évacuer les polluants en cas de ventilation inadaptée. Les spécialistes constatent alors une augmentation des pathologies respiratoires et des allergies. Contrairement à la RT 2012, la RE 2020 ne se limitera pas aux pertes thermiques et prendra en compte la qualité de l'air intérieur, notamment l'élimination des polluants.

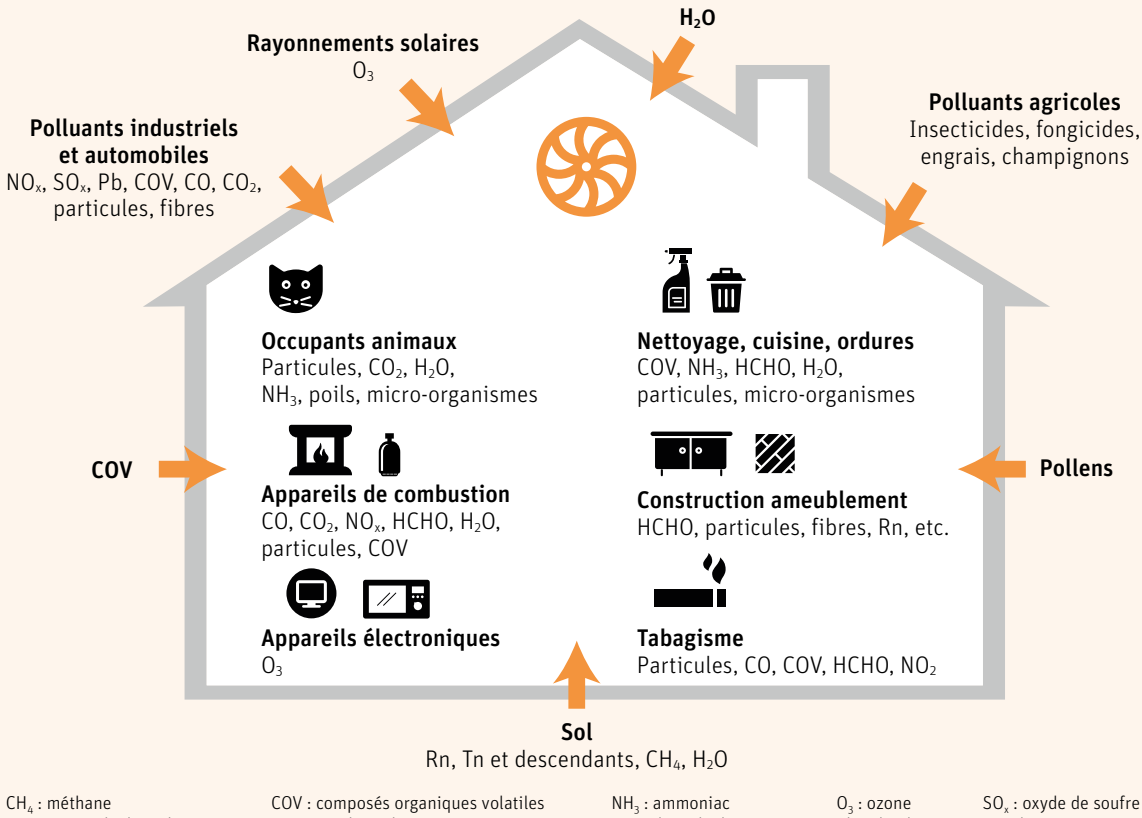
Les sources de pollution intérieure sont nombreuses :

- Matériaux de construction
- Meubles
- Tabagisme
- Moisissures
- Acariens
- Peinture
- Radon (la Bretagne étant l'une des régions les plus exposées à ce gaz radioactif.)

Même si elles sont multiples, les trois principales sources d'une mauvaise qualité de l'air sont ainsi identifiées :

- Les matériaux de construction et les produits de finition.
- Une ventilation insuffisante.
- Des défauts de conception et de mise en œuvre.

SCHÉMATISATION DES POLLUANTS INTÉRIEURS



CH_4 : méthane
CO : monoxyde de carbone
CO_2 : dioxyde de carbone
COV : composés organiques volatiles
H_2O : eau, humidité
HCHO : formaldéhyde
NH_3 : ammoniac
NO_2 : dioxyde d'azote
NO_x : oxyde d'azote
O_3 : ozone
Pb : plomb
Rn : radon
SO_x : oxyde de soufre
Tn : thoron

Adaptation de l'image : Construire sain. Guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour la construction et la rénovation

IDENTIFIER LES POLLUANTS CHIMIQUES ÉMIS PAR LES MATÉRIAUX

Les composés organiques volatils (COV)

Ils se trouvent bien souvent en mélanges complexes et à de faibles concentrations dans l'air ambiant de nos maisons. Ils sont, pour certains, très instables et très réactifs, ainsi ils se transforment et provoquent une pollution secondaire.

Les types

Ils sont de deux types :

Le benzène, le toluène, l'acétone, etc. : utilisés comme solvants dans les colles, peintures, laques, moquettes, tissus, etc.

Les aldéhydes : le formaldéhyde étant le plus connu, mais aussi l'acétaldéhyde et l'hexaldéhyde, utilisés dans les panneaux de bois agglomérés (l'une des premières sources de formaldéhyde dans le bâtiment), mousses isolantes, adhésifs, colles, vernis, peintures, etc.

Les effets

Les effets sur la santé sont nombreux et varient selon les composés :

- Irritations de la peau, des muqueuses et du système respiratoire.
- Maux de tête, nausées dans le cas d'exposition à de fortes concentrations.
- Certains COV (benzène, formaldéhyde) sont classés CMR (cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction[7].)

Les composés organiques semi-volatils (COSV)

Ce sont des molécules plus lourdes qui s'accrochent aux poussières et restent plus longtemps que les COV dans les environnements intérieurs.

Les types

- Pesticides (traitements du bois, etc.).
- Phtalates (assouplissement des polymères comme les dalles de sol, etc.).
- Phényl-éther polybromés (PEPB) dans les retardateurs de flamme.
- Polychlorobiphényles (PCB) dans les colles et produits d'étanchéité.

Les effets

Certains COSV sont classés :

- Cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction (CMR)[7]
- D'autres sont considérés comme des perturbateurs endocriniens.

CANCÉROGÈNES (C)

Substances et mélanges qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent provoquer un cancer ou en augmenter la fréquence.

MUTAGÈNES (M)

Substances et mélanges qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.

TOXIQUES POUR LA REPRODUCTION (R)

Substances et mélanges qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire ou augmenter la fréquence d'effets nocifs non héréditaires dans la progéniture ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductives.

Les fibres minérales artificielles (FMA)

Elles sont utilisées pour l'isolation thermique et acoustique sous formes de panneaux, plaques ou en vrac.

Les types

- La laine de verre
- La laine de roche

Les effets

- Irritations de la peau, des muqueuses et du système respiratoire.
- Certaines sont classées cancérogènes possibles pour l'Homme (ex : fibres céramiques réfractaires).

Les poussières

On pense que les poussières apparaissent lors de la phase chantier (ponçage) mais elles peuvent aussi être émises lors de l'exploitation du bâtiment, par l'intermédiaire de radiateur, par exemple.

LE RADIATEUR

En raison de sa forme, le radiateur ne peut pas être "entretenu", c'est-à-dire "dépoussiéré" à cause de ses grilles au-dessus et des "serpentins" à l'arrière. Par conséquent, lors de la remise en route du chauffage, les poussières agglutinées dans le radiateur sont soit rejetées dans l'air sous forme de particules fines, soit collées au radiateur, provoquant une pollution chimique.

Exemple de radiateur avec une grille sur le dessus limitant les possibilités d'entretien.

Les matériaux "innovants"

Leurs propriétés de dépollution sont basées sur les propriétés semi-conductrices photo catalytiques du Dioxyde de Titane (TiO_2). Or, le TiO_2 est classé CMR par la Commission Européenne et beaucoup d'interrogations se posent sur d'éventuels effets secondaires liés au contact des COV avec le TiO_2.

Les types

- Béton catalytique imprégné de dioxyde de titane nanométrique.
- Plaques de plâtre photocatalytiques ou imprégnées d'une substance chimique.
- Peintures avec pigments photocatalytiques.

Les effets

- Emission de produits secondaires pouvant être toxiques ?
- Puits réversibles avec des phénomènes d'adsorption ou de désorption si le matériau ne fait que stocker temporairement les polluants pour les dégager plus tard sous certaines conditions rencontrées (températures élevées par un ensoleillement direct par exemple) ?

ADSORPTION

Rétention à la surface d'un solide des molécules d'un gaz ou d'une substance en solution ou en suspension.

DÉSORPTION

Émission de molécules de gaz ou de liquide préalablement adsorbées par la surface d'un solide.

ASSURER LA TRAÇABILITÉ DES POLLUANTS PAR L'ÉTIQUETAGE OBLIGATOIRE ET LES DIFFÉRENTS LABELS POUR GUIDER LE CHOIX DES MATÉRIAUX

Les produits concernés par cette réglementation sont :

- Les revêtements de sol, murs et plafonds.
- Les cloisons et faux-plafonds.
- Les produits d'isolation.
- Les portes et fenêtres.
- Les produits destinés à la pose ou à la préparation de ces produits (peinture, vernis, colles, adhésifs...).

L'étiquetage intègre l'émission de formaldéhyde et l'émission totale de COV. Cependant, d'autres polluants sont également pris en compte car les enquêtes de l'Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur (OQAI) ont montré leur forte présence dans les logements.

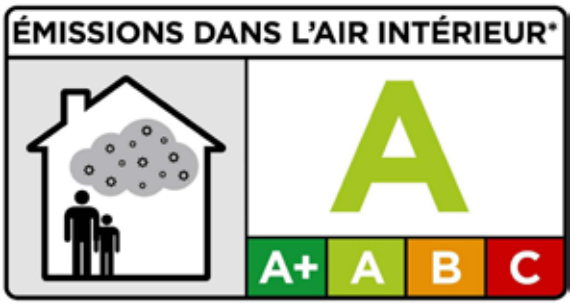
Les polluants concernés sont :

- L'acétaldéhyde
- Le toluène
- Le tetrachloroéthylène
- Le xylène
- Le triméthylbenzène
- Le dichlorobenzène
- L'éthylbenzène
- Le butoxyéthanol
- Le styrène.

L'étiquetage complète une autre mesure qui interdit les composés cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction dans la fabrication des produits de construction et de décoration (CMR) de catégories 1 et 2.

Les composés concernés sont :

- Le trichloréthylène
- Le benzène
- Le phtalate de bis
- Le phtalate de dibutyle



Depuis 2012, les produits de construction et de décoration utilisés à l'intérieur des locaux doivent afficher l'étiquetage règlementaire obligatoire. 4 niveaux : de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions).

Cet étiquetage obligatoire rencontre toutefois quelques limites. En effet, il porte uniquement sur les COV et 10 molécules alors qu'il en existe plusieurs centaines dans les environnements intérieurs. De plus, les classes d'émission sont établies sur la base de mesures réalisées 28 jours après application. Cet étiquetage renseigne alors sur l'exposition éventuelle durant l'exploitation mais n'apporte pas d'information sur les risques d'émissions lors de l'application par les compagnons (mesures à 3 jours).
En complément de l'étiquetage obligatoire, d'autres labels mesurent l'émission d'autres types de polluants et/ou sont plus exigeants en termes de valeur d'émission de COV. Ils mesurent notamment les risques d'exposition lors de la pose. Certains indiquent en outre un mode de production écologique.

QUELQUES EXEMPLES DANS LE TABLEAU SUIVANT

(liste non exhaustive)

PRINCIPAUX LABELS LIÉS À LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR POUR LES MATÉRIAUX ET PRODUITS DE CONSTRUCTION

PRINCIPAUX PRODUITS CONCERNÉS	MESURES	LABELS
PLATERIE ISOLATION › Produits d'isolation › Plaques de plâtre › Colles, mastics, enduits **REVÊTEMENTS MURAUX** › Peintures › Vernis › Laques › Lasures **REVÊTEMENTS DE SOLS** › Sols souples › Carrelage › Stratifiés › Parquets	Deux niveaux : "standard" et "gold" *(ce dernier étant plus exigeant)* Par rapport à l'étiquetage règlementaire : - Test à 3 jours pour les peintures et vernis - Mesure des composés cancérigènes et des COSV. - Gold plus exigeant à l'étiquetage A+. *(Les exigences de la version Gold peuvent être plus strictes que celles définies pour l'étiquetage A+.)* L'information des 3 jours permet de limiter toute émission importante de polluants dès la mise en place du produit.	INDOOR AIR COMFORT eurofins CERTIFIED PRODUCT
PLATRERIE ISOLATION › Produits d'isolation dont les isolants en chanvre, à base de lin, de laine de mouton, de cellulose soufflée et les isolants en mousse minérale. › Plaques de plâtre › Colles, mastics, enduits **MENUISERIES EXTERIEURES** › Fenêtres et portes en bois **REVETEMENTS MURAUX** › Peintures minérales **REVETEMENTS DE SOLS** › Sols souples (Linoléum et Textile)	Il garantit un mode de production écologique. Moins exigeant que l'étiquetage A+ pour le formaldéhyde. Mais plus exigeant sur d'autres polluants (COSV, acétaldéhyde, styrène).	natureplus
PRODUITS DE POSE POUR REVETEMENTS DE SOL ET MURAUX › Colles, mortiers, primaires, enduits, mastics, etc. › Vernis › Le R grisé : la mise en œuvre du produit requiert des mesures de protection particulière ou que le produit libère des CO très volatils pendant sa prise.	3 classifications EC2, EC1 et EC1 PLUS. A minima, privilégier l'EC1. Test à 3 jours. Par rapport à l'étiquetage règlementaire : - Plus exigeant et considère aussi les COSV. - Garantie également l'absence d'émission de substances cancérigènes. Mesures moins complètes que le label Indoor confort gold. Puisque le concept de "à faible émission" en lui-même n'est ni normalisé ni défini clairement, la classification Emicode® offre une base sérieuse pour l'évaluation et la sélection des produits de pose, colles et produits pour le bâtiment.	GEV-EMICODE EC 1 très faible émission GEV-EMICODE EC 1 very low emission

PRINCIPAUX PRODUITS CONCERNÉS	MESURES	LABELS
REVETEMENT DE SOL, PEINTURES, VERNIS	Il garantit un mode de production écologique : - Uniquement octroyé à des produits ayant un impact réduit sur l'environnement. Prend uniquement en compte la teneur du produit en COV et COSV. Ne prend pas en compte les émissions dans l'air donc pas d'information de l'impact du produit sur la QAI.	
REVETEMENTS DE SOLS › Textiles (tapis et moquettes)	Label écologique qui tient compte de tout le cycle de vie du tapis, de la production au recyclage. Exigences plus strictes que l'étiquetage A+ et plus complètes (valeurs limites d'émissions données après 3 jours et 28 jours). Les émissions de substances nocives doivent être inférieures à une valeur seuil donnée : - Le produit fini ne peut contenir aucun résidu de pesticides. - Les produits ne peuvent pas émettre une odeur désagréable. GUT diffuse des informations sur les tapis et encourage les consommateurs à poser leurs tapis d'une manière écologique.	
LAINES MINÉRALES › De verre › De roche	Certifie que les laines minérales ne sont pas classées cancérigènes.	
PANNEAUX À BASE DE BOIS › Panneaux de particules bruts non transformés › Panneaux OSB › Panneaux MDF	Indique une classe d'émission de formaldéhyde exprimée en mg/100g de panneau sec. Deux classes d'émission : E1 et E0.5 (plus exigeante). Classe E1 : le minimum obligatoire depuis 2006 Concerne les produits non soumis à l'étiquetage règlementaire.	

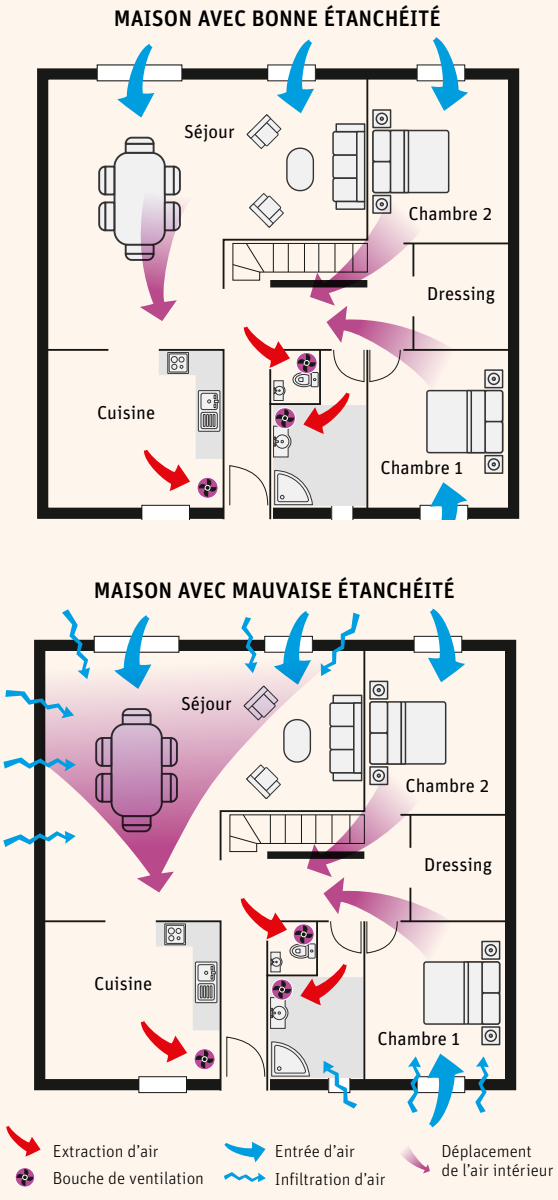
FAVORISER L'ÉQUILIBRE VENTILATION, APPORTS HUMIDES

Une autre "pathologie" constatée de la RT 2012 et des bâtiments étanches à l'air est le développement récurrent de moisissures avec le "stockage" de la vapeur d'eau à l'intérieur et le développement de moisissures.

MOISISSURES

Les moisissures sont des champignons microscopiques filamenteux qui peuvent être responsables de maladies des voies aériennes (rhinite, asthme). Le nombre de personnes asthmatiques a doublé en 15 ans.

Le schéma ci-dessous montre comment le renouvellement de l'air n'est plus aidé par les entrées d'air parasites au niveau des fenêtres, des prises de courant, etc. qui sont caractéristiques des anciens logements.



Source : Info Energie Bretagne, Fiche pratique « L'étanchéité des bâtiments »

Ce défaut de renouvellement de l'air, associé à une insuffisance de chauffage et une surproduction de vapeur d'eau, a pour principale conséquence une condensation d'eau en surface des parois, favorisant l'apparition de moisissures dans les angles, notamment au plafond.

La vapeur d'eau est principalement produite par les occupants des locaux sachant qu'en moyenne, une famille de 4 personnes produit 20 litres d'eau par jour :

- L'activité humaine (respiration, transpiration) équivaut à 3 litres/jour/pers.
- Deux personnes dormant 8 heures dans une chambre produisent environ 0,6 litres d'eau (multiplié par 3,5 si activité).
- Bain, douches (1 l/douche), cuisson (gazinière, cuisson vapeur), cafetière, lave-vaisselle, séchage du linge (0,2 l/h), lavage du sol.

Cette production d'eau peut être accentuée par des apports initialement non prévus dans un logement. On retrouve :

- Le sèche-linge à évacuation directe dans le logement (9 litres).
- Le stockage bois de chauffage.
- Les aquariums dont la vapeur d'eau est augmentée en présence d'une résistance.
- Les plantes vertes, les animaux.
- La baignoire balnéo, sauna.

Mais avant l'occupation du bâtiment, l'eau est d'abord produite par le chantier.

Cela comprend notamment le séchage des matériaux (béton, bois, chape, plâtre) au moins la première année. Pour information, 1 m^3 de béton représente 180 litres d'eau. Une grande partie est donc absorbée par le ciment et s'évapore pendant le chantier mais l'eau reste maintenue dans le matériau 1 à 2 ans après la livraison du bâtiment.

On pense également à l'introduction de la pluie et fuites de plomberie pendant le chantier. Cette eau est bloquée dans les matériaux de construction par le pare vapeur de la toiture terrasse, l'ITE, les sols PVC et les peintures plastiques. Elle finira son évaporation après la réception et pendant le chauffage du bâtiment.

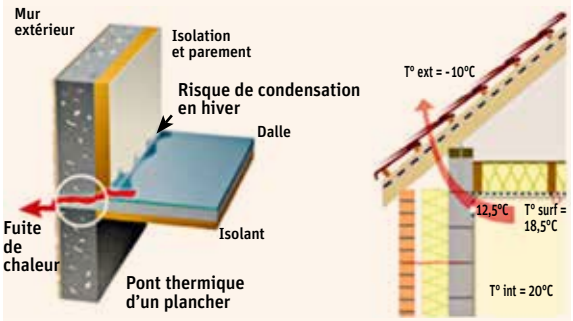
S'ajoute à cela l'humidité des vides sanitaires avec une évaporation de l'eau permanente en l'absence de pare-vapeur entre le vide sanitaires et le logement.

Les ponts thermiques sont également des points de fragilité.

PONTS THERMIQUES

Ils constituent les points froids de l'enveloppe sur lesquels l'air chaud (plus chaud qu'à ces points singuliers) et humide vient se refroidir et déposer l'humidité. Les poussières et les spores contenues dans l'air s'installent et se développent dans l'humidité. L'insuffisance de l'extraction ou le refroidissement sur les ponts thermiques conduisent à une augmentation du taux d'humidité de l'air. Dès 70 à 80% d'humidité relative, les champignons se développent donc sur les supports du logement.

PROCÉDÉ CONSTRUCTIF
ET ASSEMBLAGE DE MATÉRIAUX



Source : Indiggo

Avec des objectifs de bâtiments de plus en plus performants en termes d'énergie, donc de plus en plus hermétiques, une ventilation adaptée et efficace du bâtiment (pas uniquement dans sa phase d'exploitation mais également pendant le chantier) s'avère primordiale.

Outre l'évacuation de la vapeur d'eau, la ventilation est incontournable pour :

- Evacuer le gaz carbonique et apporter l'oxygène pour respirer.
- Evacuer l'apport d'air sec extérieur (en hiver).
- Evacuer les polluants intérieurs (fumées, odeurs, gaz de combustion, COV, poussières, etc.).
- Fournir l'air de combustion (gazinière, poêle à bois non étanche).
- Sécher la construction (au moins la première année).

D'où l'importance d'une mise en œuvre dans les règles de l'art et de l'entretien des gaines et des bouches d'aération.

Conception et chantier : deux phases clés pour la santé des usagers et des professionnels

ANTICIPER À LA PHASE DE CONCEPTION

Les défauts d'entretien des gaines et des bouches d'aération peuvent avoir des conséquences importantes sur le bon fonctionnement de la ventilation. Cependant, plusieurs points de vigilance ont été pointés et doivent pris en compte dès la conception :

Les points de vigilance

- S'assurer de l'accessibilité du système pour faciliter les opérations de maintenance (trappe d'accès) et prévoir une prise de courant proche pour le nettoyage des caissons.
- Privilégier un tracé de réseau le plus linéaire possible (éviter les coudes et les chevauchements).

Défaut d'accessibilité et de tracé du réseau de gaines
Source : AQC

ASSURER UNE BONNE MISE EN ŒUVRE EN PHASE CHANTIER

L'approche élément par élément est insuffisante pour une construction favorable à la santé. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'assemblage des matériaux et les procédés constructifs qui ont également un impact sur la qualité de l'air intérieur.

LE REVÊTEMENT DE SOL : UNE COMPLEXITÉ D'ÉLÉMENTS

Support béton, primaire,ragréage, adhésif et revêtement : chacun de ces produits va émettre potentiellement des composés organiques volatils. Des interactions sont possibles entre différents produits, des interactions chimiques.
Les émissions de composés organiques volatils sont plus élevées quand le taux d'humidité du support est élevé.

Résultat : des risques accrus si les temps de séchage sur les chantiers ne sont pas respectés.

Plusieurs pratiques lors de la mise en œuvre contribuent au développement des moisissures et plus généralement au développement d'une mauvaise qualité de l'air.

Développement de moisissures lors d'un chantier. Source : AQC

Le non-respect des temps de séchages

- Les bâtiments sont très étanches à l'air très tôt pendant les phases de chantier alors que les matériaux ont besoin de sécher.
- Des matériaux bétons ou maçonnés produisent de l'humidité qui se dégage dans une enveloppe qui est complétement étanche à l'air donc cette humidité reste présente, d'où les développements de moisissures.
- La recherche de gain de temps voit intervenir l'entreprise "cloisonnement" alors que le taux d'humidité relative intérieure est encore élevé. Cette recherche de gain de temps peut avoir des effets néfastes au niveau sanitaire.
- Les systèmes de ventilation ne fonctionnent pas en phase chantier donc pas de renouvellement de l'air.

Les modes de stockage des matériaux inadaptés

- Exposition des isolants à l'humidité donc perte des performances thermiques et sources d'eau supplémentaires dans les cloisons.
- Exposition des gaines de ventilation aux poussières de chantier si leurs bouches d'extraction et amenées d'air ne sont pas préalablement obstruées. L'encrassement des gaines aérauliques réduit le rendement de volume d'extraction de l'air et, en cas de ventilation double flux, les poussières peuvent être rejetées à l'intérieur, donc contaminer l'air. Il est très rare que les systèmes de ventilation soient nettoyés avant la livraison des bâtiments.

Les règles de mise en œuvre des systèmes de ventilation non-respectée

- Selon l'étude de l'ORTEC "Logements neufs" (2005-2009), 50% des bâtiments contrôlés (1500) ne respectent pas les règles de mise en œuvre nécessaires au bon fonctionnement des systèmes de ventilation.
- Selon une étude de l'Observatoire de la qualité de l'air, environ 50% des logements équipés de VMC ont un débit total extrait non conforme aux valeurs règlementaires[8].

Illustrations des différents défauts de mise en œuvre constatés par les experts.

Source : Thomas Lemerre (SOCABAT)

POUR ALLER PLUS LOIN

Construire sain. Guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour la construction et la rénovation
https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Guides_construire_sain_2015.pdf

FFB, Qualité de l'air intérieur. Enjeux et bonnes pratiques pour les métiers du bâtiment, 2018
https://www.ffbatiment.fr/Files/pub/Fede_NOO/FFB_PUBLICATION_3349/eff5c3ff-13d5-47fd-a1b6-f414b4ab3c64/PJ/Guide-qualite-air-interieur.pdf

Observatoire de la qualité de l'air
http://www.oqai.fr/

Association Captair Bretagne
http://www.captair-bretagne.com/

AQC Pôle prévention construction, projet ICHAQAI, Penser qualité de l'air intérieur en phase chantier - Guide méthodologique, 2019
http://www.qualiteconstruction.com/node/3505

Les fiches pathologie bâtiment de l'AQC
http://www.qualiteconstruction.com/categorie-fiche/227

CEREMA, Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie PREBAT - 2012-2017
https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/batiments-demonstrateurs-basse-consommation-energie-prebat

TEXTES DE RÉFÉRENCE

24 mars 1982 : Arrêté relatif à l'aération des logements, imposant des débits de renouvellement d'air minimaux dans les logements.

22 juillet 2004 : Arrêté relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public, imposant la gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public.

3 août 2009 : Loi n°2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, article 40.

12 juillet 2010 : Loi n° 2010-788 portant engagement national pour l'environnement, article 180.

23 mars 2011 : Décret n° 2011-321 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.

19 avril 2011 : Arrêté relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.

2 décembre 2011 (modifié en 2015) : Décret n° 2011-1728 imposant la surveillance de la qualité de l'air dans les établissements recevant un jeune public.

17 août 2015 : Décret n° 2015-1000 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public, imposant la surveillance de la QAI aux échéances suivantes :
- 1er janvier 2018 pour les écoles maternelles, élémentaires et crèches.
- 1er janvier 2020 pour les accueils de loisirs et les établissements d'enseignement du second degré.
- 1er janvier 2023 pour les autres établissements.

18 août 2015 : Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV).

21 décembre 2016 : Décret n°2016-1821 relatif aux constructions à énergie positive et à haute performance environnementale sous maîtrise d'ouvrage de l'État, de ses établissements publics ou des collectivités territoriales.

NOTES

1. Le dioxyde de carbone, plus connu sous l'appellation CO_2, est l'appellation chimique du gaz carbonique. Le CO_2 est un gaz incolore, inerte, toxique, voire mortel selon le niveau et la durée d'exposition. Sa durée de vie dans l'atmosphère est d'environ 100 ans. Près de 87 % des émissions de CO_2 sont attribuables aux activités humaines. Ces émissions proviennent de la combustion de combustibles fossiles, tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole.
2. Expérimentation du cadre de la future réglementation lancée en juillet 2016.
3. Energies renouvelables.
4. Les gaz à effet de serre (GES), sont un ensemble de composés capables de retenir la chaleur dans l'atmosphère, gardant ainsi la surface de la Terre à une température plus élevée que ce qu'elle aurait si ces gaz n'étaient pas présents. Les gaz les plus connus sont le CO_2 et la vapeur d'eau constituent les principaux gaz à effet de serre à l'état naturel. Ces gaz-là sont donc la cause fondamentale de l'effet de serre. Augmenter la quantité de GES dans l'atmosphère ajoute à l'effet de serre, produit le réchauffement de la planète et par voie de conséquence le changement climatique.
5. L'approche performantielle est une démarche innovante, globale et prédictive de la durabilité des structures en béton, fondée sur la notion d'indicateurs de durabilité. Elle permet de formuler des bétons pour une durée de vie attendue dans un environnement donné lors de la phase de conception d'une structure et donc d'en maitriser la durabilité, mais aussi de déterminer la durée de vie résiduelle d'un ouvrage existant. Elle constitue un outil de contractualisation des objectifs de durabilité des ouvrages en béton et représente une évolution majeure dans la prescription des bétons qui s'inscrit dans la continuité d'une logique de progrès depuis plusieurs décennies.
6. Issue des "lois Grenelle sur l'environnement", la stratégie Nationale Bas-Carbonne (SNBC) est en cours de finalisation par le Gouvernement français pour la période 2019-2024. Elle vise à conduire une politique d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Cette politique définit les l'objectifs de réduction des Gaz à effets de serre à l'échelle de la France à court et moyen terme visant à la neutralité carbone en 2050. Des budgets-carbone fixent les plafonds d'émission à ne pas dépasser pour chaque collectivité. Les stratégies comme les budgets bas-carbone sont juridiquement opposables pour le secteur public mais sont aussi engageantes pour toutes les entreprises et tous les citoyens. Tous les secteurs d'activités sont concernés par la SNCB et tout particulièrement pour ce qui nous concerne, les politiques publiques en lien avec l'urbanisme, l'aménagement et les dynamiques territoriales et les secteurs du bâtiment, la production énergétique et les déchets. (Document de référence téléchargeable sur le site du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire : Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbonne : La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone – Version projet – Décembre 2018)
7. Définition desCMR au sens de l'article R4411-6 du code du travail.
8. Etude de l'OQAI sur l'état de la ventilation du parc de logements français.

LIVRET 2

COMMENT MIEUX COMPRENDRE LES MATÉRIAUX ?

SOMMAIRE

Introduction 3

La réglementation pour un « produit de construction » 3

Les procédures d'évaluation 3

Les matériaux et leurs caractéristiques 5

Les fonctions des matériaux 5

La fonction structurale 5

La fonction isolante 5

Les propriétés isolantes des matériaux 6

"L'isolation thermique" par la résistance au passage de la chaleur 6

"Le confort thermique" par le stockage et la régulation de la chaleur toute l'année 6

"La gestion de l'humidité" par le comportement hygroscopique des parois 7

Les matériaux dits conventionnels 7

Les éco-matériaux 8

Les exemples de combinaison de matériaux conventionnels avec des éco-matériaux 8

Favoriser la valorisation des déchets grâce à une structuration récente du cadre juridique 9

Connaître la procédure de sortie du statut de déchet 10

Innover en s'appuyant sur de nouvelles procédures de réemploi des matériaux dans la construction 11

Bien intégrer ses obligations pour les maîtres d'ouvrage 12

Bien connaître ses responsabilités pour les maîtres d'ouvrage 12

Ecobatys, Pôle performance de l'éco-construction, Pays de Fougères - Maître d'ouvrage, Coglais communauté, Maître d'œuvre, Atelier Loyer

Introduction

La réglementation pour un « produit de construction »

Les évaluations sont indispensables pour juger **de l'aptitude à l'emploi des produits de construction.** Elles ont pour objectif de vérifier les qualités techniques d'un produit, d'informer les utilisateurs et de leur donner les clés pour qu'ils soient utilisés de façon optimale.

Le règlement européen produit de construction définit les exigences essentielles auxquelles doivent satisfaire les produits de construction destinés à être incorporés de façon durable dans le bâtiment :

- Résistance mécanique et stabilité.
- Sécurité en cas d'incendie.
- Hygiène, santé et environnement.
- Sécurité d'utilisation.
- Protection contre le bruit.
- Economies d'énergie et isolation thermique.

La qualité des produits traditionnels se signale en général par le respect de normes (publiées en France par l'**Association Française de Normalisation (Afnor)** et l'existence de **Documents Techniques Unifiés (DTU)** qui présentent les règles de l'art pour l'utilisation et la mise en œuvre d'un produit.

- **LES RÈGLES DE L'ART**

  Elles désignent l'ensemble des règles techniques ou des pratiques professionnelles validées par l'expérience et admises par l'ensemble de la profession concernée.

- **LES RÈGLES PROFESSIONNELLES**

  Elles sont rédigées par les filières professionnelles pour fixer le cadre de leur métier et préciser les caractéristiques d'une bonne prestation.

Les procédures d'évaluation

C2P et AQC

Une fois les règles professionnelles validées et inscrites sur la **liste verte**[1] par la **Commission Prévention Produits (C2P) de l'Agence Qualité Construction (AQC),** elles sont reconnues comme technique courante pour les assureurs, cette validation donnant valeur de DTU à la technique.

Elles ne sont néanmoins applicables que si le marché de travaux s'y réfère. Il n'en demeure pas moins qu'en l'absence d'autres documents, elles servent souvent de référence en cas de litiges ou de sinistres.

ATec et DTA

Les matériaux et techniques n'entrant pas dans ce cadre nécessitent que les assureurs soient associés au projet très tôt. Ils peuvent alors s'appuyer sur des **Avis Techniques (ATec)** ou des **Documents Techniques d'Application (DTA)** pour mesurer le risque à couvrir. Ces documents sont attribués par le **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)** et attestent de l'aptitude du produit à l'emploi, de sa durabilité et de sa conformité à la règlementation française en vigueur. Lorsqu'ils sont en cours de validité, la mise en œuvre de procédés sous ATec ou DTA est considérée par les assureurs comme de la technicité courante.

ATex

L'Appréciation Technique d'Expérimentation (ATex) est une procédure d'évaluation technique formulée par un groupe d'experts sur tout produit ou procédé nouveau et innovant qui n'ont pas encore d'avis techniques et qui nécessitent une expérimentation sur un ou plusieurs chantiers. On recourt à l'ATex pour l'assurabilité d'un ouvrage utilisant des procédés non traditionnels. Cette évaluation est souvent utilisée en préalable à un Avis Technique, car elle permet des premiers retours d'expérience sur la mise en œuvre des procédés[2].

ACERMI

Concernant les matériaux et application utilisés pour l'isolation, le label **Association pour la Certification des Matériaux Isolants (ACERMI)** est une référence pour s'assurer de la performance d'un matériau isolant dans le temps.

FDES

Enfin, les **Fiches de Déclaration Environnemental et Sanitaire (FDES)** permettent d'informer les utilisateurs des **impacts environnementaux et sanitaires** des produits de construction[3]. C'est un document normalisé qui présente les résultats de l'Analyse de Cycle de Vie d'un produit ainsi que des informations sani-

taires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception.
Un de leurs objectifs est d'aider les professionnels dans leurs choix pour rendre un bâtiment plus durable, avec des impacts limités sur l'environnement, tout en créant une ambiance saine pour les futurs utilisateurs.

Ce sont des documents déclaratifs élaborés par les fabricants mais ils peuvent être vérifiés par une tierce partie indépendante dont la compétence a été établie par AFNOR Certification, ce qui apporte une plus-value au produit. Attention, une bonne FDES ne garantit pas la qualité du matériau, ni une mise en œuvre facilitée.

Matériaux : bois, chanvre, terre

Les matériaux et leurs caractéristiques

Cette partie s'appuie sur la conférence donnée par Laurent Molez, Maître de conférences et chercheur au laboratoire Génie civil et génie mécanique (LGCGM) à l'INSA Rennes, et aborde la question des matériaux à fonction structurale et isolante (gros œuvre).

"S'il y a une chose à se rappeler, c'est qu'il n'y a pas de matériau universel servant à tout, ni de matériau unique faisant tout. Il faut donc choisir les matériaux en fonction de l'ouvrage à construire et des caractéristiques des matériaux. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un bilan complet concernant les aspects techniques, économiques, écologiques de chacun d'entre eux."
Laurent Molez, INSA Rennes

Les fonctions des matériaux

Il est attendu d'un matériau de construction qu'il remplisse deux fonctions dans l'ouvrage à construire :

- Porter la structure même du bâtiment appelée aussi résistance mécanique.
- Isoler le bâtiment du froid, du bruit, et de l'eau.

LA FONCTION STRUCTURALE

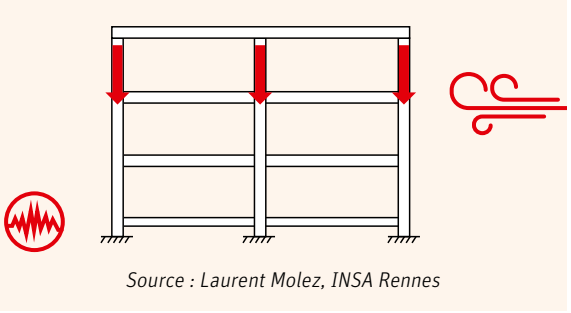
Un bâtiment doit supporter son poids propre mais aussi les forces extérieures au bâtiment exercées par le vent, la pluie, la neige et les mouvements du sol. On parle de résistance mécanique.

RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Quand un effort s'applique sur un matériau, celui-ci ne doit pas se casser mais, au contraire, résister à cet effort en se déformant très légèrement. On parle alors de "module d'élasticité".

Les conditions

- Devoir résister au propre poids du bâtiment selon la logique que plus le bâtiment est haut plus il faudra utiliser des matériaux résistants.
- S'assurer que ce bâtiment puisse supporter les actions mécaniques liées au vent, à la pluie, à la neige ainsi que les mouvements de sol engendrés par un glissement de sol, un séisme[4].
- L'environnement extérieur au bâtiment exerce des efforts sur celui-ci et les matériaux de construction doivent résister à toutes ces forces conjuguées.
- Etudier les caractéristiques du sol qui portera le bâtiment.



Source : Laurent Molez, INSA Rennes

A ce titre, le sol peut être considéré comme un matériau de construction. Les forces mécaniques liées à l'environnement naturel (vent, pluie, mouvement de terrain...) sur lequel est implanté le bâtiment doivent être également prises en compte dans le calcul des charges qu'il est susceptible de supporter.

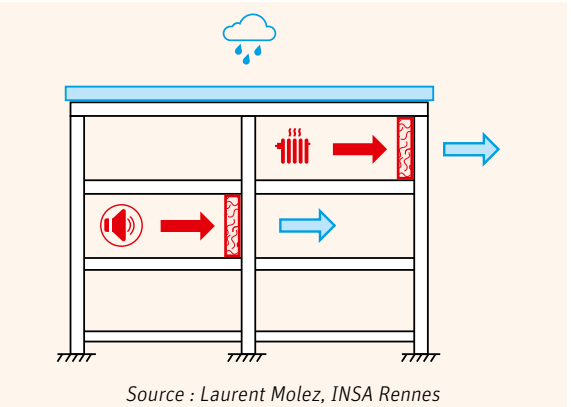
LA FONCTION ISOLANTE

Isolation thermique

L'enjeu écologique de notre époque consiste à bien isoler thermiquement les bâtiments pour limiter les consommations énergétiques. Cette fonction isolante s'étend également aux problématiques liées à la santé et à la qualité de l'air qui nécessitent un confort acoustique et une étanchéité à l'eau et à l'air.

L'isolation thermique est une préoccupation majeure aujourd'hui. Il est nécessaire qu'un bâtiment soit économe vis-à-vis du chauffage et de l'éclairage. Elle est indispensable pour éviter que la chaleur produite à l'intérieur du bâtiment sorte à l'extérieur et chauffe l'environnement extérieur.

Le schéma ci-dessous permet de caractériser le doublage (en rouge) de la structure porteuse. Ce trait rouge symbolise la cloison limitant le départ du chauffage vers l'extérieur. On peut imaginer la même fonction au niveau acoustique, sauf que ce n'est pas une source de chaleur mais une source de bruit.



Source : Laurent Molez, INSA Rennes

Isolation accoustique

Les problématiques de voisinage exigent de plus en plus de limiter la propagation du bruit dans l'appartement d'à côté. Même problématique au niveau des façades, évitant que du bruit extérieur n'aille à l'intérieur du bâtiment ou, à l'inverse que du bruit intérieur « type usine » ou type « activité nocturne bruyante » n'aille vers le milieu extérieur.

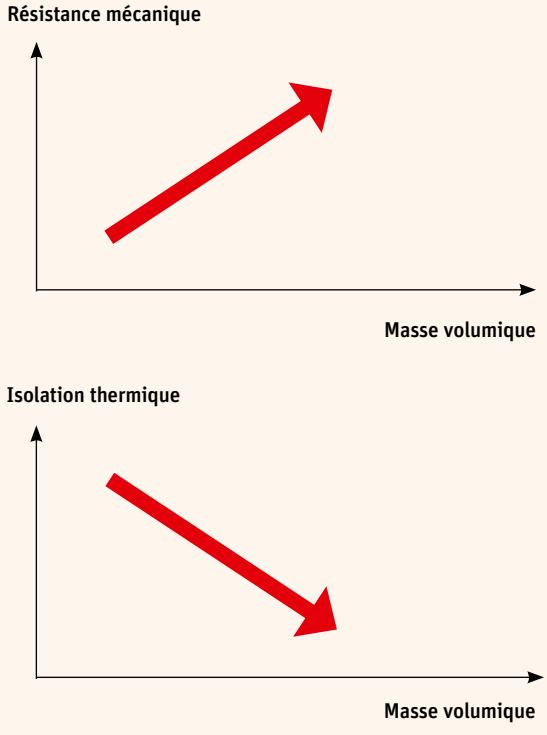
Isolation hydrique

Un troisième type de protection se rajoute et concerne l'isolation hydrique. En priorité la toiture comme première protection à la pluie mais aussi d'autres protections au niveau des bardages extérieurs ou des « casquettes » qui débordent le toit pour protéger des matériaux qui craignent d'être mouillé par la pluie, telle la terre crue, pour ne pas laisser rentrer d'humidité dans les logements ou dans les bureaux.

Un matériau peut-il être à la fois résistant et isolant ?

- **MASSE VOLUMIQUE**
  (ou densité Rhô - ρ ; exprimée en kg/m³) : masse du matériau par unité de volume donc son poids. Cette masse a une influence sur les charges qui redescendent sur le matériau mais c'est aussi une propriété couplée à la résistance mécanique et à la conductivité thermique (voir infra). Plus un matériau est dense, plus il est résistant, alors que pour l'isolation thermique c'est l'inverse. Plus le matériau est dense, moins il aura un pouvoir isolant.

NOTION DE MASSE VOLUMIQUE



"Aujourd'hui, il est impossible de disposer d'un matériau qui soit très résistant et très isolant. Demander aux ingénieurs, aux chercheurs d'avoir le matériau le plus résistant mécaniquement, le plus isolant thermiquement et le moins cher possible est une équation impossible. Il faut choisir". LAURENT MOLEZ.

Les propriétés isolantes des matériaux

Plusieurs isolations ou propriétés isolantes existent pour un même matériau.

"L'ISOLATION THERMIQUE" PAR LA RÉSISTANCE AU PASSAGE DE LA CHALEUR

Ses propriétés

La conductivité thermique (lambda- λ ; exprimée en W/ (m.K))

Elle traduit la propriété qu'ont les matériaux à transmettre la chaleur par conduction. Elle correspond au flux de chaleur qui traverse en 1 seconde un matériau d'une surface de 1 m² et de 1 m d'épaisseur (autrement dit : un cube de 1 mètre de côté) pour un écart de température de 1° C entre les 2 faces. Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant (généralement, le λ est compris entre 0.035 et 0.050).

La résistance thermique (R ; exprimée en m². K/W)

Elle traduit la capacité d'un matériau à résister au passage de la chaleur. Elle dépend de l'épaisseur du matériau et de sa conductivité thermique. Pour une épaisseur donnée, plus la résistance thermique est élevée, plus la paroi est isolante. Pour l'isolation des combles, il est recommandé une R supérieure ou égale à 6m².K/W.

"LE CONFORT THERMIQUE" PAR LE STOCKAGE ET LA RÉGULATION DE LA CHALEUR TOUTE L'ANNÉE

Ses propriétés

La capacité thermique massique (ou chaleur spécifique Cp ; exprimée en J/(kg.K))

Elle traduit la capacité du matériau à emmagasiner de la chaleur par rapport à son poids, soit la quantité de chaleur à apporter à 1 kg de matériau pour élever sa température de 1° C. Une grande capacité thermique signifie qu'une grande quantité d'énergie peut être stockée moyennant une augmentation relativement faible de la température.

Cette capacité n'est pas forcément positive quand elle est forte, ni forcément négative quand elle est faible. Si un mur est très froid il sera très long à chauffer s'il a une très forte capacité thermique. Inversement une fois chauffé, il maintiendra la chaleur et pourra la restituer.

L'inertie thermique

Elle traduit la capacité qu'ont les murs, planchers, toitures, cloisons, etc. à emmagasiner de la chaleur le jour, et de la fraîcheur la nuit, pour les restituer ensuite dans un laps de temps donné. Ce principe permet de limiter les surchauffes dans les bâtiments et de réduire les consommations d'énergie.

Elle est calculée à partir de 3 éléments :

- La diffusivité thermique du matériau qui représente sa tendance à favoriser la diffusion de la chaleur (de ce fait, dans le milieu du bâtiment, une faible diffusivité est souvent considérée comme étant une "bonne" valeur).
- L'épaisseur du matériau considéré.
- L'effusivité thermique du matériau. A savoir, la rapidité avec laquelle il absorbe les calories, ou encore, sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe de l'énergie sans se réchauffer notablement. Au contraire, plus elle est faible et plus le matériau se réchauffe vite.

L'inertie thermique ne dépend donc pas uniquement de la densité des matériaux traversés.

LE BÉTON

Le béton a une diffusivité élevée.
Ainsi malgré sa masse volumique élevée,
la chaleur issue de l'absorption du rayonnement
solaire traverse rapidement ce matériau
et crée des surchauffes dans les constructions.
Le béton a aussi une effusivité élevée. Cela
donne une sensation de froid au toucher
alors que le bois ne transmet pas cette
sensation de par son effusivité faible.

Le déphasage thermique

Il définit le temps que met un front de chaleur pour traverser l'épaisseur donnée d'un matériau. Il s'agit d'une notion dynamique qui dépend de la masse volumique et de la capacité thermique massique du matériau. Cela permet de définir le "confort d'été", à savoir le décalage au cœur de la nuit, plus fraîche, de la pénétration de la chaleur reçue par les parois extérieures durant la journée. Plus le matériau est lourd, plus il pourra retenir la chaleur avant de la restituer à l'intérieur du bâtiment. Un bon déphasage est compris entre 10 et 15 heures : il permet d'assurer un meilleur confort thermique l'été et d'éviter des surchauffes sous les combles. La laine de bois et la ouate de cellulose présentent de très bonnes performances.

La capacité hygrothermique

Cette notion récente et en cours d'études concerne plus particulièrement les matériaux biosourcés. En complément de l'inertie thermique, des matériaux peuvent apporter une plus-value dans la régulation de la température et de l'humidité des bâtiments et agir comme des matériaux à fort déphasage.

"LA GESTION DE L'HUMIDITÉ" PAR LE COMPORTEMENT HYGROSCOPIQUE DES PAROIS

Les différences de température et d'humidité entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment provoquent d'importants échanges de vapeur d'eau auxquels sont soumises les parois (eau liquide et vaporisée, remontées capillaires, façades exposées à des pluies battantes). Une mauvaise gestion de ces flux d'humidité peut entrainer d'importants désordres sur la structure du bâtiment et nuire au confort des usagers.

Une attention doit donc être portée aux capacités de séchage des murs et de l'évacuation de l'humidité vers l'extérieur.

Ses propriétés

La capacité hygroscopique

Il s'agit de la faculté d'un matériau à absorber le surplus de vapeur d'eau et à le restituer sans perdre ses propriétés.

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (mu - μ ; pas d'unité)

Il traduit la capacité du matériau à empêcher son franchissement par la vapeur d'eau. Plus le μ est faible, moins le matériau est étanche à la vapeur d'eau et permet donc l'évacuation de celle-ci vers l'extérieur. Un matériau peu résistant à la diffusion de vapeur d'eau est dit "perspirant".

La résistance à la diffusion de vapeur d'eau (Sd ; exprimée en m)

Tenant compte de l'épaisseur du matériau, cet indicateur rend mieux compte de la capacité du matériau à laisser traverser la vapeur. Plus le Sd est élevé, plus le matériau s'oppose à la migration de la vapeur d'eau.

Les matériaux dits conventionnels

Ces matériaux sont les plus utilisés en construction. Notamment le béton dont la production mondiale s'élèverait à plus de 6 milliards de mètres cubes par an, soit prés d'un mètre cube par habitant chaque année. Les autres matériaux sont l'acier, le verre, les plastiques, les matières synthétiques dérivées du pétrole.

Cf. les fiches : les bétons, les métaux, les isolants.

Les éco-matériaux

Le terme “éco-matériau“ est couramment utilisé mais il ne dispose pas de définition officielle ou normative.

Il s’agit d’un matériau dont l’impact sur l’environnement est supposé limité au cours de son cycle de vie. Les éco-matériaux présentés dans ce guide sont de trois origines différentes :

- Les matériaux biosourcés issus de la biomasse d’origine végétale à savoir le bois, la paille, le chanvre.
- Les matériaux géosourcés à savoir la terre crue.
- Les matériaux issus du recyclage à savoir le textile recyclé et la ouate de cellulose.

Hormis le bois, la paille et la terre, les éco-matériaux sont principalement utilisés en tant qu’isolant.

Cf. les fiches : le bois, la terre crue, le chanvre, la paille, la ouate de cellulose, le textile recyclé.

ATTENTION AUX IDÉES REÇUES

Bien qu’issus de la biomasse d’origine végétale ou animale, il s’agit de matériaux pouvant également contenir des additifs.

Comme d’autres matériaux, ils sont souvent mélangés et ne sont donc pas 100% naturels comme on pourrait le croire. Les additifs mélangés sont souvent des fongicides utilisés contre les insectes et les rongeurs qui pourraient se développer à l’usage de ces matériaux. Mais on retrouve également des retardateurs de flamme avec des effets de perturbations endocriniennes sur l’usage de ces composés.

Ce guide n’a pas vocation à présenter tous les éco-matériaux disponibles sur le marché. Sont présentés ici des matériaux potentiellement présents sur le territoire breton ou du Grand Ouest et/ou contribuant à l’économie locale.

▶ EXEMPLE DE CONSTRUCTION avec des éco-matériaux

Pôle performance de l’éco-construction, Ecobatys, Pays de Fougères (visite du15/06/2018)

Maître d’ouvrage : Coglais communauté

Maître d’œuvre : Atelier Loyer

Description

- Bâtiment passif (exemple de l’éco-construction et de la performance énergétique).
- Mode constructif :
  - Caissons bois/paille (isolation murs extérieurs).
  - Bardages châtaignier et chêne.
  - Parement en granit local.
  - Cloisons isolées en Métisse (acoustique).
  - Cloisons en terre.
- Les matériaux utilisés sont, pour la plupart, issus de ressources du Pays de Fougères et ses alentours.
- 90% des matériaux sont recyclables.
- Des capteurs sont disposés dans ces murs permettant ainsi un suivi précis de la régulation de la température et de l’humidité, tout au long de l’année.

Favoriser la valorisation des déchets grâce à une structuration récente du cadre juridique

Le secteur du BTP génère une quantité très importante de déchets. En 2014, les activités du BTP ont produit 227,5 millions de tonnes de déchets.

La proportion des déchets inertes réutilisés ou valorisés dès leur sortie de chantier est de 61% pour l'ensemble du secteur du BTP, contre 49% en 2008.

Chaque fois que l'on jette un matériau, deux conséquences négatives pour la planète sont relevées :

- L'appauvrissement du gisement de matières.
- L'augmentation des quantités de déchets à stocker (avec risque de pollution).

La valorisation des déchets du BTP présente ainsi une double plus-value environnementale :

- La préservation des ressources naturelles.
- La diminution du volume de déchets ultimes.

Les déchets de construction et de démolition sont aujourd'hui encore insuffisamment valorisés du fait de la difficulté de les trier finement. Selon la loi transition énergétique de 2015 l'objectif national en matière de valorisation des déchets pour 2020 est de 70 % des déchets non dangereux du BTP. Cet objectif n'a aucune portée normative. Il n'est pas obligatoire de le respecter pour chaque chantier. Il n'y a pas non plus de sanction prévue mais il s'agit d'un référentiel pour les acteurs de la construction.

Hiérarchie des modes de traitement des matériaux/déchets

En partant de celui qu'il faut privilégier :

- Réemploi des matériaux.
- Réutilisation des déchets.
- Recyclage des déchets.
- Toute autre valorisation des déchets, notamment la valorisation énergétique (utilisation comme combustible ou incinération avec récupération d'énergie).
- Élimination des déchets (en installation de stockage).

RÉEMPLOI

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus.

RÉUTILISATION

Toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui sont devenus des déchets sont utilisés de nouveau. La distinction entre réemploi et réutilisation suit le mode de collecte.

RÉUTILISATION (suite)

Avant l'entrée sur le site où les matériaux seront réemployés, il faut qu'un tri ait été effectué par un opérateur qui a la faculté d'accepter ce qui pourra être réemployé et de refuser ce qui deviendra déchet. Il s'agit du tri sélectif préalable in situ.

RECYCLAGE

Opération par laquelle la matière première d'un déchet est utilisée pour fabriquer un nouvel objet.

VALORISATION

Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets.

ÉLIMINATION

Toute opération qui n'est pas de la valorisation, même lorsque ladite opération a comme conséquence secondaire la récupération de substances, matières ou produits ou d'énergie. Les principaux exutoires d'élimination sont les installations de stockage et les incinérateurs.

SITE

L'emprise foncière, constituée de parcelles proches, comprise dans le périmètre d'une opération d'aménagement ou sur laquelle sera réalisée une opération de construction faisant l'objet d'un même permis d'aménagement ou faisant l'objet d'un même permis de construire.

Pour réutiliser un déchet, il doit sortir du statut juridique de déchet. D'où l'idée de privilégier le réemploi du matériau car la procédure de sortie du statut de déchet est complexe. Pour exemple, les terres excavées lors d'activités de construction n'ont pas le statut de déchet lorsqu'il est certain qu'elles seront utilisées aux fins de construction sur le site même de l'excavation. A contrario, les terres évacuées du site de leur excavation, qu'elles soient polluées ou non, prennent le statut de déchet. Donc, pour réutiliser des terres excavées sur un autre site, il faut qu'elles sortent du statut de déchet.

Connaître la procédure de sortie du statut de déchet

Selon l'article L. 541-4-3 du code de l'environnement :

- Le déchet doit être traité dans une installation spécifique **Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)** ou la **Nomenclature des Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements (IOTA)** soumises à autorisation ou à déclaration par la législation sur l'eau (article R214-1 du code de l'environnement).
- Le déchet doit subir une opération de valorisation, de recyclage ou de préparation en vue de la réutilisation.
- Le déchet doit répondre à 4 conditions :
  - La substance ou l'objet est couramment utilisé à des fins spécifiques.
  - L'existence d'une demande pour une telle substance (ou objet) ou la réponse à un marché.
  - La substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits.
  - Son utilisation n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine.
- Le déchet doit répondre à des critères techniques qui peuvent être pris en compte au niveau européen ou au niveau national par règlement.

Il est possible d'outrepasser cette procédure par :

- La sortie implicite : une sortie du statut de déchet est possible si une installation de production produit, fabrique, prépare, élabore ou transforme une substance, un mélange ou un article en utilisant des déchets comme matières premières.
- Les sous-produits : une substance ou un objet issu d'un processus de production dont le but premier n'est pas de produire ladite substance ou ledit objet.
- Les matériaux excavés utilisés à des fins de construction sur le site même de l'excavation.

Quitter ce statut de déchet permet de le valoriser économiquement ainsi que de lui rendre sa qualité de produit.

© DR

Recyclage de verre plat.

© DR

Recyclage de métaux.

© DR

Valorisation de papier recyclé : la ouate de cellulose, isolant.

© DR

Recyclage de plaques de plâtre.

Innover en s'appuyant sur de nouvelles procédures de réemploi des matériaux dans la construction

Une partie des déchets inertes est recyclée comme matériaux de construction de Travaux Publics (remblais, assises de chaussées, etc.) ou bien valorisée dans le cadre de réaménagement de carrières. En particulier, les bétons de démolition du BTP sont recyclés sous forme de granulats.

© J.Mignot / Rennes, Ville et Métropole

Réemploi des matériaux issus de la déconstruction d'un immeuble, rue de la Marbaudais, dans le cadre de la rénovation urbaine du quartier Maurepas.

- **ECOLE CENTRALE DE CHÂTENAY-MALABRY (HAUTS-DE-SEINE)**

  Les 100 000 tonnes de béton issues de la démolition seront broyées puis concassées pour être réemployées en totalité sous forme de granulats dans les futures voiries du projet et dans les bétons constructifs.

- **ZAC ANDROMÈDE (TOULOUSE)**

  5 000 m³ de terres excavées ont été récupérées pour les intégrer au béton de terre des murs et réaliser le jardin intérieur. Cela a permis de réemployer 10% de la terre excavée.

Le permis d'expérimenter (décret n°2019-184 du 11 mars 2019) :

Il permet de déroger à certaines règles en matière de construction dès lors que les moyens mis en œuvre conduisent à des résultats équivalents à ceux induits par ces règles et que ces moyens sont innovants. Les maîtres d'ouvrage devront alors prouver qu'ils atteignent les mêmes résultats que la solution réglementaire.

Il peut être utilisé par tout maître d'ouvrage d'une opération de construction nécessitant une autorisation d'urbanisme (permis de construire, d'aménager ou de démolir, déclaration préalable) ou une autorisation spécifique aux Etablissements recevant du public (ERP) ou aux monuments historiques.

Le maître d'ouvrage peut être autorisé à déroger aux règles relatives aux matériaux issus de la démolition ou de la réhabilitation lourde de bâtiments et à leur réemploi.

Les étapes à suivre sont les suivantes :

- Le maître d'ouvrage trouve un organisme indépendant qui lui délivrera l'attestation d'effet équivalent.
- Le maître d'ouvrage fournit son dossier de demande à l'organisme indépendant.
- L'organisme indépendant analyse le dossier et, s'il valide la solution, produit l'attestation d'effet équivalent grâce au site démarches-simplifiées.fr. Il la fournit ensuite au maître d'ouvrage.
- Le maître d'ouvrage joint l'attestation à sa demande d'autorisation d'urbanisme.
- Le maître d'ouvrage trouve un contrôleur technique, si son opération n'en requiert pas déjà un ou s'il souhaite avoir un contrôleur spécifique à cette mission.
- Le contrôleur technique vérifie que la mise en œuvre de la solution est conforme aux règles énoncées dans le dossier de demande d'attestation, validées et rappelées par l'attestation. Il délivre à la fin des travaux une attestation de bonne mise en œuvre de la Solution d'Effet Equivalent (SEE).

Pour inciter les maîtres d'ouvrage à recourir au permis d'expérimenter, il a été mis en place un appel à manifestation d'intérêt reposant sur l'accompagnement des acteurs par l'administration et ses établissements publics ainsi qu'un un soutien financier à l'ingénierie.

Le soutien financier à l'ingénierie : l'administration propose un soutien financier au surcoût d'ingénierie lié à l'établissement de la solution d'effet équivalent ainsi qu'aux coûts liés à la constitution du dossier de demande d'attestation.

Le financement de l'organisme délivrant l'attestation : l'administration propose de financer tout ou partie du coût de l'organisme délivrant l'attestation d'effet équivalent.

Ces deux sources de financement sont octroyées dans la limite de 10 000 € par projet.

L'expérimentation "achats innovants" (décret n° 2018-1225 du 24 décembre 2018)

Cette expérimentation de trois ans permet aux acheteurs de passer des marchés négociés sans publicité ni

mise en concurrence préalable pour leurs achats innovants d'un montant inférieur à 100 000 € HT.

Il est possible de conclure un marché de gré à gré avec une entreprise pour l'acquisition d'une solution innovante alors même qu'une solution non-innovante pourrait répondre au besoin ou que plusieurs opérateurs économiques pourraient proposer des solutions innovantes alternatives.

Sont innovants les travaux, fournitures ou services nouveaux ou sensiblement améliorés. Le caractère innovant peut consister dans la mise en œuvre de nouveaux procédés de production ou de construction, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures de l'entreprise.

C'est une dérogation aux règles de la commande publique.

Bien intégrer ses obligations pour les maîtres d'ouvrage

Les maîtres d'ouvrage doivent formuler leurs exigences en matière de gestion des déchets dès la phase de rédaction des marchés de travaux. Ceci en intégrant les prescriptions "déchets" dans le **Cahier des Clauses Techniques et Particulières (CCTP).** Pour des exemples de clauses, il est possible de se référer au **"Guide d'accompagnement de la Maîtrise d'ouvrage et de la Maîtrise d'œuvre. Intégration des prescriptions "Déchets" dans les CCTP et les contrats cadres de chantiers de réhabilitation lourde et de démolition" rédigé par DÉMOCLÈS[5].**

Les collectivités peuvent demander que les entreprises qui répondent à un marché public leur remettent un **Schéma d'Organisation et de Suivi de l'Elimination des Déchets de chantier (SOSED)** pour s'assurer que la gestion des déchets issus des TP soit prise en compte dans les marchés de travaux.

Les obligations en amont du chantier

- La caractérisation des déchets (dangereux, non-dangereux, inertes) doit être faite par le producteur de déchets et, à défaut, par le détenteur.
- Le diagnostic déchets doit être réalisé à la demande du maître d'ouvrage par un professionnel de la construction avant une démolition. Cela permet d'avoir des informations quant à la nature, la quantité et la localisation dans l'emprise de l'opération de démolition des matériaux de construction constitutifs des bâtiments ainsi que des déchets résiduels issus de l'usage et de l'occupation des bâtiments. Il permet de prévoir les types de traitement possible (cf. hiérarchie des modes de traitement).

Les obligations au cours du chantier et ultérieures

- La justification de la nature et de la finalité "valorisation" du recours à des déchets s'il est fait usage de déchets pour travaux d'aménagement, de réhabilitation ou de construction. La contrepartie financière pour le propriétaire du terrain qui accepte des déchets est interdite (cela ne s'applique ni aux utilisations des déchets dans des ouvrages supportant un trafic routier, ni aux carrières en activité).
- La traçabilité des déchets dans le registre de suivi pour les déchets inertes ou non-dangereux et le bordereau de suivi pour les déchets dangereux.
- La bonne gestion des déchets par le titulaire de la police des déchets, à savoir le maire. (En cas de carence du maire ou si les déchets sont issus de l'activité d'une Installation Classée pour la protection de l'environnement (ICPE), il peut être remplacé par le préfet).

Bien connaître ses responsabilités pour les maîtres d'ouvrage

Point de vigilance

Pour les développements qui suivent, le producteur de déchets est responsable de premier rang et le détenteur de déchets responsable de second rang (à défaut).

Dans le cas du réemploi de matériaux

Les matériaux ne deviennent jamais des déchets. Les responsabilités engagent plusieurs interlocuteurs :

- Maître d'ouvrage : en tant que propriétaire des matériaux, il doit souscrire à une assurance dommages-ouvrage :
- En cas de vente de matériaux réemployables, le nouveau propriétaire en sera responsable (l'ancien propriétaire restera responsable en cas de produit défectueux, par le recours à la garantie de conformité et de garantie des vices cachés).
- En cas de don de matériaux réemployables, le donneur n'est pas responsable au titre du code de l'environnement car le matériau échappe au statut de déchet. Il n'est donc pas considéré comme producteur ou détenteur de déchet. Le donneur n'est pas responsable en tant qu'ancien propriétaire (attention toutefois s'il a fabriqué de toute pièce ou modifié en profondeur l'objet et si le dommage est directement dû à la structure de l'objet). Le donneur n'est pas non plus tenu d'une obligation d'information ni d'une obligation de garantie. Le donneur, enfin, n'est pas responsable au titre de la législation sur les produits défectueux
- Entreprise de travaux : elle est responsable contractuellement ou au titre de la responsabilité civile des choses qu'elle a sous sa garde. Elle doit avoir souscrit un contrat en responsabilité civile décennale.
- Architecte : en cas de défaillances techniques ou engendrées par des problèmes sanitaires ou environnementaux. Il doit veiller à adapter les contrats d'assurance afin que les éventuels dommages causés par des matériaux réemployés soient couverts.
- Constructeur : il est responsable au titre de la responsabilité décennale.

Dans le cas de la réutilisation de déchets

Les matériaux deviennent des déchets. Les responsabilités engagent plusieurs interlocuteurs :

- Maître d'ouvrage : en tant que producteur des déchets, il doit tenir un registre de suivi des déchets et doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
  - En cas de vente : l'acquéreur est responsable.
- Entreprise de travaux : en tant que détentrice des déchets (tout comme le maître d'ouvrage).
- Transporteur des déchets : en tant que détenteur des déchets, il doit effectuer une déclaration préalable en préfecture pour la collecte et le transport et doit tenir un registre de suivi des déchets. Il doit aussi s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Exploitant de l'installation de tri des déchets : en tant que détenteur des déchets, il doit réaliser une déclaration ou un enregistrement ou avoir obtenu une autorisation au titre de la réglementation des ICPE. Il doit aussi tenir un registre de suivi des déchets et doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge

Dans le cas du recyclage de déchets

Les matériaux deviennent des déchets. Cependant, si ces déchets sont recyclés et ensuite incorporés dans un nouveau produit, dans une installation classée de production, de fabrication, de préparation, d'élaboration ou de transformation, ils sortent du statut de déchet. Les responsabilités engagent plusieurs interlocuteurs :

- Maître d'ouvrage : en tant que producteur des déchets, il doit tenir un registre de suivi des déchets et doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Entreprise de travaux : en tant que détentrice des déchets, elle doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Transporteur des déchets : en tant que détenteur des déchets, il doit effectuer une déclaration préalable en préfecture pour la collecte et le transport et doit tenir un registre de suivi des déchets. Il doit aussi s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Exploitant de l'installation de recyclage (le cas échéant, de tri/transit) des déchets : en tant que détenteur des déchets, il doit réaliser une déclaration (ou un enregistrement) ou avoir obtenu une autorisation au titre de la réglementation des ICPE. Il doit tenir un registre de suivi des déchets et s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Exploitant de l'installation de production des produits (au sein de laquelle sont recyclés des déchets) : en tant que détenteur de ces déchets, il est responsable de leur bonne gestion jusqu'à leur incorporation dans un produit au cours du processus de fabrication.

Dans le cas de la valorisation des déchets

Les matériaux deviennent des déchets. Les responsabilités engagent plusieurs interlocuteurs :

- Maître d'ouvrage : en tant que producteur des déchets, il doit tenir un registre de suivi des déchets et doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Entreprise de travaux : en tant que détentrice des déchets, elle doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Transporteur des déchets : en tant que détenteur des déchets, il doit effectuer une déclaration préalable en préfecture pour la collecte et le transport et doit tenir un registre de suivi des déchets. Il doit aussi s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Installation de tri/transit/recyclage des déchets : en tant que détentrice des déchets, elle doit réaliser une déclaration (ou un enregistrement) ou avoir obtenu une autorisation au titre de la réglementation des ICPE. Elle doit tenir un registre de suivi des déchets et doit s'assurer que les déchets sont remis à une personne autorisée à les prendre en charge.
- Opérateur de valorisation finale : en tant que détenteur des déchets, il est responsable de leur bonne gestion jusqu'à leur valorisation finale.

En cas d'élimination des déchets

Les déchets ne pouvant pas être réutilisés, recyclés ou valorisés, sont transportés jusqu'à un centre de stockage de déchets. Les producteurs et les détenteurs des déchets ne sont plus responsables à compter de l'élimination des déchets. Les responsabilités engagent plusieurs interlocuteurs :

- Installation d'élimination des déchets : en tant que détentrice des déchets, elle doit avoir obtenu une autorisation au titre de la réglementation des ICPE.
- Producteur ou détenteur de déchets : il est engagé solidairement à celle du tiers qui assure l'élimination du déchet s'il n'en était pas autorisé.

POUR ALLER PLUS LOIN

Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)
https://www.cstb.fr/fr/

Agence qualité construction (AQC)
http://www.qualiteconstruction.com/

Association pour la CERtification des Matériaux Isolants (ACERMI)
https://www.acermi.com/fr/

Base de données française sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction (INIES)
https://www.inies.fr/accueil/

Fédération française du bâtiment (FFB)
https://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/travaux/les-qualifications-et-certifications.html

Fédération française du bâtiment (FFB)
https://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/le-batiment-et-vous/travaux/les-nf-dtu.html

Bureau de normalisation des techniques et équipements de la construction du Bâtiment (BNTEC)
http://www.bntec.fr/

Climaxion, Guide des matériaux isolants. Manuel technique pour une isolation efficace et durable, 2018
https://www.climaxion.fr/docutheque/conseils-guide-materiaux-isolants-manuel-technique-isolation-efficace-durable

EFFINERGIE, Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie. Guide à destination des professionnels du bâtiment
https://www.effinergie.org/images/BaseDoc/43/guideEFFInationale.pdf

Etudes et guides de l'ADEME
https://www.ademe.fr/lademe

Guide d'application du « Permis d'expérimenter »
https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/permis-dexperimenter-faciliter-la-realisation-des-projets-de-construction-et-favoriser-linnovation

Guide pratique. Achat public innovant
https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/conseil_acheteurs/guides/guide-pratique-achat-public-innovant.pdf

DEMOCLES, Guide d'accompagnement de la Maîtrise d'ouvrage et de la Maîtrise d'œuvre. Intégration des prescriptions « Déchets » dans les CCTP et les contrats cadres de chantiers de réhabilitation lourde et de démolition », 2018
https://www.recylum.com/democles-2/

ADEME, Fiche technique, Déchets des travaux publics, 2014
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-dechets-des-travaux-publics-201412.pdf

Déchets de chantier
www.dechets-chantier.ffbatiment.fr

TEXTES DE RÉFÉRENCE

Code de l'environnement.

24 décembre 2018 : décret n° 2018-1225 portant diverses mesures relatives aux contrats de la commande publique.

11 mars 2019 : décret n°2019-184 relatif aux conditions d'application de l'ordonnance n°2018-937 du 30 octobre 2018 visant à faciliter la réalisation de projets de construction et à favoriser l'innovation.

NOTES

1. Pour vérifier qu'un produit ou procédé est inscrit sur la liste verte de la C2P : http://listeverte-c2p.qualiteconstruction.com/
2. Les ATec et ATex sont consultables sur le site du CSTB : https://evaluation.cstb.fr/fr/evaluations/
3. Les FDES sont consultables sur la base INIES : http://www.inies.fr.
4. Nous sommes en Bretagne et notamment en Ille et Vilaine, en zone sismique 1 qui oblige à prendre des dispositions liées aux contraintes sismiques sur des bâtiments recevant du public.
5. DÉMOCLÈS est une plateforme collaborative d'acteurs lancée fin 2014 à l'initiative de l'éco-organisme Récylum. Elle vise à améliorer les pratiques en matière de prévention et de gestion des déchets du second œuvre issus de chantiers de réhabilitation lourde et de démolition. DÉMOCLÈS a pour ambition d'orienter ces déchets vers les filières de valorisation.

LIVRET 3

QUELLES PISTES POUR UNE COMMANDE DE BÂTIMENTS PLUS VERTUEUX ?

SOMMAIRE

Améliorer la rédaction des cahiers des charges 3

Définition et fonction du cahier des charges 3

Les grands principes de la commande publique 4

Le sourcing : une procédure encouragée 4

Quelques pistes pour faire évoluer son cahier des charges 4

Se centrer sur des objectifs plutôt que sur des natures de matériaux 4

Ne pas imposer de pourcentage d'utilisation de matériaux 5

S'entourer d'une équipe de médiation 5

Les grandes familles d'objectifs à prendre en compte et leurs enjeux 5

Mieux utiliser les matériaux écologiques et conventionnels 5

Améliorer la performance énergétique et environnementale des bâtiments 5

Construire local 6

Construire des bâtiments favorables à la santé et au bien-être des usagers 8

En conclusion 9

Mieux appréhender les coûts de construction 10

Dès la phase amont 10

Une approche coût global à privilégier 10

Des questions à se poser 11

En conclusion 12

Annexe 1 15

Annexe 2 18

Annexe 3 19

Améliorer la rédaction des cahiers des charges

Définition et fonction du cahier des charges

LE CAHIER DES CHARGES

D'un point de vue général, un cahier des charges décrit avec le plus de précisons possibles les besoins auxquels un prestataire doit répondre à un commanditaire et organise la relation entre les différents acteurs mobilisés pour ce projet et ce, tout au long de sa durée.

Le cahier des charges d'un maître d'ouvrage à destination des maîtres d'œuvre a pour fonction de formaliser les attendus et les objectifs de sa commande avec un architecte afin de contractualiser la conception et le mode constructif d'un bâtiment.

L'écriture de ce cahier des charges doit être précise et rédigée dans un langage simple non réservé uniquement aux spécialistes. Parvenir à simplifier la rédaction du cahier des charges et éviter l'écueil du texte trop procédurier ou technique est essentiel afin de susciter l'adhésion au projet et la motivation à y répondre auprès des différents acteurs.

Avant d'être définitivement formalisé, le cahier des charges doit préalablement faire l'objet d'une réflexion approfondie du maître d'ouvrage et de ses services autour de trois axes :

- Les destinataires cibles du projet.
- Les usages principaux et secondaires.
- Les orientations architecturales et environnementales.

Cette réflexion nécessite de la méthode afin de se fixer des objectifs précis mais aussi un minimum de culture dans la fabrique d'un projet de construction.

Mal maîtriser le jargon des professionnels peut être un obstacle à la compréhension des étapes du processus de construction. De la programmation d'un projet à la livraison du bâtiment, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des acteurs impliqués et de leur rôle respectif (architecte, économiste, bureau de contrôle, etc.).

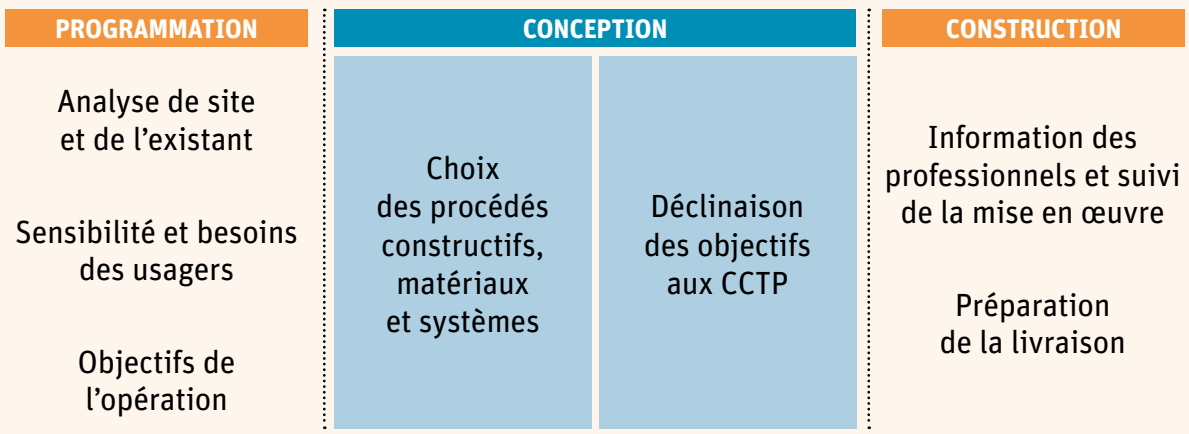
Il est également essentiel de bien identifier les différentes étapes qui jalonnent ce processus de construction, formalisées dans différents documents :

- ESQ : études d'esquisse
- APS : Avant-projet sommaire
- APD : Avant-Projet Détaillé
- PRO : Etudes de projet
- ACT : Assistance à la passation des Contrats de Travaux
- EXE : Etudes d'exécution

Le schéma suivant permet d'avoir une vision globale de l'ensemble du processus conduisant de l'idée première d'un projet à sa concrétisation dans un bâtiment.

Cette phase préalable à la rédaction du cahier des charges sera d'autant plus pertinente que les maîtres d'ouvrage auront tiré des enseignements de leurs constructions précédentes, évitant ainsi de reproduire les mêmes erreurs, mais aussi d'améliorer ce qui a déjà bien fonctionné.

UNE DÉMARCHE DE LA PROGRAMMATION À LA LIVRAISON DES BÂTIMENTS



Source : Indiggo

Les grands principes de la commande publique

Au préalable, il est important de rappeler les principes fondamentaux de la commande publique :

- Transparence des procédures.
- Egalité de traitement des candidats.
- Libre accès à la commande publique.

Ces principes ont pour objectif de garantir une bonne gestion des deniers publics, de favoriser l'efficacité de la commande publique et d'assurer une concurrence effective entre les candidats.

Ce que cela implique

- Définir au préalable les besoins (nature et étendue) de l'acheteur public, à savoir, raisonner en termes de besoin opérationnel (qualité et performance). Même si un type de matériau est souhaité, la commande ne doit pas être trop restrictive pour permettre au plus grand nombre de candidats, notamment les entreprises locales, de participer.
- S'assurer d'une publicité adaptée et d'une mise en concurrence.
- Respecter l'obligation de choisir l'offre la plus économiquement avantageuse et pas seulement en termes de prix (principe de coût global - voir chapitre suivant).
- S'assurer de la non-discrimination des candidats, les conditions de la concurrence ne pouvant avantager une ou plusieurs entreprises.

En amont de tout projet, la loi autorise et encourage même les acheteurs publics à développer leur connaissance du tissu économique et industriel par la pratique du sourcing (ou sourçage).

Le sourcing : une procédure encouragée

LE SOURCING

Vecteur de modernisation et de transparence, le sourcing permet aux acheteurs publics d'améliorer l'efficacité de leurs procédures. L'acheteur public peut ainsi effectuer des consultations ou réaliser des études de marché, solliciter des avis ou informer les opérateurs économiques de son projet et de ses exigences.

Le sourcing autorise la recherche en amont des fournisseurs, permet d'appréhender le marché des matériaux et des prestations de mise en œuvre et ce, avant le lancement de toute procédure.

Prendre le temps du sourcing permet de :

- Mieux appréhender le domaine concurrentiel et les capacités des opérateurs à répondre aux exigences sans surcoût.
- Mieux connaître l'offre de technicité et des produits existants.
- Repérer des solutions innovantes et aider à la rédaction du cahier des charges.
- Informer les opérateurs de son projet et de ses exigences.

L'objectif premier du sourcing est ainsi d'améliorer l'efficacité de l'achat public en contribuant à une meilleure définition du besoin tout en améliorant l'adéquation de ce besoin avec l'offre disponible.

Point de vigilance

La maîtrise d'ouvrage devra cependant rester vigilante sur deux points :

- Le sourcing s'inscrit en amont de toute relation contractuelle.
- Les principes de la commande publique doivent être respectés :

> *"Les résultats de ces études et échanges préalables peuvent être utilisés par l'acheteur, à condition qu'ils n'aient pas pour effet de fausser la concurrence et qu'ils n'entraînent pas une violation des principes de liberté d'accès à la commande publique, d'égalité de traitement des candidats et de transparence des procédures." (Extrait du décret 2016-360)*

Pour utiliser un matériau particulier, repéré lors du sourcing, il convient de décrire le besoin à partir de spécifications techniques tout en tenant compte des caractéristiques des produits locaux (résistance, aspect du rendu, etc.). Il s'agit également de se référer à des normes et/ou des performances fonctionnelles. Il faut, ainsi, détailler les spécifications d'un écolabel sans pour autant exiger l'écolabel en tant que tel. Prenons l'exemple du bois et l'impératif d'adjoindre à la mention d'une essence le terme "ou équivalent" si d'autres essences peuvent remplir le besoin exprimé.

Quelques pistes pour faire évoluer son cahier des charges

SE CENTRER SUR DES OBJECTIFS PLUTÔT QUE SUR DES NATURES DE MATÉRIAUX

Afin de réussir l'intégration de matériaux écologiques dans les projets, il est conseillé de se détacher d'un matériau spécifique. Par exemple, il sera demandé une attention à la qualité de l'air intérieur, au faible impact environnemental, à des coûts raisonnables, etc. Les matériaux seront ensuite choisis en fonction de ces objectifs.

La rédaction du cahier des charges doit encourager un panel de solutions et de scénarios (variantes) qui permettent au maître d'ouvrage de prendre des décisions en connaissance des solutions possibles. Pour chaque objectif à atteindre, des pistes de solutions seront proposées ainsi qu'une stratégie dans les choix des prestataires, voire des dispositifs d'accompagnement et d'évolution des matériaux proposés. L'anticipation des problèmes envisagés et la recherche de solutions alternatives seront encouragées par des temps d'échanges

et de négociation entre les partenaires du projet. Des délais suffisants seront accordés pour trouver des solutions aux problèmes constatés tant au moment de la conception, de la réalisation qu'à la livraison du bâtiment aux usagers. Autoriser les variantes présente plusieurs avantages pour l'opérateur qui peut ainsi :

- Proposer des spécifications techniques plus adaptées au besoin.
- Faire valoir une solution alternative et/ou innovante, et/ou durable, méconnue de l'acheteur.
- Formuler une proposition financière plus intéressante ou plus performante à un prix équivalent.

Il s'agit de poser le cadre d'un dialogue constructif avec son maître d'œuvre tout en y associant les acteurs susceptibles de l'aider à améliorer sa proposition (usagers, experts des usages, assureurs, bureaux de contrôle attentifs aux innovations, entreprises de construction de gros œuvre et de second œuvre). Cela permettra de déterminer une forme architecturale originale. Cela ne sera pas au sens extraordinaire et coûteux du terme mais plutôt selon l'idée qu'il ne s'agit pas d'une simple réplique de ce qui se fait traditionnellement en s'adaptant aux matériaux choisis.

NE PAS IMPOSER DE POURCENTAGE D'UTILISATION DE MATÉRIAUX

Il est conseillé de ne pas imposer de pourcentages ou de quantité au m² de matériaux dans un cahier des charges mais plutôt de laisser une liberté afin de permettre au maître d'œuvre une plus grande créativité et, ainsi, lui permettre de proposer des matériaux correspondant aux objectifs à atteindre. Ce qui enclenchera un système vertueux au moment de la conception du projet.

S'ENTOURER D'UNE ÉQUIPE DE MÉDIATION

Le maître d'ouvrage qui s'entoure d'une équipe de médiation forme ainsi une courroie de transmission autour de sa volonté politique de réussir son projet. Il accompagne les équipes de maîtrise d'œuvre, les entreprises de construction et les usagers dans une dynamique de partenariat permettant la réussite du projet pour tous.

Les grandes familles d'objectifs à prendre en compte et leurs enjeux

MIEUX UTILISER LES MATÉRIAUX ÉCOLOGIQUES ET CONVENTIONNELS

Dans un contexte où la réduction des gaz à effet de serre est une priorité, l'un des intérêts des matériaux biosourcés repose dans leur capacité d'absorption du carbone. L'opération aura pour ambition de contribuer au développement de "solutions constructives" mettant en œuvre des matériaux en gros œuvre et en second œuvre "à faible impact environnemental, issus de ressources locales".

Si les éco-matériaux sont privilégiés, les matériaux dits conventionnels ne sont pas pour autant à exclure de l'opération mais leur recours devra être réduit autant que possible et être en complémentarité avec les matériaux écologiques proposés.

Une réflexion pourra être engagée avec les filières des matériaux écologiques et/ou issus du recyclage (bois, chanvre, terre crue, bétons biosourcés, granulats de démolition, etc.) afin d'imaginer l'enveloppe et la structure du bâtiment tout en étudiant les possibilités de combinaison entre les matériaux naturels et les matériaux plus conventionnels (béton, brique, acier, etc.). Une implication des acteurs des filières conventionnelles sera également proposée.

Les projets proposant des procédés constructifs innovants articulant éco-matériaux et technicité conventionnelle retiendront particulièrement l'attention.

AMÉLIORER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS

Chaque projet devra trouver un équilibre entre les principes fondamentaux de la commande publique et l'intégration des dimensions environnementales et sociales dans toutes les étapes du processus d'achat et ce, depuis la définition des besoins jusqu'à l'exécution du marché.

> *"L'acheteur public a l'obligation, au moment de la définition de son besoin, de réfléchir à l'intégration des principes du développement durable" (Ord. n° 2015-899, 23 juill. 2015).*

La conception du bâtiment veillera à la qualité des ambiances visuelles et sonores et à la qualité de l'insertion du bâtiment dans le paysage naturel et urbain.

La conception architecturale s'assurera que, sur le plan thermique, plusieurs caractéristiques soient prises en compte. L'orientation géographique privilégiant une architecture bioclimatique[1], il faudra notamment assurer :

- La prise en compte des données physiques et climatiques du site.
- L'orientation et la surface des baies vitrées prenant en compte les déperditions d'énergies.
- Le confort d'été et d'hiver.
- Les zones thermiques susceptibles de réduire les coûts de construction et d'exploitation (les coûts de chauffage).
- L'inertie thermique du bâtiment visant à stabiliser la température intérieure sans surcoût de chauffage ou de climatisation.

Les vulnérabilités des constructions au changement climatique devront aussi être anticipées par de "nouveaux standards" ainsi que par les recommandations du Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) de la métropole rennaise. Il s'agit de recommandations en matière de rénovations lourdes et de nouvelles constructions concernant les risques et dommages

liés à la sécheresse, au retrait-gonflement des sols, aux risques d'inondation, aux périodes de canicule et de températures plus élevées ainsi que d'approvisionnement en eau et en énergie.

Il pourra être aussi suggéré que les contraintes d'entretien du bâtiment soient anticipées dans les propositions de conception et de réalisation.

CONSTRUIRE LOCAL

LA FILIÈRE BOIS

La filière bois est intéressante à étudier en termes de valeur économique et sociale ajoutée localement. Ce sont des flux financiers mais aussi de la main d'œuvre humaine régulant potentiellement la vie sociale des territoires. L'étude du circuit de sa provenance permet les calculs suivants :

- Si le bois vient d'ailleurs tout scié, on calcule 0 % de valeur ajoutée locale.
- Si le bois provient de Finlande, qu'il est scié et transformé en Bretagne, on calcule environ 10 % de valeur ajoutée localement.
- Même si ce constat est encourageant, le bois venu et transformé localement représente 100 % de valeur ajoutée pour la région Bretagne.

Dans un objectif de développement durable, la maîtrise d'ouvrage est tentée de limiter l'impact environnemental des approvisionnements des matériaux. Souvent sont souhaités des matériaux d'origine française et même d'origine bretonne et/ou transformés en Bretagne permettant des circuits courts liés à des filières locales. Mais le "localisme" est strictement encadré.

Une construction "locale" peut s'entendre par :

- Une utilisation de matières premières locales (paille, chanvre, bois, etc).
- Une utilisation d'un matériau de construction produit par une entreprise locale.
- Le recours à des entreprises locales de mise en œuvre

Mais il n'existe pas de définition précise de la notion de "local" et celle-ci varie selon les personnes : national, régional, département, communal, etc.

Toutefois, quelle que soit l'échelle considérée, les marchés publics ne peuvent être attribués sur la base d'une préférence locale ou nationale :

> *"Les spécifications techniques ne peuvent pas faire mention d'un mode ou procédé de fabrication particulier ou d'une provenance ou origine déterminée, ni faire référence à une marque, à un brevet ou à un type lorsqu'une telle mention ou référence est susceptible de favoriser ou d'éliminer certains opérateurs économiques ou certains produits. Toutefois, une telle mention ou référence est possible si elle est justifiée par l'objet du marché public ou, à titre exceptionnel, dans le cas où une description suffisamment précise et intelligible de l'objet du marché public n'est pas possible sans elle et à la condition qu'elle soit accompagnée des termes 'ou équivalent'."*
> *Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016.*

La réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre ne peut pas servir d'argument à l'introduction d'un critère de sélection des offres basé sur la proximité géographique :

> *"La proximité géographique d'une entreprise, dans le but de réduire les émissions de CO_2, ne peut être en tant que telle intégrée comme critère de sélection des offres : un tel critère présente un caractère discriminatoire au détriment des entreprises les plus éloignées." Réponse du Ministère en charge de l'Économie à la question écrite n° 10874 de M. Gérard Bailly le 12/11/2009 au Sénat.*

Sans remettre en cause la prohibition du localisme, l'inclusion de considérations environnementales liées aux modalités de production, de transformation des produits ou de livraison peut ouvrir le marché prioritairement aux entreprises de proximité mais, cela ne doit pas être leur finalité.

Il existe d'autres manières d'introduire une disposition environnementale dans un marché public :

> *"La prise en compte des préoccupations environnementales dans le code des marchés publics ne se limite pas à l'attribution mais s'étend à tous les stades de la procédure : formulation des spécifications techniques, rédaction du cahier des charges, insertion de clauses d'exécution. En particulier, l'article 14 du code[2] permet aux pouvoirs adjudicateurs d'exiger comme condition d'exécution du marché la limitation des émissions de gaz à effet de serre, ce qui n'implique pas nécessairement une exigence de proximité de l'entreprise mais plutôt une démarche environnementale dans l'exécution du marché en termes d'implantation du chantier ou de moyens de transport utilisés".*
> *Guide de l'achat public. L'achat public : une réponse aux enjeux climatiques.*

La maîtrise d'ouvrage est donc autorisée à faire figurer, dans ses spécifications techniques comme dans les critères d'attribution de ses marchés, l'impact environnemental d'un produit. Cela intervient non seulement pendant son utilisation mais aussi sur tout ou partie de son cycle de vie avec la possibilité d'ajouter la mention "écologique", "à faible impact environnemental" ou "à faibles incidences environnementales" dans l'objet du marché.

▶ EXEMPLE DE RÉHABILITATION
avec un niveau élevé de performance énergétique pour un nouvel usage de ce bâtiment

Réhabilitation d'une grange en salle intergénérationnelle, Luitré, Ille-et-Vilaine (visite du 15/06/ 2018)

Maître d'ouvrage : Commune de Luitré

Maître d'œuvre : Laurent &Associés

Description

Système constructif de base :
- Ancienne grange en pierres maçonnées
- Charpente bois
- Ardoises naturelles et ardoises amiantées
- Dalle Béton

Matériaux de rénovation bio sourcés et équipements :
- Cloisons Fermacell
- Laine de bois pour l'isolation des façades
- Ouate de cellulose en vrac pour l'isolation de la toiture
- Vitrages/ menuiseries extérieures alu triple vitrage (Uw=1)
- Ventilation, VMC double flux
- Chaudière à condensation Bois granulés

Projet qui s'inscrit dans l'appel à projet « bâtiment performant » de l'ADEME soit RT existante - 50 % et division par 4 du CEP avant travaux (Bâti non isolé/non occupé)
- Objectif d'optimiser l'efficacité du bâtiment tout en préservant le niveau et la qualité du service rendu et du confort d'usage
- Réalisation en amont d'une Simulation Thermique Dynamique par un bureau d'étude thermique pour aider maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre dans le choix des meilleures solutions techniques
- Projet appréhendé sous l'angle du coût global

Dans ce cas, il faudra être attentif aux points suivants :

- L'ensemble des critères pris en compte doivent être explicitement mentionnés, dans les documents d'appel d'offres, leur contenu précisé et les modalités d'appréciation définies.
- Les critères doivent être liés aux besoins de l'acheteur et donc à l'objet du marché.
- Les critères sont objectivement quantifiables. Il est à noter que toute forme de preuve de conformité doit pouvoir être acceptée.
- Les considérations sociales et environnementales pouvant être indiquées dans les conditions d'exécution du marché n'ont pas d'effet discriminatoire.

Si la volonté est de mesurer la qualité environnementale d'un matériau par rapport à un autre, c'est une Analyse du Cycle de Vie (ACV) ou, au minimum, un bilan carbone qu'il faut demander. Dans ce cas :

- Le maître d'ouvrage doit préciser le contenu et les paramètres pris en compte (notamment le logiciel à utiliser) afin que chaque candidat s'appuie sur les mêmes modes de calcul.
- Il doit s'agir de critères objectifs et légaux. Cependant, il peut être difficile pour les candidats au marché d'établir ces évaluations en amont des projets (en raison de l'investissement financier de ces études, de la nécessité de disposer d'une vision globale sur les process, l'approvisionnement, etc.)
- Il peut être envisagé de demander aux candidats de fournir des informations et, ainsi, laisser le maître d'ouvrage réaliser lui-même le Bilan Carbone ou l'ACV. Cela permettra au plus grand nombre de répondre, notamment les TPE et PME. Il peut, par exemple, être proposé aux entreprises de compléter une grille indiquant le volume des matériaux, les lieux de production et de transformation, le degré de préfabrication ainsi que le mode de transport, le type de véhicule utilisé ou les distances de la récolte du bois à la livraison du produit.

Autres conseils pour faciliter l'accès des PME et TPE locales à la commande publique :

- Simplifier et clarifier la rédaction des cahiers des charges.
- Simplifier les procédures de consultation.
- Encourager les groupements d'entreprises.
- Favoriser les supports de publicité locaux pour les marchés dont le montant est inférieur au seuil de publicité imposée (90 000 € pour les marchés de travaux).
- Susciter la plus large concurrence entre les entreprises, quelle que soit leur taille, par l'allotissement. Cela pose l'allotissement comme principe général, le marché unique devenant désormais l'exception. Cela nécessite également d'avoir une connaissance extrêmement fine du secteur économique, que ce soit au niveau des prestations proposées que des opérateurs économiques susceptibles de répondre.

L'ALLOTISSEMENT

Fractionnement d'un marché en plusieurs sous-ensembles appelés "lots" susceptibles d'être attribués séparément et de donner lieu, chacun, à l'établissement d'un marché distinct. Ces lots sont fractionnés en fonction des caractéristiques techniques distinctes des prestations ou de la structure du secteur économique concerné. Par principe, les marchés publics sont allotis.

Par ailleurs, un nouveau dispositif représente une opportunité dans le domaine des produits biosourcés qui génèrent des innovations sur les produits, les procédés de fabrication ou de commercialisation. Le décret n° 2018-1225 du 24 décembre 2018 a créé une expérimentation de trois ans permettant aux acheteurs de passer des marchés négociés pour leurs achats innovants d'un montant inférieur à 100 000 €.

ACHAT INNOVANT

Cette définition reste assez souple. Une innovation correspond à une idée nouvelle, une invention qui a été mise en œuvre et lancée (ou en cours de lancement) sur le marché. L'innovation se distingue donc de l'invention ou de la découverte par son caractère opérationnel : elle est sur le point ou vient d'être commercialisée[3].

Le code de la commande publique dispose que :

"Sont considérés comme innovants les travaux, fournitures ou services nouveaux ou sensiblement améliorés. Le caractère innovant peut consister dans la mise en œuvre de nouveaux procédés de production ou de construction, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures de l'entreprise".

Pour la réussite du projet et éviter des surcoûts en phase chantier, la maîtrise d'ouvrage doit garder en mémoire que tous les candidats, de la maîtrise d'œuvre, bureaux d'études aux entreprises, ne maîtrisent pas nécessairement la construction avec un tel éco-matériau demandé. Il importe donc, lors de la consultation pour la maîtrise d'œuvre, puis celle des entreprises, d'exiger des compétences conformes aux intentions du projet et des références qui seront à vérifier, demander de faire référence aux règles professionnelles.

CONSTRUIRE DES BÂTIMENTS FAVORABLES À LA SANTÉ ET AU BIEN-ÊTRE DES USAGERS

Les malfaçons et le mauvais suivi du chantier peuvent avoir des conséquences graves sur la qualité sanitaire du bâtiment et, par conséquent, sur la santé des usa-

gers. Il peut donc être “exigé” plutôt que “conseillé” plusieurs objectifs de mise en œuvre et de conception du bâtiment.

Les exigences

- La phase chantier doit être planifiée de sorte que les conditions et le délai de séchage des matériaux soient respectés afin d'éviter le développement de moisissures.
- Les conditions de stockage et de protection des matériaux (sensibles à l'humidité – isolants par exemple et/ou à la poussière – gaines de ventilation) doivent être respectées.
- La vigilance dans la mise en œuvre du système de ventilation et de l'assemblage des matériaux (structurels et de finition) doit être respectée.
- Des matériaux et produits peu émissifs dans tous les corps d'état doivent être utilisés et tout particulièrement le revêtement de sol, la menuiserie, la peinture. Il sera encouragé des matériaux avec des labels plus exigeants que l'étiquetage obligatoire.

● LA VENTILATION

- Adapter la ventilation au bâtiment.
- Privilégier un tracé de réseau le plus linéaire possible (éviter les coudes et les chevauchements) dès la conception et l'organisation du chantier.
- S'assurer de l'accessibilité du système pour faciliter les opérations de maintenance.
- Vérifier que les débits d'air extraits sont conformes a minima aux exigences règlementaires, à réception des travaux.
- Etablir une fiche d'entretien du système de ventilation, facile à lire. Cette fiche sera remise aux occupants des lieux.

Point de vigilance

Si un label est cité dans le cahier des charges, il devra être suivi de la mention “ou équivalent“. Ce libellé permet ainsi au fournisseur de proposer un produit ne bénéficiant pas forcément du label mais répondant aux spécifications du cahier des charges dudit label.

● L'ÉTIQUETAGE OBLIGATOIRE

- Se référer à l'étiquetage obligatoire[4].
- Exiger l'étiquette A+ pour les matériaux et produits destinés à être utilisés à l'intérieur des locaux au sens de l'Arrêté du 19 avril 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.
- Exiger des produits moins nocifs pour ceux qui les posent : Privilégier les produits avec des labels de type Indoor Air Comfort (calcul des émissions 3 h après la pose).

En conclusion

Il apparaît nécessaire de sortir du “copier-coller“ des cahiers des charges habituels qui sont inadaptés aux éco-matériaux. Les matériaux écologiques demandent une compétence élevée qui n'est pas compatible avec l'acte de construire à la chaîne. Cet encouragement à innover dans l'art de concevoir et de construire doit être assorti d'un meilleur suivi du chantier. Cette absence de suivi est la source de nombreux désordres et dysfonctionnements constatés dans les constructions et à l'origine des principaux surcoûts et imprévus constatés dans la phase chantier.

De ce point de vue, la maîtrise du pilotage du projet dès son origine est de première importance. Les élus et maîtres d'ouvrage devront s'entourer d'une équipe pluridisciplinaire composée à minima d'un chef de projet conducteur des travaux, d'un architecte et d'un économiste. La mobilisation des usagers permettra de mieux prendre en compte leurs aspirations. Les conditions de travail des compagnons et l'exigence d'un chantier propre font partie des exigences à intégrer.

Des délais raisonnables seront accordés pour permettre à la maîtrise d'œuvre de rédiger des cahiers des charges précis, en direction des entreprises, mais aussi pour achever le chantier assurant ainsi la bonne ventilation et le séchage des matériaux.

La garantie d'une opération de construction de qualité avec un coût maîtrisé doit être une exigence d'engagement éthique de toute la chaîne de conception et de production. Les maîtres d'ouvrage sont en première ligne de cette exigence. Ils ont la responsabilité d'exiger mais aussi d'encourager et de s'impliquer dans ce processus vertueux d'une construction durable et respectueuse des personnes faisant usage des bâtiments, des compagnons constructeurs et des ressources de la planète dont nous sommes totalement dépendants.

Mieux appréhender les coûts de construction

Dès la phase amont

La maîtrise des coûts de construction est une responsabilité première du maître d'ouvrage qui doit sensibiliser tous les acteurs de la construction mobilisés à ses côtés pour s'engager dans cette direction. La question des coûts de construction et de sa maîtrise fonctionne comme une boîte noire qui relève du secret. L'indicateur du coût au mètre carré est le seul indicateur visible permettant de communiquer. Il est affiché comme un chiffon rouge pour négocier les prestations à la baisse.

Mais de quoi parle-t-on vraiment, de quelles démarches et de quels outils dispose-t-on pour mieux maîtriser les coûts de construction ?

Lors d'une visite du cycle de rencontres sur les matériaux, des échanges ont été évoqués en ce sens :

"Il ne faut jamais oublier la dimension économique. Au final, l'objectif est de vendre des logements ou des bureaux afin que des entreprises ou des personnes y vivent. Il faut donc être économiquement réaliste…".

Si chacun s'accorde à cette nécessité de l'équilibre économique d'une opération, on perçoit alors que, selon le statut du maître d'ouvrage (notamment public ou bailleur social), la question n'est pas seulement de savoir comment maîtriser les seuls coûts de construction mais plutôt d'appréhender plus largement les coûts d'exploitation et d'entretien du bâtiment jusqu'à sa démolition.

UNE APPROCHE COÛT GLOBAL À PRIVILÉGIER

COÛT GLOBAL

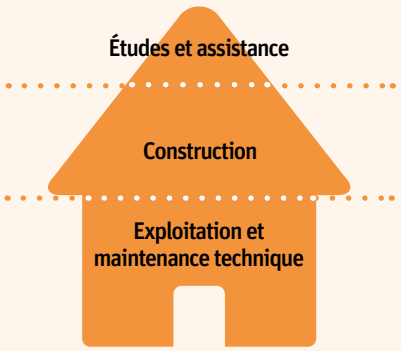
Il comprend l'ensemble des coûts engendrés pour la conception, la réalisation, l'investissement, l'exploitation et la maintenance, éventuellement l'impact social et environnemental, le démantèlement ou le recyclage et l'élimination sur une période déterminée et un périmètre déterminé. Le périmètre et la période doivent clairement apparaître.

Une approche "coût global" de l'opération sera préférée à un prix/m² de la seule construction du bâtiment. Ce mode de calcul permet d'anticiper, par des investissements au moment de la construction, et de limiter les coûts dans sa phase d'exploitation, notamment dans le domaine des économies d'énergie qui grèvent le budget des usagers. C'est aussi une manière de faire des investissements pour protéger les ressources de la planète et anticiper les effets du réchauffement climatique.

Les spécialistes[5] de cette question considèrent que :

- 20 % seulement des coûts liés à un bâtiment se rapportent à la construction proprement dite.
- 5% sont nécessaires pour les études et l'assistance.
- 75% sont liés à l'exploitation et la maintenance de ce bâtiment.

RÉPARTITION MOYENNE DES COÛTS GLOBAUX DANS UN PROJET DE CONSTRUCTION



Source : Qualitel, dossier thématique : le coût global dans la construction.

Il apparaît donc de première importance économique de s'intéresser à réduire les frais d'utilisation de cet ouvrage, quitte à augmenter son coût de conception et de construction pour réduire de manière drastique les coûts d'exploitation. Les coûts de la démolition ou de la restructuration totale de l'ouvrage ne sont pas intégrés dans les pourcentages que nous venons de citer mais ceux-ci doivent désormais être pris en compte. Cela augmente le coût de la construction d'un bâtiment mais ne déportent plus les coûts induits aux générations futures.

Faire le calcul du coût global d'une construction, c'est aussi sensibiliser les acquéreurs aux coûts de fonctionnement du bâtiment en termes de chauffage et d'entretien courant. C'est diminuer les charges pour les locataires et les propriétaires futurs si des investissements sont envisagés sur l'enveloppe du bâtiment pour limiter la facture du chauffage, voire choisir de produire de l'énergie. Sans calcul sérieux qui permet la comparaison de différentes solutions constructives, il est impossible de choisir la solution la plus économique à moyen et long terme.

La question stratégique pour un maître d'ouvrage est donc de décider si le mode de calcul du coût de la construction se situe à court, moyen, ou très long termes. Des assistances techniques et des certifications existent pour accompagner cette démarche de calcul du coût global. Cependant, elles-mêmes ont un coût et

sont relativement complexes à mettre en œuvre. Des démarches plus "artisanales" peuvent être conduites par des économistes de la construction, regroupés au sein de l'Union Nationale des Economistes de la Construction (UNTEC). Elles peuvent être combinées avec l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui permet d'évaluer les impacts d'un matériau et d'un ouvrage sur l'environnement tout au long de son cycle de vie (extraction, transformation, transport, utilisation, élimination).

DES QUESTIONS À SE POSER

Pour conduire cette réflexion sur les coûts, en l'articulant avec une démarche vertueuse pour l'environnement, et se prémunir des dérives budgétaires plusieurs questionnements peuvent être suggérés. Ils visent à attirer l'attention sur plusieurs points et rechercher des solutions aux thématiques abordées.

Les thématiques abordées

- Compenser le coût supplémentaire de l'innovation, notamment avec des éco-matériaux (pouvant coûter cher), en augmentant le nombre de logements et en mutualisant les ouvrages liés aux stationnements. Cette piste comprend des ajustements pour compenser ce surcoût en le prévoyant dans le PLUi ou dans les cahiers des charges des aménageurs. Par exemple, en suggérant que l'usage d'un matériau écologique autorise un droit à construire supplémentaire ou la baisse du coût du foncier.
- Le « coût sec », d'un matériau est moins élevé s'il ne prend pas en compte son impact environnemental. Aujourd'hui, ce calcul par l'analyse du cycle de vie (ACV), prenant en compte la durée de vie d'un bâtiment, son coût d'entretien et sa destruction, n'est pas systématiquement connu.
- Prendre en compte l'ACV (analyse du cycle de vie) dans la construction d'un bâtiment, c'est engager un coût supplémentaire pour en faire l'étude mais c'est aussi réaliser un investissement pour l'avenir des ressources de la planète et une meilleure prise en compte des gaspillages et des recyclages potentiels.
- Intégrer la notion de temps du chantier pour ajuster les coûts est aussi une autre piste à creuser. Ce paramètre est très complexe. Par exemple, sur le modèle Vente en Etat Futur d'Achèvement (VEFA), construire beaucoup plus vite n'est pas forcément un gage d'équilibre budgétaire car il y a toujours une incertitude sur la capacité à vendre au même rythme que la construction, ce qui engendre des frais supplémentaires.

Les points de vigilance sur l'interprétation des coûts

- Il est difficile aujourd'hui de connaître l'impact environnemental d'un matériau conventionnel, celui-ci n'étant pas transmis par le fabricant. De ce simple fait, il est difficile de comparer les coûts entre les matériaux dits conventionnels et ceux dits écologiques.
- Chaque mise en œuvre d'un matériau a un coût spécifique (main d'œuvre, transport des matériaux, location de matériel spécifique, consommation énergétique, etc). Il est donc nécessaire de comparer les coûts de chaque mise en œuvre potentielle pour prendre une décision éclairée.
- Une attention peut être portée aux opérations de préfabrication car elles permettent la réduction du temps du chantier et donc de son coût. La reproductibilité des innovations et des techniques de construction doit être recherchée.
- Le coût des matériaux de construction est plus complexe à calculer si l'on combine l'utilisation de plusieurs matériaux nécessitant une décision multifactorielle en toute connaissance de cause des impacts positifs et négatifs de ces matériaux. Ainsi du tout béton, au bois/béton, au tout bois, le calcul varie de 1000 € à 2500 €.
- L'intérêt et la sensibilité nouvelle à l'impact sur la santé et les économies d'énergie ne facilitent pas les arbitrages des coûts à court, moyen et long termes. Il n'est pas facile de mettre en équation économique l'impact du confort obtenu sur les coûts de la santé. Des nouveaux indicateurs économiques pour mettre en évidence les coûts induits sur la santé et le bien-être peuvent être inscrits dans les cahiers des charges.
- Prendre en compte la possibilité d'utiliser les ressources naturelles et déchets recyclables présents sur le site de construction permettra de supprimer des coûts d'évacuation et constituera une piste d'économie. Cela doit être fait très en amont du projet et en lien avec le maître d'œuvre et les maçons chargés du gros-œuvre.
- L'augmentation des temps de négociation en amont des projets nécessite des enveloppes budgétaires spécifiques pouvant être encouragées par les pouvoirs publics. Ces temps de négociation ont lieu entre les différentes maîtrises (ouvrage, œuvre, usage et constructeurs) pour préparer les cahiers des charges de conception et de réalisation. Cette démarche permet d'enclencher des processus vertueux d'innovation encourageant la transmission des bonnes pratiques et leur réplication.
- L'intervention d'un économiste de la construction intégré dans l'équipe de conception-réalisation dès le démarrage du projet peut apparaître comme un gage de maîtrise des coûts, dès lors qu'il est au service du projet et qu'il dispose d'outils numériques facilitant le dialogue entre tous les acteurs impliqués dans la construction. Toutefois la dimension financière peut lui procurer un positionnement surplombant et omniscient, désincarné des autres composantes. Les logiciels doivent être en mesure de faire des simulations par matériaux et typologies de mise en œuvre, permettant ainsi la comparaison des coûts selon les solutions esquissées pour un projet. Pour éviter ce risque de positionnement, l'écono-

miste doit être mobilisé très en amont du projet et à toutes les phases de conception mais aussi de réalisation de la construction pour tirer les enseignements budgétaires de l'opération.

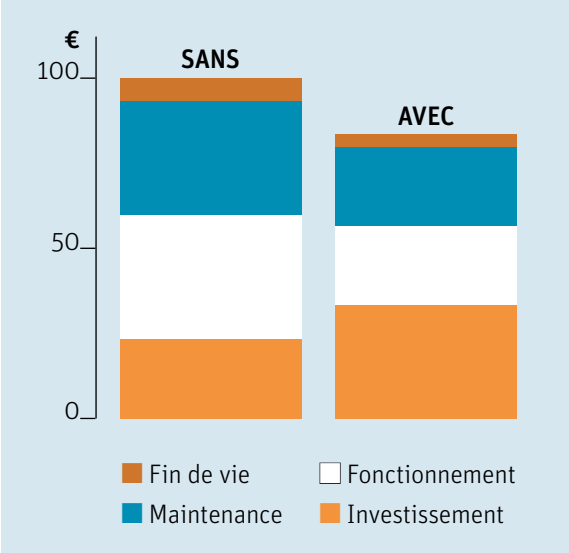
UN EXEMPLE À SUIVRE

L'Appel à Manifestation d'Intérêt "Construction bois pour tous" est un bon exemple à reproduire pour mobiliser et sensibiliser les maîtres d'ouvrage aux innovations possibles des matériaux biosourcés, en l'occurrence ici le bois. Pour inciter les maîtres d'ouvrage à s'engager dans cette démarche, les communes et leurs aménageurs réservent des fonciers pour y développer des opérations immobilières en construction bois. De son côté Rennes Métropole, via l'enveloppe innovation du PLH, finance une Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (Abibois) pour accompagner ces opérations en construction bois, dans un souci de maîtrise des coûts, de reproductibilité et de montée en compétence des opérateurs.

En conclusion

Selon l'étude de l'Agence Qualité Construction (AQC)[6], il s'avère que la méthode de coût global appliquée à un projet de construction rend le bâtiment économiquement plus intéressant comme le démontre le graphique.

RÉPARTITION DES COÛTS D'UN PROJET AVEC ET SANS L'APPROCHE COÛT GLOBAL



Source : AQC, La démarche coût global, une approche responsable

La notion de coût global permet d'évaluer l'ensemble des frais : coût de construction, de fonctionnement tout au long de sa vie, et in fine, coûts de déconstruction. C'est un outil d'aide à la décision permettant d'arbitrer entre les différents postes de dépenses, et en particulier entre les coûts d'investissement à court terme, et les couts de fonctionnement induits à long terme.

▶ EXEMPLE DE COMMANDE PUBLIQUE

Multi-accueil petit enfance : Muel, Ille-et-Vilaine
Maître d'ouvrage : Communauté de communes de St Méen Montauban
Maître d'oeuvre : Atelier Ingrand

Description :
Murs extérieurs en paille et structure bois / Toit en ouate de cellulose et ossature bois
VMC simple flux / Chaudière à granulé, panneaux solaires thermiques et récupération d'eau de pluie 5m³
Chantier participatif pour la pose de la paille et des enduits en terre
Matériaux écologiques et provenant du territoire.

POUR ALLER PLUS LOIN

Observatoire économique de la commande publique (OECP), Guide pratique. Achat public innovant
https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/conseil_acheteurs/guides/guide-pratique-achat-public-innovant.pdf

ADEME, Des produits biosourcés durables pour les acheteurs publics et privés
https://www.ademe.fr/produits-biosources-durables-acheteurs-publics-prives

Direction des affaires juridiques (DAJ), page « Le conseil aux acheteurs et aux autorités concédantes »
https://www.economie.gouv.fr/daj/conseil-aux-acheteurs-et-aux-autorites-concedantes

DAJ, Acheteurs publics : dix conseils pour réussir
https://www.economie.gouv.fr/daj/acheteurs-publics-10-conseils-pour-reussir

DAJ, Notice introductive : prise en compte du coût du cycle de vie dans une consultation
https://www.economie.gouv.fr/daj/cout-cycle-vie-consultation

Direction des achats de l'Etat (DAE), Guide de l'achat public. Le sourcing opérationnel
https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dae/doc/Guide_sourcing.pdf

La gazette des communes
https://www.lagazettedescommunes.com/537906/le-sourcing-explique-en-sept-points/

OECP, Guide pratique « Faciliter l'accès des TPE/PME à la commande publique »
https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/oeap/publications/documents_ateliers/pme_commande_publique/guide_de_bonnes_pratiques.pdf

ADEME : Guide de l'achat public. L'achat public : une réponse aux enjeux climatiques
https://www.economie.gouv.fr/daj/guide-climat

Guide de l'achat public. L'achat public : une réponse aux enjeux climatiques
https://www.economie.gouv.fr/daj/guide-climat

Le Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire a mis en ligne un outil permettant d'effectuer des analyses en coût global
www.coutglobal.developpement-durable.gouv.fr/aide/decouvrir

Agence qualité construction, La démarche coût global, une approche responsable, janvier 2019
http://www.qualiteconstruction.com/node/3460

Association Qualitel, Dossier thématique : Le coût global dans la construction, octobre 2013
https://www.qualitel.org/professionnels/uploads/DT_cout_global.pdf

Conseil régional de Bretagne, Schéma des achats économiquement responsables, 2018
https://www.bretagne.bzh/jcms/prod_428186/fr/la-region-adopte-son-schema-des-achats-economiquement-responsables

TEXTES DE RÉFÉRENCE

12 novembre 2009 : réponse du Ministère en charge de l'Économie à la question écrite n° 10874 de M. Gérard Bailly au Sénat, publiée dans le JO Sénat du 21 janvier 2010 - page 130.

26 février 2014 : directive 2014/24/UE sur la passation des marchés publics.

23 juillet 2015 : ordonnance n° 2015-899 relative aux marchés publics.

25 mars 2016 : décret n° 2016-360 du relatif aux marchés publics.

26 novembre 2018 : ordonnance n° 2018-1074 portant partie législative du code de la commande publique.

3 décembre 2018 : décret n° 2018-1075 portant partie réglementaire du code de la commande publique.

24 décembre 2018 : décret n° 2018-1225 portant diverses mesures relatives aux contrats de la commande publique.

1er avril 2019 : code de la commande entré en vigueur.

NOTES

1. L'architecture bioclimatique permet de réaliser des économies d'énergie en adaptant l'architecture du bâtiment à son environnement.
2. Version du code en vigueur en 2009.
3. Manuel d'Oslo de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) qui constitue la référence internationale en matière de définition de l'innovation : OCDE/Eurostat (2005), Manuel d'Oslo : Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation, 3e édition, La mesure des activités scientifiques et technologiques, Éditions OCDE, Paris.
4. Etiquetage allant de A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions).
5. Cf. Association QUALITEL, pour la qualité du logement.
6. Agence qualité construction, La démarche coût global, une approche responsable, janvier 2019

Annexe 1

Ressources

OUVRAGES ET GUIDES

- Abibois, ***Bois d'ici transformé par les scieurs bretons,*** 2015
- ADEME, ***Des produits biosourcés durables pour les acheteurs publics et privés,*** 2019
- ADEME, ***Fiche technique, Déchets des travaux publics,*** 2014
- ADEME, ***Guide de l'achat public. L'achat public : une réponse aux enjeux climatiques,*** 2016
- AQC Pôle observatoire /CERCAD, ***La construction bois. 12 enseignements à connaître,*** 2017
- AQC Pôle observatoire /energivie.pro, ***Matériaux bio-sourcés. 12 enseignements à connaître,*** 2016
- AQC Pôle prévention construction, ***La démarche coût global, une approche responsable***, 2019
- AQC Pôle prévention construction, projet ICHAQAI, ***Penser qualité de l'air intérieur en phase chantier - Guide méthodologique,*** 2019
- AQC Pôle prévention produits mis en œuvre, ***Isolants biosourcés : points de vigilance,*** 2016
- Bâtir en chanvre, ***Chantiers, techniques et filières en Europe,*** 2018
- Cellule économique de Bretagne, ***Les filières de matériaux biosourcés pour la construction en Bretagne. Etat des lieux et mise en perspective,*** 2015
- CEREMA, ***Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie PREBAT,*** 2012-2017
- Climaxion, ***Guide des matériaux isolants. Manuel technique pour une isolation efficace et durable,*** 2018
- Conseil régional de Bretagne, ***Schéma des achats économiquement responsables,*** 2018
- Construire avec le bois en Champagne-Ardenne. ***Vade-mecum du bois dans la construction. Guide pour les maîtres d'ouvrage publics,*** 2016
- Construire sain. ***Guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour la construction et la rénovation,*** 2015
- DAJ, ***Notice introductive : prise en compte du coût du cycle de vie dans une consultation***
- DEMOCLES, ***Guide d'accompagnement de la Maîtrise d'ouvrage et de la Maîtrise d'œuvre. Intégration des prescriptions « Déchets » dans les CCTP et les contrats cadres de chantiers de réhabilitation lourde et de démolition,*** 2018
- Direction des achats de l'Etat (DAE), ***Guide de l'achat public. Le sourcing opérationnel***
- DRIEA et l'association Construire en Chanvre, ***Matériaux de construction à base de chanvre,*** 2014
- EFFINERGIE, ***Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. Des clés pour des logements neufs confortables et économes en énergie. Guide à destination des professionnels du bâtiment,*** 2008
- FFB, ***Les matériaux biosourcés dans le bâtiment,*** 2015
- FFB, ***Qualité de l'air intérieur. Enjeux et bonne pratiques pour les métiers du bâtiment,*** 2018
- FIBOIS Auvergne-Rhône-Alpes, ***Construire en bois, n°1,*** 2019
- Macéo, ***Intégrer les éco-matériaux locaux dans la commande publique,*** 2018
- Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales / Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire – DGALN/DHUP/QC, ***Guide d'application du « Permis d'expérimenter »***, 2019
- Nomadéis, ***Etude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction (à l'exception du bois). Etat des lieux économique du secteur et des filières,*** 2017
- Observatoire économique de la commande publique (OECP), ***Guide pratique. Achat public innovant,*** 2019
- OECP, ***Guide pratique « Faciliter l'accès des TPE/PME à la commande publique »***
- Pays COB, ***Rénovez & construisez durable en Pays Centre Ouest Bretagne,*** 2016
- Pour construire en Limousin. ***Osez le bois local. Guide pour intégrer le bois local dans la commande publique,*** 2015
- QUALITEL, ***Dossier thématique, Le coût global dans la construction,*** 2013
- Réseau breton bâtiment durable, ***Prescrire les éco-matériaux dans les marchés publics n°2, L'isolation paille,*** 2019

- Réseau breton bâtiment durable, ***Prescrire les éco-matériaux dans les marchés publics n°1, Les isolants biosourcés industrialisés en rouleaux ou en panneaux pour l'isolation thermique intérieure des parois verticales,*** 2018
- Revue de l'AQC, n° 130, ***« La paille, un « nouveau » matériau de construction »,*** 2012
- Revue de l'AQC, n° 135, ***« Isolants biosourcés. De bonnes performances thermiques »,*** 2012
- Revue de l'AQC, n° 167, ***« Bétons biosourcés. Diversification des granulats végétaux et ouverture à la préfabrication »,*** 2018

SITES INTERNET

https://www.economie.gouv.fr/daj/conseil-aux-acheteurs-et-aux-autorites-concedantes - DAJ, page « Le conseil aux acheteurs et aux autorités concédantes »
https://www.economie.gouv.fr/daj/acheteurs-publics-10-conseils-pour-reussir - Direction des affaires juridiques (DAJ), Acheteurs publics : dix conseils pour réussir
https://www.ademe.fr/guides-fiches-pratiques - Guides et fiches pratiques de l'ADEME
http://armorique.constructionpaille.fr/
http://db-chanvre.com/
http://mediatheque-bois.keepeek.com/
http://vegetal-e.com/
http://www.bio-construction.com/
http://www.bntec.fr/
http://www.captair-bretagne.com/
http://www.cellaouate.com/
http://www.cellulose-igloo.com/
http://www.chanvriersencircuitscourts.org/
http://www.isolantmetisse.com/
http://www.karibati.fr/
http://www.lameilleureisolation.com/
http://www.les-ecomateriaux.fr/
http://www.linchanvrebretagne.org/
http://www.novidem.fr/
http://www.oqai.fr/
http://www.panoramabois.fr/
http://www.qualiteconstruction.com/
http://www.reseau-breton-batiment-durable.fr/
http://www.soprema.fr/
http://www.technichanvre.com/
http://www.terrevivante.org/
https://abibois.com/
https://catalogue-construction-bois.fr/
https://cotonwool.com/
https://interchanvre.org/interchanvre
https://webmaster50050.wixsite.com/terreux-armoricains /
https://www.acermi.com/fr/
https://www.biofib.com/
https://www.bois.com/
https://www.bois-et-vous.fr/
https://www.build-green.fr/
https://www.cavac-biomateriaux.com/
https://www.climaxion.fr/
https://www.construiresamaison.com
https://www.cstb.fr/fr/
https://www.ecima.net/
https://www.ffbatiment.fr/
https://www.fibois-aura.org/

https://www.inies.fr/accueil/
https://www.isocell.com/fr/
https://www.lbecohabitat.fr/
https://www.maisonecomalin.com/
https://www.ouateco.com/
https://www.pierremassive.com/
https://www.programmepacte.fr/
https://www.terrachanvre.fr/
https://www.lagazettedescommunes.com/537906/le-sourcing-explique-en-sept-points/ - La gazette des communes
http://www.qualiteconstruction.com/categorie-fiche/227 - Les fiches pathologie bâtiment de l'AQC
www.adivbois.org
www.approchepaille.fr
www.arpe-bn.com/
www.bretagne-energie.fr
www.cncp-feuillette.fr
www.construire-en-chanvre.fr
www.dechets-chantier.ffbatiment.fr
www.rfcp.fr
www.solutions-rehabilitation.fr

Annexe 2

Institutions représentées au Comité d'experts

- Abibois (Association Bretonne Interprofessionnelle de la filière Bois)
- ADO Habitat 35 (Association départementale des bailleurs sociaux)
- Club Qualité Construction 35
- Ecole nationale supérieure d'architecture de Bretagne (ENSAB) – Laboratoire GRIEF (Groupe de Recherche sur l'Invention et l'Évolution des Formes)
- Fédération du Bâtiment et TP 35 (FBTP 35)
- Fédération promoteurs immobiliers (FPI Bretagne)
- Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR Nantes) - Laboratoire GPEM (Granulats et procédés d'élaboration des matériaux)
- Institut national des sciences appliquées (INSA Rennes) – Laboratoire LGCGM (Laboratoire de génie civil et génie mécanique)
- Ordre des architectes de Bretagne
- Réseau breton bâtiment durable
- Territoires
- Union nationale des Economistes de la construction (UNTEC)

Annexe 3

Programmes et intervenant des rencontres

CYCLE DE RENCONTRES SUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

LE LUNDI 5 FÉVRIER 2018 – CONFÉRENCE / LANCEMENT DU CYCLE

Conférence introductive dressant l'état des lieux sur les matériaux par Laurent MOLEZ, chercheur au laboratoire génie civil et génie mécanique (LGCGM) de l'INSA Rennes.

Table-ronde et échanges *sur les marges d'innovation dans la mise en œuvre des matériaux,* animée par Laurent MOLEZ et Gilbert GAULTIER avec :

Jean-Pol CAROFF, Président, Cellaouate

Yvan CORMIER, Directeur, Coop de construction

Gwénola GICQUEL, Architecte DPLG

David TAVIAN, Économiste de la construction, Fédération UNTEC Ouest

Réaction et synthèse d'un invité témoin : Samuel DAUCE, Chargé de mission, Réseau Breton Bâtiment Durable.

LE 29 MARS 2018 – CONFÉRENCE / SANTÉ, BIEN-ÊTRE ET CONSTRUCTION

Conférence introductive par Charline DEMATTEO, Ingénieur du génie sanitaire, Inddigo Nantes,

Vers une construction favorable au bien-être et à la santé : usage et processus de mise en œuvre des matériaux.

Table-ronde et échanges, animée par Gilbert GAULTIER et Charline DEMATTEO :

Olivier BLANCHARD, Enseignant-chercheur EHESP et IRSET - Inserm UMR 1085,

Matériaux de construction et impact sur la santé.

Cédric JOANNIC, Directeur Qualité Sécurité Environnement, Cardinal Edifice,

Prévention des risques professionnels dans la phase chantier.

Amina MESLEM, Professeur, Laboratoire génie civil et génie mécanique (LGCGM), IUT Rennes 1, *Ventilation et qualité des ambiances intérieures.*

Patrice LIARD, Architecte, Agence Liard & Tanguy,

Conceptions et mises en œuvre des matériaux pour un impact positif sur la santé et le bien-être.

Réaction et synthèse par Anne ROUE-LE GALL, Professeur Santé Environnement, EHESP (École des hautes études en santé publique).

LE 25 AVRIL 2018 – VISITE / L'IMMEUBLE CASALMA -ZAC RUE DE L'ALMA- RENNES : LE CHOIX D'UN SYSTÈME CONSTRUCTIF ET LA CO-CONCEPTION COMME LEVIERS D'UNE MAÎTRISE DES COÛTS

Présentation du projet par Laurène MASSON, chargée d'opérations Kérédès, et l'architecte Gwénola GICQUEL et un représentant du groupe d'habitants.

Le projet en quelques mots; maîtrise des coûts de construction, un système constructif innovant avec des panneaux en béton préfabriqué, apport d'énergie solaire, habitat participatif avec 9 familles constituées en SCICV et 9 logements avec 14% de la surface totale dédiée aux espaces communs.

Visite du chantier et échanges en salle sous forme d'ateliers ; présentation des cahiers des charges, présentation du modèle participatif en SCICV (société civile immobilière de construction vente) et regard d'un économiste de la construction sur le modèle économique du projet, par Vincent ARNOU, Président Région Bretagne-Pays de la Loire de l'UNTEC.

LE 24 MAI 2018 – VISITE / LE PROGRAMME GWENODENN-RUE VICTOR RAULT- RENNES : LA COMBINAISON DE DIFFÉRENTS MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Animation par Gilbert GAULTIER (IAUR) et Gaëtan CERCLE (FBTP).

Présentation du projet par Yvan CORMIER, directeur Coop de construction (maître d'ouvrage), Johann LANDRY, directeur du développement Néotoa (maître d'ouvrage), Olivier PEROCHEAU, architecte, agence Tétrarc et Hector DE FLORIS, conducteur de travaux à l'entreprise Pavoine (gros œuvre).

Le projet en quelques mots : matériaux traditionnels et biosourcé avec brique, béton et bois, association de la minéralité des enduits avec la chaleur des parements en bois, isolation thermique performante et ensoleillement privilégié par le rythme des avancées des terrasses.

Visite du chantier et échanges en salle sous forme d'ateliers ; Sophie FRAIN, infirmière CMEI Association Captair Bretagne (Conseil médical en environnement intérieur) sur *les risques de certains matériaux sur la qualité de l'air intérieur* et Thomas LEMERRE, expert conseil SOCABAT (société de conseil et d'assistance pour l'assurance du BTP) sur *la qualité de l'air intérieur dans les constructions neuves.*

LE 15 JUIN 2018 – VISITE / LES ÉCO-MATÉRIAUX ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE - RENCONTRE ORGANISÉE EN LIEN AVEC LE PRINTEMPS DE L'ÉCOCONSTRUCTION #3

Animation par Gilbert GAULTIER (IAUR), Rémi BOSCHER (Réseau Breton Bâtiment Durable) et Fabrice AUVE (Coordinateur du Printemps de l'écoconstruction 2018)

Intervention d'Erwan HAMARD, chercheur à l'IFSTTAR Nantes : *« Construire en terre aujourd'hui »*

Visite de la matériauthèque d'ECOBATYS, pôle performances écoconstruction à St Etienne en Coglès par Marie-Pierre ROUGER, Co-gérante, Marc FLIPO, Chargé du développement territorial des éco matériaux et Valentin PICCO, Chargé du suivi et du développement d'activités

Le projet en quelques mots : espace qui permet de découvrir, visualiser et manipuler des échantillons d'éco-matériaux : isolants végétaux et minéraux, terre crue, bois, parements, étanchéité à l'air, etc…

Visite du SMICTOM du Pays de Fougères à La Selle en Luitré par Valérie GAUDIN, Directrice, et Patrice LIARD, Agence Liard & Tanguy, Architecte du projet.

Le projet en quelques mots : Bâtiment livré en 2010, à faible empreinte écologique en faisant la part belle aux éco-matériaux, en particulier le bois, et avec une attention forte sur l'impact écologique des matériaux de finition (isolants, peintures, faux-plafonds, revêtements de sol…).

Visite du chantier de la salle intergénérationnelle à Luitré par Michel BALLUAIS, Maire et Vice-président de Fougères Agglomération et Stéphanie GESLOT, Conseillère en énergie partagée du Pays de Fougères.

Le projet en quelques mots : rénovation et extension d'une ancienne étable intégrant des éco-matériaux dont la laine de bois, la ouate de cellulose, les cloisons Fermacell.

LE 2 JUILLET 2018 – VISITE / LE PROGRAMME LE NIVIDIC - ZAC DES CHAMPS BLEUS - VEZIN-LE-COQUET : L'ARTICULATION DES DIFFÉRENTS NIVEAUX DE PRESCRIPTIONS

Animation par Gilbert GAULTIER (IAUR)

Présentation du projet par Jean ROUDAUT, Maire de Vezin-le-Coquet, Olivier BRIAND, Responsable d'opérations à Territoires (aménageur), Manuel VALLEE, Responsable du service Conduite d'opérations et Dorothée MORISE, Chargée d'opérations d' Archipel Habitat (maître d'ouvrage) et Antoine ROBERT, Ingénieur du Bureau d'études OTE Ingénierie).

Le projet en quelques mots : 30 logements collectifs, effort sur la performance thermique pour une réduction des charges locatives, isolation par l'extérieur et immeuble raccordé au réseau de chaleur biomasse de la ZAC.

Visite du chantier et échanges en salle sous forme d'ateliers ; Arnaud PROST, Technicien énergie, Rennes Métropole Service Réseaux d'Énergies et de Chaleur pour la *présentation du réseau de chaleur biomasse* et Myriam HUMBERT, Directrice de projet R&D Énergétique du Bâtiment, CEREMA OUEST, pour un *retour d'expérience : comment optimiser la performance de l'enveloppe ?*

LE 20 SEPTEMBRE 2018 – VISITE / LE PROGRAMME NEXITY YWOOD - ZAC MADELEINE- RENNES : LA CONSTRUCTION BOIS

Animation par Gilbert GAULTIER (IAUR) et Hervé BOIVIN (Abibois)

Présentation du matériau et de la filière bois par Hervé BOIVIN, Abibois, Prescripteur bois

Présentation du projet par Stéphane LAVRILLOUX, Directeur général région Bretagne, Nexity, Marc-Henri MAXIT, Économiste de la construction-Atelier d'architecture WOA, Guillaume GALBIN, Chargé d'affaires -CCL Construction Bois, et Romain CLAEYS, Responsable prescription-Groupe ROSE Société PROTAC.

Le projet en quelques mots : immeuble de bureaux en structure bois massif, R+4, de 2226 m², structure poteau et poutre bois LC, dalle bois CLT, avec noyau béton, enveloppe en ossature bois préfabriqué PROTAC (1500 m²), délais de construction réduits, épicéa en structure et épicéa en façade, bois issus de forêts européennes labellisées PEFC.

Visite du chantier et échanges en salle sous forme d'ateliers :

Honoré PUIL, Rennes Métropole, Vice-président en charge de l'Habitat et Hervé BOIVIN,

Abibois, Prescripteur bois pour un *point d'avancement de l'AMI « Construction Bois pour Tous »*

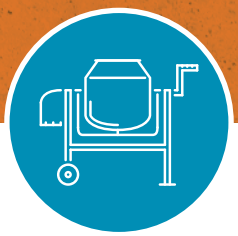
Michaël TESSIER, Directeur des opérations Lamotte Bretagne, et Thierry SOQUET, Architecte, Agence Architecture Plurielle pour la *présentation du projet de l'immeuble Horizons Bois (EuroRennes).*

Rédaction :
IAUR et Bertille Louveau, rédactrice

Coordination éditoriale:
Mission qualité et coordination urbaine, Rennes Métropole

Conception et réalisation :
Service Imprimerie, Rennes Métropole

SEPTEMBRE 2020



LES BÉTONS

Le béton est constitué de sable, de gravier et d'un liant (ciment mélangé avec de l'eau). Le sable, comme le gravier, n'ont pas une empreinte écologique "catastrophique", ils proviennent des carrières qui ne sont pas polluantes. Mais ces ressources ne sont pas renouvelables et l'impact écologique et environnemental est significatif quand elles proviennent du dragage des rivières ou de la mer.

Les bétons sont à classer dans les matériaux ayant une fonction structurale et sont utilisés principalement pour les fondations, les sols et les murs. Le béton est le matériau le plus utilisé dans le monde.

LE SAVIEZ-VOUS ?

80% des constructions du territoire de Rennes Métropole sont en béton. Six milliards de mètres cube par an sont construits dans le monde. Soit un mètre cube par personne, tous les ans.

LES ATOUTS

- Matériau facile à mettre en œuvre, donc peu cher.
- Impact environnemental faible durant sa durée de vie. Entre la construction et la fin de construction, il émet peu de pollution. Il présente des inconvénients avant, pour le produire, et après, pour le recycler, mais durant la durée de vie du bâtiment il reste assez vertueux écologiquement.
- Résistance particulièrement importante qui permet de réaliser des structures toujours plus hautes et complexes.
- Durabilité bien supérieure à celle de l'acier.

LES INCONVÉNIENTS

- Epuisement des ressources naturelles : la quête perpétuelle d'agrégats adaptés dont le sable a conduit à la surexploitation de 75 % des plages de la planète, détruisant nombre d'écosystèmes littoraux.
- Diffusivité élevée du matériau : la chaleur issue de l'absorption du rayonnement solaire traverse rapidement ce matériau et crée des surchauffes dans les constructions.
- Effusivité élevée : sensation de froid au toucher.
- Emission de gaz à effet de serre : la problématique essentielle vient du ciment. Celui-ci est obtenu à partir d'une cuisson à environ 1500°C d'une roche calcaire et d'argile. Cette cuisson nécessite une consommation énergétique importante. Anciennement issue du charbon, aujourd'hui du pétrole, qui ne sont pas des énergies renouvelables et dégagent beaucoup de gaz à effets de serre (CO_2).

LE SAVIEZ-VOUS ?

La cuisson de la roche calcaire dégage aussi du CO_2. Pour une tonne de ciment produite, une tonne de CO_2 est dégagée dans l'atmosphère. Nous savons aujourd'hui que ce rejet de CO_2 est en grande partie responsable du réchauffement climatique entrainant des catastrophes naturelles et des bouleversements écologiques irréversibles ainsi que des conséquences négatives sur la santé des populations.

LES PISTES POUR DES BÉTONS PLUS VERTUEUX

De plus en plus de laboratoires sont engagés dans des projets de recherches autour du recyclage du béton :

L'intention visée est de remplacer le sable et le gravier mis initialement dans les bétons par les déchets du béton lui-même, et ainsi recréer du sable et du gravier (un peu différents) qui seront réinjectés dans le béton. Ceci n'est pas encore réellement mis en place mais l'on sait qu'il est possible d'en recycler pratiquement 30 % dans un nouveau béton. Remplacer de nouveaux granulats par 30 %

de béton recyclé avec sans doute la possibilité d'aller bien au-dessus par la suite est autant de matière en moins à prélever sur les sites existants.

Les déchets de béton peuvent également être remplacés par des déchets de mâchefers, de verre, de plastiques, issus d'un tri au niveau des plateformes de tri des déchets.

D'autres recherches visent à faire des bétons plus vertueux au niveau écologique, en réduisant également l'impact environnemental lors de la fabrication du ciment :

L'idée de travailler sur les usines à ciment améliorant l'efficacité énergétique est déjà en cours. On parle alors de ciment à basse température. Plutôt que de cuire à 1500°C, la cuisson s'effectue à 1200°C. Gagner 300°C signifie réaliser une économie énergétique.

On brûle aussi dans ces cimenteries de plus en plus de déchets. A la condition de maîtriser ce qui y est brûlé[1], il s'agit d'une autre piste permettant des économies.

Une autre piste à explorer réside dans les éco-bétons.

Le ciment est remplacé par d'autres matériaux qui ont un impact environnemental plus faible. Il peut également être intégré des matériaux biosourcés. Il s'agit alors de remplacer les granulats de cailloux par des granulats de bois ou d'adjoindre des fibres métalliques et plastiques ou des fibres naturelles. On fait aujourd'hui des bétons de bois.

▶ EN IMAGES

Panneaux en béton préfabriqué - Calsama, habitat participatif à Rennes
Maître d'ouvrage, Habitation Familiale - Maître d'Oeuvre Gwénola Gicquel - Visite du 25 avril 2020

Voiles de béton (paroi verticale obtenue par coulage d'un béton banché) avec isolation extérieure - Le Nividic, logements à Vezin Le Coquet
Maître d'ouvrage, Archipel Habitat, Maître d'Oeuvre Arlab - Visite du 2 juillet 2020

1. On a brûlé tout et n'importe quoi dans les cimenteries, y compris des vaches folles. Aujourd'hui ce n'est plus le cas car la réglementation ne l'autorise plus.

LES ISOLANTS

Ces matériaux ont pour fonction d'isoler le bâtiment pour éviter que la chaleur ne s'échappe. Traditionnellement, la laine de verre et la laine de roche sont obtenues l'une et l'autre par la fonte du verre ou du sable (pour la laine de verre) et par la fonte de roches (pour la laine de roche).

Ces matériaux offrent des caractéristiques plus ou moins durables. Le matériau lui-même ne se dégrade pas mais la mousse qui entoure les fibres de verre se tasse et perd en efficacité. S'il est nécessaire de remplacer l'isolation mise en place après les années 70, c'est justement parce qu'elle s'est "tassée" et qu'elle a perdu son pouvoir isolant.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Ces deux matériaux ont de très bons pouvoirs isolants provenant de matériaux recyclés. Est notamment recyclé de manière presque complète le verre pour faire de la laine de verre. Toutefois, la fabrication de ces deux matériaux nécessite la consommation de beaucoup d'énergie pour faire fondre le verre, le sable ou la roche.

LES ISOLANTS MINÉRAUX (LAINES)

La composition

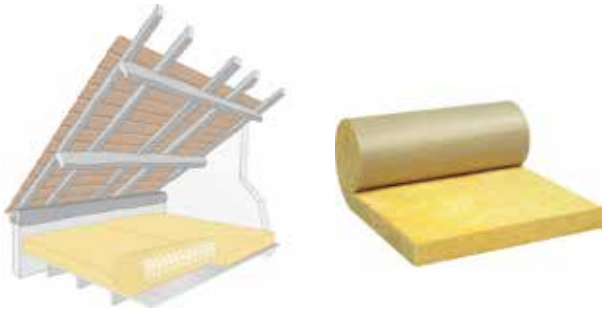
- La laine de verre : elle est obtenue par la fonte de verre ou de sable.
- La laine de roche : elle est obtenue par la fonte de roche.

Les atouts

- Elles ont une très bonne performance isolante.
- Elles proviennent de matériaux recyclés (recyclage presque complet du verre).

Les inconvénients

- Leur fabrication est très énergivore pour faire fondre du verre ou du sable.
- Leur durabilité est limitée : en se tassant, la laine perd en efficacité.
- Les matériaux sont très rarement recyclés.
- Irritation de la peau à leur contact et les voies respiratoires en cas d'inhalation.



Source : https://www.leroymerlin.fr/

LES ISOLANTS SYNTHÉTIQUES (MOUSSES)

La composition

- Mousses de polystyrène et de polyuréthane : elles sont issues de la chimie du pétrole.

Les atouts

- Leur excellent pouvoir isolant pour une faible épaisseur.
- La provenance de la mousse phénolique issue de matériaux recyclés (recyclage presque complet du plastique).

Les inconvénients

- Leur provenance issue de matériaux non renouvelables.
- Leur fabrication très énergivore.
- Leur dégagement de COV dans l'air.
- Leur mauvaise résistance aux incendies et dégagement de gaz toxiques.

▶ EN IMAGES

Polyuréthane

Polystyrène

Phénolique (Source : Laurent Molez, INSA Rennes)

Panneau isolant à base de polystyrène et laine minérale

LES MÉTAUX

Les métaux sont obtenus par la transformation en fonderie du minerai de fer. Sur le marché, il existe déjà des produits provenant de la refonte d'acier comme les carcasses de voitures et autres ferrailles de récupération. En France, ce mode constructif est principalement employé pour les opérations de rénovation et/ou agrandissement des maisons anciennes.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Originaire des Etats-Unis au XIX^{e} siècle, la construction à ossature métallique est peu développée et répandue en France pour des raisons culturelles. Il est cependant possible de construire en acier, notamment pour de l'habitation.

L'UTILISATION

- Armatures d'acier : pour les introduire dans le béton armé, le béton précontraint et la construction métallique.
- Profilés en acier pour les usages suivants :
  - Les murs extérieurs et intérieurs.
  - La charpente du toit.
  - Si le bâtiment est de plusieurs étages, les poutres en acier des dalles intermédiaires.

LES ATOUTS

- La préfabrication des matériaux en usine entraîne une réduction de la durée et du coût du chantier.
- En tant que matériau léger, sa préfabrication en atelier est facilitée réduisant ainsi les délais de chantier et proposant des fondations moins coûteuses (notamment sur des terrains peu stables, il n'y a pas de risques de tassement ni de fissure).
- Une forte résistance aux nuisibles comme la corrosion ou les termites.
- La finition et l'habillage des façades possibles avec tous types de revêtements au choix (béton enduit, bois, bardage métallique, tout parement, etc.)
- L'ossature métal offre une grande souplesse architecturale.
- Son mode constructif permet des économies d'eau et limite les émissions de poussières lors de la phase chantier.

LES INCONVÉNIENTS

- La nécessité de faire appel à une main d'œuvre plus qualifiée (l'industrialisation du processus, marges de tolérance réduites). La pose est réservée aux entreprises spécialement formées, tant pour le gros œuvre que pour le second œuvre.
- Le minerai de fer est une ressource non renouvelable.
- Le minerai fondu à haute température provoque des dépenses énergétiques importantes.
- Le transport.
- L'acier est conducteur de chaleur et de froid, impliquant un bon traitement de l'isolation.

LES PISTES POUR DES PRATIQUES PLUS VERTUEUSES

- Bien que cette technique soit peu répandue, les métaux ont un fort potentiel de recyclage en étant refondus et réutilisés.
- Ce recyclage nécessite la mise en place d'une filière de tri et une normalisation des éléments préfabriqués en usine.

Source : Structure d'une maison à ossature métallique.© BATI-FABLAB

▶ EXEMPLE DE COMBINAISON
de matériaux conventionnels avec des éco-matériaux

Déchèterie - Recyclerie SMICTOM du Pays de Fougères (Visite du 15/06/2018)

Maître d'ouvrage : SMICTOM du Pays de Fougères. **Maître d'œuvre :** LIARD & TANGUY (Rennes).

Description

Ce bâtiment en ossature bois est bardé avec du châtaignier brut local.

Son isolation est composée de :

- Un mur sud en laine de bois.
- Des murs extérieurs et des cloisons intérieures en Métisse®.
- Une dalle de béton isolée par du verre cellulaire.
- Les parois sud incorporent en façade un procédé suisse nommé Lucido® pour augmenter les apports solaires passifs.
- Une toiture en zinc / feutre bitumeux / laine de verre / béton lourd.
- Des menuiseries en mixte bois / alu.

Focus technique du Réseau Breton Bâtiment durable[1] : Le procédé Lucido®

Lucido® est une façade solaire qui se compose d'un verre solaire, d'un élément absorbant en bois et d'un mur isolant. Cette façade valorise les qualités de déphasage du bois cumulé à l'effet de serre.

Les rayons du soleil réchauffent la structure lamellaire en bois. Cette chaleur traverse ensuite le mur en 4 à 12 heures avant de pénétrer à l'intérieur du bâtiment. Le procédé permet de réduire les déperditions thermiques par temps ensoleillé, l'hiver, et joue son rôle isolant le reste du temps.

La mise en œuvre du procédé sur ce chantier n'a pas fait l'objet de difficultés particulières. En revanche, cette solution a été jugée coûteuse car elle nécessite l'intervention d'un bureau d'études spécifique pour le calage des études.

De plus, la fabrication des éléments est réalisée en Suisse. Malgré ses qualités techniques, l'architecte ne l'a pas réutilisé dans d'autres projets.

1. http://www.reseau-breton-batiment-durable.fr/retour_experience/smictom-du-pays-de-fougeres

LE BOIS

Issu d'espaces boisés gérés durablement, le bois est un matériau naturel et renouvelable s'inscrivant dans une logique "zéro gaspillage". Les produits connexes (ou co-produits) issus de l'entretien et de la coupe des arbres (branchages, bois de petit diamètre, etc.) et de la transformation du bois (sciures, copeaux, etc.) sont utilisés dans la fabrication de panneaux, d'isolants ou de bois de chauffage.

LE SAVIEZ-VOUS ?

La filière bois s'est développée en France mais aussi en Bretagne par une extension des forêts bretonnes de feuillus (encore jeunes) et de résineux (aujourd'hui mûrs pour la construction). La filière bois en Bretagne compte 400 000 ha de forêt (14 % du territoire breton), plus de 4 000 entreprises, plus de 15 000 emplois et 10 % des GES de la région sont séquestrés par la forêt bretonne. Les principales essences bretonnes sont feuillues (châtaignier, chêne, hêtre, peuplier) et résineuses (douglas, épicéa de sitka, mélèze, pin maritime et pin sylvestre).

L'UTILISATION

LES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS

La structure "ossature bois"

- Système le plus utilisé en France (plus de 80% des réalisations).
- Système composé de montants et de traverses en bois de faible section répartis régulièrement (40 à 60 cm environ).
- Un panneau (de particules, de contreplaqué ou d'OSB[1]) est fixé sur une face garantissant le contreventement[2] de l'ensemble.
- La structure porteuse en bois intègre l'isolant thermique (dans son épaisseur) et le pare-pluie. Elle sera ensuite recouverte de parements intérieurs (plaque de plâtre, lambris, etc.) et extérieurs (bardage bois, panneaux, pierre, brique, enduit, etc.)
- L'intégration de l'isolant dans la structure réduit l'épaisseur des murs et fait gagner de la surface.
- Système permettant une préfabrication en atelier allant de la structure bois vide à la préfabrication totale (y compris l'isolation, l'étanchéité, les menuiseries, les parements extérieur et intérieur, plus rares dans ce dernier cas).
- Technique utilisée en France : l'ossature à plate-forme (plateform frame) qui consiste à interrompre les poteaux à chaque étage.

La structure "poteau-poutre"

- Système qui consiste à ériger le squelette du bâtiment avec des poteaux et des poutres de fortes sections.
- Les poteaux sont espacés à intervalles réguliers (de 2,5 à 5 m) et forment ce qui déterminera la volumétrie du bâtiment. Les espaces entre les poteaux de structure peuvent indifféremment accueillir des baies vitrées ou des panneaux opaques (panneaux de bois, de la brique, du béton cellulaire ou des madriers empilés).
- Les poteaux édifiés soutiennent des poutres horizontales en bois massif ou en lamellé-collé de forte section qui supportent les planchers et la toiture.
- Le contreventement peut être assuré de différentes manières (encastrements, jambes de force, croix de St André, tirants, etc.)
- La structure porteuse peut être est dissociée de l'enveloppe. Libérée des contraintes structurelles, le poteau-poutre offre une plus grande liberté architecturale (larges baies vitrées, volumes plus importants, formes moins conventionnelles).
- L'ossature porteuse peut rester visible (intérieur ou extérieur) et constituer un élément de décoration.

La structure "panneaux de bois massif" (Cross Laminated Timber : CLT[3]) :

- Technique plus récente (invention de 1947 par l'ingénieur Pierre GAUTHIER) en fort développement en France depuis les années 2000. Elle consiste à utiliser en murs porteurs, en planchers et rampants des éléments de panneaux massifs recevant un parement côté extérieur. Côté intérieur, les panneaux structurels peuvent rester apparents. Il faut cependant vérifier les exigences de réactions au feu selon la catégorie de bâtiment.
- Panneaux constitués de plusieurs plis (de 3 à 9 selon les efforts à reprendre) croisés de lames de bois collées ou clouées entre elles (épaisseur entre 60 et 360 mm). A noter que les CLT cloués ne peuvent pas être utilisés en planchers.
- La structure particulière croisée des planches longitudinales et transversales confère au CLT des performances mécaniques importantes. Ce procédé permet une très grande rigidité et offre la possibilité de bâtiments de grande hauteur (jusqu'à 30 étages)

Il existe deux autres procédés traditionnels peu courants aujourd'hui : madriers et colombages.

LE REVÊTEMENT EXTÉRIEUR

- Une structure bois n'impose pas un revêtement extérieur en bois :
  - Enduit : crépi, chaux, torchis, etc.
  - Matériaux composites : PVC, fibre de ciment, fibre de bois, zinc, etc.
- Un bâtiment avec un parement bois extérieur n'inclut pas forcément un bâtiment en structure bois. Un bâtiment béton peut très facilement être recouvert d'un bardage bois.
- Revêtement extérieur de façade constitué d'éléments minces fixés mécaniquement sur une ossature.
  - Il n'a pas pour fonction d'isoler ou d'être étanche. C'est le pare-pluie qui assure l'étanchéité à l'eau et au vent de la façade.
  - Il est possible de l'utiliser pour changer l'aspect d'une façade, de construire des extensions de maison ou de réaliser une isolation thermique par l'extérieur (ITE).
  - Il existe plusieurs solutions techniques de revêtement extérieur (lames de bois brut, bois composite, panneaux en bois, panneaux de fibre-composite, etc.).
- Différents types et dispositions de bardage peuvent être retenus pour l'habillage extérieur des bâtiments :
  - Lames de bois verticales ou horizontales, à recouvrement ou à claire-voie.
  - Panneaux de bois reconstitué (contreplaqué, trois plis, etc.)
  - Panneaux à base minérale.
  - Panneaux en acier.

L'ISOLATION

- Panneaux de fibres de bois ou de laine de bois : panneaux rigides ou semi rigides issus du défibrage des produits connexes. Utiles pour l'isolation intérieure et extérieure, l'isolation des combles perdus et des rampants de toiture.
- Fibres de bois ou copeaux en vrac : issus du broyage des produits connexes. Utiles pour l'isolation des murs (caissons) et des combles perdus.

Le bois est également utilisé pour l'agencement intérieur (escalier, lambris, parquet, etc.), pour les menuiseries (fenêtres, volets, portes) et les aménagements extérieurs (lame de terrasse, caillebotis, pergola, abris de jardin, etc.)

Il existe des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) pour ces différentes utilisations.

LES ATOUTS

- Matériau léger : préfabrication en atelier facilitée réduisant ainsi les délais de chantier et nécessitant des fondations moins coûteuses notamment sur des terrains peu stables (pas de risque de tassement ni de fissure). Cela permet d'intervenir rapidement en sites existants le plus souvent occupés et d'augmenter la surface utile par des extensions en façade ou par surélévation sans renforcer les structures existantes.
- Matériau renouvelable[4] et recyclable.
- Très faible consommation d'énergie grise pour son exploitation et sa transformation (émission de GES quasiment nulle).
- Très faible émission de COV, le bois dégageant naturellement des formaldéhydes mais en très faible quantité.
- Stockage important de CO_2.
- Bonne résistance mécanique (très bon rapport résistance mécanique/masse) et durabilité dans le temps.
- Bonne résistance au feu, le bois transmettant la chaleur 10 à 15 fois moins vite que le béton et 250 fois moins vite que l'acier.
- Faible conductivité thermique réduisant la formation de ponts thermiques.
- Confort thermique, hygrothermique et acoustique (en correction).
- Peu ou pas d'entretien d'une façade en bois brut si on accepte qu'elle devienne grise avec le temps.

LES INCONVÉNIENTS

- Matériau hygroscopique et putrescible donc sensible à la présence d'eau (moisissures, xylophages) et aux variations volumiques en fonction de son taux d'humidité.
- Anticipation du projet pour garantir la disponibilité d'un matériau résistant et à bonne humidité (inférieure à 18% pour le bois d'ossature, entre 8 et 12% pour le bois d'intérieur).
- Une maison en bois peut nécessiter des travaux d'entretien réguliers si on refuse le grisonnement du bardage. Cet entretien peut générer des coûts importants à terme.
- Les bâtiments en bois nécessitent une conception aboutie et une mise en œuvre conforme donc une main d'œuvre spécialisée.

- Faible inertie nécessitant de bien gérer les apports solaires afin d'éviter l'inconfort d'été. Possibilité d'intégrer d'autres matériaux à forte inertie et/ou d'utiliser des isolants à fort déphasage thermique.

LES POINTS DE VIGILANCE

Il faut vérifier l'adéquation de l'essence avec l'usage car, en fonction de son utilisation (en intérieur ou en extérieur), chaque essence a une durée de vie en œuvre plus ou moins importante :

- Les caractéristiques mécaniques et thermiques du bois sec ne sont pas altérées avec le temps (hormis le phénomène de fluage –déformation - maîtrisé par les ingénieurs bois.)
- La durée de vie du bois en œuvre dépend de son exposition aux agents climatiques ("classe d'emploi") mais également de sa durabilité naturelle. Il s'agit de sa résistance naturelle aux attaques fongiques.
- Lorsque la longévité en œuvre d'une essence est appréciée insuffisante par rapport aux attendus du maître d'ouvrage, l'application d'un traitement (chimique ou thermique) de préservation peut parfois conférer une longévité supérieure. On parle alors de durabilité conférée par opposition à durabilité naturelle.
- Il existe différents types de traitements de préservation (par badigeonnage, trempage, aspersion, imprégnation (autoclave) ou encore par une chauffe sans chimie (traitement par haute température).
- Il existe 5 classes d'emploi. Pour chaque classe, il existe des solutions avec des bois non traités (le bois doit être purgé d'aubier, ce dernier n'étant pas durable) :
  - La situation dans laquelle le bois est à l'intérieur et protégé de l'humidification est dite "classe d'emploi 1".
  - Les bois de structure protégés des intempéries sont en "classe d'emploi 2".
  - Les bois exposés aux intempéries sans contact avec le sol et séchant rapidement sont en "classe d'emploi 3a ou 3b".
  - S'il y a contact avec le sol ou l'eau douce, la situation est dite de "classe d'emploi 4".
  - En contact avec l'eau de mer, le bois est en situation de "classe d'emploi 5".

SYNTHÈSE DES UTILISATIONS DES PRINCIPALES ESSENCES DE BOIS BRETON

	Bardage / vêtures	Agencement intérieur	Structure	Aménagement extérieur	Parquet / lambris	Menuiserie extérieure
Châtaignier	•	•	•	•	•	•
Chêne	•	•	•	•	•	•
Douglas	•	•	•	•	•	•
Epicéa de Sitka	•		•		•	
Hêtre		•		•	•	
Mélèze	•	•	•		•	•
Peuplier	•		•		•	
Pin maritime	•	•	•	•	•	•
Pin sylvestre	•	•	•	•	•	•

La pérennité d'une construction repose avant tout sur le matériau lui-même, son séchage mais également sur les conditions de mise en œuvre du bâtiment. La qualité de la conception et le soin apporté à l'exécution déterminent la longévité d'un ouvrage et permettent de limiter voire d'éviter les attaques biologiques.

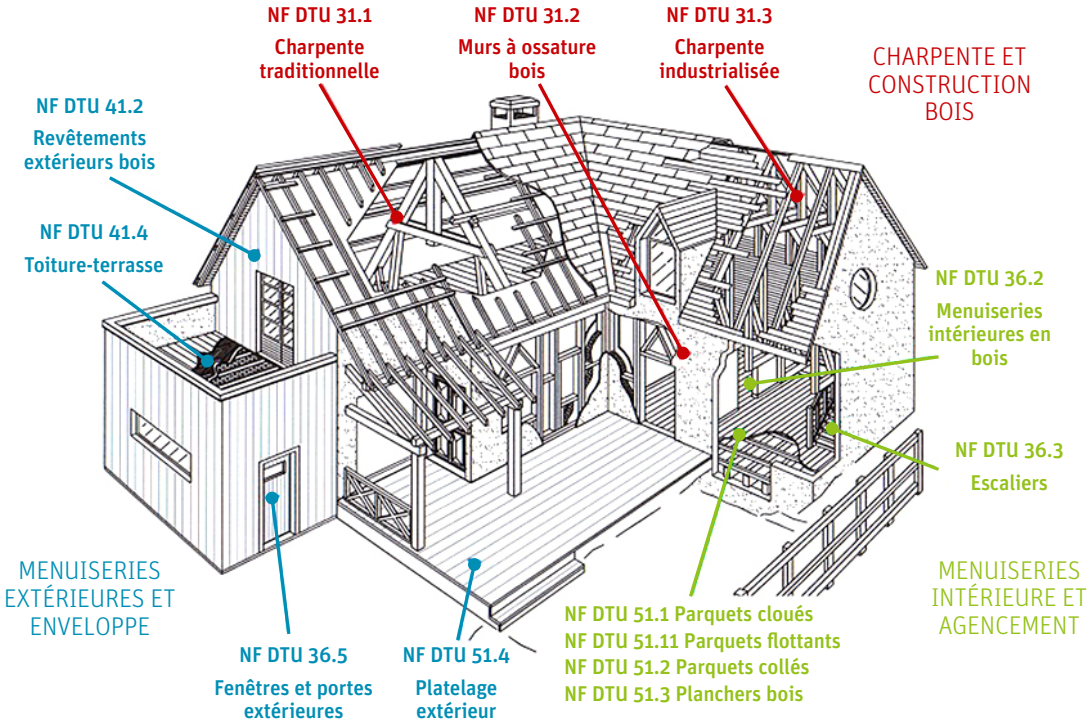
Ce matériau étant très sensible à l'humidité, il faut donc :

- Penser au stockage à l'abri des intempéries et des remontées d'humidité par le sol, pendant le chantier.
- Être vigilant sur l'efficacité des plans d'étanchéité à l'air, à l'eau et à la vapeur d'eau.
- Penser aux détails de conception et de mise en œuvre des ouvrages devant contribuer à préserver le bois tout en évitant qu'il soit soumis à une humidification de longue durée.
- Eviter toute rétention d'eau, favoriser les assemblages drainants et la ventilation pour un séchage rapide des bois exposés aux intempéries.

ASSURABILITÉ

Norme NF EN 300-2 : informations relatives à la durabilité des essences.

Des techniques matures et encadrées (voir document ci-dessous).



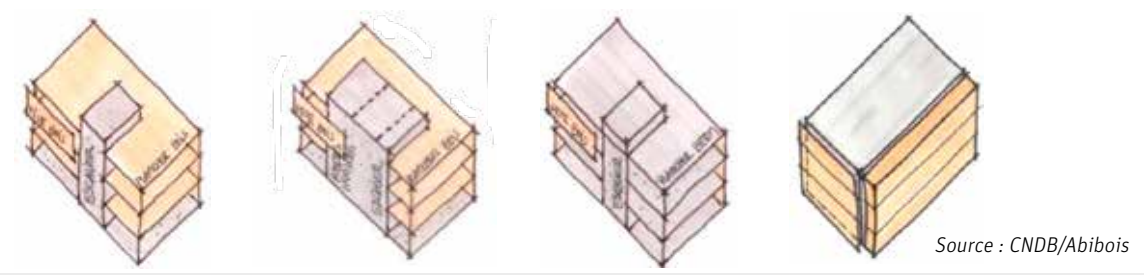
Source : Abibois

8 maisons individuelles groupées à Saint-Médard sur Ille, Néotoa avec V. Cornillet architecte. Ossature, bardage et Charpente en Epicea Classe 2.

LES EXEMPLES DE COMBINAISON
de matériaux conventionnels avec des éco-matériaux

Le bois s'associe très bien avec d'autres matériaux afin de former des produits techniques très performants. Par exemple, le plancher mixte bois-béton, appelé également "plancher collaborant" permet de grandes portées. Il apporte de l'inertie à une structure bois, tout en étant plus léger qu'une dalle béton classique. Il permet également de traiter l'acoustique avec un complexe de plancher moins épais.

Les associations possibles bois/béton



Source : CNDB/Abibois

Siège régional de Nexity, 1er immeuble de bureaux en ossature bois à Rennes, baptisé Ywood (du nom de la filière de Nexity spécialisée dans la construction en bois de bâtiments tertiaires)

Maîtrise d'ouvrage : Nexity. **Maîtrise d'œuvre :** Atelier d'architecture WOA (Paris)

Description

- Immeuble de bureaux en structure bois massif, R+4, 2226 m².
- Environ 600 m^3 de bois sont mis en œuvre, soit environ 600 tonnes de CO_2 stockées.
- Structure poteaux et poutres bois LC, dalle bois CLT, noyau béton.
- Enveloppe en ossature bois préfabriquée.
- Bardage bois PROTAC (1500 m²).
- Epicéa en structure et en façade ; bois issus de forêts européennes labellisées PEFC.
- Isolant en laine minérale.

Focus technique

Bardage, isolant en laine minérale et membrane d'étanchéité à l'air posés en atelier sur le mur ossature bois. Les murs sont ensuite levés sur site pour un gain de temps considérable.

Préfabrication à l'usine PROTAC, source CCL

Immeuble Nexity en construction et lors de sa livraison en 2019 © J. Gonzalez / Rennes, Ville et Métropole

POUR ALLER PLUS LOIN

www.abibois.com : Association Bretonne Interprofessionnelle de la filière Bois
https://catalogue-construction-bois.fr/ : Solutions techniques en construction et réhabilitation
http://www.panoramabois.fr/ : Panorama national de réalisations françaises en bois
www.solutions-rehabilitation.fr : Retours d'expériences de réhabilitations avec le bois
http://mediatheque-bois.keepeek.com/ : Des milliers de documents bois classés par thématique
www.adivbois.org : Association pour le Développement des Immeubles à Vivre Bois
www.bois.com : Portail tout public qui apporte des réponses sur le bois

NOTES

1. Panneau de particules orientées.
2. Le contreventement assure la fixation et la stabilisation de la structure. En effet, il assure avant tout la stabilité du mur et sa résistance aux efforts horizontaux (protection de l'ensemble de la structure contre la déformation), mais il contribue également à l'étanchéité à l'air et à l'eau de la structure ossature bois.
3. Cross Laminated Timber = lames de bois croisées collées.
4. Matériau « renouvelable » : matériau dont le renouvellement naturel est plus rapide que son utilisation.

LE CHANVRE

Plante rustique à croissance rapide, elle ne nécessite pas ou peu d'engrais ni de produits phytosanitaires.

Les parties de la plante utilisées pour le secteur du bâtiment après une 1ère transformation de défibrage sont :

- La fibre (partie extérieure de la tige) reconnue pour sa solidité et sa résistance en textile.
- La chènevotte (partie intérieure de la tige), sa structure poreuse lui conférant une faible masse volumique, une forte capacité d'absorption de l'eau et un comportement thermo hydrique excellent.

Il existe deux types d'unité de défibrage :

- Industrielle : traitement de plusieurs milliers d'hectares de production.
- Artisanale : traitement de quelques centaines d'hectares.

LE SAVIEZ-VOUS ?

La France est le 1er producteur d'Europe (environ 18000 hectares en 2018, soit 50 % de la production européenne). La culture de la plante en Bretagne représente 2 % des surfaces cultivées en France.

L'UTILISATION

Mortier, enduit et béton de chanvre

Ils sont obtenus par le mélange de la chènevotte et d'un liant à base de chaux.

Béton de chanvre

- Son usage : isolation répartie des murs (ossature bois, doublage de murs maçonnés, pierres), des sols (dalles, planchers) et des toitures.
- Ses modes d'application pour les produits de filière humide :
  - béton de chanvre banché avec une mise en œuvre traditionnelle manuelle
  - béton de chanvre "projeté", procédé qui réduit le temps de séchage et le temps de mise en œuvre par rapport à la méthode traditionnelle.
- Son mode d'application pour les produits de filière sèche : bloc ou panneau de mur préfabriqué.
- Il existe des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

Mortier et enduit de chanvre

- Son usage : revêtement de façade intérieure ou extérieure et sur tous types de support (pierre, terre, béton cellulaire, terre cuite, bétons, etc.). Quelques précautions sont toutefois à prendre en fonction des supports rencontrés.

Laine de chanvre (issue de la fibre de la plante)

- Son usage : isolation (murs doublages, combles perdus, rampants de toiture).
- Ses formes : plusieurs sont disponibles (laine souple, panneaux semi-rigides ou en vrac.)
- Son mode d'application : identique aux produits dits "conventionnels".
- Il existe des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).
- Un certain nombre de produits bénéficient d'un certificat Association pour la CERtification des Matériaux Isolants (ACERMI).

Chènevotte en vrac

- Son usage : isolation des murs, caissons de dalles ou toitures.

LES ATOUTS

- La première transformation ne demande pas de traitement chimique (donc pas de pollution intérieure) et est faible en énergie grise.
- Résistance aux rongeurs et aux champignons.
- Confort thermique, hygrothermique et comportements sonores.
- Matériau recyclable à 100% et réutilisable en fin de vie (ACV).
- Résistance et durabilité.
- Forte capacité de stockage de CO_2 (en particulier le béton de chanvre).
- Les différents produits contribuent de façon importante au confort intérieur des bâtiments et aux économies d'énergie.
- Chènevotte : faible masse volumique et pouvoir isolant élevé.
- Béton de chanvre en bloc ou panneau préfabriqué : produits secs et contrôlés donc réduction des contraintes de mise en œuvre et de séchage de la filière humide.

LES INCONVÉNIENTS

- Chènevotte en vrac :
  - Important risque d'infection et de développement d'insectes nuisibles.
  - Pas de traitement efficace à ce jour donc utilisation non recommandée.
- Chènevotte et laine de chanvre ne doivent pas être exposées à l'humidité (comme les produits conventionnels).
- La laine de chanvre peut contenir des retardateurs de feu donc des produits chimiques (comme les produits conventionnels).

LES POINTS DE VIGILANCE

- Si les règles professionnelles ne sont pas correctement appliquées et respectées, les constructions peuvent être source de désordre, d'où la nécessité de suivre des formations professionnelles adaptées aux entreprises ou aux maîtres d'œuvre et architectes.
- Pour la confection du béton et du mortier de chanvre, les liants doivent assurer une liaison fiable et permettre la régulation de l'eau durant tous les stades de la vie du matériau. Le couple liant-chanvre doit être validé par un laboratoire agréé par l'association Construire en Chanvre, couplé à une chènevotte labellisée Granulat Chanvre pour la Construction (en Bretagne : laboratoire accrédité : LGCGM Rennes 1 – INSA).
- L'utilisation du béton de chanvre en filière humide nécessite une conception attentive et une organisation spécifique du chantier (séchage, ventilation, éviter les remontées capillaires, etc.). Il est donc important de former les entreprises mais également les concepteurs.

ASSURABILITÉ

Béton de chanvre

- Les règles professionnelles approuvées par la commission prévention produits (C2P) s'appliquent pour les utilisations suivantes :
  - Isolation de sol en béton de chanvre.
  - Murs en béton de chanvre
  - Enduits en mortier de chanvre.
  - Isolation de toiture en béton de chanvre.
- Les règles professionnelles imposent une formation pour la mise en œuvre du mortier, de l'enduit et du béton de chanvre.
- Très bonne stabilité au feu.

Laine de chanvre

- Les produits isolants en fibres de chanvre sont assimilés à des produits conventionnels.
- Les désordres relevés par l'Agence Qualité Construction (AQC) s'apparentent à ceux relevés pour les autres isolants fibreux biosourcés ou non.
- Il n'existe pas de règles professionnelles (en cours de rédaction par l'Association des Industriels de la Construction Biosourcée (AICB) (anciennement l'ASIV)).
- Procédure des ATec.

Béton de chanvre préfabriqué et chènevotte en vrac

- Procédure des ATec.

▶ EN IMAGES

Projection béton de chanvre toiture (source https://www.lbecohabitat.fr/)

Remplissage de béton de chanvre banché - © Antoine Bosse-Platière (source : http://www.terrevivante.org)

Mur en blocs de chanvre maçonnés - © Antoine Bosse-Platière (source : http://www.terrevivante.org)

Enduit (source : http://db-chanvre.com)

Source : www.chanvre-bio.com

Laine de chanvre en vrac et en panneaux (source : http://www.technichanvre.com/)

POUR ALLER PLUS LOIN

Construire en chanvre : www.construire-en-chanvre.fr
Lin et chanvre en Bretagne : http://www.linchanvrebretagne.org/
InterChanvre : https://interchanvre.org/interchanvre
Chanvriers en Circuits Courts : http://www.chanvriersencircuitscourts.org/ :
Terrachanvre : https://www.terrachanvre.fr/
Technichanvre : http://www.technichanvre.com/
LB ECO HABITAT : https://www.lbecohabitat.fr/

LA OUATE DE CELLULOSE

La ouate de cellulose est composée de fibres de cellulose produites à partir de journaux ou de cartons recyclés. Une première transformation est effectuée (tri, broyage, traitement au feu) puis une seconde, nécessaire à la production de panneaux (association d'un liant et/ou de fibres végétales).

LE SAVIEZ-VOUS ?

En France, il existe sept fabricants de ouate de cellulose dont un implanté en Bretagne.

L'UTILISATION

Flocons en vrac

- Par soufflage sur des surfaces horizontales. Cette technique est utilisée dans l'isolation des combles perdus et des planchers intermédiaires.
- Par insufflation dans des caissons verticaux et rampants fermés par un pare-vapeur ou des panneaux rigides (contrôle de la densité de l'isolant).
- Par projection humide, principalement pour des murs à ossature bois (cloisonnement déjà présent) mais également pour des surfaces horizontales. Il est possible d'y ajouter un liant ou un mélange d'eau.

Panneaux semi-rigides

- Isolation des murs (à ossature, doublage de murs maçonnés), des planchers, des plafonds et des rampants.

Caissons préfabriqués

- Ils sont construits à partir de panneaux (OSB, particules, contreplaqués…) assemblés en coffre contenant l'isolant.
- Ils sont livrés fermés sur le chantier.

Il existe des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) pour certains produits. Un certain nombre de produits bénéficient également d'un certificat Association pour la CERtification des Matériaux Isolants (ACERMI).

LES ATOUTS

- Valorisation des déchets.
- Performances thermiques et acoustiques.
- Bonne inertie thermique.
- Régulateur hygrothermique (peut absorber jusqu'à 15 % de son poids en eau).
- Déphasage intéressant pour le confort d'été (de 10 à 12h pour 20 cm d'isolant).
- Ressource renouvelable et recyclable.
- Insensible aux micro-organismes, imputrescible.
- Ecobilan performant (très faible énergie grise lorsque l'approvisionnement est en circuits courts).
- Panneaux semi-rigides : souples et compressibles (jusqu'à 2/3 de leur volume) pour un traitement des ponts thermiques facilité.

LES INCONVÉNIENTS

- Protection ignifuge : un traitement chimique, à base de sels de bore et autres sels minéraux inertes, est nécessaire. Les isolants en ouate de cellulose contenant plus de 5,5 % de sel de bore doivent porter une étiquette indiquant les risquent potentiels de toxicité. En dessous de ce taux, aucune mention n'est obligatoire. La plupart des produits vendus en France sont en deçà des 5,5 %.
- Projection humide : temps de séchage très long.

LES POINTS DE VIGILANCE

- Production de poussière lors de la mise en œuvre : il faut donc une protection pendant le chantier et une étanchéité des parois afin que la poussière ne se disperse pas dans l'air intérieur.
- Isolation en vrac des murs ou toitures assez pentues : cela nécessite une machine à insuffler permettant le contrôle de la densité de l'isolant pour, ainsi, éviter tout risque de tassement ultérieur.
- Protection de l'humidité par l'extérieur (pare-pluie respirant) et par l'intérieur (frein-vapeur) pour toutes les formes et techniques de mise en œuvre de l'isolant.

- Protection au feu : un travail de préparation est à réaliser en réhaussant la VMC, en posant un contour de trappe et une garde au feu autour des conduits de fumées. Il faudra également penser à installer des capots de protection des spots et poser des signalétiques de repérage des boîtiers électriques ainsi que poser des piges de contrôle de hauteur.
- Ouate de cellulose insufflée et ponts thermiques : cela peut être produit par un défaut de mise en œuvre ou un mauvais réglage de la machine à insuffler.

Pour l'Agence Qualité Construction (AQC), les principaux désordres et sinistres relevés sont essentiellement dus à des dégâts des eaux engendrés par :

- Des erreurs de conception et principalement des défaillances d'attention pendant le chantier et/ou des mauvaises techniques de mise en œuvre.
- Des désordres non spécifiques à la ouate de cellulose mais pouvant toucher tous les isolants fibreux (les caractères hydrophile et hygroscopique pouvant accentuer les désordres constatés).

ASSURABILITÉ

Ces produits sont assimilés à des produits conventionnels mais des formations sont recommandées afin d'être correctement informé des méthodes, techniques et autres précautions à respecter.

En 2012, la ouate de cellulose a été mise en observation par la Commission Prévention Produits (C2P), celle-ci ayant constaté un manque de sensibilisation des maîtres d'ouvrage et entrepreneurs à la spécificité du matériau (risque incendie). Suite aux efforts de formation et de communication des fabricants, les procédés sont désormais inscrits sur la liste verte.

- Procédure des ATec.
- Cahiers de prescriptions techniques.
- Normes : NF EN 15101-1 et 15101-2 : produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Isolation thermique formée en place à base de cellulose.

▶ EN IMAGES

Projection humide dans caisson ouvert (source : www.materiaux-naturels.fr)

Insufflation dans les rampants (Source : biofib.com)

Panneaux semi-rigides (source : www.soprema.fr)

Soufflage des combles perdus (source : www.biofib.com)

POUR ALLER PLUS LOIN

Association ECIMA (European Cellulose Insulation Manufacturers association) : https://www.ecima.net/
SAS CELLAOUATE : http://www.cellaouate.com/
SOPREMA : http://www.soprema.fr/
SAS IGLOO FRANCE CELLULOSE : http://www.cellulose-igloo.com/
SEMI SARL : http://www.lameilleureisolation.com/
NOVIDEM : http://www.novidem.fr/
SAS OUATTITUDE (ISOCELL) : https://www.isocell.com/fr/
OUATECO : https://www.ouateco.com/
CAVAC BIOMATERIAUX : https://www.cavac-biomateriaux.com/

LA PAILLE

La paille provient de la tige de céréales, principalement le blé. Elle est considérée comme un co-produit de l'agriculture (valorisation d'un « déchet » donc pas d'impact sur la production alimentaire).

LE SAVIEZ-VOUS ?

La paille est le produit local par excellence, situé à moins de 50km du site de construction pour 90% des approvisionnements. Elle s'achète soit directement à un agriculteur céréalier, qui doit attester de la qualité de la botte pour son usage en tant qu'isolant, soit à un fournisseur de paille.

L'UTILISATION

Bottes de paille

- Isolation par remplissage d'une ossature bois ou caissons porteurs préfabriqués (isolation des murs et de la toiture nécessitant toutefois un renforcement de la charpente).
- Isolation par l'extérieur sur un mur existant (briques, parpaings, etc.). Les bottes sont directement fixées sur l'existant ou dans une ossature elle-même fixée sur le mur.
- Structure porteuse selon la technique dite Nebraska (améliorée depuis l'utilisation de moyennes ou grosses bottes). Il s'agit d'un empilement en quinconce de bottes maintenues entre elles par des piquets de bois. Le tout est compressé par le poids de la toiture (pré-compression avec des sangles).

Panneaux de paille compressée

Il s'agit d'un procédé de compression de la paille à chaud, avec un revêtement en carton collé sur les deux faces.

- Aménagement intérieur (cloisonnement, doublage de cloisons).

Mélange terre/paille

- Mélange de paille en vrac à de la terre (réinterprétation contemporaine du torchis). Il s'agit d'une isolation par remplissage banché (moins isolant que la botte de paille mais son comportement hygrothermique est amélioré).

LES ATOUTS

- Culture locale abondante et renouvelable.
- Confort thermique, hygrothermique et acoustique.
- Comportement au feu compatible avec l'usage en habitation ou ERP.
- Résistance aux rongeurs et insectes.
- Stockage important de CO_2.
- Recyclable et compostable.
- Facilité de mise en œuvre.
- Epaisseur des murs comparable à un mur parpaing enduit + laine de verre (entre 45 et 50 cm).
- Coût modéré.
- La botte de paille ne demande ni transformation (donc consommation d'énergie grise quasi nulle), ni traitement chimique (donc matériau sain avec un étiquetage A+).
- Le panneau de paille compressée a une haute résistance mécanique et peut donc être posé en intérieur sans ossature.

LES INCONVÉNIENTS

- Panneaux compressés : polluants possibles avec les colles. Il n'existe plus de fabricant en France.
- Remplissage par bottes de paille : le poids des bottes de paille peut poser problème pour la charpente en cas d'isolation du toit.
- Matériau hygroscopique et putrescible donc sensible à la présence d'eau (moisissures).
- Anticipation du projet pour garantir la disponibilité du matériau.

POINTS DE VIGILANCE

- Pendant la phase chantier, les zones de stockage et de travail doivent être bien définies et éloignées l'une de l'autre. La paille doit être stockée dans un endroit sec et aéré. Les risques d'incendie sont plus importants pendant la phase chantier que pendant la vie du bâtiment.
- Il faut prévoir un enduit (à la chaux-sable ou en terre crue) ou un bardage de protection contre les intempéries et le feu. Le revêtement en enduit terre est déconseillé sur les façades sud et ouest en Bretagne. Il faut également prévoir un soubassement d'au moins 20 cm au-dessus du sol, couvert d'une couche étanche afin d'éviter les remontées d'eau depuis le sol.

ASSURABILITÉ

Bottes de paille

- Les règles professionnelles approuvées par la C2P s'appliquent pour les utilisations suivantes :
  - Remplissage isolant dans une ossature bois.
  - Support d'enduits.
- Les règles professionnelles sont en cours de rédaction pour l'isolation par l'extérieur.
- Les règles professionnelles imposent une formation pour l'assurabilité de la mise en œuvre des bottes de paille et des enduits (formation "Pro-paille") à destination des architectes, des bureaux d'études et des entreprises.
- Les règles professionnelles ne concernent que la paille de blé.
- L'avis de l'Agence Qualité Construction (AQC) stipule que le matériau paille n'est pas source de sinistralité. Seuls les défauts de conception et de mise en œuvre, comme tout produit conventionnel, sont susceptibles de créer des désordres et des sinistres.

Blocs de paille compressée

- La procédure des ATec vise un procédé d'isolation thermique des murs à ossature bois.

Paille structurelle

- Il n'existe pas de règlementation à ce jour mais il est possible d'assurer la conception et la construction en justifiant des calculs de structure par des bureaux d'études spécialisés.

▶ EN IMAGES

Caisson préfabriqué (source : https://rfcp.fr)

Isolation par remplissage (source : http://cncp-feuillette.fr)

Paille structurelle (source : https://rfcp.fr)

Isolation par l'extérieur (source : https://rfcp.fr)

Isolation par remplissage (Source https://rfcp.fr)

Revêtement de façade par enduit (source : http://cncp-feuillette.fr)

POUR ALLER PLUS LOIN

Réseau français de la construction paille : www.rfcp.fr
Centre national de la construction paille : www.cncp-feuillette.fr
Collectif paille armoricain (représentant régional du RFCP) : http://armorique.constructionpaille.fr/
Association approche-paille : www.approchepaille.fr

LA TERRE CRUE

Les terres sont très variables (taille des grains, couleur, texture, résistances et sensibilités à l'eau différentes liées à la nature des argiles). La ressource utilisée pour bâtir en terre crue présente les caractéristiques d'un sol limoneux se situant en dessous de la couche arable et fertile (soit entre environ 30 cm et 1 m 50 de profondeur.)

Ce matériau inerte, qui n'a pas de qualité agronomique, est disponible et abondant localement (plus de 2 millions de tonnes de terres sont extraites des sols et mises en décharge chaque année en Bretagne).

Utilisée pour la construction neuve contemporaine et la réhabilitation de bâtiment, la terre crue offre des possibilités de mises en œuvre multiples en intérieur et en extérieur d'un ouvrage, pour le gros œuvre (mur), le second œuvre (cloisons) et finitions (protection, esthétisme, ornementation).

Le matériau terre crue dispose d'un fort potentiel pour répondre aux enjeux environnementaux, sanitaires et d'économie circulaire à forte intensité sociale. Aux objectifs performantiels de l'ensemble de l'ouvrage peuvent s'ajouter des objectifs de solutions peu consommatrices d'énergie grise et de matériaux bas carbone. Il s'agit de viser une économie des ressources, de privilégier des matériaux à forte inertie dans les espaces appropriés et de valoriser les énergies renouvelables.

LE SAVIEZ-VOUS ?

La terre est un matériau naturel utilisé dès le Néolithique pour la construction. De nombreux procédés se sont développés dans différentes cultures avec des adaptations locales et architecturales. La Bretagne possède également un important patrimoine en terre, la bauge étant la technique la plus utilisée dans la région.

L'UTILISATION

PROCÉDÉS TRADITIONNELS

On distingue deux procédés types, traditionnels et traditionnels mécanisés, avec une mise en œuvre s'effectuant selon deux états : humide ou sec.

Par voie humide (état plastique)

- Bauge (terre et fibre mélangées, empilées).
- Adobe (terre et fibre mélangées, moulées en briques et séchées).
- Torchis (terre en garnissage).
- Terre allégée (matériau d'isolation).
- Enduit (matériau de protection et finition).

Voie sèche

- Bloc de terre comprimé (terre et fibre compressées dans une presse).
- Pisé (terre compactée dans des coffrages).

PROCÉDÉS INNOVANTS

Les procédés innovants emploient différents types d'ajouts comme les liants hydrauliques (ciment, chaux, fluidifiant, dispersant, etc.). Plus consommateurs d'énergie grise, ils sont aussi moins économes en ressources et de moindre intensité sociale. Les risques de désordre et de sinistre sont élevés du fait de leur récente utilisation et du peu de retour d'expérience.

Le choix des procédés dépend directement de la ressource disponible et est étroitement lié à la commande et aux objectifs recherchés.

Il est conseillé de bien s'informer auprès des professionnels de la construction en terre crue très en amont d'un projet (lors de la phase d'étude des sols) que ce soit dans le cadre d'une réhabilitation ou d'une construction neuve et d'avoir recours aux savoir-faire des entreprises locales.

LES ATOUTS

- Procédés traditionnels bas carbone (faible énergie grise).
- Forte inertie thermique (déphasage).
- Qualité sanitaire et haute qualité de l'air intérieur.
- Confort acoustique et bien-être ressenti.
- Techniques de mise en œuvre variées.
- Intensité sociale : savoir-faire local non "délocalisable".
- Matériau à durée de vie longue et réversible[1].

LES INCONVÉNIENTS

- Non renouvelable[2].
- Peu isolant thermiquement.
- Résistance mécanique plus limitée que d'autres matériaux naturels.
- Faible résistance à l'abrasion.
- Manque de connaissance du matériau par les professionnels et le grand public.
- Des freins règlementaires.

LES POINTS DE VIGILANCE

- Sensibilité à l'eau.
- Temps de séchage du matériau.
- Nécessite la mobilisation de plus de main d'œuvre.
- L'usage de liants hydrauliques (stabilisation à la chaux ou au ciment) dégrade l'impact environnementale du projet. Leur utilisation nécessite la réalisation d'essais de convenance au traitement des sols avant emploi.
- Incompatibilité du matériau avec des enduits ciments.
- Des procédés nouveaux avec peu de retour d'expérience.

ASSURABILITÉ

- Parution de "Guides de Bonnes Pratiques" : à la demande du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie en 2013, les professionnels de la construction en terre crue ont rédigé des guides pour les techniques de la bauge, du torchis, de la terre allégée, du pisé et des enduits (2019). Ces documents regroupent les bonnes pratiques faisant consensus dans la profession pour la réalisation et la restauration d'ouvrages. Ils sont diffusables auprès des assureurs et des bureaux de contrôle et facilitent l'assurabilité.
- Règles professionnelles sur les enduits terre sur support en terre.
- Les autres techniques sont "non courantes" et non normalisées (pour un produit à base de terre, il est possible d'avoir recours à des ATEx et avis techniques).

▶ EN IMAGES

© G. Maetz

Entreprise Eirl Terre Crue (35)

© F. Auvé

Chantier Participatif Botmobil, La Vicomté-Sur-Rance (35)

© DR

Technique de la bauge

© IAUR

Entreprise Maison en Terre (35)

POUR ALLER PLUS LOIN

Collectif des Terreux Armoricains
https://webmaster50050.wixsite.com/terreux-armoricains / Adresse : contact@terreuxarmoricains.org
Tiez Breiz :
https://www.tiez-breiz.bzh/ Adresse : accueil@tiez-breiz.bzh
IAUR et Accroterre – Programme R&D - ECOMATERRE :
http://www.iaur.fr/recherche/ami-terre-crue-rd-ecomaterre/ Adresse : iaur-contact@univ-rennes2.fr

NOTES

1. Matériau « réversible » : matériau réutilisable en construction, en l'état et à performance équivalente.
2. Matériau « renouvelable » : matériau dont le renouvellement naturel est plus rapide que son utilisation.

LE TEXTILE RECYCLÉ

Il existe trois types de ressources :

- Celles issues de la récupération et du tri de textiles usagés.
- Celles issues des chutes neuves de l'industrie textile (généralement de chutes de confections situées à l'étranger : Espagne ou Tunisie pour la majorité).
- Celles issues de chutes de filatures.

Il est principalement composé de fibre de coton.

La transformation de vêtements se fait par effilochage pour obtenir des fibres longues. Une deuxième transformation est possible en mélangeant les fibres avec un liant polyester (15 %) ou autres fibres végétales et ainsi obtenir des produits sous forme de panneaux ou rouleaux.

LE SAVIEZ-VOUS ?

En France, il n'existe que trois fabricants de textile recyclé.

L'UTILISATION

Flocons en vrac

- Mise en œuvre par soufflage pour l'isolation des combles perdus.

Panneaux ou rouleaux

- Mise en œuvre similaire aux isolants "conventionnels" pour l'isolation des murs (à ossature, doublage murs maçonnés, cloisons), combles perdus, rampants de toiture, planchers.

Panneaux d'affaiblissement acoustique et d'absorption

- Visent à diminuer les phénomènes de résonnance dans les espaces intérieurs et entre locaux.

Il existe des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) pour certains produits. Un certain nombre de produits bénéficient également d'un certificat Association pour la CERtification des Matériaux Isolants (ACERMI).

LES ATOUTS

- Performance thermique et acoustique.
- Bonne régulation de l'humidité (peut absorber jusqu'à 25% de son poids en eau).
- Facilité de pose.
- Aucune émission de COV.
- Etiquetage A+.
- Ignifugation de l'isolant (au cœur de la matière grâce à un procédé de plein bain) par un produit naturel et biologique, obtenu par extraction de matière organique sans sels de bore et sans sels d'ammonium. Seul l'isolant grand public Métisse propose ce type d'ignifugation.

LES INCONVÉNIENTS

- Traitement fongique et ignifugeant.
- Liant de polyester.
- Tassement possible en application verticale.
- Emission de CO_2 entre sites de collecte et usines de transformation.

LES POINTS DE VIGILANCE

Isolant capillaire et hydrophile, il est recommandé d'apporter un soin particulier à la pose du pare-vapeur ou pare-pluie et de le protéger de toute remontée capillaire d'humidité (même point de vigilance que pour tout isolant traditionnel).

ASSURABILITÉ

- Procédure des ATec pour isolation en combles, toitures et murs.

▶ EN IMAGES

Panneaux semi-rigides
(source : http://www.technichanvre.com)

Soufflage flocons en vrac
(source : https://conseils-thermiques.org)

Baffle de correction acoustique en coton recyclé
(source : http://isolantmetisse.com)

POUR ALLER PLUS LOIN

Biofib isolation : https://www.biofib.com/

Cotonwool : https://cotonwool.com/

Le Relais Métisse : http://www.isolantmetisse.com/

Association des industriels de la construction biosourcée (AICB) : syndicat professionnel qui fédère les principaux acteurs industriels des produits de construction biosourcés : asiv2017@gmail.com