

UNE NOUVELLE APPROCHE DE L'ACTE DE BÂTIR

L'architecture éco-responsable



→ *Les dangers encourus aujourd'hui par notre planète et ses habitants rendent indispensable une remise en question de nos modes de vie. Elle passe entre autres par le développement d'une architecture éco-responsable, c'est-à-dire fonctionnelle, confortable, économe en matières premières et respectueuse de l'environnement, au sens large du terme. La conception de cette architecture – également qualifiée de bioclimatique, d'écologique ou de durable – varie radicalement selon le relief, le climat, les ressources régionales, la culture locale, le niveau social des citoyens et les choix politiques des États. Cette multiplicité des réponses n'est d'ailleurs pas nouvelle : l'étude des constructions traditionnelles prouve la multitude des solutions permettant d'apporter aux usagers le confort nécessaire, tout en respectant l'intégrité du territoire.*

Dominique Gauzin-Müller
architecte, professeur
associée à l'École
d'architecture de
Strasbourg

1. HISTOIRE ET DÉVELOPPEMENT

DES CONSTRUCTIONS VERNACULAIRES À L'HABITAT BIOCLIMATIQUE

L'architecture traditionnelle typique d'une aire géographique et culturelle donnée est la manifestation d'un savoir-faire séculaire transmis et amélioré de génération en génération. Cette architecture, dite vernaculaire, est une « science du concret ». Il convient de méditer son enseignement, de le perpétuer, mais aussi de l'enrichir et de le prolonger. Formes, matériaux et techniques de l'architecture vernaculaire ont été dictés par le microclimat et les avantages offerts par les ressources localement disponibles : construction en bois dans les régions forestières ; murs en pisé ou en brique et couvertures en tuile quand les sols sont argileux ; toitures en ardoise ou en lauze dans les régions schisteuses ; maçonneries en calcaire, en grès ou en granite selon la nature du substratum. Grâce à l'expérience des anciens, l'architecture traditionnelle tenait également compte des risques liés au relief et au climat : terrains inondables, couloirs d'avalanches, zones sismiques, etc. L'habitat « bioclimatique » est un mode de construction alternatif qui a émergé aux États-Unis après les crises pétrolières des années 1970. Il s'inspire de l'insertion douce des constructions vernaculaires dans le paysage, de leur adéquation entre fonction et usage ainsi que de la logique d'utilisation inhérente à chaque matériau. Il a été repris en France par des « néo-ruraux » qui ont quitté la ville pour s'installer à la campagne, dans des régions plus ou moins désertifiées. Réalisées pour la plupart en autoconstruction, avec peu de moyens et sans études thermiques, les premières maisons bioclimatiques offrent un confort d'hiver et d'été grâce à une approche pragmatique, inspirée de celle de l'habitat vernaculaire.



Maison bioclimatique à Brand (Autriche), architecte Wolfgang Ritsch (2002). Pour cette maison, située dans une station de montagne, les principes bioclimatiques ont été appliqués avec rigueur : paroi nord très isolée avec peu d'ouvertures pour éviter les déperditions thermiques ; façade sud (photographie) largement vitrée pour profiter de la chaleur du soleil en hiver mais protégée des surchauffes de l'été par un large débord de toiture ; capteurs solaires pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage, combinés avec un poêle à bois. (D. Gauzin-Müller)

À LA RECHERCHE D'UN ÉQUILIBRE ENTRE « LOW-TECH » ET « HIGH-TECH »

Depuis les années 1980, deux tendances se développent parallèlement : le *low-tech* et le *high-tech*. Les partisans du *low-tech*, mus par la volonté de retrouver dans leur mode de vie une simplicité volontaire, sont convaincus de la nécessité d'une décroissance économique dans les pays industrialisés. Ils pratiquent souvent l'autoconstruction avec des matériaux naturels locaux et prônent l'économie de moyens et la mise en valeur de savoir-faire traditionnels. Le *high-tech*, soutenu par la recherche industrielle, est lui essentiellement axé sur l'optimisation énergétique grâce à des matériaux et des installations techniques sophistiquées. Entre les deux se dessine une troisième voie, moins militante et plus pragmatique, qui place l'homme au centre des préoccupations. Cette architecture « éco-responsable » englobe des préoccupations économiques et écologiques, tout en affirmant notre responsabilité sociale vis-à-vis des générations futures. Les concepteurs de ces constructions plus respectueuses de l'homme et de la nature commencent par appliquer toutes les mesures bioclimatiques dictées par le bon sens, qui ne coûtent que du temps d'analyse et de réflexion, avant de se tourner vers des installations techniques optimisées. Leur travail est fondé sur des échanges constructifs avec les clients, les ingénieurs, les entreprises et les artisans.

DES MOTIVATIONS DIFFÉRENTES SELON LES PAYS

La notion d'architecture éco-responsable est indissociable de celle de « développement durable » qui a été popularisée par le Sommet de la Terre organisé en 1992 à Rio de Janeiro. Cette approche s'est développée avec plus ou moins de rapidité selon les États.

Dans les pays scandinaves et germaniques, les mentalités ont déjà beaucoup évolué et les pratiques en faveur d'un développement durable et équitable sont ancrées dans la réalité quotidienne : elles sont intégrées à la culture et représentent un pouvoir politique et économique. Les Scandinaves ont une relation presque mystique avec la nature sauvage, qui les pousse à la défendre, et ces pays peu peuplés au climat difficile ont une

<p>Intégration au territoire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser les particularités du territoire : géographie, géologie, culture et traditions locales, architecture vernaculaire - Prendre en compte la topographie, les vents et les caractéristiques climatiques (vents dominants, angles du soleil selon les saisons, masques dus au relief et à la végétation) - Analyser les ressources locales : forêts, carrières, etc. - Adapter le bâti au terrain : limiter terrassements et murs de soutènement, protéger les sols à l'écosystème fragile - Préserver la végétation existante et choisir des végétaux locaux pour les plantations
<p>Maîtrise des besoins en énergie pour le confort thermique [chauffage, eau chaude et refroidissement]</p>	<p>Mesures passives sur l'enveloppe</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implantation tenant compte des caractéristiques climatiques - Forme du bâti compacte pour réduire les déperditions thermiques - Dimensionnement des baies en fonction de l'orientation - Positionnement des ouvertures favorisant la ventilation naturelle - Qualité des vitrages (doubles, voire triples, avec lame en gaz rare) - Isolation renforcée de l'enveloppe et suppression des ponts thermiques - Présence d'inertie à forte inertie thermique - Protections solaires a priori fixes pour arrêter les rayons du soleil en été et les laisser pénétrer dans le bâti en hiver <p>Installations techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puits canadien pour préchauffer l'air neuf en hiver et le rafraîchir en été - Pompe à chaleur si possible réversible pour chauffer et rafraîchir - Ventilation double flux avec récupérateur de chaleur à haut rendement - Poêle à bois dans les régions forestières - Capteurs solaires thermiques pour l'eau chaude sanitaire - Choix d'appareils performants (classe A de l'étiquette énergie)
<p>Maîtrise des besoins en énergie pour le confort visuel [éclairage naturel et artificiel]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation et dimensionnement judicieux des ouvertures - Protections solaires fixes et mobiles pour éviter l'éblouissement - Choix d'ampoules fluocompactes à basse consommation - Choix d'appareils performants (classe A de l'étiquette énergie)
<p>Choix des matériaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Préférer les matériaux renouvelables (bois), recyclés (cellulose), recyclables ou peu énergivores - Utiliser des matériaux et des finitions reconnus sans danger pour la santé - Choisir des matériaux produits dans la région pour favoriser l'économie locale et limiter le transport, source de pollution
<p>Maîtrise du cycle de l'eau</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des installations sanitaires économes en eau - Récupérer l'eau de pluie pour l'arrosage du jardin, voire l'alimentation des chasses d'eau des toilettes et du lave-linge - Traiter naturellement les eaux usées avec des jardins filtrants (jins, roseaux, etc.) - Régulariser les toitures
<p>Maîtrise des déchets</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tenir compte des dimensions de fabrication des matériaux pour minimiser les chutes - Préférer les filières sèches et la préfabrication en atelier pour réduire la durée du chantier - Mettre en place un chantier vert avec tri sélectif des déchets

Les critères à respecter dans le cadre de l'architecture éco-responsable.

tradition d'entraide et de démocratie participative. Le passé a légué aux Allemands une conscience aiguë de la responsabilité commune. Leur engagement s'explique aussi de manière plus prosaïque par un choix industriel. Ce pays exportateur voit dans les technologies liées au développement durable les marchés de demain : capteurs solaires thermiques, cellules photovoltaïques, éoliennes, récupération de l'eau de pluie, etc. L'organisation fédérale des pays germaniques est un autre facteur favorable à l'application des mesures en faveur du développement durable. Aujourd'hui, les exemples les plus convaincants d'architecture éco-responsable se trouvent dans les régions qui bordent le lac de Constance : l'Allemagne du sud, la Suisse alémanique et l'Autriche, en particulier le Vorarlberg. L'exception culturelle et sociale sensible dans ce petit Land s'explique autant par des échanges fondés sur la confiance que par le sens civique d'une population consciente de ses devoirs citoyens. Le travail des professionnels s'y appuie sur des valeurs morales, une modestie et un goût du dialogue qui les incitent à mutualiser leurs compétences. Leur pragmatisme évite le gaspillage en temps, en argent et en matières premières et l'évaluation des projets permet à tous de profiter du retour d'expérience. Cette démarche de bon sens, adaptée aux particularismes locaux, est portée par des clients et des concepteurs engagés et très conscients de leur responsabilité.

LA SITUATION FRANÇAISE

Le retard de la France sur certains de ses voisins s'explique par de nombreuses raisons liées à sa culture, à son histoire et aux choix politiques des dirigeants : le pays souffre de sa centralisation et de sa technocratie. Le secteur français du bâtiment (résidentiel et tertiaire) consomme 43 p. 100 de l'énergie et il est responsable de 25 p. 100 des émissions de dioxyde de carbone (source : www.ademe.fr). Ce qui est inquiétant, c'est qu'entre 1990 et 2004 les émissions de gaz à effet de serre dans le résidentiel et le tertiaire ont augmenté de 22 p. 100 (source : Medd/Citepa) au lieu de baisser pour répondre aux engagements européens. Ces chiffres montrent à la fois la responsabilité du secteur du bâtiment et la nécessité d'agir le plus vite et le plus efficacement possible. Les problèmes sont globaux, mais ils doivent aussi être traités localement : réduc-



DU LABEL PASSIVHAUS AU LABEL EFFINERGIE

Le label Passivhaus (www.ig-passivhaus.de) a été initié en Allemagne en 1989. Son obtention est soumise à plusieurs conditions, mais la principale concerne les besoins en énergie finale pour le chauffage : ils doivent être inférieurs à 15 kWh/m².an, soit environ trois fois moins qu'un habitat conforme à la

réglementation thermique française (RT 2005). Le principe est simple, mais astucieux : réduire assez les besoins en énergie pour qu'un chauffage conventionnel devienne inutile. Cela nécessite l'application conséquente des principes bioclimatiques, une enveloppe très isolée et étanche à l'air et la mise en œuvre d'installations techniques très performantes. L'air devient alors vecteur de chauffage, grâce à une ventilation mécanique double flux qui récupère 80 à 90 p. 100 de la chaleur de l'air vicié avant son rejet vers l'extérieur. En 2007, environ 7 000 logements Passivhaus étaient déjà réalisés, essentiellement dans les pays germaniques. La démarche, conçue pour l'habitat, s'étend peu à peu aux équipements

publics, aux bureaux et aux bâtiments d'activités. Elle gagne d'autres pays d'Europe et un groupe d'études cherche des solutions pour les climats chauds européens (www.passive-on.org). Un label français intitulé Effinergie, inspiré du standard Passivhaus et du label suisse Minergie, a été mis en place en 2007. Dans le résidentiel neuf, la consommation d'énergie primaire (le taux de conversion entre énergie finale et énergie primaire est de 2,58 pour l'électricité fournie par le réseau, de 1 pour les énergies fossiles et de 0,6 pour le bois) pour le chauffage, mais aussi pour le rafraîchissement, la ventilation et l'éclairage, doit être inférieure à 50 kWh/m².an (www.effinergie.org).

tion des pollutions, gestion économe des matières premières, gestion raisonnée des sols pour conserver des zones naturelles et préserver la biodiversité, maîtrise des déchets. Le succès de la démarche environnementale appliquée au bâtiment nécessite une volonté forte du commanditaire du projet et une équipe de concepteurs compétente, capable de mobiliser les entreprises. Cette approche impose des transformations profondes de notre manière de réfléchir puis d'agir. Il est indispensable de raisonner désormais en termes de coût global, qui correspond au coût d'investissement majoré des coûts de fonctionnement (charges, entretien, maintenance), des dépenses liées à un éventuel changement d'usage du bâtiment, de sa déconstruction et de l'élimination des déchets en fin de vie, sans oublier le coût social, même s'il est plus difficile à évaluer.

2. LES MÉTHODES DE CONCEPTION

D'UNE APPROCHE INTUITIVE AUX GRILLES D'ÉVALUATION

L'approche bioclimatique est assez intuitive : elle s'appuie sur l'observation du site et sur l'enseignement tiré des constructions vernaculaires. Ce n'est qu'au début des années 1990 que sont apparues les premières grilles destinées à une évaluation « objective » des caractéristiques environnementales des bâtiments. Ces grilles analytiques multicritères, inspirées de la procédure ISO 14001, ont généralement des objectifs quantifiés et sont associées à une méthode de management environnemental : Green Building Tool en Amérique du Nord, Breeam au Royaume-Uni, Dbcu aux Pays-Bas, Klimaaktivhaus en Autriche. Les pays germaniques mettent l'accent sur l'efficacité énergétique à travers une réglementation thermique contraignante et des labels volontaires : Minergie en Suisse (www.minergie.ch), Habitat passif en Allemagne et en Autriche (www.passiv.de). Très technocratique, la démarche française HQE® (haute qualité environnementale), créée en 1994, a été accueillie avec scepticisme par les professionnels de terrain, ce qui explique son faible impact.



Maison écologique à Athée, Mayenne (France), cabinet d'architecture et d'environnement Es'pace (2006). L'association Terres de vent travaille à la promotion d'un habitat écologique en matériaux naturels, assez simple pour être autoconstruit et suffisamment économique pour être reproductible. Les murs de cette maison ont une ossature en douglas non traité et une isolation en paille, avec une finition en enduit terre. La mezzanine est supportée par un mur intérieur en pisé, qui apporte au bâtiment de l'inertie thermique et participe à la régulation de l'humidité de l'air. (Association Terres de vent)

UNE DÉMARCHE HOLISTIQUE

Le processus qui mène à une architecture éco-responsable est une approche globale, interdisciplinaire et consensuelle. Comme le développement durable, elle s'appuie sur quatre types de préoccupations : écologiques, économiques, sociales et culturelles. Cette démarche holistique (du grec *holos*, « tout entier »), également utilisée en médecine et dans l'agriculture, exige une symbiose entre approche intuitive et démarche analytique. La juxtaposition de réponses justes à des cibles spécifiques ne donnant pas toujours un résultat global pertinent, la démarche doit être abordée comme une synthèse créatrice. Un bâtiment éco-responsable, c'est avant tout une construction qui répond aux souhaits et aux besoins actuels des usagers et qui anticipe l'avenir en autorisant l'évolution de l'utilisation dans le temps. Les autres critères varient selon le milieu, urbain ou naturel, le contexte géographique et sociologique et le budget des clients. La plupart des professionnels s'accordent sur trois thèmes majeurs : intégration au territoire, choix raisonné des matériaux utilisés et surtout maîtrise des besoins en énergie pour le confort thermique et visuel. D'autres critères sont également pris en considération, comme la gestion des déchets du chantier et celle des ordures ménagères (local poubelle adapté au tri sélectif, etc.) ou encore la maîtrise du cycle de l'eau (limitation de la consommation, récupération de l'eau de pluie, etc.).

3. LES CRITÈRES DÉFINISSANT L'ARCHITECTURE ÉCO-RESPONSABLE

INTÉGRATION AU TERRITOIRE

Très subjective, la notion d'intégration au site se prête à de nombreuses interprétations. Transposition contemporaine des constructions vernaculaires pour les uns, elle peut aller jusqu'au mimétisme de l'habitat troglodytique pour d'autres. Mais la nécessité de respecter l'environnement ne s'applique pas qu'aux maisons implantées sur un sol à l'écosystème fragile dans un paysage naturel. Elle s'impose également lorsque le bâti



LA CONSTRUCTION EN BOTTES DE PAILLE

La paille est une matière première agricole qui permet une réalisation rapide et bon marché en autoconstruction ou avec une main-d'œuvre peu qualifiée. Matériau renouvelable et recyclable à faible impact environnemental, elle présente de bonnes qualités thermi-

ques et acoustiques. Sa densité favorise un amortissement des variations de température et un déphasage thermique : la chaleur accumulée dans la journée est restituée pendant la nuit. À la fois mou et dense, ce matériau est également un bon isolant acoustique. La construction en bottes de paille est née dans le Nebraska, en Amérique du Nord, à la fin du XIX^e siècle, mais c'est seulement depuis le milieu des années 1990 qu'elle commence à se répandre sur d'autres continents. La technique ancestrale consiste à empiler les bottes comme de gros blocs de construction, assurant à la fois structure et isolation,

et à les enduire de chaux à l'extérieur et à l'intérieur, la surface des ouvertures étant limitée pour assurer la stabilité de l'édifice. Ce procédé très rustique est peu adapté à notre société industrialisée et c'est grâce à l'association des bottes avec une ossature bois assurant les fonctions porteuses que ce type de construction est en train de prendre son essor. La plupart des réalisations en bottes de paille sont construites en zone rurale, mais l'architecte anglaise Sarah Wigglesworth a implanté son agence-maison en bois et paille à Londres, dans un environnement très urbain (www.swarch.co.uk).

s'insère dans un tissu urbain dont il faut préserver l'intégrité, en inscrivant par exemple avec délicatesse un projet contemporain dans un quartier historique. En ville ou en milieu rural, la conception d'un bâtiment écologique commence toujours par l'étude du terrain et de son environnement immédiat : la topographie, les accès, les vues, les masques, les végétaux existants, l'ensoleillement et les vents dominants. Mais elle doit être élargie à l'analyse des ressources du territoire : la végétation, les matériaux disponibles à proximité, les savoir-faire régionaux. Le projet doit minimiser les terrassements, préserver l'écosystème et les arbres remarquables. L'aménagement des abords du bâti privilégie les essences locales et les murets en pierre ou en brique de la région, afin de créer des abris pour les insectes et autres petits animaux.

MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE : PROFITER DU GISEMENT DE NÉGAWATTS

L'énergie la moins chère restant celle qui n'est pas consommée, la stratégie de l'association NegaWatt (www.negawatt.org), animée par un collègue de 23 experts et praticiens de l'énergie, est très judicieuse : ce scénario combine sobriété et efficacité avant de recourir aux énergies renouvelables. La sobriété implique à la fois la responsabilisation des usagers dans leurs comportements quotidiens et l'engagement des professionnels, afin de supprimer les insupportables gaspillages. L'efficacité énergétique exige, entre autres, le recours systématique à des solutions techniques et à des installations optimisées, même s'ils impliquent un léger surcoût d'investissement. Le gisement de « négaWatts » (énergie non consommée) est considérable. Si nos besoins étaient réduits à la source, le solde pourrait à terme être couvert par des énergies issues de ressources inépuisables : solaire, éolien, géothermie, etc. L'application à grande échelle de cette démarche de bon sens permettrait de réduire à la fois notre consommation énergétique, nos émissions de gaz à effet de serre et notre dépendance vis-à-vis des énergies fossiles.

DES PRINCIPES BIOCLIMATIQUES AUX BÂTIMENTS À ÉNERGIE POSITIVE

L'application des principes bioclimatiques (tableau, p. 227) permet de réduire les besoins énergétiques d'un bâtiment et d'assurer le confort de manière passive, grâce à un choix judicieux de l'implantation, de l'orientation, de la forme du bâti et de ses prolongements vers l'extérieur, des matériaux et de la végétation plantée à proximité. Un bâti compact, avec au sud les pièces principales et au nord les espaces de services (entrée, circulation, cuisine, rangements), minimise les déperditions thermiques. Dans des ouvertures judicieusement orientées et dimensionnées (environ 50 p. 100 au sud, 20 p. 100 à l'est et à l'ouest, 10 p. 100 au nord), des doubles ou triples vitrages « intelligents » à faible émissivité infrarouge et haute transmission lumineuse régulent les apports du rayonnement solaire. Les surchauffes peuvent être limitées par une ventilation naturelle traversante et des pergolas ou volets à claire-voie en façade sud et ouest, qui stoppent les rayons solaires indésirables. Lorsque les murs ont une ossature légère, quelques éléments massifs apportent une inertie favorable au confort d'été : la dalle en béton et des murs massifs autour des pièces d'eau ou des escaliers suffisent souvent. Un concept énergétique efficace associe ces mesures constructives à des installations optimisées, utilisant si possible des énergies renouvelables : pompes à chaleur, capteurs solaires pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage, poêle à bois, etc. Un puits canadien, appelé aussi puits provençal, permet de préchauffer l'air en hiver et de le

rafraîchir en été grâce au passage dans des tuyaux enterrés dans le sol, dont la température est constante. L'emploi de ces installations est encouragé par plusieurs pays dont la France (sous la forme d'un crédit d'impôts de 50 p. 100 en 2007). Les installations d'eau chaude solaire sont les plus répandues. Selon la région, une surface de 3 à 4 mètres carrés de capteurs solaires sur le toit d'une maison est suffisante pour assurer environ 60 p. 100 des besoins en eau chaude de quatre personnes. Et 1 mètre carré de capteur évite chaque année l'émission de 250 kilogrammes de CO₂ dans l'atmosphère. Les réglementations thermiques européennes sont de plus en plus exigeantes et plusieurs pays ont introduit des labels très performants concernant les logements neufs et le parc existant (hors-texte, p. 228). Il existe même des « bâtiments à énergie positive » qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Ce sont en général des constructions très économes en énergie dont le toit est couvert de panneaux photovoltaïques qui produisent de l'électricité envoyée dans le réseau, s'il est proche, ou stockée dans des batteries, en site isolé.

CHOIX DES MATÉRIAUX, PRIORITÉ À LA SANTÉ

L'aspiration des usagers à un climat intérieur sain au taux d'humidité naturellement régulé est justifiée à une époque où plusieurs scandales concernant la santé publique ont déjà éclaté (amiante, saturnisme, légionellose). Concepteurs et utilisateurs doivent

Groupe scolaire à Langouët, Ille-et-Vilaine (France), architecte Dominique Héлары (2006). Cette école rurale, en pierre et terre selon la tradition du pays de Rennes, a été rénovée pour recevoir les deux classes primaires et complétée par un bâtiment neuf, en bois et brique monomur, accueillant la classe maternelle. Outre le choix de matériaux sains, les mesures écologiques concernent le confort thermique et la lumière naturelle. Des cellules photovoltaïques installées en toiture produisent suffisamment d'électricité pour couvrir les besoins de l'école. (F. Dufour/ AFP)





LA CONSTRUCTION EN TERRE CRUE

Dans les pays qui ne disposent ni de bois ni de paille, la terre crue offre une alternative intéressante, qui a une longue tradition sur la plupart des continents. Le transport entre lieu de production et chantier est généralement négligeable : la matière première est souvent

extraite sur le terrain. On distingue trois principales techniques : le pisé, les briques d'adobe et les briques de terre compressée. Le pisé permet d'ériger des constructions en terre sans adjonction de fibres et sans le soutien d'armatures en bois ou en acier. Damée avec un pilon entre des banches, la terre se lie, prend de la consistance et forme une masse homogène qui peut être élevée, couche par couche, sur plusieurs niveaux. Les murs en pisé, épais d'environ 50 centimètres, ont une forte inertie thermique et de bonnes caractéristiques isolantes : ils protègent de la chaleur en été et du froid en hiver. Le mélange d'argile et de

sable qui compose les briques d'adobe est parfois renforcé de fibres naturelles. Il prend forme dans des moules en bois avant de sécher à l'air libre. Pour les blocs de terre crue, le mélange d'argile et de sable, parfois lié au ciment, est comprimé dans une presse manuelle. Les briques sèchent au soleil pendant une dizaine de jours avant d'être maçonnées avec un mortier composé du même mélange. L'architecte Chitra Vishwanath a réalisé en quinze ans environ 400 maisons éco-responsables en pisé ou en blocs compressés dans la région de Bangalore, en Inde (www.inika.com/chitra).

en tenir compte quand ils choisissent les matériaux de la structure, les équipements, les parements muraux et les revêtements de sol, sans oublier les finitions des différentes surfaces et leur entretien. Les associations de consommateurs sont de plus en plus vigilantes à ce sujet et plusieurs chercheurs travaillent sur le thème de l'habitat sain, dont Suzanne et Pierre Déoux (www.medicco.info). Le choix des produits de construction doit aussi s'appuyer sur la production et les savoir-faire locaux : les transports sont ainsi limités, les ressources humaines régionales valorisées et l'économie stimulée. Dans de nombreux pays fleurissent aujourd'hui des maisons autoconstruites en matériaux « bruts » : sacs de sable ou de terre, bottes de paille, rondins empilés... Le résultat peut être un habitat sain, mais ce n'est pas toujours de l'architecture éco-responsable. Un chalet importé de Finlande, de Russie ou du Canada n'a pas sa place dans un lotissement de l'Hexagone. Et il n'est pas écologique de transporter le bois jusque-là, alors que la forêt française est sous-exploitée.

ANALYSE DU CYCLE DE VIE ET TRAÇABILITÉ

Bois, pierre, terre, béton, aluminium ou acier, quel est le matériau le plus écologique ? La réponse doit être nuancée, selon la fonction du composant, par la prise en compte de multiples critères. Dans l'avenir, la traçabilité des matériaux et la généralisation d'un étiquetage décrivant tous les composants d'un produit, en préparation dans plusieurs pays, faciliteront sans doute les décisions. Mais il ne suffit pas qu'un matériau soit sain ou naturel pour qu'il soit écologique. Pour tous les produits de construction, des composants structurels aux finitions, le choix doit en effet prendre en compte l'ensemble du cycle de vie : l'exploitation de la matière première, sa transformation, le transport, la mise en œuvre, la déconstruction et le recyclage. Il est nécessaire de vérifier la quantité d'énergie dépensée pour toutes ces tâches. Il faut environ 0,06 Tep (tonne équivalent pétrole) pour produire une tonne de bois d'œuvre, mais 1 Tep pour obtenir une tonne d'acier et 2,9 Tep pour une tonne d'aluminium (source : « Logements à faibles besoins en énergie », <http://sidler.club.fr>). L'analyse du cycle de vie des matériaux peut donner des valeurs quantifiées et des réponses objectives, mais le choix du concepteur et de ses clients s'appuie également sur des données subjectives : l'envie d'utiliser du bois coupé dans sa propre forêt ou le choix d'une pierre qui évoque des souvenirs d'enfance. Chaque lieu, chaque client, chaque

projet est unique. La conception d'un bâtiment éco-responsable doit en tenir compte pour obtenir une adéquation satisfaisante pour les usagers et « soutenable » pour l'environnement.

CONSTRUIRE AVEC LE BOIS

Le bois peut être considéré comme le matériau privilégié de l'architecture éco-responsable lorsqu'il provient d'une forêt gérée « durablement », assez proche du site de construction, et qu'il n'a pas reçu de traitement chimique. C'est en tout cas le seul matériau de structure renouvelable et sa transformation demande peu d'énergie. Ses partisans évoquent souvent la chaleur et la douceur tactile de ce matériau naturel. À ces qualités, qui renvoient à une sphère émotionnelle, s'ajoutent de nombreux avantages techniques et économiques. À surface hors œuvre égale, une maison à ossature bois, avec une isolation renforcée entre les montants, présente une surface habitable supérieure de 5 à 10 p. 100 à celle d'une construction en maçonnerie, et ses performances thermiques réduisent les charges de chauffage. Le montage d'une structure en bois ne demande pas de gros engins, réduisant ainsi bruits et poussières pendant le chantier. Une mise en œuvre en filière sèche et la préfabrication en atelier raccourcissent la phase de construction, ce qui entraîne des répercussions intéressantes sur les frais financiers. La légèreté du matériau préserve l'intégrité des milieux naturels fragiles et autorise une édification sur des sols difficiles, ou des sites inaccessibles aux engins de chantier. Atout à la fois écologique et économique, la légèreté facilite également l'autoconstruction. D'autres matériaux en fibres comme le bambou ou la paille, disponibles en grande quantité, trouvent de plus en plus d'adeptes (hors-texte, p. 233).

COMBINER LES MATÉRIAUX

Malgré tous ses avantages, il n'est judicieux d'employer le bois que dans les régions où il est disponible en quantité suffisante et s'il est issu de forêts exploitées dans une perspective de développement durable. En Asie et en Afrique du Nord, où le bois est rare, la construction en pisé ou en blocs de terre crue est beaucoup plus éco-responsable : la matière première est disponible sur place et la technique, très simple, demande peu d'énergie et se prête bien à l'autoconstruction (hors-texte, p. 229). En Europe, la combinaison de plusieurs matériaux est souvent la solution la plus judicieuse. L'association du bois et de ses dérivés à d'autres matériaux permet d'optimiser les capacités de chacun, tout en répondant à des exigences constructives, écologiques et économiques. Pierre, brique et béton apportent l'inertie thermique nécessaire pour assurer le confort d'été et servent d'écrans acoustiques ou d'éléments coupe-feu. Platines, broches, tirants et autres pièces en acier favorisent la réalisation d'assemblages à la fois performants et élégants et la réduction des sections des pièces de bois. Face à l'augmentation de la population et à l'amenuisement des ressources en matières premières, il faut utiliser la juste quantité du bon matériau au bon endroit. L'emploi de matériaux recyclés est une alternative souvent pratiquée par les architectes australiens, qui mettent en œuvre du bois récupéré lors de la déconstruction d'anciens hangars et n'hésitent pas à utiliser l'aluminium, parce qu'il peut être indéfiniment recyclé.

MAÎTRISE DU CYCLE DE L'EAU

La démarche environnementale englobe aussi le confort acoustique, le confort visuel, avec l'éclairage naturel et artificiel, la gestion des déchets et la maîtrise du cycle de l'eau. La préservation de cette ressource vitale demande de réserver l'eau potable



Maison de vacances sur une petite île de l'archipel de Turku, Finlande, architectes Pia Helin et Kimmo Salmala (2005). Ces architectes ont réalisé eux-mêmes leur maison de vacances en bois avec sauna. Le bâti sur pilotis effleure à peine les rochers de granite et s'étire entre les pins pour disparaître au milieu de la végétation existante préservée. L'impact écologique est minimal : un poêle à bois dans le sauna, des toilettes sèches et de l'eau de pluie récupérée dans des tonneaux pour la vaisselle, la toilette et l'arrosage.

(D. Gauzin-Müller)

aux emplois où elle est indispensable et de choisir des équipements économes pour robinets et chasses d'eau. Il est aussi conseillé de récupérer les eaux de pluie pour l'arrosage des espaces verts, voire pour l'alimentation de la chasse d'eau des toilettes et le lave-linge, ou à défaut de leur permettre de s'infiltrer sur la parcelle. Les toitures végétalisées ont aussi des effets positifs sur une gestion écologique de l'eau : en cas de fortes pluies, elles retiennent de 70 à 90 p. 100 des précipitations et retardent leur évacuation. La végétalisation renforce l'isolation acoustique et thermique des toitures et prolonge la durée de vie de la couverture en limitant la température de surface. Les plantes utilisées améliorent le microclimat : elles filtrent naturellement la poussière et régulent l'humidité. Les systèmes à végétalisation extensive sont légers (de 50 à 100 kg/m²) et ne demandent qu'un minimum d'entretien : le sédum (plante grasse à fleurs, encore appelée orpin) pousse sur un substrat de moins de 10 centimètres d'épaisseur et se régénère sans intervention extérieure. Quant aux eaux grises, provenant des salles de bains et des cuisines, elles peuvent être traitées naturellement par lagunage, grâce à des jardins filtrants constitués de végétaux spécifiques : iris, roseaux, etc.

GESTION DES DÉCHETS ET CHANTIERS VERTS

Le secteur du bâtiment produisant un volume de déchets supérieur à celui des ordures ménagères, le tri sélectif est devenu incontournable. Un chantier « vert » limite les nuisances pour le voisinage (bruits, poussières) et la mise en place de bennes spécifiques pour les différents matériaux facilite l'élimination des déchets issus de la construction. Le traitement dans les centres spécialisés est en effet de plus en plus coûteux : trier à la source sur un chantier apporte une économie de 40 p. 100 du prix de l'élimination finale (www.cnidep.com).



BIBLIOGRAPHIE

- C. Aubert et T. Salomon, *Fraîcheur sans clim'*. Le guide des alternatives écologiques, Terre vivante, Mens, 2004 / S. Bedel et T. Salomon, *La Maison des (nega)watts. Le guide malin de l'énergie chez soi*, *ibid.*, 1999 / S. Cabrit-Leclerc, *L'Eau à la maison*, *ibid.*, 2005 / S. Courgey et J.-P. Oliva, *La Conception bioclimatique. Des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation*, *ibid.*, 2006 / S. et P. Déoux, *Le Guide de l'habitat sain. Habitat, qualité, santé, pour bâtir une santé durable*, Medieco, Andorre, 2^e éd. 2004 / D. Gauzin-Müller, *L'Architecture écologique. 29 exemples européens. Enjeux et perspectives, urbanisme et développement durable, architecture et qualité environnementale*, Le Moniteur, Paris, 2001; *25 maisons en bois*, AMC-Le Moniteur, Paris, 2003; *25 maisons écologiques*, *ibid.*, 2005 / P. Lefevre, *Architectures durables. 50 réalisations environnementales en France et en Europe*, Édisud-Systèmes solaires, Aix-en-Provence-Paris, 2002 / J.-P. Oliva, *L'Isolation écologique. Conception, matériaux, mise en œuvre*, Terre vivante, 2001 / J. Steele, *Architecture écologique. une histoire critique*, Actes Sud, 2005 / D. Wright, *Manuel d'architecture naturelle*, éd. Parenthèses, 2004.

4. DE LA DÉMARCHÉ ÉCO-RESPONSABLE À L'URBANISME

Pour atteindre les objectifs ambitieux fixés par l'Union européenne en termes d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂, la réalisation de bâtiments écologiques est nécessaire, mais pas suffisante. Les solutions doivent s'appliquer de manière interactive aux trois échelles : aménagement du territoire, opération d'urbanisme et construction des bâtiments. Pour être efficace, le travail doit donc commencer au niveau des territoires et prendre en compte plusieurs thèmes : la solidarité sociale, la maîtrise des déplacements, la gestion raisonnée des ressources naturelles et du patrimoine (sols, biodiversité, culture locale). En Europe, 75 p. 100 de la population vivent en ville et le nombre des métropoles dépassant 10 millions d'habitants ne cesse d'augmenter. Cette concentration urbaine oblige décideurs et professionnels à travailler sur de nouveaux modèles, en particulier dans le domaine résidentiel, car même si 80 p. 100 de la population française rêve d'une maison individuelle sur une grande parcelle, il faut absolument lutter contre

l'étalement urbain et le mitage du paysage. Les pays à forte densité ont déjà développé des alternatives, imposées par le prix du foncier : maisons jumelées ou en bande, petits collectifs, restructuration ou agrandissement de maisons existantes avec optimisation énergétique, construction sur des terrains libres en

centre de bourg. Un habitat éco-responsable, densifié mais à échelle humaine, peut préserver l'intimité des usagers tout en réduisant notre empreinte environnementale. Des programmes d'envergure en faveur d'une architecture plus « verte » ont été lancés en 2007 par plusieurs pays qui avaient un retard à rattraper, dont les États-Unis et la France. Le développement de l'architecture éco-responsable passe par une évolution des mentalités. Dans ce challenge « gagnant-gagnant », tous les acteurs du bâtiment ont leur place : les décideurs politiques, les clients publics et privés, les architectes, les ingénieurs, les entreprises et les artisans ■