

BÂTIMENTS ZÉRO ÉMISSION

SOLUTIONS ET MISE
EN ŒUVRE

BRIGITTE VU
PASCAL LAUDE

BÂTIMENTS ZÉRO ÉMISSION

SOLUTIONS ET MISE
EN ŒUVRE

DUNOD

Illustrations de couverture : © ID1974 – Fotolia.com,
© ungar – Fotolia.com, © Sokarys – Fotolia.com,

© Julien Delvecchio

Les illustrations 2.1, 2.2, 2.3, 2.32, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.8, 3.9, 3.10, 3.14, 3.15, 3.17, 3.23, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.15, 4.16 et 4.17 ont été réalisées par Rachid Marai.

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2019

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-079494-2

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^e et 3^e a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Préface	VII
Avant-propos	IX
Chapitre 1 ■ Réglementation actuelle et à venir	1
1.1 RT 2012, modalités d'application	2
1.1.1 Grandes lignes du travail du projet	3
1.1.2 Attestation à établir à l'achèvement des travaux	4
1.2 Bâtiments à énergie positive (BEPOS)	5
1.2.1 Vers des bâtiments à énergie positive	5
1.2.2 Le label BEPOS-énergie carbone (E ⁺ C ⁻)	8
Chapitre 2 ■ Notions d'architecture bioclimatique	11
2.1 Les principes de base du bioclimatisme	11
2.1.1 L'extérieur	12
2.1.2 Construction bioclimatique	14
2.1.3 Comment fonctionne l'architecture bioclimatique ?	16
2.1.4 Avantages et inconvénients de l'architecture bioclimatique	17
2.1.5 Problématique du BEPOS aujourd'hui	18
2.1.6 Répondre aux objectifs de l'accord de Paris	20
2.2 Choix des matériaux de construction	21
2.2.1 Les fondations	24
2.2.2 La structure	26
2.2.3 La toiture	49
2.2.4 Les menuiseries extérieures	55
2.2.5 L'isolation	61
Chapitre 3 ■ Quels systèmes pour votre construction ?	75
3.1 Le chauffage	75
3.1.1 Le bois-énergie	78
3.1.2 Le chauffage solaire thermique	83
3.1.3 Les pompes à chaleur	86
3.2 L'eau chaude sanitaire	97
3.2.1 Calcul pour l'eau chaude sanitaire	97
3.2.2 L'eau chaude sanitaire et les pompes à chaleur	97
3.2.3 Le solaire thermique	98
3.2.4 Le ballon d'eau chaude sanitaire thermodynamique	106
3.2.5 Pompe à chaleur sur solaire hybride	107

3.3 L'éclairage	114
3.3.1 Les ampoules	114
3.3.2 Diminuer ses dépenses d'éclairage	118
3.4 Limiter les consommations électriques annexes	119
Chapitre 4 ■ En route vers l'autonomie énergétique	123
4.1 Le photovoltaïque	123
4.1.1 Avantages d'une installation photovoltaïque	123
4.1.2 Les différents types de panneaux	124
4.1.3 Dimensionner ses panneaux	126
4.1.4 La revente totale ou partielle de votre production photovoltaïque	131
4.1.5 L'autoconsommation	133
4.1.6 Atteindre l'autonomie énergétique	139
4.2 L'éolien	156
4.2.1 Comment fonctionne une éolienne?	156
4.2.2 Amortissement d'une installation éolienne	158
Chapitre 5 ■ RE 2020 et après	159
5.1 Objectif RE 2020	159
5.2 Évolution entre la RT 2012 et la RE 2020	160
5.3 Conclusion	161
Annexe ■ Texte réglementaire : délibération n° 2019-087	163
Annexe ■ Texte réglementaire : directive (UE) n° 2018/2002 relative à l'efficacité énergétique	168
Index	197

Préface

En 1987, le rapport Bruntland définissait le développement durable en formulant le paradoxe suivant : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les droits des générations futures ». Les générations présentes et futures doivent pouvoir respirer un air plus sain, mais elles doivent également pouvoir jouir d'un droit au logement. Or, compte tenu de la diminution de la taille des ménages, couplée à la croissance démographique, on estime qu'en France, pour répondre à cette nécessité sociale, à ce droit, il faudrait construire plus de 400 000 nouveaux logements par an à l'horizon 2030.

Pendant, dès la première brique posée, l'empreinte énergétique d'un logement ne fait que grimper à travers son usage domestique, ou professionnel, jusqu'à sa destruction. De fait, le secteur du bâtiment a toutes les raisons d'être particulièrement préoccupé par les enjeux du développement durable, puisqu'il est à l'origine de 40 % des émissions de CO₂ des pays occidentaux, de 37 % de la consommation d'énergie et de 40 % des déchets produits. Ainsi, il est devenu plus que jamais impératif pour le secteur du bâtiment de repenser son mode de construction, autant que de prévoir la consommation énergétique de ce logement, tout en restant économiquement rentable, afin de répondre aux exigences résumées dans la notion de « croissance verte ».

Cet impératif de repenser le secteur du bâtiment est au cœur de la réflexion que Madame Brigitte Vu et Monsieur Pascal Laude nous proposent dans une remarquable synthèse, sous un titre qui en éclaire à la fois le propos pédagogique et l'ambition.

Brigitte Vu est ingénieure spécialisée en efficacité énergétique des bâtiments, bâtiments à énergie positive et stockage hydrogène. Autrice de nombreux ouvrages sur le sujet, elle a notamment signé les ouvrages *Construire ou rénover en respectant la Haute Qualité Environnementale* (Eyrolles, 2006), et *Récupérer les eaux de pluie* (Eyrolles, 2006). Experte reconnue sur le sujet, elle intervient régulièrement auprès de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) sur les questions liées au secteur de la construction, en tant qu'enseignante-chercheuse à l'université technologique Belfort-Montbéliard, responsable de la filière Haute efficacité énergétique.

Son co-auteur, Pascal Laude est directeur de la performance énergétique EDF DCR Est, responsable de l'innovation et du développement des énergies renouvelables. Tout comme Brigitte Vu, il est un spécialiste du management de l'énergie reconnu auprès de l'OPECST, et intervient également en tant qu'enseignant à l'université technologique Belfort-Montbéliard.

Depuis une trentaine d'années, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), a pour mission, d'après les termes de

la loi de 1983, « d’informer le Parlement des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin, notamment d’éclairer ses décisions ». Composé à parts égales de 36 membres, élus de la République issus de l’Assemblée nationale et du Sénat, l’OPECST a produit plus de deux cents rapports, dont un nombre important concernent la problématique énergétique des bâtiments, notamment dès le début du ^{xxi} siècle grâce au travail du député Claude Birraux et à son homologue le député Jean-Yves Le Déaut.

J’ai, pour ma part, rédigé dans le cadre des notes scientifiques de l’OPECST en collaboration avec mon collègue député Loïc Prud’homme « La rénovation énergétique des bâtiments » (note n° 6 – juillet 2018).

Véritable cahier des charges à destination des néophytes, autant que des professionnels du secteur du bâtiment, cet ouvrage s’inscrit dans la politique de transition énergétique et solidaire établie par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. En effet, la transition énergétique repose sur le remplacement des énergies fossiles par des énergies renouvelables, et c’est tout l’enjeu défendu à chacune des pages de ce livre. La construction d’un bâtiment « zéro émission » passe avant tout par le choix des matériaux dont la première caractéristique est de répondre à la capacité de satisfaire aux exigences techniques, et ensuite durables et recyclables, en tenant compte du cycle de vie de la matière.

En outre, la construction écologique voit s’ouvrir devant elle les perspectives illimitées des nouvelles technologies, notamment le numérique, qui lui offrent des moyens nouveaux de résoudre la tension entre environnement et croissance : le futur du logement sera durable, mais la maison connectée pourra répondre sur un point central à cette question, en favorisant la généralisation de l’autonomie énergétique. C’est très précisément ce que suggèrent les termes choisis dans l’article 10 de l’Accord de Paris : « Il est essentiel d’accélérer, d’encourager et de permettre l’innovation pour une riposte mondiale efficace à long terme face aux changements climatiques et au service de la croissance économique et du développement durable ».

Ajouterai-je que le rigoureux travail de Brigitte Vu et de Pascal Laude me ramène au cœur de mes préoccupations en tant que député membre de la commission Développement Durable et Aménagement du Territoire de l’Assemblée Nationale, membre du Conseil National de la Transition Écologique et de ma fonction de Président du Conseil National de l’Air¹. Cet ouvrage, servi par les qualités pédagogiques de ses auteurs, nous confronte à nos responsabilités dans le choix de nos futurs logements, et de manière plus générale, de notre futur en tant qu’occupants de la Terre.

Jean-Luc Fugit

1. Instauré en 1998 le Conseil National de l’Air (CNA) est l’instance nationale consultative associant les parties prenantes qui traite spécifiquement des questions relatives à la qualité de l’air extérieur et intérieur. Ses membres sont issus de six collèges : État, collectivités, associations, professionnels, syndicats, personnalités qualifiées. Le CNA est saisi par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, de tous sujets concernant la lutte contre la pollution atmosphérique et l’amélioration de la qualité de l’air.

Avant-propos

Le but de cet ouvrage est de vous présenter l'ensemble des éléments vous permettant de réussir votre projet de bâtiments à énergie positive.

Dans un premier temps, nous vous présenterons ce qu'est une construction bioclimatique, donc permettant de profiter au maximum des apports passifs, les éléments constructifs vous permettant de limiter au maximum les déperditions de votre enveloppe ainsi que les solutions de chauffage, ventilation et production d'eau chaude sanitaire assurant vos besoins ainsi qu'un confort en toute saison.

La deuxième partie de l'ouvrage vous proposera de dimensionner vos besoins en production d'EnR pour assurer votre autonomie énergétique, voire une production supérieure à vos besoins, donc d'édifier des bâtiments (BEPOS) tout en limitant vos émissions de GES.

Chapitre 1

Réglementation actuelle et à venir

La France compte 32,7 millions de logements, dont 27,6 millions de résidences principales. 56,65 % sont des maisons individuelles et 43,35 % des immeubles collectifs d'habitation. On compte 56,7 % de propriétaires. La part de la construction neuve ne représente que 1 % du parc résidentiel avec de l'ordre de 300 000 à 450 000 logements neufs construits chaque année. Certaines projections estiment qu'en 2050, les logements construits entre 2000 et 2050 représenteront plus de 33 % du parc de logements. Il est donc, certes, extrêmement important d'agir sur le secteur de l'habitat neuf, mais le principal gisement d'économies en termes d'énergie dans l'habitat reste le **secteur de la rénovation**.

En effet, les deux tiers des logements français ont été construits avant 1975, époque où il n'existait pas de réglementation thermique et où le prix de l'énergie était relativement peu élevé. Cela représente près de 19 millions de logements très énergivores. 7,3 millions, construits entre 1954 et 1975, sont de véritables épaves thermiques, dont la rénovation doit constituer une priorité si nous voulons honorer nos engagements de diminution de nos émissions de gaz à effet de serre (signature des accords de Kyoto signés par 172 pays à l'exception des États-Unis, de l'Australie, de la Chine et de l'Inde, entre autres).

La production de chauffage et d'eau chaude sanitaire est à l'origine de 43 % de l'énergie consommée en France et de 25 % des émissions de gaz à effet de serre. Elle passe ainsi en tête du classement de consommation d'énergie devant les transports et est le troisième émetteur de gaz à effet de serre derrière les transports (28 %) et l'industrie (26 %). On a constaté une augmentation constante des émissions de gaz à effets de serre de 16 % entre 1990 et 2018. Plusieurs faits expliquent cette croissance. Premièrement, la superficie des logements n'a cessé d'augmenter. Ensuite, le choix d'énergie employée a aussi évolué : on a observé un recours de plus en plus important au gaz en lieu et place de l'électricité. Enfin, malgré la mise en place des différentes réglementations thermiques, les consommations énergétiques des ménages n'ont cessé de croître (développement des matériels informatiques et multimédias, accroissement du confort

avec un recours à des appareils de climatisation l'été, etc.). La France a mis en place un certain nombre de réglementations thermiques dans le neuf avec des exigences croissantes. La dernière en date est la RT 2012, réglementation s'appliquant dans le neuf et très ambitieuse puisque l'ensemble des bâtiments déposant un permis de construire depuis le 1^{er} janvier 2013 doivent avoir de consommation en énergie primaire dépassant **50 kWh_{ep}/m²·an pour les cinq usages**. La RT 2020 est encore beaucoup plus ambitieuse puisque l'ensemble des bâtiments construits devront produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Pour fixer un ordre d'idée, le niveau moyen des consommations des logements neufs était proche de 110 kWh_{ep}/m²·an en 2008, et celui des logements existants de l'ordre de 250 kWh_{ep}/m²·an. L'objectif relatif à la labellisation BBC-Rénovation est fixé à 80 kWh_{ep}/m²·an, auxquels viennent s'ajouter l'altitude et le coefficient géographique.

Le gouvernement a fixé un objectif de zéro émission de gaz à effet de serre dans le bâtiment à l'horizon 2050.

1.1 RT 2012, modalités d'application

La réglementation thermique actuellement en vigueur (RT 2012) a pour objectif de limiter la consommation en énergie primaire à 50 kWh_{ep}/m²/an en moyenne pour toute construction neuve, conformément à ce qui avait été défini dans l'article 4 de la loi Grenelle 1.

Cette réglementation est le fruit de l'évolution des différentes réglementations thermiques, RT 2000, RT 2005, puis de la mise en place d'une labellisation BBC-Effinergie RT 2005, qui a précédé la RT 2012, et servi de laboratoire concret à cette nouvelle réglementation. Élaborée à partir de l'été 2008, elle représente l'aboutissement du travail de douze groupes d'experts. Les premiers textes ont été publiés au *Journal officiel* en 2010. Il s'agissait de diviser par trois les consommations énergétiques des bâtiments neufs d'ici 2012, et ainsi d'accomplir, en seulement deux ans, un « saut énergétique » plus important que celui réalisé ces trente dernières années. Cette nouvelle réglementation thermique, plus simple et plus lisible que les précédentes, offre une plus grande liberté dans la conception des bâtiments. Il s'agit d'une contribution importante à la « feuille de route énergétique et climatique » de la France : le saut énergétique réalisé dans la construction neuve permettra de réduire de 35 millions de tonnes les émissions de CO₂ à l'horizon 2020. Le gain de pouvoir d'achat grâce aux économies d'énergie réalisées sur vingt ans est estimé à 5 000 € par foyer en immeuble collectif et à 15 000 € en maison individuelle.

La RT 2012 est applicable à tous les permis de construire déposés depuis :

- le 28 octobre 2011 pour certains bâtiments neufs du secteur tertiaire (bureaux, bâtiments d'enseignement primaire et secondaire, établissements d'accueil de

la petite enfance) et les bâtiments à usage d'habitation construits en zone ANRU;

- le 1^{er} janvier 2013 pour tous les autres bâtiments neufs.

Chaque permis de construire déposé après le 1^{er} janvier 2013 doit respecter la RT 2012. Cette réglementation crée de nouvelles contraintes, puisque tout dépôt de permis de construire doit être accompagné d'une attestation fournie par le ministère de la Cohésion des territoires. Cette attestation valide que l'étude thermique statique effectuée en amont répond bien aux exigences de la RT 2012. Cette étude est réalisée avant la construction grâce un logiciel réglementaire intégrant le moteur de calcul TH-BCE 2012 du CSTB. Une des conséquences principales de cette obligation réside dans le fait que le maître d'ouvrage (en général le futur propriétaire, c'est-à-dire vous), le constructeur, l'architecte, voire le maître d'œuvre et le bureau d'étude thermique, échangeront des informations très en amont du projet pour son optimisation énergétique. Celle-ci tiendra compte du terrain, de son environnement immédiat, de la position de la future maison sur celui-ci, du choix architectural, du choix des matériaux de construction (résistance thermique, isolation, déphasage thermique des produits), des ouvertures (fenêtres et portes-fenêtres) qui devront représenter 17 % de la surface au sol en surfaces vitrées sur toutes les orientations afin de faciliter les apports naturels, et ensuite des choix en matière de matériel, qui devront être cohérents (dimensionnement du chauffage, choix du système de production d'eau chaude sanitaire, choix de la VMC...).

1.1.1 Grandes lignes du travail du projet

Le travail en amont se déroule en six étapes :

1. Analyser la position de la maison sur le terrain, qui doit tenir compte de la course du soleil et de l'ensoleillement, ainsi que de ses accès et des vues paysagères.
2. Réfléchir la disposition des pièces par rapport à l'orientation du bâtiment, en veillant à placer les espaces tampons (garage, cellier, buanderie) au nord et les pièces de vie au sud, en privilégiant, de fait, les apports solaires passifs d'intersaison et d'hiver et en évitant la surchauffe d'été.
3. Effectuer une pré-étude thermique qui valide la faisabilité du projet en fonction des souhaits des futurs propriétaires en termes de choix constructifs (plancher et parois extérieures), d'ouvertures extérieures (baies de grande taille ou plus réduites), de leur position sur la maison, de la qualité des vitrages en fonction des orientations, de la zone géographique du projet, de son altitude et des saisons, du choix des isolants en fonction du lieu, de l'altitude et des souhaits personnels, mais aussi de leur déphasage, de leur résistance thermique, de leur effusivité ou diffusivité...

4. Avant de déposer le permis, le bureau d'étude thermique (BET) procède à l'étude thermique. Cela signifie que l'ensemble des personnes concernées, et, en premier lieu, le maître d'ouvrage (vous), devront valider tous les éléments, y compris votre choix en ce qui concerne le chauffage (production), mais aussi l'émission (plancher chauffant, radiateur, air soufflé...), votre choix pour la production d'eau chaude sanitaire et la ventilation mécanique contrôlée. Le choix doit être effectué avant l'étude thermique. Le BET peut échanger avec l'ensemble des acteurs, mais peut aussi se contenter d'effectuer une étude thermique au regard des éléments qui lui seront communiqués, sans présager du résultat.
5. Le constructeur se connecte ensuite sur le site Internet www.rt-batiment.fr/attestations/ afin de rentrer les caractéristiques thermiques de votre projet, en commençant par le besoin bioclimatique (Bbio). Le site génère alors automatiquement une attestation au format PDF que vous devez joindre à votre permis de construire. Ensuite, il est nécessaire de déposer tous ces éléments en mairie, afin que ceux-ci puissent être instruits par les directions départementales des territoires.
6. Enfin, une fois la construction achevée, deux contrôles sont effectués sur site par un tiers :
 - un test de perméabilité à l'air effectué par un opérateur autorisé ;
 - une vérification de la prise en compte de la RT.Ces deux documents sont nécessaires à l'obtention du certificat de conformité de la maison.

1.1.2 Attestation à établir à l'achèvement des travaux

Afin de pouvoir justifier de l'application de la RT 2012, le maître d'ouvrage doit demander (au plus tard à l'achèvement des travaux) un récapitulatif standardisé complet (fichier XML) d'étude thermique, intégrant d'éventuelles modifications par rapport à l'étude thermique effectuée pour le dépôt du permis de construire. Celui-ci devra être joint au dossier complet de « déclaration attestant l'achèvement et la conformité des travaux » (DAACT) adressé à l'un des quatre professionnels habilités (architecte, diagnostiqueur, bureau de contrôle, organisme de certification), afin qu'il puisse établir l'attestation de prise en compte et de conformité.

Il devra, de plus, vérifier les éléments suivants :

- les trois exigences de la RT 2012 : niveau bioclimatique (Bbio), consommation en énergie primaire (Cep), atteinte du confort d'été (TIC) ;
- l'atteinte minimum en termes d'étanchéité à l'air (test effectué en fin de travaux par un opérateur autorisé), dont la liste est disponible sur le site www.rt-batiment.fr ;

- la cohérence entre l'étude thermique et le bâtiment, en vérifiant si possible si l'isolation figurant dans l'étude thermique correspond à la réalité, le système de production d'énergie (chauffage, ECS, voire rafraîchissement), le choix de la VMC. Il pourra effectuer une visite sur site ou vérifier des documents (factures).

Le respect de tous ces éléments devrait permettre une hausse de la qualité, mais aussi du confort de nos futurs maisons et bâtiments neufs.

1.2 Bâtiments à énergie positive (BEPOS)

1.2.1 Vers des bâtiments à énergie positive

Attention, **cette réglementation ne s'applique qu'aux bâtiments neufs** à la fin décembre 2016. Le nombre de logements autorisés s'élevait alors à 447 400 logements et le nombre de logements commencés était de 379 900 (statistiques du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer).

Le label E+C-, lancé en novembre 2016, précède la réglementation RE 2020 dans le neuf. Elle est expérimentée par les maîtres d'ouvrage pour développer les bâtiments neufs à énergie positive (BEPOS) et à bas carbone, puisque l'ensemble des bâtiments devront être « énergie zéro » en 2050. L'expérimentation mise en place a pour principal objectif de tester en réel les différentes possibilités et de donner un repère aux maîtres d'ouvrage. Elle permet également aux différents acteurs de la construction d'initier des projets et de partager ensuite leurs retours d'expérience avec la Direction habitat urbanisme et paysage (DHUP), qui décidera ensuite des niveaux de performance à atteindre dans la future réglementation thermique.

Contrairement aux précédentes réglementations thermiques dans le neuf, il y a deux exigences à respecter :

- Énergie : l'indicateur du projet ($Bilan_{BEPOS}$) devra respecter un des quatre niveaux de performance ;
- Carbone : l'indicateur du projet devra respecter un des deux niveaux de performance sur un cycle de vie du bâtiment de 50 ans.

La valeur atteinte du projet s'intitule $Bilan_{BEPOS}$ et est calculée selon la formule :

$$Bilan_{BEPOS} = C_{ep,nr} - PV_{exporté}$$

Avec

$$C_{ep,nr} = C_{ep} + C_{au} - PV_{autoconsommé}$$

C_{ep} étant la consommation en énergie primaire (ep) du projet RT 2012.

C_{au} représente un forfait pour la consommation des autres usages, encore appelé électricité spécifique. Cette valeur est de 75 kWh_{ep} pour une maison individuelle (MI) et de 72 kWh_{ep} pour un logement collectif (LC).

$PV_{\text{autoconsommé}}$ représente la production locale d'électricité autoconsommée par la maison ou le logement, sa production étant comptabilisée en énergie finale (ef).

$PV_{\text{exporté}}$ correspond à la production électrique locale exportée :

- Énergie 1 et 2, la production exportée est valorisée avec un coefficient $ep/ef = 1$;
- Énergie 3 et 4, la production exportée est valorisée avec un coefficient ep/ef de 2,58 pour les 10 premiers $kWh_{ep}/(m^2 \cdot an)$ exportés puis de 1 pour les suivants.

Tableau 1.1 – Les indicateurs énergie en résidentiel.

		Niveaux de performance en $kWh_{ep}/(m^2 \cdot an)$	
L'indicateur Bilan _{BEPOS} devra être inférieur ou égal au niveau de performance choisi	Énergie 1	$Cep_{\text{max RT 2012}} \times 0,95 + \text{forfait autres usages}$	
	Énergie 2	$Cep_{\text{max RT 2012}}$	0,9 en MI 0,85 en LC
	Énergie 3	$Cep_{\text{max RT 2012}} \times 0,8 + \text{forfait autres usages} - 20$	
	Énergie 4	0	

■ Niveaux à atteindre en performance énergie

Maison individuelle



Figure 1.1 – Niveaux moyens à atteindre en performance énergie dans une maison individuelle.

Les niveaux énergie 3 et 4 peuvent être atteints avec l'installation de panneaux photovoltaïques ou tout système permettant la production d'électricité d'origine renouvelable.

Immeuble collectif résidentiel



Figure 1.2 – Niveaux moyens à atteindre en performance énergie dans une maison individuelle.

Les niveaux énergie 3 et 4 peuvent être atteints avec l’installation de panneaux photovoltaïques ou tout système permettant la production d’électricité d’origine renouvelable.

■ Exigences carbone

L’indicateur carbone s’exprime en $\text{kg}_{\text{eqCO}_2}/\text{m}^2_{\text{SDP}}$ et est calculé sur une durée de vie du bâtiment estimée à 50 ans.

Le SDP correspond à la surface de plancher, donc les surfaces closes et couvertes de chaque étage dont la hauteur sous plafond est supérieure à 1,80 m. Elle est calculée au nu intérieur des murs (hors épaisseur des murs) et intègre les cloisons intérieures et les caves dans le cadre de maisons individuelles.

Tableau 1.2 – Indicateur carbone.

Calcul sur durée de vie 50 ans GES : en $\text{kg}_{\text{eqCO}_2}/\text{m}^2_{\text{SDP}}$		Maisons accolées (Valeur max)	Delta pour la maison	En logement collectif (Valeur max)	Delta pour le collectif
Carbone 1	$E_{\text{ges,max}_1}$	1 350	-	1 550	-
	$E_{\text{ges,max}_1}^{\text{PCE}}$	700	-	800	-
Carbone 2	$E_{\text{ges,max}_2}$	800	-41%	1 000	-35%
	$E_{\text{ges,max}_2}^{\text{PCE}}$	650	-7%	750	-6%

PCE : produits de la construction Chaet équipements.

On notera que les efforts entre un carbone 1 et 2 sont principalement portés par l'exploitation. La valeur carbone 2 est assez difficile à obtenir en maison individuelle alors qu'elle est abordable en collectif vertical.

Les textes qui régissent les émissions de gaz à effet de serre sont ambitieux, que ce soit la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), publiée en août 2015, ou la publication de la stratégie nationale bas carbone (SNBC), en novembre 2015. Cette stratégie a fixé une réduction des émissions de GES de 87 % à l'horizon 2050 pour le bâtiment par rapport à 2012, et une baisse à 66 % pour les transports. Cela signifie qu'un logement construit en 2050 ne pourra pas émettre plus de 3 kg de CO₂/m²·an. À titre d'exemple, un logement neuf chauffé au gaz émet de l'ordre de 10 à 12 kg_{eqCO2}/m²·an et la part du marché du gaz en collectif est de 80 %.

1.2.2 Le label BEPOS-énergie carbone (E+C-)

Le label E+C- a été créé dans le but de généraliser la construction de bâtiments à énergie positive et à faible empreinte carbone à l'horizon 2020. En effet, la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte adoptée du 17 août 2015 a fixé, entre autres, deux objectifs :

- la généralisation de la construction de bâtiments neufs à énergie positive ;
- le déploiement de bâtiments à faible empreinte environnementale.

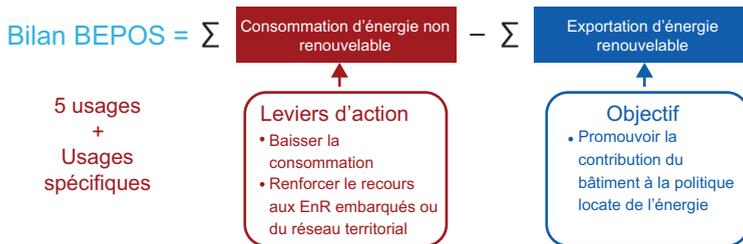


Figure 1.3 – Bilan BEPOS.

La France s'est donc lancée en 2016 dans une démarche collective d'expérimentation engageant toute la filière du bâtiment et visant à construire des bâtiments à énergie positive et à faible impact carbone. Le label BEPOS-énergie carbone préfigure la future réglementation comme le label BBC-RT 2005 avait anticipé la RT 2012.

Ce label est le premier en France à intégrer les consommations des appareils. Ainsi, pour un bâtiment neuf RT 2012, la consommation moyenne est de 50 kWh_{ep}/m²·an pour les cinq usages (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, éclairage, auxiliaires et climatisation éventuelle), alors que, pour le label E+C-, cette consommation est plutôt aux alentours de 125 kWh_{ep}/m²·an par la prise en compte de nouveaux usages (utilisation des appareils ménagers et

électroniques) et du bilan carbone de la construction. En ce qui concerne l'aspect carbone, il s'agit, pour la première fois, d'un outil d'analyse global tenant compte de l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et non uniquement des émissions liées au seul usage du bâtiment.

Le but de ces expérimentations est de créer une dynamique visant à tester la faisabilité technique et financière de la future réglementation, de rechercher des solutions techniques probantes intégrant des procédés plus respectueux de l'environnement à coûts maîtrisés, et surtout d'encourager l'innovation dans ces domaines et permettre un retour d'expériences avant la généralisation de la réglementation. Comme pour les précédents labels, cette démarche est volontaire et peut être appliquée à toute construction neuve. Cette expérimentation fait l'objet d'un suivi par le Conseil supérieur de la construction et de l'efficacité énergétique. Celui-ci a été créé lors de la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte. L'article 10 de cette loi n° 2015-992 du 17 août 2015 confirme la présence au côté du ministre chargé de la construction de cette instance chargée « de conseiller les pouvoirs publics dans la définition, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques relatives à la construction, ainsi que sur l'adaptation des règles relatives à la construction aux objectifs de développement durable ».

■ Les différents labels BEPOS

Afin d'obtenir le label BEPOS Effnergie 2017, il est bien entendu nécessaire d'être conforme à la RT 2012 et répondre aux exigences minimales E+C-, à savoir :

- un niveau **Énergie** a minima égal à 3 ;
- un niveau **Carbone** a minima égal à 1.

Pour obtenir le label BEPOS+ Effnergie 2017, le projet doit, au préalable, être conforme à la réglementation thermique 2012 et aux exigences minimales liées au référentiel E+C- définies ci-dessous :

- un niveau **Énergie** au minimum égal à 4 ;
- un niveau **Carbone** au minimum égal à 1.

Vous devez bien entendu être producteur d'énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien, cogénération renouvelable...).

■ Perméabilité à l'air

Une mesure de perméabilité à l'air doit être réalisée par un opérateur autorisé conformément à la NF EN ISO 9972 et à son fascicule documentaire FD P50-784.

Maison individuelle

Pour une maison individuelle, le label BEPOS se base sur un renforcement de l'étanchéité à l'air en passant de 0,60 m³/h·m² à une valeur inférieure ou égale à **0,40 m³/h·m²** de parois déperditives, hors plancher bas.

Résidentiel collectif

Pour un résidentiel collectif, deux solutions sont possibles, par échantillonnage ou non :

- Si la mesure est effectuée par échantillonnage selon la méthode précitée, la valeur obtenue doit être inférieure ou égale à $0,80 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ de parois déperditives, hors plancher bas.
- Si la mesure n'est pas effectuée par échantillonnage selon la méthode précitée, la valeur obtenue doit être inférieure ou égale à $1,0 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ de parois déperditives, hors plancher bas.

Autres bâtiments

Pour les bâtiments non résidentiels, la perméabilité à l'air mesurée doit être inférieure à la valeur prise dans l'étude thermique réglementaire, qui doit elle-même être inférieure à la valeur de référence définie au 7.8.3.3.3 de la méthode Th BCE-2012.

Chapitre 2

Notions d'architecture bioclimatique

Il faut toujours garder à l'esprit que **l'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas**, d'où l'importance du choix de l'architecture et de l'orientation du bâtiment.

2.1 Les principes de base du bioclimatisme

Les critères d'obtention du label BBC-Effinergie ont été définis dans l'arrêté du 3 mai 2007 publié au *Journal officiel* du 15 mai 2007. Ce label a préfiguré en grande partie la RT 2012.

La base d'une maison autonome en énergie, comme de tout bâtiment visant l'autonomie énergétique, est tout d'abord de rechercher à profiter au maximum des apports solaires ou lumineux gratuits aux intersaisons et en hiver, de manière à minimiser les consommations énergétiques. Cela passe par une étude spécifique de tous les critères énoncés dans le premier chapitre.

L'implantation bioclimatique s'avère primordiale dans l'acte de construire, car elle conditionne l'environnement immédiat – la position de l'édifice sur la parcelle, le site entourant la construction, la position de la construction par rapport au soleil, au vent, aux cours d'eau et aux autres intempéries, mais aussi au voisinage, aux transports (voie ferrée, couloir aérien ou encore voie routière à moyenne voire grande circulation) – et ne sera plus modifiable par la suite. Il faut alors :

- éviter que l'édifice ne soit trop encaissé par rapport aux autres bâtiments environnants. Certes, il sera protégé du vent, mais ne profitera pas de lumière naturelle ;
- empêcher qu'il soit trop exposé aux éléments tels que le vent et envisager une haie suffisamment haute pour le protéger, si besoin ;
- connaître les risques d'inondation éventuels ;
- s'informer sur la nature du sol pour envisager le type de fondations le mieux adapté à votre construction. De même, est-il plus prudent d'installer un vide sanitaire ou est-il possible de construire sur un radier ?

2.1.1 L'extérieur

En matière de construction, on veillera également à travailler le traitement des espaces verts, de manière à augmenter le traitement hygrothermique¹ du bâtiment sans avoir recours systématiquement à l'installation d'un système de climatisation, gros consommateur d'énergie non renouvelable. La plantation d'essences à feuilles caduques, par exemple, est une option tout à fait viable : elles protègent les façades exposées au sud et laissent passer les rayons du soleil en hiver. On s'assurera également de préserver la perméabilité des sols en privilégiant les emprises végétales et en favorisant la récupération des eaux de pluie, de manière à limiter l'utilisation de l'assainissement communal ou urbain. Enfin, la course du soleil n'est pas la même tout au long de l'année. En été, le bâtiment sera exposé aux rayonnements solaires sur toutes les orientations sauf au nord, sur les façades sud-est, plein sud et sud-ouest, aux intersaisons et seulement sur la partie sud en hiver.

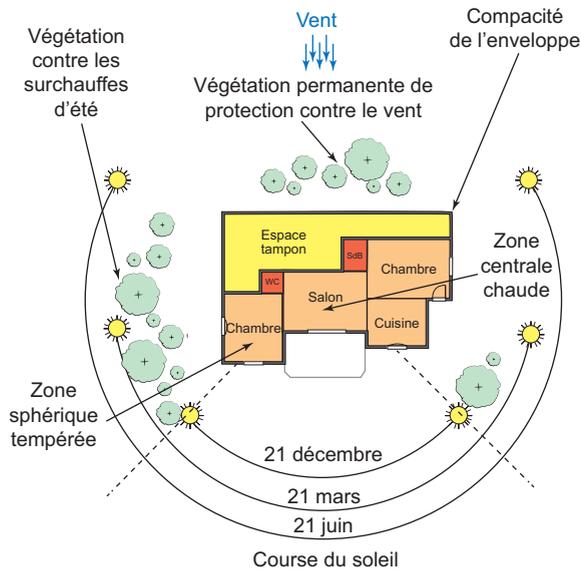


Figure 2.1 – La course du soleil selon les saisons.

D'après Batireco

On fera tout de même attention à limiter la surchauffe d'été en dimensionnant des avancées de toit satisfaisantes, ou en prévoyant des casquettes solaires, de manière à bénéficier des apports solaires passifs en hiver et aux intersaisons, tout en bloquant les rayons du soleil l'été. Si ce n'est pas possible, on veillera à mettre en place des occultations telles que des brise-soleils, des volets, voire des casquettes solaires mobiles ou fixes.

1. Caractérise la température et le taux d'humidité d'un local.

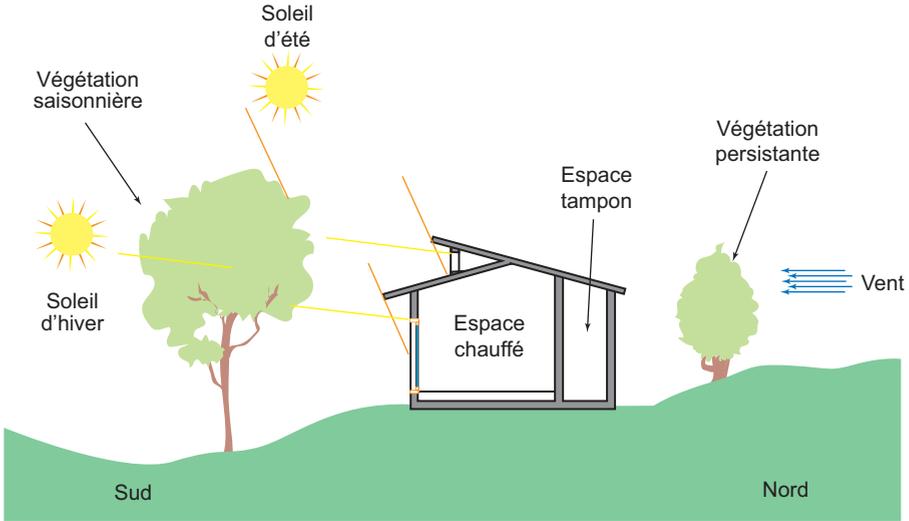


Figure 2.2 – Orientations solaires et protections possibles.

D'après Batireco

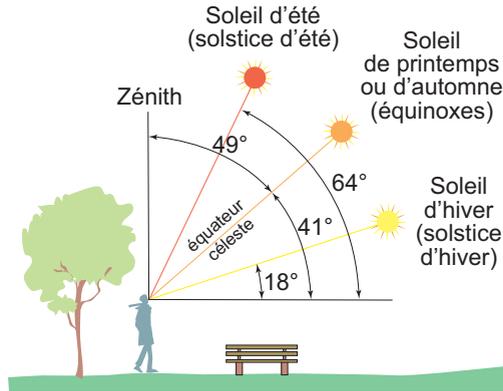


Figure 2.3 – Angles solaires en fonction de la saison.

D'après Batireco

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit.

Nous pouvons remarquer, sur la figure 2.3, que le soleil est beaucoup plus haut dans le ciel au solstice d'été (64°) mais ne s'élève que de 18° en hiver. Il faudra donc dimensionner les avancées de toit afin de se protéger des rayons solaires en été uniquement. En hiver et en intersaison, en revanche, on pourra profiter gratuitement des apports solaires pour préchauffer l'intérieur des bâtiments et de consommer moins d'énergie. Il est possible de recueillir gratuitement 1,2 kW en hiver à 7,2 kW en été par mètre carré de baie vitrée.

Une fois ces éléments connus et pris en compte, il reste encore à définir l'architecture bioclimatique.

2.1.2 Construction bioclimatique

Il n'existe pas de type unique d'architecture bioclimatique, mais de multiples. Cependant, il existe des éléments semblables, le premier étant de construire des bâtiments visant à optimiser l'utilisation du rayonnement solaire et la circulation naturelle de l'air pour le préchauffage et le rafraîchissement de la bâtisse. Cette conception bioclimatique recherche la meilleure adéquation possible entre le logement, les habitudes de vie des occupants et le climat, afin de réduire au maximum les besoins en chauffage et en climatisation.

L'architecture bioclimatique a pour principal avantage de réduire les besoins énergétiques d'une maison tout en y assurant des températures agréables tout au long de l'année et une bonne luminosité grâce à l'éclairage naturel.

Les principes présentés ici sont notamment appliqués pour la construction des bâtiments haute qualité environnementale (HQE) ainsi que sur les constructions type Passivhaus en Allemagne ou Minergie en Suisse. En zone H1a ou H1b, une maison bioclimatique peut couvrir plus des deux tiers de ses besoins en chauffage uniquement grâce à l'énergie solaire.

On parle aussi d'habitat solaire passif pour désigner les maisons dont l'orientation, la conception des murs, des toits et des fenêtres a pour but de capter les rayons du soleil. Cela n'entre peut-être pas totalement dans le cadre de la construction bioclimatique, mais force est de constater que si l'on exploite de manière optimale tous les aspects environnementaux, les économies en termes de consommation énergétique seront importantes et le confort lié à ce type de construction optimal pour les usagers.

Le choix du terrain est important dans le cadre d'une construction bioclimatique : celui-ci doit être ensoleillé, donc pas trop encaissé, et l'environnement végétal ni trop important ni insuffisant, de manière à pouvoir profiter de l'ensoleillement passif aux intersaisons et en hiver ainsi que d'un bon niveau d'oxygène grâce à la végétation.

■ Stratégie d'hiver : capter et stocker

La construction d'une maison bioclimatique doit se faire sur une parcelle ensoleillée afin de profiter de l'ensoleillement passif aux intersaisons et en hiver, mais posséder une végétation caduque pour s'en protéger en été. On peut donc bénéficier de la chaleur naturelle des rayons du soleil afin de diminuer nos consommations de chauffage. Ensuite, il est important de faire les bons choix tels que le type de fondations, la construction sur radier ou sur vide sanitaire, l'orientation et le pourcentage de baies vitrées, le vitrage, le type de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de ventilation et même de gestion de l'eau de pluie. La maison doit être conçue pour allier à la fois l'esthétique, le confort et l'ergonomie. Elle doit utiliser intelligemment chaque élément de son environnement. Si l'on

possède des connaissances en architecture, on peut réaliser soi-même les plans, mais on devra aussi posséder des connaissances en gestion environnementale. Les matériaux doivent avoir le meilleur cycle de vie possible, et on doit pouvoir les recycler facilement.

■ Capturer l'énergie solaire et s'en protéger

L'architecture bioclimatique repose sur quatre grands principes à suivre et à concilier dans une démarche cohérente : **capturer la chaleur, la transformer, la diffuser et la conserver.**

Dans les zones climatiques H1a et H1b, c'est-à-dire dans la partie nord de notre pays, ce type de conception architecturale consiste, par exemple, à **placer la majorité des ouvertures vitrées principales au sud**, sans négliger les ouvertures à l'est et à l'ouest, pour capter la chaleur du soleil au printemps, en hiver et en automne. On minimisera les ouvertures au nord, en se limitant à 5 à 10 % de la surface totale des baies vitrées afin d'assurer un apport naturel de lumière. Si les systèmes de chauffage traditionnels sont coûteux, car ils ont souvent recours à l'utilisation d'énergies fossiles, polluantes et nocives pour l'environnement, l'architecture bioclimatique, quant à elle, cherche à capter la chaleur gratuite et naturelle du soleil. Ainsi, la partie vitrée de la menuiserie extérieure permet de laisser passer la lumière et d'absorber les rayons infrarouges et donc de convertir la lumière du soleil en chaleur.

De même, l'architecture bioclimatique va également proposer des solutions pour éviter que, durant les périodes estivales chaudes, la maison se transforme en serre. On travaillera donc essentiellement sur les avancés de toiture, les casquettes, et, lorsque la conception de la maison ne permet pas de travailler sur ces éléments, on étudiera la possibilité d'installer des brise-soleil conçus pour empêcher le rayonnement solaire direct et la surchauffe.

■ Diffuser la chaleur dans la construction

Une fois la chaleur captée, elle sera stockée dans des parois opaques telles qu'une dalle ou dans des murs à forte inertie thermique, comme le béton ou les briques de type Th⁺, capables, grâce à leur structure spécifique, d'emmagasiner la chaleur et de la restituer au moment le plus opportun, c'est-à-dire la nuit. Ces briques sont constituées de « terre boule » et disposent d'un procédé de fabrication spécifique qui leur confère ces qualités. Cette surface de stockage, appelée « mur capteur », joue le rôle d'un émetteur basse température et peut éviter le recours à un système de chauffage central classique.

La majorité des apports d'énergie est alors d'origine solaire et l'on peut les compléter par une ventilation double-flux thermodynamique (DF), voire un chauffage d'appoint, type poêle à granulés dans les régions les plus froides.