

Alain Garnier

Le bâtiment à énergie positive

Comment maîtriser l'énergie dans l'habitat ?

© Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-13243-4

EYROLLES



Sommaire

AVANT-PROPOS

PARTIE 1

BBC NEUF ET RÉNOVATION, BEPAS, BEPOS - LES FONDAMENTAUX

- 1| PROCHAINES ÉTAPES DE LA RÉGLEMENTATION
- 2| CONSTRUISONS DÈS AUJOURD'HUI DES BÂTIMENTS À BASSE, VOIRE À TRÈS BASSE CONSOMMATION
- 3| LES BBC RÉNOVATION À 80 KWHEP/M²/AN
- 4| LES BBC NEUFS À 50 KWHEP/M²/AN
- 5| LES BEPAS À 15 KWHEP/M²/AN
- 6| LES BEPOS À MOINS DE 0 KWHEP/M²/AN
- 7| LA DIFFÉRENCE AVEC NOS PROCHES VOISINS

PARTIE 2

BBC, BEPAS, BEPOS - MAISONS INDIVIDUELLES

- 8| L'IMPORTANCE DU TYPE DE CONSTRUCTION
- 9| LE CHOIX CAPITAL DE L'ÉNERGIE ET DES ÉQUIPEMENTS
- 10| LES ALTERNATIVES POUR SE CHAUFFER ET DE SE RAFRAÎCHIR

PARTIE 3

BEPAS, BEPOS - BÂTIMENTS BAS DE 1^{RE} ET DE 2^E FAMILLE

- 11| CHAUFFAGE ET RAFRAÎCHISSEMENT : VECTEUR AIR
- 12| AVANTAGE DU VECTEUR AIR
- 13| LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE
- 14| LE RAFRAÎCHISSEMENT, LE GRAND OUBLIÉ DE LA RÉGLEMENTATION
- 15| LA CLIMATISATION RÉSERVÉE À CERTAINES ZONES CLIMATIQUES
- 16| PRIORITÉ À L'ÉCLAIRAGE NATUREL
- 17| RÉDUISONS NOS BESOINS ET PRODUISONS NOTRE ÉLECTRICITÉ
- 18| LES ÉCONOMIES D'EAU
- 19| LA SALLE DE BAINS : LE CŒUR DU LOGEMENT
- 20| LA GESTION DYNAMIQUE DU BÂTIMENT (GDB)
- 21| NOTIONS DE CLIMATOLOGIE INDISPENSABLES
- 22| FONCTIONNEMENT DES ÉQUIPEMENTS BIOCLIMATIQUES

PARTIE 4

BEPAS, BEPOS - BÂTIMENTS HAUTS DE 3^E ET DE 4^E FAMILLE

- 23| LE VECTEUR EAU, UNE NÉCESSITÉ POUR LE CHAUFFAGE ET LE RAFRAÎCHISSEMENT
- 24| LES SOLUTIONS DE RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF
 - QCM
 - SUR INTERNET

Table des matières

AVANT-PROPOS	XII
REMERCIEMENTS	XIII

PARTIE 1

BBC NEUF ET RÉNOVATION, BEPAS, BEPOS - LES FONDAMENTAUX	1
1 PROCHAINES ÉTAPES DE LA RÉGLEMENTATION	2
LA RÉGLEMENTATION ÉNERGÉTIQUE D'ICI 2020	2
LA CONVERSION D'ÉNERGIE FINALE EN ÉNERGIE PRIMAIRE	7
LES LABELS EFFINERGIE®	8
DU BBC AU BEPAS POUR EN ARRIVER AU BEPOS	8
LE SURCÔÛT DES BÂTIMENTS À BASSE CONSOMMATION	9
LES AIDES FISCALES	11
LES FREINS ACTUELS	14
LES CLÉS DE DÉBLOCAGE	14
LES INDICATEURS DE PERFORMANCE À METTRE EN PLACE	15
LES AUTOCONTRÔLES	17
LE MAINTIEN DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ÉQUIPEMENTS	18
LE CONTRAT DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE (CPE)	21
LA GARANTIE DE RÉSULTAT SOLAIRE (GRS)	22
L'ÉNERGIE GRISE DANS LE BÂTIMENT	23
L'ÉCO-CONCEPTION DES BBC	24
2 CONSTRUISONS DÈS AUJOURD'HUI DES BÂTIMENTS À BASSE, VOIRE À TRÈS BASSE CONSOMMATION	26
LES VALEURS À ATTEINDRE POUR RÉALISER UN BEPAS	26
ÉVOLUTION DES BESOINS ET EFFICIENCES ÉNERGÉTIQUES À METTRE EN PLACE	27
QUELLES SONT LES SOLUTIONS ?	28
BBC - BEPAS - BEPOS : LA FEUILLE DE ROUTE DES SOLUTIONS	28
LES OUTILS NÉCESSAIRES	29

3 	LES BBC RÉNOVATION À 80 KWHEP/M²/AN	34
	LE LABEL BBC-EFFINERGIE® RÉNOVATION	34
	LES RÉFLEXIONS PROPRES À LA RÉNOVATION	36
	LES SOLUTIONS PORTANT SUR LE BÂTI	37
	EXEMPLE DE CE QUE POURRAIT ÊTRE UN BBC-EFFINERGIE®	55
4 	LES BBC NEUFS À 50 KWHEP/M²/AN	56
	LE LABEL BBC-EFFINERGIE® NEUF	56
5 	LES BEPAS À 15 KWHEP/M²/AN	66
	LE LABEL BBC-EFFINERGIE® BEPAS	66
	LE DROIT AU SOLEIL	67
	LES VALEURS FUTURES D'ISOLATION EN BEPAS	69
	LES SOLUTIONS PORTANT SUR LE BÂTI	70
	LES SOLUTIONS PORTANT SUR LES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES	78
6 	LES BEPOS À MOINS DE 0 KWHEP/M²/AN	79
	LE LABEL BBC-EFFINERGIE® BEPOS	79
	LES SOLUTIONS PORTANT SUR LE BÂTI	79
	LES SOLUTIONS PORTANT SUR LES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES	80
	LES CAPTEURS SOLAIRES NON VITRÉS ABSORBEURS	85
	EXEMPLE DE CE QUE POURRAIT ÊTRE UN BEPOS EFFINERGIE®	101
7 	LA DIFFÉRENCE AVEC NOS PROCHES VOISINS	103
	LES DIFFÉRENCES EN MATIÈRE DE MAISONS PASSIVES	103
	LES SOLUTIONS SUISSES	104
	LES SOLUTIONS ALLEMANDES	105
	LES SOLUTIONS FRANÇAISES	106

PARTIE 2

BBC, BEPAS, BEPOS - MAISONS INDIVIDUELLES	107
---	-----

8 	L'IMPORTANCE DU TYPE DE CONSTRUCTION	108
	LES PREMIÈRES RÉFLEXIONS	108
	LE CHAUFFAGE SOLAIRE PASSIF	109
	L'ISOLATION THERMIQUE	110
	LA DÉMARCHE ENVIRONNEMENTALE	111
	L'ARCHITECTURE EN BOIS	111
	LE CONFORT D'ÉTÉ	113

9	LE CHOIX CAPITAL DE L'ÉNERGIE ET DES ÉQUIPEMENTS	116
	PROPOSITION EN MAISON NEUVE	116
	LE CHAUFFAGE SOLAIRE	116
	PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE	120
	LE RAFRAÎCHISSEMENT	120
	LA CLIMATISATION	122
	PROPOSITION EN MAISON RÉNOVÉE	124
	LA CHAUDIÈRE ÉLECTROGÈNE	127
	LA POMPE À CHALEUR	128
10	LES ALTERNATIVES POUR SE CHAUFFER ET SE RAFRAÎCHIR	136
	LES POÊLES À BOIS	136
	LE PUIITS PROVENÇAL (RAFRAÎCHISSEMENT)	137
	LE PUIITS CANADIEN (PRÉCHAUFFAGE)	137
	LA CLIMATISATION SOLAIRE	138

PARTIE 3

	BEPAS, BEPOS - BÂTIMENTS BAS DE 1^{RE} ET DE 2^E FAMILLE	139
11	CHAUFFAGE ET RAFRAÎCHISSEMENT : VECTEUR AIR	140
	LES PREMIÈRES RÉFLEXIONS	140
	LES POMPES À CHALEUR À ABSORPTION GAZ	141
12	AVANTAGE DU VECTEUR AIR	145
	LE CHOIX DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE ET DE VENTILATION	145
	L'ÉVOLUTION DES BESOINS CALORIFIQUES LIÉS À LA VENTILATION	146
	LE TRAITEMENT D'AIR DOUBLE FLUX REMPLACERA LES ÉMETTEURS CLASSIQUES ET LA VMC	147
	PLACE AU VECTEUR AIR EN BEPAS ET BEPOS	148
	PROPOSITION D'UN CONCEPT GLOBAL EN IMMEUBLE BAS	150
	TRAITEMENT ET DISTRIBUTION D'AIR	150
	EXTRAIT DE LA RÉGLEMENTATION VENTILATION	155
	RAPPEL DE LA RÉGLEMENTATION INCENDIE DANS LES IMMEUBLES BAS	157
	LE CHAUFFAGE SOLAIRE SANS SOLEIL	158

	LE CHAUFFAGE SOLAIRE AVEC SOLEIL	159
	LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE AU SECOURS DU CHAUFFAGE	161
13	LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE	163
	RÉCHAUFFAGE SOLAIRE ET PRÉCHAUFFAGE DE L'EAU CHAUDE PAR PAC.....	163
	PRODUCTION D'EAU CHAUDE SOLAIRE.....	164
	PRÉCHAUFFAGE SOLAIRE ET RÉCHAUFFAGE DES LOGEMENTS PAR PAC	165
14	LE RAFRAÎCHISSEMENT, LE GRAND OUBLIÉ DE LA RÉGLEMENTATION	167
	LES BÂTIMENTS PASSIFS : UN RISQUE D'INCONFORT EN ÉTÉ	167
	LE POIDS DES APPORTS INTERNES.....	168
	LA CHASSE AUX GASPILLAGES D'ÉLECTRICITÉ.....	171
	LA MISE EN PLACE DE SOLUTIONS DE CLIMATISATION PASSIVE	171
	LES PROTECTIONS SOLAIRES DU BÂTIMENT	172
	LE RAFRAÎCHISSEMENT NOCTURNE PAR LE PLANCHER.....	173
	LE RAFRAÎCHISSEMENT DIURNE PAR SURVENTILATION NATURELLE	175
	LE FREE COOLING EN ÉTÉ	175
	RAFRAÎCHISSEMENT ADIABATIQUE SEC	176
15	LA CLIMATISATION RÉSERVÉE À CERTAINES ZONES CLIMATIQUES.....	180
	LA CLIMATISATION NATURELLE.....	180
	LA CLIMATISATION EN DERNIER RECOURS	182
16	PRIORITÉ À L'ÉCLAIRAGE NATUREL.....	187
	LE FACTEUR DE LUMIÈRE DU JOUR (FLJ).....	187
	LES SOLUTIONS D'ÉCLAIRAGE NATUREL	187
	L'ÉLECTROMÉNAGER	195
	LES NOUVELLES TECHNOLOGIES AU SECOURS DE LA DOMOTIQUE DES LOGEMENTS	196
17	RÉDUISONS NOS BESOINS ET PRODUISONS NOTRE ÉLECTRICITÉ.....	201
	EN ROUTE POUR LES BÂTIMENTS À ÉNERGIE POSITIVE	201
	DIMINUER LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE DES AUXILIAIRES	202
	LE DÉBIT VARIABLE.....	204
	LES SOLUTIONS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ.....	206
18	LES ÉCONOMIES D'EAU	209
	LE REJET DES EAUX PLUVIALES	209

	LES USAGES DE LA RÉCUPÉRATION DE L'EAU PLUVIALE	210
	EXEMPLE DE RÉCUPÉRATION ET D'UTILISATION	211
19	LA SALLE DE BAINS : LE CŒUR DU LOGEMENT	214
	LA SALLE DE BAINS DU FUTUR	214
	LA SALLE DE BAINS DEVIENDRA LE « HUB »	214
	LA PRISE EN COMPTE DU HANDICAP	216
20	LA GESTION DYNAMIQUE DU BÂTIMENT (GDB)	218
	PLACE À LA GESTION DYNAMIQUE DU BÂTIMENT	218
	FONCTIONS	218
	ARCHITECTURE	218
	LES TÂCHES ASSURÉES PAR LA GDB	219
21	NOTIONS DE CLIMATOLOGIE INDISPENSABLES	221
	LA DÉCLINAISON SOLAIRE	221
	L'ENSOLEILLEMENT	221
	LA NÉBULOSITÉ	221
	L'ÉCLAIREMENT ÉNERGÉTIQUE SOLAIRE DIRECT ET GLOBAL	221
	LE VENT	222
	LE REFROIDISSEMENT NOCTURNE	222
	LA TEMPÉRATURE ET L'HUMIDITÉ RELATIVE	222
	L'INTÉRÊT DE L'INERTIE THERMIQUE	222
	LA ZONE DE CONFORT	224
22	FONCTIONNEMENT DES ÉQUIPEMENTS BIOCLIMATIQUES	225
	L'ANTICIPATION DES CONDITIONS CLIMATIQUES	225
	LA PRIORITÉ AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES	225
	L'INTERACTION DES ÉQUIPEMENTS	225
PARTIE 4		
	BEPAS, BEPOS - BÂTIMENTS HAUTS DE 3^E ET DE 4^E FAMILLE	239
23	LE VECTEUR EAU, UNE NÉCESSITÉ POUR LE CHAUFFAGE ET LE RAFRAÎCHISSEMENT	240
	LE CONTEXTE DES TOURS D'HABITATION	240
	PROPOSITION D'UN CONCEPT GLOBAL EN IMMEUBLE HAUT	242

L'ATRIUM, CŒUR DES LOGEMENTS..... 243

L'ÉCLAIRAGE NATUREL 244

LE CHAUFFAGE SOLAIRE PASSIF 245

L'IMPOSSIBILITÉ DU RECOURS AU VECTEUR AIR..... 253

LE CHAUFFAGE SOLAIRE ACTIF 253

LA PRODUCTION DE CHALEUR THERMODYNAMIQUE AVEC COUPLAGE SOLAIRE..... 254

LE CHOIX DE L'ÉMETTEUR DE CHAUFFAGE..... 254

LE PRINCIPE DU CHAUFFAGE SOLAIRE ACTIF 255

LE RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF..... 260

LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SOLAIRE..... 261

RAPPEL DE LA RÉGLEMENTATION INCENDIE DANS LES IMMEUBLES HAUTS 264

LES SOLUTIONS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ..... 265

24 | LES SOLUTIONS DE RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF..... 267

LE PRINCIPE DU FREE CHILLING..... 267

LES SOLUTIONS TECHNIQUES 270

LES AVANTAGES DU SYSTÈME 271

QCM DE LA PREMIÈRE PARTIE

BBC NEUF ET RÉNOVATION, BEPAS, BEPOS - LES FONDAMENTAUX 272

RÉPONSES..... 273

QCM DE LA SECONDE PARTIE

BBC, BEPAS, BEPOS - MAISONS INDIVIDUELLES..... 274

RÉPONSES..... 274

QCM DE LA TROISIÈME PARTIE

BEPAS, BEPOS - BÂTIMENTS DE 1^{RE} ET DE 2^E FAMILLE..... 275

RÉPONSES..... 277

QCM DE LA QUATRIÈME PARTIE

BEPAS, BEPOS - BÂTIMENTS DE 3^E ET DE 4^E FAMILLE..... 278

RÉPONSES..... 279

SUR INTERNET 280

Avant-propos

Qu'en est-il de la basse consommation des bâtiments aujourd'hui en France ?

Ne nous laissons pas aller au découragement : le temps qu'il faudra pour réduire les gaz à effet de serre sera long ; ce n'est pas en manipulant chiffres et statistiques que l'on réglera les problèmes. Dans ce domaine, une prise de conscience collective s'impose mais, pour surmonter notre égoïsme légendaire, il nous faudra des objectifs, des règlements et des contrôles.

Ce n'est pas non plus en créant de nouveaux labels ni en lançant des projets utopiques que nous y parviendrons. Seules des incitations permettant la mise en place d'actions concertées, analysées avec toutes leurs conséquences et ajoutées à la réalisation de bâtiments démonstratifs pourront convaincre les plus sceptiques.

À l'heure où paraît cet ouvrage, on en est encore aux réunions d'information ; il y est question des nouvelles ou des futures réglementations mais les solutions y font toujours défaut. C'est à croire que les professionnels n'ont rien à proposer et que les acquéreurs potentiels ont peur d'acheter des biens risquant de devenir très rapidement obsolètes. Quelques maîtres d'ouvrage en concluent un peu hâtivement que c'est « la crise » qui est la seule responsable de la mévente de leurs bâtiments. Les plus visionnaires en ont profité pour rebondir et, après avoir écoulé leurs stocks, ils se sont dit que ce serait peut-être le moment de construire différemment en proposant des BEPAS et des BEPOS.

Comment avons-nous pu en arriver là ? L'évolution rapide des bâtiments économes en énergie et le manque de formation en sont les principales causes. Mais il y a plus grave : l'absence d'offre en termes de solutions.

Quelles pourraient être ces solutions ? Ce n'est pas au travers d'un concours qui ne dure que quelques semaines que les concepteurs – architectes et ingénieurs – ont le temps de trouver des solutions efficaces et applicables aux bâtiments à basse consommation. C'est un travail long et coûteux de *recherche & développement* exigeant d'équipes pluridisciplinaires qu'elles travaillent ensemble des années durant pour mutualiser leurs expériences comme leurs réflexions. Malheureusement, les concepteurs ne pouvant bénéficier d'aides en R&D, aucune offre globale n'est proposée.

Le guide que vous allez découvrir représente l'aboutissement d'un projet de R&D.

L'auteur – qui l'a conduit à titre individuel – explique ici pas à pas sa proposition personnelle de deux concepts globaux à partir des vecteurs *air* et *eau*.

Toutefois, l'ouvrage est loin d'être exhaustif ! Le projet qui est à l'origine de ce travail avait pour but de découvrir des solutions efficaces et modulaires qui puissent s'intégrer dans un concept global de BBC, jusqu'à des BEPOS. Il a fallu pour cela mettre au point les matériels ainsi que des interfaces qui

manquaient à certains de ces modules. Afin de réduire les coûts de développement, des composants existants construits en grande série ont, par exemple, été détournés de leur fonction initiale. Une fois ce puzzle assemblé, il a fallu effectuer des simulations et des essais en cellule climatique pour vérifier les performances des modules individuels et combinés.

Les mesures d'efficacité énergétique obtenues nous permettent d'envisager bien d'autres applications, comme par exemple les *BBC tertiaires*. Ce concept global de *construction des bâtiments d'habitation collectifs à basse consommation* étant appelé à évoluer, ce guide sera mis à jour suivant les avancées techniques majeures.

Remerciements

Venus de différentes disciplines, plusieurs professionnels ont participé à l'élaboration de cet ouvrage, en ont validé le contenu et ont contribué à le faire connaître. Il m'est agréable de remercier tout spécialement certains d'entre eux.

Ingénieur, directeur général de XPair, Philippe Nunes de Cunha m'a encouragé de façon décisive et je lui dois d'avoir écrit ce guide. Rédacteur en chef de Chaud Froid Performance (CFP), Bernard Reinteu en a publié des extraits. Je dois également beaucoup au cercle d'amis et de professionnels que forment notamment Alain Coffignot (Precobati), Bruno Durville, Bruno Recidivi,

Dominique Pic, Serge Braghieri (Chêne Vert) et Pascal Hainaut (GrDF).

Je n'oublie pas le concours que m'ont apporté les membres de mes deux associations professionnelles, ICO et AICVF, qui m'ont permis de tester le contenu de ce guide.

Par ailleurs, les lecteurs pourront se reporter avec profit aux adresses suivantes :

www.XPair.com

www.guide-bepos.com

www.edipa.fr

8| L'importance du type de construction

Le type de construction influencera plus que jamais les consommations d'énergie et le confort qui en résultera.

Faudra-t-il opter pour un concept bioclimatique, construire une maison en bois, réaliser une isolation extérieure ?

Les premières réflexions

Parce qu'une maison a six côtés donnant sur l'extérieur, alors qu'un logement n'en a en général que deux ou trois, l'ensoleillement, l'occupation et l'inertie joueront de façon rapide sur le confort et créeront des « effets de pompage » sur les équipements de chauffage et de rafraîchissement au travers de la régulation.

Les équipements utilisant du solaire passif seront vite débordés dans leurs tâches et ceux utilisant de l'énergie fossile interviendront plus souvent, ce qui aura en plus pour conséquence un rendement de génération plus faible du fait des courts cycles provoqués sur les générateurs de chaleur et donc des surconsommations.

Comme autre grandeur perturbatrice, nous aurons également l'occupation. Si, en plus des apports calorifiques par ensoleillement, plusieurs personnes se trouvent concentrées dans une pièce, nous aurons un besoin supérieur de ventilation et de rafraîchissement du fait des apports calorifiques amenés par ces occupants et de la bonne isolation thermique de notre maison qui les emprisonnera au point qu'il y aura une surchauffe. Nous pourrions très bien avoir un besoin de chauffage dans le même temps dans une pièce inoccupée située au nord.

Pour choisir le système de chauffage, de ventilation et de rafraîchissement, il faut préalablement se poser les questions suivantes :

- Quelles sont les sources d'énergie dont nous disposons, selon que nous sommes en ville ou à la campagne ?
- Existe-t-il un PLU avec un droit au soleil ?

- Quel niveau de confort les acquéreurs souhaitent-ils et quel coût global envisagent-ils ?

- Quelle proportion des besoins globaux devra être couverte par l'énergie solaire ?

- Combien le système devra-t-il fournir de kilowattheures solaires et avec quel gradient de température ?

- Quelle économie de kilowattheures par an le système global procurera-t-il ?

- Que ferons-nous des capteurs solaires lorsqu'il y aura à la fois trop de soleil et des besoins calorifiques faibles ?

- Le fait de construire des bâtiments super-isolés conduira inévitablement à des problèmes de surchauffe. Le cas se pose déjà avec des BBC Rénovation. Comment ferons-nous pour garantir le confort d'été sans avoir recours aux énergies fossiles ?

- Quelle sera la répartition des consommations entre les différents besoins ?

- À quel producteur de chaleur devons-nous faire appel, en sachant qu'une chaudière à condensation couplée à du solaire thermique ne pourra respecter la réglementation relative aux rendements que jusqu'en 2015 ? Or, pour être prêts, nous devons déjà réfléchir à la conception des bâtiments pour 2020.

- En ayant recours à une isolation très efficace, les apports calorifiques nous ferons courir des risques d'inconfort en été. Le soleil et l'inertie du bâtiment ne seront pas suffisants pour permettre de rester en zone de confort.

- Comment pourrions-nous réaliser un rafraîchissement en été sans avoir recours aux énergies fossiles ?

À toutes ces questions, on peut apporter les réponses suivantes :

- On devra avoir recours au solaire passif et actif au maximum pour nous chauffer tout en sachant maîtriser cette source d'énergie rapidement.

- On devra plus que jamais prévoir pour notre maison de l'inertie et des protections solaires.
- On devra pouvoir stocker l'énergie renouvelable (solaire) à chaque fois que l'on en aura de trop.
- On devra avoir des émetteurs à faible inertie capables de répondre à la moindre sollicitation de la régulation.
- On devra mettre en adéquation l'inertie du bâtiment, l'inertie du générateur, l'inertie de l'émetteur, la capacité thermique du stockage en énergie renouvelable et la rapidité de la régulation (GTD avec couplage à la domotique), laquelle devra anticiper tous ces phénomènes de façon à obtenir une consommation et un confort optimaux.
- Comme on aura plusieurs grandeurs perturbatrices, pour être à la fois efficace et maintenir un bon confort, on utilisera pour la régulation une boucle fermée pour la principale sur laquelle on imbriquera une ou plusieurs boucles ouvertes. Chacune de ces boucles ouvertes interviendra dans la boucle fermée par le biais d'un correcteur calculé (sommateur).

La programmation par pièce deviendra vite trop complexe. Les utilisateurs souhaitent des systèmes dits « intelligents ». On aura donc recours à une domotique compréhensible, et ce sont les capteurs de température et de présence qui géreront le

chauffage, la ventilation, la lumière et les veilles des appareils domestiques.

Attention, réaliser un chauffage solaire requiert quelques précautions :

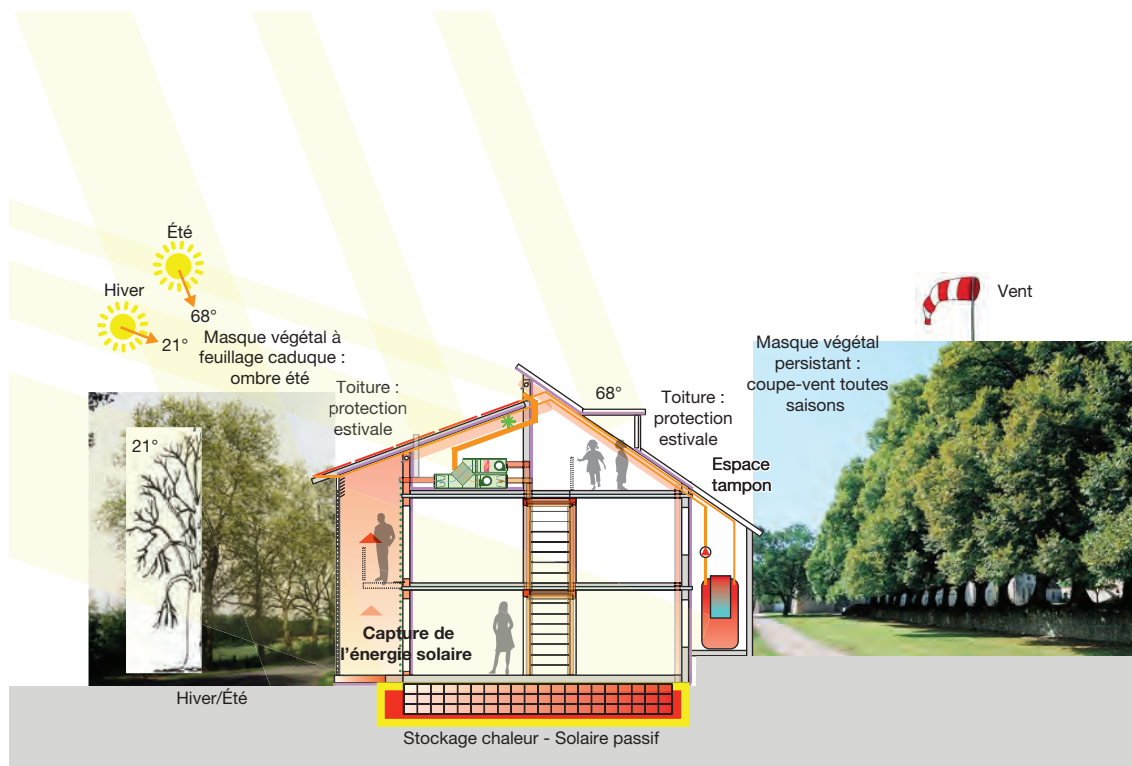
- Les besoins en chauffage ne seront pas couverts par l'ensoleillement en hiver, et à l'inverse, la production de chaleur solaire disponible en été dépassera largement les besoins de la production d'eau chaude sanitaire.
- La production de chaleur solaire et l'appoint devront être conçus pour à la fois assurer le meilleur taux de couverture et de rendement global possible du système. Mais que fera-t-on de l'excès de production de chaleur solaire en été ?
- On pourra chauffer une piscine en été et ne plus partir en vacances pour justifier de sa réalisation ou on devra évacuer la chaleur en excès sur un aéroréfrigérant – il n'y pas beaucoup d'autres solutions...

Le chauffage solaire passif

Le chauffage solaire passif (démarche bioclimatique) consiste à adapter un bâtiment dans le but d'utiliser au mieux les apports



Exemple de maison à chauffage solaire passif.



Environnement à prévoir autour d'une maison à basse consommation d'énergie.

calorifiques liés au soleil (architecture, ouvertures, matériaux, orientation...).

Pour construire une maison, la première chose à faire sera de lui trouver un terrain à la fois exposé au soleil et protégé du vent. Quelques aménagements de celui-ci seront à prévoir de façon à permettre d'améliorer le bilan thermique de la maison.

La première intervention pour le confort de ses habitants sera de filtrer le rayonnement solaire en fonction des saisons, la seconde sera de protéger la maison du vent dominant en faisant attention toutefois que les arbres ne puissent la dégrader en cas de tempête.

Les systèmes de chauffage complémentaire

Le chauffage de la maison sera réalisé successivement en deux ou trois étapes :

- au moyen d'un système de chauffage principal réalisé en solaire passif ;

- au moyen d'un système de chauffage d'appoint réalisé en solaire actif ;

- au moyen d'un troisième mode de chauffage servant à l'appoint et au secours dans les régions très froides.

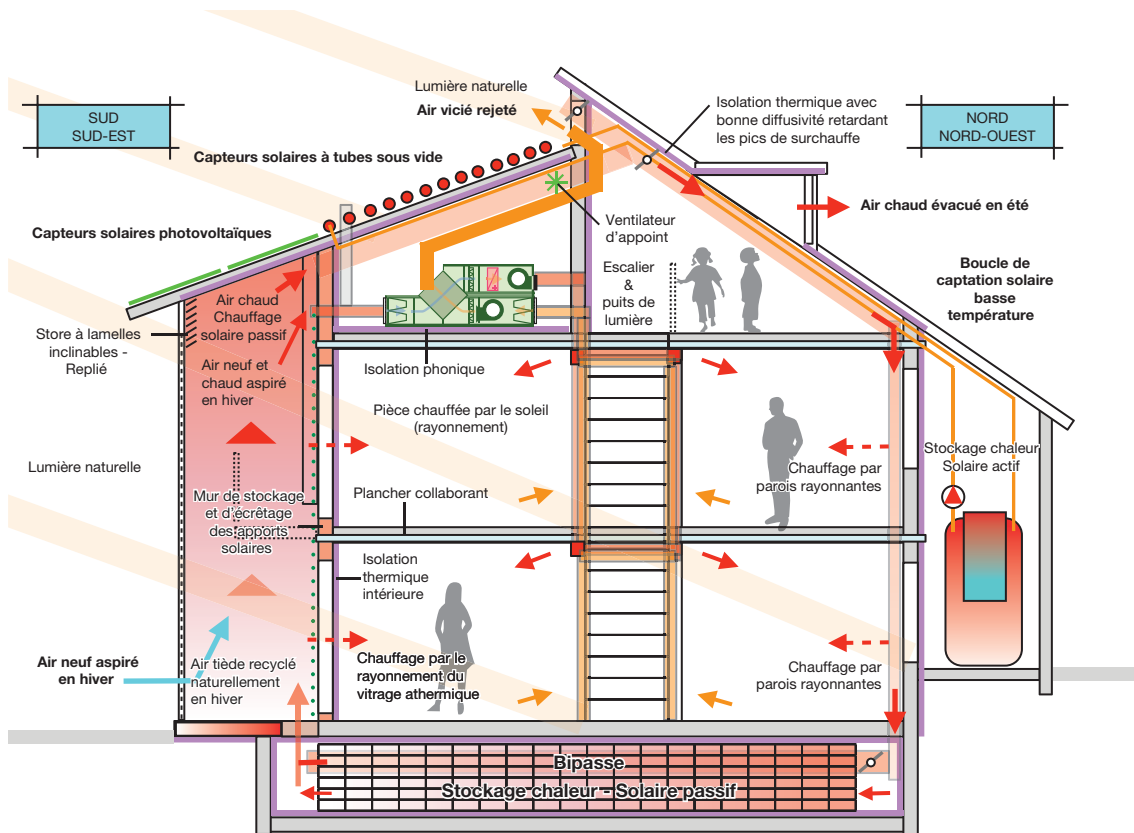
Ce schéma de principe permettra de réaliser à la fois :

- un chauffage solaire passif prioritaire, avec son stockage sec ;
- un chauffage solaire actif d'appoint et de secours, avec son stockage liquide.

L'isolation thermique

Nous ne traiterons pas ici de l'isolation, car plusieurs volumes n'y suffiraient pas. Nous vous suggérons de consulter des ouvrages spécialisés, comme *Le Grand Livre de l'isolation* ainsi que *L'Isolation par l'extérieur* de Thierry Gallauziaux et David Fedullo (Eyrolles, 2010 et 2011).

Nous ne parlerons de l'isolation des parois qu'en termes d'inertie, car elle a une incidence importante sur les besoins calorifiques et le confort des maisons.



Principaux besoins d'une maison à basse consommation d'énergie BEPAS ou BEPOS en termes d'architecture.

Choix de l'emplacement de l'isolation thermique

L'isolation par l'extérieur permet les avantages suivants :

- donner de l'inertie thermique à la maison ;
- traiter un plus grand nombre de ponts thermiques ;
- ne pas modifier les surfaces habitables ;
- protéger les murs des variations climatiques.

Notre choix se portera de préférence sur une maison isolée par l'extérieur (et avec une ventilation nocturne).

La démarche environnementale

Notre souci en réalisant des BBC, BEPAS et BEPOS est de produire le moins possible de CO₂ et d'énergie grise. Comparons donc les consommations d'énergie pour la fabrication des matériaux pour une maison de 150 m², selon différents modes constructifs :

Notre choix se portera donc sur une maison en bois, mais avec des réserves...

Les maisons en bois sont plus difficilement étanches à l'air (car le calfeutrement travaille et vieillit) et ont une inertie qui repose essentiellement sur la masse thermique de leurs matériaux (bois, fibre de bois, panneaux Fermacell), dans la structure extérieure comme dans les cloisons intérieures.

Cette inertie est insuffisante et conduira à des surchauffes en été si l'on n'y prend garde, les planchers seront donc en béton. En hiver, les dalles pleines en béton contribueront à stocker la chaleur apportée par le rayonnement solaire qui pénétrera dans les pièces. On évitera d'avoir un revêtement isolant ou un plancher sur lambourdes ; un plancher en bois collé (parquet flottant, parquet cloué, parquet collé) ou un carrelage collé feront très bien l'affaire.

L'architecture en bois

Un peu d'histoire

Il y a encore quelques années, la construction en bois avait une très mauvaise réputation auprès de l'administration en charge de l'urbanisme du fait que ce type d'architecture s'inspirait for-

tement de modèles étrangers. Ce n'était d'ailleurs pas tellement le matériau qui constituait un frein, mais bien l'expression architecturale qui lui était associée.

Les temps ont changé et les architectes ont dû s'adapter aux prescriptions urbanistiques. L'évolution de la réglementation thermique et les démarches de développement durable ont su peu à peu imposer l'architecture en bois.

Matériau de référence pour l'aménagement intérieur, il déborde désormais largement vers l'extérieur (terrasses, mobilier de jardin, clôtures...). Mieux, d'élément de décoration, le bois est devenu ces dernières années un élément de construction à part entière, et plus seulement pour les charpentes.

Systèmes constructifs en bois

Il existe de multiples manières de construire en bois. Aujourd'hui, trois systèmes principaux coexistent et sont parfois combinés : l'ossature bois, le bois massif et le « poteaux-poutres ». Ces systèmes sont les plus diffusés en raison de leurs qualités structurales et architecturales.

L'ossature bois

La structure est constituée d'un squelette d'éléments verticaux (montants) de faible section, disposés à intervalles réguliers selon un entraxe de 40 ou 60 cm et reliés entre eux par des éléments horizontaux (traverses) de même section, le tout formant des cadres. La distance de placement des montants est déterminée selon les charges à reprendre et les dimensions des éléments standardisés.

Les maisons à ossature bois sont livrées en kit sous forme de panneaux modulaires préfabriqués comportant des planchers en bois. Il faudra exiger de la part du constructeur que le plancher bas du rez-de-chaussée corresponde à une dalle pleine en béton de façon à gagner en inertie, mais aussi pour stocker la chaleur gratuite venant du rayonnement solaire.

Le bois massif

Issu de la technique traditionnelle de la cabane en rondins, le système bois massif consiste en un empilement horizontal de poutres profilées, emboîtées les unes dans les autres en leur extrémité. La quantité de bois utilisé est donc relativement importante. Les éléments sont en bois massif ou en bois lamellé-collé.

Les maisons en bois massif intègrent bien souvent des murs en pierre ou en brique. Elles sont construites sur place et l'usage de dalles pleines en béton ne pose pas de problème, ce qui nous

fera gagner en inertie et nous permettra également de stocker la chaleur gratuite venant du rayonnement solaire.

Le « poteaux-poutres »

Historiquement plus récente sur notre continent, cette troisième méthode consiste à monter une structure comparable à celles que l'on peut voir dans les bâtiments en béton. Le squelette poteaux-poutres présente un moins grand nombre de pièces de bois que le système ossature, mais les dimensions de leur section sont par contre plus importantes.

Ce type de construction offre une grande diversité architecturale : les possibilités de transformation sont illimitées. Outre l'adaptabilité des surfaces ainsi créées, l'avantage réside dans la possibilité d'exprimer architecturalement la dissociation de la structure, des parois et des planchers, en utilisant par exemple de très larges baies vitrées. Des portées importantes peuvent être atteintes, offrant de grands espaces dégagés.

Un éco-bilan positif

Ce matériau de la nature ne nécessite qu'une faible dépense énergétique à la production, en comparaison avec l'énergie nécessaire pour produire les autres matériaux.

Depuis le début de l'ère industrielle, l'utilisation grandissante des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) a libéré dans l'atmosphère de très grandes quantités de CO₂. L'augmentation rapide de l'effet de serre qui en a résulté a provoqué un réchauffement du climat à l'échelle de la planète, lequel causera vraisemblablement des désastres écologiques, économiques et humanitaires pour les prochaines générations.

Le bois est une véritable pompe à CO₂. Pour se développer, les arbres fixent le CO₂ de l'atmosphère et libèrent de l'oxygène.

Le bois est recyclable et biodégradable et consomme 10 à 20 fois moins d'énergie grise.

Le gros œuvre d'une construction en bois peut être réalisé en une ou deux semaines, voire en quelques jours en cas de préfabrication des éléments de parois en atelier.

À l'exception des fondations et des soubassements, les maisons en bois sont des constructions dites « sèches », contrairement aux maisons en maçonnerie où doivent s'évacuer plusieurs milliers de litres d'eau utilisés dans les bétons, les maçonneries, les enduits...

Une maison en bois peut être construite sur des terrains dont la capacité portante du sol est limitée. D'autre part, le bois peut offrir des solutions réellement avantageuses dans le cas d'extension ou de surélévation.

La température superficielle des parois, proche de la température de l'air ambiant, offre une réelle sensation de confort.

Le choix du bois

Opter pour une maison en bois, c'est réduire l'impact environnemental au travers de l'énergie consommée et du CO₂ produit et libéré dans l'atmosphère.

Le confort d'été

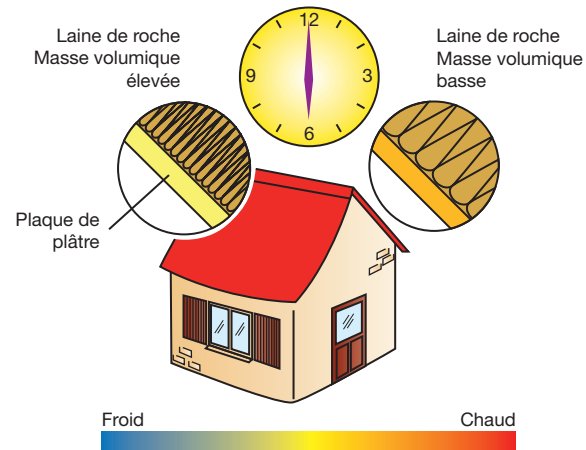
Avoir chaud dans les combles en été n'est pas une fatalité.

La pente et la couleur de la couverture favorisent l'absorption de la chaleur, conduisant parfois à des températures de l'ordre de 70 ou 80 °C. L'isolant se situant entre la couverture et le parement du comble retarde et amortit les variations de températures.

La diffusivité caractérise l'aptitude de l'isolant à retarder la progression d'un pic de surchauffe de la face extérieure vers la face intérieure : plus elle est faible et plus l'isolant retarde cette progression de l'extérieur vers l'intérieur.

Après les ouvertures, c'est le toit qui apporte le plus de chaleur dans les combles. L'isolation de la toiture est primordiale : on choisit l'isolant notamment pour sa résistance thermique et sa diffusivité.

Aux environs de 14 h, le soleil provoque une rapide élévation de la température de la couverture, qualifiée de « pic de surchauffe ». En fonction de la masse volumique et de la diffusivité de l'isolant, cette élévation de température atteindra les



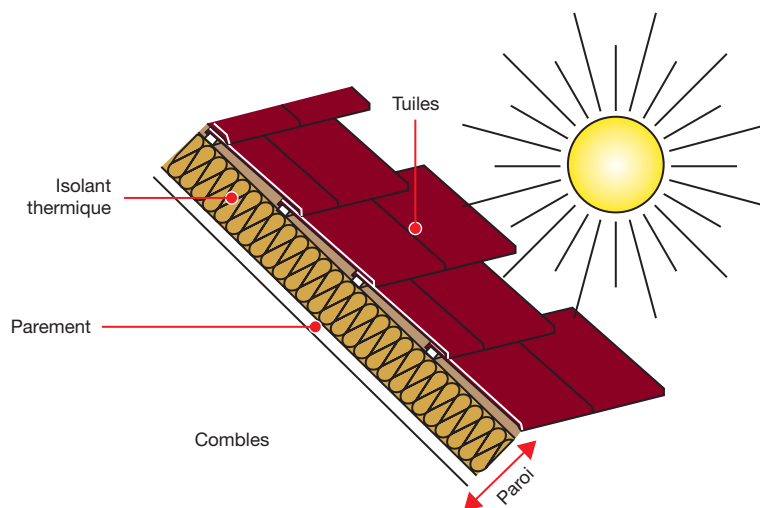
Incidence de la température de surchauffe en fonction de la masse volumique de l'isolation de la toiture.

© Rockwool France

combles, avec une moindre amplitude, après un laps de temps plus ou moins long.

Les panneaux de laine de roche de masse volumique élevée retardent et atténuent la perception de la chaleur à l'intérieur.

L'inertie thermique d'un local (ou sa capacité thermique) contribue à réguler sa température ambiante en absorbant de la chaleur quand il fait plus chaud et en la restituant quand il fait plus frais. La laine de roche (par sa masse volumique et son épaisseur) augmente l'inertie thermique. De ce point de vue, les combles aménagés présentent une faible inertie : plus sa capacité thermique augmente par mètre carré, plus l'isolant contribue à augmenter l'inertie thermique de la paroi.



© Rockwool France

Composition standard de la toiture en pente d'une maison.

QCM de la première partie BBC neuf et rénovation, BEPAS, BEPOS Les fondamentaux

A. Quels sont les usages pris en compte dans les consommations maximales d'énergie primaire ?

- ☐ a) Chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement
- ☐ b) Chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes)
- ☐ c) Chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes), appareils domestiques

B. Quel est le gain apporté par une PAC de type machine gaz à absorption ?

- ☐ a) 50 % en CO₂ et 38 % sur la consommation et facture de chauffage
- ☐ b) 50 % en CO₂ et 50 % sur la consommation et facture de chauffage
- ☐ c) 38 % en CO₂ et 50 % sur la consommation et facture de chauffage

C. Une PAC gaz à absorption peut être classée dans les matériels EnR.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

D. Il est d'un intérêt performantiel et financier d'installer une puissance de PAC égale à celle des déperditions.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

E. Un BEPOS est capable de continuer de se chauffer en énergie renouvelable quand il n'y a plus de soleil.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

F. Un BEPOS ne diffère pas d'une BEPAS en ce qui concerne son architecture bioclimatique.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

G. Il y a toujours un risque de surchauffe dans les BBC avec une surventilation de 2 vol./h.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

H. On a le droit de climatiser les logements partout en France, dès lors qu'il fait trop chaud et que le bruit de fond extérieur est trop élevé.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

I. On a le droit de climatiser un bâtiment si une étude thermique permet de démontrer que globalement nous n'avons pas plus de consommation qu'un bâtiment climatisé.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

J. On peut récupérer la chaleur de réjection provenant du condenseur de la PAC gaz à absorption pour produire tout ou partie de l'eau chaude sanitaire.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

K. Quand sera mise en application la RT 2012 concernant les bâtiments résidentiels ?

- ☐ a) 1^{er} janvier 2012
- ☐ b) 1^{er} janvier 2013

L. La RT 2012 rend obligatoire le recours aux énergies renouvelables en maison individuelle.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

M. Que représente « Bbiomax » dans la RT 2012 ?

- ☐ a) Une exigence de limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, refroidissement et éclairage)
- ☐ b) Un indicateur qui rend compte de la qualité de la conception et de l'isolation du bâtiment, indépendamment du système de chauffage.
- ☐ c) Une exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti
- ☐ d) c
- ☐ e) a + b + c

N. Pour les logements collectifs le Cmax sera différent de celui d'une maison individuelle.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

O. Dans la RT 2012, du fait du renforcement de l'isolation thermique, les solutions données permettent maintenant d'obtenir un bon confort d'été.

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

P. Quelles sont les règles fondamentales pour parvenir à réaliser un BEPOS ?

- ☐ a) Une architecture bioclimatique permettant le chauffage solaire passif, un maximum de lumière naturelle, les occultations en été évitant la plupart des risques de surchauffe
- ☐ b) Un recours au solaire passif et actif pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire
- ☐ c) a + b + stockage de l'énergie solaire
- ☐ d) a + b + recours aux équipements permettant un rendement net/ep 134 % + production électrique égale à 12 kWh_{ep}/m²/an
- ☐ e) a + b + c + d

Réponses

A : b ; B : b ; C : Vrai ; D : Faux ; E : Vrai ; F : Vrai ; G : Vrai ; H : Faux ; I : Vrai ; J : Vrai ; K : b ; L : Vrai ; M : e ; N : Vrai ; O : Faux ; P : e