



L'habitat bio-économique

Pierre-Gilles Bellin
Association Arca Minore



2^e
ÉDITION

Isolation
Chauffage
Électricité
Eau

Préface de Corinne Lepage

EYROLLES

Éditions Eyrolles
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Aux termes du code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Groupe Eyrolles, 2010
ISBN : 978-2-212-12549-8

Crédits

Révision
Florence Daniel

Croquis
Nicole Bellin : p. 97
Pierre-Gilles Bellin : p. 80, 81, 118, 194, 205, 211, 212
Antoine Delor : p. 47, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 78
Sylvain Jeaneau : p. 43, 98
Claude Quiec : p. 56, 91, 99, 130
Anne Rivière et Claudine Duchet : p. 185
Tous les autres croquis de l'ouvrage ont été réalisés par Christian Tacha.

Croquis de couverture
Claude Quiec

Photos
Sauf mention contraire en légende, toutes les photos
sont de Pierre-Gilles Bellin.

Conception graphique et mise en pages intérieure
Chantal Guézet

Couverture
Chantal Guézet
Conception graphique Sylvie Vermeille

Remerciements

Tous nos remerciements à Sylvain Jeaneau, reçu en stage à l'occasion
de son diplôme en architecture.

Merci également à Claude Popoff, ingénieur, pour sa relecture attentive.

Sommaire

Préface de Corinne Lepage	6
Introduction	8
Chauffer, rafraîchir, ventiler	12
Chaud et froid : comment ça marche ?	15
L'isolation	19
La maison passive	35
Produire de la chaleur	83
L'électricité	100
Un peu de physique	103
Économiser l'électricité	107
Parvenir à l'autonomie électrique	119
L'eau et les déchets	146
Notions de physique, de réglementation et de santé	149
Économiser l'eau	155
Recueillir l'eau	163
Retraiter l'eau et les déchets	179
Adresses utiles	216
Bibliographie	217

Préface

La France a, par rapport à nombre de ses voisins, pris un retard considérable dans le développement des écotecnologies et en particulier dans le développement d'un habitat durable. Ceci s'explique d'abord par la difficulté qu'a rencontrée l'écologie politique à convaincre de la nécessité d'entrer dans une véritable révolution économique. Concentrés sur une vision catastrophiste de la situation et pour certains, sur une contestation de fond du système économique dominant, les écologistes n'ont pas su prendre le tournant de la dynamique dont ils étaient pourtant porteurs, sans le savoir, pour beaucoup d'entre eux. Ce positionnement a empêché l'essentiel des décideurs publics de prendre en considération l'ampleur des menaces écologiques auxquelles nous étions tous confrontés et de réorienter en conséquence leurs choix. À cette première explication s'en ajoute une seconde. Le système jacobin et notre amour immodéré pour une réglementation franco-française, d'autant plus appréciée qu'elle est complexe, a conduit à nous orienter vers des normes et des systèmes très compliqués, peu efficaces et très rarement contraignants.

Cette situation est particulièrement vraie dans le domaine du bâtiment. Chacun reconnaît qu'il s'agit d'un des domaines à la fois les plus émetteurs de gaz à effet de serre et les plus susceptibles d'amélioration rapide. On soulignera toutefois que par « bâtiment » il faut entendre non seulement la construction elle-même mais l'environnement de cette construction, c'est-à-dire la question de l'urbanisme et des transports. À quoi servirait, en effet, de réaliser des maisons à énergie passive si la seule manière d'y accéder restait la voiture automobile, si elle s'accompagnait d'une politique de mitage systématique de l'espace et si les déchets étaient systématiquement adressés à une usine d'incinération ? Sans doute, tous les sujets ne peuvent pas être traités en même temps, mais comprendre la philosophie du développement durable, c'est comprendre l'interdépendance, la complexité et la globalité et comprendre qu'aucun sujet ne peut jamais être traité indépendamment de son contexte.

Il n'en demeure pas moins que chaque secteur doit faire sa révolution et que le bâtiment est le premier probablement à être en capacité de le faire. En effet, le Grenelle de l'environnement a clairement démontré que de très nombreux intérêts économiques plaident en ce sens et que, les négawatts, autrement dit les watts non produits, trouvaient dans le bâtiment un gisement immense. Pour que cette véritable révolution économique et technique se produise, révolution qui consiste à passer d'un habitat classique à un habitat à énergie passive, voire à énergie positive, il faut non seulement qu'il y ait une offre mais également qu'il y ait une demande.

S'agissant de l'offre, l'intérêt de cet ouvrage est de montrer que les techniques ne manquent pas, que des matériaux de construction à l'architecture, du chauffage à l'électricité, de l'eau aux déchets, sans oublier la nature elle-même, de nombreuses techniques sont aujourd'hui tout à fait matures et permettent de construire dans un concept tout à fait différent. Le principal blocage, du côté de l'offre, tient, dans notre pays, à la carence en matière de formation de tous les corps du BTP et à une offre industrielle encore trop modeste, faute de marché intérieur durant les années où nous avons été sourds aux transformations qui se faisaient ailleurs.

S'agissant de la demande, l'effort à fournir est de deux ordres. Il convient, d'une part, d'informer, d'expliquer, de convaincre les acheteurs potentiels, particuliers mais aussi entreprises, de l'intérêt qu'il y a à construire des bâtiments à énergie passive voire à énergie positive même s'il y a surcoût au départ. Il est clair que cet ouvrage est une mine de renseignements pratiques sur ce qui peut être fait et tous les avantages qui en découlent. De la même manière, les décideurs publics des collectivités locales pourront juger de l'intérêt qu'il y a à promouvoir des lotissements et des opérations d'habitat qui s'inscrivent dans cette logique.

Mais cela risque de ne pas suffire dans la mesure où le problème actuel est incontestablement un problème de financement. Sans effort d'ingénierie financière, et de réflexion sur les conditions dans lesquelles des bonifications de prêts de nature à réduire le surcoût pourraient intervenir, un certain nombre de ménages, de petites entreprises peuvent renoncer à une opération qui, incontestablement, leur serait pourtant doublement bénéfique sur le moyen terme.

Quoi qu'il en soit, cet ouvrage s'inscrit dans la logique de tous ceux qui aujourd'hui ont compris que l'urgence écologique imposait non seulement des changements dans les comportements et dans les modes de production et de consommation mais de manière plus générale dans notre vie quotidienne. Le travail des décideurs publics comme des entreprises est désormais d'asseoir le développement économique sur la réponse à cette question et de convaincre progressivement la totalité du monde consommateur, c'est-à-dire tous les citoyens, qu'il est de leur intérêt, individuel et collectif, de penser et de décider autrement.

Corinne Lepage,
ancienne ministre de l'Environnement,
professeur à l'Institut d'Études Politiques de Paris

Introduction

L'écosystème mondial est entré dans une crise sans équivalent depuis l'ère primaire, qui a vu l'extinction il y a 190 millions d'années de 80 à 90 % des espèces vivantes et la destruction de 99 % des organismes. Cette destruction fut liée en partie à un réchauffement global de la planète. Nous sommes dans une fin d'ère parfaitement identique, caractérisée par un effet d'avalanche qui voit les ruptures s'enchaîner, s'amplifier et s'aggraver réciproquement ; le dégazage dans l'atmosphère des hydrates de méthane, méthane glacé présent dans le permafrost et les sédiments des fonds océaniques, pourrait porter le coup fatal à l'écosystème global – le méthane est la molécule qui provoque le plus d'effet de serre. Simultanément, près de 3 milliards d'enfants sont attendus d'ici 2050, portant le nombre des bouches à nourrir à un niveau ahistorique pour une même espèce.

Dans cette catastrophe, l'habitat a une responsabilité première : en France, non seulement il produit près de 50 % des gaz à effet de serre, mais en outre les millions de maisons et d'immeubles stérilisent le sol sur lequel ils sont implantés, limitant encore plus la part réservée au végétal, à l'animal et à l'agriculture.

Face à ce constat, l'objectif de cet ouvrage est bien de militer en faveur du développement de l'habitat bio-environnemental, mais en insistant, au-delà des très légitimes préoccupations « écologistes », « environnementalistes », « altermondialistes », sur les bienfaits économiques et matériels qu'il apporte aux ménages. Il s'agit en effet de donner les moyens et l'envie à tout un chacun de s'impliquer pour des formes d'habitat douces et acceptables par le Vivant.

Les techniques, principes et pratiques constructives de l'habitat autonome, simple et économique présentées dans cet ouvrage ont été validées grâce à la mise au point d'un préprototype dans le cadre de notre association pour la défense du Vivant Arca Minore. Ce préprototype, chalet de loisirs en Ille-et-Vilaine, est une sorte de maquette à l'échelle 1 d'une trentaine de mètres carrés. Nous y ferons souvent référence tout au long de notre « démonstration ».

Le principe de simplicité

Le principe qui a servi de guide à ce livre, de même qu'à la réalisation de notre maisonnette-préprototype, c'est la simplicité : car ce qui est simple est à la fois efficace, durable, peu cher et, bien souvent, esthétique.

Cette simplicité se décline en deux objectifs : tout habitat doit dépenser au pire 15 kWh par mètre carré et par an ; tout habitat doit créer de la biodiversité.

Les trois parties de cet ouvrage sont des variations pratiques autour de ces deux objectifs. Successivement, elles montrent comment on peut, avec un minimum d'investissements, produire de la chaleur et de la fraîcheur (habitat passif), produire de l'électricité, produire de l'eau potable et recycler ses déchets.

Chaque partie présente des réalisations que peut facilement mettre en œuvre un particulier moyennement « bricoleur », et fournit les bases d'une stratégie constructive simple, efficace et avantageuse pour tout maître d'ouvrage.

D'incroyables économies sont en effet possibles si l'on suit des techniques bio-environnementales simples. En premier lieu, ces techniques, associées, permettent de bâtir, de rénover ou d'étendre un habitat ancien à coût réduit, et cela sans rien sacrifier à la beauté et à la durabilité. Car la maison est plus qu'un bien, un patrimoine que l'on transmet à ses enfants. En second lieu, elles permettent de bâtir des habitats à bas prix qui tendent vers le « zéro charges » : dans notre préprototype, les techniques de production électrique autonome sont, d'ores et déjà, aussi rentables que le raccord au réseau public, moyennant une stratégie globale exposée dans ce livre ; en ce qui concerne l'eau et les déchets, l'auto-gestion permet d'atteindre dès aujourd'hui une rentabilité et une efficacité sanitaire et environnementale très supérieures à celles des réseaux publics.

Chaque volet est resitué dans son cadre réglementaire, lequel subit une évolution permanente et constitue, lorsqu'on construit, une donnée prégnante, un peu comme l'est la pesanteur dans le cadre de la physique : vous saurez ce qui est licite, ce qui va le devenir, qu'il s'agisse de développer un habitat passif à bas coût ou de gérer l'eau et ses déchets.

Donner son vrai prix à la construction

Cet ouvrage suit un autre objectif : démontrer, par une véritable étude des prix, que, contrairement à ce que l'on entend dire partout, bâtir « écolo » est moins cher que bâtir « classique », probablement de 15 à 20 % ! Il constituera une aide très concrète pour le particulier qui achète son matériel et lui permettra de prendre la mesure de l'envolée artificielle des coûts de la construction écologique, dont profitent d'aucuns, tirant parti d'un engouement général pour les matériaux sains comme de la nécessité qui nous presse.

L'enjeu est majeur : il ne faut pas que la transformation de l'habitat en France soit gênée par des prix qui deviendraient vite insupportables dans un contexte économique déjà très difficile. D'autre part l'habitat bio-autonome doit pouvoir continuer d'apporter une réponse alternative aux particuliers – et aux artisans ! – qui souffrent des coûts fort élevés de la construction traditionnelle, dus en grande partie à sa surréglementation.

L'innovation architecturale est malheureusement freinée en France par la somme impressionnante des « documents techniques unifiés », dont le respect conditionne l'obtention des assurances artisanales – et donc l'autorisation d'exercer. Y intégrer de nouvelles règles de l'art est par ailleurs impossible pour un artisan ou une jeune entreprise, car il leur faut déboursier au moins 40 000 € pour une certification par le Centre scientifique

et technique du bâtiment (CSTB). Ne peuvent donc vendre légalement une méthode constructive efficace et révolutionnaire que les grosses PME ou les grands groupes...

À rebours de la France, c'est à une simplicité presque admirable que nous convient les inventeurs de l'habitat « passif » : Bo Adamson en Suède, Wolfgang Feist en Allemagne, Robert Hastings aux États-Unis définissent ce dernier par cette seule exigence : qu'il ne dépense pas plus de 15 kWh par mètre carré et par an. Voilà donc la règle première du standard allemand Passivhaus – pour mémoire, le Grenelle de l'environnement français a fixé en octobre 2007 l'objectif de 50 kWh par mètre carré et par an.

Le « standard » est très différent de la norme française. Bien sûr, le Passivhausinstitut peut venir certifier un bâtiment, mais de manière concrète, quand il est achevé : on ne fait que récompenser le résultat.

Le Passivhaus retient ensuite 4 principes, que les entreprises interprètent librement, puisque l'objectif est le résultat :

- absence de ponts thermiques et compacité ;
- étanchéité à l'air ;
- orientation au sud et absence d'ombre portée ;
- ventilation contrôlée avec récupération de chaleur.

Mais en France, comme si l'on voulait montrer à toute force que l'on est capable de créativité, on invente des process pour labelliser l'habitat. C'est par ce biais quelque peu égotique qu'est arrivé dans notre pays le label « haute qualité environnementale ».

Qu'est-ce donc que la HQE ? Nous lisons dans un document de communication que « donner en quelques mots une définition de la HQE n'est pas forcément simple ». C'est le moins que l'on puisse dire ! Il s'agit, d'après ses inventeurs, d'une « démarche », de « management de projet », prenant en compte la « globalité du développement durable ». Ses exégètes trouvent que l'on peut y combiner une définition « formelle » à une « exigentielle », lui associant une DEQE (« définition explicite de la qualité environnementale »), que suit un SME (« système de management environnemental »), et tout ceci bien que ne soit surtout pas recherchée une labellisation, laquelle – il fallait y penser – « figerait l'évolution de la HQE », mais qui est cependant mise en œuvre puisque le processus doit aboutir à une « certification », présentée comme volontaire, donnée à prix d'or par des organismes agréés... Ensuite interviennent 14 cibles, d'écoconstruction, d'écogestion, etc. Quelle qu'ait été la bonne volonté des gens qui l'ont imaginée, il faut aujourd'hui reprendre la copie en ouvrant la porte au pragmatisme !

Nous n'élevons certes pas le standard Passivhaus sur un piédestal : comme vous le verrez, nous sommes par exemple assez réservés sur l'intérêt de la ventilation mécanique à récupération de chaleur, du moins là où le climat est océanique. Pour résumer, nous privilégions, à l'anglo-saxonne, les solutions simples et pratiques, tant dans ce livre que dans le cadre des audits que nous effectuons avec notre réseau d'architectes chez les particuliers souhaitant transformer leur demeure en habitat à coûts réduits, construire une maison ou simplement réaliser une extension.

Réviser la gestion de l'eau et des déchets

Dans l'environnement, le sort des déchets est vital : il n'y a pas de biosphère possible s'ils ne sont intégralement recyclés. Pour notre part, nous nous sommes attachés à présenter les stratégies les plus efficaces à l'échelle écologique pour les matières organiques.

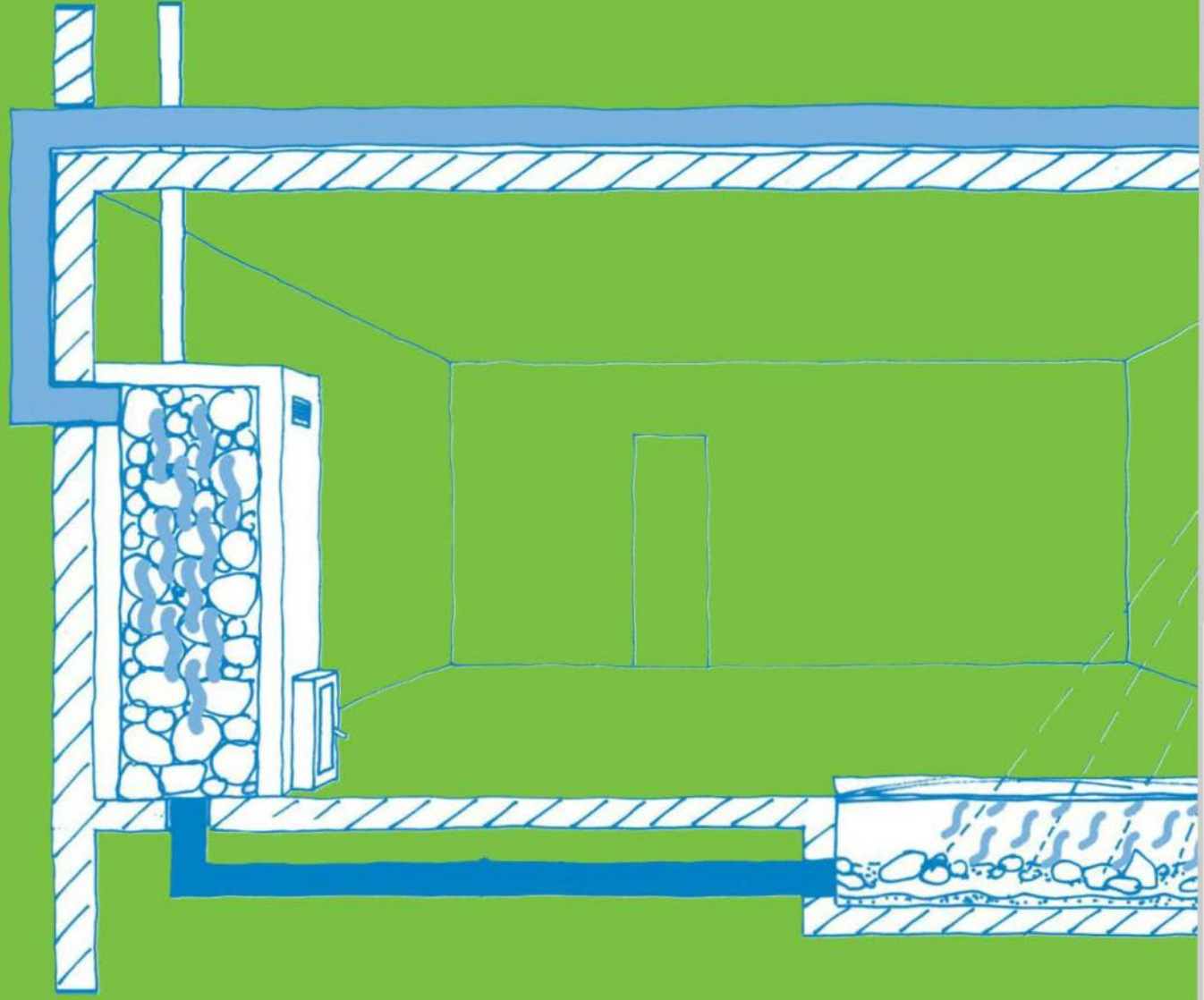
En montrant comment installer au meilleur prix des toilettes sèches, des composteurs, des filtres épurateurs humides plantés, des réservoirs d'eau de pluie, des piscines biologiques, nous souhaitons contribuer à rendre inéluctable, car hyper rentable, la responsabilité de chacun dans la gestion de l'eau et des déchets organiques.

Nous insistons sur le fait que des millions de tonnes de sous-produits qui devraient contribuer à la formation d'humus sont aujourd'hui retranchés de la biosphère et confinés dans des décharges toxiques. Pourquoi ? Par des habitudes que nous continuons de croire incontournables, ou même inhérentes à notre statut social : ainsi de la systématisation du tout-à-l'égout...

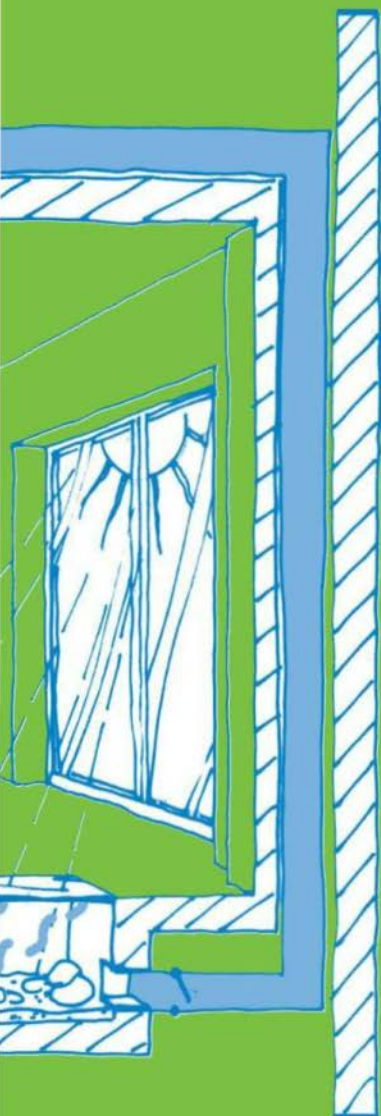
La législation ne permet pas encore aujourd'hui de libre concurrence entre l'épuration collective et individuelle : nous préconisons son changement rapide. Car, si ce qui est vital pour la planète n'a pu gagner jusqu'à présent puisqu'il a été empêché de concourir nombre de hauts fonctionnaires, d'associations professionnelles, sont désormais tout à fait décidés à changer les choses.

De ce point de vue, nous serons très attentifs à l'application législative, réglementaire et normative des décisions du Grenelle de l'environnement, confronté à de puissants lobbies ; cependant, d'ores et déjà, il commence à priver de justifications les forces trop conservatrices. Le mouvement est amorcé pour que l'on remette tout à plat. N'en doutons pas, la généralisation des habitats autonomes porte en germe une démocratie authentique, où chacun, par la maîtrise de ses charges et sa production électrique, non seulement redevient souverain chez lui, mais peut s'incarner en un acteur économique.

Pierre-Gilles Bellin,
président de l'association Arca Minore



Chauffer, rafraîchir, ventiler



Avoir chaud sans se chauffer, est-ce possible ? Cela le devient peu à peu. Nous pouvons tous déjà réduire de manière considérable nos dépenses de chauffage. Mais cela suppose de savoir, notamment, comment utiliser l'énergie du soleil : après tout si, par une belle journée d'hiver, votre salon atteint grâce à ses baies vitrées et leur exposition plein sud 27 °C, il serait fort dommage de ne pouvoir conserver ces calories et de se retrouver le matin (sans chauffage) à 7-8 °C dans la même pièce ! Idem avec un feu de bois : pourquoi ne pourriez-vous conserver ses calories ?

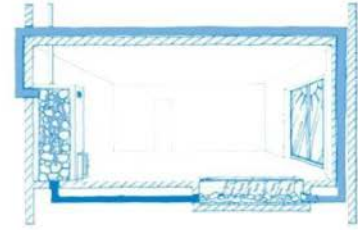
Pour cela, nous vous expliquerons tout d'abord comment implanter votre maison par rapport au soleil et aux vents froids, comment conserver les précieuses calories de la journée (voire de l'été !), puis comment isoler une maison ou un appartement déjà existants.

Ce n'est qu'après ces préalables que se pose la question des moyens de chauffage. C'est là toute la stratégie du concepteur d'une maison passive : anticiper pour avoir à chauffer le moins possible...

Une maison « passive » est une maison qui n'a nul besoin de chaudière, de feu ou de radiateur pour être chaude en hiver, ni de climatiseur pour être fraîche en été.

À l'inverse, la maison « active » est celle, coûteuse, que la chaleur fuit partout l'hiver, et où il faut sans cesse monter les radiateurs, tandis qu'elle devient invivable dès que le soleil donne.

Pour ce type d'habitat-là aussi nous vous donnerons des conseils utiles.



Chaud et froid : comment ça marche ?

La circulation de l'air chaud

Une maison perd par principe de la chaleur : par les fentes, à travers les murs, le toit et le sol. Pourquoi ? Parce que la chaleur se diffuse toujours des milieux chauds aux milieux plus froids. En hiver, l'intérieur est le plus chaud, donc la chaleur quitte la maison. En été, c'est l'extérieur de la maison qui est le plus chaud, donc la chaleur de dehors entre dans la maison.

Le mécanisme de la chaleur corporelle

Quand a-t-on chaud ou froid ?

J'ai chaud quand il fait chaud chez moi, diriez-vous, en pensant logiquement à la chaleur de l'air... Mais ne vous êtes-vous jamais trouvé dehors en montagne par un grand beau temps ? Alors que l'air est à 0 °C, le soleil vous chauffe doucement à travers votre anorak et votre pull, que vous êtes finalement obligé de retirer... Car ce sont les radiations du soleil qui chauffent le plus efficacement.

À l'inverse, ne vous-êtes-vous jamais senti gelé dans une pièce où un thermomètre indique 23 °C ? C'est qu'en fait les cloisons sont froides. Celles-ci aspirent avec « efficacité » la chaleur de votre corps. Pour lutter contre cela, vous pouvez vous asseoir contre un radiateur qui vous emplira peu à peu de chaleur par « induction » (ou simple contact d'un corps froid contre le métal chaud, qui rayonne sa chaleur en douces radiations).

Allez maintenant dans la salle de bains : quand vous entrez dans ce lieu plus petit et bien isolé au centre de la construction, l'unique radiateur a tellement chauffé les murs qu'ils sont à 25 °C. Dans ce lieu, non seulement l'air est chaud mais, plus important, les murs sont chauds et renvoient vers vous ce bienfait.

Pour donner une sensation de chaud, la chaleur qui irradie est 40 % plus efficace que la seule chaleur de l'air. Conclusion : pour se chauffer, la radiation vaut mieux que la convection.

L'effet de paroi froide... ou chaude



Dans cette pièce non chauffée, j'ai froid. Pourquoi ? Parce que les murs sont froids (7°C) et que l'air est froid (7°C).

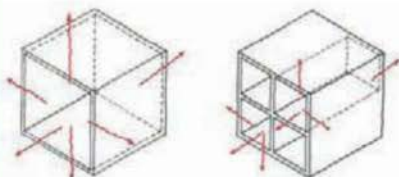


Dans cette pièce, j'ai chaud... alors que l'air est à 13°C . Pourquoi ? Parce que les murs sont à 23°C . Dans cette pièce, rien (ou fort peu) n'aspire la chaleur de votre corps.



Dans cette pièce, j'ai encore froid, alors qu'elle est chauffée et que le thermomètre indique 23°C . Pourquoi ? Parce que les murs sont froids. Un thermomètre placé contre eux indique 13°C . Quand vous passez devant, ils « pompent » votre chaleur, « boivent » le rayonnement thermique qui sort de votre corps : maintenant, vous « éprouvez » comment le chaud va toujours vers le froid.

Pourquoi avons-nous chaud en appartement ?



Le premier cube est une maison : elle perd sa chaleur par tous les côtés.

Si à présent ce cube est divisé en 4 appartements, les habitants de chaque appartement n'auront plus que 4 sections de surface exposées au lieu de 6. Ainsi, pour lutter efficacement contre l'effet de serre, il faudrait que nous habitions tous en ville dans d'immenses immeubles hauts de plusieurs kilomètres !

L'importance de l'humidité

En réalité, nous sommes faits pour vivre en forêt équatoriale, sans vêtement, à une température de 27°C et avec une humidité relative de 80 %. Souvenez-vous : à l'intérieur de votre mère, vous viviez dans un milieu liquide à 37°C !

Dans nos maisons, nous avons fixé notre idéal de température à 21°C . L'idéal d'humidité de l'air se situe aux alentours de 50 %. Cela ne signifie pas qu'il y a 50 % d'eau dans l'air que nous respirons, mais 50 % de vapeur d'eau. À 100 % d'humidité, l'air ne peut accepter plus d'humidité et l'eau excédentaire retombe en pluie (l'air est dit « saturé »)...

Plus il y a d'humidité dans l'air, plus vous vous refroidissez vite : la condensation de cette eau à votre contact ou via la respiration crée une déperdition calorifique importante. L'eau, pour s'évaporer, utilise en effet la chaleur disponible, dans une réaction dite de « sublimation ». C'est ainsi que la sueur vous refroidit et c'est pourquoi vous avez froid dans des vêtements mouillés. Il faut donc que, dans une maison, les surfaces isolantes ne soient pas mouillées, qu'il n'y ait pas de « condensation » entre les couches de matériaux. Vous aurez froid dans un air à 21°C et à 80 % d'humidité. La zone de bien-être va de 20 à 60 % d'humidité et 50 % sont l'idéal.

Mais quand l'air est trop sec, cela est mauvais pour le système respiratoire : les muqueuses, desséchées, sont plus perméables aux germes, ce qui entraîne rhumes et angines.

Le rôle des vêtements

Faites une expérience : si le centre de votre corps est à 37 °C, sous les vêtements la peau n'est déjà plus qu'à 30 °C. En dessous de cette température, vous commencez à avoir froid. Mettez à présent une première couche de vêtements, puis deux, puis trois, et mesurez la température à chaque intervalle : la température croît progressivement, jusqu'à atteindre les 30 °C de la peau.

Par quel miracle les vêtements conservent-ils la température ? Chaque couche de vêtements emprisonne en fait une couche d'air. C'est cet air qui isole du froid. Les torsades, les effilochements divers des fibres de laine, le duvet d'une doudoune retiennent d'immenses quantités d'air et c'est cela qui nous donne chaud !

Mais alors, comment perd-on sa chaleur corporelle ? Parce que la chaleur finit par percer toutes ces couches, notamment au niveau des plis du corps. Ces derniers pressent les couches les unes contre les autres, créant des zones presque continues de tissus, des sortes de « ponts thermiques » où il y a moins d'air. Sur ces ponts, les petites calories se pressent pour sortir vers le froid qui les attire tant.

Les murs qui nous refroidissent... ou laissent passer la canicule



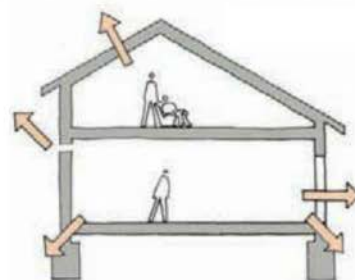
L'air froid du dehors est contre ce mur en béton. Il en sera de même de l'air chaud du dedans. C'est presque comme s'il n'y avait rien entre le dehors et le dedans. Le mur entier constitue un gigantesque pont thermique.



Les parpaings comportent des compartiments étanches qui emprisonnent de l'air. Pour le froid, la partie est un peu plus difficile : il faut qu'il refroidisse d'abord la face externe du parpaing (c'est vite fait), puis l'air du 1^{er} compartiment, puis la cloison interne, puis l'air du 2^e compartiment, puis la dernière cloison... Même processus en cas de canicule : dans ce cas, c'est comme si l'air de dehors buvait la fraîcheur de la maison, avec des pailles qui seraient les parpaings.

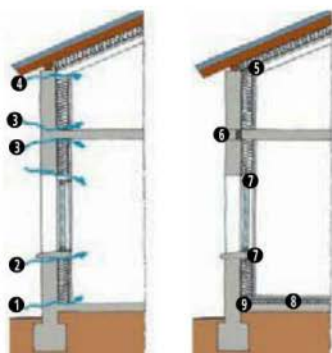
Sur ce parpaing creux, les ponts thermiques sont là où la matière du béton met directement en contact le dedans avec le dehors. Ils suivent les chemins indiqués par les flèches.

Fuites de chaleur, fuites de fraîcheur



Une maison standard perd 30 % de sa chaleur par le toit, 16 % par les murs, 16 % par le sol, 13 % par les portes et fenêtres, 5 % par les ponts thermiques et 20 % par le renouvellement d'air. L'été, la situation est inversée, c'est par là qu'entrent les chaleurs caniculaires.

Les nombreux ponts thermiques chez nous



Les ponts thermiques (figure de gauche) : la dalle de plancher et le mur ont été coulés d'un bloc (1) ; la fenêtre (2) est formée d'un bloc de béton juxtaposé directement au mur ; au-dessus, le plancher en béton et le mur ont encore été coulés d'un bloc (3) ; enfin, à la jonction du mur et du toit, le constructeur a fait une dernière erreur en rompant l'isolation du mur et celle du toit (4).

Erreurs reprises après moult travaux (figure de droite) : l'isolation toit-mur est devenue continue (5) ; la dalle du premier étage est devenue discontinue (6) ; si l'on continue à descendre, l'isolation englobe à présent toute la fenêtre (7) ; on dispose maintenant d'un plancher avec, disposée sur la dalle de béton, une isolation (8) au-dessus de laquelle se trouve la chape ; notez que cette chape ne vient pas contre le mur, mais est séparée de lui et, en plus, isolée (9).

(Source : doc. Leroy Merlin.)

Face au soleil ou non ?

Quand vous avez froid, vous mettez-vous face au soleil ou face au nord ? Face au soleil, bien sûr. Une maison doit elle aussi se tourner vers le sud et faire le gros dos au froid qui vient du nord.

Et le vent ?

Par grand vent, on a froid, même quand le soleil brille : la raison en est que les molécules d'air plus froides se pressent en nombre contre la surface relativement plus chaude de votre corps ou de la maison, accélérant la dissipation de chaleur.

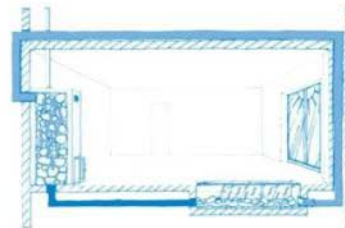
Les ponts thermiques

Imaginons que vous décidiez de créer sur vous le pire des ponts thermiques : le pont thermique en métal, car c'est le métal qui conduit le mieux le froid (et la chaleur). Vous prenez une plaque métallique en « T », vous appliquez la base inférieure du T contre la peau de votre ventre, et vous faites sortir la base supérieure à travers les pulls et la doudoune au froid d'une glaciale journée d'hiver. Vous allez très vite avoir froid. Que s'est-il passé ? Le froid a circulé dans le métal comme s'il était de l'électricité. Vous comprenez maintenant physiquement ce qu'est un pont thermique !

Dans la maison, les ponts thermiques correspondent aux endroits où il n'y a qu'une couche de matériau (quel qu'il soit) entre l'extérieur et l'intérieur. Pourquoi les personnes maigres se refroidissent-elles plus vite que les plus enveloppées ? L'auteur de ces lignes, un maigre, sait de quoi il parle. C'est en fait une question de couche graisseuse, de masse et de surface de contact.

La « surface de contact », c'est la surface de votre corps ou de votre maison qui est en contact avec l'extérieur : plus cette surface est réduite, mieux c'est.

Ensuite, pour la même surface de contact avec l'extérieur (point crucial), une masse importante perdra plus lentement la chaleur qu'elle a emmagasinée. C'est logique, puisqu'elle emprisonne plus de chaleur. De ce point de vue, la sphère est la figure géométrique idéale, qui emprisonne le plus grand volume pour une surface de contact minimale. Conclusion : tendez vers la sphère, vous aurez moins froid !



CHAPITRE 2 L'isolation

Si les notions ici développées vous paraissent par trop techniques, vous pourrez y revenir plus tard (nous y renvoyons régulièrement au fil des chapitres suivants) et pouvez passer directement au chapitre consacré à la maison passive, page 35).

Un peu de physique

Si ma pièce de 20 m^3 ($4 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) est à 20°C , que l'extérieur est à 0°C , en combien de temps va-t-elle se refroidir si je ne chauffe pas ?

Tout dépend du ou des matériaux qui entourent votre pièce, de leur capacité à garder leur chaleur – soit de leur résistance thermique, dite « R » –, ou encore du temps qu'ils mettent à conduire la chaleur hors de la pièce – c'est la « transmission thermique », appelée « U ». Rappelons que la chaleur s'échappe à travers vos murs par rayonnement, conduction et convection (voir pages 15-16).

Le confort thermique dépend aussi de l'hygrométrie, soit de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère de votre habitat, dans ses murs et dans ses sols, et de la présence d'éventuelles condensations.

La conductivité thermique, ou coefficient lambda

Un matériau laisse filtrer la chaleur parce qu'il est conducteur : par exemple, un bloc de béton laisse les watts passer sans obstacles, tandis que la laine de roche emprisonne tellement de couches d'air qu'elle les retient.

Cette conduction est exprimée par le coefficient lambda « λ » : plus lambda est grand, plus le matériau est conducteur.

Lambda correspond au flux de chaleur qui traverse en 1 h 1 m^2 d'une paroi de 1 m d'épaisseur constituée d'une matière homogène. Chaque matière a son λ . Pour l'acier, par exemple, $\lambda = 50 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C}$; pour la mousse de polyuréthane, $\lambda = 0,035 \text{ W/m} \times ^\circ\text{C}$...

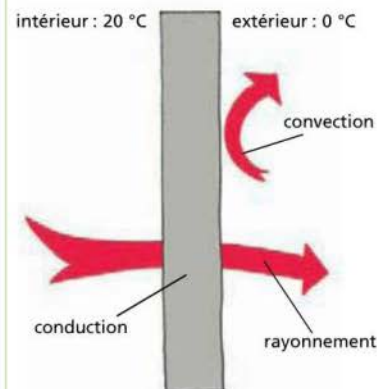
La transmission thermique

Le coefficient de transmission thermique « U » mesure le transfert de chaleur à travers un mètre carré de paroi lorsque la température de l'air extérieure présente 1°C de différence avec la température de la pièce.

U = nombre de watts s'échappant par mètre carré de surface et par degré Celsius de différence entre l'intérieur et l'extérieur.

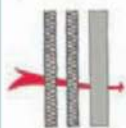
$U = \text{W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$

Fuite de chaleur (ou de fraîcheur)



Ma pièce est à 20°C , l'extérieur est à 0°C . La chaleur passe à travers le mur, se transmet à l'extérieur par rayonnement, convection et conduction.

Résistance thermique



La résistance thermique R mesure combien un matériau « résiste » à la perte de chaleur. Plus R est élevée, mieux c'est : 0, elle est nulle ; ∞ , c'est le meilleur des isolants. Sur ce schéma, la juxtaposition des matériaux isolants affaiblit progressivement la flèche rouge : au total, la chaleur qui sort est très faible.

La résistance thermique

Un matériau isolant doit donc posséder une bonne résistance thermique, appelée « R » ; elle s'exprime en mètres carrés par degré et par watt.

R = les mètres carrés que multiplie la différence en degrés Celsius entre l'intérieur et l'extérieur, le tout divisé par le nombre de watts. $R = m^2 \times ^\circ C / W$

En résumé

La transmission thermique U est l'inverse de la résistance thermique R : $U = 1/R$

La résistance thermique R est l'inverse de la transmission thermique U : $R = 1/U$

La résistance thermique R , c'est aussi l'épaisseur du matériau divisée par le coefficient λ : $R = \epsilon p / \lambda$.

Formule des ponts thermiques

Quant aux ponts thermiques, vous les trouverez notés par le symbole « ψ ». Plus ψ est petit, mieux c'est. Dans le cas d'une maison déjà existante, vous pouvez tenter de répertorier le nombre de ponts thermiques (ce qui n'est pas évident) : si vous en trouvez par exemple 10, tâchez de calculer leur longueur en mètres linéaires et considérez qu'à ces endroits R est égale à 0.

La réflexion thermique

Qu'est-ce que la réflexion ? C'est le fait pour un rayonnement de rebondir sur une surface. Sur les combinaisons isolantes et métallisées des pompiers, par exemple, le rayonnement des flammes rebondit, selon les angles de la tenue, vers les murs environnants.

Les isolants minces multicouches possèdent des feuilles d'aluminium qui sont « thermo-réfléchissantes ». Nous nous en sommes servis dans un appartement bioclimatique pour isoler des combles : entre le bas (pièce très isolée, avec juste un mur donnant sur l'extérieur et comportant briques et moellons calcaires + ciment et plâtre de 30 cm de large + frissette en bois et isolant) et le haut (sous-toiture), on ne constate que 1 à 1,5 °C de différence, en plus l'été, en moins l'hiver.



Isolant à surface réfléchissante placé sous un bardage de bois. Attention à placer des tasseaux devant (sur lesquels on posera le bardage) et derrière (sur lesquels on agrafera les films) pour qu'une lame d'air ventile l'isolant devant et derrière et empêche les condensations. Préprototype Arca Minore.

L'isolation des murs

Chaque matériau, selon sa masse, selon sa densité, selon surtout le nombre de couches d'air qu'il emprisonne (rappelons-nous l'image de la doudoune en duvet), protège plus ou moins du froid, voire du chaud – pour certains d'entre eux. Les fenêtres également empêchent la chaleur de repartir, quoique dans une (très) moindre mesure, comme hélas nous le verrons.

Avant de continuer la lecture, il vous faut donc savoir si vos murs vous protègent bien,

Les unités couramment employées

La **calorie** (cal) représente la chaleur nécessaire pour élever un gramme d'eau de 14,5 °C à 15,5 °C au niveau de la mer (mesure pertinente, puisque nous sommes composés à 70 % d'eau).

Aujourd'hui, l'unité officielle est le joule (J), qui vaut 0,239 cal. Le joule est l'unité d'énergie et de quantité de chaleur correspondant au travail produit par une force de 1 Newton (force qui communique à une masse de 1 kg une accélération de 1 m/s²) dont le point d'application se déplace de 1 m dans la direction de la force.

Le **Watt** (W), que nous allons retrouver partout (on vous vend un poêle de 2 000 W – ou 2 kW –, une chaudière-bois de 4 000 W – 4 kW –, etc.) est l'unité élémentaire de puissance : 1 W, c'est 1 J pendant 1 s. Une calorie vaut 4,184 J, soit 4,184 W... Le watt-heure (Wh) est l'énergie fournie en une heure par une puissance de 1 W... Le watt-heure vaut donc... 3 600 J.

ou vous protégeront bien si vous souhaitez faire construire. Voici à présent de quoi nouer un dialogue constructif avec les architectes, les artisans et les vendeurs de matériaux.

Dans les tableaux ci-dessous, quand nous disons que tel matériau a un coefficient de transmission thermique U de 0,42 W, il faut comprendre : « 1 m² de la surface de mur (ou de toit) construite dans ce matériau perd 0,42 Wh (0,42 watt en 1 heure) dès que la température extérieure est inférieure de 1 °C à la température intérieure de la maison. » À titre de comparaison, une ampoule basse énergie consomme 15 Wh.

Les épaisseurs indiquées dans les tableaux ne sont pas des standards, mais vous permettent de calculer ce qui se passe chez vous par une simple règle de trois.

Isolants chimiques, minéraux et à granulats				
Matériaux	Caractéristiques	Prix au m ²	Coefficient λ (W/ép. x m ² x °C) et/ou Coefficient U (W/m ² x °C)	Coefficient R (m ² x °C/W) selon l'ép.
Laine de verre (basalte tissé en fibres)	Rouleaux à dérouler sur le sol d'un grenier	3 €	$\lambda = 0,038$	80 mm : 2,1 100 mm : 2,6 200 mm : 5,3 240 mm : 6,3
Laine de roche (roches volcaniques ou autres tissées en fibres)	Rouleaux à dérouler sur le sol d'un grenier	3 €	$\lambda = 0,040$ U = 0,4 (pour 100 mm d'ép.)	80 mm : 2 100 mm : 2,5 200 mm : 5
Laine de verre (basalte tissé en fibres)	Rouleaux àagrafer aux chevrons sous une toiture	3 €	$\lambda = 0,038$ U = 0,54 (pour 70 mm d'ép.)	70 mm : 1,84
Laine de roche (roches volcaniques ou autres tissées en fibres)	Rouleaux àagrafer aux chevrons sous une toiture	3 €	$\lambda = 0,040$ U = 0,57 (pour 70 mm d'ép.)	60 mm : 1,5 70 mm : 1,75
Polystyrène expansé (à base de molécules chimiques provenant du pétrole agglomérées et contenant beaucoup d'air)	Panneaux à poser contre les murs	3 €	$\lambda = 0,045$ U = 0,23 (pour 200 mm d'ép.)	30 mm : 0,67 40 mm : 0,89 50 mm : 1,1 70 mm : 1,56 80 mm : 1,78 100 mm : 2,2 200 mm : 4,44
Panneau de plâtre avec doublage en polystyrène expansé (polystyrène doublé d'une plaque de plâtre de 10 mm d'ép.)	Panneaux à poser contre les murs	5 €	$\lambda =$ environ 0,035 U = 0,35 (pour 100 mm d'ép.)	20 mm : 0,57 40 mm : 1,14 60 mm : 1,71 80 mm : 2,29 100 mm : 2,86
Polystyrène extrudé (à base de molécules chimiques provenant du pétrole agglomérées et compressées)	Panneaux à poser contre les murs		$\lambda = 0,033$ U = 1,1 (pour 30 mm d'ép.)	30 mm : 0,91 40 mm : 1,21 50 mm : 1,52 60 mm : 1,82

Pour simplifier...

- La conductivité thermique, ou coefficient lambda, d'un matériau isolant doit être de 0,065 au minimum ;
- Une isolation doit avoir une résistance thermique R au moins égale à 0,50.

Plus R est grand, mieux c'est : un R de 5 ou 6, c'est très bien.

Exemple d'un mur dont le R est de 5 : comme $U = 1/R$, $U = 1/5 = 0,2$. Cela signifie que ce mur perd 0,2 W par mètre carré et par différence de température (T exprimée en °C) entre l'intérieur et l'extérieur. Pour connaître cette différence, calculez : $T^{\circ} \text{ ext.} - T^{\circ} \text{ int.}$, soit (par exemple) : $20^{\circ} \text{C} - 11^{\circ} \text{C} = 9^{\circ} \text{C}$. À présent, pour connaître la déperdition totale pendant une nuit de 8 h, calculez le nombre total de m^2 de votre mur (par exemple, 12 m^2), appliquez la formule : $0,2 \text{ W} \times 9^{\circ} \text{C} \times 12 \text{ m}^2 \times 8 \text{ h} = 172,8 \text{ W}$.

Votre mur a donc perdu 172,8 W en une nuit (non intégrés les phénomènes de convection qui amèneraient le mur à perdre seulement 164,16 W en une nuit). Attention, ces calculs sont faits hors ponts thermiques et négligent les fuites d'air (par exemple sous les portes).

Les isolants minces

Nous vous donnons ci-dessous les caractéristiques techniques de deux isolants minces de la société Actis avec, surprise, l'absence de coefficient U et de coefficient R, mais une « équivalence » avec la laine de verre.

En effet, les constructeurs ne peuvent plus donner légalement de « R » car celui-ci a été fortement dévalué par une étude officielle.

Financée par l'Ademe dans le cadre du Prebat (Programme de recherche sur l'énergie dans le bâtiment), une étude du CSTB réalisée spécialement avec le Centre énergétique et procédés de l'École des Mines a en effet montré que, « en période froide, et dans les conditions les plus favorables, la résistance thermique maximale d'un produit mince réfléchissant courant de 2 cm d'épaisseur avec deux lames d'air adjacentes ne peut pas dépasser $2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ». Un arrêté de mise en œuvre a enfoncé le clou. S'il est regrettable qu'en France la législation impose les moyens et non pas, comme souvent ailleurs, seulement le but à atteindre, il nous paraît que ces études menées dans des boîtes simplement isolées de l'intérieur et chauffées électriquement n'intègrent pas les paramètres réfléchissants des isolants minces.

C'est en effet tout à fait autrement que nous préconisons de les employer. Comme vous le verrez plus loin, nous nous débrouillons pour les positionner de manière qu'ils renvoient la chaleur dans des masses thermiques judicieusement placées, dans une espèce de ping-pong radiatif.

Nous sommes ébahis de lire qu'ils n'auraient pas plus de qualités pour faire rebondir, en utilisation sous comble, le rayonnement solaire. En effet, d'après notre expérience pratique, si les capacités de ces isolants étaient 5 à 20 fois inférieures à la laine de verre, les combles du duplex que nous avons transformé en région parisienne (voir page 80) n'auraient pas une température de seulement +/- $1,5^{\circ} \text{C}$ par rapport à la pièce parfaitement isolée qui nous sert de maître étalon dans ce même lieu.

C'est pourquoi nous continuons d'employer ce produit, mais à la condition qu'il soit ventilé de dedans et de derrière avec une lame d'air conséquente (au moins 2 cm de chaque côté, ce qui est possible en le tendant sur des tasseaux). Quelques précisions sur les tableaux suivants : seules les caractéristiques des isolants naturels (laine, chanvre) sont ici présentées. La mise en place d'isolants tels que la laine de roche ou de verre en flocons, par exemple, soulève trop de poussière et le devenir de ceux-ci dans les poumons commence à inquiéter certains membres du corps médical. De manière générale, toutes les laines de roche ou de verre doivent être posées, en intérieur ou en extérieur, avec un masque respiratoire muni de cartouches filtrantes (en vente dans les grandes surfaces de bricolage).

Isolants minces

(rouleaux à dérouler et àagrafer contre les murs ou sous un toit)

Matériaux	Caractéristiques	Prix au m^2	Performances (selon le constructeur)
Triso-super 9 max	2 films réflecteurs externes, 2 ouates, 6 mousses, 4 films réflecteurs intermédiaires	5 €	Équivalent à 224 mm de laine minérale
Triso-protect	2 films matelassés extérieurs, 2 ouates, 6 mousses, 4 films réflecteurs intermédiaires	4 €	Équivalent à 200 mm de laine minérale

Capacités isolantes de divers matériaux

Matériaux	Épaisseur (cm)	Coefficient λ (W/ép. x m ² x °C) et/ou coefficient U (W/m ² x °C)	Coefficient R (m ² x °C/W)
Parpaing alvéolé	20 avec 3 filets d'air emprisonnés	$\lambda = 1,4$	0,14
Mur en béton	20	$\lambda = 1,8$ $U = 9$	0,11
Granite	20 50	$\lambda = 3,5$	0,07 0,13
Pierre calcaire ferme	20	$\lambda = 1,17$	0,17
tendre	30	$\lambda = 1,07$	0,28
Mur en briques pleines	13 24,5 36,5	$\lambda = \text{de } 0,34 \text{ à } 0,73$	0,38 0,41 0,5
Mur en briques alvéolaires à double paroi	20 26,5 36	$\lambda = \text{de } 0,37 \text{ à } 0,43$	0,43 0,67 0,83
Mur en briques à vides multiples	27,5 avec 13 filets d'air emprisonnés	$U = 0,84$	1,19
Brique Monomur	30	$U = 0,34$	2,94
Mur en terre crue (adobe)	20 43	$\lambda = 1,43$ $U = 3,5$	0,14 0,29
Mur en torchis	12 20	$\lambda = 1,33$ $U = 12$ $\lambda = 0,67$ $U = 3,3$	0,09 0,30
Bloc de terre comprimée	20 50	$\lambda = 1,05$ $U = 5,25$ $\lambda = 1,67$ $U = 3,3$	0,19 0,30
Mur en béton cellulaire avec enduit 10 mm sur chacune des faces	10	$\lambda = \text{de } 0,12 \text{ à } 0,33$	0,83
Laine de lin (rouleaux ou plaques à dérouler ou à fixer contre les murs)	5 20	$\lambda = 0,047$ $U = 0,23$	1,25 4,25

Matériaux	Épaisseur (cm)	Coefficient λ (W/ép. x m ² x °C) et/ou coefficient U (W/m ² x °C)	Coefficient R (m ² x °C/W)
Laine de mouton (rouleaux ou plaques à dérouler ou à fixer contre les murs)	10	$\lambda = 0,035$	2,86
	20	$U = 0,2$	5,7
Panneau de laine de chanvre Florapan	10	$\lambda = 0,048$	2,09
	20	$U = 0,4$	4,17
Tuiles ou feutre bitumé	1	$U = 20$	0,05
Lame d'air intérieure	0,1	$U = 7,7$	0,13
Plaque de plâtre dite BA 13	1,3	$\lambda = 0,35$ $U = 33,3$	0,04
Chêne	20	$\lambda = 0,23$	1,67
Bois	2,5	$\lambda = 0,12$ $U = 4$	0,21
Pin	20	$\lambda = 0,15$	1,33
Sapin	5	$\lambda = 0,12$	0,42
Panneau de contreplaqué	2,5	$\lambda = 0,12$	0,21
Cellulose	10	$\lambda = 0,04$ $U = 0,4$	2,5
Fibres de bois	10	$U = 0,4$	2,5
Mur en paille (porteur ou en remplissage dans une ossature bois)	50	$\lambda = 0,12$	4,17
	10		0,83
Terre	20	$\lambda = 0,52$	0,38
	100		1,92
	200		3,85
Fer		$\lambda = 72$	
Zinc		$\lambda = 1,12$	
Verre	0,5	$\lambda = 1,15$	0,004
Verre cellulaire		$\lambda = 0,5-0,63$	
Eau	20	$\lambda = 0,6$	0,33

Les vitrages

« *My favourite topic is the window* » (« mon sujet favori est la fenêtre »), aime à rappeler Robert Hasting, l'un des pionniers de l'habitat bioclimatique (on oublie souvent que les États-Unis sont à la pointe dans ce domaine). Les ouvertures de la maison passive sont en effet à la fois indispensables et « fatales » : indispensables pour la captation de la chaleur, au sud ; fatales, car c'est par elles que ressort la chaleur la nuit. À ce jour, les baies à double, voire triple vitrage, ont encore un coefficient d'isolation très bas : au mieux, leur R est de 0,6, quand le R de murs super isolés peut atteindre 6 ! Néanmoins, les performances des constructeurs s'améliorent continûment : dans 20 ans, une baie vitrée sera peut-être aussi isolante que le meilleur de nos murs.

Ce progrès a un prix : pour notre prototype de haute Bretagne, 1 500 € pose comprise pour une baie coulissante de 4 m² environ. Si nous avions mis des baies isolantes partout là où il aurait fallu le faire, la facture aurait atteint près de 8 000 €, soit presque le quart du prix de la maison !

En outre, qu'en est-il de leur vieillissement, au-delà de la garantie décennale ? À notre sens, il faut les changer tous les 15-20 ans car il se produit, au niveau des joints, des microfissurations qui laissent s'échapper le gaz isolant (de l'argon) qu'elles contiennent généralement.

Point-économie

Quelles que soient leurs performances thermiques, les fenêtres sont pour l'instant les lieux privilégiés de la fuite ou de l'entrée de la chaleur. Songez que la fenêtre la mieux isolée perd 1,4 W/m² par heure et le mur le mieux isolé 0,2 W/m², soit un rapport de 1 à 7. Néanmoins, l'investissement dans une fenêtre isolée reste incontournable.

Des rideaux isolants sont donc absolument nécessaires pour vous permettre de réelles économies à l'investissement et à la consommation (voir page 96).

Fenêtres à simple et double vitrage



Le simple vitrage de cette fenêtre met presque directement en contact le froid de l'extérieur et le chaud de l'intérieur. Dans ce cas, la fenêtre devient un immense pont thermique.



Dans un double vitrage, en général, 2 vitres de 4 mm d'épaisseur chacune entourent un vide rempli de gaz argon, qui est un excellent isolant.

Coupe d'une fenêtre (constructeur K par K)



Sur cette coupe de fenêtre dont le cadre est en PVC, le froid est arrêté par le noyau en PVC disposé dans le montage et contre lequel viennent s'appuyer les 2 profils en aluminium, créant plusieurs chambres d'isolation (application du principe des couches d'air). Le double vitrage de cette fenêtre emprisonne un gaz non conducteur du froid (l'argon) entre le froid de l'extérieur et le chaud de l'intérieur. Dans ce cas, la fenêtre devient isolante. (Photo société K par K.)

Pour notre part, nous aurions donc tendance à préconiser des procédés simples et économes : par exemple un simple vitrage auquel on associe des rideaux isolants.

Les livings modernes, largement ouverts sur le dehors, laissent repartir très vite la chaleur. L'idéal est de les diviser en deux dans le sens de la longueur, la partie contre la baie vitrée formant un espace « serre » et ne mesurant pas plus de 2 m de largeur ; rempli de plantes, il peut être séparé du reste de la pièce par de nouvelles baies à simple vitrage, que viennent protéger la nuit venue des rideaux isolants. Autre possibilité : utiliser les balcons en les isolant par des vérandas.

Dans le tableau ci-dessous, vous noterez qu'une mention spéciale est réservée à « l'impression de paroi froide » (voir page 16). Dans le cas d'une vitre peu isolante, en passant en tee-shirt devant elle un jour d'hiver, on peut sentir ses bras refroidir nettement.

Quant au « Th », cette mention énigmatique qui accompagne souvent les documents techniques relatifs aux fenêtres, plus il est élevé, plus les fenêtres sont isolantes : il va de 1 à 11, voire 14 (très rare).

Enfin, ce que les vendeurs de fenêtres isolantes appellent « UG » ou « UW » est tout simplement ce que nous appelons « U ». « UG » concerne la fenêtre, « UW » le vitrage seul.

Performances comparées de fenêtres à simple, double et triple vitrage

Type de vitrage	Isolation contre le froid	Impression de paroi froide	Performances comparées
Simple vitrage	$U = \text{de } 5,7 \text{ à } 4,95 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ $R = 0,17$	2 m	Base de 100
Double vitrage « classique »	$U = 3 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ $R = 0,33$	1,5 m	194*
Double vitrage haute performance (vide d'air de 12 mm, couche d'étain sur l'une des faces du verre chargée de réfléchir la chaleur venant de l'intérieur de la maison)	$U = 1,9 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ $R = 0,52 \text{ au pire}$	1,3 m	305
Double vitrage (24 mm)	$U = \text{entre } 1,6 \text{ et } 1,8 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ (Th 9) $R \text{ variant de } 0,5 \text{ à } 0,6$	1 m	Environ 300
Vitrage antivandalisme	$U = 1,4 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$	58 cm	411
Double vitrage à isolation renforcée (un filtre en face intérieure stoppant le rayonnement de la pièce vers l'extérieur)			
– fenêtre 24 mm	$- U = 1,2 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ $R = 0,8$	– 57 cm	– 470
– fenêtre 28 mm	$- U = 1,1 \text{ W/m}^2 \times 2^\circ\text{C}$ $R = 0$	– 60 cm	– 529
Triple vitrage (exemple d'une réalisation passive en Allemagne)	$U = 0,6 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ $R = 1,6$	30 cm	941
Vitrage simple avec rideau isolant (tiré la nuit en hiver), prototype Arca Minore	$U = 0,17 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ $R = 5,88$	0 cm	3 423

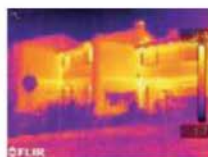
* Autrement dit, ces fenêtres sont 94 % plus isolées qu'un simple vitrage.

Un habitat étanche... à l'air

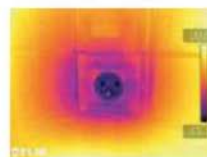
Les ouvertures, comme les fenêtres, sont donc un lieu privilégié par lequel fuit la chaleur de l'habitat. De même, on peut poser deux rangs parfaits de briques Monomur, mais si le froid entre par les joints, cela en réduit les performances... C'est pareil pour le béton cellulaire. Un habitat passif doit donc faire l'objet d'une mise en œuvre parfaite.

Pour visualiser les fuites thermiques, on pourra utiliser la thermographie infrarouge.

Les fuites : les visualiser pour mieux les comprendre...



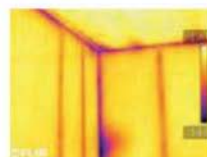
L'échelle thermographique, à droite de l'image, donne le code couleur de celle-ci : ce qui est bleu est à 1,7 °C, ce qui est blanc est à 9,4 °C. Conclusion : les murs de cet immeuble sont, par endroits, à près de 10 °C. Ils représentent une fuite thermique majeure. (Photos Cabinet de diagnostics et de contrôles immobiliers.)



Par cette prise électrique l'air de l'extérieur entre dans la maison, comme le souligne la couleur bleue de l'air froid qui fait irruption.



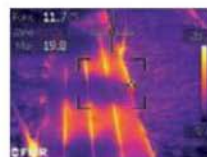
Ce pignon de maison est particulièrement intéressant : ici, la graduation va de 1,8 °C à 12,1 °C. Plus c'est sombre, c'est-à-dire vers le rouge et le bleu, mieux c'est isolé ; on voit que c'est très très loin d'être le cas ici, et qu'il y a des traits blancs aux endroits où les dalles d'étage et les murs intérieurs rejoignent le pignon. Ces traits blancs correspondent à des ponts thermiques presque « purs » (voir page 18), c'est-à-dire qu'à cet endroit le béton non coupé par un isolant conduit toute la chaleur de la maison vers le dehors.



Dans cette maison traditionnelle, l'isolation a été faite de l'intérieur. On a certainement posé de la laine de verre derrière des cloisons en carreaux de plâtre montées sur des rails métalliques, mais cela a été si mal fait que les rails conduisent généreusement le froid à l'intérieur.



Voici à présent 2 portes : le froid pénètre à l'intérieur de cet habitat par tous les côtés des portes, souligné par un trait bleu à cet endroit. Cela correspond vraisemblablement à des fuites d'air.



Dans ces combles, on a bien disposé des laines minérales partout, sauf sur 4 rames de plafond... par où toute la chaleur accumulée est en train de se perdre, comme le montrent les traits jaune vif, qui sont à plus de 20 °C.

Un appareil coûteux (plusieurs milliers d'euros à l'heure actuelle) vous permet d'imprimer l'image thermique d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment. Plus un corps émet de chaleur, plus il jaunit, rougeoit. Plus il est froid, moins il émettra de rayonnement, plus il apparaîtra dans des tons sombres, bleus.

Par exemple, une paroi en béton sans isolation apparaîtra bleue vue de l'intérieur un jour d'hiver, indiquant que le froid rentre ; de l'extérieur, elle apparaîtra dans des tons rougeoyants, signalant qu'à cet endroit de la chaleur est en train de s'échapper.

Ces tests, au-delà de la qualité de l'isolation, mettent en évidence un point essentiel : l'étanchéité à l'air des habitats. Celle-ci est en effet si fondamentale que, pour obtenir la délivrance du label allemand PassivHaus, les habitats doivent être étanches à l'air. Pour cela, on les met en sous-pression au moyen d'un ventilateur (après avoir colmaté les sources d'entrée d'air extérieur admises – prises d'air de la ventilation et des fenêtres) et on calcule le temps mis par la maison pour revenir à la pression normale ; une projection de fumée sous pression (en fait de la vapeur d'eau diffusée au moyen d'une bombe) est ensuite faite aux fuites supposées, pour recenser celles-ci : on appelle cela les tests d'infiltrométrie.

Cas pratique n° 1

Calculer la résistance thermique d'une paroi

Pour calculer la résistance thermique globale d'une paroi, additionnez toutes les résistances thermiques. Nous prendrons pour exemple la paroi nord-ouest – la plus exposée au froid –, de notre préprototype de haute Bretagne. Celle-ci comprend :

- une première couche de 12 cm de torchis avec son enduit terre, avec $R = 0,09$;
- 3 cm de polystyrène extrudé, avec $R = 0,9$ seulement ;
- un panneau de plâtre de 1,3 cm, avec $R = 0,03$;
- un carrelage et sa colle, avec $R = 0,05$.

La résistance thermique globale est donc de : $0,09 + 0,9 + 0,03 + 0,05 = 1,07$.

Comme $R = 1/U$, il fuit ici environ 1 W/m^2 et par degré Celsius de différence entre l'intérieur et l'extérieur. La paroi nord-ouest de notre prototype est donc l'exemple type de ce qu'il ne faut pas faire en matière d'isolation, même si le résultat final est harmonieux !

Isoler cette maison par l'intérieur, en ajoutant par exemple une couche de laine de verre et des panneaux en plâtre, rendrait inutilisables les rangements, cacherait cette céramique immaculée, et mangerait un espace qui devient partout de plus en plus précieux (ici, $0,2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, soit $0,6 \text{ m}^2$...).

La conclusion s'impose : si l'on veut accroître l'isolation, on doublera le mur extérieur.

La solution consiste à doubler les colombages de pièces de bois parallèles, puis à agraffer dessus un isolant mince (voir page 18), et à poser sur le tout un bardage bois, puis à remettre du torchis pour conserver l'état initial.



Soyons précis

Le calcul ci-contre ne prend pas en compte les phénomènes de convection intérieure (h_i) et extérieure (h_e). Le R global intègre en réalité le R que nous avons calculé + le coefficient d'échange intérieur R_{si} ($1/h_i$) + le coefficient d'échange extérieur R_{se} ($1/h_e$), soit $R : \Sigma r_i + R_{si} + R_{se}$. Nous devons poser : $1/h_i + 1/h_e = 0,17$ pour obtenir un R final de 1,24.

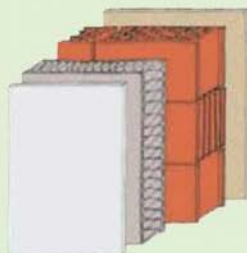
Point-économie

Si je veux accroître l'isolation d'une paroi, je le fais par l'extérieur, et non par l'intérieur de la maison : plus simple et moins cher.



Préprototype Arca Minore – Façade nord-ouest
(en cours de travaux), vues intérieure et extérieure.

Résistance thermique d'un mur classique de maison de lotissement



Cette paroi comprend 4 couches : un enduit extérieur (pour mémoire, car cela ne change rien à l'isolation du mur) ; des briques de 25 cm de largeur, dont on voit ici les alvéoles ; un doublage intérieur du mur de 20 cm de laine de roche ; des plaques de plâtre montées sur rail, lesquelles donnent leur blancheur immaculée et leur lissé aux murs de vos pièces.

R des briques = 1,19 ;

R des 20 cm de laine de roche = 4,75 ;

R des plaques de plâtre = 0,03.

Le R global de ce mur est donc de :

$1,19 + 4,75 + 0,03 = 5,97$.

Et, en ajoutant les coefficients d'échange $1/h_i + 1/h_e = 0,7$, nous obtenons 6,14.

Ce qui est très bien... mais le grand défaut, c'est que la masse de la maison ne participe pas à l'inertie thermique. Bref, cette maison est anti-passive.

R conseillé par la réglementation thermique 2005

Isolation murs	
Valeur générale conseillée	$R = 3,15$
Isolation sols	
Valeur générale conseillée	$R \geq 2,25$
Isolation toitures et combles	
Valeur général conseillée	$R > 6$

Note : l'étiquette énergie des logements (chauffage, eau chaude sanitaire, refroidissement) va de 50 kWh par m² et par an (objectif de la future réglementation thermique 2012) à 151 et 330 kWh par m² et par an, pour la réglementation thermique 2005.

Ces chiffres sont des moyennes portes et fenêtres comprises... Donc la résistance thermique de vos murs calculée sans les ouvertures doit être à peu près de 5.

Il nous semble qu'une maison bien isolée, vraiment « passive », doit aller au-delà de ces chiffres. Sans surcoût, bien au contraire.

Cas concrets : quels isolants pour quelles performances ?

À l'occasion du salon Écobat 2009, le cabinet d'architecture Atelier-D a présenté, dans un cube en bottes de paille de 3,5 × 3,5 m structuré par une ossature bois reconstituée, une mini-exposition sur les maisons ultra-isolées. Ces maisons sont celles que nous prévoit la nouvelle réglementation thermique pour 2012 : des maisons « passives » (voir page 35 et suivantes).

À cette exposition, des panneaux montraient 5 « éco-box », sous forme d'écorchés détaillant la structure minimale d'une maison basse consommation, selon les matériaux : bois massif, bloc de chanvre, béton cellulaire, Monomur, paille.

Cette étude théorique, rendue possible par l'expertise pratique du cabinet et réalisée sur logiciels, présentait les performances énergétiques, l'éco-bilan, l'analyse de cycle de vie et le bilan carbone de chaque solution. La simulation énergétique que nous vous présentons ici, détaillée par 5 graphes, a été réalisée avec les données de base suivantes :

- seule source d'énergie annuelle continue : personne présente toute l'année de 22 h à 7 h (tout être produit de la chaleur) ;
- chauffage actif du 15 octobre au 25 mars dans un régime de température de 19 °C le jour et de 16 °C la nuit ;
- ventilation naturelle nocturne du 20 mai au 20 septembre renouvelant 10 fois le volume d'air par heure, afin de limiter les surchauffes d'été ;
- occultations sur baies (triples vitrages) : volet battant en bois sur la petite porte-fenêtre, volet sur la grande porte-fenêtre, qui se replie et forme une casquette de 1,10 m de largeur protégeant la fenêtre des rayons directs du soleil du 15 mai au 10 septembre.

Le but du cabinet : sensibiliser à la construction en basse consommation et faire comprendre, notamment, que plus la quantité de matière composant un habitat est importante, plus il est passif... Démonstration.

Une maison en bois massif

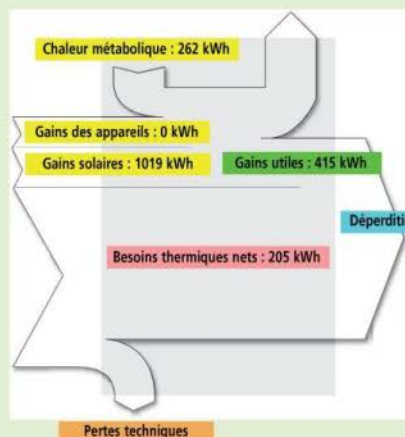
Cette première simulation a été pensée selon un concept allemand, le Massiv-Holz-Mauer, ou « MHM ». Seules une dizaine de constructions ont vu le jour en France, mais en Allemagne ce système est largement éprouvé.

On crée un bois massif constitué de planches verticales en épicea de 23 mm d'épaisseur, pressées et clouées en alternance verticalement et horizontalement pour plus de solidité. La dimension des panneaux ne peut dépasser 6 m de longueur par 3,25 m de hauteur. Les épaisseurs proposées en France sont de 18 ou 20 cm pour les murs porteurs, et de 16 cm pour les murs de refend (les cloisons intérieures).

Les avantages de ce procédé résident dans une préfabrication en atelier qui intègre le passage des gaines électriques, sanitaires, de plomberie. Les panneaux arrivent de l'usine allemande sur le chantier, prêts à poser, ce qui réduit le temps de montage de la structure à quelques jours.

De l'extérieur vers l'intérieur : un bardage en bois, des panneaux de laine de bois durs sur 6 cm, puis du bois massif « Pavatherm » sur 34 cm. La résistance thermique globale est de 5,19 m².k/W.





Ce diagramme montre les déperditions annuelles, en wattheures par mètre carré et par an, d'un bâtiment isolé avec 34 cm de bois massif : soit 620 kWh. Afin de compenser ces pertes de chaleur, il est nécessaire de produire une certaine quantité d'énergie thermique. Les « gains utiles » sont l'énergie gratuite qu'on récupère grâce aux sources de chaleur internes (la chaleur apportée par le corps, soit 262 kWh, les appareils électriques, etc.) et au soleil (1 019 kWh). Les gains utiles sont inférieurs à l'addition de l'énergie solaire et des sources d'énergie interne, car il est impossible d'emmagasiner par exemple toute la chaleur du soleil. Les besoins thermiques nets sont l'énergie qu'il faut ajouter pour combler le reste des déperditions, soit : déperditions (620) – gains utiles (415) = besoin thermique net (205 kWh/m²/an).

Simulation énergétique				
Besoin de chauffage	Puissance de chauffage	Température moyenne	Apports solaires bruts	Déperditions
24 kWh/m ² /an	345 W	19,76 °C	1 009 W	620 kWh/m ² /an

Une maison en blocs de chanvre

La société EasyChanvre, en Bretagne, a mis au point des blocs (30 × 30 × 60 cm) en béton de chanvre et de chaux pour la réalisation de dalles, murs porteurs, cloisons, planchers d'étage et d'isolation sous couverture. Matériau à isolation répartie, le bloc de chanvre ne nécessite aucun apport d'isolation complémentaire.

Le bloc de chanvre n'étant pas porteur, il doit être associé à une ossature bois. Mais ce système évite les ponts thermiques, car bois d'ossature et blocs présentent des caractéristiques thermiques similaires.



De l'extérieur vers l'intérieur : un enduit de chaux de 1,5 cm, 2 blocs de chanvre, l'un de 30 cm d'épaisseur, l'autre de 20 cm, et un enduit chaux de 1,5 cm. La résistance thermique est de 4,59 m².k/W.

Ce diagramme montre les déperditions annuelles, en wattheures par mètre carré et par an, d'un bâtiment isolé avec 50 cm de blocs de chanvre : soit 672 kWh. Les « gains utiles » sont récupérés grâce aux sources de chaleur internes (la chaleur apportée par le corps, soit 262 kWh, les appareils électriques, etc.) et au soleil (1 008 kWh). Les besoins thermiques nets sont donc : déperditions (672) – gains utiles (399) = besoin thermique net (273 kWh/m²/an).



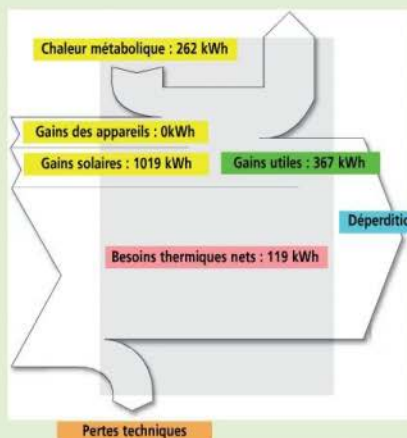
Simulation énergétique				
Besoin de chauffage	Puissance de chauffage	Température moyenne	Apports solaires bruts	Déperditions
32 kWh/m ² /an	358 W	19,45 °C	1 008 W	672 kWh/m ² /an

Une maison en béton cellulaire

Combinaison de matières premières naturelles (eau, sable, chaux) et de millions de bulles d'air, le béton cellulaire, ou « thermo-pierre », est à la fois une pierre (solide, dur, indéformable, imputrescible et ininflammable) et un isolant (grâce à l'air emprisonné dans les alvéoles).

Ce diagramme montre les déperditions annuelles, en wattheures par mètre carré et par an, d'un bâtiment isolé avec 50 cm de béton cellulaire : soit 590 kWh.

Les « gains utiles » sont récupérés grâce aux sources de chaleur internes (la chaleur apportée par le corps, soit 262 kWh, les appareils électriques, etc.) et au soleil (1 019 kWh). Les besoins thermiques nets sont donc : déperditions (590) – gains utiles (398) = besoin thermique net (192 kWh/m²/an).



Simulation énergétique

Besoin de chauffage	Puissance de chauffage	Température moyenne	Apports solaires bruts	Déperditions
23 kWh/m ² /an	333 W	19,98 °C	1 019 W	590 kWh/m ² /an



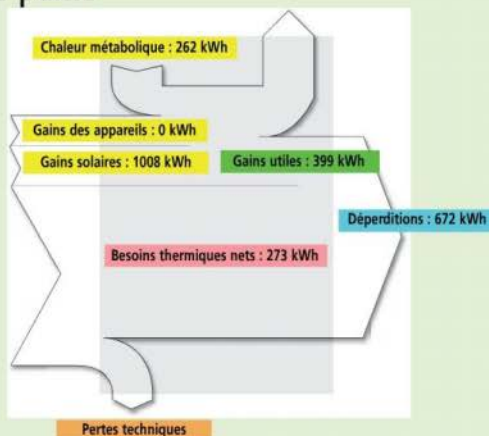
De l'extérieur vers l'intérieur : un enduit de 1,5 cm, un bloc d'une épaisseur de 50 cm et un enduit chaux de 1 cm (soit 52,5 cm), l'ensemble donnant une résistance thermique de 5,69 m².k/W.

Une maison en bottes de paille

Pour cette hypothèse, le choix a été fait de construire en ballots de paille de 50 × 38 × 85 cm, dans une ossature bois.

Ce diagramme montre les déperditions annuelles, en wattheures par mètre carré et par an, d'un bâtiment isolé avec 50 cm de ballots de paille : soit 486 kWh.

Les « gains utiles » sont récupérés grâce aux sources de chaleur internes (la chaleur apportée par le corps, soit 262 kWh, les appareils électriques, etc.) et au soleil (1 019 kWh). Les besoins thermiques nets sont donc : déperditions (486) – gains utiles (367) = besoin thermique net (119 kWh/m²/an).



Simulation énergétique

Besoin de chauffage	Puissance de chauffage	Température moyenne	Apports solaires bruts	Déperditions
14 kWh/m ² /an	281 W	20,94 °C	1 008 W	486 kWh/m ² /an



À l'extérieur, la paille est protégée par un enduit de chaux de 3 cm ; sa largeur est de 50 cm, et, à l'intérieur, elle est protégée par un enduit terre de 3 cm (soit un mur épais de 56 cm). La résistance thermique est exceptionnelle : 11,19 m².k/W !

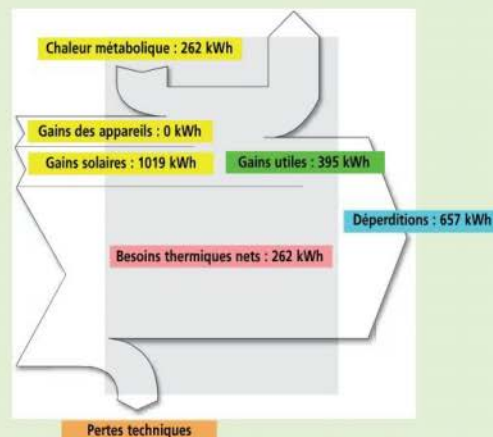
Une maison en briques Monomur

Comme nous le verrons page 41, cette isolation répartie sur toute l'épaisseur place ce type de mur au meilleur niveau de la réglementation thermique 2005. Son isolation correspond à celle d'un mur ordinaire doublé sur sa face intérieure par 10 cm d'isolant spécifique (type laine de verre). Aucun doublage isolant spécifique n'est à apporter : la brique Monomur est à la fois porteuse et isolante. En été, la densité de la terre cuite permet à la brique Monomur de se comporter comme un climatiseur : le jour, elle capte la chaleur à l'intérieur du logement, évitant ainsi la surchauffe, et elle la restitue la nuit, lorsque le logement est ventilé (avec un déphasage d'environ 12 h). En hiver, toujours grâce à son inertie, le mur capte la chaleur et atténue ainsi les chocs thermiques. La demande d'énergie de chauffage est donc plus régulière et la puissance à installer plus faible.



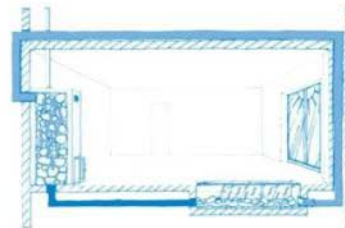
Après un enduit extérieur de 1,5 cm, l'épaisseur du mur en briques Monomur doit être de 50 cm, sans compter l'enduit intérieur à la chaux (1,5 cm), ce qui conduit à un total de 53 cm. La résistance thermique est $3,88 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$.

Ce diagramme montre les déperditions annuelles, en wattheures par mètre carré et par an, d'un bâtiment isolé avec 50 cm de briques Monomur : soit 657 kWh. Les « gains utiles » sont récupérés grâce aux sources de chaleur internes (comme la chaleur apportée par le corps, soit 262 kWh, les appareils électriques, etc.) et au soleil (1 019 kWh). Les besoins thermiques nets sont donc : déperditions (657) – gains utiles (395) = besoin thermique net (262 kWh/m²/an).



Simulation énergétique

Besoin de chauffage	Puissance de chauffage	Température moyenne	Apports solaires bruts	Déperditions
31 kWh/m ² /an	381 W	19,23 °C	1 008 W	657 kWh/m ² /an



CHAPITRE 3 La maison passive

Une maison passive ou un immeuble passif sont des habitats qui, par leur implantation, l'optimisation de la végétation environnante, leur masse et leur isolation, l'organisation de leurs surfaces vitrées, réduisent au strict minimum l'apport énergétique nécessaire pour le chauffage, la ventilation et l'éclairage.

L'habitat passif se défend seul contre le chaud et le froid. Ce n'est qu'en dernier recours qu'on allume un poêle, une cheminée, ou la chaudière.

La notion d'habitat passif a été découverte dans les années 1970 par l'ingénieur allemand Wolfgang Feist, qui a fondé le Passivhausinstitut. Pour lui, un véritable habitat passif ne doit exiger, pour être chauffé, que 15 kWh/m²/an.

Selon les critères du Passivhausinstitut, une maison peut être dite passive si :

- elle capte de manière optimale l'énergie du soleil et du sol ;
- elle ne présente pas de ponts thermiques ;
- ses appareils ménagers sont hyper-économes ;
- elle est étanche à l'air ;
- elle dispose d'une ventilation double-flux avec récupération de chaleur...

Nous verrons cependant comment contourner les deux derniers points, qui créent à notre avis une atmosphère malsaine et entraînent des dépenses trop importantes.

On pense généralement qu'une maison passive coûte de 7 à 15 % plus cher qu'une maison classique. L'une des ambitions de cet ouvrage est de prouver qu'au contraire, elle peut être moins onéreuse.

De manière générale, considérez qu'une maison peu dépensière consomme 120 kWh/m²/an pour son chauffage, une maison économe de 51 à 60 kWh/m²/an. La ville de Rennes a vu la construction, en 2001, de l'immeuble Salvatierra, projet pilote « hyper-passif » : pour le chauffage, l'objectif visé était de 15 kWh/m²/an, et de 43 kWh/m²/an pour toutes les consommations énergétiques.

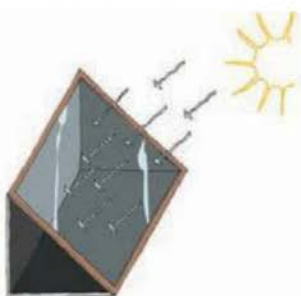
Les résultats n'ont pas été à la hauteur de cette attente, car, si l'on inclut l'électricité dans le chauffage (il y a des radiateurs électriques d'appoint), la dépense énergétique pour se chauffer se rapproche de 107 kWh/m²/an.

Le prix du kWh en 2008 (en centimes d'euros)

Gaz naturel : 11,7
(prix + abonnement + taxes)
Fioul (moyenne) : 6,6
(0,60 le litre, 1 l = 9 kW)
Électricité : 15,33 (10,57 en mars 2006)
(prix + abonnement + taxes)
Bûche : de 3,5 à 4,72 (70 € le stère,
un stère = 2000 kW)

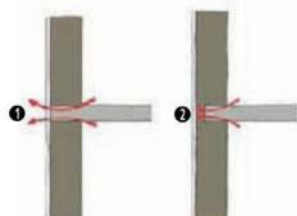
*Note : augmentation du kWh d'EDF de
20 % pour 2009-2010.*

Effet de serre derrière une vitre



La vitre focalise l'énergie rayonnante du soleil dans la boîte vitrée, où une paroi noire « boit » littéralement les précieuses calories. Très vite, il y fait 60 °C, quand dehors il fait 10 °C. Par temps ensoleillé, votre maison, quand elle dispose de baies vitrées ouvrant au sud, piège pareillement la chaleur : c'est l'effet de serre, dans lequel la vitre ralentit la sortie des calories vers le dehors. Mais lorsque le soleil se couche, si rien n'est interposé entre la vitre et le dehors, la pièce se refroidit de manière accélérée.

Éviter les ponts thermiques



La chaleur fuit par la dalle du plancher en contact direct avec l'extérieur, un peu comme si l'on avait ouvert un robinet... (1). Pour fermer ce dernier, il faut laisser en place au moins un tiers du matériau du mur (2).

Les consommations énergétiques : quelques factures types

Que consomme une maison « classique » pour se chauffer ? Pour la construction moderne, plus on recule dans le temps, moins les maisons sont isolées. Savoir donc si une maison date des années 1970, 1980, 2000 ou 2007 fournit une première indication.

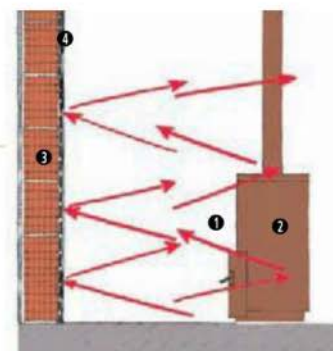
- Le chiffre moyen de dépense de chauffage annuel est de 610 € par ménage.
- À Lyon, une maison bien isolée dépense pour se chauffer 700 € si elle utilise l'électricité, 700 € avec du fuel, 400 € avec du gaz.
- Un de nos amis habitant dans une maison construite il y a 35 ans se chauffe au gaz : pour 80 m², il dépense 1 000 € pour s'assurer 18-19 °C, mais il estime qu'il lui faudrait 2 000 € pour passer à 21 °C s'il avait des enfants. Il consomme donc 309 kWh/m²/an pour se chauffer.
- Pour chauffer un appartement ancien de 60 m², il faut dépenser 450 € sur 12 mois, soit 185 kWh/m²/an.
- Sur un an, le propriétaire d'une maison de 140 m² « tout-électrique », construite en 2003, estime qu'il dépense 1 000 € pour son seul chauffage. Le label « Promotelec » dont bénéficie cette maison bien isolée justifie ses bonnes performances : 67 kWh/m²/an pour se chauffer.
- Notre préprototype, qui possède un poêle de masse, exige pour chauffer ses 30 m² 2 stères de bois, soit 150 € par an, soit 45 kWh/m²/an.

Treize règles à connaître pour réussir son habitat passif

- 1 – Le chaud va toujours vers le froid.
- 2 – Pour avoir chaud chez soi, il faut créer autant d'effets de serre que possible.
- 3 – La chaleur se déplace par conduction (par contact direct), mais c'est l'exception dans une maison, qu'illustre par exemple le cas où vous vous adossez à un radiateur.
- 4 – La chaleur la plus lente se déplace par convection. Quand vous tenez votre main au-dessus du même radiateur, l'air chaud qui monte puis gagne vos doigts leur transmet sa chaleur.
- 5 – La chaleur la plus efficace se déplace par rayonnement. Un poêle, un galet chaud, une bouteille chaude (par exemple) diffusent surtout leur chaleur par rayonnement. Une cheminée rayonne vers vous sa chaleur via les infrarouges. Même chose pour la résistance d'un petit appareil de chauffage ou, mieux encore, pour ces appareils de chauffage à infrarouges que l'on place souvent au-dessus d'une porte dans les salles de bains. Idem pour le soleil ; au plus fort de l'été, vous avez trop chaud à l'intérieur d'une maison parce que les murs rayonnent leur chaleur vers vous.

Capitaliser la chaleur

Ici, pour que le rayonnement (1) en provenance du poêle de masse (2) ne sorte pas dans la nuit froide via cette paroi mal isolée (3), on le fait rebondir sur un isolant mince multi-réfecteur (4) vers... la masse du poêle, afin d'en stocker les précieuses calories.

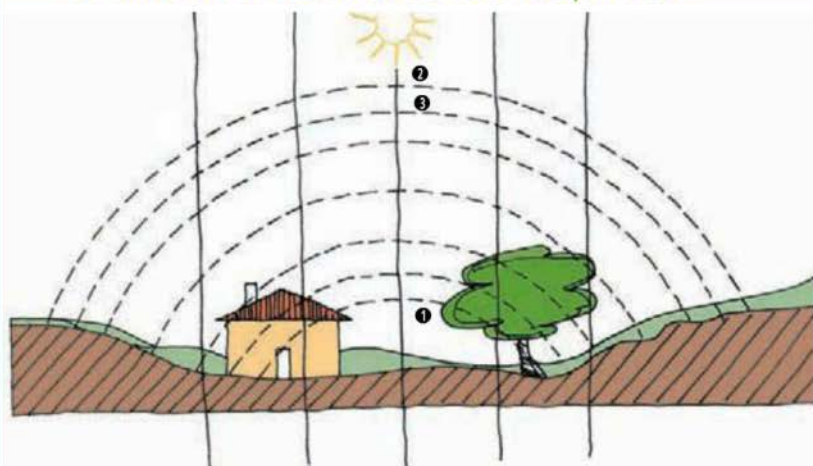


- 6 – Pour conserver la chaleur chez vous, faites rebondir le rayonnement vers une masse qui l'absorbera... grâce à un écran réflecteur (par exemple, un isolant mince multicouches).
- 7 – L'air chaud monte, l'air froid tombe... et coule comme un liquide emplissant peu à peu la pièce, jusqu'à déborder dans les autres pièces en passant sous les portes.
- 8 – Plus il y a de couches devant l'objet à protéger, plus cet objet se réchauffe facilement et garde sa chaleur longtemps.
- 9 – Quand une couche isolante est humide, elle perd ses qualités d'isolation : un isolant ne doit jamais être mouillé !
- 10 – Ce ne sont pas les matériaux les plus massifs qui isolent le plus : pour qu'une paroi de béton ait les mêmes propriétés que les isolants minces multicouches (36 mm), il faudrait qu'elle fasse... plusieurs mètres de largeur.
- 11 – Plus un corps est volumineux, plus il perd lentement sa chaleur (comme sa fraîcheur).
- 12 – L'isolant le plus efficace et le moins cher est l'air.
- 13 – Il faut faire la guerre aux ponts thermiques.

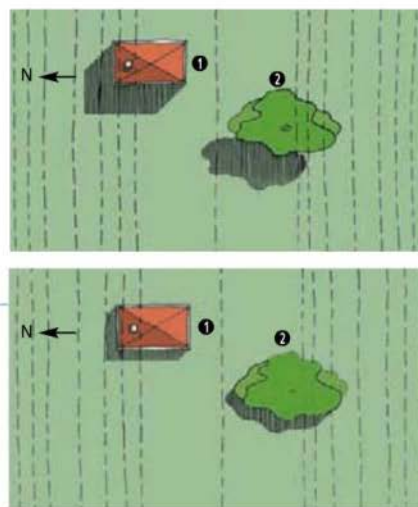
L'orientation de la maison

La Terre tourne autour du Soleil suivant une trajectoire elliptique et son axe est incliné de 15 % par rapport aux pôles. Conclusion : le soleil est bas sur l'horizon l'hiver et décrit sa course en 8 h au niveau de Paris ; l'été, il est haut sur l'horizon et décrit cette course en 16 h. Il atteint son apogée à 12 h, se lève à l'est et se couche à l'ouest.

La maison, le soleil et les ombres portées



Ce schéma décrit ce que vous voyez devant chez vous du soleil pendant les 12 mois de l'année. Prenons le soleil au 21 décembre : il se lève brièvement (1). Puis, mois après mois, il décrit un arc de cercle de plus en plus grand, jusqu'à atteindre son maximum du 21 juin (2). Il rebrousse ensuite chemin : juillet (3), août, etc., jusqu'au 21 décembre.



Cette maison est orientée est-ouest et ne présente que son petit côté au sud (1). L'une des solutions, pour que le soleil la réchauffe l'hiver, serait d'ouvrir une baie vitrée dans ce petit côté. Cela est d'autant plus important que certains mois d'hiver, il peut n'y avoir que quelques jours d'ensoleillement. Idéale pour l'hiver, cette solution ne l'est pas pour l'été : en effet, sur ces deux schémas, pris à des heures différentes de la journée, on voit bien que l'arbre (2) ne joue aucun rôle pour empêcher les rayons du soleil d'entrer à l'intérieur (sauf peut-être au couchant). Il faudra donc planter des arbres à feuilles caduques près de la façade sud pour réduire l'ensoleillement.

Au solstice d'hiver (21 décembre), le soleil forme à midi un angle de 17,5° avec l'horizon : il est bas. Au solstice d'été (21 juin), cet angle à midi est de 64,5° : il est haut dans le ciel. La maison bioclimatique idéale fait donc face au sud. Ce n'est qu'ainsi qu'elle pourra bénéficier l'hiver de la chaleur et de l'énergie du soleil.

L'environnement de la maison

Vous devez vous représenter l'environnement d'une maison comme organisant, un peu à la manière militaire, des lignes de défense contre les excès climatiques, la réchauffant ou la refroidissant selon vos besoins.

Imaginez une maison dressée sur une butte de 50 m ouvrant aux vents du nord... vous aurez l'exemple de ce qu'il ne faut pas faire. Un vent froid soufflant contre des baies vitrées peut faire chuter de 2 °C la température de la pièce considérée ; les pertes peuvent représenter jusqu'à 25 % de la chaleur intérieure.

Toute région se caractérisant par des vents dominants, vous leur tournerez au contraire le dos, tout en essayant de rester face au soleil ! Par ailleurs, en modifiant la végétation autour de votre maison, vous pouvez facilement gagner des degrés de chaleur en hiver ou de fraîcheur en été.

L'organisation climatique de l'habitat permet ainsi d'éviter de faire appel à une ventilation mécanique assistée disposant d'un échangeur de chaleur : côté nord, on peut planter des arbres à feuillage persistant (des arbres sans feuilles n'arrêtent pas le vent), par exemple une haie de thuyas, ou des lauriers-cerises à l'agréable parfum, ou encore des lauriers du Portugal. On laissera ces végétaux croître jusqu'à 4-5 m – au-delà, la coupe devient impossible. Nous déconseillons les pins ou les sapins, car les conifères acidifient le sol sous leur ombrage, ce qui crée des trous dans la pelouse.

Pour notre part, nous aimons bien les charmes communs, ou faux bouleaux (*Carpinus betulus*), aux feuilles « marcescentes », c'est-à-dire qui restent collées aux branches jusqu'à la repousse des feuilles suivantes.

Si vous faites courir de la vigne vierge en façade, ne laissez pas les bras s'immiscer sous les tuyaux de descente des gouttières, car ils finiront par repousser ces derniers et vous devrez les couper, perdant des années de précieuse croissance.

Enfin, pourquoi ne pas se servir de son toit comme d'un jardin ? Un toit incliné à 45 °C est un désavantage du point de vue climatique : l'été, la température des tuiles ou des ardoises

L'ensoleillement en Europe (en % sur l'année)	
Bruxelles	35 %
Strasbourg	38 %
Paris	41 %
Nantes	44 %
Genève	46 %
Nice	62 %

Le rôle de la végétation



Sur cette maison en parpaings aux murs de 30 cm d'épaisseur, assez mal isolée (elle a été construite dans les années 1980), cette vigne vierge offre une climatisation naturelle : les murs reçoivent 70 % de chaleur en moins... Dommage qu'on n'ait pas laissé pousser la vigne sur toute la façade !

peut monter à plus de 50 °C. Y laisser courir du lierre (feuilles persistantes) ou de la vigne vierge pourrait générer des désordres dans l'ajustement des tuiles ou des ardoises. Il est en revanche possible d'y installer, sur des câbles tendus d'une rive à l'autre, une glycine – voire une vigne – qui en été préservera l'étage supérieur des chaleurs caniculaires. Il faut cependant qu'un grillage fin protège les gouttières afin qu'elles ne se bouchent pas.

Attention : de manière générale, toute plantation d'une hauteur supérieure à 2 m doit être éloignée d'au moins 3 m du terrain voisin, et il ne faut rien planter à moins de 2 m de la maison, à la fois pour protéger le mur des racines – qui pourraient causer des désordres dans la maçonnerie – et pour ménager un passage destiné à l'entretien.

L'isolation des murs

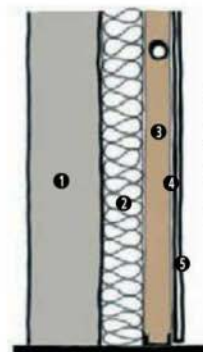
Comme nous l'avons vu page 17, 16 % de la chaleur d'une maison fuit par ses murs : sur la facture annuelle de 600 € d'un ménage moyen, cela représente près de 100 €. Les 30 % s'échappant par le toit représentent eux 200 € par an. Si l'on se fixe pour objectif une réduction de 50 % des fuites, l'économie réalisée sera donc de 300 € par an, soit 3 000 € en 10 ans.

Nous ne détaillerons pas ici toutes les techniques d'isolation des murs et des toits, mais les techniques habituellement utilisées en France et celles qui se répandent de plus en plus dans le monde. Le but poursuivi est de vous permettre de réduire au maximum le surcoût entraîné par l'aménagement d'une isolation.

L'isolation par l'intérieur

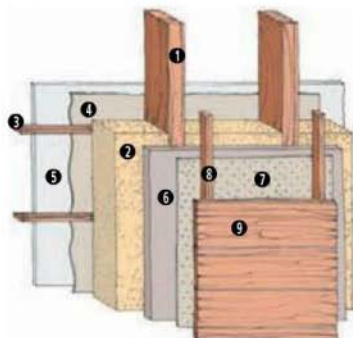
En France, nous isolons nos maisons par l'intérieur. Regardez opérer les artisans : ils posent les parpaings, puis la charpente, la couverture et les menuiseries (portes et fenêtres). Dans cette maison désormais « hors d'eau » et « hors d'air », les corps de métier se succèdent

Principe de l'isolation par l'intérieur



Mur de parpaings (1).
Laine de verre ou de roche (2).
Rail (3).
Panneau de plâtre (4).
Peinture (5).

L'isolation extérieure d'une maison en bois



Entre les montants de bois de l'ossature (1), on dispose des panneaux de fibres de chanvre larges de 120 mm (2). Puis on cloue horizontalement (important pour le passage du câblage électrique) des tasseaux (3) de 30 x 30 mm, sur lesquels on tend un film pare-vapeur (4), avant de fixer des plaques Fermacell qui recevront la peinture, ou le papier peint, de l'intérieur de la pièce. Les câbles électriques passent dans la lame d'air ménagée entre les montants de l'ossature et les tasseaux, derrière les plaques Fermacell. Côté extérieur, les panneaux OSB (6) sont fixés contre les montants de l'ossature (1), sur lesquels vient s'agrafer un film pare-pluie (7). Sur les panneaux OSB est fixée une rangée de nouveaux tasseaux (8), sur laquelle est disposé le bardage bois (9). C'est fastidieux à faire, mais simple, y compris pour un débutant.

pour installer à l'intérieur un doublage de 20 cm de laine de roche, fixer des rails sur lesquels viennent s'accrocher des plaques de plâtre souvent doublées de polystyrène, enduites au niveau des joints, poncées et, enfin, revêtues d'une, puis de deux couches de peinture (après qu'on a fait passer les fils électriques et la plomberie).

Il s'agit certainement de la phase la plus longue de la construction de votre maison : un corps de métier (plaquiste, peintre, plombier, électricien) ne peut venir qu'une fois que le précédent est passé ; c'est cela, en plus de leur coordination, qui entraîne le plus de retards.

L'isolation par l'extérieur

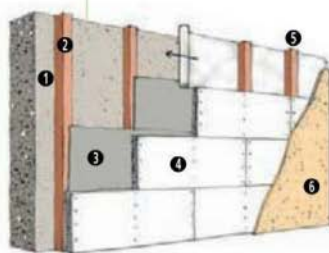
En Europe, surtout du Nord, on isole désormais les maisons par l'extérieur. L'enduit intérieur est donc directement accroché sur la face intérieure des parpaings, tandis que l'isolant, lui, est disposé sur leur face extérieure. L'avantage ? La maison est plus vite habitable et, surtout, la masse thermique utilisable devient énorme, se chiffrant en tonnes ; cette masse thermique est de plus très performante puisqu'elle est parfaitement isolée.

L'isolation par l'extérieur est la meilleure solution contre les ponts thermiques (il n'est plus nécessaire de soigner les raccords entre les dalles supportant les planchers et les murs). Dans le cas d'une maison en parpaings ou en béton, il est tout à fait possible de réaliser son isolation par l'extérieur avec un isolant mince de 53 mm – cas de l'isolant mince XLpro 11 qui, pour 13 €/m², possède un R de 6.

Ce type d'isolation est aussi parfaitement rentable dans le cas d'une rénovation : on ne touche pas l'intérieur (ce qui satisfera la maîtresse de maison), on place des tasseaux contre les parpaings à l'extérieur, sur lesquels on agrafe l'isolant mince, et l'on revêt le tout de bois ou d'un matériau qui aura l'aspect et la texture d'une maçonnerie traditionnelle. Le coût de cette solution revient à 40-50 €/m² de surface de mur, soit entre 4 000 et 5 000 € hors maçonnerie pour une maison de 100 m². Le R global d'un mur ainsi isolé (voir l'exemple du schéma ci-dessous) est de 7. La fuite thermique chute ici de 16 % à 3-4 % !

L'emploi de ce type d'isolation dans le cas d'une maison à ossature bois pourra faire intervenir les matériaux suivants : des panneaux de fibres de chanvre, un isolant naturel, concurrent « bio » de la laine de roche ou de verre, sans poussières volatiles dangereuses pour les poumons ; un film pare-vapeur ; des plaques Fermacell, plaques de plâtre mélangeant fibres de cellulose et plâtre, très denses et ignifugées ; des panneaux OSB (pour « ossature bois ») ; un film pare-pluie « respirant » (qui laisse filtrer un peu d'air).

L'isolation par l'extérieur d'une maison en rénovation



On dispose sur la maçonnerie (1) des tasseaux de bois (2), sur lesquels est agrafé l'isolant mince (3), qui n'est pas tendu mais laissé un peu flottant, de manière que les plaques de panneaux isolants Fibrastyrène (4) viennent le recouvrir sans le plaquer (ce qui abaisserait ses performances thermiques). Ces plaques sont elles-mêmes posées sur une nouvelle rangée de tasseaux (5). Les panneaux isolants reçoivent ensuite un enduit traditionnel armé (6) qui donne à la maison l'apparence (et la sensation, si on passe la main) d'être en pierre.

Côté intérieur, des jours permettent une microcirculation de l'air, qui évite toute condensation.

L'exemple proposée par le schéma page ci-contre, en haut à gauche, permet d'atteindre un coefficient R de 3. Le coût des matériaux au mètre carré de surface de mur est d'environ 45 €, soit, pour les murs d'une maison de 50 m² (un rectangle de 5 x 10 m), un total de 2 500 € (5 000 € si vous faites intervenir un professionnel).

L'isolation répartie

Ce type d'isolation ne concerne que les maisons neuves, car ici, c'est en montant les murs que l'on construit l'isolation. Par quel miracle ? En utilisant des briques de terre cuite qui contiennent autant de vides d'air que possible, et dont l'exemple le plus répandu est la brique Monomur. Le R de la brique Monomur étant de 2,92, avec les enduits intérieurs et extérieurs, le R d'un mur bâti avec ce matériau atteint facilement 3 : ce qui veut dire qu'il ne perdra que 0,3 W par mètre carré et par degré Celsius de différence entre l'intérieur et l'extérieur (prendre une brique Monomur d'une épaisseur minimale de 35 cm) !

La masse globale du mur obtenu (plus de 3 m³ pour un mur de 5 m de long) en fait une masse thermique idéale. Sa mise en œuvre nécessite peu de mortier, donc peu d'eau (autant d'éléments lourds et donc coûteux à acheminer). À l'intérieur de même qu'à l'extérieur, la finition peut consister en un simple enduit : pas de plaques de plâtre à poser, à joindre, à poncer, puis à peindre...

Le prix au mètre carré d'un mur construit en briques Monomur est de 50 à 58 €, tandis que dans le cas d'un mur en parpaings, le prix des matériaux seuls n'est que de 10 €/m². Pour une maison de 50 m² au sol, le surcoût en matériaux seuls s'élève donc à 4 000-4 300 €. En revanche, vous économisez sur le doublage laine de roche + rails + plaques de plâtre, et le gain de chauffage représente environ 50 €/an. Enfin, sachez qu'en Allemagne on propose des briques Monomur d'épaisseur double : 50 cm. Dans ce cas, le R du mur atteint presque 6 !

L'isolation des toits

Un toit d'une pente de 45° représente une surface d'environ 75 m² pour une maison de 50 m² au sol. C'est un obstacle sur lequel la force du vent va s'exercer à loisir, chipant au passage vos coûteuses calories ou surchauffant votre grenier. Par lui s'envolent 30 % de votre facture de chauffage, tandis que si vous aviez un toit plat, végétalisé ou végétal, ne partiraient plus que 20 % de ladite facture (voir le paragraphe concernant les performances thermiques des toits-terrasses, page 46)...

Si votre toit est en pente, deux cas se présentent : les combles sont perdus ou non. « Perdus », cela signifie que vous ne pourrez utiliser votre grenier. En ce cas, achetez des panneaux de

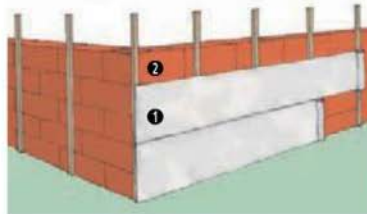


Cette maison est orientée au sud-ouest, mais son toit reçoit, l'hiver, le vent du nord de plein fouet. Le faîtage monte à 2,5 m à partir du deuxième niveau, l'angle est à 45°, la maison mesure 15 m de long et 10 m de large, c'est donc un toit d'environ 200 m² qu'il convient d'isoler : un gros travail en perspective.

Le mur en briques Monomur, un mur idéalement isolé...

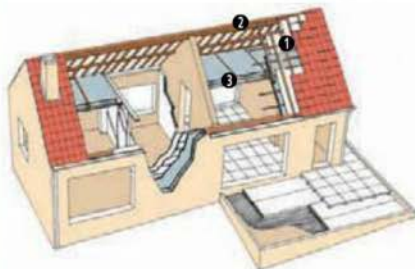


Les alvéoles des briques Monomur multiplient les lames d'air, tandis que la terre cuite qui les sépare, naturellement peu conductrice, joue le rôle d'un excellent isolant.



Imaginons que l'on double l'extérieur de murs bâtis en briques Monomur par de l'isolant mince (1), tendu sur des tasseaux (2), et recouvert d'autres tasseaux (pour ménager un vide d'air qui évitera les condensations auxquels on accrochera ensuite un bardage en bois. Dans ce cas, le R montera à... 9-10. En plus d'avoir évité que 16 % de la chaleur produite s'envole par les murs, vous avez constitué une énorme masse thermique à l'intérieur de votre maison et vos économies de chauffage s'élèvent certainement à plus de 300 €/an.

Exemple d'isolation de combles aménagés



Le toit est isolé avec 2 couches croisées de rouleaux de laine de verre (1) posées en sous-toiture, sous les chevrons (2) :

- 1^{re} couche : rouleaux de laine de verre semi-rigides non revêtus « Iso homelec », chez Ursa ;
- 2^e couche : rouleaux de laine de verre revêtus kraft.

Ce qui lui donne un R excellent : 6,65 !
Comptez pour 220 m², en matériaux seuls, 2 200 €.

Dans ce cas, on a également isolé le plancher en utilisant des rouleaux de laine de verre de 240 mm d'épaisseur revêtus de kraft, avec un R de 6 (3).
(Source : doc. URSA.)

Et les petites bêtes ?

Pour elles, vos murs, votre toit, redeviennent vivants, forment de gigantesques forêts verticales ou inclinées : même si tous ses murs sont recouverts d'ampélisis, une maison n'est pas plus fréquentée par abeilles, araignées, papillons, fourmis, qu'une autre de plain-pied aux murs nus en rase campagne...

laine de roche, et disposez-les vous-même en 2 couches croisées de 40 cm d'épaisseur à même le sol, sans rien faire de plus. Le gain est maximal pour un dispositif d'une économie maximale (comptez moins de 2 000 € pour une maison de 50 m² de planchers).

Si vous souhaitez utiliser les combles, les panneaux de laine de roche devront être placés contre la charpente. Par-dessus viendront des panneaux de plaques de plâtre que vous couperez, visserez contre des rails, puis enduirez, poncerez, peindrez. Un gros travail et des coûts importants.

La toiture-terrasse végétale

Les règles d'urbanisme, notre goût, nos craintes aussi de voir sourdre l'eau dans la maison, ne permettent pas toujours d'enfouir son habitat. Le toit végétalisé permet alors d'avoir une maison de plain-pied sans trop rompre avec nos habitudes, même si, en soi, il suscite quelques inquiétudes : l'idée, par exemple, que l'on n'a pas quelque chose d'impeccable au-dessus de la tête, exempt de cette terre, de cette poussière et de ces insectes dont on veut impérativement débarrasser son intérieur.

Pourtant, depuis 2 000 ans, les Scandinaves vivent avec de la terre sur la tête ; ceux qui habitent ces maisons les trouvent plus saines, plus énergétiques, plus apaisantes, mieux insonorisées. Il n'y a pas plus d'insectes : ces petits habitants des pelouses n'ont aucun goût pour nos sols en céramique régulièrement passés à l'eau de Javel et nos parquets flottants.

En France, nous sommes tellement en retard que l'on se demande quand une véritable réforme de l'urbanisme rendra légale la toiture-terrasse végétalisée.

L'avantage d'un toit plat (ou presque, car il présente une déclivité d'environ 5° afin d'assurer l'écoulement des eaux) est bien sûr de ne pas offrir de prise au vent. S'il est en outre végétalisé, les brins d'herbe et les plantes diverses cassent le flux d'air résiduel, qui ne vient plus se plaquer en une masse homogène soufflant contre un toit également homogène.

Utiliser les propriétés de la terre

Sur un toit, la terre, même mouillée, est isolante : en effet, bien que l'eau annihile les capacités isolantes des matériaux, le point de condensation du toit est reporté dans la terre... De plus, l'eau est elle-même un isolant : si vous aviez 10 cm d'eau sur la tête, sachez qu'ils seraient aussi protecteurs thermiquement que 2 cm de bois !

L'été, une épaisseur de 10 cm de terre sur toute une toiture stocke beaucoup de chaleur. C'est encore plus vrai si la terre est humide, car pour s'évaporer, l'eau a besoin de chaleur ; ce sont donc des calories en moins qui pénétreront dans votre habitat.

En effet, la terre est vivante : les herbes, les fleurs, les micro-organismes se défendent contre le chaud, transpirent quand il fait chaud. Conclusion : alors que sur un versant de toit de tuiles exposé au soleil, au zénith et en plein été, la température monte parfois à 70 °C, sur de l'herbe située à 8 m de hauteur, vous aurez le même jour 40-45 °C au maximum. Et au cœur de cette microforêt de brins d'herbe, la température est encore inférieure de 5 à 10 °C (selon la masse végétale).

Imaginons que, pour des raisons techniques, votre toit ne puisse être constitué que de 10 cm, voire de 7 cm, d'épaisseur de terre. L'été, pour éviter que l'herbe ne se dessèche, vous arroserez le soir avant d'aller vous coucher ; quand la chaleur montera avec le soleil, les rayons vaporiseront l'eau – réaction qui consomme de l'énergie solaire, donc diminue le flux de chaleur arrivant sur le toit. Grâce à votre toit végétal, vous diminuerez donc de 30 à 50 % la chaleur qui entre dans votre maison...

L'hiver, le toit végétal, par sa masse thermique, ralentit le refroidissement de la maison.

Coûts comparés d'une toiture traditionnelle et d'un toit-terrasse

Pour une toiture en pente (45°) de 100 m², comptez pour une couverture en ardoises naturelles de 10 000 € à 15 000 € HT ; pour la charpente avec arbalétriers, fermes, etc., en lamellé-collé, de 10 000 à 15 000 € HT ; pour les gouttières et descentes des eaux de pluie, ajoutez 2 000 € hors taxes. Soit un total d'environ 22 000 à 32 000 € hors taxes, ou 27 000 à 39 000 € avec la TVA (arrondis au chiffre supérieur).

Pour une « toiture-terrasse-jardin » de 66 m² (recouvrant la même surface habitable), vous n'aurez à payer que 4 000 € HT, plus le prix des solives pour le plafond (de 7 000 à 10 000 € HT), soit un total TTC qui variera entre 13 000 et 17 000 €.

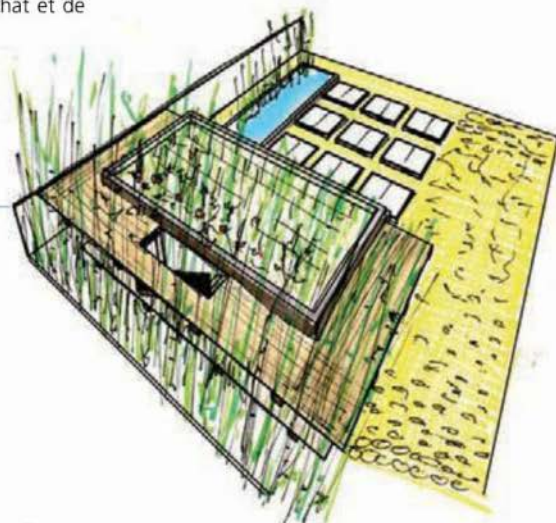
Les économies réalisées à la construction sont donc de 10 000 à 26 000 €. À l'usage, les déperditions de chaleur sont réduites des 2/3, soit une économie de 120 € par an.

Pour le toit, la solution bioclimatique est donc moins chère de 37 à 66 % à l'achat et de 66 à 70 % à l'usage.

Toit pentu ou toit plat ?

Pas de toit en pente, pas d'obstacle pour le vent. Et c'est mieux encore si le toit est végétal : l'air rase alors les herbes, ne se presse même plus contre la terre ; en quelque sorte, cette maison fait le gros dos.

Ici, le vent du nord est préalablement cassé par les bambous. Les 10 cm de terre agissent comme une isolation par l'extérieur, donnant à cette maison un R supplémentaire estimé à 0,2-0,35.



Les essences

Le complexe de plantes à utiliser pour un toit végétal peut s'inspirer de la collection présente dans la reconstitution de jardin alpin proposée au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Ces plantes résistent à la sécheresse, et peuvent prospérer sur des substrats minéraux. Elles sont idéales pour un toit dont la profondeur de terre est de 5-7 cm.

Toujours pour les substrats minces, on peut aller choisir des plantes sur des falaises diverses et variées, dont les conditions de vent et de sécheresse, voire de salinité si elles sont en bordure de côtes, sont proches de celles régnant sur les toits.

La dernière solution est le prélèvement d'une couche herbeuse : on découpe dans le sol le tapis d'herbe que l'on pose sur le substrat de terre du toit végétal, après avoir humidifié ce dernier, et on arrose le tout. La minceur du substrat impose un arrosage permanent en été, ce qui fournit une climatisation idéale lors des mois secs (lorsque l'eau se vaporise sous l'effet du soleil, elle « consomme » en effet de la chaleur).



Le jardin alpin du Muséum national d'histoire naturelle.



La famille très résistante des Sedums : *Sedum album* (feuilles rouges), *Sedum sexangulare* (feuilles vertes).



Saxifraga crustata (à droite), *Sempervivum* et *Hypericum olympicum* (à gauche).



Phuopsis stylosa.



Thym.



Festuca gautieri, ou *Festuca scoparia* (Fétuque de Gautier) : une très belle plante, quoique parfois envahissante.



Carex demissa : avec la Fétuque, ils forment de beaux bouquets.



Au premier plan *Sempervivum calcareum*.



Asplenium trichomanes : une petite fougère qui se niche souvent dans les anfractuosités des murailles peu entretenues.



Un autre *Sedum* : *Sedum stahli*.



Potentilla (sp.).



Silene saxifraga (saxifrage).



Feutre perméable. Déroulé sur le toit végétal, entre terre et cailloux, il empêche la terre d'entourer les cailloux, ce qui entraverait le drainage de l'eau.



Rouleau bitumineux. Sur un toit végétal, il protège de l'humidité les plaques de sol en bois aggloméré qui, même si elles sont hydrofuges, peuvent pourrir. À utiliser avec parcimonie : en plus des émanations du bitume, il infecte les eaux de pluie qui coulent sur les toits.

Performances thermiques

Pour un toit-terrasse tel que décrit ci-dessous, les performances sont les suivantes :

- dalles d'OSB de 1,5 cm d'épaisseur (laissent passer la vapeur) : R de 0,12 ;
- 20 cm de ouate de cellulose : R de 5 ;
- 1 vide d'air : R de 0,13 ;
- dalles d'OSB de 1,5 cm d'épaisseur (laissent passer la vapeur) : R de 0,12.

Soit $R : 0,12 + 5 + 0,13 + 0,12 = 5,37$

Notez qu'au-dessus des chevrons la terre et les dalles OSB + les films d'étanchéité ne sont plus compris dans le calcul. En effet, le toit végétal doit être ventilé et de l'air doit circuler en permanence entre les chevrons.

Ici, nous atteignons presque les préconisations de la RT 2005 (voir le tableau page 30). Les dépasser, pour atteindre par exemple les futures préconisations de la RT 2012, signifierait doubler l'isolation, donc travailler avec deux fois plus de matériaux... Et donc doubler les coûts et multiplier par deux l'empreinte écologique de chaque habitat.

Poser les couches d'une toiture plate végétalisée sur une maison en ossature bois

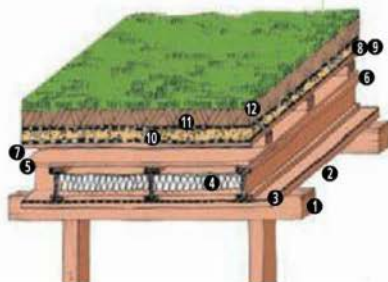
Pourquoi privilégier l'ossature bois ? Parce que la part d'autoconstruction peut être assez importante dans cette technique, si toutefois vous êtes supervisé par de bons professionnels et êtes relativement bricoleur. Par ailleurs, les charges à transporter, assembler, ne sont pas fondamentalement lourdes : les conditions nécessaires et suffisantes sont la précision, la méticulosité, le calme et 5 ou 6 jours sans pluie...

En revanche, les poids supportés sont élevés et même un toit plat peut requérir une charpente d'une certaine complexité. Les charges vont normalement être conduites sur la périphérie, mais des poteaux verticaux assemblés dans la maison à certains points-clés pourront être utiles : ici, le travail du charpentier est fondamental.

La pente du toit peut être assez légère : 2-3°. Une pente plus importante peut être envisagée comme dans l'exemple 2 (page 50). Mais il est parfaitement possible d'aller jusqu'à 45°, comme cela se pratique couramment en Scandinavie ou en Islande.

Les pas-à-pas présentés page 48 et suivantes vous donnent les fondamentaux de la construction d'un toit plat : charpente, isolation, mise en place de la terrasse, étanchéité (exemple 1, page 48), protection et étanchéité d'une toiture-terrasse finalisée (exemple 2).

les couches d'un toit plat



L'écartement entre les solives et le plafond (1) permet de poser directement des plaques de bois OSB, sans colle à base de formaldéhyde (2). On pose par-dessus des poutres en I (3) – très grandes, très légères et très résistantes ; entre les poutres en I, on place l'isolant (4). Sur les mêmes poutres en I, on installe une 2^e couche de plaques d'OSB (5). Puis on pose des chevrons (6) de taille décroissante de façon à donner une légère pente au toit. Sur les chevrons on dépose une 3^e couche de plaques OSB (7), un film géotextile (8), une bâche imperméable puis un textile anti-racinaire (9).

Dessus, on verse 3 cm de pouzzolane pour la couche drainante (10), un feutre géotextile perméable à l'eau mais non à la terre (11) et, enfin, 7 à 10 cm de terre végétale (12).

Partez du poids le plus lourd, celui de la terre : une terre commune pèse 2 100 kg par mètre cube (elle est entre mouillée et sèche), soit 420 kg par mètre carré pour une épaisseur de 20 cm. À cela, ajoutez :

- isolant, chevrons, liteaux, pannes : 70 kg/m² ;
- la pouzzolane (par sécurité, nous partons du poids des graviers, plus lourds) : 100 kg/m² ;
- l'étanchéité : 12 kg/m² ;
- les charges d'exploitation « CE » (circulation pour entretien) : 150 kg/m² ;
- les risques climatiques (neige « W ») : 250 kg/m².

Le total est de 1 002 kg par mètre carré. Un toit végétal de 70 m² surmonté d'une couche de terre de 20 cm pèse donc... plus de 70 tonnes ! (C'est un toit végétal un peu extrême, toutefois ; une couche de terre de 7 cm réduit le poids à 722 kg/m², ce qui reste tout de même assez lourd.)

Pour le calcul de la charge à répartir sur les poutres, il faut ajouter des coefficients de sécurité. Nous proposons la formule suivante : $1,35 E1 + W = 1\,063 \text{ kg/m}^2$. Si les solives ont un écartement de 40 cm, cela signifie que le mètre linéaire de solive devra supporter un poids de 42,52 kg.

Pour continuer le calcul, il faut à présent convertir en newtons, mesure de la force. Prenons une poutre longue de 5 m. Le poids maximal qu'elle peut supporter obéit à l'équation suivante : $M_{\text{max}} = p \times l^2/8 = 42,52 \times 5^2/8 = 132,88 \text{ daN/m}$ (décanewtons par mètre. 1,02 daN.m est égal à 1 kg par mètre. Les deux grandeurs sont donc assez proches.)

« M » est le moment d'une force par rapport à un axe ; « p » est la « force répartie », c'est-à-dire la force représentée par la charge au mètre linéaire ; « l » la longueur de la poutre ; « 8 » est un chiffre invariable, propre à cette équation, représentant la résistance « pure » des matériaux. Il faut à présent ramener le moment maximal (M.max) de la poutre exprimé en décanewtons par mètre à la contrainte maximale qui s'exerce dans la poutre, qui s'exprime en mégapascals (M.Pa) : 1 M.Pa est égal à 10⁵ daN/m.

Ainsi, une poutre en chêne fléchit au-delà d'une pression Fmax excédant 16,4 M.Pa. Pour empêcher le fléchissement de la structure, on doit respecter :

$M_{\text{max}}/I < G_{\text{max}}$, pour $I = b \cdot h^3/12$ et $v = h/2$, sachant que « 12 » est un chiffre invariable, propre à cette équation et aux sections rectangulaires.

Ainsi, pour $b = 0,035 \text{ m}$ (3,5 cm), h sera égal à 0,118 m (11,8 cm).

Ce calcul fait, il faudra cependant procéder à une vérification de la flèche (la flèche est la déformation de la poutre sous le poids des couches qu'elle soutient et au-delà de laquelle elle casse) : flèche maximale (f.max) $\leq l/300$ soit, pour une poutre de 5 m de longueur, 1,67 cm.

Soit, dans le cas de charge que nous examinons : $f = 5 \times p \times l^4/(384 \times EI)$. « EI » étant le poids propre de la structure, « p » son poids au mètre carré, « l » la longueur des solives, « 384 » un chiffre invariant propre à l'équation et qui exprime la résistance des matériaux.

On prendra $E = 10\,000 \text{ M.Pa}$ (mégapascals, cas du bois). Ce qui implique : $l > 2,07 \cdot 10^{-5}$, soit $h > 0,192$.

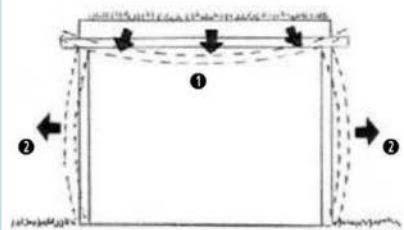
Il nous faut donc changer de section. Avec b (épaisseur de la solive) de 0,05 m (soit 5 cm), on obtient $h > 0,171$. Aussi peut-on retenir pour les solives un bois de 5 m de long, 5 cm d'épaisseur et 17,1 cm de hauteur.

Les calculs sont ici faits pour une solive en chêne. Ils devront être refaits pour les bois moins denses. Dans notre prototype breton, par exemple, la portée des solives de mur en mur est 5,80 m, leur épaisseur de 4,5 cm et leur hauteur de 22,5 cm, et les bois sont garantis à 10 % d'aubier (la partie la moins dure du tronc). Il est difficile d'obtenir des bois à la fois plus longs (avec les débords de 60 cm en avancée de toit, ils font plus de 7 m) et de plus de 22,5 cm de hauteur. Nous avons donc diminué l'antrax des poutres, le faisant passer à 30 cm, et ajouté des poteaux verticaux (au niveau des cloisons intérieures pour qu'ils ne se voient pas).

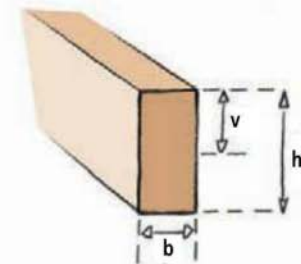
Quelles dimensions de solives ?

Attention à un toit trop lourd : non seulement celui-ci ferait ployer les poutres vers le centre, mais il pourrait provoquer l'écartement des murs de la maison.

Il convient donc d'être très précis quand vous calculerez la dimension de vos poutres, leur longueur, et la distance qui doit séparer chacune d'elles (l'antrax).



Sous une pression excessive, les solives fléchissent (1), les murs s'écartent (2).



$$I = b \cdot h^3/12 ; v = h/2.$$

Section rectangulaire d'une solive.

Mise en œuvre d'un toit végétalisé : charpente, isolation, plate-forme, étanchéité (ex.1)



Mise en place de la charpente : devant soutenir une toiture végétale de plusieurs tonnes, les solives sont hautes de 22,5 cm, longues de 7 m environ.



Façade ouest. Un escalier métallique y sera installé pour accéder à la toiture-terrasse. Un débord de 60 cm permettra d'en faire le tour sans piétiner la terre. Ce débord protégera aussi les façades de la pluie et du soleil d'été.



L'assemblage est fondamental. Le charpentier a réalisé ici des coupes à mi-bois pour les 4 angles.



On voit bien ici les éléments d'isolation et de protection d'un toit plat : la ouate de cellulose est protégée par un film pare-pluie (bleu), sur lequel sont vissés des tasseaux, tous dans le même sens ; sur ces tasseaux sont peu à peu vissées des dalles OSB (oriented strand board).



Les dalles OSB sont à présent presque toutes posées. L'air va circuler entre le film pare-pluie bleu et la face interne des dalles OSB, grâce au vide d'air ménagé au moyen des tasseaux sur lesquels reposent les dalles. Cette ventilation est fondamentale, pour éviter toute humidité, notamment celle qui pourrait venir du toit végétal si des infiltrations, ou des condensations, se produisaient.



La toiture et l'isolation sont à présent achevées.



Mise en place des bandes de rive, ici des morceaux d'OSB découpés sur le toit et vissés depuis la plateforme.



L'étanchéité est ici réalisée à l'aide de produits type bâches en matière plastique. Ces bâches, habituellement utilisées en fond de bassin, sont parfaitement étanches et non respirantes, ce qui peut à terme permettre un confinement de l'humidité contre la dalle OSB. C'est pourquoi on intercale un feutre géotextile, d'abord découpé à terre.



Le feutre est étendu sur le toit. Il doit permettre de créer une micro-ventilation entre la bâche imperméable et la partie supérieure des dalles OSB, de manière à évacuer les condensats.



Mise en place de la bâche, d'un seul tenant.



Cette bâche ne résiste pas, à terme, aux rayons ultra-violets qui la décolorent ; les piétinements, les griffes des oiseaux, voire certaines racines risquent en outre de finir par la déchirer. C'est pourquoi nous avons posé une troisième couche, un anti-racinaire de couleur verte, dont les bandes ont été découpées à même le sol.



Pose de l'anti-racinaire en toiture : les bandes sont collées avec des rouleaux de Scotch spécial double face.



La toiture est à présent étanche, prête à recevoir le toit végétal.

Mise en place d'un toit végétalisé : pouzzolane, terre, végétation, bandes de zinc, éléments d'évacuation de l'eau (ex. 2)



La forme de ce toit pose des problèmes d'étanchéité particuliers, puisque les eaux sont ramenées vers le dedans, d'où elles doivent ressortir. Notez les tuiles, qui permettent d'aller et venir sans abîmer la végétation.



Les acrotères sont soigneusement recouverts de feuilles de zinc, dont les bandes se chevauchent systématiquement de 10 cm.



Sur un tel toit, la sortie de cheminée représente un vrai défi. Ici, un cadre en bois soutient le zinc, en même temps qu'il a permis d'accrocher la bâche (qui remonte sous le zinc d'une vingtaine de centimètres).



On voit particulièrement bien ici les éléments constituant la toiture : terre, pouzzolane fine, pouzzolane plus grossière, treillis pour permettre l'accrochage des racines, feutre, trou d'évacuation des eaux. Les angles sont laissés libres, de manière à pouvoir contrôler en permanence la bonne sortie des eaux.



450 sédums ont été plantés sur ce toit, où le choix d'une couverture terreuse minimale a été fait. 3 m³ de grosse pouzzolane ont été déposés ici, 1 m³ de petite pouzzolane, puis 1 t de terre de bruyère. En tout, le poids du toit végétal peut être estimé à 5 t environ, selon son humidité.

Principes du stockage de la chaleur

N'avez-vous jamais été surpris, en entrant dans une vieille maison aux murs épais, de la fraîcheur qui y régnait au plus fort de l'été ? Quel mécanisme rend cela possible ? C'est l'effet de masse thermique des matériaux dont elle est constituée, qui ont stocké de la fraîcheur l'hiver et la restituent peu à peu au cours de l'été (et inversement, au cours de l'hiver, la chaleur emmagasinée l'été). Tout matériau, pierre, eau, etc., possède à des degrés divers (voir le tableau page 53) cette capacité de stockage.

Si, en pleine canicule, la température extérieure est de 41 °C, la masse thermique d'une telle maison peut être à 16 °C ; elle absorbe alors l'excédent de chaleur et refroidit votre intérieur. En revanche, en plein hiver, si cette masse est à 7 °C, vous mettrez longtemps à réchauffer la maison, car elle a stocké du froid... A contrario, n'avez-vous jamais constaté que lorsque survient un refroidissement brutal, il n'est pas nécessaire de commencer à chauffer ce type de maison tout de suite ?

Isoler une maison sans lui permettre de stocker le chaud ou le frais est un non-sens, car l'air ne pèse rien : 1 m³ d'air, même saturé de vapeur d'eau, ne pèse que de 1 à 1,4 kg (selon la vapeur d'eau qui s'y trouve), et tout s'envole à la moindre ouverture de fenêtre, de porte... Ainsi les chalets aux parois très fines (que celles-ci soient ou non parfaitement isolées par de la laine de roche et/ou un isolant mince) n'ont presque aucune densité, aucune masse. Le bois, qui est un bon isolant par lui-même, ne peut alors stocker presque aucune chaleur, aucune fraîcheur.

À l'inverse, c'est le principe du stockage de la chaleur qui permet à un poêle de masse de ne fonctionner que 2-3 h par jour : la nuit, quand le feu est éteint, la masse située tout autour du poêle, réchauffée par le feu, chauffe.

Dans toute maison, il faut donc une masse thermique importante, soit un volume de stockage important. À titre d'exemple, certaines maisons bioclimatiques sont incroyablement massives : elles présentent jusqu'à 50 t de masse thermique pour une surface de 60 m², voire davantage si l'on y inclut le sol. Soit un peu moins de 1 t de masse très dense au mètre carré. Une maison équivalente en parpaings pèse environ 25 t, soit 500 kg/m². Mais ces 500 kg ne sont pratiquement pas utilisés pour la conservation de la chaleur car la masse se trouve calfeutrée par l'isolant, selon le principe très franco-français de l'isolation par l'intérieur.

Pour calculer la masse thermiquement utilisable, il faut tout prendre en compte. Nous prendrons l'exemple de notre prototype de 25 m², recouvert d'un toit végétal. On additionne le poids du toit (2 t) ; le poids des buttes de terre adossées aux murs (3 t) ; dans la maison elle-même, celui des dalles et chapes du sol (10 t), celui de la terre mise en réserve entre les fondations (25 t), celui de l'ossature en bois (20 m³, soit 20 t) ; celui du mobilier (évalué à 1 t) ; celui, le cas échéant, du poêle de masse (2 t) ; on comptera aussi l'éventuel ballon d'eau chaude (250 l).

Au total, dans cet exemple, la masse thermique représente 70 t, soit plus de 1000 kg/m² mobilisés pour le stockage de chaleur l'hiver ou de fraîcheur l'été, ce qui n'est pas mal !

Calculer la chaleur à mettre en réserve

Si l'on veut élever 1 g d'eau de 1 °C, il faut lui donner 1 calorie, ou 4,184 J. Rappelons que la puissance de chauffage s'exprime en kilojoules (1 kJ = 1 000 J), en watts ou, de préférence, en kilowattheures (1 kWh = 3 600 kJ). Les fabricants de poêles définissent la puissance moyenne de leurs appareils en kilowatts (poêle de 4, 7, 10 kW, etc.) ; EDF, quant à elle, facture l'électricité en kilowattheure (1 kWh c'est aussi l'énergie consommée par une lampe de 100 W pendant 10 h).



Les Baronnet font certainement partie, en France, des pionniers de l'habitation autonome et passive. Leur prototype, aux murs en paille et en terre, ne demande à être chauffé qu'à partir du mois de janvier ! Et très peu : l'inertie thermique est telle qu'il suffit seulement de chauffer de quelques degrés. Cet exemple se visite en Loire-Atlantique.

Correspondances joules/calories/wattsheure

		joule(s)	calorie(s)	watt(s)heure
1 calorie	... correspond à...	4,184	1	0,00162
1 joule	... correspond à...	1	0,239	0,00278
1 wattheure	... correspond à...	3 600	860,42	1

Si, par exemple, on veut élever la température d'une marmite d'eau de 10 l de 15 °C à 56 °C, il faudra lui fournir 410 000 calories (ou 1 715 440 J, ou 1 715,44 kJ, ou encore 0,47 kWh), soit 0,011 kWh par degré gagné ; inversement, en se refroidissant, les 10 l d'eau chaude restituent 0,011 kWh par degré perdu.

Quand la maison se refroidit, dans la nuit, les 10 l ne restituent pas leur chaleur d'un coup : selon notre exemple, ils mettent 12 h pour passer de 46 °C à 20 °C (dans une pièce qui est elle-même passée de 17,5 °C à minuit à 11 °C à 8 h du matin, les températures extérieures chutant de 13 °C à - 1 °C).

Avec un poêle de 8 kW, il est possible de chauffer 1 528 l d'eau en 8 h, en la faisant par exemple passer de 10 °C à 46 °C. Autre exemple : si vous faites passer 454 l d'eau de 5 °C à 46 °C, vous stockerez une énergie de 21,65 kWh. Si la puissance de votre poêle est de 8 kW, vous stockerez cette chaleur en $21,65/8 = 2,7$ h, soit environ 3 h.

Un stère de bois (1 m³) stocke environ 1 500 kWh. Imaginons que vous utilisez votre poêle 3 h par jour. Pour faire passer 454 l d'eau de 5 °C à 46 °C, vous donnerez à cette masse d'eau froide 24 kW par jour. Vous consommerez donc votre stère de bois en $1\,500/24 = 62$ jours. Le coût moyen du stère étant de 60 €, vous dépenserez de 1 à 1,2 € par jour pour chauffer cette masse, laquelle vous permettra d'avoir chaque matin 20 °C dans la pièce.

Notez aussi que cela signifie que votre habitat a une fuite de chaleur d'environ 24 °C par jour. L'isolation permettra de la réduire ; si vous reliez votre masse d'eau à un chauffe-eau solaire (voir page 83 et suivantes), vous réduirez encore la facture... Sans nécessairement avoir besoin d'une isolation type maison passive. À vous d'optimiser.

Faire entrer la chaleur ou la fraîcheur dans les matériaux de stockage

Rappelons que le principe d'une maison passive est de ne chauffer l'hiver qu'en dernier recours, pour utiliser son poêle ou sa chaudière au minimum et, l'été venu, de ne pas employer de moyen coûteux pour rafraîchir.

Chaque été, vous pouvez constater que la chaleur gagne peu à peu les profondeurs de la masse de votre maison : les parpaings si elle est en parpaings, les plâtres, le sol, le carrelage. C'est une imprégnation naturelle, qui s'opère par deux voies :

- les courants d'air chaud, qui déposent leurs calories sur les parois par convection (l'effet chauffant du vent est aussi important que son effet refroidissant) ;
- l'exposition directe aux rayons du soleil, par exemple quand ceux-ci réchauffent par radiation le carrelage du salon ou de la véranda.

Une maison passive se contente d'optimiser ces phénomènes naturels en organisant les flux de chaleur et de fraîcheur.

Commencez par observer votre maison ou votre appartement : vous avez un salon orienté au sud avec de grandes baies lumineuses ? Le sol y est recouvert de moquette ou d'un



Dans cet exemple, qui nous vient encore des Baronnet, notez le banc formé de bouteilles remplies d'eau prises dans le béton. C'est un grand stockeur de chaleur, qui permet de ne pas investir dans une véranda à double vitrage (quand il fait 10 °C à l'extérieur, l'intérieur de la serre est à 20 °C s'il a fait beau).

parquet flottant ? C'est ce qui explique qu'en hiver ce sol ne stocke pratiquement pas de chaleur. Pourquoi ne pas poser des tommettes en terre cuite de façon que les rayons du soleil les réchauffent ? Contre les chaleurs de l'été, vous devrez au contraire ajouter des stores.

Pourquoi, aussi, ne pas changer notre façon de penser le mobilier et le transformer en stockeur de chaleur ?

Pour créer des masses thermiques, nous recommandons l'emploi des briques en terre crue (voir la série d'exemples pages suivantes) : gratuites – dans la mesure où le matériau peut se récolter sur le terrain –, elle sont en outre très faciles à mettre en œuvre.

Pour faire une brique, il faut :

- prendre une terre sablo-argileuse, ramassée sous la couche d'humus ;
 - l'émotter, la débarrasser de ses éléments végétaux ;
 - l'arroser de façon à créer une pâte mi-molle, à la limite de la boue ;
 - laisser reposer 48 h pour que les mottes se délitent et que l'ensemble s'homogénéise ;
 - malaxer ;
 - réhydrater ;
 - incorporer de la paille hachée, voire des aiguilles de pin, de quelques centimètres de longueur (10 à 20 kg pour 1 m³, ou 30 % du volume de terre) ;
 - mouler dans un moule en bois de la dimension d'une grosse brique (bien araser la terre) ;
 - laisser sécher en retournant le moule tous les 2 ou 3 jours la première semaine, de temps en temps les 3 semaines suivantes.
- C'est sec en un mois.



Maison des Baronnet en Loire-Atlantique : au sud, une simple serre faite avec des verres de récupération isole la maison et concentre les rayons du soleil sur la masse des murs.

Capacité de stockage de chaleur (ou de froid) de matériaux courants
(valeurs par ordre de grandeur calculées pour 1 m³ de matériaux)

Matériaux	Caractéristiques	Matériaux	Caractéristiques
Eau	42 kWh	Sable	14 kWh
Pierre	23 kWh	Terre crue (adobe)	13 kWh
Béton	20 kWh	Terre	13 kWh
Brique	16 kWh	Bois	7 kWh

Un mobilier-masse thermique

La chaleur (comme la fraîcheur) peut être stockée dans tout ce qui est massif : si les cloisons intérieures sont concernées, le mobilier – canapé, table roulante, rayonnages d’une bibliothèque, etc. – peut l’être aussi. Des variantes presque infinies sont imaginables, et les baies vitrées permettent de créer beaucoup d’effets...

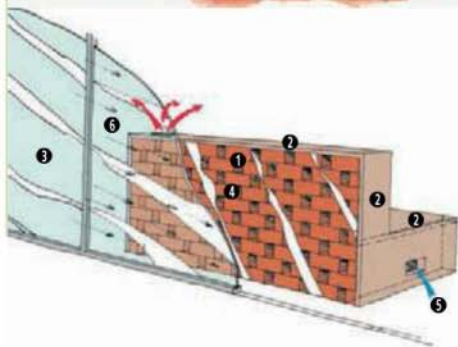
Mais il n’est pas toujours possible de placer des masses thermiques contre une baie vitrée ; si, par exemple, on installe un poêle de masse au centre de la maison pour qu’il chauffe toutes les pièces sans réseau de chauffage, et que l’on veut réchauffer cette masse sans devoir brûler du bois, il faut organiser la circulation de l’air chaud. Démonstration...

Un canapé de terre et de verre

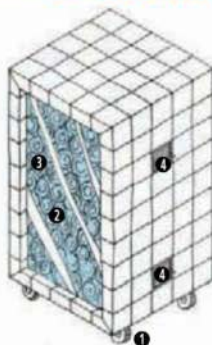


Sous un aspect classique, ce canapé cache une structure de briques de terre (1) de 750 kg (pour des dimensions de 2 m x 1 m), disposées en quinconce de manière que la chaleur puisse circuler. Sur les côtés, là où l’on pose les coussins, sur tous les angles (2), un enduit dur a été posé.

La chaleur des rayons du soleil est d’abord amplifiée par les baies vitrées du salon (3). À cela s’ajoute l’effet de serre obtenu grâce à une vitre de verre posée au dos du canapé (4), de façon que les briques de terre bénéficient d’un rayonnement maximal. Sur les côtés du canapé, une bouche d’aspiration reçoit l’air frais (5). L’air chaud ressort par une bouche placée à l’autre extrémité (6). Lors des journées d’hiver ensoleillées, on ferme les bouches d’aération du canapé. On les ouvre le soir venu, après avoir fermé les rideaux isolants de la baie (voir page 96) pour que la chaleur ne reparte pas dehors. L’été, on abaisse les stores et on couvre la face arrière du canapé d’un plaid isolant ; la nuit venue, on ouvre les bouches d’aération du canapé en même temps que les baies vitrées, de manière à y stocker le maximum de fraîcheur nocturne.



Le stockeur mobile

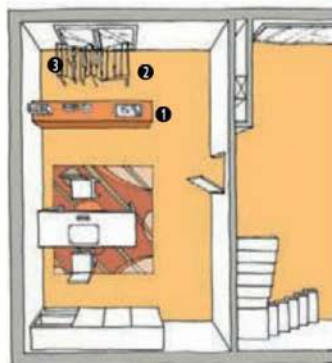


Ce meuble sur roulettes (1) doit être placé, durant les journées d’hiver ensoleillées, du côté de sa face vitrée (2) contre une baie bien exposée. Comme dans le cas du canapé, la vitre multiplie par deux l’effet de serre des baies vitrées.

À l’intérieur du stockeur, des bouteilles (« culs » vers la vitre) remplies d’eau (3) concentrent le rayonnement solaire et le stockent dans le liquide. La nuit venue, on déplace le stockeur où l’on veut dans la pièce et l’on ouvre les bouches d’aération (4).

L’été, pour stocker la fraîcheur, on sort le stockeur dehors le soir, en l’exposant si possible à la brise nocturne, et on le rentre le jour à l’abri du soleil en ouvrant les bouches d’aération.

Un sèche-linge un peu particulier



La pièce ici représentée, qui sert de bureau, est orientée plein sud. On y a élevé un muret en briques en terre crue (1) de 1 m de haut et de 50 cm de large (de façon à laisser libre la vue du jardin depuis le bureau). La nouvelle masse thermique est de 1 m³, soit presque 1 t.

Entre le muret et la baie vitrée, un espace de 1,5 m a été réservé (2). C'est ici que l'on fait sécher le linge à la sortie de la machine à laver (3). Double bénéfice : restitution de chaleur la nuit, économies d'électricité.

La fosse à chaleur

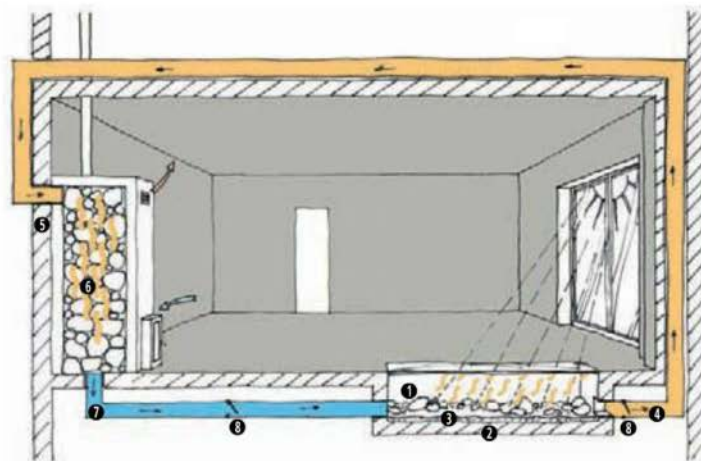
Devant la baie vitrée, dans le sol du salon, une fosse de 1,5 m de long, de 1 m de large et de 50 cm de profondeur a été creusée et recouverte d'une vitre (1). Ses parois ont été décorées d'une céramique dont la couleur sombre « boit » la chaleur. Au fond a été disposé un sable blanc (2), laissé apparent par endroits pour former un contraste intéressant avec des galets sombres disposés en tas (3).

Les rayons du soleil arrivent dans la fosse doublement concentrés par la vitre de la baie du séjour et celle de la fosse elle-même. Un tube (4) quitte la fosse avec l'air chaud et le conduit par une ouverture (5) à la masse thermique intérieure du poêle, constituée d'un empilement de galets superposés de manière à laisser des vides (6) par lesquels l'air se diffuse et communique sa chaleur aux pierres. Une autre bouche d'aération, en bas de la masse thermique du poêle (7), recueille l'air froid qui retombe naturellement vers la fosse.

Attention : la nuit, la fosse se refroidit et le courant d'air risque de s'inverser : c'est pourquoi on dispose des clapets antiretour dans les tuyauteries (8).

Enfin, en été, comme on est confronté à un surcroît de chaleur, on jette un tapis sur la fosse, tandis qu'on baisse les stores.

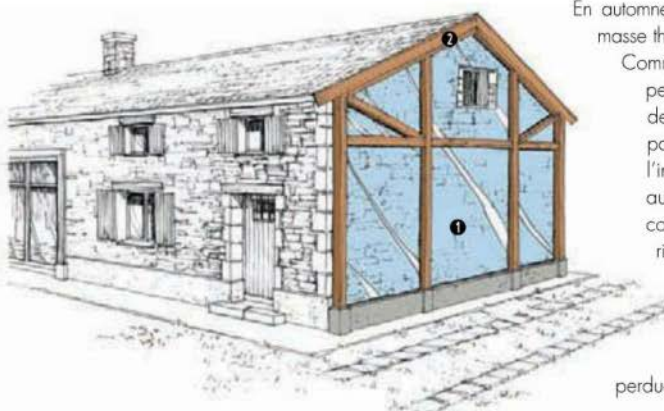
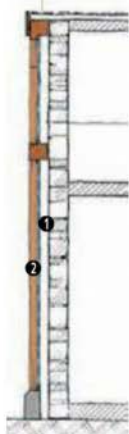
À savoir : 2 m² de verre assez solide pour qu'on puisse marcher dessus reviennent à... près de 2 200 €. L'idéal est donc de choisir un verre d'un prix abordable (200 €) et d'entourer la fosse de végétaux tropicaux qui en interdiront l'accès.



Éléments passifs en façade

« L'immobilier » peut lui aussi jouer un rôle très important dans le stockage de la chaleur et de la fraîcheur, si l'on respecte les principes d'une « low-technology », et d'un circuit le plus simple et direct possible.

Un mur sous vitres



Sur l'idée d'un ami, Patrick Quernez, de simples vitrages (1) ont été apposés sur la façade sud de cette maison, aux murs de 1 m d'épaisseur. Ces derniers stockent la chaleur tout au long des beaux jours. Leur masse est telle que la maison reste fraîche jusqu'à l'automne.

En automne et en hiver, les jours ensoleillés réchauffent encore cette masse thermique, qui a un important effet tampon.

Comme le montre la coupe du principe de montage, les vitres, peu épaisses (donc peu chères) (1) sont disposées le long de poutres (2) dissociées du mur. Attention : ce mur ne doit pas recevoir d'isolation intérieure et doit être bien isolé de l'intérieur avec un circuit d'air allant par exemple de la cave aux combles. Autrement, il y a un risque important de condensation. Par exemple, si en hiver la température extérieure est de -7°C , la température intérieure de 20°C , avec 50 % d'hygrométrie, le point de rosée sera à 9°C . la vapeur d'eau transférée de la maison via le mur sous le vitrage va condenser au contact de celui-ci et les précieuses calories solaires seront perdues car elles ne serviront qu'à assécher le sous-vitrage.

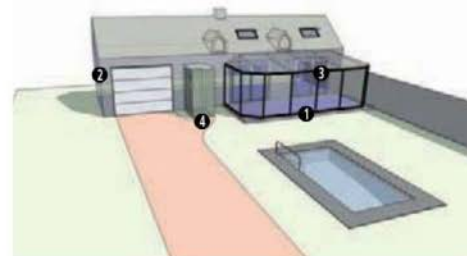
Une serre-véranda



Voici une maison de lotissement classique orientée plein sud. Sa façade principale est nue, d'où des problèmes thermiques.

La serre-véranda (1) ajoutée devant la maison permet en hiver de concentrer les rayons du soleil sur la masse des murs, tout en offrant une protection supplémentaire (le garage, à côté (2), joue le même rôle contre les vents d'ouest).

Les baies situées entre la serre et la maison (3) sont à double vitrage, ce qui permet d'isoler la maison de la serre quand il fait froid. Un sas (4) est prévu devant l'entrée.



L'isolation du sol

Comme nous l'avons vu page 17, 16 % de la chaleur (ou de la fraîcheur) de la maison fuient par le sol, ce qui représente un peu moins de 100 € pour notre ménage type qui dépense 600 € par an pour se chauffer. Au bout de 10 ans, ce sont quand même 1 000 € qui sont passés par là ! Pourtant, à 2 m de profondeur, la température est, été comme hiver, de 12 °C : il y a là comme une contradiction...

Nous voyons aujourd'hui peu de maisons construites sans vide sanitaire (jadis, il n'y en avait pas). Le vide sanitaire est ce plancher qui, au rez-de-chaussée, vous isole de la terre, censée être humide et dont il faut non seulement empêcher les remontées d'humidité, mais encore drainer toute l'eau pour l'envoyer dans le réseau d'eau pluviales.

En effet, l'ennemi de la maison, c'est l'eau, tant l'eau de pluie que l'eau du sol. Cette dernière remonte par capillarité, au point que dans les maisons mal construites on voit souvent, au bas des murs, de grandes auréoles, avec des moisissures qui se développent sur les peintures, les plâtres et le papier peint.

Le principe du vide sanitaire

Nos habitudes, comme la réglementation, imposent le vide sanitaire. Pour une maison de 100 m² au sol (vide sanitaire de 1,2 m de hauteur), sachez qu'il faut compter jusqu'à 20 000 € pour sa construction. En outre, les normes sur le terrassement ont fortement accru le coût des maisons posées à même le sol, tant et si bien que partout on généralise le vide sanitaire. Le grand problème est que ce dernier n'est pas isolé du froid de l'atmosphère qui passe par-dessous les fondations : il faut le protéger comme on le ferait d'un mur.

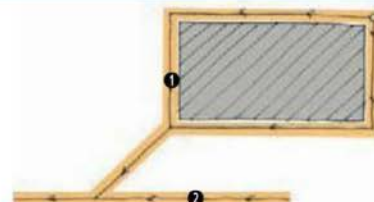
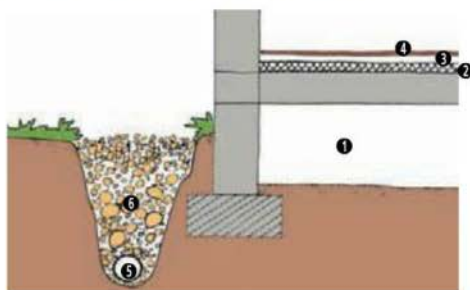
Toutefois, un vide sanitaire peut s'imposer sur des terrains en pente, où le ruissellement des eaux est plus important. Dans tous les cas, le drainage est incontournable : il faut en effet écarter au maximum l'eau et l'humidité de la maison. Les drains sont des tuyaux enterrés dans le sol chargés de cette fonction. Pour éloigner les eaux des murs, il est aussi possible de faire installer une toiture très débordante.

Une question pas si bête : pourquoi les fondations doivent-elles être enterrées ? Leur rôle est de répartir la charge de la construction, de conduire les forces dans le sol, en même temps

Systèmes classiques de lutte contre l'humidité

Le vide sanitaire (1) est fermé par une dalle de béton coulée à environ 40 cm au-dessus du niveau du sol. Il doit être protégé du froid par un isolant (2), par exemple un polystyrène extrudé spécial sol, sur lequel on coule une chape de béton (3). Sur cette chape sera posée une céramique (4), ou tout autre revêtement selon ses goûts.

En outre, on ceinture les fondations d'un drain (5), un tuyau de plastique souple percé de petits trous par lesquels entre l'eau. Pour que ces petits trous ne se bouchent pas, on recouvre le drain de graviers (6).



Le drain périphérique (1) évacue l'eau vers le réseau d'eaux pluviales de la commune (2). Ce réseau est distinct du réseau d'égouts, qui ne recueille que les eaux usées des toilettes, salles de bains et cuisines.

que de permettre à la maison de résister aux poussées du vent, en l'ancrant dans le sol. Mais notez que dans la Sarthe, par exemple, nombreuses sont les maisons simplement posées sur le sol qui sont debout depuis des siècles.

Dernier point : elles sont enterrées à une profondeur hors gel, afin de les protéger contre d'éventuelles dégradations. En région parisienne, cette profondeur est de 0,70 m.

Il n'est pas inutile de se demander comment rationaliser la réalisation des fondations, quand on sait par exemple quelle aberration écologique est le déplacement de la terre extraite pour leur creusement (de même d'ailleurs que pour les fossés de drainage), emmenée hors du terrain et remplacée par du gravier.

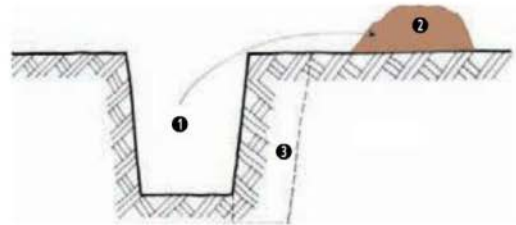
Stocker les calories dans le sol de la maison

Comment utiliser le sol le plus simplement possible pour chauffer la maison ? Eh bien, en évitant le vide sanitaire ! En l'absence de vide sanitaire, l'usage est d'intercaler un isolant entre la chappe et la dalle (qui supporte le carrelage). Disposé à plat sur le sol, il suit la périphérie de la maison sur 1 m au moins, quand il ne recouvre pas complètement sa superficie (cas le plus fréquent). Si on n'étalait pas un isolant à plat sur le sol, on sentirait le froid venu de l'extérieur en marchant pieds nus à proximité des murs.

Un système « tout en un » :

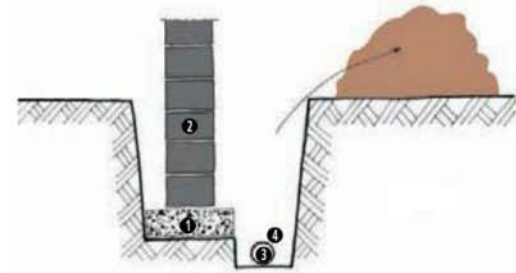
fonder, drainer, isoler, récupérer la chaleur

On commence par retirer la terre sur 1 m de profondeur (1). On la laisse en tas à côté du trou (2). Les traits discontinus représentent la tranchée du drain (3) : celle-ci doit être plus profonde de 20 ou 30 cm que la tranchée qui recevra le mur.



Dans la partie de la tranchée destinée à recevoir le mur, pour égaliser le fond, on a d'abord coulé un béton de propreté (1) (ne pas oublier de le ferrailer, c'est-à-dire de poser au fond de longues ferrailles en vente dans les grandes surfaces de matériaux).

Dessus, on a posé 6 rangs de briques Monomur (2).



Dans la partie de la tranchée réservée au drain, on a placé le tuyau du drain (3), qu'entoure un feutre géotextile (4).

Il faut donc cesser de penser les habitats séparés du sol. Deux stratégies bioclimatiques sont possibles, qui se combinent bien pour le plus grand bénéfice de votre porte-monnaie.

D'une part, il faut isoler la masse de terre sous la maison, de manière périphérique, pour empêcher le froid de gagner le cœur de l'habitat par en dessous.

Pour sa maison passive, Patrick Baronnet a ainsi monté un double rang de briques à partir de 1 m de profondeur. Sous nos latitudes et en Loire-Atlantique, le froid de l'hiver et la canicule en été ne descendent jamais aussi profondément. Mieux encore, en « isolant » ainsi une énorme quantité de terre, il a constitué une extraordinaire masse thermique (voir le cas pratique n° 5, page 75). L'idéal est bien d'adopter une stratégie constructive économe de ce type, consistant à réaliser fondations, drainage, isolation et système de récupération de la chaleur ou de la fraîcheur du sol en une seule fois. Ce principe peut vous permettre de réaliser d'importantes économies. Le système « tout en un » décrit ci-dessous vous reviendra ainsi à 10 000 € seulement.

Capter l'air chaud

Si nous décidons aussi de stocker la chaleur du printemps et de l'été dans les sous-sols de nos maisons pour ne plus les chauffer l'hiver, comment ferions-nous ?

Pour cela, il faut commencer par installer un capteur d'air chaud, autoconstruit ou

On rebouche la tranchée avec la terre (1). La terre en surplus est répandue derrière le mur (2), définissant le niveau du sol intérieur de la maison.

À présent, on installe le plancher. Si l'on ne veut pas travailler de façon humide (coulage d'une dalle, puis d'une chape, nécessitant bétonnière + sable + cailloux + ciment + eau, et des manutentions longues et pénibles), on se contente de constituer un hérisson sommaire : ici, 10 cm de cailloux (3).

À intervalles réguliers, on place des parpaings (4), sur lesquels on fixe des solives (5).

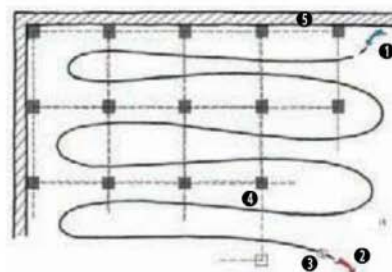
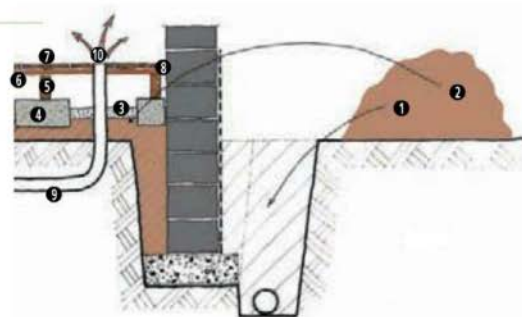
Dessus, on visse des plaques OSB4 (6).

On peut poser sur celles-ci un parquet flottant prédécoupé (7), d'un emploi aisé et que l'on trouve facilement en grandes surfaces.

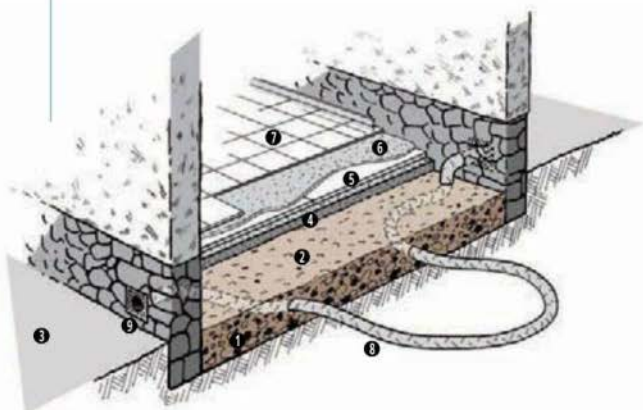
L'intervalle (8) ménagé entre le bord du plancher et le mur périphérique permet les échanges d'air et les échanges thermiques : le sol sous le plancher respire, ce qui évite les saturations d'humidité.

Enfin, pour faire remonter le maximum de fraîcheur ou de chaleur, selon la saison, on fait serpenter un tuyau (9), une gaine EDF étanche de 1,5 cm de diamètre ; les flèches montrent le point de sortie de l'air (10), dont la température hiver comme été atteint 12 °C.

Voici la façon dont le tuyau d'échange thermique entre la masse souterraine et le volume de l'habitat serpente sous le plancher : l'air entre en (1), sort en (2) et circule grâce à un petit ventilateur (3). (4) représente les parpaings sur lesquels repose le plancher et (5) le mur en briques Monomur.



Comment se débarrasser de l'humidité en excès du sol sous la maison ?



C'est la vision traditionnelle et anti-écologique que nous vous présentons ici. Le sol sous la maison est composé de pierres mises en tas, les plus grosses dessous (1), les plus fines dessus (2), constituant le hérisson (3). Sur ce hérisson une dalle est coulée (4) – ici isolée par des plaques de polystyrène extrudé (5), puis une chape (6), laquelle recevra le carrelage (7). Dans le hérisson, des drains (8) reliés à l'extérieur (9) permettent d'extraire l'humidité.

Bioclimatiquement, ce système pose deux problèmes : les ventilations sortent la chaleur de la terre sous la maison... qui ne peut en bénéficier puisqu'elle est isolée de la terre, ici par une matière que nous n'aimons guère (mais qui est parfaitement hydrophobe), le polystyrène extrudé.



Capteurs d'air chaud placés sur la façade sud d'un refuge en haute montagne.

disponible à la vente : nous vous présentons ici l'exemple d'une société allemande, Twinsollar. Leur capteur d'air chaud est équipé d'un petit panneau photovoltaïque, qui fournit l'électricité nécessaire à la mise en route du ventilateur inséré dans le capteur. Pour une maison autonome en électricité, c'est une économie et la certitude que le système ne marchera que par temps ensoleillé.

Il s'agit donc d'une soufflerie d'air chaud fonctionnant par temps ensoleillé, à laquelle vous pouvez donner plusieurs destinations :

- le simple réchauffement de l'air dans une pièce, sans travaux supplémentaires autres que l'ouverture d'une bouche d'entrée de l'air chaud, aussi discrète qu'une VMC ;
- un réseau de gaines peut également envoyer l'air chaud dans des pièces humides et mal exposées, ce qui permet de réduire l'hygrométrie d'un bâtiment par une ventilation parfaitement naturelle, mais qui ne le refroidira pas – ce qui en fait un outil intéressant pour les maisons de vacances ou de week-end, inhabitées durant de longues périodes ;
- une option, grâce à une « Solarbox », qui est un échangeur air-eau, permet aussi de chauffer un ballon d'eau chaude ;
- enfin, il est possible de réchauffer par en dessous la chape en béton ou en chaux qui supporte le sol de votre maison.

Cependant, vous devez savoir que le sol doit évacuer ses excès d'humidité : en général, cela se fait par un drainage qui ouvre la dalle sur le dehors, donc représente une fuite thermique incompatible avec l'esprit du bioclimatisme.

Nous verrons comment remédier à cela, précisément grâce à un capteur d'air chaud.

Par ailleurs, il est possible de récupérer la chaleur des eaux de drainage (les eaux chaudes de la salle de bains, de la cuisine, des lave-linge et lave-vaisselle). Le sous-sol de la maison a un rôle majeur à jouer pour cela.

Nous verrons ensuite plusieurs adaptations de tous ces systèmes à des maisons déjà existantes, dérivés des modèles courants dans la littérature écologique des captages d'air chaud – mais inadaptables aux constructions déjà existantes. Il n'y a vraiment plus d'excuses à continuer de perdre de l'argent pour se chauffer.

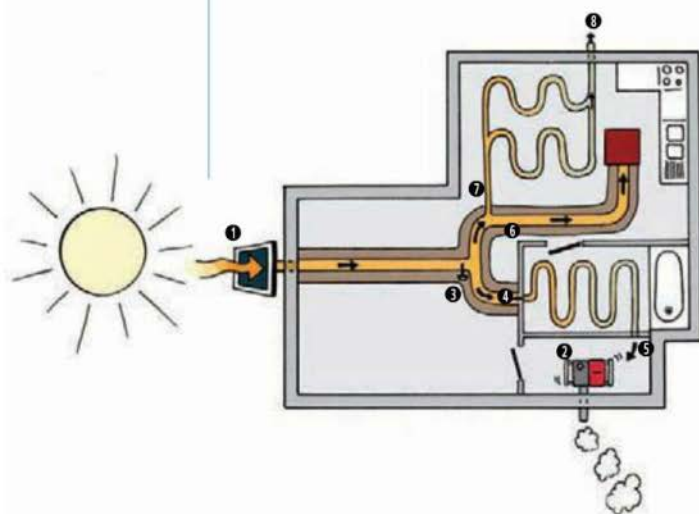
Principe de fonctionnement d'un capteur solaire d'air chaud



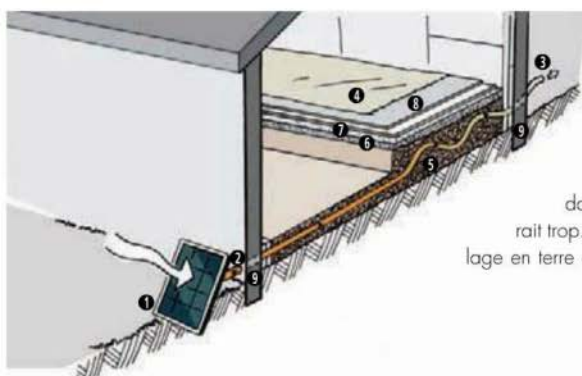
L'air frais entre en (1) grâce à la dépression créée par le ventilateur (2), relié à un capteur solaire photovoltaïque (3) qui lui fournit l'électricité nécessaire à son fonctionnement (pour l'arrêter, il suffit donc de le couvrir). L'air chaud ressort en (4), prêt à être utilisé dans l'habitat.

Diriger l'air chaud dans le sol

Plan au sol de trajets possibles - prototype Arca Minore



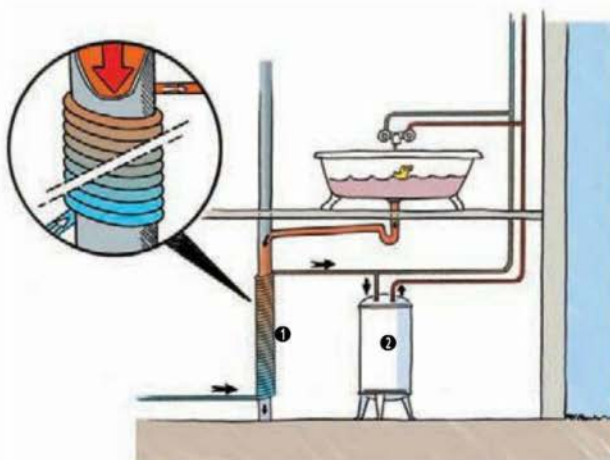
Coupe de principe du stockage de chaleur dans la grande pièce - prototype Arca Minore



Entrée de l'air chaud du capteur (1) pulsé par ventilateur (2). Sortie d'air (3). Afin de commencer le chauffage du sol dès le printemps, un tapis isolant est étalé (4). Il s'agit d'un tapis classique sous lequel a été disposé un isolant mince thermo-réfecteur, chargé de renvoyer le rayonnement thermique émanant de la dalle vers celle-ci (sur le mécanisme du renvoi thermique, voir page 20). Sans ce tapis isolant, il faudrait commencer la montée en chaleur plus tard dans la saison, par exemple au milieu de l'été, car l'habitat se réchaufferait trop. (5) = hérisson ; (6) = dalle en chaux ; (7) = chape en chaux ; (8) = carrelage en terre cuite ; (9) = rupture de pont thermique (plaques de polystyrène extrudé).

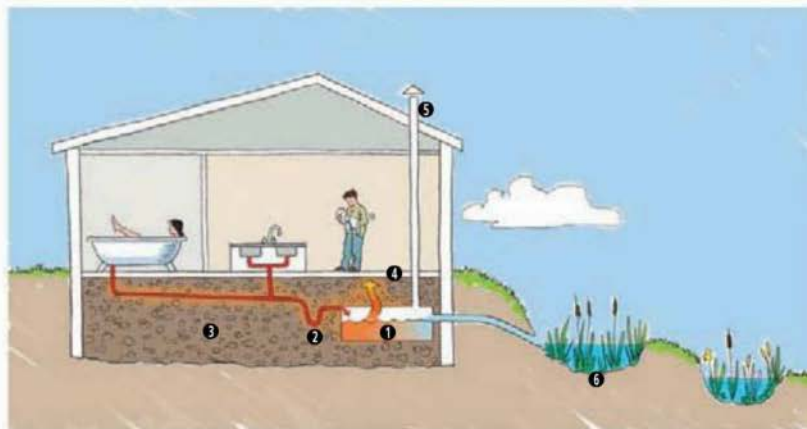
Récupérer la chaleur des eaux usées

Système Powerpipe®



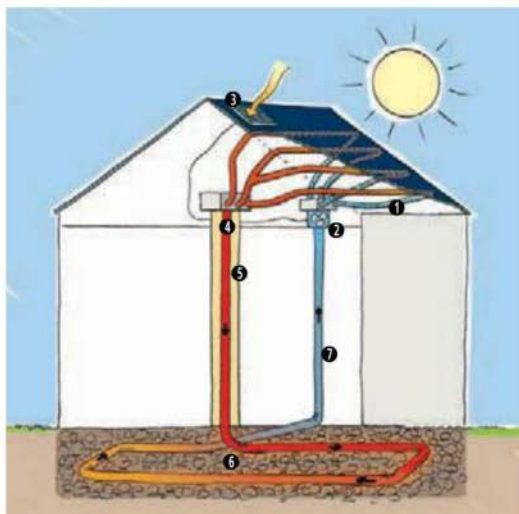
Une société canadienne, Solénove, diffuse actuellement en France le système Powerpipe® : un échangeur de chaleur, en fait de simples tubes de cuivre enroulés autour des canalisations d'évacuation par où passent les eaux chaudes (1), va récupérer leur chaleur pour la reconduire dans le ballon d'eau chaude (2).

Un système simplifié



L'ensemble des eaux usées rejoint une cuve (1), après avoir franchi un siphon (2) qui empêche les remontées d'odeurs. Là, elles perdent leur chaleur dans le hérisson (3) qui soutient la dalle (4). Un tuyau d'aération permet d'évacuer les odeurs (5). À la prochaine douche, le flux d'eaux usées chaudes va chasser les eaux stagnantes qui auront perdu leurs calories dans le hérisson. Ces eaux débouchent dans une phytoépuration naturelle (6) – voir page 183.

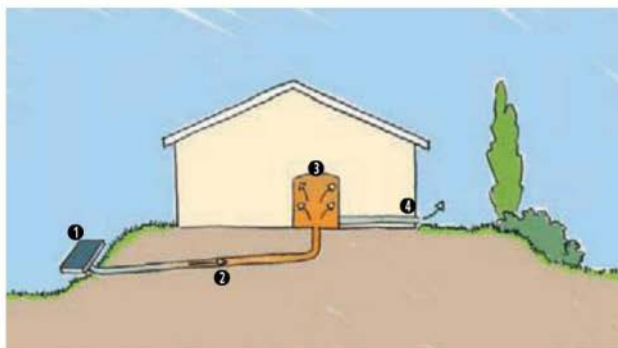
Quelques exemples



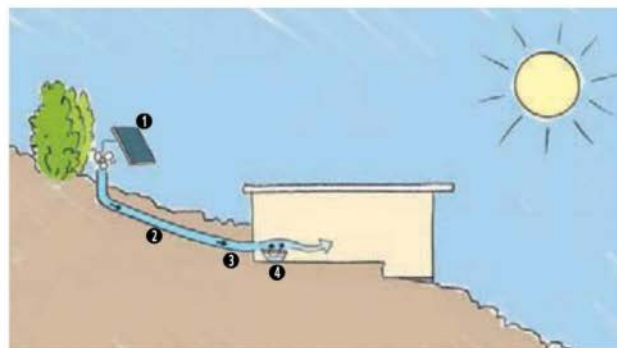
Dans cette maison à toiture en ardoise, donc noire, la chaleur est maximale entre les chevrons, entre toiture et isolant, quand le soleil brille. Il faut savoir que sur un toit, la température peut monter jusqu'à 70 °C. Des gaines noires creuses (1), habituellement utilisées pour faire passer des fils électriques et disponibles en grande surface, ont donc été placées juste sous les tuiles et raccordées à un ventilateur (2), lui-même branché à un petit panneau photovoltaïque (3).

Les gaines se rassemblent ensuite dans une grosse gaine (4), bien isolée (5), et le flux d'air chaud se dirige vers la masse thermique du hérisson, soit une bonne dizaine de tonnes installée sous la maison (6). L'air remonte ensuite vers le toit, toujours grâce au ventilateur (7).

Grâce au panneau photovoltaïque, qui met en route le circuit seulement s'il y a du soleil, le système se régule de lui-même : si le temps est couvert, il ne fonctionne pas, car un air trop froid refroidirait la masse thermique.



Dans cette maison des années 1970 construite sur une butte de terre, un capteur thermique autoconstruit (1) envoie de l'air chaud (2) à une masse thermique située au centre de la maison (3), derrière une cloison intérieure. L'air froid repart ensuite derrière la maison (4).



Installation d'un capteur d'air chaud (1) devant un puits canadien trop court (2). Cette technique permet de bâtir un puits canadien avec seulement une dizaine de mètres de recul (alors que celui-ci en nécessite théoriquement 50).

Si le réchauffement devient plus aisé en hiver, qu'en est-il alors en été quand on attend de la fraîcheur ? Cette section trop courte limite en effet les performances du puits. En fait, dans ce cas cependant très spécifique, le puits est aussi un puits de rafraîchissement à gravité où l'air froid (3) (plus lourd) coulera vers la maison en contrebas, éventuellement humidifié en sortie en passant sur une jarre remplie d'eau fraîche (4).

Gérer la vapeur d'eau

Qui, en montagne, n'a jamais vu passer des nuages poussés par le vent lesquels, remontant le long d'une pente, crevaient, à un moment, en pluie ? À quoi cela est-il dû ? L'atmosphère perd en moyenne 1°C dès qu'on s'élève de 150 m : les nuages étant saturés de vapeur d'eau, il arrive un moment où, le refroidissement aidant, cette vapeur retombe en pluie.

Ce moment où la vapeur se transforme en eau liquide a un nom particulier : c'est le point de rosée. La météo nous le donne régulièrement, en marge de ses bulletins : « Point de rosée = 12°C », par exemple lors d'un mois de juillet.

C'est le même phénomène lorsque, la température s'abaissant la nuit, le sol et la végétation se trouvent à l'aube ruissellant de gouttelettes ; celles-ci résultent de la condensation de la vapeur d'eau des basses couches de l'air. Plus un air est froid, moins il peut contenir d'eau en suspension. D'ailleurs, au fur et à mesure que le soleil réchauffe le sol, les gouttelettes se re-subliment en vapeur d'eau.

À 0°C , 1 kg d'air ne peut contenir plus de 3,8 g d'eau : au-delà, la vapeur se transforme en gouttes ; en revanche, à 20°C , 1 kg d'air peut contenir un peu plus de 14 g d'eau. Mais au-delà l'eau retombe en pluie. (Pour information, 1 kg d'air occupe un espace d'environ 800 l.)

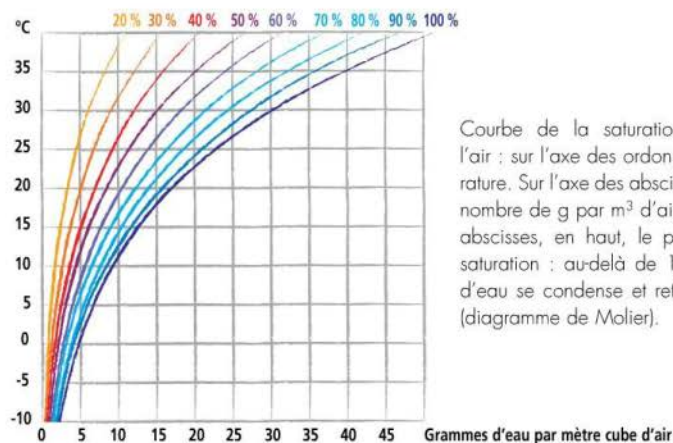
Un habitat, qu'il soit maison ou appartement, se comporte exactement de la même manière que l'écosystème global vis-à-vis de l'air et de la vapeur d'eau : il est parcouru de courants d'air, doit renouveler et purifier son air, et il contient – dans ses murs et dans ses sols – des lieux plus froids où la vapeur d'eau se condense, causant des infiltrations, éventuellement des moisissures et, toujours, des fuites de chaleur. Ainsi, il n'est pas rare qu'un habitat échange avec son environnement près de 500 l d'eau par an ! Il suffit donc que dans une paroi la température soit inférieure au point de rosée pour que se produisent des condensations. Par exemple, à 20°C et 50 % d'humidité, 1 m^3 d'air contient 6,6 g d'eau et le point de rosée est de $9,5^{\circ}\text{C}$.

Il faut donc que la vapeur d'eau puisse sortir aisément : pour cela, on peut renouveler l'air (par ce biais, on sèche en quelque sorte les cloisons). Solution parfaitement anti-écologique, puisque cela fait perdre de la chaleur. La solution écologique, elle, consiste à établir des murs assez perméables pour conduire la vapeur d'eau hors de l'habitat.



Fonctionnement hygrométrique d'un mur en ossature-bois. La pression de la vapeur d'eau va donc se diriger de l'intérieur de l'habitat vers l'extérieur, le principe étant de ne lui opposer aucune résistance. Sur cette photo, le pare-vapeur (en bleu) est directement collé contre les montants de l'ossature grâce à une bio-colle. De manière à assurer une ventilation entre le pare-vapeur (et le protéger, car c'est un papier très fragile) et les lambris, des tasseaux sont vissés horizontalement et le lambrisage (ici en bois massif) est fixé horizontalement. Dessous (au niveau du plancher) et dessus (juste sous le plafond), un espace est laissé, de façon à ce que l'air puisse circuler. Au premier plan, on voit les plaques de laine de bois qui ont servi à faire l'isolation.

Vapeur d'eau et renouvellement d'air : le couple fondamental



Un point de rosée dans chaque maison et appartement

Succinctement, le phénomène de condensation dans les parois se déroule ainsi : l'hiver, par exemple, la température diminue progressivement de l'intérieur vers l'extérieur d'un mur jusqu'à atteindre le point de rosée. Si de la vapeur d'eau a pénétré jusqu'à ce point, elle se condense.

Or, que se passe-t-il dans le cas d'un mur en béton ? Celui-ci étant pratiquement imperméable et représentant un pont thermique parfait (voir page 18), la vapeur d'eau se condense à l'endroit où le mur jouxte l'isolant, le plus souvent une laine minérale. Mouillée, celle-ci cesse de jouer son rôle... C'est pourquoi il convient d'assurer, dans une maison classique, une ventilation presque permanente : c'est la ventilation mécanique « contrôlée » (« VMC »), avec une prise d'air dans les pièces les plus sèches et une sortie dans les pièces les plus humides (cuisine, salle d'eau), qui répond à des normes drastiques.

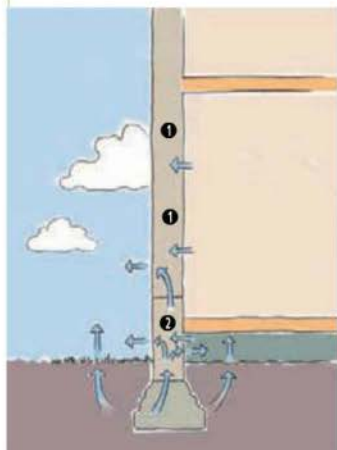
Ainsi, un logement de 4 pièces doit-il renouveler son air de 90 à 185 m³... par heure. Un tel logement représente 300 m³ d'air ; or, par 24 h, un être humain respire une vingtaine de mètres cubes d'air (soit 20 kg environ !). Un logement sous VMC puise donc et rejette un minimum de 2 160 m³ d'air quand ses 4 occupants n'ont besoin dans les mêmes 24 h que de 80 m³ d'air !

Une ruse a donc consisté, pour ces logements imperméables, à mettre un pare-vapeur étanche à l'air devant l'isolant... Sauf que de l'eau peut se retrouver derrière, par suite de remontées capillaires du sol, ou simplement parce que le pare-vapeur est troué par endroit ou mal mis en œuvre. Et là, la VMC la plus puissante du monde ne peut plus rien.

Fonctionnement hygrométrique d'un mur traditionnel non isolé

L'air chaud intérieur étant plus dilaté que l'air froid du dehors, il exerce une pression vers l'extérieur (1) ; en hiver, par exemple, il cherche à sortir, entraînant sa vapeur d'eau avec lui. Ici, cela ne pose aucun problème : sur ce mur traditionnel en terre, la vapeur

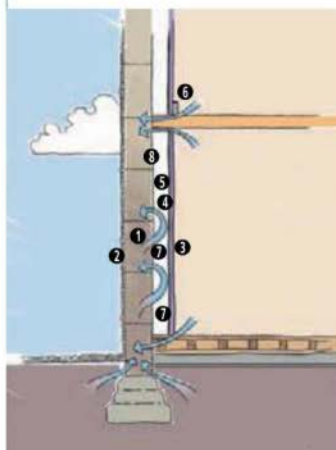
va tranquillement s'évaporer, rien n'empêchant son passage. Notez qu'il se produit une imprégnation d'eau des murs par la base (2), même maçonnerie comme de rigueur sur 60 cm au moins, car l'eau remonte des sols par capillarité. Cette eau, comme celle conduite par l'évacuation de la vapeur d'eau, va s'évaporer.



Fonctionnement hygrométrique d'un mur en parpaings

Ici s'associent presque toutes les erreurs imaginables pour le fonctionnement hygrométrique. La surface extérieure des parpaings (1) a été noyée sous un enduit étanche (2). Les faibles qualités respirantes du bloc béton sont complètement annihilées par ce procédé. L'isolation par l'intérieur, qui juxtapose

plaques de plâtre (3), pare-vapeur (4) et laine minérale (5), n'empêche pas l'entrée de la vapeur d'eau en certains points (ici un câble électrique, en 6), tandis que l'eau du sol remonte par capillarité dans le mur, d'où elle ne pourra s'évacuer que par la face interne de celui-ci (7). Dans cet exemple, le point de rosée (correspondant à la température extérieure, ici de 5 °C) se situe précisément en (8). À cet endroit, des gouttes se forment, humidifiant en permanence la laine minérale qui perd définitivement ses capacités isolantes : des moisissures se développent, qui peuvent causer rhinites, allergies, asthme...



L'évacuation « bio » de la vapeur d'eau

Comment donner à toutes les parois l'efficacité « respirante » d'un mur en terre traditionnel ? Comment leur permettre de « respirer » ou, plutôt, de bien suer ?

Première observation : il existe une différence de pression entre air intérieur et air extérieur qui conduit naturellement la vapeur vers le dehors. Conclusion : aucun matériau ne doit s'opposer à ce transfert. Tout matériau doit être (relativement) poreux.

En France, la perméabilité (P_i) est définie en gramme (d'eau) par mètre carré, par heure, et par millimètre de mercure (pour tenir compte de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur).

Résistance (« R ») au passage à la vapeur d'eau = épaisseur mur/ P_i ;

Perméance (« P ») au passage de la vapeur d'eau = $1/R$.

La perméance doit croître de l'intérieur vers l'extérieur : plus son chiffre est faible, plus le matériau est poreux.

Comment faire pour que l'eau sorte plus rapidement du mur qu'elle n'y entre ? Il faut que le mur extérieur soit plus perméable à la vapeur d'eau que le mur intérieur (5 fois selon la réglementation britannique).

Prenons à présent l'exemple de l'Allemagne (volontairement, car les meilleurs isolants bio viennent de ce pays). Là-bas comme en France, un coefficient a été calculé pour estimer la perméabilité des matériaux à la vapeur : chaque matériau dispose de son coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau, μ . Plus μ est grand, moins un matériau laisse passer la vapeur d'eau. Pour connaître la résistance d'un mur à sa pénétration par la vapeur d'eau, on multiplie son épaisseur par μ ...

Revenons à la France et imaginons le mur d'une maison en bois. Si la perméance à l'intérieur est de 0,015 et la perméance de la couche extérieure de 0,3, le rapport est de $0,3/0,015 = 20$, soit un bon rapport. Il y a 4 classes de perméance : 0,015 ; 0,06-0,015 ; 0,3-0,06 ; supérieur à 0,3 (chaque chiffre représentant, comme nous le disions, des grammes (d'eau) par mètre carré, par heure, et par millimètre de mercure).



Du côté extérieur, le pare-pluie (1) a été agrafé sur des panneaux d'Agepan (2). Sa perméabilité est forte : si on s'en rapprochait, on noterait à sa surface des trous semblables aux pores de la peau. Le pare pluie est disposé en longues feuilles qui se recouvriront ultérieurement de bas en haut, comme des écailles, et seront collées les unes aux autres par de longues bandes d'adhésif ou du mastic-colle de couleur noir (prototype Arca Minore).



Dans cette maison écologique en bois, ce matériau est également présent sur 90 % des murs de la salle de bains. Mais il y a peu de problèmes de condensation. En effet, le mur qui sépare cette pièce du dehors est en bottes de paille, avec enduit terre à l'intérieur et à l'extérieur. La vapeur d'eau sort donc tout naturellement.



Mur en ossature bois côté intérieur. Pour protéger l'ossature bois des remontées capillaires du sol, les éléments sont appuyés sur une bande étanche (en plastique noir) qui s'interpose entre la maçonnerie et le bois. On voit à droite le remplissage de la structure avec des panneaux de laine de bois (1), qui seront recouverts d'un freine-vapeur, un papier semi-perméable soigneusement collé sur les montants de l'ossature. Si on l'agrafe en plus, on devra recouvrir toutes les agrafes d'une pastille... C'est dire le soin qu'il faut accorder à la mise en place de ce freine-vapeur (prototype Arca Minore).

La ventilation

Certes, il n'y a que 1,2 kg d'air par mètre cube, mais une pièce ventilée perd vite sa chaleur par frottement des molécules d'air froid sur les parois plus chaudes ; ces molécules sont entraînées par le mouvement de convection naturelle créé par l'ouverture d'une fenêtre (succinctement, le bas de la fenêtre voit entrer l'air froid, tandis que le haut voit fuir l'air chaud).

Comment faire autrement quand, pour des raisons sanitaires, il faut aérer chaque pièce 30 min par jour, fenêtres grandes ouvertes ?

Comment, grâce à la ventilation artificielle ou naturelle, « régler » la masse thermique de votre maison, c'est-à-dire faire en sorte qu'elle ne monte pas trop vite en chaleur pour éviter de se retrouver avec des murs qui rayonnent leur chaleur tandis que le soleil darde ses rayons au-dehors, et qu'elle ne se refroidisse trop vite en hiver ?

C'est un exercice difficile, car vous aurez souvent constaté que l'air chaud s'accumule au plafond, qu'il réchauffe. L'été, si votre toit est végétal, sa masse thermique est donc chauffée à la fois par le dessus et le dessous ; encerclée par la chaleur, la maison perd au fil de l'été ses propriétés isolantes.

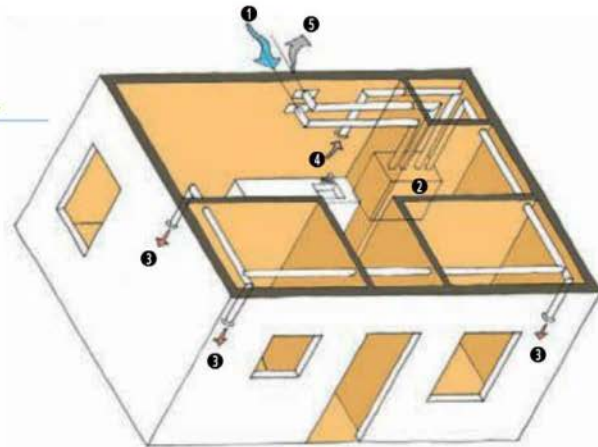
L'air chaud, léger, monte, l'air froid, lourd, tombe, se répand un peu comme une eau dans toute la pièce, en commençant par le bas. Un autre acteur contribue à la ventilation naturelle : le vent, qui pousse les masses d'air dans la maison.

Et quand il n'y a pas de vent ? Du côté nord de votre maison, l'air, plus froid, donc plus lourd, est en surpression ; côté sud, l'air, plus chaud, plus léger, est en sous-pression. Rappelez-vous la météo : entre basses et hautes pressions s'établit toujours un courant d'air. L'air chaud montant vers le haut crée un effet de vide qui aspire l'air froid plus lourd, lequel va s'échapper vers ce vide relatif... Ainsi est créé un courant d'air entre les deux parties de

Aérer sa maison sans perdre la chaleur



La centrale de ventilation mécanique à récupération de chaleur du constructeur Lifebreath. (Photo société Lifebreath.)



Une ventilation mécanique à récupération de chaleur nécessite l'installation d'un réseau dans la maison. (1) : air neuf mais froid provenant de l'extérieur. (2) : centrale de ventilation ; c'est là que l'air vicié, mais chaud, à rejeter, donne ses calories à l'air froid venant du dehors. (3) : bouches d'aération pulsant l'air neuf réchauffé dans la maison. (4) : bouche d'aération permettant à la centrale de ventilation d'aspirer l'air chaud vicié. (5) : air vicié refroidi rejeté à l'extérieur.

la maison, l'air chaud montant, l'air froid coulant en sens inverse dans la partie inférieure. Selon les cas, il va donc falloir que la ventilation artificielle ou naturelle apporte dans la masse chaleur ou fraîcheur : présentation de la ventilation mécanique à échange de chaleur et de la ventilation « bio ».

La ventilation mécanique à échange de chaleur

Dans une salle de bains, ou dans d'autres pièces, votre oreille a souvent été attirée par le bruit persistant d'un moteur : c'est la ventilation mécanique « assistée », qui a pour rôle de renouveler l'air dans la maison et d'empêcher l'installation de l'humidité. Elle renouvelle entièrement l'air de la maison toutes les 4 ou 6 h.

Une ventilation mécanique simple fait perdre 20 % de sa chaleur à une maison, soit, pour notre ménage type, près de 150 € par an, ou 1 500 € en 10 ans. La ventilation mécanique assistée à récupération de chaleur, elle, lutte contre ces pertes.

L'idée, géniale, de ce système, est de se servir de la chaleur de l'air intérieur qu'il faut rejeter pour réchauffer l'air qui vient de l'extérieur afin de renouveler l'atmosphère intérieure.

Le principe est intéressant dans les pays nordiques car, quand vous aérez, vous faites entrer un air extérieur qui est parfois à -40°C ; il l'est moins en zone tempérée, mais le redevient à notre sens en France continentale ou en site montagneux.

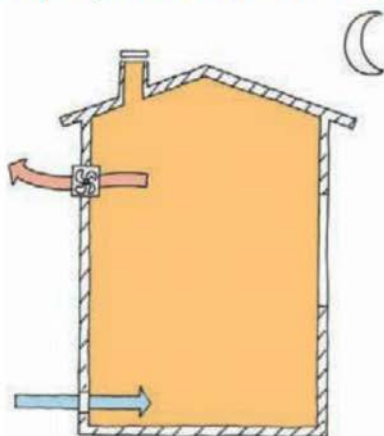
Le prix moyen du matériel est de 2 000 € environ, plus 3 000 à 4 500 € pour la pose. Cette solution est donc relativement onéreuse pour une maison individuelle ; elle semble plus appropriée à l'habitat collectif.

La ventilation et la climatisation naturelles

Dans les régions tempérées, on peut ventiler naturellement les pièces en leur faisant perdre peu de chaleur (en hiver) ou de fraîcheur (en été).

En hiver, il faut changer l'air d'un seul coup : éteignez les appareils de chauffage, ouvrez tout en grand, portes et fenêtres, pendant 5-10 min, puis refermez. Murs et meubles

Un ventilateur tout simple pour les nuits de canicule



Si votre maison n'est pas convenablement orientée, afin d'accélérer le passage de l'air frais la nuit, placez un ventilateur en position haute.

n'ayant pas eu le temps de refroidir, leur chaleur résiduelle ramènera vite l'air à une température de confort. Car n'oubliez pas : c'est moins l'air que la présence (ou l'absence) de radiations thermiques qui chauffe ou refroidit.

En été, la nuit, si vous avez la possibilité d'ouvrir toutes les portes et fenêtres, vous créez un courant d'air frais qui emportera la chaleur au-dehors – pour empêcher l'intrusion des moustiques, il est alors nécessaire de munir vos baies de « moustiquaires », des cadres de bois spéciaux fermés par une gaze, qui peuvent éventuellement coulisser sur des rails.

Une autre solution, pour refroidir une masse thermique surchauffée, consiste à installer une fenêtre de toit au point le plus haut de la toiture : on l'ouvre la nuit venue pour rafraîchir la maison. Le jour, des stores devant la fenêtre sont absolument nécessaires.

Le puits canadien

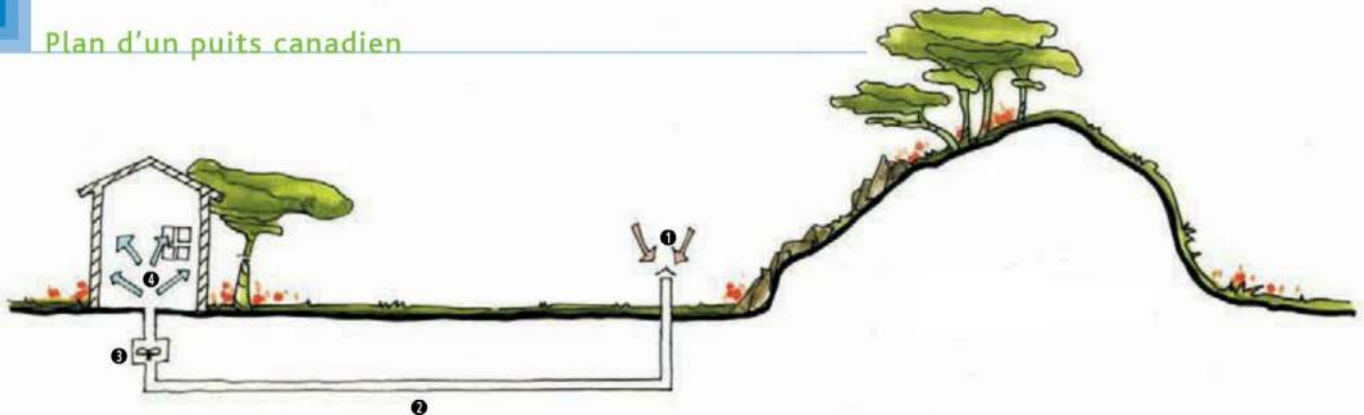
L'idée est, puisque à 2 m de profondeur, en France, la température est toute l'année à 12 °C, de prendre l'air extérieur, de le faire circuler 2 m sous terre, pour le faire ressortir dans la maison après un trajet d'environ 50 m (voir aussi le cas pratique n° 7, page 78). L'installation vous coûtera de 500 € (si vous la réalisez vous-même) à 3 000 €.

Sachez que s'il est coûteux d'amener un air de 0 °C à 12 °C, il est relativement facile de le conduire de 12 °C à 20 °C : mathématiquement, par un jour d'hiver, vous réduisez grâce à un puits canadien votre facture d'énergie de... 60 %.

Dans le cas des appartements, la copropriété peut décider d'une installation collective, à la condition que le parcours souterrain soit suffisant. Si l'immeuble possède un jardin, ou toute emprise sur le sol naturel (courette, pourtours), le puits peut s'ouvrir là, puis circuler dans la cave, et ensuite distribuer l'air dans les appartements.

Vous pouvez associer un puits canadien à une ventilation à récupération de chaleur (comptez environ 9 000 €). Mais à notre sens, l'association des deux systèmes n'est guère rentable telle quelle...

Plan d'un puits canadien



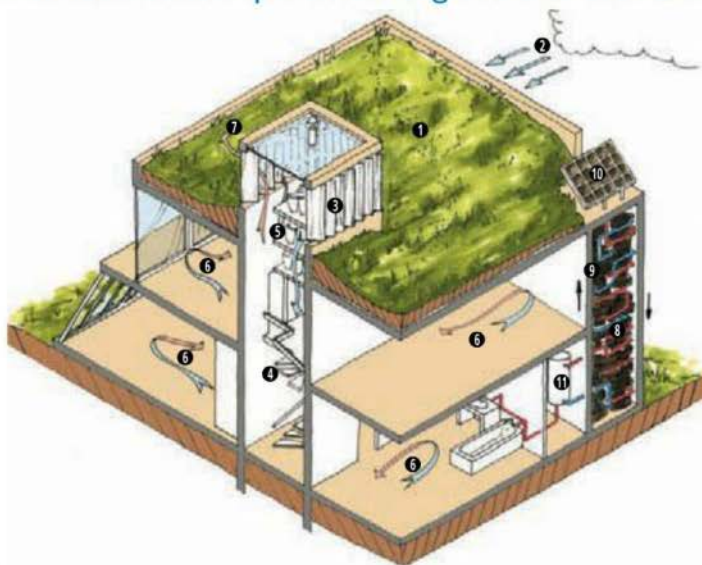
Succinctement, l'air chaud ou froid entre au point (1), se réchauffe ou se refroidit sur son parcours (2) et, extrait par un petit ventilateur (3), ressort à 12 °C dans la maison au point (4). L'hiver, il n'y a plus qu'à faire passer l'air de 12 °C à 19 °C ; l'été, si la maison est bien ombragée, cet air doit éviter le recours à un climatiseur.

La tour à vent

Les tours à vent trouvent leur origine au Moyen-Orient, notamment en Iran : de forme rectangulaire, elles dominent des maisons ayant jusqu'à deux niveaux (soit 7 m). C'est en effet à 7-12 m au-dessus du sol surchauffé que se rencontrent des courants d'air plus frais. Elles s'adaptent parfaitement à nos régions, et fonctionnent d'autant mieux qu'on y associe les techniques de la maison passive décrites précédemment.

Ainsi, dans l'exemple donné ci-dessous, de vieux pneus jouant le rôle de stockeurs de chaleur ont été dissimulés derrière les cloisons immaculées et très isolées de l'habitat : l'été, ils boivent les calories du soleil distribuées par les panneaux solaires, qui seront redistribuées l'hiver. Dans les maisons bioclimatiques, tout ce qui peut faire office de masse thermique est bon à prendre : le carbone de pneus est l'un des meilleurs stockeurs de chaleur qui existe ; en même temps cette utilisation permet de « recycler » un produit de rebut dont l'élimination est coûteuse.

Maison contemporaine intégrant une tour à vent



Au-dessus de la toiture végétale (1), à 7 m, le vent souffle fréquemment (2). La tour à vent dispose de volets orientables selon la direction du vent (3). Pour que ce vent climatise l'habitat, on met à profit la surpression qu'il produit pour créer un courant d'air intérieur et on pose le long des marches de la tour (qui sert aussi d'escalier intérieur (4)) des cruches remplies d'eau (5). En s'évaporant, l'eau refroidit l'air.

Toute une circulation d'air s'établit alors dans l'habitat (6), dont les volumes sont peu cloisonnés : l'air chaud ressort par l'extérieur (7).

Notez qu'un volume important est consacré au stockage de la chaleur estivale en prévision de l'hiver (8). La masse thermique des vieux pneus (9) est réchauffée l'été par l'eau chaude en provenance du capteur solaire (10), qui alimente aussi en calories le ballon d'eau chaude (11) de la salle de bains et de la cuisine.

Une architecture bio-économique

La maison passive idéale est enterrée : à 1 m de profondeur, le R de la terre est en effet de 1,92 ; à 2 m, il atteint 3,8. À cette profondeur, l'énorme masse thermique représentée par la terre diffuse 12 °C été comme hiver dans les pièces.

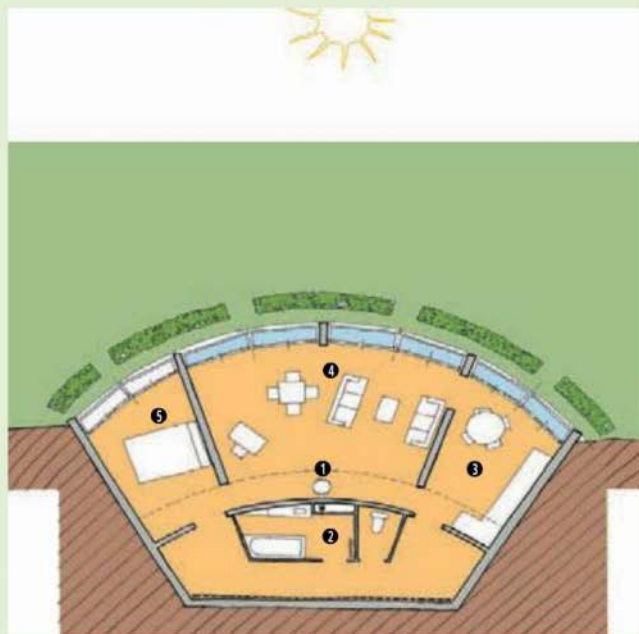
Cette maison fait face au sud. Elle doit être baignée de lumière, grâce à des baies importantes... Un élément naturel qui conjugue ses effets bienfaisants à la présence vivante de la terre, tout autour de la demeure.

Ensuite, pour fonctionner, la maison passive utilise le moins de technologie possible : pas de chaudière, pas de ventilation mécanique, pas de climatiseur ; des appareils électriques simples et consommant peu d'énergie. La véritable maison passive optimise les flux de la circulation de l'air, de la lumière, des énergies naturelles.

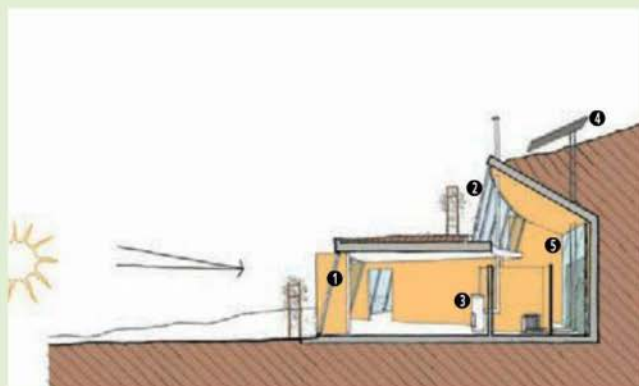
Son schéma d'organisation doit également être pratique et optimal : les fonctions énergétiques (chauffage, zones techniques des cuisine, salle de bains et w.-c.) sont placées au centre et les espaces de vie organisés autour. De cette manière, aucun espace n'est perdu et on limite l'extension des réseaux (eau, électricité). Bref, on ne dépense de l'argent qu'en dernier recours.



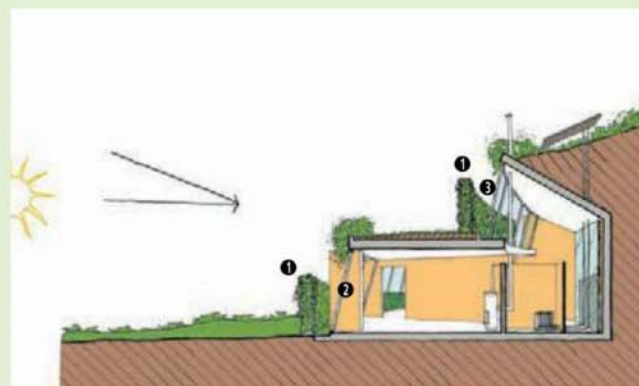
Nous vous présentons ici un projet d'habitat troglodytique moderne à flanc de coteau organisé selon ces principes. Au nord, la colline protège la maison des vents froids. Sa pente permet de recueillir les eaux de pluie pour les diriger vers l'habitat, son exposition permet d'y aménager un potager et un verger.



Le poêle (1) est installé au centre, afin qu'il diffuse sa chaleur en hiver de manière homogène dans tout l'habitat. La salle de bains (2), pièce à laquelle l'on demande d'être chaude, est immédiatement derrière, tandis que la cuisine ouvre sur le sud-ouest (3), suivie du séjour situé plein sud (4), qui pourra être utilisé comme jardin d'hiver; la chambre (5) se trouve sur le côté sud-est.



L'hiver, le soleil bas sur l'horizon entre directement dans la maison par la baie inférieure (1). Il éclaire et réchauffe indirectement le fond de l'habitat (garni d'une vitre) par la baie supérieure (2). Notez qu'au poêle à bois central (3) s'ajoute un chauffe-eau solaire (4) qui alimente, outre la salle de bains et la cuisine, un chauffage central (5); le poêle n'est donc allumé qu'en tout dernier ressort.



L'été, l'habitat va devoir lutter contre son trop grand réchauffement, en raison surtout de sa vaste surface vitrée. Les plantes placées devant les baies (1) se couvrent de feuilles au printemps, diminuant l'incidence du rayonnement solaire. Un courant d'air parcourt toute la maison si l'on ouvre simultanément la baie basse (2) et la baie haute (3). Jointés à la fraîcheur de la terre, ces dispositifs permettent d'éviter toute climatisation.

Un cas problématique...

Les lotissements sont devenus, pour beaucoup de Français, le seul endroit où trouver du terrain disponible. Le règlement intérieur propre à ce type d'urbanisme semble souvent très contraignant pourtant, même dans ce cadre, on peut trouver la marge de liberté nécessaire pour transformer sa demeure en une authentique maison passive, et cela sans renoncer à son aspect initial.

Une maison de lotissement classique. Fort heureusement, les très strictes règles d'urbanisme applicables à ce lotissement n'interdisaient pas une façade principale côté sud.

Du point de vue bioclimatique, le toit d'ardoises à 45° est un vrai problème : dressé en plein ciel à tous les vents (les plus forts soufflent dès 3 m de hauteur), c'est un gigantesque frigorigère qui représente 1,5 fois la superficie de la maison au sol. En été, il devient un radiateur par lequel la canicule s'invite chez vous.



L'aménagement d'une véranda (1) et d'un sas d'entrée (2) a été recommandé. L'air qui entre dans la maison passe, été comme hiver, par cette véranda, où il se réchauffe ou se refroidit. On a ainsi renforcé l'enveloppe là où se trouvent les plus grandes ouvertures de la maison. Le garage, à l'ouest (3), protège bien le cœur de la maison du refroidissement.



Des charmes communs ont été plantés au nord (1). Sur le toit court une glycine (2). La verrière de la véranda se recouvre, à la belle saison, d'une épaisse végétation (3).

Les fondations du prototype de Moisdon-la-Rivière

Interview de Patrick Baronnet

Pierre-Gilles Bellin : « Dans la construction contemporaine "traditionnelle", on aime mettre un vide sanitaire. C'est un peu alors comme si l'on créait une nouvelle pièce sous ses pieds, inutilisable, mais dont il conviendrait d'isoler le plafond, alors que l'on dit partout que la terre chauffe... »

Patrick Baronnet : « Aujourd'hui, on délaisse néanmoins un peu le vide sanitaire...

Dans ce vide sous la maison de 40-50 cm de hauteur, l'air doit être constamment renouvelé, ce qui a pour conséquence de refroidir la maison par le dessous. En outre, si l'air du vide est trop stagnant, il devient facteur d'humidité, ce qui est une source de pollution géobiologique. S'installent en outre moisissures, insectes... »

PGB : « Et vous isolez la maison de cette chaudière formidable qu'est la planète ! »

PB : « Le problème est d'aller à la recherche de la thermie du sol. Comment faire ? Si les fondations ne sont pas assez profondes [ndla : 50 cm en moyenne], la maison se refroidit par le sol dès l'automne. Avec des fondations à la fois profondes et bien isolées, un sol dans une maison ne descend jamais en dessous de 6 ou 7 °C. Qu'il gèle au-dehors ou non. »

PGB : « Vous laissez tomber, si j'ose dire, les chapes de béton et l'isolant "haute densité" ? Comment avez-vous conçu votre prototype de Moisdon-la-Rivière ?

PB : « Fondations enterrées jusqu'à 1 m de profondeur, larges de 1 m, et comportant 2 rangées de biobriques parallèles avec un vide d'air entre elles de façon à éviter tout pont thermique. C'est la disparition du vide sanitaire, donc des stagnations d'air.

Dans l'espace ainsi délimité, même pas de hérisson, mais la terre elle-même, car la terre sous le sol de la maison joue le rôle de masse thermique.

Nous allons certainement faire un sol en terre battue, et poser ensuite dessus un revêtement dur : on étudie notamment la composition du mortier des joints, qui seraient en chaux et sable... La couleur de ce dallage, un schiste bleu foncé, transformera le rayonnement thermique en infrarouges, de manière à absorber l'énergie de la lumière. Il s'agit d'une ardoise de 2 cm d'épaisseur, de 20 cm de largeur et de 40 cm de longueur.

PGB : « En leur apprenant à travailler eux-mêmes de manière simple, avec des matériaux pris sur place, vous faites aussi réaliser de belles économies à vos stagiaires... Je trouve, pour avoir vécu dans ces maisons, que l'on s'y sent "énergisé", alors qu'on est en quelque sorte électrofié, fébrile, dans les maisons sorties de l'écosystème. »

PB : « Dans une maison classique, toutes ces couches bétonnées et armées que vous avez sous les pieds, en plus de vous refroidir ou de vous humidifier, vous coupent de la relation avec la terre – comme d'ailleurs le film isolant multicouche placé sur le plafond vous coupe de la relation avec le ciel.

Pour le public, cette relation cosmique n'est pas évidente, mais pour la vivre nous-mêmes, nous sentons qu'elle est une réalité. Hélas, on a tendance à ne plus y accorder d'importance. Il faut aller vers la terre. »

Patrick Baronnet et la maison autonome

Patrick Baronnet est l'un des précurseurs de l'habitat autonome en France. La maison qu'il a construite en Loire-Atlantique se visite, il organise des stages de construction et des conférences sur le mode de vie autonome, vend ses ouvrages, un cédérom : c'est une visite et une fréquentation que nous vous recommandons sans aucune hésitation (voir carnet d'adresses en fin d'ouvrage).



Construction des fondations de la maison passive de Patrick Baronnet.

La mise en œuvre de la pierre ponce



Construction en bloc de pierre ponce (île d'Ouessant). Ici, on a opté pour un parement en pierres du pays. Le bloc pierre ponce est caractérisé par une isolation répartie, qui apporte de la masse en même temps que l'isolation. (Photo Cogebloc.)



Détails de la mise en œuvre très précise de la pierre ponce. Un mortier spécial est nécessaire pour lier les blocs : une fine couche suffit, mais ceci implique une pose très précise, qui interdit les à-peu-près autorisés parfois par les parpaings. (Photos Cogebloc.)



Autoconstruire des fondations isolées périphériques

Quand nous avons lancé la construction du prototype Arca Minore – une maison à ossature bois montée sur une fondation périphérique isolée de manière à disposer sous les pieds de quelques dizaines de tonnes de terre constituant une masse thermique bon marché –, nous avons analysé ce que proposaient les constructeurs pour les fondations.

L'idée d'enterrer des briques de terre cuite ne nous convenait pas car nous craignons que, soumises à une humidité permanente, elles finissent par se détériorer. Or les fondations sont bien sûr fondamentales pour l'assise de la maison. La question était donc : quels matériaux isolants supportent d'être enterrés ?

Nous avons finalement retenu un système mixte, mais critiquable :

- 1 : réalisation d'une semelle filante en béton ferrailé de 20 cm d'épaisseur, dont la face supérieure est à 1 m de profondeur ;
- 2 : pose de plots sous les futurs piliers de bois devant supporter l'ossature de l'enveloppe ;
- 3 : entre les plots, pose de plusieurs rangs de blocs de béton cellulaire, placés non sur la tranche mais sur leur plus grand côté afin de réaliser l'isolation périphérique ;
- 4 : comme le béton cellulaire est assez hygrophile, nous avons procédé à un test : la pose sur une face (la plus humide, celle orientée à l'est) de deux rangées de parpaings, là où ceux-ci seraient enterrés, à charge pour nous de les isoler ensuite, par l'extérieur (nous n'avons pas encore les résultats de cette expérimentation) ;
- 5 : à l'intérieur de la maison, mise en place d'une dalle béton légère classique associée à une dalle chaux-sable, dans laquelle de larges rainures ont été pratiquées de manière à pouvoir mesurer à quelle vitesse se refroidit en hiver la masse de terre prise dans les fondations isolées. Quelques mois plus tard, nous découvrons les blocs de pierre ponce : composés à 92 % de pierre ponce pure, une pierre volcanique dont les nombreux vides assurent les qualités isolantes, ils sont presque parfaitement hydrophobes (moins de 0,3 % d'humidité). Ils permettent ainsi de construire un mur sec, sain et respirant, y compris s'il est enterré. Les blocs de pierre ponce se posent comme des parpaings traditionnels, et sont liés avec un mortier lui-même isolant. Un bloc d'une épaisseur de 35 cm fournit un R de 2,60 ; 2 blocs côte à côte (soit un mur de 70 cm) amènent un R de 5,20.

Il reste cependant que nous sommes en pleine innovation, car ce produit n'a jamais été utilisé dans la terre, sur une période de plusieurs années. Mieux vaudrait peut-être attendre les premiers retours d'expérience...

De manière générale, attention à la mise en œuvre des blocs minéraux en autoconstruction : la pose exige en effet une parfaite planéité à partir de la semelle en béton et c'est pourquoi nous avons fait le choix de la mixité, dans notre prototype, de blocs minéraux et d'ossature bois.



Début de la construction du prototype. On voit bien ici les plots de béton qui supporteront l'essentiel de la structure, les blocs de béton cellulaire devant jouer un rôle structural minimal. On ne sait pas, en effet, à quel point ils seront affectés par les remontées capillaires.



Les ossatures en bois sont montées à plat près des fondations périphériques isolantes.



Après avoir superposé les rehausses, on coule le béton. C'est sur ces piliers que va reposer le poids de la structure. Les plots de béton ainsi obtenus sont autant de ponts thermiques, puisqu'ils ne comportent aucun isolant. Pour isoler le béton, il aurait fallu remplacer les graviers qui le constituent par de la pouzzolane, là encore une pierre volcanique qui enferme de nombreuses bulles d'air.



Montage du premier niveau. On remarque l'alternance poteaux en béton/blocs de béton cellulaire.



On voit bien ici avec quel soin est réalisée l'étanchéité de la structure en bois (en noir, les pare-pluie, recollés ensuite sur les blocs avec du mastic-colle).

Résoudre le problème des condensats dans un puits canadien

Lorsque nous avons mis en place notre propre puits canadien, nous avons associé dans une grande tranchée des tuyaux en PVC gris soigneusement collés avec une colle spéciale pour ce type de matériau, et bien étanchéifiés. Quelques mois après, nous nous sommes aperçus qu'ils étaient pleins d'eau. Cette eau provenait de la condensation due au passage de l'air en sous-sol, où celui-ci atteint vite son « point de rosée » (voir page 66).

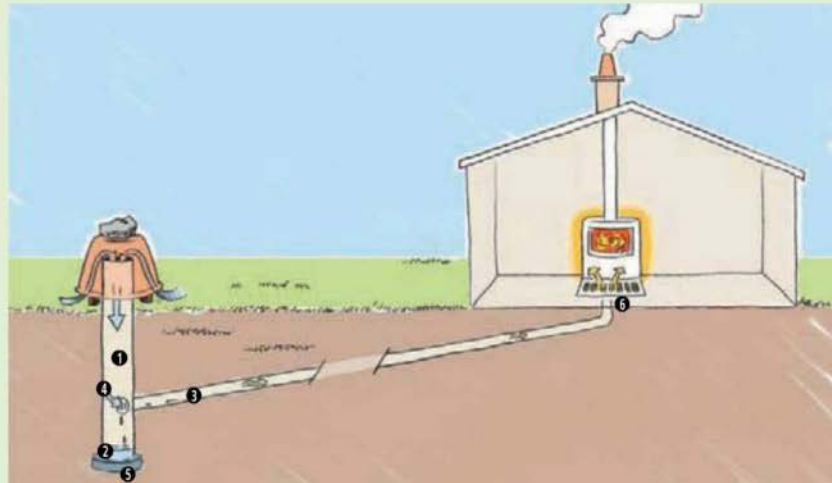
Comment résoudre le problème des « condensats », qui peuvent provoquer le développement de moisissures, ce qui est très problématique sanitaire parlant ?

Notre ami Michel Piel a réalisé lui-même son puits canadien, avec des tuyaux qui servent d'ordinaire de gaine électrique. Ces tuyaux en EHD achetés chez H-Tubes, de 160 mm de diamètre, sont annelés sur leur face extérieure, lisses sur leur face intérieure, et résistent très bien à la compression, même sous 2 m de terre.

Pour la prise d'air, il a choisi un tuyau vertical en EHD, de diamètre 300 mm. Il a fait partir le tuyau horizontal à 50 cm de hauteur par rapport au fond de la tranchée. De cette manière, il recueille les condensats au fond du tuyau vertical, qui s'achève sur une semelle bétonnée. Après coup, il critique le fait d'avoir mis cette semelle qui, dit-il, empêche la fuite des condensats par le sol. Est-ce sûr pour autant ? Son sol est en effet très argileux et, après réflexion, il n'est pas possible d'être certain que cette semelle n'empêche pas les remontées d'eau. Toujours est-il qu'il doit régulièrement utiliser une pompe.

Un conseil : il faut veiller à ce que les tuyaux aient une pente de manière que les condensats recoulent bien en arrière – et cela n'est pas facile quand on doit dérouler les tuyaux annelés au fond d'une tranchée boueuse, sous la pluie par exemple.

Si Michel considère que son puits lui a coûté une centaine d'euros, on voit que sa mise en œuvre demande une grande précision et beaucoup d'efforts.



Coupe de principe du puits canadien de Michel : tube de 300 mm (1) destiné à recueillir les condensats (2), départ du tube de 160 mm (3) derrière sa grille (4), semelle de béton (5), débouché du tuyau au niveau de la bouche d'entrée en air frais du poêle (6).



Pour empêcher l'eau de pluie d'y pénétrer, l'entrée du puits canadien est recouverte d'un pot en plastique lesté d'un seau rempli de sable (pour éviter que le vent l'emporte).



On voit à présent l'entrée du puits canadien.



L'entrée du puits est constituée par un tuyau vertical de 300 mm de diamètre. On voit ici le départ du tuyau horizontal (tuyau de 160 mm), la bouche d'aération étant fermée par un grillage pour empêcher les rongeurs d'y élire domicile (très important !). Au fond, un reflet d'eau indique la présence du condensat, qui résulte de la précipitation de la vapeur d'eau au passage de l'air contre les parois plus fraîches.



Vues du type de tuyau enterré à l'horizontale, sur 25 m et qui débouche devant le poêle dans la maison.



Transformer son appartement en appartement passif

Un cas d'école !

Un propriétaire, très « artiste », souhaitait transformer un deux-pièces de 33 m² en un duplex de 60 m² en aménageant les combles, avec un budget pour l'isolation et le chauffage des plus limités.

Ainsi, il ne voulait pas remplacer ses trois vieilles fenêtres ayant un R de 0,17 (contre 0,5 pour des doubles vitrages à l'argon, voir page 26) et des fentes dessus et dessous... Toujours par souci d'économie, il ne souhaitait pas de réseau de chauffage central à l'étage. L'objectif revenait donc à chauffer 60 m² avec les moyens mis en œuvre pour 33 m², soit d'obtenir un gain de chaleur de 81 % ! Cerise sur le gâteau, l'appartement ne comportait que 3 fenêtres, dont une seule au sud, et la hauteur sous plafond fort réduite rendait impossible l'utilisation d'un isolant classique épais de 25 cm.

Notre première intention fut de remplacer le chauffe-eau instantané au gaz et l'ancien radiateur au gaz (un modèle antique directement raccordé au réseau) par un poêle, mais la place pour stocker le bois faisait défaut dans cet appartement urbain. Le poêle à granulés ne semblait pas non plus la solution idéale (coût élevé et ruptures de stocks fréquentes des granulés en région parisienne, charges d'entretien non négligeables d'un tel appareil).

Deux points très positifs apparaissaient cependant :

- l'appartement était encastré entre l'appartement voisin, celui du dessous, et la maison voisine, de telle sorte que les cloisons faiblement isolées et directement en contact avec l'extérieur ne représentaient que 32 % de l'ensemble ;
- il était indirectement chauffé par l'appartement du dessous, où la température au ras du plafond flirtait aisément avec les 40 °C.

Les solutions classiques

Selon le souhait du propriétaire, l'ancien chauffe-eau est remplacé par une mini-chaudière murale reliée à 3 radiateurs à eau répartis au premier niveau (dans le séjour, la chambre et la salle de bains).

Les solutions passives

L'idée directrice est de récupérer ou d'optimiser toutes les sources de chaleur, de manière à réduire au strict minimum la consommation de gaz.

Au premier niveau, la surface de ce très vieil appartement est divisée par de nombreuses cloisons. Il faut donc les faire sauter pour aménager un vaste espace comprenant séjour et cuisine à l'américaine, la zone de cuisson prenant la place des anciens w.-c., qui rejoignent la salle de bains. On crée ainsi des volumes communicants, où un isolant mince thermoréfléchissant peut être mis en place pour faire rebondir la chaleur vers les masses thermiques.

À l'étage, on optimise les qualités passives de l'habitat en profitant du toit pour l'ouvrir au sud. Toute l'organisation de l'appartement est revue en fonction de ce principe simple : l'air chaud monte (dans un appartement, quand la température est de 19 °C au niveau du corps, elle est bien souvent à 35 °C au niveau du plafond).

Les nouveaux Velux comme les vieilles fenêtres sont équipés de rideaux isolants, des accessoires absolument indispensables dans cette économie générale.



Vue de la grande pièce aménagée au premier niveau et de l'escalier donnant accès aux combles.



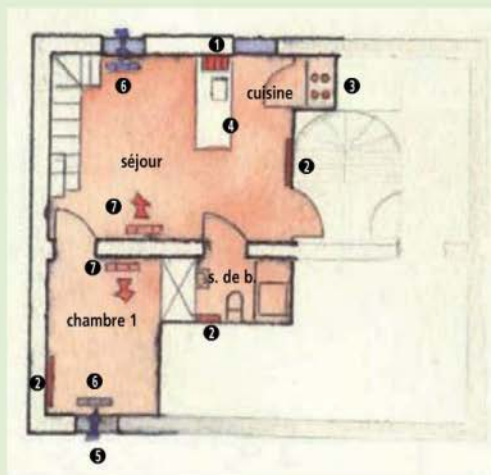
Coupe sud-nord du nouveau duplex : le plafond du premier niveau est rabaisé de 75 cm (1) pour créer une zone de circulation ; le plafond nord est retiré, et une petite mezzanine est créée (2). Un grand Velux permet au soleil d'illuminer le nord de l'appartement (3). Une bouche d'aération est pratiquée sous la fenêtre nord (4) de façon que l'air froid circule dans l'entre-plafond pour se réchauffer (5) grâce à la chaleur diffusée par l'appartement de dessous. Enfin, l'air chaud ressort en (6).



Plan de l'état initial.

L'appartement n'est ensoleillé que côté sud (1) dans une pièce qui, de surcroît, est une chambre (2) et se doit d'être isolée. Les murs ouest, sud et nord (3), ainsi que le mur de refend (3), en maçonnerie traditionnelle, sont épais de 30 cm, soit un R estimé à 0,3, mais une formidable masse thermique. L'entrée de l'appartement est en (4). Une maison mitoyenne (5) protège l'ouest.

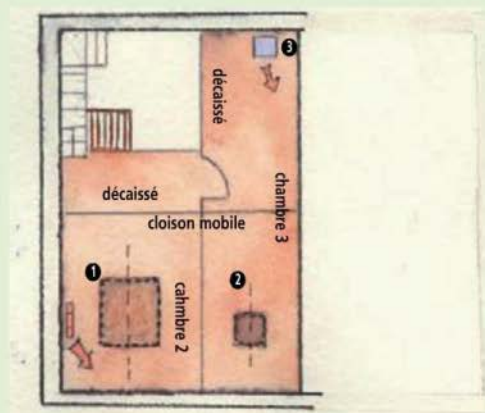
Les cloisons bouchent l'espace et empêchent les flux thermiques de circuler. Il n'y a que deux sources de chaleur : le chauffe-eau au gaz instantané de la cuisine (6), et le vieux radiateur au gaz (7) devant l'ancienne cheminée.



Plan du rez-de-chaussée réorganisé.

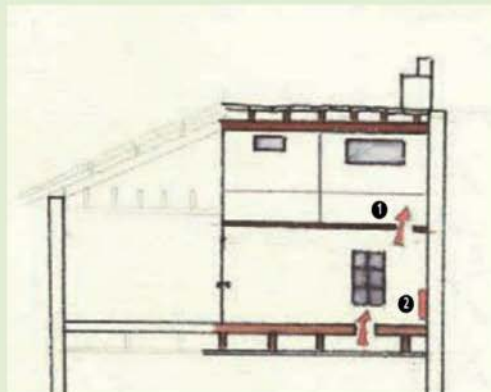
Il n'y a plus de cloisons. La chaudière murale (1), les 3 radiateurs (2) et la zone de cuisson (3) de la cuisine américaine (4) fournissent 5 sources de chaleur artificielle. Au même étage, la fenêtre au sud est une source de chaleur naturelle (5).

On utilise l'espace sous le plancher pour faire circuler l'air froid qui tombe des fenêtres (6), de façon qu'il ressorte chaud par des grilles d'aération en (7).



Plan de l'étage aménagé.

Les chambres 2 et 3 et leur Velux (1 et 2), des puits de lumière et de chauffage naturels. Une petite fenêtre de sol (3), située juste au-dessus de la chaudière, contribue au chauffage de la grande chambre.



Coupe est-ouest, avec figuration des ouvertures vues depuis le nord. Notez que le plancher de la chambre pourvue du grand Velux (1) est aussi percé pour que l'air chaud du radiateur de la chambre juste en dessous (2) puisse s'élever. De plus, tout son plafond est isolé avec un isolant mince multicouche, qui fait rebondir le rayonnement thermique vers les parties massives.



Le grand Velux plein sud d'une des chambres créées dans les combles. Notez que le conduit de cheminée n'a pas été retiré ; il représente une imposante masse thermique. Sous le plafond en plaques de plâtre se cache un isolant mince multicouche. Le R global de cette pièce dépasse les 4.



Dans la chambre 1, les lambris cachent un isolant phonique et thermique multicouche : le R du mur extérieur frôle désormais les 6.

Bilan

L'installation de chauffage au gaz a coûté 7 000 € (chauffe-eau + radiateurs). Le fait de ne pas installer de radiateurs à l'étage représente une économie de 2 000 €. Les rideaux isolants ont, eux, coûté 1 000 €. L'hiver, sans chauffage, la température moyenne de l'appartement avant rénovation descendait rarement sous 12 °C : après, notre système de « chauffage » par le sol apporte 1,5 °C supplémentaires, et les rideaux isolants – quand ils sont correctement fermés la nuit ! – 1,5 °C. Le chauffage au gaz n'a plus qu'à apporter 3 à 4 °C à l'appartement, dont la facture énergétique annuelle est alors de 350 €.

Par rapport à notre ménage type, l'économie réalisée est de 150-200 € par an, soit 3 000 à 4 000 € sur 20 ans.

Pour éviter la canicule l'été – car au plus fort de la belle saison, le thermomètre affichait 70 °C sur les tuiles couvrant le duplex – nous avons disposé des claies de roseaux au-dessus des tuiles : de cette manière, les températures en haut du duplex ont chuté de 3-4 °C. Une autre solution dans les moyens du propriétaire aurait pu être de faire courir une vigne ou une glycine sur des câbles tendus, mais l'entretien à cette hauteur (8 m) s'avérerait trop difficile et dangereux.



Bouche d'entrée de l'air froid, placée juste sous la fenêtre.

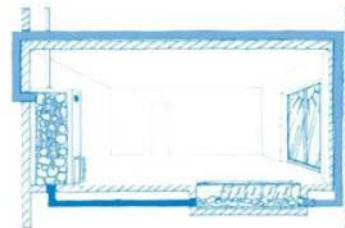


Dans la chambre 3, une fenêtre de sol laisse monter l'air chaud du premier niveau.

Test thermique des 8-9 octobre 2006 (aucun chauffage, ni dans le duplex, ni dans la maison)

Lever du soleil le 8 oct. : 08 h 08 – Coucher du soleil : 19 h 15
Météo : Journée du 8 oct. ensoleillée jusqu'à 14 h, nuageuse jusqu'à 17 h, puis pluvieuse jusqu'au lendemain matin, brouillard jusqu'à 11 h le lendemain puis grand beau temps

Journée	8 octobre		9 octobre	
Heures	14 h (8/10)	24 h	7 h 30 (9/10)	14 h
Température extérieure	23 °C	13,5 °C	12 °C	23 °C
Amplitude thermique sur 24 h à l'extérieur : 11 °C				
Température intérieure : RDC du duplex	18,5 °C	18,5 °C	17,5 °C	18,5 °C
Température intérieure : 1 ^{er} étage du duplex	20,3 °C	20,3 °C	18,5 °C	22 °C
Amplitude thermique sur 24 h à l'intérieur : 1 °C en bas du duplex, 3,5 °C en haut du duplex.				



CHAPITRE 4 Produire de la chaleur

Une maison devrait être tellement passive qu'il ne faudrait même plus avoir à la chauffer : ce qui semble un idéal est atteint dans certaines maisons scandinaves, qui jouent de la masse et de l'isolation. Mais en attendant d'égaliser ces performances, vous allez devoir chauffer. Nous vous présentons ici les techniques les plus simples et les moins onéreuses pour le faire.

La chaleur du soleil

Principe du chauffe-eau solaire

Nous sommes nombreux aujourd'hui à utiliser des chauffe-eau solaires, qu'il ne faut pas confondre avec les capteurs solaires photovoltaïques (voir pages 121-127) qui, eux, produisent directement de l'électricité.

Les chauffe-eau solaires produisent de l'eau chaude ; cette eau est utilisée dans la cuisine, dans la salle de bains, voire alimente les radiateurs ou un plancher chauffant... Ces appareils peuvent éventuellement être associés à des chaudières.

Le principe en est simple : un panneau ou capteur solaire thermique est relié à un ballon stockant l'eau chaude produite ; un liquide « calorifuge » (qui absorbe bien la chaleur) et « caloporteur » (qui fait bien circuler la chaleur) – en général, il s'agit d'eau additionnée d'un glycol non nuisible à la santé – circule entre les deux.

Il existe deux types de chauffe-eau solaires, selon l'emplacement du ballon, qui peut être joint ou disjoint du panneau. Dans ce dernier cas, et si le ballon est placé sous le capteur, on ajoute une petite pompe, qui se met en route quand il y a du soleil. Dans les deux autres cas (ballon joint et ballon disjoint placé au-dessus du capteur), le fluide calorifuge monte naturellement dans le ballon quand il se réchauffe, puis redescend dans le panneau quand il s'est refroidi et a échangé ses calories avec l'eau qui vient de la maison.

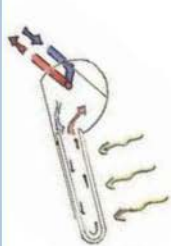
Dans le cadre d'une maison autonome, choisissez de placer le ballon au-dessus des capteurs, car la pompe « mange » pas mal de watts.

Le chauffe-eau solaire, ou seulement les panneaux, selon les configurations, sont placés sur un toit exposé au sud.



Ces panneaux solaires chauffent l'eau utilisée dans la maison, tant dans la cuisine que dans la salle de bains... (Photo Ampere).

Chauffe-eau solaire monobloc

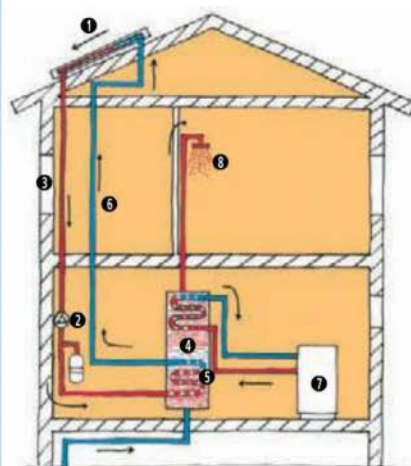


Dans ce modèle de chauffe-eau solaire monobloc, le liquide calorifuge est... l'eau du robinet ! Qui se répand uniformément dans le réservoir et les tubes de verre, ouverts au niveau de leur jonction avec le réservoir. Quand le soleil rayonne, le verre focalise la chaleur sur l'eau, dont la température monte vite ; comme l'eau chaude monte et que l'eau froide descend, un minicircuit de liquide se crée dans chaque tube, le chaud allant vers le haut, le froid vers le bas. Dans le réservoir se trouve un échangeur, où entre l'eau froide venant du ballon de la maison ; un 2^e trou lui permet de repartir chaude vers ledit ballon.

Le prix d'un chauffe-eau solaire varie dans une fourchette de 990 € à 3 000 €, celui de la pose va de 1 700 € à 2 000 €. Cependant, il existe des kits faciles à monter à 1 000 € au maximum. Un modèle pour deux personnes est proposé à la vente pour un prix d'environ 700 € !

Sachez qu'une installation montée par un professionnel bénéficie d'un crédit d'impôt de 50 % sur le montant du matériel, lui-même taxé à 5,5 % (19,6 % si vous l'achetez vous-même). En dépit de cette dernière restriction, les chauffe-eau solaires en kit sont rentables, et ils le sont si on les fait soi-même...

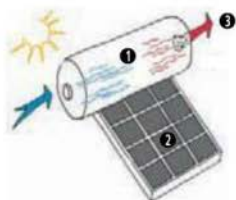
Comment le soleil chauffe l'eau de votre douche



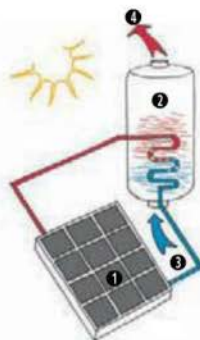
Le rayonnement solaire chauffe, derrière la vitre, le fluide calorifuge qui circule dans le capteur solaire (1) grâce à une petite pompe (2). Un circuit (3) l'amène au ballon d'eau chaude de la maison (4), où il passe dans des serpentins (5), dans lesquels il perd ses calories au profit de l'eau du ballon. De là, le fluide refroidi repart dans le circuit (6) vers le chauffe-eau solaire où il se réchauffe à nouveau.

Le ballon d'eau chaude est ici relié à une chaudière à bois (7), qui se déclenche automatiquement les jours où il n'y a pas de soleil. L'eau du ballon alimente ainsi cuisine et salle de bains (8) et peut même chauffer les radiateurs.

Les grands types de capteurs



Capteur solaire thermique « monobloc ». L'eau froide de la maison entre dans le ballon (1), est chauffée par le liquide calorifuge du panneau installé dessous (2), puis ressort chaude (3).



Capteur solaire thermique à éléments séparés avec thermosiphon. Le liquide caloporteur qui se réchauffe dans le panneau (1) conduit la chaleur au ballon d'eau chaude (2). Le circuit d'eau de la maison traverse le ballon, l'eau entrant froide en (3) et ressortant chaude en (4). Dans le circuit, un thermosiphon empêche la chaleur de repartir en sens inverse quand le soleil se couche et que le liquide dans le panneau devient plus froid que celui stocké dans le ballon.

Construire son chauffe-eau solaire

Il est possible de réaliser soi-même son chauffe-eau solaire : si vous n'y connaissez rien, cela vous prendra du temps, mais vous économiserez... environ 1 500 €, le prix des matériaux s'élevant à 500-600 € au grand maximum. Cela vaut le coup d'y passer quelques week-ends !

Petite révision des quelques grands principes à connaître :

- le soleil chauffe davantage derrière une vitre que devant ;
- le métal est un très bon conducteur (et surtout le cuivre) ;
- l'eau chaude monte ;
- l'eau froide descend ;
- il ne faut pas de bulles d'air dans l'eau qui circule dans les tuyaux ;
- il ne faut pas que la circulation de l'eau s'inverse (dès qu'il n'y a plus de soleil dehors), ramenant alors le chaud au-dehors ;
- il doit y avoir un juste rapport entre le ballon d'eau chaude et la surface des panneaux.

Concernant ce dernier point, faites une règle de 3 en sachant qu'à un ballon d'eau chaude de 180-200 l (une famille de 4 personnes) doit correspondre une surface de capteurs de 1,5-2 m². Passons à l'application : dans une grande surface de bricolage, achetez un vase d'expansion, 10 m de tuyaux de cuivre et leurs raccords en angle droit (10), 2 robinets, 2 m² de plaques de contreplaqué, une vitre de 4 mm d'épaisseur découpée aux mesures de votre caisson, 0,5 m² d'isolant (laine de roche) de 3 cm d'épaisseur, un petit fer à souder et son nécessaire à soudure, un mètre, une scie, du mastic, de la colle, un tournevis, des vis, 1 m² de plaque de tôle galvanisée, une bombe de peinture noir mat, 1 m² de plaque bituminée (disponible en rouleau), 1 m² de feuille réfléchissante en aluminium (au rayon cheminée), et du ruban adhésif en aluminium (au rayon cheminée).

Le montage du circuit d'eau

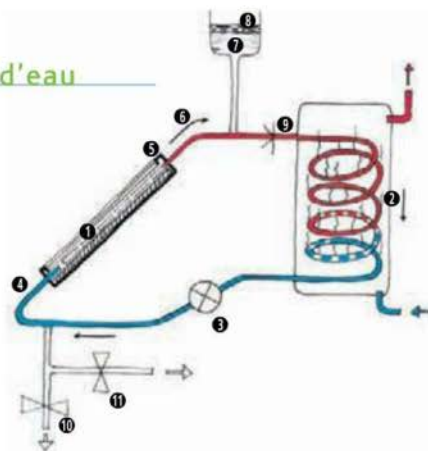
Placez le caisson (1) moins haut que le ballon d'eau chaude (2), cela vous évitera d'avoir à acheter une pompe (souvenez-vous : l'eau chaude monte, l'eau froide descend). Ce schéma montre toutefois où la placer si vous en avez une (3).

Il faut raccorder le circuit d'eau à l'entrée et à la sortie du caisson avec le circuit d'eau qui mène au ballon d'eau chaude (4 et 5). La flèche montre l'endroit d'où sort l'eau chaude réchauffée par le soleil (6).

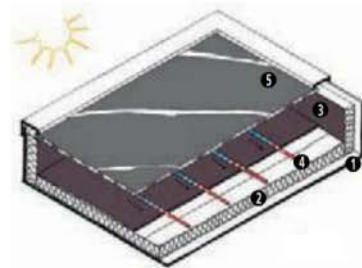
Sur cette section du circuit, on trouve le vase d'expansion (7) : il communique avec le circuit d'eau et contient une huile quelconque (mais pas de vidange) qui recouvre l'eau du circuit (8). Son rôle est de permettre l'évacuation des bulles d'air qui se forment dans le circuit sans que, pour autant, l'eau soit perdue (l'huile, plus légère que l'eau, flotte dessus, formant un bouchon liquide).

Le circuit rejoint ensuite le ballon d'eau chaude (9), qui peut être un ballon acheté chez un revendeur habituel de matériaux, livré prêt à être branché.

Il retourne ensuite au caisson. Un petit robinet sert à la vidange de l'ensemble (10), un autre (11) permet de recharger le circuit en eau après la vidange.



Le montage du caisson



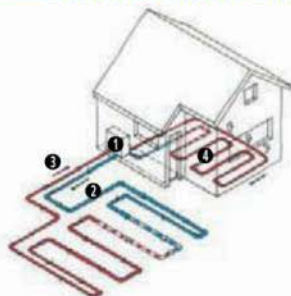
Commencez par le caisson vitré : faites un cadre de bois (1) isolé à l'intérieur par des plaques de laine de roche de 3 cm d'épaisseur doublées côté supérieur d'une feuille réfléchissante en aluminium (2). Au niveau des joints, collez un ruban adhésif en aluminium.

Ceci fait, placez sur l'isolant une plaque de tôle galvanisée (3), sur le fond et les 4 côtés (il y a donc 5 découpes à réaliser), que vous peindrez en noir mat. Vous pouvez aussi placer un miroir sur le fond et les côtés (à faire découper à vos mesures).

Il faut maintenant créer le circuit de l'eau à réchauffer. Posez des tuyaux en cuivre (4) les uns à côté des autres tous les 4-5 cm, et reliez-les avec des raccords en angle droit (les tuyaux se coupent facilement à la scie à métaux, les raccords sont soudés au petit chalumeau). À l'entrée du circuit, veillez à ce que l'extrémité du tuyau dépasse du circuit et fixez un robinet ; faites de même à la sortie du circuit sans oublier là aussi de placer un robinet.

Fermez à présent votre caisson et les éléments que vous venez d'y placer par une vitre (5) de 4 mm d'épaisseur (donc assez résistante).

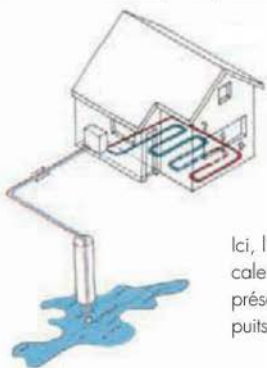
Comment le sol chauffe notre maison



La pompe à chaleur (1) pousse le fluide dans le réseau enterré sous la pelouse (2), le ramène dans la maison (3), où le compresseur de la pompe à chaleur le comprime de manière qu'il échange ses calories avec le réseau du plancher chauffant (4), par l'intermédiaire de l'échangeur.



Ici, le réseau extérieur de la pompe à chaleur, au lieu de s'étaler sous la pelouse, plonge verticalement dans le sol, où il va chercher la chaleur à plus de 50 m de profondeur. Cette configuration, qui fait intervenir un forage, est naturellement bien plus chère que la précédente.



Ici, l'installation verticale profite de la présence d'un petit puits dans le jardin.

La chaleur de la terre

La terre est une source gratuite de chaleur, qu'il est possible de récupérer grâce à une pompe à chaleur. Comment marche cet appareil ? Il prend la chaleur du milieu naturel, qu'il s'agisse d'ailleurs du sol, de l'air ou de l'eau, rassemble les calories éparées (même dans une terre à 1 °C, il y a des calories, mais en quelque sorte dispersées) et les conduit jusqu'à votre maison.

Le principe de la pompe à chaleur

Une pompe à chaleur contient un fluide frigorigène. Celui-ci est soumis à la loi physique qui veut qu'un gaz qui se détend refroidisse, qu'un gaz qui est comprimé émette de la chaleur. Le mécanisme est le suivant : le fluide se transforme en gaz sous l'effet du rayonnement du soleil ; ce gaz est ensuite comprimé par un compresseur et voit sa température passer à plus de 100 °C ; il est alors conduit vers un condenseur, dont l'enveloppe externe baigne dans un courant d'eau ; au contact de l'eau plus froide, le gaz se liquéfie et, en se liquéfiant, cède ses calories à l'eau.

Mais comment aller chercher les calories dans la terre ? En y faisant courir des tuyaux, enterrés à fleur de terre sur 20 m² (pour une maison de 150 m²), et dans lesquels circule en permanence le fluide frigorigène. Celui-ci chauffe sous l'action du soleil à travers le gazon, ramène la chaleur vers le compresseur et la conduit dans un ballon d'eau chaude, d'où partent les tuyaux qui alimentent le système de chauffage, radiateurs ou chauffage au sol dont les tuyaux circulent dans la chape de béton qui supporte le carrelage ou le parquet. Le gaz refroidi, redevenu liquide, retourne dans le circuit extérieur à la maison, sous le gazon, et le cycle recommence.

Rendement financier des pompes à chaleur

Pour une maison de 100 m² (qui exige une puissance de 8,5 kW), avec un système de plancher chauffant, comptez pour le matériel et la pose environ 11 000 €, sachant que le matériel (5 500 € environ) est éligible au crédit d'impôt à hauteur de 50 %, ce qui représente une facture finale de 9 000 € environ (le remboursement du matériel est plafonné à 8 000 € pour un célibataire, 16 000 € pour un couple + 400 € par enfant à charge, et ce pour la résidence principale). Ce remboursement vient en déduction de votre impôt sur le revenu et, si vous ne payez pas cet impôt, un chèque vous est gracieusement envoyé par le Trésor public.

Mais combien rapporte une pompe à chaleur ? Pour faire fonctionner l'installation, il faut de l'électricité, environ 2 500 kWh par an, soit 250-300 €. Selon le budget de notre ménage type (600 €), celui-ci économise donc par an 350 €, soit un rendement de près de 4 % par an. Mais les frais d'entretien ramènent probablement ce rendement aux alentours de 1-2 %. C'est pourquoi, à notre sens, les pompes à chaleur ne sont pas à conseiller.

La chaleur du bois

Vous avez le choix entre plusieurs procédés : fioul, gaz, électricité, bois. Nous n'envisageons ici que ce dernier combustible, le plus écologique et le plus économique, pour lequel il existe plusieurs appareils – cheminée, poêle, chaudière –, et différents types de bois – bûches, granulés, bois déchiqueté.

On parle beaucoup, en ce moment, du poêle à granulés, dans lequel un petit réservoir fait descendre les granulés de bois dans la chambre à combustion, permettant sans intervenir de chauffer durant 10-12 h. Mais ce produit requiert beaucoup d'électricité et un entretien très coûteux (au moins deux visites du chauffagiste par an, avec un remplacement régulier de pièces). Nous ne le recommandons donc pas.

Même constatation pour les chaudières à bois déchiqueté, alimentées par une vis sans fin qui tourne dans un silo de plusieurs mètres cubes où est stocké le bois déchiqueté (voir page 94). Poêles et cheminées coûtent beaucoup moins cher que ces systèmes (pour les premiers prix), mais ils ont un inconvénient majeur : leur manque d'autonomie. Un tout petit poêle chargé à fond diffusera 1 h 30 de chaleur, puis les braises ne fourniront plus qu'une chaleur déclinante pendant 2 h 30 au maximum...

Nous allons vous montrer comment contourner cette difficulté.

La cheminée à foyer fermé

Ce type de cheminée se compose :

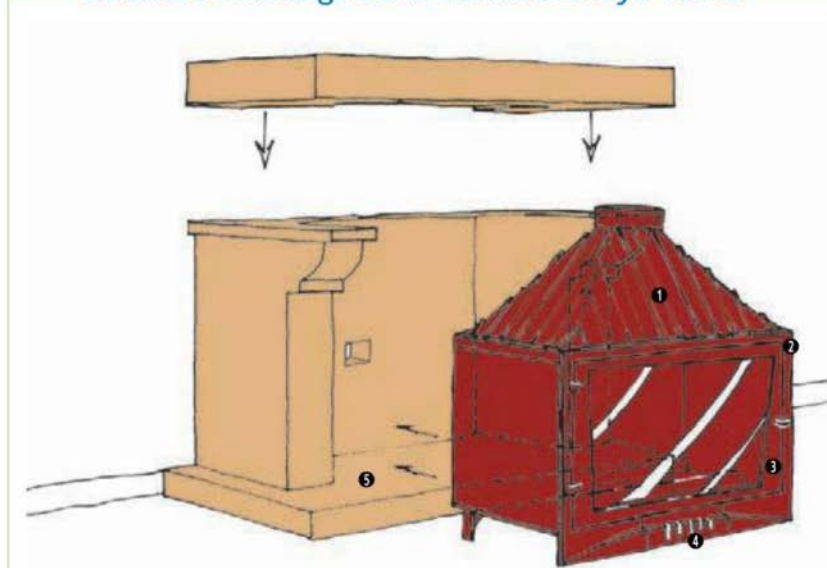
- d'un corps de chauffe fermé à l'extérieur par une porte vitrée ;
- d'un avaloir métallique intégré à ce corps de chauffe ;
- d'une hotte à système de récupération de chaleur ;
- d'un habillage décoratif, qui donne au tout son allure de cheminée.

Si elle ressemble à une cheminée à foyer ouvert à laquelle on aurait ajouté un insert, son rendement est en fait bien supérieur (près de 80 %, les 20 % restants se perdant avec les fumées) grâce au système de récupération de chaleur dont est équipée sa hotte. En effet, si, dans les flammes, la température est de près de 1 000 °C, elle tombe très vite pour n'être plus que de 30-100 °C dans le conduit d'évacuation, ainsi que dans la hotte. On estime qu'un récupérateur de chaleur ordinaire réchauffe de 50 à 100 m³/h d'un air qu'il porte entre 50 et 65 °C. Une cheminée à foyer fermé est ainsi capable de fonctionner 10 h à feu réduit et sans aucune intervention.



La cheminée à foyer fermé peut être comparée à une sorte de grand poêle aux allures de cheminée. (Photo Arkiane.)

Schéma de montage d'une cheminée à foyer fermé



(1) : avaloir. (2) : corps de chauffe. (3) : insert. (4) : bouche d'amenée de l'air frais. (5) : dalle foyère (support insert 18 cm d'épaisseur au minimum).

La répartition de la chaleur

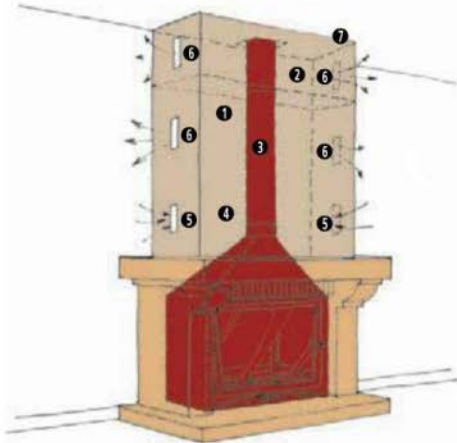
Cette cheminée chauffe, essentiellement par rayonnement (voir page 16), surtout la pièce où elle est installée. Mais il est possible à partir d'elle de chauffer les autres pièces en faisant parcourir à la chaleur un circuit. En effet, depuis la hotte équipée d'un système de récupération de chaleur, l'air chaud peut simplement sortir des grilles par convection (ventilation naturelle), ou être amené dans les autres pièces de l'habitation par des gaines dans lesquelles il circule au moyen d'un ventilateur (ventilation forcée). Cependant, quand cela est possible, nous préconisons de laisser l'air chaud se répartir naturellement dans les volumes en les organisant de manière optimale au stade de la conception.

L'alimentation en air frais

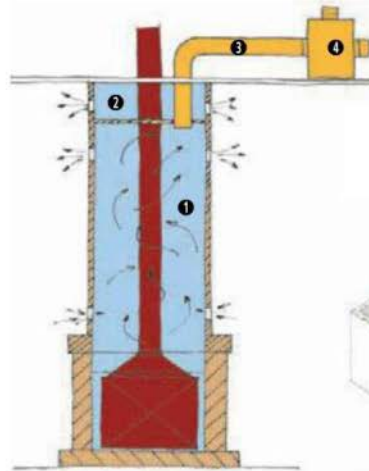
Pour fonctionner, un poêle ou une cheminée consomment de l'air qu'ils rejettent par le conduit d'évacuation des fumées. Il peut venir d'une bouche d'aération située devant la cheminée ou le poêle, ou simplement de la pièce elle-même. Problème : dans ce dernier cas, de l'air venu de l'extérieur est aspiré dans la pièce (à travers une bouche d'aération éloignée, voire par les joints des fenêtres, le dessous des portes, etc.) pour remplacer l'air utilisé par l'appareil.

En effet, votre cheminée dispose d'un conduit d'évacuation des gaz de 25-30 cm de diamètre et d'environ 8 m de hauteur ; grosso modo, si l'on combine cette ouverture à la vitesse d'évacuation des fumées (quelques mètres par seconde), l'air contenu dans une pièce de 6 x 4 m avec 2,5 m de hauteur de plafond (60 m³) est renouvelé en... 5 min si la cheminée est en plein travail. Ce qui est un désastre énergétique pour la maison.

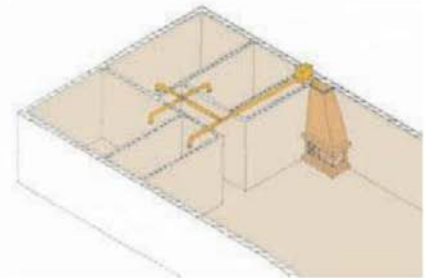
Distribuer la chaleur dans la maison



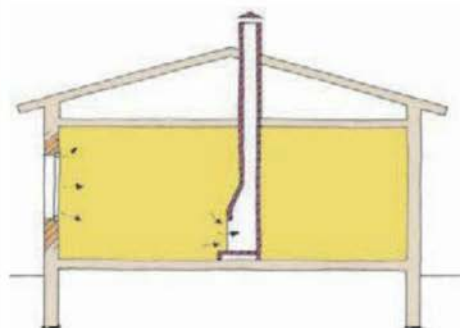
Cheminée avec hotte à ventilation naturelle. (1) : 1^{er} compartiment. (2) : 2^e compartiment. (3) : conduit de fumée. (4) : hotte. (5) : entrée air frais. (6) : sortie air chaud. (7) : cadre métallique.



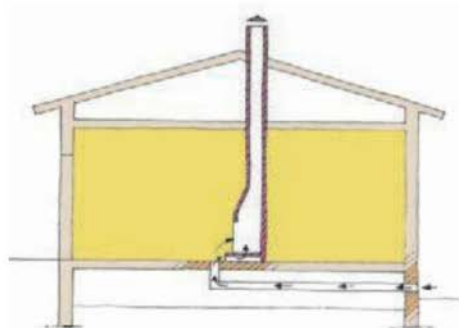
Cheminée avec hotte équipée d'un ventilateur conduisant l'air chaud dans les autres pièces. Coupe et schéma du réseau de distribution de l'air chaud. (1) : 1^{er} compartiment. (2) : 2^e compartiment. (3) : gaine. (4) : ventilateur électrique.



Optimiser le rendement de sa cheminée



Installation sans conduit d'arrivée de l'air frais : la cheminée aspire l'air de la pièce, le chauffage est peu efficace.



Installation avec conduit d'amenée de l'air frais.

Exemple de cette organisation néfaste : la cheminée a réchauffé l'air de la pièce de 7 °C ; c'est cet air qui va rentrer dans le foyer et sortir en panache. En somme, dans ce cas, vous chauffez surtout le ciel (selon la loi : le chaud va toujours vers le froid).

Admettons à présent que, puisque vous avez froid, vous décidiez d'ajouter à votre appareil de chauffage au bois un appareil d'appoint, comme un poêle à pétrole. Celui-ci va augmenter la température de cet air qui n'est qu'en transit de 4 °C... et donc la température de la fumée presque immédiatement (4 s plus tard dans notre cas).

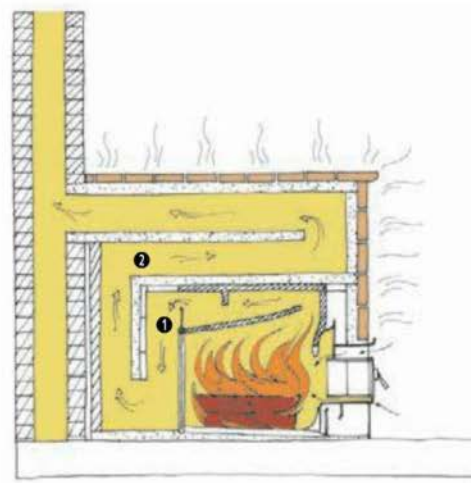
Si votre poêle (ou votre radiateur) fournit 7 kW, vous ne doublerez pas la température intérieure de la pièce : elle n'augmentera que de quelques degrés... Conclusion : dans ce cas, vous n'avez pas besoin de chauffage d'appoint ; il vous suffit de créer une bouche d'alimentation en air frais devant votre appareil, ce que démontrent les deux schémas ci-dessus.

Capitaliser la chaleur par le poêle de masse

Le problème du poêle de masse venait de son trop grand coût : près de 7 000 € à l'origine, mais plusieurs éléments sont venus réduire celui-ci. Le crédit d'impôt, en premier lieu, mais aussi la possibilité de l'autoconstruire, voire de l'acheter en kit : bref, aide fiscale aidant, on peut faire construire son poêle de masse pour un prix de 3 500 € à 5 500 €, en passant par les premiers prix de poêles de masse en kit à 3 000 € TTC. Succinctement, un poêle de masse est une machine thermique ultra-simple (mais précisez si vous envisagez de la faire vous-même), qui va brûler le bois dans un premier foyer, puis rebrûler les gaz dans un deuxième foyer grâce à une arrivée d'air chaud, lequel air se sera réchauffé dans la masse du poêle elle-même (en général de 1 t). Ensuite, les fumées chaudes suivront un circuit compliqué, avec de multiples chicanes, dans la masse de l'installation qui avoisine couramment la tonne. Résultat : l'extrême rendement du système.

Ainsi il n'est pas rare qu'avec 2 flambées d'une demi-heure (selon l'endroit où vous habitez), une le matin, une le soir, puis les braises qui s'ensuivent, vous fournissiez assez de chaleur

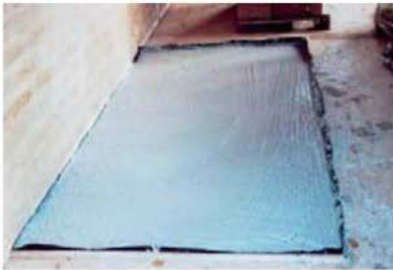
Anatomie d'un poêle de masse



Cet exemple montre remarquablement le double foyer (1 et 2), la sortie en chicane des fumées qui leur permet de perdre toute leur chaleur dans la masse.

pour tout votre habitat pendant 24 h, en hiver. En montagne, il vous faudra plutôt compter 2 ou 3 h de flambée par jour : votre consommation annuelle oscilera donc de 2 à 3 stères de bois ($2\text{--}3\text{ m}^3$) par an (140 à 200 €) en plaine et en climat océanique de 4 à 7 stères par an (300 à 600 €). Un autre avantage, inestimable : vous pouvez faire flamber n'importe quelle sorte de bois, du bois de récupération (attention qu'il ne soit pas traité) comme les cagettes, aux branchettes, papiers, sapins... Bref, autant de bois peu onéreux. Lorsque vous choisissez votre poêle, prenez garde cependant qu'il puisse enfourner des bûches d'au moins 45 cm de longueur.

Un poêle de masse autoconstruit pour 5 500 €



Cet exemple a été réalisé par deux personnes, avec l'aide d'un ouvrier spécialisé dans ces systèmes. Veillez particulièrement à l'isolation sous le poêle, sachant qu'il ne faut pas que la chaleur puisse fuir par cette voie, et que ladite isolation devra supporter plus de 1 t. Ici, le poêle pèse plus de 3 t et repose sur un socle en béton. Entre le socle et le poêle, les autoconstructeurs ont posé 15 cm de liège, sous une autre dalle en béton de chaux.

À noter que la maison est posée sur pilotis, le plancher étant isolé entre les solives par 20 cm d'épaisseur de laine de mouton. Une autre formule est d'utiliser un isolant nommé Siporex, sur 5 à 7 cm d'épaisseur (placé bien sûr sous une dalle en dur).



Pour faire encore d'autres économies, sachez qu'une haie naturelle de 100 m produit 500 kg de bois à brûler ; si vous conservez vos vieux papiers, compressez-les en briquettes et faites-les sécher pour les brûler, vous ferez encore de belles économies !

Il est également possible de reproduire le principe d'un poêle de masse à partir d'une cheminée à foyer fermé classique pour un coût intéressant (1 500-4 000 €). Pour cela il faut modifier la hotte et le pourtour de la cheminée : on construit une masse thermique avec des briques de terre (voir aussi le cas pratique n° 10, pages 95-96), que l'on entoure de plaques Fermacell afin de les dissimuler ; la hotte, au lieu d'être vide, est donc pleine.

Un poêle de masse bien dissimulé



La masse thermique (1) – représentant presque 2 t – prend ici la forme et l'aspect d'un mur classique massif qui entoure de manière invisible la cheminée à foyer fermé (2) située au fond de la pièce.

Placée au cœur de la maison, cette masse communique sa chaleur à toutes les pièces du même niveau et aux pièces de l'étage via l'escalier : les économies sont maximales (plus besoin de ventilation forcée).

Les biocheminées à l'éthanol

Le chauffage à l'éthanol : cela semble simple, mais pour parvenir à cette simplicité, que de chemin parcouru... Contenant de l'oxygène, l'éthanol ne dégage presque pas de CO₂ (ni d'humidité). Conclusion : nul besoin de conduit de cheminée ; nul besoin de conduit d'amenée de l'air frais.

La cheminée, très légère, facilement démontable, est aisément transportable. En outre, elle ne produit ni cendres, ni fumées et, à la différence du chauffage par alcool, ne dégage aucune odeur. Attention, toutefois : si la combustion de l'éthanol est incomplète, il y aura production de monoxyde de carbone.

Une cheminée standard à l'éthanol a une autonomie de 3-4 h, mais il est possible d'installer un bloc de combustion qui étend celle-ci à 6-8 h. Une réglette permet d'en faire varier l'intensité. Attention à ne pas installer de ventilation mécanique près de la cheminée, elle accélérerait la combustion.

Dans une maison moyennement isolée, comptez 8 kW pour le chauffage de 30 m² par une journée froide d'hiver. 1 l d'éthanol produit 5,91 kW. Si vous allumez votre cheminée 3 h par jour, sachant que le litre d'éthanol vaut environ 2 €, cela vous revient à 6 €.

À notre avis, les dépenses de chauffage représenteront toutefois plus de 600 € par an pour notre ménage type.

Les modèles d'entrée de gamme sont à environ 1 000 € et on atteint vite 4 000 € selon que le produit possède ou non un réservoir longue durée. L'éthanol est en général vendu par bidon de 20 l au prix d'une quarantaine d'euros TTC le bidon.



*Un exemple très design de cheminée à l'éthanol.
(Photo Climart).*

Un gîte d'étape qui chauffe ses 300 m² pour... 700 € par an

Pierre-Gilles Bellin : « Gérard, est-ce que tu peux nous expliquer les raisons qui t'ont poussé à choisir l'énergie solaire et cette forme d'habitat ? »

Gérard Jarno : « Notre idée, c'était de donner la priorité aux énergies renouvelables. Nous avons donc choisi le solaire pour le chauffage, associé au bois, parce que nous pensons que c'est propre et gratuit à l'usage. Nous avons associé 10 panneaux solaires thermiques Clipsol et une chaudière à bois déchiqueté à un plancher chauffant de 300 m² par circulation forcée d'eau chaude. »

PGB : « Quel a été le coût de l'installation ? »

GJ : « Toutes taxes comprises, le solaire nous a coûté 27 000 € et la chaudière 19 000 €, soit au total 46 000. Comme le système énergétique chauffe aux 2/3 le gîte et au 1/3 la maison, nous avons récupéré les 2/3 de la TVA sur 46 000 €, soit 6 000 €. À cela s'ajoute le crédit d'impôt mais cet apport est minoritaire : il porte uniquement sur la partie du matériel destinée à l'usage de la famille, soit 40 %.

PGB : « Le crédit d'impôt est contesté, car le problème crucial est le manque d'installateurs ; c'est ce manque qui entraîne les prix à la hausse, une tendance mécanique encore accrue par l'augmentation des charges... Tout cela engloutit les bénéfices que l'on pourrait attendre du crédit d'impôt. Autre question : combien économises-tu par mois avec ton système ? »

GJ : « Je connais quelqu'un qui a un gîte exactement équivalent, représentant 300 m², mais qu'il chauffe avec des convecteurs électriques, pour 400 € par mois. Nous, sur les 2 mois de fin d'hiver dernier pour lesquels nous avons fait le calcul, cela nous est revenu à 95 € ! »



Des bâtiments harmonieux et massifs qui associent la terre crue et le schiste rose, et dont la masse met en réserve des quantités énormes de chaleur à la belle saison, puis de fraîcheur en hiver.



Les 10 panneaux solaires thermiques du toit.

Le gîte de la Hulotte

Béatrice et Gérard Jarno ont ouvert en juillet 2005 un gîte d'étape d'une capacité d'hébergement de 17 personnes (plus les 3 membres de la famille). Leur souhait était de créer en haute Bretagne, à la lisière de la forêt de Brocéliande, un lieu convivial, agréable à vivre, où l'on privilégie le contact. « C'est tout naturellement que nous nous sommes tournés vers l'éco-habitat », explique Gérard.

PGB : « Le budget moyen de chauffage d'une famille de 4 personnes est de 600 € par an... À surface équivalente tu ne dépenserais donc que 200 €, soit 400 € d'économie par an, 4 000 € en 10 ans ! Évidemment, tu n'atteindrais pas cette performance sans isolation ni masse thermique... »

GJ : « C'est pourquoi nous avons placé 30 cm de laine de roche sur les plafonds sur les 2/3 du bâtiment (10 cm sur le 1/3 restant).

Les murs extérieurs intègrent de la brique Monomur de 37,5 cm de large qui, enduite, nous donne des murs de 40 cm d'épaisseur (à l'extérieur, car la masse des murs intérieurs est énorme – près de 1 m par endroit, sur 7-8 m d'élévation).

Je précise aussi qu'il n'y a plus de fils électriques dont le champ électromagnétique rayonne un peu partout : ils sont en effet gainés d'une couche de PVC et d'un enrobage en plastique dur. L'endroit est devenu tellement sain de ce point de vue qu'un géobiologiste a choisi le gîte pour venir donner ses cours sur les réseaux Hartmann [réseau magnétique qui maille le sous-sol, ndla] »

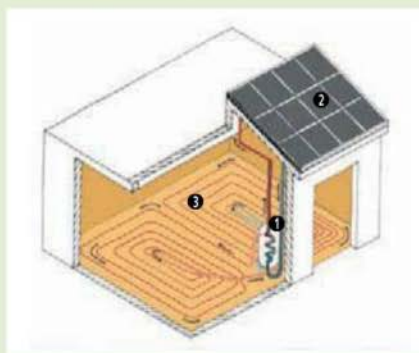


Schéma de l'installation thermique. L'eau en provenance du ballon (1), chauffée par le fluide caloporteur réchauffé par les panneaux solaires (2), circule dans le plancher et réchauffe elle-même les dalles (3). La chaleur va baigner la maison et doucement chauffer l'air, les murs et les plafonds.



La chaudière ...et son silo à bois déchiqueté. C'est une entreprise d'élagage des environs qui, chaque année, vient le remplir de 14 m³ de bois. (Comptez 20 € le mètre cube.)

Arca Minore : une combinaison des systèmes passifs

Nous avons décidé que le préprototype d'Arca Minore serait l'occasion d'expérimenter *in vivo* les techniques d'isolation et de récupération de la chaleur, montre et thermomètre en mains, en comptabilisant au fur et à mesure les gains obtenus.

La maisonnette, de plan rectangulaire avec ouverture au nord, présente une forme et une implantation défavorables, que les contraintes de l'urbanisme local nous ont obligés d'adopter. Elle est donc particulièrement exposée aux vents. Toutefois, nous avons remarqué que, sans aucun chauffage, lors d'une journée froide et ensoleillée d'hiver, les 3 baies vitrées portaient l'air aux alentours de 21 °C vers 14 h. Cette température chutait ensuite de manière continue jusqu'au petit matin, où la température n'atteignait plus que 5-7 °C à l'intérieur lorsqu'il faisait 0 °C dehors – du moins avant le travail d'isolation par l'extérieur.

En fait, lorsque l'amplitude thermique extérieure était importante (avec un maximum vers 14 h et un minimum vers 7 h), la maison perdait entre 12 h et 7 h le lendemain matin près de 30 kW... alors que les radiations du soleil s'étaient chargées, de 7 h du matin à 12 h, d'apporter ces mêmes 30 kW !

Ces 30 kW correspondent à l'énergie fournie par un poêle de 3 kW allumé 10 h à feu moyen. La question était donc, comme nous avons fait le choix d'un poêle d'une contenance minimale, dont l'autonomie est de 1 h 30 : comment garder la chaleur du soleil et chauffer au minimum ?

Pour cela, nous avons testé la combinaison suivante :

– une masse thermique de 2 t bâtie autour de notre poêle « premier prix » installé au centre de la maison ;



Le poêle avec sa hotte massive de 2 m³, isolée avec des plaques Fermacell recouvertes de dalles en pierre habituellement utilisées pour le sol – donc massives. Le jeu consiste à chauffer autant que possible les pierres avant d'aller se coucher pour qu'elles restituent leur chaleur la nuit. Le poêle a aussi été légèrement avancé pour qu'il chauffe davantage la pièce quand il est allumé : 33 % de sa chaleur rayonnent vers les occupants, 66 % vers les pierres de la masse.

La hotte est équipée de 2 grilles de dépressurisation. Lorsque le poêle fonctionne, on les ferme pour confiner le plus possible la chaleur et augmenter la température de la masse. À l'intérieur, celle-ci atteint parfois 80 °C : il faut veiller à ne pas trop chauffer... Une fois le poêle éteint, lorsque l'on veut chauffer davantage la maison, on ouvre celle du haut ouiet celle du bas.





L'arrivée d'air frais du poêle en cours de travaux, puis terminée. Elle est aussi le débouché du puits canadien. Sans elle, on perdrait 30 % de l'effet de chaleur.

- derrière les cloisons de la maison, un isolant mince multicouche, qui fait rebondir la chaleur rayonnée par les flammes vers la masse du poêle, renforçant l'effet de stockage ;
- des rideaux isolants hermétiquement clos la nuit, comprenant entre les tissus un isolant mince multicouche haut de gamme ;
- l'alimentation du poêle en air par un puits canadien, qui fournit un air à 12 °C (et rafraîchit la maison l'été) ;
- un toit comportant 5 à 10 cm de terre selon les endroits, qui fait masse ;
- des abords plantés et des buttes de terre « emmitouflant » la maison.

Cette installation a été faite de manière hyper-économique : le poêle et la masse thermique nous sont revenus à 1 500 €, le puits canadien, réalisé en même temps que les fondations et les drains, à environ 300 € (le principe de l'autoconstruction et l'économie d'un véritable poêle de masse nous aura permis une économie globale d'environ 12 000 €).

À l'usage, ces techniques représentent une économie annuelle de 200 € si l'on se base sur un budget moyen mensuel de 400 € pour le chauffage.

Baies vitrées et rideaux isolants

Dans la grande pièce de notre préprototype, par cette même journée ensoleillée d'hiver, dès 16 h nous pouvions sentir le froid sur nos bras en passant devant les baies si nous étions en

tee-shirt, le soleil n'apportant déjà plus aucune chaleur.

Pour y remédier, plutôt que des vitrages à double ou triple vitrage, nous avons fait le choix de rideaux isolants, constitués d'un isolant mince multicouche au R de 5, pris entre deux tissus. Leur intérêt ici était double car, outre leur capacité isolante, ils permettaient de faire rebondir la chaleur du poêle vers sa masse thermique.

Les matins d'hiver les plus froids, alors que le thermomètre affichait 12 °C avant cette installation, nous relevons désormais 17 °C, et cela sans chauffer plus de 2 h en soirée. La preuve est donc faite que, pour 600 € le rideau de 4 m², il est possible d'isoler ses baies vitrées de manière extrêmement efficace, sans remplacer les vitrages.



Sur chaque côté et en bas des rideaux isolants, des bandes Scratch permettent de les fermer hermétiquement. En revanche, la stratification de l'air permet de laisser le haut ouvert : la présence de l'air le plus chaud fait obstacle à la pénétration de l'air froid.



Les rideaux isolants ouverts.

Tout en un : fondations, ventilation et alimentation en air du poêle

Le puits canadien sert traditionnellement pour la ventilation l'hiver et la climatisation l'été ; dans notre préprototypage, il amène également l'air frais au poêle de masse... Pour limiter les travaux, nous nous sommes servis pour l'installer des fossés nécessaires au drainage du site.

Pour une construction neuve, nous conseillons d'associer et de réaliser en même temps des fondations classiques en « semelle filante » et un puits canadien, l'ensemble évitant la réalisation d'un hérisson, d'une dalle de béton, d'un vide sanitaire... (voir page 57). Le puits canadien en lui-même, qui garantit un air à 12 °C toute l'année et maintient l'humidité intérieure de la maison à un niveau idéal, nous a bien sûr dispensé d'une ventilation classique avec échangeur de chaleur.

Le coût de réalisation du puits canadien se résume pratiquement aux frais de location du tractopelle (de 50 à 80 €/h) qui sert à réaliser les 50 m de tranchée (à 2 m de profondeur) nécessaires. Comptez 2 h d'utilisation de la machine.



Le tuyau du puits canadien (1) part de la remise (2) et débouche dans l'habitat (3) devant le poêle de masse.



La pose du puits canadien.



Entrée de l'air en été du puits canadien : au frais sous les arbres derrière cet édicule en construction.



Entrée de l'air en hiver du puits canadien : à l'intérieur de l'édicule, au point le plus haut, c'est-à-dire là où se trouve l'air le plus chaud.



Au milieu du parcours, un tuyau vertical permet de plonger la tête d'une pompe pour retirer l'eau de condensation qui tend à s'accumuler en bas du puits canadien.



Aérateur du puits canadien.

Fonctionnant sur du 12 V, il est placé dans le tuyau du puits canadien, à son arrivée, et relié à un panneau solaire. Quand il fait froid, c'est l'énorme aspiration produite par la combustion des bûches dans le poêle qui met en marche le puits. L'expérience montre cependant qu'en orientant les bouches d'entrée de l'air du puits dans le sens du vent, la pression est suffisante pour que le puits fonctionne naturellement.

L'extension à venir du préprototype

Selon le principe du fractal (ou des poupées russes), une maison n'est parfaitement isolée que si elle est coiffée, entourée par une autre maison, des bâtiments annexes divers, bref, comprise dans une structure plus vaste.

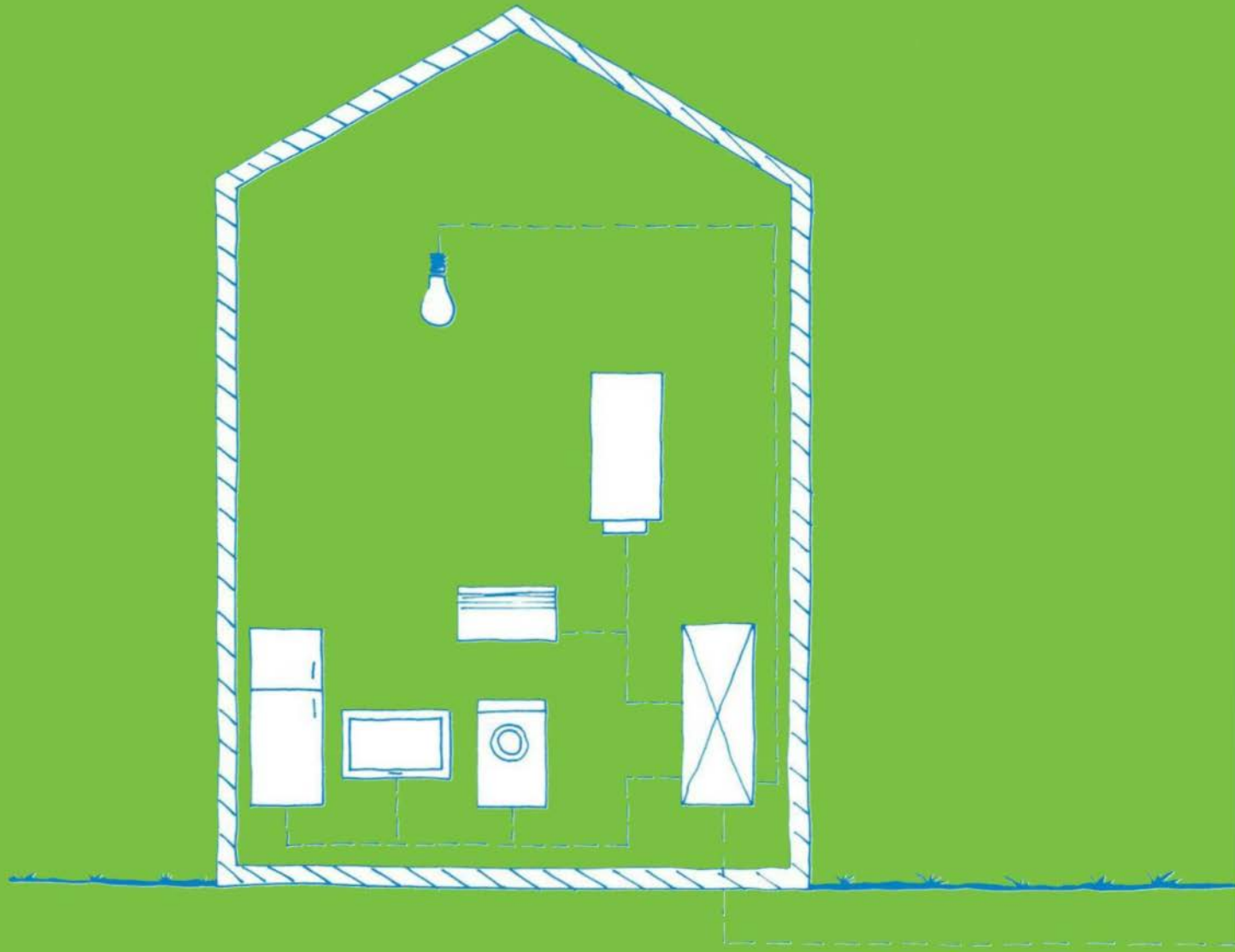
C'est pourquoi, comme vous le remarquez sur ce dessin, le préprototype sera englobé dans le prototype (le rectangle vertical derrière) où seront développés les enseignements tirés précédemment (masses, isolation, circulations optimales des énergies). La passivité de l'ensemble sera notamment assurée par l'importance du poêle de masse, l'air chaud se diffusant naturellement dans la construction verticale à partir de l'habitat initial situé plus bas.



L'extension qui coiffe le préprototype a une emprise au sol de 37 m². Ses fondations s'étendent sur la tranchée des drains et du tuyau du puits canadien. Elle englobera la façade sud-est du préprototype ainsi qu'une partie de son toit, garantissant une isolation maximale.



Prototype Arca Minore.





L'électricité

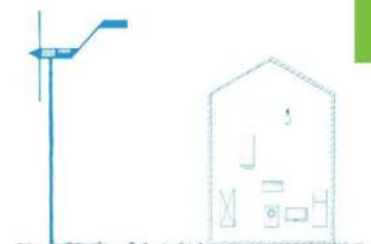
Il devient peu à peu rentable de produire son électricité : les cellules solaires des premiers satellites coûtaient, en 1965, 200 \$ par watt ; 40 ans plus tard, elles reviennent au particulier 2,70 \$ par watt, soit une division par 74. Spectrolab, associée à Boeing, vient d'annoncer la réalisation de capteurs solaires dont le rendement serait de 40,70 % – pour 12 à 18 % aujourd'hui. D'ores et déjà, le Japonais Sanyo vient de sortir un capteur au rendement doublé (215 W).

En 1990, l'électricité éolienne était produite aux États-Unis à 8-10 cents de \$ au kWh ; en 2006, le même kWh coûtait 3,5-4 cents : – 50 % en 16 ans. Si l'on vise 0,158 € au kWh (coût TTC du kWh d'EDF en 2007), à ce rythme, l'éolien individuel sera rapidement rentable.

Mais pourquoi attendre ? Vous pouvez en effet passer en autoproduction électrique dès aujourd'hui si vous choisissez des appareils électriques peu gourmands ; vous associez capteurs solaires, éolien, voire groupe électrogène ; vous ne vous raccordez pas à EDF, afin d'éviter les frais de raccord, assez élevés pour une maison individuelle ; vous divisez par deux le réseau électrique nécessaire dans la maison, donc le coût de son installation.

Cela vous évitera aussi les hausses à venir des tarifs électriques : de 2006 à 2007, le prix TTC du kWh vendu par EDF a augmenté de 9 % ; d'ores et déjà, la libéralisation du marché de l'électricité, si vous ne faites plus appel à cet opérateur dont les prix de vente sont réglementés, peut signifier une augmentation encore plus forte du kWh. En effet, dans le marché global de la production électrique, nombreuses sont les centrales à fonctionner au gaz et au fioul, presque deux fois plus chers que le nucléaire.

Vous devrez probablement poser seul ce réseau d'autoproduction électrique, car les artisans capables de le faire sont encore rares. Nous vous montrerons ici comment.



CHAPITRE 1 Un peu de physique

Qu'est-ce que l'électricité ?

Si l'on ne peut pas voir l'électricité, on peut en revanche en observer les effets : certains corps frottés par un chiffon s'attirent ; certains autres se repoussent. Ce jeu d'attraction-répulsion est formalisé de la manière suivante : les charges de signe contraire, symbolisées «+» et «-», s'attirent ; les charges de même signe (+ +; - -) se repoussent (cela aurait pu être le contraire, ce sont juste des conventions).

Les électrons, qui tournent autour du noyau des atomes, sont dits «-» (autrement dit, de charge négative) ; les protons (dans le noyau des atomes) sont dits «+» (autrement dit, de charge positive). Dans ce jeu d'attraction-répulsion, des étincelles naissent parfois : les étincelles sont de la lumière et de la chaleur (un tout petit peu !). Ce sont ces deux effets que l'homme a voulu domestiquer.

Une règle en plastique, qu'on a frottée sur ses vêtements et qu'on approche ensuite de morceaux de papier disposés sur une table, les attire. Que s'est-il passé ?

En frottant la règle, on l'a chargée de charges d'électricité négative (d'électrons) présentes sur les vêtements et que l'on a littéralement arrachées au tissu. Quand on approche cette règle des morceaux de papier, ces charges négatives repoussent les charges négatives présentes sur les bords immédiats des morceaux de papier tandis qu'elles attirent les charges positives de l'autre bord. Résultat : les morceaux de papier se collent sur la règle. C'est l'électricité statique : « statique », parce qu'elle ne bouge pas.

L'électricité qui nous intéresse doit circuler pour illuminer une pièce ou faire marcher un moteur : d'où l'expression de... « courant ». Mais pourquoi l'électricité court-elle ?

Vous venez de toucher la poignée métallique d'une porte et vous avez ressenti une petite décharge. Que s'est-il passé ? Vous aviez accumulé à la surface de votre corps beaucoup d'électrons (par frottement des tissus sur la peau) – plus qu'il n'y en a sur la poignée puis dans le sol auquel elle est indirectement reliée ; c'est un peu comme si vous aviez mis un réservoir d'eau au contact d'un tuyau. Le trop-plein s'écoule dans le tuyau : passant par votre main, le trop-plein d'électrons se déverse dans le sol via la poignée. Le vide attire le trop-plein, il est bien connu que les choses cherchent à s'équilibrer.

Volts et ampères

La différence entre le nombre de charges est appelée « différence de potentiel ». Souvenez-vous de l'eau : vous avez relié un réservoir plein à un réservoir à moitié vide par un tuyau et l'eau s'est mise à couler vers le réservoir à moitié vide. C'est pareil pour l'électricité.

Cette différence de potentiel est notée « U » ; elle s'exprime en « volts » (V). En quelque sorte, en créant une tension quelque part, c'est comme si vous construisiez un réservoir plein, le câble électrique étant le tuyau qui va envoyer l'énergie vers les « réservoirs » vides que sont symboliquement vos appareils électriques.

Plus il y a de volts, plus la différence de potentiel est grande, plus vous pourrez faire circuler d'électricité : avec 230 V, vous l'enverrez partout dans la maison ; avec 20 000 V, partout en France.

Le débit d'un cours d'eau se mesure en mètres cubes : comment mesure-t-on le débit d'un courant électrique ? En « ampères » (A) ; on l'appelle « intensité » (I).

En résumé

U = différence de potentiel (ou tension).

Volt = unité de mesure de la différence de potentiel.

La différence de potentiel symbolise la différence de « niveaux » entre deux « réservoirs ».

Elle permet au « courant » d'aller de l'un à l'autre, bref, de circuler.

I = intensité d'un courant électrique, c'est-à-dire la quantité de courant électrique (son « débit ») ou encore le nombre de charges électriques passant à chaque seconde en un point du « tuyau ».

Ampère = unité de mesure de l'intensité.

La circulation de l'énergie

Les fils électriques sont les tuyaux parcourus par l'énergie. Toute matière possède des électrons, y compris les fils électriques.

Dans le fil électrique, que se passe-t-il ? Les électrons du bout sont pompés (grâce à la différence de potentiel). C'est comme si vous aviez ouvert un robinet. Tandis que des électrons partent à un bout, d'autres électrons arrivent et s'accumulent à l'autre bout, les nouveaux poussant les anciens... À la vitesse de... 60 cm par heure !

Comment ? Les électrons ne circulent pas à la vitesse de la lumière ? Eh bien non !

Or, quand vous allumez la lumière, elle n'attend pas plusieurs heures avant de se mettre en route. Pourquoi ? Parce que l'énergie s'est transmise immédiatement à tout le circuit : un « champ électrique » et un « champ magnétique » (zone autour du fil où s'exercent des forces électromagnétiques et d'attraction nées du courant) sont nés instantanément, transmettant à la vitesse de la lumière l'énergie dans tout le fil.

Pour comprendre ce phénomène, imaginez une roue : vos doigts la poussent en un seul endroit, mais voilà que la roue entière se déplace d'un coup. L'énergie s'est donc aussitôt transmise à tous les atomes de la roue.

Courant alternatif ou continu ?

Quand un courant va toujours dans le même « sens », il est dit « continu » : les électrons vont toujours dans le même sens.

Mais un courant peut aller une fois dans un sens, une fois dans un autre, et ce, plusieurs fois par seconde : il est alors dit « alternatif ».

S'il change de sens 2 fois par seconde, c'est un courant de 2 hertz (Hz) ; 50 fois par seconde, il est de 50 Hz. En France, le courant distribué est de 50 Hz.

Peu importe qu'il aille dans un sens ou un autre pour vos appareils : le principal est qu'à chaque fois il distribue son énergie instantanément.

La puissance des appareils électriques

Vous avez très certainement noté qu'au dos de chaque appareil électrique est indiquée sa puissance, c'est-à-dire l'énergie dont il a besoin pour fonctionner ; la puissance s'exprime en « watts » (W).

Un téléviseur a besoin, par exemple, de 100 W pour fonctionner.

Qu'est-ce que la « résistance » d'un fil électrique ?

Pourquoi un câble électrique chauffe-t-il ? L'agitation thermique est un effet de l'élévation de température, comme le fait de chauffer une casserole d'eau.

Ici, il s'agit de faire circuler un courant d'électrons qui subissent des chocs. C'est l'ensemble de ces chocs qui dégage de la chaleur.

Lorsqu'un électron est soumis à un champ électrique (dû à une différence de potentiel), il subit une force dirigée dans le sens contraire du champ et commence à se déplacer. Il a donc une vitesse et une accélération. Mais l'environnement de l'électron crée des obstacles par des « chocs » avec les défauts du matériau, les atomes sur son chemin, etc.

Imaginez une moto à la lisière d'une forêt ; elle accélère, prend de la vitesse, se rapproche de la forêt, pénètre à l'intérieur et... bien sûr, heurte un arbre. Elle va alors soit s'écraser sur cet arbre, soit rebondir... avant d'aller s'écraser contre un second. Quoi qu'il en soit, la moto n'ira pas bien loin. C'est ce qui se passe pour l'électron, mais il est beaucoup plus résistant et une force l'amène à repartir sans cesse.

L'électron part donc, puis est arrêté par un choc. Il perd de l'énergie lors de ce choc ; soit il s'arrête complètement, soit il rebondit et se heurte à un deuxième atome (par exemple), perdant encore de l'énergie, et ainsi de suite ; dans le même temps, la force à laquelle il est soumis est constante (U), il reprend donc sans cesse son mouvement et subit sans cesse de nouveaux chocs. C'est pour cela que les électrons ne vont pas vite...

Nous comprenons à présent comment un courant chauffe un fil électrique. Si le « débit » (l'intensité ou l'énergie qui circule, exprimée en ampères) du courant électrique est trop forte, le fil électrique va trop chauffer. Comment l'éviter ? En réduisant l'intensité : en effet, quand on divise l'intensité par 10, on divise par 100 la chaleur dissipée dans le câble.

Il convient donc de trouver un juste milieu pour le diamètre des câbles car, rappelons-le, ils sont comme des « tuyaux » : plus ils sont d'un petit diamètre, plus il faut de « pression » pour que le courant puisse y circuler.

Conclusion : si un câble est parcouru par du 230 V, sa section peut être mince ; s'il est parcouru par du 24 V, voire du 12 V, sa section doit être plus épaisse. Conclusion pour le diamètre de vos fils électriques :

- diamètre important pour une tension de 12-24 V ;
- diamètre normal pour une tension de 230 V.

Or, certaines maisons autonomes, alimentées par des capteurs solaires générant un courant de 12-24 V, sont câblées pour le 12-24 V : cependant, nous verrons qu'il faut toujours

Rôle du transformateur

Il n'est pas forcément nécessaire d'augmenter la section du conducteur si l'on augmente l'intensité ; on peut également augmenter la tension, ce qui a pour effet de diminuer l'intensité à puissance égale. Tel est le rôle du transformateur.

utiliser un courant de 230 V, et donc transformer le 12-24 V en 230 V, grâce à un « convertisseur » qui « redresse » le courant. En effet, la plupart des appareils électriques n'acceptent que le 230 V.

Watts, fils électriques, volts et ampères

Vous allumez vos appareils : ils pompent donc l'énergie dont ils ont besoin pour fonctionner (c'est-à-dire leur puissance), que l'on mesure en watts.

Ce flux d'énergie circule dans le fil avec une certaine intensité, un certain débit... exprimé en ampères.

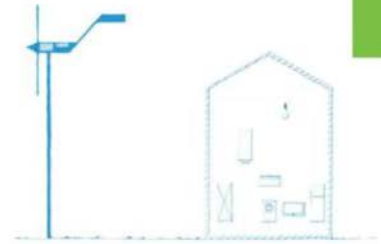
Une formule unit différence de potentiel, intensité et puissance.

Puissance (P) = tension (U) x intensité (I).

Plus simplement : $P = UI$.

Autrement dit : watt = volt x ampère, ou $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$.

Ampère = watt/volt.



Économiser l'électricité

CHAPITRE 2

Pour avoir une maison autonome en électricité, il faut :

- comprendre ce que consomment vos appareils électriques usuels ;
- comprendre ce que vous payez exactement sur votre facture électrique, comment se situe votre consommation par rapport à la moyenne des ménages ;
- connaître les règles d'économie, les « commandements » de la maison autonome ;
- établir, pour le même niveau de confort, la consommation électrique la plus basse ;
- comprendre enfin en quoi le réseau électrique habituel de la maison est non seulement excessivement coûteux, mais aussi pourquoi il est aussi énergétivore.

Pour chiffrer la consommation énergétique d'un ménage, on raisonne en kilowatts-heure : 1 kWh = 1 000 wattseure. Quand il est indiqué 40 watts sur un appareil électrique, c'est sa puissance. S'il fonctionne 1 000 heures par an, il consommera sur une année : 1 000 heures x 40 watts = 40 000 wattseure = 40 kilowatts (kWh).

Un téléviseur de 120 W aura consommé 120 W en une heure ; certains appareils sont plus énergétivores que d'autres : ceux qui comportent une résistance. C'est un fil qui, chauffé au rouge, va permettre de faire bouillir de l'eau, de faire chauffer un radiateur électrique, etc. Ainsi, une machine à café économe indique en général une puissance de 660 W. En 20 min, elle aura consommé 220 wattseure. Bref, 20 min de machine à café consomment presque 2 fois plus que 1 h de téléviseur grand écran.

Calculez votre consommation

La connaissance de la consommation annuelle de tous les appareils d'une maison est indispensable pour autoproduire son électricité : les tableaux pages suivantes montrent que les appareils les plus consommateurs sont les plaques vitrocéramique, les fours, le chauffage électrique et tout le petit électroménager équipé de résistances : sèche-cheveux, cafetière électrique, chauffe-biberon, etc. Dans une facture électrique moyenne, ce sont les résistances qui coûtent cher ; une analyse fine de cette facture électrique permettra de comprendre le vrai coût du kWh et d'opter pour la meilleure stratégie d'autoproduction électrique.

Plutôt que d'établir des fourchettes, nous avons relevé, dans une grande surface, les caractéristiques des appareils actuellement vendus les moins consommateurs (ceux de classe A). Il ne s'agit donc pas de moyennes, mais d'un sondage autour d'un choix d'appareils économes.



L'étiquette-énergie. Pour répondre à diverses directives européennes, la plupart des appareils électriques doivent aujourd'hui avoir une étiquette-énergie. On y trouve notamment la classe énergétique : une couleur associée à une lettre (de A à G) qui donne une idée de la consommation d'énergie. Vert foncé et A : appareil économe ; rouge et G : appareil très consommateur d'énergie. On y trouve aussi d'autres informations sur la consommation, la capacité, le bruit, etc.

La cuisine et son gros électroménager

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance	Consommation moyenne pour une seule utilisation (kWh) ⁽¹⁾	Consommation annuelle (kWh/an)
Plaque de cuisson vitrocéramique 2 foyers	Brandt (ti 302 b 51) 400 €	2 800 W	Consommation maximale toutes plaques allumées environ 7 A/h (prise 16 A)	600 kWh/an (hypothèse de 1 h de cuisson par jour) ⁽²⁾
Plaque de cuisson vitrocéramique 4 foyers	Rosières (rvm 644 pn) environ 500 €	7 200 W	Prise 16 A	600 kWh/an (hypothèse de 1 h de cuisson par jour)
Four électrique encastrable	Sauter environ 700 €	3 390 W	nc	175 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h/semaine) ⁽²⁾
Four à micro-ondes	Brandt environ 200 €	900 W	1,55 kWh	75 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 8 min/jour) ⁽²⁾
Cuisinière comprenant 4 plaques vitrocéramique + 1 four électrique	Faure environ 700 €	8 900 W	0,84 kWh Prise 32 A	305 kWh/an (hypothèse de 1 heure de cuisson par jour) ⁽²⁾
Lave-vaisselle	Candy (cd 355) environ 400 €	2 150 W	0,74 kWh par cycle de lavage	135 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2 jours)
Lave-linge frontal	Candy (go 714) environ 550 €	2 150 W	1,19 kWh par cycle de lavage (pour 7 kg de linge)	175 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2,5 jours)
Lave-linge séchant	Indesit (wial 146) environ 500 €	1 850 W	3,7 kWh par cycle	540 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2,5 jours)
Sèche-linge à chargement frontal	Proline (slc 75) environ 300 €	2 200 W	4,35 kWh par cycle	635 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2,5 jours)
Petit réfrigérateur (hauteur 87 cm)	Rosières (rbia 170) environ 500 €	90 W	0,41 kWh/24 h	150 kWh/an
Réfrigérateur « classique » (hauteur 162,7 cm)	Whirlpool (arc 3570) environ 700 €	130 W	0,72 kWh/24 h	265 kWh/an
Congélateur	Arthur Martin (ALS 2372) environ 500 €	193 W	0,819 kWh/24 h	300 kWh/an
Hotte	Brandt environ 250 €	1 moteur de 160 W + 2 lumières de 40 W pour l'éclairage	0,24 kWh	90 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h par jour)

(1) 4^e colonne : pour les appareils les plus puissants, les fabricants doivent indiquer la consommation pour une utilisation (préparer un déjeuner pour les plaques vitrocéramique, effectuer un lavage pour une machine, etc.) ; ce n'est pas le cas pour les plus petits appareils (voir tableaux suivants), dont les modes d'utilisation sont très variables et moins importants.

(2) L'hypothèse d'utilisation est faite pour un fonctionnement moyen (et non maximal) de l'appareil (ex : les fours ne sont pas à la température la plus haute, 2 des 4 plaques vitrocéramique sont allumées).

La cuisine et son petit électroménager

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Grille-pain	Proline environ 25 €	800 W	73 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 15 min par jour)
Chauffe-biberon	Tefal (bh 4250) environ 100 €	450 W	41 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 15 min par jour)
Presse-agrumes	Krups environ 160 €	115 W	3 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 5 min par jour)
Gaufrier	Ariete environ 80 €	1 280 W	66 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h par semaine)
Machine à café	Krups environ 250 €	1 200 W	109 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 15 min par jour)

Aspirer et repasser

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Aspirateur	Miele environ 500 €	2 200 W	114 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h par semaine)
Fer à repasser	Calor Aquaspeed environ 60 €	2 200 W	57 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 30 min par semaine)

La salle de bains

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Sèche-cheveux	Remington environ 65 €	2 000 W	52 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 30 min par semaine)

La téléphonie

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Téléphone/fax	Philips (ax jet 365) environ 200 €	20 W	175 kWh/an

Le salon et ses distractions

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Téléviseur grand écran à tube	Thomson (21 dc 320) environ 300 €	60 W	153 kWh/an (fonctionnement normal) + 17 kWh/an (veille) = 170 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 7 h par jour et non-extinction de la veille)
Téléviseur LCD couleur (grand écran plat)	Sharp (lc 32gd8e) environ 1 300 €	147 W (consommation en veille : 0,9 Wh)	375 kWh/an (fonctionnement normal) + 6 kWh/an (veille) = 381 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 7 h par jour, et non-extinction de la veille)
Enregistreur de DVD / magnétoscope	Pioneer (dvd 540 hx 5) environ 1 300 €	48 W	7 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 3 h par semaine)
Minichaine	Thomson (c5520) environ 150 €	80 W	21 kWh/an 21 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 5 h par semaine)

L'informatique

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Ordinateur de bureau et son écran	IQON France, Qleever DE 2 600 avec écran 19 pouces environ 700 €	300 W	219 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 2 h par jour)
Ordinateur portable	Apple (mac OS X, système tiger) environ 1 100 €	30 à 40 W	22 à 29 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 2 h par jour)
Imprimante	Hewlett-Packard environ 129 €	40 W	2 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h par semaine)

Éclairer

Type d'appareil	Puissance	Consommation annuelle (kWh/an)
Lampe halogène	500 W (éclairage maximum)	550 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 3 h par jour)
Ampoule « classique »	100 W	73 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 2 h par jour)
Spots (de salle de bains, par ex.)	60 W	98 kWh/an (hypothèse d'une salle de bains avec 3 lampes utilisées 1 h 30 par jour)
Éclairage faible	40 W	66 kWh/an (hypothèse de 3 lampes de chevet utilisées 1 h 30 par jour)

Chauffer, climatiser, ventiler, divers

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation annuelle (kWh/an)
Radiateur électrique	Environ 700 € pour 15 m ²	1 500 W	en tout, compter en moyenne 8 500 kWh/an pour une maison bien isolée de 120 m ² (avec un radiateur tous les 15 m ²)
Convecteur soufflant	De'longhi (hvk 1010) environ 19 €	2 000 W	120 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 2 h par jour, 30 jours par an)
Climatiseur	Bosch (pam 19 000) environ 679 €	1 900 W	171 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 3 h par jour, 30 jours par an)
Ventilateur	Calor (vu 1010 cd) environ 59 €	40 W	2,4 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 2 h par jour, 30 jours par an)
Chaudière à granulés de bois	À partir de 10 000 €	Bougie d'allumage : 300 W Ventilateur : 100 W	72 kWh/an (hypothèse d'utilisation : 1 allumage au début de la saison, 10 min par heure de ventilateur, 6 mois d'utilisation de la chaudière par an)
Chauffe-eau électrique	environ 200 €	De 2 000 à 3 000 W	3 500 kWh/an (eau chaude consommée par une famille de 4 personnes)
Chauffe-eau solaire	De 1 500 à 5 000 €	40 W en fonctionnement, 1 W en veille (fonctionnement de la pompe)	68 kWh/an (hypothèse de 1 700 h d'ensoleillement par an)
Volet électrique (pour une baie vitrée de 240 x 200 cm)		De 35 à 50 W	De 0,6 kWh/an (3 volets remontés et descendus 1 fois par jour pendant 1 min au total)

La consommation d'un ménage type de 4 personnes

Soit l'exemple d'un ménage composé de 4 personnes (2 adultes, 2 enfants), qui consomme un peu moins de 6 200 kWh par an, ce qui représente une dépense de 975 € (81 € par mois). Cette dépense est loin d'être négligeable. Le ménage a pourtant acheté les appareils les plus économes qui existent ; il les utilise peu, souvent moins que dans les exemples répertoriés précédemment... Mieux encore : à une maison de 120 m², il a préféré une maison de 100 m².

Si ce ménage chauffe sa maison à l'électricité tout en disposant du label Promotelec (synonyme d'une bonne isolation), la facture fait plus que doubler : il faut en effet ajouter plus de 1 700 € par an pour les radiateurs électriques et le chauffe-eau électrique.

En résumé

L'ennemi de l'habitat autonome en électricité, c'est la résistance.

Dépenses électriques annuelles d'un ménage type de 4 personnes

Poste de dépense	Hypothèse d'utilisation	Coût
Éclairage :		
– 15 lampes à incandescence avec ampoules de 100 W	2 h par jour pour chaque lampe	173 € par an
– 1 halogène	3 h par jour	87 € par an
4 plaques vitrocéramique	1 h par jour	95 € par an
Four électrique	1 h par semaine	28 € par an
Gaufrier	1 h par semaine	10 € par an
Grille-pain	15 min par jour	11,5 € par an
Hotte aspirante	1 h par jour	14 € par an
Fer à repasser	30 min par semaine	9 € par an
Réfrigérateur (avec un compartiment congélateur)	–	42 € par an
Congélateur	–	47 € par an
Lave-linge	tous les 2,5 jours	28 € par an
Lave-vaisselle	1 fois tous les 2 jours	21 € par an
Sèche-linge électrique	tous les 2,5 jours	100 € par an
Sèche-cheveux	30 min par semaine	8 € par an
Téléviseur grand écran plat	7 h par jour, non-extinction de la veille	59 € par an
Ordinateur	2 h par jour	35 € par an
Chaîne hi-fi	5 h par semaine	3 € par an
Téléphone/fax	–	28 € par an
Aspirateur	1 h par semaine	18 € par an
Convecteur d'appoint	2 h par jour, 30 jours par an	19 € par an
Climatiseur	3 h par jour, 30 jours par an	27 € par an
Ventilateur	2 h par jour, 30 jours par an	0,5 € par an
Divers	–	100 € par an
Sous-total		975 € par an
Chauffage électrique d'une maison de 100 m ² bien isolée en région parisienne bâtie après 1989		1 210 € par an
Eau chaude (ballon électrique)		555 € par an
Total		2 740 € par an

La facture d'électricité d'un ménage très économe de 2 personnes

Nous vous présentons également une facture d'électricité type d'un ménage très économe de 2 personnes : il ne dépense pas plus de 2 500 kWh par an, soit environ 390 €. Vous noterez que :

- l'abonnement représente 33 % de cette facture ;
- les taxes atteignent 23 % (taxes municipale, départementale, contribution au service public de l'électricité, TVA). Dans la facture présentée, sur 391,78 €, il y a ainsi... 91 € de taxes ;
- le prix réel du kWh est donc de 0,158 € TTC en 2007, soit une augmentation en un an de 9 %. Libérée de ces charges, une maison autonome ne dépend plus de personne.

Une facture électrique*					
(établie en 2007, consommation sur un an d'un ménage de 2 personnes)					
Votre facture en détail					
Votre référence client : 22416 665 265 135 281					
Electricité compteur n° 097					
Puissance : 6 kilowatts					
Abonnement : 8,54 € /mois HT sur les 5 premiers mois, 8,59 € /mois HT sur les 7 derniers mois soit : 102,83 € (124, 47 € TTC)					
Relevé ou estimation en kWh		Consommation par an (en kWh)	Prix du kWh hors taxes	Totaux toutes taxes comprises (consommation + abonnement)	
Ancien	Nouveau	Différence			
24 598	27 147	2 549	2 549 kWh	135 jours à 0,0765 € / kWh, 224 jours à 0,0778 € / kWh	391,78 €

Les dix commandements de la maison économe

Après analyse de ces dépenses, les mesures d'économie peuvent s'énoncer en dix commandements.

- Premier commandement : une résistance jamais tu n'utiliseras (plus de radiateurs électriques, de petits convecteurs).
- Deuxième commandement : un climatiseur jamais tu n'utiliseras (voir le chapitre « L'isolation », dans la première partie).
- Troisième commandement : un ballon électrique pour chauffer ton eau chaude jamais tu n'utiliseras.
- Quatrième commandement : un halogène jamais tu n'utiliseras.
- Cinquième commandement : toutes tes ampoules par des ampoules basse consommation tu remplaceras.

Toutes les ampoules de 100 W seront ainsi remplacées par des lampes fluocompactes de 20 W, y compris l'halogène. Les Leds fournissent même un éclairage d'appoint encore plus économe.

- Sixième commandement : la cuisine à l'électricité jamais tu ne feras.

On remplacera les plaques vitrocéramique, ainsi que le four, par des appareils à gaz. Ils pourront être alimentés par une bouteille de butane/propane, qui pourra aussi être reliée à un chauffe-eau d'appoint. Faut-il préférer le gaz de ville à la bouteille de butane ? La bouteille « classique » de 30 kg coûte environ 40 € (environ 30 € hors consigne) et met en

** La demande faite par EDF au gouvernement en 2009 d'augmenter de 20 % en 2010 les coûts de l'électricité à la vente illustre parfaitement l'impossibilité pour le consommateur de maîtriser l'envolée de ses charges.*

réserve 180 kWh, le kWh revenant donc à 0,16 €. La bouteille de gaz est donc plus chère que le gaz de ville, qui coûte 0,117 € le kWh. À noter cependant que le prix du kWh électrique et celui du kWh du gaz de ville se rapprochent très vite. Le grand avantage de la bouteille est qu'elle évite un raccord coûteux avec le réseau de distribution du gaz de ville. Nous verrons que l'on peut aussi utiliser du « biogaz » pour cuisiner.

On pourra toutefois conserver son four à micro-ondes. Il ne consomme que 75 kWh par an pour une utilisation de 8 min par semaine... et ne coûte qu'une dizaine d'euros par an.

- Septième commandement : un sèche-linge électrique jamais tu n'utiliseras.
- Huitième commandement : un réfrigérateur américain jamais tu ne te paieras.
- Neuvième commandement : un ordinateur portable tu choisiras (il consomme 10 fois moins qu'un ordinateur de bureau).
- Dixième commandement : pour le petit électroportatif (petit sèche-cheveux, petit aspirateur, etc.) tu opteras.

Autres astuces : pour baisser également le poste de dépense « télévision », on pourra remplacer un téléviseur « classique » à tube cathodique de 60 W par un téléviseur à écran plat de 43 cm, d'une puissance de 35 W (300 €), vendu dans les magasins de camping-cars. On reprendra un téléphone avec fil, n'allumant le téléphone-fax qu'au moment de recevoir... des fax.

Et les résultats sont là (voir le tableau ci-contre) : au lieu de dépenser presque 2 750 € par an (y compris chauffe-eau électrique et radiateurs électriques), votre facture n'est plus que de 492 €, ce qui fait une économie de près de 2 250 € par an.

Les systèmes économiques d'éclairage

Les LEDs

Qui consomme 100 fois moins qu'une lampe à incandescence, vit 100 000 heures, se recharge au soleil sans un encombrant panneau (voire à la manivelle) et fonctionne sans fil ? Ce sont les Light Emitting Diodes (diodes électroluminescentes), ou LEDs, qui utilisent, au lieu d'un filament ou d'un gaz, un semi-conducteur dopé quand un minicourant continu les traverse (0,5 à 3 V).

Point négatif : leur faible puissance (mais on peut en associer plusieurs). Points positifs : en lampe de chevet ou, dans le jardin, en bornes lumineuses alimentées par un minipanneau



Type d'éclairage fourni par des ampoules basse consommation. (Photo Osram.)



La luminosité résulte ici de l'association de plusieurs LEDs, astucieusement dissimulées. (Photo Osram.)

Dépenses électriques annuelles du ménage type de 4 personnes après avoir appliqué les dix commandements...

Poste de dépense	Hypothèse d'utilisation	Coût
Éclairage : 16 lampes fluocompactes de 20 W	3 h par jour pour chaque lampe	55 € par an
Micro-ondes	8 min par jour	12 € par an
Gaufrier	1 h par semaine	10 € par an
Grille-pain	15 min par jour	11 € par an
Hotte aspirante	1 h par jour	14 € par an
Fer à repasser	30 min par semaine	9 € par an
Réfrigérateur (avec un compartiment congélateur)	–	42 € par an
Congélateur	–	47 € par an
Lave-linge	1 fois tous les 2,5 jours	28 € par an
Lave-vaisselle	1 fois tous les 2 jours	21 € par an
Sèche-cheveux	30 min par semaine	8 € par an
Téléviseur écran plat (35 W, 0,9 Wh en veille)	7 h par jour, non-extinction de la veille	14 € par an
Ordinateur portable	2 h par jour	5 € par an
Chaîne hi-fi	5 h par semaine	3 € par an
Aspirateur	1 h par semaine	18 € par an
Divers		100 € par an
Total		492 € par an (3 114 kWh)



LEDs « roseaux ». (Photo Osram.)



Une LED n'a pas besoin de réseau électrique pour fonctionner : son dos, collant, permet de la fixer partout dans la maison. (Photo Osram.)

L'électricité est dangereuse !

Risques de courts-circuits, donc d'incendies, risques d'électrocution... Par ailleurs, lors d'un incendie provoqué par une installation autoconstruite, si l'expert des assurances constate des erreurs, vous ne serez pas indemnisé... La pose d'un réseau électrique doit suivre les règles de l'art, lesquelles sont regroupées dans les Documents techniques unifiés (DTU), en plus d'un ensemble de labels et de normes (les normes les plus importantes pour les particuliers étant les NFC 15-100 et NFC 14-100).

Il faut également avoir à l'esprit que si vous réduisez le nombre de prises, il ne faut pas pour autant laisser fleurir les multiprises, qui peuvent aussi poser des problèmes de sécurité incendie.

solaire et une minibatterie, elles sont tout simplement géniales ; comme elles se fixent partout, vous pouvez très facilement dans une pièce les disposer en points lumineux pour vous servir de guide la nuit ; enfin, vous pouvez utiliser des piles rechargeables avec un chargeur, ce qui vous évitera d'étendre le réseau électrique de la maison.

Le câblage autonome

C'est dans le poste (le « lot », comme disent les architectes) câblage que l'autonomie permet de réaliser les plus importantes économies.

Dans votre maison, le type de câblage électrique, le nombre de prises, tout cela est régi par des normes très contraignantes – en partie pour des raisons de sécurité. Elles sont édictées par l'UTE, l'Union technique de l'électricité (sous l'autorité nominale de l'Afnor, l'Agence française de normalisation) et imposent un équipement électrique minimal aux logements neufs : par exemple, pour un appartement ou une maison comportant deux chambres, une salle de séjour, une cuisine et une salle de bains, vous devez faire installer 28 prises, pas une de moins.

Ces normes obligatoires exigent aussi d'avoir :

- une prise TV dans chaque pièce même si l'on n'a pas de téléviseur ;
- des prises téléphoniques dans chaque pièce même si l'on a un mobile ;
- 3 prises électriques dans chaque chambre, qu'elle fasse 7 ou 20 m² ;
- un plafonnier dans chaque pièce ;
- 3 socles de prise de courant « spécialisées » dans la cuisine même si l'on ne possède qu'un lave-linge et qu'un lave-vaisselle, qu'on ne fait jamais marcher en même temps.

Une fois que votre installation électrique est achevée, un organisme, « Consuel » (une association créée par EDF), la vérifie et donne son agrément : seul cet agrément permet d'être raccordé au réseau d'EDF, d'être « branché ».

Or, une maison autonome en électricité n'a pas besoin d'être raccordée au réseau d'EDF, ce qui permet ainsi de réaliser, à l'installation, de très importantes économies :

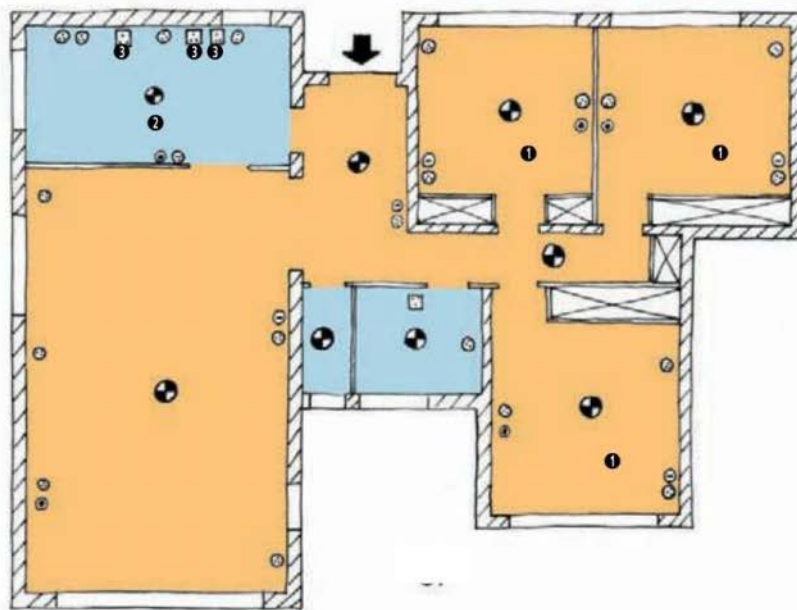
- on divise par deux le nombre de points de branchements dans la maison ; on réduit ainsi de 50 % la facture de l'électricien qui aurait demandé entre 7 000 et 7 500 € TTC pour une habitation type, soit environ 3 500 € d'économies ;
- dans le cas d'une maison individuelle, on ne paie pas les frais de raccordement, qui s'élèvent au minimum à 1 000 € (EDF prend environ 900 € TTC si la distance entre son réseau et celui de votre habitation est inférieure à 30 m, et 20 € environ par mètre supplémentaire) ;
- on économise aussi l'agrément de Consuel, puisqu'il n'est plus nécessaire, soit entre 100 et 300 € ;
- qui dit moins de prises, dit aussi moins d'appareils électriques, donc moins de consommation ;
- l'autonomie électrique totale vous permet en outre d'économiser l'abonnement, soit 130 € par an.

Votre gain final s'élèvera donc à environ 6 000 € : le prix de 3 m² de panneaux solaires photovoltaïques, d'une petite éolienne et d'une ou deux batteries électriques.

À savoir

Si vous décidez d'avoir une maison autonome, avec un nombre de prises réduit, puis si vous renoncez et demandez votre raccord à EDF, votre maison devra faire l'objet de la visite obligatoire de Consuel : ce n'est que lorsqu'elle aura approuvé l'installation électrique qu'EDF fera le branchement.

L'installation électrique obligatoire selon l'UTE



Chaque chambre (1) doit comporter 3 prises de courant, une prise pour le téléphone, une pour le téléviseur. Dans la cuisine (2), 8 prises sont obligatoires, dont 3 « socles de prise de courant spécialisé » (3) (pour les plaques chauffantes ou tout appareil électrique hyper-consommateur tel que four, micro-ondes, sèche-linge, etc.).



Éclairage d'une pièce sombre. Le puits de lumière, réfléchissant, conduit la lumière sur plusieurs mètres à partir du toit. (Photo Lumitube-solaire.)



Installation d'un puits de lumière. (Photo Lumitube-solaire.)

Les puits de lumière

En enlevant des tuiles de la toiture et en perçant les plafonds, vous pouvez éclairer une pièce peu lumineuse grâce aux puits de lumière : ces tubes, que l'on associe et qui se vendent en kit, sont en effet munis de miroirs réfléchissants qui conduisent la lumière, même après un coude, et ce sur plusieurs mètres (jusqu'à 18 m). Les diamètres des puits lumineux évoluent de 26 à 60 cm, pour un prix variant entre 700 et 2 000 €.

La brique solaire

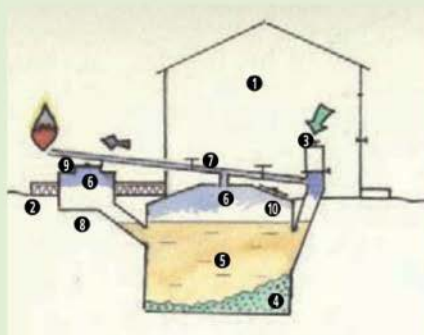
Logée dans un boisseau, une brique solaire permet d'éclairer un coin, une entrée, un w.c... à partir du moment où la façade capte des angles solaires de 12,5 °C. Fonctionnant aussi par temps gris, les briques solaires éclairent de 5 à 10 m². Elles s'adaptent à tous les murs, anciens comme nouveaux. Comptez 200 € la brique.



Puits de lumière. La prise de lumière se fait sur le toit. (Photo Lumitube-solaire.)

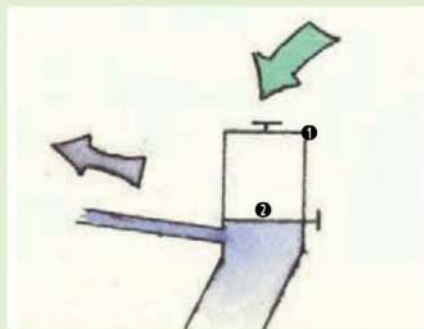
Produire le gaz de sa cuisinière

(Interview de Claude Servais, délégué général du Club biogaz)



Cette micro-installation de méthanisation est placée sous le pavillon (1), afin qu'elle soit isolée du froid (en dessous de 10 °C, la production de méthane s'arrête); notez que sous la dalle en ciment on a placé un isolant (2).

Les matières (débris de nourriture, contenu des toilettes sèches, herbe de tonte, végétaux divers, papiers, cartons) sont introduites dans le sas d'entrée des déchets (3). De là, elles tombent au fond de la cuve (4), où elles se liquéfient peu à peu (5), libérant le biogaz (6), constitué de 60 à 70 % de méthane. Une conduite (7) l'emmène ensuite vers la cuisinière. Le petit réservoir sur la gauche (8) permet de gérer les éventuels trop-plein. Il y a deux trappes de visite (9 et 10).



Détail du sas métallique d'introduction des végétaux. On ouvre successivement les portes (1) et (2) afin que le biogaz ne s'échappe pas dans l'atmosphère; évitez de verser les déchets une cigarette allumée à la bouche !

La terre, l'humus, sont produits par les réactions de décomposition des produits rejetés par les êtres vivants et par les êtres vivants eux-mêmes après leur mort.

Ces réactions produisent également des gaz. Ces gaz sont, en présence d'air, du CO₂ et, en son absence, un mélange composé essentiellement de méthane et de CO₂. C'est ce mélange qu'on appelle le « biogaz ». On peut utiliser le méthane, qu'on recueille sous terre, pour circuler dans la gazinière et actionner le chauffe-eau qui alimente la salle de bains et les radiateurs...

Une tonne de lisier de porc produit 15 m³ de méthane, une tonne de fumier 50 m³; 50 m³, c'est la consommation annuelle de gaz de deux personnes.

Nous avons interviewé Claude Servais, délégué général du Club biogaz, club chargé notamment depuis 1979 de la promotion de cette filière qui permet déjà, dans certains pays, de produire du méthane, mais aussi de l'électricité, de l'azote et un carbone utilisable dans l'agriculture.

Pierre-Gilles Bellin : « Le jardinier du dimanche peut-il cuisiner au biogaz ? »

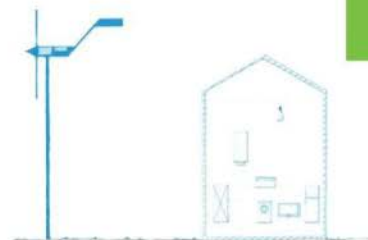
Claude Servais : « La motivation première pourrait être d'être un peu plus autonome en mettant moins de matières organiques à la poubelle collectée par la commune. Doit-on pousser la vertu jusqu'à adjoindre à son composteur individuel un méthaniseur ? Ce dernier demandera quand même 30 minutes de soins journaliers en moyenne. Est-ce justifié pour une économie annuelle de l'ordre de 2 bouteilles de propane, soit environ 50 € ? Si la motivation est là, il faudra s'assurer que la teneur du biogaz en hydrogène sulfuré (H₂S), gaz potentiellement mortel, reste en deçà des valeurs dangereuses et, dans le cas contraire, installer un filtre à H₂S... et l'entretenir.

Le biogaz est intéressant en Inde, par exemple, même si l'énergie y est aussi chère qu'en France, car la main-d'œuvre pour installer et entretenir les méthaniseurs est bon marché.

En conclusion, chez nous, pour que la cuisine au biogaz devienne possible, outre un minimum de place au fond du jardin, il faudrait développer des méthaniseurs fabriqués en série, des cuisinières ad hoc, des installateurs compétents... Peut-être dans 10 ans... Et en cas de fête prévoir un complément d'énergie pour la cuisine, la réserve de biogaz n'étant pas inépuisable (vive le barbecue !!!). »

Construire une installation de méthanisation, c'est donc un peu compliqué, mais réalisable : le fumier doit être déversé dans une cuve étanche, où sa fermentation produit du méthane. Ce méthane est conduit par un tuyau à la gazinière, d'où il sort à plus faible pression que le gaz de ville ou d'une bouteille de butane. Pour le concentrer à pression plus forte et l'utiliser, par exemple, pour un véhicule, il faudrait l'épurer, ce qui pose des problèmes de sécurité.

On construit en Afrique des installations de méthanisation pour 300-400 €, avec des cuves en ciment ou un système de sacs étanches en plastique, dans lesquels on fait couler les effluents liquides (eau des w.-c., par exemple). Le gaz circule à très faible pression et cela suffit pour cuisiner. Avec les restrictions en termes de sécurité énoncées par Claude Servais. En Inde, la Khadi and Village Industries Commission produit des méthaniseurs familiaux fiables. Le Népal, via la Gabor Gas Company en partenariat avec la banque de développement agricole, et les Pays-Bas, via leur agence de coopération (la SNV), font de même.



Parvenir à l'autonomie électrique

Autoproduire son électricité est encore difficile, en raison de l'insuffisance de rendement des panneaux photovoltaïques, des éoliennes, voire du petit hydraulique. À cela s'ajoute l'intermittence de leur production. D'où plusieurs conséquences :

- il faut associer toutes les sources d'autoproduction électrique existantes ; en effet, quand il y a du soleil, souvent il n'y a pas de vent, et quand il n'y a pas de soleil, souvent il y a du vent... et de la pluie, donc de l'eau ; on combinera donc solaire, éolien, hydraulique – si c'est possible – ainsi que des générateurs à essence ;
- il faut obligatoirement mettre en réserve l'électricité, en utilisant pour cela des batteries ;
- il faut encore réduire ses dépenses électriques. Nous étions passés, dans le dernier tableau, à une consommation annuelle de 3 100 kWh par an pour une famille de 4 personnes (490 € par an, ce qui est fort peu). Nous verrons que cette même famille peut ne consommer que 1 438 kWh par an ! Soit 3 939 Wh par jour, ou 17 A par jour (voir le tableau page suivante). Dans ce cas, elle touche le bingo, économisant à nouveau plus de 250 € par an (souvenons-nous, nous sommes partis de 6 200 kWh...). Cela implique notamment qu'il n'y a plus aucune dépense électrique pour ce qui concerne la cuisine (ni plaques vitrocéramique, ni four électrique, plus de micro-ondes, de gaufrier, de grille-pain) que l'on réduit à 1h/jour l'éclairage des lampes, que l'on éteint les appareils (plus de veille). Enfin, pour parvenir à très bon compte à l'autonomie individuelle, nous expliquons comment placer des batteries dans son véhicule automobile, batteries que l'on recharge en roulant dans la journée et que l'on branche en arrivant le soir. Car nous sommes persuadés que c'est la multi-utilisation des appareils qui permet de rentabiliser une installation autonome et est la voie d'avenir, en attendant les progrès du solaire photovoltaïque et de l'éolien.

Réduire de manière drastique ses dépenses électriques

Il vous faut savoir que tout appareil que l'on allume possède un « pic d'allumage » au démarrage. Ainsi, le four à micro-ondes que nous avons présenté, s'il ne dépense – certes – que 5 kW par an pour une utilisation de 1 h par semaine, pose problème : bien que ne faisant que 900 W, il appelle près de 2 fois sa puissance nominale à l'allumage pendant

1 s, soit 1 800 W qu'il va aller tirer sur les batteries. Même chose pour tous les appareils : une téléviseur, même de 35 W, appelle à l'allumage 70 W ; un lave-vaisselle, un lave-linge ou un fer à repasser de 2 150 W, plus de 4 000 ; votre aspirateur de 1 400 W, plus de 2 000, etc. C'est sur cette limite haute que l'on dimensionne les installations de batteries et c'est pour-quoi l'on trouve souvent, dans les habitats autonomes, des lignes de batteries nombreuses et fort coûteuses. Nous verrons plus loin le cas où l'on fait autrement...

Il faut donc « concentrer » les utilisations d'un même appareil. Autre impératif : éviter d'utiliser les gros appareils ménagers simultanément : cela signifie qu'on ne fera plus marcher en même temps l'aspirateur et le lave-linge, le lave-vaisselle et le fer à repasser, etc. Tirer 5 000 W d'un coup, voire davantage, oblige à surdimensionner les installations selon ces pointes exceptionnelles de consommation, d'où des sur-investissements, en réalité inutiles si l'on s'y prend différemment au quotidien.

Notez l'apparition d'une consommation propre à la maison autonome : l'électricité nécessaire au fonctionnement de la pompe du chauffe-eau solaire, du moins quand le réservoir d'eau chaude en est disjoint et à plus faible hauteur.

Évolution de la facture d'électricité d'un ménage très économe de 4 personnes				
Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation moyenne pour une seule utilisation (kWh)	Consommation annuelle (kWh/an)
La cuisine et son gros électroménager				
Lave-vaisselle	Candy (cd 355) environ 400 €	2 150 W	0,74 kWh par cycle de lavage	135 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2 jours)
Lave-linge frontal	Candy (go 714) environ 550 €	2 150 W	1,19 kWh par cycle de lavage (pour 7 kg de linge)	175 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2,5 jours)
Réfrigérateur « classique » (hauteur 162,7 cm), avec 2 portes et une partie congélateur, dit « subtropicalisé » (pouvant fonctionner en cas de canicule)	Whirlpool (arc 3590) environ 500 €	130 W	0,72 kWh/24 h	265 kWh/an
Congélateur	Arthur Martin (ALS 2372) environ 500 €	193 W	0,819 kWh/24 h	300 kWh/an
Hotte	Brandt environ 250 €	1 moteur de 160 W + 2 lumières de 40 W pour l'éclairage	0,24 kWh	87 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h par jour)
Aspirer et repasser				
Aspirateur	Eurêka environ 100 €	1 400 W		73 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 1 h par semaine)
Fer à repasser	Calor Aquaspeed environ 60 €	2 200 W		57 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 30 min par semaine)

Type d'appareils	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation moyenne pour une seule utilisation (kWh)	Consommation annuelle (kWh/an).
La salle de bains				
Sèche-cheveux	Babyliss environ 12 €	1 300 W		34 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 30 min par semaine)
Le salon et les distractions				
Téléviseur LCD avec enregistreur de DVD	environ 450 €	30 W	30 Wh (3 Wh en veille)	77 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 7 h par jour, avec extinction de la veille)
Minichaine	Thomson (c5520)	80 W		21 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 5 h par semaine)
L'informatique				
Ordinateur portable	Apple (mac OS X, système tiger) environ 1 100 €	30 à 40 W		22 à 29 kWh/an (hypothèse d'utilisation de 2 h par jour)
Chauffer l'eau				
Chauffe-eau solaire	De 1 500 à 5 000 €	40 W en fonctionnement, 1 W en veille (fonctionnement de la pompe)		68 kWh/an (hypothèse de 1 700 heures d'ensoleillement par an)
Éclairer la maison				
Éclairage faible		20 W		117 kWh/an (16 lampes fluocompactes de 20 W allumée chacune en moyenne 1 h/jour)
La téléphonie : utilisation d'un téléphone à fil usuel				
Total				1 438 kWh/an (227 €/an)

Il est à noter que la question du chauffage a été réglée dans la partie 1 (voir chapitre 4).

Des économies annexes apparaissent souvent, résultant de vos choix : ainsi, un ordinateur portable vous permet, en cas de panne, d'économiser un dépannage sur site, très onéreux. L'extériorisation des fonctions d'impression, chez un prestataire extérieur, vous fait économiser l'achat de cartouches d'encre, l'entretien, la révision, le nettoyage... et le remplacement après quelques années de l'imprimante, etc.

L'électricité photovoltaïque

Les cellules solaires

Le silicium (un sable, pour résumer) est un matériau abondant dans la nature. Il est capable de transformer la lumière en courant électrique ; plus vous associez de silicium, plus vous produisez de courant électrique. Un panneau solaire photovoltaïque (d'une surface, en général, d'environ 1 m²) est donc composé de cellules solaires, fabriquées avec du silicium déposé en couche d'un tiers de millimètre, chaque cellule générant un microcourant

continu d'environ 0,6 V et de 5-7 A. C'est en associant les cellules solaires que vous allez produire de plus en plus de courant. Certains capteurs sont monocristallins (les cristaux sont régulièrement disposés), d'autres polycristallins (les cristaux sont irrégulièrement disposés, leur face supérieure reflétant la lumière dans toutes les directions) : les premiers ont un rendement de 13 à 17 %, les seconds de 11 à 15 %.

Peut-être entendrez-vous dire que le polycristallin demande un ensoleillement direct, et pas le monocristallin... En fait, toute cellule solaire demande un ensoleillement direct, car les cellules s'activent sous l'action des ultraviolets... Quand le temps est nuageux (peu d'ultraviolets), un toit solaire d'une capacité de 1 500 W fournit 50 W.

Les nouveaux capteurs solaires, eux, s'activent sous toutes les longueurs d'onde du spectre lumineux, c'est-à-dire même quand il y a des nuages. Mais voyons d'abord comment travailler avec les premiers.

Onduleur, régulateur de charge, bras d'orientation

À la sortie d'un panneau solaire, la tension est de 12 ou 24 V et le courant est continu (qu'il alimente ensuite ou non des batteries). Il doit donc être « redressé » et devenir alternatif car vos appareils électriques fonctionnent avec une tension de 230 V et du courant alternatif. Tel est le double rôle de l'onduleur.

L'onduleur protège aussi vos appareils. En effet, la tension des batteries peut chuter, notamment lorsqu'elles sont vides, mais on peut imaginer aussi des pics soudains pour d'autres raisons (par exemple, il y a un court-circuit dans un appareil) : l'onduleur déconnecte alors le réseau de la maison. Il préserve aussi les appareils des variations d'intensité du courant grâce à une petite réserve de courant (en général, l'onduleur manifeste son mécontentement par un voyant qui, de vert devient rouge, tandis qu'il émet une petite sonnerie). Certains onduleurs sont même capables de détecter le niveau de charge des batteries, et coupent le courant s'il est trop bas. Faites attention de prendre un onduleur adapté à vos appareils :



Panneau solaire et ses cellules. (Photo Amperel.)



Maison entièrement équipée en photovoltaïque. (Photo Amperel.)



Panneaux photovoltaïques associant des capteurs polycristallins, au centre, et monocristallins, en périphérie (maison autonome de Patrick Baronnet). Notez qu'ils sont fixés sur un bras mobile, chargé de les orienter face au soleil.

s'ils consomment 2 000 W à l'heure, choisissez un onduleur de 2 000 W (2 kW) au moins ! Imaginons à présent qu'il fait un beau soleil et que vos batteries sont pleines. Il est dangereux de suralimenter des batteries (elles peuvent même exploser, mais c'est fort rare). Le rôle d'un autre appareil, le « régulateur de charge », est alors de couper l'alimentation des batteries pleines. Il peut se présenter sous la forme d'un petit rectangle noir plastifié ou d'un bloc de métal (photo ci-contre) ; Enfin, les panneaux solaires doivent suivre la course du soleil : pour cela, il leur faut obligatoirement un – coûteux – bras d'orientation.

Différencier capteur solaire photovoltaïque et chauffe-eau solaire

Le premier produit de l'électricité à partir de cellules solaires installées sur un toit (en général).

Le second produit de l'eau chaude grâce à un liquide calorifuge qui circule derrière une vitre installée sur un toit (en général).

La surface des capteurs photovoltaïques

De quelle surface de capteurs avez-vous besoin pour produire moins de 1 450 kWh par an, soit la consommation électrique annuelle minimale retenue pour notre montage type ?

La puissance d'un panneau solaire est indiquée en watts-crête (Wc) et correspond à la puissance électrique maximale délivrée par le capteur dans des conditions optimales d'ensoleillement...

En Île-de-France, il y a 1 700 heures (soit 20 %) de beau temps par an. Un jour couvert, la production représentera entre 3 et 10 % de la puissance affichée... Le jour bien sûr. La nuit, c'est 0 %. D'où la notion de « watts-crête », une indication en vérité très optimiste.

Identifions à présent dans le tableau de la page 120 la puissance maximale dont vous avez besoin : c'est celle du fer à repasser, soit 2 200 W. Suivent le lave-vaisselle (2 150 W) et le lave-linge (2 150 W). Rappelons qu'il est impératif de ne pas utiliser simultanément deux appareils de forte puissance.

On peut considérer que la puissance minimale moyenne par jour du ménage type de 4 personnes est représentée par le réfrigérateur, le congélateur (qui fonctionnent tous deux en permanence), le téléviseur et la chaîne hi-fi en marche ainsi que 4 lampes basse consommation allumées. Soit 513 W. Votre installation doit donc fournir au minimum 500 W par jour, quel que soit le temps.

Pour savoir à présent combien vous devez avoir de panneaux photovoltaïques, il faut connaître leur production électrique en hiver (quand elle est la plus basse).

Ainsi, un panneau de 110 Wc fournit, en janvier, en moyenne sur 30 jours, 110 W par jour – soit 1 h de beau et grand soleil par jour (3,3 kWh en un mois).

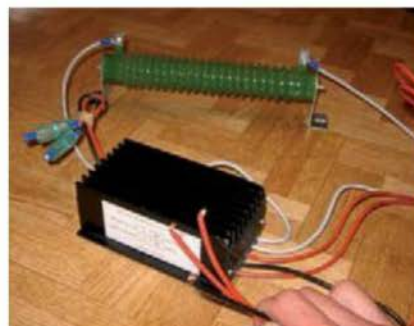
Sur un mois, vous consommerez au minimum 500 Wh/jour x 30 jours = 15 kWh.

Pour que vos panneaux solaires produisent 15 kWh au mois de janvier, il vous en faut 5.

En une année, qui comportent 1 700 heures d'ensoleillement, ces 5 panneaux produiront 935 kWh. Si vous voulez atteindre une production de 1 450 kWh par an, il vous faudra donc 8 panneaux solaires, soit un investissement en matériel d'environ 12 000 € (par exemple, un panneau Sunpower Classique 110 W de 1 470 x 995 x 80 mm vaut 1 500 €).



Un onduleur.



Le régulateur de charge se place entre les panneaux solaires photovoltaïques et la batterie. Quand celle-ci est pleine, une résistance qui est liée au régulateur évacue la production électrique sous forme de chaleur.

Les autorisations administratives

- Pour une installation sur le toit, qui change l'aspect de votre maison, il faut faire une déclaration de travaux : la déposer en mairie qui, après consultation de la Direction départementale de l'équipement, accorde en général son autorisation.
- Si vous êtes dans un périmètre classé comme monument historique, vous devez obtenir l'accord de l'architecte en chef des monuments historiques (certains sont très ouverts, mais leur autorisation est souvent difficile à obtenir).

Nouvelles batteries à supercapacités

Dans une maison autonome, coupée des réseaux, la mise en réserve de l'électricité est le problème majeur. En effet, les accumulateurs chimiques stockent, en plus de l'énergie électrique, des métaux lourds, des acides, qui en font des produits anti-écologiques par excellence... D'autant plus que leur rendement est très faible. Mais la donne évolue rapidement. C'est ainsi que, depuis un an environ, des batteries très légères où un gel remplace l'acide sont disponibles chez les revendeurs de camping-car à peu près pour le même prix.

Les batteries de l'installation autonome

Une batterie, qu'est-ce que c'est ? Une réserve chimique d'électricité.

À l'intérieur se trouve un liquide appelé l'électrolyte composé de 80 % d'eau et de 20 % d'acide sulfurique. L'électricité est transportée par les ions (molécules ou atomes chargés) de cet acide entre les deux électrodes en plomb de la batterie, qui sont les pôles «+» et «-». Puis l'électricité chemine de la batterie aux fils de votre maison.

La décharge restitue toujours moins d'électricité que la charge et c'est pourquoi, après quelques années, une batterie doit être remplacée (et avant cela, rechargée régulièrement en liquide).

Comment calculer la capacité de la batterie dont vous avez besoin ?

Par exemple, votre téléviseur consomme 35 Wh. Vous l'utilisez 4 h par jour. Consommation journalière : 140 Wh.

Il est nécessaire de connaître le nombre d'ampères que le téléviseur aura consommé ; en effet, la capacité des batteries est toujours donnée en ampères.

Pour notre téléviseur de 35 Wh, sachant que la tension est toujours de 230 V, faites :

$$P = UI ;$$

$$I = P/U ;$$

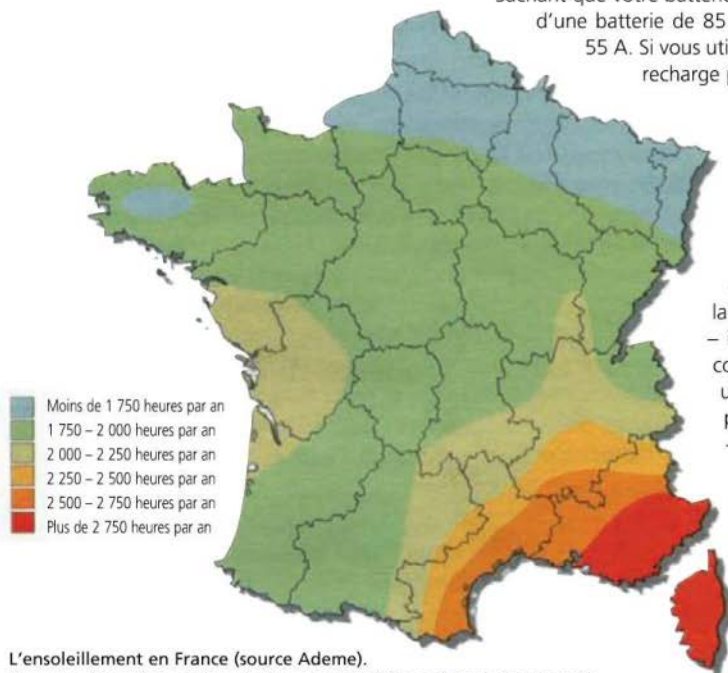
soit : $I = 35/230 = 0,15$ A pendant 1 h.

Si le téléviseur marche 4 h dans une journée, il consommera : $4 \times 0,15 = 0,6$ A, ou 140 Wh. Vous calculez ensuite de la même façon la puissance de vos lampes, de votre ordinateur, etc. Vous obtenez par exemple 4 A par jour.

Sachant que votre batterie ne peut pas être déchargée à plus de 50 %, la puissance utile d'une batterie de 85 A est donc de 42,5 A ; pour 110 A, la puissance utile est de 55 A. Si vous utilisez 4 A par jour, vous aurez 10 jours d'autonomie sans aucune recharge pour la première batterie, 13 jours pour la seconde.

Il y a d'autres choses à savoir sur les batteries :

- si vous en avez plusieurs, il faut les monter en parallèle, pas en série : c'est-à-dire qu'on relie tous les pôles +, puis tous les pôles -, des batteries aux pôles + et - du tableau électrique ;
- pour que les batteries se rechargent l'une après l'autre, il faut leur adjoindre un coupleur-séparateur : quand l'une sera pleine, il passera à la suivante, etc. (voir pages 133 et 134) ; ce même coupleur-séparateur sélectionnera ensuite la batterie la plus chargée pour la connecter à l'onduleur ;
- il ne faut pas prendre de batteries de voiture : dites à charge constante, elles sont faites pour délivrer des charges maximales en un laps de temps minimal ; il faut utiliser des batteries à décharge profonde, dites encore batteries de chantier, voire « solaires » ;
- associez toujours des batteries de même ampérage (il y a une tolérance de 10 % cependant) ;
- placez toujours l'onduleur à la sortie des batteries pour ne pas surchauffer les câbles ;
- des batteries peuvent se recharger sur le secteur, mais préférez la charge lente à la charge rapide, qui les endommage (il y a 2 boutons à cet effet sur les chargeurs).



L'ensoleillement en France (source Ademe).

Plus vous descendez vers le sud, plus votre installation solaire devient rentable.

Coût et rendement

Nous prendrons deux hypothèses : celle d'une installation photovoltaïque reliée au réseau, et celle d'une maison autonome. Nous verrons que, dans les deux cas, une installation photovoltaïque est trop chère... seule, pour couvrir tous les besoins en électricité.

Une installation photovoltaïque reliée au réseau

Pour une installation photovoltaïque reliée au réseau EDF, vous devrez vous équiper de :

– 20 panneaux de 1 m² chacun : 20 x 1 000 € = 20 000 € TTC ;

– connectique, compteur, onduleur, etc. : 1 000 € TTC ;

Coût total du matériel = 21 000 € TTC (TVA : 19,6 %).

Le « crédit d'impôt » vous rembourse 50 % du coût du matériel, si l'installation est posée par un installateur et si elle concerne votre résidence principale. Dans ce cas, la TVA pour le matériel est de 5,5 %.

– Matériel : 17 655 € TTC (TVA : 5,5 %) / 2, soit 8 827 € ;

– Pose : 5 000 € ;

Coût total pose + matériel = 13 827 € TTC

Production électrique annuelle : 40 000 kWh ; tarif de rachat du kWh photovoltaïque :

0,57 €/kWh, soit 2 280 €/an ; facture annuelle d'un ménage dépensier : 1 000 € ; bénéfice :

1 280 €/an ; retour sur investissement : 11 ans ; rendement : 9 %.

Une installation photovoltaïque raccordée au réseau EDF est donc très rentable.



Batterie et transformateur

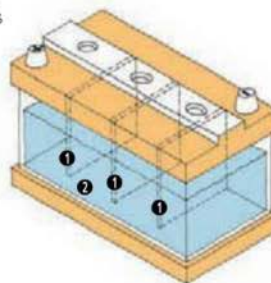


Une batterie à décharge profonde. Si vous la rechargez avec un chargeur que vous branchez sur le secteur, choisissez une recharge lente (la recharge rapide use la batterie).



Un chargeur. Sur le devant de l'appareil, la prise qui le relie au secteur. Derrière, les pinces qui se connectent aux pôles + et - de la batterie. Choisissez un chargeur de 180 A : plus c'est haut, mieux c'est.

Un transformateur classique, transformant le 12 V des batteries en 230 V. À aucun prix, n'équipez votre maison en câbles 12 V. Faites toujours circuler du 230 V. Sur le devant de l'appareil, une prise à connecter sur le câble relié au tableau à fusibles. Derrière, les pinces rouges (+) et noires (-) sont à brancher aux cosses rouges et noires de la batterie (par contre, si vous avez plusieurs batteries, vous devez cette fois les relier en parallèle ; un fil va de cosses + en cosse +, un autre de cosse - en cosse - pour arriver à la dernière batterie sur laquelle sont branchées les 2 pinces du transformateur) .



Coupe d'une batterie. Les parties métalliques (en plomb) (1) baignent dans le liquide, appelé « électrolyte » (2). Les 3 trous, au-dessus, permettent de recharger la batterie en électrolyte. Le niveau du liquide se voit sur les côtés, avec indication d'un minimum sous lequel on ne doit pas aller.

Les bras d'orientation

Trop de problèmes sont liés à leur usage, et leur coût est élevé. On les évitera donc en installant les panneaux photovoltaïques bien au sud.

Une installation photovoltaïque autonome

Pour une installation photovoltaïque autonome, vous devrez vous équiper de matériel supplémentaire :

- 5 batteries Varta 12 V à décharge lente de 105 A : $5 \times 170 \text{ €} = 850 \text{ € TTC}$;
- 1 régulateur de charge (par exemple PD 922 402 chez Narbonne accessoires) : 75 € TTC ;
- 1 contrôleur de niveau de charge : 10 € TTC ;
- 1 transformateur 12 V – 230 V : 100 € TTC ;

Coût total du matériel = 13 035 € TTC.

Dans le cas d'une installation électrique autonome, on associera force du vent et lumière solaire. Pour cela, on prendra 10 panneaux solaires de 1 m^2 (10 000 € TTC) et 2 éoliennes (2 000 € TTC), soit un sous-total de 12 000 € TTC. La production annuelle étant alors de 2 000 à 3 000 kWh.

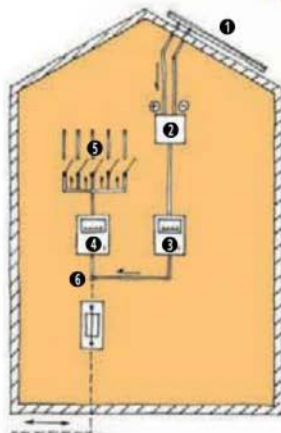
Par ailleurs, vous pouvez dans ce cas envisager de faire l'installation vous-même, ce qui vous évite de payer la pose (5 000 €) ; vous devrez en revanche acheter votre matériel taxé à 19,6 %. Moins câblée, non raccordée au réseau EDF, la maison autonome vous permet d'économiser 6 000 € de plus (voir page 116).

Coût total = $13\,035 \text{ €} - 6\,000 \text{ €} = 7\,035 \text{ € TTC}$.

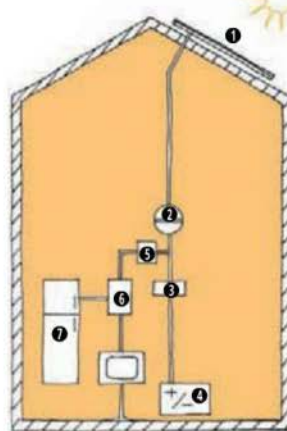
Vendre son courant

EDF rachète l'électricité produite à partir du photovoltaïque au tarif de base de 31 c €/kWh (40 dans les DOM et en Corse), auquel s'ajoute une prime supplémentaire de 26 c €/kWh (15 dans les DOM et en Corse) pour les installations « intégrées au bâti », soit en tout 57 c €/kWh. Si vous avez un excédent de courant, vous le vendez à EDF ; s'il vous manque du courant, vous l'achetez à EDF.

Montage de deux installations électriques solaires : l'une reliée au réseau EDF, l'autre autonome.



Une installation reliée au réseau. Les panneaux solaires photovoltaïques (1) sont reliés à l'onduleur (2) qui alimente en 230 V le compteur d'entrée du courant solaire (3), lequel est relié au compteur électrique du ménage (4), d'où partent les câbles qui alimentent le coffret à fusible (5) et, de là, toutes les prises électriques. Au point (6) se fait le mélange électrique produite par le réseau EDF/électricité solaire produite par les panneaux photovoltaïques. Quand EDF vient relever le compteur, elle relève aussi le compteur solaire et facture l'électricité consommée en y soustrayant l'électricité produite.



Une installation autonome. Les panneaux solaires photovoltaïques (1) sont reliés à un régulateur de charge (2) qui envoie le courant vers une boîte à fusible (3) – lequel se déconnecte en cas de surtensions – et, de là, vers les batteries (4). Entre le régulateur de charge et les fusibles, le câble part vers le redresseur (5), qui transforme le courant 12-24 V en 230 V. Ensuite se trouve l'onduleur (6), qui empêche les sautes de tension de façon à protéger les appareils électroniques (7 représente l'électroménager). Sachez cependant qu'aujourd'hui redresseur et onduleur sont confondus, mais nous avons tenu ici à mettre les deux.

C'est EDF-Accès au réseau de distribution (ARD) qui sera votre interlocuteur pour l'accès au réseau, condition sine qua non pour vendre votre électricité personnelle. Vous êtes donc dans le cas d'une installation photovoltaïque reliée au réseau (et non autonome). Les difficultés sont grandes, les documents nombreux, les contrôles pointilleux.

Mais il faut comprendre que :

- vous devrez fournir à EDF un courant de bonne qualité ;
- le réseau doit supporter l'énergie que vous y injecterez ;
- si EDF décide de couper son réseau local pour des opérations de maintenance, il faut que votre réseau se déconnecte ; sinon vous pourriez électrocuter les techniciens...

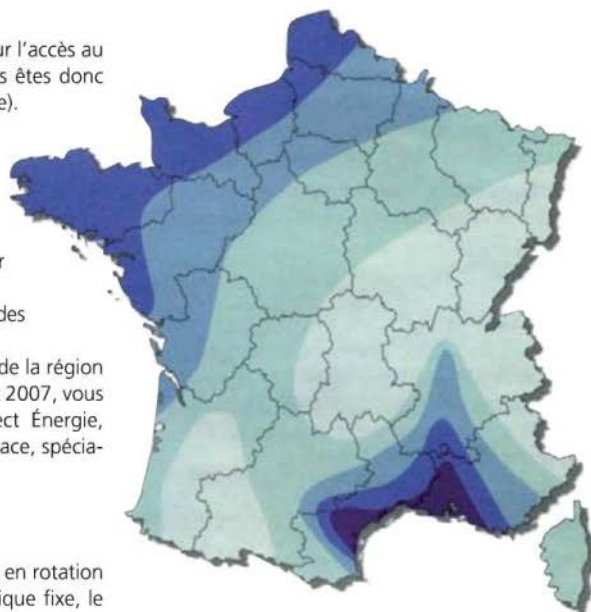
Puis avouons que, jusqu'à présent, l'autoproduction électrique a été le royaume des bricoleurs.

Quand l'ARD aura donné son accord, ce sera EDF-Agence d'obligation d'achat de la région où vous produisez votre électricité qui prendra le relais. Cependant, depuis juillet 2007, vous pourrez revendre votre production à qui vous voudrez : par exemple Direct Énergie, Poweo... ou Énercoop, une société coopérative, créée entre autres par Greenpeace, spécialisée dans le rachat de l'électricité « verte ».

L'électricité éolienne

Une éolienne transforme un mouvement rotatif en courant électrique : sur l'axe en rotation de l'hélice est fixé un aimant, le « rotor », qui tourne dans une bobine métallique fixe, le « stator » ; le champ magnétique de l'aimant en mouvement au sein de cette masse métallique conductrice crée le courant électrique, lequel, comme le mouvement est rotatif, est un courant... alternatif. Ce système est logé dans le moteur électrique, le « générateur » ou « l'alternateur ».

Problème : comme le vent ne souffle pas de manière constante, ce n'est pas un courant alternatif constant qui est produit, mais un courant qui varie en intensité et en fréquence. C'est pourquoi il va falloir qu'un « régulateur » soit associé à votre éolienne, lequel régulateur sera placé devant la ou les batteries (voir page 124) pour veiller à leur bon chargement. Par ailleurs, toute éolienne fait un certain bruit : quoique faible pour le petit éolien, il peut gêner les voisins à la longue. L'idéal est donc de posséder un terrain suffisamment vaste (1 000 m²), et d'éloigner le plus possible l'éolienne des autres maisons. En revanche, il n'y a pas de contrainte spécifique de sécurité par rapport à une éolienne. Lorsque vous devez monter sur le mât pour les opérations de maintenance, assurez-vous contre les chutes et veillez à ce que l'hélice ne tourne plus.



Le vent en France (source Ademe).

Les vitesses moyennes de vent suivantes ont été mesurées en plaine (sur des hauteurs, cela ne serait pas significatif). Liseré des côtes atlantiques (75 % de la Bretagne ; 50 % de la Normandie ; côtes du Nord) : 7,5 m/s de vent. De la Gironde au Nord, sur une tranche de 100 km : 6,5 m/s ; puis 5,5 ; puis 4,5. On retrouve ensuite des vents suffisamment forts dans la vallée du Rhône en partant de la Camargue par tranches de 40 km et, enfin, en Languedoc-Roussillon.

Les autorisations administratives

Pour les éoliennes de moins de 12 m de hauteur, il faut faire une déclaration de travaux. Si elles excèdent 12 m, il faut un permis, mais celui-ci ne sera certainement pas accordé pour une installation en ville ou en village. Dans les deux cas, déposez les documents à la mairie qui, après consultation de la Direction départementale de l'équipement, accordera ou non son autorisation. Mais si vous êtes dans un périmètre classé monument historique, l'architecte en chef des monuments historiques vous dira probablement « non »...

L'éolienne, quand cela marche-t-il ?

En théorie, une éolienne individuelle commence à produire de l'électricité avec un vent de 5 à 6 m/s, c'est-à-dire de 18 km/h à 22 km/h – en réalité, elle démarre généralement avec un vent de 4,5 m/s, soit 16 km/h, mais pour une production très faible.

Certes, des cartes météo sont publiées, mais comment connaître les conditions exactes qui règnent sur votre terrain ? Pour cela, achetez un anémomètre dans une boutique d'accastillage (matériel de bateau) ; prenez votre agenda, choisissez l'endroit le plus venté de votre terrain et, pendant un an, notez 2 fois par jour (matin et soir) la force du vent.

Après ce temps d'attente, vous saurez s'il est intéressant ou non d'investir dans une éolienne.

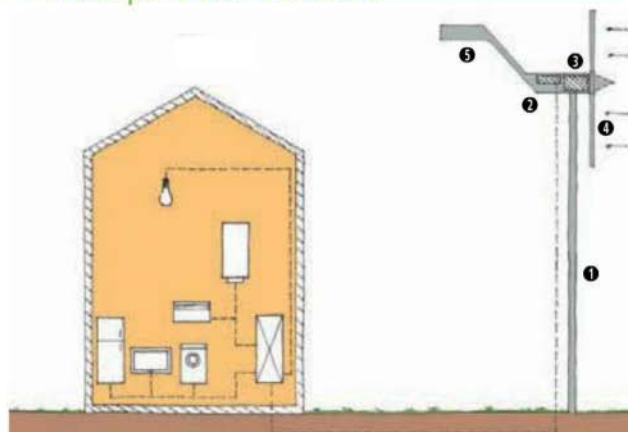
Le régulateur

Si le vent est très faible, votre éolienne produira un courant de trop faible voltage pour recharger les batteries, ou s'il y a trop de vent, un courant trop fort : le rôle du régulateur est donc de veiller à ce que les batteries se trouvent toujours alimentées sous une tension de 13,8 V (le courant minimal pour charger une batterie de 12 V).

Ce régulateur doit aussi être un « redresseur », c'est-à-dire qu'il doit aussi changer le courant alternatif produit par l'éolienne en courant continu ; certains régulateurs ont même des fonctions qui les rapprochent des coupleurs-séparateurs, arrêtant la charge des batteries quand celle-ci est achevée, et se contentant alors de leur envoyer un courant d'entretien. D'autres indiquent même l'état de charge des batteries.

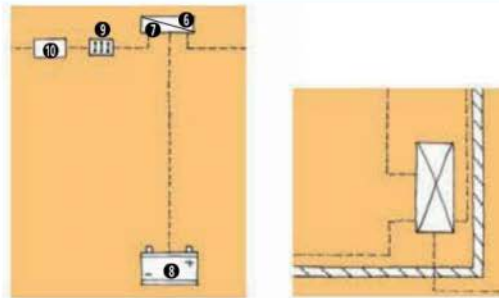
Quoi qu'il en soit, prenez le régulateur disposant du maximum de fonctions et, surtout, qui propose une prise pour le branchement des capteurs photovoltaïques. Dans ce cas, attention :

Principe d'une éolienne



Un mât (1) porte une nacelle (2) où est inséré un générateur électrique (3) – on peut aussi dire un alternateur, puisqu'il produit un courant alternatif – entraîné par une hélice (4).

Quand le vent actionne l'hélice, leur mouvement tournant fait démarrer le générateur qui produit alors de l'électricité. Derrière, le safran (5) est chargé d'orienter l'appareil face au vent.



Zoom sur le coffret technique. Après le générateur, le régulateur de l'éolienne (6) se charge d'écarter les sauts de tension et de fréquence. Se trouve ensuite le coupleur-séparateur (7) dans le cas où l'on possède plusieurs batteries. De là, le câble part vers les batteries (8). Après le passage par les fusibles (9) chargés d'empêcher les surtensions, le câble part vers l'onduleur (10) qui transforme le courant continu de 12 V des batteries (ou des panneaux solaires si on les associe à une éolienne) en un courant alternatif de 220-230 volts, compatible avec tous les appareils de la maison (11). Pour associer éolienne et panneaux solaires, on se contentera de brancher les fils de l'installation photovoltaïque entre le régulateur de l'éolienne et le régulateur de charge.

certaines éoliennes produisent du 12 V, d'autres du 24 V. Achetez un régulateur adapté, sachant... que les panneaux solaires produisent eux aussi soit du 12 V, soit du 24 V (associez à une éolienne 12 V un capteur 12 V, et idem pour le 24 V).

Coût et rendement d'une petite éolienne « classique »

Pour une éolienne d'une puissance de 1,5 à 3 kW, il faut compter entre 11 000 et 17 000 €. Leur production s'établit entre 2 000 et 6 000 kWh par an. Pour une éolienne de 5 kW, il faudra déboursier 20 000 € ; pour 10 kW, 30 000 €.

Ces matériels ne sont pas inusables : au minimum, ils durent 20 ans, en général, 30 ans ; mais dans nos campagnes, près des abreuvoirs pour animaux, vous verrez nombre d'éoliennes qui ont 60, 70 ans. Seule condition d'une telle longévité : un entretien régulier. Cet entretien est d'ailleurs limité : il faut graisser les roulements à bille, les engrenages et resserrer les boulons. Il implique qu'il faille pouvoir monter le long du mât.

Grâce au crédit d'impôt, 50 % du matériel est remboursé si l'installation est posée par un professionnel (et non par vous-même) : pour une éolienne de 5 kW, cela fait une réduction de 12 900 € : $(20\,000 + 4\,000 + 400 + 1\,000 + 400) / 2$. Vous aurez donc dépensé 16 650 € pour économiser 227 € par an (voir ci-dessous le tableau). Il vous faudra 74 ans pour rentrer dans vos frais.

De plus, EDF ne rachètera pas votre électricité éolienne car votre production sera trop faible.

Conditions du crédit d'impôt

Le crédit d'impôt sur les éoliennes est accordé dans la limite de 8 000 € pour une personne seule, 16 000 € pour un couple (+ 400 € par personne à charge).

Coût d'installation d'une éolienne	
Coût de l'éolienne seule (avec son coffret de couplage électrique)	
Éolienne de 1,5-3 kW	De 11 000 à 17 000 €
Éolienne de 5 kW	20 000 €
Éolienne de 10 kW	30 000 €
Coût (arrondi) des matériaux annexes et de l'installation par un professionnel	
Mât haubané de 24 m	4 000 €
Câblage électrique du mât	400 €
Livraison	450 €
Fondations	1 000 €
Câble de 100 m (reliant éolienne/maison)	400 €
Main-d'œuvre, installation et location de la grue	1 100 €
Frais administratifs : constitution du dossier de demande d'autorisation ou de permis de construire, formalités EDF, taxes diverses (si ces prestations sont prises en charge par l'installateur)	2 200 €
Sous-total matériaux annexes et frais d'installation	9 550 €
Total général (pour une éolienne de 5 kW)	29 550 €



Éolienne autoconstruite (maison autonome de Patrick Baronnet). Ce n'est pas si difficile à faire !



LA D 400 d'ATMB Marine. Ce spécialiste de l'équipement maritime propose cette petite éolienne de 15 kg aux environs de 2 000 € TTC. (Photo ATMB Marine.)



Si votre mur pignon est assez élevé, installez-y une micro-éolienne : c'est assez esthétique et vous n'aurez pas besoin de mât.

Coût et rendement d'une micro-éolienne sans mât

C'est pourquoi nous conseillons d'utiliser une petite éolienne, en complément d'une installation solaire ou d'un groupe électrogène : pour 800 €, on trouve de petites éoliennes de 400 W. Ainsi, l'aero4gen 12V, vendue par ATMB pour les bateaux, démarre à 2,5 m de vent par seconde ; le diamètre de l'hélice est inférieur à 1 m, sa longueur est de 775 cm. Comme elle est petite, elle peut s'installer sans assistance sur le pignon le plus exposé de votre toit.

L'électricité hydraulique

Il y avait, pense-t-on, 20 000 moulins en France sur les cours d'eau au XVIII^e siècle. Dans l'éolien, c'est le vent qui fait tourner l'hélice, laquelle met en route le générateur électrique. Dans l'hydraulique, le vent est remplacé par l'eau. Dans les impressionnants barrages alpins, des colonnes d'eau tombent de 100 m de haut sur des hélices qui entraînent d'énormes alternateurs. La puissance des alternateurs est donc fonction des masses d'eau et de leur vitesse : plus c'est haut, plus c'est gros, mieux c'est.

Un dénivelé de 100 m et une cataracte, voilà le rêve de l'ingénieur ! Pour un foyer, il faudra un petit cours d'eau et un petit dénivelé...

Vous devrez ensuite connaître la puissance que vous fournira le cours d'eau. Pour cela, vous devez appliquer la formule suivante :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot (H - \Delta H) ;$$

ρ = masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³) ;

g = gravité (9,81 m.s⁻²) ;

Q = débit en mètres cube par seconde (1 l/seconde = 10⁻³ m³/seconde) ;

H = dénivelé total ;

ΔH = pertes de charge (linéaires et singulières).

Nous allons à présent examiner le cas concret d'un ami qui a fait lui-même sa retenue d'eau, l'a reliée à un générateur électrique, et voir comment, dans sa situation, cette équation s'applique.

J'ai installé ma minicentrale hydraulique moi-même

À 10 min de vélo d'une petite cité de 40 000 habitants et dans les premières vallées des Cévennes, Olivier Rognon a installé lui-même une petite unité d'autoproduction électrique fondée sur deux panneaux solaires et une minicentrale hydraulique, dont nous avons entendu parler grâce à la revue *Passerelle éco*.

Sa maison fait partie d'un « éco-hameau », une expression concrète de l'économie « solidaire » qui se développe en France. Ce type d'initiative peut être considéré comme une sorte de réponse rurale au chômage et à l'élévation des charges. Olivier est aussi producteur de châtaignes et de produits alimentaires dérivés de ce fruit, qu'il vend lui-même sur les marchés de la région.

La turbine lui a coûté 2 000 € et le minibarrage 1 500 €. Si vous voulez en savoir plus, vous pouvez contacter l'association Carapa à Saint-Paul-Lacoste.

Pierre-Gilles Bellin : « Pouvez-vous d'abord nous présenter votre installation d'autoproduction électrique ? »

Olivier Rognon : « J'ai 100 Wc de panneaux photovoltaïques (soit 2 petits panneaux), associés à une petite turbine hydroélectrique.

Le tout est relié à une seule très grosse batterie [environ 200 A], que j'alimente, derrière le régulateur grâce à un commutateur, soit au solaire, soit à l'hydro-électrique.

L'hydro-électrique a été mis en place pour servir quand il n'y a pas de soleil, mais mes besoins électriques sont très limités, ce qui fait que, concrètement, je ne m'en sers quasiment pas... Cependant, il me sert à charger une petite batterie mobile avec laquelle j'éclaire soit mon four à pain, soit une petite chambre dans la forêt que je loue à des hôtes de passage. »



La turbine. Vous découvrez la vanne d'arrivée d'eau (1), les orifices par lesquels passent les jets d'eau sous pression (2) et les godets (3) qui permettent à la turbine (4) de tourner. (Photo Jean-Luc Girard/Passerelle éco.)



Le système est monté : on découvre l'arrivée d'eau (1) avec sa vanne de fermeture (2) et son indicateur de pression (3), son départ (4), la turbine (5) que l'on a vue ouverte précédemment. Au-dessus de la turbine se trouve un générateur (6), muni d'un régulateur. Comme il se doit, c'est du régulateur que part le fil qui transporte le courant (7). (Photo Jean-Luc Girard/Passerelle éco.)

Un petit calcul

La retenue d'eau d'Olivier est reliée à sa turbine productrice d'électricité par un tuyau linéaire d'un diamètre de 50 mm (5 cm), fournissant un débit de 1,5 l/seconde, soit 5,5 m³/heure. La perte de charge au kilomètre est de 16 m environ, soit 4 m pour 250 m. À cette perte de charge s'ajoute celle due à la vanne et à la turbine, où se produisent de nombreux frottements, soit un peu plus de 1 bar, soit 1 kg/cm², soit 10,33 « mètre colonne d'eau », ou « mce » (la pression au pied d'une colonne d'eau de 10,2 m de hauteur vaut 1 bar). La perte de charge avoisine les 15 mce. Le dénivelé H est de 30 m. Aussi : Si $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot (H - \Delta H)$, $P = 1 \times 9,81 \times 1,5$ (30 m – perte de charge).

Sachant que la perte de charge est de 4 m (frottements dans conduite) + 10,33 (frottements dans turbine), soit 14,33, $P = 1 \times 9,81 \times 1,5 \times (30 \text{ m} - 14,33) = 1 \times 9,81 \times 1,5 (15,67) = 230,58 \text{ W}$.



La retenue d'eau d'Olivier Rognon. (Photo Jean-Luc Girard/Passerelle éco.)

PGB : « Quels sont vos appareils électriques, quelle est votre installation ? »

OR : « J'ai 3 ou 4 lampes à la maison, pour 70 m², un téléviseur qui doit faire dans les 50 W avec sa parabole, une chaîne hi-fi, ainsi qu'un lecteur DVD qui est d'ordinaire utilisé dans les voitures, où il se branche sur l'allume-cigare. Je n'ai aucun électroménager. Tout le réseau intérieur est en 12 V. C'est pour cette raison que la turbine est à côté de la maison, à 10 m d'elle ; un réseau de 12 V est en effet peu propice au transport sur de plus longues distances... Donc on a préféré transporter l'eau que l'électricité... Je regarde la télévision 2 ou 3 h par jour, mais pour les films je préfère mon lecteur DVD dont la consommation est infinitésimale... Cependant, je ne calcule plus mes heures de télé, ou de lumière, comme au début de mon installation. »

PGB : « Où est votre barrage, puisque vous avez construit un petit barrage ? »

OR : « Barrage est un grand mot... Il s'agit plutôt d'une petite retenue d'eau qui se vide en 2 ou 3 h et met en réserve de 8 000 à 10 000 l d'eau. En moyenne, elle n'est profonde que de 1 m environ, avec un maximum de 2 m ; il y a 30 m de dénivelé, avec un tuyau noir en plastique souple qui court sur 250 m (diamètre de 50 mm). L'eau arrive à la turbine avec une pression de 3 kg et un débit de 1,5 l à la seconde. Elle parvient horizontalement dans la turbine, avant laquelle le tuyau se divise en 6 gicleurs qui diffusent l'eau dans les godets. Celle-ci possède une puissance de 200 Wh, donc fournit 400 Wh en 2 h (temps nécessaire pour vider entièrement la retenue d'eau), ce qui est bien suffisant. La turbine peut aussi produire du courant continu 24 V, ou encore de l'alternatif en 230 V... Le seul producteur en Europe de ces turbines minihydrauliques est une entreprise italienne, IREM SPA. »



Principe de fonctionnement de la minicentrale hydraulique. La retenue d'eau (1) est munie à sa base d'une crépîne (2), qui retient les particules trop importantes pour le tuyau (3) d'un diamètre de 50 mm. On note que ce tuyau est un peu surélevé (de 30 cm) (4), afin de diminuer le risque d'envasement. Il est muni d'une vanne (5), qui permet de le fermer ou de régler le débit. Après 230 m de conduite forcée (« forcée », car l'on « force » l'eau à passer dans le tuyau), la conduite arrive au local technique (6) où se trouve la turbine (7) et d'où part le courant électrique (8). Le tuyau s'ouvre en bas du local (9), où l'eau retrouve sa liberté...

Arca Minore : son autonomie en électricité

Nous avons vu que la première chose à faire est de ne pas être raccordé à EDF : c'est, d'emblée, une économie de 6 000 € à la construction.

Nous avons vu aussi qu'il faut simplifier le plus possible son appareillage électrique : nous avons, dans le cas d'Arca Minore, réduit encore nos dépenses par rapport au tableau page 108 : nous avons fait le choix d'un petit réfrigérateur, supprimé le congélateur et la hotte, choisi un chauffe-eau solaire que l'on installe au sol pour éviter l'installation d'une pompe.

Le gaz alimente une gazinière ainsi qu'un chauffe-eau instantané, sachant que le ballon à eau chaude dudit chauffe-eau est aussi alimenté par le panneau solaire ; ce ballon doit enfin prochainement être inséré dans le poêle de masse, afin de bénéficier des calories du chauffage au bois.

Sont apparues cependant des consommations nouvelles, mais très minimes : pour atteindre l'autonomie en eau, il faut en effet ajouter des pompes : une pour l'oxygénation des bassins de captage extérieurs, une pour faire circuler l'eau dans la maison, une troisième pour la faire remonter. Elles sont détaillées dans le tableau page suivante.

Éolien et photovoltaïque

Pour le prototype, nous avons associé une micro-éolienne, la D 400 d'ATMB Marine (voir page 130) et un panneau photovoltaïque. Grâce à toute cette installation, nous produisons entre 400 et 1 000 kWh par an.

La voiture, source d'électricité pour la maison

En prévision de dépenses électriques à venir supérieures en électricité, nous avons décidé d'utiliser l'automobile comme générateur, en la raccordant à la maison le soir en rentrant. Saab, par exemple, a présenté au salon de l'Automobile de 2007 un prototype de voiture qui, comme la Prius de Toyota, transforme l'énergie du freinage en électricité pour faire tourner un moteur électrique d'appoint (la technologie hybride) ; l'originalité du « Concept car » de Saab est qu'il fonctionne à l'éthanol pur. On pourrait envisager d'utiliser cette voiture 100 % écolo, disposant d'un alternateur hyperpuissant et d'énormes accumulateurs, pour en faire un véhicule hybride de troisième génération, qui alimenterait la maison en électricité le soir venu. En effet, toutes les voitures peuvent alimenter en électricité une maison : leurs alternateurs développent une puissance énorme de 120 A, pour pouvoir alimenter la climatisation, les installations vidéo et audio, les remonte-vitres, les résistances, l'électronique, etc. Il vous faudra couper tous ces appareils si vous voulez utiliser votre véhicule pour recharger des batteries pour la maison...

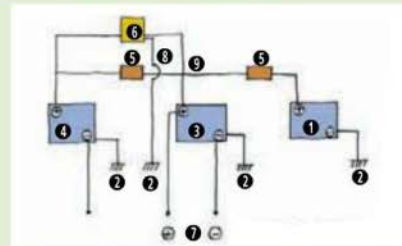
Pour expérimenter le système, nous avons acheté d'occasion un véhicule Volkswagen Polo (17 ans d'âge) possédant un alternateur de 55 A.

Le montage de l'installation

Nous avons installé dans le coffre arrière deux batteries en couple, reliées à l'alternateur du véhicule via la batterie d'allumage placée dans le moteur à l'avant.

L'alternateur est un petit moteur qui peut fonctionner dès que le moteur tourne ; il est chargé de produire le courant nécessaire à l'allumage et au reste de la voiture. Pour cela il est relié en permanence à la batterie d'allumage, qu'il réalimente quand elle s'est déchargée (après un allumage de la voiture).

Montage général des 3 batteries



Batterie-moteur (1). Carrosserie (2), servant de masse. Batterie 110 A (3). Batterie 85 A (4). Coupleurs-séparateurs (5). Relais (6). Branchement à la maison (7). Demi-cercle (sur un schéma de montage) : quand un fil évite l'autre (8). Croix : quand 2 fils sont jumelés (9).

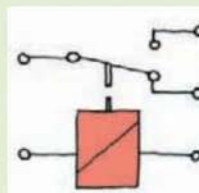


Schéma du branchement relais (à 5 broches).



Les batteries dans le coffre arrière. On reconnaît le deuxième coupleur-séparateur ainsi que le relais.

Les appareils spécifiques du prototype

Type d'appareil	Marque et prix	Puissance (W)	Consommation moyenne pour une seule utilisation (kWh)	Consommation annuelle (kWh/an)
La cuisine et son gros électroménager				
Petit frigidaire (hauteur 87 cm)	Rosières (rbia 170) environ 450 €	90 W	0,41 kWh/24 h	164 kWh/an
Lave-linge frontal	Candy (go 714) environ 550 €	2 150 W	1,19 kW/cycle (7 kg de linge)	180 kWh/an (hypothèse d'une machine tous les 2,5 jours)
Aspirer et repasser				
Aspirateur	Eurêka environ 100 €	1 400 W		145 kWh/an (hypothèse de 2 h d'utilisation par semaine)
Fer à repasser	Calor Aquaspeed environ 60 €	2 200 W		57 kWh/an (hypothèse de 30 min d'utilisation par semaine)
La salle de bains				
Sèche-cheveux	Babyliss environ 12 €	1 300 watts		34 kWh/an (hypothèse de 30 min d'utilisation par semaine)
Le salon et ses distractions				
Télévision LCD avec enregistreur de DVD	environ 450 €	30 W	30 Wh en veille	76 kWh/an (hypothèse de 7 h d'utilisation par jour, avec extinction de la veille)
Mini-chaîne	Thomson (c5520) environ 150 €	80 W		Hypothèse non faite
Faire circuler l'eau				
Fontaine solaire (oxygénation bassin de réserve).	Rule-250 Aspire et refoule de 1 800 l à 4 000 l par heure 95 €	24 W	24 Wh	17,5 kWh/an (utilisation 2 h par jour)
Pompe maison (alimentation cuisine + salle de bains)	Pompe automatique à membrane Aqua 8 Fiamma environ 50 €	41 W	41 Wh	41 kWh/an (utilisation 2 h par jour)
Pompe bassin (remplissage réserve eau potable, soit 4 000 l)	Ribiland (eaux chargées) 7 500 l/h, hauteur de relevage de 5 m, fil de 10 m environ 50 €	400 W	400 Wh	2,5 kWh/an (utilisation de 30 min par mois)
La téléphonie : utilisation d'un téléphone a fil usuel				
L'informatique				
Ordinateur portable	Apple (mac OS X, système Tiger) environ 1 100 ?	30 à 40 W		30 kWh/an (hypothèse de 2 h d'utilisation par jour)
Éclairer la maison				
Éclairage faible		40 W		100 kWh/an (8 lampes fluocompactes de 20 W allumées chacune en moyenne 1 h par jour)
Total				847 kWh/an (134 €/an)

Le montage est réalisé en série : les pôles « + » sont reliés les uns aux autres, et les pôles « - » à la carrosserie (la masse). La charge se fait en cascade d'une batterie à l'autre. Attention : les batteries ne doivent jamais être déchargées de plus de 50 %.

Petite précision : qu'est-ce que la « masse » ? Des fils sortent tous des pôles « - » des batteries et sont reliés à la carrosserie, puis de là à la terre via les roues. Souvenez-vous de l'analogie des réservoirs : le potentiel vient de l'alternateur, la « masse » est le réservoir vide vers lequel circule le courant. Sans « masse », l'énergie ne circule pas.

Il y a deux coupleurs-séparateurs, intercalés entre chaque batterie : ils veillent à assurer la charge des batteries l'une après l'autre (sans eux, l'alternateur risquerait de casser). Lorsque le contact du véhicule est coupé, un relais se ferme : les batteries se couplent alors, alimentant un câble en sortie vers la maison. Le tout est câblé en fils de 6 mm².

Le soir en rentrant, nous relierons les batteries à la maison par une prise ad hoc. Cela fonctionne sans aucun problème, tant pour la voiture que pour la maison, depuis plus d'un an.

Ce mode de production nous fournit 400 kWh par an.



Batterie-moteur et premier coupleur-séparateur.



Le câble entre la batterie-moteur et les 2 batteries à l'arrière. Il a été coincé sous la portière et la moquette couvrant le plancher de la voiture.



Testeur de charge. Il est chargé de mesurer le niveau du courant dans les batteries-maison.



Alternateur de la voiture.

Point sur l'évolution des batteries en 2009

Dans les 7 dernières années, les performances des batteries se sont améliorées de 300 % même si celles disponibles à la vente sont rudimentaires et chères.

Petit aperçu :

- la **batterie lithium-métal-polymères** à supercapacité, sans liquide et sans plomb : développée par Batscap, filiale de Bolloré Technologies implantée à Ergué-Gabéric, en Bretagne, ses rendements seraient 4 fois supérieurs aux vieilles batteries ; elle équipe la voiture électrique Blue Car ;

- les **batteries de Boston Power** : elles accumulent 2 fois plus d'électricité, supportent 3 fois plus de cycles de déchargement/rechargement et se rechargent 4 fois plus vite ; Enviroto, commercialisée à 150 \$ par Hewlett-Packard, est pour l'instant seulement développée pour les ordinateurs ;

- en Australie, des chercheurs ont associé un supercondensateur à une batterie banale et constaté que temps de charge et de décharge, puissance et longévité de l'**Ultrabattery** s'accroissaient d'un facteur 4 ;

- **Byoungwoo Kang et Gerbrand Ceder**, du Massachusetts Institute of Technology, ont élaboré un nouveau modèle de **batterie au lithium-fer-phosphate**, disposant d'un revêtement particulier (voir la revue Nature). Constatation : alors que pour recharger la batterie d'une voiture, il fallait 5 à 6 h dans le meilleur des cas, avec cette batterie il ne faut plus qu'une dizaine de minutes.

Les projections sont extrêmement encourageantes et concernent le futur proche. L'aérospatiale devrait jouer un rôle moteur, car il semble que le Dreamliner de Boeing doive emporter, pour approvisionner l'ensemble des systèmes dédiés aux passagers, plus d'énergie que celle consacrée à l'aviation. D'où l'intérêt croissant, de toute part, pour la supraconduction. En effet, celle-ci permettrait de stocker dans des espaces réduits et sans échauffement des quantités importantes d'énergie.

La pertinence de relier sa maison aux réseaux collectifs dépendra donc du coût et des performances des batteries ainsi que du prix d'achat du courant aux particuliers par EDF (en France) : la loi économique et scientifique selon laquelle le progrès de nos civilisations met de plus en plus d'énergie à la disposition de chacun pour un prix toujours plus réduit est donc parfaitement respectée.



L'intérieur du local du groupe électrogène. Au-dessus, la boîte blanche regroupe les fusibles (à gauche le fil jaune et vert est la prise de terre, reliée à un piquet métallique enterré à une profondeur de 1 m). La boîte à fusible est reliée à une multiprise, sur laquelle on branche soit le groupe électrogène, soit le câble venant des batteries-maison installées dans la voiture. On automatisera ce système plus tard mais, pour l'instant, ça marche très bien.

Attention

Ne mettez jamais un groupe électrogène dans un local accessible de l'intérieur de la maison. En effet, il représenterait un risque majeur d'émanation de monoxyde de carbone. En revanche, il est possible d'en récupérer la chaleur pour l'habitat, à travers un circuit d'air séparé.

Il vous faut savoir plusieurs choses :

- si vous roulez 2 h par jour, vous rechargez vos batteries de 1,3 kWh ;
- techniquement, il faut coupler deux batteries de même puissance (ou ampérage) : 2 de 110 A, 2 de 85 A, etc. Il y a quand même une tolérance de 10 % ;
- attention, l'alternateur de la voiture alimentant la batterie moteur doit débiter au moins du 14 V (pour le vérifier, allumer le moteur et le laisser tourner 10 à 15 min) ; il se peut cependant que cette tension soit un peu oscillante : nous utilisons donc des séparateurs « tarés » plus bas, qui chargent les batteries dès qu'apparaît une tension de 13,8 V ;
- même une voiture moteur allumé au point mort produit de l'électricité, car la courroie entraîne l'alternateur. Dans le cas de notre véhicule, cette production est de 55 A par heure. Vous pourrez trouver coupleurs-séparateurs, contrôleur de charge et relais chez les revendeurs de produits pour camping-cars.

La nécessité d'un groupe électrogène d'appoint

Comment répondre aux plus grosses consommations intermittentes (fonctionnement occasionnel de deux appareils à forte puissance par exemple) ? Nous avons dû compléter notre équipement éolien-solaire-voiture par un groupe électrogène d'appoint.

Nous avons d'abord utilisé un groupe électrogène Honda Voltec 2 000 de 1 600 W, le même qui avait servi sur le chantier de construction de la maison et avait coûté 330 € (1,5 l d'essence sans plomb pour 4 h d'utilisation).

Cela a suffi dans un premier temps, mais un tel groupe produit une électricité dont la tension oscille entre 115 et 220 V... Or, dans l'électricité alternative, le courant va en avant et en arrière : cet effet de balancement peut être représenté graphiquement comme une sinusoïde. Très régulière quand le courant est fourni par EDF, ici le signal est heurté, « carré »...

Tension irrégulière, signal carré : tout cela non seulement est dangereux pour l'électronique de la maison, mais en outre interdit la recharge des batteries !

C'est pourquoi nous avons fait le choix d'investir 1 700 € dans un groupe électrogène débitant un courant de qualité sinusoïdale : ce type de groupe dispose de la technologie « Inverter », d'une sortie 12 V pour recharger des batteries ; en outre, il est bien insonorisé et son réservoir fournit une autonomie conséquente.

Nous conseillons le Honda portable EU 20 i, 2 000 W pour 1 700 € ; dans les grandes surfaces, des promotions régulières font baisser les prix de ces groupes à Inverter : à vous d'être à l'affût.

Le grand point négatif, à notre sens, de ces appareils est leur consommation d'essence sans plomb 95 : nous attendons avec impatience des groupes alimentés à l'éthanol pur (E 100) ou aux huiles végétales.

Les groupes les moins chers s'allument avec une ficelle, qu'il faut lancer. Pas pratique ! Et ils sont bruyants. En outre, quand ils possèdent un démarrage à distance, souvent ils n'ont pas la technologie Inverter. Une offre spécifique reste donc à proposer.

Ce groupe électrogène, en fonctionnant un peu plus de 2 h par semaine, nous a permis d'atteindre l'autonomie électrique (2 000 W x 2 h x 52 semaines = 208 kWh par an). Il nous manquait en effet 918 – 400 – 300 = 218 kWh par an. Tout en ayant une faible consommation en essence : 1,5 l/4 h x 104 h = environ 40 l par an, soit environ 50 € par an.

Comment disposer d'un groupe électrogène vraiment « bio » ?

Tournons-nous du côté des revendeurs de camping-cars. Pour 6 000 €, on trouve des groupes électrogènes qui fonctionnent au diesel et s'allument à distance, disposent de

l'inverter, produisent un courant de bonne qualité. Ces groupes, moyennant une adaptation chez un garagiste, peuvent aussi fonctionner à l'huile végétale (colza, tournesol...). Contactez l'association Roule ma fleur pour l'adaptation... Cependant, les constructeurs ne les garantissent pas pour ces carburants.

Dimensions : un carré de 50 cm de côté environ... dont on peut récupérer de surcroît l'air chaud pour chauffer la maison si le groupe est accolé à celle-ci.

Bilans électrique et financier du prototype

Nous arrivons donc en associant éolien, photovoltaïque, voiture et groupe électrogène à un prototype autonome en électricité.

- Éolien et photovoltaïque : 400 kWh par an ;
- Voiture : 400 kWh par an ;
- Groupe électrogène : 208 kWh par an ;

soit un total de 1 008 kWh par an.

Pour l'éolien (une micro-éolienne) et le photovoltaïque (un panneau et l'équipement annexe), l'investissement est d'environ 4 500 €.

À cela s'ajoute le coût de l'installation véhicule :

- 2 batteries : 400 €
- 2 coupleurs-séparateurs PD 480 707 : $2 \times 59 \text{ €} = 118 \text{ €}$;
- 1 relais à 5 branches PD 717 216 : 9 € ;
- 5 m de fil 6 mm² : 40 € ;
- main d'œuvre (2,5 h) : 125 €.

Total : environ 5 200 €.

À cela s'ajoutent un groupe électrogène (1 300 €) et 2 batteries (400 €), destinées à rester sur place, dans la maison, quand le véhicule est parti, et alimentée par le photovoltaïque et l'éolien.

L'investissement total est donc d'environ 7 000 €, c'est-à-dire en grande partie l'économie représentée par le non-raccordement à EDF et un câblage autonome (6 000 €).

Il y a certes des améliorations à apporter au système, avec la mise en place d'automatismes : par exemple, quand un appareil « appelle » une forte intensité, il faut que le groupe électrogène se mette automatiquement en route, et s'éteigne aussitôt après.

Conclusion : la production d'électricité autonome est rentable, sans même les aides de l'État.



Le EU 20 de Honda en situation. Pour une maison écologique, l'idéal est d'adapter les produits très fiables élaborés pour les camping-cars.



Le récupérateur à air chaud du groupe électrogène. Ce tuyau rouge à droite (l'autre est destiné au passage des câbles électriques) récupère dans le local l'air chaud émis par le groupe électrogène pour l'envoyer dans le logement. Le tuyau d'échappement est parfaitement colmaté. Au cas où, néanmoins, il fuirait, nous avons équipé la sortie de l'air dans le logement d'un détecteur de monoxyde de carbone.



Le local fermé.



Les pâles sont en résine de polyester. Mais comment définir leur profil (ici de type « naca »), fondamental pour les performances de l'éolienne ? L'autoconstructeur a travaillé à partir d'un tableur Excel permettant le calcul de ce type de pâles. C'est en définissant ses besoins énergétiques qu'il a défini la surface du rotor (pâles + disque métallique d'accroche, c'est-à-dire partie de la machine qui tourne autour de la partie fixe de celle-ci – le stator). (Photos Eldrich Martins.)



Le stator avec ses bobines enroulées. La partie métallique sur laquelle elles sont fixées a été découpée par une entreprise de métallurgie. C'est la partie fixe de la machine, les rotors sur lesquels sont fixés des aimants venant tourner de part et d'autre. En tournant, leur champ magnétique passe sur les bobines, produisant alors du courant par création d'un champ électromagnétique.

Cas pratique n° 14

Construire éolienne et mât pour 1 900 €

Cathy et Eldrich vivent aujourd'hui sur la route dans un camping-car, et ont comme projet de vie une installation en maraîchage biologique, probablement en Ardèche. Là-bas, ils souhaitent développer un habitat écologique totalement autonome au niveau énergétique. Profitant d'un licenciement, Eldrich s'est donc lancé dans la construction de 2 micro-éoliennes, selon une méthode développée par un Écossais, Hugh Piggott. Après 7 tentatives, cet innovateur génial a en effet élaboré une éolienne simple à construire soi-même, robuste, réalisable en partie grâce à des matériaux de récupération. Eldrich a bénéficié de l'aide technique et logistique d'une association, La Caisse à clous, qui exerce à Brest. Mais il existe d'autres associations qui peuvent aider les autoconstructeurs, comme Tripalium. Voir Hugh Piggott lui-même, qui forme des stagiaires (voir carnet d'adresses).

Pierre-Gilles Bellin : « À combien estimes-tu vos besoins une fois installés ? »

Eldrich Martins : « Quand elle se sera installée en maraîchage biologique, Cathy a l'intention de consommer un minimum d'énergie pour son activité, avec une motorisation très réduite. Le pompage de l'eau sera effectué par un autre type d'éolienne. Nous voulons cependant une production suffisante pour accueillir du monde dans ce que l'on voudrait être une oasis « à la Pierre Rabhi » (auteur et fondateur du mouvement des Oasis en tous lieux). C'est pourquoi nous pensons ne pas avoir besoin de plus de 2 000 à 3 000 Wh par jour avec, en autonomie, 2 jours de réserve dans nos batteries (soit 6 000 Wh, ou 52 Ah). Nous pensons monter des batteries en série, mais ici à décharge rapide, type automobile. En effet, d'après certains retours d'expérience – y compris de camping-caristes – les batteries à décharge profonde habituellement utilisées en électricité autonome ne seraient pas meilleures au vu de leur rapport prix/service rendu. En consommation annuelle, cela représenterait donc de 700 à 1 000 kWh. Du moins tel est notre objectif. »

PGB : « Quel sont les types d'appareils que vous envisagez ? »

EM : « Pour le moment, il s'agit seulement de 2 éoliennes délivrant au niveau des batteries une puissance de 500 W (à 10 m/seconde de vent). Le rotor (pâles) est étudié pour capter une puissance mécanique de vent de 1 700 W. La production annuelle de mes éoliennes est cependant difficile à estimer, d'autant plus que nous ne savons pas encore où nous nous installerons. Mais en imaginant 5 h de vent moyen par jour, nous tablons sur une production comprise entre 400 et 500 W par heure et par machine. Elle sera complétée par 3 ou 4 panneaux photovoltaïques pour un total de 400 Wc. Nos machines sortiront du 24 V (en fait le voltage produit dépend du nombre de tours dans chaque bobine en fil de cuivre). »



Le rotor se compose d'aimants qui sont placés sur un disque d'acier de 8 mm d'épaisseur et de 30 cm de diamètre. Ce disque sera ensuite fixé sur un moyeu arrière de Ford Fiesta, ce qui lui permettra de tourner en entraînant le champ magnétique. (Photos Eldrich Martins.)



La pré-phase de moulage (rotor). Après que les aimants ont été posés sur le disque métallique, le tout est placé dans un moule en bois où l'on coulera une résine polyester selon une technique à froid en ajoutant un durcisseur dans la résine. Ces 2 derniers produits sont vendus chez les carrossiers ou chez les réparateurs et constructeurs de bateaux, voire les entreprises qui travaillent avec les petits avions.



Comme le rotor, le stator est moulé dans la résine en polyester, qui protégera les bobines de cuivre des intempéries. Ici, il est vu de profil, monté sur son armature métallique.



Présentation de la pièce métallique qui va venir se fixer au mât et sur laquelle vont s'accrocher rotor + stator + pâles + safran, soit environ 60 kg. On voit bien ici le moyeu récupéré sur une voiture et sur lequel sont placées les tiges filetées, serrées derrière grâce à des écrous.

PGB : « Quel est le type d'éolienne que tu es en train d'achever ? Combien t'ont-elles coûté ? »

EM : « Il s'agit d'éoliennes Piggott... du nom d'un autoconstructeur écossais qui a développé une technique de construction économique à l'intention des autoconstructeurs, avec beaucoup de simplicité dans les matériaux, l'assemblage, et qui permet pas mal de récupération : par exemple, des boîtiers, ou encore de l'acier, que j'ai payé moins d'1 € le kg soit, pour 30 kg, à peu près 20 € (hors mâts, qui sont à part). L'axe autour duquel tourneront les pâles est un moyeu arrière de Ford Fiesta, récupéré dans une casse pour 20 €. En revanche le bobinage (6 kg de cuivre émaillé), acheté localement, a été plus cher : 90 €. Quant aux 48 aimants, commandés en Suède, ils ont coûté 250 € ; pour les composants électroniques (pour la régulation), il a fallu compter environ 50 €. À cela s'ajoutent les matériaux composites : résine de polyester, fibre de verre, billes de silice, pour environ 100 €. En tout, le budget est de 800 € pour 2 éoliennes. Les rotors (un acier de 8 mm d'épaisseur) ont été découpés au laser par une entreprise de métallurgie ; coût : 50 €. Sans la main-d'œuvre : j'ai travaillé sur les 2 éoliennes d'avril à septembre 2009. Il faut donc en tout compter 6 mois de travail, 7 h par jour (pas d'arrache-pied, néanmoins). En ce qui me concerne, j'ai appris à travailler le fer – y compris la soudure – grâce à l'association brestoise La Caisse à clous, qui compte parmi ses membres d'anciens métallos des chantiers navals. »



L'éolienne est à présent posée sur un étau. Sur les 4 tiges filetées vont venir se greffer les pâles. Derrière les disques on retrouve le stator, lui-même coulé dans une résine polyester (c'est elle qu'on voit) ; devant se trouve le rotor. La partie en bois, tout derrière, est le safran, qui va orienter la machine face au vent et permettre la mise en drapeau quand les vents atteindront les 45 km/h environ.

Autoconstruire son éolienne Piggott avec l'association Tripalium



d'abaisser mât et éolienne, 2 tiges filetées servant de pivot pour le mât et la flèche, le tout sur une embase en béton. Coût du matériel : environ 1 500 € pour la tête de la machine (sachant cependant que l'on aurait pu prendre la plupart de ces éléments en récupération). Il faut compter à peu près autant pour le mât et le double pour les électroniques. (Photo Gaël Cesa/Tripalium.)

Détail de la même éolienne. Les pâles sont de 3,6 m de diamètre pour une puissance instantanée de 1 500 W. Selon les sites, on obtient entre 3 et 7 kWh par jour, avec un démarrage entre 2,5 et 3 m/seconde (entre 6 et 9 km/h). Mais il y a encore peu d'énergie dans des vents aussi faibles, la production commençant plutôt à 5 m/seconde (18 km/h). Selon les sites, cette éolienne produit entre 1 000 et 2 500 kWh par an. (Photo Gaël Cesa/Tripalium.)

A priori un nom paradoxal pour désigner une association d'autoconstructeurs d'éoliennes. À l'origine, le *tripalium* est un instrument de torture pour punir les esclaves rebelles, ou pour ferrer de force les chevaux rétifs. Les fondateurs ont choisi ce nom en forme de clin d'œil. Les chevaux rétifs sont ici le vent, et l'instrument de torture est détourné en un instrument qui libère en permettant de produire à bon compte de l'électricité : une éolienne à tripales...

L'objectif : diffuser l'autoconstruction d'éoliennes de type Piggott, selon un mode de développement comparable à celui de Linux. Les stagiaires commencent par s'approprier le savoir technique, fabriquent des machines et font partager leurs retours d'expériences. Ainsi, les performances et les techniques de fabrication de ce type d'éoliennes évoluent-elles constamment, dans une recherche appliquée à laquelle chacun peut participer. Au total, une douzaine de stages ont formé environ 200 personnes et une cinquantaine d'éoliennes Piggott tourment aujourd'hui en France.

Éolienne Piggott sur son mât. Celui-ci mesure 24 m de hauteur (il faut déposer un permis de construire). Le mât est constitué de tubes hydrauliques en acier posés les uns sur les autres (longueur : 6 m chacun). Des brides sont soudées en bas et en haut de chaque tronçon et ensuite boulonnées entre elles de manière à ce que tout soit démontable. On attache ensuite des haubans métalliques aux brides, on assemble au sol. On monte une première fois le mât « à blanc » – sans l'éolienne – grâce à un tirefort et une flèche, de manière à régler la tension des câbles dès qu'on atteint la verticale. Puis on le redescend, on fixe l'éolienne et on remonte. La base du mât est composée de 3 plaques métalliques soudées entre elles, avec un système pivotant qui permet de lever ou



Id solaires : retour d'expérience sur la production électrique individuelle

Id solaires développe des outils pédagogiques de découverte des sources d'énergie renouvelables à destination de la jeunesse, des enseignants et du grand public : bandes dessinées, livres, fiches techniques, cédéroms, jeux, maquettes didactiques et kits. La démarche est concrète, car il s'agit de faire expérimenter la production d'eau chaude solaire, d'électricité éolienne, d'électricité photovoltaïque, de haute température et/ou d'utilisation de l'hydrogène – et ce afin de bien comprendre les modes de transformation de ces nouvelles sources d'énergie. Ses fondateurs, Christine et Laurent Choplin, formés en sciences et techniques des énergies renouvelables à l'Université Paul Sabatier dans la région Midi-Pyrénées (1995), mettent à profit une grande expérience acquise sur le terrain avec, notamment, de nombreuses installations.

Pierre-Gilles Bellin : « De manière générale, quels conseils donnes-tu aux gens qui veulent développer une production d'électricité individuelle ? »

Laurent Choplin : « Premier conseil : s'initier aux grandeurs physiques pour dimensionner ses futures installations de façon appropriée. Deuxième conseil : bien cerner quels sont ses besoins réels en énergie au quotidien, bien distinguer ses besoins « spécifiques » en électricité des autres besoins. Par exemple, quand on utilise une machine à laver, il faut réfléchir au type d'énergie consommée. Dans ce cas, il faut de l'électricité pour faire tourner le moteur du tambour et une résistance électrique pour la production d'eau chaude. La rotation du tambour est une consommation spécifique de l'électricité (usage « noble » de force mécanique) alors qu'il existe des moyens plus efficaces que la résistance électrique pour produire de l'eau chaude. Là, nous abordons le chauffe-eau solaire. Ainsi 80 % de la consommation électrique de la machine à laver peuvent être économisés en raccordant la machine au chauffe-eau solaire. »

PGB : « Quand tu as éliminé les besoins d'électricité non spécifiques, à combien estimes-tu la consommation en kWh de 4 personnes en un an ? »

LC : « Cela dépend des gens, des générations... Dans ma famille, je connais de grands ados qui font parfois exploser leur consommation électrique ! A priori, une centrale solaire photovoltaïque suffit aux besoins spécifiques, à savoir l'éclairage, la petite force motrice (moteur de la machine à laver, moulin à café, aspirateur), l'informatique, la télévision, etc. Ainsi 2 000 à 3 000 kWh par an devraient théoriquement suffire.

Par exemple, la puissance de la dernière installation solaire que j'ai réalisée, destinée à un couple en montagne, ne dépassait pas 500 Wc en très basse tension (12 V). La capacité des batteries était de 240 Ah. Mais les usages de l'électricité étaient les plus réduits possible : éclairage, ordinateur, télévision, radio. La production annuelle de cette installation pour 1 500 h de soleil est d'environ 750 kWh.

Il est encore possible de réduire la facture d'électricité, vers l'autonomie énergétique, en optant pour un chauffe-eau solaire installé en thermosiphon. Jamais de pannes, ni de régulation, ni de pompe, la circulation de l'eau étant naturelle et non forcée. Petit calcul : une pompe de circulation d'un chauffe-eau solaire absorbe une puissance de 70 W, 3 000 h par an, soit une consommation électrique de $70 \text{ W} \times 3\,000 \text{ h} = 210 \text{ kWh}$! »



Parmi les réalisations d'Id solaires, ce laboratoire pédagogique de découverte des sources d'énergies renouvelables dans une ferme équestre à Colomiers en région Midi-Pyrénées, équipé avec des installations solaires photovoltaïques autonomes, solaire thermique, une éolienne et du biogaz. (Photo Christine et Laurent Choplin.)

PGB : « Dans l'installation électrique de production autonome, qu'est-ce qui pose le plus problème ? »

LC : « La batterie de stockage est le point faible de l'installation solaire autonome. Si elle est bien régulée, sa durée de vie peut être de 10 ans ; celle d'un capteur photovoltaïque, d'au moins 20 ans.

Cependant, les besoins journaliers en énergie d'une famille peuvent évoluer, alors il est tentant d'ajouter des appareils électriques sur l'installation.

Le régulateur, pièce centrale de l'installation solaire photovoltaïque autonome, préserve la batterie des surcharges et des décharges profondes en interdisant toute consommation électrique en dessous d'une certaine tension. Et ce jusqu'à la prochaine recharge solaire. Mais il faut savoir qu'il reste un peu d'énergie dans cette batterie. Certains seront tentés de se raccorder directement sur celle-ci, ce qui l'utilisera prématurément et réduira sa durée de vie. »

PGB : « Est-ce que des batteries peuvent exploser ? »

LC : « Dégageant de l'hydrogène en toute petite quantité, les batteries doivent être placées dans un local sec et bien aéré. »

PGB : « Quelles sont les difficultés majeures de la production éolienne ? Je pense notamment à certaines nuits où je me suis retrouvé dehors, sous la pluie, à gérer notre machine qui, à 10 m de hauteur, subissait des vents de 150 km/h... »

LC : « Les lois de la physique sont immuables : l'énergie produite par le vent est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. Concrètement, pour un vent de 5 m/seconde, on a une énergie X , et pour un vent de 10 m/seconde, l'énergie est multipliée par 8, et donc les



Montage des pâles de l'éolienne : la simplicité de mise en œuvre est remarquable. (Photo Christine et Laurent Choplin.)



Cette éolienne légère, qui coûte moins de 1 000 €, est un appareil de type Air 400, raccordé sur une batterie d'une capacité de 240 Ah en 12 V. Même si les performances varient selon les endroits, on considère que sa production annuelle est d'environ 800 kWh. (Photo Christine et Laurent Choplin.)

ennuis potentiels également. Les forces mécaniques subies par le mât et la machine sont naturellement proportionnelles à cette exponentielle. Les machines doivent donc être bien conçues, bien réglées, avec un système de mise en drapeau en cas de vent trop fort. Un fabricant d'éoliennes doit toujours annoncer la vitesse de démarrage, la vitesse de mise en drapeau et la courbe de puissance en fonction de la vitesse du vent. Un fabricant d'éoliennes pour les zones tropicales a ainsi prévu que le mât puisse se coucher en cas d'alerte cyclonique. Enfin, nous déconseillons d'accrocher les mini-éoliennes en pignon des maisons, car leurs vibrations retentissent dans tout l'habitat. »

PGB : « Quel bilan fais-tu de la hausse des rendements ? Celle-ci n'assure-t-elle pas à présent la rentabilité financière de la production électrique autonome ? Avec le rachat par l'État de l'électricité à 57 centimes d'€ le kWh, le retour d'investissement est désormais de 9 % pour les particuliers. Sur notre propre installation, les économies permises par le non-raccord au réseau nous donnent une rentabilité financière 3 à 4 fois supérieure à celle du livret A. Qu'en penses-tu »

LC : « Deux questions en appellent deux réponses.

De formidables progrès technologiques permettent une hausse des rendements énergétiques ; c'est de mieux en mieux... Sur l'éolien, on fait désormais de très belles petites machines, notamment à axe vertical, qui acceptent des vents violents. Pour le solaire photovoltaïque, tu optimises la productivité de ton capteur en injectant intégralement l'électricité produite dans le réseau.

Quand à la rentabilité financière, elle ne dépend que de décisions sur le plan politique. Attention à ne pas déshabiller Pierre pour habiller Paul ! Les subventions sont bien souvent des systèmes à somme nulle. Sur le plan collectif, c'est une injustice. Les aides devraient être générées par les profits pétroliers. On en sortira quand on aura une véritable politique d'énergies renouvelables. Il faut développer l'utilisation des ressources renouvelables locales : la biomasse, le biogaz, le solaire, le vent, etc., le tout associé à une efficacité énergétique des technologies en vue de limiter nos importations de pétrole. En fait, tout dépend du prix du pétrole : dès qu'il est suffisamment élevé, la production d'énergie renouvelable devient rentable. »



L'éolienne s'installe à 12 m de hauteur sur un mât articulé, donc rabattable en cas de fort coup de vent. (Photo Christine et Laurent Choplin.)

Micro-installation d'électricité autonome

Cette petite installation comprend une micro-éolienne et un panneau solaire, pour une production annuelle d'environ 400 kWh. L'électricité est stockée dans 2 batteries de 110 A chacune à décharge profonde, ce qui fait une charge utile pour la maison (qui ne sert que le week-end) de 2 journées (pour 3 lampes, 1 free-box, 1 ordinateur portable et 1 petite télévision à écran-plat). La réserve est donc de 110 A/heure (soit 50 % de la charge des batteries).



On aperçoit l'arrivée des câbles de l'éolienne (1), qui parviennent à des fusibles (2), chargé d'assurer la déconnection en cas de surtension (selon la force du vent, la puissance en provenance de l'éolienne peut grimper brutalement). En (3) arrivent les câbles du panneau solaire (neutre (4) et phase (5)). Tous se rejoignent dans un boîtier (6), après un passage par une diode (7) chargée d'empêcher la remontée du courant vers l'éolienne. Ils se dirigent ensuite vers le régulateur (8), dont on ne voit ici que le côté gauche. De là des câbles se dirigent vers les cosses + et - des batteries (cachées). Les éléments verts sont les résistances (9), vers lesquelles le régulateur dirige l'énergie en surplus quand les batteries sont pleines.



Un petit redresseur assure la transformation du courant de 12 V en 230 V. Quand les batteries sont déchargées, leur tension chute et il coupe le courant dans toute la maison (une petite alarme retentit au préalable). Il ne peut accepter plus de 230 W : si, dans la maison, trop d'appareils sont branchés, il coupe aussitôt le circuit. Les grosses installations possèdent de gros onduleurs.



On voit bien ici une batterie (1), le régulateur (2) et les résistances (3), qui se déclenchent quand les batteries sont pleines. (Elles se mettent à chauffer pour dissiper l'énergie électrique en surplus. Il suffit d'approcher la main pour sentir leur chaleur.)



Zoom sur les résistances du régulateur (en vert).

Une installation de production photovoltaïque

Ce sont une quinzaine de panneaux solaires qui sont rattachés à ces compteurs. À la différence d'une installation autonome, celle-ci est connectée au réseau, ce qui implique le respect de normes de sécurité importantes mais dispense d'installer un parc de batteries.



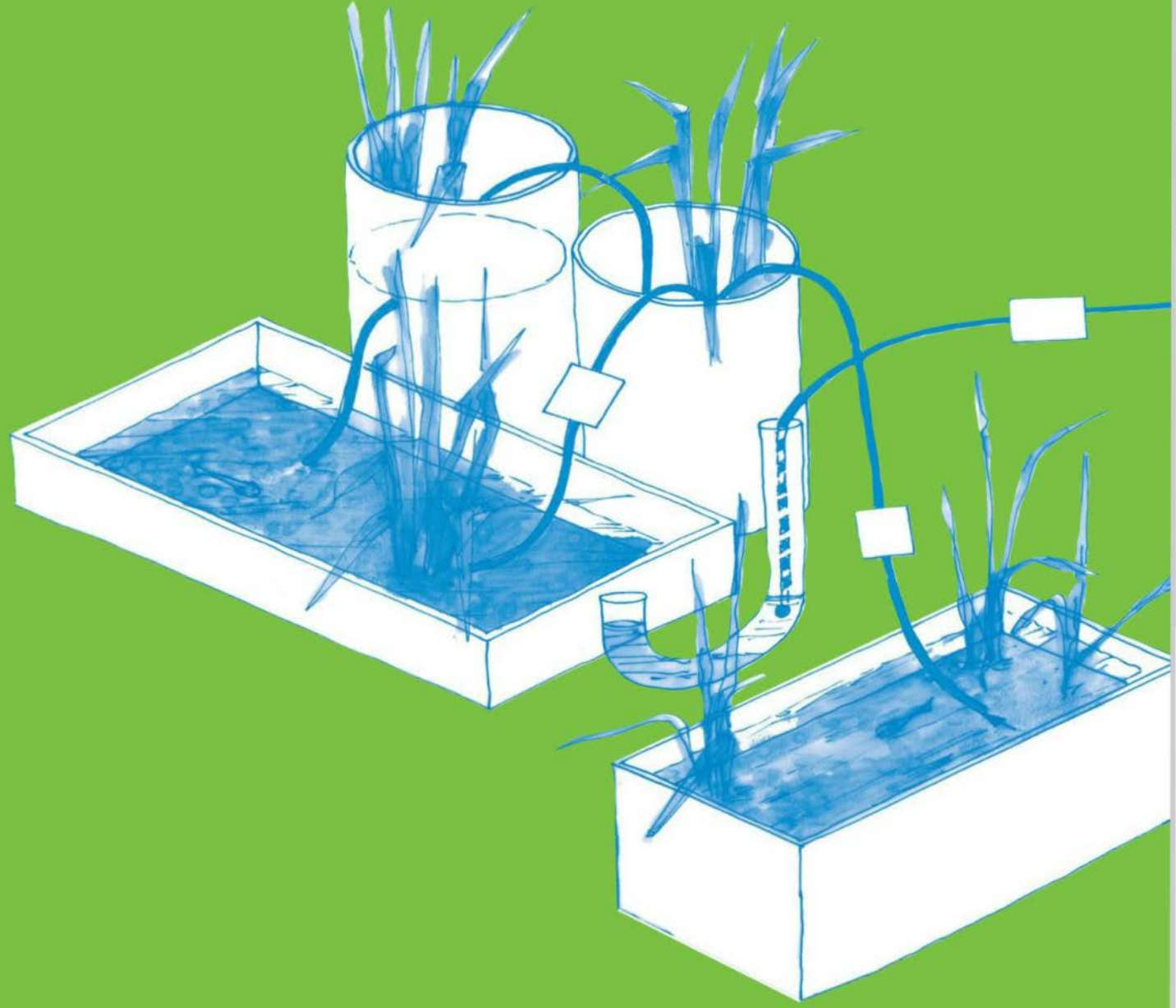
EDF a installé ici 2 compteurs :

- un pour le courant qui lui est vendu à 0,57 € le kWh ;
- un pour le courant qu'on lui achète au prix public.

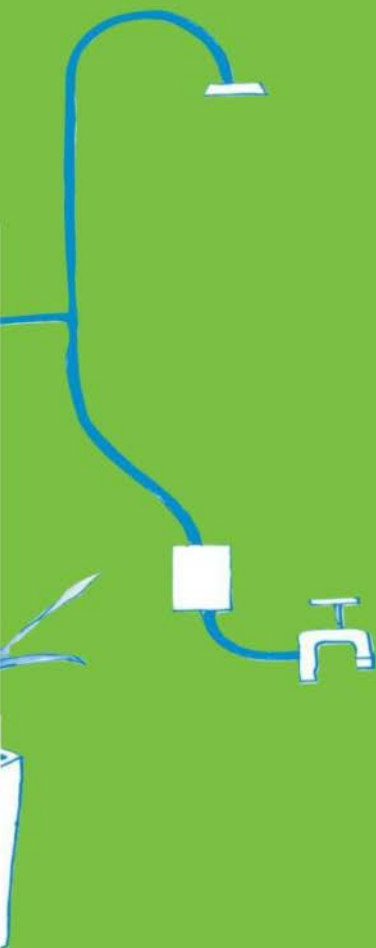
Ce type d'installation évite l'investissement dans des batteries et permet de maximiser la production électrique (on ne jette pas de courant quand les batteries sont pleines, à la différence de l'installation autonome présentée en page précédente).



Panneaux solaires mis sur le toit, dont l'inclinaison, idéale, est à 45° plein sud.



L'eau et les déchets



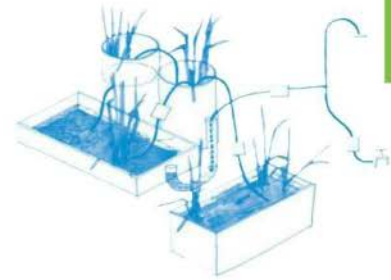
Aujourd'hui, relier sa maison aux réseaux d'eau potable et d'eaux usées est devenu une charge très lourde pour les ménages. Pour 4 personnes, il n'est pas rare que ce poste représente plus de 500 € par an, voire davantage ; or, la combinaison des techniques environnementales permet de réduire très nettement ces dépenses, voire de les annuler complètement.

Pour minimiser les investissements et accéder à une autonomie totale, nous conseillons, ici encore, de prendre d'abord les mesures d'économie les plus évidentes et de n'étudier qu'ensuite comment recueillir, conserver et purifier, de la façon la moins chère possible, ces ressources gratuites que sont l'eau de pluie, l'eau du sous-sol et, dans certaines conditions, l'eau qui court à la surface du sol.

Nous montrerons aussi que des toilettes sèches permettent d'économiser 20 à 26 % de la facture d'eau (sans compter celle de plomberie) !

Comme tout est lié, cette démarche « holistique » nous conduira ensuite à regarder le traitement des eaux usées ainsi que des déchets organiques : nous observerons d'abord les manières, très diverses, selon lesquelles les industriels purifient les eaux usées ; puis nous ferons le tour des procédés « bio » d'épuration individuelle.

Nous proposerons enfin au lecteur un système « tout en un » qui, avec des installations travaillant en convergence, permet à la fois de stocker, purifier et retraiter l'eau, tout en favorisant la biodiversité de son jardin.



CHAPITRE 1

Notions de physique, de réglementation et de santé

Un peu de physique

À la sortie d'un robinet, dans votre cuisine ou votre salle de bains, l'eau s'écoule avec une certaine vitesse, la « pression ». Plus cette pression est élevée, plus il y a d'eau qui s'échappe. En fait, plus le château d'eau auquel sont reliés vos robinets est haut, plus l'eau jaillit avec force. Cette pression est calculée en « bars » (1 bar = 1 kg/cm²) : elle est en général de 3-4 bars (cela correspond à un château d'eau situé à une altitude supérieure de 30-40 m à celle de vos robinets). Parfois, la pression est moindre : dans certains immeubles, dans les derniers étages, l'eau s'écoule faiblement, avec lenteur, alors que dans les mêmes immeubles, au premier étage, elle a une pression « habituelle ». C'est normal, car plus votre appartement est élevé, moins le château d'eau est haut par rapport à lui.

Le frottement de l'eau dans les canalisations crée une « perte de charge » : plus un tuyau est éloigné du compteur d'eau, plus la pression diminue (cette perte peut atteindre 1 bar). La puissance du jet dépend aussi de la section des canalisations. Vous en avez déjà fait l'expérience avec un tuyau d'arrosage : si vous le pincez, le jaillissement est plus violent. Le diamètre des canalisations, quand elles sont en cuivre, est de 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 mm ; quand elles sont en PVC, leur section est de 14, 16 et 20 mm.

Pour calculer facilement la pression à la sortie d'un robinet, reliez-le à un simple tuyau d'arrosage de même diamètre. Dirigez l'embout vers le haut, ouvrez le robinet. Si le jet d'eau monte à 3 m, la pression est d'environ 3 bars ; à 2 m, 2 bars ; à 1 m, 1 bar (avec toutes les nuances exposées précédemment).

La quantité d'eau qui sort d'un robinet représente son « débit ». On appelle « débit » d'un flux d'eau le volume d'eau qui passe au travers d'une section par unité de temps. On le mesure en mètres cubes par seconde (m³/s), ou encore en mètres cubes par heure (m³/h), ou bien en litres par minute (l/min), etc.

Pour connaître simplement le débit d'un robinet, prenez un seau, mesurez sa contenance en litres et son temps de remplissage en minutes (robinet pleinement ouvert) : vous obtenez le débit de votre robinet en litres par minute.

Une petite précision

L'énergie potentielle de l'eau bloquée par un robinet fermé se transforme en énergie cinétique lorsqu'on l'ouvre. Plus un tuyau est éloigné du compteur d'eau et plus sa section est faible, plus la pression diminue, plus le débit s'affaiblit. Si en le reliant à un tuyau d'arrosage le jet d'eau monte à 3 m, cela veut dire :

$$\frac{V^2}{2g} = 3 \text{ mce, soit avec } g = 9,81$$

$$V^2 = 58,86$$

$$V = 7,67 \text{ m/s}$$

Si l'on mesure la section du tuyau D (diamètre), sachant que la section

$$S = \frac{M \cdot D^2}{4},$$

on peut en déduire le débit Q (m³/s) :

$$V \times S.$$

Pour connaître ce que consomme un lave-linge, un lave-vaisselle ou une chasse d'eau, notez sur votre compteur d'eau froide le chiffre de départ (pour mémoire, 1 m³ = 1 000 l) ; faites tourner votre machine ou actionnez la chasse d'eau ; n'ouvrez aucun robinet, ne faites fonctionner aucun autre appareil ; regardez le chiffre d'arrivée sur le compteur. Vous trouverez ci-dessous le débit (en l/min) d'un robinet (à pleine ouverture) en fonction de la pression à sa sortie. Le diamètre du tuyau est de 18 mm. Vous noterez l'importance des consommations par minute.

Prenons maintenant l'exemple d'une maison ayant 1 robinet dans la cuisine, 1 dans le jardin, 1 dans la salle de bains, 1 douche et 2 w.-c., soit 6 points d'eau alimentés avec une pression classique de 3-4 bars fournie par la compagnie des eaux (pression à la sortie des points d'eau de 2-3 bars, selon la distance au compteur d'eau) ; comme le montre le deuxième tableau, ci-dessous, si les points d'eau sont tous ouverts en même temps, le débit total est de 112 l par minute, ce qui est énorme. Il est à noter que le débit dans les w.-c. est plus faible car le diamètre des tuyaux est plus petit. Les valeurs données dans le tableau sont les moyennes de robinets à pleine ouverture.

Droit et normes

L'eau potable

Une eau est dite potable quand on peut la boire sans risque pour la santé. Elle doit répondre en particulier à des normes qui imposent des teneurs limites en substances nocives à ne pas dépasser. Elle ne doit pas non plus corroder les canalisations pour être toujours potable à la sortie des robinets.

Les normes évoluent au cours du temps en fonction des progrès réalisés, notamment dans les connaissances scientifiques et dans les techniques d'analyse. Elles ne sont pas identiques selon les pays. En France, les normes de qualité de l'eau, établies par la Commission des communautés européennes, comportent 63 paramètres, ce qui fait de l'eau l'aliment le plus réglementé.

Correspondances débit/pression de l'eau			
Pression	3 bars	2 bars	1 bar
Débit (pour un robinet)	25 l/min	17 l/min	12 l/min

Débits d'une installation classique					
	Robinet cuisine	Salle de bains (1 robinet + douche)	WC 1	WC 2	Jardin
Débit (diamètre des tuyaux = 18 mm sauf dans les w.-c., pression à la sortie = 3 bars)	25 l/min	50 l/min	6 l/min	6 l/min	25 l/min

L'eau qui est réservée à la consommation humaine provient des cours d'eau ou des nappes souterraines. Elle est soumise dans des usines à des traitements physiques, chimiques et biologiques afin de devenir potable. Puis elle est distribuée aux consommateurs. Après utilisation, elle subit dans d'autres usines des traitements de dépollution avant de repartir dans la nature. L'eau distribuée aux consommateurs doit donc être potable. C'est pour cette raison que l'eau du robinet est placée sous le contrôle des Directions départementales des affaires sanitaires et sociales (Ddass), qui recommandent qu'elle soit utilisée pour :

- la boisson, la cuisson et la préparation des aliments, le lavage de la vaisselle ;
- la douche, le bain, le lavabo, le lavage du linge.

Pour l'arrosage du jardin, le lavage des sols et des véhicules, ainsi que pour la chasse d'eau des w.-c., les Ddass admettent l'emploi d'une eau non potable, ce qui a été confirmé en 2007 par la Direction générale de la santé et le Conseil supérieur de l'hygiène.

Raison invoquée pour exclure l'eau de pluie de la cuisine et de la salle de bains : elle risquerait de contenir des germes, des métaux lourds et des pesticides, qu'on inhalerait quand, par exemple, on prend une douche... Enquête faite, vous n'en absorbez que si vous en buvez une gorgée au cours de la douche ou en vous lavant les dents...

Cependant un particulier peut très bien, s'il le souhaite, utiliser légalement l'eau de pluie, l'eau de son puits ou d'une petite rivière, voire d'un étang, et ce pour tous les usages. En revanche, les recommandations des Ddass, simples suggestions pour les particuliers, deviennent des obligations pour les collectivités (des écoles aux gîtes ruraux en passant par les PME).

Les puits

Pour les puits, regroupés dans la catégorie « usages privés [de l'eau] à utilisation unifamiliale », il n'existe pas de procédure d'autorisation, simplement une procédure de déclaration. On déclare à la Ddass un captage d'eau souterraine, en joignant une analyse à l'appui, effectuée par un technicien agréé auprès du Ministère de la santé publique, et en exposant la filière de traitement si les eaux ne sont pas potables.

Il faudra ensuite se conformer aux arrêtés préfectoraux sur la manière d'aménager les puits. La Ddass prendra acte de votre déclaration et pourra vous demander un suivi analytique.

Réseau d'eau potable et réseau d'assainissement : se raccorder ou non ?

En pratique, les personnes qui ne sont pas raccordées au réseau d'eau potable et au tout-à-l'égout vivent dans les zones rurales d'habitat isolé. Sont concernées 5,1 millions d'habitations. La liberté de ne pas se raccorder est assez théorique : la rareté des terrains constructibles fait que beaucoup de particuliers doivent acheter en lotissement. La règle selon laquelle il n'y a pas obligation « générale » pour les maisons individuelles de se raccorder au réseau de fourniture d'eau potable ne vaut hélas pas dans ce cas, car les lotissements suivent des règles d'urbanisme très strictes : ils ne peuvent être créés que si le réseau d'assainissement et d'eau potable a été prévu au préalable.

Pour les eaux usées et de pluie, si votre commune possède un réseau d'assainissement (80 % des cas), vous devrez obligatoirement vous raccorder (article R111-11 du Code de l'urbanisme). Des dérogations peuvent cependant être acceptées lorsque le raccordement est impossible. Toutefois, on ne peut pas vous obliger à consommer l'eau des compagnies des eaux ni même à vous raccorder à leur réseau (donc à payer « l'abonnement » eau potable). Vous pourrez dans ce cas économiser environ 1 300 € de raccordement au réseau d'eau potable. Sachez qu'il faut aussi parfois compter 1 300 € pour le pluvial et les eaux usées ainsi qu'environ 1 500 € pour la tranchée de la rue à la maison, ce qui peut représenter un total de plus de 4 000 €.

Remplir ses réservoirs d'eau de pluie : quelques précautions

Vous devez laisser partir la première pluie, qui lave le toit de ses polluants déposés en poussière : ce n'est qu'après que vous pouvez ouvrir votre cuve de stockage où vous recueillerez une eau vraiment pure. Pour notre part, nous conseillons de faire des analyses préalables (voir page 170) et de vous équiper d'un système de filtres ad hoc (voir pages 172-175).

Point-économie

Le jardin potager se prête bien à l'utilisation d'éléments de récupération (tonneaux, fûts métalliques...) qu'on peut cacher derrière une haie. Dans le jardin normand d'une de nos vieilles connaissances, 10 tonnes de 200 l, tous récupérés, collectent ainsi au fil de l'année 2,5 m³.

D'un point de vue technique, l'assainissement individuel et les réseaux d'eau potable suivent des normes, inspirées des règles de l'art et regroupées dans les Documents techniques unifiés (DTU), comme le DTU 64.1 : lors du dépôt du permis de construire, vous et l'architecte devez les suivre. C'est pourquoi, dans les communes qui distribuent l'eau potable et ont le tout-à-l'égout, vous devez faire inscrire par l'architecte sur le plan les trois réseaux :

- le tuyau qui amène l'eau potable à votre maison ;
- la conduite qui conduit les eaux usées vers les égouts ;
- la conduite qui dirige les eaux de pluies (« pluviales ») des drains au réseau communal des eaux pluviales.

Dans le cas contraire, le permis sera refusé... sauf si vous négociez une dérogation auprès du maire.

Le cas particulier des toilettes sèches

Dans les toilettes sèches, l'eau de la chasse est remplacée par quelques bonnes poignées de sciure : il n'y a pas d'odeurs, les matières ne sont pas apparentes, et l'on se débarrasse du tout chaque semaine dans un coin du jardin, où cela devient, au bout de deux ans, une terre, ou plutôt un « humus », matière vivante que l'on peut manipuler à... mains nues et qui sent bon !

Mais il faut savoir que le caractère légal des toilettes sèches fait débat. D'une manière générale, elles ne sont pas prévues par la loi, qui exige un « cabinet d'aisance séparé », en clair des w.-c. dans une pièce distincte.

Dans les zones reliées au tout-à-l'égout

Dans les zones reliées au tout-à-l'égout, le raccordement de la maison à ce réseau est obligatoire (il n'a même pas été imaginé qu'il puisse en être autrement). Cependant, vous disposez d'une certaine marge de manœuvre si vous décidez de faire des toilettes sèches avec le souci de respecter la loi.

Dans les Ddass et les mairies, l'unanimité ne règne pas au sujet de ce type de toilettes, bien au contraire... Certaines personnes n'émettent aucune opposition à leur encontre, d'autres si. Quant aux Directions départementales de l'équipement (DDE), qui donnent un avis consultatif sur la légalité des permis de construire (où doivent figurer les réseaux d'eau, rappelons-le), certaines n'y sont pas opposées et nous avons rencontré quantité de fonctionnaires très ouverts – à noter que l'avantage de cette administration est de donner un avis neutre, hors de toute considération politique et/ou économique. Dans le cas où la DDE se prononcerait défavorablement au sujet de vos toilettes sèches, vous devez savoir que le maire n'est pas obligé de suivre sa recommandation – même si, en pratique, il a tendance à se retrancher derrière son avis quand il est négatif. Car, de fait, les problèmes viennent souvent des maires, qui ont à cœur de rentabiliser leurs réseaux d'assainissement ; mais il y a bien sûr des élus qui ont une vision positive de la question.

Dans les zones non reliées au tout-à-l'égout

Que se passe-t-il à présent pour les zones non reliées au tout-à-l'égout ? Là encore, le rôle du maire est important. La loi sur l'eau de 1992 oblige les communes à mettre en place un Service public d'assainissement non collectif (Spanc), chargé d'assurer le contrôle des projets d'assainissement individuels. En 2006, le gouvernement a remis à plat les diverses législations sur l'eau et tout refondu en une seule et même loi. Selon cette loi, vous devez, si vous êtes en dehors d'une zone desservie par le tout-à-l'égout, obtenir l'accord du maire pour réaliser une épuration « bio » de vos eaux de rejet (voir pages 183-187) : dans ce cas,

vous devez faire appel à un bureau d'étude (voir les adresses utiles en fin d'ouvrage), puis demander l'autorisation à la mairie ; enfin, vous recevez la visite d'un technicien qui assure la « mise en conformité ». Le débat s'organisera donc entre le bureau d'étude, la DDE et le maire, conseillé en général par la société qui gère les réseaux d'eau.

Crédit d'impôt et récupération des eaux de pluie

Sachez aussi que, lors du projet de loi sur l'eau présenté à l'Assemblée nationale en 2006, la Commission des affaires économiques a adopté à l'unanimité le 3 mai un amendement visant à accorder un crédit d'impôt pour qui veut récupérer l'eau de pluie. Ce crédit est égal à 25 % du montant du matériel nécessaire toutes taxes comprises, ce montant ne devant pas dépasser 8 000 € pour une personne seule et 16 000 € pour un couple ; enfin, l'équipement doit être mis en œuvre par un artisan.

Comment cela se passe-t-il ? L'installateur pose votre récupérateur d'eau de pluie ; vous lui réglez la totalité ; vous joignez l'année suivante la facture à votre déclaration d'impôts ; le Trésor public ne prend en compte que le prix des appareillages toutes taxes comprises (donc 5,5 % de TVA puisque vous les avez achetés via un artisan) ; les subventions ou aides éventuelles sont retranchées de ce montant ; le crédit d'impôts est ensuite calculé à partir du solde. Si vous ne payez pas d'impôts, vous recevrez un chèque du Trésor public.

La qualité de l'eau

Les pesticides sont un nom générique pour désigner les fongicides (détruisant les champignons), les insecticides (détruisant les insectes), les herbicides – ou désherbants – (détruisant les « mauvaises » herbes), les acaricides (détruisant les acariens), etc. On les appelle aussi



L'usine de traitement des eaux de la Marne, à la périphérie de Paris (Joinville-le-Pont, Val-de-Marne).

Les Parisiens boivent en partie une eau qui est tombée sur les champs saturés d'engrais et de produits phytosanitaires et qui, de là, a coulé dans le lit de la Marne jusqu'à Paris. C'est cette eau qu'il va falloir purifier pour la rendre potable.

« produits phytosanitaires » et même, plus récemment, « produits phytopharmaceutiques », ce qui est, à notre sens, et dans les deux cas, étymologiquement et scientifiquement faux... Presque aucune étude d'épidémiologie à long terme (plus de 30 ans) n'a été menée à leur sujet, ce qui fait de nous les cobayes de leur innocuité ou de leur nocivité. Ils sont de toute façon tous considérés comme toxiques, surtout pour ceux qui les respirent ou les touchent en les épandant, et enfin pour les consommateurs qui les assimilent via les produits alimentaires... et l'air qu'ils respirent.

L'eau retraitée industriellement est cependant le produit alimentaire qui en contient le moins... Mais certains scientifiques, même dans les laboratoires des usines d'eau, sont convaincus que ces taux infimes ne sont sans doute pas inoffensifs !

Un récent rapport annuel des Eaux de Paris indique : « Très soluble dans l'eau, le round-up, [un désherbant « total »] est présent dans les eaux sous forme ionique. [Il] est difficilement éliminé par les traitements classiques traditionnellement utilisés pour l'élimination des pesticides (charbon actif, notamment). »

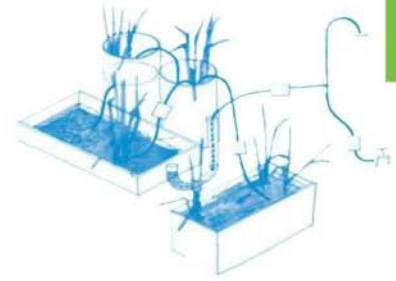
Le même rapport note l'apparition, depuis la fin des années 1990, d'une nouvelle classe de micropolluants organiques : les « perturbateurs endocriniens ». Ils dérèglent nos systèmes hormonaux, entraînant des troubles de la croissance chez les enfants et de la fertilité chez les hommes. Tous sont aussi à l'origine de perturbations du système immunitaire, dont les conséquences sont allergies, asthme, cancers, etc.

Par ailleurs, pour éviter les contaminations bactériennes après le traitement qui a rendu l'eau potable, les compagnies d'eau lui ajoutent du chlore, lui donnant ce goût que nous connaissons bien. Or, à présent, deux écoles s'affrontent au sujet de cet élément chimique : – selon l'Organisation mondiale de la santé ainsi que les autorités sanitaires françaises, aux doses auxquelles il est présent dans l'eau du robinet, le chlore ne modifierait pas notre équilibre intestinal ;

– certains scientifiques prétendent que, dans l'eau, puis dans l'estomac, certaines molécules organiques fixent (attachent) une partie du chlore de l'eau ; ces molécules prennent le nom de « chloramines ». Des chercheurs et médecins, surtout anglo-saxons, considèrent qu'elles contribuent à changer l'écologie de l'intestin (où vivent 2 à 3 kg de « microbes », « bons » et « mauvais » !) et favorisent ainsi la survenue de déséquilibres (dont l'un des symptômes est la gastro-entérite).

Après avoir tiré de l'eau du robinet, il faut donc absolument la laisser dégazer une demi-journée dans le réfrigérateur pour lui faire perdre son chlore « libre », mais cela a peu d'effet sur les chloramines, qui s'évaporent peu. Cependant, l'odeur de chlore disparaît, ce qui montre que le dégazage est utile.

L'ajout de chlore dans l'eau potable a conduit plus de la moitié des Français à utiliser de l'eau minérale comme boisson. Sachant en outre que l'eau destinée à la consommation directe et à la préparation des aliments ne représente que 6 % de la facture d'eau, pourquoi continuer à payer pour de tels systèmes ? L'eau de pluie, après filtration biologique, fournit quand à elle à des coûts imbattables une eau potable de qualité.



CHAPITRE 2 Économiser l'eau

Calculer sa consommation

Beaucoup de données, parfois fantaisistes, circulent sur la consommation d'eau par ménage. Cependant, nous pouvons considérer qu'en France nous utilisons environ 150 l d'eau par jour et par habitant, soit 55 m³ en 12 mois. Cette consommation se répartit entre plusieurs postes :

- boisson : 1 %;
- préparation de la nourriture : 6 %;
- vaisselle : 10 %;
- bains et douches : 39 %;
- lavage du linge : 12 %;
- w.-c. : 20 à 26 %;
- lavage de la voiture et arrosage du jardin : 6 %.

Quand...

- je prends un bain, je consomme 150 à 300 l ;
- je me douche (1 min à 5 min), je consomme 25 à 125 l ;
- je fais tourner le lave-vaisselle, je consomme 12 à 60 l ;
- je lave la vaisselle à la main, je consomme 14 à 40 l ;
- je fais une lessive au lave-linge, je consomme 50 à 80 l ;
- je tire une chasse d'eau, je consomme 6 à 12 l ;
- je remplis une bouteille, je consomme 1,5 l ;
- je fais la cuisine, je consomme 5 l.

Attention, ces chiffres peuvent varier assez fortement selon les sources ; en effet, ces valeurs dépendent de nombreux paramètres (pression de l'eau, appareils récents ou non, temps de la douche, contenance de la baignoire, etc.).

Une facture d'eau en augmentation

Pour 4 personnes, la facture moyenne s'établit à 500 € environ par an. Or, ce coût est destiné à augmenter très fortement. Selon l'Institut français de l'environnement, le prix de l'eau, qui variait entre 1,80 et 3,80 € TTC le mètre cube selon les régions en 2001, a augmenté de 8 % en moyenne entre 1998 et 2001, soit deux fois plus vite que l'inflation. En témoigne ci-dessous l'exemple de la ville de Paris.

Prix de l'eau en France : quelques exemples			
	Coût (€) eau potable pour 1 m ³	Coût (€) assainissement pour 1 m ³	Total (€)
Lille	0,96	1,21	2,17 /m ³ environ
Paris			2,69 /m ³ (2007)
Nantes	0,98	1,26	2,24 /m ³ environ
Strasbourg	1,23	0,86	2,09 /m ³ environ
Lyon	1,30	0,75	2,05 /m ³ environ
Marseille			2,94 /m ³ (2007)
Bordeaux			3,20 /m ³ (2007)
Île-de-France (Sedif)			3,50/m ³ (2007)
Fleury-les-Aubrais (Loiret)			2,09 /m ³ (2005)
Piriac-sur-Mer (Loire-Atlantique)			2,20 /m ³ (2007)
Maisons-Alfort (Val-de-Marne)			3,61/m ³ (2007)

Évolution du prix de l'eau à Paris				
	Janvier 2004	Janvier 2005	Janvier 2006	Avril 2007
Prix TTC du mètre cube d'eau (€)	2,2815 €	2,3596 € (+ 3,4 %)	2,5044 € (+ 6,1 %)	2,69 € (+ 7,4 %)
Facture d'eau moyenne annuelle (€) et consommation annuelle (m ³) pour une personne	124,56 € 54,6 m ³	128,83 € 54,6 m ³	136,74 € 54,6 m ³	146,87 € 54,6 m ³
Facture d'eau moyenne annuelle (€) pour un ménage de 4 personnes	498,24 €	515,32 €	546,96 €	587,48 €

Source : Société anonyme de gestion des eaux de Paris (Sagep, « Eau de Paris »).

Dans les 14 pays les plus industrialisés du monde, la hausse du prix de l'eau est une tendance générale : pour 2003-2004, + 15,1 % au Royaume-Uni, + 13,1 % en Finlande, + 3,6 % en France. Les États-Unis sont le pays où l'eau est la moins chère : 0,50 € m³. Au Royaume-Uni, on estime que la modification des normes sanitaires imposées à l'eau potable par les États nationaux à travers l'Union européenne va entraîner une augmentation de 30 % dans les 4 ans à venir.

La baisse des consommations ne garantit même pas celle des prix : ainsi, dans une grande ville française, la consommation d'eau potable a diminué une année de 11 % en raison, notamment, de « l'attention portée par les consommateurs aux économies d'eau ». Conséquence : moins de recettes. Résultat pour l'usager : la municipalité a augmenté de 3 % le prix du mètre cube.

En plus des pratiques commerciales, les polluants et les sécheresses sont aussi à l'origine de la hausse du prix de l'eau. En effet, à Paris par exemple, cela fait 4 ans que les sources ont un débit de 50 % inférieur à leur débit normal (sauf en 2007) : il pleut moins en hiver

Consommation annuelle d'un ménage dépensier

Tarif global TTC du mètre cube d'eau	2,5 €/m ³
Maison seule : 100 m ³ par personne au lieu de la moyenne parisienne de 54,6	1 000 €/an
Jardin seul : 40 m ³	100 €/an
Total :	1 100 €/an

Une facture type (TVA = 5,5 %) pour une année

Branchement 100, chemin du Pado Piriac-sur-Mer	Compteur Numéro : 000563684 Diamètre : 15 mm	Consommation (estimation) 52 m ³			
Distribution de l'eau	Tranche (m ³)	Quantité (m ³)	Prix HT par unité	Consommation TTC	Abonnement TTC
		52 m ³	1,1512 €/m ³	63,15 €	41,11 €
Collecte et traitement des eaux usées	Tranche (m ³)	Quantité (m ³)	Prix HT par unité	Consommation TTC	Abonnement TTC
		52 m ³	1,8469 €/m ³	101,32 €	25,22 €
Organismes publics					
– Lutte contre la pollution (Agence de l'eau)		52 m ³	0,50 €/m ³	27,43 €	
– Taxe voies navigables de France				0	
Totaux		104 m ³		191,9 €	66,33 € TTC

(époque où les nappes phréatiques peuvent se reconstituer) et, quand il pleut au printemps, la végétation qui renaît boit l'eau du ciel et l'empêche de s'infiltrer dans les nappes phréatiques, dont le niveau diminue...

Conséquences : pour maintenir une eau potable et abondante au robinet, il faut aller chercher les eaux plus loin, les purifier davantage, les retraiter davantage, bref, investir, investir... Ainsi, Eau de Paris a dû créer une nouvelle unité ultramoderne de purification récemment rénovée à Saint-Cloud qui, au prix d'un investissement très lourd, élimine 100 % des pesticides.

De fortes disparités selon le lieu

Le prix de l'eau est, en outre, fixé de manière opaque : à Paris, en 2007, l'eau valait environ 2,7 € le m³. Avancez d'un mètre et franchissez la frontière du XII^e arrondissement : à Charenton-le-Pont (Val-de-Marne), la même année, l'eau était au prix de presque 4 € le m³ ! Il faut regarder ses factures : ainsi, entre 2003 et 2007, toujours dans le Val-de-Marne, tel immeuble de 23 appartements voit doubler sa facture d'eau : de 3 400 à 6 000 € !

En 2006, une maison abritant 10 personnes paie à Saint-Maurice (Val-de-Marne) 1 436 € d'eau par an, soit 143 € par personne, soit 572 € pour une famille de 4 personnes.

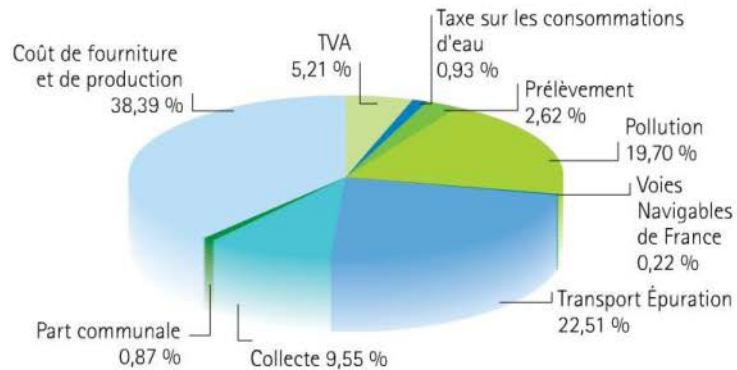
En 2006, à Piriac-sur-mer (Loire-Atlantique), une maison où logent 2 personnes consomme 103 m³ par an et paie 222 €, ce qui fait 2,15 € le m³.

La part de l'abonnement et des taxes

Dans la facture type présentée page précédente, on note l'importance de la part de l'abonnement (25 %).

Par ailleurs, l'État prélève deux taxes, en plus de la TVA (qui n'est cependant que de 5,5 %) : celle de l'Agence de l'eau (qui a pour but de lutter contre les pollutions de l'eau) et celle des voies navigables, si de l'eau est prélevée dans un cours d'eau.

Sachez enfin que toute facture comporte deux volets : l'eau qui entre chez vous (l'eau potable) et celle qui repart dans les égouts.



Répartition de la facture d'eau potable (Paris).

Mais comment la compagnie des eaux estime-t-elle cette dernière quantité ? C'est tout simple : on considère que la quantité qui repart dans les égouts est la même que celle consommée en eau potable (donnée par le compteur d'eau). C'est cette quantité d'eau à l'entrée et à la sortie qui sert à calculer votre facture. Dans notre facture type, le particulier reçoit 52 m³ d'eau potable ; ses rejets d'eau souillée sont donc estimés à 52 m³ et sa consommation totale est de 104 m³.

Question corollaire... Comment estime-t-on alors votre rejet d'eaux usées si vous ne consommez pas d'eau potable, cas par exemple d'une maison semi-autonome ? Il y a deux solutions : soit on vous installe un compteur d'eaux usées, soit on estime forfaitairement votre consommation. Dans notre cas personnel, comme nous étions les premiers dans le village à ne pas utiliser l'eau du réseau, c'est par un vote du conseil municipal qu'il a été décidé de nous facturer forfaitairement 30 m³ par an.

Les économies les plus simples à réaliser

Prenons un ménage de 4 personnes, disposant d'un petit jardin de 150 m² (avec 100 m² de pelouse et 50 m² de jardin potager) et d'une maison dont la toiture représente 50 m² (c'est important pour estimer la récupération de l'eau de pluie).

Au départ, ce ménage ne fait guère attention à sa consommation d'eau, qu'il paie 2,5 € le m³ : chaque personne de ce ménage dépense 100 m³ par an au lieu des 55 habituels. Au total, cela représente plus de 1 000 € d'eau par an. Ajoutons à cela l'arrosage du jardin (40 m³), qui revient à 100 € par an.

Les gestes les plus simples

Ce ménage peut effectuer quelques gestes « simplissimes » d'économie. Exemples :

- je prends une douche au lieu d'un bain : j'économise environ 100 l ; et sous la douche, quand je me savonne, j'éteins le jet ; si les 4 personnes du ménage prennent une douche par jour, l'économie par an est d'environ 150 m³, soit 375 € ;
- quand je me lave les dents, je remplis un verre et je ne fais plus couler l'eau : j'économise 12 l ;
- à la cuisine, j'évite de faire déborder les casseroles que je remplis en ouvrant à demi le robinet ;
- quand je rachète un lave-linge, je choisis des appareils basse consommation (voir page 107 l'étiquette-énergie) : par cycle, comme ils consomment au minimum 42 l (avec moins d'eau, le rinçage pourrait laisser à désirer), j'économise de 8 à 38 l ;
- quand j'ai à faire une petite vaisselle, je la fais à la main, j'économise 15 l d'eau ;
- je m'équipe d'une chasse d'eau à double commande, j'économise de 3 à 6 l à chaque fois que je tire la chasse d'eau ; sans double commande, si chacune des 4 personnes du ménage utilise les w.-c. 4 fois par jour, et si le réservoir des w.-c. est de 9 l, cela donne une consommation quotidienne de 144 l, annuelle de 52 m³, soit environ 130 € par an ; si la quantité d'eau utilisée est divisée par deux grâce à la double commande, le ménage économise par an environ 25 m³, soit environ 60 € par an ;
- quand je lave ma voiture, je prends un seau et une éponge, au lieu de tout faire au jet : j'économise 100 l ;
- je ferme tous mes appareils et j'observe mon compteur d'eau ; s'il continue à tourner, c'est qu'il y a des fuites quelque part (il suffira de remplacer un joint) ; on estime que ces fuites représentent entre 10 et 20 % de la consommation quotidienne, soit entre 15 et 30 l par jour.

Point-économie : changer sa machine à laver

Une machine à laver de classe énergétique A consomme 50 l d'eau au maximum pour un cycle de lavage, alors que les anciennes machines en consomment 80.

Si je fais une lessive tous les 3 jours, j'économiserai 3,6 m³ par an ; si ma machine dure 15 ans, j'économiserai 55 m³, soit environ 135 €.

Il faut savoir qu'un robinet qui goutte, c'est l'équivalent de 4 l à l'heure, soit 35 m³ par an (87,5 €) ; un robinet d'où s'échappe un mince filet d'eau, 16 l à l'heure, soit 140 m³ par an (350 €) ; enfin, la pire fuite est celle de la chasse d'eau : elle représente 25 l à l'heure, soit 220 m³ par an (550 €) !

Grâce à ces gestes simples, ce ménage peut faire des économies conséquentes. En ne prenant en compte que les postes douche et w.-c., elles sont par an de 150 m³ + 25 m³, soit 175 m³, soit environ 450 €.

Quelques autres petits changements...

La trop grande consommation en eau vient souvent d'une pression excessive au robinet : a-t-on besoin de 3-4 bars pour se doucher ou pour remplir une casserole, qui en général déborde ?

Dans tous les habitats, qu'ils soient autonomes ou non, on veillera donc à réduire cette pression. Vous pouvez sans problème, pour une vingtaine d'euros, diminuer la pression en dessous de 3 bars, si vous installez un réducteur de pression entre le compteur d'eau et les installations sanitaires.

Pour utiliser moins d'eau, on pourra installer une douchette à turbulence, un mitigeur thermostatique (un bien grand mot pour un robinet mélangeur où la température de sortie est préréglée), un stop douche et des mousseurs.

Les douchettes à turbulence

Une douchette à turbulence fractionne les gouttes d'eau, injectant de l'air en grande quantité dans le jet. Certains l'appellent « douche X format champagne ». Ce mécanisme est en général proposé dans les douches, avec une multiplicité d'autres fonctions. On réduit ainsi sa consommation de moitié. Comptez environ 50 €.

Les mitigeurs thermostatiques

En installant un mitigeur thermostatique, il n'est plus nécessaire de régler les robinets pour trouver la bonne température, ce qui permet de réduire sa consommation de 20 %. L'autre intérêt est de toujours conserver la bonne température, même si quelqu'un d'autre tire de l'eau dans la maison. Comptez plus de 100 €.

Les stop douche

Si vous n'avez pas de mitigeur, le stop douche le remplace à peu de frais. Il s'installe entre le robinet et le flexible de douche (c'est un petit piston pris dans un raccord en cuivre avec une prise mâle et une prise femelle). Ce système permet d'arrêter l'eau de la douche pendant qu'on se lave et de retrouver ensuite immédiatement la bonne température.

Les mousseurs

Pour réduire le débit d'eau d'un robinet, il suffit de lui adapter un embout, ou « mousseur », en remplaçant l'aérateur (au bout du robinet, la petite grille qui fractionne les gouttes d'eau). Vous réduirez le débit de 30 %. Il est à noter qu'ils sont à présent presque partout installés. Avec ces dernières interventions, on fait encore des économies non négligeables. Comme on l'a vu, une douche équipée d'une douchette à turbulence et d'un mitigeur thermostatique ou d'un stop douche permet une réduction de la consommation d'eau d'au moins 60 %. L'économie sera donc au minimum de 15 l par douche (une douche sans ces systèmes utilisant au minimum 25 l), soit 22 m³ par an, soit 55 € par an, pour notre ménage de 4 personnes, si chacun prend une douche par jour.



Mousseur.



Mitigeur thermostatique.

Le jardin

Nous suivons toujours la même stratégie : limiter les dépenses, d'abord par des gestes simples, et n'investir qu'en dernier ressort... Et dans les systèmes les moins coûteux.

Quelle quantité d'eau faut-il pour mon jardin ? Ce n'est pas la même chose au sud et au nord de la Loire, d'une année à l'autre, d'une région à l'autre, selon la répartition des pluies, la nature des sols et selon les cultures : le cresson s'arrose tous les jours, la salade fréquemment, mais pas le thym !

Pour l'arrosage d'un jardin potager, il faut en théorie compter 500 l par m² et par an. Soit, pour 50 m² : 25 m³.

Pour une pelouse qu'on arrosera 4 mois dans l'année, compter de 100 à 130 l par m² et par an. Soit pour 100 m² : 10 à 13 m³.

Dans l'exemple que nous suivons depuis le début, en Île-de-France, un jardin de 150 m² (50 m² de potager et 100 m² de pelouse) nécessite environ 40 m³ d'eau par an, soit environ 100 €.

Quelques mesures simples

Des mesures très simples peuvent être prises pour économiser l'eau au jardin :

- j'installe des plantes sobres en eau, je préfère la prairie naturellement poussée sur mon sol à une herbe apportée ;
- j'arrose mon jardin le soir, et non le matin, car sinon le soleil absorbe une bonne partie de l'eau ; je crée aussi, au pied de chaque plante, de petites cuvettes, afin d'humidifier la terre en profondeur, jusqu'aux racines ;
- je ne répands pas l'eau à la volée sur les feuilles, en « pluie », mais directement au pied des racines ; j'arrête le jet pour aller de plante en plante ;



Bassin au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Ces bassins créés pour présenter des collections de plantes aquatiques montrent qu'on peut conserver de belles quantités d'eau de pluie pour l'arrosage du jardin de manière esthétique.



Préférez l'arrosage lent grâce à cette bouteille munie d'un embout spécial que l'on trouve en jardinerie.

Un compteur pour l'arrosage

Certaines mairies autorisent que l'on installe un compteur d'eau spécial arrosage, ce qui permet, sur cette partie de votre consommation d'eau, de ne plus payer les taxes d'assainissement – puisque cette eau ne revient pas dans le réseau d'eaux usées.

Un système des plus économiques



Pour le jardin, la récupération de l'eau de pluie au débouché des gouttières grâce à des réservoirs est le système le moins coûteux et le plus simple. Le robinet et la surélévation du réservoir grâce à un socle permettent de tirer de l'eau avec un simple arrosoir. Vous trouverez dans le commerce des réservoirs en polyéthylène et traités anti-UV. Un réservoir neuf de 100 l et ses appareillages annexes vous coûtera un peu plus de 30 € pour une contenance de 300 l ; 3 réservoirs devraient vous suffire si vous n'arrosez pas votre pelouse.

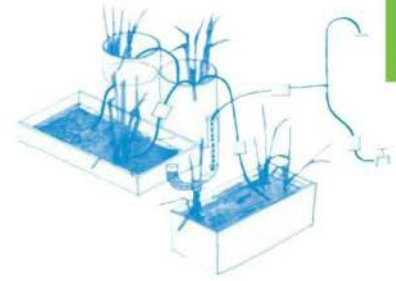
- je paille les endroits où la terre est nue, où j'y mets l'herbe que je viens de tondre : la terre nue n'étant plus soumise directement aux rayons du soleil, elle sèchera moins vite ;
- j'évite l'exposition directe de la terre au soleil : je fais ainsi pousser du lin entre les plants de pommes de terre, ce qui de surcroît éloignera les doryphores ; je coupe des orties et les dispose au pied des tomates, cela limitera l'évaporation et...repoussera les limaces ;
- je n'arrose plus mon gazon : certes, il jaunit l'été, mais il repartira dès les premières pluies de septembre ;
- je ne coupe pas mon gazon trop court l'été : cela maintiendra un certain ombrage et limitera l'évaporation ;
- au pied des plantes à arroser, je place des bouteilles de plastique munies d'embouts permettant de diffuser l'eau goutte à goutte ;
- excepté les semis et les repiquages, dont les racines sont en surface, je n'arrose qu'une fois par semaine et suffisamment pour que l'eau atteigne les racines ;
- je n'arrose pas les pommes de terre ; je plante ces tubercules en période d'humidité, par exemple 2 rangs à la mi-mars malgré le risque du gel, et le reste début avril ;
- j'arrose peu les tomates, et, si je le fais, je compte un arrosoir de 11 l pour arroser 7 à 8 pieds ; avec la même quantité d'eau dans des bouteilles dont les goulots ouverts sont enfoncés dans la terre, j'arrose 13 pieds, soit une économie de 50 %.

Nombre de jardiniers considèrent même qu'il faut laisser les arbres et les arbustes se débrouiller avec l'humidité de l'année sans intervenir ; c'est en effet seulement ainsi que l'on sélectionnera les sujets les plus aptes à vivre chez soi ; ces jardiniers réservent l'arrosage au seul jardin potager.

Nous connaissons un jardinier exemplaire, qui suit toutes ces mesures simples d'économies de l'eau, et qui possède un jardin potager de 1 000 m² dans le Calvados. En moyenne par an, il a besoin de 20 l d'eau par m² (et non 500 l par m²... comme la théorie), soit en tout, 20 m³. Pour une bonne productivité... De plus, ces mesures d'économies, associées à une installation minimale de récupération d'eau de pluie (voir l'encadré ci-contre), lui permettent de faire passer la facture pour l'arrosage du jardin de 100 à 0 €.

En conclusion, quand un ménage apprend à être économe, il fait drastiquement chuter sa facture d'eau : le tableau ci-dessous résume le poids global des mesures détaillées précédemment.

Consommation annuelle d'un ménage moyen	
Tarif global TTC du mètre cube d'eau	2,5 €/m ³
Maison seule : consommation ramenée à environ 50 m ³ par personne	500 €/an (200 m ³)
Jardin seul : consommation ramenée à 3 m ³ d'eau de pluie récupérée	0 €/an
Total	500 €/an (200 m³)
Économies	600 €/an



CHAPITRE 3 Recueillir l'eau

Recueillir l'eau de pluie

L'eau de pluie outre sa gratuité, présente de nombreux avantages. Mais avant que d'aller plus loin, faisons encore un peu de physique...

L'acidité et la dureté de l'eau

L'idéal est de consommer une eau « neutre », c'est-à-dire ni acide, ni basique. Une eau acide comporte beaucoup d'ions hydrogène (H^+), une eau basique en a peu. Pour déterminer l'acidité d'une eau, on mesure sa concentration en ions hydrogène : c'est le « pH » (ou « potentiel hydrogène »). Une eau acide a un pH compris entre 0 et 6 (l'acide chlorhydrique, qui est un acide très puissant, a un pH de 1) ; une eau neutre a un pH compris entre 6 et 8 (l'eau « idéale » a un pH de 7 !) ; une eau basique a un pH compris entre 8 et 14 (une eau trop basique est un poison).

L'eau idéale, ensuite, n'est pas « dure » : elle contient peu de tartre, c'est-à-dire qu'elle comporte peu de calcium et de magnésium. Une eau dure oblige à utiliser plus de savon et entartre la robinetterie. En revanche, une eau trop douce (avec peu de calcium et de magnésium) attaque et corrode le métal des tuyauteries. On mesure la dureté de l'eau par le « TH » (ou « titre hydrotimétrique »). Une eau très douce a un TH compris entre 0 et 6°, une eau douce, entre 6 et 15°, une eau moyennement dure entre 15 et 30° et une eau dure a un TH supérieur à 30°. Le TH ne doit pas descendre au-dessous de 8°.

Les qualités de l'eau de pluie

L'eau de pluie n'est pas dure : venue des nuages, elle ne contient aucun calcaire. Il n'y a donc aucun risque pour les appareils ménagers si l'on décide de la recueillir et de l'utiliser. Plus besoin d'adoucir l'eau !

Physiquement, le seul problème que pose l'eau de pluie est son acidité ; mais, en réagissant avec les composants basiques de la paroi de la cuve de béton coulé (ou en parpaings) où elle est stockée, elle devient neutre.

Des toits adaptés

Pour récupérer l'eau des toits, ces derniers ne doivent pas être végétalisés, et, dans l'idéal, ils doivent être en pente. Tuiles, ardoises, zinc conviennent bien. Posent problème : les toitures recouvertes de tuiles bituminées (comme sur les abris de jardin), qui laissent filtrer des hydrocarbures, ainsi que les toits recouverts d'amiante-ciment, un produit couramment proposé autrefois sous forme de tuiles ou de plaques, qui s'érode fortement et produit une poussière de fibres d'amiante.

Le fait qu'elle soit très faiblement minéralisée ne devient gênant que lorsqu'elle est utilisée comme boisson. Sachez toutefois que les eaux de source sont généralement trop minéralisées (350 mg de sels minéraux par litre), ce qui fait travailler inutilement les reins.

Estimer la quantité d'eau que l'on peut recueillir

Nous avons vu que notre ménage type, après ses mesures d'économies, dépense encore 500 € par an, soit 5 000 € en 10 ans. Nous considérerons qu'une maison autonome ne devra pas investir plus de 5 000 € dans des équipements autarciques : au-delà, elle mettrait trop de temps à rentabiliser son installation.

La première chose à faire est de recueillir l'eau de pluie, qui est une ressource gratuite. Un bémol, hélas : cette possibilité ne concerne que les maisons car, pour ce faire, il faut de la surface.

La pluviosité annuelle varie selon les régions entre 400 mm (en plaine) et 2 400 mm (en montagne) ; 400 mm de pluie, cela signifie qu'il pleut en un an sur 1 m² une hauteur de 400 mm d'eau, ce qui représente un volume de 0,4 m³, soit 400 l. En montagne, il tombe par an et par mètre carré une hauteur de 2,4 m d'eau, soit un volume de 2,4 m³, soit 2 400 l ! En région parisienne, les précipitations sont de 700 mm par an, soit 700 l par m². C'est ainsi que sur la toiture de 50 m² de notre ménage type, il tombe par an 50 m² x 700 l, soit 35 000 l, soit 35 m³.

Sur un toit en pente, qu'il soit en zinc, en tuiles ou en ardoises, et à condition qu'il soit débarrassé de ses mousses et lichens, on récupère 75 % de l'eau de pluie, soit, dans notre cas, 26 m³. Or, ce ménage a besoin de 200 m³ d'eau par an. Il faut donc regarder toute la surface de la maison, jardin y compris. Sur le jardin de notre même ménage type (150 m²), il tombe par an 150 m² x 700 l, soit 105 000 l, soit 105 m³.

Il faut à présent examiner la physionomie du jardin : un jardin potager boit toute l'eau de pluie ; une surface engazonnée avec une légère pente en boit 50 % ; 75 % des précipitations sur les terrasses, dallages et voies de garage peuvent être récupérées.

Si nous partons du principe que notre ménage type peut récupérer 50 % de l'eau tombée dans son jardin, il recueillera environ 50 m³. Soit environ 75 m³, si l'on ajoute l'eau du toit, c'est-à-dire 38 % de la facture d'eau.

En récupérant toutes les eaux disponibles qui tombent sur sa maison et son terrain, ce ménage peut faire passer sa facture de 500 à 300 € par an... On verra plus loin comment encore réduire la facture d'eau (voir « Les toilettes sèches », page 187).

Il existe diverses méthodes pour acheminer l'eau en excédent du jardin vers des collecteurs. Mais, auparavant, étudions les méthodes traditionnellement utilisées pour stocker l'eau de pluie. Nous verrons ensuite comment faire encore diminuer les coûts de stockage, tout en créant de la vie...

Estimer le volume du réservoir idéal

Nous partons de la consommation moyenne de notre ménage type en un an : 200 m³. Il est rare dans nos contrées de rester plus de 3 semaines sans pluie, mais les années sèches se multipliant, une réserve d'eau de 60 jours ne paraît pas inutile. Pour une autonomie totale de ce ménage pendant 60 jours, il faudra une fosse capable de contenir environ 30 m³, soit une fosse d'environ 3 m de profondeur, 4 m de longueur et 2,5 m de largeur.

Stockier sous la terre

Les Ddass conseillent (et exigent dans le cas d'édifices recevant du public) que les installations de stockage soient « inviolables », c'est-à-dire enterrées et uniquement accessibles par

un « regard » (une trappe) : en effet, on conserve traditionnellement l'eau destinée à la consommation sous terre, à l'abri de la lumière et dans la fraîcheur. L'obscurité empêche le développement des algues et, de ce fait, de tous les petits organismes qui les consomment, ainsi que des prédateurs de ces derniers. C'est ce type de stockage qui garantit l'eau la plus saine avec le minimum d'efforts.

Pour le stockage souterrain, il existe plusieurs possibilités :

- vous pouvez acheter un des modèles de cuves en matière plastique disponibles dans le commerce ; leur contenance maximale est d'environ 7 000 l, pour un prix d'environ 4 500 ; pour la pose, comptez de 1 000 à 1 500 €. Avec le crédit d'impôt, le coût minimal à votre charge sera donc d'environ 4 000 €. Certaines sociétés proposent des devis complets (appareillage + frais d'installation) s'échelonnant de 6 700 à 8 200 €, moins le crédit d'impôt ;
- vous pouvez aussi faire réaliser une cuve en béton armée par un artisan. Pour la cuve de 30 m³ de notre ménage type, il faut compter au moins 10 000 €. Un tel réservoir en parpaings (armé, renforcé, étanchéifié) ou en béton coulé (« banché ») est en fait l'équivalent d'une pièce enterrée, imperméable, reliée au reste de la maison ;
- enfin il est possible de réaliser le travail soi-même. Pour 5 000 l (contenance de la fosse de notre préprototype), comptez 1 100 € avec le terrassement par une machine (environ 100 € l'heure de location ; pour 30 m³, comptez 3 500 €.

Au-delà du réservoir de stockage, il faut penser au réseau qui va conduire l'eau vers le jardin et dans la maison : ce réseau, simple si on utilise l'eau stockée uniquement pour le jardin, devient complexe si l'eau est aussi employée dans la maison pour les usages reconnus par les Ddass (voir page 151) ; il faudra en effet qu'il soit double, une partie étant consacrée à l'eau potable venue de la ville, l'autre à l'eau venue



Construction d'un réservoir enterré en parpaings de 30 m³.

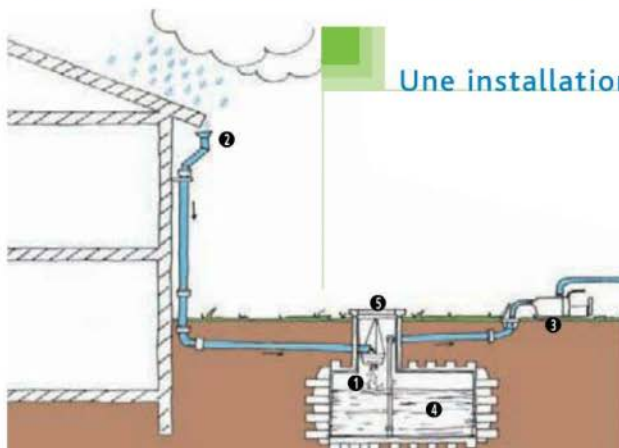


Le système Arca Minore de cuves de stockage aérien de l'eau de pluie en cours de réalisation. Dans ces 4 réservoirs, nous pouvons stocker plus de 5 000 l. L'expérience de l'autonomie totale montre, qu'avec des toilettes sèches, nous dépensons 50 l d'eau par jour à deux : nous avons donc 100 jours de réserve.



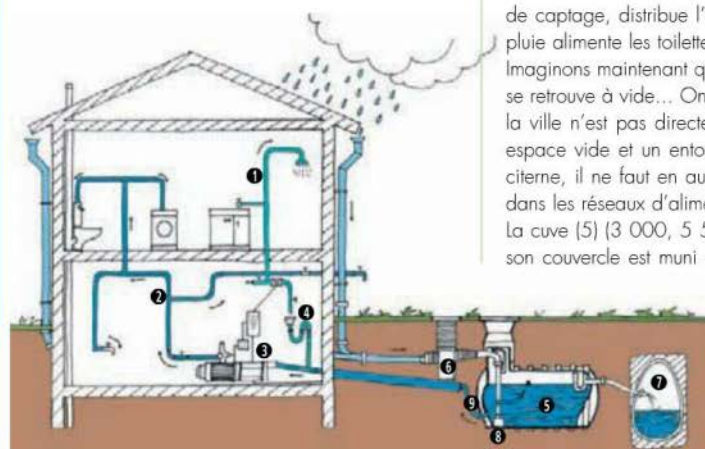
Trappe d'accès de la cuve de récupération d'eau de pluie d'un gîte rural. La cuve a un volume de 25 m³, ce qui représente 20 à 25 % de la consommation de ce gîte (qui peut accueillir 17 personnes) et des 3 personnes vivant à demeure. Cette eau sert exclusivement aux toilettes.

Deux systèmes de récupération de l'eau de pluie



Une installation seulement pour le jardin

Le panier filtrant (1), posé au débouché de la gouttière (2), retient les débris et se nettoie régulièrement à la main après avoir été sorti. La pompe électrique (3), dont le tuyau plonge dans la cuve (4), se relie au tuyau d'arrosage : elle est dite auto-amorçante, car c'est l'ouverture du tuyau qui l'amorce (il suffit pour cela de la brancher). Elle fournit une pression de 4 bars et débite 3 000 l en 1 h. Enterrée, l'installation de stockage (en plastique) est « inviolable » au sens des Ddass (voir page précédente). Un regard (5) permet le nettoyage. Le tout coûte environ 1 500 € (prix du matériel seul).



Une installation pour le jardin et la maison

Tout se complique si on utilise l'eau de pluie dans la maison en gardant l'appoint en eau potable pour la cuisine et une partie de la salle de bains : il faut deux tuyauteries différenciées (1) et (2). On ne peut plus se contenter de mettre l'embout de la pompe dans la cuve, il faut à présent une « station » de pompage (3).

Les deux réseaux (eau de la ville, eau de pluie) doivent être signalés par deux couleurs qui évitent de les confondre. Notez bien, en le suivant du doigt, que le réseau d'eau potable, après le point de captage, distribue l'eau vers l'évier de la cuisine et vers la salle de bains. Celui d'eau de pluie alimente les toilettes, le linge et le jardin.

Imaginons maintenant que nous souhaitions bénéficier d'un appoint en eau potable si la citerne se retrouve à vide... On doit alors suivre le principe de la rupture de charge. Le tuyau d'eau de la ville n'est pas directement raccordé à celui qui conduit vers la citerne, mais passe par un espace vide et un entonnoir (4). Pourquoi ? Si des germes pathogènes apparaissent dans la citerne, il ne faut en aucun cas qu'ils puissent remonter via la conduite et se répandre ensuite dans les réseaux d'alimentation communaux.

La cuve (5) (3 000, 5 500 ou 6 800 l dans le commerce) dispose d'un passage « piéton » et son couvercle est muni d'une sécurité enfants. Un filtre interne (6) stoppe les grosses impuretés venues du toit, un siphon de trop-plein (7) évacue le trop-plein vers les égouts. Le tuyau antiremous (8) empêche l'eau du toit, quand elle arrive dans la cuve, de soulever les saletés qui se sont accumulées au fond. Pour la même raison, la tuyauterie d'aspiration (9) est flottante, car c'est au sommet de la cuve que se trouve l'eau la plus pure. Coût du matériel, sans la pose et le réseau dans la maison : de 3 000 à 5 000 €.

de la citerne, sans que ces deux parties soient jamais connectées. Dans ce dernier cas, il faut ajouter, au prix de la cuve, un surcoût que l'on peut chiffrer à environ 2 000 € si le réseau est fait par un artisan.

Si l'on construit soi-même son système (cuve + réseau), la rentabilité atteint 7 %. Dans tous les autres cas, le rendement est trop faible. En fait, seuls les propriétaires d'une maison vraiment autonome en eau, c'est-à-dire non reliée à un réseau communal, peuvent y trouver un réel intérêt, en raison des économies supplémentaires réalisées sur le raccordement à ce réseau (4 000 €).

Recueillir l'eau du sous-sol et des cours d'eau

Nous ne serions pas dans l'esprit de cet ouvrage si nous conseillions d'employer, sans restriction, les eaux qui courent ou dorment chez vous, comme celles du sous-sol. Au-delà de vos besoins, elles sont à partager avec les autres utilisateurs, notamment avec la faune et la flore.

Cependant vous êtes maître chez vous, moyennant quelques limitations liées aux règles de bon voisinage et à l'intérêt général et vous pouvez décider d'utiliser l'eau d'un cours d'eau qui passe chez vous, ou celle de la nappe phréatique.

Vos droits sont peu étendus sur les eaux domaniales (les eaux qui entrent dans le domaine public de l'eau, comme la Loire, la Seine, etc.), mais assez étendus sur les autres ; cependant, même sur les eaux non domaniales, des restrictions à l'usage peuvent résulter de dispositions administratives, comme, lors d'une sécheresse, l'interdiction de prélever de l'eau ; des décisions peuvent aussi être prises localement pour préserver la biodiversité des milieux naturels.

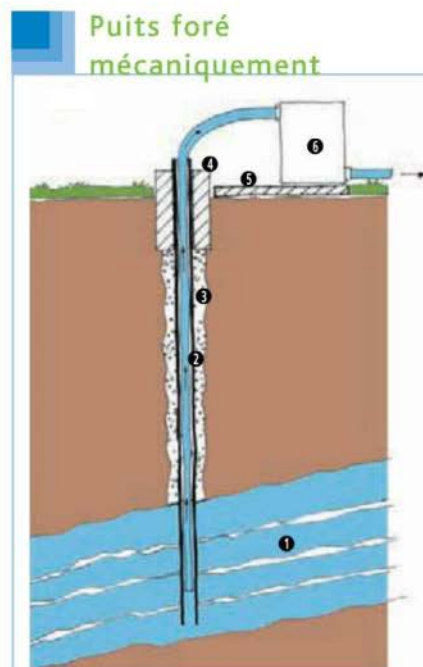
Par ailleurs, partout, il se pose des problèmes de pollution : en effet, en France, près de 80 % des eaux de surface sont polluées par les nitrates et, surtout, par les pesticides. Vous devrez donc procéder à des analyses rigoureuses et, selon les résultats, mettre en place une chaîne de traitement (voir pages 170 et suivantes).

La situation est différente selon qu'un ruisseau longe votre terrain ou qu'un autre s'enfonce dedans ; le cas du puits est encore à part.

Forer un puits

Vous êtes totalement libre de réaliser un forage chez vous, à condition qu'il ne dépasse pas 10 m de profondeur et que son débit n'excède pas 8 m³ par heure – certaines communes rurales exigeant simplement que les forages soient enregistrés (article 642 du code civil : « Celui qui a une source dans son fonds peut toujours user des eaux à sa volonté dans les limites et pour les besoins de son héritage. »).

Très théoriquement, une déclaration de sondage, de travaux de fouilles est prévue, quel qu'en soit l'objet, par les articles 131 à 133 du code minier, ainsi que par la police de l'eau (régime d'autorisation et de déclaration prévu par le code de l'environnement).



La foreuse dépose une succession de tubes de 204 mm de largeur, étagés depuis la nappe qui contient de l'eau (1) jusqu'à la surface. On insère ensuite dans la cavité ainsi creusée un tuyau (2) d'un diamètre total de 125 mm (diamètre interne : 113 mm), et dans l'espace annulaire restant on place des graviers (3). On ferme avec du béton (4). À côté, on crée une dalle en béton de 1 m² (5). Il ne reste plus qu'à descendre les tuyaux d'une pompe électrique (6), ou d'une éolienne de pompage.

Forage d'un puits par la société Jaumouillé-Géofor (près de Nantes). L'eau sort avec force du conduit. La société utilise en effet un compresseur à air pour extraire les débris ; ici, le puits, destiné à l'arrosage, est profond de 70 m.

Il faut compter environ 100 € le mètre pour le forage, plus 500 € de finition : soit, pour un puits de 7 m de profondeur, 1 200 €, bref, autant que le raccordement au réseau d'eau potable si le terrain n'est pas viabilisé (un terrain viabilisé est un terrain « rendu viable » sur lequel on peut « vivre », au sens du bâtiment et des travaux publics, c'est-à-dire qu'il est relié aux réseaux d'eau potable, d'assainissement, de gaz, d'électricité et de téléphone). Cet investissement est donc immédiatement rentable.

On compte 45 € TTC le mètre pour le tubage, plus le coulage d'un ciment sur les derniers 2-3 m pour assurer l'étanchéité de la tête de forage (environ 150 €). Enfin, une pompe de 1,5 kW est requise pour remonter l'eau.

Pour un puits traditionnel de 7-8 m de profondeur, le débit est de 40-50 l/h.

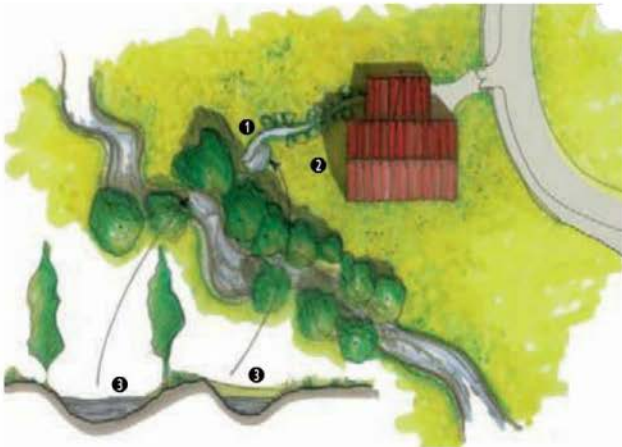
Capter l'eau d'un ruisseau

Selon les cours d'eau, le code civil distingue plusieurs situations.

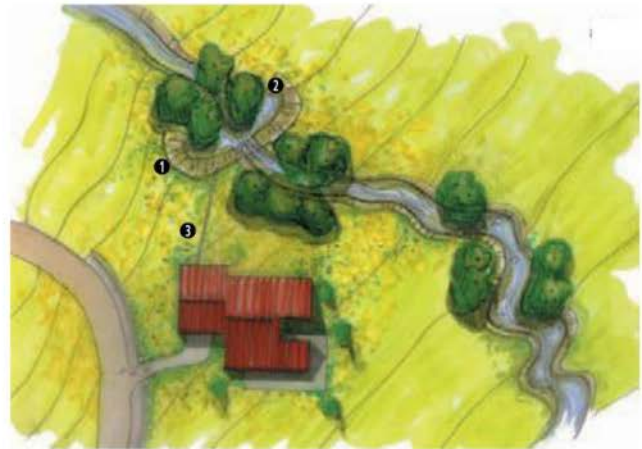
Le ruisseau prend naissance dans votre propriété, mais il a déjà le caractère d'un grand cours d'eau (c'est le début d'un fleuve, d'une rivière) : dès lors, l'article 643 énonce que « si dès la sortie du fonds où elles surgissent, les eaux de source forment un cours d'eau offrant le caractère d'eaux publiques et courantes, le propriétaire ne peut les détourner de leur cours naturel au préjudice des usagers inférieurs ». Il vous est donc impossible d'entraver son cours par des travaux de nivellement. Mais vous pouvez prélever l'eau.

Pour un ruisseau mitoyen, l'article 644 précise que « celui dont la propriété borde une eau courante, autre que celle qui est déclarée dépendance du domaine public par l'article 538 au titre "De la distinction des biens", peut s'en servir à son passage pour l'irrigation de ses propriétés. »

Le captage de l'eau d'un ruisseau



Captage par un trou d'eau (1). La pente, à 45° (2), évite d'avoir à maçonner les abords. On peut se contenter de répartir la terre extraite autour en damant un peu : au bout d'un an, la végétation aura repris ses droits. Notez l'équivalence entre le niveau de l'eau dans la rivière et celui du trou d'eau (3).



Captage d'un ruisseau courant sur son terrain. Une simple butte de terre (1) permet de relever un peu le niveau et de créer un mini plan d'eau (2), utile en cas de sécheresse. Comme le niveau de l'eau a été relevé, il n'est même plus besoin d'installer de pompe pour conduire l'eau vers la maison (3).

Le ruisseau ne prend pas naissance dans votre propriété mais la traverse : le même article 644 déclare que « celui dont cette eau traverse l'héritage, peut même en user dans l'intervalle qu'elle y parcourt, mais à la charge de la rendre, à la sortie de ses fonds, à son cours ordinaire ». Chez vous, vous pouvez donc faire des travaux de nivellement si vous le souhaitez.

Pour prélever facilement une eau courante qui, par malchance, ne borde pas directement votre propriété, vous ferez un trou à quelques mètres de distance du ruisseau ou de la rivière, auquel vous donnerez 2 m de profondeur. Il se remplira tout naturellement d'eau et il vous suffira d'y mettre l'embout d'une pompe. En effet, le ruisseau ou la rivière crée une nappe phréatique dont le niveau supérieur est identique à celui de l'eau courante et à celui de l'eau de votre trou. Attention cependant : cette eau sera stagnante. Utilisable telle quelle pour le jardin, elle poserait des problèmes pour la maison. Dans ce dernier cas, reportez-vous au cas pratique n° 22, pages 206-208.

Pour un ruisseau traversant votre propriété, il vous est assez facile de créer un réservoir en relevant au bulldozer une digue de terre ; c'est le cas parfait, car le plan d'eau est assez étendu, et l'eau s'y renouvelle sans cesse. Comme le niveau de l'eau monte, il est plus aisé ensuite de conduire celle-ci jusqu'à la maison.

Le vainqueur toute catégorie de la rentabilité est le trou d'eau, qui ne demande que quelques jours de creusement, une bêche, une pioche, une pelle, une brouette, et l'achat d'une pompe. Le petit barrage n'est pas si cher non plus : comptez 5 h de bulldozer (soit environ 500 €), du ciment, du fer et des parpaings si vous préférez en solidifier le cœur (1 500 € avec la bétonnière), soit 2 000 € si vous le faites vous-même. L'avantage du barrage est que vous construisez par la même occasion une zone de baignade (voir l'exemple d'un barrage autoconstruit, pages 131-132).

Purifier l'eau pour la rendre consommable

Les problèmes de pollution contemporains, mais aussi les pollutions bactériennes et virales traditionnelles, rendent indispensables des étapes de purification de l'eau dans la maison autonome.

C'est pourquoi nous observerons d'abord comment les systèmes industriels purifient l'eau pour la rendre potable. Nous verrons que les étapes sont nombreuses et nécessitent une surveillance continue. Pour la maison autonome, nous vous exposerons la stratégie qui exige le moins de contrôles et de technologie.

Nous diviserons le problème pour mieux le résoudre :

- d'une part, nous allons produire des eaux de qualité, mais non potables, ne nécessitant que des techniques environnementales douces ; ces eaux seront utilisées pour la douche, le bain, le lavage du linge et de la vaisselle en machines, ainsi que pour le nettoyage de la maison ;
- nous réserverons la purification fine à la seule eau potable et de rinçage de la vaisselle, avec le minimum de systèmes.

Délivrer une eau de qualité à vos appareils ménagers, à vos douches et à vos lavabos, peut nécessiter au sortir de la citerne d'eau de pluie (où se conserve une eau déjà très pure) un filtrage sommaire. Dans ce cas, on utilisera un filtre à 10 microns (environ 100 €). Toutefois certains utilisent directement l'eau de pluie sans ce filtrage et sans rencontrer de problème.

Pour l'eau de consommation, nous ferons le point sur les osmoseurs, les adoucisseurs, les filtres à céramique. Quant à la nano et à l'ultrafiltration, nous les trouvons intéressantes mais elles nécessitent trop d'électricité. À noter que certains évitent le stade de l'ultime filtration en achetant de l'eau en bouteille pour la cuisson et la boisson.

À savoir

Le laboratoire, n'ayant pas lui-même procédé au prélèvement de l'échantillon et n'ayant pas répété cette analyse dans le temps, ne vous garantira pas la potabilité de l'eau ; il considère que les résultats n'ont que valeur d'information. À vous de choisir le moment de cette analyse pour qu'elle soit « signifiante », c'est-à-dire, dans l'idéal, la période d'épandage des produits phytosanitaires, avant les récoltes.

Faire analyser son eau

Que vous ayez recueilli de l'eau de pluie et souhaitiez l'utiliser dans la maison, ou même la boire, ou que vous ayez un puits, il faut absolument connaître la qualité sanitaire de l'eau. Diverses contaminations peuvent affecter les eaux. Les contaminations bactériennes, voire fécales, les traces de produits que l'on trouve dans les urines (comme l'ammoniac) sont les polluants traditionnels des eaux potables, dont les conséquences peuvent être des gastro-entérites ou des formes graves d'intoxication.

Les polluants plus modernes que sont les pesticides sont présents même dans les eaux de pluie, que la maison autonome utilise pour tous ses usages. En effet, dans les campagnes, surtout d'agriculture intensive, les pesticides sont diffusés par aérosol sur les cultures... Ils restent longtemps en suspension dans l'air que l'on respire et se retrouvent dans les eaux de pluie, qui sont de ce fait parfois très polluées (surtout au début des averses). À savoir, donc : vous pensez cultiver votre jardin en « bio » ; malheureusement, l'eau de pluie, elle, n'est peut-être pas bio ! C'est pourquoi il faut toujours laver les légumes avec une eau purifiée... À cela s'ajoutent les pollutions industrielles du sous-sol. Ce qui complique encore les choses, c'est que certaines de ces pollutions sont saisonnières ; c'est ainsi que dans plusieurs départements qui ont été (ou sont) très industrialisés, des nappes de polluants peuvent se déplacer dans les nappes phréatiques superficielles. Dans certaines zones du Val-de-Marne (zones alluviales à la confluence de la Seine et de la Marne), par exemple, vous pouvez retrouver du benzène dans l'eau de votre puits, deux heures après avoir prélevé un échantillon qui aura été jugé pur...

Pour faire analyser votre eau, vous demanderez une analyse comportant une liste réduite de métaux lourds et de pesticides (15-20 pour ces derniers). Dans chaque département, il

P. U. H.T.	Qté	P. T. H.T.
43,81 €	1	43,81 €

Paramètre	Contrôle	Norme	LQI Unité	Méthode	Qté	Prix H.T.
Frais d'analyse						
Schéma (B) : ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE COMPLETE (NOUV. DÉCRET)					1	43,81 €
Analyses microbiologiques						
Spores d'anaérobies sulfonducteurs	✓	NF EN 26461-2	1 UFC/100 ml	Filtration		
Microorganismes aérobies à 22°C	✓	NF EN ISO 6327	1 UFC/ml	Incubation		
Microorganismes aérobies à 36°C	✓	NF EN ISO 6327	1 UFC/ml	Incubation		
Coliformes à 36°C	✓	NF EN ISO 3058-1	1 UFC/100 ml	Filtration		
E. coli	✓	NF EN ISO 3058-1	1 UFC/100 ml	Filtration		
Streptococcus fécaux (entérocoques)	✓	NF EN ISO 7899-2	1 UFC/100 ml	Filtration		
Sous total						43,81 €

Autres Frais	Qté	Prix H.T.
Frais 1L, 500 ml stérile + thiosulfate	1	0,00 €
Sous total		0,00 €

Devis pour une analyse simple (Carso, Laboratoire santé environnement hygiène de Lyon).

P. U. H.T.	Qté	P. T. H.T.
83,06 €	1	83,06 €

Paramètre	Contrôle	Norme	LQI Unité	Méthode	Qté	Prix H.T.
Frais d'analyse						
Schéma (PIP) : ANALYSE PISCICULTURE DE ROUTINE D'UNE EAU À LA PRODUCTION (NOUV. DÉCRET)					1	83,06 €
Caractéristiques organoleptiques				Qualitative		
Odeur et saveur						
Analyses physicochimiques de base						
pH au laboratoire	✓	NF T90-008	0,5 l	Electronique		
Titre Alcalimétrique	✓	NF EN 9893-1	°F	Potentiométrie		
Composés (TAC)	✓	NFT90-003	0,5 F	Potentiométrie		
Turbidité	✓	NF EN ISO 7027	0,10 NPU	Néphélométrie		
Couleur	✓	NF EN ISO 7887	5 mg/l	Colorimétrie		
Conductivité électrique brute à 20°C	✓	NF EN 27888	45 µS/cm	Conductivité		
Conductivité électrique brute à 25°C	✓	NF EN 27888	50 µS/cm	Conductivité		
Carbone organique total	✓	NF EN 1484	0,2 mg/lC	Oxydation par voie humide et IR		
Cations						
Ammonium	✓	NF T90-016-2	0,06 mg/lNH4+	Spectrophotométrie ou titration d'indophénol		
Anions						
Nitrites	✓	NF EN 26777	0,02 mg/lNO2-	Spectrophotométrie		
Chlorures	✓	NF EN ISO 10304-1	0,1 mg/lCl-	Chromatographie ionique		
Nitrates	✓	NF EN ISO 10304-1	0,1 mg/lNO3-	Chromatographie ionique		
Sulfates	✓	NF EN ISO 10304-1	0,2 mg/lSO4=	Chromatographie ionique		
Métaux						
Manganèse dissous	✓	ISO 7294-1 et 2	0,03 mg/lMn	ICP/AES après filtration		
Sous total						83,06 €

Autres Frais	Qté	Prix H.T.
Frais 1L, plastique chimie	1	0,00 €
Sous total		0,00 €

existe un laboratoire départemental des eaux, ainsi que des laboratoires privés (que vous trouverez dans les pages jaunes de l'annuaire à la rubrique « Laboratoires de contrôle sanitaire de l'environnement »).

Il faut faire ces analyses au moins à deux moments dans l'année : en mai, lors du traitement des champs, que l'on soit en zone rurale ou urbaine (ces polluants étant volatiles) ; puis en novembre. Pas plus qu'il ne faut laisser les polluants entrer dans les réservoirs, il ne faut faire analyser les premiers 10 % d'eau de pluie tombés : ce sont eux qui nettoient le toit de toutes les poussières toxiques qu'il a accumulées.

Le coût d'une analyse bactériologique et chimique « simple » est d'environ 150 €. Dans ce cas, les paramètres chimiques examinés sont les suivants : pH, conductivité, turbidité, couleur, odeur, saveur, titre hydrotimétrique, dureté, chlorures, nitrates, nitrites, sulfates, ammonium, carbone organique total. Pour une analyse complète, concernant tous les polluants, notamment les pesticides et les métaux lourds, il faut compter plus de 1 000 €.

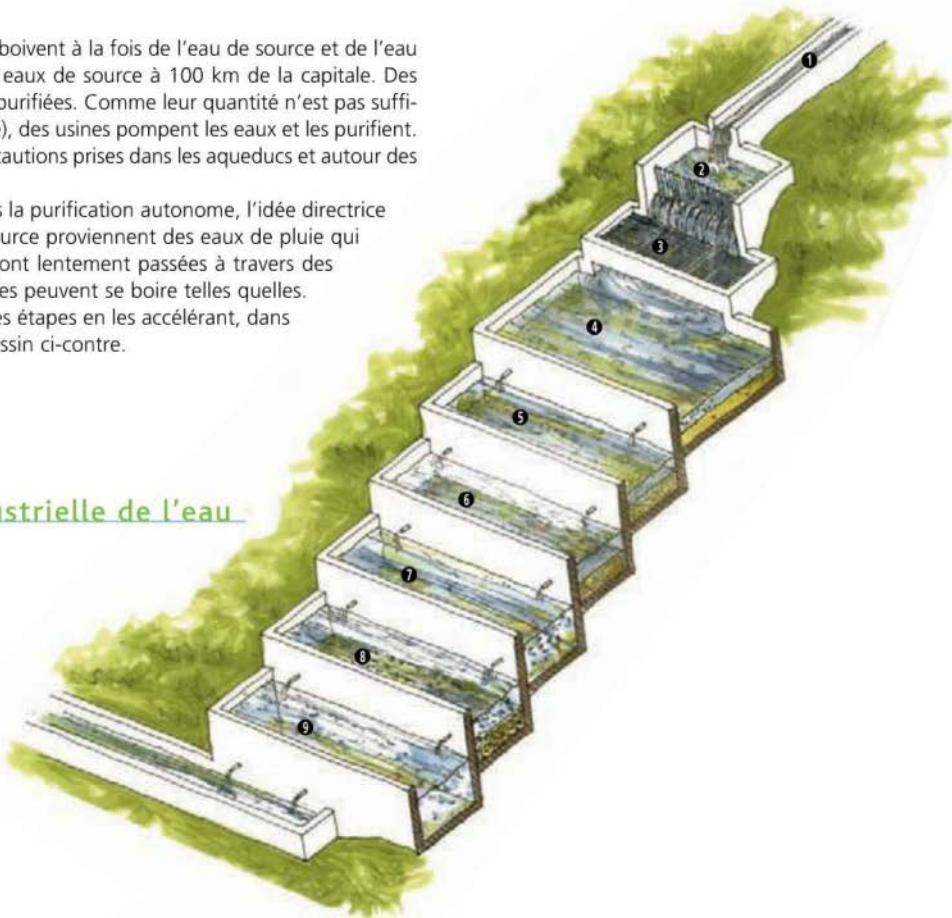
La purification industrielle de l'eau

Nous prendrons le cas de Paris. Les Parisiens boivent à la fois de l'eau de source et de l'eau de Seine (ou de Marne). On va chercher les eaux de source à 100 km de la capitale. Des aqueducs les ramènent en ville où elles sont purifiées. Comme leur quantité n'est pas suffisante, sur les grandes rivières (Marne et Seine), des usines pompent les eaux et les purifient. Quelle que soit son origine, et malgré les précautions prises dans les aqueducs et autour des sources, toute cette eau est donc purifiée.

Dans la purification industrielle, comme dans la purification autonome, l'idée directrice est de mimer la nature. Ainsi, les eaux de source proviennent des eaux de pluie qui se sont infiltrées dans le sol. Comme elles sont lentement passées à travers des couches géologiques qui les ont épurées, elles peuvent se boire telles quelles. Les systèmes industriels reprennent toutes ces étapes en les accélérant, dans d'importantes installations que résume le dessin ci-contre.

Principales étapes d'une purification industrielle de l'eau

(1) : point d'arrivée de l'eau. (2) : grilles de retenue. (3) : tamis. (4) : premier bassin de clarification. (5) : deuxième bassin de clarification. (6) : troisième bassin de clarification. (7) : premier bassin d'affinage (bassin d'ozonation). (8) : deuxième bassin d'affinage (filtration par charbon actif). (9) : dernier bassin (ajout de chlore).



Des grilles de retenue, puis des tamis retiennent tout d'abord les impuretés les plus grosses puis celles qui sont plus fines. Ensuite, dans un premier bassin de clarification, on élimine tout ce qui trouble l'eau : limon, sédiments... en y déversant du chlorure ferrique. Les molécules de ce composant chimique s'agglomèrent aux particules en suspension, formant de minuscules agrégats que leur propre poids va entraîner au fond du bassin sur un lit de billes d'argile (la biolite, disposée sur 1 m). Ces billes, entre lesquelles l'eau circule, piègent les agrégats dans leurs méandres (dans le cas de la maison autonome, si cette étape est nécessaire, ce qui est rare, on procédera autrement, voir page 184). Dans un deuxième bassin de clarification, l'eau, qui peut être encore légèrement trouble, passe à travers 1 m de sable à gros grains, où elle continue à se clarifier. Si, à ce stade, on la juge toujours trouble, on rajoute encore du chlorure ferrique. Dans une troisième et dernière étape de clarification, l'eau est filtrée à travers 1 m de sable de Loire (du sable à grains fins). Aucun autre produit n'est ajouté. Dans le sable, on laisse des bactéries salutaires s'ensemencer, qui dévorent bactéries pathogènes (comme non pathogènes) fragilisées lors des précédentes étapes. Ensuite, dans un premier bassin d'affinage (bassin d'ozonation), de l'ozone, un gaz oxydant puissant, est diffusé en bulles dans l'eau pour tuer bactéries et virus. Dans le deuxième bassin d'affinage, on procède à la filtration par charbon actif. Le charbon actif est un matériau obtenu par chauffage à 800 °C de matières carbonées végétales (bois, tourbe, noix de coco) ou minérales (lignite, charbon). Ses grosses molécules captent par attraction électrique les molécules présentes dans l'eau. Mais surtout, 1 g de charbon actif a une surface de... 1 000 m² et possède un réseau de pores, de « galeries » infinitésimales où sont piégées les molécules de goûts, d'odeurs, celles des produits phytosanitaires, celles des rejets médicamenteux et bien d'autres molécules diverses. Au bout d'un certain temps, néanmoins, le charbon actif se sature d'éléments polluants : il faut alors le changer. Enfin, dans un dernier bassin, on ajoute du chlore. L'ozone, qui a tué virus et bactéries, a un effet temporaire ; seul celui du chlore versé à des doses infinitésimales est « rémanent », c'est-à-dire durable.

La purification individuelle de l'eau

Une purification nécessaire

L'eau potable qui parvient aux robinets, à la seule nuance de son goût chloré, présente une salubrité contrôlée : les polluants y sont présents à une concentration inférieure à 1 microgramme par litre, limite de détection des appareils des usines de traitement, quand les normes de l'Organisation mondiale de la santé imposent 2 microgrammes par litre.

Beaucoup de personnes, au bout de la chaîne industrielle classique, utilisent cependant des purificateurs individuels, comme des osmoseurs. Est-ce un luxe ? En tout cas, les possesseurs d'aquariums savent qu'ils doivent faire vivre leurs poissons dans une eau osmosée, faute de quoi les équilibres écologiques sont perturbés et les animaux meurent... Les vendeurs d'aquariums constatent d'ailleurs souvent, sur les filtres de leurs osmoseurs, la présence de malodorants déchets en quantité importante ; pour notre part, nous conseillons de mettre à poste à côté du robinet un appareil de purification, qui se présente comme une carafe transparente surmontée d'un filtre au charbon actif (à changer régulièrement) : on s'en servira pour l'eau de boisson comme l'eau de cuisson.

Mais revenons à l'habitat autonome. Dans ce cas, la purification individuelle s'impose pour l'eau de consommation si on n'opte pas pour le système des bouteilles en plastique. Mais il faut bien changer les filtres et surveiller la qualité sanitaire de son eau : personne, pas même la Ddass, ne viendra vérifier la potabilité de votre eau ; libre à vous de tomber malade !



Une carafe filtrante est le moyen le plus simple de purifier l'eau.

Il y a plusieurs types de filtres :

- les osmoseurs, dont nous venons de parler ;
- les filtres à céramique ;
- et tous les filtres à nano ou ultrafiltration, mais que nous n'aborderons pas ici car, comme nous l'avons déjà dit, ils exigent trop d'électricité.

Le problème de l'osmoseur est que son réservoir (7 l) doit être rempli avant toute utilisation. Or, quel que soit le filtre, il fonctionne avec une pression minimale, qui doit être d'au moins 2 bars. Sous une pression de 4 bars, cela prend 1 h 30. Cette contrainte ne permet de l'utiliser que pour la boisson, la cuisson, voire le lavage de la vaisselle si celui-ci s'effectue à la main, pas plus ! Dans le cas d'une maison autonome, elle impose en outre de faire fonctionner la pompe électrique pendant tout ce temps.

Nous reviendrons un peu plus loin sur ce sujet à propos des pompes (voir page 175). Les filtres à céramique présentent de ce point de vue un net avantage. Ils fonctionnent quand on ouvre le robinet, il n'y a pas de réservoir à pré-remplir.

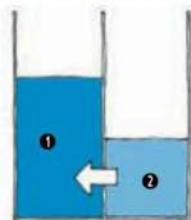
Dans le cas d'une maison autonome en eau, il est inutile d'utiliser un adoucisseur (qu'on filtre l'eau ou non) puisque l'eau de pluie ne contient pas de tartre.

Les osmoseurs

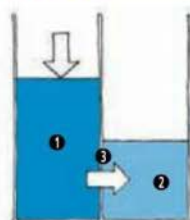
Ce sont des filtres à membranes qui, pour purifier l'eau, utilisent la pression osmotique. Si deux solutions à base d'eau de concentration différente en sels (en bref, l'une est salée, l'autre pas) sont séparées par une membrane semi-perméable, l'eau pure passe de la solution diluée à la solution concentrée jusqu'à ce qu'il y ait autant de sels de part et d'autre de la membrane. C'est l'osmose.

Ce phénomène a donné une idée simple et géniale : si on applique sur le liquide concentré une pression supérieure à la pression osmotique, on fait passer le liquide concentré vers le liquide dilué. La membrane semi-perméable séparant les deux liquides retient les sels, les matières

Le principe de l'osmose inverse



Notez la différence de niveau entre les deux liquides. Le liquide concentré (1) est plus haut que le liquide dilué (2). Pourtant, le liquide dilué passe à travers la membrane vers le liquide concentré, qui l'attire jusqu'à un certain point où celui-ci cesse, en quelque sorte, de pomper : cette force qui pousse le liquide est la pression osmotique.



Dans l'osmose inverse, sous l'effet de la pression produite par l'appareil, le liquide concentré (à purifier) (1) s'infiltre dans le compartiment voisin (2) en ayant perdu la quasi-totalité de ses polluants, piégés par la finesse de la membrane (3). Cette membrane devra être régulièrement changée quand elle sera saturée.

La maintenance d'un osmoseur

La membrane d'osmose inverse doit être changée tous les 1 à 3 ans (environ 200 €). Le filtre à sédiments, le premier filtre à charbon actif, le protecteur de membrane, le filtre de sortie après la membrane au charbon actif doivent être changés tous les ans (ils sont livrés ensemble ; comptez 100 €).

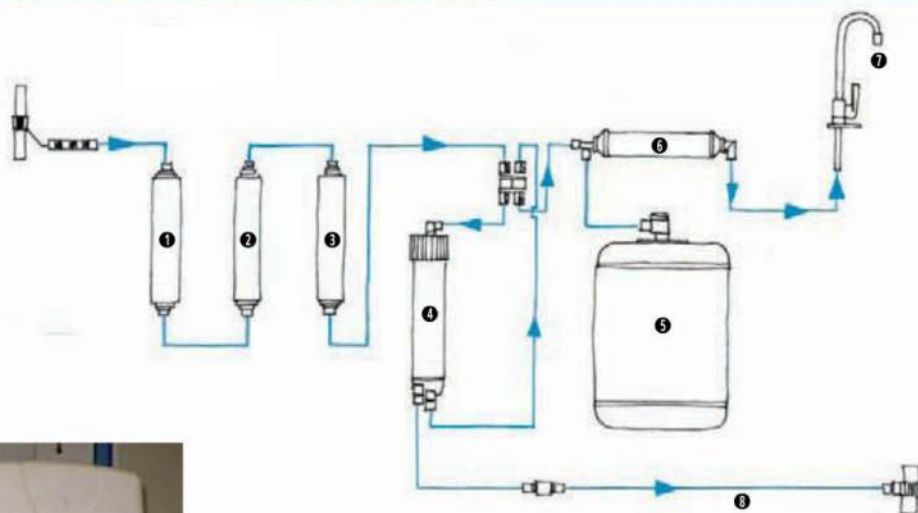
indésirables, les virus, les bactéries et les polluants. Et plus le filtre est fin, plus il permet de purifier les eaux de tous leurs micropolluants, y compris ceux que le charbon actif a laissé passer (mais plus il est fin, plus il faut appliquer une pression importante). C'est le phénomène de l'osmose inverse, sur lequel sont basés les osmoseurs proposés dans le commerce.

Les osmoseurs sont couramment vendus en grandes surfaces, entre 350 et 400 € TTC. Si vous optez pour cette technologie, il faut absolument choisir un osmoseur fonctionnant à la seule pression de l'eau (à l'exception des indicateurs de saturation des divers filtres, qui fonctionnent avec des piles). L'entretien de l'appareil ne doit pas être effectué à la légère pour ne pas laisser bactéries et virus se développer et les polluants passer à travers les filtres saturés. Enfin, il ne faut pas oublier qu'un osmoseur rejette de l'eau souillée (50 % de l'eau).

Le constructeur indique que si on arrête l'appareil un mois, il faut vider le réservoir ; lorsqu'on le remet en marche, il faut le remplir une première fois, le vider tout de suite et, seulement ensuite, le laisser fonctionner normalement.

Attention, tous les filtres sont à changer si on arrête l'osmoseur plus de 6 mois.

Le principe de fonctionnement d'un osmoseur



Osmoseur.

L'eau à traiter, qui vient du robinet du réseau d'eau potable (faire une dérivation sur le tuyau d'alimentation de l'évier de la cuisine), traverse le filtre à sédiments (1), puis le filtre à charbon actif (2) et, enfin, le filtre de protection de la membrane (3). Ce filtre est destiné à empêcher des particules encore trop grossières de colmater trop vite la membrane qui forme le cœur de l'appareil. L'eau déjà très purifiée arrive ensuite à l'entrée du module d'osmose inverse (4), dont elle traverse la membrane. Puis elle va dans un réservoir de stockage (5). Quand on ouvre le robinet de la cuisine (7), elle sort du réservoir de stockage et passe au final par un filtre « finisseur » au charbon actif (6). Les impuretés extraites par le module d'osmose inverse seront envoyées vers les égouts (8). Débit : 40 à 100 l par jour.

Le filtre à céramique et charbon actif

Nous ne considérons ici que les petits filtres conçus pour le traitement de l'eau destinée à la cuisson et à la boisson. Ce type de filtre est commercialisé relié à un petit robinet. Bien sûr, vous pouvez décider de le raccorder directement à votre propre robinet d'eau froide, sur ou sous l'évier.

Le filtre Doulton montré ci-contre présente l'intérêt d'être équipé d'une cartouche Ultracarb®, qui garantit une eau sans bactéries grâce à sa céramique microporeuse ne laissant pas passer les particules de plus de 1 micromètre ; en outre une deuxième filtration au charbon actif enrichi (brevet Doulton) élimine herbicides, pesticides, phénols, organochlorés, métaux lourds (aluminium, plomb...), etc., et débarrasse l'eau de tout goût et toute odeur.

Les filtres permettent de conserver les sels minéraux et les oligo-éléments, ce que ne font pas les osmoseurs ; ils préservent ainsi les qualités énergisantes de l'eau. Attention : en cas de filtration de l'eau d'un puits, ils ne suppriment pas les nitrates.

La cartouche des filtres doit obligatoirement être changée une fois par an (décret du 20 décembre 2001). Attention, ces filtres ne supportent pas l'eau chaude, en raison du risque de prolifération bactérienne.

Leur prix, d'environ 250 €, représente l'équivalent de la consommation annuelle d'eau minérale par une famille. Cela rend ces appareils extrêmement compétitifs.

Les pompes et le réseau d'eau

Comment circule l'eau dans la maison ? Lorsque nous sommes raccordés au réseau d'eau potable, celle-ci nous est délivrée à une pression de 3-4 bars qui la fait circuler. Mais dans une maison autonome, vous avez besoin d'une pompe « à eau ».

Une pompe, comment ça marche ? Le principe en est très simple. Dans une boîte cylindrique métallique, on trouve une hélice, par exemple à trois pales, dont le diamètre est légèrement inférieur à celui du cylindre (les pales rasent la paroi intérieure). La boîte est percée et reliée à deux tuyaux en haut et en bas. Au dehors, un moteur est relié par un « arbre » à l'hélice. Quand on allume le moteur, l'hélice se met à tourner dans le cylindre, poussant l'eau vers le tuyau du haut de la boîte tandis qu'elle aspire l'eau par le tuyau du bas.

Une façon de mettre en marche une pompe est d'allumer le moteur chaque fois que l'on veut s'en servir, c'est-à-dire chaque fois que l'on veut ouvrir un robinet, mais ce n'est guère pratique. Aussi a-t-on inventé les pompes auto-amorçantes : quand on ouvre le robinet, on vide le tuyau, ce qui provoque une sous-pression qui aspire une membrane au niveau de la pompe ; la membrane déclenche un contacteur électrique qui met la pompe en route. En somme, pour allumer une pompe auto-amorçante, il n'y a rien d'autre à faire que de tourner un robinet... C'est ce que nous conseillons pour tout habitat autonome.

Une pompe ouverte. La spirale, quand elle tourne, crée un courant d'eau qui fournit la pression nécessaire au relevage de l'eau.



Filtre Doulton



Le filtre (1) est relié à un robinet spécial (2). Il peut cependant se brancher sur l'arrivée d'eau froide du mitigeur, ce qui évite ainsi d'avoir un second robinet. On peut le placer sur l'évier ou dessous si on veut le dissimuler. (Photo société Aqua-techniques.)



Une pompe de la société Pompes Guinar Bâtiment (550 W).

La puissance de pompage

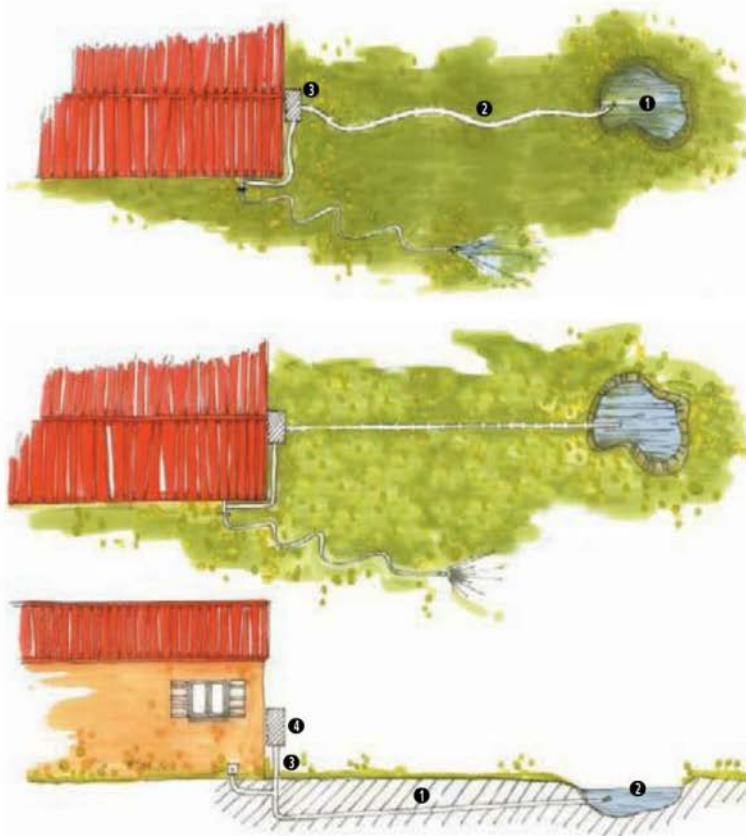
Il vous faut calculer la pression et le débit dont vous aurez besoin.

Comment calculer la pression nécessaire pour « relever » l'eau, c'est-à-dire pour la prendre dans son réservoir puis l'amener là où vous vous en servez ? Calculez d'abord la « hauteur de relevage », c'est-à-dire la différence entre le niveau de l'eau et son niveau d'utilisation le plus haut, à laquelle vous ajoutez 10 % de la longueur du tuyau.

Si, par exemple, votre réservoir est situé à 3 m de profondeur et que vous voulez conduire l'eau à 50 m de celui-ci, vous devrez « relever » l'eau de 3 m (par rapport à l'altitude du robinet le plus haut de la maison), et calculez : $3 + (10 \% \text{ de } 50 \text{ m}) = 3 + 5 = 8$. Il vous faut donc une pompe qui ait une puissance d'aspiration de 8 bars.

Autre exemple : si vous prenez l'eau à 2 m de votre maison et à 1,5 m de profondeur, la puissance d'aspiration de votre pompe pour le même débit ne devra plus être que de : $1,5 + (10 \% \text{ de } 2 \text{ m}) = 1,7 \text{ bar}$.

Bien concevoir son système de pompage



Mauvais système :

$$1 \text{ m} + (10 \% \times 50 \text{ m}) = 6 \text{ bars.}$$

Reprenons l'exemple du trou d'eau que l'on a fait pour prélever l'eau d'un ruisseau non mitoyen au terrain (voir page 168). Afin d'amener l'eau de ce point de captage assez éloigné (1) jusqu'à la maison, on a simplement déroulé sur le sol un long tuyau (2). Il va donc falloir utiliser une pompe (3) avec une forte capacité d'aspiration (au moins 800 W). Or, une telle puissance va atteindre environ 1 500 W au moment du pic d'allumage. Hors de question pour une maison autonome.

Bon système :

$$1 \text{ m} + (10 \% \times 1 \text{ m}) = 1,1 \text{ bar.}$$

Dans la même configuration, un tuyau en PVC d'un diamètre de 100 mm (1) a été enterré dans une tranchée. Il a une légère pente pour que l'eau du point d'eau (2) y descende toute seule par gravité. Arrivé à la maison, le tuyau fait un coude et ressort du sol (3). La tête de la pompe (4) plonge à ce niveau. Conclusion : alors que dans l'exemple précédent il fallait acheminer l'eau sur 50 m, ici il faut la lever d'une hauteur de 1 m en étant à une distance de 1 m de la maison ; on peut donc se contenter d'une toute petite pompe pour l'ensemble des usages de la maison. Dans le cas présent, pour débiter 3 000 l/h, il faudra une pompe de 52 W.

Pour connaître le débit dont vous avez besoin, notre conseil est de partir d'un nombre minimal de robinets. Exemple : il y a chez vous 1 robinet dans la cuisine, 1 dans le jardin, 1 dans la salle de bains, plus 1 dans la douche, soit 4 points d'eau. S'ils sont alimentés avec une pression de 1,5 bar, comme nous le conseillons, le débit global maximal sera de 2,88 m³ par heure.

Il vous faudra donc une pompe ayant une puissance d'aspiration de 8 bars et qui délivre 3 m³ par heure (mieux vaut arrondir à l'unité supérieure). Mais si vous n'ouvrez que 2 robinets à la fois au maximum, vous divisez par 2 la puissance de votre installation, et donc ses coûts. De plus, si vous vous reportez aux exemples précédents, vous réalisez que moins vous aurez à acheminer l'eau sur de longues distances, moins vous devrez prendre une pompe puissante. Conclusion : si vous voulez le système le moins consommateur d'électricité possible, donc le moins cher possible, il vous faudra installer votre point d'eau contre votre maison. Dès lors, vous pouvez vous contenter d'une pompe de 12-24 V, comme celles qui sont vendues pour les camping-cars. Par exemple, la pompe automatique à membranes Flojet 12 V débite 17 l/min pour une pression de 2,8 bars avec une consommation de 6 A/h ; elle coûte environ 250 €. Dans la même catégorie, une autre pompe Flojet débite 12,5 l/min pour une pression de 2,5 bars avec une consommation de 3,9 A/h ; son prix est de moins de 200 €. Cette dernière est très intéressante pour la maison autonome, car sa consommation électrique est presque divisée par deux pour à peu près les mêmes performances. Elle ne permet d'utiliser à un instant donné qu'un seul robinet complètement ouvert dans toute la maison. Avec la première pompe, on peut ouvrir deux robinets en même temps. Dernier point : avec ces pompes, il faut un convertisseur 230 V-12 V.

La tuyauterie

Nous sommes tous rétifs à la plomberie, que ce soit pour réparer une chasse d'eau ou pour poser et souder un tuyau. Mais une eau qui circule à faible pression dans votre habitat vous permet d'utiliser des éléments qu'il n'est plus nécessaire de couder, de souder (telles les tuyauteries en cuivre) ou de coller (comme celles en PVC) ; ce sont ceux employés dans les camping-cars, tant pour l'eau chaude que pour l'eau froide.

Il s'agit de tuyaux souples en PVC armés (la gaine, transparente, est parcourue de fils de métal croisés). Ils sont bleus pour l'eau froide, rouges pour l'eau chaude. Leur diamètre est de 10 ou de 16 mm. Ils supportent les coudes sans se déformer ; ils peuvent se raccorder à un chauffe-eau au gaz instantané ainsi qu'aux éléments fixes tels que mitigeurs, douches, robinets... par des colliers plats en acier galvanisé ou en acier inox qu'on peut serrer avec un simple tournevis. Des bagues de réduction en laiton permettent leur adaptation à des éléments métalliques dont les diamètres seraient inférieurs.

Dès lors, si vous êtes à même de faire aisément vous-même votre installation de plomberie, vos gains se chiffrent très vite en milliers d'euros. La technologie « camping-car » a donc instauré souplesse et facilité de pose des installations de plomberie individuelles, à condition que la pression dans le réseau soit faible ; cette faible pression permet également d'économiser automatiquement beaucoup d'eau.



La plomberie en tuyaux souples armés : rouges pour l'eau chaude, bleus pour l'eau froide.

Les performances d'une mini-pompe



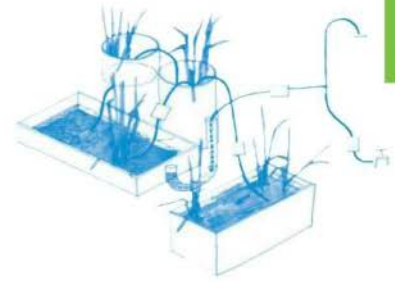
Ce type de pompe auto-amorçante à membranes (pompe Shurflo 3 Fiamma) permet d'élever l'eau jusqu'à une hauteur de 3,65 m et peut tourner à sec sans se casser. Selon le modèle, elle peut avoir un débit de 7 ou 10 l/min (environ 115 € et 133 € respectivement) et une pression de 1,4 ou 2,8 bars, au choix. Cette pression permet d'éloigner la pompe du réservoir de quelques mètres, d'aspirer l'eau et de la renvoyer vers les robinets. (Photo Euro-accessoires.)

Devis type pour l'installation d'un réseau de distribution de l'eau de pluie

Ce devis comprend toute l'installation : citerne, pompe, filtres, main-d'œuvre, etc. Si l'on se rapporte aux devis de raccordement qui nous ont été proposés pour les branchements eau potable/tout à l'égout et pour la tranchée, soit plus de 4 000 € (voir page 151), on s'aperçoit, en regardant le tableau ci-dessous, que l'installation « eau de pluie » est amortie pour ceux qui ne se raccordent à aucun réseau en moins de 4 ans (pour la citerne au plus faible volume) en comptant les économies réalisées sur la facture d'eau. Un petit bémol néanmoins : les artisans ne maîtrisent pas encore bien ces techniques ; mais avec nos conseils vous pourrez les guider. Par ailleurs, vous pouvez faire vous-même une partie des travaux. Vous pouvez ainsi établir le plan des tranchées pour le bulldozer qui viendra ouvrir le trou de la cuve, et reproduire ce plan sur le terrain en marquant les emplacements grâce à des piquets. Demandez au terrassier de laisser la terre en tas sur le bord des tranchées, comme cela vous pourrez la repousser vous-même dans les trous pour les reboucher. En ce cas, vous rentrez dans vos frais dès la première année.

Volume de la citerne	7 350 l	7 350 l	10 000 l	10 000 l
Bascule automatique sur le réseau public en période sèche	Non	Oui	Non	Oui
Citerne (citerne, regard, livrée déchargée)	1 800 €	1 800 €	2 150 €	2 150 €
Préfiltre et équipement citerne (filtre, arrivée calme, ventilation, clapet antiretour, stop-rats, kit de raccordement)	800 €	800 €	800 €	800 €
Pompage et filtration pour le cas de non-bascule sur le réseau public (aspiration flottante tuyau 2 m, pompe, kit raccordement pompe, jauge à écriture digitale, disconnecteur, kit minuterie et raccords rapides pour dépannage manuel, réservoir à vessie, filtration générale à tamis 10 microns)*	1 200 €		1 200 €	
Pompage et filtration pour le cas de bascule sur le réseau public (aspiration flottante tuyau 2 m, réservoir à vessie, filtration générale à tamis 10 microns, station automatique incluant pompe, jauge et relais réseau)		2 350 €		2 350 €
Total matériel TTC	3 800 €	4 950 €	4 150 €	5 300 €
Main-d'œuvre - Terrassement (6 à 8 h de machine)	1 000 €			
- Grue mobile (pose de la citerne dans le trou, si le terrassier ne peut le faire lui-même)	500 €			
- Raccords citerne/maison et installation : 4 à 5 journées de professionnel	1 400 €			
Total matériel et main-d'œuvre	6 700 €	7 850 €	7 050 €	8 200 €

* Aucune continuité entre le réseau public et le réseau de distribution d'eau de pluie. Les deux réseaux ne se touchent en aucun point.



CHAPITRE 4 Retraiter l'eau et les déchets

Un ménage produit deux types d'eaux usées, habituellement mélangées dans les égouts, les eaux « grises » et les « eaux-vannes ».

Les eaux grises sont les eaux de vaisselle, du lave-linge, des bains et des douches. Elles contiennent notamment des phosphates (résidus des savons), des détergents divers, des graisses animales et végétales, des débris de nourriture, etc.

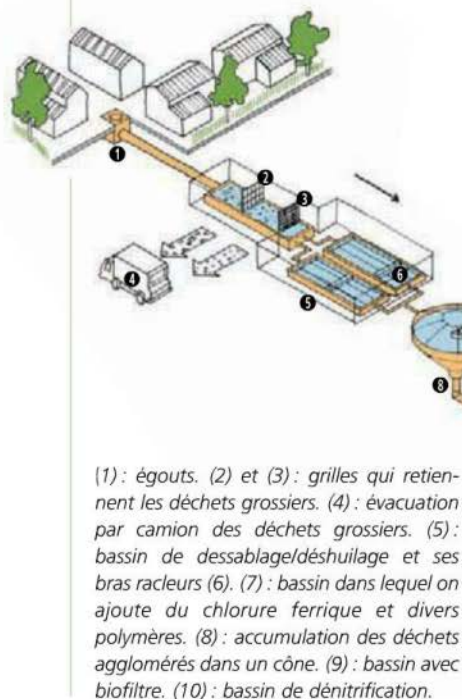
Les eaux-vannes sont les matières entraînées par les chasses d'eau : eau, urine et excréments. Inutile de dire que les premières se retraitent facilement, mais que les secondes posent problème.

Dans les égouts, tout est mélangé et arrive ainsi dans de gigantesques usines d'épuration : les procédés industriels consistent à séparer les constituants, à les fragmenter, à les dégrader, pour produire en fin de chaîne de l'eau théoriquement rejetable dans les rivières, ainsi que divers sous-produits considérés comme plus ou moins réutilisables. En réalité, ces sous-produits – principalement des boues – contiennent tous des métaux lourds, ce qui devrait théoriquement les rendre impropres à toute utilisation : les cultivateurs, ainsi, ne veulent plus étendre ces boues de recyclage sur leurs champs, car les métaux lourds se retrouvent ensuite concentrés dans les plantes que nous consommons, mais aussi dans le lait et la viande quand les animaux d'élevage pâturent sur ces terrains. Les pathologies liées à ces produits sont en particulier des troubles de l'immunité, à l'origine des cancers. Conclusion : on doit brûler ces boues saturées de métaux lourds, après les avoir séchées pour les déshydrater.

Comment expliquer la présence de métaux lourds dans les égouts ? Par la répétition d'actions individuelles telles que vider le liquide d'une batterie dans l'évier, se débarrasser du mercure d'un thermomètre que l'on vient de casser, utiliser certains nettoyants de plaques vitrocéramique, jeter un reste de peinture à l'eau ou à l'huile, etc.

Quant à l'azote (fertilisant) des urines, il est transformé dans les usines d'épuration en azote gazeux. Alors même que l'on constate dans les champs et les jardins une perte d'humus progressive, à laquelle les engrais chimiques azotés achetés trop cher ne peuvent remédier... Nous verrons comment l'habitat « bio » et autonome règle entre autres ces problèmes tout en engendrant d'importantes économies de charges.

Une installation industrielle



L'épuration collective

Il y a plusieurs types d'installations d'épuration collective : elles sont soit de nature industrielle, soit de type biologique – même si les usines utilisent en partie des techniques biologiques. Quoique cette répartition soit un peu caricaturale, on peut considérer que les industries lourdes de l'assainissement sont plutôt liées aux très grandes villes, car elles gèrent d'énormes quantités d'effluents, et les procédés de type biologique (lagunage, jardin filtrant) aux petites et moyennes collectivités locales.

Les usines d'épuration

Dans une installation industrielle, les gros déchets que contient l'eau usée en provenance des égouts sont retenus par deux grilles ; puis ils sont évacués par camion. L'eau passe ensuite dans un bassin de dessablage/déshuilage : tandis que les graisses montent à la surface, les sables, plus lourds, tombent au fond ; des bras racleurs, à la surface et au fond, les emportent. Dans le bassin suivant, on ajoute dans l'eau du chlorure ferrique et divers polymères autour desquels s'agglomèrent les matières restantes (à ce stade, les déchets sont très peu visibles à l'œil nu) ; sous l'action de leur propre poids ces agglomérats tombent vers le fond, où ils s'accumulent dans un cône. Suit alors une série d'étapes biologiques. Dans le bassin suivant, l'eau passe à travers un biofiltre constitué de 3 m de billes d'argile expansée : dans les innombrables cavités de ces grains, des bactéries éliminent la pollution carbonée ; il y a en général un autre bassin, où l'eau arrive sur un filtre constitué de 3 m de billes de polystyrène entassées les unes sur les autres, dans lesquelles des bactéries transforment l'ammoniac des urines en nitrates, avec l'aide de l'oxygène de l'air. Un dernier bassin est réservé à la dénitrification de l'eau ainsi produite : d'autres bactéries transforment ces nitrates en azote gazeux, qui forme 80 % de l'air que nous respirons.

Le lagunage à microphytes et macrophytes

« Lagunage » est un bien grand mot qui désigne l'utilisation de petits étangs (les « lagunes »), en général associés par deux, comme bassins de décantation débouchant au final sur une rivière ou un ruisseau. Il est à noter que cette méthode ne résout ni le problème lié aux métaux lourds ni celui du manque d'humus. Le lagunage associe microphytes (algues, bactéries et plancton) et macrophytes (mêmes éléments, plus des végétaux de grande taille). L'eau suit la pente naturelle du terrain. En général, il n'y a pas de grille. L'eau noire arrive dans un premier bassin de décantation où les matières sont transformées en éléments minéraux absorbables par les plantes. Dans un second bassin, les algues absorbent les déchets et au fur et à mesure que l'on avance vers le déversoir (d'où l'eau repart épurée vers une rivière ou un ruisseau en contrebas), le « zooplancton » (petits crustacés, daphnies, mollusques, insectes aquatiques) se développe de plus en plus. Ce type d'étang abrite en général également grenouilles et couleuvres ; la végétation qui se trouve autour (roseaux, lentilles d'eau, saules...) contribue aussi à l'activité épurative, tout en attirant oiseaux et insectes. La profondeur des eaux est en général faible ; algues et bactéries peuvent donc y conjuguer leurs efforts, grâce à l'énergie du soleil. On compte en général 11 m² de lagune par personne.



Déversoir de la lagune du village de Saint-Gonlay (Ille-et-Vilaine). Tout arrive mêlé, eaux grises et blanches. Néanmoins, le traitement totalement naturel par le soleil, les bactéries et les algues transforme cette eau noirâtre en une eau transparente.



Deux lagunes, la première à microphytes, la deuxième à macrophytes, dans le même village. Sept maisons sont raccordées à ces deux étangs.

L'épuration individuelle classique : la fosse septique

S'il n'y a pas d'assainissement collectif, une maison doit posséder une fosse septique. Succinctement, le principe consiste à liquéfier les matières en les faisant passer dans une chaîne de réservoirs, puis à disperser les effluents sous la terre, où des bactéries sont censées les épurer.

Fonctionnement d'une fosse septique

Une bonne fosse septique doit respecter certaines règles :

- on doit séparer au début les eaux de pluie des autres eaux, eaux grises et eaux-vannes se rejoignant néanmoins avant la fosse proprement dite ;
- il faut que le système suive le sens de la pente, afin de garantir l'écoulement, ou il faut donner à l'ensemble une pente suffisante... Quand cela est impossible, on doit utiliser une pompe...

Une fosse septique décante les déchets : ceux qui sont lourds tombent, ceux qui sont légers (graisses) flottent. Puis elle retient ces derniers ; elle liquéfie ensuite les déchets (stade de la liquéfaction) ; enfin elle les décompose (théoriquement) grâce aux bactéries du sol (stade de l'épuration).

Dans son activité, elle produit :

- du gaz carbonique, du méthane, de l'hydrogène (inodore) et de l'azote (inodore), évacués par une bouche d'aération ;
- des boues, qu'il faut retirer de temps en temps des cuves (lesquelles disposent d'un regard) ;
- une eau purifiée (théoriquement).

Dans le détail, les eaux usées passent par un « dégraisseur », une cuve en béton enterrée où sont retenues les graisses. Les eaux des w.-c. vont directement dans la fosse septique « toutes eaux » – éventuellement après passage dans une fosse anti-odeurs –, où se retrouvent également les eaux dégraissées. De cette fosse, les eaux à présent « prétraitées » passent dans une

La révolte des utilisateurs

De nouvelles normes sont venues renforcer les obligations en matière de fosse septique, devenues aberrantes, au point que des habitants se sont constitués en association pour refuser la « remise aux normes » de leur fosse. D'autant que, quelles que soient les exigences, vient toujours un moment où il faut remplacer le sable de son filtre, et les agents pathogènes franchissent de toutes les façons les barrières... même réglementaires.



Fosse septique en attente d'être recouverte. Si l'on en juge par le niveau du terrain initial, les drains de cette fosse seront enterrés à plus de 40 cm de profondeur : les coliformes fécaux ne seront pas dégradés et resteront sous la pelouse.

fosse intermédiaire où se parachève le travail des bactéries ; elles terminent dans le dispositif d'épuration qui permet l'infiltration dans le sol. Toutes les fosses (dégraisseur, fosse anti-odeurs, fosse intermédiaire, fosse septique) sont reliées à des bouches d'aération assurant l'évacuation des gaz produits par les bactéries.

Les eaux de pluie ruisselant du toit suivent un trajet à part, qui les éloigne de la maison. S'il y a un puits (ou un point d'eau ou un réservoir de récupération d'eau de pluie), il doit de même être éloigné de la fosse pour qu'il n'y ait pas contamination.

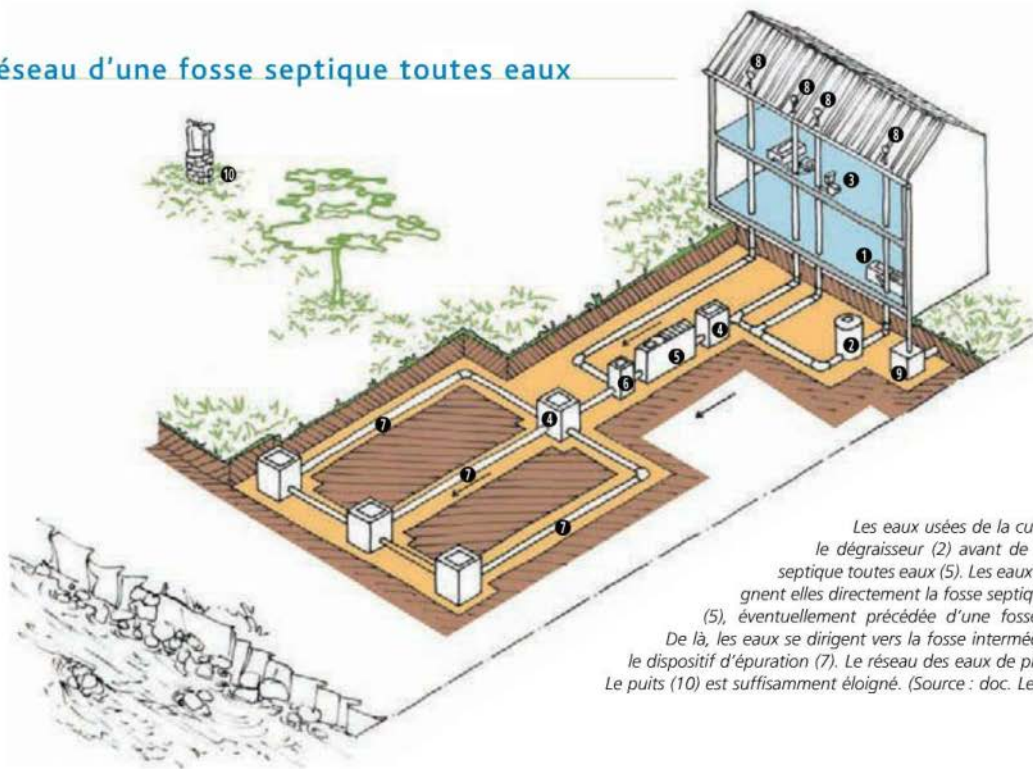
Pour une habitation de 5 pièces, la fosse septique devra avoir une contenance minimale de 3 000 l.

Les défauts d'une fosse septique

Dans la réalité, les fosses fonctionnent assez mal. Sans que l'on s'en aperçoive, les tuyaux étalés sous la terre finissent par se boucher ; souvent, le réseau d'épandage est enterré trop profondément. En effet, dès 40 cm sous terre, les bactéries épuratrices ne peuvent plus travailler car elles n'ont plus assez d'air et de lumière. Vous avez alors, à fleur de terre, directement sous votre pelouse, une sacrée quantité de coliformes fécaux ! (En effet, comme le montre la photo, le réseau d'épandage étant situé juste sous la surface du sol, vous ne pouvez avoir au-dessus que du gazon.) Le réseau ne devrait donc pas être placé à une profondeur supérieure à 10-20 cm.

Enfin, sur le schéma ci-dessous, vous noterez la complexité du réseau : résultat, il vous en coûtera plus de 5 000 €.

Le réseau d'une fosse septique toutes eaux



Les eaux usées de la cuisine (1) passe par le dégraisseur (2) avant de rejoindre la fosse septique toutes eaux (5). Les eaux des w.-c. (3) rejoignent elles directement la fosse septique « toutes eaux » (5), éventuellement précédée d'une fosse anti-odeurs (4). De là, les eaux se dirigent vers la fosse intermédiaire (6) puis vers le dispositif d'épuration (7). Le réseau des eaux de pluie (9) est séparé. Le puits (10) est suffisamment éloigné. (Source : doc. Leroy Merlin.)

L'épuration « bio » à l'air libre

Les systèmes collectifs ont toujours fait en partie appel à l'épuration naturelle, qui fait intervenir bactéries et plantes. L'épuration bio prolonge ce principe en organisant auprès de votre maison des petites stations d'épuration naturelle, véritables « machines vivantes ».

La filière de la phyto-épuration individuelle à l'air libre fait l'objet, depuis plus de 25 ans, de nombreuses recherches, comme celles de l'anglo-saxon John Todd, membre du groupe de scientifiques The New Alchemists ; il y a également le travail mené par l'association Eau Vivante et celui d'Anne Rivière (fondatrice de cette association et directrice d'un bureau d'étude). Cette filière met en œuvre des procédés d'assainissement des eaux grises (de vaisselle et de salles de bains) par le biais de bassins pourvus de filtres naturels formés de différentes couches minérales (gravier, sable, pouzzolane...) et plantés de végétaux épuratifs. On appelle ces bassins des « filtres plantés » ; la question des eaux-vannes est réglée par ailleurs par les toilettes sèches (voir pages 187-188).

Pour résumer, les filtres comportent des bactéries qui décomposent les eaux grises en minéraux et en nitrates, lesquels sont à leur tour ingérés par les plantes.

Nous insistons : ces systèmes ne fonctionnent bien que s'ils ne retraitent pas les eaux-vannes, que l'on élimine grâce aux toilettes sèches.

Voici une présentation des divers procédés qui existent et se confrontent parfois.

Les filtres plantés pour eaux grises et eaux-vannes

Après un passage en fosse septique

Cette première technique est appelée filtre planté partiel : les eaux grises et les eaux-vannes, après leur parcours souterrain et leur passage dans la fosse septique, au lieu d'être épandues sous terre, sortent à l'air libre dans une petite mare après un fossé de quelques mètres : mare et fossé sont plantés d'une végétation épurative. Il est conseillé d'entourer de grillage les filtres plantés pour empêcher les enfants de venir y jouer ; on éloignera aussi le site d'épuration le plus possible de la maison (et des voisins), en raison des odeurs toujours possibles. En fait, ce procédé est dangereux, car il laisse subsister des coliformes fécaux à l'air libre.

Sans passage en fosse septique

Ce système est appelé le filtre planté total. Ici, il n'y a même plus de parcours souterrain des eaux grises et des eaux-vannes : les deux ressortent dans le jardin tout de suite après la maison, pour passer dans une succession de 3 ou 4 bassins filtrants, disposés en cascade, où poussent des plantes.

Là encore, cela semble un échec : toutes les plantes épuratives sont en effet gênées par le mélange eaux-vannes/eaux grises. C'est un mélange difficile à épurer, qui peut produire des odeurs.

Comme la décomposition ne s'opère pas très bien, certaines personnes qui veulent absolument retraiter ainsi leurs eaux-vannes triplent le nombre de bassins, en raison du colmatage possible des graviers ou des billes d'argile lors d'une épuration lente et difficile concentrée sur la même série de bassins.

Cela revient donc à multiplier par 3 les coûts d'installation ! Et prendre soin d'une installation 3 fois plus grande, dont l'entretien sera plus délicat : il n'est pas aisé de maintenir la flore aquatique dans les bassins laissés en attente et il faudra donc y faire circuler de l'eau. Là aussi, on retrouve des coliformes fécaux à l'air libre, qui vont s'infiltrer dans les nappes phréatiques superficielles.

Le risque de contamination bactérienne

Les coliformes fécaux sont des bactéries présentes dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud.

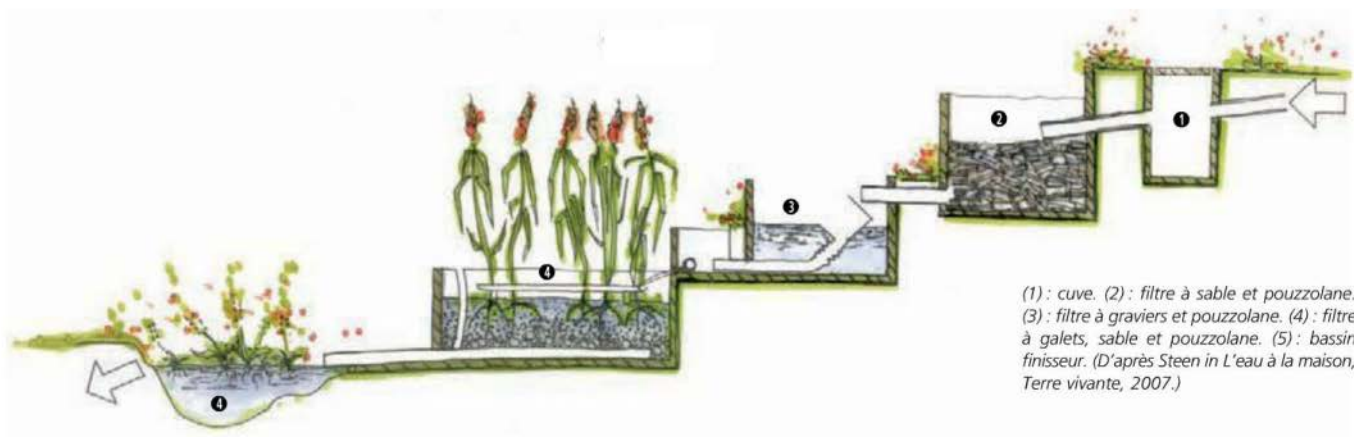
La contamination se fait par les matières fécales. Pour être déclarée « potable », une eau doit en contenir une quantité infime.

Le filtre planté pour eaux grises

On préconise donc un filtre planté pour les seules eaux grises.

Première version

Les eaux grises se rassemblent dans une cuve ; de là, elles passent dans un filtre à sable et pouzzolane (roche volcanique très poreuse), puis dans un filtre à graviers et pouzzolane ; dans le bassin suivant, comme les particules les plus lourdes ont été retenues, le filtre est composé d'une couche de galets mélangés à du sable, sous laquelle on retrouve de la pouzzolane : le sable permet aux végétaux d'étendre leurs racines ; dans ce bassin, on a planté des roseaux (*Phragmites communis*) ainsi que des massettes (*Typha latifolia*), et dans le bassin finisseur, des scirpes (*Scirpus lacustris*).



Filtre planté pour les seules eaux grises de la maison autonome des Baronnet, en Loire-Atlantique. Au premier plan, à droite, les vasques remuent l'eau, l'oxygénant et la dynamisant.

Deuxième version

Cette deuxième version d'un filtre planté pour les seules eaux grises est présentée par l'association Eau Vivante, qui insiste sur l'adoption nécessaire au préalable de toilettes sèches (nous ne le répéterons jamais assez), afin d'éliminer le gaspillage et la pollution fécale de l'eau engendrés par les chasses d'eau.

Nous sommes très séduits par ce système et par le professionnalisme de l'association. L'assainissement repose ici encore sur l'utilisation de bassins remplis de gravillons de pouzzolane et plantés de végétaux aquatiques (roseaux, scirpes, iris d'eau...). La spécificité de ce système est la forme « verticale » des premiers bassins : l'eau arrive en surface et s'écoule par le fond ; la diffusion de l'air dans la pouzzolane grâce aux racines des végétaux et l'activité des roseaux sont particulièrement favorables à la minéralisation de la matière organique par les bactéries aérobies. Les derniers bassins sont de type « horizontal » : l'eau entre par un côté, traverse la pouzzolane et ressort de l'autre côté ; l'oxygénation plus faible favorise les bactéries dénitrifiantes qui réduisent les nitrates en azote, rejeté ensuite dans l'atmosphère. À la sortie, l'eau est épurée et peut être rejetée dans l'environnement (sol, fossé) sans risque de pollution de la nappe phréatique ou des eaux de surface ; elle peut aussi être recueillie dans une mare pour permettre son recyclage et pour compléter la décoration du jardin.



Filtre planté mis au point par Eau Vivante. Dessin d'Anne Rivière et Claudine Duchet. (1) : bassins de type vertical. (2) : bassins de type horizontal.

Ce sont les massettes (ou roseaux-massues) qu'il faut choisir pour épurer ses jardins. La fleur éclate littéralement à la fin du mois d'août, libérant une profusion de graines.



Le roseau commun, s'il est très décoratif, est loin de posséder les mêmes propriétés épuratives que la massette. Ne le bannissez pourtant pas complètement, il peut rompre l'uniformité des bouquets de massettes.

Le réacteur à eaux grises

On rencontre parfois une version simplifiée du filtre planté pour les eaux grises, proposée notamment par le chercheur Joseph Orsagh, de l'université de Mons-Hainault, en Belgique : le « réacteur à eaux grises ».

Les eaux grises passent dans une cuve en béton ou en plastique (le réacteur) et débouchent ensuite dans une tranchée végétale puis dans un micro-étang. Il est encore plus important ici de ne pas jeter dans l'évier certains produits (peintures, solvants, insecticides, eau de Javel, produits désinfectants non bio) et d'utiliser pour la vaisselle des produits biodégradables... autrement, les bactéries épuratrices seraient tuées.

Contenance du réacteur

Pour connaître la capacité que doit avoir le réacteur, vous devez déterminer combien vous consommez d'eau chaque jour pour la vaisselle, le bain ou la douche.

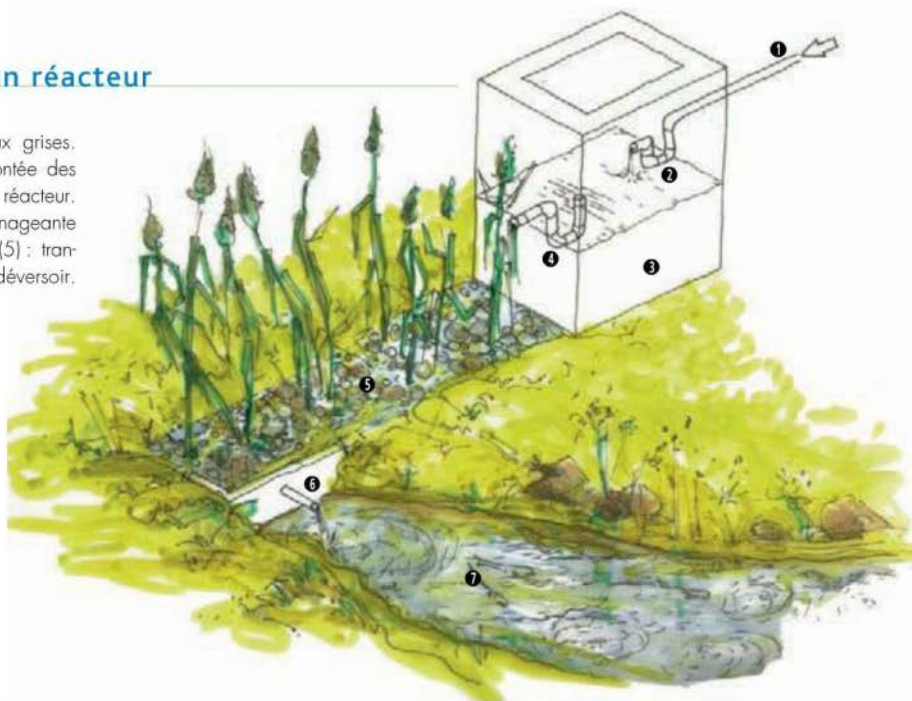
Nous partons du principe que nous faisons 2 vaisselles par jour à la main ; nous lançons un lave-vaisselle et un lave-linge tous les 3 jours ; dans notre ménage de 4 personnes, trois prennent une douche tous les jours et une prend un bain tous les 2 jours.

La consommation globale en eau sur 7 jours sera donc :

- pour les vaisselles à la main : 196-560 l ;
- pour le lave-vaisselle : 28-140 l ;
- pour le lave-linge : 117-187 l ;
- pour les douches : 525-2 625 l ;
- pour les bains : 525-1 050 l.

Installation d'un réacteur

- (1) : conduit d'arrivée des eaux grises.
(2) : siphon empêchant la remontée des odeurs et l'entrée de l'air. (3) : réacteur.
(4) : siphon retenant la croûte surnageante de bactéries dans le réacteur. (5) : tranchée végétale filtrante. (6) : déversoir. (7) : micro-étang.



Notre consommation totale variera de 1 391 l à 4 562 l par semaine, soit de 199 l à 652 l par jour. Un réacteur à eaux grises doit être 15 à 20 fois plus volumineux que les eaux grises qui y sont introduites quotidiennement, ce qui donne :

- pour la fourchette basse consommation, 3 m³ (2 985 l) ;
- pour la fourchette haute consommation, 13 m³ (13 040 l).

Les cuves en vente dans le commerce contiennent entre 3 000 et 4 000 l ; elles sont donc bien dimensionnées pour la fourchette basse consommation. Mais rappelons que les chiffres que nous avons utilisés ne tiennent pas compte de toutes les économies d'eau réalisables.

Description détaillée du système

Après un siphon destiné à éviter la remontée des odeurs et l'entrée de l'air, les eaux arrivent dans le réacteur, où des bactéries anaérobies les transforment en une boue et en gaz (méthane, dioxyde de carbone, azote – ce dernier gaz, inodore, constitue 80 % de notre atmosphère) ; ce compartiment peut être une cuve de fosse septique, mais n'importe quel récipient convient, le tout étant qu'il soit étanche. Un deuxième compartiment peut être ajouté sur le même modèle à la suite du premier. Le trop-plein du réacteur doit recevoir un siphon pour que la croûte surnageante de bactéries ne soit pas évacuée au-dehors. Suit une tranchée végétale filtrante d'une largeur de 50 cm ; pour sa longueur il faut compter 1 m par personne dans le foyer ; le sol de cette tranchée a été rendu éventuellement étanche s'il ne l'était pas grâce à une bâche de plastique recouverte de graviers et de sable (à moins que le sol soit en argile, ce qui le rend imperméable). Tout au bout de la tranchée, un déversoir (un peu élevé, pour maintenir un niveau d'eau minimal) amène l'eau dans un micro-étang ; il faut compter pour son volume 1 m³ par personne. Vous pourrez même avoir quelques poissons.

Normalement, il n'y a pas d'odeurs ; cependant, en vous approchant de la sortie du réacteur, vous pourrez éventuellement sentir un relent d'œuf pourri. Il résulte de la dégradation du soufre présent dans les savons et lessives en sulfates et sulfonates. Plantez alors fleurs et végétaux autour des bassins afin de supprimer cette odeur.

Les toilettes sèches

Ce n'est qu'avec des toilettes sèches que vous pourrez parvenir à un habitat totalement autonome. En effet, 20 à 26 % des 55 m³ consommés annuellement dans nos foyers le sont par un geste simple : la mise en action de la chasse d'eau plusieurs fois par jour. Cette dépense peut être totalement supprimée ; cela représente une économie annuelle d'environ 150 € pour un ménage de 4 personnes. De plus, en supprimant les eaux-vannes de vos eaux usées, vous facilitez leur retraitement car, comme nous venons de le voir, les eaux grises (cuisine, salle de bains, lessives) s'épurent aisément. Par ailleurs, l'adoption de toilettes sèches vous permet de diminuer d'un quart le volume de vos cuves de récupération de l'eau de pluie.

La plupart des toilettes sèches sont fabriquées par leurs possesseurs : le seul produit manufacturé est le siège placé au-dessus de la caisse en bois ; comptez 100 € au maximum.

Un point très important : vous économisez une installation de plomberie complète, soit 400 à 500 € ... ainsi que les venues ultérieures du plombier pour réparer la chasse d'eau ou remplacer des joints.

Ce que dit Arca Minore à propos de la législation

La directive européenne sur l'épuration des eaux usées exige seulement des résultats, sans aucune obligation de moyens pour les atteindre. Elle a été transcrite en droit français sous l'influence des lobbies de l'épuration conventionnelle, qui ont fait en sorte de limiter les moyens. Or ceux retenus sont d'une part économiquement désavantageux pour les usagers, et d'autre part douteux du point de vue sanitaire et écologique. Nous préconisons donc d'installer des toilettes sèches, en suivant scrupuleusement les préconisations d'hygiène relatives à leur utilisation et au compostage de la litière. La Ddass ou la police de l'eau ne viendront probablement pas vous embêter, car elles ont beaucoup à faire avec les habitations qui, sans même parler de mise aux normes, ne sont à l'heure actuelle pas encore équipées de système d'assainissement.

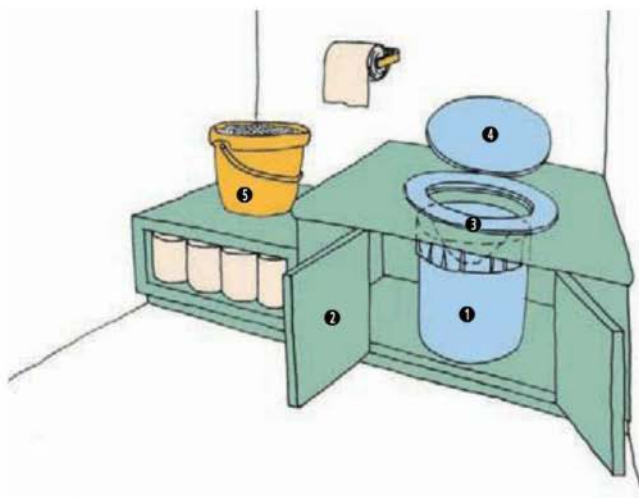


Les toilettes sèches intérieures de la famille Douillard.

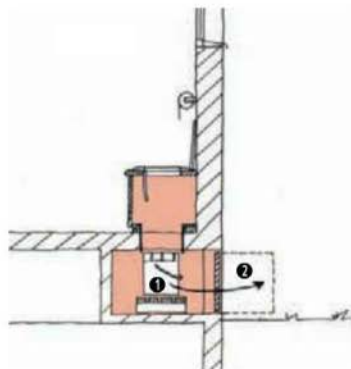


Les toilettes sèches de la famille Évin.

Installations de toilettes sèches



Autour d'un seau en acier inoxydable (1), on a ici constitué une armature en contre-plaqué, dont le devant s'ouvre (2) afin de sortir le seau. Une bavette permet d'éviter les projections d'urine au sol (3). Le siège est celui de w.-c. classiques (4). Mais l'eau est remplacée par de la sciure entreposée à côté, dans un seau en plastique (5).



Une variante. Ici, le seau contenant les matières (1) peut être sorti par l'arrière, directement à l'extérieur de la maison (2) ; on a mis à profit le vide sanitaire pour cette solution très pratique.

Fonctionnement des toilettes sèches

L'eau est remplacée par de la sciure de bois, que l'on jette par poignées après chaque passage jusqu'à faire disparaître ce qu'on a laissé. La sciure présente plusieurs avantages :

- elle absorbe toutes les odeurs ;
- elle empêche la production d'ammoniac en prenant toute l'eau disponible aux bactéries qui transforment l'urée et arrête le processus de décomposition en desséchant les fèces.

Le réservoir d'eau des toilettes est remplacé par un seau contenant la sciure. Vous pouvez acheter la sciure en grande surface dans le rayon animalerie. On peut prévoir d'équiper l'installation d'un bavoir pour éviter les projections d'urine. Il sera éventuellement découpé dans un classeur en plastique, dont la texture à la fois rigide et souple s'adapte bien à l'arrondi de la découpe de la caisse.

L'intérieur du seau est recouvert d'un sac en plastique afin d'éviter tout dépôt de matière fécale quand on va jeter la sciure après usage. On peut aussi utiliser de grandes feuilles de papier journal dépliées et calées contre le rebord. Elles ne vont pas jusqu'au fond, afin d'éviter qu'elles trempent dans les urines qui remonteraient par capillarité ; nous conseillons, pour des toilettes sèches très utilisées, de prendre un deuxième seau en plastique, de le percer au fond de petits trous, d'en diminuer la hauteur de 50 % en le coupant et de le mettre au fond du premier seau : de cette manière, il n'y a pas de contact entre les urines et la sciure et cela évite les odeurs désagréables.

Quand le seau est plein, vous allez le vider dans le compost (le seau peut mettre 10 jours à se remplir, sans odeurs). On le lave ensuite à l'eau, on remet des feuilles de papier journal sur le bord, on répand un petit tapis de sciures : c'est à nouveau prêt.

Le composteur

L'autre élément essentiel des toilettes sèches, c'est le composteur : il reçoit toutes les matières organiques du jardin (herbe de tonte, feuilles, etc.), de la cuisine (épluchures) et des toilettes sèches. Vous pouvez y ajouter papiers, carton, bois.

À proscrire :

- les feuilles des arbres fruitiers, à brûler à part car elles contiennent souvent des parasites ;
- les cendres, sauf de temps en temps (les cendres sont à épandre de manière légère, sur de vastes superficies, sinon leur concentration en produits minéraux et en potasse brûle les végétaux) ;
- tout ce qui est en plastique ou en métal ;
- les bois de construction car ils sont traités ; ils se reconnaissent à leur couleur jaune ; il faut les évacuer et les amener à la déchetterie ;
- les papiers imprimés car leur encre contient des métaux lourds.

Il y a un autre avantage à l'utilisation de la sciure : l'urine et les excréments possèdent plus d'azote que de carbone, à l'inverse des déchets végétaux (plus de carbone, peu d'azote, comme dans les feuilles mortes, par exemple) : en les associant, le produit que vous placez

dans le composteur est parfaitement équilibré pour son retraitement par les bactéries et insectes décomposeurs.

Pour notre part, nous travaillons avec une batterie de 3 composteurs : l'année 1, nous remplissons le premier ; l'année 2, le deuxième ; l'année 3, le troisième. Celui rempli l'année 1 va reposer 2 ans, au terme desquels l'humus sera utilisé. En effet, ce n'est qu'après ce laps de temps que l'on considère que les bactéries fécales ont disparu. Pour être sûr de ne pas utiliser l'humus trop tôt, on notera à la peinture blanche sur un coin du composteur la date du dernier chargement ; à compter de cette date, vous attendrez 2 ans. Nous conseillons de le retourner à la fourche toutes les 4 semaines pendant la première année pour activer le processus de décomposition.

Attention, il faut fermer les composteurs sur les 4 côtés et, si vous utilisez des palettes, mettre un grillage à l'extérieur pour que ce soit plus esthétique. La base du composteur doit reposer directement sur le sol, d'où viennent lombrics et bactéries épuratives ; en revanche, il faut le mettre sur une butte pour qu'il n'ait jamais les pieds dans l'eau, surtout s'il y a un fossé de drainage à proximité, et sous des arbres pour lui assurer une protection en cas de pluies diluviennes, qui pourraient entraîner des bactéries fécales en dehors. Pour notre part, en plus de toutes ces précautions, nous avons mis de l'argile et de la terre tout autour de ses limites, de façon à former un petit barrage étanche.

Chacun a remarqué l'odeur très désagréable que prennent les urines au bout de quelques heures d'exposition à l'air : cette odeur, c'est celle de l'ammoniac. En effet, après émission, l'azote des urines se dégrade en une dizaine d'heures en ammoniac, un sous-produit toxique pour les plantes. Ensuite, cet ammoniac se transforme en nitrites (toxiques), puis en nitrates (utilisables). Dans le composteur, la transformation de l'urée en ammoniac-nitrites-nitrates se déroule sans odeurs si on jette sur le tout quelques poignées d'herbe, résultant par exemple de la tonte du gazon.

De fait, si le composteur est à l'ombre et suffisamment humide (au début, l'eau est fournie par les urines, puis par les pluies), le processus de décomposition/transformation donnera, au bout de deux ans, un produit terreux : l'humus, d'où ont disparu tous les organismes pathogènes que l'on retrouve à la sortie des intestins.



Composteur associant tout simplement 4 palettes.



Composteur fourni par une municipalité.

L'assainissement écologique : interview de l'installateur LABEL VERTE



LABEL VERTE est une entreprise des pays de Loire dont les trois branches d'activité s'articulent autour de la gestion écologique de l'eau et du sol :

- vente et location de toilettes sèches ;
 - installation de systèmes d'assainissement autonomes par filtres plantés ;
 - mise en place de composteurs collectifs.
- LABEL VERTE est membre du Réseau national de l'assainissement écologique. Interview de l'un de ses responsables.

Pierre-Gilles Bellin : « Quel type de système d'assainissement autonome installes-tu ? »

Éric Sabot : « Nous posons des bassins qui contiennent un substrat minéral dans lequel sont plantés des végétaux aquatiques dont le système racinaire favorise l'activité épuratrice des bactéries. Ce sont effectivement les bactéries qui décomposent les éléments polluants que contiennent les eaux à traiter. Il n'est donc pas tout à fait juste d'appeler ce procédé "phyto-épuration". Il serait plus pertinent de parler de "bactério-épuration". C'est l'énergie solaire, renouvelable, écologique et gratuite qui active ce processus, en permettant le développement des plantes qui fournissent de l'oxygène aux micro-organismes. Le substrat minéral est essentiellement composé de pouzzolane, une roche volcanique microporeuse qui permet une grande surface de développement du film bactérien. »

Mise en place des filtres plantés. Ces cuves en polyéthylène sont d'ordinaire utilisées pour abreuver le bétail. Elles viennent en contrebas de l'habitat. Ce sont 3 à 4 niveaux de bassin contenant les plantes aquatiques qui sont ainsi aménagés en cascade. L'effluent arrive au-dessus du bassin, percole doucement à travers la pouzzolane où il est digéré par les bactéries, puis ressort par trop-plein. (Photo LABEL VERTE.)

PGB : « Retraitez-vous toutes les eaux usées ? »

ES : « Lors de la création de LABEL VERTE, nous avons fait le choix d'installer ce système d'épuration dans les maisons équipées de toilettes sèches. Donc nos bassins filtrants traitent uniquement les eaux grises, c'est-à-dire celles de la cuisine, de la salle de bains et du lave-linge. Ils ne reçoivent pas d'effluents issus des toilettes à chasse d'eau, que l'on appelle eaux noires ou eaux-vannes. »

PGB : « Pour quelles raisons ? »

ES : « Les eaux noires représentent environ 25 % du volume d'effluents généré par un foyer équipé de w.-c. à chasse d'eau, mais elles contiennent à elles seules 80 % de la charge polluante globale. En optant pour des toilettes sèches, on élimine cette pollution à la source. La chasse d'eau fut une invention utile pour la salubrité publique à une époque où la densité de population permettait de rejeter nos déjections en comptant sur le pouvoir épurateur des milieux naturels. Mais aujourd'hui, nous sommes beaucoup plus nombreux sur cette planète et les solutions d'assainissement conventionnelles, tant collectives qu'individuelles, ne permettent pas de dépolluer suffisamment. Le traitement n'est que partiel et les eaux rejetées contiennent encore trop d'agents polluants pour que les milieux aquatiques puissent se régénérer. Nos déjections devraient participer au cycle terrestre, au sein duquel elles contribuent notamment à renouveler la couche d'humus indispensable à la fertilité des sols. La chasse d'eau dévie nos excréments du cycle terrestre vers le cycle de l'eau, où ils n'ont plus leur place. Cette gestion erronée est en partie responsable du mauvais état sanitaire des nappes phréatiques et des rivières, qui sont saturées. Nous informons le public à ce sujet et nous le sensibilisons au fait qu'il est du ressort de chacun de cesser de souiller l'eau, cet élément vital qui compose 75 % de notre corps. »

PGB : « Quel est le coût du système que vous installez ? »

ES : « Pour une famille de 4 personnes, il faut compter environ 6 000 €. Un système d'assainissement autonome conventionnel, comprenant une fosse sceptique suivie d'un filtre à sable, coûte entre 6 000 et 10 000 € selon la nature du sol et la topographie. »

PGB : « Proposez-vous des formations ou des conseils aux autoconstructeurs ? »

ES : « Nous animons des stages en partenariat avec l'association Eau Vivante (voir carnet d'adresses). Il faut compter 150 € pour un stage de 2 jours. À l'issue du week-end, toutes les personnes bricoleuses sont en mesure de réaliser leur système. Il est cependant conseillé de faire réaliser une étude de filière avant de se lancer. Pour 550 €, cette étude indique le dimensionnement du système, les éléments qui le constituent, leur positionnement sur le terrain (plan de masse + coupe transversale avec dénivellations) et elle comporte en outre les consignes d'entretien. Il faut en effet désherber les bassins de la même manière que l'on arrache les herbes indésirables dans un massif de fleurs. Ceci permet d'éviter le colmatage du système, comme cela se produit après quelques années dans les filtres à sable des assainissements conventionnels, contraignant les usagers à déboursier à nouveau pour remplacer le sable.

Les filtres plantés ne présentent pas ce genre d'inconvénients. Avec un minimum d'entretien, les systèmes installés depuis 15 ans fonctionnent toujours aussi bien. Et ce n'est pas le seul avantage des filtres plantés : leur emprise au sol est 2 à 3 fois inférieure à celle des assainissements conventionnels, sur lesquels on ne peut rien planter, alors que les divers végétaux qui ornent les bassins filtrants participent à l'esthétisme du jardin. »

PGB : « Qu'en est-il de la législation ? »

ES : « Les bassins filtrants plantés ne font pas partie des solutions préconisées pour l'assainissement autonome en France, mais ils ne sont pas illégaux pour autant. Ils sont soumis à dérogation. L'obtention de celle-ci engage le particulier à fournir, au moins une fois par an, une analyse de l'eau prélevée à la sortie du système de traitement. Cette analyse coûte environ 70 € et les résultats obtenus sont presque toujours bien meilleurs que ce qui est exigé par la loi. Dans le cas d'une construction neuve, le permis de construire sera accordé suite à l'obtention de la dérogation concernant l'assainissement écologique. En définitive,



Les galets disposés en colonne à l'entrée et à la sortie du bassin facilitent la répartition homogène de l'effluent. (Photo LABEL VERTE.)

Les bordures des bassins peuvent être habillées avec des ardoises. Une fois colonisé par les plantes aquatiques, le système s'intègre parfaitement au jardin, au point d'être invisible pour un œil non averti. (Photo LABEL VERTE.)



c'est le maire qui décide, sachant qu'il peut consulter le Service public d'assainissement non collectif (Spanc), la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) ou la Direction départementale de l'équipement (DDE). Il est donc important de rencontrer votre maire afin de lui présenter votre projet appuyé par une étude de filière sérieuse. Il sera, dans ce cas, plus enclin à engager sa responsabilité. Dans le cas d'une rénovation ou d'une mise aux normes, il n'est pas nécessaire de demander de dérogation pour adopter la filière bassins filtrants + toilettes sèches. Lorsque le technicien du Spanc fait la visite de contrôle, il reconnaît alors le système comme non conforme mais efficace, dans la mesure où le propriétaire présente une analyse avec de bons résultats. »

PGB : « Les toilettes sèches sont-elles mieux reconnues par la loi ? »

ES : « Il y a encore actuellement un vide juridique concernant ces toilettes. Dans certains départements, la Ddass est favorable à leur utilisation. Ailleurs, la position est floue, voire fermement opposée. Les études de filière d'assainissement écologique que nous réalisons comportent toutes les explications pour composter la litière des toilettes sèches dans des conditions sanitaires optimales. Sachez que pour un foyer de 1 à 3 personnes, une aire de compostage de 2 m² est suffisante. De 4 à 6 personnes, il faut compter 4 m². L'aire de compostage, protégée des animaux et des enfants, est installée en zone non inondable. Nous préconisons une méthode de compostage thermophile, c'est-à-dire permettant une montée en température qui éradique les agents pathogènes éventuellement présents dans les excréments humains. » (Voir La pratique du compost et des toilettes sèches, Éric Sabot, Éditions La Maison Autonome.)



Ce type de composteur en plastique recyclé, que l'on trouve dans la plupart des jardineries, offre de nombreux avantages : imputrescible, il ferme bien et protège le compost des animaux et des enfants ; il est néanmoins correctement aéré et facile à ouvrir pour effectuer les remaniements nécessaires à l'obtention d'un compost de qualité. (Photo LABEL VERTE.)



Ces toilettes sont inodores grâce à la litière de sciure et de copeaux de bois que l'on ajoute au fur et à mesure des utilisations. Il convient simplement de respecter quelques précautions sanitaires lors de la vidange du seau sur l'aire de compostage : porter des gants et bien nettoyer le récipient. (Photo LABEL VERTE.)

Une phyto-épuration à l'intégration exemplaire

Les particuliers dont nous vous présentons le système d'épuration par filtres plantés s'en servent pour retraiter les eaux de la cuisine et de la salle de bains, avec une toute petite exception : en effet, ils ont, en plus de leurs toilettes sèches, un sanibroyeur installé sur le réseau d'eaux usées, dont certains invités se servent parfois. Comme pour le système précédent, celui-ci se termine par une mare finisseuse, que nous vous montrerons ici en détail. En ce qui concerne les autorisations : l'accord a été trouvé très facilement avec la mairie et le Service public d'assainissement non collectif (Spanc), qui est ici géré par la communauté de communes avec, comme prestataire, Véolia.



Le système part de la maison et, après un répartiteur (1), se dirige vers le premier bassin (2) où a lieu une décomposition aérobie (à l'air) : en clair, ce qui est solide est composté à la surface, sur le sable. Tour à tour, on utilise le bassin de droite (3) et le bassin de gauche (4), pour ne pas saturer le système et laisser un des deux bassins mener au rythme de la nature leur activité épuratrice (en fait une semaine sur deux). Placé devant et au fond des bassins (3) et (4), un drain (5) amène les effluents à un deuxième bassin, en contrebas (6) : là a lieu une dégradation anaérobie (sans air) des eaux usées, longue percolation à travers les gravillons qui conduit en 48 h les eaux jusqu'à une rehausse (7), d'où elles repartent vers la mare finisseuse (8). Notez, après le deuxième bassin, que la rehausse, par où passent les effluents, est suivie d'une conduite qui se dirige vers une troisième rehausse, enterrée (9), où elle rencontre la conduite (10) qui amène les eaux de pluie vers la mare (8). Sans cet important apport d'eau, celle-ci s'assécherait en effet rapidement ; afin de mieux la remplir encore, un obstacle sera mis sur le versant pour y conduire davantage d'eau – en fait une petite butte de terre d'une dizaine de centimètres de hauteur, véritable « piège à eau de pluie » (11).



En contrebas de la maison et après le répartiteur se trouve le premier bassin d'épuration, avec sa partie droite et sa partie gauche que l'on utilise alternativement (une semaine l'une, une semaine l'autre). Ici, vu juste après les travaux.

Deux faits doivent être soulignés : d'une part, la communauté de communes considère que les filtres à sable des fosses septiques (voir page 181) fonctionnent mal ; d'autre part, le technicien de Véolia était très favorable au système – ce qui interdit, par conséquent, de généraliser.

Des analyses des eaux ont été mises en place, réalisées par le laboratoire départemental d'analyse agricole, qui contrôle 2 paramètres :

- matières en suspension (« MES ») ;
- demande biologique en oxygène sur 5 jours (« DBO5 »).

À noter que de telles analyses ne sont pas obligatoires sur les fosses septiques, alors même que la directive européenne demande une obligation de résultats !



Premier bassin d'épuration, détail du bassin de droite (l'autre étant en repos). On voit bien sur cette photo les eaux grises. Le substrat, qui repose sur de l'argile qui a été maçonnée et compactée pour le rendre bien étanche, se compose ainsi : 10 cm de sable de filtration, 30 cm de gravillons 4/8, 20 cm de gravillons 15/25.

Il y a cependant un problème : au fil des lessives, douches, vaisselles, ce sont de trop petites quantités d'eau qui arrivent à chaque fois. Aussi les autoconstructeurs ont-ils décidé de placer en aval un bac intermédiaire où une plus grande quantité d'eau se rassemblera – jusqu'à 60 l –, jusqu'à ce qu'un mécanisme inspiré de la chasse d'eau de w.-c. classiques permette leur déversement, d'un seul coup, dans le bassin.



Tout de suite après la maison se trouve le répartiteur : il permet de diriger les eaux usées vers le bassin de droite ou de gauche qui se trouve directement en contrebas. Pour faire alterner le passage des eaux, un simple sac de sable est posé, tantôt sur l'écoulement de droite, tantôt sur l'écoulement de gauche. (Chez Élisabeth et Jean-Michel Boiron.)



Deuxième bassin d'épuration : long d'environ 8 m, en aval du premier bassin, il se compose d'une couche de 40 cm de gravillons. On le voit ici l'hiver, à son achèvement et avant sa mise en service.

Ici, l'autoconstructeur a encore profité du fait que le sous-sol était argileux pour maçonner tout le socle simplement à l'argile (autrement, on utilise une géomembrane étanche). Des infiltrations se sont cependant produites lors de la mise en service, venant du fait que l'argile ne s'était pas suffisamment retassée.



D'ici 1 an ou 2, les cailloux des filtres plantés seront complètement cachés par l'exubérance de la végétation. En plus de la faune et de la flore de la prairie où sont posés les filtres, une faune et une flore spécifiques aux espaces humides se développent sur le site.

Déversoir provenant du premier bassin d'amont : un simple tuyau de PVC gris. À la différence du premier bassin, où l'eau repart très vite, elle doit rester dans le second bassin environ 48 h. C'est ici que les bactéries, installées parmi les gravillons et nourries en oxygène par les racines de plantes, dégradent les effluents.



Le même bassin, à la mi-août de la même année. Les végétaux ont été plantés : massette, salicaire, prêle, rubanier, laïche, carex, iris, jonc des chaisiers, acore, menthe aquatique, plantain d'eau.



Cette rehausse enterrée est placée à 1 m en aval du deuxième bassin. Les eaux en provenance de celui-ci – dont on voit le reflet – s'infiltrent par en dessous et montent jusqu'au tuyau d'évacuation, qui les dirige vers la mare finisseuse, en contrebas. C'est l'inclinaison du tuyau qui sert à régler le niveau d'eau du deuxième bassin.



Dans cette rehausse enterrée, on découvre successivement :
– l'arrivée des drains (jaunes) qui amènent l'eau de pluie recueillie autour de la maison ;
– sur la gauche, la conduite en PVC gris qui amène l'eau purifiée par les filtres plantés ;
– en haut, la conduite qui amène toutes ces eaux mélangées vers la mare finisseuse.



Conduite en PVC gris amenant les eaux à la mare finisseuse.

Ultérieurement, l'autoconstructeur créera une mini-cascade sous ce déversoir, de manière à améliorer l'oxygénation des eaux de mare (une eau vivante requiert beaucoup d'oxygène pour les animaux et les végétaux).

Les eaux de la mare ont donc 5 sources :

- les eaux purifiées du filtre planté ;
- les eaux de pluie venant du toit de la maison ;
- le drain faisant le tour de la cave ;
- le drain faisant le tour de la maison ;
- les eaux de pluie détournées par le « piège à eau ».

Notez qu'à terme les eaux de pluie seront utilisées dans les usages de la maison et que seul leur trop-plein finira à la mare.



La mare finisseuse : c'est dans cette vaste mare que s'achève l'épuration conduite dans les 2 bassins filtrants en amont. L'épuration est encore améliorée par la taille du bassin et le fait que s'y déversent les eaux de pluie.

La mare se compose de 2 niveaux : un niveau peu profond, où sont déjà en train de s'implanter les végétaux adaptés aux faibles profondeurs, et un niveau plus profond.

De manière naturelle, des courants de convection se mettent en route entre des niveaux de liquide aux températures contrastées, contribuant ainsi à l'équilibre d'ensemble du biotope.

À noter, sur la droite de la photo, le tuyau en PVC gris planté verticalement dans la mare. Il permet aux trop-pleins de s'écouler vers un fossé, en contrebas, qui rejoint lui-même une petite rivière en fond de vallon.

La récupération de l'eau de pluie à l'épreuve de la pratique



Vue d'ensemble du système :

– répartiteur (élément carré, au fond à droite) : dedans se trouvent l'arrivée des gouttières, un départ vers un fossé de drainage, un départ vers les cuves pour le remplissage. Un tuyau flexible permet, à la main, de relier le tuyau des gouttières au tuyau d'évacuation vers le fossé, ou à celui qui mène les eaux vers leur stockage. Lors des premières pluies, celles qui entraînent les poussières légères du toit, Bruno oriente le flexible vers le fossé ; ce n'est qu'après qu'il réoriente le flexible vers le tuyau menant aux réservoirs ;
– préfiltre (élément rond, au fond, après les 3 cuves) : ce citerneau est divisé en deux par une cloison qui ne va pas jusqu'en bas et est rempli de pouzzolane, une pierre volcanique qui joue un rôle filtrant et épurateur. À l'entrée du tuyau en PVC menant aux 3 citernes se trouve un filtre au grillage très fin. Après chaque collecte, Bruno retire la pouzzolane, nettoie le citerneau et le filtre à l'eau claire ;
– les 3 cuves, de 5 000 l chacune : les tuyaux verticaux en PVC gris permettent à l'air de s'évacuer quand les citernes se remplissent, et de rentrer quand elles se vident. (Photo Bruno Onfray.)

En Bretagne intérieure, Bruno a lui-même installé sa propre installation de récupération de l'eau de pluie. Il en détaille ici les éléments, témoignant d'une expérience satisfaisante de près de 1 an.

Pierre-Gilles Bellin : « Combien le système de récupération de l'eau de pluie t'a-t-il coûté ? »
Bruno Onfray : « Pour les 3 cuves circulaires en béton de 5 000 l chacune, 750 € l'unité, soit 2 250 € ; à cela s'ajoutent les regards et rehausses, les accessoires de connexions et les tuyaux, une pompe auto-amorçante de 500 € pour alimenter le surpresseur (150 €) et les filtres, pour 200 €.

En tout, cela amène à environ 5 000 € pour le matériel seul, y compris le terrassement. Je n'ai pas payé de main-d'œuvre, car j'ai tout fait seul... sauf le creusement, bien sûr, en veillant attentivement aux niveaux. À ce sujet, comme le fond du trou était pierreux, on a pris cette pierre pour faire le lit de pose. Sur un autre terrain, on aurait mis un lit de sable de 15 cm. Nous avons eu de la chance car, quand la tractopelle est venue, ce n'était pas humide : d'ailleurs mon terrain, situé en point haut, est très drainant avec un bon équilibre entre les argiles et les sables. »

PGB : « Peux-tu nous détailler le matériel que tu utilises ? »

BO : « Après les cuves et la pompe, j'utilise un surpresseur, sorte de ballon tampon qui gonfle et maintient une pression homogène à tous les points d'eau. En effet, je ne voulais pas que la pompe se déclenche à chaque ouverture de robinet. Le surpresseur permet de mettre en réserve une centaine de litres sous pression, avec toutefois un minimum – 2,5 bars – et un maximum – 4 bars. En fait, on l'étalonne comme on le souhaite : moi, je l'ai réglé pour qu'en dessous de 2,5 bars la pompe se déclenche automatiquement et le remplisse, jusqu'à ce qu'il atteigne 4 bars.

Il y a ensuite les filtres : 2 filtres entre la gouttière et l'entrée des cuves, 1 filtre de 25 microns après la pompe immergée placée dans la troisième cuve et avant le surpresseur. Puis, à la sortie du surpresseur, se trouve un quatrième filtre, de 5 microns : c'est de là que partent les tuyaux destinés à la salle de bains et aux machines à laver. Pour garantir la potabilité de notre eau, un dernier filtre de 0,15 micron se trouve sous l'évier de la cuisine. Une fois que l'eau est passée dedans, nous pouvons la boire.

Les filtres de 25 et 5 microns sont de marque Cintropur, et la partie à changer est contenue dans des sortes de "chaussettes" placées dans une coupole qui se dévisse ; ce sont des produits belges (Airwatec). Le filtre sous l'évier est un Hydropur – fabriqué par Carbonit (acheté sur Internet à la société Cidt, à Bueil, dans l'Eure).

Je change les filtres tous les 6 mois, les recommandations étant de 7-8 mois... Tout dépend de la qualité de l'eau que l'on stocke. Quand les filtres sont encrassés, on le sent au robinet car le débit baisse. Les 2 premiers filtres coûtent moins d'une dizaine d'euros, mais le filtre de 0,15 micron vaut entre 50 et 60 €.

PGB : « Quelle est ta consommation ? »

BO : « Je n'ai pas de compteur, donc je n'ai pas pu étalonner précisément ma consommation quotidienne... Approximativement, à 4 (un couple avec 2 enfants), nous faisons une

machine de 50 l par jour, un lave-vaisselle de 12 l plus la vaisselle associée, pour 10 l ; nous utilisons en cuisine environ 20 l, et les 4 douches quotidiennes représentent 20 l par personne, ce qui fait un total de 170 l d'eau par jour au maximum (plus probablement 150 l). Nous mettons à peu près 1 mois pour vider une cuve de 5 000 l. »

PGB : « Comment produis-tu ton eau ? »

BO : « L'eau de pluie vient en totalité du toit. Celui-ci, un toit plat, fait presque 180 m². Mais j'ai du mal à estimer la quantité d'eau qu'il produit exactement. Difficile cependant de prendre les moyennes en Bretagne, qui varient énormément d'un point à l'autre. Ce que je sais, c'est que je jette de l'eau, j'ai des trop-pleins. Du point de vue sanitaire, la surface du toit est une membrane PVC caoutchoutée, qui m'a coûté une vingtaine d'euros au mètre carré (posée sur un feutre géotextile). Le toit est très peu souillé par les oiseaux, mais il m'arrive de le balayer pour le nettoyer. Je laisse cependant couler l'eau lors des premières pluies, pour éviter de collecter les poussières déposées en surface. Ce n'est qu'après que je laisse couler l'eau dans les citernes. Pour cela j'ai un flexible, que j'oriente soit vers le fossé d'écoulement, soit vers celui qui amène l'eau au stockage. »

PGB : « Estimes-tu faire des économies par rapport au système classique ? »

BO : « Par rapport à l'eau qui me viendrait du réseau si j'étais connecté, la réponse est négative. Là où je fais des économies, c'est en n'étant pas relié au réseau d'eaux usées – il n'y a pas le tout-à-l'égout dans le village. Mais je pense que si nous avions eu l'eau potable, nous l'aurions néanmoins retraitée... J'estime donc qu'il va me falloir 15-20 ans pour amortir mon investissement... Mais quel sera le prix de l'eau à ce moment ? Je pense en tout cas qu'il ne faut pas chercher une rentabilité à court terme. »



La jonction entre les cuves (ici entre la première et la deuxième) se fait au moyen d'un tuyau semi-rigide en polyéthylène, recouvert d'une gaine de protection. Par conséquent, le niveau de l'eau est le même dans les 3 citernes. (Photos Bruno Onfray.)



Finalisation des cuves : installation des trop-pleins permettant l'évacuation de l'eau en excédent, raccord avec la pompe immergée dans la dernière cuve (gaine bleue se dirigeant vers la maison).



Trous rebouchés, citernes et entrée de la maison.



Jean a loué une tractopelle et a creusé l'excavation. La conduite en PVC gris que l'on voit en arrière-plan amène les eaux de pluie à une mare, derrière, qui sera conservée : il faut contrôler l'arrivée d'eau, avec la possibilité d'envoyer vers la mare les eaux en excès, car cela ferait beaucoup trop pour les capacités épuratives de la piscine (risques d'impuretés et d'envasement). (Photos Jean Leroy.)



Devant la conduite d'eau pluviale, on voit bien les gradins avec, au milieu, la future zone de nage. Les gradins sont à gauche et à droite. Les bassins sur gradins serviront à la régénération et à l'épuration des eaux : en volume, ils représentent un peu moins de la moitié du volume du bassin de baignade biologique. La zone de nage fait 2 m de profondeur (sous le futur niveau de l'eau) ; quant aux bassins de régénération, ils font 1 m de profondeur (également sous le futur niveau de l'eau), sachant qu'ils vont recevoir environ 60-70 cm de pouzzolane et tuiles concassées. De cette manière, on laisse une hauteur d'eau de 20 à 60 cm (la marge d'évaporation).

Une piscine vivante pour 2 000 €

La piscine de Jean, faite seul en une dizaine de journées de 5 à 6 h de travail et pour 2 000 €, est née d'un questionnement. L'un de ses amis s'était en effet fait faire une piscine écologique pas si écologique que cela : film plastique, galets importés de Chine et un système de pompe lui coûtant plus de 1 000 € d'électricité par an et équipé d'ultraviolets qui détruisent toute vie, pour la modique somme de... 70 000 € ! Pouvait-on faire aussi bien et moins cher ? Autre questionnement de l'autoconstructeur : en visite chez un ami qui s'était fait faire une piscine conventionnelle, celui-ci remarque qu'il n'y a pas de grenouilles parce qu'elles ne pourraient pas y vivre. « Mais toi, tu t'y baignes ? » lance-t-il. C'est de tout cela qu'est né ce projet, qui montre que les piscines biologiques peuvent être généralisées facilement. En l'espèce, celle-ci, de plus de 120 m², fonctionne parfaitement depuis près de 3 ans. La raison en est simple : elle est exactement conçue comme un organisme vivant, qu'il ne faut pas surcharger d'impuretés, dont il faut contrôler tous les intrants.



L'étanchéité des bassins : 15 cm d'argile ont d'abord été décompactés. Là-dessus, on a étalé de la pouzzolane à la pelle et au râteau sur une épaisseur de 3 à 15 cm (en tout 10 à 15 m) puis on a épandu 40 sacs de chaux (livrés sur une palette).



L'autoconstructeur a brassé le mélange argile/pouzzolane/chaux au motoculteur, en commençant par les gradins. Après, il a tassé au patin vibrant de 90 kg (ce type d'appareil se trouve chez tous les loueurs d'outillage). Le patin vibrant s'arrêtant automatiquement dans les pentes de plus de 30°, il a fallu terminer les pentes à la main avec une dame de 6 kg, exercice long et pénible. Si cela était à refaire, Jean bancherait les 2 murets de séparation entre le bassin de baignade et les 2 bassins de régénération (c'est-à-dire ferait un coffrage où il coulerait un mélange argile/chaux/pouzzolane).



Pour les bords, il a suivi 2 techniques :

- pour les angles droits, qui tombent abruptement, il a réalisé un coffrage, derrière lequel il a tassé le mélange argile/pouzzolane/chaux. On voit ce coffrage en haut à gauche de la photo (il sera ensuite déplacé vers la droite au fur et à mesure ; c'est cela qu'on appelle le « banchage »). Le mélange a été fait dans une bétonnière de 350 l ;
- pour les bords qui ont une inclinaison à 45°, il a tassé au patin vibrant, en dépit du fait que l'angle rende difficile l'utilisation de cet outil. Il a donc dû travailler les plans trop inclinés en grande partie manuellement, en figolant avec une dame à la main (sorte de massette plate au bout). Comptez une journée de travail pour le compactage.



Toujours au motoculteur, Jean a continué à brasser le mélange argile/pouzzolane/chaux au fond du bassin de nage. Il a ensuite tassé le tout au patin vibrant.



Sur cette photo, on voit que le coffrage a été retiré, laissant apparaître la première section du mur.



Comme il a plu le soir même, l'eau, en mouillant le mélange chaux/argile/pouzzolane, a durci celui-ci en un sol imperméable, doucement incliné pour le bassin de nage. Par ailleurs, la pouzzolane a la faculté d'activer la chaux. Il faut cependant savoir que l'humidité naturelle du sol aurait seule suffi à rendre le mélange dur et imperméable.



Fin du remplissage de la piscine. L'eau est venue des gouttières et des pluies. Notez la transparence du liquide qui, ici, a 2 m de profondeur.



Au premier plan (1), l'arrivée de l'eau de pluie dans le bassin de décantation, où elle perd ses impuretés. De là, elle s'écoule sur le premier bassin filtrant (2). Comme pour le second bassin filtrant (3), celui-ci a été remblayé par de la pouzzolane et de la tuile concassé sur 80 cm de hauteur environ, de façon que ces 2 poumons du bassin aient une profondeur de 30-40 cm. Le but ici est de créer une vie anaérobie qui régénère les eaux, digère les débris, décompose les feuilles en dégageant les oligo-éléments et minéraux qui vont nourrir les plantes du bassin. Une partie des feuilles est mangée par de gros insectes à mandibules; de temps en temps, un petit coup d'époussette évite l'envasement. Mais il y a peu d'impuretés, et c'est pourquoi il y a peu de plantes car elles ont peu à manger (si elles étaient plantées en pleine terre, elles seraient luxuriantes).

Les mouvements de convection naturelle (l'eau chaude monte, l'eau froide descend, et il y a le vent) suffisent au brassage de l'eau entre la zone de nage et les bassins épurateurs. Le bassin (2) (avec les nénuphars) a cependant été recreusé de façon à ce que les plantes ne gèlent pas. En premier plan, l'autoconstructeur a installé une plage de sable (4). À signaler que la pente de descente de la zone de nage (5) a été faite avec un léger gravier « lavé » (préciser pour la commande) affleurant de manière à ce qu'on ne glisse pas.

Notez au fond le trop-plein (6). Ce tuyau en PVC gris, inesthétique, sera finalement retiré, laissant son trou pour l'évacuation des eaux.



La piscine vue d'un autre angle. En Vendée, là où la piscine a été creusée, l'évaporation journalière représente 1 cm de niveau d'eau par jour en été : il faut donc prévoir une sur-hauteur pour compenser cette évaporation. Les autoconstructeurs qui ne possèdent pas un sol argileux ou glaiseux peuvent demander à une entreprise de travaux publics d'apporter quelques semi-remorques issues d'excavations de chantier. À la réflexion, Jean pense aussi que la pouzzolane aurait pu être remplacée par du gravier.

Sachez aussi que si la construction s'effectue à l'automne, les surfaces hors eau pourront geler sur 2 ou 3 cm d'épaisseur. Enfin, il faudra plusieurs mois au mélange argileux pour atteindre sa résistance maximum.



Cette piscine, qui repose sur un sol argilo-calcaire, mais très argileux, profond, sans roche, a reçu pour son étanchéité une bâche en PVC de 10/10^e de millimètres (2 200 €) – une pièce unique soudée à l'usine aux bonnes dimensions. La mise en œuvre du bassin a pris près de 3 semaines au propriétaire qui travaillait seul, après 2 jours de tractopelle (coût : 700 €). L'épaisseur de la bâche la rend très solide et, dans l'eau, les mouvements des baigneurs sont amortis... Elle s'use donc très peu, excepté pour sa partie exposée au soleil et aux ultraviolets (jusqu'à 20 cm d'eau). À ces endroits, elle a donc été recouverte d'un autre morceau de bâche, qui subit seul les dégradations. À ces coûts s'ajoutent les plantes, la pompe, la lampe à UV (soit 1 500 € d'appareils), ainsi que l'autoconstruction de la terrasse et de l'abri (3 000 € de matériaux). En totalité, la facture de cette piscine autoconstruite se monte à 8 000 €. (Photos Violaine Comolli.)

Arca Minore : son autonomie en eau

L'un des buts du prototype Arca Minore est de réaliser une superintégration de toutes les techniques « bio » autour de l'eau en conjuguant leurs effets et en minimisant les investissements nécessaires. L'autre but est de réaliser la conservation de l'eau de pluie à l'air libre pour tous les usages de la maison, y compris l'eau de boisson, et de profiter de l'opportunité de la réserve en eau de pluie pour créer un mini-écosystème aquatique : l'un des objectifs de l'expérience est en effet d'accroître la biodiversité autour de l'habitat de manière significative. Évidemment, cela impose un progrès dans l'épuration naturelle des eaux pour aboutir, presque sans technologie, à une eau potable.

C'est pourquoi nous lions : captation des eaux de pluie ; stockage de l'eau de pluie ; épuration des eaux grises ; piscine biologique.

Le système est rendu possible par l'utilisation de toilettes sèches et de 3 composteurs. Il est dimensionné pour un ménage de 4 personnes et lui ferait économiser environ 500 € par an.

Au total, le système de stockage, le réseau, les pompes, les toilettes sèches, le réacteur à eaux grises coûtent environ 4 500 € : cela comprend la pelleuse, les parpaings, le mortier, le ciment, les fers, le mortier d'étanchéité pour les parpaings, le carrelage du petit pont d'entrée de la maison, la pompe extérieure, la pompe intérieure pour amener l'eau des bassins aux robinets, les filtres, la tuyauterie souple armée. Tout le système a été réalisé en autoconstruction ; réalisé par une entreprise, il serait probablement revenu à 20 000 €.

La piscine biologique coûte environ 4 000 €, toujours en autoconstruction ; faite par un artisan, elle reviendrait à 20 000 €.

La récupération de l'eau de pluie

Dans le désert pakistanais, on suit deux règles : recueillir la moindre eau de pluie et la diriger vers des réservoirs enterrés ; on utilise l'eau des sources seulement ensuite. Comme nous l'avons vu, le toit d'une maison seule ne suffit pas à la rendre autonome en eau et il faut lui associer des zones autour de l'habitat – terrasses, parkings, allées, gazon, etc. – disposées de manière à diriger les pluies vers le ou les réservoirs. C'est ainsi que nous avons procédé dans notre prototype.

L'idée a été d'abord de faire converger en un point central le réseau de drains puis d'étendre la surface de captation de l'eau, en donnant aux zones environnant la maison une inclinaison qui permette de rassembler l'eau en certains points, en n'hésitant pas parfois à créer des microbarrages pour la guider.

Les drains auraient été mis en place quoi qu'il arrive, ce point n'a donc pas engendré de surcoût. Par endroits, on n'a pas rebouché certains fossés de drainage : nouvelle économie. L'eau tombe donc du toit sur les pierres et les cailloux qui recouvrent les drains disposés à la limite des fondations et se dirige vers le complexe de 4 réservoirs placés devant la maison. Au total, ce sont 100 m² qui participent directement au remplissage des réservoirs.

À cela s'ajoute la profondeur des fossés de drainage, derrière l'habitat. Quand il pleut beaucoup, notamment en hiver, ces véritables tranchées obligent les eaux souterraines de surface à réémerger et, de là, à couler vers les réservoirs.

Mais un problème s'est posé : dans le bassin final, nous avons recueilli une eau très limoneuse. Même après le passage à travers 3 ou 4 filtres au charbon actif, il restait une légère matière

Point économie

L'investissement global est de 9 500 € environ. Si les travaux étaient réalisés par des entreprises, cela reviendrait à 40 000 €. L'économie est donc de plus de 30 000 €, et le gain annuel de 500 €. Rentabilité : 5,2 %.

en suspension : les tranchées, ouvertes au bulldozer, avaient en effet mis à jour des veines d'argile qui se délitait légèrement après chaque pluie. Il y avait deux solutions : attendre que la végétation fixe à nouveau l'argile ou bétonner le fond des fossés.

En final, nous avons retenu une stratégie mixte : nous allons placer des pierres (récupérées sur un chantier) sur les fonds des tranchées et sur les pentes douces des bassins, laissant l'herbe pousser sur les versants des fossés ; nous avons également prévu de planter des massettes et des roseaux entre les pierres au fond des tranchées.

La piscine biologique, derrière la maison, joue le même rôle que les tranchées. Quand elle est pleine, un mini-ruisseau – parsemé de rochers et de plantes aquatiques – la relie au système des drains.

Le système de captation de l'eau de pluie d'Arca Minore



(1) : la piscine biologique. (2) : la microrivière. (3) : le fossé ouvert. (4) : les bassins de stockage. (5) : le réseau de drains posé contre la maison. (6) : les 3 composteurs derrière la maison. Les flèches rouges indiquent le sens de l'écoulement des eaux de pluie sur la route devant la maison et sur les pentes des allées de circulation.

Gazon	Graviers	Micro-éoliennes piscines bio
Arbres	Jardins potagers et agricoles	Panneaux solaires
Toits d'ardoises	Toits végétaux	

À savoir

Laissez toujours un fond d'eau dans les bassins afin que les plantes aquatiques subsistent en période de sécheresse.

Stockage et purification de l'eau de pluie

Les « règles de l'art » et les recommandations sanitaires veulent, comme nous l'avons dit, que l'eau de pluie destinée aux usages de la maison soit conservée enterrée : dans le noir, les algues ne peuvent pas se développer ni, par voie de conséquence, toute la chaîne alimentaire des bactéries et des virus. Au soleil, une eau stagnante est en effet la pire des solutions aqueuses, infectée par d'innombrables pathogènes, peuplée de larves de moustiques. Comment conserver, en extérieur, une eau de qualité, quand bien même des fleurs et des feuilles y tomberaient et qu'une petite faune d'insectes et quelques poissons s'y développeraient ? Pour cela, nous avons repris les techniques de la phyto-épuration.

Les bassins filtrants

Nous avons donc fait le choix d'associer 4 réservoirs à l'air libre. Nous vous présentons ici l'installation en cours d'expérimentation.

En premier lieu, l'eau circule entre les 4 bassins, s'oxygénant et contribuant ainsi à la destruction des micro-organismes pathogènes. Cependant, nous avons choisi pour faire circuler l'eau une pompe solaire : elle fonctionne 2 000 h par an, ce qui signifie que le système est arrêté 75 % du temps. Il faut donc qu'il possède des capacités auto-épuratives importantes. Pour cela, au fond de chaque bassin se trouve un lit de pouzzolane : cette pierre volcanique abrite dans ses myriades de cavités de très nombreuses bactéries épuratives. Les particules tombent sur ce fond minéral qui reste aéré grâce aux racines des plantes et à la morphologie des cailloux de pouzzolane, permettant ainsi à des bactéries aérobies (qui vivent en milieu oxygéné) de minéraliser les déchets que leur apporte l'eau dans sa circulation incessante. Ces minéraux sont ensuite absorbés par les plantes, qui assurent ainsi leur propre développement.

Si nous nous apercevons que cela n'est pas suffisant, nous relierons la pompe au réseau électrique de la maison pour la faire fonctionner en permanence. À voir, donc...

En amont, le premier bassin renferme une série de couches épuratives. Sont disposés sur une hauteur de 1,5 m, de haut en bas : du gravier ; du sable de Loire ; de la pouzzolane ; du charbon actif ; du gros gravier, autour de la prise d'eau emmitoufflée dans un feutre géotextile pour qu'elle ne se bouche pas.

Le même feutre emprisonne chaque couche, de façon qu'il n'y ait aucun mélange et pour prévenir les colmatages et faciliter l'entretien (il faut changer le charbon actif tous les 2 à 3 ans). Dans chacun des 4 bassins, on retrouve des plantes épuratives, plantées dans des pots remplis de sable : massettes (*Typha latifolia*) ; scirpes (*Scirpus lacustris*) ; iris (*Iris versicolor*, par exemple) ; menthe aquatique (*Mentha aquatica*) qui est bactéricide ; plantes flottantes, comme des lentilles d'eau et des nénuphars. Quelques poissons chargés de manger les larves de moustiques vont vivre dans les cuves. Certes, ils produisent quelques urines et fèces, mais nous considérons qu'il y aura toujours des visiteurs dans les bassins : insectes, batraciens, oiseaux... quelques petits poissons de plus ne changent donc pas grand-chose. Mieux, ils sont le test ultime des capacités épuratives du bassin.



Les 4 réservoirs de stockage devant la maison. Leur mise en service est prévue dans le courant de l'année 2007-2008.

Principe d'une installation filtrante

Le schéma page suivante montre le principe d'une telle installation (il utilise 2 pompes, mais dans la pratique une seule peut suffire). Il reprend l'idée générale des circulations qui, ensuite, doivent s'adapter au terrain, le mieux étant d'avoir un système en cascade avec une seule pompe tel que le nôtre.

Après passage dans les 4 bassins, l'eau entre dans un tube en J, qui plonge dans le dernier bassin. La partie en J de ce tube contient encore du sable de Loire, derrière le sable se trouve la tête de la pompe auto-amorçante. Cette pompe, reliée aux robinets de la maison, se met en marche dès qu'on en ouvre un. Sur le chemin du tuyau, immédiatement après la tête de pompe, se trouve un filtre de 10 microns.

À ce stade, cette eau est utilisable, sans traitement supplémentaire, pour le jardinage, pour le lavage des sols, pour se doucher, pour laver le linge et la vaisselle (hors rinçage).

La qualité de l'eau de ces réservoirs à ciel ouvert, une fois filtrée, est au moins équivalente aux eaux des étangs les plus propres dans lesquels chacun s'est déjà baigné.

On peut donc tout à fait l'utiliser pour prendre une douche ou un bain ; en outre, shampoings et savons sont bactéricides et même virucides (tueurs de bactéries et de virus).

Mais on ne peut pas la boire, ni cuisiner et rincer la vaisselle avec elle... Pour cela, sous l'évier, on installera un filtre Doulton (voir page 175).

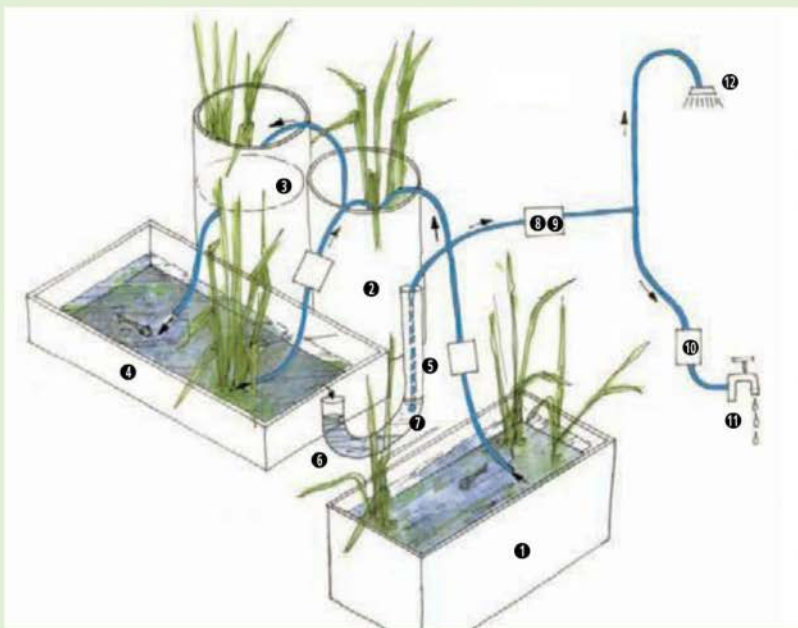
Le réseau d'eau dans la maison est uniquement constitué de tuyaux souples armés, rouges pour l'eau chaude, bleus pour l'eau froide. Naturellement, nous n'avons pas le réseau d'eau public et notre eau circule à basse pression (environ 2 bars), ce qui, à notre avis, est bien suffisant.

Construction du réservoir principal



L'eau de pluie arrive par une pompe dans ce réservoir vert cylindrique – une simple cuve de récupération de l'eau de pluie ; l'eau coulera à travers des couches minérales et de charbon actifs épurantes vers le bassin en plastique noir et, de là, vers la cuve en contrebas réalisée en parpaings solidement ferrailés et abondamment étanchéifiés grâce à un mortier spécial.

Principe de circulation et de filtration d'une réserve d'eau de pluie à ciel ouvert



Le bassin (1) récupère les eaux de drainage et du toit. Les eaux vont à la cuve (2) qui possède 5 couches filtrantes. De la cuve (2) l'eau va à la cuve (3), puis descend dans le bassin (4), d'où elle remonte vers le bassin (2). Le tube en J (un tube en PVC gris de 30 cm de diamètre) (5) plonge dans la cuve (4).

Au fond du tube, après du sable de Loire (6) se trouve la tête (7) de la pompe auto-amorçante (8) derrière laquelle se trouve le filtre 10 microns (9). Un filtre Doulton (10) est placé juste avant le robinet d'eau froide de la cuisine (11). Notez que l'eau de la douche (12) arrive après l'épuration via le filtre à 10 microns.

L'épuration des eaux grises

Dans notre maison de 30 m² ne vivent que deux personnes à mi-temps. Nous consommons fort peu d'eau : 50 l par jour. Grâce aux toilettes sèches, nous ne produisons pas d'eaux-vannes. Nous avons donc installé un réacteur à eaux grises de 500 l, suivi d'une tranchée végétale de 2 m débouchant sur une minimare de 1 m³. La configuration du site ne permetait pas de la faire plus grande, mais dans la pratique, il y a peu d'eau dans cette minimare en raison de nos fréquentes absences. C'est pourquoi nous l'avons placée contre la cuve de réception des eaux de pluie. À cet endroit, les parpaings n'ont pas été étanchéifiés : l'eau de la cuve percole ainsi à travers le béton et maintient constamment en eau la minimare, dans laquelle est planté un bouquet de massettes.

La piscine biologique

Qu'est-ce qu'une piscine biologique ? C'est une piscine qui mime la nature par une succession de terrasses immergées de plus en plus profondes ; elles accueillent des végétaux de rive (0-30 cm), puis de mi-eau (30-50 cm), puis d'eau plus profonde (plus de 50 cm), ainsi que des plantes flottantes ; une circulation d'eau, généralement forcée, produit un courant en boucle qui part du bassin principal, profond en général de 2 m, pour passer en surface dans les bassins plus superficiels.

Organisation de la piscine

Notre but étant de reproduire la nature le plus exactement possible, nous avons fait creuser un mini-étang test, profond de 2 m, d'une superficie de 25 m², et dont la pente descend régulièrement du nord au sud (il est orienté comme une maison bioclimatique, dos au nord et face au sud ; aucune raison de changer de principe). Les matériaux extraits ont été conservés à proximité, afin d'être utilisés plus tard pour modeler le site si besoin.

Ce vaste trou d'eau a été mis en observation sur 12 mois. Dès novembre, la pluie l'a rempli jusqu'à ce qu'il déborde ; l'eau était trouble. Au fil de l'année, le niveau a baissé de 50 cm jusqu'à la fin de l'été, tandis que l'eau est devenue claire ; puis le niveau a remonté avec les pluies. Néanmoins, la très fine pellicule limoneuse qui s'est déposée sur le fond trouble l'eau dès que nous y marchons.

La nature du sol, très argileux, le rend étanche. Il n'y a donc pas besoin d'imperméabiliser la piscine. En outre, étanchéifier et bâtir un bassin en dur empêcherait les eaux souterraines de surface de venir remplir le bassin au cours de la saison pluvieuse. Le sol naturel se



Une piscine biologique fraîchement achevée. L'implantation en village a ici imposé un bassin régénérateur court, donc un système de pompage puissant. (Conception et photo Aquatiss.)



Type de flore s'implantant dans les jardins filtrants des piscines naturelles.

La superficie des zones épuratives

Pour un bassin de nage de 5 m x 3 m (15 m²), on compte au moins 15 m² de zones épuratives. Ici, nous opterons pour 30 m² : en effet, un habitat autonome génère peu d'électricité, pas assez pour entretenir une pompe puissante et ses filtres associés. C'est pourquoi on double cette zone.

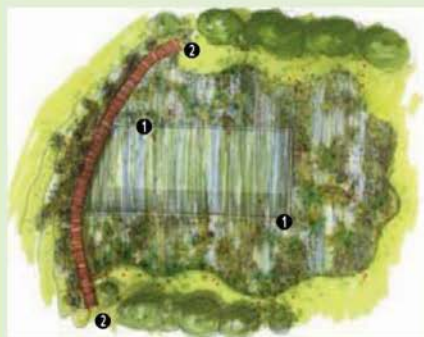
compose d'un humus sur 10 cm, puis d'argile sur 1,3 m et d'une dernière couche, très dure ; c'est un schiste argileux qui se désagrège en plaques horizontales et que l'on peut attaquer facilement à la pioche en frappant de biais.

Autre constatation : à la fin d'un été exceptionnellement pluvieux, le niveau de l'eau diminue de 50 cm ; il faut donc considérer qu'il diminuera d'environ 80 cm à la fin d'un été sec. Les cotes de la piscine devront être établies en conséquence : la profondeur maximale passera de 2 à 3 m ; la première terrasse, destinée à accueillir les plantes de rive, commencera à la cote de - 80 cm à partir du niveau du sol.

Par ailleurs, comme nous l'avons expliqué précédemment, un mini-ruisseau évacuera le trop-plein vers les réservoirs situés devant la maison ; son lit de gravier rose sera parsemé de rochers de même couleur et semé d'iris de toutes les nuances, ainsi que de roseaux ; le ruisseau aura une profondeur de 30 cm (creuser jusqu'à 40 cm pour tenir compte des 5-10 cm de gravier à ajouter ensuite) ; toujours sous le gravier, là où l'on sèmera des iris, de petites poches de terre seront pratiquées dans l'argile.

Dans la zone de régénération, de la pouzzolane sera partout mélangée au gravier du fond, pour que les bactéries épuratives s'installent sur tous les fonds. Aux angles du bassin de nage seront plantés des massifs de massettes.

Deux exemples de piscines biologiques



Posée sur un terrain au sol léger, donc très perméable, elle se rapproche de la piscine classique. Des éléments de bâche étanche (en polychlorure de vinyle - PVC - ou en polyéthylène d'une épaisseur de 1 mm) sont soudés entre eux ; faites souder les bandes avant livraison (ne le faites surtout pas vous-même !). La bâche est posée sur un lit de sable. Les limites de la zone de nage (1) sont en béton banché (coulé dans un coffrage que l'on enlève ensuite). Le pont en bois (2) intègre la piscine dans la circulation générale du jardin, les zones de repos sont les zones herbeuses au bord de la zone d'épuration.



Ici la première zone d'épuration (1) est celle des 0-30 cm de profondeur : elle est l'habitat des iris des marais, joncs nains, plantain d'eau, trèfle d'eau, soucis d'eau, massettes naines, etc. Cette zone peut s'assécher en été. La deuxième zone (2) est celle des 30-50 cm de profondeur : c'est là que vivent les plantes épuratives, menthe aquatique, jonc des tonneliers, massette, petit nénuphar jaune, sparganier, grande douve, etc. La troisième zone (3), celle des 50 cm-1 m, est le domaine du grand nénuphar jaune, des nénuphars de toutes variétés, du potamot nageant, de la renouée amphibie, etc.

Les pentes, douces, sont à 45° au niveau des terrasses. Dans le bassin profond de 3 m, la pente sera verticale sur 1-1,5 m. À ce niveau, il y a plusieurs solutions pour empêcher les éboulements :

- placer un coffrage de bois (non traité) ;
- empiler des sacs à gravas (blancs donc lumineux, et ajourés donc laissant l'eau perfuser dans un mélange gravier/pouzzolane) ;
- réaliser une ceinture en béton coulé (choisissez un béton de couleur, bleu par exemple : il faut prendre un béton blanc et ajouter un pigment) ou en parpaings, crépis et colorés.

Pour délimiter la zone de nage, nous plantons quand à nous des blocs en béton de 100 kg (à couler après les avoir ferraillés) 8 solides piquets de bois, reliés les uns aux autres par de grandes planches horizontales non traitées. Il restera à faire un ponton pour amener les baigneurs jusqu'à la zone de nage. À noter que le bois totalement immergé ne se décompose pas.

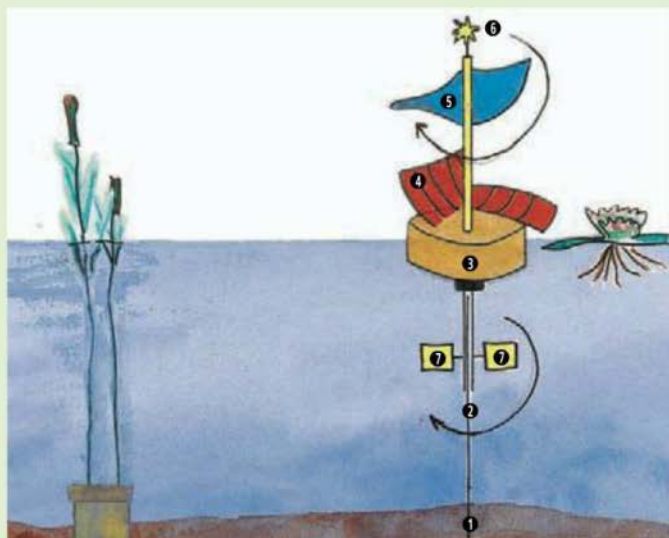
Une fois que tous ces éléments sont installés, vous épandez sur l'ensemble de la piscine une couche de 10 cm de gravier mêlé à de la pouzzolane (n'oubliez pas de tenir compte, pour vos cotes, de ces 10 cm qui remontent les fonds du bassin en fin de travaux).

La circulation de l'eau par éolienne

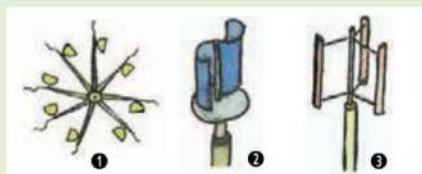
Il est nécessaire de générer un courant d'eau pour faire passer l'eau du bassin le plus profond dans les zones épuratives plus superficielles.

On testera d'abord des éoliennes autoconstruites qui, posées en divers points de la surface de l'eau, la brasseront naturellement. Si cela ne suffit pas, on utilisera probablement une pompe solaire du type Aquatiss (voir page 213) associée à un panneau solaire supplémentaire de 1 m².

Éolienne autoconstruite à ailettes



- (1) : piquet en métal planté dans le sol. (2) : tube en PVC ou en cuivre. (3) : base en polystyrène expansé. (4) et (5) : ailettes aériennes. (6) : étoile. (7) ailettes immergées.



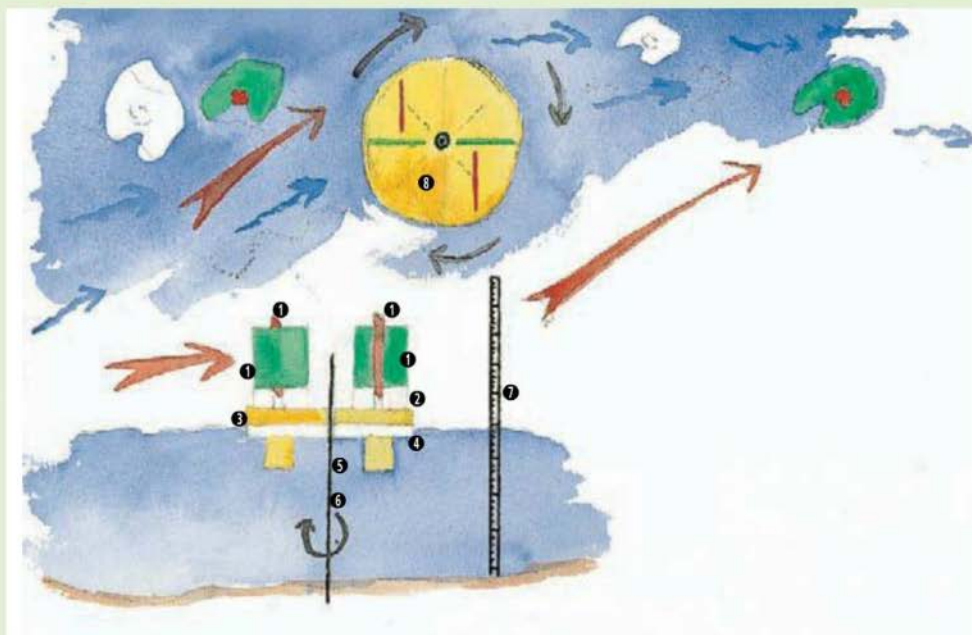
Parties aériennes de trois formes d'éoliennes autoconstruites opérationnelles. (1) : éolienne à godets. (2) : éolienne Savonius. (3) : éolienne Darrieus.

Trois formes d'éoliennes aquatiques autoconstruites, l'éolienne à godets, l'éolienne Savonius et l'éolienne Darrieus sont reconnues pour leur efficacité (voir schéma). En revanche, l'éolienne à ailettes et l'éolienne à voile doivent encore être testées, réglées au fil des jours.

Principe d'une éolienne autoconstruite à ailettes

Un piquet en métal est planté dans le sol. Il constitue l'axe de l'éolienne aquatique et s'insère dans un tube en PVC (à peindre) ou en cuivre acheté dans le rayon plomberie d'une grande surface. Il passe à travers une base en polystyrène expansé (peinte) chargée de faire flotter le tout. Le piquet permet à l'éolienne de monter et de descendre en suivant le niveau de l'eau. On trouve ces piquets en métal en grandes surfaces de bricolage ; ils servent à ferrailer les murs avant le coulage du béton. Sur la partie aérienne sont fixées deux ailettes, puis, au-dessus, deux autres ailettes ; enfin, en haut, on plante une petite étoile. Les ailettes chargées de brasser l'eau du bassin sont accrochées à la partie immergée du tube. Le tout tourne sous l'effet du vent autour du pivot. Les ailettes renforcent la force du courant mis en œuvre par le vent, qui s'ajoute aux courants de convection (l'eau chaude monte, l'eau froide descend).

Éolienne autoconstruite à voiles



(1) : voiles. (2) : piquets en métal. (3) : base en contreplaqué. (4) : base en polystyrène expansé. (5) : trou. (6) : axe en métal. (7) : hauteur de l'éolienne. (8) : ailettes de brassage de l'eau. Les flèches rouges représentent le sens du vent ; les flèches noires indiquent le sens de la rotation de l'éolienne ; les flèches bleues le sens du courant.

Principe d'une éolienne autoconstruite à voiles

Dans ce cas, les voiles, dressées et tendues entre des piquets en métal, reposent sur une base en contreplaqué qui donne sa rigidité à l'ensemble. Sous le contreplaqué, on fixe une base en polystyrène expansé en la collant. Le centre est percé d'un trou par lequel est fiché l'axe en métal. La hauteur de l'éolienne est de 30 cm environ ; les ailettes font 10 x 10 cm – leur dimension sera à régler après des essais ; trop grandes, l'éolienne ne tournera pas. Les ailettes de brassage de l'eau sont fixées sous la face interne de la base en contreplaqué grâce à des vis.

Coût des travaux

Les coûts sont les suivants :

- 2 h de bulldozer, 200 € ;
- 250 sacs à gravas blanc tissés (50 cm x 90 cm), 250 € ;
- bois, 1 000 € ;
- 30 m³ de gravier, 900 € ;
- 7 m³ de pouzzolane, 1 500 € (6 € le sac de 30 kg) ;
- livraison gravier et pouzzolane, 150 € ;
- pompe et panneau solaire photovoltaïque, 1 800 € ;

Total : 5 800 €, 4 000 € sans la pompe et son panneau solaire.

Ces coûts ne tiennent pas compte de la main-d'œuvre et, sans avoir achevé ce chantier, il est encore difficile d'estimer le temps que cela prendra : pour une personne seule, comptez à notre avis 40 jours, soit une vingtaine de week-ends. Sachez qu'un particulier peut employer un ouvrier, à condition de ne pas le payer au-dessous du SMIC, de faire une déclaration d'embauche auprès de l'Urssaf et d'établir en deux exemplaires un contrat de travail (même sur papier libre).

Ces coûts sont à comparer à ceux des piscines hors-sol (en bois et plastique) – de 1 500 (voire 700) à 6 000 € ; d'une piscine hors-sol en bois – de 3 000 à 10 000 € (voire plus) ; d'une piscine monobloc – de 15 000 à 25 000 € ; d'une piscine en panneaux préfabriqués – de 5 000 à 15 000 € (kit), de 10 000 à 45 000 € (artisan) ; d'une piscine en béton armé (à partir de 25 000 €). Par l'importance de sa mise en œuvre, notre piscine biologique se rapproche de ce dernier modèle, sans les inconvénients des filtres, des nettoyages, du remplissage, etc.



Cette pompe solaire commercialisée par Aquatiss consomme moins de 100 Wh pour un débit de 12 000 l/h (environ 350 €). Il faut néanmoins la raccorder à un panneau solaire de 1 m² d'au moins 125 Wc et l'associer à une batterie. Elle s'intègre dans une installation comportant 2 panneaux solaires et 1 éolienne.



Préprototype Arca minore.

Adresses utiles

Association ARCA MINORE
Maison des associations
181, av. Daumesnil, 75012 Paris
E-mail : renovation.associati@free.fr

Association CARAPA (petit hydro-électrique)
Vaugran, 30350 Saint-Paul-Lacoste
Tél. : 04 66 30 13 42
Site Internet : <http://carapa.kiosq.info>

Association EAU VIVANTE
Borthélo, Route de Bégarosse, 56360 Le Palais
Tél. : 02 97 31 29 17
Site Internet : <http://eauvivante.net>
E-mail : eauvivante56@gmail.com

Association LA CAISSE À CLOUS
Site Internet : www.caisseaclo.us.infini.fr

Association TRIPALUM
Site Internet : www.tripalium.org

Atelier D
156, rue Oberkampf, 75011 Paris
Tél. : 01 43 55 91 19
E-mail : contact@atelier-d.fr
Site Internet : www.atelier-d.fr

Autoconstruction d'une piscine biologique
Site Internet : www.nalou.com

CAP 21 - M. Carraz
Tél. : 05 53 20 70 44
Site Internet : www.soleil-plus.com

CLUB BIOGAZ
Atee, 47 avenue de Laplace, F-94 117 Arcueil
Tél. : 01 46 56 41 43

Gestion de l'eau et Études de phyto-épuration
(filtres plantés)
en association avec Toilettes sèches,
ANNE RIVIÈRE
Tél. : 05 62 65 70 79 / 06 86 74 64 66
E-mail : anne.riviere@yahoo.fr

HUGH PIGGOTT
Site Internet : www.scoraigwind.com

ID SOLAIRES
Site Internet : www.idsolaires.fr

IREM SPA
(seul producteur en Europe de turbines
pour minicentrales hydrauliques)
Tél. : 00 39 11 9648211
Site Internet : www.irem.it

LABEL VERTE
2 bis, rue du Pont-du-Râteau, 49250 Saint-Mathurin-sur-Loire
Tél. : 06 28 22 03 77
Site Internet : www.labelverte.org

Poêle de masse en kit
POTERIE SUFFLOUM
10, rue de Bischwiller, 67620 Soufflenheim
Tél. : 03 88 86 60 07
Site Internet : www.kachelofe.com

Pour découvrir la maison autonome
de Patrick BARONNET
Héol, route de Louisfert, 44520 Moisdon-la-Rivière
Tél. : 02 40 07 63 68
E-mail : heol@waika9.com
Site Internet : <http://heol.org>
La maison se visite certains week-ends.
Des stages sont par ailleurs régulièrement organisés.

Revue PASSERELLE ÉCO
Corcelle, 71190 La-Chapelle-sous-Ucho
Site Internet : www.passerelleeco.info

SOLÉNOVE ÉNERGIE CANADA INC.
Québec (Canada)
E-mail : gerard.roberge@videotron.ca

Bibliographie

Brigitte BARONNET et Christèle SAVARY, *Raconte-moi... la Maison Autonome*, La maison autonome, 2006

Patrick BARONNET, *De la maison autonome à l'économie solidaire*, La maison autonome, 4^e éd. 2001, préface de Joseph Orszagh.

Patrick BARONNET, *Maison 3E : Écologique - Économique - Entr'aide* (DVD), La maison autonome, 2004

Cécile BAUDET, Marie-Dominique GUIHARD, Emmanuelle MAYER, *Les plantes qui purifient l'air de votre maison*, coll. Vivons bio, Anagramme Éd., 2007

Pierre-Gilles BELLIN, *Se chauffer au bois*, Eyrolles, 2006

André de BOUTER, *Bâtir en paille : guide pratique de la construction en bottes de paille*, La Maison en paille, 2006

Jennifer CHEN, *Le feng schui, ça marche*, coll. Environnement et santé durables, Dangles, 2005

CRArre, *Traité de construction en terre*, Éd. Parenthèses, 2006

Jean-Paul DILLENGER, *Habitation et santé : éléments d'architecture biologique*, coll. Vie et Survie, Dangles, 1986

Cathy DUBOURG et Thierry BAFFOU, *D'un voyage à d'autres*, Éd. Goutte de sable, 2005

Christophe ELAIN, *Un petit coin pour soulager la planète : toilettes sèches et histoire d'eau*, Éd. Goutte de sable, 2006

EAU VIVANTE (assoc.), *Toilettes sèches et épuration des eaux de lavage par les bassins-filtres à plantes aquatiques*, 2005

Léopold FRANCK, *Les baignades biologiques : principes de fonctionnement et de construction*, coll. Les techniques de l'aquatique, Jardins et décors aquatiques, 2006

Thierry GAUTIER, *Guide pratique de l'habitat sans nocivité pour la santé*, Éd. Conscience verte, 2007

Juliette JALENQUES, *Le standard Passivhaus, ou Quelles conditions pour le développement d'un label basse consommation pour les bâtiments ?*, mémoire de fin d'études, 2007

Lloyd KAHN, *Homework : Maisons à construire*, Éd. Parenthèses, 2006

Edward MAZRIA, *Le guide de la maison solaire*, Éd. Parenthèses, 2005

Bruno PIGNAL, *Terre crue, techniques de construction et de restauration*, coll. Au pied du mur, Eyrolles, 2005

Emmanuel RIOLET, *Le mini-éolien*, Eyrolles, 2007

Éric SABOT, *La pratique du compost et des toilettes sèches*, La maison autonome, 2005

ROULE MA FLEUR (assoc.), *Rouler avec des fleurs*, 2007

Tom RIJEN, *Entre paille et terre*, Éd. Goutte de sable, 2007

Jean SOUME, *Dômes, zomes, autoconstruction*, chez l'auteur, 2004

Bill et Athena Swentzell STEEN, *Petite botte de paille : maisons naturelles : projets et conceptions*, Éd. Goutte de sable, 2007

Nancy TODD et New Alchemist Institute, *Ecodesign : des solutions pour sauver la planète*, Éd. Écosociété, 2007

Brigitte VU, *L'habitat écologique et les aides de l'État*, Eyrolles, 2006

Daniel WRIGHT, *Manuel d'architecture naturelle*, Éd. Parenthèses, 2004

Aux Éditions Eyrolles

Techniques environnementales, économies d'énergie

P.-G. BELLIN, *Se chauffer au bois*, coll. Petite Encyclo Maison, 2006

B. BÉRANGER, *Les pompes à chaleur*, 3^e éd. 2009

P. DE HAUT, *Chauffage, isolation et ventilation écologiques*, 2007

P. DE HAUT, *25 moyens d'économiser son argent et son environnement*, 2007

C. DUBOIS, *Le guide de l'éolien, techniques et pratiques*, 2009

B. HERZOG, *Le puits canadien*, 2007

E. RIOLET, *L'énergie solaire et photovoltaïque pour le particulier*, 2008

E. RIOLET, *Le mini-éolien*, 2007

M. TISSOT, *Le guide de l'énergie solaire, thermique et photovoltaïque*, 2008

B. VU, *La maison à énergie zéro*, 2007

B. VU, *L'habitat écologique et les aides de l'État*, 2006

B. VU, *Récupérer et gérer les eaux de pluie*, 2006

Mise en œuvre des matériaux naturels, réhabilitation écologique

Collection Au pied du mur

Y. BARET, *Restaurer sa maison, guide d'intervention sur le bâti ancien*, 2006

J. et L. COIGNET, *La maison ancienne, construction, diagnostic, interventions*, 2^e éd. 2007

J. et L. COIGNET, *Maçonnerie de pierre*, 2007

Collectif d'auteurs, *Fermes et maisons villageoises, 30 exemples de réhabilitation*, 2005

O. HUET, P. BERTHOLON, *Habitat creusé*, 2005

B. PIGNAL, *Terre crue, techniques de construction et de restauration*, 2005

Collection Petite Encyclo Maison/Chantiers pratiques

Y. BARET, *Traiter l'humidité*, 2007

M. DEWULF, *Le torchis, mode d'emploi*, 2007

B. DUQUOC, *Entretenir sa maison en 10 leçons*, 2007

I. JOUHANNEAU, *Faire le bio-bilan de sa maison*, 2008

C. LASSURE, *La pierre sèche, mode d'emploi*, 2008

P. LE GOARNIG, *L'isolation bio de la maison ancienne*, 2008

G. SAINSAULIEU, *Aménager les combles de sa maison ancienne*, 2008

J.-L. VALENTIN, *Le colombage, mode d'emploi*, 2006

J.-L. VALENTIN, *La charpente, mode d'emploi*, 2008

I. VIAGARDINI, *Enduits et badigeons de chaux*, 2006

Hors collection

Y. BENOIT et T. PARADIS, *Construction de maisons à ossature bois*, 2009

Collectifs d'auteurs, *Installer un chauffage ou un chauffe-eau solaire*, 2008

Collectif d'auteurs, *Guide de la biorestauration*, à paraître

T. GALLAUZIAUX et D. FEDULLO, *Le grand livre de l'isolation*, 2009

R. NEWMAN, *Construction traditionnelle à ossature bois*, 2007

A. LIÉBARD, *Architectures solaires*, 2009

Table des matières

Introduction p. 8

Partie I – Chauffer, rafraîchir, ventiler p. 13

Chaud et froid : comment ça marche ? p. 15

La circulation de l'air chaud p. 15

Le mécanisme de la chaleur corporelle p. 15

Quand a-t-on chaud ou froid ? p. 15

L'importance de l'humidité p. 16

Le rôle des vêtements p. 17

Face au soleil ou non ? p. 18

Et le vent ? p. 18

Les ponts thermiques p. 18

L'isolation p. 19

Un peu de physique p. 19

La conductivité thermique, ou coefficient lambda p. 19

La transmission thermique p. 19

La résistance thermique p. 20

Formule des ponts thermiques p. 20

La réflexion thermique p. 20

L'isolation des murs p. 20

Les isolants minces p. 22

Les vitrages p. 25

Un habitacle étanche... à l'air p. 27

Cas pratique 1 – Calculer la résistance thermique d'une paroi p. 29

Cas pratique 2 – Cas concrets : quels isolants pour quelles performances ? p. 31

La maison passive p. 35

Les consommations énergétiques : quelques factures-types p. 36

Treize règles à connaître pour réussir son habitat passif p. 36

L'orientation de la maison p. 37

L'environnement de la maison p. 38

L'isolation des murs p. 39

L'isolation par l'intérieur p. 39

L'isolation par l'extérieur p. 40

L'isolation répartie p. 41

L'isolation des toits p. 41

La toiture-terrasse végétale p. 42

Utiliser les propriétés de la terre p. 42

Coûts comparés d'une toiture traditionnelle et d'un toit-terrasse p. 43

Performances thermiques p. 46

Poser les couches d'une toiture plate végétalisée sur une maison

en ossature bois p. 46

Principes du stockage de la chaleur p. 51

Calculer la chaleur à mettre en réserve p. 51

Faire entrer la chaleur ou la fraîcheur dans les matériaux
de stockage p. 52

L'isolation du sol p. 57

Le principe du vide sanitaire p. 57

Stocker les calories dans le sol de la maison p. 58

Capter l'air chaud p. 59

Gérer la vapeur d'eau p. 65

Un point de rosée dans chaque maison et appartement p. 66

L'évacuation « bio » de la vapeur d'eau p. 67

La ventilation p. 68

La ventilation mécanique à échange de chaleur p. 69

La ventilation et la climatisation naturelles p. 69

Le puits canadien p. 70

La tour à vent p. 71

Cas pratique 3 – Une architecture bio-économique p. 72

Cas pratique 4 – Un cas problématique... p. 74

Cas pratique 5 – Les fondations du prototype de Moisdon-la-Rivière
(interview de Patrick Baronnet) p. 75

Cas pratique 6 – Autoconstruire des fondations isolées périphériques p. 76

Cas pratique 7 – Résoudre le problème des condensats dans un puits canadien p. 78

Cas pratique 8 – Transformer son appartement en appartement passif p. 80

Produire de la chaleur p. 83

La chaleur du soleil p. 83

Principe du chauffe-eau solaire p. 83

Construire son chauffe-eau solaire p. 85

La chaleur de la terre p. 86

Le principe de la pompe à chaleur p. 86

Rendement financier des pompes à chaleur p. 86

La chaleur du bois p. 86

La cheminée à foyer fermé p. 87

La répartition de la chaleur p. 88

L'alimentation en air frais p. 88

Capitaliser la chaleur par le poêle de masse p. 89

Les biocheminées à l'éthanol p. 92

Cas pratique 9 – Un gîte d'étape qui chauffe ses 300 m² pour... 700 € par an p. 93

Cas pratique 10 – Arca Minore : une combinaison des systèmes passifs p. 95

Partie II – L'électricité p. 101

Un peu de physique p. 103

Qu'est-ce que l'électricité ? p. 103

Volts et ampères p. 104

La circulation de l'énergie p. 104

Courant alternatif ou continu ? p. 104

La puissance des appareils électriques p. 105

Qu'est-ce que la « résistance » d'un fil électrique ? p. 105

Watts, fils électriques, volts et ampères p. 106

Économiser l'électricité p. 107

Calculez votre consommation p. 107

La consommation d'un ménage type de 4 personnes p. 111

La facture d'électricité d'un ménage très économe de 2 personnes p. 113

Les dix commandements de la maison économe p. 113

Les systèmes économiques d'éclairage p. 114

Les LEDs p. 114

Le câblage autonome p. 116

Les puits de lumière p. 117

La brique solaire p. 117

Cas pratique 11 – Produire le gaz de sa cuisinière

(interview de Claude Servais, délégué général du Club biogaz) p. 118

Parvenir à l'autonomie électrique p. 119

Réduire de manière drastique ses dépenses électriques p. 119

L'électricité photovoltaïque p. 121

Les cellules solaires p. 121

Onduleur, régulateur de charge, bras d'orientation p. 122

La surface des capteurs photovoltaïques p. 123

Les batteries de l'installation autonome p. 124

Coût et rendement p. 125

Une installation photovoltaïque reliée au réseau p. 125

Une installation photovoltaïque autonome p. 126

Vendre son courant p. 126

L'électricité éolienne p. 127

L'éolienne, quand cela marche-t-il ? p. 128

Le régulateur p. 128

Coût et rendement d'une petite éolienne « classique » p. 129

Coût et rendement d'une micro-éolienne sans mât p. 130

L'électricité hydraulique p. 130

Cas pratique 12 – J'ai installé ma minicentrale hydraulique moi-même

(interview d'Olivier Rognon) p. 131

Cas pratique 13 – Arca Minore : son autonomie en électricité p. 133

Cas pratique 14 – Construire éolienne et mât pour 1900 € p. 138

Cas pratique 15 – Id solaires : retour d'expérience sur la production électrique individuelle p. 141

Cas pratique 16 – Micro-installation d'électricité autonome p. 144

Cas pratique 17 – Une installation de production photovoltaïque p. 145

Partie III – L'eau et les déchets p. 147

Notions de physique, de réglementation et de santé p. 149

Un peu de physique p. 149

Droit et normes p. 150

L'eau potable p. 150

Les puits p. 151

Réseau d'eau potable et réseau d'assainissement :
se raccorder ou non ? p. 151

Le cas particulier des toilettes sèches p. 152

Dans les zones reliées au tout-à-l'égout p. 152

Dans les zones non reliées au tout-à-l'égout p. 152

Crédit d'impôt et récupération des eaux de pluie p. 153

La qualité de l'eau p. 153

Économiser l'eau p. 155

Calculer sa consommation p. 155

Une facture d'eau en augmentation p. 156

De fortes disparités selon le lieu p. 158

La part de l'abonnement et des taxes p. 158

Les économies les plus simples à réaliser p. 159

Les gestes les plus simples p. 159

Quelques autres petits changements... p. 160

Les douchettes à turbulence p. 160

Les mitigeurs thermostatiques p. 160

Les stop douche p. 160

Les mousseurs p. 160

Le jardin p. 161

Quelques mesures simples p. 161

Recueillir l'eau p. 163

Recueillir l'eau de pluie p. 163

L'acidité et la dureté de l'eau p. 163

Les qualités de l'eau de pluie p. 163

Estimer la quantité d'eau que l'on peut recueillir p. 164

Estimer le volume du réservoir idéal p. 164

Stocker sous la terre p. 164

Recueillir l'eau du sous-sol et des cours d'eau p. 167

Forer un puits p. 167

Capter l'eau d'un ruisseau p. 168

Purifier l'eau pour la rendre consommable p. 169

Faire analyser son eau p. 170

La purification industrielle de l'eau p. 171