

Technologie du bâtiment Isomax / Terra-Sol

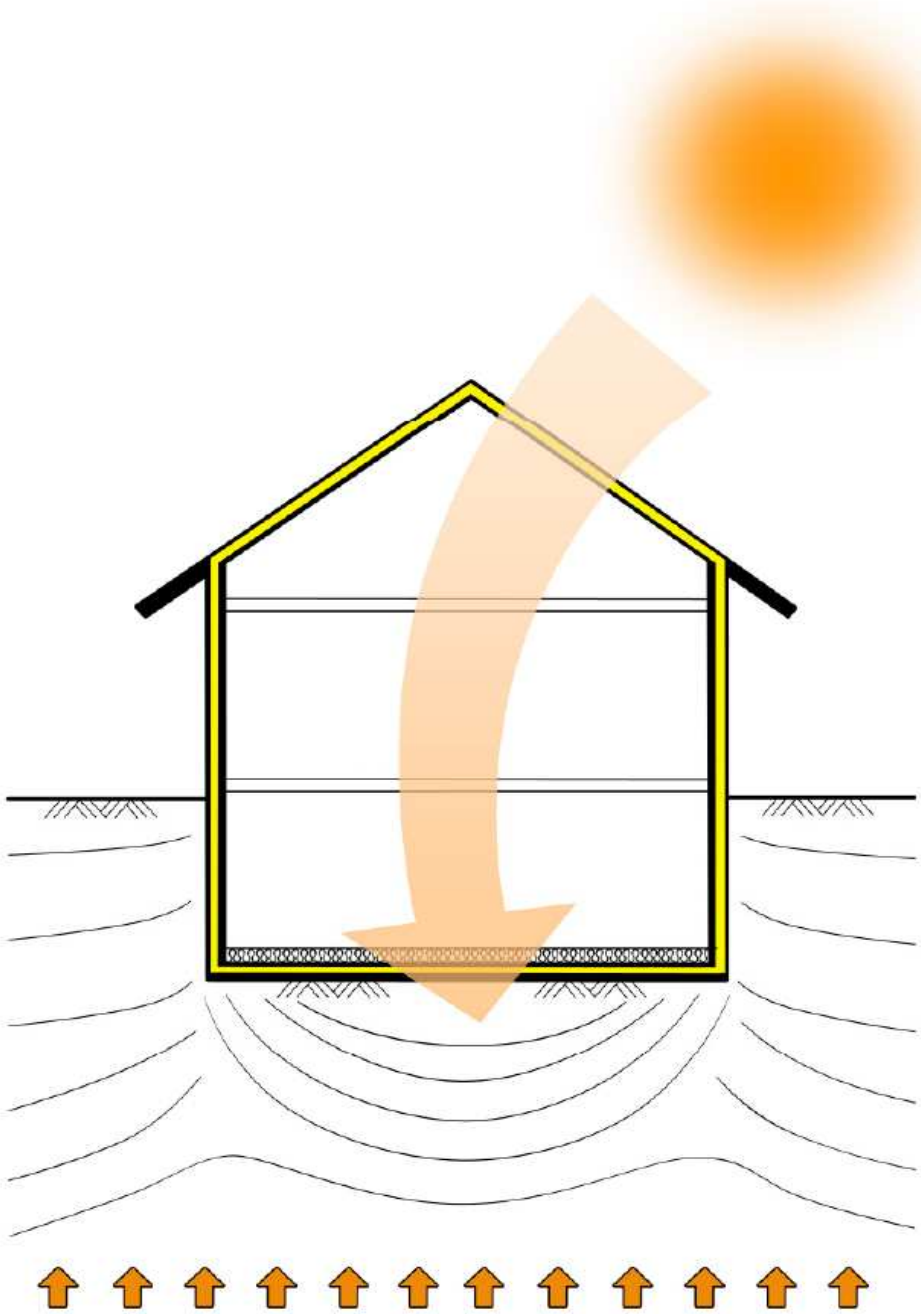


TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	3
2. Exploitation de la chaleur solaire accumulée dans la partie superficielle du sol pour économiser de l'énergie dans les bâtiments	3
3. Analyse du terrain de construction.....	13
4.1. Températures intérieures et extérieures.....	15
4.2. Eléments extérieurs de la construction	17
4.2.1. Murs extérieurs.....	17
4.2.2. Toiture	21
4.2.3. Fenêtres et surfaces vitrées importantes.....	22
4.2.4. Dalle de fondation	24
4.3. Installation à contre-courant tube/tube	26
4.4. Gains thermiques internes	27
5. Préchauffage de l'eau potable : l'accumulateur central.....	27
6. Calculs énergétiques.....	28
6.1. Pertes thermiques d'un mur extérieur par transmission	28
6.2. Besoins en chaleur de chauffage d'une maison unifamiliale.....	34
7. Relevés des températures dans un bâtiment témoin	36
8. Perspectives	40

1. Introduction

De nos jours, quelque 60 à 70 % de l'énergie mise à notre disposition sert à la climatisation, c'est-à-dire à chauffer et à tempérer les bâtiments, luxe indéfendable si l'on considère que des alternatives permettant de préserver l'environnement et soutenables économiquement existent.

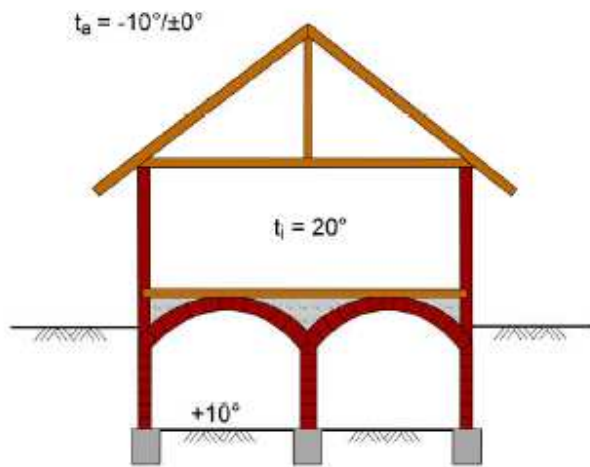
En dépit des nombreuses activités tournant autour de l'exploitation des énergies renouvelables, les dépenses en énergie primaire engagées pour fabriquer de tels systèmes et installations ainsi que les coûts d'acquisition de la technologie photovoltaïque, des capteurs solaires, des éoliennes ou des pompes à chaleur sont encore beaucoup trop élevés par rapport aux économies d'énergie réalisées.

Ce rapport a pour but de vous présenter la technologie du bâtiment Isomax Terra-Sol utilisée pour climatiser les bâtiments en exploitant le sol situé sous le bâtiment comme accumulateur et le soleil comme source d'énergie. Cette technologie n'exige que de faibles quantités d'énergie et offre, outre la protection de la nature et de l'environnement devenant de plus en plus importante pour les générations futures, une alternative, même vue sous l'angle économique, aux installations de chauffage et de climatisation traditionnelles tant en ce qui concerne les coûts de construction que les coûts d'exploitation.

2. Exploitation de la chaleur solaire accumulée dans la partie superficielle du sol pour économiser de l'énergie dans les bâtiments

Le flux de chaleur circulant continuellement de l'intérieur de la terre vers la surface du sol est estimé à 4×10^{10} kW ; par rapport à la surface du sol, cela représente quelque 0,7 kWh par m² et par an. Cette valeur est faible dans le cas d'une exploitation directe. Des anomalies géothermiques en sont la cause : les eaux chaudes enfermées dans une nappe aquifère et jaillissant à l'extérieur sous forme de geyser n'ont la plupart du temps aucune liaison naturelle avec la surface du sol.

L'exploitation thermique du sous-sol est à l'heure actuelle un thème largement répandu en Allemagne ; une distinction est en outre faite entre l'exploitation de l'eau souterraine au moyen de puits, l'exploitation des couches superficielles du sous-sol au moyen de collecteurs ou de capteurs géothermiques, des pieux de fondation étant également employés comme transmetteurs de chaleur (« pieux énergétiques »). Dans tous les cas précités, des pompes à chaleur sont utilisées pour atteindre la température dans la canalisation montante nécessaire pour chauffer les bâtiments.



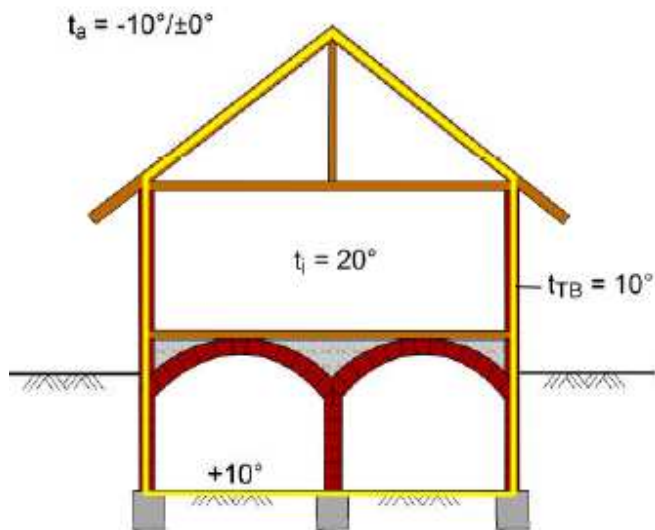
$$\Delta t = t_i - t_a$$

1.) $t_a = -10^\circ$ $\Delta t = 20^\circ - (-10^\circ) = 30 \text{ K}$
 2.) $t_a = \pm 0^\circ$ $\Delta t = 20^\circ - (\pm 0^\circ) = 20 \text{ K}$

Figure 2.1 : cave à vin

En exploitant directement la température superficielle de la terre entretenue par la chaleur solaire, Edmond D. Krecké, ingénieur diplômé et physicien, s'est quant à lui engagé dans une voie tout à fait différente et nettement plus économique.

On sait qu'à une profondeur se situant entre 3 et 4 m, il règne été comme hiver une température oscillant entre 9 et 11 ° C dans une large mesure indépendante de l'atmosphère terrestre. Certains l'appellent la température de la cave à vin : en hiver, nous avons une impression de chaleur et en été une impression de fraîcheur. Dans une construction en surface, la dépense d'énergie de chauffage est fonction des différences existantes entre la température intérieure et la température extérieure (figure 2.1.). Si nous exploitons à des fins utiles cette température existante dans des quantités incommensurables en « injectant » cette température, disons de 10° C, dans toutes les parties extérieures du bâtiment, les températures extérieures très basses ne pourraient plus avoir un impact direct sur les températures intérieures. Nous aurions pour ainsi dire créé une barrière thermique, et la consommation d'énergie du bâtiment ne dépendrait, comme montré à la figure 2.2, que de la différence entre la température intérieure et la température de la barrière thermique, et ce quel que soit le niveau d'abaissement de la température extérieure.



$$\Delta t = t_i - t_{TB} = 20^\circ - 10^\circ = 10 \text{ K}$$

Figure 2.2 : cave à vin avec barrière thermique

Comment cette température du sol peut-elle être injectée dans les parties extérieures de la construction ?

Des tuyaux dans lesquels de l'eau circule sont installés dans le sol de la cave à une profondeur de 3 m environ. L'eau prend la température de la terre, est pompée dans les parties extérieures du bâtiment et de là est renvoyée à son point de départ en fonction des déperditions thermiques.

Si l'on construit un bâtiment sans cave sur le sol ou avec des caves dans le sol et que l'on isole la partie supérieure de la dalle de fondation, le flux de chaleur provenant de l'intérieur des terres s'accumule sous la dalle de fondation ; les températures augmentent à cet endroit jusqu'à ce qu'un équilibre s'installe avec le flux thermique s'échappant par les côtés du bâtiment dans l'atmosphère terrestre. Cette élévation de température se produit naturellement aussi si le bâtiment n'est pas chauffé. La hausse de température dépend, entre autres, de l'épaisseur de la fondation et du profil du terrain dans lequel le bâtiment est implanté. Elle est actuellement de 2 à 4 Kelvin (K) de sorte que la température est de 12° C dans la barrière thermique et en ce qui concerne la dépense d'énergie, c'est la différence de température

$$\Delta t = 20^\circ - 12^\circ = 8 \text{ K}$$

qui est déterminante (figure 2.3).

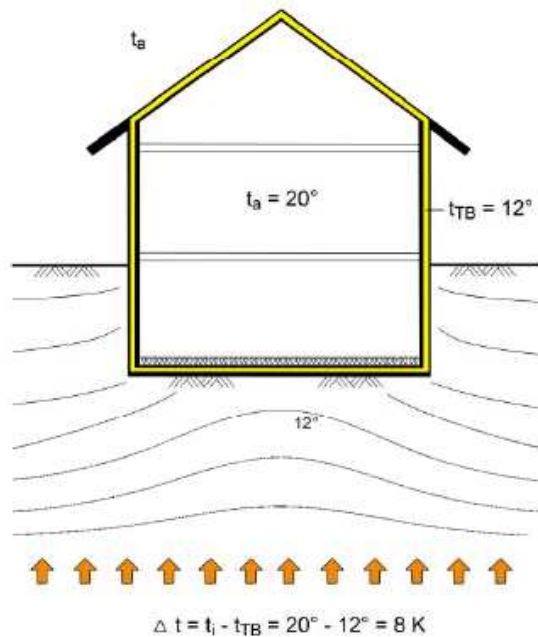


Figure 2.3 : chaleur de la terre sous un bâtiment isolé thermiquement

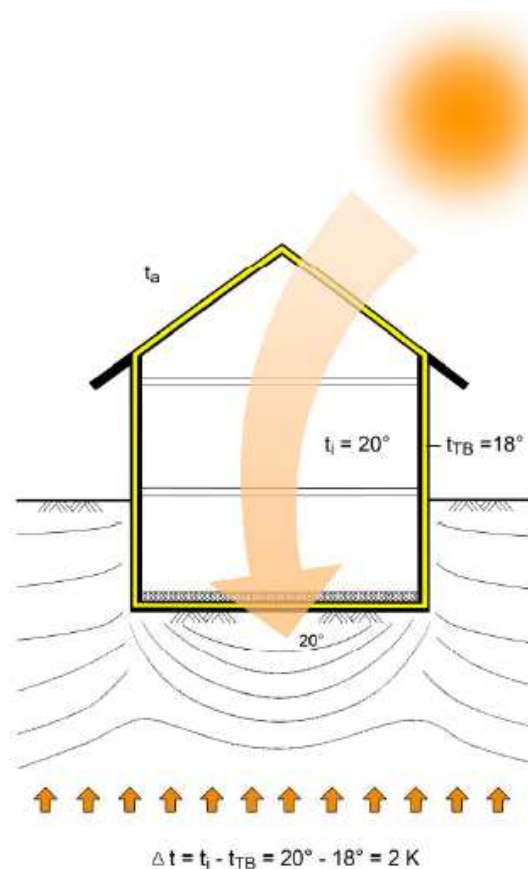
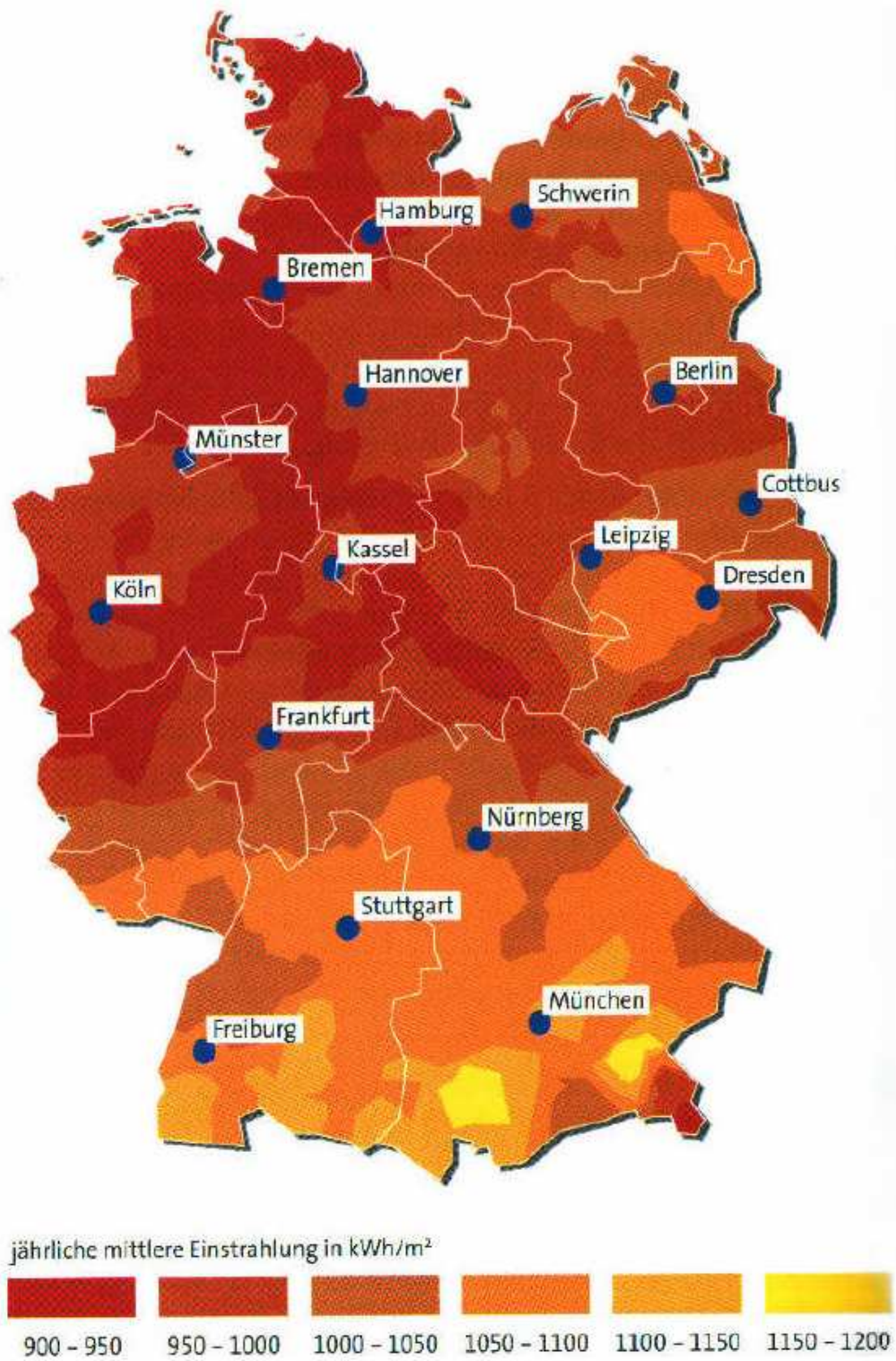


Figure 2.4 : chaleur solaire emmagasinée dans le sol

Il est souhaitable de réduire encore davantage cette différence de température, à savoir de continuer à augmenter la température dans la barrière thermique à un niveau permettant d'obtenir une température intérieure agréable sans qu'un apport d'énergie ne soit nécessaire, tout en tenant compte bien entendu des gains solaires apportés par les fenêtres par exemple ou des gains internes tirés d'une activité exercée à l'intérieur du bâtiment.

Le physicien Krecké a eu l'idée de se « brancher » sur le soleil, source d'énergie existante inépuisable, très performante et également économique sur le plan financier (figure 2.4.).

Même en Allemagne, l'ensoleillement annuel représente une énergie s'élevant actuellement à 1000 kWh par m² et par an sur des surfaces horizontales (figure 2.5.). Un certain nombre de bâtiments peuvent être alimentés par ce moyen. A quoi s'ajoute le fait que dans les maisons d'une hauteur importante notamment, non seulement les surfaces des toitures horizontales ou inclinées, mais également les surfaces murales verticales peuvent être mises à contribution pour absorber l'énergie.



Ensoleillement moyen annuel en kWh/m²

Figure 2.5 : ensoleillement en Allemagne – total annuel moyen en kWh/m²

Nous nous apercevons que le soleil est une source d'énergie disponible au moyen de laquelle nous pouvons climatiser des bâtiments quasiment gratuitement. Ce n'est qu'une question d'absorption, de transport et de stockage d'énergie. La terre est une source d'énergie disponible servant de refroidisseur ainsi qu'un moyen de stocker la chaleur du soleil. Nous désignons ce phénomène sous le vocable de technologie Terra-Sol.

Sous la toiture, plus précisément entre la couverture du toit et l'isolant thermique, ont été installées des conduites absorbantes, à savoir des tuyaux en plastic identiques aux conduites servant de barrière thermique comme celles décrites avant ; dans les murs extérieurs – dans la mesure où des conduites absorbantes sont nécessaires –, elles sont installées de manière apparente. L'eau contenue dans les petits tuyaux se réchauffe en été aux rayons du soleil et lorsque la température extérieure le permet peut monter jusqu'à 75° C ; la température en hiver varie entre 20 à 25° C utiles, même sous zéro degré lorsque le soleil brille.

L'eau réchauffée est envoyée par des tuyaux isolés dans la dalle de fondation et dans la zone centrale si les températures sont élevées ou dans les zones moyenne et périphérique si les températures sont basses (figure 2.6). La chaleur emmagasinée dans la dalle de fondation isolée sur sa face supérieure se transmet à la terre où elle est stockée. Pour réduire les pertes thermiques latérales – donc pour réduire la chaleur rejetée dans l'atmosphère terrestre –, un isolant est incorporé dans le sol en suivant le tracé du bâtiment. En cas de besoin, l'eau contenue dans les conduites de la dalle de fondation est réchauffée avec la chaleur stockée dans le sol et envoyée dans la barrière thermique de l'enveloppe extérieure où elle se refroidit et de là, elle est ensuite ramenée vers la dalle de fondation. Toute une série de mesures prises dans des bâtiments appliquant le principe Terra-Sol ont démontré que la température de l'eau contenue dans les tuyaux noyés dans la dalle de fondation variait entre 18 et 20° C avant d'être pompée dans l'enveloppe extérieure ; en outre, la température du sol se trouvant sous la dalle de fondation était de l'ordre de 20 à 22° C.

Des températures plus élevées ne sont pas atteintes dans la terre jouant le rôle d'accumulateur et cela quand bien même des performances particulièrement élevées en matière d'absorption ont été préalablement obtenues : plutôt que d'assister à une élévation de la température, c'est le volume de l'accumulateur terrestre qui augmente.

Des expériences effectuées sur plusieurs années ont permis de constater qu'une quantité d'énergie beaucoup plus importante que ce qui était nécessaire était disponible si l'on utilisait en totalité la superficie de la toiture d'un bâtiment en tant que surface absorbante.

Dans la plupart des cas, un accumulateur central isolé de toute part a été prévu dans la partie centrale du bâtiment, accumulateur qui, contrairement à l'accumulateur

terrestre, est parcouru par des conduites en tuyaux flexibles. Des températures pouvant aller jusque 35° C et servant à préchauffer l'eau potable sont ainsi obtenues.

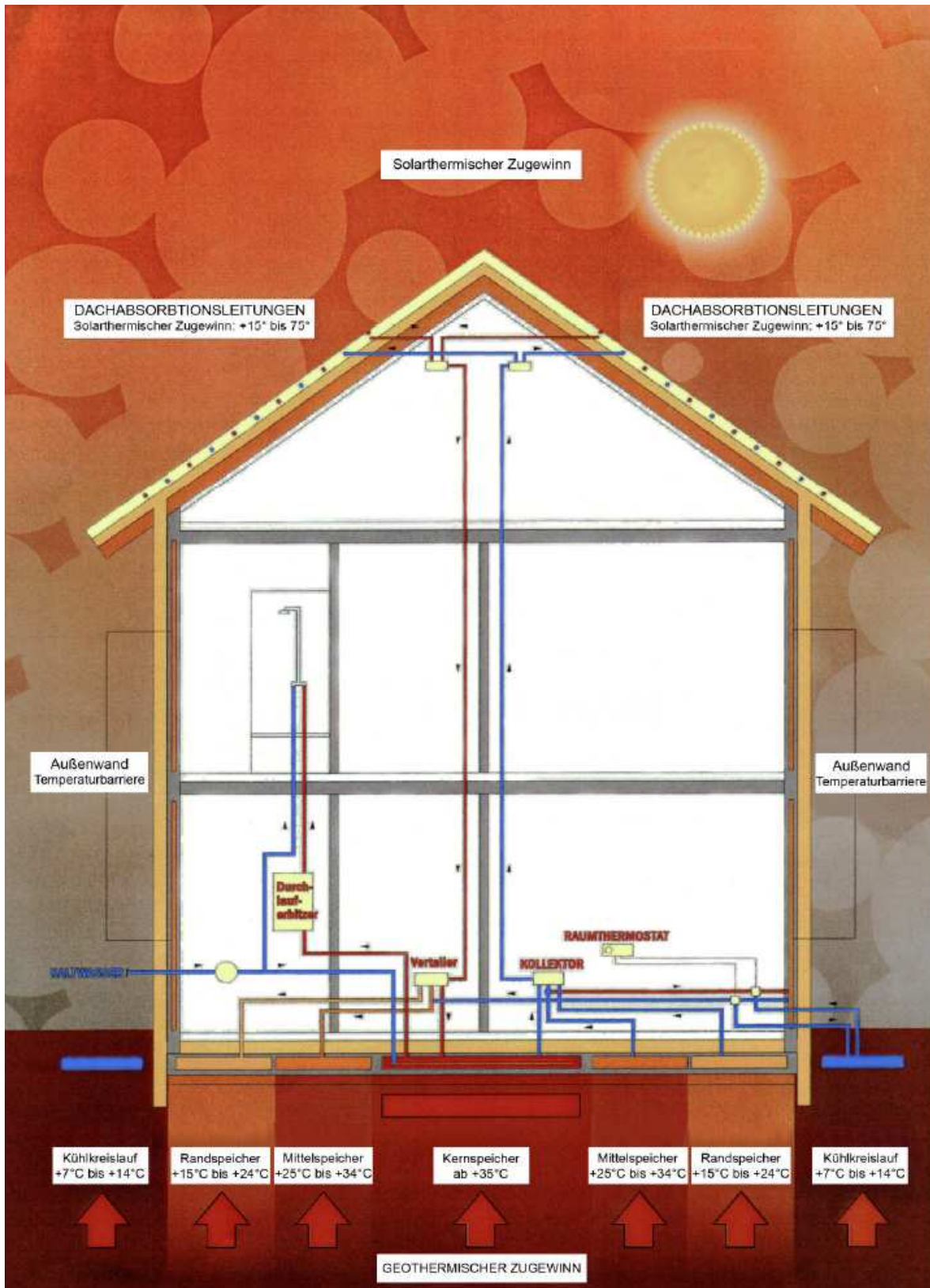


Figure 2.6

Figure 2.6 : principe du système

Traduction de la fig. 2.6

Gain héliothermique

CONDUITES ABSORBANTES EN TOITURE

Gain héliothermique : entre + 15 et 75°

CONDUITES ABSORBANTES EN TOITURE

Gain héliothermique : entre + 15 et 75°

Mur extérieur

Barrière thermique

Mur extérieur

Barrière thermique

Chauffe-eau instantané

Distributeur

THERMOSTAT D'AMBIANCE

COLLECTEUR

Circuit de refroidissement

entre +7 et +14° C

Accumulateur périphérique

entre +15 et +24° C

Accumulateur moyen

entre +25 et +34° C

Accumulateur central

à partir de +35°

Accumulateur moyen

entre +25 et +34° C

Accumulateur périphérique

entre +15 et +24° C

Circuit de refroidissement

entre +7 et +14° C

GAIN GEOTHERMIQUE

Les conduites en tuyaux flexibles de la barrière thermique servant en hiver à réchauffer l'enveloppe du bâtiment sont utilisées en été pour la refroidir. Jusqu'il y a peu, on utilisait pour ce faire des conduites souples séparées, ayant des températures d'eau peu élevées, installées dans le sol en dehors du tracé du bâtiment et se trouvant donc en dehors de l'accumulateur terrestre. Le système a été depuis simplifié : pour refroidir en été, on utilise les conduites souples provenant des zones périphériques de l'accumulateur terrestre étant donné qu'ici – comme déjà mentionné –, des températures supérieures à 20–22° C ne sont pas atteintes. Aux effets d'économie associés aux longueurs nettement moins élevées des conduites souples s'ajoute l'avantage en été, en mode refroidissement et si la température de l'eau dans la barrière thermique est augmentée, de pouvoir libérer cette température accrue et de la stocker.

La climatisation, à savoir le chauffage et le refroidissement d'un bâtiment en employant la barrière thermique prévue dans les éléments extérieurs de la construction, est un système relativement inerte vu sous l'angle de la régulation de la température. C'est la raison pour laquelle on a ajouté un composant dynamique se présentant sous la forme d'une ventilation spéciale également brevetée : l'installation à contre-courant tube/tube. L'air sortant est évacué dans un tuyau extérieur de grandes dimensions et l'air entrant circule quant à lui dans un tuyau intérieur plus petit. Le système de conduites est installé dans le sol sous la dalle de fondation. Avec ces tuyaux encastrés les uns dans les autres et enveloppés sur chantier d'une mince gaine en acier allié, on obtient des taux de récupération calorifique pouvant aller jusqu'à 98 %.

A l'aide du système décrit, on obtient des consommations d'énergie extrêmement faibles se situant entre 5 et 12 kWh/m²/a. Par comparaison, les valeurs suivantes sont avancées :

- maisons passives 15 - 25 kWh/m²/a
- maisons consommant peu d'énergie 40 - 60 kWh/m²/a
- bâtiments répondant aux critères du règlement d'application 1995 en matière de protection thermique de 90 à 100 kWh/m²/a
- habitat allemand en moyenne 200 kWh/m²/a
- bâtiments vitrés à usage de bureaux 500 kWh/m²/a et au-delà

En outre, les consommations d'énergie extrêmement faibles des bâtiments appliquant la technologie Terra-Sol ne sont nullement obtenues au détriment d'un coût de construction supérieur ; c'est en l'occurrence le contraire.

Par comparaison aux maisons passives usuelles, les avantages présentés sont les suivants :

- murs extérieurs minces et financièrement économiques
- technique de chauffage et de refroidissement meilleur marché que la technique traditionnelle
- isolation des murs extérieurs comparativement moins importante, d'où un gain de surface habitable
- température uniforme dans toutes les parties extérieures de la construction, d'où absence de condensation, peu de moisissures et partant
- environnement sain et naturel contribuant au bien-être

- contribution très importante à la protection de l'environnement car absence d'émissions de CO2
- comportement de l'utilisateur soumis à pratiquement aucune restriction étant donné la présence d'une source d'énergie excédentaire
- fenêtres onéreuses et fortement isolées devenues superflues.

Nous nous sommes jusqu'ici penchés sur la barrière thermique réalisée dans les parties en dur de la construction, le vecteur transportant la température avec laquelle l'enveloppe extérieure est climatisée étant l'eau.

Pour les surfaces de fenêtre présentant des pertes thermiques relativement élevées en hiver et apportant de l'énergie en été, une barrière thermique utilisant de l'air comme vecteur de température, analogue à la barrière thermique dans les murs extérieurs utilisant de l'eau comme vecteur de température, a été brevetée il y a peu.

3. Analyse du terrain de construction

La technologie Terra-Sol développée par Isomax Castellum Investment AG utilise le sol naturel présent sous les éléments de la fondation du bâtiment comme un accumulateur de chaleur. Il s'ensuit que le terrain de construction doit être non seulement analysé sous l'angle de sa capacité de charge mais également sous l'angle de sa conductibilité thermique et de sa capacité à accumuler la chaleur. D'autres accumulateurs de chaleur artificiels ne devront être construits pour des raisons économiques que dans des cas particuliers. Théoriquement, on retiendra que les terrains humides présentent une capacité d'accumulation de chaleur plus élevée que les terrains secs. C'est l'eau qui possède la capacité d'accumulation de chaleur la plus élevée. Dans les pages suivantes, vous trouverez certaines valeurs tirées de la directive 4640 publiée par l'Association des ingénieurs allemands. Les valeurs applicables à d'autres terrains peuvent être consultées dans cette directive.

Tableau 3.1. exemples de conductivité thermique et capacité thermique spécifique rapportée au volume du sous-sol à 20° C
(extrait de la directive 4640 du VDI, page 1, tableau 1)

Roche	Densité ρ 10 ³ kg/m ³	Conductivité thermique λ W/(m . K) (valeur typique)	Capacité thermique rapportée au volume $\rho \cdot C_p$ kWh/(m ³ K)
<i>Roches magmatiques</i>			
Basalte	2,6 – 3,2	1,7	0,64 – 0,72
<i>Roches métamorphiques</i>			
Marbre	2,5 – 2,8	2,1	0,56
<i>Roches sédimentaires</i>			
Calcaire	2,6 – 2,7	2,8	0,58 – 0,67
Grès	2,2 – 2,7	2,3	0,44 – 0,78
<i>Roches meubles</i>			
Gravier, sec	2,7 – 2,8	0,4	0,39 – 0,44
Gravier, saturé d'eau	2,7 env.	1,8	0,67 env.
Sable, sec	2,6 – 2,7	0,4	
Sable, saturé d'eau	2,6 – 2,7	2,4	0,61 – 0,81
Argile/limon, sec	n. a.	0,5	0,42 – 0,44
Argile/limon, saturé d'eau	n. a.	1,7	44 – 0,94
<i>Autres matériaux</i>			
Béton	2,0 env.	1,6	0,5 env.
Air (0 – 20° C, sec)	0,0012	0,02	0,00033
Acier	7,8	60	0,87
Eau (+ 10° C)	0,999	0,59	1,15

Lors des sondages du terrain à bâtir, il y a lieu de vérifier notamment la présence d'eau souterraine dans la zone de l'accumulateur de chaleur futur ou si de l'eau peut remonter à la surface. Si de l'eau souterraine peut remonter, les variations et la probabilité que ce phénomène se reproduise devront faire l'objet d'une étude.

S'il y a écoulement d'eau souterraine, il y a lieu de faire une distinction entre écoulement vertical et écoulement horizontal. Un écoulement vertical ne présente pas de problèmes vu que l'endroit où l'énergie emmagasinée d'eau se situera peut être élevé ou baissé. Si l'eau souterraine s'écoule horizontalement, la vitesse d'écoulement devra être déterminée en effectuant des essais. Des vitesses d'écoulement horizontal ne dépassant pas quelques mètres par an ne présentent pas de risques. Si les vitesses d'écoulement

sont supérieures, celles-ci devront être réduites en fonction de la superficie du terrain de construction en appliquant les mesures décrites ci-après.

Pour les travaux moins importants, le terrain sera excavé sur une profondeur de 2,5 à 3,0 m de plus que celle nécessaire pour la fondation du bâtiment proprement dite. Une feuille en plastique perforé résistant sera étendue dans la fosse ayant été approfondie, les dimensions des perforations étant calculées en sorte de réduire la vitesse d'écoulement horizontal de l'eau souterraine. Cette fosse approfondie sera ensuite remblayée et compactée pour assurer une bonne stabilité, les terres naturelles excavées pouvant être en règle générale réutilisées comme matériau de remblaiement. Au lieu d'une feuille perforée, il est également possible d'étendre une couche de terre peu perméable. Cela devra être déterminé également avec l'expert en fondations.

Dans le cas de travaux plus importants, il est recommandé d'entourer le terrain de construction de pieux antivibratoires. Des trous sont en outre forés à l'horizontale à des distances déterminées et sont ensuite comblés avec un matériau bien compactable prélevé sur le terrain. Ce matériau est compacté au fur et à mesure du remplissage effectué en couches successives. Pendant ce travail de compactage, le sol naturel entre les différents pieux est lui aussi damé pour réduire la perméabilité et l'ascension de l'eau souterraine. Tous les travaux tournant autour de l'eau souterraine seront effectués avec l'accord des services ayant l'eau dans leurs attributions.

Dans le cas de mouvements horizontaux importants de l'eau souterraine réchauffée, on vérifiera également si le volume des occlusions d'air au-dessus des couches épousant la nappe phréatique constitue une bonne couche isolante. Ce système efficace empêchera la chaleur emmagasinée en dehors du tracé du bâtiment de se dissiper dans l'atmosphère.

4. Base des calculs énergétiques

Pour effectuer les calculs énergétiques d'un bâtiment, c'est-à-dire pour déterminer les besoins calorifiques et frigorifiques, il faut d'abord connaître par exemple les températures extérieures prédominantes à cet endroit, les températures intérieures souhaitées ou exigées, la structure des éléments extérieurs de la construction, la destination du bâtiment, etc.

4.1. Températures intérieures et extérieures

Les températures extérieures en Allemagne sont des valeurs moyennes mensuelles déterminées selon la DIN V 4108-6 et reproduites au tableau 4.1. Si de telles valeurs ne sont pas disponibles dans un pays, les valeurs moyennes mensuelles seront demandées aux stations météorologiques pour les trois à cinq dernières années. Les valeurs moyennes mensuelles des dernières années serviront à calculer les valeurs moyennes mensuelles qui sont à la base du calcul énergétique. Des marges de sécurité en plus ou en moins seront appliquées et il ne sera pas tenu compte dans le calcul des valeurs

moyennes de l'année 2003 par exemple ayant connu un ensoleillement important en Europe centrale et qui constitue une exception. La température extérieure moyenne pour l'ensemble de l'année, s'élevant en Allemagne à 8,9°C par exemple, n'intervient pas directement dans le calcul énergétique.

Tableau 4.1. températures mensuelles moyennes en Allemagne suivant DIN V 4108-6

	t _A [°C]	t _I [°C]	ΔT [K]
Jan	-1,3	19,0	20,3
Fév	0,6	19,0	18,4
Mars	4,1	19,0	14,9
Avr	9,5	19,0	9,5
Mai	12,9	19,0	6,1
Juin	15,7	19,0	3,3
Juil	18,0	19,0	1,0
Août	18,3	19,0	0,7
Sep	14,4	19,0	4,6
Oct	9,1	19,0	9,9
Nov	4,7	19,0	14,3
Déc	1,3	19,0	17,7

8,9

t_A : température extérieure moyenne

t_I : température intérieure normale

ΔT : différence de température

En ce qui concerne les températures intérieures, ce n'est pas la température intérieure maximale souhaitée d'une ou de plusieurs pièces qui doit être retenue, mais la température moyenne pour l'ensemble du bâtiment. Cette température moyenne est en Allemagne de 19°C suivant DIN V 4108-6.

Quant à la température de la barrière thermique à appliquer dans le cadre du calcul énergétique, les points suivants seront pris en considération : des dizaines de mesures effectuées dans divers projets réalisés dans différentes zones climatiques ont révélé que l'eau réchauffée par la terre dans les tuyaux flexibles noyés dans la dalle de fondation présente une température oscillant entre 20 et 21°C avant d'être envoyée dans la barrière thermique des éléments extérieurs de la construction si, du printemps à l'automne, donc pendant une période estivale complète de six mois, de la chaleur solaire a été préalablement absorbée et stockée dans le sol jouant ici le rôle d'accumulateur. En tenant compte d'une perte de rendement minimale, la température de la barrière thermique doit dès lors être estimée à 18°C au moins dans le calcul énergétique.

Lors de la mise en service d'un bâtiment, en octobre par exemple, quand la chaleur n'a pas encore pu être préalablement stockée, la température dans la barrière thermique sera estimée à 10°C. Entre ces valeurs, on appliquera une règle de trois. Les besoins

calorifiques annuels pour le chauffage peuvent donc être calculés pour différents niveaux d'accumulation de chaleur. Si l'on part du principe que l'on aura un niveau d'accumulation de chaleur faible dans la phase initiale, les besoins calorifiques supplémentaires pour le chauffage devront être couverts dans la phase initiale par des solutions particulières. Des registres de chauffage placés sur les bouches de sortie des conduites de ventilation ou le chauffage de l'eau de la barrière thermique sont des solutions pouvant entrer en ligne de compte. Ces solutions particulières pourront être abandonnées dès l'instant où une quantité suffisante de chaleur aura été accumulée dans le sol.

Dans ce même ordre d'idées et à l'appui d'une expérience acquise de longue date, il est intéressant de constater que, même après une accumulation intensive de chaleur dans le sol, les températures en dessous de la dalle de fondation ne sont jamais supérieures à 20 ou 22°C et ce, en dehors de l'accumulateur terrestre naturellement. Il est dès lors possible en été, lorsque les températures extérieures sont élevées, d'alimenter la barrière thermique de l'enveloppe extérieure avec les mêmes conduites de la dalle de fondation et de réduire la charge réfrigérante du bâtiment et partant, les températures intérieures. Si les charges réfrigérantes du bâtiment sont plus élevées que d'habitude, on peut réaliser un circuit de refroidissement séparé avec les tuyaux flexibles situés en dehors du tracé du bâtiment et reliés aux conduites placées dans le sol sous le bâtiment.

Les exigences particulières en matière de température pour des pièces spéciales telles que les salles de bain où 24°C sont exigés en Allemagne, ou les exigences concernant les chambres frigorifiques, seront traitées de manière spécifique et en fonction de la pièce dont il est question. Cet aspect du problème ne fait pas l'objet du calcul énergétique du bâtiment.

4.2. Eléments extérieurs de la construction

Les pertes thermiques d'un bâtiment dans les mois où les températures extérieures sont inférieures aux températures intérieures exigées, et les apports thermiques dans un bâtiment dans les mois où les températures extérieures sont supérieures aux températures intérieures exigées s'effectuent par transmission via les éléments extérieurs de la construction (murs extérieurs, même en contact avec le sol ; toitures, fenêtres).

Pour les fenêtres, il convient d'ajouter la transmission thermique par rayonnement.

4.2.1. Murs extérieurs

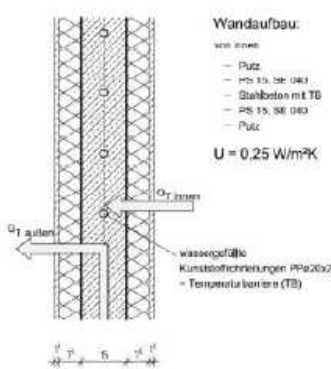
Dans les nouvelles constructions, la barrière thermique peut être en principe intégrée dans n'importe quel type de construction avec murs extérieurs, mais elle peut également être réalisée sans problèmes dans des bâtiments existants.

Dans les nouvelles constructions constituées de murs en béton (béton normal ou léger ; murs armés ou non), il est recommandé de placer la barrière thermique dans les murs (figure 4.2.).

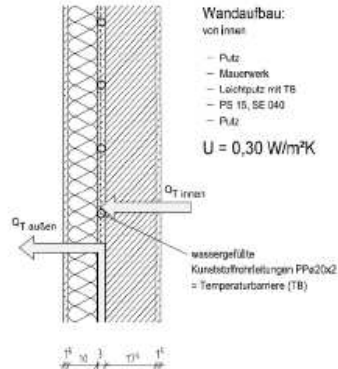
Dans le cas de murs maçonnés ou de murs de constructions existantes, la barrière thermique est fixée sur le côté extérieur du mur et est ensuite recouverte d'un enduit. L'enduit est une surface plane servant à appliquer ensuite l'isolant thermique mais également à améliorer le contrôle de la température en se rapprochant de la surface murale (figure 4.3.).

Une construction avec murs extérieurs particulièrement économique pourrait se composer de murs en béton léger breveté Biopor revêtus de plaques en mousse rigide de polystyrène d'une épaisseur de 5 ou de 7,5 cm.

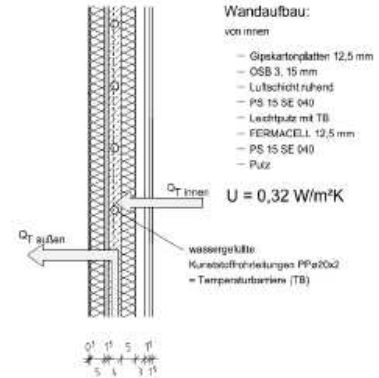
Dans les maisons en bois, la barrière thermique sera intégrée dans la chape ou dans une masse de remplissage (figure 4.4.).



(figure 4.2)



(figure 4.3)



(figure 4.4)

Figure 4.2 : mur extérieur en béton avec barrière thermique (BT)

t extérieure *t* intérieure

Structure du mur :

de l'intérieur vers l'extérieur

- enduit
- PS 15, SE 040
- béton armé avec BT
- PS 15, SE 040
- enduit

rempli d'eau

conduites en PP de 20x2

= barrière thermique (BT)

Figure 4.3 : mur extérieur en maçonnerie avec BT

t extérieure t intérieure

Structure du mur :

de l'intérieur vers l'extérieur

- enduit
- maçonnerie
- enduit léger avec BT
- PS 15, SE 040
- enduit

rempli d'eau

conduites en PP de 20x2

= barrière thermique (BT)

Figure 4.4 : mur extérieur d'une maison en bois avec BT

t extérieure t intérieure

Structure du mur :

de l'intérieur vers l'extérieur

- plaques en gyproc de 12,5 mm
- OSB 3, 15 mm
- couche d'air statique
- PS 15, SE 040
- enduit léger avec BT
- FERMACELL 12,5 mm
- PS 15, SE 040
- enduit

rempli d'eau

conduites en PP de 20x2

= barrière thermique (BT)

La barrière thermique (BT) réalisée sur ou dans les murs extérieurs est aménagée zone par zone, les différentes zones correspondant aux pièces intérieures. En procédant de la sorte, il est possible d'obtenir une régulation de la barrière thermique spécifique à chaque pièce (figure 4.5.).

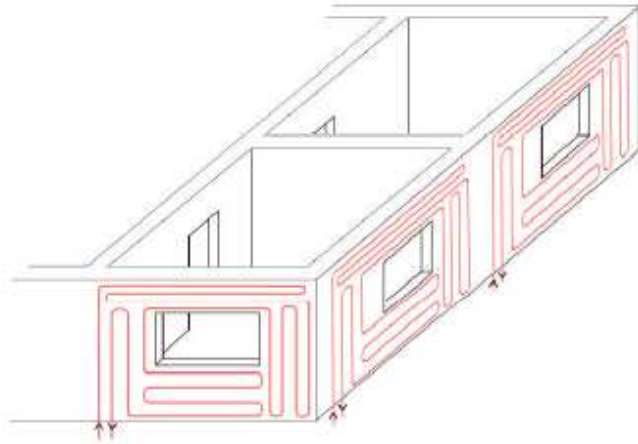


Figure 4.5. disposition de la BT pièce par pièce

Pour limiter les pertes de friction et partant, la puissance des pompes, la longueur des conduites de tuyaux flexibles est limitée à 100 – 120 m au grand maximum. Les points d'intersection seront évités lors du placement.

La figure 4.6. montre deux possibilités théoriques d'installer la conduite zone par zone. L'installation reproduite à la figure 4.6 b présente le – modeste – avantage de compenser les différences de température existantes entre la canalisation montante et la canalisation descendante. Le type d'installation exige toutefois un surcroît de travail au niveau des études et de l'exécution. Une attention particulière sera accordée à l'installation de la tuyauterie autour des fenêtres et des ouvertures de porte. Un écartement de 20 à 25 cm sera prévu entre les tuyaux.

Si les surfaces de la toiture ne suffisent pas pour accueillir les tuyauteries d'absorption nécessaires, celles-ci seront également aménagées dans les murs extérieurs. Les conduites d'absorption seront alors posées dans un enduit extérieur ayant l'épaisseur voulue.

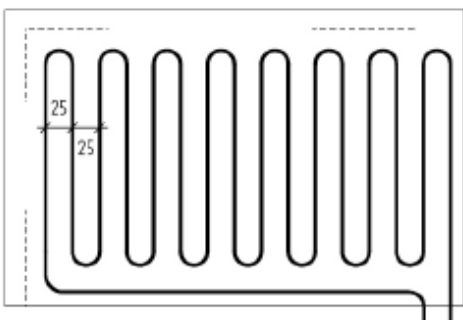


Figure 4.6.a conduite installée dans les murs extérieurs

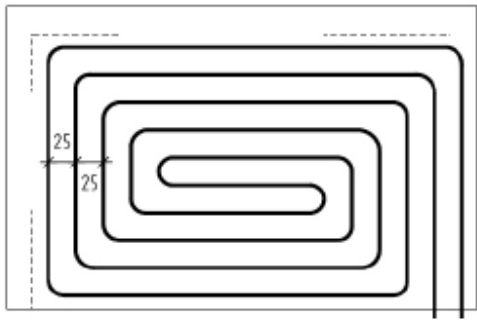


Figure 4.6.b autre type d'installation dans les murs extérieurs

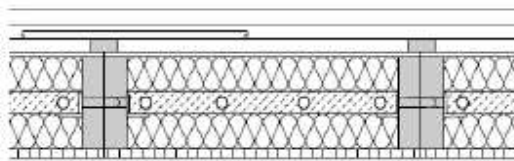
4.2.2. Toiture

Une distinction doit être normalement faite entre toiture froide et toiture chaude. Dans le cas des toitures froides, le plus souvent réalisées en tuiles, les conduites d'absorption sont placées sous la couverture du toit, donc dans l'espace d'air existant entre la couverture du toit et l'isolation thermique. L'utilité d'une barrière thermique placée au-dessous de l'isolation thermique dépend du rapport entre la surface des murs et la superficie du toit dans les pièces aménagées dans les combles. Si la surface murale est relativement élevée, des pignons équipés d'une barrière thermique par exemple, il n'est pas nécessaire d'aménager une barrière thermique dans la toiture.

Si la surface murale par contre est relativement modeste dans les combles, donc si les surfaces murales équipées d'une barrière thermique sont elles aussi proportionnellement faibles, il y aura lieu d'aménager une barrière thermique dans la toiture.

Un type de construction breveté et particulièrement économique consiste à réaliser des éléments de toiture préfabriqués équipés d'une barrière thermique intégrée et d'une zone absorbante. La figure 4.7. montre un exemple d'élément de toiture préfabriqué d'une longueur de 1,20 m, fabriqué en usine et posé sur chantier.

Dans une toiture chaude, la barrière thermique est comme dans un mur extérieur placé dans du béton ou sur la surface extérieure de la charpente du toit, les tuyaux étant noyés dans une chape. L'isolation thermique est posée sur la barrière thermique et au-dessus de cette isolation, les conduites d'absorption noyées dans la chape servant à supporter le revêtement du toit sont disposées comme indiqué à la figure 4.8.

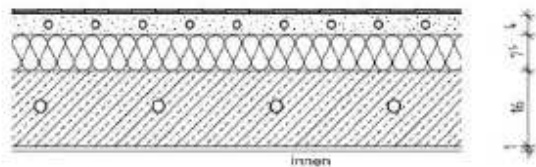


Structure de la toiture :

de l'intérieur vers l'extérieur

- carton du plâtre
- plaque OSB
- PS 15 SE 040
- chape de gypse anhydride avec BT en PP dia. 20x2
- PS 15 SE 040
- Ronotec WP / DP 50
- contrelattage
- feuille de plastic
- lattage du toit avec conduites d'absorption dia. 12 / a=10 cm
- recouvrement du toit

Figure 4.7. toit à chevrons (toit froid) avec absorbant et BT



Structure de la toiture :

de l'intérieur vers l'extérieur

- enduit
- plafond en béton armé avec BT en PP dia. 20x2
- isolant
- chape avec conduites d'absorption en PP dia. 12 / a=10cm
- couverture

Figure 4.8. toit plat (toit chaud) avec absorbant et BT

4.2.3. Fenêtres et surfaces vitrées importantes

En raison de la chaleur du soleil stockée gratuitement dans le sol, la technologie Terrasol développée par ©Isomax Castellum Investment AG ne présente pas d'exigences particulières en ce qui concerne les propriétés d'isolation thermique des surfaces vitrées, des valeurs U comprises entre 1,1 et 1,3 W/(m² K) étant dans la plupart des cas suffisantes. Des fenêtres mieux isolées, voire du triple vitrage, ne sont pas indispensables. Par rapport aux maisons usuelles passives, c'est également un avantage économique non négligeable. La détermination de la qualité des fenêtres s'effectue en fonction du calcul énergétique.

Les apports du soleil au travers des surfaces de fenêtres vitrées dépendent de l'orientation du bâtiment ; c'est un point qui ne mérite pas une attention particulière étant donné qu'une énergie gratuite servant à chauffer et à refroidir le bâtiment est disponible en suffisance. Avec les gains apportés par le soleil, la priorité peut ainsi être donnée à des paramètres tels que l'intégration dans l'environnement et l'objet pour lequel le bâtiment est destiné.

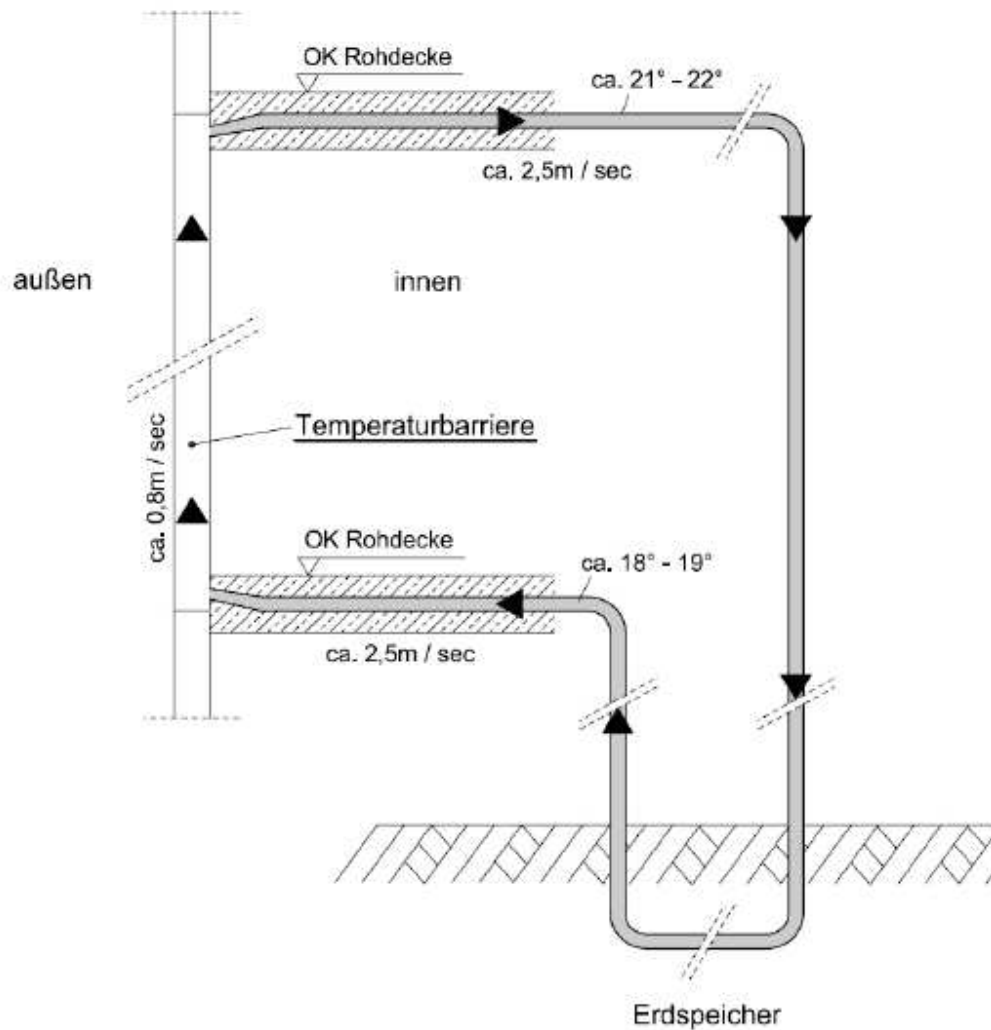
Si les surfaces des fenêtres sont importantes, il y a lieu de se référer à un nouveau développement breveté : la barrière thermique fonctionnant avec de l'air.

Cette technique a été pour la première fois appliquée il y a quatre ans dans plusieurs immeubles identiques à usage de bureaux réalisés à Chengdu en Chine. Une vitre de 12 mm d'épaisseur a été installée à une hauteur de 6 m seulement dans des atriums vitrés d'une hauteur de deux étages. Eu égard à l'importante charge réfrigérante exigée en cas d'enseulement et lorsque les températures extérieures sont élevées, l'été doit être considéré ici comme une période plus critique que l'hiver. De l'air chaud ou froid porté à une température de l'ordre de 18 à 19° et véhiculé dans le sol est insufflé au pied de la vitre. En se réchauffant le long de la vitre, la température de l'air augmente à une hauteur de 6 m de 5 à 6 K et l'air est extrait à l'extrémité inférieure de la vitre. L'air réchauffé est envoyé dans des circuits de refroidissement aménagés dans le sol où il cède sa chaleur avant d'être de nouveau envoyé au pied de la vitre. Par ce moyen, une barrière thermique efficace utilisant de l'air a pu ainsi être réalisée devant la vitre. Seul du courant électrique, et partant de l'énergie, est nécessaire pour transporter l'air et non pour chauffer et refroidir les bâtiments.

Le fascicule décrivant l'invention faisant l'objet du brevet précise les différentes possibilités d'exécution. Un effet de chambre à air important est obtenu devant la vitre extérieure en installant une deuxième vitre intérieure placée à une distance de 6 à 8 cm.

A l'aide de la technique décrite, il a été pour la première fois possible de réaliser un bâtiment à énergie nulle possédant des façades complètement vitrées. On rappellera ici que selon une définition du Deutsche Fraunhofer Institut, les bâtiments ayant des besoins en énergie inférieurs à 15 kWh/m²/a peuvent être considérés comme des bâtiments à énergie nulle.

La figure 4.9. montre sous forme de schéma la méthode brevetée de la barrière thermique fonctionnant à l'air.



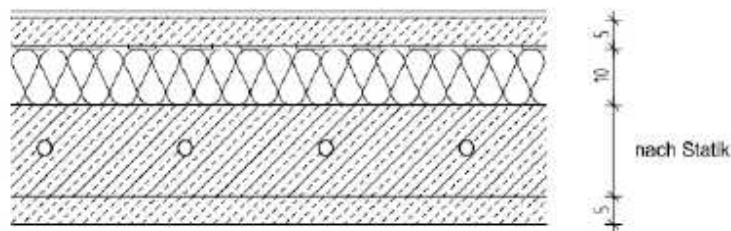
couverture des tuyaux OK
 extérieur intérieur
 barrière thermique
 couverture des tuyaux OK

Accumulateur terrestre

Figure 4.9. barrière thermique fonctionnant avec de l'air

4.2.4. Dalle de fondation

La dalle de fondation est une construction en béton armé. Son épaisseur est déterminée en fonction de la statique. Une épaisseur de 20 cm est dans la plupart des cas suffisante pour les bâtiments bas (figure 4.10.).



suivant statique

Structure :
de bas en haut

- couche de propreté
- béton armé avec BT
- isolant Styrodur
- PE en feuille
- chape
- revêtement de sol

Figure 4.10. dalle de fondation avec BT

Les conduites d'absorption provenant du toit et éventuellement des murs extérieurs eux aussi sont rassemblées dans un collecteur et dirigées selon la température de l'eau dans les différentes parties de la dalle de fondation :

- de l'eau portée à des températures supérieures à 35° est envoyée dans la partie centrale. Si un accumulateur central destiné à préchauffer l'eau potable est prévu, il sera aménagé dans la partie centrale.
- de l'eau portée à des températures comprises entre 25 et 35° est envoyée dans la partie moyenne.
- de l'eau portée à une température de 25° maximum est introduite dans la partie périphérique.

Les différentes parties sont indiquées à la figure 2.6.

Les conduites aménagées dans la dalle de fondation sont représentées dans des plans pour que les travaux puissent être réalisés sur chantier selon un cahier des charges clair. La dalle de fondation est damée en surface pour que la chaleur se dissipe complètement dans le sol.

Dans les bâtiments anciens, il n'est pas toujours possible ni économique d'injecter l'énergie solaire dans la dalle de fondation ou en dessous de celle-ci. Dans des cas de ce genre, les conduites sont installées dans le sol à côté du bâtiment existant. Les terres sont damées sur les côtés et de bas en haut.

4.3. Installation à contre-courant tube/tube

Comme la barrière thermique dans les éléments extérieurs de la construction est un système vraiment inerte vu sous l'angle de la régulation de la température, un composant « dynamique » se présentant sous la forme d'une installation dite à contre-courant tube/tube a été ajouté. L'air sortant est transporté dans un tuyau extérieur de grandes dimensions et l'air entrant emprunte quant à lui un tuyau plus petit situé à l'intérieur du précédent (figure 4.11.).

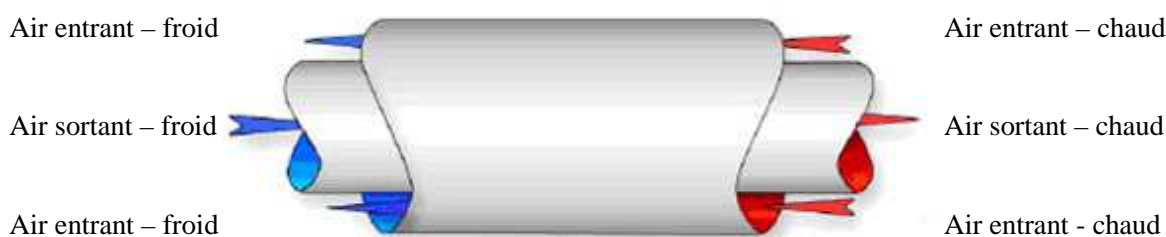


Figure 04.11 Installation à contre-courant tube/tube

Le système de tuyauterie provenant de la surface utile de la couche terrestre superficielle traverse la dalle de fondation pour pénétrer dans l'accumulateur terrestre ; de là, il est de préférence dirigé dans un accumulateur périphérique aménagé à une distance comprise entre 40 et 45 m pour y amener, en dehors du bâtiment, l'air ayant été extrait et y prélever l'air qui sera renvoyé dans le système. Les tuyaux se composent d'une gaine en acier allié enroulée d'une épaisseur variant entre 0,12 et 0,15 mm ; ces tuyaux présentent à l'extérieur des excroissances destinées à améliorer le transfert thermique. Dans le tuyau dans lequel l'air frais est transporté, le point de rosée peut être franchi vers le bas sur la paroi du tuyau en provoquant ainsi une condensation. Les tuyaux seront par conséquent disposés dans le sol en leur donnant une pente de 0,5 % et les dispositions seront prises pour que le condensat puisse être évacué.

Les calculs concernant la distribution et les dimensions des tuyaux d'air peuvent être réalisés à l'aide de programmes de simulation dynamiques. Du fait de la marge considérable pouvant exister quant aux conditions marginales telles que les conditions de sol, les conditions climatiques, etc., il faut s'attendre à obtenir des résultats présentant des écarts importants. Comme paramètres de départ pour de tels calculs, on calculera, entre autres, la densité du sol, la capacité calorifique spécifique, la conductibilité thermique et la teneur en eau du sol. Les vitesses d'écoulement devraient se situer entre 1,0 et 1,4 m/sec. Pour des taux de remplacement de l'air oscillant entre 0,4 et 0,8/h, on obtient des débits volumiques d'air pouvant aller jusqu'à 500 m³/h pour des habitations de dimensions courantes.

4.4. Gains thermiques internes

Des gains thermiques dus au fonctionnement des appareils électriques, à l'éclairage et à la présence de personnes peuvent être réalisés. Il y a lieu en principe de décider si les gains thermiques réalisés en fonction d'une grandeur de référence, telle que la surface utile, doivent faire l'objet d'un calcul différencié ou d'un calcul approximatif. Quand c'est une approche différenciée concernant les appareils électriques, l'éclairage et les personnes qui semble la plus plausible, celle-ci devrait se faire en fonction des saisons et des mois considérés. 5 W par m² de surface utile comme indiqué dans le règlement d'application allemand sur les économies d'énergie pourrait être pris comme valeur de référence s'il s'agit d'effectuer un calcul approximatif des gains thermiques. Pour une maison d'habitation de 150 m² de surface habitable, cela représente 6.570 kWh/a.

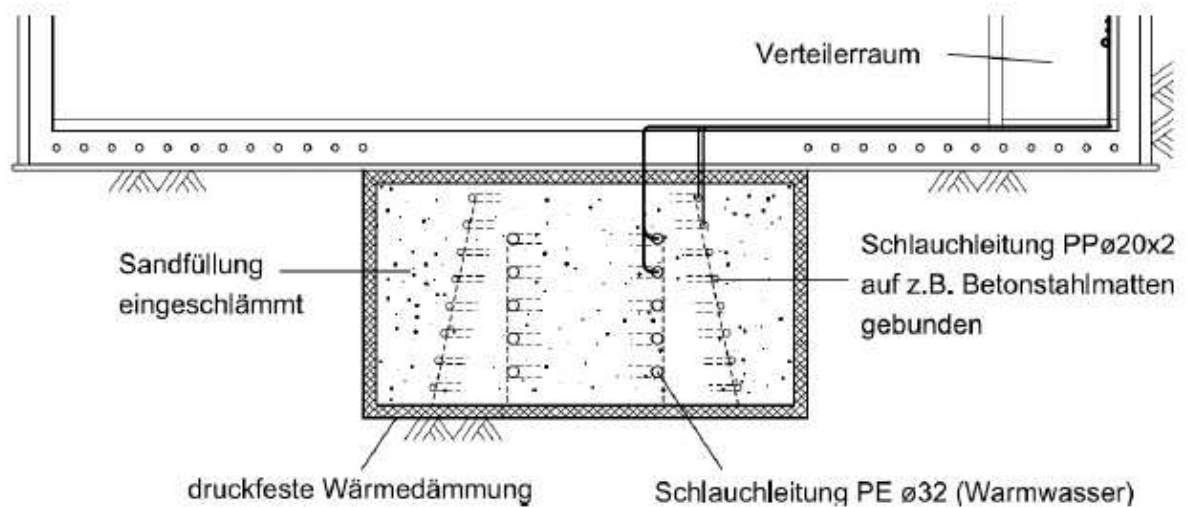
5. Préchauffage de l'eau potable : l'accumulateur central

Pour préchauffer l'eau entrant dans la consommation, il est recommandé de prévoir un accumulateur séparé, appelé accumulateur central, qui sera aménagé sous la dalle de fondation. Il s'agit ici d'un élément en terre entouré de toute part par un matériau de 10 cm damé et résistant à la pression dans lequel des tuyaux flexibles véhiculent de l'eau portée à des températures supérieures à 35°C. Le volume de cet accumulateur central devrait être de 20 à 30 m³ par unité d'habitation.

L'accumulateur central sera aménagé dans la partie soumise à une charge statique peu élevée, en évitant donc si possible les murs porteurs. Si cela n'est pas possible, la terre devra être damée à cet endroit. Ce point sera examiné par l'ingénieur chargé de déterminer la structure portante.

Contrairement aux accumulateurs centraux et périphériques, les conduites transportant l'eau chaude servant à réchauffer l'accumulateur central pénètrent directement dans l'accumulateur. Il y a lieu de prévoir 3 mètres courants au minimum de conduite d'eau chaude par m³ de terre. La figure 5.1. montre un type d'exécution à la fois judicieux et économique. On place ici dans la partie damée entourant de tout part l'accumulateur central un treillis de béton armé sur lequel les tuyaux flexibles sont attachés. La partie occupée par l'accumulateur central proprement dit est ensuite comblée avec de la terre.

Si l'accumulateur central est aménagé dans une zone soumise à une charge statique et que la terre remplissant l'accumulateur central doit être compactée, il est recommandé d'incorporer un ou plusieurs éléments muraux préfabriqués de 10 à 12 cm d'épaisseur qui contiendront l'ensemble des tuyaux flexibles.



Zone de séparation
Sable de remplissage

Conduite en tuyaux flexibles en PP dia. 20x2
attachée à un treillis de béton armé

Isolant thermique résistant à la pression

Conduite en tuyaux flexibles PE dia. 32 (eau
chaude)

Figure 5.1. accumulateur central sous la dalle de fondation

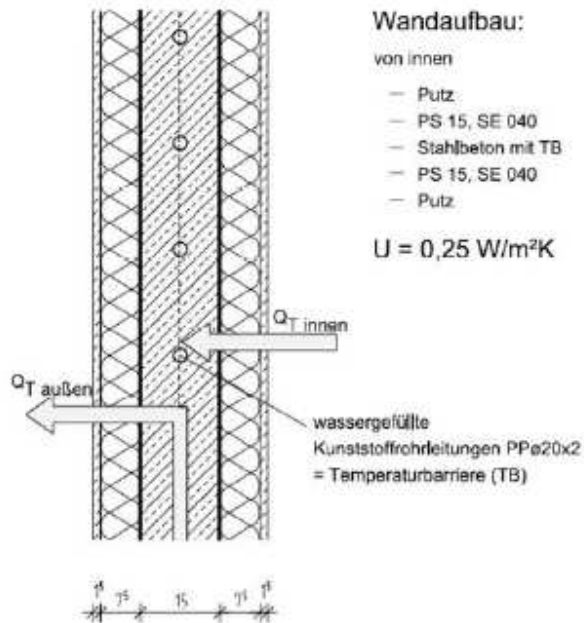
6. Calculs énergétiques

6.1. Pertes thermiques d'un mur extérieur par transmission

Nous comparerons ci-après la perte thermique par transmission et par m^2 de surface murale pour un mur équipé d'une conduite intégrée, ce que l'on appelle la barrière thermique, et un mur de même structure mais qui n'est cependant pas équipé d'une barrière thermique. Comme base pour le calcul des pertes thermiques par transmission, nous avons utilisé les données de température préconisées dans le règlement sur les économies d'énergie applicables en Allemagne. Les murs extérieurs considérés se composent d'une âme en béton de 15 cm d'épaisseur dans laquelle la barrière thermique est intégrée, cette âme étant recouverte d'un isolant thermique de 7,5 cm d'épaisseur disposé de part et d'autre (PS 15, SE 040), (figure 6.1).

Dans une structure murale conventionnelle, la perte thermique par transmission de l'intérieur vers l'extérieur sur l'ensemble du gradient thermique est déterminée par la valeur U correspondante à la coupe transversale totale du mur. Pour un élément de construction muni d'une barrière thermique, le mur plein, qui est « emballé » tant de l'intérieur que de l'extérieur dans un isolant thermique, est traversé par de l'eau circulant dans les conduites aménagées dans la coupe transversale du mur ayant été préalablement chauffé ou refroidi par l'accumulateur terrestre. La coupe transversale du mur est chauffée ou refroidie en fonction de la température du sol. La perte

thermique par transmission est donc déterminée sur tout le gradient de température par la barrière thermique elle seule. L'isolation extérieure ne joue en principe plus aucun rôle sous l'angle des pertes thermiques par transmission à condition que le sol fournisse suffisamment d'énergie pour maintenir la température du mur. Il convient ici de veiller à ce qu'en cas d'ensoleillement, l'accumulateur terrestre soit alimenté en hiver aussi en énergie thermique par le système d'absorption installé en toiture.



Structure du mur :
 depuis l'intérieur

- enduit
- PS 15, SE 040
- béton armé avec BT
- PS 15, SE 040
- enduit

t extérieure t intérieure

rempli d'eau

Conduites en PP dia. 20x2
 = barrière thermique (BT)

Figure 6.1. schéma de principe de la coupe transversale du mur extérieur considéré

Le diagramme 6.1 montre la perte thermique par transmission du mur extérieur pris dans son ensemble ($U = 0,25$) sans barrière thermique (BT). Si l'on tient compte d'une BT ayant une température d'eau comprise entre 14 et 18°C, une distinction a été faite entre la

- partie intérieure du mur (Q_{Ti}) qui tient compte de l'isolant d'une épaisseur de 7,5 cm disposé à l'intérieur, ainsi que de la moitié intérieure de la coupe transversale de béton et
- l'autre partie du mur (Q_{Ta}) qui tient compte de la moitié extérieure de la coupe transversale du béton et de l'isolant de 7,5 cm d'épaisseur disposé à l'extérieur.

Pour la perte thermique par transmission du mur sans BT, on a

$$Q_T \sim U \cdot \Delta t \quad \text{mit } \Delta t = t_i - t_a$$

mit = où

Pour les pertes thermiques par transmission de la partie intérieure et extérieure du mur, on a par analogie (en appliquant ici le double de la valeur U !)

$$Q_{Ti} \sim 2 U (t_i - t_B)$$

$$Q_{Ta} \sim 2 U (t_B - t_a)$$

et pour la somme, on a

$$Q_{Ti} + Q_{Ta} \sim 2 U (t_i - t_a)$$

Le mur avec BT présente donc dans l'ensemble le double de la perte thermique par transmission calculée par rapport à un mur sans BT, ce qui peut sembler à première vue seulement être un inconvénient car la perte de la partie extérieure du mur est alimentée par l'accumulateur terrestre, alimentation au demeurant « gratuite ». La perte de la partie intérieure du mur doit être logiquement minimisée par la réduction de la différence $t_i - t_B$. La température de la barrière thermique augmentant, les pertes thermiques par transmission de la partie intérieure du mur sont « décalées » vers la partie extérieure du mur, en sorte que c'est de l'énergie provenant de l'accumulateur terrestre et moins de l'énergie provenant des pièces qui est consommée. Si la température de la barrière thermique était égale à la température intérieure, où $t_i = t_B$, il ne se produirait aucune perte dans la partie intérieure du mur.

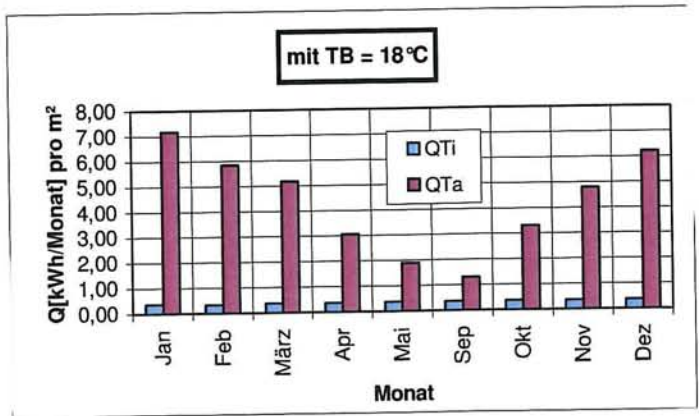
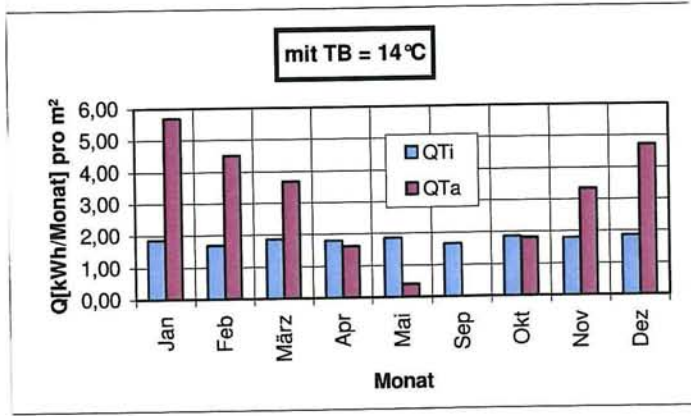
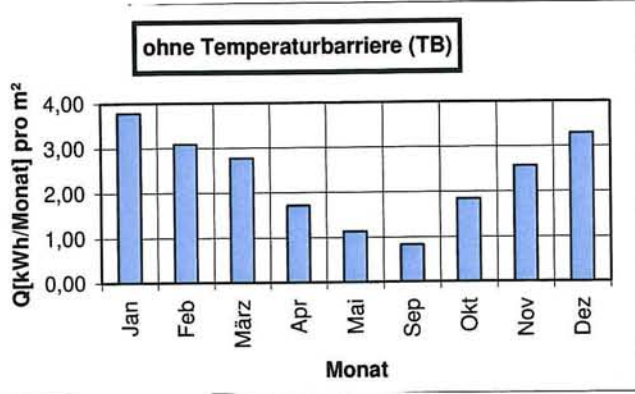
La comparaison directe entre le mur sans BT et le mur avec BT, où BT est égal à 18°C, montre que les pertes thermiques par transmission Q_{Ti} sont réduites de 21,02 à 3,28 kWh/mois et par m² de surface murale.

Cela correspond à une diminution des besoins en chaleur de chauffage sous l'angle des pertes thermiques par transmission du mur extérieur de 81 %.

Pour des raisons de comparaison arithmétique uniquement, les températures de la barrière thermique ont été calculées mensuellement et sous forme de constante pendant toute la période de chauffage prise par hypothèse. Dans la pratique, elle est constamment révisée et optimisée en fonction des températures intérieures souhaitées et

des températures prédominant à l'extérieur ; cela s'applique à la fois au chauffage et au refroidissement du bâtiment.

Diagramme 6.1. Pertes thermiques par transmission d'un mur extérieur sans BT, où BT est égal à 14°C et à 18 °C



sans BT

Jan	3,78
Fév	3,09
Mars	2,77
Avr	1,71
Mai	1,13
Sep	0,83
Oct	1,84
Nov	2,57
Déc	3,29
Total	21,02

sans barrière thermique (BT)

Q[kWh/mois] par m²

Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Sep	Oct	Nov	Déc
-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

avec BT = 14°C

	QT _i	QT _a
	kWh/mois par m ²	
Jan	1,86	5,69
Feb	1,68	4,50
Mars	1,86	3,68
Avr	1,80	1,62
Mai	1,86	0,41
Sep	1,66	0,00
Oct	1,86	1,82
Nov	1,80	3,35
Déc	1,86	4,72
Total	16,24	25,80

avec BT = 18°C

	QT _i	QT _a
	kWh/mois par m ²	
Jan	0,37	7,18
Fév	0,34	5,85
Mars	0,37	5,17
Avr	0,36	3,06
Mai	0,37	1,90
Sep	0,36	1,30
Oct	0,37	3,31
Nov	0,36	4,79
Déc	0,37	6,21
Total	3,28	38,76

6.2. Besoins en chaleur de chauffage d'une maison unifamiliale

Si l'on applique les principes énoncés dans le chapitre précédent à une maison unifamiliale typique avec cave, rez-de-chaussée et combles aménagés sous une toiture à deux versants, les besoins thermiques pour le chauffage sont donnés par le diagramme 6.2. : comparaison entre le mode de construction conventionnel d'une maison unifamiliale avec la technologie du bâtiment Terra-Sol.

La surface au sol du bâtiment considéré est de 88 m² et le volume du bâtiment chauffé est de 797 m³. Comme base de calcul, nous avons supposé dans les deux cas que les composants de la construction de même que les conditions marginales, qui ne sont pas influencées par la technologie Terra-Sol, étaient identiques.

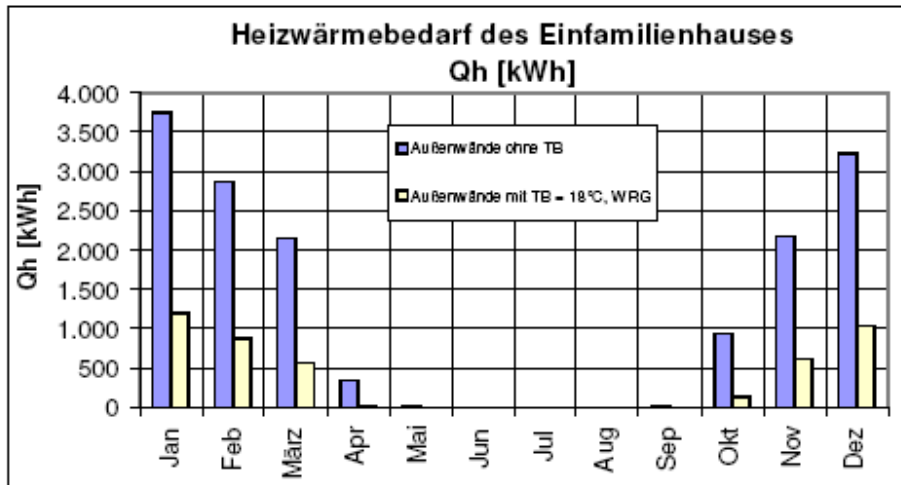
Composants de la construction : toit	valeur U = 0,18 W/m ² K
Fenêtres et portes	valeur U = 1,40 W/m ² K
	Surface des fenêtres 17 %
Ponts thermiques	supplément valeur U 0,05 W/m ² K

Pour évaluer le mode de construction conventionnel, nous avons retenu la coupe transversale du mur considérée au point 6.1., présentant un coefficient U égal à 0,25 W/m²K ainsi qu'une ventilation libre ayant un coefficient de remplacement de l'air égal à 0,7 h⁻¹.

Dans le calcul effectué avec la technologie Terra-Sol, il a été tenu compte, pour une valeur U de 0,50 W/m²K de la « moitié » de la coupe transversale du mur ayant une température de barrière thermique constante de 18°C et une installation à contre-courant tube/tube, d'une récupération thermique de 90%.

Diagramme 6.2. besoins thermiques comparés pour le chauffage

Besoins thermiques pour le chauffage d'une maison unifamiliale
Qh [kWh]



0

murs extérieurs sans BT

murs extérieurs avec BT = 18 °C, WRG

Jan Fév Mars Avr Mai Juin Jul Août Sep Oct Nov Déc

Sur la base des paramètres énoncés ci-dessus, les besoins thermiques pour le chauffage de cette maison unifamiliale se répartissent comme suit :

Murs extérieurs sans BT	Qh = 15.488 kWh/a
Murs extérieurs où BT = 18° C, WRG	Qh = 4.412 kWh/a

Par rapport à la surface utile du bâtiment AN = 255 m² :

Murs extérieurs sans BT	qh = 60,7 kWh/m ² /a
Murs extérieurs où BT = 18° C, WRG	qh = 17,3 kWh/m ² /a

Ce calcul prouve que les besoins thermiques annuels pour le chauffage d'un bâtiment construit selon la technologie Terra-Sol, se composant d'une barrière thermique et d'une installation à contre-courant tube/tube, équivalent plus ou moins à ceux d'une maison passive présentant des besoins thermiques annuels pour le chauffage correspondant à un qh égal à 15 kWh/m²/a.

En examinant de plus près le calcul, on constate que la plus grosse partie des besoins thermiques annuels pour le chauffage est due à la qualité des fenêtres et des portes en raison du coefficient U élevé.

Donc, en installant des fenêtres et des portes présentant une valeur U plus faible et en appliquant la technologie Terra-Sol et des épaisseurs d'isolant usuelles, on peut obtenir

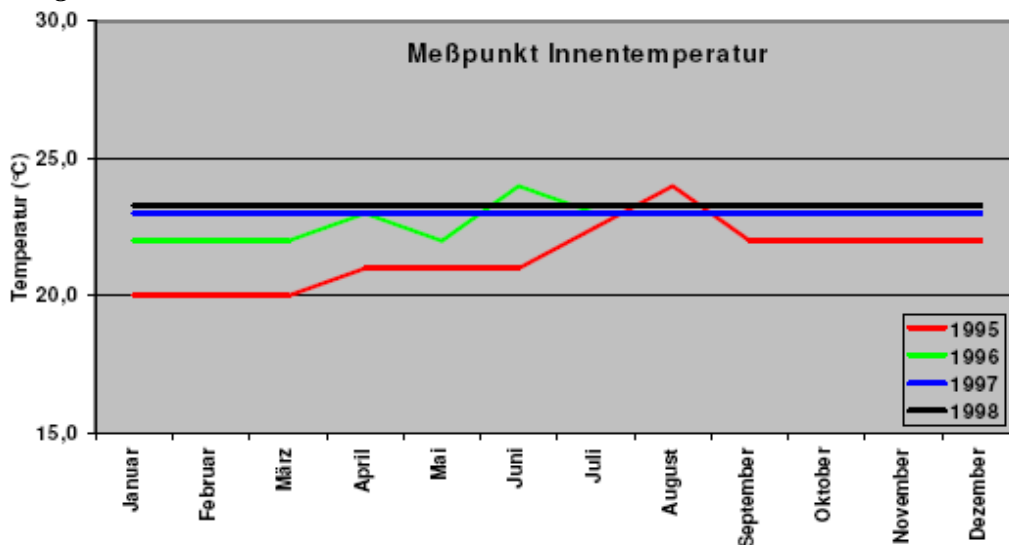
des besoins thermiques pour le chauffage encore plus faibles de l'ordre de 10 kWh/m²/a et au-delà.

On notera en outre que les coûts de construction d'un bâtiment Terra-Sol sont inférieurs à ceux d'un bâtiment construit de manière conventionnelle, entre autres parce que des épaisseurs d'isolant importantes et des fenêtres onéreuses présentant un coefficient U peu élevé ne sont pas nécessaires.

7. Relevés des températures dans un bâtiment témoin

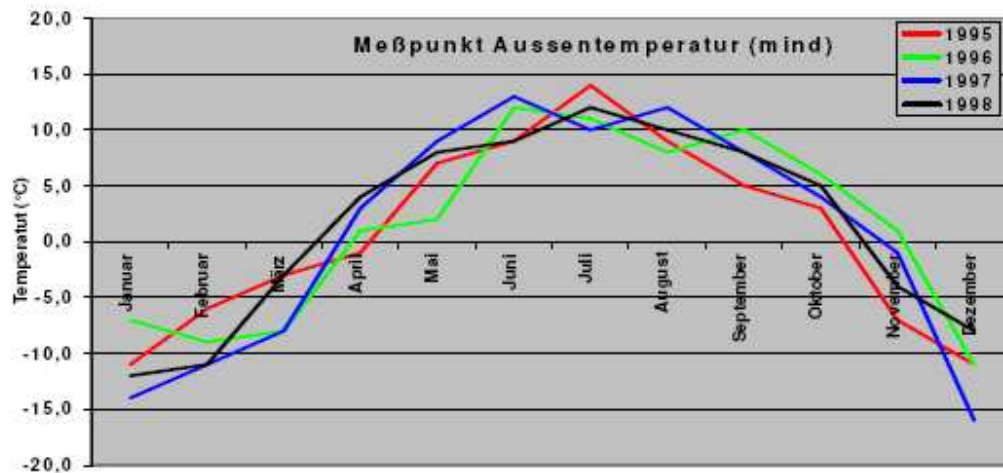
La technologie du bâtiment Isomax / Terra-Sol est déjà appliquée avec succès dans de nombreux pays tels que l'Allemagne, le Luxembourg, la Belgique, la France, la Suisse, les USA, la Malaisie, Djibouti, le Venezuela, l'Inde (à noter ici la sécurité présentée par les éléments préfabriqués en béton en cas de tremblement de terre) et enfin la Chine. Le diagramme 6.3. montre une série de mesures effectuées sur une période de quatre ans et indiquant la température intérieure, la température extérieure et la température dans l'accumulateur terrestre d'une maison d'habitation unifamiliale. Ce bâtiment a été construit en 1995 au Luxembourg ; il se compose de murs en béton léger de 15 cm d'épaisseur isolés à l'intérieur et à l'extérieur avec une couche d'isolant de 7,5 cm d'épaisseur. La surface habitable est de 175 m² et se répartit sur un étage et demi. Les valeurs relevées confirment pleinement les prémisses théoriques.

Diagramme 6.3. séries de mesures relevées dans un bâtiment témoin



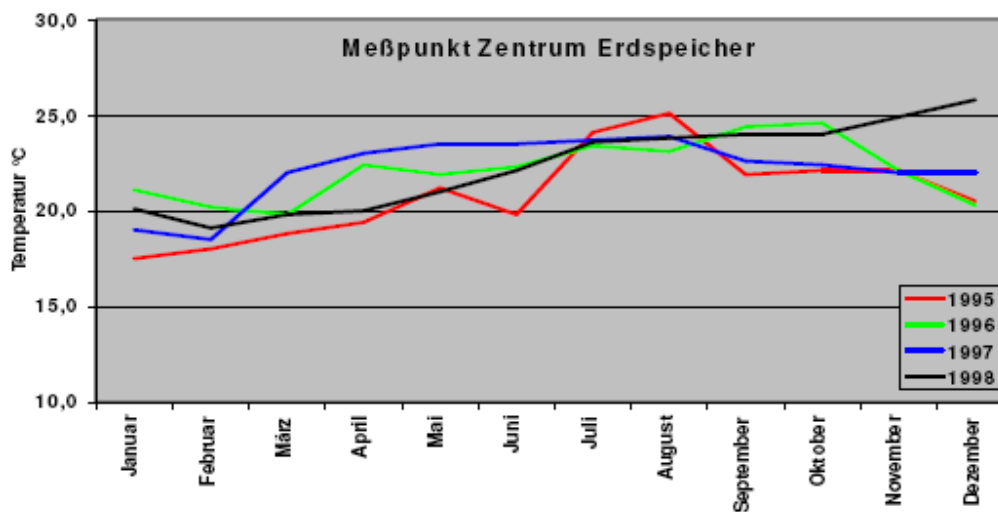
Relevé de la température intérieure

Janvier Février Mars Avril Mai Juin Juillet Août Septembre Octobre
 Novembre Décembre
Température (°C)



Relevé de la température extérieure (min.)

Janvier Février Mars Avril Mai Juin Juillet Août Septembre
 Octobre Novembre Décembre
 Température (°C)



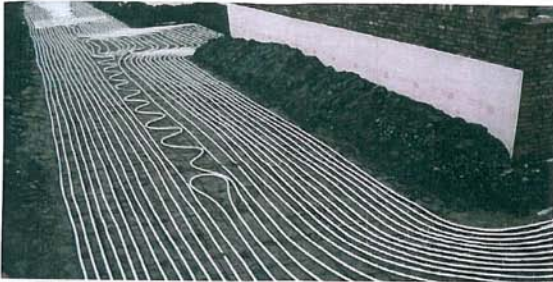
Relevé au centre de l'accumulateur terrestre

Janvier Février Mars Avril Mai Juin Juillet Août
 Septembre Octobre Novembre Décembre
 Température (°C)

Les épaisseurs d'isolant usuelles dans ce genre de maison d'habitation unifamiliale ne cessent d'être optimisées sous l'angle des gains héliothermiques. Dans un projet actuel, on a disposé à l'intérieur et à l'extérieur un isolant de 5 cm (WLG 040), l'absorption de l'énergie solaire par les murs extérieurs donnant de cette façon des résultats remarquables. De plus, une barrière thermique a également été incorporée dans la toiture dont la surface est relativement importante par rapport à celle des murs extérieurs, en sorte que les pièces, qui n'ont pas ou qui ont peu de murs, atteignent elles aussi des températures réglables agréables par le biais de cette barrière thermique.

Lors de la construction du bâtiment, de nombreuses sondes de mesure ont été installées faisant en sorte que les résultats de ces mesures permettent d'analyser l'impact que peut avoir une diminution des épaisseurs d'isolant et l'ajout d'une barrière thermique supplémentaire dans le toit sur les profils de température.

Les figures 7.1. à 7.5. montrent les différentes phases de construction de plusieurs maisons ISOMAX à énergie nulle. La figure 7.6. illustre la technique nécessaire en matière de régulation et qui se limite à deux pompes de circulation et quelques soupapes de réglage.



7.1.



7.2.



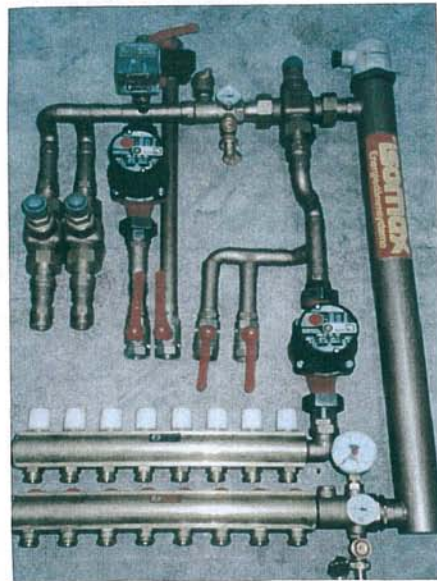
7.3.



7.4.



7.5.



7.6.

Figure 7.1 : pose des conduites dans une dalle de fondation avant bétonnage

Figure 7.2 : conduites du circuit de refroidissement installées à côté d'un bâtiment

Figure 7.3 : pose du tube absorbant l'énergie solaire sur les plaques isolant le toit

Figure 7.4 : montage des éléments muraux importants avec conduites intégrées

Figure 7.5 : installation à contre-courant « tube/tube »

Figure 7.6 : technique de régulation d'une maison d'habitation unifamiliale

8. Perspectives

L'utilisation de l'énergie solaire en association avec l'énergie géothermique existante dans les couches superficielles du sol allient sous une forme étonnamment simple les avantages offerts par ces deux techniques éprouvées que sont la technologie solaire et l'exploitation de la chaleur du sol. De nombreux bâtiments réalisés dans toutes les zones climatiques apportent la preuve de l'efficacité de ce système très économique tant en ce qui concerne les coûts de construction que les coûts d'exploitation. La technologie du bâtiment Isomax / Terra-Sol peut encore être optimisée par des recherches et des développements ultérieurs qui contribueront à réduire considérablement les coûts de construction et les consommations d'énergie se situant aujourd'hui déjà à moins de 10 kWh/m²/a. Toutefois, les expériences déjà effectuées permettent dès aujourd'hui d'utiliser la technologie du bâtiment Isomax / Terra-Sol financièrement économique, respectueuse de l'environnement et techniquement irréprochable.