



ENERGIE

RAPPORT FINAL

CONTRAT SOLETRA

1. LES RAPPORTS

Le projet de suivi scientifique des maisons solaires « Soletra » de Fosses-la-Ville et de Rotheux-Rimièra a fait l'objet de 21 rapports :

1. **Rapport initial :**
programme du suivi scientifique du projet SE 415.
P. FAGNERAY - J. NICOLAS
Concerne : *La détermination des 4 thèmes du suivi et la description de la métrologie*
2. **Rapport de mesure du bruit (n° 870301).**
P. FAGNERAY
Concerne : *La mesure de l'intensité et des fréquences du bruit du caisson en bois.*
3. **Rapport de la première campagne de mesure (n° 870302).**
P. FAGNERAY
Concerne : *Le suivi d'un cycle artificiel de stockage dans la maison 7 non terminée.*
4. **Rapport de la deuxième campagne de mesure (n° 870703).**
P. FAGNERAY
Concerne : *Le suivi d'un cycle de déstockage forcé dans la maison 7.*
5. **Rapport de mesure du bruit d'une maison solaire de Fosses-la-Ville (n° 871004).**
P. FAGNERAY
Concerne : *La mesure de l'intensité et des fréquences du bruit dans le caisson définitif.*
6. **Mesure des débits d'air (n° 880205).**
P. FAGNERAY
Concerne : *Le relevé et le réglage des débits d'air dans le stockage et dans les bouches.*
7. **Pertes de charge (n° 880206).**
Mr PIERLOT
Concerne : *La détermination et le contrôle des pertes de charge au niveau du stockage.*

8. **Etanchéité et ventilation (n° 880207).**
CSTC
Concerne : *Les mesures de test à l'étanchéité et du taux de renouvellement d'air des maisons.*
9. **Rapport de la troisième campagne de mesure (n° 880308).**
P. FAGNERAY
Concerne : *La comparaison des stockages dans les maisons 3 et 5.*
10. **Thermique de l'enveloppe (n° 880309).**
J. NICOLAS - Ph. ANDRÉ
Concerne : *L'étude théorique des pertes de l'enveloppe de la maison et des consommations.*
11. **Météorologie du site (n° 880310).**
J.-F. RIVEZ
Concerne : *La caractérisation du climat de Fosses-la-Ville.*
12. **Thermographie infrarouge (n° 880311).**
P. FAGNERAY - J. NICOLAS - Ph. ANDRÉ
Concerne : *La mise en évidence, par caméra infra-rouge, des flux thermiques de l'enveloppe et du système de distribution.*
13. **Rapport intermédiaire du suivi scientifique du projet SE 415.**
J. NICOLAS - P. FAGNERAY
Concerne : *Les problèmes rencontrés, les leçons tirées, les thèmes abordés et les objectifs futurs à la moitié de la durée du contrat.*
14. **Etude des Cycles de Fonctionnement (n° 881012).**
J. NICOLAS - P. FAGNERAY
Concerne : *Etude des temps de fonctionnement des différents cycles, remarques concernant la stratégie de contrôle et l'utilité de la dalle.*
15. **Mesures au thermofluxmètre (n° 881013).**
J. NICOLAS - P. FAGNERAY
Concerne : *La mesure et l'interprétation des flux thermiques dans les murs, la dalle et les châssis.*
16. **Dynamique du stockage et de la ventilation (n° 890214).**
Ph. ANDRÉ
Concerne : *L'approche par le logiciel de simulation « Suncode » de la dynamique du système de dalle stockeuse et de sa gestion.*

17. **Ensoleillement horizontal des journées des 4 et 17 novembre 1988 (n° 890315).**
J. NICOLAS
Concerne : *La fourniture des données d'ensoleillement pour ces deux journées et un commentaire concernant l'utilisation des données d'ensoleillement.*
18. **Bilan d'énergie dans la dalle.**
Maison 9 - mois de mai - condition unique : ΔT ambiance / galets (n° 890316).
J. NICOLAS
Concerne : *L'établissement de bilan d'énergie dans la dalle dans des conditions forcées et estimation de son rendement thermique.*
19. **Comparaison des types de dalle par la puissance échangée (n° 890317).**
J. NICOLAS
Concerne : *La comparaison, pour 3 types de dalle, des différentiels de température et des puissances échangées et conseils de dimensionnement des dalles stockeuses d'énergie.*
20. **Analyse des consommations d'énergie mesurées (n° 890218).**
J. NICOLAS
Concerne : *Estimation des flux annuels moyens d'énergie sur base des relevés de consommation électrique.*
21. **Rapport final du suivi scientifique du projet SE 415.**
J. NICOLAS - Ph. ANDRÉ - J.-F. RIVEZ - V. DEBBAUT
Concerne : *Le présent rapport.*

La matière fournie dans les 18 rapports techniques est assez vaste et complète pour être jugée suffisante par elle-même. Ces rapports seront donc considérés comme annexes au présent document qui ne fera qu'établir un résumé succinct des principales conclusions de l'étude.

2. LES QUESTIONS POSÉES

Le but du suivi scientifique était de tenter de répondre à un certain nombre de questions pratiques que pouvaient se poser les concepteurs de tels bâtiments.

Nous avons repris ici cinq questions qui nous semblent résumer l'optique envisagée dans ce suivi.

Première question :

La maison considérée comme enveloppe, indépendamment de son système de chauffage, répond-t-elle aux exigences d'isolation thermique, de ventilation et de confort ?

Deuxième question :

Le climat propre à Fosses-la-Ville n'est-il pas trop particulier pour tenter une extrapolation des résultats ?

Troisième question :

Quel est le système de dalle le meilleur parmi les 4 systèmes envisagés et peut-on chiffrer l'efficacité de la dalle ?

Quatrième question :

Quels sont les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire passive dans ces maisons ?

Cinquième question :

Le système actif de ventilation, avec son dispositif de contrôle est-il optimum ?

3. LE CHAMP D'EXPERIENCE

Le site de Fosses-la-Ville est situé à une dizaine de kilomètres de Namur, en direction de Charleroi.

Le site de Rotheux-Rimièrè est situé sur la route du Condroz : Marche-en-Famenne / Liège, à une vingtaine de kilomètres de Liège.

Le climat de ces deux sites est à peu près similaire : tempéré et plutôt maritime, assez venteux car fort dégagés.

A Fosses-la-Ville, 13 maisons ont été construites : elles sont en général jumelées, présentent une grande surface vitrée côté sud, le garage côté nord, une dalle de sol composite béton / galets de rivière, un système de chauffage par radiateurs électriques et un système contrôlé de ventilation.

En moyenne, la surface au sol est de 69 m^2 , le volume extérieur de 387 m^3 et le volume d'air intérieur de 290 m^3 .

Les treize maisons ne sont pas équivalentes au point de vue thermique; les différences portent essentiellement sur :

- la surface de vitrage sud : 27 ou 32 m^2 ;
- le type de dalle sandwich : le béton de part et d'autre des 30 cm de galets se répartit soit en 8 / 27 cm, soit en 19 / 16 cm;
- le type de distribution de l'air dans la dalle : soit par des briques mises sur champ aux extrémités du volume de stockage, soit par des drains de diamètre 20 cm inclus dans le volume de galets;
- le sens de distribution de l'air dans la dalle : dans le sens de la longueur (est - ouest) ou dans le sens de la largeur (sud - nord);
- le volume de la zone de stockage : selon le type et le sens de la distribution, les volumes de galets et de béton changent.

Le tableau 1, ci-après p. 6, reprend les caractéristiques des 13 maisons.

<i>Numéro de la maison</i>	<i>Surface de vitrage sud (m2)</i>	<i>Répartition du béton de sandwich (cm)</i>	<i>Type de distribution dans la dalle</i>	<i>Sens du flux d'air dans la dalle</i>	<i>Volume de galets (m3)</i>	<i>Volume de béton dans le stockage (m3)</i>	<i>Capacité thermique du stockage (béton + galets) (MJ/K)</i>
1	27	8/27	briques	longueur	10.45	12.88	39.65
2	27	8/27	briques	longueur	10.45	12.88	39.65
3	32	8/27	briques	longueur	10.45	12.88	39.65
4	32	8/27	briques	longueur	10.45	12.88	39.65
5	27	8/27	briques	largeur	8.83	11.07	33.83
6	27	8/27	briques	largeur	8.83	11.07	33.83
7	32	19/16	drains	longueur	5.93	8.63	24.81
8	32	19/16	drains	longueur	5.93	8.63	24.81
9	27	19/16	drains	longueur	5.93	8.63	24.81
10	27	19/16	drains	longueur	5.93	8.63	24.81
11	32	19/16	drains	largeur	6.48	10.80	29.54
12	32	19/16	drains	largeur	6.48	10.80	29.54
13	27	19/16	drains	largeur	6.48	10.80	29.54

Enfin, un système de contrôle des flux d'air, équipé de clapets, de sondes de température et d'une électronique de régulation permet le fonctionnement selon 6 modes, différant par les points de passage du flux d'air entre la maison (M), le stockage (S) et l'extérieur (E), le débit d'air (maximum à 2 500 m³/H nominal, modéré à 1 300 m³/H nominal et en renouvellement à 150 m³/H nominal).

Un mode de fonctionnement est choisi en fonction de six conditions :

- hiver ou été,
- confort ou inconfort (ambiance comparée à 24.5°C),
- échange possible ou impossible entre la maison et la dalle (Δt comparé à 1°C),
- ensoleillement ou ciel couvert (température de vitrage comparée à 30°C),
- ambiance suffisante ou insuffisante (ambiance comparée à 22°C),
- demande thermique ou non (thermostat).

Ces modes sont les suivants :

En hiver :

- stockage maximum - MSM/2500
- stockage modéré - MSM/1300
- renouvellement d'air avec récupération - MSE/150
- renouvellement d'air sans récupération - ME/150
- refroidissement - EME/2500

En été :

- stockage de froid - ESE/2500

A Rotheux-Rimièrre, au moment de la rédaction de ce rapport, six maisons ont été construites; elles sont pratiquement toutes similaires avec une surface de vitrage SE et SO de 30 m², 50 cm de galets dans la dalle, une répartition du béton de 8/24 cm, un type de distribution par drains et un flux d'air en longueur.

La maison (sans le garage) occupe une surface au sol de 68 m², elle possède deux niveaux et totalise un volume d'air intérieur de 320 m³.

Les volumes de galets et de béton du stockage sont respectivement de 13.55 m³ et de 10.97 m³, soit une capacité thermique de 41.33 MJ/K.

Le système de contrôle aérolique est pratiquement le même qu'à Fosses-la-Ville.

Ces six maisons sont individuelles, ce qui avec également une capacité thermique plus grande les distingue des premières.

4. L'INSTRUMENTATION

Afin de pouvoir répondre aux questions posées au chapitre 2, l'Unité « Energie » de la FUL a instrumenté les maisons de la façon suivante :

* A FOSSES-LA-VILLE :

- Une station météo, sur un support en pignon ouest de la maison 9, comprenant les mesures de température d'air, d'humidité relative, d'ensoleillement horizontal, de vitesse et de direction du vent.
- Un ensemble de 104 capteurs de température situés à différents niveaux : dans le sol sous la dalle, dans le béton inférieur, dans les galets, dans le béton supérieur, juste sous le carrelage, dans l'air ambiant au rez-de-chaussée, dans l'air ambiant à l'étage, dans le caisson et les bouches de ventilation et d'extraction.

Ces capteurs se répartissent comme suit :

maison 3	→	19
maison 5	→	19
maison 7	→	20
maison 9	→	26
maison 13	→	20

Comme on le voit sur le tableau 1, le choix de ces 5 maisons permet de se faire une idée assez exacte des différentes possibilités de dalle, en évitant le suivi de l'ensemble des 13 maisons.

- Plusieurs mesures ponctuelles de la vitesse d'air à différents endroits par micro-anémomètre et tube de pitot.
- Des mesures de l'état de fonctionnement des différents modes de chauffage et de ventilation.
- Des relevés des compteurs d'énergie électrique dans les 13 maisons, avec accès à l'énergie totale, à l'énergie des radiateurs électriques et à celle du système de ventilation.
- Deux mesures du bruit causé par le système de ventilation.
- Deux tests d'étanchéité et de ventilation : l'un par pressurisation, l'autre au gaz traceur.
- Des mesures au thermofluxmètre sur la dalle, les parois extérieures et les châssis.
- Une visualisation des maisons par caméra infrarouge.

Les mesures en continu sont rassemblées dans la maison 9 et sont réalisées par l'acquisiteur de données Hewlett-Packard 3421A avec stockage sur cassette.

* **A ROTHEUX-RIMIERE :**

- La station météo sur un mat.
- Uniquement dans une maison, 26 sondes de température réparties dans la dalle, dans l'air et dans le système de ventilation.
La position de ces sondes permet, mieux qu'à Fosses-la-Ville, de mesurer le gradient thermique dans la dalle (9 positions en hauteur plutôt que 4).

Malheureusement, pour certaines raisons techniques dues notamment à un problème de fonctionnement du caisson de ventilation, le suivi de ces dernières maisons n'a pas pu être achevé avant la rédaction de ce rapport.

Pour Fosses-la-Ville, en plus du traitement des mesures (couvrant essentiellement la période février 87 / novembre 88), plusieurs logiciels de simulation ont été appliqués aux habitations.

Il s'agit de :

- **KENERG (CSTC)**,
programme mono-zone qui calcule les déperditions et les coefficients K et Be.
- **LPB4 (Université de Liège)**,
programme statique multi-zones qui calcule les déperditions, les apports passifs et la consommation.
- **SUNCODE (Ecotope, USA)**,
programme dynamique simulant le comportement thermique d'un bâtiment.

5. PREMIERE QUESTION :

“ La thermique de l'enveloppe ”

5.1. DEPERDITIONS

Le coefficient moyen de déperdition globale de la maison peut être estimé par calcul à partir des valeurs des coefficients de transfert thermique des différentes parois. Il est difficilement mesurable, car il doit rester indépendant des apports gratuits qu'on ne sait jamais isoler dans la mesure des énergies consommées.

De plus, il est fortement influencé par la perte thermique par le vitrage sud (la moitié des pertes totales !).

Celle-ci dépend, *en premier lieu*, de la surface de vitrage : un optimum est à trouver entre l'apport solaire passif et les déperditions. Dans le cas présent, il semble qu'avec 27 m² de vitrage sud, l'optimum ne soit pas encore atteint, mais qu'il est probablement dépassé avec 32 m².

La maison idéale se situerait aux alentours de 30 m², valeur qui a été choisie pour Rotheux-Rimièrè.

En second lieu, cette perte dépend du coefficient k de transmission thermique du vitrage.

Dans notre cas, le coefficient annoncé pour le double vitrage avec couche d'argent est de 1.3 W/m²K, mais il peut passer à 2.5 W/m²K si l'on y inclut le châssis.

Selon la valeur choisie, la déperdition moyenne passe de 210 à 257 W par degré d'écart entre la température intérieure et la température extérieure.

Les valeurs de coefficient k mesurées au thermofluxmètre pendant la nuit sur les vitrages et sur les châssis sont proches de 1.4 W/m²K.

Si on considère que l'étanchéité des châssis est particulièrement bien soignée, on peut considérer que la maison perd 210 W/K dont 85 environ par ventilation.

Si on ramène ce chiffre par m² de surface extérieure, on obtient un coefficient moyen de transmission d'environ 0.88 W/m²K et 0.53 W/m²K sans la ventilation.

La valeur du K selon l'Arrêté wallon est, dans ces conditions, aux environs de 35, soit nettement sous la norme maximum de 70.

La puissance thermique à installer dans ces maisons est de 6 à 8 kW pour satisfaire aux conditions 20°C intérieur par - 10°C extérieur.

5.2. VENTILATION

L'étanchéité globale de l'habitation n'est peut-être pas aussi bonne qu'on pouvait l'espérer : des pertes par le caisson de ventilation et par certaines ouvertures à l'étage élèvent le taux de ventilation, sans ventilation mécanique, à 0.4...0.5 volume par heure. Cette valeur, bien que faible, peut être considérée comme grande si on la compare à certains bâtiments nordiques.

Cependant, une telle valeur est un minimum pour assurer le confort de l'habitant. Cette ventilation naturelle pourrait cependant être suffisante et il n'est probablement pas nécessaire d'y adjoindre une ventilation mécanique qui fait monter le taux de ventilation à 1 volume par heure.

Remarquons alors que dans ce dernier cas, les pertes thermiques par ventilation atteignent 40 % des pertes totales.

5.3. INERTIE

Ces maisons sont des bâtiments à très haute inertie. Le suivi de la chute de température ambiante intérieure pendant une période de non-chauffage à Marbehan, où les maisons SOLETRA sont de construction similaire à celles de Fosses-la-Ville, fournit une valeur de la capacité thermique d'environ 150 MJ/K (équivalent à 37 m³ d'eau) [11].

Si on utilise la même valeur dans notre cas, on perd environ 0.12 degrés par jour et par degré d'écart entre la température intérieure et la température extérieure.

Ce résultat est confirmé par la mesure à Fosses-la-Ville : après 5 jours d'arrêt de chauffage par une température extérieure négative, la température intérieure est encore à 13°C.

5.4. CONSOMMATION

Sans les gains passifs, ni l'apport de la dalle, la consommation annuelle pour une année-type belge est environ 41 GJ (≈ 11 400 kWh/an correspondant, avec un rendement de 0.8 à 1 400 litres de mazout).

Cette valeur est déjà excellente par rapport à la plupart des maisons belges.

Mais, la principale caractéristique de ces maisons est l'apport d'énergie solaire passive et son stockage : nous verrons au chapitre 8 que nous pouvons encore réduire cette consommation de 40 %.

5.5. CONCLUSION

En résumé, cette maison est donc particulièrement bien isolée; elle profite d'une très haute inertie. Les légères pertes par ventilation ne sont pas nécessairement à supprimer : elles permettraient dans une nouvelle version des maisons d'assurer le confort en évitant la ventilation mécanique contrôlée.

Par ailleurs, les bonnes performances calculées et mesurées pour ces maisons sont corroborées par les images "infrarouge" qui ne mettent en évidence aucun défaut sérieux.

6. DEUXIEME QUESTION :

“ Le climat local ”

Le climat de Fosses-la-Ville est un climat moyen belge : la valeur des degrés-jours 15/15 normaux pour la station de Malonne, proche du site, est de 2 265 °d par an, ce qui situe cette région entre les régions “ chaudes ” (Ostende = 2 021 °d ; Uccle = 2 090 °d ; Bruges = 2 142 °d) et les régions “ froides ” (Rochefort = 2 332 °d ; Maredsous = 2 315 °d ; Spa = 2 589 °d ; Saint-Hubert = 3 118 °d).

Il faut cependant signaler que les degrés-jours mesurés pendant la période du suivi étaient beaucoup plus bas que pour une année normale (1 906 °d seulement) : nous avons en effet bénéficié d'hivers 87-88 et 88-89 particulièrement doux.

Il convient donc de ramener les calculs de consommation à l'année normale, ce qui a été réalisé dans nos rapports.

Le site de Fosses-la-Ville est placé sur une hauteur et il est particulièrement dégagé; il jouit d'un régime de vents relativement violents.

Aucune remarque particulière n'est cependant à signaler à ce sujet : nous n'avons jamais constaté de pertes thermiques excessives, ni de fonctionnements anormaux dus au vent.

Enfin, notre station météo a enregistré des valeurs climatologiques très proches des données recueillies par l'IRM à Malonne, et, en ce qui concerne l'ensoleillement moyen sur une journée, les valeurs ne s'écartaient guère de celle de Uccle.

Les données fournies par l'IRM [2], sont donc suffisantes pour des calculs de bilans moyens.

En résumé, les conclusions du suivi de Fosses-la-Ville peuvent fort bien être extrapolées à un site belge typique, sans commettre d'erreur importante.

Si quelques mesures sont réalisées dans le futur à Rotheux-Rimièrre, elles permettront peut-être de confirmer cette conclusion ...

7. TROISIEME QUESTION :

“ La dalle ”

7.1. FONCTIONNEMENT

Les mesures au thermofluxmètre, l'étude des cycles, l'établissement des bilans d'énergie dans la dalle, mettent en évidence le fonctionnement logique de la dynamique de stockage / relaxation lorsque le système de contrôle l'autorise.

La restitution par rayonnement et par convection naturelle (avec un coefficient de convection $h = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ en surface de la dalle) lorsque l'air ambiant est plus froid que la dalle (la nuit notamment) s'avère fonctionner.

Par ailleurs, conformément à l'intuition, les tranches de béton présentent une bonne inertie par rapport à l'épaisseur de galets, qu'il faut peut être plus considérer comme une tranche échangeuse. Cet échange se fait de façon efficace entre l'air et les pierres et on observe bien la répercussion sur le stock des périodes d'ensoleillement.

Enfin, l'analyse des consommations électriques montre que la dalle est utilisée aussi bien l'été et l'hiver que pendant les périodes de demi-saison.

7.2. QUELQUES CHIFFRES

En mode “ maison - stockage - maison ”, nous avons observé dans trois maisons différentes et pour trois périodes distinctes une puissance moyenne injectée de 1.5 kW.

Si on ramène cette puissance à l'unité d'écart de température entre l'ambiance et les galets, le facteur d'échange $P / \Delta T_e$ évolue entre 370 et 2 000 W/K selon les maisons et les saisons.

La vitesse de propagation de l'onde thermique dans les galets est située entre 0.3 et 0.5 m à l'heure dans les dalles de type “ briques sur champ ” (maisons 1 à 6).

La dalle représente, au maximum, un “ corps de chauffe ” de 200 W, et on peut espérer par exemple un gain d'environ 200 MJ (55 kWh) pour un mois de mars typique si le système de contrôle fonctionne idéalement.

On peut estimer entre 8 et 18 % l'apport annuel de la dalle au chauffage total de l'habitation. De l'énergie injectée dans les galets par le circuit aérolique, 80 % sont réellement emmagasinés dans le stockage, dont les $\frac{2}{3}$ sont perdus vers le bas.

Enfin, si l'on tient compte de la consommation des auxiliaires, le coefficient de performance de la dalle (énergie thermique fournie relativement à l'énergie électrique consommée) ne dépasse guère 3.

7.3. COMPARAISON DES TYPES DE DALLE

D'un point de vue mécanique, il vaut mieux favoriser un stockage avec pertes de charge minimum, c'est-à-dire dans notre cas, un système d'échange par drains dans les galets.

Le débit est alors élevé et les différentiels de température mis en oeuvre entre l'ambiance et le stockage sont faibles (typiquement 0.8°C) en moyenne.

Le choix entre le flux d'air en longueur ou en largeur est peut-être moins évident. Toujours si on se limite à l'aspect mécanique, alors le sens de flux " en largeur " (par exemple, maison 5 dans le cas des briques, ou maison 12 dans le cas des drains) sera préféré, car c'est lui qui présente le minimum de pertes de charge et donc le débit le plus élevé pour un même ventilateur.

Cependant, lorsqu'on tient compte que ce débit d'air est alors distribué sur une section plus large que dans le cas du flux " en longueur ", on remarque que la vitesse moyenne de l'air dans les galets est inférieure : 0.11 m/s mesurée dans la maison 5 contre 0.20 m/s dans la maison 3.

La vitesse de propagation du front thermique est alors également dans le même sens : 0.3 m/h dans la maison 5 et 0.5 m/h dans la maison 3.

Lorsqu'on ajoute aux considérations de mécanique des fluides que les volumes de galets et de béton, et donc les capacités thermiques, sont différents d'un cas à l'autre, parce que précisément les géométries sont variables, le problème du choix devient complexe car on ne parvient plus à isoler un effet d'efficacité d'échange par rapport à un effet de dimension.

En résumé, le problème est situé au niveau de la conception : il convient sans doute de dimensionner le stockage avec une capacité thermique minimum, pour autant que l'autonomie désirée soit assurée et avec un débit d'air maximum, pour autant que l'échange soit efficace. Ces contraintes sont plutôt en faveur des drains.

Quant au choix " longueur ou largeur ", il sera plutôt guidé par la facilité de mise en oeuvre, mais ne semble pas essentiel.

7.4. UTILITE DE LA DALLE

Considérée comme stockage à court terme de l'énergie solaire captée par la verrière sud, la dalle de sol est surtout justifiée en demi-saison : lorsque le climat est suffisamment clément pour capter l'ensoleillement pendant une journée, mais qu'il reste néanmoins trop mauvais pour éviter le chauffage de l'habitat pendant la nuit ou le jour suivant.

Nous choisirons le mois de mars comme période typique pour le dimensionnement de la dalle.

Comme signalé plus haut, il convient alors de calculer le volume minimum qui assure une autonomie suffisante, soit une journée environ.

En comptant sur une variation utile de la température moyenne de la dalle de 3°C, on calcule une capacité thermique idéale d'environ 25 MJ/K.
 Cette capacité permettra donc une autonomie d'une journée en mars, de 8 heures en décembre et de 4 jours en avril.

Cependant, il ne faut sans doute pas considérer et dimensionner la dalle composite comme un stockage ordinaire : la source de chaleur provient de la maison et les différentiels de température autorisés restent faibles.

De plus, même si le système permettait de se rapprocher d'un collecteur solaire à air (ce qui correspond au choix proposé pour certaines maisons futures par Soletra où l'on extrait l'air d'un espace " solaire " plus chaud), ce qui permettrait dès lors d'augmenter ces différentiels de température, la décharge, elle, se fera toujours de façon naturelle, par déperdition de la dalle vers son environnement immédiat, et le stockage ne pourra jamais être considéré de façon isolé.

On n'atteindra jamais dans la dalle des températures très élevées, ce qui entraînerait une rupture de l'équilibre thermique entre les zones.

En conclut-on pour autant que la dalle n'est pas efficace ?
 Non, mais alors ne la qualifions pas de stockage.

En effet, à l'inverse des stockages classiques de chaleur, on n'observe pas de cycles thermiques bien marqués : injection, puis restitution.

Pourtant, il est un fait évident que la dalle permet une économie d'énergie substantielle; il est également montré que la température moyenne de la dalle ne s'éloigne pas trop des 20...22°C; il est certain que ce type de structure, par rapport à un radier de béton ordinaire, permet de faire passer l'épaisseur utile participant à l'inertie du bâtiment de 15 à 65 cm.

Dans le cas de cette dalle, même un bilan global nul ou légèrement négatif entre injection et restitution est, de toute façon, toujours meilleur que le bilan calculé en l'absence de dalle, qui lui est toujours négatif (pertes thermiques vers le sol).

On peut en conclure que la dalle apparaît davantage comme une " ceinture " thermique permettant de réduire la consommation de la maison en demi-saison que comme un dispositif de gestion de l'énergie : toute zone chaude créée dans l'enveloppe d'un bâtiment agit dans ce sens.

Cette notion justifie a posteriori la nécessité de dimensionner la dalle pour une capacité thermique minimum, comme nous l'avons conclu plus haut.

Enfin, signalons que la dalle joue un rôle important à ne pas négliger : le maintien d'une température fraîche en été par circulation, durant la nuit, d'air plus froid. Cette dualité restituée sans doute à la dalle toute sa justification en la rendant plus rentable, puisque sa période d'exploitation est quasi continue.

7.5. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES

Nous l'avons vu, la dalle des bâtiments de Fosses-la-Ville agit plus comme isolation thermique que comme stockage et sa capacité thermique doit être réduite à environ 25 MJ/K maximum afin de conserver de faibles pertes de charge et un fonctionnement optimum.

Poussons le raisonnement plus loin :

N'y aurait-il pas intérêt à surisoler simplement une dalle d'épaisseur classique pour éviter les fuites vers le bas ?

Cette solution doit être examinée par une étude économique en fonction de l'évolution des coûts des combustibles, des matériaux et de leur mise en oeuvre.

7.6. CIRCUIT D'AIR

Le système de distribution d'air dans l'épaisseur de galets, dans le caisson de contrôle et dans les bouches d'aération est un point faible du système.

Bien que le bruit ne semble surtout important qu'à proximité immédiate du caisson, de telles vitesses d'air dans l'habitat pourraient, à terme, s'avérer inconfortables.

Les pertes de charge dans les galets n'ont pas été idéalement estimées, ce qui a entraîné des débits très disparates d'une maison à l'autre.

Plusieurs entrées d'air parasites et des fuites entre circuits aéroliques ont été constatées.

7.7. POINTS A AMELIORER

Quels que soient les défauts, inévitables pour toute idée nouvelle, on peut conclure que la dalle est loin d'être dépourvue d'intérêt, même si la conception actuelle était conservée.

Par rapport à la mise en oeuvre initiale du concept, quelques points seraient à surveiller, en particulier :

- * Les pertes thermiques vers le sol restent importantes relativement aux énergies mises en jeu.

Une augmentation de l'épaisseur d'isolant de 7 à 20 cm permettrait de réduire les pertes de 33 %.

Signalons cependant que l'isolation du stockage diminuera la quantité d'énergie stockée : cela est dû à l'élévation de la température du stock qui diminue les possibilités d'échange thermique.

Un optimum est donc à trouver en fonction des considérations économiques évoquées plus haut.

- * Les différentiels de température sont faibles : 3°C maximum, à l'injection ou à la relaxation.

Si donc on veut conserver à la dalle une fonction de stockage (ce qui n'est cependant pas indispensable), il conviendrait de rendre la captation d'énergie, la zone de stockage et l'aire de restitution plus indépendantes par la création de zones différentes dans le bâtiment et de circuits aéroliques dédiés.

- * La chute de température d'air est appréciable pendant son parcours dans les canaux, en amont et en aval du stock. Il semble que cette chute entraîne une perte d'énergie de 20 % par rapport à l'énergie injectée au niveau du caisson.

Il ne s'agit peut-être pas d'une perte intégrale, puisqu'une partie est restituée à l'ambiance via la chape, mais une amélioration du système pourrait être la réduction des longueurs de ces conduits.

- * L'étanchéité du lit de galets par rapport au logement (30 % des fuites) et par rapport à l'extérieur (70 % des fuites) est à améliorer également.

- * La consommation des auxiliaires, et surtout du ventilateur de pulsion d'air, est grande par rapport aux énergies mises en jeu.

L'énergie électrique consommée annuellement par le groupe de ventilation est du même ordre de grandeur que l'énergie thermique fournie par la dalle en saison froide.

Si donc la dalle ne jouait pas un rôle important en été, l'apport global serait nul.

Cette consommation est donc un point à surveiller, soit en diminuant les débits ou en choisissant des auxiliaires moins "énergivores".

Signalons que la société SOLETRA a déjà tenu compte d'une partie de ces éléments, puisque les maisons de Rotheux-Rimièrre (Neupré) sont largement modifiées par rapport à celles de Fosses-la-Ville (voir point 13).

8. QUATRIEME QUESTION :

“ L'énergie solaire passive ”

La grande surface de vitrage orientée sud permet effectivement un gain passif très important. Les gains maxima sont observés pour le salon/salle à manger et pour la “ chambre 2 ”. On peut espérer une entrée énergétique de 18 W environ par W/m^2 d'ensoleillement sur l'entièreté de la façade sud.

L'apport du solaire passif est estimé à 24 % environ de la charge totale annuelle, soit environ 10 GJ.

Comme nous l'avons signalé plus haut, une surface de vitrage de 30 m^2 semble optimale entre les déperditions et le gain passif.

Cependant, l'inconvénient des larges surfaces vitrées est la surchauffe occasionnée durant les mois d'été, de mai à septembre, durant lesquels la température moyenne est supérieure à 22°C en dehors de tout système de ventilation.

On estime à 48 GJ environ l'énergie qu'il faut évacuer durant ces 5 mois, soit davantage que l'énergie à apporter pour chauffer le bâtiment pendant la saison froide.

Il est donc indispensable de ventiler à débit élevé ($2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$) pour maintenir un confort suffisant.

Le cycle “ extérieur - maison - extérieur ” paraît efficace, puisqu'il permet de réduire la température ambiante intérieure de 10°C . Ce refroidissement est cependant conditionné par une consommation d'énergie non négligeable pour faire fonctionner le groupe de ventilation.

De mai à septembre 1988, on a mesuré une énergie électrique moyenne de 1 825 MJ (507 kWh) utilisée par ce groupe.

On ne connaît pas exactement l'énergie thermique évacuée pendant cette période et il est difficile de savoir si le confort était optimal dans les maisons. Cependant, si on se fie au chiffre cité de 48 GJ à évacuer, le coefficient de performance en conditionnement estival (supérieur à 25) est nettement meilleur qu'en stockage de chaleur (égal à 3).

La surchauffe est surtout gênante du mois d'avril au mois d'août, particulièrement au mois de juin dans la “ chambre 2 ”.

Durant le mois de mars, la surchauffe est rare et “ supportable ”, surtout si on applique une stratégie d'abaissement nocturne de la consigne thermostatique.

On ne peut évidemment pas extrapoler ces résultats à d'autres géométries de bâtiment et de vitrage. Il faut alors recommencer les estimations sur base des ensoleillements mesurés.

Ce calcul n'est pas simple : il doit corriger la mesure de l'ensoleillement sur un plan horizontal pour tenir compte de la géométrie exacte du bâtiment et de la surface vitrée.

9. CINQUIEME QUESTION :

“ Le système de contrôle ”

9.1. DIFFERENTIEL DE TEMPERATURE

Avec le système actuel de contrôle, quelle que soit la stratégie, les galets dans la dalle ne pourront jamais dépasser une température fixée par la consigne d'inconfort moins 1°C, soit ici 23.5°C.

Si on considère l'hypothèse d'un thermostat réglé à 20°C, la décharge passive par conduction se fera au maximum avec un ΔT galets / ambiance de 3.5°C.

Ce différentiel, compte tenu de la surface d'échange de la dalle, est-il suffisant ? Si on laisse figé le système actuel, le seul degré de liberté réellement manipulable est la consigne affichée au thermostat d'ambiance. Une solution pour augmenter ce différentiel est un réglage du thermostat à deux régimes : par exemple, 19°C durant la journée et 12°C durant la nuit.

La température ambiante nocturne, plus basse, favorise alors un ΔT plus élevé, et donc une décharge passive plus efficace, mais à un moment où la demande est faible.

Le seul intérêt de la dalle dans ce cas serait de faciliter la relance matinale du chauffage classique.

On peut également diminuer la consigne “ jour ” à un niveau volontairement inférieur à celui souhaité, les degrés restants étant apportés par les gains passifs lorsque la décharge n'a pas lieu. Cette stratégie, en plaçant par exemple la consigne “ jour ” à 18°C au lieu de 19°C, s'avère payante au niveau de la consommation mais ne permet d'assurer le confort qu'au cours de périodes relativement courtes sans ensoleillement. Pour de plus longues périodes, la consigne thermostatique doit être restaurée à un niveau plus élevé.

9.2. COMPLEXITE DU SYSTEME ACTUEL

A notre avis, il faut tendre vers une simplification du système actuel. Les raisons essentielles en sont les suivantes :

- On a observé que le mode MSM était finalement peu actif durant la demi-saison, rendant la dalle quasi inopérante pendant de longues périodes.
- Le caisson avec son système électronique de contrôle est un élément assez cher, complexe, sujet à des pannes, des fuites par les clapets, ...

- Il ne permet pas réellement d'éviter que la dalle ne soit chauffée par les radiateurs électriques, ce qui enlève toute pertinence au système de stockage.
- Si un mode " été " reste indispensable pour le refroidissement (soit en cycle EME, soit en refroidissement nocturne de la dalle), il est loin d'être justifié de distinguer un mode " hiver " et un mode " demi-saison " : la philosophie pourrait être la même pour ces deux périodes.
- Un cycle au moins (MSE) a été jugé non seulement inutile, mais même néfaste au système.
- Certaines conditions, telles que la condition de présence du soleil et la condition de température ambiante suffisante pour stocker, s'avèrent peu " rentables " en regard de la complexité accrue qu'elles entraînent.
- Le débit intermédiaire de 1 300 m³/h (entre 150 et 2 500 m³/h) n'est, lui non plus, probablement pas justifié.
- Dans la majorité des cas, le " client " sera un propriétaire qui sera donc gestionnaire de son chauffage : il n'est peut-être pas sociologiquement opportun de lui imposer un mode de chauffage aussi figé.
Il sera probablement tenté un jour ou l'autre d'apporter une modification aux consignes et aux circuits, mais les interactions entre les conditions et les cycles étant inévitables, le propriétaire de la maison pourrait fort bien dans ce cas obtenir un effet opposé à l'effet désiré.
Ne va-t-il pas alors, par facilité, mettre tout le système hors-service ?

9.3. SUGGESTIONS

- ① La consigne thermostatique réglable jour/nuit est d'un intérêt évident. De la même façon, les conditions d'ambiance suffisante ou d'inconfort pourraient se concevoir par rapport à la consigne du thermostat. La notion d'inconfort est en effet relative : si on suppose que c'est le thermostat qui fixe le " confort ", l' " inconfort " pourrait être par exemple thermostat + 2°C. Enfin, c'est également le thermostat qui doit permettre d'éviter le chauffage de la dalle par le système classique : si la maison est en demande, et donc que les radiateurs électriques fonctionnent, il est inutile de stocker de l'énergie dans la dalle.
Ces remarques convergent pour mettre en évidence le rôle essentiel que doit jouer le " thermostat " (au sens large : il pourrait s'agir d'une moyenne sur plusieurs locaux, ...).
Une future régulation doit probablement être davantage axée sur ce thermostat en tant que condition centrale et prioritaire.
- ② La décharge par conduction naturelle à travers la dalle est peut-être insuffisante : il conviendrait peut-être de cycliser en permanence en mode " maison - stockage - maison " à faible débit, à la fois pour la charge et pour la décharge.

10. CONCLUSIONS

On peut donc conclure que les maisons SOLETRA de Fosses-la-Ville et de Rotheux-Rimièrè répondent dans l'ensemble à ce que l'on attendait d'elles : bonne isolation, grande inertie, gains passifs importants, faible consommation.

Le concept de dalle sandwich stockant l'énergie de surchauffe de l'habitation est à conserver, car très original.

Il serait dommage de revenir à un stockage et à des capteurs solaires plus classiques sans exploiter au maximum cette idée de dalle stockeuse.

La mise en oeuvre de la dalle doit cependant être améliorée. Particulièrement le dimensionnement et le circuit aérolique avec son système de contrôle.

La conception de ces maisons s'inscrit dans toute philosophie de bâtiments à haute inertie qui ne peuvent exploiter efficacement certains types de chauffage réputés peu inertes (ventilo-convecteurs, ...), mais pour lesquels, grâce à leur principe même, il est intéressant de mettre en oeuvre des composants thermiques nouveaux.

Qu'elle remplisse effectivement une fonction de stockage ou qu'elle soit plutôt considérée comme " ceinture " thermique, la dalle sandwich doit, pour être rentable, être alimentée par une énergie quasi gratuite : le principe des maisons « *solaires passives activées* » de Soletra est donc certainement à approfondir.

11. CARTE D'IDENTITÉ (en moyenne)

<i>PARAMETRE</i>	<i>SYMBOLE</i>	<i>UNITÉ</i>	<i>VALEUR</i>
Emprise superficielle au sol	A_S	m^2	69
Surface de plancher chauffée	A_{eh}	m^2	136
Volume chauffé	V	m^3	263
Surface totale de déperdition	S	m^2	238
Compacité	V/S	m	1.10
Facteur de forme	S/A_{ch}	-	1.75
Facteur de vitrage	$S_{vitrée}/A_{ch}$	-	0.33
Surface de vitrage sud	$S_{vitrée-sud}$	m^2	30
Capacité thermique de la dalle (béton + galets)	C_S	MJ/K	32
Capacité thermique de la maison	C_m	MJ/K m^3 d'eau équivalent	150 36
Coefficient de déperdition de l'enveloppe		W/K	125
Coefficient de déperdition par ventilation		W/K	85
Coefficient de déperdition total		W/K	210
Coefficient moyen de transmission	k	W/m^2K	0.53
Niveau global d'isolation estimé selon la norme	-	-	K 35
Besoins en énergie estimés selon la norme	Be	$MJ/an.m^2$	206

Taux de ventilation mesuré sans VMC	n	Volume/h	0.45
Taux de ventilation mesuré avec VMC	n ^{VMC}	Volume/h	0.97
Degrés-jours 15/15 typiques du site de Fosses-la-Ville		°d/an	2 265
Consommation électrique mesurée du groupe de ventilation		GJ/an kWh/an	4.2 1 160
Consommation totale estimée, sans les apports passifs, ni la dalle		GJ/an	41.0
Apport solaire passif estimé		GJ/an	9.8
Apport estimé de la dalle		GJ/an	5.5
Consommation réelle mesurée ramenée à une année-type		GJ/an kWh/an	25.7 7 150
		équivalent en litres de fuel par an (rendement = 0.8)	900

12. REFERENCES

- [1] « *Gestion énergétique de maisons unifamiliales avec dalle à haute inertie et stockage en galets* »
J. NICOLAS, J.-F. RIVEZ, V. LIEFFRIG, M. FONTAINE
Revue Générale de Thermique, n° 323, novembre 1988, pp. 584.
- [2] « *Observations climatologiques* »
Bulletin mensuel IRM.

13. AMELIORATIONS RECENTES DU CONCEPT

13.1. INTRODUCTION

L'expérience de Solettra ainsi que les résultats des études scientifiques et techniques sur les premières maisons ont conduit à l'amélioration du concept lors de l'élaboration des habitations de Rotheux-Rimièr (Neupré).

Pour des raisons de temps, ces habitations n'ont pas pu faire l'objet d'un suivi scientifique détaillé.

Le rapport final établi par la FONDATION UNIVERSITAIRE LUXEMBOURGEOISE (FUL) au cours du 2ème trimestre 1989 concerne essentiellement les 13 maisons solaires de FOSSES-LA-VILLE.

En effet, le Suivi Scientifique mené pendant 2 ans par la FUL a pris fin contractuellement le 31 mars 1989.

Par contre le Projet de Démonstration Européen SE/415/83, "25 Maisons Solaires", dont la fin était au départ planifiée le 31 mai 1988, a dû être prolongé par deux fois jusqu'au 31 mars 1990, en raison essentiellement de retards successifs dans la mise à disposition des moyens financiers prévus.

La construction des 25 maisons du projet s'est déroulée selon le calendrier suivant :

- De novembre 85 à juin 1987 : les 13 maisons de FOSSES-LA-VILLE la première campagne de mesures (rapport 870301) et la deuxième (870302) ont été effectuées dès février 1987, avant même la pose des carrelages et des menuiseries intérieures afin de pouvoir tirer les premières conclusions avant le début du chantier de NEUPRE.
- De mai 1987 à février 1989 : la 1ère série des 6 maisons solaires à NEUPRE.
- De mars 1989 à mars 1990 : la 2ème série de 6 maisons à NEUPRE. Fin novembre 1989 les maisons sont "fermées". Restent à exécuter les finitions intérieures durant l'hiver et au printemps 1990.

Les retards du calendrier ont cependant été bénéfiques tant sur le plan de l'Innovation que sur le plan du Suivi Scientifique qui a pu ainsi être immédiatement rentabilisé.

- En effet, au départ, il était prévu que les 2 chantiers de 13 et 12 maisons se suivent à 6 mois d'intervalle. Le Suivi Scientifique ne devait alors concerner qu'un seul et même type de maison sur 2 sites différents.
- En fait, il s'est agi de 3 chantiers ^{et} de 3 types de maisons successifs, le 1er type de FOSSES-LA-VILLE comportant un très grand nombre de variantes. Les délais plus larges ont ainsi permis d'opérer des choix et d'appliquer au chantier suivant les enseignements connus dans les grandes lignes en fin de chaque chantier.

Le Suivi Scientifique des maisons de FOSSES-LA-VILLE par la FUL a non seulement atteint son objectif contractuel en identifiant les améliorations possibles, mais a immédiatement été rentabilisé par la réalisation de ces améliorations dans les 6 premières maisons de NEUPRE d'abord, dans les 6 dernières maisons ensuite.

13.2. MODIFICATIONS APPORTEES AUX MAISONS DE NEUPRE

Ces modifications concernent d'une part des améliorations tirées de l'expérience de FOSSES-LA-VILLE d'autre part des simplifications en vue de réaliser un modèle de maison solaire du même niveau de performance, mais à un coût inférieur.

- 1) Au niveau de la construction elle-même de la dalle-composite un choix a été opéré entre les 4 variantes de FOSSES. On a retenu la disposition du béton en épaisseur 8/24 et la distribution aérolique par gaines perforées dans le sens Est-Ouest qui apparaît comme une variante performante et aisée à mettre en oeuvre.
- 2) Au système des canaux et à la diffusion à travers une paroi de briques-treillis posées sur chant a été substitué un réseau continu de gaines positionné dans le "pebble bed". Combiné avec une meilleure structuration du radier et une réduction maximale des circuits, ce système répond aux enseignements de FOSSES, notamment en matière de perte de charge, du maintien de la température de l'air caloporteur, et de la minimisation des fuites.
- 3) L'isolation du radier a été améliorée selon le Tableau suivant :

Chantier	Matière de l'isolant	Epaisseur	λ	K=W/K
FOSSES	foamglas	7 cm	0,042	0,6
NEUPRE 1/6	foamglas	10 cm	0,042	0,42
NEUPRE 7/12	polystirène haute densité	20 cm	0,028	0,14

Le coefficient de performance de la dalle devrait en être augmenté de façon significative.

- 4) Par voie de conséquence l'isolation globale de la maison a encore été amélioré. Alors qu'à FOSSES, le niveau global estimé selon la Norme K 70 atteignant déjà le niveau excellent de K35, il atteint K30 pour NEUPRE 1/6 et K28 pour NEUPRE 7/12.
- 5) La géométrie des maisons a été fondamentalement modifiée à NEUPRE pour permettre la création d'une zone spécifique de captage, ce qui n'existe pas à FOSSES.
L'objectif est d'optimiser le couple "captage par vitrages/Dalle-composite" qui fait la spécificité du système SOLETRA.

En effet une surface importante de vitrages si elle réduit la consommation durant les 4 mois d'hiver, implique des surchauffes importantes durant les 4 mois de demi-saison.

Le rapport sur les consommations mesurées est particulièrement significatif à ce sujet. En demi-saison 88/89 la consommation du chauffage d'appoint est de 4844 MJ alors que les Entrées Solaires inutilisées montent à 10.099 MJ. La fonction de la dalle-composite est justement de récupérer un maximum de ces entrées ce qui n'a pu être réalisé immédiatement de façon optimale à FOSSES, dès lors qu'il s'agissait de la première application du système.

Le Suivi Scientifique a cependant permis d'identifier 2 directions d'améliorations : l'isolation du radier et l'augmentation du différentiel des températures. Des essais réalisés en novembre 1988 et janvier 1989 montrent qu'il est possible d'élever ce différentiel par la création d'une enceinte spécifique qui sera réalisée au niveau de NEUPRE 7/12. L'augmentation de différentiel permettrait de réduire ainsi le débit du ventilateur et par voie de conséquence sa consommation.

- 6) Au niveau de la ventilation, un choix simplificateur a conduit à supprimer les circuits ME et MSE.
- Le Suivi ayant montré que la ventilation naturelle des maisons correspond au taux généralement conseillé de 0,5 volume/heure, le circuit ME est inutile. Sa suppression, appliquée également à FOSSES pour la saison 89/90, devrait réduire le coefficient de déperdition totale de 210 W/K à 175 W/K soit une diminution des Besoins Nets sur la saison de chauffe-type de 6000 MJ environ.
 - Le circuit MSE de "préchauffage de la dalle" devient d'une importance marginale dès l'instant où les améliorations dont question au point 5 ci-avant ont été apportées.
- 7) Simplification du système de contrôle aérolique

Le système de la maison n° 6 de NEUPRE est pratiquement identique à ceux de FOSSES-LA-VILLE pour des raisons de comparaison.

Les 11 autres systèmes sont simplifiés en ce sens qu'ils ne mettent en oeuvre que le circuit principal Maison-Stockage-Maison (M-S-M) et ne comportent plus les circuits de refroidissement Extérieur-Maison-Extérieur (E-M-E) et Extérieur-Stockage-Extérieur (E-S-E).

Il s'agit ici d'un choix économique qui permet d'abaisser significativement l'encombrement et le coût du groupe de ventilation.

En ce qui concerne le refroidissement, on a opté à NEUPRE pour l'installation de systèmes d'ombrage. De plus, l'existence de châssis oscillo-battants dans toutes les pièces et sur toutes les faces du bâtiment permettra une aération nocturne conséquente en périodes estivales.

Par ailleurs le débit intermédiaire du ventilateur a été supprimé, un seul débit nominal étant conservé soit 2000 m³/h pour NEUPRE 1/6 et 1200 m³/h pour NEUPRE 7/12.

8) Simplification de la régulation électronique

Il s'agit également d'un choix économique.

A l'exception du système de la maison n° 6, équivalent à celui de FOSSES, la commande du circuit M-S-M est déclenchée au moyen d'un thermostat inverseur à partir d'une température de consigne judicieusement choisie.

9) Chauffage d'appoint

Par ailleurs, sur 5 maisons à NEUPRE (n° 1 et n° 3 à n° 6) on a installé un chauffage d'appoint au gaz propane dont le pouvoir calorifique au Kg est de 49,7 MJ (13,8 Kwh). On ne pourra cependant décompter la consommation que par bonbonne de 47 Kg correspondant donc à 2335 MJ (649 Kwh).

Avec une consommation d'appoint égale par exemple à 21.500 MJ comme à FOSSES il faudrait donc environ 430 Kg soit moins de 10 bonbonnes pour le chauffage. Le kg de propane TVAC étant facturé actuellement aux environs de 23 frs, il s'agirait donc au prix actuel d'un budget annuel de chauffage de l'ordre de 10.000 francs. Par ailleurs, les 7 autres maisons sont ou seront équipées d'un chauffage d'appoint électrique EHP (Effacement Heures de Pointe). Tarifée aux environs de 2,80 Frs/Kwh, une consommation de 6000 Kwh correspondrait donc à un budget annuel de 16.800 francs.

13.3. QUELQUES MODIFICATIONS APPORTEES AUX 13 MAISONS DE FOSSES-LA-VILLE POUR LA SAISON DE CHAUFFE 89/90

10) Les circuits M-E et M-S-E ont été fermés à titre expérimental pour 1989/90 pour les raisons indiquées au point 6 ci-avant.

11) Les seuils d'enclenchement de certaines sondes ont été abaissés.

C'est notamment le cas pour la sonde S3 dont le seuil d'enclenchement a été ramené de 26°C à 22°C.

Le rôle de cette sonde est en effet primordial. Indiquant la présence du soleil par mesure de la température superficielle du vitrage, elle enclenche d'une part le circuit MSM et interdit dans le même temps le circuit radiateur. Ces modifications expérimentales pour 89/90 devraient favoriser la charge de la dalle, interdisant par ailleurs une température d'ambiance supérieure à 23°C.

(5.12.89)