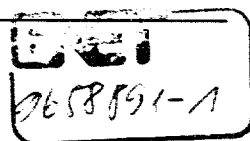


RAPPORT ANNUEL 1997

Pour les travaux de recherche définis dans le mandat:
Stockage Projet Mesure Pertes Cuve Bfs

Titre du projet: MESURES DE PERTES DE CHALEUR DE LA CUVE DE STOCKAGE DE L'INSTALLATION SOLAIRE DE L'OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE A NEUCHATEL

Résumé: L'OFS possède une nouvelle installation solaire active unique en Suisse de par sa grandeur. Elle est munie d'une cuve de stockage saisonnier de 2370 m³. L'étude consiste en l'implantation d'un système de mesure permettant d'évaluer les pertes thermiques de l'enveloppe et souterraines. Cela permettra également de comparer les résultats à un modèle mathématique. Suite à des problèmes liés à la construction du bâtiment, le manteau de la cuve a été inondé, ce qui a influencé considérablement les caractéristiques thermiques de l'isolation. Les pertes actuelles s'élèvent à près de 10 kW, mais devraient se situer autours de 8 kW en service. La réparation des dégats est actuellement en cours et le stand-by de l'équipement de mesure permettra de chiffrer le gain de cette amélioration dans les mois à venir.

Durée du projet: Rapport final: 1998

Mandataire: Pierre Jaboyedoff
Sorane SA
Rte du Châtelard 52
1018 Lausanne

Rapporteurs: Pierre Jaboyedoff, Vincent Dellsperger

Adresse: Sorane SA, rationalisation énergétique
Rte du Châtelard 52
1018 Lausanne

Téléphone: Tél: 021 / 647 11 75

1. Introduction

1.1 Objectifs

Le nouveau bâtiment de l'Office Fédéral de la Statistique est équipé d'une installation solaire avec 1200 m² de capteurs thermique vitrés et un stock de chaleur saisonnier (cuve à eau de 2370 m³). Les mesures de cette installation, première du genre en Suisse, est importante pour apprécier l'intérêt général des grandes installations solaires dans notre pays.

La cuve de stockage n'étant pas encore en service, l'étude consiste en un programme de mesure permettant d'évaluer les pertes thermiques de l'enveloppe et les pertes souterraines de ce stock. Cela permettra de déterminer les caractéristiques thermiques de la cuve.

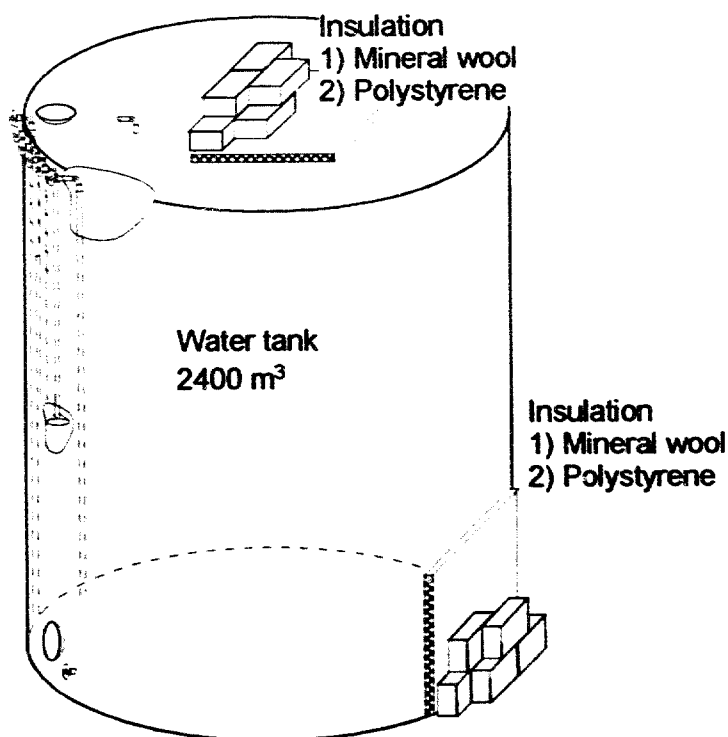


Figure 1: Perspective de la cuve de stockage

1.2 Méthode

La méthode proposée consiste à chauffer le volume intérieur de la cuve par de l'air chaud, la cuve étant vide. La température de l'air intérieur est maintenue constante par un régulateur agissant sur la puissance de chauffage. La mesure de puissance permettra de déterminer précisément les caractéristiques thermiques de ce stock. Les pertes de l'enveloppe sont uniquement fonction du différentiel de température entre le fluide interne et la température de l'espace la contenant (cylindre de béton). Les pertes souterraines sont fonction de la température du fluide dans la cuve et du temps.

Par cette méthode, une comparaison entre les pertes calculées et mesurées pourra être établie avec un degré de précision nettement supérieur à la méthode habituelle consistant à estimer les pertes par défaut de bilan dans la cuve lors de l'exploitation de l'installation.

1.3 Dispositif de mesure

Des corps de chauffe d'une puissance maximale de 11.6 kW ont été installés dans le fond de la cuve. Trois ventilateurs axiaux brassent l'air intérieur et permettent ainsi une déstratification efficace. Un thermostat lié à une tableau électrique commande l'enclenchement des corps de chauffe.

Une chaîne de mesure est mise en place afin de contrôler les points suivants:

- Températures extérieures: 3 points (bas, milieu, haut).
- Températures intérieures: 4 points (sol, bas, milieu, haut)
- Puissance de chauffage

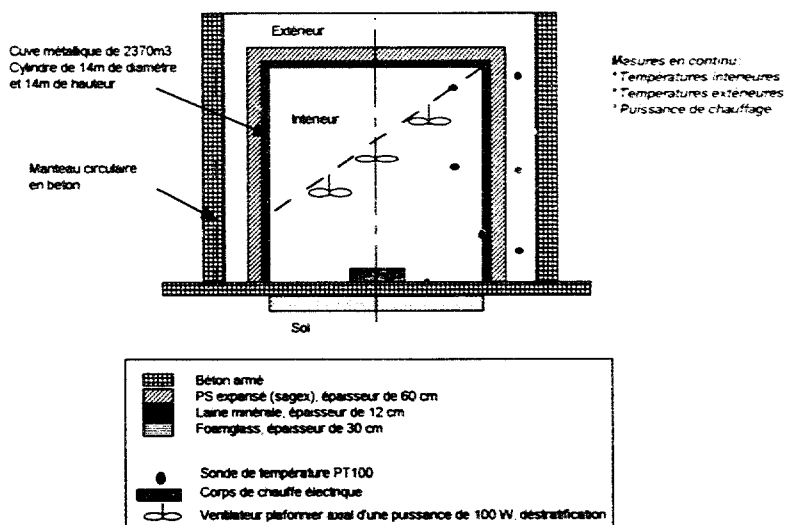


Figure 2: Coupe schématique du système de mesure

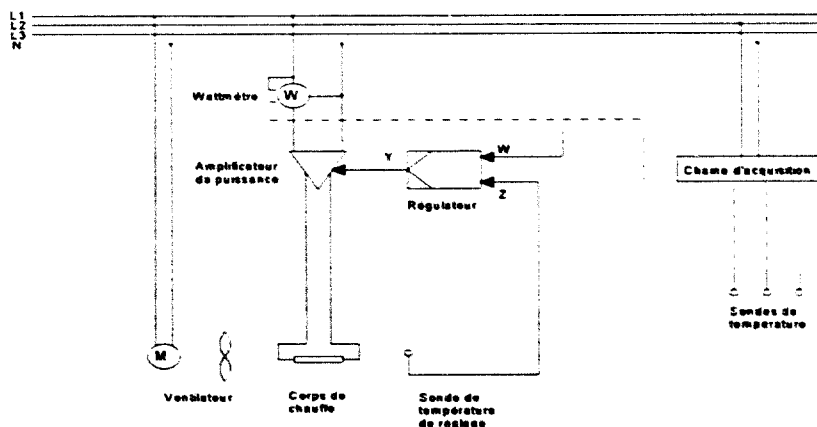


Figure 3: schéma électrique du système de mesure

La cuve a été isolée le mieux possible contre les fuites d'air et de chaleur au moyen de bande d'isolation étanche ainsi que de polystyrène expansé, ceci afin de se rapprocher au plus des conditions réelles de fonctionnement.

2 Mesures et modèle théorique

2.1 Mise en température

Un modèle mathématique tri-nodal, tenant compte des échanges thermiques avec l'extérieur a permis de mettre en évidence la mise en température de la cuve. Elle a été calculée avec une puissance de chauffage de 11 kW. Une période de 6 jours devait suffire pour atteindre une température intérieure de 60 °C.

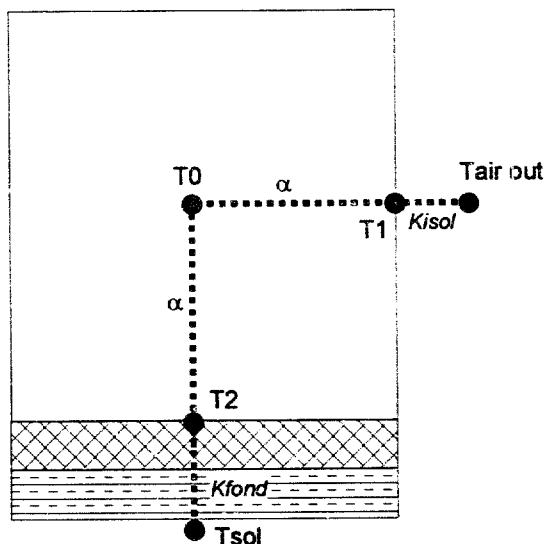


Figure 4: Modèle mathématique tri-nodal

Le résultat des mesures est étonnant: il a fallu attendre environ 1 mois (700 heures) pour que la température se stabilise à 60 °C, ceci avec une puissance de chauffage de 11.6 kW.

Cette différence s'explique comme suit:

Suite à certains problèmes de construction, le cylindre de béton encerclant la cuve a été inondé. Cette montée d'eau à l'intérieur du manteau (environ 3m) a eu des conséquences importantes sur le comportement thermique de la cuve et sur nos résultats de mesure:

- La laine minérale, très poreuse, a été complètement saturée d'eau sur plusieurs mètres. La puissance de chauffage a donc largement contribué à évaporer une grande quantité d'eau durant la période de mise en température de la cuve.
- Certains blocs de polystyrène se sont disloqués et ont bougés, laissant ainsi apparaître de nombreuses lames d'air. L'isolant ne remplit donc plus son rôle à 100%.
- La laine minérale s'est affaissée sous la masse d'eau contenue dans ses pores et par conséquent certaines parties de la cuve présentent un défaut d'isolation.
- L'eau a également forcé l'isolant (polystyrène) à s'élever du sol par le principe d'Archimède. Le polystyrène expansé a arraché les sondes de température lors de son ascension.

En établissant un nouveau modèle théorique de mise en température tenant compte de la capacité thermique de l'ensemble du système, cela prouve que cette différence est explicable (annexe 1):

- Pour atteindre 60 °C intérieur, il aurait fallu chauffer pendant 700 heures à 10,6 kW
- On peut, sans trop se tromper, évaluer à 1 kWh la puissance ayant contribué à évaporer près de 1000 litres d'eau sur la période de mise en température.

2.2 Régime stationnaire

A ce jour les échantillons de laine minérale prélevés prouvent qu'elle est sèche puisqu'elle contient moins de 0.1% (massique) d'eau. Cependant on trouve encore quelque 50% d'eau dans les quelques premiers centimètres près du sol. La conséquence de cette humidité non désirée s'est faite ressentir jusqu'à la formation de champignons sur le dessus de la cuve. Les propriétés thermiques de l'isolant se détériorent pour des teneur en eau à partir de 1 à 10% (volumique). On peut donc considérer que toute l'eau a été évaporée.

Le régime stationnaire se caractérise par des températures intérieures stables:

- Température du sol de la cuve: 58.3 °C
- Température basse: 57.3 °C
- Température médiane: 59.6 °C
- Température haute: 60 °C

La puissance varie de quelques pourcents autour de 10.6 kW. Cela s'explique par les raisons suivantes:

- Variation périodique de la température extérieure avec influence de celle-ci sur la température dans le manteau (retard de quelques jours).
- Ouverture - fermeture de la porte d'accès induisant des variations de température dans le manteau.

Il n'est pas très aisé de chiffrer l'influence des défauts d'isolation ponctuels sur la perte totale du système. On peut dire malgré tout que des conditions d'isolation optimales diminueraient sensiblement la puissance de perte. Cette diminution peut être s'estimée entre 5 et 10% de la perte totale.

L'isolation est en cours de réparation et le système de mesure étant toujours en place, il permettra de mesurer l'influence de cette amélioration.

Cependant, pour une puissance de perte de 10.6 kW, Le coefficient k moyen du stock vaut 0.26 W/m²K admettant une surface extérieure moyenne de 977 m².

Les pertes se répartissent comme suit:

Pertes par le sol:	3.1 kW	29%
Pertes par le plafond:	1.7 kW	16%
Pertes par l'enveloppe:	3.5 kW	33%
Pertes par les éléments hydrauliques:	32 W	0.3%
Pertes par les doigts de gants (sondes de température):	74 W	0.7%
Pertes par circulation d'air (cheminée et fuites):	2.2 kW	21%

2.3 Refroidissement

Suite à la coupure d'alimentation des corps de chauffe, nous avons observé un refroidissement de la cuve.

En 300 heures environ, la température de la cuve a chuté de 60 à 27 °C. On relève une constante de temps du stock de 180 heures pour une capacité thermique de 160 MJ/K.

La comparaison de la courbe de refroidissement réelle à la courbe théorique (établie sur la base d'un modèle tri-nodal) montre que le refroidissement est plus élevé qu'une exponentielle décroissante (modèle théorique) dans les premières heures du refroidissement, mais que cette tendance s'atténue et fini par rejoindre la courbe théorique après une fois la constante de temps environ (annexe 2).

3 Comportement réel

Lorsque la cuve sera en service, les pertes thermiques varieront quelque peu de notre expérience à cause des facteurs suivants:

- Suppression de toutes les fuites d'air! (trous d'homme, cheminée d'aération, autres fuites d'air non-maîtrisées)
- Isolation sèche ou possédant un taux d'humidité n'influençant pas les propriétés thermiques de l'isolant.
- Réparation des défauts de la qualité thermiques des isolants.

Etant donné la capacité thermique de l'eau vis-à-vis de celle de l'air, la constante de temps du stock devrait avoisiner les 11200 heures pour une capacité thermique totale de 10 GJ/K environ.

Les pertes thermiques totales devraient donc s'approcher de 8.1 kW (à vérifier après réparation de l'isolation). Le coefficient k du stock devrait diminuer à 0.20 W/m²K en tenant compte des mêmes hypothèses que sous 2.1.

On peut s'attendre à ce que les pertes se répartissent comme suit:

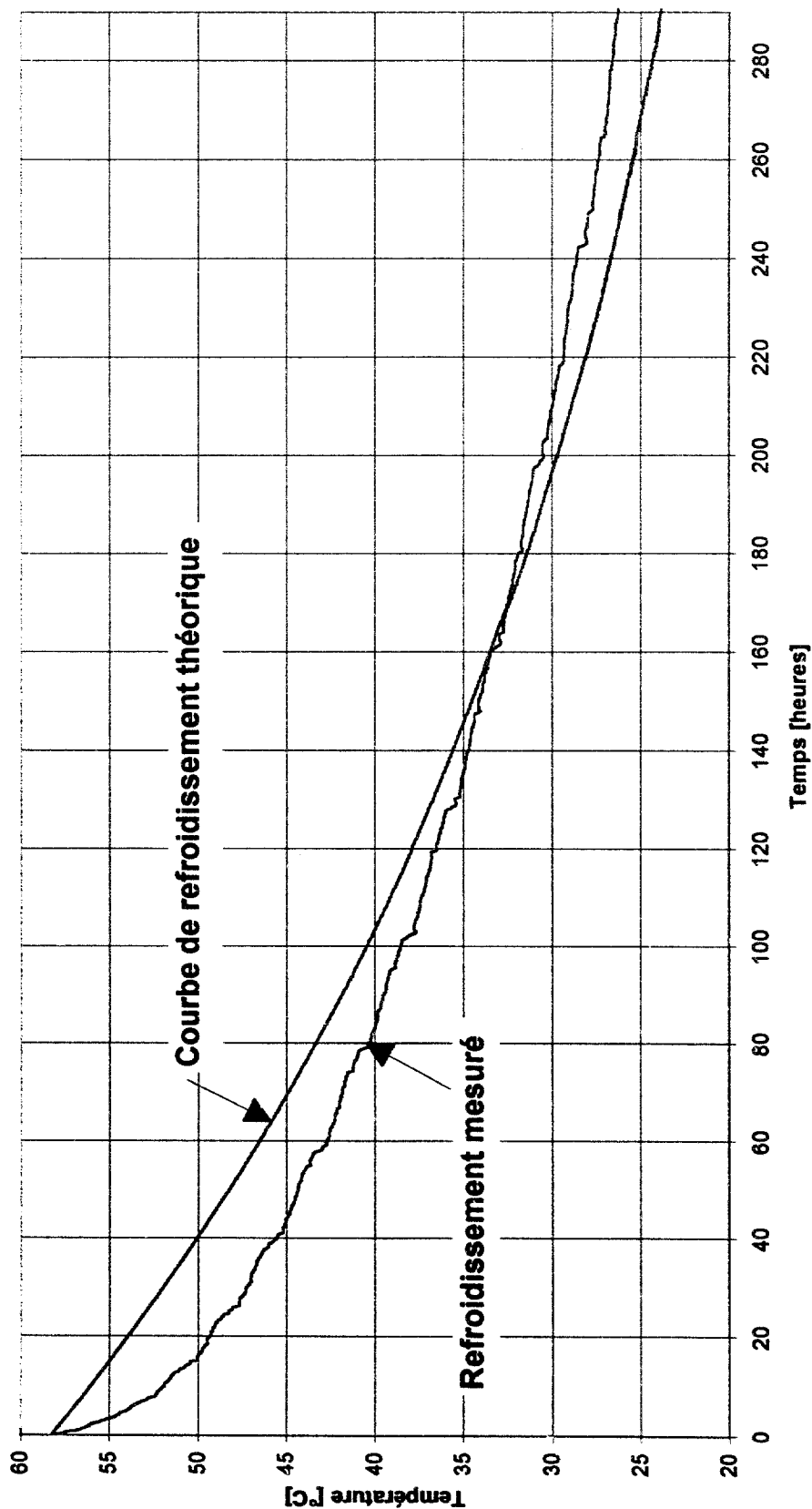
Pertes par le sol:	3.1 kW	38.3%
Pertes par le plafond:	1.7 kW	21%
Pertes par l'enveloppe:	3.2 kW	39.5%
Pertes par les éléments hydrauliques:	32 W	0.4%
Pertes par les doigts de gants (sondes de température):	74 W	0.8%
Pertes par circulation d'air (cheminée et fuites):	Néant	0%

4 Suite des travaux

Tenant compte des problèmes non désirés de cette expérience, il nous semble important d'atteindre l'objectif fixé en poursuivant l'effort entrepris. Un rapport final pourra voir le jour lorsque:

- Tous les défauts d'isolation seront réparés
- D'éventuels défauts ponctuels seront repérés
- On aura la certitude que la totalité de l'eau soit évaporée

OFS_Cuve
Evolution des températures après coupure du chauffage



OFS_Cuve
Evolution des températures pendant la mise en température

