Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 79 (1988)

Heft: 6

Artikel: Stockage d'énergie calorifique ou frigorifique par la chaleur latente

Autor: Wuillemin, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904009

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Stockage d'énergie calorifique ou frigorifique par la chaleur latente

K. Wuillemin

Un système d'utilisation de la chaleur latente de fusion de substances contenues dans des capsules de faible volume est présenté. Les applications sont multiples. Noyées dans une chape équipée d'un chauffage de sol, ces capsules donnent par exemple la possibilité de stocker de façon décentralisée l'énergie produite par une pompe à chaleur, une chaudière électrique ou des câbles chauffants.

Der Beitrag stellt ein System zur Nutzung der Latentwärme des Schmelzens von Substanzen vor, die in kleinen Kapseln enthalten sind. Hierfür gibt es zahlreiche Anwendungen. In Verbindung mit einer Fussbodenheizung bieten diese Kapseln z. B. die Möglichkeit, die mit einer Wärmepumpe, einer Elektroheizung oder mit Heizleitern erzeugte Wärme dezentral zu speichern.

Adresse de l'auteur:
M. Kurt Wuillemin, ingénieur ETS,
TERM-AC S.A., rue St-Nicolas de Flue 20,
1700 Fribourg.

1. Le rôle du stockage

La principale utilisation de la chaleur à basse température concerne naturellement la climatisation et le chauffage des locaux, le maintien hors gel de surfaces ou de volumes, le chauffage de l'eau sanitaire. Une quantité considérable de chaleur comprise entre 0 °C et 100 °C n'est actuellement pas récupérée. Comme la chaleur d'une flamme à plus de 1000 °C subit une dégradation importante pour une utilisation à un niveau inférieur de 80 °C, il convient donc de réutiliser des énergies déjà dégradées, comme par exemple des rejets industriels ou des énergies plus diluées comme le solaire. La grande difficulté provient du fait que la disponibilité de ces énergies n'est pas nécessairement en relation avec la demande, soit en quantité, soit dans le temps. La fonction de stockage permet de pallier ces inconvénients majeurs.

Lorsqu'une installation n'est pas pourvue d'un stockage chaud ou froid, la production calorifique ou frigorifique devra être dimensionnée de façon à répondre aux puissances soutirées maximales durant la journée. Ceci oblige le maître d'œuvre à procéder à des investissements importants pour un rapport durée d'utilisation - durée de fonctionnement très mauvais. L'installation d'un stockage d'énergie calorifique ou frigorifique permet de dimensionner la production en fonction des puissances journalières soutirées moyennes. Pendant les périodes d'utilisation à faible puissance, on stocke l'énergie qui fournira le complément lorsque la puissance soutirée sera supérieure à la puissance installée.

Souvent, les prix des énergies de réseau varient en fonction de la période de consommation. En plus des coûts variables de l'énergie consommée, des redevances fixes calculées sur la base des puissances soutirées sont également facturées aux consommateurs. Parfois des tarifications saisonnières sont également appliquées entre l'été et l'hiver. La fonction de stockage, qui permet de réaliser des transferts d'énergie de périodes d'utilisation à coût élevé vers des périodes d'utilisation à coût moins élevé, justifie l'investissement supplémentaire à réaliser.

Le stockage dont la caractéristique est d'être statique joue un rôle important en assurant une autonomie de fonctionnement limitée par la seule capacité du stock. Les investissements envisagés pour assurer les secours peuvent de ce fait être diminués, voire supprimés.

Les considérations évoquées ci-dessus justifient la fonction du stockage. Toutefois, il est difficile de tirer des règles générales, chaque cas doit être étudié.

2. Les moyens de stockage

Les procédés de stockage traditionnellement utilisés sont:

- emploi de la chaleur sensible des matériaux tels que l'eau ou l'huile;
- emploi de la chaleur latente de vaporisation;
- emploi de la chaleur latente de fusion.

2.1 Chaleur sensible

En fonction de leurs caractéristiques physiques, certains matériaux sont susceptibles d'être pris en considération [tab. I].

La pierre et l'eau sont les plus couramment utilisées pour ce type de stockage à cause de leur coefficient de capacité calorifique spécifique intéressant et le rapport coût-facilité de mise en œuvre favorable. Le stockage de l'énergie dans la pierre trouve son application la plus connue dans les mai-

sons solaires, actives ou passives, avec des résultats intéressants. Toutefois, l'élément de stockage le plus souvent utilisé est l'eau, car elle est partout disponible en grandes quantités et à moindre coût.

Cette utilisation trouve son application pour des stockages à plus de 5 °C. Les températures négatives sont économiquement moins rentables, car un additif, le glycol, doit être ajouté à l'eau.

2.2 Chaleur latente de vaporisation

En passant à l'état de vapeur, un liquide absorbe une quantité d'énergie considérable correspondant à sa chaleur latente de vaporisation, par exemple pour l'eau = 600 Wh/kg.

Le volume occupé par la vapeur est plus grand que le volume occupé par le liquide avant son évaporation; pour l'eau, on a un rapport de 1 à 1700 à la pression atmosphérique. Du fait de son faible coefficient calorifique spécifique (par unité de volume), la vapeur d'eau est un matériau de stockage médiocre. Il convient donc d'utiliser des solvants qui ont la propriété d'absorber de grandes quantités de vapeurs à température normale et de restituer cette vapeur lorsque la solution formée est chauffée.

Malgré le fait que cette forme de stockage présente des capacités d'accumulation spécifiques élevées à températures ambiantes, on peut imaginer qu'elle ne sera utilisable que dans une vingtaine d'années. En effet, ce type de stockage fait ressortir des problèmes technologiques considérables.

2.3 Chaleur latente de fusion

Les solides ayant la faculté de fondre et de se solidifier peuvent être groupés en deux familles:

Acier	0,13 Wh/kg K
Verre	0,22 Wh/kg K
Plâtre	0,22 Wh/kg K
Pierres sédimentaires	0,22 Wh/kg K
Aluminium	0,26 Wh/kg K
Brique terre cuite	0,26 Wh/kg K
Granit, marbre	0,26 Wh/kg K
Béton	0,30 Wh/kg K
Chape intérieure	0,30 Wh/kg K
Bois	0,60 Wh/kg K
Eau à 10 °C	1,16 Wh/kg K

Tableau I Capacité calorifique spécifique de différents matériaux

Définition	Température de fusion en °C	Chaleur latente de fusion en kWh/m³
Nitrate de magnésium hexahydraté	89	70
Hydroxyde de sodium monohydraté	64	108
Eutectique de sel de magnésium	57	57
Chlorure de calcium hexahydraté	27	71
Eau + adjuvants de cristallisation	0	92
Carbonate de soude + adjuvants	- 3	92
Hydrogénocarbonate de potassium	- 6	85
Solution de chlorure de potassium	-10	94
Solution d'acide carbonique	-12	91
Solution de chlorure d'ammonium	-15	89
Solution de chlorure de sodium	-21	74

Tableau II Chaleur latente de quelques composés minéraux

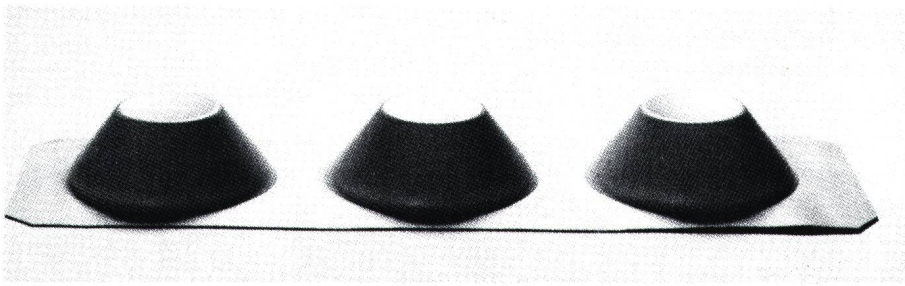

Figure 1 Des capsules tronconiques pour stockage de la chaleur latente

● *Les composés minéraux*

Les hydrates salins et leurs eutectiques présentent une valeur de chaleur latente de fusion intéressante [tab. II].

Il faut relever que les températures d'hydrates salins, l'eau sous forme de glace par exemple, sont à disposition depuis longtemps par les utilisations de froid.

La chaleur latente de solidification de l'acétate de sodium a été utilisée dès 1879 pour chauffer les wagons de chemins de fer des lignes du Nord.

L'industrie chimique a développé au cours de la dernière décennie des hydrates salins congruents dont la plage de température utile va de 12 °C à 90 °C.

● *Les matériaux organiques*

Leurs coefficients calorifiques spécifiques sont inférieurs aux hydrates salins [tab. III]. La congruence des paraffines de synthèse ne pose pas de problème; par contre, le coût de ces matériaux reste élevé.

3. La capsule de chaleur latente

3.1 Généralités

Il ressort de l'analyse précédente que le stockage calorifique ou frigorifique utilisant la chaleur latente de fusion de certaines substances est des plus intéressants.

Sur la base d'un brevet européen, des capsules d'accumulation tronconiques (fig. 1) ont été développées, dont le faible encombrement favorise large-

Définition	Température de fusion en °C	Chaleur latente de fusion en kWh/m³
$C_{16}H_{34}$	17,5	42
$C_{10}H_{20}O_2$	30	42
$C_{20}H_{42}$	37	60
$C_{14}H_{28}O_2$	53	54
$C_{16}H_{32}O_2$	64	54

Tableau III Chaleur latente de quelques matériaux organiques

ment une mise en œuvre dans les sites les plus diversifiés. Ces capsules forment un conditionnement offrant des critères de résistances aux contraintes mécaniques intérieures et extérieures élevées, avec une bonne conductivité thermique.

Les substances contenues par les capsules ont une importante chaleur latente de fusion. De plus, on peut les qualifier de la manière suivante:

dans le domaine chimique:
- grande stabilité
- ininflammable
- non explosif
- non toxique
- non corrosif;

dans le domaine physique:
- réversibilité, congruence
- inaltérabilité
- densité élevée
- faible variation de volume;

dans le domaine thermique:
- intéressant niveau des températures de fusion
- enthalpie de fusion élevée
- bonne conductivité thermique;

dans le domaine économique:
- amortissement possible sur de courtes périodes.

3.2 Fonctionnement

Lorsque la capsule est placée dans un milieu solide, liquide ou gazeux, dont la température est plus élevée que sa température de fusion, elle absorbe de grandes quantités de chaleur. Cette chaleur est libérée lorsque la température de l'environnement de la capsule est inférieure à la température de fusion.

Les substances contenues dans les capsules passent de l'état solide à l'état liquide en absorbant de la chaleur, et de l'état liquide à l'état solide en libérant cette chaleur. Il faut rappeler que, pendant le changement d'état, la température reste pratiquement constante. Ces phases sont communément désignées par fusion-cristallisation.

La mise en œuvre des capsules d'accumulation par chaleur latente de fusion est possible dans pratiquement toutes les utilisations d'énergie à basse température.

Les courbes des figures 2 et 3 permettent de comparer les quantités de chaleur stockée dans de l'eau, de la pierre et un produit à changement de phases (pcm) à une température de 30 °C et pour une différence de température Δ T de 10 °C. On constate que la capacité de stockage d'énergie sous forme de chaleur latente est 6 à 7 fois plus importante que celle d'un même volume d'eau. Ces mesures sont confirmées par de nombreux tests, effectués notamment par les laboratoires de l'EMPA à Dübendorf.

3.3 Substances disponibles

Une large palette de température de fusion est à disposition: -33 °C, -21 °C, -18 °C, -15 °C, -10 °C, -4 °C, 12 °C, 15 °C, 21 °C, 29 °C, 35 °C et 58 °C.

Chaque substance possède une fiche technique à l'usage des bureaux techniques. Les courbes permettent un prédimensionnement du stockage, de façon à déterminer, au stade de l'avant-projet déjà, la rentabilité de son implantation.

4. Applications

La grande simplicité de mise en service de ce système de capsules dans des stocks ou dans les structures du bâtiment et du génie civil représente un avantage important. Les applications sont multiples [fig. 4], elles vont de l'amélioration de la rentabilité de la production d'eau glacée, par exemple pour la climatisation, à l'optimalisation du rendement des installations de chauffage à combustible fossile.

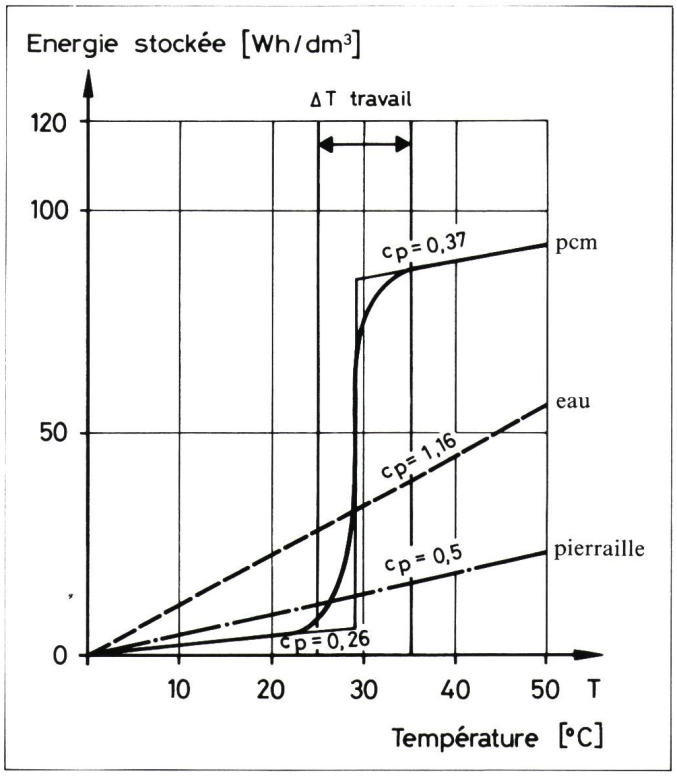

Figure 2 Energie stockée en fonction de la température

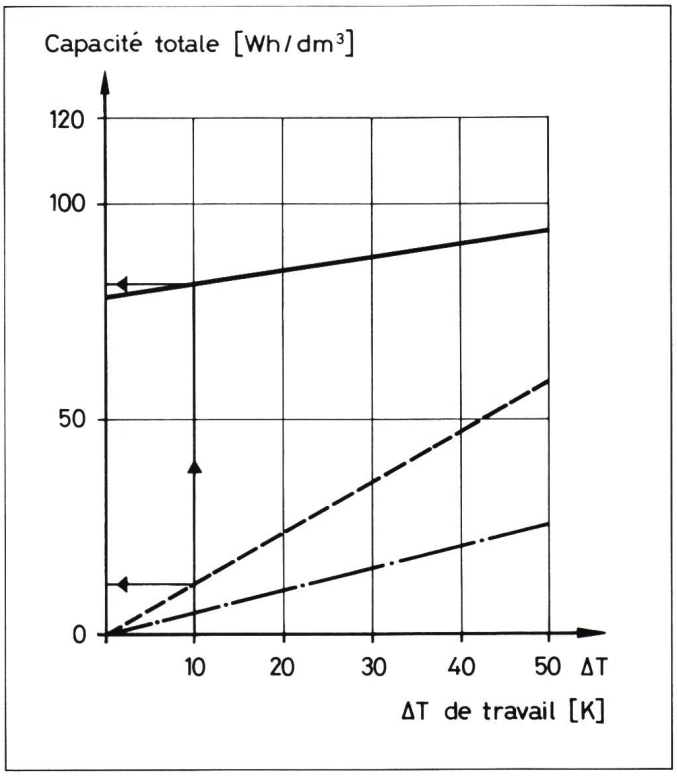

Figure 3 Capacité totale en fonction de Δ T (température supérieure - température inférieure)

4.1 Stockage en accumulateur centralisé

Une cuve de stockage d'énergie calorifique ou frigorifique conçue pour accumuler de grandes quantités de chaleur ou de froid par utilisation de la chaleur latente de fusion est implantée entre la production d'énergie et les réseaux secondaires de distribution [fig. 5]. La cuve est remplie de capsules. Après son raccordement, la cuve est traversée par un caloporteur, eau, huile, air, etc. Le caloporteur, en contact avec les capsules, échange de la chaleur avec celles-ci.

Les températures relatives, positives ou négatives, du caloporteur et des capsules, ainsi que la circulation du fluide déterminent d'une part les périodes de stockage ou de déstockage par fusion ou cristallisation des substances contenues dans la cuve, ainsi que la quantité d'énergie mise à disposition de l'utilisateur. La température de la cuve de stockage reste pratiquement constante pendant toute la phase de fusion ou de cristallisation des substances contenues dans les capsules [fig. 6].

La température d'exploitation du stockage dépend de l'utilisation finale de l'énergie accumulée. La température de fusion de la matière choisie doit correspondre au niveau de température d'exploitation souhaité.

L'accumulation centralisée est déterminée par:

- la température finale d'utilisation;
- la puissance soutirée moyenne;
- la température de production;
- la puissance maximale de la production;
- le type de caloporteur.

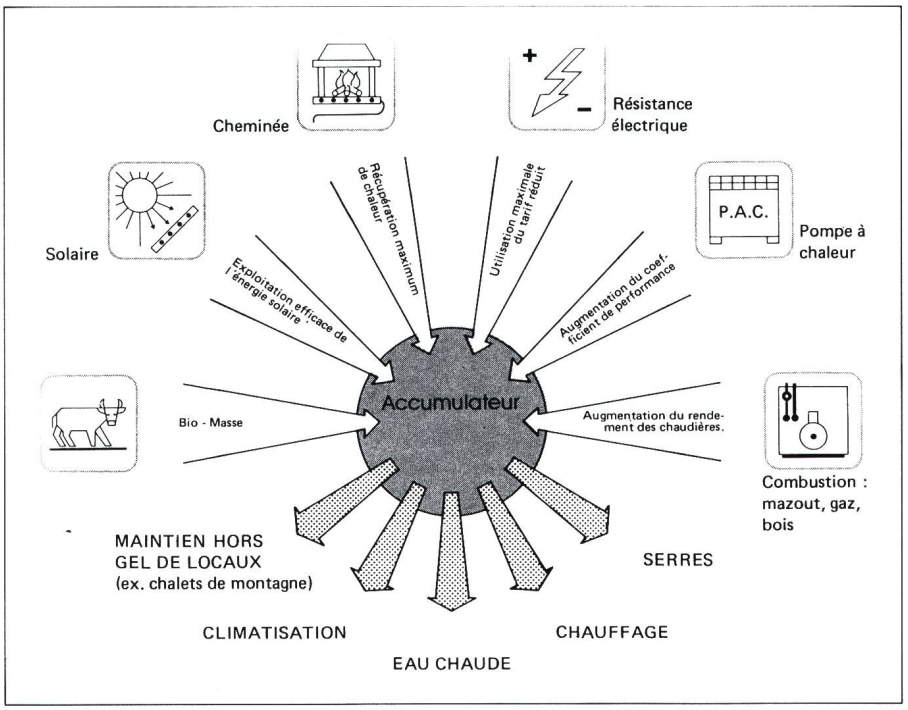

Figure 4 Aperçu sur les applications possibles

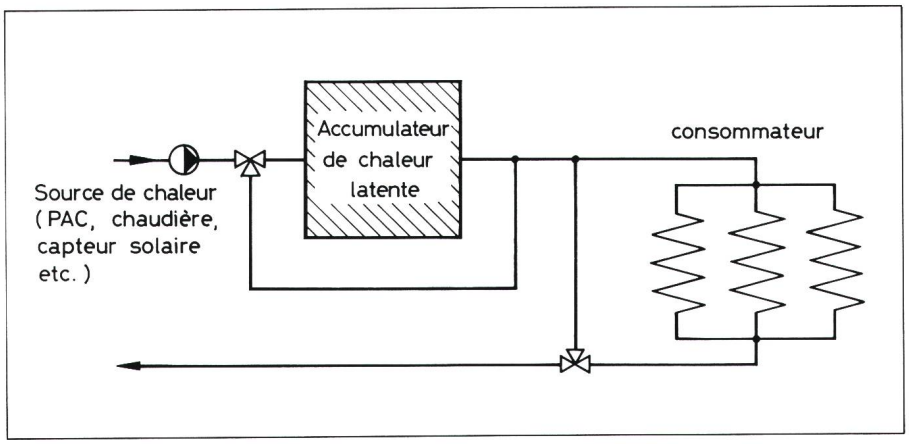

Figure 5 Schéma de principe d'un accumulateur centralisé

4.2 Stockage décentralisé

Les applications par intégration aux structures de construction sont multiples. Voici les plus usitées actuellement.

● *Capacité d'accumulation thermique d'un bâtiment*

Dans le calcul des besoins de chaleur, la qualité thermique est appréciée à partir du coefficient de transmission des éléments de construction. L'expérience a démontré qu'un bon coefficient de transmission n'est pas nécessairement une garantie de confort.

L'ambiance des locaux dont l'enveloppe est formée d'éléments légers est rapidement influencée par les variations des conditions extérieures, malgré une excellente protection thermique. En effet, les éléments légers n'offrent aucune capacité d'accumulation de chaleur. Une ambiance confortable est généralement atteinte lorsque la température superficielle de la face interne d'une paroi extérieure est aussi constante que possible. Les modifications de l'ambiance dues aux interruptions de service de l'installation de chauffage sont encore plus considérables que celles dues aux variations de température du climat extérieur.

La recommandation SIA 384/2 - 1982 tient compte de ce phénomène en modifiant la température extérieure de calcul en fonction du type de construction faisant l'objet du calcul, soit une construction massive, une construction légère ou une construction légère ossaturée.

L'EMPA de Dübendorf a effectué des calculs importants de simulation permettant de trouver les températures extérieures déterminantes à adopter pour des constructions légères ou massives, afin qu'après une période de

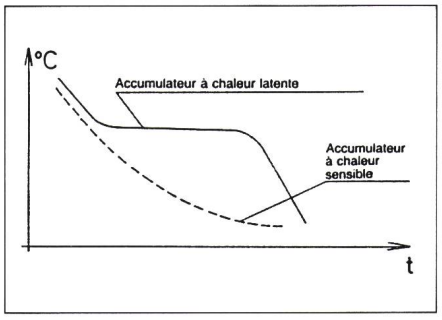

Figure 6 Differents courbes de température pour accumulateur à chaleur latente et à chaleur sensible

froid de trois ou quatre jours, les températures ambiantes restent identiques.

● *Solution apportée au problème de l'absence d'accumulation dans les éléments de constructions légères*

L'intégration des capsules aux structures des bâtiments considérées comme construction légère ou ossaturée permet de rétablir le principe de fonctionnement d'une construction dite massive.

Les capsules peuvent être mises en œuvre sans difficultés particulières dans:

- les chapes intérieures ou extérieures;
- les murs en béton, briques, plâtre, construction sandwich.

● *Intégration dans les chapes équipées d'un chauffage par le sol*

Le matériel proposé pour cette application est la capsule 30 °C installée selon le dessin de la figure 7.

Les mesures et calculs par simulation montrent que le supplément d'investissement pour l'installation d'un stockage est rapidement amorti grâce à l'amélioration du rendement et la diminution de la puissance des moyens de production de chaleur, ainsi qu'à une meilleure utilisation des bas tarifs.

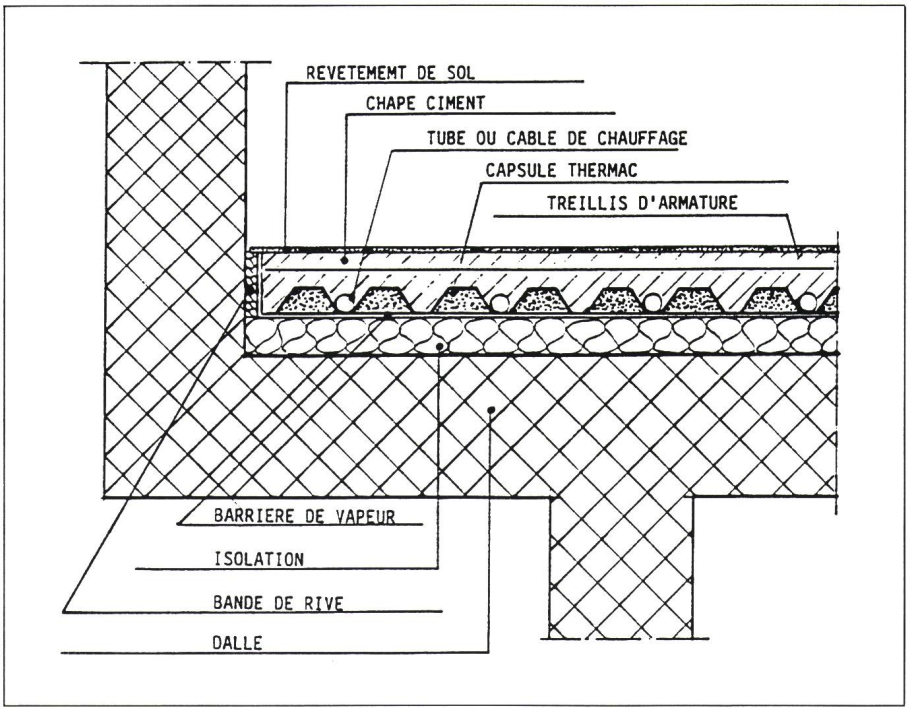

Figure 7 Accumulation décentralisé: plan de pose de capsules dans une chape

5. Conclusions

Les produits à chaleur latente de fusion et leur emballage sous forme de capsules ou autre représentent une nouveauté technologique déterminante pour la valorisation du stockage de chaleur ou de froid.

L'application d'un tel stockage permet une meilleure utilisation des énergies renouvelables et par conséquent une augmentation de leur rentabilité.

La récupération de chaleur sur les installations de ventilation et de climatisation, exigée par de nombreuses lois cantonales sur l'énergie, est également facilitée, et l'ingénieur en génie climatique appréciera le stockage possible d'eau glacée.

Toutes les productions de chaleur liées à une énergie de réseau: électricité, gaz ou chauffage à distance, voient leur fiabilité améliorée, la fonction de stockage permettant de pallier les interruptions de fourniture.