

## LA CHIMIE AU SERVICE DE L'URBANISME

Eric Bausson

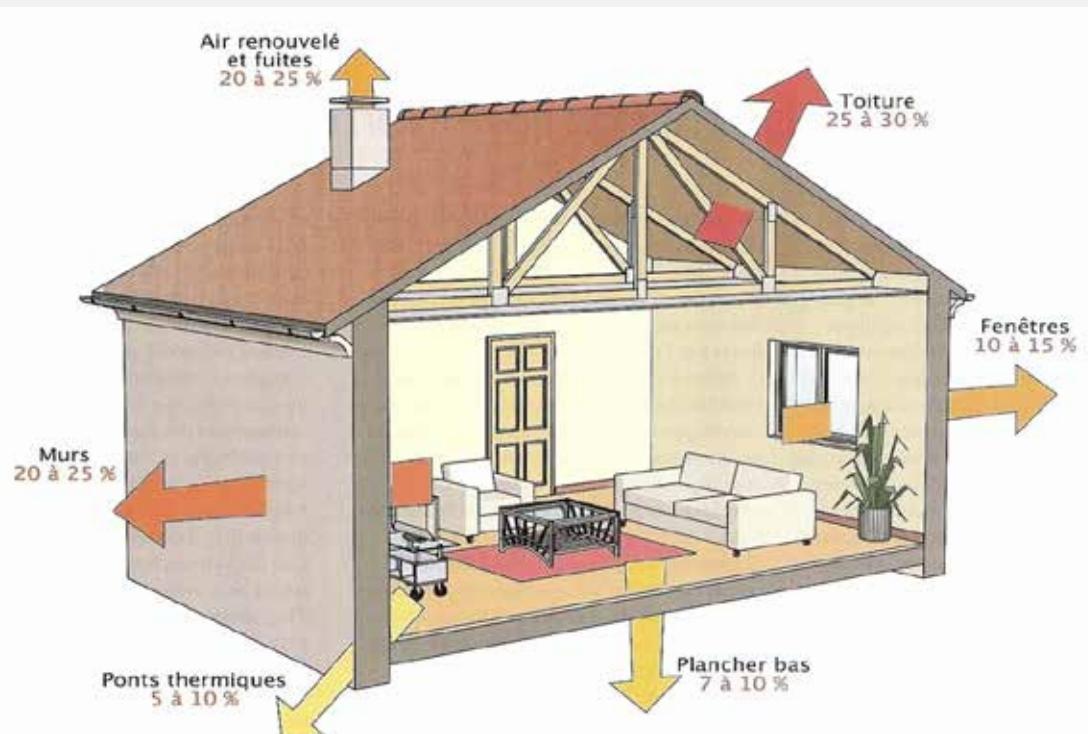
Ce dossier s'appuie sur le colloque [Chimie et habitat](#) du 05 novembre 2025, plus précisément sur la conférence plénière de clôture de M. Roux Didier sur [L'habitat innovant au service de notre bien-être et de la planète](#) et sur celle de M. Guillemot François sur [Le recyclage du verre : exemples du verre plat et de l'isolation](#).

## Parties des programmes de physique-chimie :

Programmes de physique-chimie de	Parties
<b>Secondes générale et technologique</b>	Constitution et transformations de la matière Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie
<b>Première et terminale STI2D</b>	Énergie Matière et matériaux
<b>Terminale générale</b>	L'énergie : conversions et transferts

**MOTS-CLÉS :** verre, laine de verre, calcin, encapsulation, chaleur latente

**ANGLE CHOISI :** Comment la chimie participe-t-elle à l'isolation thermique de notre habitat ?



Les sources de déperdition d'énergie dans une habitation en pourcentages.

## A. Introduction

Face à l'urbanisation croissante et aux défis environnementaux contemporains, la chimie occupe une place centrale dans l'évolution de l'urbanisme. Longtemps cantonnée à la production de matériaux (béton, plâtres, colles, etc.), elle est aujourd'hui un levier essentiel pour concevoir des villes plus durables, plus confortables et moins énergivores. Dans le domaine du bâtiment, les isolants thermiques permettent de limiter les pertes d'énergie et d'améliorer significativement le confort intérieur. Parallèlement, les traitements chimiques appliqués aux matériaux de construction renforcent leur résistance, leur durabilité et leur adaptation aux contraintes climatiques et urbaines (bruit, îlots de chaleur). Plus récemment, des innovations comme l'encapsulation de composés à changement de phase ouvrent de nouvelles perspectives car les matériaux ne se contentent plus de constituer une enveloppe passive, ils deviennent capables de stocker et de restituer de l'énergie thermique.

Ainsi, la chimie transforme l'urbanisme en un système plus intelligent, où les matériaux participent activement à la régulation énergétique et à la transition écologique des villes. Nous allons aborder certains de ces points dans ce dossier.

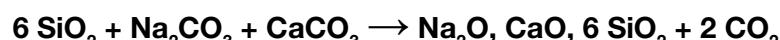
## B. Fabrication d'un isolant thermique très courant : la laine de verre

La laine de verre est obtenue après la fabrication de verre qui nécessite :

- de la silice ( $\text{SiO}_2$ ),
- du verre recyclé (calcin) a minima 40 %,
- des carbonates de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) et de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) pour abaisser la température de fusion,
- des additifs dont 4 à 5 % d'oxyde de bore.

On forme alors un verre composé de silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) et d'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) contenant aussi de l'oxyde de bore. La décomposition des carbonates s'accompagne d'un dégagement de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ .

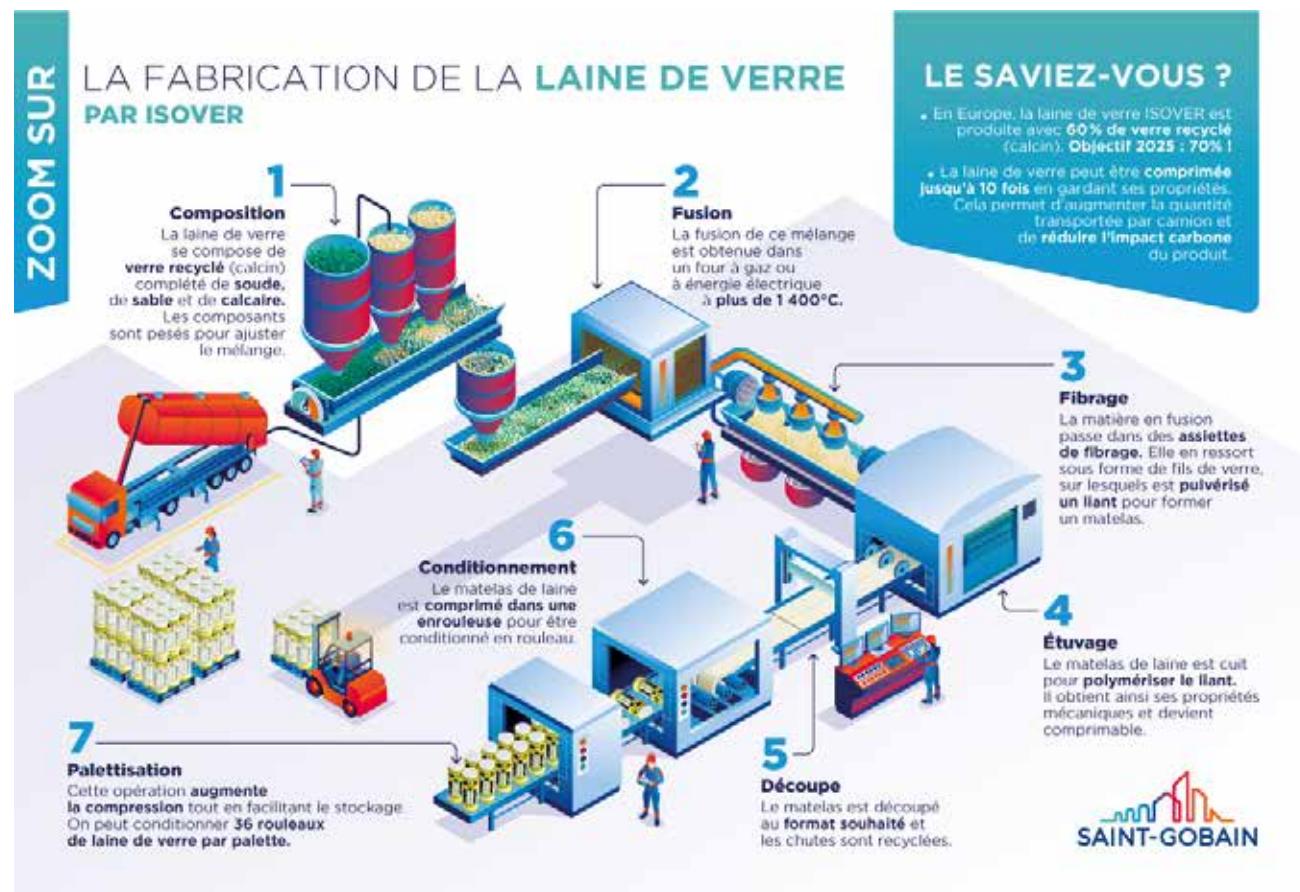
Voici l'équation chimique modélisant tout ceci :



Le verre fondu est transformé en fibres très fines (quelques micromètres de diamètre) qui s'entrelacent pour former un matelas fibreux léger et poreux. On ajoute un liant (résine polymérisable contenant du phénol et du formaldéhyde ou méthanal) d'origine pétrochimique, et actuellement de plus en plus d'origine végétale (matières premières sans méthanal issues des industries sucrières et céréalier). Le matériau est chauffé pour polymériser le liant thermodurcissable, ce qui donne sa cohésion à la laine de verre.

La laine est découpée en panneaux, rouleaux ou flocons selon l'usage (murs, toitures, combles).

Voici le schéma illustrant la fabrication de la laine de verre :



Voici trois autres ressources :

Vidéo détaillant les étapes de la fabrication de la laine de verre	Photographie des assiettes de fibrage												
<p></p> <p>Origine(s) du calcin</p> <p>Qui recycle quoi ?</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>donneur</th> <th>receveur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>verre</td> <td>✓</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>matelas de verre</td> <td>✓</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>assiettes de fibrage</td> <td>✓</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		donneur	receveur	verre	✓	✓	matelas de verre	✓	✓	assiettes de fibrage	✓	✓	
	donneur	receveur											
verre	✓	✓											
matelas de verre	✓	✓											
assiettes de fibrage	✓	✓											

1 Donner les configurations électroniques des atomes de bore et d'oxygène.

2 En déduire la formule chimique de l'oxyde de bore utilisé comme additif dans la fabrication de la laine de verre.

3 Quelle est la formule chimique de l'ion carbonate ? Justifier.

4 Si on réalise la fusion de trente moles de silice  $\text{SiO}_2$ , quelle quantité de matière de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  est produite ?

5 En déduire l'intérêt d'incorporer du calcin (verre recyclé avec les matières premières).

6 Quelle est la particularité du calcin utilisé pour la fabrication de la laine de verre par rapport à celle du verre plat ?

7 Que signifie le terme « thermodurcissable » ?

Données : Extrait de la classification périodique des éléments chimiques.

<b>H</b> 1 Hydrogène									<b>He</b> 2 Hélium
<b>Li</b> 3 Lithium	<b>Be</b> 4 Béryllium	<b>B</b> 5 Bore	<b>C</b> 6 Carbone	<b>N</b> 7 Azote	<b>O</b> 8 Oxygène	<b>F</b> 9 Fluor	<b>Ne</b> 10 Néon		
<b>Na</b> 11 Sodium	<b>Mg</b> 12 Magnésium	<b>Al</b> 13 Aluminium	<b>Si</b> 14 Silicium	<b>P</b> 15 Phosphore	<b>S</b> 16 Soufre	<b>Cl</b> 17 Chlore	<b>Ar</b> 18 Argon		

## C. Pourquoi utilise-t-on de la laine de verre dans l'habitat ?

Les fibres de verre divisent l'air en microcavités limitant fortement les mouvements des molécules d'air.

La laine de verre contient donc un très fort pourcentage d'air immobile. L'efficacité de l'isolation thermique de la laine de verre repose sur plusieurs mécanismes physiques complémentaires. De plus, compte tenu de sa composition, elle ne prend pas feu.

1 Citer les trois modes de transfert d'énergie thermique.

2 Des trois modes de transfert d'énergie thermique, lequel est le plus concerné par l'immobilité des molécules d'air dans la laine de verre ?

3 En reprenant la composition chimique de la laine de verre, comment expliquer le fait que la laine de verre ne soit pas combustible ?

4 Quel autre paramètre physique est aussi très intéressant pour l'utilisation de la laine de verre dans l'habitat ?

Voici l'emballage de panneaux de laine de verre fabriquée avec plus de 50 % de calcin, et un zoom sur son étiquette d'informations :



5 Quelles unités lisez-vous pour les résistances thermiques  $R_{th}$  et le coefficient de conductivité thermique  $\lambda_{th}$  ?

6 Calculer le flux thermique  $\Phi$  sachant que les températures mesurées valent 12 et 20 °C de part et d'autre d'un mètre carré de ce panneau de laine de verre.

## D. La micro-encapsulation, une solution d'avenir ?

Certains composés chimiques (paraffines, sels hydratés, acides gras...) ont la propriété de changer d'état physique (solide  $\leftrightarrow$  liquide) à une température donnée, proche du confort thermique (entre 18 et 26 °C).

Quand la température augmente : le matériau fond ce qui consomme de l'énergie.

Quand la température baisse : il se solidifie et libère de l'énergie.

La quantité de chaleur nécessaire au changement d'état est appelée « chaleur latente ». Ce transfert de chaleur réversible est beaucoup plus efficace que le simple stockage de chaleur (béton, brique, etc.).

Les composés à changement de phase ne peuvent pas être utilisés « bruts ». Il faut qu'ils soient encapsulés. Ceux-ci sont donc généralement composés d'un matériau à changement de phase entouré d'une enveloppe protectrice, souvent constituée d'un polymère ou d'un autre matériau d'encapsulation.

L'encapsulation de composés à changement de phase permet de transformer les parois du bâtiment en régulateurs thermiques passifs, capables d'absorber, stocker et restituer la chaleur au bon moment.

Cela améliore le confort intérieur tout en réduisant la consommation énergétique, sans recourir à des systèmes mécaniques complexes.

Prenons un cas concret, celui d'une pièce de 40 m<sup>2</sup> de plafond recouvert de plaques de plâtre avec des microcapsules intégrées contenant un hydrocarbure, sachant que cela correspond ici à un kilogramme d'un composé à changement de phase par mètre carré de plaque de plâtre.

Le choix du matériau microencapsulé est vaste. Prenons comme exemples trois composés avec quelques-unes de leurs caractéristiques physicochimiques, dont la chaleur latente de fusion ( $L_{\text{fusion}}$ ) qui correspond à l'énergie nécessaire pour fondre un gramme de composé à la température de fusion  $T_{\text{fusion}}$ .

Hydrocarbure	Formule chimique	$T_{\text{fusion}}$ (°C)	$T_{\text{ébullition}}$ (°C)	$L_{\text{fusion}}$ (J/g)
Heptadécane	$C_{17}H_{36}$	22	302	213
Octadécane	$C_{18}H_{38}$	28	316	244
Nonadécane	$C_{19}H_{42}$	32	330	222

1 Que remarquez-vous concernant les températures de changement d'état physique pour ces trois composés ?

2 Pourquoi l'heptadécane semble le plus adapté pour assurer le confort thermique de cette pièce ?

3 Quels changements d'état physique sont en jeu lors de la consommation et de la libération d'énergie ?

4 Quelle énergie maximale peut être stockée dans ce plafond lors d'un après-midi ensoleillé avec une température stabilisée de la pièce proche de la température de fusion de l'heptadécane ?

5 À quelle économie cela correspond sachant qu'un kilowattheure, correspondant à 3,6 MJ, coûte 20 centimes d'euro ?

Voici quelques objectifs de la recherche actuelle dans le domaine des matériaux à changement de phase qui est loin de se limiter aux matériaux de construction\* :

#### Comment les rendre plus efficaces ?

- Il faut qu'ils aient des températures de changement d'état physique adaptées aux besoins climatiques et au confort intérieur.
- Ils doivent conserver leurs performances après de nombreux cycles de fusion/solidification.
- Il faut qu'ils présentent une haute densité de stockage énergétique tout en occupant moins d'espace.

#### Comment rendre les matériaux à changement de phase plus résistants, plus durables et moins dangereux ?

Il faudrait utiliser :

- des techniques de micro-encapsulation plus robustes pour éviter les fuites ou les dégradations (oxydation, rayonnement U.V., etc.);
- des formulations biosourcées, plus recyclables et moins carbonées ;
- des composés ne présentant pas de risques (combustible, cancérogène, nocif, etc.).

#### Comment les intégrer avec d'autres technologies ?

L'un des axes actuels est de faire interagir les matériaux à changement de phase avec :

- des systèmes de régulation automatisés (IA, capteurs, gestion énergétique) ;
- des sources renouvelables (solaire thermique, photovoltaïque, géothermie) ;
- des systèmes hybrides combinant stockage thermique et ventilation naturelle.

Il faut bien entendu que tout cela soit adapté aux exigences réglementaires car les travaux visent aussi à répondre à des standards thermiques stricts (comme ceux de la RE 2020 en France), où les bâtiments doivent atteindre des niveaux élevés de performance énergétique et de confort quelle que soit la saison.

\* Les matériaux à changement de phase ont ou auront beaucoup d'applications futures dans notre quotidien, comme par exemple dans nos textiles :

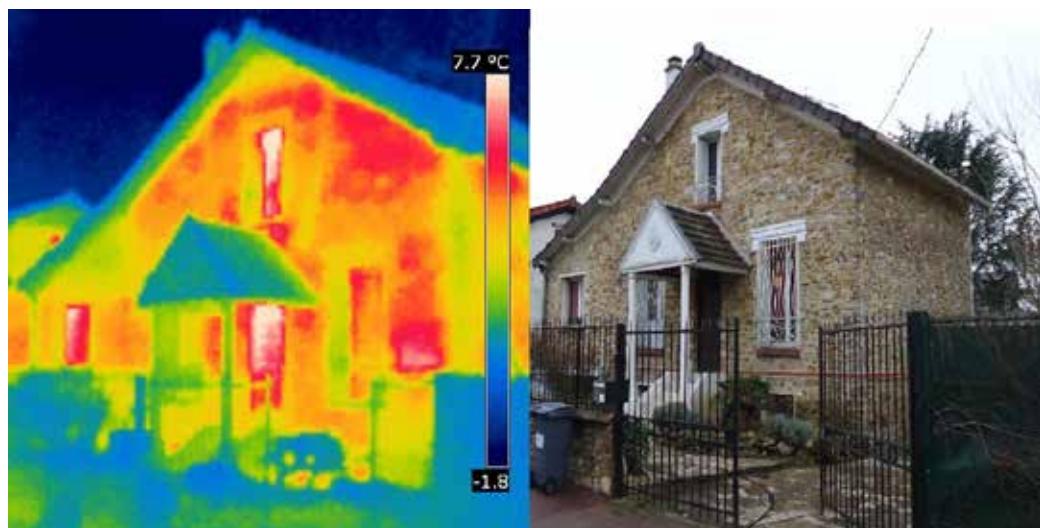
Vers des textiles intelligents pour des vêtements performants et innovants  
– D. Antunes – Mediachimie

## E. Conclusion

La chimie joue un rôle essentiel dans le développement d'un urbanisme plus durable, plus sûr et plus respectueux de l'environnement. Grâce aux nouveaux matériaux, aux procédés de dépollution et aux solutions énergétiques innovantes, elle contribue à améliorer la qualité de vie tout en limitant l'impact écologique des constructions et des infrastructures. La chimie permet ainsi d'optimiser l'utilisation des ressources, de réduire les émissions polluantes et de concevoir des espaces urbains plus adaptés face aux défis climatiques que nous devons relever. Aujourd'hui, la recherche se concentre notamment sur les matériaux intelligents, les bétons bas carbone, la chimie verte et le recyclage. Ces avancées montrent que la collaboration entre chimistes, urbanistes et ingénieurs sera déterminante pour imaginer les villes de demain, capables de concilier progrès technologiques, développement durable et bien-être des populations.

Pour en savoir plus sur ce thème :

- Vidéos du colloque [Chimie et habitat](#) - Mediachimie
- [Isolation dans l'habitat : la chimie pour ne pas gaspiller de calories!](#)
  - J.-C. Bernier – Mediachimie
- [Quelles solutions pour améliorer la performance énergétique dans l'habitat ?](#)
  - S. Steydl – Mediachimie
- [La discrète révolution de la performance énergétique des bâtiments](#)
  - F. Michel – Mediachimie
- [Chimie et habitat : les verres intelligents](#) – E. Bausson –Dossier Nathan / Mediachimie.



Détection de ponts thermiques avec une caméra thermique.

© www.planete-controle.fr/thermographie-infrarouge.

## B. Rôle des fondants dans la fusion du verre

1.  ${}_{\text{5}}\text{B}$  :  $1\text{s}^2 2\text{s}^2 2\text{p}^1$        ${}_{\text{8}}\text{O}$  :  $1\text{s}^2 2\text{s}^2 2\text{p}^4$

2. Pour que les atomes de bore et d'oxygène soient stables, ils doivent adopter la configuration électronique du gaz noble le plus proche, He ( $1\text{s}^2$ ) pour B et Ne ( $1\text{s}^2 2\text{s}^2 2\text{p}^6$ ) pour O. Cela impose que trois atomes d'oxygène et deux atomes de bore soient statistiquement présents. Donc il s'agit de  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

3. L'ion carbonate est présent dans le carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  donc avec deux ions  $\text{Na}^+$  et dans le carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  avec un ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Tout solide ionique étant électriquement neutre, l'ion carbonate est  $\text{CO}_3^{2-}$ .

4. D'après les nombres stœchiométriques (6 et 2), il est produit trois fois moins de  $\text{CO}_2$  que de  $\text{SiO}_2$  consommé. Donc la transformation de trente moles de silice  $\text{SiO}_2$  produit dix moles de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ .

5. Utiliser du calcin permet de réduire les quantités de matière introduites en réactifs et donc diminue celle du dioxyde de carbone formé (un des gaz responsables de l'effet de serre). La fusion du calcin ne produit pas de  $\text{CO}_2$  cette émission ayant eu lieu seulement lors de la première fabrication de ce verre. D'autre part la fusion du calcin nécessite une température plus basse donc consomme moins d'énergie et ainsi moins d'hydrocarbures à brûler.

6. Le calcin de la laine de verre peut être issu de n'importe quelle source de verres usagés, contrairement au calcin du verre plat qui ne peut avoir comme origine que du verre plat recyclé.

7. Matières qui, sous l'action de la chaleur, se durcissent progressivement pour atteindre un état solide irréversible. Lors de la réaction de polymérisation, les molécules constituant le liant se lient entre elles irréversiblement dans les 3 dimensions de l'espace pour conduire à un solide qui ne peut pas fondre ni se déformer lors d'un chauffage.

## C. Pourquoi utilise-t-on de la laine de verre dans l'habitat ?

1. La conduction thermique, la convection thermique et le rayonnement thermique.

2. L'air étant immobile au sein de la laine de verre, la convection thermique est très limitée.

3. La laine de verre est d'origine minérale car elle ne contient pas d'atomes de carbone (hormis le liant polymérisé). C'est pour cette raison qu'elle n'est pas combustible.

4. La laine de verre est très légère, ce qui est un atout dans la construction.

5.  $R_{\text{th}}$  :  $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$  (donc  $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ) et  $\lambda_{\text{th}}$  :  $\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}$  (donc  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

6.  $\Phi = \Delta T / R_{\text{th}} = (20 - 12) / 2,00 = 4 \text{ W}$

## D. La micro-encapsulation, une solution d'avenir ?

1. Plus la chaîne carbonée est longue, plus les températures de changement d'état physique sont élevées.

2. Il faut choisir l'hydrocarbure dont la température de fusion est située dans l'intervalle de température de confort (entre 18 et 26 °C). C'est uniquement le cas pour l'heptadécane.

3. Lors de la libération d'énergie, l'heptadécane se solidifie. La fusion du corps consomme de l'énergie alors que la solidification en produit.

4. D'après la chaleur latente de fusion de l'heptadécane, on peut stocker 213 J par gramme de cet hydrocarbure.

Or la surface du plafond vaut  $40 \text{ m}^2$  et nous avons un kilogramme d'heptadécane par mètre carré de plaque de plâtre, soit 40 kg en tout. L'énergie totale stockée dans ce matériau à changement de phase vaut donc :

$$E = 213 \times 40 \cdot 10^3 = 8,5 \cdot 10^6 \text{ J} = 8,5 \text{ MJ}$$

1 kW.h =  $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ , donc 8,5 MJ correspond à 2,4 kW.h. Cela fait donc une économie de 48 centimes d'euro par cycle fusion / solidification de l'heptadécane.

## ORIENTATION ET MÉTIERS

Partie orientation proposée et rédigée par Françoise Brénon  
et Gérard Roussel (Mediachimie)

Dans le domaine de l'habitat, au cœur des bâtiments et de tous leurs matériaux, l'innovation est permanente bien qu'elle ne soit pas nécessairement visible. Ces innovations concernent aussi bien la structure de base que l'ensemble des équipements techniques et de confort. Nous nous intéresserons ici aux innovations les plus récentes, le tout dans une démarche d'économie circulaire en recyclant et valorisant déchets et produits en fin de vie au moyen, entre autres, de procédés chimiques

Les grands enjeux pour l'habitat et la construction sont la résistance et la durabilité en particulier des structures dont le béton est généralement l'élément principal.

On travaille aujourd'hui à la production de **bétons bas carbone ou bétons polymères ou de résine** afin de réduire l'empreinte carbone et améliorer leur résistance. Mais il existe aussi des **bétons luminescents** qui absorbent les UV le jour et les restituent la nuit ou des **bétons translucides** contenant des fibres optiques pour réduire l'éclairage artificiel (en cours de développement). Des projets pilotes ont été initiés avec des **bétons auto-réparants ou auto-cicatrisants** basés sur l'ajout de polymères ou de bactéries.

La **laine de verre** reste l'**isolant** le plus utilisé pour ses qualités thermiques et phoniques, son coût, sa production parfaitement maîtrisée et sa facilité de mise en œuvre. C'est également un matériau ininflammable. Elle fait preuve d'une stabilité chimique excellente, toutefois, une perte de stabilité mécanique peut réduire avec le temps son efficacité.

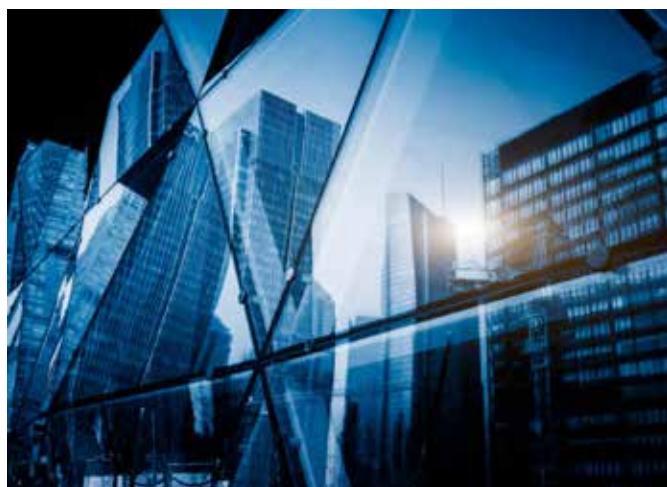


Laine de verre en rouleaux. © Sonergia

**L'isolation** et les économies d'énergie font aussi l'objet de nouvelles approches avec l'utilisation d'**aérogels** à base de silice ou de polymères, d'isolants biosourcés (laine de bois, ouate de cellulose, liège) traités chimiquement contre le feu et l'humidité. Il existe également des **peintures thermiquement isolantes** à base de microbilles de verre ou de céramiques. Plus récemment, des pilotes ont été lancés dans le cadre de l'utilisation de **matériaux à changement de phase (MCP)** afin de stocker la chaleur le jour et la libérer pendant la nuit alors qu'il fait plus froid.

Ces matériaux ainsi que leurs capsules d'enrobage devront démontrer leur stabilité et leur durabilité ainsi que leur pertinence économique. Il est déjà démontré que leur empreinte carbone est plus faible que pour les matériaux traditionnels et que le confort apporté en raison d'une plus grande inertie thermique est supérieur aux solutions existantes.

**Les vitrages intelligents** concourent au confort et à la gestion de l'énergie et de la lumière. Vitres **électrochromes, thermochromes, photochromes, à cristaux liquides, à opacité variable, connectées**, autant de technologies que d'applications spécifiques.



Verres thermochromes © iStock

**La gestion de l'énergie** peut se faire à l'aide de **panneaux photovoltaïques, de batteries domestiques** et celle de l'eau en filtrant celle-ci avec des **membranes polymères**, du charbon actif ou des **nanofiltres**.

Toutes les conceptions de différents matériaux de l'habitat font appel à des procédés chimiques et aux compétences des chimistes.

Pour découvrir certaines de ces réalisations, visionnez les conférences du colloque [Chimie et habitat](#) de novembre 2025 et consultez également la sélection ci-dessous :

- **Les vidéos**

[La peinture qui dépollue](#) Collection Des idées plein la Tech

[L'intelligence du verre](#) Collection Des idées plein la Tech

[L'architecture bois-sourcée](#) Collection Des idées plein la Tech

[Les industriels à la recherche d'alternatives au clinker, ingrédient peu connu mais très polluant du ciment](#) Prix des jeunes journalistes de la chimie de 2024

- **Les ressources**

[Zoom sur la formulation des bétons et des ciments](#)

[Zoom sur les progrès de l'optoélectronique : des LED aux OLED](#)

[Zoom sur l'éco-conception des produits de consommation : vers une économie circulaire. Exemple des peintures](#)

**Les chimistes, du Bac au Bac+8, sont spécialisés :** en sciences des matériaux, bétons classiques et bétons innovants, chimie des polymères, chimie verte, économie circulaire, écoconception, matériaux intelligents, chimie de l'environnement, analyse, formulation, corrosion, électrochimie, chimie des batteries, génie des procédés, chimie industrielle.... La part d'innovation est importante dans un contexte de durabilité, de transition énergétique, d'économie circulaire, de produits de construction bas carbone, de qualité de vie.



Un étudiant pendant la semaine d'étude «Chimie et sciences des matériaux». © Sciences et les jeunes

Ci-dessous une sélection de ressources relatives aux formations et métiers concernés :

- **Parmi les fiches « Les chimistes dans... »**

[Les chimistes dans : L'aventure des nouveaux matériaux](#)

[Les chimistes dans : Les énergies nouvelles face au développement durable](#)

[Les chimistes dans : les métiers de l'eau](#)

[Les chimistes dans : l'économie circulaire](#)

- **Parmi les fiches métiers**

[Technicien matériaux \(H/F\)](#)

[Ingénieur matériaux \(H/F\)](#)

[Technicien de formulation \(H/F\)](#)

[Ingénieur en formulation / formateur \(H/F\)](#)

[Technicien génie des procédés / génie chimique \(H/F\)](#)

[Ingénieur chimiste procédés \(H/F\)](#)

[Technicien de fabrication production \(H/F\)](#)

[Ingénieur de recherche / chercheur \(H/F\)](#)

[Technicien chimiste \(H/F\)](#)

[Technicien d'analyse chimie / physico-chimie \(H/F\)](#)

- **Les formations**

[Bac +2/3 : vers les métiers de techniciens et de techniciennes](#)

[Bac +5/8 : vers les métiers d'ingénieur\(e\)s et de recherche](#)