

Partie Agir : Défis du XXIème siècle

CHAP 16-ACT DOC Enjeux énergétique dans le domaine des transports

CHAP 17-ACT DOC Apport de la chimie au respect de l'environnement

Objectifs :

- Extraire et exploiter des informations sur des réalisations ou des projets scientifiques répondant à des problématiques énergétiques contemporaines.
- Faire un bilan énergétique dans les domaines du transport.
- Argumenter sur des solutions permettant de réaliser des économies d'énergie
- Extraire et exploiter des informations en lien avec :
 - la chimie durable,
 - la valorisation du dioxyde de carbone,
 pour comparer des procédés de synthèse du point de vue du respect de l'environnement.

1. BILAN ENERGETIQUE D'UNE VOITURE

Dans le but d'économiser les ressources énergétiques, les constructeurs automobiles doivent mener une réflexion sur le bilan énergétique des véhicules qu'ils élaborent.

1.1. Pour commencer (situation déclenchante)

Dans un souci de développement durable, l'acquisition de voitures électriques, qui émettent peu de dioxyde de carbone, est encouragée par les pouvoirs publics. Les véhicules hybrides, dans lesquels un moteur thermique (essence ou diesel) est associé à un moteur électrique, bénéficient eux aussi d'un soutien, mais dans une plus faible mesure.

1.2. Investigation

Les voitures électriques présentent-elles un bien meilleur bilan énergétique que les voitures hybrides ?

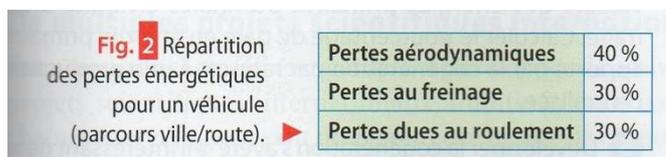
1.3. Quelques idées (hypothèses)

- Il suffit de comparer le rendement des deux types de moteurs. »
- La voiture électrique est plus chère, donc elle a un meilleur rendement énergétique. »
- C'est pareil, mais la voiture hybride émet plus de CO₂.

1.4. Étude de document (recherche de validation)

A. Bilans énergétiques du « réservoir à la roue »

- Pour qu'une voiture maintienne son allure, l'énergie fournie aux roues doit compenser des pertes (Fig. 2).



Les constructeurs automobiles communiquent généralement les bilans énergétiques du « réservoir à la roue » (Fig. 3).

	Véhicule électrique	Véhicules thermique et hybride
Rendement du réservoir à l'arbre de transmission via le moteur	90 %	24 %
Rendement de l'arbre de transmission aux roues	85 %	85 %
Coefficient de récupération d'énergie au freinage	1,15	1,00 (1,15 si hybride)
Autonomie approximative	120 km	900 km
Masse du réservoir plein	300 kg (batterie reliée au secteur)	50 kg (essence) + 40 kg (batterie interne sur modèle hybride)

Fig. 3 Caractéristiques de véhicules « du réservoir à la roue ».

- a) En vous aidant éventuellement de la fiche méthode, réaliser un diagramme énergétique faisant apparaître l'énergie reçue par la voiture et les énergies cédées à l'air ou à la route.
- b) Quelle perte est récupérable en partie ? Avec quel type de véhicule ?
- c) Calculer le rendement du « réservoir à la roue » du véhicule électrique, puis des véhicules thermique et hybride,
- d) Peut-on déjà répondre à la question de l'investigation ?

B. Bilans énergétiques du « puits au réservoir »

Pour être complet dans l'investigation, il convient d'intégrer les rendements énergétiques du « puits au réservoir » (Fig. 4).

Rendement de la centrale électrique nucléaire	30 %	Du puits de pétrole à la raffinerie	82 %
De la centrale électrique au réseau	94 %	De la raffinerie à la station essence	98 %
Du réseau électrique au réservoir (batterie)	85 %	De la station essence au réservoir	100 %

Fig. 4 Rendements énergétiques du « puits au réservoir ».

- e) Qu'appelle-t-on le « puits » ?
- f) Pour le véhicule électrique puis les véhicules thermique et hybride, représenter la chaîne énergétique du « puits » à la « roue ».
- g) Calculer le rendement du « puits au réservoir » du véhicule électrique, puis des véhicules thermique et hybride.
- h) Calculer le rendement total, du « puits à la roue », d'un véhicule électrique, puis des véhicules thermique et hybride. Conclure.

2. ÉCONOMIES D'ENERGIE DANS LES TRANSPORTS

Suite à la raréfaction du pétrole et à la nécessité de réduire les émissions de dioxyde de carbone, de nouveaux moteurs ont vu le jour, ainsi que de nouveaux carburants.

2.1. Documents

Doc. 2 Les véhicules hybrides

- Le véhicule hybride équipé de deux modes de propulsion, un moteur thermique et un moteur électrique, est commercialisé depuis quelques années. Lorsque la vitesse du véhicule est inférieure à $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ environ, le moteur électrique s'enclenche et permet de réaliser des trajets allant jusqu'à 25 km. Au-delà, le moteur thermique peut à son tour fonctionner.
- Sur les longs trajets, la gestion des flux d'énergie optimise les fonctionnements des moteurs thermique et électrique. Lors de fortes accélérations, la sollicitation des deux moteurs simultanément est possible. En phase de décélération et de freinage, la conversion de l'énergie cinétique permet la recharge de la batterie. À l'arrêt, cette opération de recharge de la batterie peut être réalisée en une heure et demie environ, sur des bornes disposées en ville, dans les entreprises ou au domicile.

Doc. 1 Vers les biocarburants et le véhicule électrique

Une voiture électrique dépasse les 100 km · h⁻¹



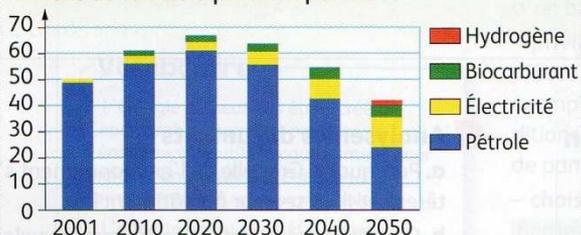
La « Jamais Contente », une voiture électrique, fut la première à franchir la barre des 100 km · h⁻¹. Ce record, ainsi que le développement des tramways et des trains, fit croire à l'avènement de l'électricité dans le domaine du transport.

Le moteur thermique

La barre des 200 km · h⁻¹ fut dépassée en 1909 par le français Victor Héméry, avec une voiture à moteur thermique. Ce moteur assurait le meilleur rapport entre performance mécanique, coût et facilité d'usage et d'approvisionnement en carburant. De nos jours, la majorité du parc automobile est équipé de moteur thermique.



millions de tonnes équivalent pétrole



Des solutions alternatives

D'autres types de moteurs (électrique, hybride, utilisant une pile à combustible...) ainsi que de nouveaux carburants sont aujourd'hui développés.

◀ *Projet européen pour l'évolution des sources d'énergie dans les transports (2004).*

Doc. 3 Les biocarburants

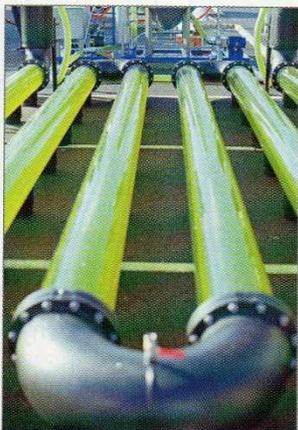
• La **première génération** de biocarburants est issue de produits alimentaires. Ils sont actuellement produits sous deux formes :

- le biodiesel (issu d'huiles de colza, de tournesol et de soja), incorporé au gazole sous forme de carburant banalisé ;
- l'éthanol (issu de plantes sucrières, de blé ou de maïs), incorporé à l'essence sous forme de carburant banalisé (SP 95, SP 98 et SP 95-E10, sans indication particulière).

Les cultures énergétiques comme le maïs sont finement moulues...



▲ *Cycle du carbone du bioéthanol.*



▲ *Culture d'algues pour la production de biocarburant de troisième génération.*

• Les biocarburants de **deuxième génération**, destinés à ne pas entrer en concurrence avec les cultures vivrières, utilisent les résidus agricoles et forestiers, ou des cultures dédiées de plantes à croissance rapide, et pouvant avoir d'autres qualités comme permettre la fixation des sols, nécessiter peu d'eau... En 2010, la production française de biocarburants avoisinait les trois millions de tonnes, soit :

- la mobilisation d'une surface estimée à environ 2 millions d'hectares ;
- 8 millions de tonnes équivalent CO₂ économisées ;
- la production d'environ 2,5 millions de tonnes équivalent pétrole, soit autant d'économie d'énergie fossile réalisée.

• Les biocarburants de **troisième génération** sont obtenus à partir d'algues. Ils sont encore à l'étude. Ces nouvelles filières présentent des bilans énergétiques favorables : à l'hectare, les microalgues seraient 30 à 100 fois plus productives en énergie qu'un biocarburant oléagineux. De plus, elles permettraient de limiter les problématiques d'usage des sols et de concurrence avec les débouchés alimentaires.

2.2. Analyser les documents

- Citer les différents types de moteur évoqués dans le document 1.
- Pourquoi le moteur thermique a-t-il supplanté le moteur électrique au début du XXe siècle ?
- Rechercher la signification du mot « biocarburant ». Pourquoi est-il qualifié d'agroressource ?
- Quelles solutions alternatives au pétrole sont proposées ? Répertorier les avantages et les inconvénients de chacune de ces solutions.
- Comment la consommation de carburants va-t-elle évoluer globalement dans les quarante prochaines années ? La répartition des différents types de carburants changera-t-elle ? Justifier la réponse à l'aide du document 1.

2.3. Interpréter

- Définir le tep (tonne équivalent pétrole).
- Convertir 2,5 millions de tep en joule, puis en kWh.
- Quelle quantité d'énergie fossile est économisée grâce à la production de biocarburants ?
- En quoi l'utilisation de l'énergie électrique provenant du secteur ne résout-elle pas le problème énergétique ?
- Pourquoi la filière « biocarburant » est-elle contestée ?
- Rechercher dans le document 2 les arguments qui permettraient de placer les véhicules hybrides dans la catégorie des véhicules économes en énergie fossile.

3. ECONOMIE D'ATOMES ET LIMITATION DES DECHETS

La chimie durable, apparue au début des années 1990, vise à minimiser la quantité d'espèces chimiques introduites, à utiliser préférentiellement la catalyse et à limiter les déchets pour éviter leur traitement ou leur élimination.

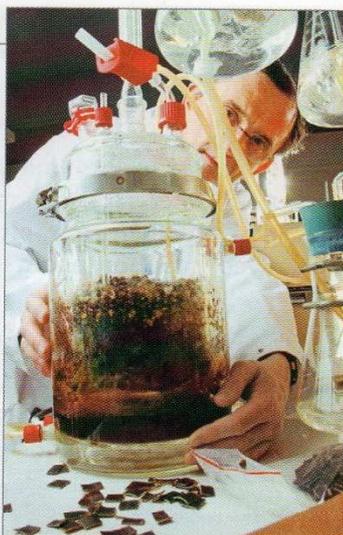
3.1. documents

Doc. 2 La limitation des déchets

Dans le cadre de la chimie durable, les procédés de synthèse doivent être moins polluants et consommer moins d'énergie que par le passé. Pour limiter les déchets, trois grandes orientations sont possibles :

- limiter les **sous-produits** en utilisant des voies de synthèse innovantes ;
- valoriser les sous-produits en les utilisant comme matières premières d'autres synthèses ;
- créer des matériaux biodégradables. Ainsi, de nouveaux matériaux composites utilisant des ressources agricoles ou forestières (fibres de lin, de chanvre ou d'amidon) ont été développés : leur impact environnemental est limité, car ils sont biodégradables.

► Tests de biodégradation : la norme de la Communauté Européenne valide un produit biodégradable s'il s'est totalement transformé en CO₂ au bout de 45 jours.



Vocabulaire

Sous-produit ou co-produit : produit de la réaction autre que le produit d'intérêt (le produit que l'on souhaite effectivement synthétiser).

Valoriser : recycler des déchets industriels, les transformer en matière première.

“ L'un des chercheurs du laboratoire rennais [« Synthèses et activations de biomolécules », CNRS/ENSCR], Thierry Benvegna, s'est penché sur un problème rencontré par l'industrie routière, celui des émulsifiants utilisés pour fluidifier les bitumes avant leur application sur les routes. « Une fois le bitume appliqué, ces émulsifiants se dispersent dans le sol ; or ils sont généralement non bio-dégradables et toxiques, notamment pour les espèces aquatiques », commente le chercheur. Avec ses collègues, il a donc imaginé et mis au point un procédé pour synthétiser un émulsifiant « bio », à partir de la glycine bêtaïne, un des **co-produits** de l'industrie sucrière et des alcools et amines gras des huiles de tournesol et de colza. Bilan des travaux : un émulsifiant biodégradable, moins toxique, obtenu par un procédé qui ne nécessite pas de solvant, qui ne produit pas de rejet et qui utilise des matières premières végétales naturelles jusqu'alors non ou peu **valorisées**, en particulier hors du domaine alimentaire ! ”

D'après Stéphanie Belaud, extrait de l'article « Les recettes d'une chimie verte » du dossier « La chimie passe au vert », du Journal du CNRS n° 193, février 2006.

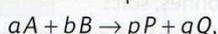
▲ Un exemple de procédé durable.

Doc. 1 L'économie d'atomes

• L'efficacité d'un procédé de synthèse est traditionnellement mesurée par le rendement chimique du produit d'intérêt (celui que l'on souhaite synthétiser), sans tenir compte de la quantité des autres produits formés.

• L'économie d'atomes E_{at} est une autre mesure, qui prend en compte les quantités des réactifs et du produit d'intérêt.

Pour une réaction d'équation :



l'économie d'atomes est définie comme le rapport de la masse du produit d'intérêt P sur la somme des masses des réactifs engagés dans la réaction :

$$E_{at} = \frac{m_P}{m_A + m_B}.$$

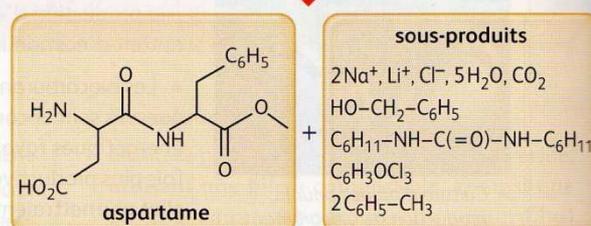
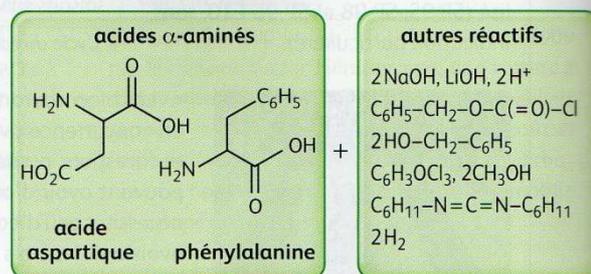
Pour une réaction quasi-totale, ce rapport s'écrit aussi de la façon suivante :

$$E_{at} = \frac{p \times M(P)}{a \times M(A) + b \times M(B)}.$$

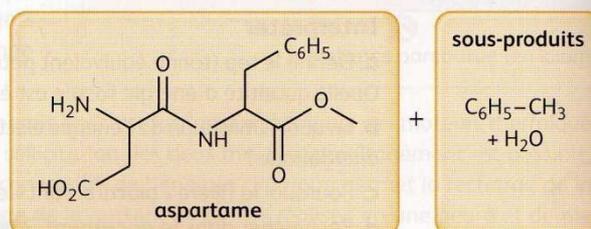
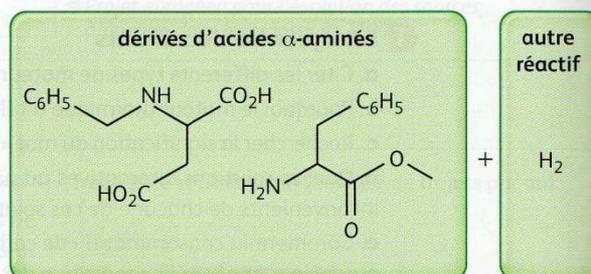
où M désigne les masses molaires des espèces chimiques de la réaction.

• En 1965 fut réalisée la première synthèse de l'aspartame, en cinq étapes, et faisant intervenir de nombreux réactifs, dont certains toxiques. Le succès commercial de cet édulcorant a amené les chimistes à développer une voie de synthèse par catalyse enzymatique ne faisant plus intervenir que trois réactifs, réalisant ainsi une « économie d'atomes ».

Équation chimique de la synthèse historique de l'aspartame en cinq étapes



Équation chimique de la synthèse enzymatique de l'aspartame



3.2. Questions

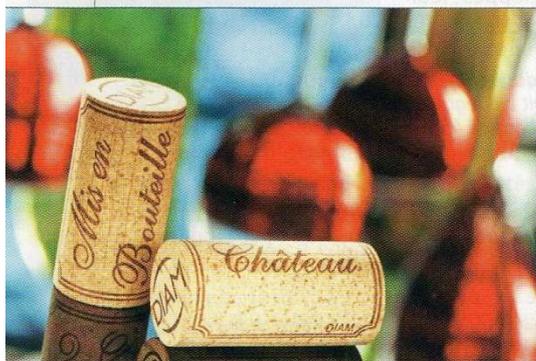
- Rappeler la définition du rendement d'une transformation chimique et expliquer pourquoi il est insuffisant pour rendre compte de l'efficacité d'un procédé industriel.
- Citer trois objectifs de la chimie durable.
- Quel est l'intérêt d'utiliser des matériaux composites plutôt que des métaux?
- Citer les qualités du nouvel émulsifiant utilisé pour fluidifier les bitumes du point de vue de la chimie durable.
- Entre quelles valeurs l'économie d'atomes est-elle comprise ? À quels cas correspondent les valeurs extrêmes?
- Calculer les valeurs de l'économie d'atomes pour les deux voies de synthèse de l'aspartame.
- Quel type de réaction chimique (endothermique ou exothermique) permet de « consommer moins d'énergie que par le passé » ?
- Quelle nuance pourrait-on apporter à la définition du mot « co-produit » par rapport à celle du mot « sous-produit » ?

4. CHIMIE DOUCE ET RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

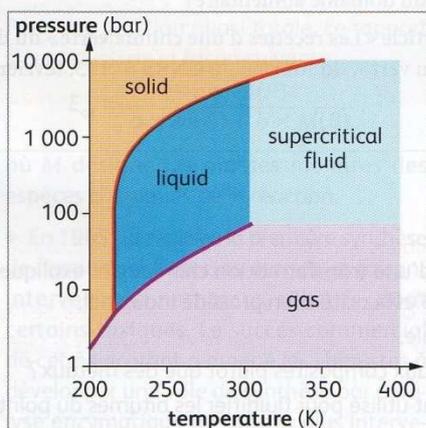
La notion de chimie douce proposée a pour objectif de synthétiser des matériaux en s'inspirant du vivant. Elle vise à réaliser des synthèses à des températures proches de la température ambiante, en milieu aqueux, avec un apport énergétique faible, et à préserver l'environnement.

4.1. Documents

Doc. 1 Un procédé d'extraction « propre »



▲ Le traitement préalable du liège par le dioxyde de carbone supercritique permet d'extraire les espèces chimiques responsables du goût du bouchon dans le vin.



▲ États d'un corps pur en fonction de la pression P et de la température T .

● Dans le domaine agroalimentaire, l'extraction est une opération industrielle importante. Elle peut être réalisée selon trois procédés :

- une extraction à l'eau ;
- une extraction par solvant organique ;
- une extraction par fluide supercritique (du dioxyde de carbone le plus souvent).

● La première méthode est la moins efficace et peut dénaturer le goût. La seconde méthode, qui a été utilisée pendant des années, tend à être remplacée par la dernière pour des raisons de santé (traces résiduelles de solvants), d'impact sur l'environnement, de coût et de saveur.

● Le dioxyde de carbone supercritique permet de solubiliser la plupart des espèces organiques de faible masse moléculaire. Ce procédé d'extraction est utilisé pour décaféiner le café, débarrasser le houblon de son amertume ou le liège des chlorophénols et des chloroanisoles, responsables du goût de bouchon dans le vin. Dans ce dernier cas, le procédé d'extraction au dioxyde de carbone supercritique se décompose selon les étapes suivantes :

- le liège est introduit dans l'extracteur ;
- le dioxyde de carbone est acheminé vers l'extracteur après avoir été comprimé sous plusieurs dizaines de bars (pression supérieure à 73 bar) et chauffé entre 30 °C et 40 °C ;
- le fluide supercritique présent dans l'extracteur se charge ainsi en espèces extraites, puis il est détendu. Le dioxyde de carbone retrouve alors l'état gazeux, qui lui permet de se séparer de l'extrait ;
- l'extrait est récupéré, tandis que le dioxyde de carbone est recyclé pour être de nouveau utilisé.

L'état fluide supercritique

Les liquides et les gaz constituent les états fluides de la matière. Ils possèdent des propriétés communes, comme par exemple leur capacité d'écoulement. D'autres propriétés sont bien distinctes, comme leur masse volumique, celle des gaz étant notablement plus faible que celle des liquides.

Lorsque l'on augmente la température et la pression d'un corps pur, on peut obtenir un état fluide dont

les propriétés sont intermédiaires entre celles des gaz et celles des liquides : on parle alors de **fluide supercritique**.

Par exemple, de l'eau supercritique à une température de 374 °C et une pression de 74 bar a une masse volumique dix fois plus faible que l'eau liquide à température ambiante et cent fois plus élevée que l'eau gazeuse à 100 °C et 1 bar.

Vocabulaire

Suspension colloïdale :

dispersion de particules de petite taille (entre 2 nm et 2 μ m) dans un liquide.

Doc. 2 Des matériaux bio-inspirés

Qu'elle soit « douce » ou « écologique », la chimie des matériaux du futur vise à économiser l'énergie tout en protégeant l'environnement. Alors que les verres et céramiques « traditionnels » sont élaborés par fusion de matières premières à très haute température (supérieures à 1 000 °C), la chimie douce met en jeu des réactions à des températures plus proches de la température ambiante (20-200 °C).

- 10 L'évolution de l'Homme est intimement liée à sa maîtrise des matériaux, l'art de copier la nature, de transformer la matière, de lui donner une forme, à la recherche d'une utilité pratique ou esthétique. C'est donc en observant la créativité des micro-
- 15 organismes planctoniques qui savent fabriquer des verres et des céramiques à température ambiante, à partir d'espèces dissoutes dans les eaux de mer, que les scientifiques ont eu l'idée de pratiquer la « chimie douce », en modifiant des procédés
- 20 pour que les températures de réaction soient plus proches de la température ambiante.

La capacité naturelle de certaines bactéries non pathogènes à réaliser la biominéralisation, c'est-à-dire à fabriquer des céramiques de carbonate de calcium (CaCO_3), est ainsi employée en architecture. En raison de son innocuité pour l'Homme et l'environnement et de ses propriétés calcifiantes, la variété *Bacillus cereus*, que l'on trouve dans le sol, produit une « biopatine », qui permet de protéger

30 les façades des monuments. [...]



▲ Vitre de grande surface traitée par le procédé sol-gel.

L'industrie utilise un autre procédé qui se déroule à des températures proches de la température ambiante, le « procédé sol-gel », pour recouvrir des vitres de surfaces protectrices et actives : anti-UV, antireflet, anti-IR... Il permet de synthétiser des verres de silice (SiO_2) ou verres hybrides, à partir de réactions moléculaires en phase liquide. La polymérisation du mélange [d'un milieu] appelé « sol » conduit, en présence de sel et à pH acide, à un « gel » de suspensions colloïdales. La viscosité du gel ainsi obtenu est particulièrement adaptée au dépôt de films minces.

D'après Sandrine Irace-Guigand, centre de vulgarisation de la connaissance, Université Paris-Sud 11. Article publié en juillet/août 2006 dans Sciences Ouest n° 234.

4.2. Questions

- Pourquoi faut-il travailler à plus de 73 bar pour réaliser l'extraction par le dioxyde de carbone supercritique ?
- Donner l'état physique du dioxyde de carbone lors des différentes étapes de l'extraction.
- Comment justifier le choix du dioxyde de carbone supercritique comme solvant lors d'une extraction ?
- D'après le document 2, pourquoi est-il intéressant de travailler à température ambiante ?
- Rappeler l'objectif d'une extraction. Quel type d'extraction est souvent réalisé au lycée ?
- Citer un inconvénient du procédé d'extraction au dioxyde de carbone supercritique.
- Citer un avantage de ce procédé du point de vue de la chimie douce.
- Le chimiste sait fabriquer du carbonate de calcium à partir de solutions d'ions carbonate et d'ions calcium. D'après le document 2, pourquoi est-il nécessaire d'utiliser des micro-organismes pour réaliser cette réaction dans le domaine de l'architecture ?
- Pourquoi est-il intéressant de contrôler la viscosité d'un gel pour le traitement des surfaces ?