

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Spécialité

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

L'usage d'une calculatrice EST autorisé.

« Conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999 »

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1 à 12.

Le document réponse page 12 est une annexe à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de 3 exercices indépendants les uns des autres.

Le candidat doit traiter les trois exercices.

EXERCICE I : LE DIESTER® (4 points)

Un agrocarburant est un carburant obtenu à partir de ressources issues de l'agriculture, par opposition aux carburants issus de ressources fossiles. Il vient en complément ou en substitution du combustible fossile.

Développé dans les années 80, le Diester® (marque déposée provenant de la contraction de « DIESeL » et « esTER ») est le nom donné au premier agrocarburant issu essentiellement de la transformation des huiles de colza et de tournesol, végétaux cultivés en France.

Schéma de la chaîne de fabrication d'un carburant à base de Diester®



D'après *lesbiocarburants.e-monsite.com*

Au-delà de sa teneur quasi nulle en soufre, le Diester® contribue à la lutte contre le réchauffement climatique avec un bilan carbone réputé plus favorable que le gazole fossile.

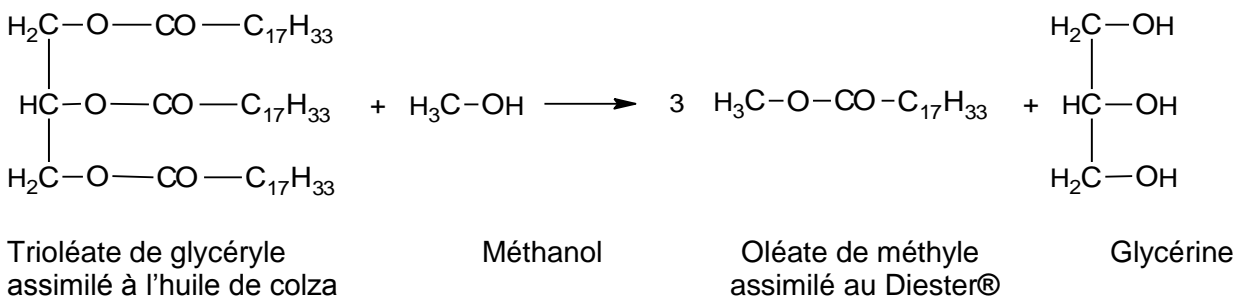
Néanmoins, ces agrocarburants de première génération ont un bilan controversé du fait de l'occupation de terres cultivables et de la remise en cause de leur neutralité environnementale.

L'objet de cet exercice est l'étude de la synthèse du Diester® à partir de l'huile de colza.

LA TRANSFORMATION DE L'HUILE DE COLZA

L'huile de colza est un mélange d'esters d'acide gras. Dans un souci de simplification, on l'assimilera à son constituant majoritaire, le trioléate de glycéryle.

La modification de cette huile est nécessaire pour le fonctionnement d'un moteur diesel. Elle va donc subir une transformation appelée transestérification en présence d'un excès de méthanol et d'hydroxyde de potassium de formule KOH. On obtient l'oléate de méthyle qui sera assimilé au Diester® ainsi qu'un produit dérivé, la glycérine. L'équation chimique de la réaction modélisant cette transformation est écrite ci-après :



Données

Caractéristiques physico-chimiques	Gazole	Huile de colza	Diester®
Masse volumique (kg/m ³ à 15°C)	820 - 860	920	880
Viscosité à 40°C (en mm/s)	2 - 4,5	30,2	4,5
Indice de cétane	51	35	49 - 51
Teneur en soufre (mg/kg)	350	≈ 0	≈ 0

L'indice de cétane évalue la capacité d'un carburant à s'enflammer sur une échelle de 0 à 100. Il est particulièrement important pour les moteurs diesel dans lesquels le carburant doit s'auto-enflammer sous l'effet de la compression. Un carburant à haut indice de cétane est caractérisé par sa facilité à s'auto-allumer.

	Formule brute	Masses molaires (g.mol ⁻¹)
Trioléate de glycéryle	C ₅₇ H ₁₀₄ O ₆	884
Méthanol	CH ₃ OH	32
Glycérine	C ₃ H ₈ O ₃	92
Oléate de méthyle	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296
Hydroxyde de potassium	KOH	56

1. Entourer les groupes caractéristiques présents dans le méthanol et l'oléate de méthyle et nommer les fonctions associées, sur **l'annexe de l'exercice I à rendre avec la copie**.
2. Choisir le nom, en nomenclature systématique, de la glycérine parmi les trois propositions suivantes : propan-1,2,3-trione ; propan-1,2,3-trial ; propan-1,2,3-triol. Justifier votre choix.
3. Pour simplifier l'écriture d'étapes du mécanisme réactionnel de cette transestérification d'un triester, on donne, **en annexe de l'exercice I**, les étapes d'une transestérification analogue sur l'exemple d'un ester simple. Dans le cas de l'huile de colza, le changement de groupe caractéristique s'applique aux trois groupes présents dans le trioléate de glycéryle. Compléter **sur l'annexe de l'exercice I**, l'étape 2 à l'aide de flèches courbes.
4. Justifier le terme de catalyse basique associée à la transestérification et préciser l'espèce chimique qui en est à l'origine.
5. Justifier le fait qu'une transestérification de l'huile de colza soit nécessaire avant son incorporation au gazole.
6. Le schéma de la chaîne de fabrication d'un carburant à base de Diester® suggère que 1150 kg d'huile de colza permettent d'obtenir environ 1200 L de Diester®. Déterminer le volume de Diester® obtenu théoriquement si la transestérification est totale. Proposer une explication pour rendre compte d'un éventuel écart entre la valeur du volume de Diester® trouvée et la valeur annoncée dans le schéma. *Toute démarche de résolution entreprise sera valorisée même si elle n'a pas abouti.*
7. Citer un avantage et un inconvénient à l'ajout d'un agrocaburiant comme le Diester® dans le gazole.

EXERCICE II : LES DRONES GRAND PUBLIC (11 points)

Les drones de loisirs à quatre hélices sont des véhicules aériens de faible dimension. Ils sont vendus au grand public comme un jeu pour l'intérieur ou l'extérieur.



Drone AR Parrot ®

Partie 1 : Connexion WiFi

De nombreux drones sont pilotés depuis un téléphone portable à l'aide d'une connexion WiFi.

Un réseau WiFi permet une communication par ondes électromagnétiques entre différents appareils. Les connexions WiFi peuvent se faire suivant plusieurs protocoles de communication dont le protocole standard IEEE 802.11g dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Standard	IEEE 802.11g
Débit théorique maximal	54 Mbits/s
Fréquence des ondes électromagnétiques	2,4 GHz
Puissance d'émission maximale autorisée en France	100 mW
Distance de fonctionnement	Intérieur 20 m Extérieur 50 m
Modélisation de l'atténuation du signal à 2,4 GHz en fonction de la distance	$A = 40 + 20 \times \log(d)$ A atténuation en décibel (dB) d distance en mètres entre l'émetteur et le récepteur.

Données

Vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Définition de l'atténuation d'un signal

L'atténuation A d'un canal de transmission est définie par :

$$A = 10 \times \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$$

A : atténuation en décibel (dB)

P_e : puissance d'émission en watt (W)

P_r : puissance reçue en watt (W)

Effet Doppler

Lorsque l'émetteur d'une onde se déplace par rapport au récepteur, le décalage Doppler est donné par la relation $f_R - f_E = \pm \frac{v}{c} \cdot f_E$ dans le cas où la vitesse de déplacement est faible par rapport à la vitesse de propagation des ondes. Le signe est fonction du sens de déplacement de l'émetteur par rapport au récepteur.

f_R est la fréquence reçue par le récepteur

f_E est la fréquence émise par l'émetteur

c est la vitesse de propagation des ondes

v est la vitesse de déplacement de l'émetteur

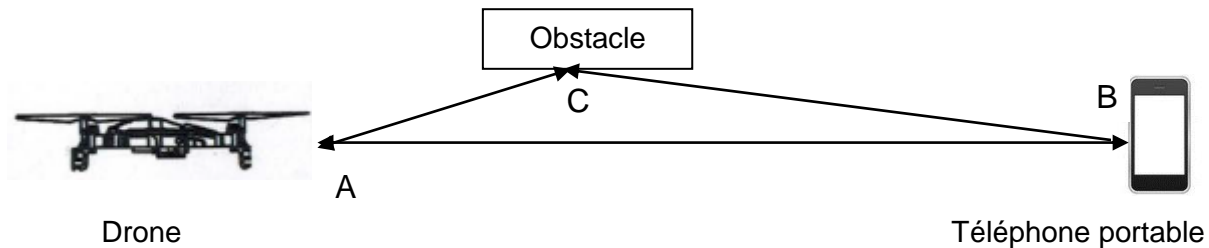


Les chemins multiples

« Les phénomènes de réflexion et de diffraction sont utiles pour capter le signal à un endroit où l'émetteur n'est pas visible : on dit qu'on est en condition de Non Line Of Sight (NLOS), c'est-à-dire que l'on n'a pas une ligne de vision directe. Mais les réflexions et diffractions peuvent également être nuisibles lorsqu'elles font apparaître de multiples chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur.»

D'après *WiFi professionnel : La norme 802.11, le déploiement, la sécurité* Aurélien Géron

Schéma : exemple de chemins multiples



Les signaux transmis en WiFi se dégradent avec la distance et avec les obstacles, ce qui limite la portée et le débit de la liaison.

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence quelques phénomènes physiques qui influencent la qualité de la transmission des informations en WiFi.

1.1. Transmission d'informations avec le protocole standard IEEE 802.11g

Un drone est piloté à l'aide d'un téléphone portable. Il est équipé d'une webcam de résolution 1280 x 720 pixels filmant à 30 images par seconde. Le codage de chaque image est de 24 bits par pixel. Il envoie ses informations au téléphone portable via le réseau WiFi.

1.1.a. Identifier les éléments de la chaîne de transmission des images.

Lorsque le drone s'éloigne du téléphone, le signal électromagnétique reçu par celui-ci s'affaiblit.

1.1.b. Calculer l'atténuation du signal lorsque le drone se situe à 10 m du téléphone portable.

1.1.c. En déduire la puissance maximale que peut recevoir le téléphone lorsqu'il est situé à 10 m du drone.

1.1.d. Le débit théorique maximal de la connexion WiFi permet-il de visualiser la vidéo en direct sur le téléphone portable ?

1.2. Les problèmes de transmission en WiFi

On aborde les problèmes de transmission entre le drone et le téléphone portable lorsque le drone se déplace à une vitesse de croisière de l'ordre de $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.2.a. Comparer la fréquence de l'onde radio émise par le drone à la fréquence de l'onde reçue par le téléphone portable lorsque le drone s'éloigne. Estimer la variation relative de la fréquence.

1.2.b. Calculer la longueur d'onde des signaux émis en WiFi.

1.2.c. Un tronc d'arbre placé sur le trajet des ondes WiFi est-il susceptible de diffracter ces ondes ? Justifier.

1.2.d. La superposition d'ondes ayant parcouru des chemins différents peut provoquer des interférences. À quelle condition obtient-on des interférences destructives ? Dans ce cas, quelle sera la conséquence sur la valeur de la puissance reçue ?

1.2.e. τ_1 et τ_2 représentent respectivement les durées du trajet de l'onde A-C-B et A-B entre le drone et le téléphone. On définit la durée $\Delta t = \tau_1 - \tau_2$. Parmi les 4 valeurs de Δt suivantes, indiquer celle(s) qui conduit (conduisent) à des interférences destructives. Justifier votre réponse.

$T/2$, T , $k.T$, $k.T+T/2$, $k.T/2$ k est un entier

Partie 2 : Étude dynamique du vol d'un drone

Dans cette partie, on étudie le mouvement du drone dépourvu de webcam dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le drone étudié, de masse 110 g, est assimilé à un point matériel noté G.

Donnée :

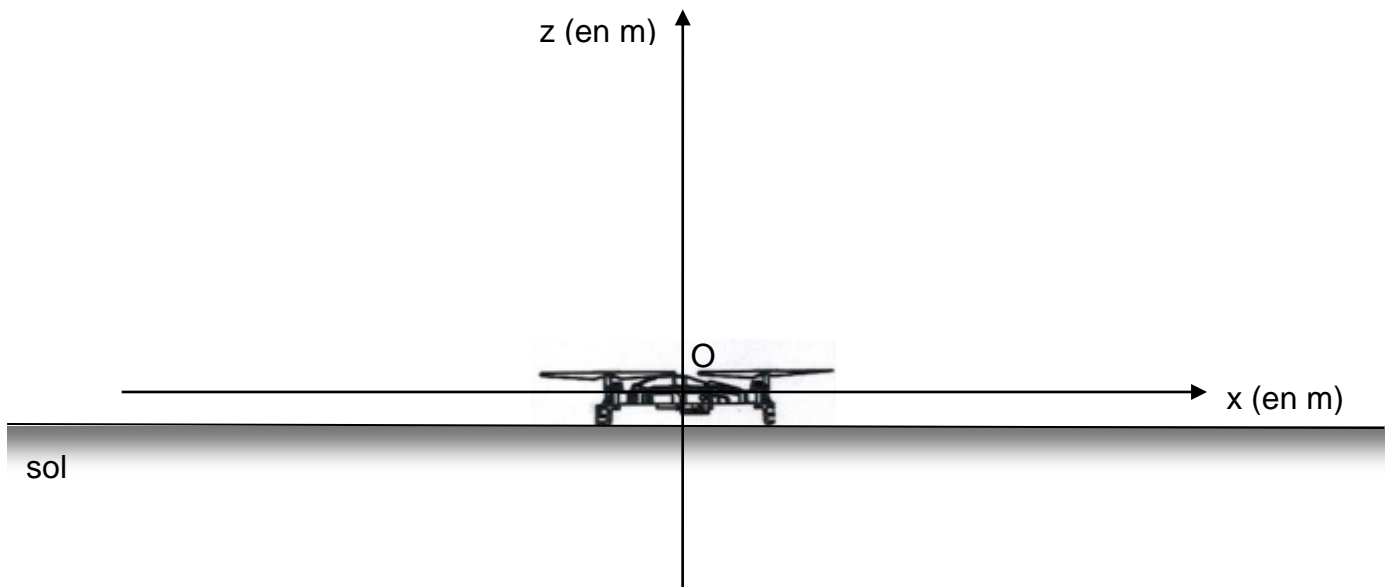
Le champ de pesanteur terrestre est considéré uniforme ; la valeur de son intensité g vaut $9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

2.1. Estimation de la valeur de la force de poussée

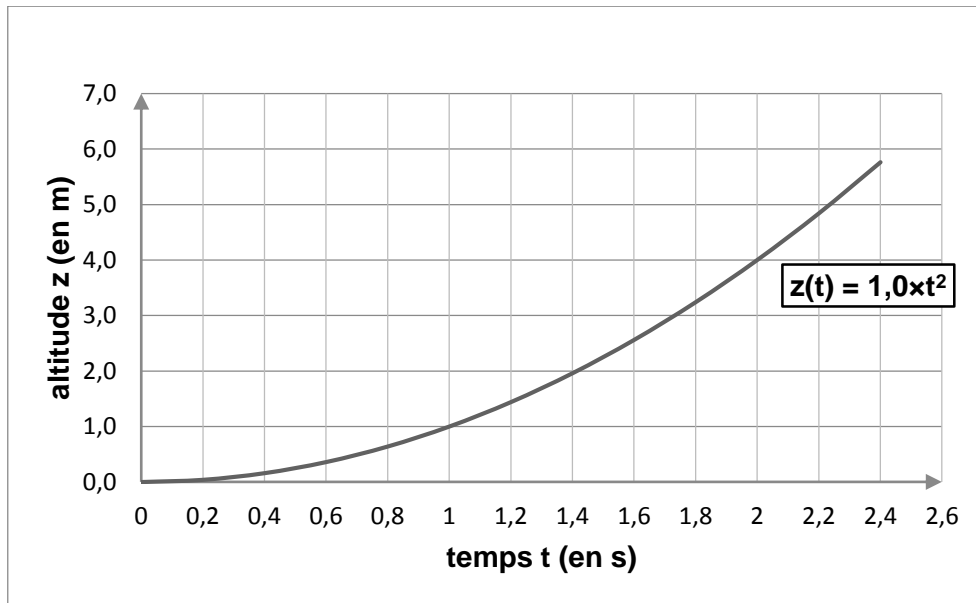
Un film du décollage vertical de ce drone a été réalisé afin de déterminer la force de poussée de celui-ci.

Le schéma ci-dessous représente la position du drone à l'instant initial. Le point O est l'origine du repère.

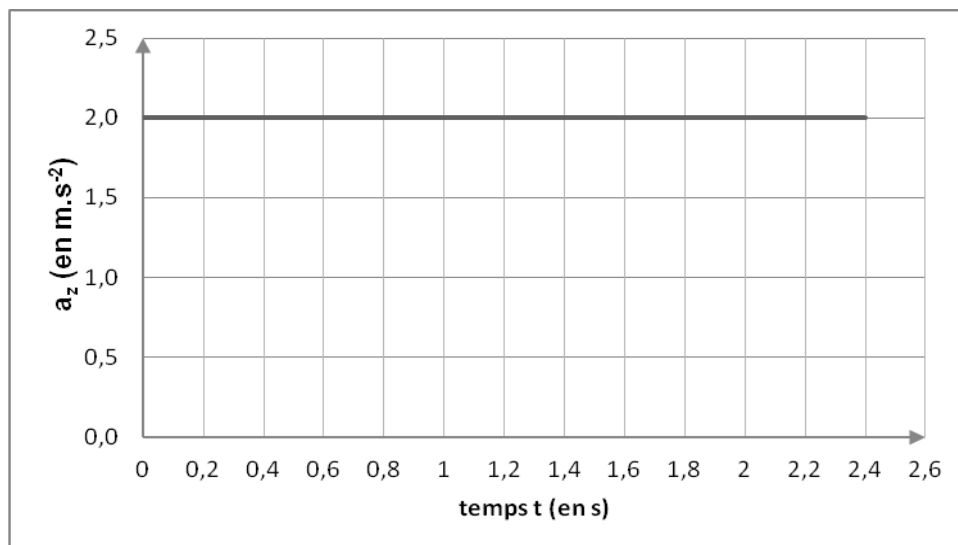
Le schéma ci-dessous est tracé sans souci d'échelle.



L'exploitation du film a permis d'obtenir l'évolution dans le temps des grandeurs $z(t)$ et $a_z(t)$, respectivement coordonnées suivant l'axe vertical du vecteur position et du vecteur accélération du drone, et les deux courbes ci-dessous modélisant l'évolution de ces grandeurs.



Courbe 1 : Évolution temporelle de l'altitude du drone par rapport au sol.



Courbe 2 : Évolution temporelle de l'accélération verticale du drone lors du décollage.

2.1.a. À partir de ces courbes, établir l'expression $v_z(t)$ de la coordonnée suivant l'axe vertical (Oz) du vecteur vitesse du drone.

On suppose que seuls le poids \vec{P} et la force de poussée \vec{F} agissent sur le drone lors de la phase de décollage vertical.

2.1.b. Comparer qualitativement les valeurs des forces \vec{P} et \vec{F} lors du décollage. Justifier votre réponse.

2.1.c. Calculer la valeur de la force de poussée lors du décollage.

2.1.d. On souhaite fixer une webcam de masse m_w sur ce drone. Quelle serait, en théorie, la masse maximale de cette webcam au-delà de laquelle le décollage ne serait plus possible ?

2.2. Conséquence d'une perte de communication sur le vol du drone

Le drone, dépourvu de webcam, est à présent animé d'un mouvement rectiligne uniforme à l'altitude constante $h = 7,0$ m et à la vitesse $v_0 = 4,0$ m.s⁻¹.

On choisit dans cette partie une nouvelle origine des temps.

À l'instant $t = 0$ s, la communication entre le drone et le téléphone portable est rompue, alors que le drone vole en direction d'une piscine. Les moteurs s'arrêtent. La valeur de la force de poussée devient nulle. On considère que le drone est en chute libre alors qu'il est à la verticale d'un point situé à une distance $d = 20$ m de la piscine de largeur $L = 5$ m.

2.2.a. Proposer une schématisation légendée de la situation.

2.2.b. En détaillant la démarche, établir les équations horaires du mouvement du drone suivantes :

$$x(t) = v_0 \times t \quad \text{et} \quad z(t) = -\frac{1}{2} g \times t^2 + h$$

2.2.c. Déterminer le temps dont dispose l'opérateur pour rétablir la communication avant que le drone ne touche le sol.

2.2.d. Le drone tombe-t-il dans la piscine si la communication n'est pas rétablie ?

EXERCICE III - REPARATION DES BETONS ARMES CARBONATES (5 points)

La Cité Radieuse de Marseille a été construite entre 1947 et 1951 par le célèbre architecte Le Corbusier et constitue une œuvre clé de l'histoire de l'architecture française du XX^e siècle. Ce bâtiment en béton armé a été classé monument historique en 1986.

Le béton des façades de ce bâtiment a subi, au cours du temps, une altération par carbonatation. Il a été procédé à un traitement par réalcalinisation pour réparer ce béton.



D'après *L'actualité chimique* - octobre-novembre 2007

Le but de cet exercice est d'estimer la durée nécessaire au traitement par réalcalinisation pour réparer les bétons carbonatés des façades de la Cité Radieuse de Marseille.

Questions préalables :

1. Expliquer comment savoir si un morceau de béton est carbonaté.
2. Montrer que la réfection de 1 m² de façade de la Cité Radieuse consiste à réalcaliniser environ 2,5×10⁻² m³ de béton.

Problème :

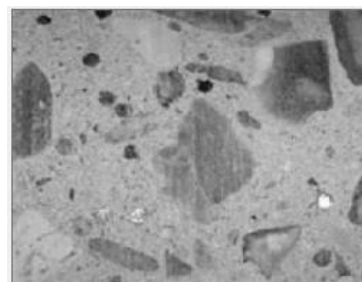
Évaluer la durée nécessaire au traitement par réalcalinisation permettant la régénération de tous les ions hydroxyde perdus lors de la carbonatation d'un parement de béton d'une surface de 1 m² de la Cité Radieuse de Marseille. Commenter le résultat obtenu.

La qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation, l'analyse critique des conditions expérimentales, la rigueur des calculs, ainsi que toute initiative prise pour mener à bien la résolution du problème seront valorisées.

Document 1 : le béton armé

Le béton est obtenu en incorporant du ciment à un mélange de sable et graviers (granulats), le tout additionné d'eau.

Après hydratation du ciment, 1 m³ de béton contient 30 kg d'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂. L'hydroxyde de calcium est une base qui confère à l'eau qui se trouve dans les pores du béton un pH élevé, compris entre 12 et 14. À ces valeurs de pH, les armatures en acier sont dans un état dit "passif", pour lequel une couche d'oxydes très stable se forme à leur surface et les protège.



Section d'un béton
vue après sciage

D'après "*Carbonatation du béton et corrosion des armatures*" - du Laboratoire des matériaux de construction de l'EPF de Lausanne.

Le béton est généralement associé à des armatures en acier, ce qui permet d'augmenter sa résistance, d'où le terme de béton armé. Les armatures en acier proches de la surface et protégées par le béton d'enrobage peuvent être soumises, au cours de la vie de l'ouvrage, à un phénomène d'oxydation (corrosion).

Les produits de corrosion qui se forment occupent un volume plus important, ce qui déclenche une fissuration du béton. Une des techniques permettant de réparer le béton armé dégradé par corrosion des armatures consiste en un traitement électrochimique : la réalcalinisation.

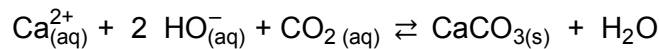
D'après la revue annuelle *Construction Moderne - Ouvrage d'Art* 2011

Document 2 : processus de carbonatation du béton

Tous les bétons sont concernés : le dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'atmosphère diffuse sous forme gazeuse dans le béton du fait de sa porosité et s'y dissout. Cela entraîne une baisse de la concentration en ions hydroxyde de formule HO⁻. Le pH se stabilise alors autour de 8, ce qui conduit à la dissolution des hydrates du ciment, principalement l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂ selon la réaction de dissolution d'équation :

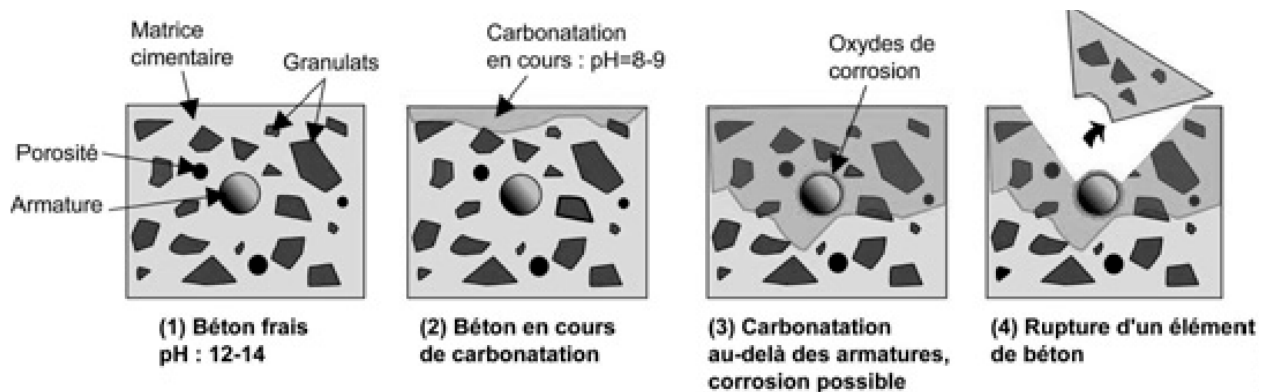


Les ions calcium ainsi libérés précipitent avec le dioxyde de carbone pour donner du carbonate de calcium selon la réaction d'équation suivante :



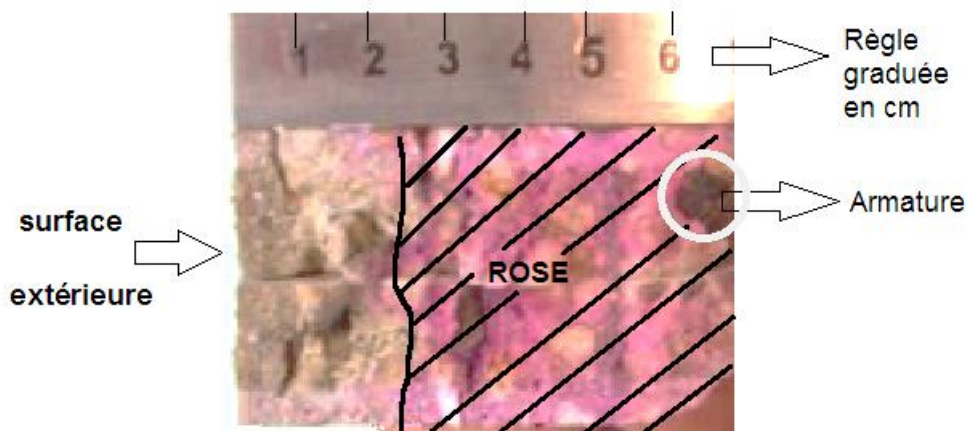
Lorsque l'hydroxyde de calcium a été entièrement consommé le milieu s'acidifie, la couche protégeant les aciers n'est plus stable. Elle se détruit progressivement et la réaction de corrosion peut alors se développer sur les armatures en acier en présence d'une humidité suffisante.

Il est possible de réaliser un diagnostic de l'état de carbonatation du béton en prélevant un échantillon de béton sur lequel un indicateur colorimétrique de pH (phénolphtaléine) est pulvérisé.



D'après "Solutions béton - Ouvrages d'Art - Hors série 2012 "
L'actualité chimique - octobre-novembre 2007

Document 3 : test diagnostic à la phénolphtaléine sur un échantillon de béton de la Cité Radieuse



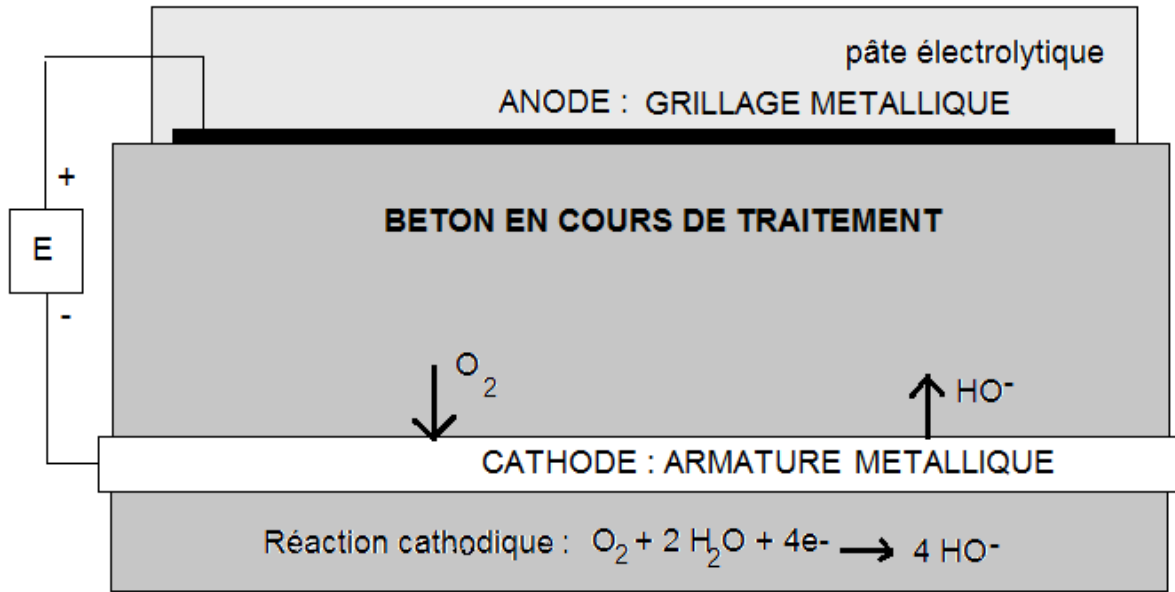
La zone hachurée est de couleur rose.

D'après <http://www.renofors.com/fr/savoir-faire/le-beton>

Document 4 : traitement du béton par réalcalinisation à courant imposé

Il s'agit d'une méthode électrochimique qui consiste à :

- se connecter sur les armatures du béton et à les utiliser comme cathode ;
- poser temporairement, à la surface du béton, un grillage métallique servant d'anode, noyé dans une pâte électrolytique ;
- faire passer un courant entre anode et cathode, en les reliant à un générateur de courant.



Le traitement est une électrolyse au cours de laquelle le dioxygène produit à l'anode est réduit à la cathode. Il y a alors formation d'ions hydroxyde à la cathode. Cela conduit à l'augmentation du pH du béton corrigeant ainsi la diminution de pH consécutive à sa carbonatation.

Le traitement est réalisé avec une densité de courant imposé de valeur comprise entre 0,5 et 1 A.m⁻² et sa durée est de une à deux semaines.

Dans les monuments historiques, les façades apparentes ne doivent pas changer d'aspect. La réalcalinisation est alors un traitement adapté, à condition que le front de carbonatation n'ait pas encore atteint l'armature.

*D'après Bulletin du ciment, numéro 21, septembre 1993.
et Construction Moderne - Ouvrage d'Art - Annuel 2011*

Données :

- Charge électrique transportée par une mole d'électrons : 96500 C
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹
- $I = Q / \Delta t$ avec :

I : intensité du courant en A

Q : charge électrique transportée par le courant en C

Δt : durée du transfert des charges en s

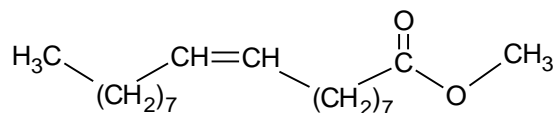
- Masse molaire de l'hydroxyde de calcium : $M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74$ g.mol⁻¹

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Couleur de la	Incolore							Rose						

ANNEXE DE L'EXERCICE I (A RENDRE AVEC LA COPIE)

Formules : Méthanol $\text{CH}_3 - \text{OH}$

Oléate de méthyle



Mécanisme réactionnel d'une transestérification en milieu basique

