

SESSION 2026



CAPLP
CONCOURS EXTERNE et CAFEP
(BAC + 3)

SECTION : MATHÉMATIQUES – PHYSIQUE-CHIMIE

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ 2
ÉPREUVE DISCIPLINAIRE DE PHYSIQUE-CHIMIE

L'épreuve vise à évaluer les connaissances et les compétences de physique-chimie, dont la capacité à mettre en œuvre une démarche scientifique. La physique et la chimie y sont abordées de façon équilibrée.

Durée : 3 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPLP de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
LFE	1315J	102	4062

► **Concours externe du CAFEP/CAPLP de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
LFF	1315J	102	4062

Reconversion d'un bâtiment industriel

Une société spécialisée dans la fabrication de planches et d'accessoires de surf mène un projet de reconversion d'un site industriel en bord de mer (Figure 1). Il faudra inspecter et réhabiliter l'ancien bâtiment mais également y ajouter une extension afin que le complexe final puisse accueillir une zone de bureaux située à son extrémité.

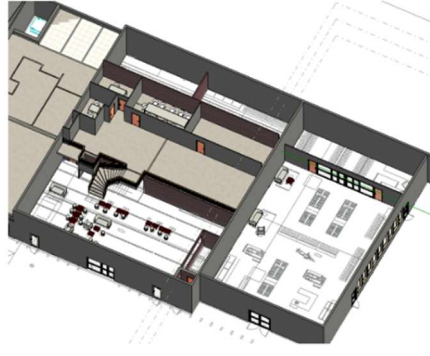


Figure 1 : Vue 3D de la zone de bureaux.

Attention : le sujet comporte III parties qui ne doivent pas être toutes traitées.

- **Partie A commune à tous les candidats.** Cette partie s'intéresse à la création d'une extension en bois.
- **Partie B à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure mathématiques à l'inscription.** Vous devez débiter la partie B de l'épreuve en haut de la page suivante en précisant son titre. Cette partie s'intéresse au confort thermique du bâtiment.
- **Partie C à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure physique-chimie à l'inscription.** Vous devez débiter la partie C de l'épreuve en haut de la page suivante en précisant son titre. Cette partie s'intéresse à quelques aspects sécuritaires du bâtiment.

Constantes et valeurs numériques utiles pour les trois parties

- Accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Constante de Faraday : $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$
- Masses molaires :

Composé	Hydrogène	Oxygène	Carbone	Calcium	Fer	Chlore
Masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M_{\text{H}} = 1,0$	$M_{\text{O}} = 16,0$	$M_{\text{C}} = 12,0$	$M_{\text{Ca}} = 40,1$	$M_{\text{Fe}} = 55,9$	$M_{\text{Cl}} = 35,45$

PARTIE A - Création d'une extension en bois - (à traiter par tous les candidats)

1. Utilisation d'un treuil pour lever les pièces de bois lourdes

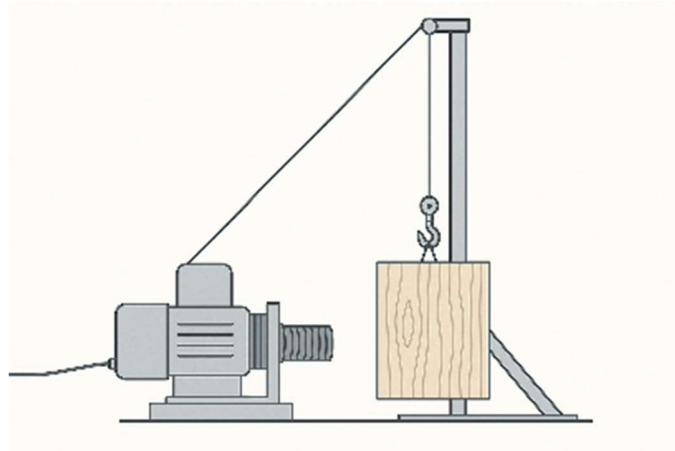


Figure 2 : Schéma d'un treuil motorisé soulevant un poids.

La mise en place de l'extension en ossature bois nécessite le levage de modules de mur préfabriqués en atelier. Chaque module a une masse de valeur $m = 190 \text{ kg}$. Un treuil fixé au sol est utilisé pour lever les modules, il est relié à la charge à soulever par l'intermédiaire d'un câble passé dans une poulie fixée en hauteur (Figure 2). Lorsque le treuil est en fonctionnement la charge est hissée à vitesse constante sur une hauteur de 5,0 mètres.

Q.1 Déterminer les caractéristiques de la force de traction \vec{T} que le câble doit exercer sur un module lors de son levage. Justifier la réponse à l'aide du principe fondamental de la dynamique.

Q.2 Calculer le travail du poids lors du levage d'un module.

Q.3 Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au module et en **déduire** l'énergie que le treuil doit fournir au module de bois lors de son levage.

Le treuil utilisé consomme une puissance électrique nominale de 750 W. Le rendement du treuil associé à la poulie est évalué à 80 %.

Q.4 Calculer la durée nécessaire pour lever le module.

Pour des raisons de sécurité évidentes, il est indispensable de prévoir une fixation fiable pour la poulie.

Q.5 Réaliser un bilan des forces auxquelles la poulie est soumise et en **déduire** la valeur de la force exercée par la poulie sur son support. **Commenter** le résultat obtenu.

2. Ancrage de l'extension au bâtiment existant

L'ancrage de l'extension en bois au bâtiment existant est assuré par des fixations réalisées à l'aide de « scellements chimiques » dans les murs en béton existants. Le scellement chimique utilisé se présente sous la forme d'une cartouche contenant deux composants qui sont mélangés lors de l'extrusion du produit (l'extrusion est un procédé de fabrication qui consiste à forcer un matériau (souvent chauffé ou ramolli) à traverser une ouverture appelée filière pour lui donner

une forme continue). Un des composants est un initiateur radicalaire et le second est un polyester insaturé.

2.1 Préparation de l'ester insaturé

Le composant principal de la résine est un ester insaturé dont la formule est la suivante :

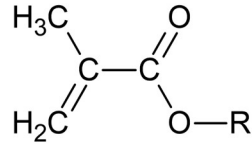


Figure 3 : Formule chimique du composant principal de la résine.

Le groupement R est un groupement qui peut varier en fonction du produit de scellement.

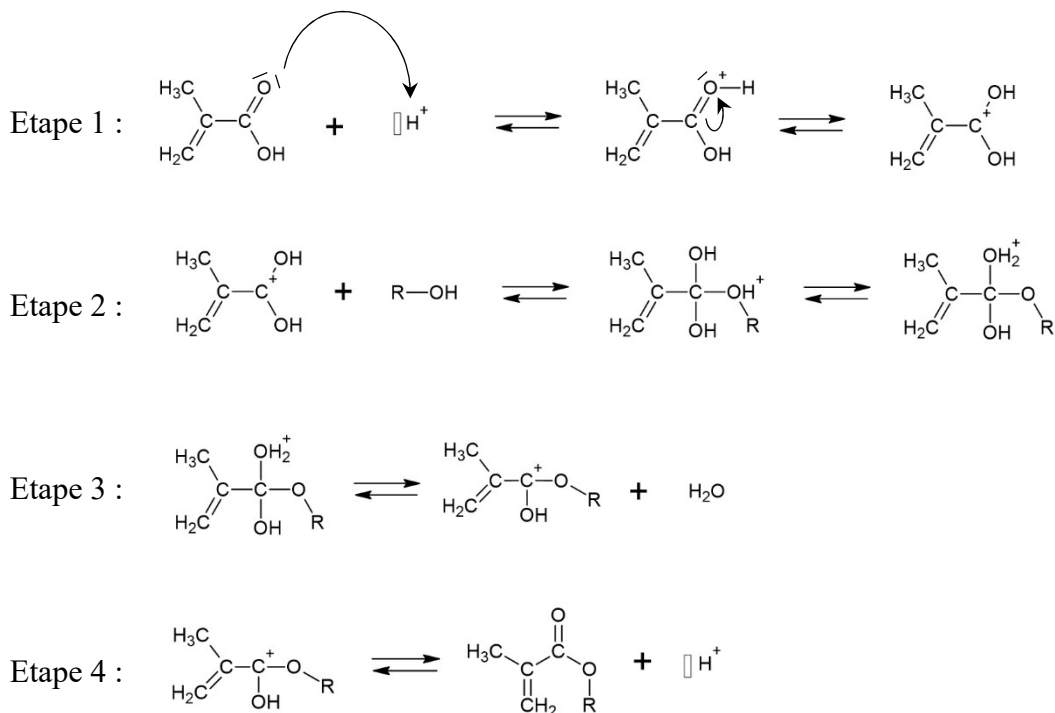
Cet ester insaturé peut être obtenu par réaction d'un acide sur un alcool en milieu acide.

Q.6 Indiquer la formule de Lewis de l'acide correspondant et **le nommer**.

Q.7 Écrire l'équation bilan de la réaction chimique associée à la transformation.

Q.8 Pour chaque molécule intervenant dans l'équation de réaction **entourer** et **nommer** le groupe fonctionnel.

Le mécanisme réactionnel de cette réaction comporte les étapes suivantes :



Q.9 Justifier les flèches courbes apparaissant dans l'étape 1.

Q.10 Ajouter les flèches courbes manquantes sur le **document réponse 1 page 20** permettant d'expliquer les étapes 2, 3 et 4.

Q.11 Indiquer ce qu'est un intermédiaire réactionnel et en identifier un dans le mécanisme ci-dessus.

Q.12 La réaction se fait en milieu acide. **Indiquer** en le justifiant le rôle de l'acide.

Q.13 Préciser pour chaque étape s'il s'agit d'une réaction d'addition, d'élimination ou de substitution. **Justifier** votre réponse.

Cette réaction est une réaction lente et équilibrée : son rendement dépend de la classe d'alcool utilisé mais il est au mieux égal à 67 % pour un mélange équimolaire avec un alcool primaire.

Q.14 Indiquer deux moyens permettant d'améliorer le rendement de cette synthèse.

2.2 Polymérisation de la résine

Le second composant de la résine de scellement est un amorceur radicalaire : le peroxyde de benzoyle. En sa présence, l'ester insaturé précédent démarre une réaction de polymérisation. Une représentation partielle du polymère obtenu est donnée sur la Figure 4 :

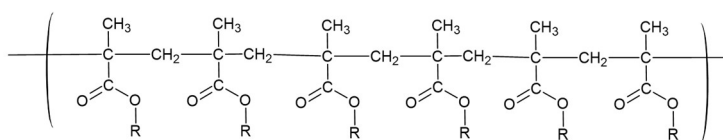


Figure 4 : Représentation partielle du polymère de la résine.

Q.15 Expliquer ce qu'est un polymère et **donner** la formule topologique du motif de ce polymère.

La qualité de la fixation est étroitement liée aux conditions de polymérisation et donc d'utilisation du scellement chimique. L'extrait de la notice qui constitue la Figure 5 précise des informations importantes pour l'utilisateur.

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Proportions du Mélange	Composant A : composant B = 10 : 1 en volume		
Épaisseur de la Couche	3 mm max.		
Température du Produit	entre +5°C et +35°C		
Température de l'Air Ambiant	entre -5°C et +40°C		
Point de Rosée	La température du support au moment de l'application doit être au moins 3 degrés supérieure à la température du point de rosée.		
Température du Support	entre -5°C et +40°C		
Vitesse de Durcissement	Température	Délai de manipulation *	Délai de durcissement
	+35 °C – +39 °C	2 mn	20 mn
	+30 °C – +34 °C	4 mn	25 mn
	+20 °C – +29 °C	6 mn	45 mn
	+15 °C – +19 °C	15 mn	1 h 20 mn
	+10 °C – +14 °C	20 mn	1 h 40 mn
	+5 °C – +9 °C	25 mn	2 h
	0 °C – +4 °C **	45 mn	3 h
	-5 °C – -1 °C **	1 h 30 mn	6 h

* durée pendant laquelle il est possible d'ajuster la position de la tige filetée une fois insérée dans le tamis.

** température minimum de la cartouche : +5°C.

Figure 5 : Notice d'utilisation de la résine de scellement.

Q.16 On constate que la température influe directement sur la vitesse de polymérisation. **Expliquer** ce phénomène en se plaçant à l'échelle microscopique.

Q.17 **Préciser** quel autre facteur cinétique est évoqué dans cette notice.

La cinétique de cette réaction est d'ordre 1 par rapport au monomère, c'est-à-dire que la vitesse de réaction est proportionnelle à la concentration en monomère, notée $[M]$:

$$v = k[M] \quad \text{où } k \text{ est un nombre réel positif}$$

Q.18 **Rappeler** l'expression de la vitesse volumique v en fonction de $[M]$.

Q.19 **Montrer** que la concentration en monomère est solution de l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d[M]}{dt} = -k[M]$$

Q.20 **Résoudre** cette équation différentielle et donner l'allure graphique de la solution proposée.

Q.21 **Définir** le temps de demi réaction et le représenter sur le graphique précédent.

Le délai de durcissement indiqué sur la notice correspond au moment où la résine est suffisamment rigide pour que le scellement puisse être utilisé. Cependant la réticulation n'est pourtant pas terminée et la résistance de la résine continue à augmenter pendant plusieurs jours. On considère généralement que 90 % du monomère a réagi au bout du temps de durcissement.

Q.22 **Évaluer** la constante de vitesse k lorsque la température vaut 17 °C et en déduire le temps de demi-réaction à cette température.

Q.23 **Indiquer**, en le justifiant, s'il est encore possible de manipuler la tige filetée pour ajuster la fixation lorsque la moitié du monomère a polymérisé ?

3. Raccordement au réseau d'évacuation existant

L'évacuation des eaux usées de l'extension bois doit être reliée au réseau existant de l'ancien bâtiment. Avant cela, le réseau de l'ancien bâtiment doit être inspecté pour s'assurer de son bon état et planifier éventuellement les travaux nécessaires à sa remise en état. Le moyen le plus adapté est une inspection vidéo : une caméra HD est installée sur un robot motorisé qui va parcourir tout le réseau à contrôler. On s'intéressera à la formation d'images de bonne qualité par la caméra. L'objectif de la caméra est modélisé par une lentille mince convergente de 4,0 mm de distance focale. Le robot inspecte une canalisation de 200 mm de diamètre et la caméra se trouve à 50 mm de la paroi qu'elle contrôle.

Quelques rappels sur les lentilles minces

On rappelle que pour une lentille mince placée en O et de focale $f' = \overline{OF'}$, qui donne d'un objet AB une image $A'B'$, on a :

Relation de conjugaison pour une lentille mince avec origine au centre optique :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

Relation de grandissement pour une lentille mince :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

3.1 Formation de l'image sur le capteur CCD

Le capteur utilisé est un capteur CCD de 4,8 mm de large et 3,6 mm de haut avec une définition de 640×480 pixels. La caméra observe une fissure de 3,0 mm sur la paroi située à 5,0 cm de son objectif.

Q.24 Compléter le schéma du **Document Réponse 1** page 20 en représentant les foyers F et F' de la lentille ainsi qu'un objet AB qui modélise la fissure.

Q.25 Ajouter l'image $A'B'$ de cet objet à travers l'objectif sur votre schéma. **Préciser** la méthode de construction graphique utilisée.

Q.26 À l'aide des formules de conjugaison, **exprimer** puis **calculer** la position de l'image.

Q.27 Calculer le grandissement puis **interpréter** le résultat obtenu.

Q.28 En **déduire** la dimension de l'image obtenue.

3.2 Résolution de l'image et dimension minimale des défauts détectables

Le capteur CCD de la caméra est un capteur 1/3 de pouce de définition 640×480 . Cela signifie qu'il mesure 4,8 mm de large pour 640 pixels et 3,6 mm de haut pour 480 pixels (Figure 6).

Pour qu'un défaut soit visible il faut que son image soit au minimum deux fois plus grande qu'un pixel, et pour que son image soit de qualité acceptable il est nécessaire qu'elle soit au moins 10 fois plus grande qu'un pixel.

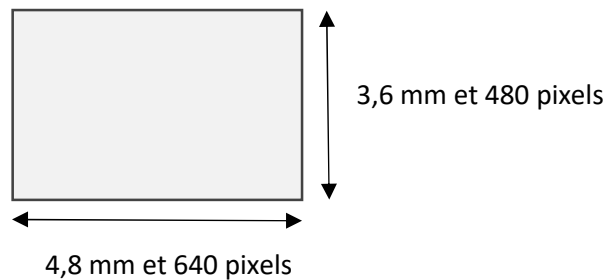


Figure 6 : Schéma d'un capteur CCD.

Q.29 Déterminer si l'image de la fissure de 3,0 mm étudiée est de bonne qualité ?

Q.30 Calculer la dimension minimale que doit avoir un défaut pour pouvoir être détecté par la caméra dans ces conditions ?

PARTIE B - Confort thermique du bâtiment - (à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure mathématiques à l'inscription)

1. Limitation des surchauffes estivales

On s'intéressera ici au confort thermique de la zone de bureau durant la période estivale.

Un usage raisonné de la climatisation est prévu, fondé sur les préconisations de l'ADEME : lorsque la température extérieure dépasse les 30 °C le système de climatisation est mis en fonction de façon à maintenir une température de 26 °C dans la zone de bureau. La zone de bureau sera modélisée comme un parallélépipède en contact avec l'ancien bâtiment sur sa largeur.

Données :

- Longueur de la zone de bureaux $L = 16,0$ m
- Largeur de la zone de bureau $l = 11,0$ m
- Hauteur des locaux : $H = 2,60$ m

Données :

- Température extérieure $T_{\text{ext}} = 38,0$ °C
- Résistance thermique surfacique de la toiture $r_{\text{toit}} = 7,1$ m²·K·W⁻¹.
- Constitution d'un mur extérieur :

Matériau	Épaisseur	Conductivité thermique
Plaque de plâtre	13 mm	$\lambda_{\text{plâtre}} = 0,32$ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Bloc de béton creux	20 cm	$\lambda_{\text{bloc}} = 0,90$ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Isolant	12 cm	$\lambda_{\text{iso}} = 0,040$ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Bardage en bois	2,5 cm	$\lambda_{\text{bois}} = 0,15$ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹

Quelques informations concernant les résistances thermiques

La résistance thermique R d'une paroi homogène est reliée à son épaisseur e , à sa surface S , et à sa conductivité thermique λ par la relation suivante :

$$R = \frac{e}{\lambda S}$$

Lorsqu'une paroi est composée de plusieurs matériaux homogènes juxtaposés sa résistance thermique globale est égale à la somme des résistances thermiques des matériaux qui la composent.

1.1 Dimensionnement du système de climatisation

Q.31 Nommer et définir les 3 modes de transferts thermiques.

Q.32 Indiquer le mode de transfert thermique généralement prépondérant à travers les parois d'un bâtiment.

Q.33 Donner l'expression du flux thermique traversant un mur de résistance thermique R soumis à un écart de température ΔT de part et d'autre de ses parois.

Q.34 Indiquer la valeur du flux thermique traversant un mur intérieur. Justifier votre réponse.

Q.35 Exprimer puis **calculer** la résistance thermique totale des murs extérieurs. Afin de simplifier l'étude on ne tiendra pas compte ici des ouvertures.

Les locaux situés en dessous de la zone de bureau sont également climatisés à 26 °C, ainsi que ceux situés sur la largeur qui ne donne pas sur l'extérieur.

Q.36 Évaluer l'apport thermique reçu par le local (en prenant en compte les murs et le toit) en été. On négligera les transferts thermiques avec le sol.

Un être humain au repos dégage un flux thermique de l'ordre de 100 W environ et 27 personnes sont présentes dans la zone de bureau. La température est maintenue constante à 26 °C grâce au système de climatisation.

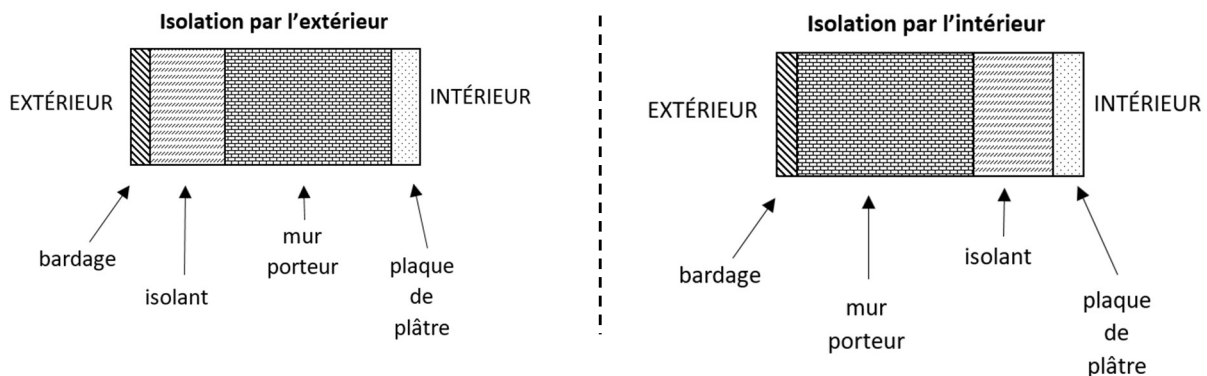
Q.37 Réaliser un bilan énergétique du local et **en déduire** la puissance de climatisation nécessaire.

En réalité le bureau d'étude thermique prévoit une climatisation nettement plus puissante, d'une puissance de 10,2 kW.

Q.38 Justifier ce choix.

1.2 Isolation par l'intérieur ou par l'extérieur

Il coexiste actuellement deux grandes méthodes d'isolation des murs extérieurs, que l'on cherchera ici à comparer : l'isolation par l'intérieur et l'isolation par l'extérieur. Le principe de ces deux méthodes est schématisé ci-dessous : si la constitution du mur ne change pas, on peut constater que la position de l'isolant n'est pas la même.



Q.39 En exploitant l'expression de la résistance thermique d'une paroi, **indiquer** si l'emplacement de l'isolant influe sur l'efficacité de l'isolation.

Q.40 Indiquer le ou les phénomènes physiques qui pourraient expliquer la différence de confort entre ces deux méthodes d'isolation.

Pour comparer les deux méthodes d'isolations on mènera les différents calculs sur une surface de référence de 1,0 m² de mur. D'autre part la masse du mur porteur étant beaucoup plus importante que celle des autres matériaux composant la paroi, on considèrera que la température de la paroi complète est sensiblement égale à celle du mur porteur seul. Après une nuit fraîche

le mur porteur est à la température $\theta_{\text{matin}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ en début de journée puis il se réchauffe pour atteindre la température $\theta_{\text{soir}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

La valeur de la masse volumique des murs porteurs est $\rho_{\text{mur}} = 1,05 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et la capacité thermique massique du béton vaut $c_{\text{béton}} = 880 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Q.41 Calculer la quantité de chaleur emmagasinée par $1,0 \text{ m}^2$ de mur porteur au cours de la journée.

La nuit il est judicieux d'aérer les locaux de façon à favoriser leur rafraîchissement. Dans ces conditions la température intérieure est égale à la température extérieure et se stabilise à $\theta_{\text{nuit}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. On cherchera à déterminer la durée nécessaire pour que le mur retrouve sa température matinale $\theta_{\text{matin}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dans les conditions décrites ci-dessus le mur est essentiellement soumis à des échanges convectifs avec l'air qui l'entoure, alors considéré comme un thermostat. Le flux thermique cédé par le mur est donc régi par la loi de refroidissement de Newton :

$$\phi = hS(\theta_{\text{nuit}} - \theta)$$

où S est la surface d'échange entre le mur et l'air, θ est la température du mur et h est un coefficient d'échange convectif.

Pour le mur étudié la valeur de ce coefficient est $h = 9,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Q.42 En appliquant le premier principe de la thermodynamique au mur, **montrer** que la température du mur est solution de l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{hS}{mc}\theta + \frac{hS}{mc}\theta_{\text{nuit}}$$

Q.43 Résoudre cette équation différentielle et calculer la durée nécessaire pour que le mur retrouve la température matinale $\theta_{\text{matin}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. La comparer à la durée d'une nuit d'été, soit environ 6 h, avant que la température ne remonte.

Q.44 En **déduire** l'un des avantages de l'isolation par l'extérieur en ce qui concerne le confort thermique d'été.

2. Création d'un plancher chauffant.



Figure 7 : Test à la bombe au carbure : ce test permet de déterminer le taux d'humidité précis dans les matériaux pour le bâtiment. Source : <https://www.deltacontrole.be/>

2.1 Contrôle du séchage de la chape en béton

Il est nécessaire de contrôler l'humidité résiduelle de la chape avant de pouvoir poser le revêtement de sol. Le seul test homologué par les normes bâtiment est le test à la « bombe de carbure » (Figure 7). Le principe de fonctionnement de la bombe de carbure est que l'eau contenue dans un échantillon de béton réagit avec du carbure de calcium pour former un gaz. Cette réaction ayant lieu dans un récipient de volume constant, plus le béton contient d'eau, plus la pression augmente.

Le carbure de calcium a pour formule CaC_2 . Il réagit avec l'eau pour donner de l'hydroxyde de calcium et de l'acétylène

Q.45 Donner le nom courant et la formule statistique de l'hydroxyde de calcium.

Q.46 Expliquer pourquoi l'hydroxyde de calcium peut être qualifié de solide ionique.

Q.47 Écrire l'équation modélisant la réaction entre le carbure de calcium et l'eau.

Q.48 Indiquer quel doit être le réactif limitant afin que la mesure de la pression dans la bombe de carbure soit effectivement reliée au taux d'humidité de la chape en béton.

On supposera par la suite cette condition satisfaite.

Un ouvrier réalise un test de séchage de chape. Il introduit précisément 20,0 g de béton finement broyé dans le récipient métallique, ajoute les 4 billes métalliques puis une ampoule de carbure de calcium anhydre. Il ferme soigneusement le récipient et l'agite : les billes métalliques brisent l'ampoule de carbure de calcium et la pression augmente. Elle se stabilise lorsque le manomètre indique une pression $P_f = 1,2$ bar. Le taux d'humidité de la chape doit être inférieur à 4,5 % pour pouvoir poser le revêtement de sol.

Q.49 En s'appuyant sur une justification quantitative, **préciser** si la chape est suffisamment sèche pour démarrer la pose du revêtement de sol.

Données :

- Volume intérieur du récipient, déduction faite des solides présents : $V_{\text{gaz}} = 665$ mL
- Température au moment du test $\theta = 15$ °C

2.2 Qualité de l'eau du plancher chauffant

Afin de garantir la pérennité d'un plancher chauffant hydraulique la qualité de l'eau utilisée pour le remplir est primordiale.

2.2.1 Détermination de la dureté de l'eau

Pour déterminer la dureté de l'eau un technicien réalise le titrage de 20,0 mL d'eau par de l'EDTA de concentration en quantité de matière $c_{\text{EDTA}} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Le principe de ce titrage est décrit en annexe page 19.

Q.50 Légender le schéma du dispositif de titrage du **Document Réponse 2** en page 21.

Q.51 Définir la notion d'équivalence d'un titrage et rappeler les 3 caractéristiques que doit avoir la réaction support d'un titrage.

Q.52 Indiquer quelle est la couleur du milieu réactionnel avant l'équivalence et après l'équivalence.

Q.53 Le volume équivalent est $V_{eq} = 18,0$ mL. **Calculer** la dureté de l'eau. **Donner** une qualification pour cette eau ?

2.2.2 Détermination de la concentration en ions hydroxydes

Q.54 Rappeler les définitions d'un acide et d'une base de Brønsted.

Q.55 Indiquer quels sont les couples acides/bases auxquels appartient l'eau.

Q.56 Le pH de l'eau utilisée est égal à 6,2. **Donner** l'expression du pH et en **déduire** la concentration en ions oxonium.

La valeur du produit ionique de l'eau à une température de 25 °C est $K_e = 10^{-14}$.

Q.57 Écrire la réaction d'autoprotolyse de l'eau puis exprimer K_e .

Q.58 En **déduire** la valeur de la concentration en ions hydroxyde.

2.2.3 Risque de formation de dépôts d'hydroxyde de calcium

Les ions calcium présents dans l'eau sont susceptibles de réagir avec les ions hydroxyde pour former un précipité d'hydroxyde de calcium.

Q.59 Écrire l'équation de la réaction correspondante.

Q.60 Exprimer puis **calculer** le quotient de réaction initial en utilisant les concentrations déterminées précédemment. On supposera que l'eau du circuit de chauffage ne contient pas d'ions magnésium, par conséquent sa dureté est due uniquement aux ions calcium.

La valeur de la constante d'équilibre associée à cette réaction est $K = 2,0 \times 10^5$.

Q.61 Indiquer s'il existe un risque de précipitation d'hydroxyde de calcium.

Le pH de l'eau de l'installation peut être réglé par ajout de solutions tampon.

Q.62 Expliquer ce qu'est une solution tampon et indiquer quel est son rôle dans l'installation.

Q.63 Calculer le $\text{pH}_{\text{limite}}$ de précipitation de l'hydroxyde de calcium. Indiquer si le pH de l'eau doit être maintenu supérieur ou inférieur à $\text{pH}_{\text{limite}}$ pour éviter la précipitation de l'hydroxyde de calcium.

PARTIE C – Quelques aspects sécuritaires du bâtiment - (à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure physique-chimie à l'inscription)

1. Conception de l'installation électrique

Les ateliers de fabrication accueilleront plusieurs machines-outils de puissance conséquente. Nous nous pencherons dans cette partie sur des problématiques liées à la conception de l'installation électrique.

1.1 Protection des personnes

1.1.1 Rôle de la mise à la terre

Par souci de simplification nous considérerons dans cette partie une installation en monophasé. L'électricité, après un transport longue distance sous haute tension, est abaissée localement à l'aide d'un transformateur puis mise à disposition par le fournisseur d'accès entre un fil de phase et un fil de neutre. En monophasé une tension efficace d'environ 230 V est présente entre ces deux fils. Pour diverses raisons le fil de neutre est relié à la terre au niveau du dernier transformateur, proche du point de livraison. La liaison à la terre au niveau du transformateur présente toujours une légère résistance, que nous prendrons ici égale à $R_{\text{transformateur}} = 5,0 \Omega$. Le potentiel de la terre est fixé par convention à zéro volt.

Un utilisateur touche accidentellement un appareil métallique présentant un défaut d'isolement et dont la carcasse métallique est en contact avec la phase.

Q.64 La situation est représentée sur le **Document Réponse 3** en page 22. **Représenter** sur le schéma le courant susceptible de circuler et **expliquer** pourquoi l'utilisateur risque d'être électrisé.

Q.65 **Calculer** l'intensité efficace qui traverse le corps d'un utilisateur dont la résistance électrique vaut 2,5 k Ω . (Cette valeur correspond à une situation défavorable où l'utilisateur est très mal isolé du sol.)

La Figure 8 représente les conséquences potentielles d'une électrisation en fonction de la durée d'exposition.

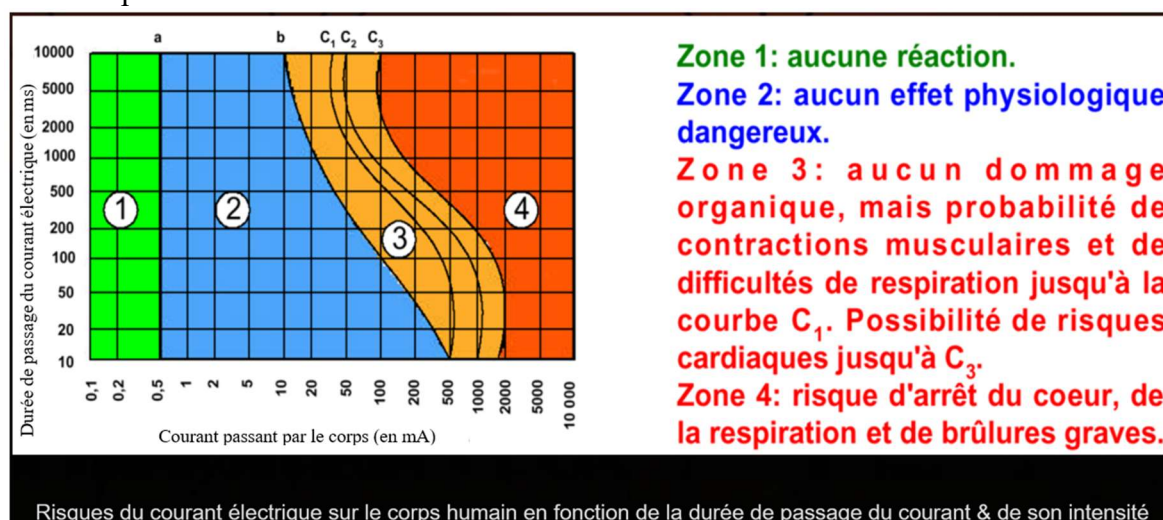


Figure 8 : Risques du courant électrique dans le corps humain.

<http://t7lspc.free.fr/1STI2D/SE/dangerspersonnes.html>

Q.66 Déterminer le délai dont on dispose pour couper l'alimentation électrique si l'on veut éviter que l'utilisateur ne soit soumis à des effets physiologiques dangereux.

Afin de se protéger de ce type de risque il est nécessaire de prévoir un dispositif de coupure automatique de l'alimentation en électricité. Pour cela toutes les parties métalliques des appareils sont reliées à la terre locale du bâtiment. La qualité de la prise de terre d'un bâtiment dépend de la nature du sol, elle est couramment de l'ordre de quelques dizaines d'ohms. Nous retiendrons ici une valeur de $R_{\text{terre}} = 20 \Omega$ pour réaliser les calculs.

Q.67 Calculer l'intensité du courant circulant dans le circuit d'alimentation d'un appareil défectueux dont un fil de phase touche une carcasse métallique reliée à la terre. Préciser si ce courant est suffisant pour déclencher l'ouverture d'un disjoncteur de 16 A.

La mise à la terre a également pour effet d'abaisser la tension qui existe entre la carcasse métallique et la terre locale en cas de défaut.

Q.68 Déterminer la valeur de cette tension et préciser dans quel sens doit évoluer la résistance de la prise de terre pour abaisser cette valeur. **Calculer** ensuite la valeur de la résistance de terre permettant de ne pas obtenir une tension supérieure à 25 V en cas de défaut.

1.1.2 Dispositif de coupure différentiel

À défaut de pouvoir garantir une tension non dangereuse en cas de défaillance d'un appareil, il est impératif de placer un dispositif différentiel (interrupteur ou bien disjoncteur) capable de couper très rapidement et de façon automatique l'alimentation électrique en cas de fuite de courant. Le principe d'un tel dispositif est représenté Figure 8. Le cœur des dispositifs différentiels est un tore en matériau ferromagnétique sur lequel sont entourées trois bobines :

- une bobine réalisée à l'aide du fil de phase ,
- une bobine réalisée à l'aide du fil de neutre,
- une bobine « détectrice » qui pilote le dispositif de coupure du courant. (circuit de déclenchement).

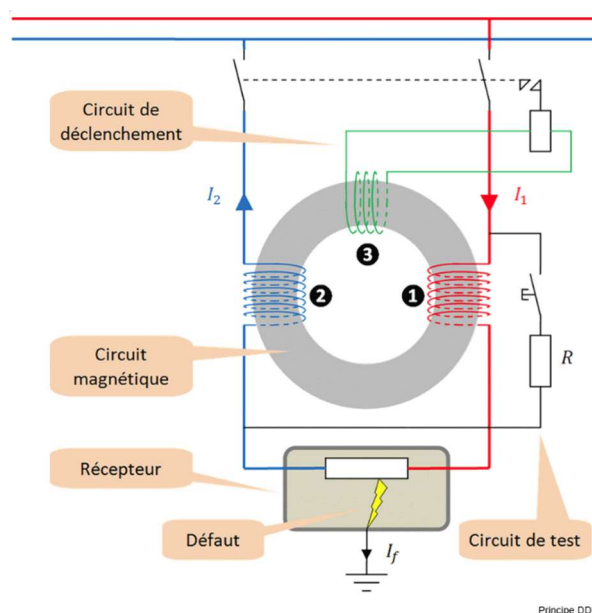


Figure 9 : Principe du disjoncteur différentiel.

Lorsque l'intensité I_1 circulant dans le fil de phase est différente de l'intensité I_2 circulant dans le fil de neutre, un courant est généré dans le circuit de déclenchement. Ce courant actionne un relais qui ouvre le circuit principal, coupant ainsi l'alimentation du récepteur présentant un défaut.

Pour une protection optimale, le dispositif de coupure différentiel doit être couplé à une prise de terre de qualité.

Q.69 Déterminer la conséquence de l'absence de prise de terre sur le fonctionnement du dispositif différentiel. **Justifier** la réponse en envisageant le cas d'un contact entre un fil de phase et la carcasse métallique d'un appareil, puis le cas d'un contact direct entre une personne et le fil de phase.

Les usages actuels recommandent un dispositif différentiel d'une sensibilité de 30 mA sur les circuits terminaux de distribution d'électricité. Les dimensions typiques des tores de ferrite utilisés sont 40 mm de diamètre avec une section circulaire de 8 mm de diamètre (Figure 10).

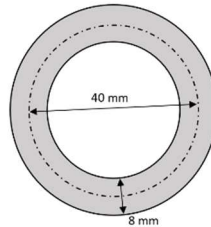


Figure 10 : Schéma d'un tore de ferrite d'un disjoncteur différentiel.

Le réseau électrique français distribue un courant alternatif de fréquence $f = 50$ Hz. C'est une fréquence suffisamment faible pour travailler en régime quasi-statique, concrètement le champ magnétique pourra être calculé à chaque instant en utilisant les lois de la magnétostatique.

Données : perméabilité relative de la ferrite : $\mu_r = 2000$

Q.70 Exprimer la perméabilité magnétique μ de la ferrite en fonction de sa perméabilité relative et de la perméabilité magnétique du vide. **Calculer** sa valeur.

Q.71 Rappeler le théorème d'Ampère ainsi que son domaine de validité. **Préciser**, en s'appuyant sur un schéma si nécessaire, la signification des différentes grandeurs qui interviennent ainsi que les unités qui y sont associées.

Q.72 Montrer que le champ magnétique créé par une spire de courant enroulée autour du tore est nul à l'extérieur du tore.

Q.73 En utilisant le théorème d'Ampère, **montrer** que pour un tore de rayon R la valeur du champ magnétique généré par N spires parcourues par un courant I peut se mettre sous la forme suivante :

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2\pi \cdot R}$$

Les fils de phase et de neutre ne sont généralement entourés que d'un seul tour autour du tore.

Q.74 Calculer le champ maximal $B_{1\max}$ créé dans le tore du disjoncteur par un courant d'intensité efficace $I_{1\text{eff}} = 2,430$ A circulant dans le fil de phase. Représenter ce champ sur un schéma en faisant clairement apparaître le sens d'enroulement du fil de phase et le sens du courant à l'instant t . On prendra en compte que

On suppose un défaut sur l'installation générant une fuite de courant de 30 mA vers la terre. L'intensité circulant dans le fil de neutre au niveau du dispositif différentiel ne vaut donc plus que $I_{2\text{eff}} = 2,400$ A

Q.75 Calculer le champ magnétique maximal généré dans le tore par le fil de neutre. En déduire que le champ magnétique maximal total a une valeur de 0,85 mT.

La bobine de détection doit délivrer une tension d'au moins 7,0 mV pour que le dispositif actionne le relais et coupe ainsi l'alimentation électrique.

Q.76 Expliquer ce qu'est le phénomène d'induction et rappeler la loi de Lenz-Faraday.

Q.77 Déterminer le nombre de spires que doit comporter la bobine de détection pour que le dispositif différentiel se déclenche avec un courant de fuite de 30 mA.

1.2 Choix des sections de conducteur

L'atelier de fabrication comportera plusieurs machines-outils dont une presse électrohydraulique de puissance $P_{\text{elec}} = 5,5$ kW alimentée par un réseau triphasé 230-400 V. Nous chercherons dans cette partie à déterminer les caractéristiques du câble d'alimentation nécessaire. On note ($L = 40$ m) la longueur du câble en cuivre entre le tableau électrique et la presse.

Les caractéristiques du moteur de la presse sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Puissance	$P_{\text{elec}} = 5,5$ kW
Facteur de puissance	$\cos\varphi = 0,88$
Vitesse de rotation nominale	1440 tours/min
Tension d'alimentation	$U = 400$ V
Moment cinétique	$J = 0,80$ kg·m ²

Q.78 On envisage d'utiliser des câbles de 1,5 mm² de section. **Calculer** la résistance d'un câble.

Donnée : résistivité du cuivre à 20 °C : $\rho_{\text{Cu}} = 17 \times 10^{-9}$ Ω·m

La puissance délivrée par une alimentation triphasée peut se calculer à l'aide de la formule suivante : $P = UI\sqrt{3} \cos\varphi$

Q.79 Expliquer ce qu'est le facteur de puissance $\cos\varphi$.

Q.80 Calculer l'intensité circulant dans le câble lorsque la presse fonctionne et en **déduire** la puissance dissipée par effet Joule dans le câble d'alimentation. **Expliquer** si le câble risque-t-il de surchauffer lors d'une utilisation prolongée de la machine ?

Le cahier des charges limite la chute de tension dans le câble à 3 % en fonctionnement nominal.

Q.81 Expliquer le phénomène de chute de tension et **indiquer** si la section du câble est adaptée pour alimenter la presse.

Lors de son démarrage, le moteur consomme un courant qui peut être beaucoup plus important, jusqu'à 9 fois sa valeur nominale. Plusieurs phénomènes expliquent ce pic de courant transitoire au démarrage ; l'un d'entre eux est l'augmentation de l'énergie cinétique de l'arbre moteur.

Q.82 Exprimer puis **calculer** l'énergie cinétique de rotation du moteur lorsqu'il tourne à sa vitesse nominale.

Q.83 Lors du démarrage, le moteur a besoin de 3 secondes pour atteindre sa vitesse de rotation nominale. **Calculer** la puissance nécessaire à cette mise en rotation.

Q.84 Le constructeur indique un courant de démarrage de 54 A. **Indiquer** si la mise en rotation du moteur est la cause principale de cet appel de courant.

2. Analyse du béton armé du bâtiment existant

Une analyse de la qualité du béton des bâtiments existants est nécessaire pour savoir s'il est possible de le conserver lors de la réhabilitation du site ou bien s'il est nécessaire de remplacer certaines parties des ouvrages.

Nous nous intéresserons donc dans cette partie aux bétons armés et à leur vieillissement, en particulier en bord de mer.

2.1 Les bétons armés

Les bétons armés sont des matériaux composites constitués d'une armature métallique insérée dans un ouvrage en béton. L'armature métallique apporte une excellente résistance à la traction alors que le béton possède une très bonne résistance à la compression : il en résulte un ensemble particulièrement rigide et résistant. Le béton quant à lui est composé de granulats solidarités par un liant hydraulique, c'est-à-dire qui durcit en présence d'eau. Deux familles de liants coexistent sur le marché : les chaux et les ciments.

2.1.1 Réaction de prise de la chaux

La prise de la chaux est une réaction lente qui fait intervenir le dioxyde de carbone de l'air. Le dioxyde de carbone est un acide au sens de Brønsted, il appartient au couple $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-$.

Q.85 Écrire les formules de Lewis du dioxyde de carbone et de l'eau. **Indiquer** quel type de liaison intermoléculaire peut se former entre ces deux molécules pour expliquer la formation d'acide carbonique H_2CO_3 .

Q.86 Le composant principal de la chaux est de l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_{2(s)}$. **Justifier** ses propriétés acido-basiques en solution aqueuse.

La réaction de prise de la chaux peut être modélisée par les étapes suivantes :

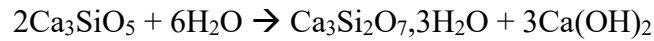
- Dissolution du dioxyde de carbone de l'air : $\text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$
- Carbonatation de l'hydroxyde de calcium : $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{CO}_{3(aq)} \rightarrow \text{CaCO}_{3(s)} + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

L'eau résiduelle s'évapore ensuite dans l'air ambiant.

Q.87 Indiquer comment évolue le pH du béton de chaux lors de son durcissement.

2.1.2 Réaction de prise du ciment

Le ciment est quant à lui composé de nombreux silicates comme les silicates tricalciques Ca_3SiO_5 . Lors de la prise du ciment ils réagissent avec l'eau utilisée, appelée eau de gâchage, selon l'équation de réaction :



Les silicates de calcium hydratés forment un réseau 3D rigide tandis que les hydroxydes de calcium formés, appelés portlandite, restent piégés au sein du béton dans la solution interstitielle résiduelle dans laquelle ils se dissolvent partiellement. Cette réaction se poursuit lentement pendant plusieurs semaines durant lesquelles le béton continue de durcir.

Q.88 Indiquer comment évolue le pH du béton lors de sa prise et son durcissement.

Le produit de solubilité de l'hydroxyde de calcium à 25 °C est $K_s = 5,0 \times 10^{-6}$.

Q.89 Calculer le pH de la solution interstitielle saturée en portlandite et le **comparer** à celui d'un béton de chaux.

2.1.3 Corrosion des armatures

Les ouvrages en béton armé sont des ouvrages qui peuvent avoir une longue durée de vie. Il faut pour cela que le béton mais également les armatures en fer résistent correctement dans le temps. Pourtant le fer est un matériau particulièrement sensible à la corrosion...

Afin d'étudier les conditions menant à la corrosion du fer nous utiliserons un diagramme potentiel-pH du fer tracé avec une convention de concentration égale à $10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Ce diagramme est partiellement tracé sur le **Document Réponse 3** en page 22. Le diagramme de l'eau est également tracé et superposé à celui du fer.

Données : potentiel standard des couples

- $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}_{(\text{aq})}$: $E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,44 \text{ V}$
- $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$: $E^\circ_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}} = 1,23 \text{ V}$

Q.90 Rappeler ce que sont les conditions standard.

Q.91 Ajouter sur le diagramme les noms des espèces chimiques manquantes.

Q.92 Lire sur le diagramme la valeur du potentiel standard du couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ et **justifier** la valeur du potentiel qui marque la frontière entre le fer et les ions fer II.

Q.93 En appliquant la relation de Nernst au couple $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$, **justifier** que la droite qui sépare les domaines de l'eau et du dihydrogène a pour équation : $E = 1,23 - 0,06\text{pH}$.

Q.94 Le fer sous forme métallique peut-il être stable dans la solution interstitielle du béton ? **Justifier** votre réponse.

Le potentiel d'un béton sain est faible, proche de zéro volt.

Q.95 Expliquer pourquoi les armatures métalliques ne sont pas corrodées dans un béton à base de ciment.

Q.96 Justifier le fait qu'il ne faille en aucun cas armer les bétons de chaux avec des armatures en fer.

2.1.4 Conséquences de la corrosion des armatures sur le béton

Le fer utilisé pour les fers à béton est du fer α : son réseau cristallin est un réseau cubique centré de paramètre de maille $a = 2,87 \text{ \AA}$.

Q.97 Représenter une maille cristalline, **calculer** son volume et **indiquer** combien d'atomes elle contient.

Q.98 Exprimer la masse volumique du fer. **Montrer** que sa valeur est voisine de $8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Lors de la corrosion des armatures le fer se transforme en un mélange d'hydroxydes de fer, la rouille, dont la masse volumique moyenne est d'environ $5,24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Q.99 Comparer la masse volumique du fer et celle de la rouille et en déduire une conséquence sur le vieillissement des bétons armés en cas de corrosion des armatures.

2.2 Analyse de la teneur en chlorures des bétons du bâtiment existant

Les bâtiments à réhabiliter se situant en bord de mer, le béton existant est soumis depuis de nombreuses années à une atmosphère marine. L'apport d'ions chlorure par les embruns est susceptible de dégrader le béton et favorise la corrosion des armatures. En effet, les ions chlorure déposés en surface par les embruns diffusent à l'intérieur du béton et dégradent localement la couche passive qui protège les armatures.

Le risque de corrosion des armatures devient important lorsque le pourcentage en ion chlorure du béton atteint ou dépasse 0,4 % en masse.

Afin d'évaluer si un pilier en béton armé peut être conservé lors de la réhabilitation du bâtiment, un carottage est effectué. L'échantillon est séché à l'étuve pendant 48 h puis finement broyé. Un prélèvement de 20,00 g de broyat est ensuite placé dans une fiole jaugée de 500 mL que l'on complète avec de l'acide nitrique à environ $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. L'ensemble est agité jusqu'à dissolution complète : tous les ions chlorures présents dans le béton sont donc dissouts dans la solution S_0 ainsi obtenue.

On titre ensuite 20,0 mL de solution S_0 par du nitrate d'argent à $5,00 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Le suivi est réalisé par potentiométrie, un volume équivalent de 13,7 mL est obtenu.

Q.100 Écrire l'équation de réaction support du titrage.

Q.101 Déterminer c_0 la concentration en ions chlorures de la solution S_0 .

Q.102 Indiquer si le pilier en béton armé étudié être conservé. **Justifier** votre réponse.

ANNEXE - Dureté de l'eau et titre hydrotimétrique

Détermination du titre hydrotimétrique par dosage colorimétrique

Principe du dosage

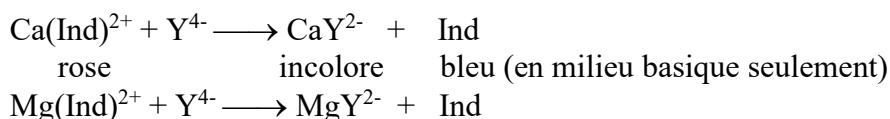
L'ion calcium (ou magnésium) donne avec l'EDTA (noté Y^{4-}) un ion complexe incolore, très stable noté CaY^{2-} (ou bien MgY^{2-} dans le cas de l'ion Mg^{2+}).

Compte tenu de l'absence de teinte des ions calcium (magnésium) et de l'ion complexe formé, le repérage de l'équivalence nécessite l'utilisation d'un indicateur coloré : **le noir ériochrome T**.

En absence d'ions calcium ou magnésium, le noir ériochrome T prend une **teinte bleue** en milieu basique. On utilisera une **solution tampon pH 10**.

En présence d'ions calcium ou magnésium, le noir ériochrome T (noté Ind) forme avec l'ion calcium (magnésium) un **complexe coloré rose** $[Ca(Ind)]^{2+}$.

Lorsqu'on ajoute l'EDTA à la solution, l'EDTA réagit avec les complexes $Ca(Ind)^{2+}$ et $Mg(Ind)^{2+}$ selon les réactions d'équation :



Dureté de l'eau et concentration en ions calcium et magnésium

La dureté, ou titre hydrotimétrique (TH), d'une eau correspond à la somme des concentrations en ions calcium et magnésium. Il se mesure en « degré français » (°f). On peut déterminer cette grandeur à l'aide de la relation suivante :

$$TH(^{\circ}f) = \frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{10^{-4}}$$

Les concentrations $[Ca^{2+}]$ et $[Mg^{2+}]$ sont exprimées en $mol \cdot L^{-1}$.

Données : masses molaires des ions calcium et magnésium

$$M_{Ca^{2+}} = 40,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M_{Mg^{2+}} = 24,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

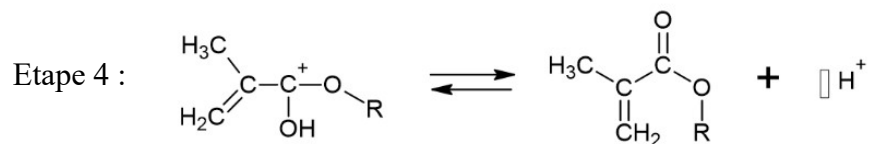
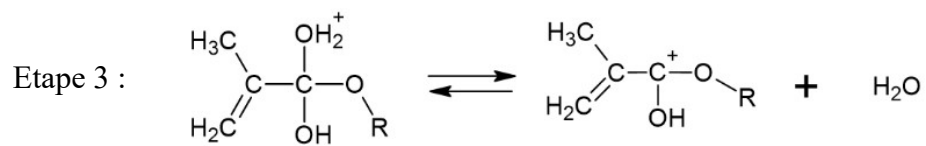
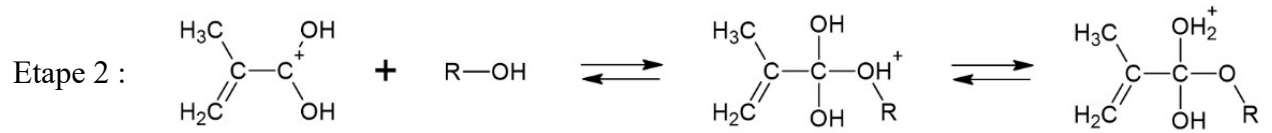
Plage de valeurs du titre hydrotimétrique :

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	très douce	douce	plutôt dure	dure	très dure

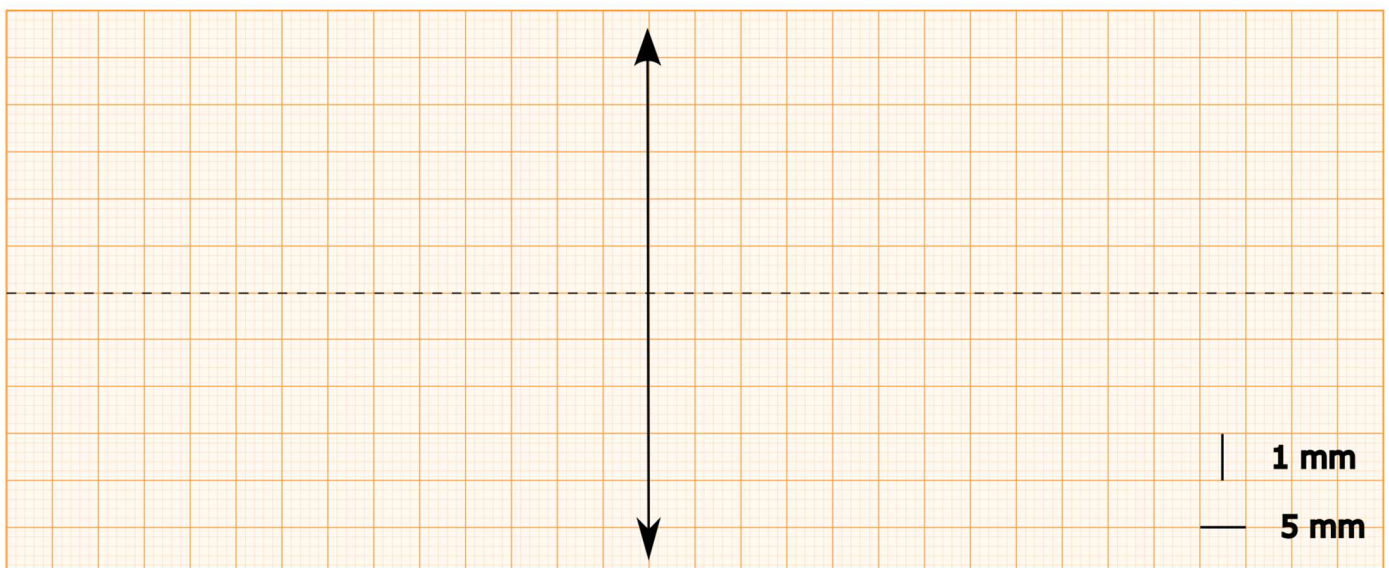
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse 1 – À RENDRE AVEC LA COPIE

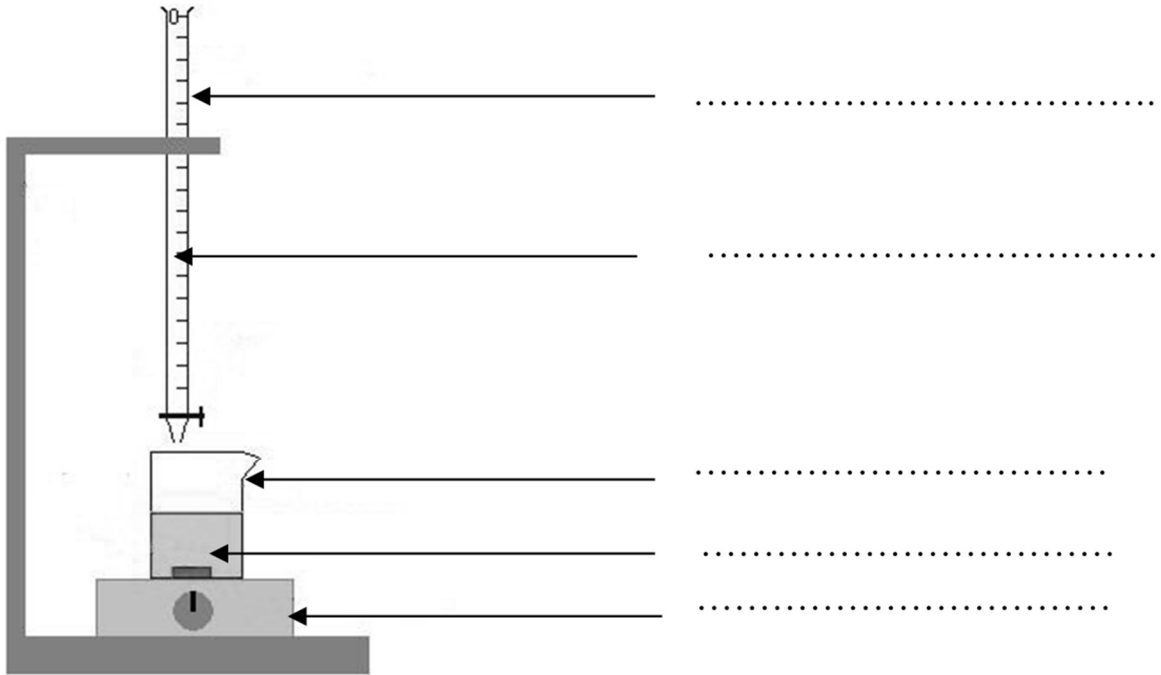
Partie A – Question 10



Partie A - Question 24

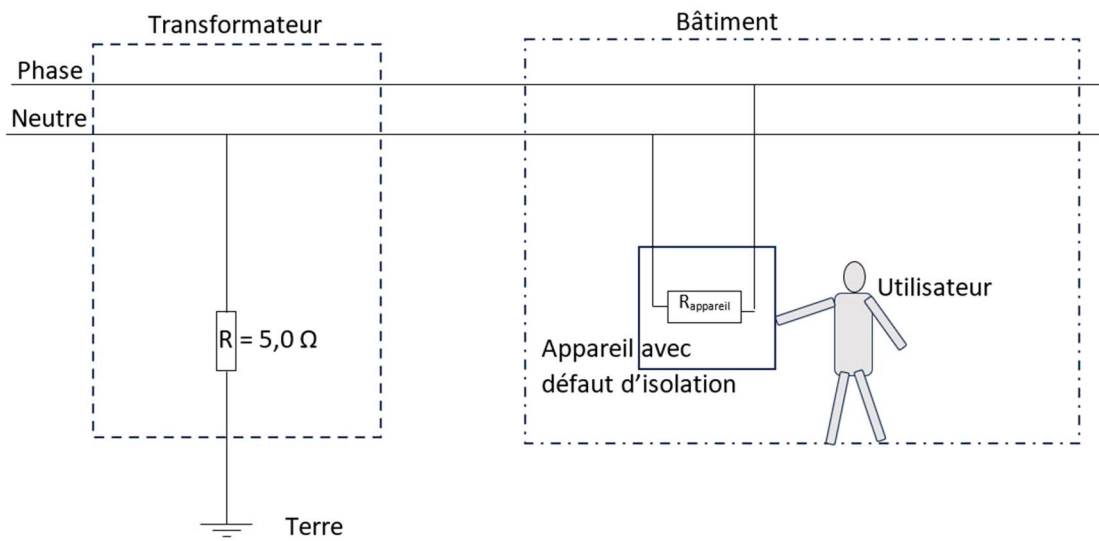


Partie B - Question 50



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Partie C – Question 64 :



Partie C – Questions 90 à 96 :

