



**Concours d'inspecteur  
de la concurrence, de la consommation  
et de la répression des fraudes  
des 12 et 13 Janvier 2016**

**Concours externe à dominante scientifique et technologique**

EPREUVE N° 3 : options (*durée 3 heures - coefficient 5*)

**Le candidat choisira *une* option parmi les trois proposées et indiquera son choix sur sa copie**

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée.

- **Option A)** - agro-alimentaire et bio-industrie ..... pages 2 à 7
- **Option B)** - technologies industrielles appliquées à la chimie..... pages 8 à 14
- **Option C)** - génies mécanique, électrique et thermique ..... pages 15 et 16

## Option A : Agro-alimentaire et Bio-industrie

### Produits carnés : l'avenir est dans l'élaboré

Selon les données compilées en février 2015, les principales espèces animales à l'origine des aliments carnés ont accusé, en 2014, des baisses de ventes sensibles : de l'ordre de 3 % pour le bœuf et de 1,5 % pour la volaille-lapin. Par contre, les données chiffrées font apparaître le succès des produits élaborés, qui progressent, toutes viandes confondues, de 0,8 %. L'offre doit évoluer pour répondre aux nouvelles attentes de consommation : mini-brochettes, panures fait-maison, marinades originales, osmofood...

#### 1. La viande hachée se met au barbecue.

Les brochettes de viande hachée ont le talent d'adapter le steak au barbecue. Or les données épidémiologiques indiquent que la consommation de bœuf notamment de viande hachée est la principale cause des TIA causées par *E.coli* entérohémorragique (ECEH) et principalement *E.coli* O157 : H7.

##### 1.1. Principales données épidémiologiques et physiopathologiques.

*E.coli* O 157 : H7 est une ECEH ou STEC, (*Shiga-toxin-producing E.coli*). *E. coli* O157:H7 provoque le plus souvent des diarrhées sanglantes (colite hémorragique) et peut entraîner, chez des personnes sensibles, le syndrome d'urémie hémolytique (SHU).

**Q1** - Définir le terme TIA.

**Q2** - Les TIA bactériennes sont classées en deux groupes, les intoxications et les infections. Définir les deux termes « intoxication » et « infection ».

1.1.1. Le pouvoir pathogène des ECEH est caractérisé par une entéroinvasion et une synthèse de toxine Shigella-like. Les ECEH pathogènes « typiques » produisent également la protéine intimine (gène *eae*).

**Q3** - Expliciter le phénomène d'entéroinvasion et le rôle de la protéine intimine.

**Q4** - Présenter le mode d'action de la shiga-toxine.

1.1.2. A la 37<sup>ème</sup> session du comité du Codex Alimentarius sur l'hygiène alimentaire et la maîtrise du risque constitué par l'ECEH dans la viande de bœuf hachée (programme mixte FAO/OMS), il a été établi que l'incidence de l'infection varie selon le groupe d'âge.

**Q5** - Donner la signification des sigles FAO, OMS et préciser ce qu'est le Codex Alimentarius.

**Q6** - Définir le terme « incidence ».

**Q7** - Le **document 1** présente quelques données épidémiologiques du SHU observées en France. Analyser le document et proposer une hypothèse expliquant la variation saisonnière.

1.2. Depuis 2005, le référentiel « Maîtrise des *E.coli* pathogènes et autres bactéries du tube digestif » a été créé par le syndicat des entreprises françaises des viandes SNIV-SNCP<sup>(1)</sup>, à la suite de la première TIAC, en France, liées à la présence d'*E.coli* O157:H7 dans une viande hachée.

(1) - syndicat national de l'industrie des viandes (SNIV) ; le syndicat national du commerce du porc (SNCP)

1.2.1. Pour améliorer la maîtrise du pathogène dans la viande hachée, les entreprises adhérentes sont auditées chaque année selon un cahier des charges rigoureux.

**Q8** - Rappeler en quoi consiste un audit et ce que présente un cahier des charges.

1.2.2. Ce référentiel porte sur les mesures à prendre à chaque étape de la chaîne alimentaire afin de réduire ou éliminer les ECEH dans le bœuf haché. En 2014, plus de 234 points, répartis entre les abattoirs, les ateliers de découpe, les ateliers de viande hachée et les laboratoires internes ont été contrôlés.

**Q9** - Dans les abattoirs, les installations doivent être agencées dans le respect du principe de la marche en avant. Expliciter la notion de « marche en avant » et préciser le but de cette démarche.

1.2.2.1. L'un des aspects les plus importants du contrôle de la contamination ECEH réside dans des procédures d'abattage sanitaires. Ces procédures, de concert avec le système HACCP, fournissent un cadre efficace pour le contrôle d'ECEH. Les BPF doivent être suivies à la lettre afin de réduire la prévalence d'ECEH dans le bœuf haché.

**Q10** - Donner la signification du sigle HACCP, en anglais et en français.

**Q11** - Quel est la finalité de la mise en place d'un système HACCP ?

**Q12** - Indiquer deux apports de la démarche HACCP par rapport à un système qualité basé sur le contrôle des produits finis.

**Q13** - Que signifie le sigle BPF ?

**Q14** - Définir le terme « prévalence ».

1.2.2.2. Dôme vapeur et depuis février 2013, décontamination par l'acide lactique, les professionnels disposent de nouvelles solutions pour limiter les contaminations à l'étape cruciale de la découpe.

**Q15** - Le dôme vapeur permet de réaliser une flash-pasteurisation de l'intégralité de la surface de la carcasse.

Préciser le rôle de la pasteurisation.

1.2.2.3. Après qu'une évaluation des risques par l'EFSA ait aboutie à un avis favorable, la commission européenne autorise l'acide lactique pour la décontamination de la surface des carcasses de bovins.

**Q16** - Donner la signification du sigle EFSA.

**Q17** - Préciser le mode d'action de l'acide lactique.

1.1.2.4. Une forte prise de conscience des risques et une traçabilité renforcée ont permis de limiter les contaminations.

**Q18** - Différencier traçabilité ascendante et traçabilité descendante.

1.1.2.5. L'une des méthodes les plus efficaces d'élimination d'*E.coli* O157:H7 dans le bœuf haché cru est l'irradiation.

**Q19** - En quoi consiste le procédé d'ionisation des aliments ?

**Q20** - Justifier le terme d'ionisation en expliquant simplement le phénomène.

**Q21** - La dose  $D_{10}$  d'*E.coli* est de l'ordre de 0.25 kGy. Définir la  $D_{10}$ .

**Q22** - On considère qu'un taux de réduction décimale égal à 12 permet un bon assainissement. Les doses habituelles utilisées pour traiter les produits carnés (2 à 4 kGy) sont-elles efficaces vis-à-vis d'*E.coli* ? Justifier la réponse.

1.2. Le dernier avis en date de l'ANSES définit un plan d'échantillonnage pour la détection d'*E.coli* O157:H7) ainsi que des quatre autres sérotypes typiques majeurs (O26:H11, O103:H2, O111:H8 et O145:H28) dans le cadre des autocontrôles en filière viande hachée bovine.

**Q23** - Indiquer la signification de l'acronyme ANSES.

**Q24** - Différencier un contrôle par échantillonnage et un contrôle à 100 %.

**Q25** - Indiquer le principe général d'un sérotypage et expliciter la signification de l'appellation « O<sub>x</sub> :Hy » en précisant la localisation et la nature biochimique des structures impliquées.

1.2.1. Quant à l'analyse, il existe une méthode horizontale de référence NF EN ISO 16654 et neuf méthodes alternatives reconnues par AFNOR validation

**Q26** - Donner la signification des sigles : NF, EN, ISO, AFNOR.

**Q27** - Que signifie méthode « horizontale » ?

1.2.2. Le **document 2** présente le protocole de recherche des *E.coli* O157 selon la méthode de référence.

**Q28** - Qualifier, en la justifiant, la première étape de la procédure. Expliquer son intérêt.

L'isolement est réalisé sur un premier milieu, le milieu Mac Conkey Sorbitol (CT-SMAC), présenté dans le **document 3**.

**Q29** - Citer les rôles respectifs des constituants du milieu.

**Q30** - Sur ce milieu, les colonies suspectes sont incolores, pouvant présenter un halo orangé. Expliquer l'aspect des colonies suspectes.

*Données : rouge neutre : rouge en milieu acide, orangé en milieu basique.*

**Q31** - L'isolement est réalisé en parallèle sur milieu chromogène ChromID O157 :H7 (comparable au milieu Chromagar O157) présenté sur le **document 4**.

Expliquer son efficacité pour la recherche d'*E.coli* O157.

## 2. Les produits panés, les marinades originales, l'osmofood : il faut oser et expérimenter.

2.1. Les produits panés sont la valeur sûre des produits carnés élaborés, surtout auprès du public jeune. La tendance est au clean label : sans « code E », sans gluten...

**Q32** - Que désigne le « code E » ? Donner une définition précise et citer les principales catégories de produits soumis à cette appellation.

**Q33** - Justifier l'intérêt grandissant des consommateurs pour les produits sans gluten.

2.2. Clean label oblige, la liste des ingrédients des marinades est au régime : le sel fait partie des indésirables. Les industriels orientent le marché vers une réduction de sel pour des questions de santé publique.

**Q34** - Pour conserver la fonction d'exhausteur de goût, il est possible d'utiliser du chlorure de potassium. Indiquer ce qu'est un exhausteur de goût et citer un autre exemple de produit assurant cette fonction.

**Q35** - Indiquer les autres effets attribués à l'addition de sel.

2.3. Faire mariner consiste à injecter un liquide dans une viande afin d'en améliorer la tendreté, la jutosité, la couleur... Les qualités nutritionnelles et gustatives de la viande peuvent être contrôlées par spectrométrie en proche infrarouge (SPIR). En effet, cette méthode est fidèle en conditions de répétabilité et de reproductibilité.

**Q36** - Définir la fidélité.

**Q37** - Différencier les conditions de répétabilité et de reproductibilité.

**Q38** - Par quelle démarche et quel calcul peut-on évaluer la fidélité ?

2.4. La tendance de fond est un retour à l'authenticité : l'utilisation de marinades liquides est un peu plus onéreuse mais elles ont un avantage en terme de culinarité par rapport aux marinades atomisées. Décrire le principe d'un atomiseur.

2.5. L'osmofood, procédé de déshydratation par immersion – imprégnation, offre une nouvelle voie de valorisation aux viandes et débouche sur des produits très innovants.

Avant son étalement en couche mince entre deux films à perméabilité contrôlée, la viande doit subir un hachage fin et une addition de sels nitrités.

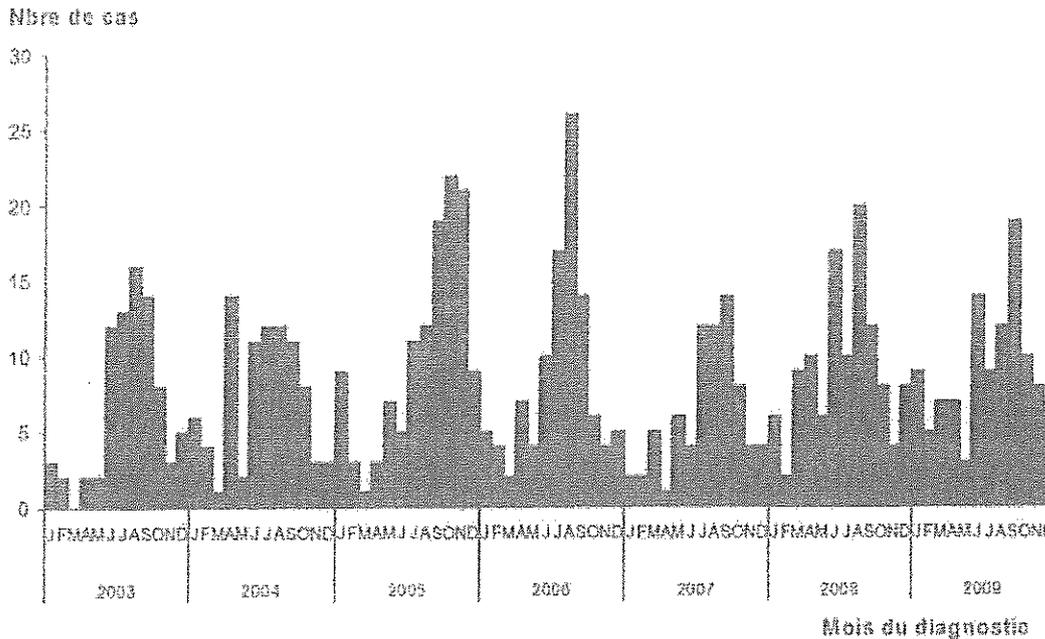
**Q39** - Préciser les rôles hygiénique et organoleptique des nitrites.

**Q40** - Expliciter le principe de ce procédé de déshydratation présenté dans le **document 5**.

## DOCUMENTS

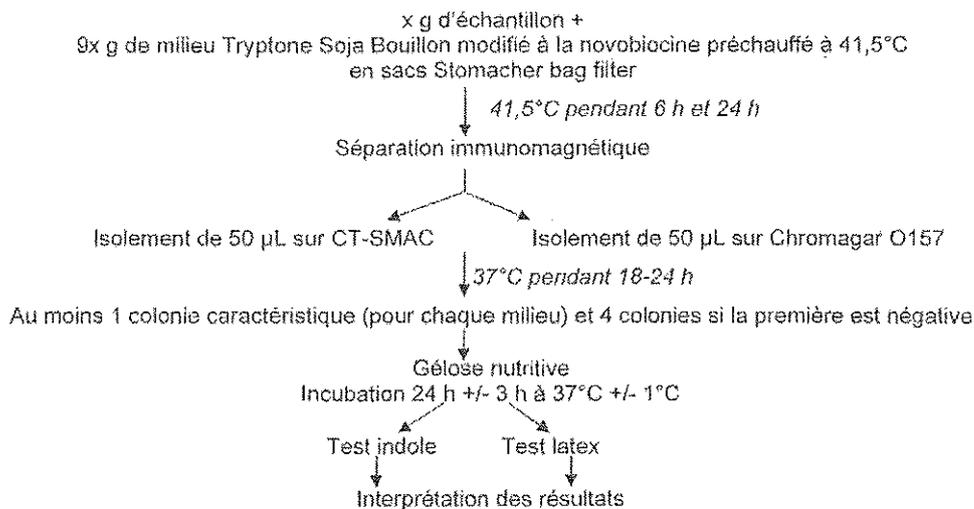
### DOCUMENT 1 : DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES DU SYNDROME HEMOLYTIQUE ET UREMIQUE (SHU) EN France

Distribution mensuelle du nombre de SHU chez l'enfant de moins de 15 ans, France, 2003-2009



*Source : Surveillance du syndrome hémolytique et urémique post-diarrhéique chez les enfants de moins de 15 ans en France en 2009 – Lisa King et al – INVS / Institut Pasteur / Hôpital Robert Debré.*

### DOCUMENT 2 : METHODE HORIZONTALE DE REFERENCE NF EN ISO 16654 DE RECHERCHE D'E.COLI O157



D'après « Validation ISO 16 140 de la méthode IQ-Check™ E.coli O157 :H7 pour les viandes crues de bœufs – ADRIA DEVELOPPEMENT – 28/07/2008 »

## DOCUMENT 3 : MILIEU MAC CONKEY SORBITOL (CT-SMAC)

### Extrait de la fiche technique du milieu Biokar®

#### FORMULE - TYPE du milieu complet

(pouvant être ajustées de façon à obtenir des performances optimales)

Pour 1 litre de milieu :

- Tryptone.....	17,0 g
- Peptone peptique de viande.....	3,0 g
- D-Sorbitol.....	10,0 g
- Sels biliaires n°3.....	1,5 g
- Chlorure de sodium.....	5,0 g
- Rouge neutre.....	30,0 mg
- Cristal violet.....	1,0 mg
- Céfexime.....	0,05 mg
- Tellurite de potassium.....	2,5 mg
- Agar agar bactériologique.....	13,5 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7,1 ± 0,2.

## DOCUMENT 4 : MILIEU CHROMOGENE ChromID O157:H7

### Extrait de la fiche technique du milieu Biomérieux®

#### Summary and explanation

ChromID O157:H7 agar enables the detection and presumptive identification of enterohemorrhagic *Escherichia coli* of serotype O157:H7 responsible for gastrointestinal infections.

According to the standard NF EN ISO 16654, it may be used to detect *E.coli* O157.

#### Principle

This agar contains a mixture of carbohydrates and two chromogenic substances for the detection of two enzymatic activities:

- $\beta$ -D-galactosidase present in all the strains of *E.coli* irrespective of their serotype,
- $\beta$ -D-glucuronidase specific to all strains of non O157:H7- *E.coli*.

The selectivity for Gram (+) bacteria is provided by sodium desoxycholate.

To increase its selectivity for enterobacteria, a Cefixime-Tellurite (CT) mixture can be added to the chromID O157:H7 medium.

#### Composition

Gelatin peptone (bovine or porcine)	6,5 g	Sodium desoxycholate (bovine or ovine)	1,5 g
Yeast extract	6 g	Mixture of carbohydrates (bovine)	24 g
Sodium chloride	5 g	Mixture of activators	0,25 g
Sodium carbonate	0,13 g	Mixture of chromogenic substrates	0,25 g
Neutral red	0,01 g	Agar	12,5 g
Purified water	1 L		

pH 7,1

#### Reading and interpretation

- After incubation, observe the bacteria growth.
- Record the presence of characteristic colonies of *E.coli* O157:H7 which are of a green or bluish-green color.  
This color is particularly intense when the incubation time is close to 24 hours.
- Identification of characteristic colonies must be followed by biochemical and/or immunological tests.

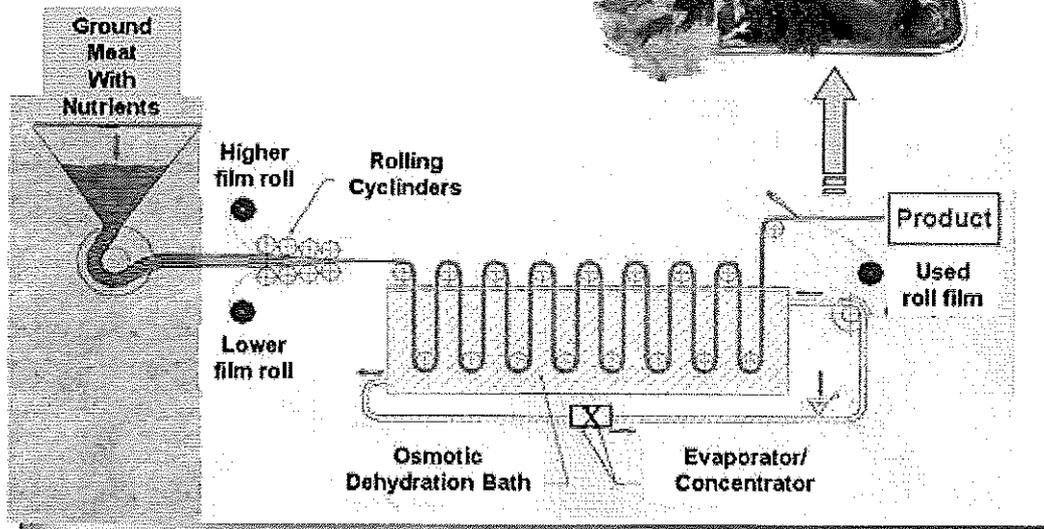
#### Quality control

The nutrient capacity of the medium can be tested using the following strain(s):

Strain	Results at 33-37°C	
	Growth after 24 hours	Bluish-green colonies
<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC® 43894		
<i>Escherichia coli</i> ATCC® 25922		

**DOCUMENT 5 : PROCEDE OSMOFOOD**

**Osmotically Dried  
Nutrient/Quality-  
Enhanced Meat  
Product**



Source : the official homepage of the United States army

## Option B : Technologies industrielles appliquées à la chimie

### Réduire les émissions de gaz à effet de serre

#### I. L'acidification de l'océan, l'autre problème induit par l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone.

##### **Document 1 : L'océan de plus en plus acide**

*L'augmentation des émissions de dioxyde de carbone bouleverse les équilibres chimiques des mers. D'ici à 2030, certains planctons, premiers maillons de la chaîne alimentaire marine, auront disparu.*

Inexorablement, les océans deviennent corrosifs. Méconnu du grand public, ce processus dû à l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone aura des effets considérables. Dans à peine plus de vingt ans, l'acidification de vastes zones océaniques de l'hémisphère Sud va provoquer la disparition de certains organismes planctoniques. Ce phénomène est d'autant plus préoccupant que la faune et la flore touchées constituent les premiers maillons de la chaîne alimentaire marine.

L'augmentation des émissions de  $\text{CO}_2$  a un impact parfaitement quantifié sur les océans, « plus finement connu que ses effets sur le climat », précise James Orr, chercheur au laboratoire des sciences du climat et de l'environnement. « Sur 70 molécules de  $\text{CO}_2$  que nous émettons, une vingtaine sont absorbées par la biosphère terrestre, une trentaine demeurent dans l'atmosphère et une vingtaine se dissolvent dans les océans », précise Paul Tréguer, directeur scientifique d'EUR-Océans, un réseau européen d'études des écosystèmes océaniques. Cette dissolution modifie les équilibres chimiques : elle acidifie l'eau.

Cette déstabilisation chimique fait chuter la concentration océanique en ion carbonate. Mais, explique M. Orr, « l'ion carbonate est avec l'ion calcium l'une des deux briques nécessaires à la formation du calcaire ». Résultat : les ptéropodes, les coccolithophoridés et les foraminifères, ces microorganismes marins à coquille qui ont justement besoin de carbonate pour former leur squelette en calcaire, auront disparu dès 2030 dans certaines zones du Pacifique et dans tout l'océan austral.

Quelles en seront les conséquences ? « Dans les océans, les chaînes alimentaires sont complexes, et parvenir à les modéliser est un des grands défis, répond M. Orr. Ce qui est sûr cependant, c'est que les ptéropodes sont proches de la base de la chaîne alimentaire et qu'ils constituent les ressources de certains poissons importants, comme le merlu, le saumon, la morue, voire, à certaines périodes de l'année, la baleine... ». Les petits organismes marins peuvent être extrêmement sensibles aux modifications de leur environnement. L'acidification des eaux pourrait accentuer les mouvements de migration de certains planctons vers le nord déjà en cours et avoir un impact économique important sur la pêche.

Outre les effets sur la chaîne alimentaire, ce processus va, à plus long terme, avoir d'autres conséquences dramatiques. « Deux tiers des coraux d'eau profondes, présents dans les mers froides, sont menacés de disparition avant 2100, déclare M. Orr. Ces coraux jouent un rôle important en fournissant, par exemple, leur habitat à certains poissons. » Si l'activité industrielle demeure productrice de dioxyde de carbone sur les prochaines décennies, tous les organismes calcaires, planctons, coquillages, coraux, sous toutes les latitudes, sont potentiellement menacés.

*D'après un article de Stéphane Foucart, Le monde, 18-19 juin 2006*

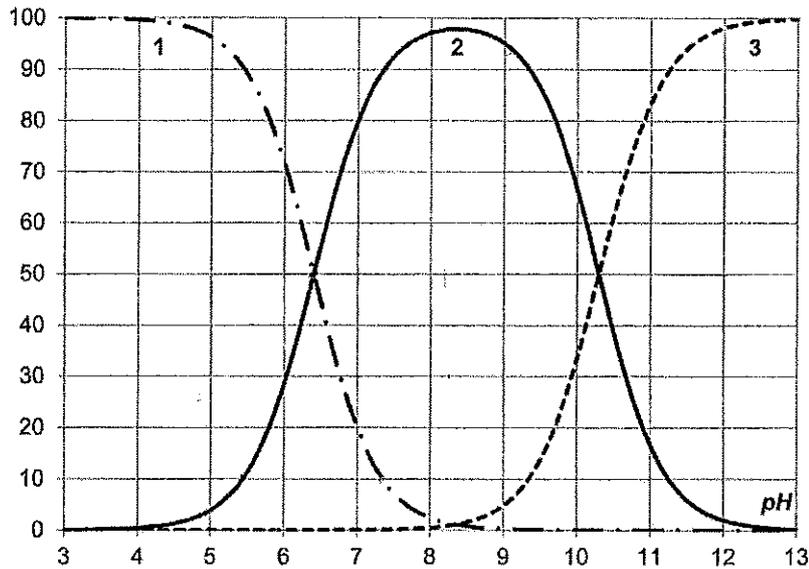
##### **Document 2 : Quelques chiffres sur l'acidification de l'océan**

Depuis le début de l'ère industrielle, le pH moyen des eaux de surface océaniques a chuté de 8,2 à 8,1. Au rythme actuel, il devrait tomber à 7,9 en 2100.

En 2006, plus de 25 millions de tonnes de dioxyde de carbone se combinent chaque jour avec la mer.

**Document 3 : Diagramme de distribution des espèces acido-basiques dérivées du dioxyde de carbone**

**Diagramme de distribution des espèces acido-basiques dérivées de (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)**



**Document 4 : Quelques formules chimiques**

ion sodium : Na <sup>+</sup>	ion chlorure : Cl <sup>-</sup>
ion potassium : K <sup>+</sup>	ion carbonate : CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
ion calcium : Ca <sup>2+</sup>	ion hydrogencarbonate : HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

**Document 5 : Quelques valeurs numériques**

- Volume molaire des gaz à 25°C et pour une pression d'une atmosphère : 24,5 L.mol<sup>-1</sup>
- Composition molaire moyenne de l'air : 21% de dioxygène et 79% de diazote
- Masse volumique de l'octane liquide : 700 kg.m<sup>-3</sup>
- Masses molaires atomiques : M(C)=12,0 g.mol<sup>-1</sup> ; M(O)=16,0 g.mol<sup>-1</sup> ; M(H)=1,0 g.mol<sup>-1</sup>

**Partie A - L'émission de dioxyde de carbone par les véhicules**

Les moyens de transport utilisant des hydrocarbures (voitures, camions, avions, navires...) forment une source importante d'émission de dioxyde de carbone.

On se propose ici d'estimer la quantité de dioxyde de carbone émise par une voiture parcourant une centaine de kilomètres.

Pour cela, on considèrera :

- qu'une voiture consomme 10 litres de carburant pour cent kilomètres parcourus,
- que le carburant est uniquement constitué d'octane C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> liquide,
- que la combustion de l'octane dans le moteur est complète et forme donc du dioxyde de carbone et de l'eau à l'état gazeux par réaction avec le dioxygène de l'air.

**I-1-** Ecrire l'équation de la réaction de combustion de l'octane.

**I-2-** En déduire la masse et le volume de dioxyde de carbone émis par une voiture parcourant cent kilomètres.

## Partie B - L'acidification des océans

I-3- L'acidification des océans est appelée « the other CO<sub>2</sub> problem ». Quel est le « premier » problème lié à l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone ?

I-4- A quoi est due l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone ?

I-5- Que signifie le terme corrosif ? Pourquoi Stéphane Foucart dit-il que « les océans deviennent corrosifs » ?

I-6- Pourquoi la dissolution du dioxyde de carbone dans l'eau modifie-t-elle le pH ? La justification de la réponse fera notamment apparaître une équation de réaction.

I-7- Par quel facteur a été multipliée la concentration en ion oxonium dans les eaux de surface océaniques entre le début de l'ère industrielle et aujourd'hui ? A quelle augmentation, exprimée en pourcentage, cette valeur correspond-elle ?

I-8- Expliquer la phrase « cette déstabilisation chimique fait chuter la concentration océanique en ion carbonate ».

I-9- En supposant que le squelette calcaire des microorganismes marins à coquille n'est constitué que de carbonate de calcium, donner l'équation de la réaction de formation du calcaire à partir « des deux briques nécessaires ».

I-9-1- De quel type de réaction en solution aqueuse s'agit-il ?

I-9-2- Donner l'expression littérale de la constante d'équilibre associée à cette équation.

I-10- Donner les formules de toutes les espèces acido-basiques issues du dioxyde de carbone en solution. Attribuer les courbes notées 1, 2 et 3 sur le document 3.

I-11- Tracer le diagramme de prédominance correspondant aux espèces acido-basiques issues du dioxyde de carbone en solution. Les valeurs des pK<sub>A</sub> et leur méthode de détermination à partir des documents fournis dans l'énoncé seront clairement indiquées.

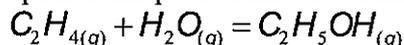
I-12- Au pH des eaux de surface océaniques, quelle est l'espèce acido-basique issue du dioxyde de carbone présente en plus grande concentration ?

## II. Réduction de l'émission de dioxyde de carbone : utilisation de l'éthanol

### Partie A : Les carburants contenant de l'éthanol

Afin de limiter la quantité de dioxyde de carbone émise, de l'éthanol peut être ajouté à l'essence. L'éthanol peut être produit par fermentation alcoolique de betterave, canne à sucre, maïs, blé... Plus de 66 % de l'éthanol utilisé comme carburant provient de la fermentation alcoolique (« bioéthanol »), le reste est produit industriellement par hydratation de l'éthylène (pétrochimie).

A 300°C sous la pression totale P<sub>t</sub> de 70 bars maintenue constante, l'éthylène gazeux réagit avec de la vapeur d'eau pour donner de l'éthanol gazeux selon l'équation de réaction suivante :



#### II-1- Etude de l'équilibre

II-1-1- Calculer la valeur de l'enthalpie standard de la réaction à 298 K et commenter le signe de la valeur trouvée.

II-1-2- Calculer la valeur de l'entropie standard de la réaction à 298 K et commenter le signe de la valeur trouvée.

II-1-3- On suppose que l'approximation d'Ellingham est vérifiée. Calculer la valeur la constante d'équilibre de la réaction à 300°C.

## II-2- Etude du rendement

La réaction est effectuée à 300°C sous une pression totale égale à 70 bars à partir d'un mélange d'une mole d'éthène et de deux moles d'eau.

II-2-1- Calculer la valeur de l'avancement à l'équilibre.

II-2-2- Définir le rendement  $p$  de la réaction et le calculer.

II-2-3- Indiquer l'influence de la pression sur cet équilibre.

II-2-4- Indiquer l'influence de la température sur cet équilibre.

II-2-5- Conclure sur les conditions expérimentales utilisées.

II-2-6- A pression et température fixées, est-il possible d'améliorer le rendement ?

### Données thermodynamiques :

Composés	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	H <sub>2</sub> O(g)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O(g)
$\Delta_f H^\circ(298)$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	52,4	-241,8	-234,2
$S_m^\circ(298)$ (J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	219,3	188,8	282,6

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

## Partie B : Production d'un bioéthanol cellulosique

Face aux nouvelles préoccupations environnementales et à l'évolution du prix des ressources fossiles, la recherche s'oriente vers l'utilisation de matières premières alternatives et renouvelables pour la production de biocarburants.

Cette étude s'intéresse à la production de bioéthanol dit « de deuxième génération » obtenu à partir de la biomasse cellulosique issue de résidus agricoles (paille, résidus forestiers, déchets municipaux...) sans concurrence directe avec la biomasse alimentaire.

### II-3- Principe

La biomasse cellulosique est composée de 40 à 60 % de cellulose (biopolymère du glucose), 20 à 40 % d'hémicellulose (hétéropolysaccharide) et 10 à 25 % de lignine (macromolécule aromatique).

Cette matière première est mise en présence de vapeur d'eau et d'acide sulfurique dilué dans un réacteur. Ce prétraitement permet de convertir l'hémicellulose en xylose. Un deuxième traitement permet une réaction enzymatique de conversion de la cellulose en glucose.

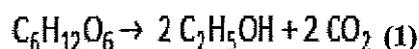
Ensuite, l'éthanol est obtenu par fermentation de ces sucres (glucose et xylose) issus de l'hydrolyse acide des constituants de la biomasse cellulosique.

À l'issue de la fermentation alcoolique, cet éthanol subit deux distillations successives puis une déshydratation, ce qui permet d'obtenir de l'éthanol pratiquement sec.

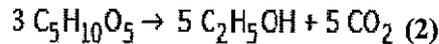
### II-4- Etude de la fermentation alcoolique

Le glucose et le xylose de la réaction enzymatique sont dirigés vers le fermenteur. Des levures en solution sont introduites à débit constant au sommet du fermenteur.

Au cours de la fermentation le glucose et le xylose sont convertis en éthanol. Il y a dégagement de dioxyde de carbone selon les réactions exothermiques suivantes :



glucose                  éthanol



xylose      éthanol

Le débit d'alimentation du fermenteur est égal à  $22,3 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$ . Ce courant a la composition massique suivante : 65,6 % d'eau, 14,0 % de glucose, 10,3 % de xylose, le complément étant constitué de divers sous-produits.

Le taux de conversion du glucose pour la réaction (1) est égal à 95 %.

La réaction (2) est supposée totale.

**II-4-1-** Déterminer le débit molaire de glucose converti dans le fermenteur et le débit molaire de glucose à la sortie du fermenteur.

**II-4-2-** Vérifier que le débit molaire total d'éthanol produit par les deux réactions est égal à  $58,5 \times 10^3 \text{ mol.h}^{-1}$ .

**II-4-3-** Déterminer le débit volumique (en  $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ) de  $\text{CO}_2$  à la sortie du fermenteur ( $37^\circ\text{C}$  ; 1,0 bar) ; on considère que ce gaz se comporte comme un gaz parfait.

**II-4-4-** Compléter le tableau fourni en **ANNEXE 1 à rendre avec la copie**, page 13, et calculer la composition massique des effluents à la sortie du fermenteur.

*Données :*

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Masses molaires moléculaires en  $\text{g.mol}^{-1}$

	Glucose	Xylose	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CO <sub>2</sub>
<i>M</i>	180	150	18	46	44

## II-5- Etude de la rectification du mélange eau / éthanol

Dans une colonne de rectification, on traite le mélange eau / éthanol à 39 % massique en éthanol. Ce mélange binaire est introduit à son point d'ébullition dans la colonne. Le débit molaire de l'alimentation  $A$  est égal à  $285,7 \times 10^3 \text{ mol.h}^{-1}$ .

Le titre molaire du distillat en éthanol est  $x_D = 0,800$  ; celui du résidu est  $x_B = 0,035$ . Le taux de reflux est fixé à  $r = 3$ .

**II-5-1-** Montrer que le titre molaire en éthanol du liquide alimentant la colonne est  $x_A = 0,20$ .

**II-5-2-** Déterminer les débits molaires  $D$  et  $B$  du distillat et du résidu.

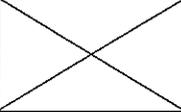
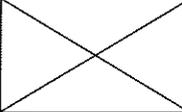
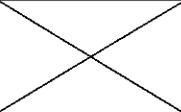
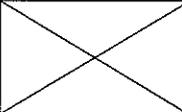
**II-5-3-** Calculer le rendement de récupération en éthanol dans le distillat.

**II-5-4-** À l'aide de la courbe d'équilibre donné en **ANNEXE 2 à rendre avec la copie**, page 14, évaluer le nombre de plateaux théoriques dans la colonne. Sachant que l'équation de la droite

opératoire pour le tronçon de rectification est donnée par l'expression  $y = \frac{r}{r+1}x + \frac{1}{r+1}.x_D$ , justifier la réponse.

**II-5-5-** Déterminer l'efficacité des plateaux sachant que la colonne contient 20 plateaux réels.

## ANNEXE 1 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

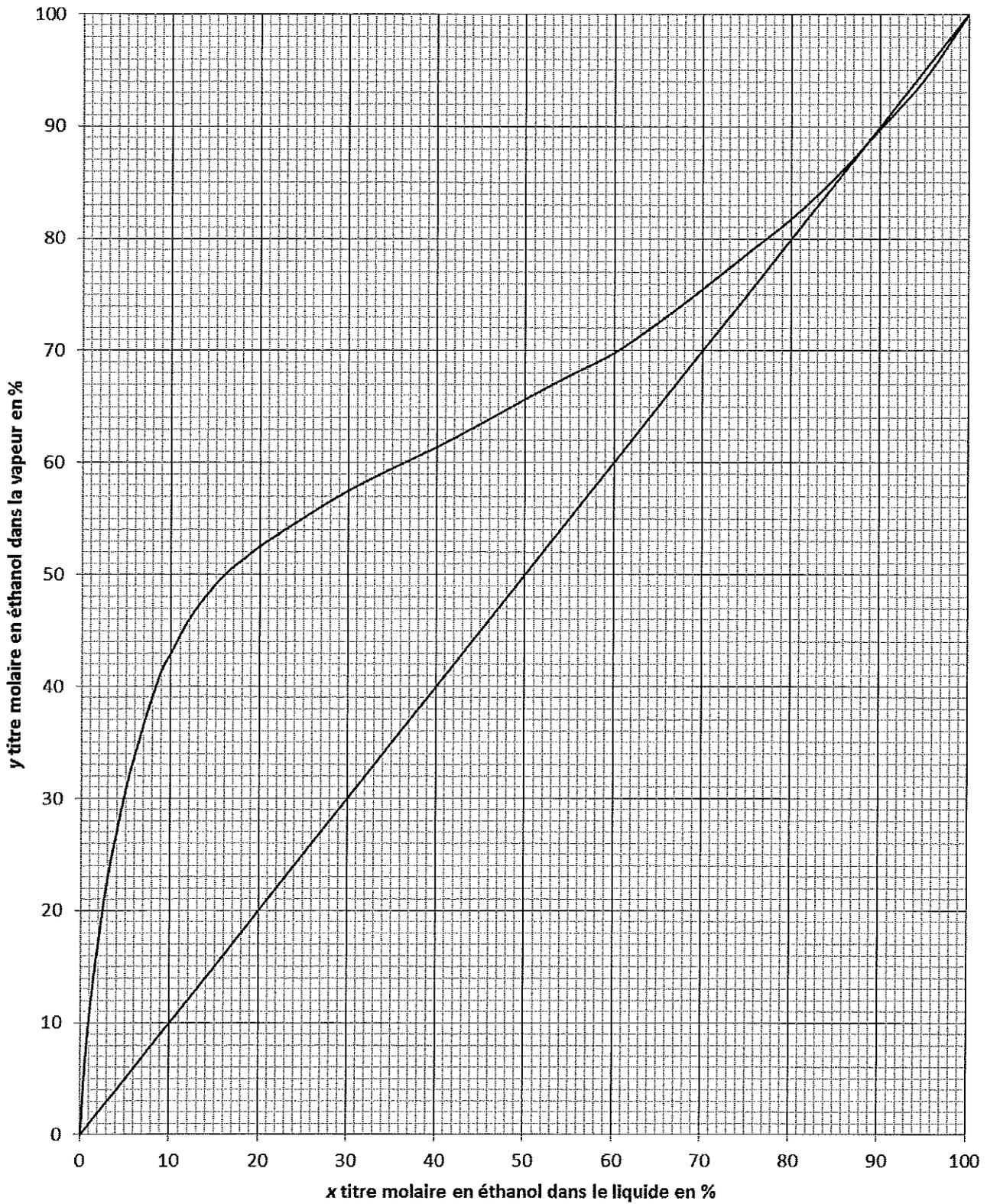
	ENTRÉE du fermenteur			SORTIE du fermenteur		
	kmol.h <sup>-1</sup>	kg.h <sup>-1</sup>	% massique	kmol.h <sup>-1</sup>	kg.h <sup>-1</sup>	% massique
<b>Glucose</b>			14,0			
<b>Eau</b>			65,6			
<b>Xylose</b>			10,3			
<b>Éthanol</b>	0	0	0			
<b>CO<sub>2</sub></b>	0	0	0			
<b>Sous- produits</b>						
<b>TOTAL</b>		22300				100

Les débits massiques seront donnés à 10 kg.h<sup>-1</sup> près.

Les débits molaires seront donnés à 10 mol.h<sup>-1</sup> près.

## ANNEXE 2 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

### Courbe d'équilibre liquide-vapeur du binaire eau-éthanol sous pression atmosphérique

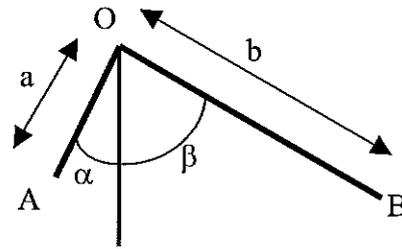


## Option C : Génies mécanique, électrique et thermique

### Exercice 1 :

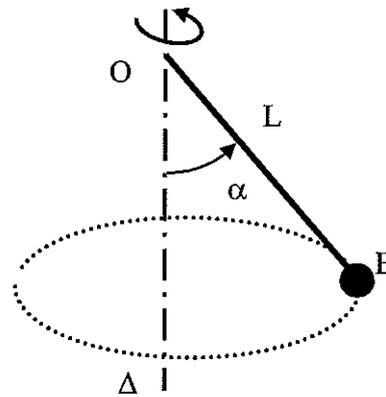
Sur la figure de droite, OA et OB sont des tiges homogènes de même densité et reliées en O de telle sorte que AOB forme un angle droit. Le système est porté en O pour que AOB soit dans un plan vertical.

Trouver les angles  $\alpha$  et  $\beta$  pour qu'il y ait équilibre.



### Exercice 2 :

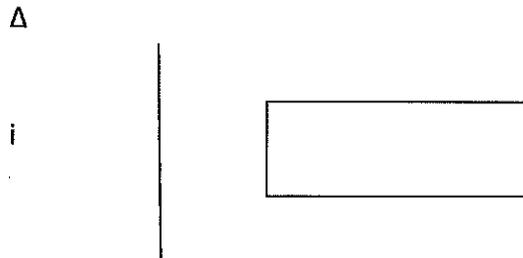
Un pendule conique est formé d'une petite boule B de masse  $m=0,2$  kg et d'un fil de longueur  $L=2$  m (de masse négligeable). Ce pendule est mis en mouvement de rotation uniforme autour d'un axe  $\Delta$  vertical. La vitesse rotation est  $N=25$  tr/mn. Le pendule s'écarte d'un angle  $\alpha$  par rapport à la verticale.



- 1) Déterminer l'expression de l'angle  $\alpha$  ainsi que sa valeur.
- 2) Pour quelle valeur de vitesse angulaire le pendule s'écarte-t-il de la verticale ?
- 3) Déterminer la tension du fil.

### Exercice 3 : électricité

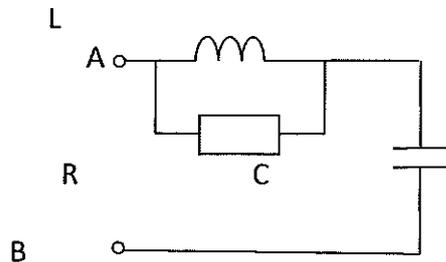
- Un étudiant utilise un ohmmètre pour mesurer une résistance de grande valeur tenue entre ses doigts. Malgré son acharnement à tourner les boutons, la valeur lue reste désespérément inférieure à la valeur donnée par le code des couleurs (même en tenant compte de la précision indiquée par le constructeur). Pourquoi ?
- On considère un fil conducteur de longueur infinie parcouru par un courant  $i$ . Un cadre rectangulaire placée dans un plan contenant le fil et situé à distance constante du fil, tourne autour du fil à vitesse angulaire  $\Omega$  constante. On rappelle que les lignes de champ magnétique produit par le fil sont des cercles d'axe  $\Delta$ .



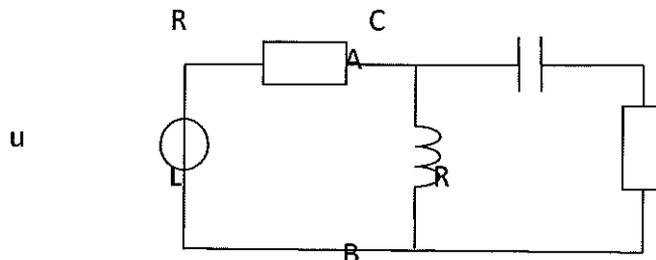
En justifiant votre réponse, indiquer si une force électromotrice apparait dans le cadre lorsque :

- le courant  $i$  est constant et  $\Omega = 0$  (cadre fixe) ;
- $i$  constant et  $\Omega \neq 0$  ;
- $i$  est sinusoïdal et le cadre fixe.

- On réalise un circuit R, L, C comme ci-dessous. Calculer la valeur de R pour laquelle le dipôle entre A et B sera purement résistif.



- Soit le montage ci-dessous où  $u$  représente la f.e.m. d'un générateur de tension sinusoïdal parfait de résistance interne nulle, d'amplitude  $E$  et de fréquence  $f$ .



On donne :  $E = 10 \text{ V}$        $L = 5 \text{ mH}$     $C = 5 \text{ nF}$     $R = 1 \text{ k}\Omega$     $f = 10^5/\pi \text{ Hz}$

En utilisant la transformation de Thévenin, calculer la valeur numérique de l'amplitude et du déphasage (par rapport à  $u$ ) du courant  $i$  traversant  $R$  entre A et B.