

## **Thème « NOURRIR »**

### ***Trois axes de travail pour la partie chimie :***

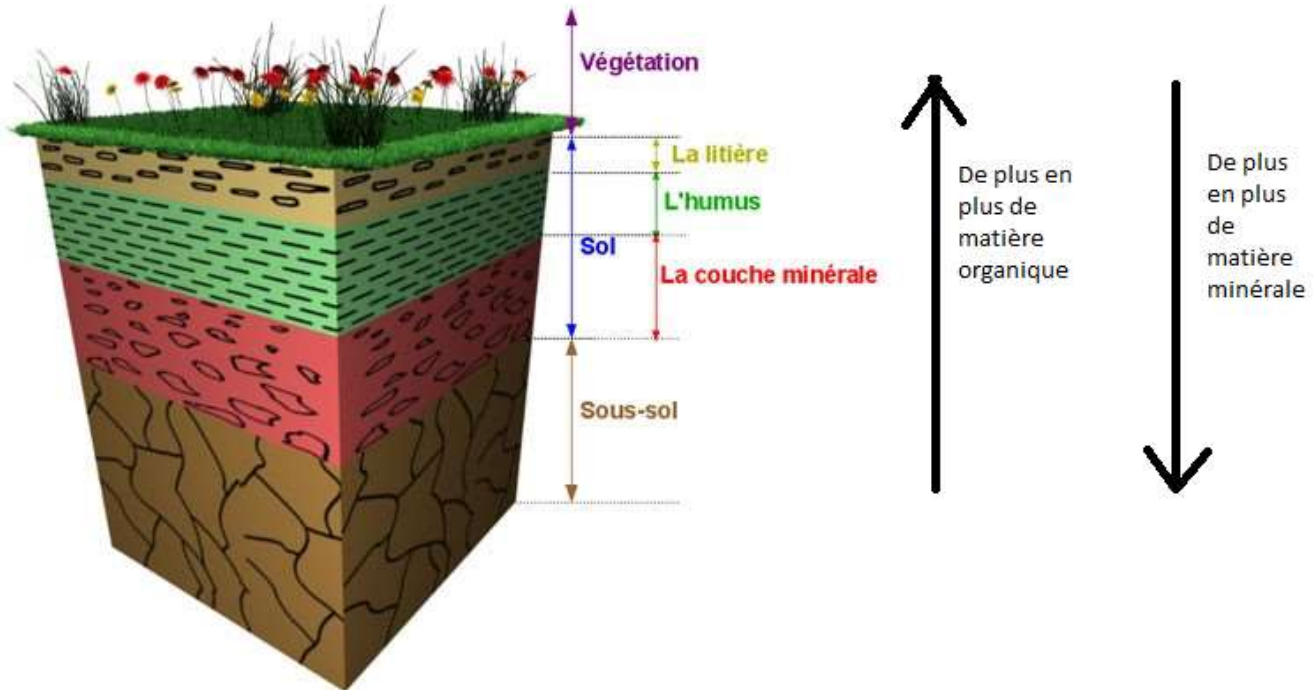
- La nature, la composition, l'enrichissement d'un sol (objectif : agriculture).
  
- Notre eau.
  
- Dans la cuisine :
  - Dégradation /conservation des aliments ;
  - Réalisation de structures alimentaires sophistiquées (émulsion, mousse ou gel).

## Chapitre 1 Compositions des sols (recherches web, document à compléter)

### I Notre sol

#### 1) Composition, constitution, éléments nécessaires à l'agriculture

##### a) Le sol



Titre: Schéma d'une coupe de sol

Il faut essentiellement retenir l'ordre des différentes couches mais aussi ce qui est légendé à droite concernant la matière à dominante organique ou minérale... Encore faut-il maîtriser ces deux termes !

##### b) Les ions, c'est bon pour les plantes !

*La végétation, les cultures, se nourrissent de ce que leur apporte le sol. Il y a pourtant à priori une incompatibilité entre la nature organique des plantes et celle, rapidement minérale, du sol.*

- « organique » :

- « minéral » :

Principaux éléments nutritifs (au sens de « éléments chimiques » comme vu en classe de 2<sup>nd</sup>e...) :

Ces éléments sont nécessaires et non synthétisables directement par les plantes (d'où le terme « nutritifs »). Il faut donc envisager un apport extérieur de ces éléments : par un transfert du sol vers la plante.

c) Merci le C.A.H. !

*Il y a manifestement possibilité pour le sol de procéder à des échanges d'ions, ce qui permet de penser que des ions apportés de l'extérieur (par les biais d'eaux ou d'engrais, ...) peuvent être fixés par le sol puis transférés vers les plantes en tant qu'éléments nutritifs.*

- Signification des initiales « C.A.H. » :
  
- Rôle du C.A.H. (détailler un exemple à l'aide de schémas) :

## 2) Engrais et produits phytosanitaires

### Introduction : les engrais NPK

Les éléments fertilisants majeurs apportés par les engrais sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Certains engrais apportent un seul de ces éléments (engrais simples) ou plusieurs. (engrais composés)

- L'azote (élément chimique de symbole N) est apporté sous forme d'ions nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ou urée ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ).
- Le potassium (élément chimique de symbole K) est apporté sous forme d'ions  $\text{K}^+$ .
- Le phosphore élément chimique de symbole P) est apporté sous forme de phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), hydrogénophosphate ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), etc..

La formule d'un engrais est donnée par trois nombres N-P-K :

- N : c'est la masse d'élément azote N en kg contenu dans 100 kg d'engrais ;
- P : c'est la masse de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (oxyde de phosphore) en kg qui contiendrait la même masse de phosphore que 100 kg d'engrais ;
- K : c'est la masse de  $\text{K}_2\text{O}$  (oxyde de potassium) en kg qui contiendrait la même masse de potassium que 100 kg d'engrais.

Exemple : on lit sur un emballage : NPK : 5-10-15, ce qui signifie que 100 kg de cet engrais contiennent l'équivalent de 5 kg d'azote N, 10 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  et 15 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ .

#### a) Définitions

Engrais :

Produit phytosanitaire :

#### b) Les 3 principaux éléments chimiques apportés par les engrais (déjà évoqués précédemment)

- Symbole, nom
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Espèces chimiques correspondantes ?

## II Sujet bac (émirats 2014)

Monsieur X est agriculteur, éleveur de porcs et céréalier ; il fertilise ses champs en épandant du lisier (déjections de porcs). Conscient des problèmes de pollution aux nitrates et soucieux de respecter la « directive nitrates » du Conseil de l'Union européenne, il envisage de faire évoluer ses pratiques agricoles vers une agriculture biologique. Monsieur X sait que cela nécessite une conversion progressive. Avant de prendre sa décision, il consulte un conseiller agrobiologiste.

### Document 1 : la culture de la féverole.

#### Document 1a : une pratique agricole, l'utilisation de la féverole en rotation.



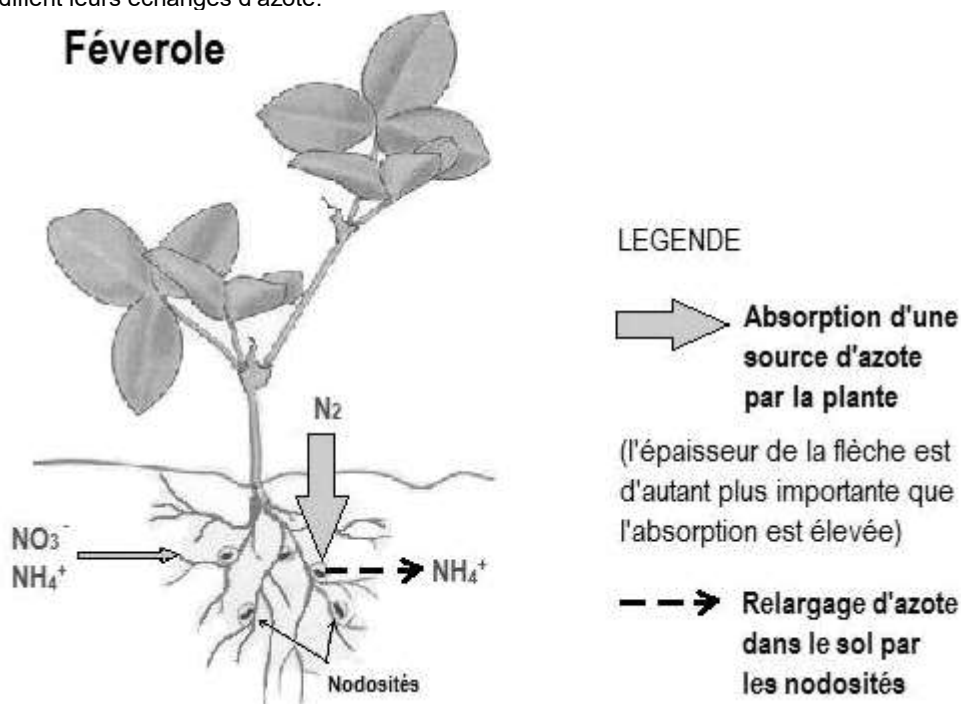
La féverole est une plante de la famille des Légumineuses. Comme le pois, la féverole est riche en protéines et en amidon, ce qui en fait un aliment intéressant pour la nutrition des animaux : elle convient pour les ruminants, les volailles, les porcs.

Pour l'agriculture, la féverole est considérée comme un relais azoté dans la rotation des cultures. Elle constitue ainsi un excellent précédent pour les céréales, notamment le blé dont les besoins azotés sont importants. A titre d'exemple, dans le Sud- Ouest de la France, une féverole d'hiver laisse dans le sol de quoi couvrir environ 67% des besoins d'une culture de blé. Par ailleurs, sa culture assure des rendements corrects, de l'ordre de 40 à 80 quintaux/ha selon le sol et la pluviométrie. L'un des atouts agronomiques de cette légumineuse est en outre qu'aucun apport d'azote n'est nécessaire pour sa culture.

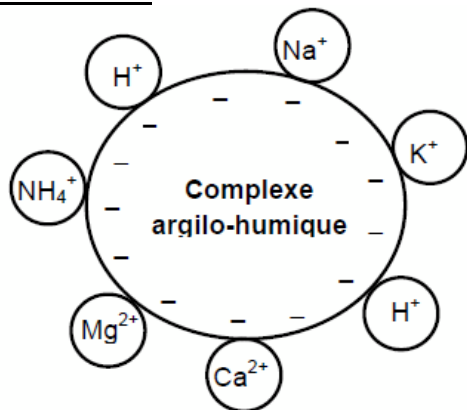
*D'après fiche technique de la culture de la féverole – Techn'ITAB*

#### Document 1b : les échanges d'azote entre la plante et le sol.

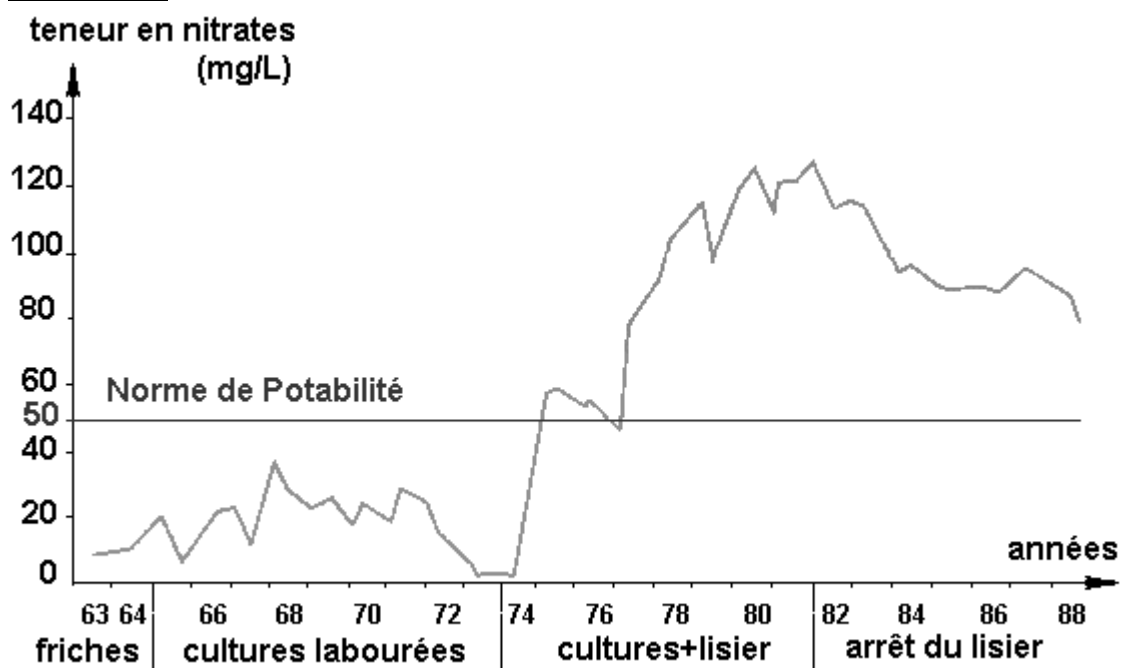
Pour son métabolisme, la plante a besoin d'une source d'azote (N) qu'elle absorbe dans le sol : généralement les ions nitrate  $\text{NO}_3^-$ , ou ammonium  $\text{NH}_4^+$ . Certaines plantes, de la famille des Légumineuses, présentent au niveau de leurs racines des nodosités qui modifient leurs échanges d'azote.



**Document 2 :** schéma des interactions dans le complexe argilo-humique.



**Document 3 :** variation de la teneur en ions nitrate d'une eau souterraine en fonction des pratiques culturales.



**COMMENTAIRE RÉDIGÉ :**

L'agrobiologiste propose à Monsieur X d'utiliser la féverole en rotation pour commencer sa conversion de l'agriculture traditionnelle vers l'agriculture biologique.

**Développez l'argumentaire de l'agrobiologiste visant à montrer à Monsieur X l'impact de cette pratique agricole pour ses rendements ainsi que sur l'environnement et la santé.**

*Vous développerez votre argumentation en vous appuyant sur les documents et vos connaissances (qui intègrent entre autres les connaissances acquises dans différents champs disciplinaires).*

## Chapitre 2 Qualités des eaux

### A - Ions présents dans les eaux de consommation (réseau d'eau courante, eaux minérales)

Les eaux de consommation encore appelées eaux potables peuvent se présenter sous deux formes : l'eau du robinet et les eaux minérales.

En France, trois quarts des consommateurs d'eau déclarent boire l'eau du robinet. Toutes les eaux de consommation doivent répondre aux mêmes normes de qualité, à l'exception des eaux minérales naturelles qui peuvent présenter des caractéristiques particulières. Elles permettent les usages domestiques de l'eau (cuisine, hygiène, arrosage...). Les critères de qualité, très stricts, sont fixés par le ministère chargé de la Santé avec le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

Les normes portent sur :

**la qualité microbiologique** : l'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni pathogène.

**la qualité chimique** : les substances chimiques autres que les sels minéraux font l'objet de normes très sévères. Ces substances sont dites « indésirables » ou « toxiques ». Elles sont recherchées à l'état de trace (millionième de gramme par litre). Ces normes sont établies sur la base d'une consommation journalière normale, pendant toute la vie.

**la qualité physique et gustative** : l'eau doit être limpide, claire, aérée et ne doit présenter ni saveur ni odeur désagréable. Cependant, une eau qui ne satisfait pas pleinement à ces critères ne présente pas forcément de risque pour la santé.

#### 1) Comparaisons qualitatives à l'aide de solutions témoins (tests caractéristiques de quelques ions).

Principe : Dans diverses eaux disponibles, nous cherchons à mettre en évidence la présence de quelques espèces ioniques courantes : les **ions chlorure**  $Cl^-_{(aq)}$ , les **ions sulfates**  $SO_4^{2-}_{(aq)}$ , les **ions calcium**  $Ca^{2+}_{(aq)}$  et les **ions hydrogénocarbonate**  $HCO_3^-_{(aq)}$ .

Des **réactions chimiques** caractéristiques de ces ions, dans laquelle la transformation est facile à mettre en évidence (changement de couleur, apparition d'un précipité, ...) peuvent facilement être mises en œuvre dans des tubes à essais.

Nous ne vous donnons pas les résultats de ces transformations, mais vous disposez de solutions témoins pour les découvrir avant de les mettre en œuvre pour, ensuite, tester efficacement les eaux disponibles dans le laboratoire.

- Les ions  $Cl^-_{(aq)}$  réagissent avec les ions argent  $Ag^+_{(aq)}$ .
- Les ions  $SO_4^{2-}_{(aq)}$  réagissent avec les ions baryum  $Ba^{2+}_{(aq)}$ .
- Les ions  $Ca^{2+}_{(aq)}$  réagissent avec les ions oxalate  $C_2O_4^{2-}_{(aq)}$ .
- Les ions  $HCO_3^-_{(aq)}$  réagissent avec les acides.

Travail :

- A l'aide de solutions **témoins** (contenant chacune un seul des ions recherchés), comparez entre elles les espèces susceptibles de réagir. Décrivez, notez le résultat du test.
- Réalisez maintenant les tests sur différentes eaux et concluez sur leur composition. Vous présenterez au dos de la feuille les tests réalisés ainsi que les résultats pour les eaux choisies.
- Validez vos résultats en les comparant aux indications des étiquettes des différentes eaux testées.
- Ecrire les équations de réactions chimiques correspondant à chaque test réalisé !

## 2) Comparaison quantitative : dosage des ions hydrogénocarbonate dans l'eau Contrex

### a) Introduction « DOSER »

Doser, c'est déterminer une quantité.

Par exemple, c'est déterminer combien il y a de sel dissous dans l'eau de mer.

Précisons un peu les choses :

- On considère plutôt une concentration, c'est à dire une quantité de sel dissous par litre d'eau de mer.
- Le sel en question, on sait lui associer une formule chimique : NaCl.
- On décide de mesurer cette quantité sous la forme d'une masse.

Le résultat (on donne un exemple numérique) sera donc présenté sous la forme :

$$35 \text{ g.L}^{-1} \text{ (ou } 35 \text{ g/L)}$$

Ce qui signifie :

Dans 1 litre de notre eau de mer il y a 35 g de sel NaCl dissous.

Il s'agira donc de réaliser des mesures, de mettre en œuvre des expériences qui permettront de déterminer une concentration, de doser une espèce chimique.

### b) Notre dosage

Nous mettons en œuvre une réaction de dosage dont nous détecterons l'équivalence grâce au virage (changement de couleur) d'un indicateur coloré (le vert de bromocrésol).

La solution acide titrante (servant au dosage en étant versée petit à petit à l'aide d'une burette) est connue : avec 20 mL de cet acide, on peut faire réagir (dosier) 12,4 mg d'ions  $\text{HCO}_3^-_{(aq)}$ .

Vous prélèverez précisément 20 mL d'eau Contrex et vous doserez les ions  $\text{HCO}_3^-_{(aq)}$  présents dans cet échantillon (les 20 mL d'eau).

Présentez ci-dessous et au dos de la feuille :

- Un schéma annoté du dispositif expérimental ;
- Le résultat (la valeur du volume d'acide qu'il a fallu verser pour atteindre l'équivalence, c'est-à-dire pour finir de doser tous les  $\text{HCO}_3^-_{(aq)}$  présents dans l'échantillon) ;
- Les calculs permettant de déterminer la masse d'ions  $\text{HCO}_3^-_{(aq)}$  présents dans l'échantillon, puis la masse d'ions  $\text{HCO}_3^-_{(aq)}$  présents dans un litre d'eau Contrex ;
- Un commentaire après comparaison avec les indications de l'étiquette de la bouteille d'eau.



## B – Obtention d'eau potable, traitements des eaux de rivière

- 1) Lire le document p 121 du livre et répondre par écrit aux questions.
- 2) Traiter l'exercice n° 8 p 128
- 3) Manipulations à expliquer

On se propose de travailler au laboratoire sur quelques aspects du traitement des eaux :

- Le traitement par charbon actif
- La floculation
- Le dessalage (d'eau de mer) par distillation

### a) Rôle d'un traitement au charbon actif

Une eau polluée à traiter, notée (E) est à votre disposition, considérez ses caractéristiques (odeur, couleur, ...)

Introduire environ 25 mL de (E) dans un bécher, ajouter une spatule de charbon actif en poudre, laisser agir 45 minutes (sous agitation) et filtrer (le protocole de filtration sera discuté)

Conclusions du test :

- quel(s) intérêt(s) présente le traitement au charbon actif ?
- Le traitement a-t-il provoqué un nouveau problème ?

Le résultat est-il prévisible compte tenu de la structure moléculaire du charbon actif (document C) ?  
(c'est une blague, mais il n'est pas interdit de réfléchir)

**Une petite partie du filtrat est gardée dans un tube à essais pour une comparaison ultérieure...  
(n'oubliez pas)**

### b) Traitement par floculation/coagulation

Principe :

L'introduction d'un agent de floculation/coagulation dans une suspension de particules très fines (pourquoi pas du charbon actif que nous n'aurions pas réussi à filtrer...) permet de modifier l'*état électrique* de la surface de ces particules et de permettre leur agglomération.

Les produits coagulants, par exemple des ions  $Fe^{3+}$ , permettent de fixer les particules (colloïdales) en suspension et de former des « floes » (des morceaux plus gros, évoquant des flocons) beaucoup plus faciles à décantier ou à filtrer (car ils sont de taille plus importante et flottent en général à la surface).

Manipulation :

On désire faire flocculer de l'eau très chargée en particules pour ensuite la traiter pour en faire éventuellement de l'eau de consommation. L'idéal ici est de faire flocculer l'eau obtenue à la suite de l'étape de traitement au charbon actif, c'est à dire de proposer une étape de plus de traitement à l'effluent initial (E).

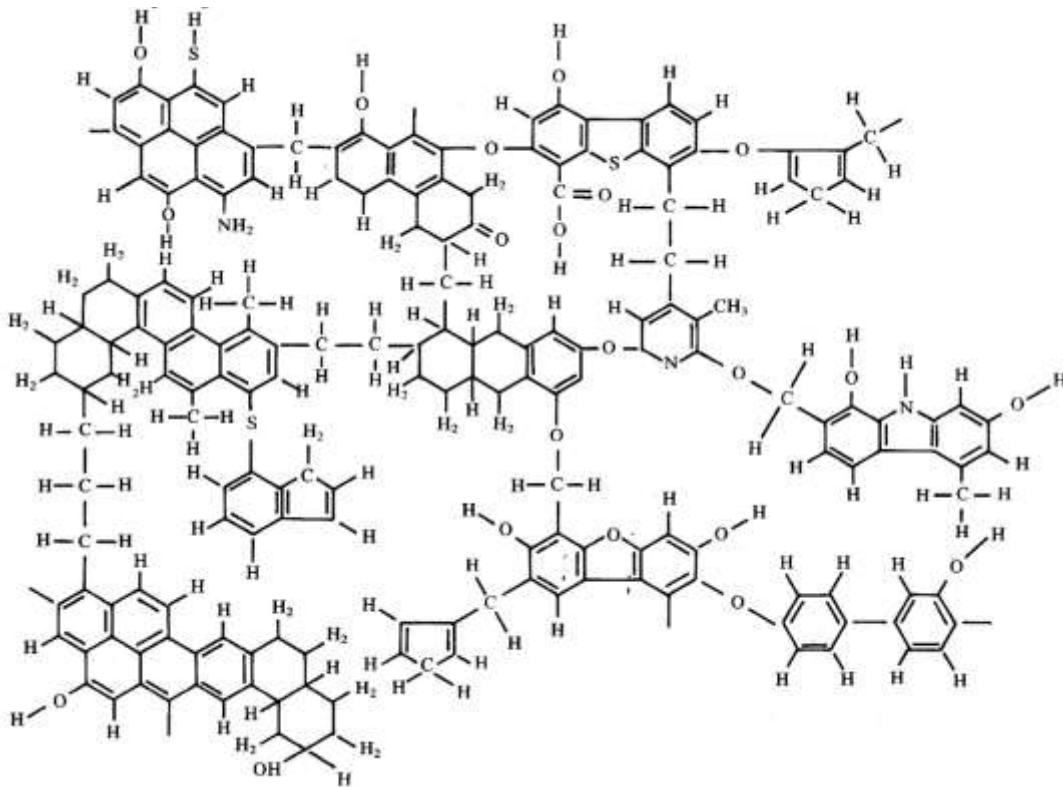
- Récupérer le filtrat obtenu suite au traitement de l'eau (E) au noir de C (sauf une partie laissée dans un tube à essais...)
- Ajouter quelques gouttes de flocculant (solution de chlorure de fer (III)) et agiter quelques minutes.
- Filtrer à nouveau le liquide.
- Observer le filtrat et le comparer au liquide obtenu après traitement au noir de C.
- Indiquer quel problème supplémentaire a provoqué l'ajout de flocculant, même si son action semble efficace. Proposer une amélioration du procédé.

### c) Dessalage de l'eau de mer par distillation

Modélisation au laboratoire d'une distillation d'eau salée.

- Observer le montage de distillation d'environ 150 mL d'eau salée. Matériel mis en œuvre : ballon bicol de 250 mL, olive aimantée, colonne à distiller, tête de colonne, réfrigérant, recette, chauffe-ballon agitant, élévateur, deux thermomètres (un pour le bouilleur, un pour la tête de colonne).
- Comparer les indices de réfraction de l'eau de mer, de l'eau distillée et de l'eau du robinet et commenter l'efficacité du procédé.
- A grande échelle quel est le principal défaut de ce procédé d'obtention d'eau potable ?

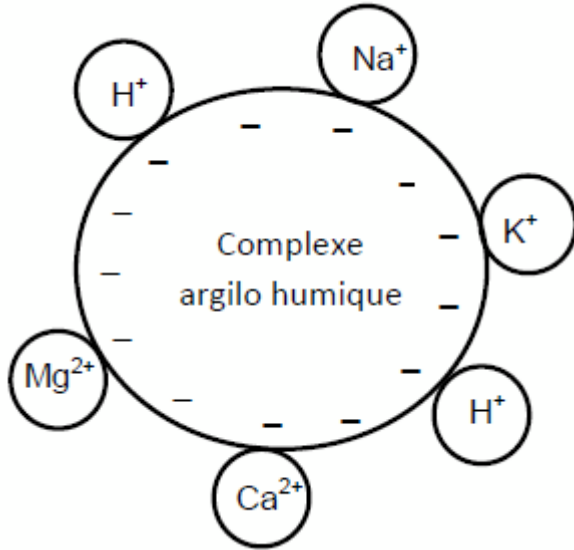
### Annexe doc C : aperçu de la formule du charbon actif (ou noir animal, ou noir de C)



*d) Un sujet de bac (Asie 2014)*

Monsieur X décide de partir vivre à la campagne. Sa maison, isolée, ne dispose pas d'eau de la ville mais d'une source qui peut lui permettre d'alimenter sa maison. Il fait donc procéder à diverses analyses de l'eau de sa source.

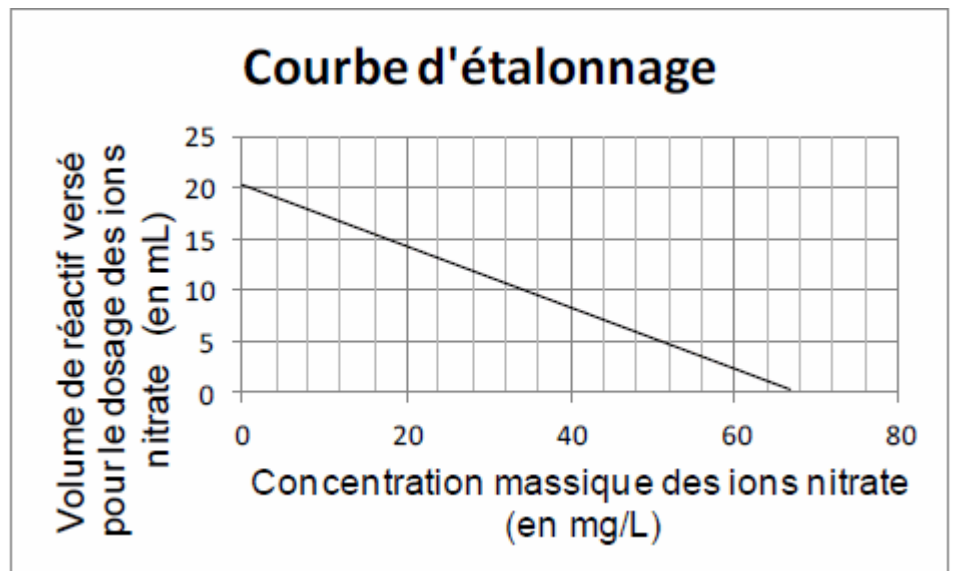
**Document 1 : schéma du complexe argilo humique :**



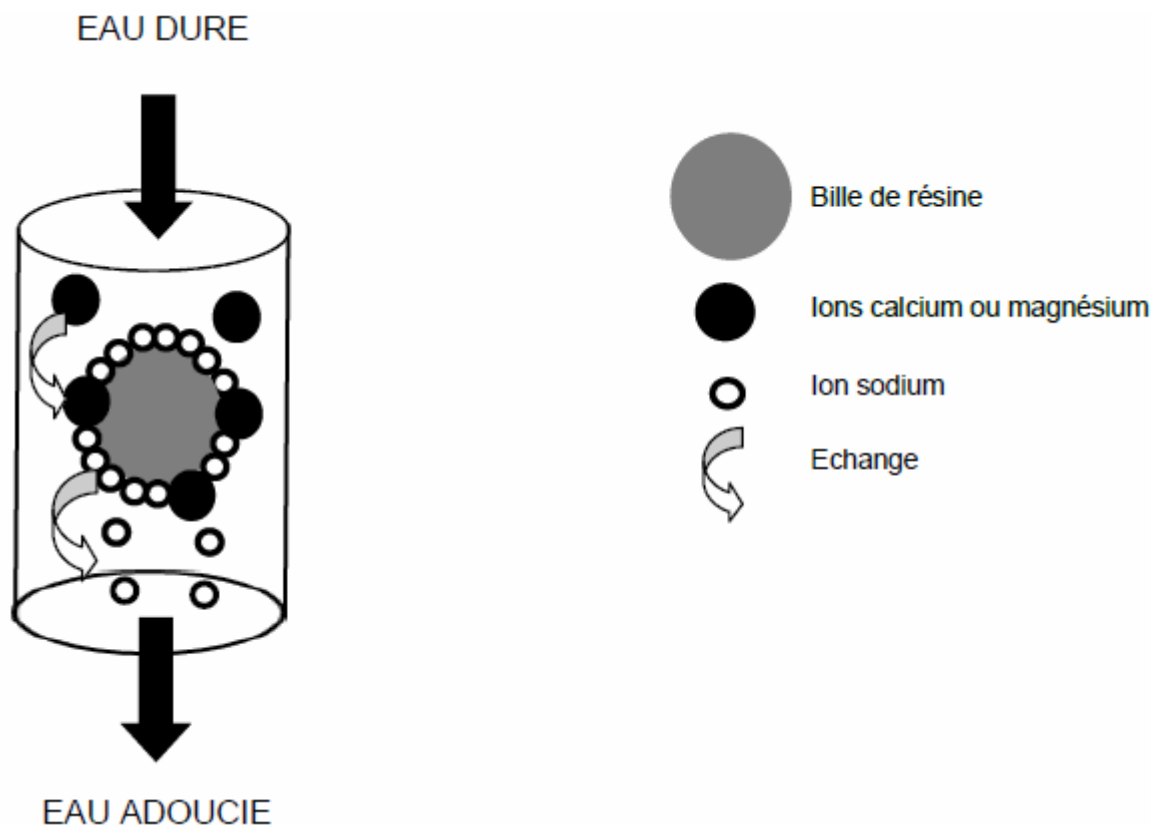
**Document 2 : critères de potabilité et analyse de l'eau du puits de Monsieur X.**

Paramètres physico chimiques	Valeur limite (en mg/L) Décret n° 89-3 du 03/01/89	Eau du puits (en mg/L)
Ion nitrate $NO_3^-$	50	
Ion calcium $Ca^{2+}$	50	350
Ion magnésium $Mg^{2+}$	150	200
Ion sulfate $SO_4^{2-}$	250	150
Ion sodium $Na^+$	150	150

Il est possible de déterminer la masse d'ions nitrate présents dans un échantillon d'eau en réalisant un dosage.  
La courbe d'étalonnage ci-contre fait lien entre le volume de solution de réactif versé pour le dosage et la concentration massique en ions nitrate



**Document 3 :** principe de fonctionnement de la résine échangeuse d'ions équipant un adoucisseur d'eau.



**QUESTIONS :**

**Question 1 :**

La source est proche d'un champ sur lequel un agriculteur répand régulièrement de l'engrais à base de nitrate. Pourquoi Monsieur X est-il inquiet pour la qualité de l'eau de sa source ?

**Question 2 :**

Vous êtes stagiaire dans l'entreprise qui réalise l'analyse de l'eau du puits de Monsieur X. Déterminez la concentration massique en ions nitrate de l'eau analysée à l'aide du document 2 sachant qu'il a versé 10 mL de réactif lors du dosage de l'eau du puits.

**Question 3 :**

En rendant les résultats d'analyse à Monsieur X, le technicien lui conseille d'utiliser un adoucisseur d'eau s'il veut utiliser l'eau de sa source mais lui précise qu'il ne pourra pas la boire. Argumentez le conseil du technicien.

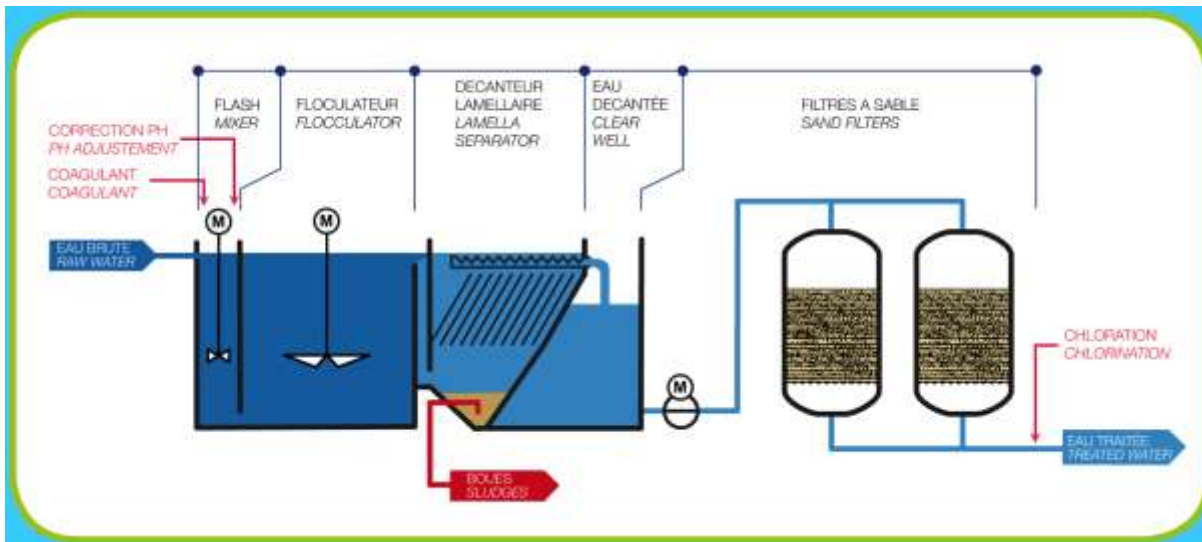
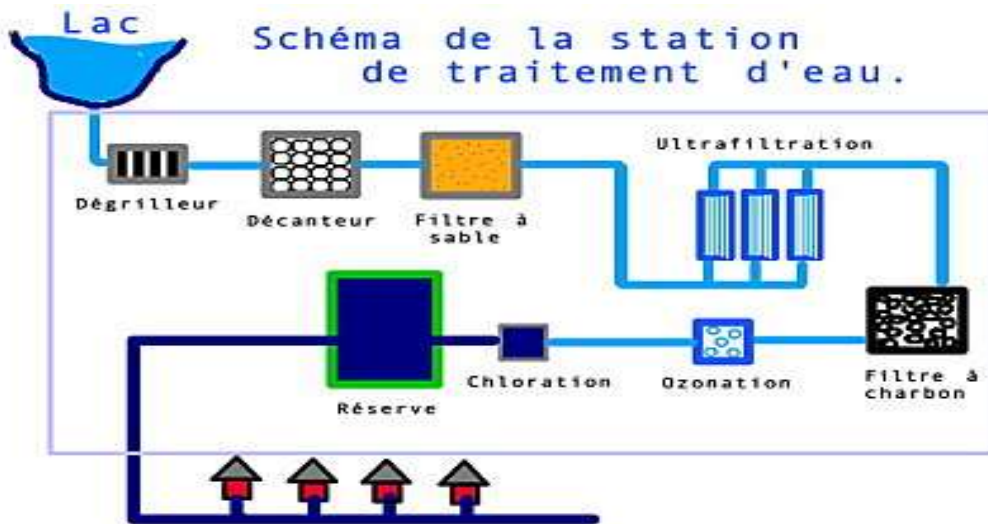
**D- A retenir**

De la même manière qu'il faut connaître les éléments N, P, K apportés par les engrais, vous devez connaître quelques ions présents dans les eaux potables :

- 1) Les ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  sont officiellement les ions responsables de ce que l'on appelle la dureté d'une eau. (plus il y en a, plus l'eau est dite « dure »)
- 2) Les ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  et hydrogénocarbonate  $\text{HCO}_3^-$  traduisent le côté calcaire de l'eau. Leur présence influence aussi le pH de l'eau.
  - a. Eau (légèrement) acide :  $\text{pH} < 7$
  - b. Eau (légèrement) basique :  $\text{pH} > 7$
  - c. Eau neutre :  $\text{pH} = 7$

Supplément (1) :

Schémas de stations de traitement des eaux : livre p 121 + deux exemples supplémentaires.



## Supplément (2) :

### Un autre sujet de bac (Amérique du nord 2014)

Il s'est vendu en France, 1,5 million de carafes filtrantes en 2008 et près de 2 millions en 2012. Pourquoi un tel succès ?

#### Document 1 :

Bien que l'eau du robinet soit potable en France, un grand nombre de foyers a choisi de la filtrer avant de la consommer. Les principales raisons sont l'odeur et le goût de chlore\*, la dureté de l'eau et éventuellement la présence d'ions nitrate. L'utilisation de ce type de carafes exige des précautions : il faut changer régulièrement les cartouches filtrantes et les manipuler avec des mains propres, la moindre contamination étant propice à la prolifération des microbes, surtout si l'eau est conservée à température ambiante.

L'adoucissement de l'eau du robinet par le filtrage permet de retarder le dépôt de calcaire, par exemple dans les bouilloires. L'association « UFC-Que Choisir » a publié en avril 2010 les résultats de plusieurs tests pour vérifier la pertinence de ce choix. Les tests s'effectuaient sur deux « populations » de carafes filtrantes utilisées dans des conditions différentes : la première population utilisée dans un laboratoire, la seconde population utilisée au domicile de 31 familles. Dans les deux cas l'utilisation a été faite avec de l'eau du robinet.

Dans le premier cas, les exigences d'utilisation attendues sont respectées et les résultats satisfaisants : le goût du chlore est éliminé, la dureté de l'eau est diminuée. Dans le second cas, les résultats sont alarmants : alors que la plupart des utilisateurs reçoivent une eau de robinet potable, l'eau filtrée, souvent conservée quelques jours, est dégradée.

Cela signifie qu'elle contient un fort développement microbien.

*D'après: Que choisir, avril 2010*

\* Le chlore dans l'eau est présent notamment sous forme d'ions hypochlorite et d'ions chlorure

#### Document 2 :

Les grandes alertes sur la dégradation de la qualité de l'eau du robinet lancées dans les années 1990 par « Que Choisir », pour les nitrates, puis pour les pesticides, ne sont plus d'actualité. Depuis, les stations de traitement se sont multipliées, les captages d'eau potable pollués par les nitrates et/ou les pesticides sont régulièrement abandonnés. Si les rivières et les nappes souterraines sont toujours très contaminées, la pollution de l'eau du robinet par les nitrates devient rare, et les dépassements de normes sur les pesticides peu fréquents.

*D'après: le site internet de Que choisir ?*

#### Document 3 : tests de présence d'ions dans l'eau

Ion testé	Solution test	Test positif si formation d'un
ions calcium	Oxalate de sodium	Précipité blanc
ions magnésium	Hydroxyde de sodium	Précipité blanc
ions chlorure	Nitrate d'argent	Précipité blanc
ions sulfate	Chlorure de baryum	Précipité blanc

## **QUESTIONS :**

### **Question 1 :**

Le filtre de la carafe permet de diminuer fortement la dureté de l'eau en retenant certains ions. Choisir parmi les ions suivants, les deux ions responsables de la dureté d'une eau : les ions chlorure, les ions sodium, les ions magnésium, les ions aluminium, les ions calcium.

### **Question 2 :**

Un utilisateur de ce type de carafe filtre son eau avant de la faire bouillir. Décrire ce qu'il observera sur la résistance chauffante de sa bouilloire lorsque le filtre ne sera plus efficace.

### **Question 3 :**

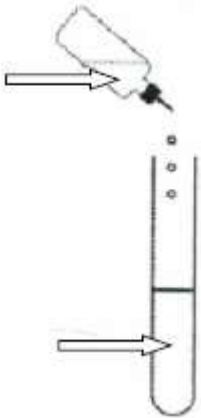
Dans la phase de traitement des eaux naturelles, on introduit du chlore.

a- Indiquer la raison de l'introduction de chlore.

b- Le filtre de la carafe éliminant le chlore (présent dans l'eau sous forme d'ions), indiquer la précaution à prendre pour conserver pendant un ou deux jours une eau filtrée.

### **Question 4 :**

On veut tester la présence d'ions chlorure dans une eau préalablement filtrée par la carafe.



a- Recopier et légender le schéma de l'expérience ci-dessus.

b- Lors de ce test, on a observé la formation d'un précipité blanc. Utiliser cette information pour évaluer l'état de fonctionnement de la cartouche filtrante.

### **Question 5 :**

Expliquer pourquoi à l'heure actuelle l'achat d'une carafe filtrante n'est plus utile pour se protéger des ions nitrate.

## Supplément (3) : une séance de dosage plus délicate

### Dosage de l'azote nitrique dans un engrais N-P-K

(dosage des ions nitrate dans cet engrais, responsable de l'élément azote (N))

#### I – L'ion nitrate, présentation

L'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est l'aliment azoté de base de la plante et la clé des rendements élevés. Les nitrates que les racines trouvent dans le sol ont trois origines principales :

- la dégradation de l'humus (les nitrates étant le stade ultime de la minéralisation de, par exemple un groupe amine contenu dans l'acide humique) ;
- la matière organique fraîche contenue dans le sol (résidus de récolte, engrais verts) et la matière organique fraîche ou compostée apportée comme fertilisant ;
- les engrais azotés chimiques.

Si les nitrates sont dangereux, ce n'est pas par eux-mêmes, mais parce qu'ils peuvent donner naissance à des composés beaucoup plus toxiques : les nitrites et les nitrosamines.

#### II- Manipulation

##### Principe :

- On a préparé 250 mL d'une solution  $S_1$  d'engrais contenant 2 g d'engrais. Tous les ions nitrate contenu dans ces 2 g d'engrais sont maintenant dissous dans la solution  $S_1$ .
- On prélève 20 mL de cette solution (qui contiennent donc 0,16 g d'engrais) et, dans un erlenmeyer, on les mélange à 20 mL d'une solution contenant 0,22 g d'ions  $\text{Fe}^{2+}$ .
- On ajoute au mélange 20 mL d'acide sulfurique concentré (**attention : précautions à respecter rigoureusement, voir pendant la séance**). Cette addition d'acide permet à la transformation souhaitée de se réaliser correctement.
- Le mélange est légèrement chauffé (**sur une plaque chauffante, là aussi, bien écouter les instructions**) pendant une dizaine de minutes. Cette opération de chauffage permet d'accélérer la transformation qui est en train de se réaliser : les ions fer réagissent avec les ions nitrate.
- L'ion nitrate contenu dans l'engrais réagit complètement avec les ions  $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$  apportés en excès (il vont faire réagir tous les nitrates et il va en rester à la fin).
- L'excès restant de  $\text{Fe}^{2+}$  est dosé en retour par une solution  $S_3$  d'ions dichromate  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  parce que l'on connaît une réaction qui marche bien entre ces deux espèces.
- Si la réaction sert au dosage, c'est qu'il ne faut pas balancer tous les ions dichromate au hasard, il faut les verser petit à petit et trouver l'état où l'on a apporté pile la quantité de dichromate nécessaire pour faire réagir tous les  $\text{Fe}^{2+}$  qui restaient. ***Il faudra disposer d'un moyen de détecter cet état du mélange (on l'appelle l'équivalence du dosage).***

##### Quelques données très utiles :

- 10 mg d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  peuvent faire réagir 3,7 mg d'ions nitrate.
- 1 mL de la solution d'ions dichromate permet de faire réagir 11,4 mg d'ions  $\text{Fe}^{2+}$ .
- Pour détecter le moment crucial de la réaction de dosage, on ajoute un indicateur (qui indique qu'il n'y a plus d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  dans le milieu, qui indique donc que l'on a apporté pile la quantité de solution de dichromate pour les faire réagir)
- Si dans un engrais il est écrit 5 % d'azote nitrique, cela veut dire que dans 100 g de cet engrais, 5 g d'azote sont apportés sous formes d'ions nitrate. On peut même aller plus loin en considérant que 1 g d'azote apporté correspond à 4,4 g de nitrates.



### III- Calculs

- Déterminer la masse de nitrate dans les 20 mL de solution  $S_1$ . Puis la masse de nitrate dans 2 g d'engrais.
- En utilisant les données, déduire du résultat précédent la masse, en g, d'azote N dans 100g d'engrais. Comparer avec l'étiquette.

*Séance suivante : activité classe entière d'après livre p 116-117 (voir doc scanné)*

*Annexe correction et mise en œuvre*

*Si engrais 5 % nitrique, 0,44 g de nitrates dans 2 g d'engrais (dans 250 mL de  $S_1$ )*

*$3,5 \cdot 10^{-2}$  g (35 mg) dans 20 mL de  $S_1$  qui sont censés réagir avec 95 mg de fer (II)*

*Il doit donc rester  $220 - 95 = 125$  mg de fer*

*Il faudra  $125/11,4 = 11$  mL de solution de dichromate pour atteindre l'équivalence.*

## Chapitre 3 Dans la cuisine

### I La dégradation des aliments et des organismes. Les antioxydants et les conservateurs

#### 1) Dégradation des aliments

##### **Présentation**

Les aliments, abandonnés sans être rapidement consommés, se dégradent : noircissement, durcissement ou ramollissement, dégradations plus avancées, (moisississement) etc.

##### **Travail demandé**

Proposer des pistes d'explication de ces phénomènes en abordant deux aspects :

- a) Les différents modes de dégradation en considérant la nature physique ou chimique, de la transformation. (*vous devrez donc au passage rigoureusement différencier une transformation physique et une transformation chimique*)
- b) Les paramètres influençant nettement ces dégradations

##### **Un petit doc pour aider :**

*« ... L'oxygène est un matériau extraordinairement dangereux, spécialement pour la vie, et on peut considérer que les êtres vivants qui l'utilisent jouent littéralement avec le feu. Respirer de l'oxygène a pratiquement le même effet que de s'exposer à un rayonnement et les dégâts causés sont de même nature. En effet, dans les deux cas, les dégâts proviennent de la formation de radicaux, (« radicaux libres » dans les pubs TV) entités chimiques ayant un nombre impair d'électrons. Dans le cas de l'oxygène, il se forme l'ion superoxyde  $O_2^-$ , radical obtenu par capture d'un électron. Ce radical produit ensuite la molécule très agressive de peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée)  $H_2O_2$  et les radicaux hydroxyde  $HO^\bullet$ , également responsables des dégâts dus aux rayonnements. On peut estimer que 1 à 2 % de l'oxygène utilisé par les cellules est transformé en ion superoxyde et que ce taux monte à 10% lors d'efforts violents. Cela ne semble pas énorme, cependant, en une année, notre corps produit environ 2 kg d'ions superoxyde, même si nous ne faisons pas d'exercice. Ce danger peut être vu autrement : les dommages produits par la respiration en une année sont équivalents à environ 10000 radiographies des poumons. Plus positivement, nous pouvons commencer à entrevoir comment les organismes vivants sont, inconsciemment, capables de se préparer à gérer la toxicité de l'oxygène, en apprenant à supporter les expositions aux intenses rayons du Soleil, car dans les deux cas, il faut s'attaquer aux mêmes radicaux... »*

Peter Atkins « le parfum de la fraise »

*Ce que ne dit pas le texte, c'est que les fameux radicaux libres formés sont des entités extrêmement instables prêtes à tout pour retrouver une structure à électrons tous appariés : ils cassent très facilement la plupart des liaisons des molécules présentes dans l'organisme, ce qui entraîne souvent des modifications irréversibles... Le vieillissement de l'organisme est un des aspects des dégradations causées par les radicaux libres.*

## 2) Les antioxydants

### *Présentation*

Les organismes contiennent des molécules dont le rôle est de lutter contre la formation de radicaux libres et ainsi de freiner le vieillissement de l'organisme. Étant donné ce qui a été décrit au paragraphe précédent, on peut nommer ces molécules des antioxydants.

Les antioxydants sont utilisés dans l'alimentation depuis des milliers d'années, mais leur rôle n'est réellement apprécié que depuis peu.

### *Exemples*

- l'acide ascorbique ou vitamine C.
- Le BHA. (2-tertiobutyl-4-méthoxyphénol) il agit en interrompant la réaction en chaîne au cours de laquelle l'oxygène donne naissance à des peroxydes puis à des radicaux. Il est présent en tant que conservateur dans de nombreuses huiles et graisses.
- Les épices (sauge, clou de girofle, romarin, thym)
- La vitamine E : empêche un organisme de rancir tant qu'il est vivant.
- etc.

### *Travail demandé*

- c) Expliquer comment travaille l'antioxydant pour empêcher la dégradation d'un aliment. (on veillera à apporter une réponse de chimiste, c'est-à-dire qu'il faudra probablement évoquer une réaction chimique dans laquelle intervient l'antioxydant).
- d) D'après l'introduction, les organismes « contiennent » les antioxydants... est-ce aussi le cas pour tous les aliments disponibles à la consommation ? Comment fait-on alors pour assurer une longue conservation ? (la question est très ouverte et peut être développée selon diverses pistes)
- e) Trouver des images d'étiquettes d'emballage d'aliments divers (boissons, yaourts,...) et identifier sur ces étiquettes le(s) conservateur(s) ou antioxydant(s). Si vous remarquez qu'un simple code désigne l'antioxydant, vous devrez pousser vos recherches et associer un nom d'espèce chimique (et pourquoi pas une formule) au code lu sur l'étiquette.

## Liban 2015

### Document 1 : expériences

On cherche à savoir quels facteurs influent sur le brunissement des aliments. Pour cela, on réalise une série d'expériences d'une durée de 24 heures avec des tranches de pomme, des rondelles de citron\*, des lentilles sèches, des morceaux de beurre frais et des tranches d'avocat.

*\*le citron est un fruit contenant de l'acide ascorbique (appelé aussi vitamine C)*

Les conditions expérimentales sont les suivantes :

**A** : aliments laissés à l'air libre et à température ambiante

**B** : aliments enveloppés dans du papier d'aluminium et à température ambiante

**C** : aliments enveloppés dans du papier film transparent et à température ambiante

**D** : aliments laissés à l'air libre, dans l'obscurité et à température ambiante

**Les rondelles de citron et les lentilles sèches n'ont subi aucune dégradation.**

Les résultats des autres expériences sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

	aliments			
		tranches de pomme	morceaux de beurre frais	tranches d'avocat
conditions expérimentales	A	brunissement saveur altérée	rancissement	brunissement saveur altérée
	B	pas de dégradation	pas de dégradation	léger brunissement saveur peu altérée
	C	peu de brunissement saveur altérée	peu de rancissement	peu de brunissement saveur altérée
	D	peu de brunissement saveur altérée	peu de rancissement	peu de brunissement saveur altérée

### Document 2 : étiquette d'une spécialité à base d'avocat frais

**Ingrédients** : avocat 92%, oignon frais, poivron frais, sel, oignon déshydraté, coriandre, acide ascorbique (E300), épaississant : alginat de sodium, acidifiant : acide citrique, piment jalapeno, ail.

**Conservation** : doit être conservé entre 0 °C et + 4 °C. Après utilisation refermez le pot à l'aide du couvercle, conservez au réfrigérateur et consommez dans les 24 h.

Conditionné sous atmosphère protectrice.

#### QUESTIONS :

##### Question 1 :

Le brunissement des fruits est dû à une transformation.

a- Nommer la transformation responsable du brunissement des fruits. Préciser s'il s'agit d'une transformation physique ou chimique.

b- Indiquer le nom et la formule de la principale molécule responsable de cette transformation.

##### Question 2 :

Exploitation du document 1.

a- Donner les raisons pour lesquelles les rondelles de citron d'une part et les lentilles d'autre part ne changent pas d'aspect.

b- Parmi les expériences A, B, C et D, nommer celles qu'il faut comparer pour mettre en évidence l'effet du facteur « lumière » sur le changement d'aspect des aliments.

c- Trouver un facteur (autre que ceux auxquels se réfèrent les questions précédentes) qui intervient dans le brunissement des aliments et proposer une expérience pour le mettre en évidence.

##### Question 3 :

Inventorier, à partir du document 2, trois méthodes utilisées pour augmenter la durée de conservation.

##### Question 4 :

À l'aide des réponses aux questions précédentes, proposer un protocole permettant de préparer une purée d'avocat à la maison (cette préparation devra se conserver de manière optimale le plus longtemps possible).

## Pondichéry 2015

Chaque dimanche, Monsieur Dufruit aime déguster un jus d'orange fait maison. Mais durant la semaine, il est toujours trop pressé : il cherche donc un équivalent en magasin. A son grand étonnement, le vendeur lui propose de choisir entre le jus X qu'il trouvera au rayon frais et le jus Y qu'il trouvera au rayon classique.

### Document 1 : Caractéristiques de différents jus d'orange

#### Document 1a : Comparaison des deux jus d'orange X et Y

	Jus d'orange de la marque X	Jus d'orange de la marque Y
Description faite par le Fournisseur.	Jus obtenu avec des oranges fraîchement pressées. Stabilisé par pascalisation*. Ne contient pas de conservateur.	Jus obtenu à base de jus d'oranges fraîchement pressées. Stabilisé par pasteurisation**. Ne contient pas de conservateur.
Conseils de conservation.	A conserver entre 0°C et +4°C.	A conserver à l'abri de la lumière et de la chaleur.
pH	4	4

\* : la pascalisation est un procédé de conservation consistant à augmenter la pression (à 500 MPa) pendant quelques minutes, à température constante.

\*\* : la pasteurisation est un procédé de conservation consistant à augmenter la température (à 95°C) pendant quelques secondes, à pression constante.

#### Document 1b : Une propriété enzymatique des jus de fruit

Comme tous les jus de fruit fraîchement pressés, le jus d'orange contient une enzyme la méthylestérase. Celle-ci est responsable de la formation d'un trouble dans le jus. Inactive en dessous de 4 °C, celle-ci a une activité maximale entre 50°C et 70°C. Au-delà de 85°C, elle est détruite. En revanche, la pression, même très élevée, n'a aucune action sur son activité.

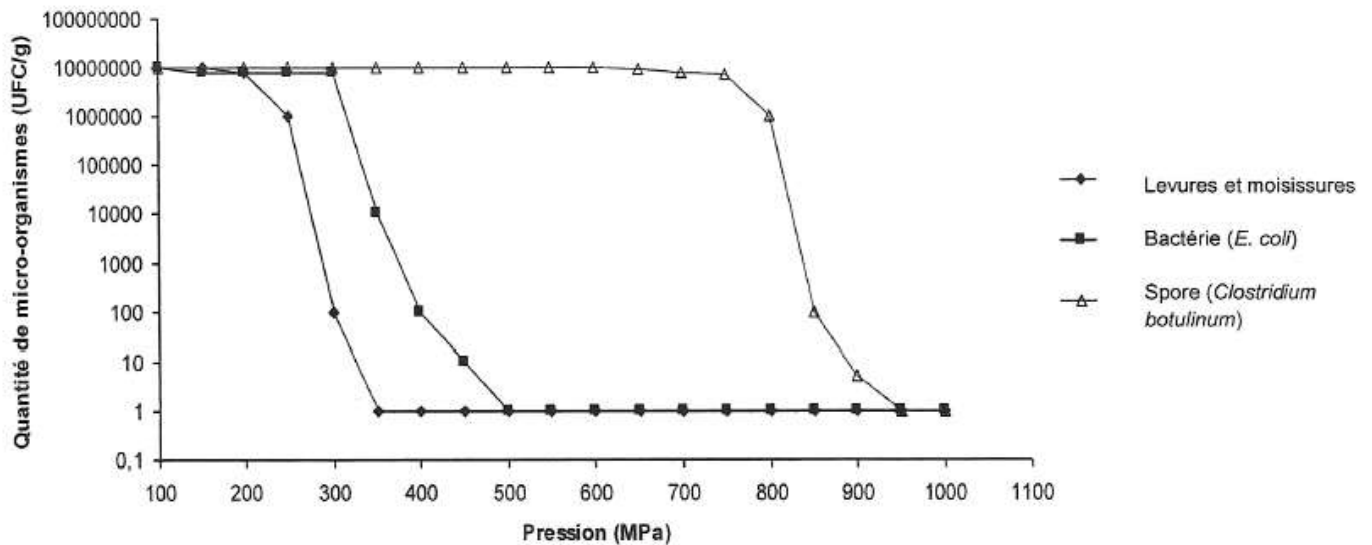
### Document 2 : Effet de la pression et de la température sur certains micro organismes

Les levures et moisissures peuvent altérer les propriétés organoleptiques des aliments. Certaines souches de bactéries *E. coli* sont responsables d'infections intestinales plus ou moins graves. Les bactéries *Clostridium botulinum* sont pathogènes : elles produisent une toxine paralysante. Elles peuvent se transformer en spores, formes résistantes inactives ; celles ci germent en bactéries dès que les conditions sont favorables (température supérieure à 10°C, pH supérieur à 5).

#### Document 2a : Effet de la température sur les micro-organismes

Micro-organisme	Température de développement optimal	Température de destruction
Levures et moisissures	Entre 25°C et 30°C	50°C
Bactérie <i>E. coli</i>	37°C	70°C
Bactérie <i>Clostridium botulinum</i>	37°C	80°C (supérieure à 120°C pour les spores)

## Document 2b : Effet de la pression sur les micro-organismes



UFC = Unité Formant Colonie

Source : [www.revmedvet.com](http://www.revmedvet.com)

### **COMMENTAIRE RÉDIGÉ :**

Monsieur Dufruit, un peu méfiant vis-à-vis des produits industrialisés, ne comprend pas pourquoi les jus du même fruit peuvent afficher des conditions de conservation différentes.

**Expliquez à Monsieur Dufruit qu'il peut consommer les jus de fruits X ou Y sans danger tout en justifiant les conseils de conservation de chacun.**

*Vous développerez votre argumentation en vous appuyant sur les documents et sur votre culture (qui intègre, entre autres, les connaissances acquises dans les différents champs disciplinaires).*

### (chapitre 3 « Dans la cuisine »)

## II - Emulsions, dispersions et mousses.

### Les émulsions

*Discussion souhaitable dès qu'un terme est présenté en gras et en italique.*

#### Introduction

Considérons deux liquides A et B non miscibles, c'est à dire qu'un mélange stable de ces liquides était un système de deux phases séparées par une interface horizontale.

**Etat 1, schéma 1 :**

En les agitant fortement nous avons dispersé toutes les molécules et créé une beaucoup plus grande **surface de contact** entre les deux liquides.

*(la notion de surface de contact peut être illustrée en comparant par exemple : un cube de matière, une grande sphère de matière, n petites sphères de matière)*

**Etat 2, schéma 2 :**

Cet **état 2** peut déjà être appelé **émulsion**.

Si après avoir cessé l'agitation, le mélange revient spontanément vers l'**état 1**, c'est qu'il est plus **favorable**. Qu'est-ce que cela veut dire d'un point de vue microscopique, à l'échelle de la chimie ?

Dans les liquides, les molécules sont proches les unes des autres, elles sont « liées » entre elles. (par des liaisons de différents types, moins fortes, par exemple, que les **liaisons entre atomes d'une même molécule**, elles entrent dans la catégorie « **liaisons intermoléculaires** ».)

Si les liquides A et B sont non miscibles, c'est tout simplement parce que les liaisons entre deux molécules de A ou entre deux molécules de B sont nettement plus fortes que les liaisons entre une molécule de A et une molécule de B.

Donc, comme l'état liquide autorise une certaine « mobilité », les molécules des deux liquides se disposent spontanément de manière à ce qu'il y ait le moins possible d'interactions A/B (et le maximum d'interaction A/A et B/B). C'est à dire que la **surface de contact** entre les deux liquides doit être la plus petite possible : **état 1 !**

## Intervention d'un tensioactif

L'apport d'une molécule **amphiphile** de tensioactif C prend donc tout son sens : une partie de cette molécule interagit fortement avec le liquide A, une autre partie de C interagit fortement avec le liquide B. On peut donc facilement imaginer deux molécules A et B qui ne peuvent plus s'éloigner l'une de l'autre parce qu'une molécule de C permet de les relier, accrochée à A par une de ses extrémités et à B par l'autre.

Remarque : comme la molécule C n'accroche qu'une extrémité d'elle-même au liquide A, on dit qu'elle s'**adsorbe** sur ce liquide (elle reste en surface, elle ne peut pas s'y plonger entièrement)

On peut donc envisager un **état 3**, dans lequel toutes les molécules A et B sont dispersées dans tout le liquide, grâce à la présence de nombreuses molécules de C « intercalées »...

Dans la réalité, il se forme des structures tout à fait spécifiques : des micelles.

### Micelles : schémas + recherches d'images.

*(il y a de nombreuses représentations de micelles de bonne qualité sur internet. Il suffit de taper le mot « micelle » en recherche d'images et on peut trouver ce qui nous intéresse... On peut aussi renvoyer à la partie SVT.)*

### Quelques émulsions et solutions micellaires célèbres (dans le domaine alimentaire)

- le lait : solution aqueuse de sucre dans laquelle est dispersée une phase huileuse de globules de graisse, cette dispersion étant stabilisée (formation de micelles) par des molécules de protéine (de la caséine, essentiellement) **adsorbées** sur les graisses.
- La vinaigrette : le vinaigre est la phase aqueuse dominante (continue) dans laquelle des gouttes d'huiles sont dispersées. L'émulsion obtenue peut être stabilisée par la présence de grains de moutarde qui s'accrochent à la surface des gouttes d'huiles dispersées.
- La mayonnaise : On commence par mélanger un jaune d'œuf, contenant des lipides (et des protéines) dans du jus de citron ou du vinaigre. On obtient déjà une émulsion d'huile (les lipides du jaune d'œuf) dans une phase aqueuse acide. En ajoutant progressivement de l'huile, on gonfle les gouttes de lipides dispersées, on peut voir cela comme si l'on formait de très grosses micelles qui, finissent par se « coller » les une aux autres, l'aspect du mélange devient alors plus pâteux et moins liquide : la mayonnaise est prête (quand elle est réussie).



## Annexes

### a) Reconnaître si des liquides sont miscibles ou non en observant leur formule.

Nous allons proposer une approche très simple.

Le liquide de référence est l'eau (formule H<sub>2</sub>O).

Si, dans la formule d'un liquide, il y a des atomes d'oxygène majoritaires ou en bout d'une chaîne courte, nous avons un liquide miscible avec l'eau

S'il y a une structure carbonée, essentiellement de la « chaîne », nous avons affaire à un liquide organique non miscible avec l'eau. (un liquide organique peut contenir des atomes d'oxygène « perdus » dans la chaîne, il restera non miscible avec l'eau)

Donc, si une molécule contient une structure oxygénée à une de ses extrémités et qu'elle est par ailleurs constituée d'une longue chaîne d'atomes de carbone... C'est un tensioactif !

b) *Quelques formules de tensioactifs* (dans lesquelles on reconnaît les deux parties, la partie **hydrophile** (*lipophile*), miscible avec l'eau, et la partie **lipophile** (*hydrophobe*), miscible avec les liquides organiques. On qualifie souvent ces molécules d'**amphiphiles**...

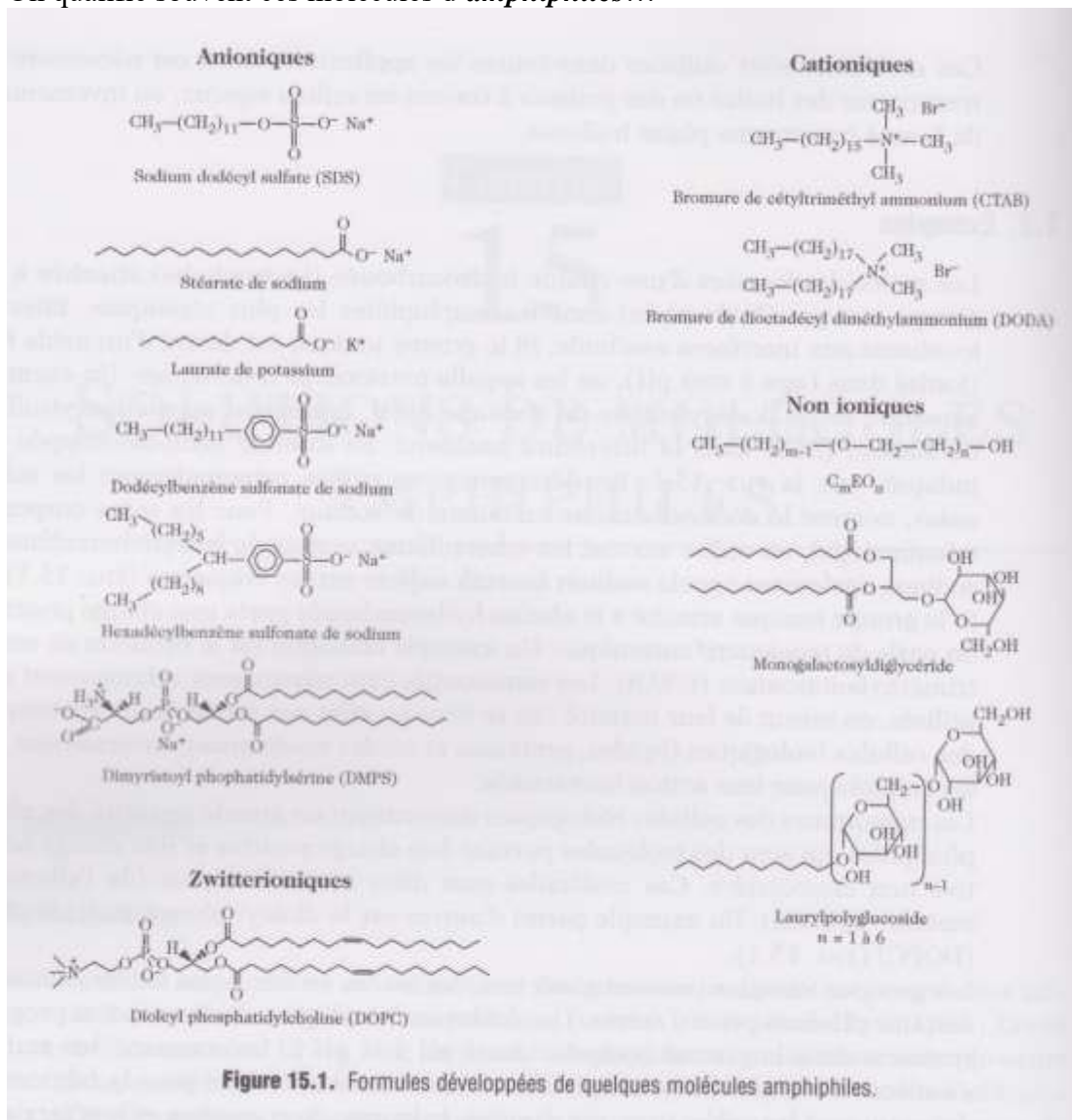


Figure 15.1. Formules développées de quelques molécules amphiphiles.

+ : schéma général d'un tensioactif à maîtriser :

## Conclusion, généralisation

Les solutions faisant intervenir des molécules **amphiphiles** sont plus généralement présentées comme des **dispersions**. Présentons-les en reprenant le vocabulaire très spécifique qui vient d'être défini.

Les **amphiphiles** dissous dans un liquide peuvent s'**adsorber** aux **interfaces** où ce liquide rencontre :

- des grains de solide, on a alors une **dispersion** (on utilise le terme le plus général) ;
- des gouttes d'un autre liquide, on stabilise alors une **émulsion** grâce à la formation de **micelles** ;
- des bulles de gaz, on obtient alors une **mousse**.

Lorsqu'une dispersion devient épaisse et coule moins, elle entre dans la catégorie des **gels**, mais c'est un autre histoire, c'est, par exemple, l'histoire du yaourt...

## Application : chocolat chantilly

[http://www.inra.fr/la\\_sciences\\_et\\_vous/apprendre\\_experimenter/questions\\_d\\_actu/2007/chocolat\\_chantilly](http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/apprendre_experimenter/questions_d_actu/2007/chocolat_chantilly)

Obtention d'une émulsion eau-chocolat puis d'une mousse au chocolat...

Phase aqueuse : de l'eau ! (on peut l'aromatiser)

Tensioactif : la lécithine présente dans le chocolat

Phase huileuse : le beurre de cacao du chocolat.

### a) Obtention d'une émulsion chocolat/eau

- On préchauffe l'eau (20 mL) dans un ballon ;
- On ajoute le chocolat (25g en tout par petites portions)
- On agite...

Le chocolat fond et, après avoir agité régulièrement, l'émulsion se forme, c'est à dire que, visuellement, le milieu reste homogène, même lorsque l'on cesse d'agiter (on ne voit qu'une seule phase et non, par exemple des gouttes d'un liquide en train de s'agiter au sein d'un autre liquide).

*Pour chauffer le mélange :*

- *Un ballon monocol à col large sécurisé ;*
- *On agitera par le col à l'aide d'un agitateur en verre ou, mieux à l'aide d'un barreau aimanté si l'on vous a fourni un chauffe ballon agitant.*
- *Le chauffage doit être suffisant pour faire fondre le chocolat dans l'eau, mais pas trop fort pour éviter l'ébullition de l'eau (perte d'eau-changement des proportions ; risque de cramer du chocolat au fond du ballon).*

*Des détails pendant la séance...*

### b) Obtention de la mousse

Versons le contenu du ballon, c'est à dire l'émulsion encore chaude, dans un bécher placé dans un environnement très froid depuis le début de la séance : un bain {eau+glace +sel}.

Alors il faut fouetter (oui ! avec un fouet de cuisine), c'est à dire agiter fortement en amenant un maximum de bulles d'air à se plonger dans l'émulsion. L'agitateur (le fouet) doit donc tourner rapidement afin de faire rentrer un maximum de bulles d'air dans l'émulsion. Le milieu refroidit, la température de **crystallisation** est atteinte et, cet effet se combinant à une agitation apportant efficacement des bulles d'air (qui vont rester piégées grâce aux molécules de tensioactif) : **la mousse se forme !**

### Document 1 : le chocolat-Chantilly, une mousse de chocolat

Qu'est-ce qu'une mousse au chocolat ? C'est une mousse de blancs d'œuf battus en neige à laquelle on ajoute du chocolat. Ne pourrait-on pas directement introduire des bulles dans du chocolat ?

Lors de la première étape, commençons par préparer une émulsion de chocolat en plaçant dans une casserole un peu d'eau, puis des morceaux de chocolat, en remuant et en chauffant l'ensemble. La matière grasse du chocolat forme une émulsion avec l'eau. Lors de la deuxième étape, il faut réaliser une mousse. Fouettons l'émulsion... en la refroidissant afin de faire cristalliser la matière grasse, ce qui stabilisera les bulles d'air dans la masse. L'opération est simple : on pose la casserole contenant l'émulsion de chocolat sur des glaçons ou dans un bac d'eau froide, et l'on fouette.

Le chimiste qui fait l'expérience voit d'abord des bulles qui sont progressivement divisées, puis à partir d'un certain stade, la préparation s'éclaircit (au microscope, on observe un grand nombre de bulles dans la préparation), et il faut alors fouetter plus vigoureusement, en cherchant à introduire le plus d'air possible... et en s'arrêtant dès que le fouet laisse des traces dans la préparation chocolatée.

*D'après: L'Actualité chimique - mai 2008 - n° 319*

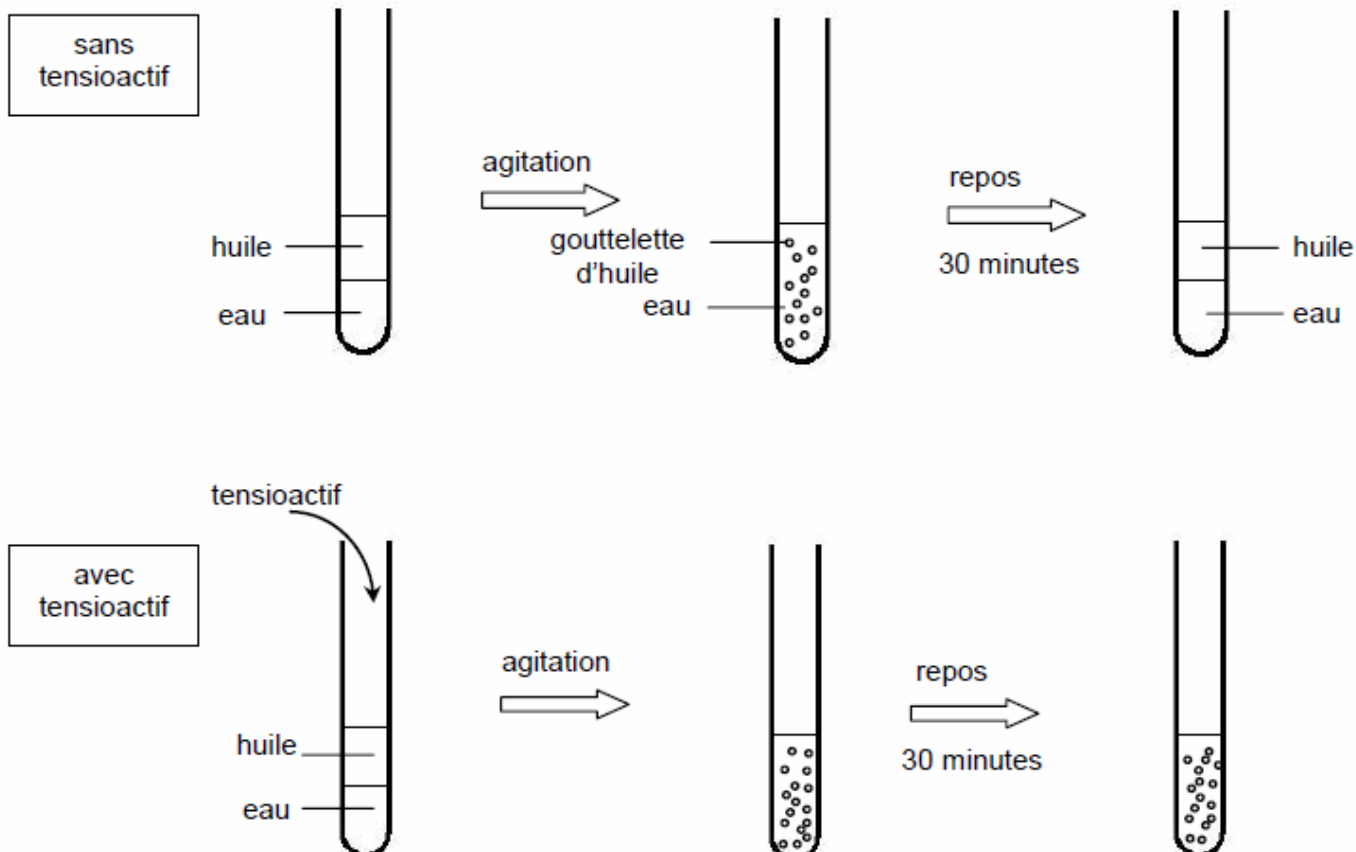
### Document 2 : composition d'un chocolat noir à pâtisser

**Chocolat noir supérieur.** Ingrédients : sucre, pâte de cacao, beurre de cacao, émulsifiant (lécithine de tournesol), extrait naturel de vanille. Traces : fruits à coque, lait.

Cacao : 52 % minimum.

Remarque : un émulsifiant tel que la lécithine est une molécule possédant une partie hydrophile et une partie lipophile.

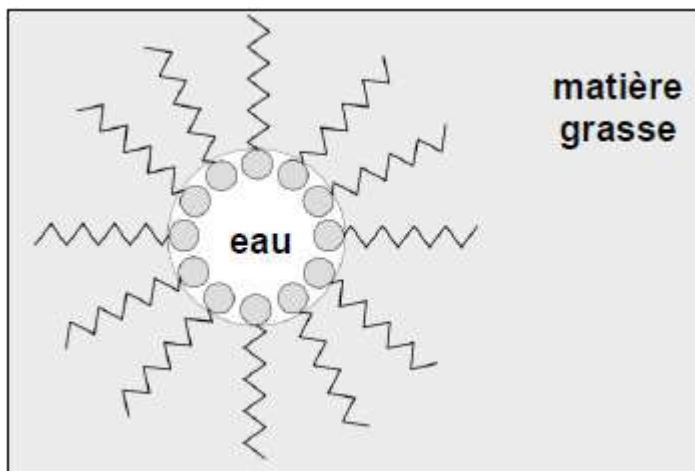
### Document 3 : expériences



**Document 4a : schéma d'une molécule tensioactive**



**Document 4b : schéma d'une micelle dans une émulsion « eau dans matière grasse »**



**QUESTIONS :**

**Question 1 :**

La première étape de la recette du « chocolat Chantilly » permet de réaliser une émulsion, de type « matière grasse dans eau ».

- a- D'après le document 2, préciser l'ingrédient qui joue le rôle de la matière grasse dans cette émulsion de chocolat.
- b- Justifier la nécessité de chauffer les morceaux de chocolat.

**Question 2 :**

À partir des expériences schématisées dans le document 3, décrire les observations et en déduire la condition de stabilisation d'une émulsion.

**Question 3 :**

Donner le nom de la molécule qui, avant refroidissement, permettra de stabiliser l'émulsion de chocolat.

**Question 4 :**

À partir du document 4,

- a- interpréter le rôle des molécules tensioactives dans la stabilisation de l'émulsion de chocolat.
- b- réaliser un schéma représentant une micelle de type « matière grasse dans eau » et placer les mots de légende : matière grasse, eau, partie lipophile et partie hydrophile.

**Question 5 :**

Lors de la deuxième étape (réalisation de la mousse), « on pose la casserole contenant l'émulsion de chocolat sur des glaçons ou dans un bac d'eau froide, et l'on fouette. »

Justifier la nécessité de fouetter le mélange et indiquer le rôle du refroidissement.