



LA CHIMIE DES EXPERTS





1. Introduction

Les objectifs de cet atelier sont de montrer l'importance des sciences dans le domaine policier, de distinguer méthode qualitative et quantitative en sciences et de mettre en pratique de nombreux points de matière du programme de 4^{ème} sciences générales.

- La manipulation sur l'extraction de l'ADN met en application l'UAA3 de biologie : Unité et diversité des êtres vivants ; partie 1 : « Recherche d'éléments communs à tous les êtres vivants ».
- Le test du Biuret et la recherche de l'anion mettent en application l'UAA4 de chimie : Identifier une espèce chimique par une réaction chimique et plus particulièrement « Déterminer les espèces chimiques présentes dans une solution à partir des espèces introduites ».
- La recherche de l'anion met en application l'UAA4 de chimie : Identifier une espèce chimique par une réaction chimique et plus particulièrement « Prévoir une précipitation à partir d'un tableau qualitatif de solubilité » et « Ecrire l'équation ionique pondérée d'une réaction de précipitation ».
- La recherche du cation constitue un rappel de l'UAA1 de chimie : Constitution et classification de la matière.
- Le titrage et les calculs qui en découlent permettent de travailler l'UAA3 de chimie : La réaction chimique : approche quantitative et plus particulièrement « Calculer une concentration molaire à partir d'une concentration massique et inversement ». Le titrage dépasse la matière habituelle de quatrième et il est donc normal que les élèves éprouvent des difficultés à faire les calculs.

L'activité est menée à partir d'une mise en situation basée sur une enquête. Pour lever l'énigme, les élèves doivent extraire leur propre ADN, réaliser des tests spécifiques d'identification de différentes substances et titrer une solution inconnue. Les manipulations peuvent être utilisées pour introduire la matière ou pour l'illustrer.

Le livret professeur reprend les points suivants :

- La liste du matériel et des réactifs nécessaires à la réalisation de cet atelier.
- Des conseils pour l'animation de l'atelier ainsi que le correctif du livret élèves.



2. Matériel et réactifs

Cet atelier est facilement reproductible en classe. Notez cependant qu'il est préférable d'effectuer la mise en évidence des cations (sels chauffés) sous hotte. Si vous n'en disposez pas, nous vous conseillons de faire cette manipulation en démonstration afin d'éviter que chaque groupe d'élève ne la fasse.

Le kit « La chimie des experts » est disponible, en prêt gratuit, à Scienceinfuse (Louvain-la-Neuve) et à la maison Georges Lemaître (Charleroi). Rendez-vous sur le site e-mediasciences.uclouvain.be pour toute demande de réservation. Notez que les petits gobelets, le sel et le lait ne sont pas fournis dans le kit.

Vous trouverez ci-dessous, la liste des réactifs et du matériel nécessaire à la réalisation de l'atelier avec 12 groupes de 2 élèves.

Matériel

- 24 petits gobelets
- 72 tubes à essai
- 12 portes tubes à essai
- 26 pipettes pasteur
- 4 becs bunsen
- Des allumettes
- 12 burettes de 25 mL
- 6 pipettes jaugées de 10 mL
- 6 propipettes
- 12 erlenmeyers de 250 mL
- 12 berlins de 50 mL
- 2 berlins de 100 mL
- 24 paires de lunette
- 1 bouteille de 0,5 L pour préparer la solution d'eau salée

Réactifs

- 12 compte-gouttes de détergent vaisselle
- Environ 20 g de NaCl solide
- 12 compte-gouttes d'éthanol dénaturé
- 12 compte-gouttes de solution déprotéinisante
- 12 compte-gouttes de solution de NaOH 30%
- 12 compte-gouttes de solution de CuSO_4 0,1 mol/L
- Environ 50 mL de lait
- 12 pissettes d'eau déminéralisée
- 12 compte-gouttes de solution à analyser (flacon trouvé ; solution de KCl 0,08 mol/L)
- 12 pulvérisateurs contenant des solutions de NaCl, KCl, BaCl_2 , NaBr, LiCl, KNO_3 , flacon trouvé
- 12 compte-gouttes de solutions de NaCl 0,1 mol/L
- 12 compte-gouttes de solutions de NaBr 0,1 mol/L
- 12 compte-gouttes de solutions de KNO_3 0,1 mol/L
- 12 compte-gouttes de solutions de KI 0,1 mol/L
- 12 compte-gouttes de solutions de KCl 0,1 mol/L
- 12 compte-gouttes de solutions de AgNO_3 0,1 mol/L
- Environ 300 mL de solution d' AgNO_3 de concentration connue (0,07 mol/L)
- Environ 300 mL de solution à analyser (flacon trouvé ; solution de KCl 0,08 mol/L)
- 4 compte-gouttes de fluorescéine

La solution déprotéinisante que nous utilisons est du liquide pour lentilles. Elle s'achète en grandes surfaces.

La solution à analyser est une solution de KCl 0,08 mol/L.

La solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour la mise en évidence des protéines est une solution concentrée (300 g/L ou 9,5 mol/L), nous vous conseillons donc le port des lunettes de sécurité.

Les solutions que nous utilisons dans les pulvérisateurs sont préparées en mélangeant des volumes égaux de solution aqueuse 0,1 mol/L et d'éthanol dénaturé.



3. Correctif du livret élève et pistes pour l'animation

Voici quelques conseils et remarques pour la réalisation de ce laboratoire. Le correctif des questions posées aux élèves est noté en italique.

a. Activité introductive

L'activité introductive a pour objectif de plonger les élèves dans l'enquête policière. N'hésitez pas à raconter une histoire, à leur demander ce qu'ils feraient, en tant qu'experts de la police scientifique, une fois arrivés dans l'appartement, etc.

Cette activité est l'occasion de rappeler ce qu'est l'ADN, de quoi il est composé, quel est son intérêt dans le cadre d'enquête policière, etc.

b. Extraction de l'ADN de la salive

i. Quelques notions théoriques

La molécule d'ADN a la forme d'une double hélice, elle ressemble à un escalier en spirale dont les marches sont constituées de bases azotées et les montants de sucre à 5 carbone (le désoxyribose) et de groupe phosphate.

L'ensemble sucre, phosphate et base azotée constitue un nucléotide ; l'ADN est donc un polynucléotide.

On estime que le patrimoine génétique d'un individu est constitué de 3 milliards de paires de bases. La molécule d'ADN mesurant 2 mètres.

C'est la séquence de ces paires de bases qui forme le patrimoine génétique unique pour chaque individu. Certains nucléotides se répètent plusieurs fois de suite, le nombre de répétitions varie d'une personne à l'autre et ce sont ces répétitions qui permettent de tracer un profil génétique de l'individu.

L'ADN est soluble dans l'eau, c'est pour cette raison qu'on ne le voit pas tant que nous sommes dans un milieu aqueux. On introduit du sel car, dans l'eau salée, une partie des molécules d'eau sont attirées par les ions (solvatation des ions), ce qui diminue le nombre de molécules d'eau disponibles pour « interagir » avec l'ADN et ses protéines (histones). Les interactions entre les protéines et l'ADN sont plus fortes et l'ADN enroulé autour de ses histones précipite (interactions hydrophobes). Ce processus est connu sous le nom de relargage.

L'ADN n'est pas soluble dans l'alcool, raison pour laquelle l'introduction d'éthanol fait précipiter l'ADN.

La solution déprotéinisante contient des enzymes qui s'attaquent aux protéines. Son rôle est donc de détruire les histones, protéines associées à l'ADN, afin d'obtenir de l'ADN pur.



ii. Conseils pour la mise en place de l'atelier

Nous vous conseillons de préparer une bouteille d'eau salée pour l'ensemble de la classe (environ 20 g de sel dans 500 mL d'eau) et de la répartir dans les petits gobelets.

Nous utilisons du liquide pour lentilles pour la solution déprotéinisante.

L'utilisation de petits gobelets (20 mL) est préférable afin d'éviter que l'ADN soit trop dilué et ne se retrouve pas, au final, dans le tube à essai.

L'introduction de l'éthanol dans le tube à essai doit se faire très délicatement car la solution aqueuse et l'éthanol ne doivent pas se mélanger. L'éthanol, moins dense que l'eau, va se superposer à la solution contenue dans le tube à essai s'il est introduit doucement. Il est conseillé d'utiliser de l'éthanol froid car la densité de celui-ci diminue avec la température (vous pouvez donc le mettre préalablement au congélateur) mais la manipulation marche également avec de l'éthanol à température ambiante. Lors de l'introduction de l'éthanol, vous observerez peut-être des petites bulles de gaz qui se forment ; celles-ci sont dues à la libération des gaz dans l'alcool qui se réchauffe.

Les filaments d'ADN s'observent à l'interface entre les solutions aqueuse et alcoolique. Habituellement, environ 10% des élèves n'obtiennent pas d'ADN. Les causes possibles sont multiples : ils n'ont pas arraché suffisamment de cellules buccales, ils n'ont pas prélevé d'ADN dans le tube à essai, ils ont versé l'éthanol trop brusquement.

iii. Réponses attendues

- *L'ADN se trouve dans le noyau des cellules.*
- *La longueur estimée d'une molécule d'ADN est de 2m pour un diamètre de 2 nm.*
- *Le détergent a pour objectif de d'émulsionner les lipides formant la membrane plasmique de la cellule. En effet, celle-ci est composée de nombreux phospholipides.*
- *L'ADN est soluble dans l'eau mais insoluble dans l'alcool.*



c. Analyse du flacon – présence d'insuline ?

i. Quelques notions théoriques

L'insuline étant une protéine, nous allons utiliser le test du Biuret qui est une réaction mettant en évidence les liaisons peptidiques et donc les peptides. Lorsque des ions cuivre(II) (venant de la solution de CuSO_4) sont mis en présence de protéines, un complexe coloré mauve ou violet se forme. En effet, les ions Cu sont complexés par les deux groupes carbonyles présents de part et d'autre d'une des liaisons peptidiques de la protéine.

ii. Conseils pour la mise en place de l'atelier

Au cours de cette manipulation, les élèves vont réaliser un témoin positif (solution contenant des protéines) et un témoin négatif (solution ne contenant pas de protéine) afin de pouvoir analyser le résultat qu'ils obtiennent lorsqu'ils effectuent le test du Biuret sur la solution à analyser.

Nous utilisons du lait pour le témoin positif. Compte tenu de sa péremption rapide, nous ne le mettons pas dans des compte-gouttes mais dans deux berlins dans lesquels l'ensemble des groupes viennent se servir.

La solution d'hydroxyde de sodium utilisée est assez concentrée. Nous vous conseillons donc l'utilisation de lunettes de sécurité.

Si le résultat obtenu par les élèves n'est pas cohérent, conseillez-leur de bien agiter leur tube à essai.

iii. Réponses attendues

| | Observations |
|------------------------------|--|
| Eau déminéralisée | <i>La solution a une couleur bleue</i> |
| Solution de protéines | <i>La solution a une couleur mauve</i> |
| Flacon trouvé | <i>La solution a une couleur bleue</i> |

- *Nous pouvons conclure que le flacon trouvé ne contient pas d'insuline. En effet, la coloration prise par cette solution est bleue et donc similaire à celle d'une solution ne contenant pas de protéine.*

d. Analyse du flacon : présence d'un cation ?

i. Quelques notions théoriques

Lorsqu'on chauffe un élément métallique d'un sel dans la flamme ou lorsqu'on applique une source électrique haute tension à un gaz, les atomes absorbent de l'énergie. Un atome possède dès lors plus d'énergie que dans l'état fondamental, il est dit « excité ». Grâce à l'énergie absorbée, un électron peut passer à un niveau d'énergie supérieure. Autrement dit, l'électron est propulsé vers une couche plus éloignée du noyau.

Mais l'atome excité est instable et revient rapidement à son état fondamental. L'électron retombe sur une couche proche du noyau. Lors de la chute de l'électron d'un niveau excité à un niveau inférieur, l'énergie absorbée est restituée sous forme d'énergie lumineuse.



Figure 1 – Couleur émise par les sels chauffés

ii. Conseils pour la mise en place de l'atelier

Comme pour l'expérience précédente, les élèves vont devoir comparer le résultat obtenu avec la solution à analyser aux résultats obtenus à l'aide de solutions témoins. Toutes ces solutions sont préparées en mélangeant des volumes égaux de solution aqueuse 0,1 mol/L et d'éthanol. **Les solutions contenant de l'alcool inflammable, il est nécessaire de rappeler les règles de sécurité aux élèves et de leur faire porter des lunettes.**

Il est vivement conseillé de réaliser cette manipulation sous hotte. Si vous n'en disposez pas, il est préférable que vous fassiez la manipulation en démonstration pour l'ensemble de la classe.

Il est intéressant de rappeler aux élèves que c'est le cation qui est responsable de la couleur de la flamme. Par exemple, lors de la pulvérisation du NaCl, nous observons une flamme de couleur orange. Cette couleur est due à la présence du Na⁺ (et non du Cl⁻), nous observerons donc la même couleur si nous pulvérisons une solution de NaBr.



iii. Réponses attendues

| Solutions | Observations (coloration de la flamme) |
|---------------------------------------|--|
| NaCl | Orange |
| KCl | Mauve |
| BaCl ₂ | Jaune |
| NaBr | Orange |
| LiCl | Rouge/rose |
| KNO ₃ | Mauve |
| Solution trouvée chez Karl | Mauve |

- *L'ion K^+ (ion potassium) se trouve dans la solution trouvée chez Karl. En effet, cette dernière prend la même coloration que celles contenant des ions potassium (KCl et KNO₃) lorsqu'elle est projetée dans la flamme.*

e. Analyse du flacon : présence d'un anion ?

i. Quelques notions théoriques

Une réaction de précipitation est une réaction au cours de laquelle le mélange de deux solutions aqueuses donne un composé solide appelé un précipité.

ii. Conseils pour la mise en place de l'atelier

La solution d'AgNO₃ fait des taches brunes sur la peau, les vêtements et les paillasses. Nous vous conseillons donc de protéger votre table de travail et de rappeler aux élèves de se laver les mains après la manipulation.

Les élèves s'attendent généralement à voir directement le solide au fond du tube à essai. Ils n'ont pas encore intégré le fait que le solide peut se trouver, dans un premier temps, en suspension dans la solution.

iii. Réponses attendues

| Solutions | Observations |
|---------------------------------------|--|
| NaCl et AgNO ₃ | Formation d'un précipité blanc |
| NaBr et AgNO ₃ | Formation d'un précipité blanc cassé, jaunâtre |
| KNO ₃ et AgNO ₃ | Pas de précipité formé |
| KI et AgNO ₃ | Formation d'un précipité jaune |
| KCl et AgNO ₃ | Formation d'un précipité blanc |
| Solution trouvée chez Karl | Formation d'un précipité blanc |

- L'anion mis en évidence est l'ion chlorure (Cl⁻) car le précipité formé lorsque l'on mélange le nitrate d'argent à la solution trouvée chez Karl a la même couleur que ceux obtenus lors du mélange de la solution de nitrate d'argent avec des solutions contenant l'ion chlorure (NaCl et KCl).
- En conclusion, la solution trouvée chez la victime contient du chlorure de potassium.
- Réponses de l'activité « pour aller plus loin »

| Solutions utilisées | Précipité formé | Equation ionique pondérée |
|---------------------------|-----------------|--|
| NaCl et AgNO ₃ | AgCl | $Ag^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}$ |
| NaBr et AgNO ₃ | AgBr | $Ag^{+}_{(aq)} + Br^{-}_{(aq)} \rightarrow AgBr_{(s)}$ |
| KI et AgNO ₃ | AgI | $Ag^{+}_{(aq)} + I^{-}_{(aq)} \rightarrow AgI_{(s)}$ |
| KCl et AgNO ₃ | AgCl | $Ag^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)}$ |

f. Analyse quantitative du flacon

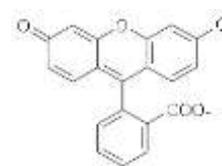
i. Quelques notions théoriques

Le titrage permet de déterminer la concentration d'une solution (dans notre cas solution de KCl). Pour cela, nous allons faire réagir les ions chlorure avec du nitrate d'argent en présence de fluorescéine. La concentration de la solution de nitrate d'argent est connue (solution titrante).

Si on ajoute de l'AgNO₃ à une solution de KCl, il se forme un précipité blanc de AgCl :



Afin de visualiser la fin de la réaction, on utilise un indicateur : la fluorescéine. Lorsque tous les ions Cl⁻ ont précipités sous forme d'AgCl, la première goutte de AgNO₃ en excès apporte des ions Ag⁺ qui peuvent à leur tour fixer certains ions négatifs, comme ceux de la fluorescéine. Or les ions absorbés ont une autre couleur que les ions libres (ici le virage est détecté par l'apparition de la couleur rose).



Formule de la fluorescéine

ii. Conseils pour la mise en place de l'atelier

Maintenant que nous savons ce que contient le flacon trouvé chez la victime, il reste à savoir si cela a pu le tuer. C'est l'occasion de discuter avec les élèves des facteurs qui déterminent la toxicité d'une substance. Très vite, les élèves diront que cela dépend de ce qu'elle contient et en quelle quantité. L'idée de quantifier le KCl est, en général, proposée par les élèves.

La solution d'AgNO₃ fait des taches brunes sur la peau, les vêtements et les paillasse. Nous vous conseillons donc de protéger votre table de travail et de rappeler aux élèves de se laver les mains après la manipulation.

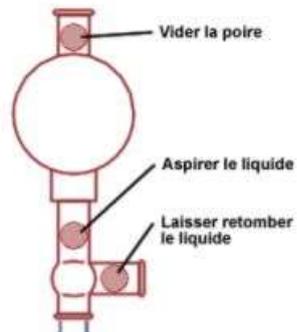
Nous vous conseillons de disposer la solution trouvée chez Karl dans un berlin afin que les élèves puissent venir y pipeter les 10 mL de solution à titrer.

Si vos élèves n'ont pas l'habitude d'utiliser une pipette jaugée et ou une burette, vous pouvez les renvoyer sur les pages :

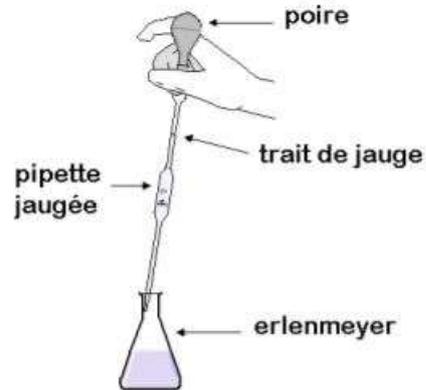
- http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy_chi/Menu/Activites_pedagogiques/cap_exp/Pdf/Pipette.pdf
- <https://e-mediasciences.uclouvain.be/ressource/chimie/laboratoire/documents-informatifs-illustratifs/3703>

Il peut également être utile de bien analyser l'image ci-dessous (présente dans leur document) avec eux. Notez que poire et propipette sont deux termes utilisés pour le même objet.

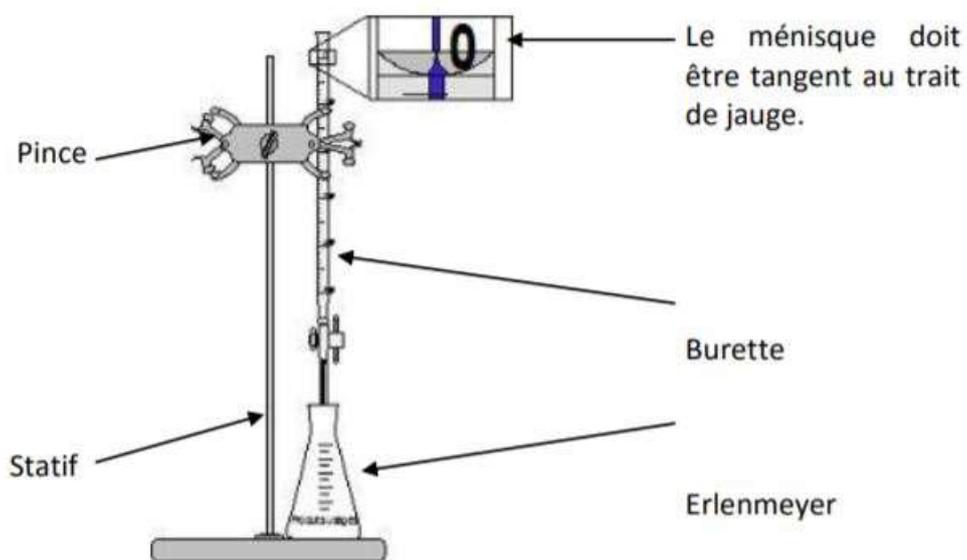
Utilisation de la poire



Prélèvement à la pipette



Montage pour le titrage

Figure 2 – Utilisation de la propipette, de la pipette et de la burette¹¹ UCLouvain – Ecole de chimie. Midweek de la chimie – la chimie des experts. 2019. page 11



iii. Réponses attendues

- Concentration de la solution d' AgNO_3 : 0,07 mol/L
- Volume d' AgNO_3 ajouté lors du titrage : 11,4 mL
- Calcul de la concentration en KCl
 $n(\text{AgNO}_3) = 0,07 \cdot 0,0114 = 7,98 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$
 $n(\text{KCl}) = 7,98 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$
 $C(\text{KCl}) = \frac{7,98 \cdot 10^{-4}}{0,01} = 0,0798 \text{ mol/L}$
 $C(\text{KCl}) = 74,5 \cdot 0,0798 = 5,95 \text{ g/L}$

g. Conclusion de l'enquête

Cette partie peut être compliquée pour des élèves de 4^{ème} car ils doivent résoudre un problème pour lequel ils ne disposent pas de toutes les données (du moins pas directement).

Ils ont calculé que la concentration en KCl dans la solution trouvée chez la victime est de 5,95 g/L. Par ailleurs, on leur dit que la dose létale 50 est de 2 500 mg/kg par voie orale et de 100 mg/kg en voie intraveineuse.

Ils doivent donc poser deux données : le poids de la victime et le volume de solution intégré. Prenons des valeurs « moyennes » telles qu'un poids de 75 kg et un volume de 25 cl.

$$\text{Dès lors, } m(\text{KCl}) = 5,95 \cdot 0,25 = 1,49 \text{ g}$$

$$\text{Quantité de KCl/kg} = \frac{1,49}{75} = 19,8 \text{ mg/kg}$$

Nous constatons que nous sommes bien en-dessous des valeurs de la dose létale 50.

L'hypothèse d'un empoisonnement au KCl est donc écartée.