

L'alambic et l'hydrodistillation

Nadia Ouahioune

© Éditions Le Pommier, 2009

Objectifs notionnels

Cycle 3

Connaître les noms des changements d'état.

Savoir qu'à chaque changement d'état est associé un changement inverse.

Propriétés solvantes de l'eau.

États et changements d'état de l'eau.

Collège, classe de cinquième

Propriétés solvantes de l'eau.

Techniques de séparation des constituants d'un mélange : filtration/distillation.

Notions de mélanges homogènes et hétérogènes.

Changements d'état de l'eau.

Référence au programme de sciences et technologie du cycle 3 de l'école primaire

« La matière : états et changements d'état de l'eau (fusion, solidification, ébullition, état gazeux, évaporation, condensation, facteurs agissant sur la vitesse d'évaporation) ».

Référence au programme de physique-chimie du collège (classe de cinquième)

« L'eau dans notre environnement, mélanges et corps purs. »

Liste du matériel pour une classe de 25 à 30 élèves : 6 ballons en verre, 6 bouchons de liège, une vrille pour percer les bouchons de liège, une

quinzaine de roses, séchées de préférence (ou un paquet de lavande séchée), une plaque chauffante, des morceaux de tissu, des filtres à café, de l'eau douce, de l'eau salée à 20 g/l, 6 morceaux de 60 cm de tuyau en plastique transparent, une casserole, un saladier transparent, des éponges ou chiffons, des bols, des petits pots transparents, des étiquettes autocollantes, des marqueurs permanents.

Boisées, fruitées, fleuries, ambrées... nous vivons dans un océan d'odeurs. Qu'elles soient agréables ou franchement déplaisantes, les odeurs fondent une part de l'identité du monde qui nous entoure. Elles participent à notre construction de la réalité et favorisent le réveil de nos souvenirs. La domestication des odeurs fut l'une des plus belles quêtes de l'histoire des techniques. Dès les premiers temps de l'Égypte ancienne, les hommes ont cherché à isoler les effluves innombrables des fleurs, des racines, des écorces ou des résines pour fabriquer onguents et parfums. Les premières techniques étaient rudimentaires : les produits dont on souhaitait récupérer l'odeur étaient broyés et bouillis puis imprégnés de matière grasse. On obtenait alors des sortes de pâtes aromatisées dans lesquelles l'odeur se trouvait comme piégée. Au fil des temps, les techniques s'améliorèrent et l'on découvrit que pour isoler une odeur (celle d'un végétal, par exemple), il était possible de l'entraîner « hors » du végétal grâce à des vapeurs d'eau ou d'alcool. L'alambic fut conçu sur les bases de la découverte de ce procédé, auquel on donna le nom de « distillation ».

L'alambic est donc un appareil qui permet de réaliser une distillation : il s'agit de séparer, par chauffage, dans une enceinte, les huiles aromatiques essentielles enfermées dans les fleurs, les feuilles, les racines, etc. La vapeur d'eau entraîne l'essence de ces substances puis la condense par refroidissement.

Un modèle rudimentaire d'alambic, un vase surmonté d'un couvercle en forme de cône, était déjà utilisé par les alchimistes chaldéens (II^e siècle avant J.-C.) pour préparer des parfums. Mais ce n'est que beaucoup plus tard, à partir de la fin du VIII^e siècle, que les alchimistes des pays d'Islam, en quête

de la pierre philosophale (*al-iksîr* en arabe, à l'origine du mot « élixir »), se sont passionnés pour le procédé de distillation et ont mis au point un appareil dont le principe de fonctionnement se rapproche beaucoup de celui des alambics utilisés actuellement.

Il était constitué d'un vase (la cornue) contenant le liquide aromatisé surmonté d'un bec qui aboutissait à un récipient. On chauffe le liquide contenu dans la cornue. Au bout de quelques minutes, des vapeurs aromatisées s'échappent de la cornue et sont conduites dans le bec. Celui-ci étant plus froid que l'intérieur de la cornue, elles se condensent pour couler sous forme liquide dans le récipient. Par exemple, dans le cas d'un mélange pétales de fleurs-eau, la vapeur d'eau produite entraîne les huiles essentielles qui se condensent ensuite et s'écoulent dans le bec.

À l'instar de leurs illustres prédécesseurs, les élèves vont être amenés à découvrir l'alambic en fabriquant des parfums d'eau de rose (ou de lavande). Cela demande d'introduire auparavant le principe de la distillation. Aussi, la séquence de classe proposée ici s'articule en trois temps :

- dans un premier temps, le problème de la désalinisation de l'eau de mer conduit à retenir la distillation comme technique de séparation des mélanges ;
- dans un deuxième temps, l'histoire de l'alambic et la contribution des savants des pays d'Islam à son perfectionnement feront l'objet d'une recherche documentaire ;
- dans un troisième temps, une approche plus technologique conduira les élèves à fabriquer un alambic simple permettant d'obtenir des eaux parfumées à partir de pétales de fleurs.



Comment obtenir de l'eau douce à partir de l'eau de mer ?

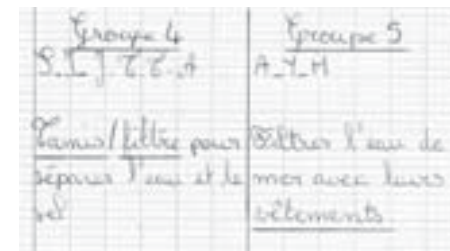
L'eau liquide représente 72 % de la surface totale de la Terre mais la presque totalité de cette eau (97 %) est salée. Très tôt, l'homme a donc cherché à la dessaler pour obtenir de l'eau douce et du sel. Déjà au IV^e siècle avant J.-C., Aristote proposait aux marins de distiller l'eau de mer pour obtenir de l'eau douce à partir de simples « bouilleurs » embarqués sur leurs bateaux. Ces bouilleurs reposaient sur un principe de distillation : l'eau de mer était chauffée dans une chaudière (laissant en dépôt les sels dissous) et la vapeur d'eau obtenue condensée pour obtenir une eau consommable.

Afin de bien mettre en évidence ce principe, nous avons choisi de faire travailler les enfants sur un mélange d'eau salée dont la concentration est proche de celle de l'eau de mer, c'est-à-dire 20 g/l. Ils pourront ainsi tester et éprouver par leurs sens son dessalement à l'aide de dispositifs simples qu'ils auront imaginés. Cette séparation permet d'isoler un dépôt de sel dans le fond de la cuve, alors que la vapeur d'eau est condensée au niveau du bec ou du chapiteau et l'eau douce récupérée dans un réceptacle.

Cette technique pourra être appréhendée par les enfants au travers du problème de marins de l'Antiquité qui échouent sur une île déserte, sans aucune source, ni réserve d'eau, et qui doivent trouver un moyen de s'abreuver. Beaucoup d'enfants savent que si on peut tenir quelques jours sans manger, il est nettement plus difficile de survivre sans boire. Cela les amène à réfléchir aux moyens dont disposaient les marins pour obtenir de l'eau douce. Les enfants pensent aux fruits riches en eau ou même à boire l'eau de mer. Mais cette dernière, à l'instar de l'eau sucrée, donne soif. Il faut donc envisager une autre solution : dessaler l'eau de mer !

Le problème étant posé, les élèves sont répartis en petits groupes. Ils discutent et notent sur une grande feuille leurs propositions. Celles-ci sont ensuite présentées par un des élèves du groupe à l'ensemble de la classe et résumées sous forme d'un tableau (une colonne par groupe) par l'enseignant. Une discussion avec la classe permet de ne retenir qu'une proposition par groupe et de lancer les enfants sur la conception de leur montage expérimental. Chaque groupe précise alors son expérience et le

matériel nécessaire. Les élèves reprennent sur leurs cahiers d'expériences les propositions de la classe et y formalisent l'expérience de leur groupe.



Extrait d'un cahier d'expériences reprenant les propositions des cinq groupes d'une classe de CM1 (les lettres majuscules correspondent aux initiales des prénoms des enfants).

Une fois le matériel rassemblé et distribué, les groupes réalisent les expériences qu'ils ont proposées. À l'issue de cette activité, les résultats de chaque groupe sont présentés à l'ensemble de la classe par un rapporteur. Aucune des solutions imaginées par les élèves ne permet de séparer l'eau du sel et de récupérer de l'eau douce. Le projet du groupe 2 est ingénieux mais ne répond pas à la question de départ. Les groupes 3, 4 et 5 obtiennent une eau toujours salée ; leurs projets permettent cependant d'introduire la notion d'expérience témoin. Les enfants se sont rendu compte que l'on n'obtient pas d'eau douce, mais qu'elle est devenue au contraire très salée et que son niveau a fortement diminué. C'est finalement le groupe 1 qui ouvre la voie vers le procédé recherché.

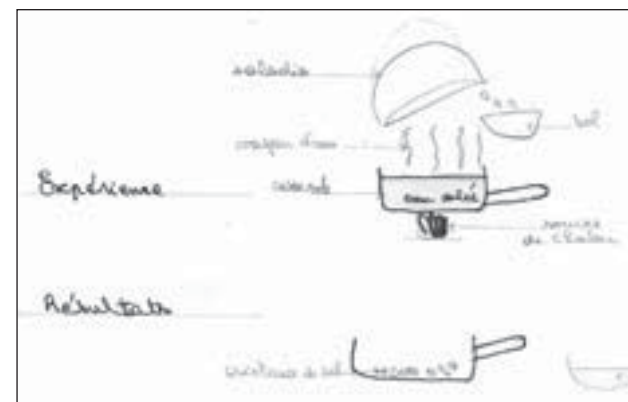


Le groupe 1 teste pendant trois jours une solution d'eau salée dans différentes conditions expérimentales

Dans cette expérience, deux récipients contenant respectivement de l'eau salée et de l'eau douce sont placés en différents lieux : dans la classe au soleil, dans la classe à l'ombre et à l'extérieur. Un trait au marqueur indique le niveau initial de l'eau (salée ou non) contenue dans chacun des récipients. Au bout de trois jours, les élèves constatent que le niveau d'eau a diminué dans tous les récipients et que l'eau salée est plus concentrée qu'elle ne l'était au départ. Or, puisque personne n'a ajouté de sel pendant ces trois jours, c'est que le sel se trouve moins dilué. De l'eau s'est donc évaporée sans emporter le sel qui, lui, est resté dans le récipient. Les élèves s'interrogent alors sur les moyens de récupérer l'eau évaporée et participent ensemble à l'élaboration d'un nouveau protocole expérimental.

Si les élèves ont déjà étudié les différents états de l'eau, ils ont sûrement appris que la vapeur d'eau peut être récupérée, notamment sur des parois froides. S'ils découvrent le sujet, on peut évoquer les gouttelettes d'eau qui apparaissent sur le couvercle d'une casserole ou sur une vitre quand on fait chauffer de l'eau. Dans un premier temps, les enfants essaient de récupérer

l'eau en reproduisant ce type de dispositif. Ils vérifient en la goûtant que l'eau n'est plus salée. Pour récupérer plus d'eau douce, ils proposent l'expérience suivante :



Pour laisser un temps aux élèves pour interpréter les résultats et décrire le processus sur leurs cahiers d'expériences, il serait souhaitable de revenir sur les différents états de l'eau et de préciser les principaux changements d'état mis en jeu dans leurs expériences, comme la vaporisation et la condensation. L'enseignant pourra également faire référence à des notions moins connues comme l'hydrodistillation et l'alambic. Ce dernier fera l'objet d'une recherche documentaire développée dans la seconde partie de cette séquence. À cette occasion, il conviendra de préciser aux élèves qu'il existe deux types de distillation : l'une simple qui consiste à séparer les composants d'un mélange (cas de l'eau de mer), l'autre qui repose sur un entraînement à la vapeur (cas de l'eau parfumée).

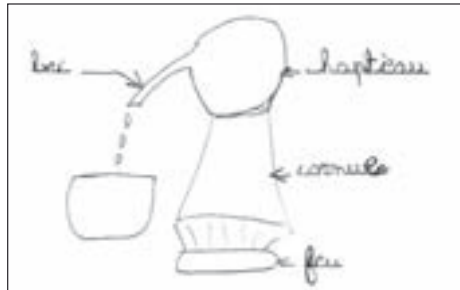
Découverte de l'alambic

La pratique de la chimie pendant l'âge d'or des sciences arabes faisait intervenir des instruments de laboratoire dont l'alambic était l'un des plus significatifs. La distillation à l'aide de l'alambic est une technique très ancienne dont on retrouve les traces dans de nombreuses civilisations (chinoise, égyptienne, grecque, romaine, etc.). Depuis, cette technique a été améliorée, théorisée et

industrialisée et elle offre encore de nombreuses applications dans la chimie d'aujourd'hui. Il existe très peu d'illustrations de cet instrument dans les manuscrits en langue arabe ou persane. C'est pourquoi, nous suggérons d'amorcer la recherche documentaire à partir du texte pour enfants qui met en scène la contribution du savant al-Râzî (865-925). La lecture de ce texte conduira les enfants à effectuer une recherche documentaire sur ce savant et sur sa contribution au perfectionnement de l'alambic. Ce sera l'occasion de se documenter sur les savants qui l'ont précédé, comme Aristote, et sur ceux qui lui ont succédé dans ce domaine. Deux savants des pays d'Islam, al-kindî et al-Zahrâwî pourront faire l'objet d'une recherche plus approfondie :

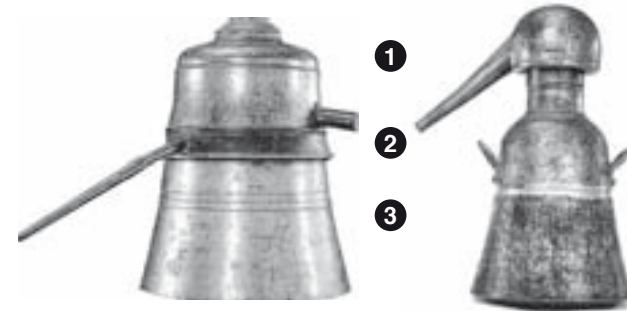
- Yaqûb al-Kindî (801-873), qui mit au point de nombreuses techniques de distillation à partir de plantes aromatiques ;
- Abû al-Qâsim Al-Zahrâwî (936-1013), qui utilisait, à son époque, un système de refroidissement.

La contribution des savants arabes sera illustrée par des dessins légendés de l'alambic.



Dessin de Claire (CM1 A, école D.-Renoult, Montreuil, 93)

Une nouvelle recherche documentaire réalisée par petits groupes d'élèves portera également sur l'alambic d'aujourd'hui afin de le comparer sur le plan aussi bien fonctionnel que structurel avec celui qu'ils ont dessiné. Cette activité permettra aux enfants de retracer une histoire de l'alambic en réalisant une frise chronologique qui met en regard l'évolution de cet appareil avec des événements marquants de l'histoire du monde. Il est possible de coupler ce travail avec une photo d'alambic ancien à légender accompagnée d'une liste de mots à rajouter : chaudron, cornue, bec, etc.



Deux alambics en cuivre du VI^e-XI^e siècle. Ces modèles proviennent de la collection du pharmacologue Turhan Baytop (1920-2002, Istanbul). Selon lui, ce type d'alambic était répandu chez les Turcs d'Asie centrale et d'Anatolie.

L'alambic à droite ne possède pas de réfrigérant

1 : Couvercle. L'alambic de gauche présente un couvercle permettant de refroidir les vapeurs aromatisées qui s'échappent lors du chauffage du liquide contenu dans le récipient du bas. Ce couvercle est appelé « réfrigérant ». Les parois sont refroidies par l'air ambiant.

2 : Chapiteau doté d'un col de cygne (bec). Dans l'alambic de droite, le chapiteau et le bec se trouvent à la place du couvercle.

3 : Chaudière.

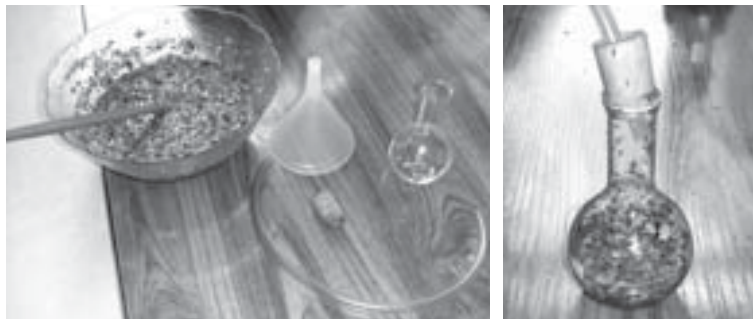
Quelle que soit l'époque considérée, on fera remarquer qu'il existe un principe commun à tout alambic : un récipient (appelé « chaudière », « cucurbite » ou « cornue ») dans lequel sont placés les ingrédients dont on cherche à extraire les arômes est surmonté d'un couvercle (chapiteau) muni d'un bec (ou col de cygne) par où se dégagent et se condensent les vapeurs. Certains alambics possèdent un dispositif réfrigérant qui permet une condensation plus rapide de la vapeur d'eau.

Fabrication d'un alambic et de parfums

Pour que les élèves comprennent bien le fonctionnement d'un alambic ancien, nous leur proposons de fabriquer un parfum à l'aide d'un alambic rudimentaire réalisé avec des matériaux simples : bouchons de liège, entonnoirs, ballons en verre, tuyaux transparents en plastique, éponges, chiffons, petits récipients pour récupérer le parfum, étiquettes, vrille, pots de confiture avec couvercles percés et non percés...

La rose est une fleur particulièrement odorante. Nous choisissons donc d'élaborer une eau parfumée à la rose. Il s'agit pour les élèves de trouver un moyen d'extraire le parfum de pétales de roses séchées rapportées en classe par le maître. L'étude documentaire leur permet d'imaginer un protocole expérimental pertinent, comme en atteste l'exemple ci-dessous.

L'expérience est alors réalisée : les fleurs séchées sont mises à macérer avec de l'eau dans un saladier. On prépare ensuite le matériel sélectionné pour réaliser l'alambic. Le mélange à distiller est versé dans le ballon à l'aide d'un entonnoir. Puis le ballon surmonté d'un tube suffisamment long (pour que les vapeurs aient le temps de se condenser), est placé sur la plaque chauffante. Pour favoriser le refroidissement des vapeurs, on peut entourer le tube d'un linge mouillé. Au bout de quelques minutes, le mélange d'eau et de pétales se met à bouillir. Des vapeurs s'échappent vers le tube où elles se condensent. De l'eau de rose est récupérée à la sortie du tube.

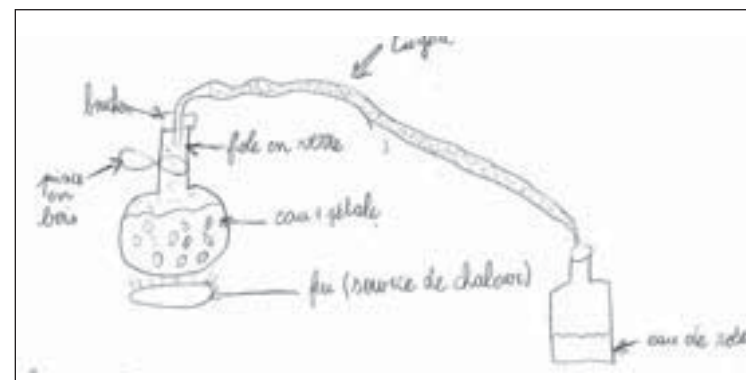


Montages proposés par les enfants de CM1 de l'école D.-Renoult (Montreuil, 93)

Recommandations importantes : Pour des raisons de sécurité, il serait préférable que :

- les bouchons de liège soient percés par le maître, à la demande des élèves ;
- le récipient contenant les roses (ou la lavande), donc destiné à être chauffé, soit en verre et tenu avec une pince en bois ; on choisira de préférence un ballon, plus facile à tenir avec la pince ;
- le chauffage avec une plaque électrique soit assuré par un adulte ;
- le récipient où sera recueilli le parfum soit transparent de manière à ce qu'il laisse voir la couleur du liquide obtenu et son évolution au cours du temps.

Les élèves sont ensuite invités à réaliser un dessin de l'expérience.



Dessin proposé par Sophie - CM1 de l'école D.-Renoult (Montreuil, 93)

Remarque : Les élèves obtiennent une eau parfumée mais pas à proprement parler une huile essentielle. Celle-ci nécessiterait une seconde distillation et une séparation par décantation.

L'animation proposée sur le site du projet vient utilement compléter l'expérience. Elle permet aux élèves de s'interroger sur les dimensions du bec, le système de refroidissement de ce dernier, le chauffage de la chaudière et la nature des plantes aromatiques utilisées. Pour prolonger ce travail, on pourra proposer aux élèves de décrire et de comparer des parfums, ou réaliser une recherche documentaire sur l'histoire des parfums et des techniques de fabrication.

Références bibliographiques

A. Y. Al-Hassan et D. R. Hill, *Sciences et techniques en Islam, une histoire illustrée*, Edifra-UNESCO, 1991, pp. 133-198.

A. Djebbar, *Une histoire de la science arabe*, Seuil, 2001, Chapitre 8, pp. 333-365.

F. Sezgin, *Science et technique en Islam*, tome IV, chapitre 8 : « Chimie et alchimie », Frankfurt, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, 2004, pp. 95-153.

Lexique

Condensation ou Liquéfaction : Transformation de la vapeur d'eau en eau liquide.

Décantation : Technique qui permet de séparer des particules en suspension dans un liquide ou un mélange de liquides de densités différentes. En laissant reposer ces solutions, les éléments les plus denses se déposent dans le bas du récipient.

Distillation : Consiste à séparer deux ou plusieurs corps dont les températures d'ébullition sont différentes.

Évaporation : Transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau à une température inférieure à 100 °C.

Hydrodistillation : Distillation à l'aide d'un alambic d'un mélange d'eau et d'une substance organique. La vapeur d'eau entraîne l'essence de cette substance et se condense dans le serpentín de l'alambic. Après décantation, on obtient une phase organique supérieure (arômes) dite « huile essentielle » contenant la majorité des composés odorants et une phase aqueuse inférieure (eau aromatique) qui n'en contient que très peu.

Vaporisation de l'eau : Transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau lors de l'ébullition (100 °C à la pression atmosphérique) se transforme.