Bouteille ouverte : un danger pour notre santé ?

Démarche scientifique appliquée à l’évaporation d’un solvant

Les documents suivants ont été proposés aux élèves lors des séances décrites dans la ressource « Bouteille ouverte : un danger pour notre santé ? », accessible depuis la page éduscol : <https://eduscol.education.fr/225/recherche-et-innovation-en-physique-chimie>.

Les ressources proposées sur cette page ont pour vocation d'explorer et de promouvoir des pratiques innovantes dans l'enseignement de la physique-chimie au collège et au lycée. Les activités qui y sont présentées intègrent régulièrement des résultats de travaux de recherche et ont été testées auprès d’élèves.

Afin de faciliter leur appropriation, chaque ressource inclut un scénario pédagogique détaillé, des extraits de travaux d’élèves analysés ainsi que l’ensemble des documents proposés lors de séances d’enseignement.

Elles ont été produites par le groupe de recherche et d'innovation pour l'enseignement des sciences physiques (Griesp).

Les documents sont au format texte modifiable afin que les professeurs puissent les adapter au contexte de leur établissement : répartition du programme dans le cycle, organisation prévue pour l’année, etc.

# Énoncé de l’activité élève

|  |  |
| --- | --- |
|  | Lorsqu’un liquide est renversé au laboratoire ou qu’une bouteille n’est pas refermée, il est important de connaître la vitesse d’évaporation du liquide ainsi que sa composition pour éviter une éventuelle intoxication. |

Dans une usine fabriquant des emballages, à Val-du-Maine, deux salariés ont été pris de malaises en 2019. L’enquête a permis de relever de fortes concentrations en éthanol dans l’atmosphère de l’atelier. Les causes étaient l’évaporation des solvants de nettoyage des sols et des conteneurs de solvants ouverts. *D’après ARIA, Ministère Écologie Énergie et Territoires.*

**Comment déterminer une vitesse d’évaporation afin de calculer la concentration d’un solvant dans l’air de la pièce ?**

Pour répondre à cette question, nous allons étudier la cohésion au sein des liquides et leurs vitesses d’évaporation.

### Document n°1 – cohésion dans les liquides et évaporation

Au sein d’un liquide pur, la cohésion intermoléculaire est assurée par des liaisons intermoléculaires plus faciles à rompre que des liaisons covalentes simples ou doubles. Les énergies des liaisons covalentes sont de l’ordre de la centaine de kJ·mol–1 contrairement aux énergies des liaisons intermoléculaires qui sont de l’ordre de la dizaine de kJ.mol – 1.

Parmi les liaisons intermoléculaires, il existe :

* les liaisons de Van der Waals qui s’établissent toujours, que la molécule soit polaire ou apolaire ;
* la liaison hydrogène lorsque la molécule possède un atome très électronégatif (comme l’azote, l’oxygène ou le fluor) portant un doublet non liant et lié à un atome d’hydrogène.

|  |  |
| --- | --- |
| *Figure : schéma d’évaporation de l’éthanol (noir : atome de carbone, rouge : atome d’oxygène, blanc : atome d’hydrogène)* | L’agitation thermique correspond à l’acquisition d’énergie cinétique par les molécules constituant le liquide. Certaines molécules qui parviennent en surface ont une énergie suffisante pour vaincre les forces de cohésion intermoléculaire et s’échapper dans l’atmosphère. |

On appelle évaporation, la transformation d’un liquide en vapeur à une température inférieure à la température d’ébullition du liquide ; l’évaporation se produit continuellement à la surface libre du liquide.

### Document n°2 – cohésion dans l’eau liquide

|  |  |
| --- | --- |
| Dans l’eau liquide, on retrouve les deux types de liaisons intermoléculaires : les liaisons de Van der Waals et les liaisons hydrogène. La liaison hydrogène résulte de l’attraction qui s’exerce entre la charge partielle d’un atome d’hydrogène H d’une molécule d’eau et la charge partielle négative d’un atome d’oxygène d’une autre molécule d’eau. Il s’agit d’une interaction d’origine électrostatique.  *Figure : liaison hydrogène (en pointillés) entre deux molécules d’eau* | Une image contenant diagramme, ligne, Police  Description générée automatiquement |

Plus généralement, la liaison hydrogène s’établit entre un atome très électronégatif, porteur d’un doublet non liant, et un atome d’hydrogène attaché à un autre atome très électronégatif

### Document n°3 – vitesse d’évaporation d’un liquide

L’Institut national de recherche et de sécurité (INRS) définit des indices de volatilité des solvants selon la norme NFT30-30[[1]](#footnote-1). Il étudie également l’influence de différents facteurs, comme la ventilation dans la pièce par exemple, sur la vitesse d’évaporation. On définit la vitesse d’évaporation d’un liquide comme le gain de masse de vapeur par unité de temps :

généralement exprimée en ou en

Cette vitesse, supposée constante, permet d’accéder à la concentration d’une substance dans l’atmosphère d’un espace confiné et d’évaluer les risques encourus par les usagers.

### Document n°4 – caractéristiques de l’éthanol et de la propan-2-one

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Éthanol | Propan-2-one |
| Formule développée | Une image contenant diagramme, conception  Description générée automatiquement |  |
| Formule brute | C2H6O | C3H6O |
| Masse volumique (g.L – 1) | 7,9 ×102 | 7,8 ×102 |
| Température d’ébullition  sous 1 bar (°C) | 79 | 56 |
| Pictogramme de sécurité | Une image contenant symbole, logo, Police, Graphique  Description générée automatiquement(A) | Une image contenant symbole, logo, Police, Graphique  Description générée automatiquement(A) Une image contenant symbole, logo, Police, Graphique  Description générée automatiquement (B) |
| Masse (g) limite d’exposition professionnelle dans l’air par m3 dans une pièce (pour une 8h d’exposition) | 1.9 | 1,2 |

### Document n°5 – électronégativité des atomes

Le tableau ci-dessous donne des valeurs d’électronégativité des éléments de la classification périodique dans l’échelle de Pauling.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H  2,20 |  |  |  |  |  |  |  |  | He |
| Li  0,98 | Be  1,57 |  |  | B  2,04 | C  2,55 | N  3,04 | O  3,44 | F  3,98 | Ne |
| Na  0,93 | Mg  1,31 |  |  | A  1,61 | Si  1,90 | P  2,19 | S  2,58 | 3,16 | Ar |

### Document n°6 – expérience réalisée

|  |  |
| --- | --- |
| Matériel : | Schéma de l’expérience : |
| * une balance de précision ; * un cristallisoir de diamètre 9,5 cm ; * un chronomètre * 100 mL d’éthanol ; * 100 mL de propan-2-one (couramment appelée acétone). | Une image contenant texte, capture d’écran, diagramme, ligne  Description générée automatiquement |

Protocole réalisé sous hotte aspirante :

* allumer la balance et réaliser la tare avec le cristallisoir utilisé ;
* verser le liquide (éthanol ou propan-2-one) dans le cristallisoir sur une hauteur de 1,0 cm ;
* mesurer la masse de liquide évaporée toutes les minutes pendant dix minutes.

### Document n°7 – résultats

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Liquide | Éthanol | Propan-2-one |
| Durée (min) | *m*évaporée(g) | *m*évaporée(g) |
| 0 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 0,01 | 0,02 |
| 2 | 0,02 | 0,04 |
| 3 | 0,03 | 0,05 |
| 4 | 0,04 | 0,07 |
| 5 | 0,05 | 0,09 |
| 6 | 0,05 | 0,11 |
| 7 | 0,06 | 0,13 |
| 8 | 0,07 | 0,15 |
| 9 | 0,07 | 0,17 |
| 10 | 0,08 | 0,19 |

Document n° 8 – incertitude d’une mesure à partir de N observations

La détermination d’une vitesse moyenne d’évaporation, notée , à partir de observations, permet d’évaluer l’écart-type associé à cet échantillon de mesures. Le résultat est présenté avec son incertitude-type dans la même unité et en gardant deux chiffres significatifs pour l’incertitude-type.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Vitesse moyenne | Écart-type | Incertitude-type |
| Expression |  |  |  |
| Commande Python | np.mean (*v*) | np.std (v, ddof = 1) |  |
| Commande LibreOffice | =MOYENNE(…) | =ECARTYPE(…) | =ECARTYPE(…)/RACINE(N) |

### Appropriation des documents

1. Préciser la signification des pictogrammes de sécurité (A) et (B).
2. Établir le schéma de Lewis des molécules d’éthanol et de propan-2-one.
3. Donner la géométrie autour de l’atome d’oxygène de l’éthanol en utilisant la théorie VSEPR.
4. Déterminer si l’éthanol et la propan-2-one sont des molécules polaires ou non en identifiant les liaisons covalentes polarisées avec l’écriture des charges partielles. *On négligera la polarisation des liaisons covalentes dont la différence d’électronégativité des atomes liés est inférieure à 0,4.*
5. Déterminer si la molécule d’éthanol peut réaliser des liaisons hydrogène. Si oui, représenter une liaison hydrogène entre deux molécules d’éthanol.
6. Déterminer si la molécule de propan-2-one peut réaliser des liaisons hydrogènes. Si oui, représenter une liaison hydrogène entre deux molécules de propan-2-one.
7. En déduire, d’après une étude des liaisons intermoléculaires au sein de chaque liquide, quelle flaque s’évaporerait la plus vite entre une flaque contenant de la propan-2-one et une flaque contenant de l’éthanol.

Exploitation des résultats expérimentaux

1. Confronter les résultats attendus avec les résultats expérimentaux obtenus. Conclure sur la validité de l’hypothèse réalisée à la question précédente.

*La démarche s’appuiera sur la détermination de vitesses d’évaporation et d’une évaluation des incertitudes à l’aide du programme ou du tableur fourni*.

1. Pour chaque étape de l’activité, découper et coller dans la marge une vignette de l’annexe correspondant à l’étape caractéristique de la démarche scientifique réalisée.

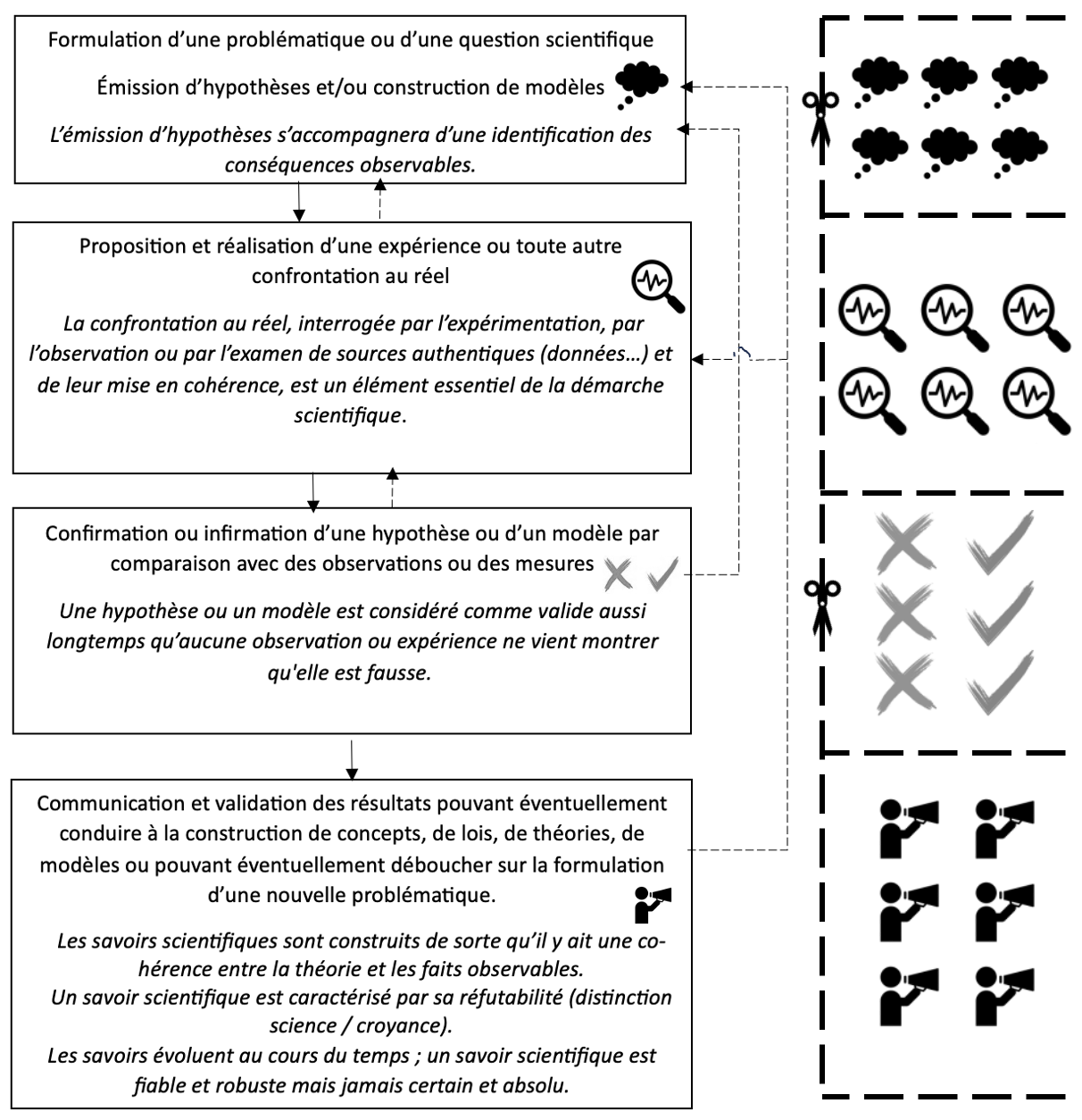
Une bouteille cylindrique, de diamètre 9,5 cm et contenant 2,5 L d’éthanol, est restée ouverte dans une salle de travaux pratiques de volume total 150 m3.

1. Déterminer la durée au bout de laquelle l’éthanol liquide s’est complètement évaporé dans la salle. Cette situation est-elle compatible avec les recommandations d’exposition professionnelle précisées dans le document 4 ?

# Caractéristiques des démarches scientifiques en physique-chimie

Pour produire des savoirs en physique-chimie, il est nécessaire de se fonder sur une démarche scientifique, qui est une démarche forcément validée par une communauté de chercheurs spécialisée dans un domaine scientifique donné.

Dans une description très simplifiée, cette élaboration de savoirs scientifiques met en œuvre les étapes caractéristiques suivantes, sans ordre prédéfini :



1. *D’après R. Braconnier, « Mesures du flux d’évaporation de liquides volatils dans des ambiances de travail », INRS note documentaire 2296, septembre 2008* [↑](#footnote-ref-1)