Titre de la séance

Que la force (de l'acide) soit avec toi.

Pourquoi une DI sur ce thème ? Quel enjeu pour cette DI et pourquoi ?

Cette DI a été proposée en baccalauréat technologique STAV, spécialité transformation du produit alimentaire, dans le cadre du module M8. Elle aborde les propriétés acido-basiques des solutions aqueuses avec les notions de pH, d'acides forts et d'acides faibles.

Extrait du document d'accompagnement du référentiel de formation, inspection de l'enseignement agricole, 27 février 2013

En outre, en physique et chimie, il s'agit de poursuivre les objectifs méthodologiques assignés à la classe de seconde au plan de l'enseignement expérimental par un échange permanent entre observation et théorie qui se nourrissent l'une de l'autre. Aussi, cet enseignement s'appuie sur une approche privilégiant la démarche expérimentale (la démarche d'investigation) toutes les fois que cela est possible, ceci favorisant la co-construction des savoirs et savoir-faire ainsi que l'acquisition de l'autonomie des élèves, indispensables à la poursuite d'études.

Objectif 1.1 - Caractériser les réactions des solutions aqueuses

1.1.1 - Définir les caractéristiques de solutions aqueuses

Mots clés : propriétés solvantes de l'eau, soluté, concentration

Des expériences de dissolution font l'objet de raisonnements sur les quantités de matière sans se limiter à des nombres stoechiométriques qui sont dans des rapports élémentaires.

1.1.2 - Décrire les caractéristiques des acides et des bases et des réactions acido-basiques

Mots clés : Brönsted, pH, caractère amphotère, pK_A, effet tampon, bilan de matière, dosages

La maîtrise du pH-mètre, les techniques de laboratoires (dissolution, dilution, dosage) et le choix de la verrerie restent cependant des compétences expérimentales essentielles.

Le caractère fort ou faible d'un acide ou d'une base (selon Brönsted) est mis en évidence par une étude expérimentale de la variation du pH en fonction de leur concentration molaire Ca ou Cb.

Cette DI permet à la fois de réinvestir des connaissances et des pratiques expérimentales étudiées en seconde (notions de concentration, densité et dissolution) et de mieux appréhender celles acquises sur les propriétés acido-basiques.

Pour l'enseignant, l'utilisation de cette démarche d'investigation permet de motiver les apprenants en leur laissant de l'autonomie par une approche qui doit permettre l'émulation dans le groupe par la confrontation des points de vue, l'explication des connaissances étudiées et l'émission d'hypothèses qui débouche sur l'élaboration d'un protocole expérimental et sa réalisation dans le but de répondre à la situation problème. Les compétences mises en jeu par les élèves sont l'élaboration et la réalisation de protocoles (dissolution, mesure de pH), l'exploitation d'une mesure (celle du pH), la réalisation et l'exploitation de calculs (C, -log C), l'analyse du résultat (comparer pH et –log C) et la communication orale et écrite. Pour l'enseignant, il s'agit d'accompagner et de guider les élèves dans leur démarche, en trouvant la juste mesure pour gérer l'avancée des groupes.

Contexte

La DI d'une durée de 1h30 a lieu au laboratoire de chimie avec 4 groupes de 4 élèves.
Sous la hotte, se trouve un flacon d'acide éthanoïque et un bécher.

Le reste du matériel à prévoir se trouve dans une pièce annexe, il s'agit de pH-mètres et leurs solutions d'étalonnage, de papier pH, d'eau distillée, de pipettes de volumes diverses avec leur système de pipetage, de fioles jaugées de différentes contenances et de béchers.

Le document élève

QUE LA FORCE (DE L'ACIDE) SOIT AVEC TOI !

Sous la hotte, Marc et Julie trouvent une bouteille d'acide dont l'étiquette est reproduite ci-dessous :

Acide acétique 100 % ultrapur
NORMATOM ™

CH_3COOH Masse molaire M = 60 $g.mol^{-1}$
Densité d = 1,05

Marc affirme que l'acide éthanoïque est un acide fort alors que Julie est persuadée, au contraire, que cet acide est faible. Comment donner raison à l'un ou à l'autre en effectuant une vérification expérimentale ?

Analyse de la situation proposée aux élèves

La situation a pour but d'utiliser la propriété pH = - log C pour un acide fort afin de vérifier si l'acide éthanoïque est un acide fort ou faible. Ceci implique de trouver la concentration C en utilisant la masse molaire et la densité indiquées sur l'étiquette. L'enseignant a choisi d'utiliser une solution ultra concentrée, ce qui induit des questions de sécurité au niveau du pipetage mais cela permet de réinvestir la notion de densité et de calculer la concentration. D'autre part, comme l'étiquette indique que le produit est 100 % ultrapur, cela exclut une mesure directe du pH. L'élève doit donc effectuer une dissolution raisonnée pour être dans une gamme de pH mesurable par le pH-mètre et qui permette la validité de la formule pH = - log C pour un acide fort.

L'analyse du déroulement de la séance

Présentation de la situation-problème (5 minutes)

L'enseignant fait installer les élèves par groupe de 4. Les élèves s'installent rapidement car dans l'établissement, ils sont habitués au travail collectif et les groupes sont les mêmes dans différentes matières. Ils savent également qu'ils ont droit au cours lors des séances de travaux pratiques. L'enseignant précise que le compte-rendu de l'activité sera ramassé à la fin de la séance mais il ne sera pas évalué puis il distribue le document élève. Celui-ci est lu à voix haute pour l'ensemble de la classe.

Appropriation du problème par les élèves (15 minutes)

Un temps de réflexion sur la situation problème est laissé à chaque groupe d'élèves. L'enseignant peut répondre à des questions mais n'intervient pas spontanément. Il écoute simplement au gré de ses déplacements. Certains élèves partent des données de l'étiquette et s'interrogent sur la signification des grandeurs, notamment la densité. Ils finissent par questionner l'enseignant. D'autres élèves parlent de mesurer le pH et de le comparer à -log C. Ils se lancent alors dans le calcul de C en essayant de trouver des formules de calcul. Ils butent aussi sur la notion de densité et son lien avec la concentration.

Mise en commun des méthodes et choix d'une stratégie (15 minutes)

Chaque groupe présente la méthode qu'il entend mettre en œuvre sans forcément entrer dans les détails. Tous disent, de façon plus ou moins similaire, qu'il faut comparer – log C et pH mais certains ne savent pas comment calculer C et d'autres parlent de calculer pH en utilisant un pH-mètre, ce qui suppose qu'ils veulent plutôt dire mesurer. Une mise au point de l'enseignant est donc nécessaire sur l'utilisation d'un vocabulaire adapté et le rappel des définitions de densité et de concentrations. Les élèves sont également invités à donner collégialement la signification du pictogramme de sécurité suite à la question d'un élève sur la dangerosité de la solution.
La stratégie choisie à l'issue de cette mise en commun est de calculer la concentration, mesurer le pH puis comparer - log C et pH.

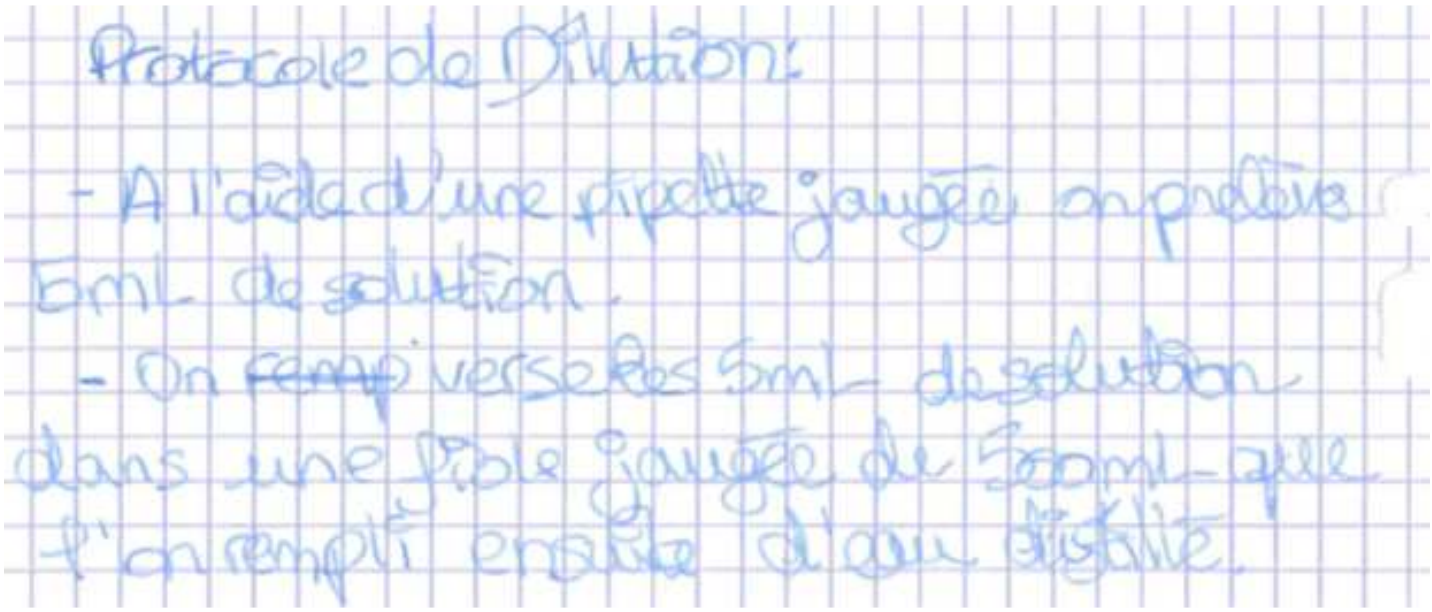
Recherche de la concentration ou réflexion sur la mesure du pH (15 minutes)

Les élèves sont à nouveau laissés en autonomie pour chercher la valeur de la concentration massique puis celle de la concentration molaire. L'enseignant intervient ponctuellement pour des problèmes d'unités. Certains élèves trouvent la bonne valeur ($C = 17,5$ mol.L^{-1}) mais en calculant – log C et en trouvant une valeur négative, ils pensent s'être trompés. D'autres réfléchissent sur la mesure du pH et demandent du papier pH pour faire une mesure. Ils trouvent une couleur orangée soit un pH compris entre 2 et 3. L'enseignant intervient alors pour les questionner sur la fiabilité d'une telle mesure mais surtout sur le fait de trouver une valeur de pH alors que l'acide est ultrapur donc théoriquement sans présence d' ions H_3O^+ !
L'enseignant s'assure que chaque groupe a trouvé la bonne valeur.

Réflexion sur la dissolution et proposition d'un protocole (15 minutes)

L'enseignant fait une intervention générale pour indiquer la valeur de C trouvée et en profite pour engager une réflexion collective sur la mesure du pH. La notice du pH-mètre est fournie pour trouver la gamme de pH mesurable et faire comprendre aux élèves qu'une dissolution dans l'eau est nécessaire, mais qu'elle doit être raisonnée. Une concentration maximale de 0,2 mol.L^{-1} est imposée par l'enseignant. Chaque groupe réfléchit alors de son côté pour proposer un protocole. L'enseignant valide alors chacun des protocoles et fournit le matériel demandé.

Exemple de protocole :


Protocole de Dilution:

- A l'aide d'une pipette jaugée on prélève 5mL de solution.
- On ~~remp~~ verse les 5mL de solution dans une fiole jaugée de 500mL que l'on remplit ensuite d'eau distillé.

<u>Réalisation de la dissolution</u> (10 minutes)

Les élèves réalisent la dissolution selon le protocole choisi. Par exemple, certains choisissent une pipette de 5 mL et une fiole jaugée de 500 mL, d'autres, une pipette de 10 mL et une fiole jaugée de 1 L. Chaque groupe voyant le matériel de l'autre, une discussion s'engage parfois sur le choix effectué. La manipulation a lieu sous la hotte avec gants et lunettes en présence de l'enseignant afin que les élèves respectent bien les précautions de sécurité.

<u>Etalonnage du pH-mètre et mesure du pH</u> (5 minutes)

Les élèves étalonnent les pH-mètres et procèdent à la mesure du pH de la solution. Un groupe pose la question de l'importance ou pas du volume de prélèvement. L'enseignant leur indique que le pH mesuré est le même quel que soit le volume de prélèvement.

<u>Conclusion et rangement</u> (10 minutes)

La majorité des élèves conclut correctement que l'acide est faible en comparant le calcul de – log C et la mesure du pH. Un doute subsiste pour un groupe sur le choix de C pour le calcul (choisi C avant ou après dissolution) mais il est vite levé quand l'enseignant leur demande sur quelle solution a eu lieu la mesure du pH.

Conclusion et évolution par des réaménagements

Pour les élèves, la DI est une manière originale d'apprendre et le travail collectif est source d'émulation. Certains élèves ont pu vérifier qu'ils maitrisaient les connaissances en expliquant à d'autres et pour ces autres élèves, le message est sans doute mieux passé qu'en cours magistral. En comparant avec l'année précédente où les élèves avaient appris la propriété d'une solution d'acide fort pH = - log C uniquement sous forme de cours magistral, la DI semble avoir permis de mieux retenir cette relation. L'opérationnalité de la démarche a été vérifiée sur un exercice et lors d'une évaluation (voir les annexes 2 et 3). En majorité, les élèves ont correctement répondu aux questions en utilisant la propriété utilisée lors de la DI.
Au niveau de l'enseignant, il semble que le travail par groupe de 3 serait peut-être plus efficace car dans un des groupes de 4, un élève n'a quasiment pas participé aux travaux du groupe. Par contre, plus il y a de groupes, plus il est difficile de gérer l'avancée de chacun et de faire une mise en commun à un moment opportun. Il faut aussi insister pour que les élèves laissent une trace écrite de leur réflexion mais l'enseignant se heurte souvent à la peur des élèves d'écrire des choses fausses, même si le travail n'est pas évalué. La mise en commun du choix d'une méthode est plus efficace si une trace écrite est ramassée par l'enseignant car les groupes qui présentent leur méthode après les autres modifient souvent leur travail.
Si la DI semble chronophage, on peut gagner du temps en donnant en indice la définition de la densité ou en indiquant directement la concentration sur l'étiquette mais la partie sur les notions de concentration ne sera plus travaillée.
Enfin, on peut également envisager de construire une DI dans laquelle on fabriquerait une solution d'acide fort (ou faible) de même concentration qu'une solution d'acide faible (ou fort) pour comparer les pH. Cela permettrait aussi d'éviter aux élèves de pipeter une solution ultra concentrée, ce qui pose tout de même des questions de sécurité.

<u>Annexe 1 : Travaux des élèves</u> (le compte-rendu était à rendre à la fin de la séance)

Le groupe suivant a bien compris la démarche mise en jeu.

Pour trouver si un acide est fort ou faible, on va chercher à savoir si $-\log C = pH$.

1. On va tout d'abord cherche $C_{mère}$ pour réaliser une dilution pour pour mesurer le pH.

$C_{mère} = 17,5 mol.L^{-1}$

On utilise un facteur de dilution 100.

$\frac{C_{mère}}{C_{fille}} = 100$

$\frac{17,5}{C_{fille}} = 100$

$C_{fille} = \frac{17,5}{100} = 0,175 mol.L^{-1}$

On cherche le volume de la solution $V_{mère}$

$C_{mère} \times V_{mère} = C_{fille} \times V_{fille}$

$V_{mère} = \frac{C_{fille} \times V_{fille}}{C_{mère}}$

$= \frac{0,75 \times 500}{17,5}$

$V_{mère} = 5 mL$

Protocole de Dilution :

- A l'aide d'une pipette jaugée on prélève 5mL de solution.
- On ~~remp~~ verse les 5mL de solution dans une fiole jaugée de 500mL que l'on remplit ensuite d'eau distillée.

Mesure du pH à l'aide d'un pH mètre.

pH = 2,97

- On calcule $-\log C$.

$-\log C = -\log 0{,}75$

$= 0{,}76$

$-\log C \neq pH$

=> La solution est un acide faible car son pH est différent de $-\log C$.

Les explications fournies par le groupe suivant sont insuffisantes.

- Pour prouver que l'acide éthanoïque est un acide fort ou tout au contraire faible il faut :

⇒ D'abord on calcul l'acidité de l'acide ethanoïque à l'aide du papier pH où l'on trouve entre 2 et 3

$C = \frac{Cm}{M}$ $C = \frac{1,05 \times 10^{-3}}{60} = 1,7.10^{-5} g.mol$

$PH = -Log\ 17,5 = -1,24$

$17,5 \div 250 = 0,05$

$-Log\ (0,05) = 1,30$

$\frac{250}{1} = 250\ mL$

- A l'aide d'une pipette jaugée, on prélève 1 ml de solution que l'on verse par la suite dans une fiole jaugée de 250mL. Ensuite on finit de remplir la fiole avec de l'eau distillé jusqu'au trait de graduation.
Enfin on verse de la solution dans un Bécher pour mesurer le pH ~~pour~~ avec un pH mètre.
Le pH est égal à 3,5.

- L'acide ethanoïque est donc un acide faible car son pH est différent de -Log C.

Annexe 2 : Extrait d'exercices sur les propriétés acido-basiques des solutions aqueuses

Exercice 4 :

L'acide nitrique HNO_3 est un acide fort qui donne naissance en présence d'eau aux ions nitrate NO_3^-.

1) Ecrire la réaction de HNO_3 avec l'eau.
2) Calculer le pH d'une solution où l'on a dissout 0,15 mol de HNO_3 dans 0,5 litre d'eau.

Exercice 5 :

On dissout 10^{-3} mol d'acide lactique CH_3-CH_2OH-COOH dans 2 litres d'eau, le pH de la solution est alors de 3,6.

1) Montrer que cet acide est faible.
2) Ecrire l'équation de la réaction de dissociation de cet acide dans l'eau.

Annexe 3 : Extrait du devoir surveillé sur les propriétés acido-basiques des solutions aqueuses

Exercice 2 :

1) On dissout 2,3 g d'acide méthanoïque HCOOH dans 500 mL d'eau.

1.1) Déterminer la concentration molaire de cette solution en détaillant la démarche.

1.2) Le pH de la solution obtenue est de 2,4. Déterminer, en justifiant, si cet acide est fort ou faible.

2) On dissout 5.10^{-2} mol d'acide chlorhydrique HCl dans 0,5 litre d'eau. Le pH de la solution obtenue est de 1. Déterminer, en justifiant, si cet acide est fort ou faible.

Données : masses molaires atomiques (en $g.mol^{-1}$) : H = 1 ; C = 12 ; O = 16.