

## Devoir pour le mardi 17 Novembre 2009

### Exercice 1 : concentrations apportées, concentrations effectives et dilution

*Cet exercice est un très grand classique de Terminale dont les raisonnements sont à maîtriser.*

Une solution S d'acide benzoïque  $C_6H_5COOH$ , de volume totale 2,00 L, de concentration massique apportée  $t = 1,22 \text{ g.L}^{-1}$ , a un pH égal à  $pH_S = 3,1$ .

#### 1) Couple acide-base

- Rappeler la définition d'un couple acide-base.
- Quel est le nom et la formule de la base conjuguée de l'acide benzoïque ?

On donne les masses molaires atomiques suivantes :

C : 12,0 g / mol                      O : 16,0 g / mol                      H : 1,00 g / mol

- Indiquer de façon détaillée le protocole pratique pour préparer 2,00 L de solution S (l'acide benzoïque pur est un solide).
- Quelle est la concentration molaire  $c$  apportée de S ?

#### 2) pH de la solution S

La solution S a été préparée en utilisant de l'eau neutre à 25°C et en y ajoutant l'acide benzoïque.

- Quel est le pH, à 25°C d'une solution neutre ? En déduire la concentration en ions oxonium correspondante.
- Pourquoi la solution S a-t-elle un pH inférieur ? Répondre précisément.
- Etablir le tableau d'avancement de la réaction correspondante en considérant un volume V de solution S. Quelle est la valeur du pH de l'échantillon de volume V de S ?
- Déterminer le taux d'avancement de la réaction en utilisant  $pH_S$  entre autre.
- Calculer les concentrations des différents solutés de la solution S correspondant à l'EF de la réaction précédente.
- Donner l'expression du quotient de réaction de la réaction considérée en fonction des concentrations des espèces pour un état quelconque.
- Calculer la constante de réaction de la réaction de l'acide benzoïque sur l'eau.

#### 3) Influence d'une dilution

On décide de diluer au  $10^{\text{ème}}$  la solution S afin d'obtenir  $V_{S'} = 50 \text{ mL}$  d'une nouvelle solution S'. On a à disposition le matériel suivant :

Béchers de 20, 50, 100 mL ; éprouvettes graduées de 10 et 50 mL ; pipettes jaugées de 1,00 et 2,00 mL ;  
Erlenmeyers de 10, 50 mL ; Fioles jaugées de 50,0 , 100,0 mL ; burette graduée de 50 mL

- Donner le protocole complet afin d'obtenir  $V_{S'}$ .

En mesurant le pH de cette nouvelle solution, on trouve  $pH_{S'} = 3,6$ . Aurélia et Kevin s'interrogent sur ce résultat qui pourrait paraître étrange...

Aurélia : Je croyais pourtant que quand on diluait une solution par 10, son pH augmentait de 1. On devrait donc trouver 4,1 !

Kevin : En effet, Toutes les concentrations des solutés devraient être divisées par 10.

Aurélia : *Ce qui est sûr, c'est que si rien n'avait jamais réagi, on trouverait une concentration apportée de  $c/10$ .*

Kevin : Je crois que j'y suis. Comme tu le dis, tout se passerait comme nous le pensons si il n'y avait pas de réaction. En imaginant que l'état E de la nouvelle solution correspond à l'état final de S avec des concentrations des solutés divisées par 10, on pourrait calculer le nouveau quotient de la réaction de l'acide sur l'eau dans cet état E...

Aurélia : Et montrer que cet état n'est pas état d'équilibre ! Et que donc les concentrations vont évoluer nécessairement.

- Démontrer, *d'une manière générale*, qu'en divisant la concentration en ions oxonium d'une solution par  $10^n$ , son pH augmente de n unités de pH. On pourra utiliser les propriétés de la fonction ln et de la fonction log ( $\log(x) = \ln(x)/\ln(10)$  par définition du log) à voir dans votre livre de mathématiques.

- Démontrer très simplement l'affirmation d'Aurélia en italique.

d) Comme le précise Kevin et comme souhaite le faire Aurélia, calculer le quotient de réaction correspondant à l'état E du dialogue. Pourquoi peut-on affirmer, en effet, que cet état n'est pas état d'équilibre ?

e) Une dilution au  $10^{\text{ème}}$  correspond donc-t-elle à une simple division par 10 de la concentration *effective* des solutés ? Ceci est vrai uniquement dans quel cas ? Quelles sont cependant les concentrations, portant un nom particulier, qui sont divisées par 10 pour chacun des solutés ? Expliquer très facilement.

f) Etablir un nouveau tableau d'avancement correspondant au volume  $V_{S'}$  de S' avec la nouvelle concentration apportée à prendre en compte notée  $c'$  (comme si on avait directement préparé S').

g) Donner l'expression du quotient de réaction à l'état final d'équilibre en utilisant  $x'_{\text{eq}}$ . A quoi doit-il être égal sachant qu'on est toujours à la même température ?

h) Résoudre l'équation obtenue en  $x'_{\text{eq}}$  de manière convenable. Quelles est la valeur de  $x'_{\text{eq}}$  à garder ? Pourquoi ? Quel est le nouveau taux d'avancement final ? Quelle influence possède la dilution sur ce taux d'avancement *dans ce cas* (attention, ceci n'est pas vrai de façon générale) ?

- Quelle est alors la valeur théorique du pH de S' ? Retrouvez-vous la valeur expérimentale de  $pH_{S'}$  ?

## Exercice 2 : l'analyse des ondes vibratoires n'éclaire pas le drame de Toulouse...

Plusieurs exercices traitent de ce sujet en simplifiant à l'extrême l'article original tiré du Monde. Cet article vous est fourni intégralement en annexe et on se propose de l'analyser directement en détails de façon scientifique et avec un regard critique.

- 1) Expliquer en deux phrases ce que décrit l'article.
- 2) Manifestement, quelque soit la thèse retenue, plusieurs ondes ont pris naissance à l'usine Grande Paroisse. Lors de la propagation sur une longue distance de ces ondes progressives, qu'est-ce qui se propage ? Choisir parmi les mots suivants celui (ou ceux) qui convient(nent) : matière, énergie, air, vibration, nitrate d'ammonium, gaz.
- 3) Première thèse : une explosion unique
  - a) Quelle serait la cause de l'explosion ? Relever dans le texte un mot caractérisant le début de cette explosion unique.
  - b) L'explosion unique serait à l'origine de trois ondes se propageant à des vitesses différentes. A votre avis, de quoi dépend la vitesse de propagation de ces ondes ?
  - c). Construire un tableau dans lequel apparaîtra pour chacune des trois ondes :
    - son nom et sa nature
    - sa vitesse de propagation
    - si elle est audible ou non
    - la durée de propagation pour une distance  $d = 4,0$  km.
  - d). A l'aide des valeurs précédentes retrouver les durées, indiquées dans le texte, séparant l'arrivée de l'onde de terre et l'arrivée des ondes de surface et acoustique après un parcours de 4,0 km.
  - e). Il est dit que le « délai », que l'on notera  $\tau$ , entre les « deux bruits » évolue de façon « pratiquement linéaire » avec la distance  $d$  séparant du lieu de l'explosion. Vérifier, à l'aide des données numériques du texte, et de façon scientifique, que le « délai » et la distance sont liés linéairement. En déduire la relation numérique entre  $\tau$  et  $d$ .
  - f). Établir l'expression littérale du délai  $\tau$  en fonction de la distance  $d$  et des deux vitesses des ondes provoquant un « bruit ». Montrer que ce délai est bien proportionnel à  $d$ , puis calculer le coefficient de proportionnalité et le comparer au résultat précédent.
  - g) A l'aide de l'expression du délai, retrouvez chaque valeur citée dans le texte pour les trois distances considérées du texte (paragraphe suivant le sous-titre « ELEMENT DECISIF MANQUANT »).
- 4) Deuxième thèse ; deux explosions distinctes
  - a) Quelle serait la(les) cause(s) du drame dans ce cas ?
  - b) Comment sont nommées les deux explosions de cette deuxième thèse ?
  - c) Faire un tableau dans lequel vous préciserez le nombre et le type d'onde générées par chacune des deux explosions et leurs caractéristiques, comme à la question 3.c.
  - d) En considérant que les deux explosions se sont produites à 10 s d'intervalle, le son de la déflagration est-il toujours perçu après (ou avant) celui de l'explosion principale ? Répondre par un graphique en le commentant en mettant notamment en évidence un temps et une distance particuliers.
  - e) Justifier par un calcul les phrases « Cette dernière aurait atteint les témoins situés à 4 km après un trajet de 12 secondes. Ceci place le son de cette déflagration à moins d'une demi-seconde de celui de l'onde de terre de l'explosion principale. »
  - f) Quelle autre hypothèse concernant le laps de temps entre les deux explosions est faite dans l'article ? Expliquer alors l'expression « le scénario reste inchangé ».
- 5) Le texte est-il facile à comprendre ? Donnez une grande qualité à cet article. Quel est son défaut principal ?

## L'analyse des ondes vibratoires n'éclaire pas le drame de Toulouse

LE MONDE | 05.10.01 | 12h42

De nombreux témoins ont entendu deux déflagrations distinctes, vendredi 21 septembre, après l'explosion de l'usine Grande Paroisse de Total Fina Elf à Toulouse. Les relevés sismiques effectués dans une station située à 4 km du lieu de la catastrophe par l'Observatoire de Midi-Pyrénées montrent que trois ondes ont été émises par l'explosion du nitrate d'ammonium. Deux d'entre elles, les ondes voyageant dans le sol et l'onde acoustique se propageant dans l'air, ont généré deux déflagrations audibles. Ce scénario explique les déclarations des témoins si le délai entre les deux explosions diminue lorsqu'on se rapproche de la source des ondes. S'il se révèle que les témoins proches de l'usine ont également entendu deux déflagrations distinctes, il faudra écarter l'hypothèse d'une explosion unique ayant engendré deux ondes sonores. La suite de l'enquête devrait éclairer ce point.

Parmi les témoins de la catastrophe de Toulouse, un grand nombre de personnes font état d'une double explosion. L'audition de deux déflagrations a tendance à appuyer les thèses de l'attentat ou de l'accident préalable, deux événements capables d'avoir amorcé la réaction en chaîne de décomposition du nitrate d'ammonium et conduit au drame du 21 septembre. Dans ce cas, la thèse avancée dès le début de l'enquête d'un autoamorçage de cette réaction ne tiendrait pas. Une amorce aurait bien servi de détonateur.

Un tel scénario n'est pas confirmé par l'Observatoire de Midi-Pyrénées, qui a remis à la direction régionale de l'industrie et de la recherche un rapport sur ses relevés pendant l'explosion. Le réseau national de surveillance sismique (ReNaSS) a permis d'enregistrer la secousse jusqu'à une distance de 500 km et de mesurer une magnitude de 3,4 sur l'échelle de Richter. Le sismographe le plus proche de l'usine Grande Paroisse, installé dans l'Observatoire de Midi-Pyrénées, se trouve à une distance de 4 km. Selon Alexis Rigo, sismologue chargé de recherche au CNRS, les appareils ont enregistré trois ondes. La première, dite de terre, se déplace à une vitesse moyenne de 2,5 km/s et possède la caractéristique d'être audible par les témoins. « Dans le passé,

certain rapportent avoir eu l'impression qu'un avion s'écrasait », indique Alexis Rigo pour illustrer le degré d'intensité sonore que peut atteindre l'onde de terre. Il s'agit ainsi d'une onde sonore voyageant dans la terre, d'où sa vitesse très supérieure au même phénomène se propageant dans l'air.

La seconde onde, dite de surface, se déplace à 1 km/s. Constituée de basses fréquences, c'est elle qui engendre le tremblement de terre. Enfin, la troisième onde, acoustique, se déplace dans l'air à environ 330 m/s. Il s'agit de la classique propagation du son qui a été ressentie avec une extraordinaire violence par les habitants de Toulouse. Ces trois phénomènes vibratoires peuvent donc expliquer que les témoignages recueillis à une distance de 4 km du lieu de l'explosion sont cohérents avec les relevés de l'Observatoire qui établissent que l'onde de surface est arrivée environ 2,5 secondes après l'onde de terre et que 10 secondes se sont écoulées entre cette dernière et l'onde acoustique.

### ÉLÉMENT DECISIF MANQUANT

« Le seul moyen d'être sûr qu'il ne s'est produit qu'une seule explosion, explique Alexis Rigo, c'est de vérifier que le délai de 10 secondes entre les deux bruits varie avec la distance des témoins par rapport à l'usine ». En effet, plus on se rapproche du lieu de l'explosion, plus les deux sons doivent se rapprocher jusqu'à se confondre. L'évolution, pratiquement linéaire, devrait conduire à un délai de 15 secondes à 6 km de distance, de 5 secondes à 2 km, 2,5 secondes à 1 km... Pour l'instant, les enquêteurs n'ont pas fait état officiellement de témoignages convergents de la part de personnes situées dans l'usine ou dans sa périphérie immédiate. Si ces dernières attestent n'avoir entendu qu'une seule déflagration, le scénario de l'explosion unique serait largement confirmé. Dans le cas contraire, il serait immédiatement invalidé. Dans l'état actuel de l'enquête, cet élément décisif manquant, il reste possible de vérifier si l'existence d'une seconde explosion est compatible avec les dires des témoins plus éloignés. L'un des éléments les plus précis fourni par l'Observatoire de Midi-Pyrénées concerne le délai enregistré entre les deux déflagrations : environ 10 secondes les auraient séparées.

L'hypothèse d'une première explosion servant de détonateur à la seconde se révèle compatible avec les témoignages dans deux cas de figure.

Si une première explosion s'est produite 10 secondes avant la deuxième, elle ne peut avoir engendré d'onde de surface significative car les sismographes ne l'ont pas enregistrée. Il s'agirait donc d'une explosion de trop faible énergie ou de « faible couplage avec le sol », comme l'indiquent des sismologues. En revanche, elle pourrait avoir émis une onde acoustique dans l'air. Cette dernière aurait atteint les témoins situés à 4 km après un trajet de 12 secondes.

Ceci place le son de cette déflagration à moins d'une demi-seconde de celui de l'onde de terre de l'explosion principale. Un constat qui peut permettre de comprendre pourquoi les témoins du centre-ville ont entendu deux déflagrations et non trois. Si l'explosion d'amorçage s'est produite en même temps, à quelques centièmes de seconde près, que celle du nitrate d'ammonium, le scénario reste inchangé. Les ondes acoustiques des deux déflagrations s'ajoutent mais restent simultanées tout au long de leur trajet. A 4 km de distance, on obtient deux signaux acoustiques espacés d'une dizaine de secondes (onde de terre de l'explosion principale et somme des ondes acoustiques des deux déflagrations, 10 secondes plus tard). Sur place, près de l'usine, les témoins n'entendent, dans ce cas, qu'une seule explosion.

### PUISSANCE EXCEPTIONNELLE

Ce dernier scénario achève de compliquer le travail des enquêteurs. La seule analyse de la propagation des ondes vibratoires produites lors du drame n'apporte pas d'éléments décisifs pour étayer l'une ou l'autre thèse. Les témoignages des personnes situées tout près de l'usine joueront un rôle décisif.

Néanmoins, les relevés des sismologues plaident plutôt en faveur d'une explosion unique ayant engendré deux ondes sonores. En effet, pour que le premier bruit perçu par les témoins situés à 4 km provienne d'une explosion d'amorçage, il faudrait que celle-ci ait été d'une puissance tout à fait exceptionnelle.

Michel Albergant

