

EPREUVE DE PHYSIQUE - CHIMIE

Durée : 4 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le problème illustre le fonctionnement d'une unité de dessalement de l'eau de mer et comportait deux parties totalement indépendantes :

- Etude de la chimie de l'eau de mer (constitution, évaluation du pH, équilibre thermodynamique du système $\{\text{CO}_2, \text{HCO}_3^-, \text{CO}_3^{2-}\}$, détermination de l'alcalinité totale par titrage acide),
- Dessalement (osmose inverse, fonctionnement de l'osmoseur, bilan énergétique du dispositif).

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Si toutes les questions, prises individuellement, ont été correctement résolues par un certain nombre de candidats, malheureusement un trop grand nombre d'entre eux a connu les pires difficultés à exploiter l'énoncé (les réponses à un nombre significatif de questions étaient implicitement contenues dans les paragraphes introductifs ou de liaison entre les diverses parties) et à rédiger leurs solutions de façon simple et compréhensible.

Au-delà des questions purement qualitatives souvent mal exposées, la rédaction se réduit trop souvent à une succession d'équations sans explication ni articulation et de nombreux candidats se sont contentés de survoler le sujet dans le seul objectif de compiler un maximum de points. L'orthographe et style deviennent de plus en plus pauvres ; c'est inquiétant quand on sait que dans leur futur métier ils rédigeront en français (ou en anglais) plus de rapports écrits qu'ils n'éciront de lignes de calcul ! Au summum du bêtisier relevons de nombreuses fois le mot sodiome et tout le long d'une copie :: l'haut de mer !

Les candidats font de plus en plus preuve de malhonnêteté intellectuelle en voulant s'approprier des résultats à démontrer (ou en résolvant les calculs à l'envers).

Les analyses des résultats sont presque systématiquement absentes ou totalement folkloriques. Dès qu'une question ne semble pas requérir quelque équation ou calcul précis mais nécessite plutôt de réfléchir à partir d'informations fournies, elle ne présente plus aucun intérêt aux yeux des candidats. Le concepteur de l'épreuve attire l'attention de tous ses collègues qui préparent les candidats en leur précisant qu'il faut attacher autant d'importance dans leurs devoirs aux analyses des résultats et leurs interprétations, aux applications numériques sans systématiquement privilégier les résultats mathématiques littéraux ; les candidats sont censés devenir des ingénieurs ...

Les applications numériques, cumulées sur toute l'épreuve permettaient d'obtenir 20% des points du barème ; elles ont rarement été traitées ou les unités associées furent souvent assez fantaisistes ; se rendent-ils bien compte qu'un ingénieur ne peut raisonnablement travailler sans données numériques ?

ANALYSE PAR PARTIE

1^{ère} Partie : Chimie de l'eau de mer

A / Constitution et pH de l'eau de mer

La masse totale des différents constituants de l'eau de mer a été correctement évaluée en g/L mais trop d'erreurs sont apparues pour la conversion en g/kg d'eau (pourtant la masse volumique de l'eau de mer était fournie dans chacune des parties).

Les correcteurs ont été effarés de lire, comme acides ou bases forts associés aux divers ions présents dans l'eau, des espèces ioniques telles que H_2SO_4^- , MgOH^+ ou CaOH^+ .

Bon nombre de candidats a court-circuité l'écriture de l'électroneutralité de la solution S_M pour évaluer directement – avec un succès relatif – l'alcalinité $A = [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$, ce qui entraîna de fâcheuses conséquences sur l'évaluation du pH.

Pour la prise en compte des composés renfermant du bore, ils ont pour la plupart considéré que c'était un effort supplémentaire – donc sans intérêt – conduisant à un léger abaissement de la valeur du pH.

B / Equilibre thermodynamique du système $\{\text{CO}_2, \text{HCO}_3^-, \text{CO}_3^{2-}\}$

Cet équilibre a été traité correctement par la presque totalité des candidats de même que l'interprétation des courbes de concentration des différentes espèces et la détermination des domaines de prédominance (dont le tracé était fourni).

Tous les candidats, à quelques rares exceptions, sont conscients que l'augmentation de la concentration en CO_2 dans l'air, et par dissolution, dans l'eau de mer contribue à diminuer le pH et risque de mettre en péril les organismes marins.

C / Détermination de l'alcalinité totale par titrage acide de l'eau de mer

Pour déterminer l'alcalinité de l'eau de mer, un titrage acide était proposé en modélisant l'eau de mer par une solution de chlorure de sodium renfermant de l'acide carbonique (les diverses concentrations étant fournies). Il convenait de dupliquer, en plus simple, la démarche effectuée auparavant. Les expressions littérales furent écrites sans trop d'erreurs mais les calculs numériques qui en découlaient les rebutèrent (il suffisait de pressentir – comme suggéré dans l'énoncé – le caractère acide de la solution pour obtenir le pH sans même qu'il soit utile de se servir d'une calculatrice).

L'énoncé proposait ensuite un dosage de cette solution simplifiée par addition de soude concentrée, ce qui générerait de nouvelles écritures de l'électroneutralité. La courbe de dosage était fournie (pH en fonction de la concentration en ions Na^+ ajoutés, ainsi que sa dérivée). Les candidats ont été dans leur grande majorité incapables de décrire cette courbe qu'ils ont pourtant eu l'occasion de tracer en travaux pratiques de première année de préparation ; pratiquement personne n'a cité la courbe de neutralisation d'un diacide par une base forte, encore moins ont-ils analysé ces courbes pour préciser les points remarquables, correspondant aux points de neutralisation des deux fonctions acide et aux deux demi-équivalences.

La dernière partie, consistant à un ajout d'ions Cl^- (via HCl concentré) permettant, par la mesure de cet ajout de déterminer l'alcalinité de la solution S_M n'a pratiquement pas été traitée (ni du point de vue électroneutralité ni même sous une approche qualitative simple).

2^{ème} Partie : Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

A / Osmose inverse

La seconde partie démarrait par des préliminaires dans lesquels le principe de l'osmose directe, puis de l'osmose inverse étaient introduits et décrits par étapes successives, avec des figures d'illustration très explicites (permettant en outre de répondre à plusieurs questions).

L'écriture des relations thermodynamiques, guidée pas à pas, a été correctement traitée. Pour ne pas les handicaper dans la suite de l'épreuve, l'expression littérale de la pression

osmotique était fournie ; trop de candidats écrivent n'importe quoi, souvent sans hypothèse préalable mais trouvent inmanquablement le résultat escompté : malhonnêteté intellectuelle flagrante !

La valeur numérique de cette pression osmotique, pour une concentration donnée de sel a été très rarement obtenue, tant les élèves ont été incapables de prendre en compte la masse molaire de NaCl, de considérer que NaCl en solution se décomposait en deux ions Na^+ et Cl^- (dès lors qu'une question préparatoire n'était pas posée), sans parler des confusions entre les g/L et mol/m^3 !

B / Fonctionnement de l'osmoseur

En s'appuyant sur un schéma très explicite de l'installation et des explications fournies, les questions s'enchaînaient sans aucune difficulté, ni de calcul ni de raisonnement, pour déterminer le débit d'écoulement et la concentration en soluté après l'osmose inverse. Le jeu consistait à utiliser les diverses grandeurs fournies ainsi que les divers taux de concentrations en sels et de les écrire en fonction des concentration et débit du flux d'alimentation. Ces évaluations s'accompagnaient de l'écriture de la conservation des débits et masse de sels.

Les correcteurs ont été très surpris de la mauvaise qualité des résultats qui pourtant s'écrivaient en s'enchaînant les uns aux autres de manière extrêmement logique – ne parlons pas des applications numériques, pratiquement jamais abordées ou avec des unités fantaisistes alors qu'elles figuraient pour bon nombre dans les introductions aux questions. Notons dans grand nombre de copies la non conversion d'une grandeur (exprimée en % dans l'énoncé) en valeur décimale, ce qui entraîna des résultats plutôt cocasses.

Tous ceux qui ont tenté de calculer le taux de rejet ont été offusqués de le voir dépasser l'unité, alors que la concentration en sels du retentat est bien supérieure à celle existant dans l'eau de mer de départ : quel est alors l'intérêt de dessaler l'eau de mer ?

L'influence de la température de la solution osmosée sur sa viscosité a été traitée de façon très inégale car l'écueil fut de nature purement mathématique : dériver une fonction $g(T)$ puis écrire sa variation relative dg/g en fonction de T est une opération loin d'être acquise.

La détermination des meilleures conditions opératoires pour opérer la dessalinisation, en s'appuyant sur des courbes fournies dans l'énoncé mais où aucun calcul ni aucun tracé n'était requis, a plus donné lieu à un verbiage qu'à une simple analyse en termes scientifiques et techniques.

Pour clore l'étude de l'osmoseur, une association série-rejet de trois modules était proposée ; autant la représentation schématique de l'installation (copie du dispositif et extension à trois unités en cascade) a été réussie par ceux qui se sont intéressés à cette fin de partie, autant la détermination du taux de conversion global a été un échec (il suffisait de dupliquer à trois reprises les bilans sur Q_A et Q_R précédents, mais il est vrai qu'aucune aide n'était fournie).

C / Bilan énergétique de l'osmoseur

L'épreuve comportait pour terminer un bilan énergétique de l'installation, basée sur les grandeurs réelles d'une usine de dessalement implantée au Moyen-Orient. Cette partie fut de loin la plus mal traitée, voire totalement laissée de côté.

Le bilan d'énergie massique relatif à l'écoulement dans une pompe (premier principe en système ouvert) n'a pratiquement jamais été écrit complet ni juste. Les évaluations des diverses puissances des pompes furent entachées de lourdes erreurs, tant leur maîtrise de la notion de rendement laisse à désirer, entraînant des valeurs numériques sans commune mesure avec la réalité. Les confusions furent nombreuses entre J, kW et kWh.

L'évaluation finale du coût de revient d'un mètre cube d'eau dessalée, en dressant le bilan des énergies reçues ou dépensées a donné lieu à des résultats pour le moins fantaisistes ! mais

connaissent-ils vraiment le prix du kWh électrique et celui du mètre cube d'eau dans leur propre commune ?

ANALYSE DES RESULTATS

Malgré un barème bien adapté à la diversité et au grand nombre de questions et favorisant les questions simples ou proches du cours, les résultats constatés sont loin d'être satisfaisants.

Après le traitement informatique d'usage, la moyenne s'élève à 9,0 sur 20, avec un écart-type de 3,3. Quelques bonnes copies ne font malheureusement pas oublier la médiocrité d'une grande moitié des autres. Beaucoup de réponses demeurent très approximatives, non justifiées dénotant des connaissances très superficielles. La simple lecture de graphes pose des difficultés à bon nombre de candidats.

Toutes les questions, prises individuellement, ont été correctement résolues par un certain nombre de candidats. Les meilleurs d'entre eux sont parvenus à résoudre 70 % du problème.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

La première recommandation une lecture soigneuse et réfléchie de l'énoncé avant de se lancer dans la rédaction : les réponses à de nombreuses questions ou des informations importantes sont régulièrement glissées par le concepteur dans les phrases introductives ou de liaison entre les diverses parties, dans la formulation proprement dite des questions, sur des schémas explicatifs ou des graphes de résultats et même souvent dans les données numériques.

La préparation à la formation d'ingénieur ne consiste pas à apprendre une collection de formules, ni à les récrire avec l'aide précieuse de la calculatrice, sans justification, mais surtout à savoir analyser les résultats des expériences et leur modélisation. Les candidats ne devront pas se contenter de répondre mathématiquement aux questions posées, mais plutôt s'attacher à donner un sens (chimique ou physique) à leurs réponses et leurs analyses.