

## 1/ REMARQUES GÉNÉRALES

### 1.1 – PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet traitait d'une réaction à solide consommable. Cette réaction mettait en jeu une phase fluide et une phase solide avec formation d'un produit poreux dont l'épaisseur évoluait au fur et à mesure que la réaction progressait. La consommation d'un tel solide était donc régie par plusieurs phénomènes : transport de matière, par convection au niveau de la couche limite externe des particules, par diffusion dans la couche de produit solide poreux et réaction chimique au niveau du front de réaction.

L'objectif du sujet était de mettre en équation le modèle qui permettait de prédire la consommation des particules en fonction du temps (appelé modèle à cœur rétrécissant).

Le sujet débutait avec quelques questions concernant la porosité et les phénomènes de diffusion, avec notamment l'établissement de la loi de Fick dans le cas particulier d'un solide poreux. La suite de la première partie se concentrait sur l'établissement d'une version simplifiée du modèle à cœur rétrécissant en considérant un régime pseudo-permanent pour la phase fluide et aboutissant à des expressions analytiques simples et permettant de calculer le temps de consommation totale des grains. Une analogie avec un montage électrique de résistances en série était proposée dans cette partie.

La partie suivante était relative à la résolution numérique du problème avec une méthode d'intégration numérique de l'équation de la diffusion. Cette partie comprenait des calculs préliminaires de concentration basés sur la loi des gaz parfaits et de création de vecteurs avec l'écriture de codes en Python. Venait ensuite l'écriture de développements limités pour établir la formule de récurrence nécessaire à l'intégration numérique de l'équation de la diffusion. La partie suivante proposait des codes Python dans lesquels il manquait des informations qui étaient à fournir (codes à trous). Le premier concernait la boucle itérative de calcul des concentrations avec l'accent porté sur la configuration du test permettant d'interrompre la boucle et l'incrémenter du compteur associé. Le deuxième code était relatif au calcul des concentrations à un instant donné et il était demandé de compléter les indices manquants ainsi que de proposer une ligne de code pour stocker les valeurs de concentrations dans un vecteur temporaire. Cette partie se poursuivait avec quelques questions sur le calcul de l'indice correspondant au front de réaction et avec des questions sur les dimensions des objets intervenant dans ces codes.

La dernière partie proposait de trouver deux erreurs qui s'étaient glissées dans les codes permettant de tracer deux graphes. Elle se poursuivait avec la comparaison des résultats obtenus par le modèle simplifié et par la résolution numérique de l'équation de la diffusion. Elle se terminait par une analyse physique des phénomènes avec le tracé des profils de concentrations en fonction de l'abscisse.

Le sujet n'était pas très long. Les concepts abordés et les questions posées dans le sujet étaient conformes au programme de PCSI et de PC. La plupart des résultats à démontrer étaient donnés pour permettre aux candidates et candidats de poursuivre sans être pénalisé(e)s.

## 1.2 – PROBLÈMES CONSTATÉS PAR LES CORRECTEURS

Soin apporté à la rédaction :

- certaines copies comportaient énormément de ratures et étaient à la limite de la lisibilité. Les ratures isolées avec un commentaire invitant le correcteur ou la correctrice à ne pas lire sont moins problématiques que les ratures mêlées au texte ou se trouvant au milieu d'une démonstration. Une meilleure utilisation des brouillons est à recommander.
- certaines copies étaient très agréables à lire, notamment lorsque les résultats étaient mis en valeur (soit encadrés, soit soulignés, avec une couleur différente du texte).
- l'orthographe et la grammaire laissent parfois à désirer. L'erreur la plus fréquente est la confusion entre le participe passé et l'infinitif.

Numérotation des questions : de mauvaises numérotations des questions ont été observées. Cela n'a pas été pénalisé malgré les difficultés que cela peut engendrer au moment de la correction. Il est fortement recommandé de respecter la numérotation des questions.

Rédaction des réponses :

- de manière générale, les réponses ne sont pas assez étoffées, voire imprécises, et les arguments ne sont pas toujours présents ou clairement explicités. Certaines réponses apparaissent parfois comme une succession de mots clefs sans véritable lien et laissent libre cours à l'interprétation du lecteur. Plus problématique, le vocabulaire utilisé est très souvent inapproprié et très peu rigoureux. Il est recommandé de prendre le temps nécessaire et d'utiliser le vocabulaire adéquat pour rédiger correctement les réponses et exprimer clairement sa pensée.
- un manque de rigueur mathématique a également été observé avec des confusions au niveau de concepts de base (par exemple fonction / expression), le non-respect des notations (par exemple la notation de Landau dans l'expression d'un développement limité), des résultats numériques avec un nombre de chiffres significatifs totalement aberrant et des unités trop souvent manquantes ou fausses.

Écriture du code :

- très peu de copies proposent des commentaires permettant de comprendre les portions de codes développés, même si ceux qui étaient en écriture libre étaient relativement simples.
- les noms de variable indiqués dans le Tableau 1 du sujet ont été peu respectés.
- dans de nombreuses copies, les portions de code ont été incluses dans des fonctions alors que ce n'était pas demandé et que ce n'était pas utile. Les correcteurs et les correctrices ne comprennent pas l'intérêt et la raison de cette pratique à proscrire.
- lorsque des fonctions superflues ont été créées (par exemple pour calculer le pas d'espace), elles ne sont pas appelées par la suite, ou mal appelées (en omettant les arguments par exemple).
- dans certaines copies, des libertés ont été prises pour modifier des parties du code qui était imposées. Cela n'est pas acceptable car cela va à l'encontre des compétences attendues lors de cette épreuve avec, certes, la capacité à rédiger du code, mais aussi la compréhension d'un code existant, ce qui demande une certaine adaptabilité.
- dans certaines copies, des mélanges entre les opérations spécifiques aux listes et aux vecteurs ont été observés.

Enfin les correcteurs ont noté des difficultés dans la réalisation des applications numériques avec de nombreuses valeurs erronées.

## 2/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Q1 La justification  $\rho_s > \rho_{app}$  est souvent mal réalisée (beaucoup se sont contentés de paraphraser le sujet). La deuxième partie de la question n'a pas posé problème. Beaucoup se sont trompés pour exprimer la porosité et ont indiqué qu'il s'agissait du rapport des deux masses volumiques.

Q2 Cette question a été bien traitée dans l'ensemble, cependant la symétrie est très souvent décrite de façon très imprécise.

Q3 La notion de « diffusion » n'est pas toujours indiquée. Le nom et les unités des grandeurs qui constituent la loi de Fick n'ont pas posé problème en règle générale.

Q4 Certains se sont contentés d'indiquer deux flèches sans préciser de quel vecteur il s'agissait. Parfois, les deux flèches pointent vers l'intérieur du volume élémentaire.

Q5 Cette question a été très peu correctement traitée. Les problèmes concernent principalement l'absence d'explication des notations utilisées, la prise en compte de la porosité non justifiée, l'absence de discussion concernant la nullité du terme source dans le bilan et l'absence de justification du passage à la dérivée (développements limités).

Q6 Homogénéité : les unités et grandeurs sont parfois mélangées. La notion de « continuité des flux » pour l'établissement des conditions aux limites est la plupart du temps absente. L'immense majorité des candidats se contente d'une comparaison purement formelle avec le cas du transfert thermique.

Q7 Le passage de particules à quantité de matière (constante d'Avogadro) est souvent passé sous silence. Très peu ont compris que le flux molaire de A était constant dans la couche de produit poreux et n'ont pas fait le lien avec la notion de « régime stationnaire pour la phase fluide ».

Q8 Cette question a souvent été mal traitée. Plusieurs méthodes permettaient de démontrer l'expression donnée dans l'énoncé. Dans le cas de l'intégration par séparation des variables, l'intégration est réalisée sans se poser la question de savoir si  $F_A$  était constant ou pas.

Q9 Cette question a été bien abordée dans l'ensemble. Il manque parfois la référence à la « loi d'Ohm ».

Q10 Cette question a été très mal abordée. La notion de régime stationnaire pour le débit molaire de A est totalement omise. L'évolution de  $N_B$  en fonction du temps est quant à elle souvent abordée de manière incomplète car il était attendu une décroissance linéaire.

Q11 L'erreur qui revient le plus souvent est une erreur de signe avec le paramètre Q qui est négatif. Le domaine spatial pour lequel la démonstration est valide est rarement indiqué.

Q12 Cette question a été correctement traitée dans l'ensemble.

Q13 L'erreur qui revient souvent est une mauvaise définition du taux de conversion ( $X_B = N_B / N_{B0}$  au lieu de  $X_B = (N_{B0} - N_B) / N_{B0}$ ).

Q14 La relation entre  $X_B$  et  $x_f$  est parfois non justifiée.

Q15 Même si cette question n'était pas difficile, la justification n'est pas indiquée ( $X_B = 1$  ou  $e = x_f$ ).

Q16 Question qui a pu poser problème à certains, notamment au moment de réaliser l'application numérique.

Q17 Question bien traitée dans l'ensemble. Des problèmes de comparaison de grandeurs non homogènes ont été parfois observés.

Q18 Les erreurs constatées concernent l'utilisation de la pression totale au lieu de la pression partielle en dioxygène, la réalisation de l'application numérique ou l'utilisation des grandeurs sans unité qui ne conviennent pas. La loi des gaz parfait n'est pas toujours citée.

Q19 Cette question a posé problème à bon nombre. L'expression utilisée pour le calcul n'est pas la bonne, ou alors la valeur numérique obtenue est fautive.

Q20 Question bien traitée dans l'ensemble. La structure du code est très souvent correcte. À noter, une confusion entre « print » et « return ».

Q21 L'écriture du code était libre et le code est parfois beaucoup trop complexe par rapport à ce qui était attendu. Les principales erreurs concernent l'oubli de l'initialisation du vecteur `vect_x` et le mauvais dimensionnement de ce dernier qui devait contenir 31 valeurs et non pas 30 comme souvent observé dans les copies.

Q22 Cette question a été mal abordée en règle générale. Parfois il manque le  $\Delta t$ , souvent il manque le  $\sigma(\Delta t)$  (ou  $O[(\Delta t)^2]$ ).

Q23 En lien avec la question précédente, l'écriture de l'expression de la dérivée manque de rigueur. Souvent un signe « = » est utilisé au lieu de «  $\approx$  ». La discrétisation est rarement justifiée.

Q24 Seul l'ordre est indiqué alors qu'un minimum de justification était attendu (il fallait préciser si on réalisait un DL sur  $C$  ou sur la dérivée car les deux sont possibles).

Q25 Cette question a été bien traitée en règle générale.

Q26 L'expression du pas de temps est souvent correcte. L'erreur constatée est l'oubli du facteur 2. Parfois seule la borne supérieure de l'intervalle est donnée (la gamme de valeurs était demandée).

Q27 Cette question a été bien traitée en règle générale. Parfois la valeur de  $\Delta t$  utilisée pour le calcul n'est pas la bonne. Des erreurs de puissance de 10 ont été constatées.

Q28 Question qui a été peu abordée. Le traitement est souvent correct. Des erreurs de signes ont été constatées.

Q29 Il s'agissait d'une question de code à compléter. Elle a été bien traitée dans l'ensemble. Les erreurs constatées concernent l'initialisation de `ltMax` qui était à relier à la question Q27, et l'incréméntation du compteur (par exemple `compteur = compteur +  $\Delta t$` ).

Q30 Il s'agissait aussi d'une question de code à compléter. Les indices sont la plupart du temps corrects. La dernière partie de la question a posé plus de problème. Les explications données pour le rôle du vecteur `vect_Cprec` sont souvent une paraphrase de l'énoncé et la ligne de code correspondante est absente ou n'a aucun sens.

Q31 La partie code a été bien traitée dans l'ensemble. La position dans le code Python 1 a par contre posé problème à bon nombre.

Q32 Cette question a été correctement abordée dans la majorité des cas. Quelque fois, la valeur calculée n'est pas un entier.

Q33 Cette question a posé problème à bon nombre. Les dimensions indiquées sont souvent fantaisistes.

Q34 Il s'agissait de la troisième question de code à compléter. Le test « `if j * 100000 == compteur :` » semble avoir posé problème. Les indices de la matrice `mat_C` également. La ligne 17 (`j += 1`) est souvent vide.

Q35 Cette question est souvent abordée de manière superficielle et les erreurs qui s'étaient glissées dans le code ont été rarement correctement identifiées.

Q36 Cette question a posé peu de problème lorsqu'elle a été abordée. En plus de la comparaison des valeurs numériques, trop peu de candidats ont pensé à utiliser le graphe fourni pour étayer la discussion ou à réaliser un calcul d'erreur relative.

Q37 Cette question a été peu abordée. Les profils de concentration sont souvent faux. L'erreur la plus fréquente est une inversion des profils de concentration entre les cas « non réagi » et « totalement réagi ». Les profils pour le cas « partiellement réagi » sont quasiment toujours faux.

### 3/ CONCLUSION

Les corrections de copies révèlent en premier lieu un manque de rigueur dans les démonstrations mathématiques (par exemple pour la réalisation des développements limités ou l'intégration par séparation des variables). C'est un point crucial car les mathématiques sont un outil indispensable dans la résolution des problèmes physiques et chimiques et plus encore, lorsqu'il s'agit d'utiliser des méthodes numériques pour résoudre un problème. Les corrections ont également montré que les questions relatives à la programmation sont celles qui ont été le plus négligées. Cependant, lorsque ces questions ont été traitées, un niveau correct en programmation a été constaté (sauf pour le calcul des dimensions des objets qui posent encore problème). Il faut continuer à encourager les élèves de CPGE à plus s'impliquer en programmation et en particulier à adopter une plus grande rigueur dans la compréhension et l'utilisation des concepts de base en programmation. Ces acquis, aujourd'hui indispensables, seront renforcés plus tard dans les Écoles d'Ingénieur et seront valorisés dans leur future carrière d'ingénieur.

En second lieu, un manque de rigueur scientifique et rédactionnelle a été observé dans de nombreuses copies. Ce manque de rigueur concerne le vocabulaire et les concepts scientifiques de base qui sont utilisés de manière inappropriée rendant les réponses peu claires, voire incompréhensibles. Certaines copies ne contiennent quasiment aucune explication et les résultats ne sont pas justifiés. Il concerne également la partie mathématique avec des confusions concernant des concepts élémentaires, le non-respect des notations, le nombre de chiffres significatifs des valeurs numériques et leurs unités. Concernant les valeurs numériques, de nombreuses erreurs ont été constatées au niveau des applications numériques. Il faut encourager les élèves de CPGE à plus de rigueur dans ces domaines de manière à pouvoir aborder la poursuite de leurs études et leur future carrière d'ingénieur dans les conditions les plus favorables qui soient.

En troisième lieu, un manque de recul sur les connaissances a été observé. Ainsi, les questions sont souvent abordées sous un aspect purement calculatoire, sans faire intervenir le sens physique (ou chimique) et surtout sans évaluation critique de la fiabilité du résultat obtenu (par

exemple sans commenter l'ordre de grandeur d'une valeur numérique ; sans analyser le caractère positif ou négatif d'une valeur numérique, d'une expression analytique ; sans comprendre l'enchaînement logique des différentes questions...). Cela est préjudiciable car la résolution de problèmes complexes ne peut se faire sans cette évaluation critique des résultats obtenus à chaque étape intermédiaire du processus de résolution. Dans l'idéal, un bon ingénieur doit également être capable de juger le caractère plausible d'un résultat en faisant appel à ses connaissances.