

Evaluation d'une résolution de problèmes

Masse de diazote contenue dans l'atmosphère (Capes 2013)

1. Enoncé.

Évaluer l'ordre de grandeur de la masse de diazote contenue dans l'atmosphère terrestre. On expliquera les différentes étapes du calcul, les données choisies et les approximations faites (*Remarque : cette question très ouverte fait appel à l'élaboration d'une démarche de résolution au cours de laquelle des données non fournies peuvent être utilisées ; ces dernières sont considérées comme devant faire partie de la culture générale scientifique attendue d'un futur enseignant*).

2. Un exemple de solution.

Première approche : autour de la loi du gaz parfait.

Dans le cadre d'un sujet de chimie, il semble naturelle, dans l'étude d'un gaz avec le but de déterminer la masse de l'un de ses constituants, de s'orienter vers la loi des gaz parfaits. Nous verrons que cette méthode n'est pas du tout la « meilleure » au sens où elle nécessite la formulation de nombreuses hypothèses parfois difficiles à légitimer.

Schéma général : on évalue la quantité de matière (exprimée en moles) de gaz à l'aide de la loi des gaz parfaits : $PV = nRT$. Pour cela il nous faut formuler des hypothèses et proposer des valeurs numériques pour les différentes grandeurs physiques introduites. On utilisera ensuite la composition moyenne de l'air et on en déduira la masse totale de diazote.

Mise en œuvre :

1. On assimile l'atmosphère à un volume de gaz isotherme (température T), de volume $V = SH$ où S représente la surface de la Terre et H la hauteur de l'atmosphère. La pression P est supposée uniforme.

2. Ordres de grandeur : on suppose $S = 4\pi R_T^2$ avec $R_T = 6400$ km. On choisit pour H une hauteur de 20 km qui semble raisonnable compte tenu de raréfaction progressive de l'atmosphère avec une échelle typique de 10 km. La température est prise égale à 283 K (10° C) qui constitue une moyenne raisonnable de la température au sol et $P_0 = 10^5$ Pa. On trouve ainsi environ $n = 4,4 \cdot 10^{20}$ mol de gaz.

3. La quantité de matière de N_2 est $0,8 \cdot n = 3,5 \cdot 10^{20}$ mol et sa masse M_{N_2} de diazote : $M_{N_2} \approx 10^{19}$ kg en prenant une masse molaire du diazote égale à 28 g/mol.

Commentaires :

On peut analyser l'ordre de grandeur, mais ce n'est pas si simple car on dispose de peu de référence en la matière...en tout cas c'est très inférieur à la masse de la Terre !

On peut identifier les « maillons faibles » de cette démarche : choix de H , valeur de la température, valeur de la pression...en réalité on sait qu'un modèle d'atmosphère isotherme induit une diminution de la pression suivant la loi du nivellement barométrique, le modèle isotherme étant lui-même fragile car la température diminue dans un premier temps avec l'altitude. Une mise en œuvre du modèle isotherme est possible mais n'apporte rien par rapport à la seconde méthode développée ci-dessous.

Seconde approche : autour de l'équilibre mécanique d'une colonne d'air.

Cette approche est davantage celle du physicien car elle se réfère à un équilibre mécanique, elle est sans doute moins naturelle dans le contexte d'un problème de chimie, mais plus fiable car les hypothèses sont moins nombreuses et plus facilement contrôlables.

Schéma général : Il s'agit simplement de relier la pression au niveau du sol, au poids par unité de surface de la colonne d'air située à la verticale.

Mise en œuvre :

1. La relation de base traduit l'équilibre de la colonne d'air de masse m de section s située au dessus d'un point M du sol : $P_o s = mg$. On suppose ici que g est uniforme donc que la hauteur d'atmosphère est faible devant le rayon de la Terre. Ce qui est raisonnable ($H = 100 \text{ km} \ll R_T = 6400 \text{ km}$).

En extrapolant à la Terre dans sa totalité, ce qui est possible toujours en raison de l'inégalité

précédente, on obtient sans difficultés : $M = \frac{P_o 4\pi R_T^2}{g}$.

2. On évalue alors la masse de diazote M_{N_2} en multipliant par la fraction massique du diazote w (voisine de 0,8 car N_2 et O_2 ont des masses molaires voisines. En prenant $R_T = 6400 \text{ km}$, $P_o = 10^5 \text{ Pa}$ et $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ et $w = 0,8$; on trouve

$$M_{N_2} = w \frac{P_o 4\pi R_T^2}{g} \approx 4.10^{18} \text{ kg}$$

Commentaires :

- Les hypothèses sont plus limitées et davantage testables : g et P_o uniformes. Nulle hypothèse n'est faite sur la nature du gaz, sa température...

- On peut chiffrer la précision de cette évaluation à moins de 10 % il me semble, car chaque hypothèse peut induire des variations n'excédant pas plus de quelques pourcents.

3. Analyse.

Cette activité proposée possède les caractéristiques d'une résolution de problèmes :

- Les étapes de la résolution ne sont pas données.
- De nombreuses données sont manquantes et relèvent de l'initiative du candidat.
- La démarche de résolution n'est pas unique, il y a au moins deux approches possibles et radicalement différentes dans leur esprit même si une analyse plus précise permet de les rapprocher.
- Il n'y pas une réponse précise unique à la question.
- Il faut discuter du résultat final obtenu et éventuellement trouver des pistes pour améliorer la résolution.

Identification des points forts de cette résolution de problème :

S'approprier le problème

- Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole : P_o, V, T, g, \dots
- Identifier le domaine de la physique ou de la chimie dont relève cette problématique. (Ici l'approche peut-être assez différente)

Établir une stratégie de résolution

- Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées (gaz parfait ou équilibre mécanique d'un système).
- Identifier les étapes principales de la résolution (cf. diagramme ci-dessous).
- Identifier les hypothèses à formuler pour accéder à différents ordres de grandeur.

Mettre en œuvre la stratégie

La difficulté réside essentiellement dans la donnée d'ordres de grandeur qui relèvent de la culture scientifique et à l'initiative dont on doit faire preuve concernant les prises de décision.

- Faire preuve d'initiative dans l'évaluation éventuelle des grandeurs comme le volume du gaz, la pression, la température, l'uniformité de l'accélération de pesanteur...
- Donner les ordres de grandeur (éventuellement utiles) : surface de la Terre, hauteur de l'atmosphère, composition de l'air, pression atmosphérique, masse molaire de N_2 , température moyenne...
- Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée.

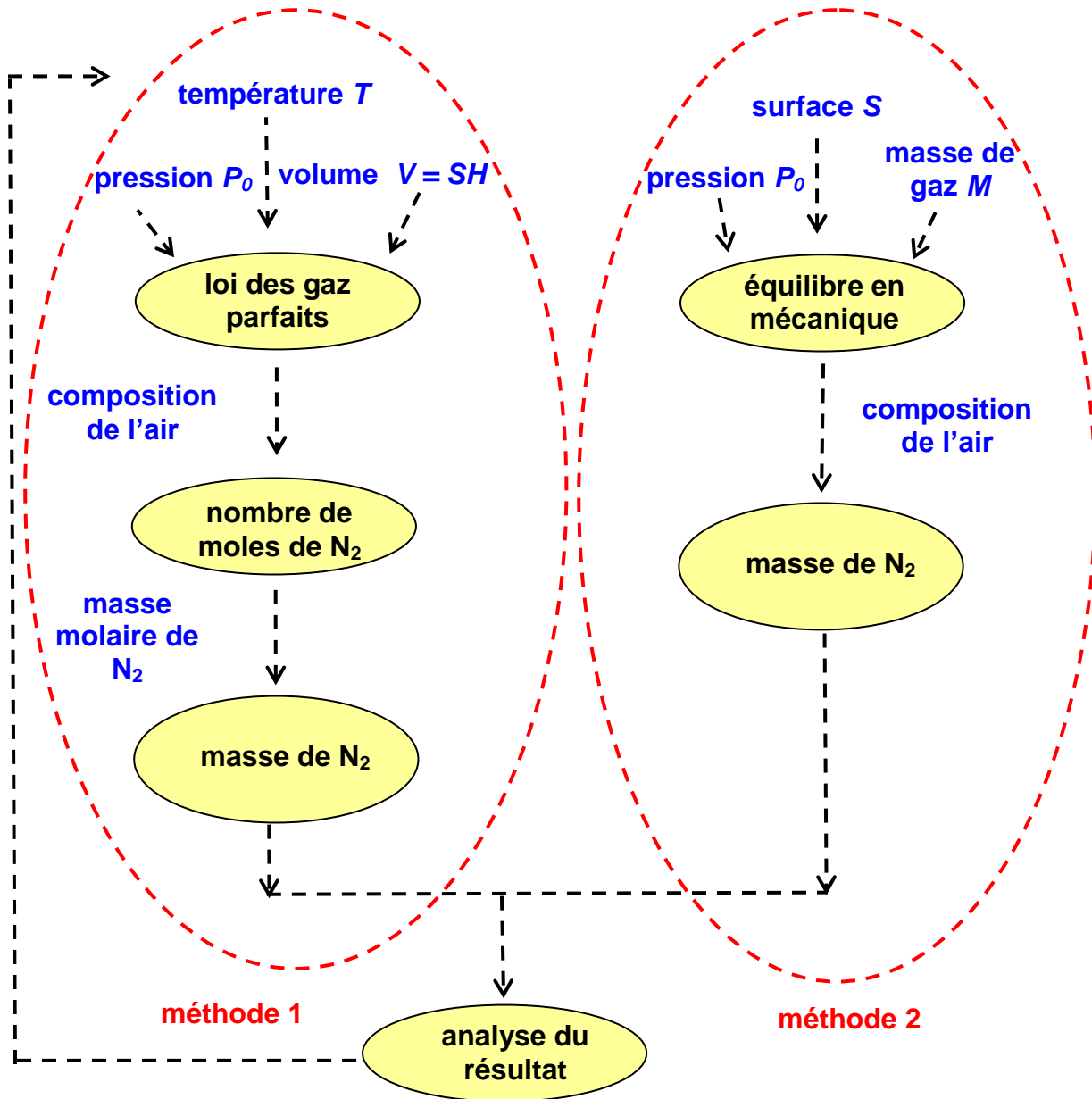
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus

- S'assurer que l'on a répondu à la question posée.
- Analyser les conséquences du résultat obtenu en s'appuyant sur ses connaissances et son « bon sens ».
- Remettre en cause un modèle en identifiant les approximations faites et les « maillons faibles » de la démarche.

Rédiger la solution

- Expliquer le raisonnement, décrire la démarche suivie et commenter le résultat.
- Présenter les résultats en utilisant un mode de représentation approprié.

Schéma d'analyse des démarches :



- On identifie ainsi les étapes nécessaires à la résolution du problème.

4. Evaluation de l'activité basée sur les compétences.

La grille d'évaluation doit être le reflet des points forts mobilisés par l'activité. Dans ce cas, il est clair que les compétences analyser et réaliser sont mobilisées de manière équivalente, de plus la compétence valider a beaucoup d'importance en particulier pour l'amélioration de la méthode 1 ou éventuellement l'évaluation de la précision dans la méthode 2, elle mérite donc une attention particulière.

Exemple de grille d'évaluation basée sur les compétences :

Masse de diazote contenue dans l'atmosphère (Capes 2013)

Compétences	Observables possibles	Niveau de maîtrise (poids relatif)
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole : P_0, V, T, g, \dots - Identifier le domaine de la physique ou de la chimie dont relève cette problématique. (l'approche peut-être assez différente...) 	<p>A B C D</p> <p>**</p>
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées (gaz parfait ou équilibre mécanique d'un système) - Identifier les étapes principales de la résolution - Identifier les hypothèses à formuler pour accéder à différents ordres de grandeur (GP, volume, pression, température, g uniforme...) - faire la synthèse et proposer un schéma de résolution¹ 	<p>A B C D</p> <p>*****</p>
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'initiative dans l'évaluation éventuelle des grandeurs comme le volume du gaz, la pression, sa température, l'uniformité de l'accélération de pesanteur... - Donner les ordres de grandeur (éventuellement utiles) : surface de la Terre, hauteur de l'atmosphère, composition de l'air, pression atmosphérique, masse molaire de N_2, température moyenne. - Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. 	<p>A B C D</p> <p>*****</p>
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - S'assurer que l'on a répondu à la question posée. - Analyser les conséquences du résultat obtenu en s'appuyant sur ses connaissances et son « bon sens ». - Remettre en cause un modèle en identifiant les approximations faites et les « maillons faibles » de la démarche. - Identifier d'éventuelles valeurs aberrantes. 	<p>A B C D</p> <p>*****</p>
Communiquer	<ul style="list-style-type: none"> - expliquer le raisonnement et décrire la démarche suivie - utiliser le langage des mathématiques de manière rigoureuse - présenter les résultats de manière adaptée (unités, chiffres significatifs...) - soigner et rédiger de manière adaptée 	<p>A B C D</p> <p>***</p>
	Bilan de l'activité	

¹ Le schéma en tant que tel n'est pas demandé, il ne doit pas être exigé. Il est donc facultatif en tant que schéma mais la réponse doit faire apparaître sous une forme ou une autre les étapes de la résolution.

- Pour l'évaluation chiffrée finale on peut identifier des niveaux de maîtrise A, B, C, D par exemple et élaborer la note finale attribuée à l'aide d'un système semblable à l'ECE : définition d'un poids relatif pour chaque compétence et calcul automatique de la note finale avec l'idée de pouvoir mettre la note maximale à diverses solutions même « non parfaites » mais que l'on juge suffisamment abouties.