



## I. Notion d'avancement, analogie avec des sandwiches

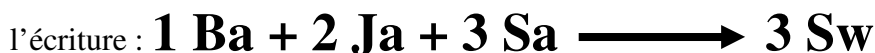
Un boulanger se lance dans la vente de sandwiches. Afin d'améliorer la gestion du stock d'ingrédients, son fils chimiste l'observe pendant une journée.

Avec 1 baguette (Ba), 2 tranches de jambon (Ja), 3 feuilles de salade (Sa), il prépare 3 sandwiches (Sw).

Les ingrédients sont considérés comme des réactifs, ils sont consommés au fur et à mesure de la journée.

Les sandwiches sont considérés comme des produits, ils sont fabriqués tout au long de la journée.

Tant que le boulanger possède assez d'ingrédients, il réalise la recette que l'on peut symboliser par



La quantité de sandwiches fabriqués dans la journée dépend de :

- la recette = équation chimique,
- la quantité de baguette, de jambon et de salade qui était présente initialement dans la boulangerie = quantité initiale de réactifs.

**1. ÉTAT INITIAL :** Le boulanger possède 150 baguettes (Ba), 50 tranches de jambon (Ja), 69 feuilles de salades. Il n'a encore fabriqué aucun sandwich (Sw).

Compléter **UNIQUEMENT** la ligne 1 du tableau ci-après.

**2. À 10 h du matin :** Le boulanger a préparé 3 sandwiches. Il a réalisé **une fois** la recette de préparation des sandwiches. L'avancement  $x$  est égal à 1.

Compléter **UNIQUEMENT** la ligne 2 du tableau, en indiquant les quantités de baguette, de jambon et de salade qui lui restent en stock.

**3. À 10 h 30 :** Le boulanger exécute **une deuxième fois** la recette, fabriquant ainsi 3 sandwiches de plus. L'avancement  $x$  est égal à 2. Compléter **UNIQUEMENT** la ligne 3 du tableau.

**4. À une certaine heure :** Il s'agit maintenant de généraliser, afin de ne pas remplir une ligne à chaque fois que la recette est réalisée.

Pour les tranches de jambon, à chaque fois que la recette est réalisée une fois, ce sont deux tranches qui sont consommées. Si la recette est réalisée  $x$  fois, ce seront  $2x$  tranches qui seront consommées. Au début, il y avait 50 tranches de jambon. Lorsque la recette aura été réalisée  $x$  fois, il restera  $50 - 2x$  tranches.

Compléter **UNIQUEMENT** la ligne 4 du tableau. **Faire valider cette ligne par le professeur avant de continuer.**

**5.** Le boulanger se demande quel ingrédient viendra à manquer en premier, stoppant ainsi la fabrication de sandwiches. Il dit à son fils « j'ai beaucoup plus de feuilles de salade que de tranches de jambon, donc je vais sûrement manquer de jambon ». Son fils a une approche plus scientifique.

Posons trois hypothèses, soit tu manqueras de baguettes, soit de jambon, soit de salade.

Déterminons l'avancement maximal  $x_{\max}$  correspondant à chaque ingrédient.

L'avancement maximal est le nombre de fois où la recette est réalisable. Lorsque cet avancement est atteint, un ingrédient devient manquant, la fabrication est stoppée.

**5.1.** Pour les baguettes : Il n'y a plus de baguettes lorsque  $x = x_{\max}$ . Soit lorsque  $150 - x_{\max} = 0$ .

En déduire la valeur de  $x_{\max}$ .

**5.2.** Pour le jambon : Déterminer combien de fois on peut réaliser la recette avec 50 tranches de jambon. (= déterminer  $x_{\max}$  du jambon)

**5.3.** Même question pour les feuilles de salade.

**5.4.** Compléter : « La quantité initiale de baguettes permettrait de réaliser .... fois la recette. La quantité initiale de jambon permettrait de réaliser ... fois la recette. La quantité initiale de salade permettrait de réaliser ... fois la recette. »

**5.5.** Quel est l'ingrédient qui viendra à manquer en premier ? En déduire la valeur de l'avancement maximal qu'il faut retenir. Compléter la ligne 5 du tableau. Faire une phrase indiquant les quantités de chacun des ingrédients restants, et la quantité de sandwiches produite.

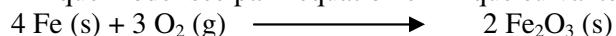
**5.6.** Quel est le réactif limitant ? le(s) réactif(s) en excès ?

| équation traduisant l'évolution du système |   |              | 1 Ba      | + | 2 Ja      | + | 3 Sa | → | 3 Sw |
|--|---|--------------|-----------|---|-----------|---|------|---|------|
|  | état du système                                       | Avancement   | quantités |   |           |   |      |   |      |
| 1  | état initial :<br>matin                               | $x = 0$      |           |   |           |   |      |   |      |
| 2  | à 10 h  | $x = 1$      |           |   |           |   |      |   | 3    |
| 3  | à 10h30   | $x = \dots$  |           |   |           |   |      |   |      |
| 4  | à une certaine heure                                  | $x$          |           |   | $50 - 2x$ |   |      |   |      |
| 5  | état final :<br>un ingrédient est totalement consommé | $x_{\max} =$ |           |   |           |   |      |   |      |

## II. Transformation chimique entre le fer et le dioxygène

En chimie, la réaction a lieu un nombre de fois extrêmement grand. On raisonne alors en moles. La réaction a lieu  $x$  mol de fois. Par exemple,  $x = 3$  mol signifie que la réaction a eu lieu  $3 \times 6,02 \times 10^{23}$  fois.

Soit la transformation chimique modélisée par l'équation chimique suivante :



**Cas n°1:** On a mélangé de 8 mol de fer avec 9 mol de dioxygène.

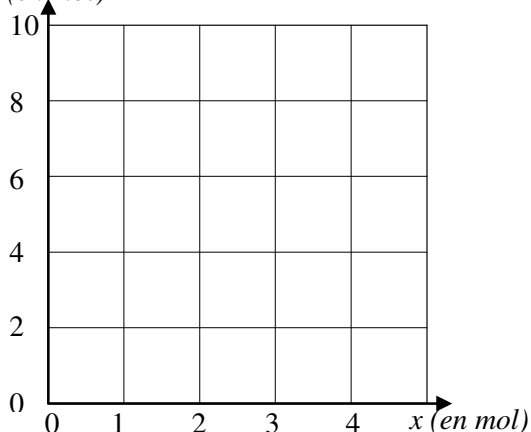
**1.1.** Compléter **UNIQUEMENT** les deux première lignes du tableau d'avancement suivant.

| équation chimique   |                  | 4Fe (s)                    | +   | 3O <sub>2</sub> (g) | →   | 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s) |
|---|------------------|----------------------------|-----|---------------------|-----|-------------------------------------|
| État du système   | Avancement (mol) | Quantités de matière (mol) |     |                     |     |                                     |
| État initial  | 0                | $n_{\text{Fe}} =$          |     | $n_{\text{O}_2} =$  |     | $n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0$     |
| En cours de transformation  | $x$              | $n_{\text{Fe}} =$          | (1) | $n_{\text{O}_2} =$  | (2) | $n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} =$       |
| État final<br>à compléter après le tracé des droites d'évolutions | $x_{\max} =$     |                            |     |                     |     |                                     |

On recherche graphiquement l'avancement maximal  $x_{\max}$ .

Pour cela on trace les courbes d'évolution des quantités de matières des réactifs  $n$  en fonction de l'avancement  $x$ .

$n$  (en mol)



**1.2.** Sur la graphe ci-contre, tracer les droites :

(1)  $n_{\text{Fe}} = f(x)$  en bleu et (2)  $n_{\text{O}_2} = g(x)$  en rouge.

**1.3.** L'avancement maximal  $x_{\max}$  est la valeur de l'avancement pour laquelle la transformation s'arrête. Un des réactifs appelé **réactif limitant** a alors été totalement consommé.

Pour quelle valeur de  $x$  a-t-on  $n_{\text{Fe}} = 0$  ?

Pour quelle valeur de  $x$  a-t-on  $n_{\text{O}_2} = 0$  ?

En déduire la valeur de  $x_{\max}$  et indiquer quel est le réactif limitant ?

**1.4.** Compléter la dernière ligne du tableau d'avancement ci-dessus.



Pour visualiser ce cas n°1, ouvrir le fichier « avancement.swf ».

Supposons que A est le fer, B le dioxygène, C l'oxyde de fer(III).

Indiquer les coefficients stœchiométriques corrects pour chaque espèce chimique. (zéro pour D)

Indiquer les quantités de matière initiales.

Déplacer verticalement le curseur central pour voir l'évolution du système chimique.

Vérifier votre tableau d'avancement.

**Cas n°2:** On a mélangé de 8 mol de fer avec 6 mol de dioxygène.

Utiliser le fichier « avancement.swf » pour compléter le tableau d'avancement.

| équation chimique          |                  | $4\text{Fe (s)} + 3\text{O}_2\text{(g)} \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{(s)}$ |  |  |
|----------------------------|------------------|---|--|--|
| État du système            | Avancement (mol) | Quantités de matière (mol)  |  |  |
| État initial               | $x = 0$          |   |  |  |
| En cours de transformation | $x$              |   |  |  |
| État final                 | $x_{\max} =$     |   |  |  |

**2.1.** Dans ce cas, est-ce qu'un des réactifs est en excès ? Justifier brièvement.

**2.2.** Quel adjectif qualifie les proportions de réactifs initialement introduits ?

**2.3.** Faire une phrase récapitulative contenant les termes: réactifs, proportions stœchiométriques, consommés.

### III. Transformation entre le magnésium et l'acide chlorhydrique

Cette transformation chimique a été réalisée lors du TP C2, elle fût suivie à l'aide d'un capteur de pression.

On rappelle les quantités de matière de réactifs utilisées :  $n(\text{H}^+) = 10 \text{ mmol}$  et  $n(\text{Mg}) = 2,3 \text{ mmol}$

**1.** Compléter le tableau d'avancement correspondant à la transformation entre l'acide chlorhydrique et le magnésium. *Ne pas compléter la dernière ligne.*

| équation chimique          |                  | $2\text{H}^+\text{(aq)} + \text{Mg (s)} \longrightarrow \text{Mg}^{2+}\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$ |  |  |  |
|----------------------------|------------------|---|--|--|--|
| état du système            | avancement (mol) | quantités de matière (millimoles)   |  |  |  |
| état initial               | 0                |   |  |  |  |
| En cours de transformation | $x$              |   |  |  |  |
| état final                 | $x_{\max} =$     |   |  |  |  |

**2.** Détermination de l'avancement maximal :

L'avancement maximal correspond à l'arrêt de la transformation. Cet arrêt est du à la disparition totale d'un ou des deux réactifs.

Si  $\text{H}^+$  est le réactif limitant, on aura  $10 - 2x_{\max} = 0$

Si Mg est le réactif limitant, on aura  $2,3 - x_{\max} = 0$

On détermine  $x_{\max}$  pour chacun des cas, **le réactif pour lequel  $x_{\max}$  est le plus petit est le réactif limitant et il impose donc la valeur de  $x_{\max}$ .**

**3.** Indiquer quel est le réactif limitant puis compléter alors la dernière ligne du tableau.

#### IV. Transformation entre l'oxyde de cuivre (II) et le carbone

Le cuivre fut l'un des premiers métaux élaboré à partir de son minerai, vraisemblablement dès le VI<sup>ème</sup> millénaire avant J.C. Le minerai, contenant de l'oxyde de cuivre(II) CuO(s), était chauffé en présence de charbon de bois, essentiellement du carbone C(s). Les produits obtenus étaient du cuivre Cu(s) et du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>(g).

On considère le système chimique dont la composition à l'état initial est la suivante :

$$n_{\text{CuO}} = 1,2 \text{ mol et } n_{\text{C}} = 0,90 \text{ mol.}$$

1. Établir l'équation chimique associée à cette transformation.

2. Compléter le tableau d'avancement suivant (l'état final sera complété après)

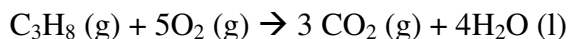
| équation chimique          |                    | →                          |  |  |  |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|--|--|--|
| état du système            | avancement (mol)   | quantités de matière (mol) |  |  |  |
| état initial               | 0                  |                            |  |  |  |
| En cours de transformation | $x$                |                            |  |  |  |
| état final                 | $x_{\text{max}} =$ |                            |  |  |  |

3. Déterminer la valeur de l'avancement maximal et compléter la dernière ligne du tableau. À l'aide du fichier « avancement.swf » vérifier votre tableau d'avancement.

4. Calculer la masse de cuivre formée lors de la transformation.  $M_{\text{Cu}} = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$

#### V. Exercice (corrigé p 49)

L'équation chimique associée à la combustion complète du propane est la suivante :



On réalise la combustion de 48,0 L de propane à la température T et à la pression P.

1) Quelle est la quantité de matière de propane initiale ?

2) Quelle serait la quantité de matière de dioxygène nécessaire pour un mélange initial stoechiométrique ?

3) Le volume de dioxygène à l'état initial est égal à 120 L à T et P. Quel est le réactif limitant ?

4) À l'aide de l'avancement chimique, construire le tableau descriptif de la transformation.

5) Tracer sur un même graphe l'évolution des quantités de matière des réactifs en fonction de l'avancement chimique au cours de la transformation. Déterminer graphiquement la valeur de l'avancement maximal.

6) Effectuer un bilan de matière à l'état final en utilisant le tableau descriptif.

**Donnée:** Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience  $V_m = 24,0 \text{ L.mol}^{-1}$