

# La réaction chimique et les bilans de matière

## I] Système chimique, réaction et transformation chimique

A l'échelle macroscopique, on considère un *système chimique* constitué d'une masse  $m_1 = 0,50$  g de métal zinc en poudre et d'un volume  $V_2 = 10$  mL d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée à  $c_2 = 5$  mol.L<sup>-1</sup>.

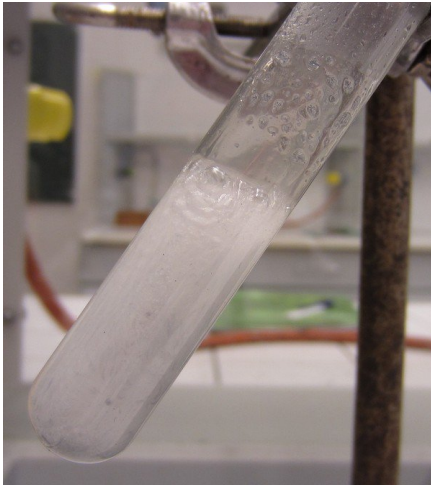
### 1) Etat Initial

On décrit l'état initial du système en précisant l'état physique des réactifs (solide, liquide ou aqueux, gaz), leur quantité en mol et la température et la pression.

- Zinc (solide) :  $n_1 = \frac{m_1}{M_{Zn}} = \frac{0,50}{65,4} = 7,65 \cdot 10^{-3}$  mol
- Ion oxonium  $H_{(aq)}^+$  ou  $H_3O_{(aq)}^+$  : l'acide chlorhydrique est un acide fort donc il est complètement dissocié par l'eau suivant la réaction  $HCl + nH_2O \rightarrow H_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$  :  $n_2 = n_{HCl} = n(H_{(aq)}^+) = c \cdot V = 5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 50$  mmol
- Les ions chlorure n'interviennent pas dans la réaction donc ne font pas partie des réactifs. (La réaction aurait été la même avec l'acide sulfurique  $H_2SO_4$  par exemple.)
- La température initiale est de 25°C et la pression est la pression atmosphérique du jour, proche de la pression atmosphérique normale de 1013 hPa.

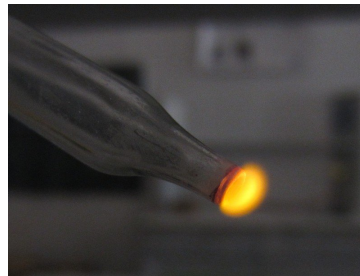


### 2) La réaction a lieu :

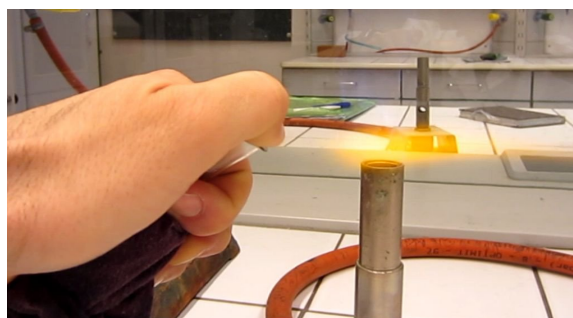
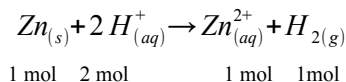


On observe immédiatement une effervescence (production de gaz) importante dans le tube à essai qui se met à chauffer.

On place rapidement un bouchon percé avec un tube de dégagement sur l'éprouvette et on attend quelques instants que tout l'air présent initialement dans le tube à essai soit évacué par le gaz produit. En tenant l'éprouvette avec un chiffon, on approche l'extrémité du tube à essai de la flamme du bec Bunsen : le gaz produit brûle avec une flamme jaune.



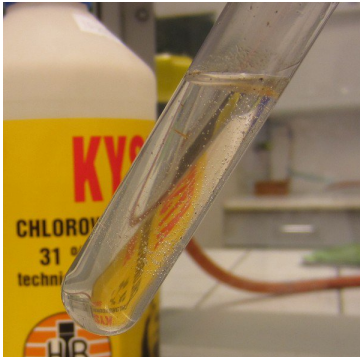
On peut aussi enlever le tube de dégagement et boucher l'éprouvette avec un doigt. Après quelques instants, on approche l'extrémité de l'éprouvette du bec Bunsen et on entend une petite détonation. Le gaz produit est du dihydrogène  $H_2$  suivant la réaction :



### 3) Etat Final

Le gaz produit par la réaction s'est en partie échappé et a en partie réagit avec le dioxygène de l'air pour faire la flamme jaune et la petite détonation. Comme on ne s'intéresse qu'à la première transformation chimique, on imagine que le système final contient encore ce gaz et qu'on a laissé la température et la pression revenir aux valeurs initiales.

On observe que tout le zinc solide a disparu quand l'effervescence a cessé. Une goutte de bleu de bromothymol dans le tube à essai colore le liquide en jaune et montre qu'il reste de l'acide. On dira que le zinc était *en défaut* (il en manquait) et que l'acide était *en excès* (il y en avait trop).



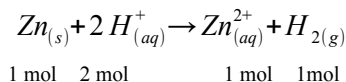
- Le nombre de moles d'ions zinc  $Zn^{2+}$  formées est égal au nombre de moles de zinc consommées :  $n_3 = n_1 = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
- Calculons le volume de gaz  $H_2$  formé :  $n_4 = n_3$  d'après l'équation de la réaction donc  $V(H_2) = n_4 \cdot V_{\text{molaire}} = 7,65 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 0,19 \text{ L} = 190 \text{ mL}$
- Il reste des ions oxonium  $H_3O^+$  :  $n'_2 = n_2 - 2 \times n_1$  d'après l'équation de la réaction, ce qui donne  $n'_2 = 50 - 2 \cdot 7,65 = 34,7 \text{ mmol}$ .



### 4) Transformation ou réaction chimique ?

#### a) La réaction chimique est un modèle.

L'équation de la réaction n'explique pas ce qui se passe à l'échelle microscopique (*mécanisme réactionnel*). Dans notre exemple, on n'explique pas comment les ions  $H^+_{(aq)}$  arrachent des électrons au métal zinc ni comment 2 ions  $H^+_{(aq)}$  semblent arriver en même temps pour qu'on puisse obtenir une molécule de dihydrogène  $H_2$ .



#### b) L'équation de la réaction doit être équilibrée.

Antoine Lavoisier aurait dit "Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme". Lors d'une réaction chimique, des liaisons sont rompues (étape endoénergétique), d'autres sont créées (étape exoénergétique) mais on ne perd ni ne crée d'électrons (*conservation de la charge*) et les atomes restent les mêmes (*conservation de la masse* ou plutôt en chimie, des atomes).

On ajuste donc les nombres "*stoichiométriques*" (du grec *stoicheion* élément et *metrein* mesure), pour respecter les conservations de la charge et des éléments.

Ici cela permet de dire qu'il faut deux fois plus d'ions  $H^+_{(aq)}$  que de zinc (en moles) pour que tous les réactifs disparaissent, ou qu'il y aura autant de moles de gaz produites que de moles de zinc consommées.

On remarque aussi qu'il manque du zinc ( $7,65 \text{ mmol} < 50/2 = 25 \text{ mmol}$ ). On dira que le zinc est le *réactif limitant*, et que la transformation sera finie quand il aura été complètement consommé.

#### c) En résumé

Etat initial
• $Zn_{(s)} : n_1 = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
• ions oxonium $H^+_{(aq)} : n_2 = 50 \text{ mmol}$
• $\theta_i = 25^\circ\text{C}$ et $P_i = 1013 \text{ hPa}$ .

transformation chimique



Etat final
• ions zinc $Zn^{2+}_{(aq)} : n_3 = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
• ions oxonium $H^+_{(aq)} : n'_2 = 34,7 \text{ mmol}$
• dihydrogène $H_{2(g)} : n_4 = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
• $\theta_f = 25^\circ\text{C}$ et $P_f = 1013 \text{ hPa}$ .

## II] Tableau d'avancement

1) Le tableau d'avancement est une autre présentation d'une transformation chimique.

L'avancement  $x$  de la réaction est un outil pratique en 3<sup>ème</sup> année qui deviendra indispensable en 5<sup>ème</sup> année. L'avancement  $x$  représente le nombre de moles de produit déjà formées depuis le début de la réaction.

Reprenons l'équation de la réaction précédente, en notant les ions oxonium  $H_3O_{(aq)}^+$  :

$Zn_{(s)} + 2H_3O_{(aq)}^+ \rightarrow Zn_{(aq)}^{2+} + H_{2(g)} + 2H_2O$ . Les molécules d'eau qui étaient associées aux protons sont libérées dans la solution.

Equation	$Zn_{(s)}$	$+ 2H_3O_{(aq)}^+ \rightarrow$	$Zn_{(aq)}^{2+}$	$+ H_{2(g)}$	$+ 2H_2O$
<i>coefficients stœchiométriques</i>	1 mol	2 mol	1 mol	1 mol	2 mol
Etat Initial	$n_1 = 7,65 \cdot 10^{-3}$ mol	$n_2 = 50 \cdot 10^{-3}$ mol	0	0	–
en cours	$n_1 - x$	$n_2 - 2x$	$x$	$x$	–
Etat Final	$n_1 - x_{max} = 0$	$n_2 - 2x_{max} = 34,7$ mmol	$x_{max} = 7,65$ mmol	$x_{max} = 7,65$ mmol	–

### 2) Commentaires sur le tableau :

- La première ligne contient l'équation de la réaction correctement équilibrée en masse et en charges.
- Pour remplir la seconde ligne, on calcule le nombre de moles des différentes espèces chimiques dans l'état initial.
  - En général il n'y a pas encore de produits.
  - Dans notre cas particulier, l'eau est le solvant de l'acide donc ce n'est pas la peine de calculer la quantité d'eau produite lors de la transformation chimique : il y en a beaucoup (56 moles par litre d'eau) et ce ne sont pas les quelques millimoles en plus qui vont faire varier son volume.
- La troisième ligne décrit le système chimique en train de réagir.
  - On choisit d'appeler  $x$  l'avancement de la réaction le nombre de mole d'ions zinc ou de dihydrogène déjà formés.
  - En fonction des coefficients stœchiométriques on enlève  $x$  moles de zinc à  $n_1$  pour chaque  $x$  moles d'ion zinc  $Zn_{(aq)}^{2+}$  formées et  $2x$  moles d'ions oxonium  $H_3O_{(aq)}^+$  pour chaque  $x$  moles de dihydrogène formées.
- La dernière ligne décrit l'état final du système chimique : La réaction s'arrête s'il manque un des deux réactifs. Des deux équations  $n_1 - x_{max} = 0$  et  $n_2 - 2x_{max} = 0$ , on choisit celle qui donne  $x_{max}$  le plus petit (sinon il resterait une valeur négative de l'autre réactif...).