

(Transformation chimique, réaction chimique...)

L'exemple de l'attaque acide du zinc

Un morceau de zinc est placé dans de l'acide chlorhydrique (expérience). Une transformation (chimique) a manifestement lieu : bulles de gaz + « disparition » des grains de Zn solide...

Nous devons expliquer la transformation observée en proposant une réaction chimique, c'est-à-dire considérer la rencontre entre certaines espèces chimiques, les réactifs, donnant lieu à la formation de nouvelles espèces, les produits.

Nous modélisons cette réaction à l'aide d'une équation de réaction :



(les autres espèces présentes ne participant pas à la transformation ne sont donc pas présentées dans l'équation de la réaction, voir plus loin dans la présentation)



*Le zinc
solide...*

*Réagit
avec...*

*Les ions
oxonium de
l'acide
chlorhydrique...*

*Pour
donner...*

*Des ions Zn^{2+}
dissous dans
l'eau...*

*Du dihydrogène
gazeux...*

*Et de l'eau (qui
est ici le solvant).*



On note la stoechiométrie (les nombres précédant chaque symbole chimique, 1 pour Zn, 2 pour H₃O⁺, etc.) :

- Elle indique les proportions dans lesquelles les réactifs doivent réagir entre eux ainsi que celles dans lesquelles les produits se forment.

- Elle permet d'écrire une réaction équilibrée traduisant un principe fondamental en chimie :

Le principe de conservation de la matière au cours de toute transformation chimique!

(une transformation chimique ne donne lieu qu'à des modifications des parties externes des nuages électroniques des espèces impliquées...)

(par exemple ici : il faut deux mol d'ions oxonium pour faire réagir une mol de zinc solide et on forme deux mol d'eau pour chaque mol de dihydrogène dégagé)

(la conservation du nombre total d'entités « atomiques », c'est-à-dire constituées d'un seul noyau, ...)



Cette flèche (« transformation ») indique que la réaction ira à son terme, jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de faire se rencontrer les réactifs...

C'est-à-dire jusqu'à ce que l'un des réactifs soit entièrement consommé.

*Ce réactif est appelé le **réactif limitant***

*Les autres réactifs sont donc apportés **en excès** par rapport au réactif limitant.*

Lorsque les réactifs sont entièrement consommés en même temps, au même stade de la réaction, alors ils ont été apportés dans les proportions stoechiométriques.

Lorsque les réactifs sont apportés dans les proportions stoechiométriques, alors ils sont entièrement consommés en même temps, au même stade de la réaction.

Etat initial : les espèces de notre système chimique viennent d'être mélangées la transformation n'a pas commencé, l'avancement est nul. **x = 0 mol**

Par exemple, nous avons apporté n_1 mol de $Zn_{(s)}$ et n_2 mol de $H_3O^+_{(aq)}$

État
d'avancement



x = 0

n_1

n_2

0

0

E

x

Et l'eau ??

x

$n_1 - x$

$n_2 - 2x$

x

x

C

è

S

C'est le solvant, en large excès durant toute la réaction...

Sous chaque symbole d'espèce est indiquée la quantité d'espèce présente pour différents états de la transformation (chacun d'entre eux étant décrit le long d'une ligne).

Nous pouvons proposer une définition de l'avancement x :

Lorsque l'avancement de la réaction vaut x , la quantité de matière d'un réactif A accompagné du nombre stoechiométrique a dans l'équation de réaction diminue de la valeur ax , et la quantité de matière d'un produit B accompagné du coefficient stoechiométrique b augmente de bx



État initial, $x = 0$

n 0

En cours, x

$n - ax$ bx

On pourrait aussi
avoir :

État initial, $x = 0$

n_A n_B

En cours, x

$n_A - ax$ $n_B + bx$

Retour à notre exemple préféré, en précisant que les quantité de matière apportées initialement sont $n_1 = 1 \text{ mol}$ et $n_2 = 1 \text{ mol}$.

Enfin, la réaction atteint son état final (les quantités de matières de chaque espèce de notre système n'évoluent plus) : $x = x_{final}$

Si la réaction est allée à son terme (réactif limitant entièrement consommé, réaction totale) : $x_{final} = x_{max}$



$x = 0$	n_1	n_2	0	0
x	$n_1 - x$	$n_2 - 2x$	x	x
$x = x_{max}$	$0,5 \text{ mol}$	0 mol	$0,5 \text{ mol}$	$0,5 \text{ mol}$

Expliquez cette série de valeurs finales (vous avez 5 min) !

(d'autres exemples sont maintenant traités en classe...)

Maitrisant désormais la réaction chimique, nous pouvons maintenant aller beaucoup plus loin et répondre à des questions plus précises :

On souhaite oxyder 2,2 g de zinc solide (préalablement pesé)

On dispose pour cela d'acide chlorhydrique concentré dont l'étiquette indique :

« 37 % massique, densité 1,19 »

Quel volume d'acide faut-il prélever de manière à apporter la quantité exactement nécessaire à l'oxydation des 2,2 g de zinc ?

Données :

- masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : Zn : 65,4 H : 1,0 Cl : 35,5

- L'acide chlorhydrique est une solution aqueuse de chlorure d'hydrogène HCl

la dissolution de HCl, qui est un gaz, s'accompagne d'une

dissociation complète par l'eau : $\text{HCl}_{(g)} \rightarrow \text{HCl}_{(aq)}$



Ion oxonium



Ce sont les ions oxoniums $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$ qui attaquent le zinc !



Rappels

Quantité de matière, mole, concentrations, etc.

Des formules que l'on comprend...

... en considérant les grandeurs considérées et leurs unités.

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$c = \frac{n}{V_{sol}}$$

$$t = \frac{m}{V_{sol}}$$

Rappels, suite :

Densité ou masse volumique ?

(on se limitera au cas des liquides...)

$$d_{liq} = \frac{\rho_{liq}}{\rho_{eau}}$$

$$\rho_{liq} = \frac{m}{V}$$

(il s'agit donc de densité **par rapport à l'eau**)

Unités pour ρ et d ?

(d'après formules ci-dessus)

kg.m⁻³, kg.L⁻¹, g.mL⁻¹, etc.

Pas d'unité

V ou V_{sol}...

... ne pas confondre !

Partons de la réaction chimique d'oxydation du zinc...



« 1 mol de zinc réagit avec 2 mol d'ions oxonium pour former 1 mol d'ions zinc (II), 1 mol de dihydrogène et 2 mol d'eau »

Convertissons les 2,2 g de $\text{Zn}_{(s)}$
en quantité de matière :

$3,36 \times 10^{-2}$ mol de Zn à faire réagir

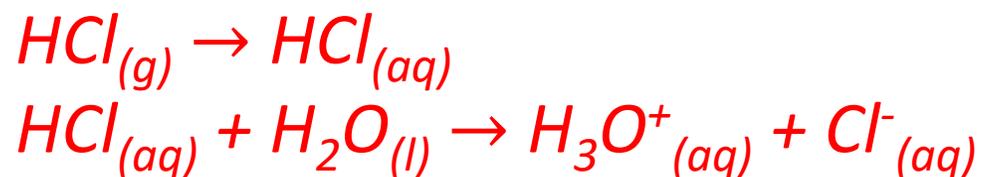
Donc $6,73 \times 10^{-2}$ mol d'ions H_3O^+ nécessaire

Nous devons maintenant déterminer le
volume de la solution d'acide chlorhydrique
à utiliser...

**C'est dans ce volume prélevé que se trouvent
les $6,73 \times 10^{-2}$ mol d'ions H_3O^+**

**Il faut que la donnée « 37 % massique, densité 1,19 »
soit convertie en : Concentration molaire en ions H_3O^+ !**

la dissolution de HCl , qui est un gaz,
s'accompagne d'une dissociation
complète par l'eau :



**$C \text{ mol.L}^{-1}$ de HCl dissous pour obtenir la
solution donneront $C \text{ mol.L}^{-1}$ d' $\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$
effectivement présents dans la solution
d'acide réalisée.**

« 37 % massique » = dans 100 g de la solution, il y a 37g de HCl dissous

à convertir en L (ou mL)...

à convertir en mol...

Et nous aurons presque terminé...

*Volume de solution d'acide correspondant à
100 g de la solution :*

$$V = \frac{m}{\rho_{liq}} = \frac{m}{d \times \rho_{eau}}$$

$$V = 84 \text{ mL}$$

*Quantité de matière correspondant à 37g
de chlorure d'hydrogène HCl :*

$$n = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl}}$$

$$n = 1,01 \text{ mol}$$

1,01 mol d'ions H_3O^+ dans 84 mL d'acide chlorhydrique commercial...

$6,73 \times 10^{-2}$ mol d'ions H_3O^+ dans...

$$\frac{6,73 \times 10^{-2} \times 84}{1,01}$$

$$V_{\text{prélevé}} = 5,6 \text{ mL}$$

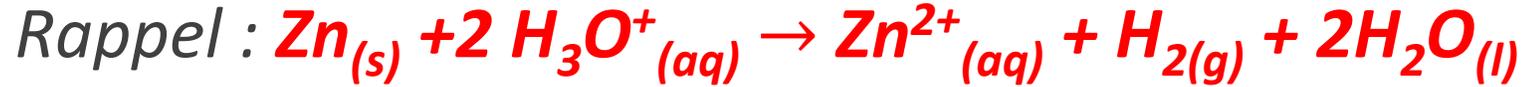
($C = 12 \text{ mol.L}^{-1}$)

Parenthèse à propos de
concentration molaire :

***Quelle est la concentration
de l'eau dans l'eau ?***

(retour à l'exercice « oxydation du zinc »)

Suite à la réaction, quel est le volume de dihydrogène dégagé ?



Données :

- Le gaz est formé à pression atmosphérique : 1,015 bar
(1 mbar = 1hPa) et à température ambiante : 25°C

- *Le modèle du gaz parfait est appliqué :*

The diagram shows the ideal gas law equation $PV = nRT$ in large orange letters. Blue arrows point from unit labels to each variable: 'En Pa' points to P, 'En m³' points to V, 'En mol' points to n, and 'En K' points to T. The gas constant R is given as $8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ in blue text at the bottom right.

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Estimez le résultat (valeur de V) sans calculatrice.

$$V = \frac{0,033 \times 8,31 \times 298}{1,015 \times 10^5}$$

$$V \approx 7,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$(0,75 \text{ L})$$

$$(0,82 \text{ L})$$

Microscopique/Macroscopique

« système fermé »

A propos de $PV = nRT$



(Rappels sur la notion de température vue en fin de 2^{nde}, discussion approfondie)

L'énergie de
n mol du gaz...

« énergie »

Le produit $P \times V$

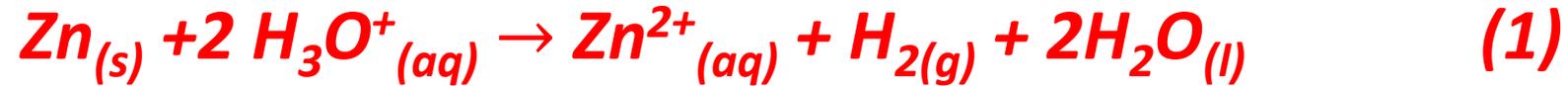
(rappels 2^{nde}...)

« énergie cinétique »

Les valeurs de P ou de V influencent la valeur de l'énergie de n mol de gaz

L'égalité ci-dessus s'appelle une équation d'état...

Le modèle du gaz parfait



Nous pouvons décrypter la réaction en séparant l'oxydation de Zn et la réduction de H_3O^+ :



« oxydation » = perte d'électrons

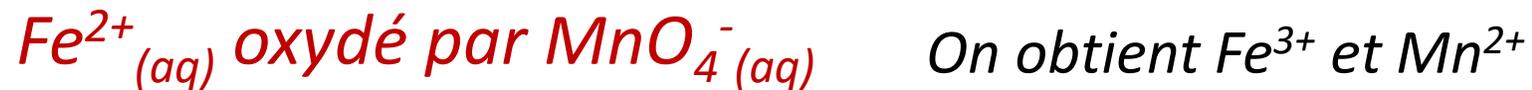


« réduction » = gain d'électrons

Si l'on réunit judicieusement les deux demi-équations, on retrouve (1)...

Le bilan électronique doit être nul pour toute réaction en solution aqueuse

Discussion + exemple plus compliqué durant la séance :



Recette d'équilibrage des demi-équations d'oxydoréduction :

Nous considérons le plus souvent des transformations en solutions aqueuses, nous pouvons équilibrer à l'aide d'espèces toujours présentes dans ce milieu : H_2O , H^+ (ou H_3O^+ c'est « pareil ») et HO^- .

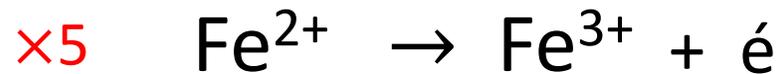
Pourquoi ?

(début de réponse...)

- *On équilibre d'abord le nombre d'atomes de l'élément chimique modifié (oxydé ou réduit)*
- *On équilibre les oxygène O avec des molécules d' H_2O*
- *On équilibre les hydrogène H avec des H^+*
- *On équilibre les charges électriques avec des électrons*

Lorsque l'on réunit les deux demi-équations de façon à obtenir l'équation, la vraie, de la réaction, on doit adapter la stoechiométrie de manière à ce qu'il y ait autant d'électrons gagnés d'une part que d'électrons perdus d'autre part.

(discussion)



(autres exemples pendant la séance...)

Notions abordées :

Oxydation : perte d'électrons

L'oxydant : celui qui peut être réduit, donc susceptible de gagner des électrons

Même style de présentation pour le réducteur...

Susceptible de céder des électrons

**Réducteur :
« donneur
d'électrons »**

Réduction gain d'électrons

**Oxydant :
« accepteur
d'électrons »**

**L'espèce réductrice
contient donc une zone,
un atome très riche en
électrons et qui pourra en
céder...**

***... Ou bien c'est une espèce qui devient
beaucoup plus stable si elle perd des
électrons !***

**L'espèce oxydante contient donc
une zone, un atome très pauvre en
électrons (discussion) et qui pourra
en fixer...**

***... Ou bien c'est une
espèce qui devient
beaucoup plus stable si
elle gagne des
électrons !***

Observons la classification périodique et réfléchissons :

Où situer
les plus
réducteurs ??

(on a dit : « réfléchissons »...)

1 H 1,008																	2 He 4,00
3 Li 6,94	4 Be 9,01											5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
11 Na 22,99	12 Mg 24,31											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,07	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,87	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,55	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,63	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,96	43 Tc [98]	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29
55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57-71	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89-103	104 Rf [267]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [272]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Uut [284]	114 Fl [289]	115 Uup [288]	116 Lv [293]	117 Uus [294]	118 Uuo [294]

Considérons quelques espèces
qui existent à l'état atomique :

© 2012, Clovis DARRIGAN - Anima-Science / www.darrigan.net - www.anima-science.fr

57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm [145]	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,05	71 Lu 174,97
89 Ac [227]	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,03	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]

Pourquoi est-il cohérent de penser qu'au cours de la transformation $C \rightarrow CO_2$ il y a oxydation du carbone ?

Pourquoi est-il cohérent de penser qu'au cours de la transformation $C \rightarrow CS_2$ il y a oxydation du carbone ?

Pourquoi est-il cohérent de penser qu'au cours de la transformation $CH_4 \rightarrow CH_2Cl_2$ il y a oxydation du carbone ?

*(Nous persisterons dans les notions de perte/gain
(ou éloignement/rapprochement) d'électrons)*

Clés du problème ?

La position de l'élément dans la classification !

L'électronégativité des éléments chimiques !

(les deux étant sans doute liées...)

1 H 1,008																	2 He 4,00
3 Li 6,94	4 Be 9,01											5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
11 Na 22,99	12 Mg 24,31											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,07	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,87	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,55	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,63	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,96	43 Tc [98]	44 Ru 101,07	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29
55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	57-71	72 Hf 178,49	73 Ta 180,95	74 W 183,84	75 Re 186,21	76 Os 190,23	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,97	80 Hg 200,59	81 Tl 204,38	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89-103	104 Rf [267]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [272]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Uut [284]	114 Fl [289]	115 Uup [288]	116 Lv [293]	117 Uus [294]	118 Uuo [294]

Valeurs de l'E.N. en haut à droite de la case

E.N. augmente
POURQUOI ??

57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm [145]	62 Sm 150,36	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,05	71 Lu 174,97
89 Ac [227]	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,03	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]

Le champion ?

E.N. augmente **POURQUOI ??**

Conclusion :

Merci

La classification

Périodique !!

Travaillons sur un exemple pour terminer :

10 g de permanganate de potassium ont été entièrement dissous de manière à obtenir 200,0 mL de solution aqueuse A.

2 g d'acide oxalique ont été dissous de manière à obtenir 50 mL de solution aqueuse B.

On mélange 10 mL de A et 10 mL de B.

Le mélange est-il encore rose lorsque la transformation est allée à son terme ?

Couples Ox/réd : $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$

$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$



Rappel de la situation :

10 g de permanganate de potassium ont été entièrement dissous de manière à obtenir 200,0 mL de solution aqueuse A.

2 g d'acide oxalique ont été dissous de manière à obtenir 50 mL de solution aqueuse B.

On mélange 10 mL de A et 10 mL de B.

Le mélange est-il encore rose lorsque la transformation est allée à son terme ?



Rose

incolore

incolore

incolore

incolore

incolore

Supplément : équilibrer une demi-équation rédox à l'aide de la notion d'électronégativité (déjà évoqué avec le couple CO_2/C) :

(exemple avec le couple $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$)

Exemples...