

# Stoechiométrie

1. Quantités chimiques
2. Équilibrage d'une réaction chimique
3. Équilibrage d'une réaction rédox

# Quantité de matière / microscopique

- **Masse atomique**

unité de masse atomique (*u.m.a.*): 1/12 masse d'un atome de  $^{12}\text{C}$

$$1 \text{ u.m.a.} = 1 \text{ Da} = 1.66054 \times 10^{-24} \text{ g}$$

La masse atomique d'un élément tient compte de l'abondance naturelle des différents isotopes et peut être considérée comme une donnée expérimentale affichée sur le tableau périodique.

masse atomique de l'oxygène:

$$15.9994 \text{ u.m.a.} = 15.9994 \times 1.66054 \times 10^{-24} \text{ g} = 2.65676 \times 10^{-24} \text{ g}$$

- **Masse moléculaire** est la somme des masses de chacun des atomes constituant une molécule. Elle est aussi donnée en *uma* ou *Da*.  
\* le défaut de masse est négligeable dans une liaison chimique

masse moléculaire de  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$(2 \times 1.0079) + (1 \times 15.9994) = 18.0152 \text{ Da} = 2.99 \times 10^{-23} \text{ g}$$

# La mole (mol)

→ Unité qui permet de rapporter simplement les nombres gigantesques d'atomes et de molécules dans des échantillons visibles.

## Définitions

1 mole d'atomes = quantité de substance contenant le même nombre d'atomes que 12 g de  $^{12}\text{C}$  pur.

Ce nombre : nombre d'Avogadro ( $N_A$ ) =  $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

1 atome de  $^{12}\text{C}$  pèse 12 Da (12 u.m.a)

1 mol d'atomes de  $^{12}\text{C}$  pèse 12 g

Ainsi pour 1 mol de  $^{12}\text{C}$ , on peut écrire

$$1 \text{ mol} \times N_A \times 12 \text{ Da} = 12 \text{ g}$$

$$N_A = 1 \text{ g Da}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Nouvelle définition IUPAC 2018

la mole est l'unité de quantité de matière qui contient  $6.02214076 \times 10^{23}$  particules élémentaires

# Quantité de matière / macroscopique

- Masse molaire d'un composé ou d'un élément

Masse d'une mole de molécules (atomes, ions etc.) donnée en g/mol

On la calcule ainsi à partir des données du tableau périodique:

$$M = \sum_i M_i(E_i) \times n_i$$

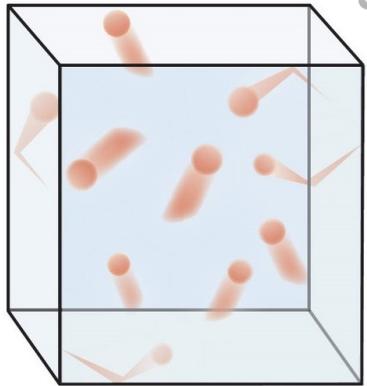
La masse molaire est la somme de la masse atomique  $M_i$  de chaque élément  $E_i$  qui compose la molécule, multipliée par le nombre  $n_i$  d'atomes de cet élément présent dans la molécule.

Masse molaire de  $^{12}\text{C}$  = 12 Da .  $N_A = 12 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 12 \text{ g mol}^{-1}$

Masse molaire :  $\text{H}_2\text{O}$   
 $(2 \times 1.0079) + (1 \times 15.9994) \text{ g} = 18.0152 \text{ g mol}^{-1}$

On remarque que la masse molaire en  $\text{g mol}^{-1}$  a la même valeur numérique que la masse moléculaire en u.m.a. ou Da

# Théorie cinétique des gaz



Un gaz est un ensemble de particules en mouvement constant. Le mouvement est rectiligne et les collisions avec les parois ou d'autres molécules est parfaitement élastique (pas de perte d'énergie globale)

L'énergie cinétique moyenne d'une molécule est proportionnelle à la température

La taille des particules de gaz est négligeable par rapport au volume dans lequel, elles évoluent

Loi des gaz parfaits

$$PV = nRT$$

On admet que ces conditions sont aussi valables pour un gaz à basse pression

[https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_en.html)

# Différentes unités de la constante des gaz parfaits

$$PV = nRT$$

$$T / K = t / ^\circ C + 273.15$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

R	V	P	T	n
0.0821 L.atm.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup>	L	atm	K	mol
0.0831 L.bar.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup>	L	bar	K	mol
8.314 L.kPa.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup>	L	kPa	K	mol
8.314 J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup>	Pa	K	mol

Pour n= 1 mol, T = 273.15 K, P = 1 atm

On calcule V= nRT/P = (1 mol \* 0.0821 L atm K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> \* 273.15 K) / 1 atm = 22.4 L

ou V= nRT/P = (1 mol \* 8.314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> \* 273.15 K) / 1.013 10<sup>5</sup> Pa = 2.24 10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} \text{ et } 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

## Conditions standard

Set de conditions standard pour réaliser des mesures expérimentales et pouvoir ensuite les comparer

P = 1 bar = 100 kPa

Définition IUPAC

Anciennement, on utilisait P = 1 atm  
(dont l'usage n'a pas complètement disparu)

La température ne fait pas directement partie des conditions standard, elle est néanmoins généralement choisie à 25°C (298K)

## Conditions normales de pression et température (TPN)

P = 1 atm = 101, 325 kPa

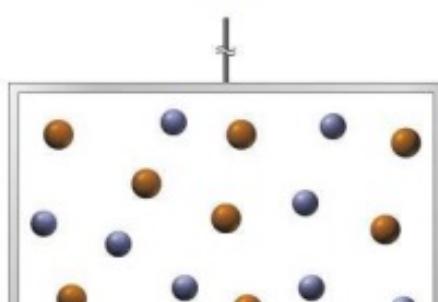
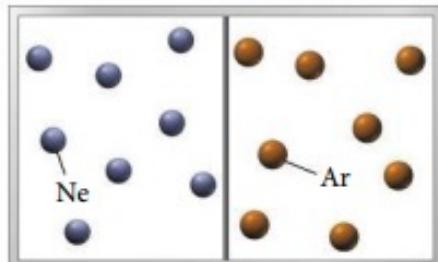
T = 273,15 K (0° C)

Dans ces conditions, une mole de gaz occupe un volume de 22.4 L.

# Pression partielle d'un gaz dans un mélange

La pression partielle d'une espèce  $i$ ,  $P_i$ , dans un mélange est la contribution de la seule espèce  $i$  à la pression totale

Pour un gaz parfait: loi de Dalton



où  $x_i$  est la fraction molaire de l'espèce  $i$   
(nombre de mol de l'espèce  $i$ /nombre de mol total des espèces présentes)

$$P_{\text{tot}} V_{\text{tot}} = n_{\text{tot}} R T$$

où  $P_{\text{tot}} = P_{\text{Ar}} + P_{\text{Ne}}$  et  $n_{\text{tot}} = n_{\text{Ar}} + n_{\text{Ne}}$

$$P_{\text{Ar}} V_{\text{tot}} = n_{\text{Ar}} R T$$

$$\frac{P_{\text{Ar}}}{P_{\text{tot}}} = \frac{n_{\text{Ar}}}{n_{\text{tot}}}$$

$$P_{\text{Ar}} = \frac{n_{\text{Ar}}}{n_{\text{tot}}} \times P_{\text{tot}}$$

# Question

La pression partielle d'une espèce  $i$  dans un mélange est la contribution de la seule espèce  $i$  à la pression totale

A 25° C, on prépare un ballon de 1 L contenant du O<sub>2</sub>(g) à une pression de 1 bar et un ballon contenant 1L N<sub>2</sub> (g) à une pression de 1 bar.

Quelles sont les pressions partielles de O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub> lorsqu'on relie les 2 ballons à température constante.

1) pO<sub>2</sub> = 1 bar                          pN<sub>2</sub> = 1 bar

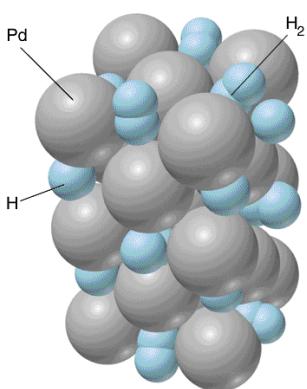
1) pO<sub>2</sub> = 1/2 bar                          pN<sub>2</sub> = 1 bar

2) pO<sub>2</sub> = 1 bar                          pN<sub>2</sub> = 1/2 bar

3) pO<sub>2</sub> = 1/2 bar                          pN<sub>2</sub> = 1/2 bar

# Solutions

**Définition:** Mélange homogène à l'échelle moléculaire de deux composés au moins.



Exemple	Solvant	Soluté
air	$\text{N}_2(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})$ , $\text{CO}_2(\text{g})$ .
Eau gazeuse	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\text{CO}_2(\text{g})$
Eau de vie	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	Ethanol( $\text{l}$ )
Eau de mer	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\text{NaCl}(\text{s})$ , ...
Pd "éponge"	Pd( $\text{s}$ )	$\text{H}_2(\text{g})$
Bronze	Cuivre, Cu( $\text{s}$ )	Étain, Sn( $\text{s}$ )



# Unités de concentrations pour solutions

Concentration	Unités	Définition
Molarité, M	mol/litre	nombre de moles de soluté par litre de solution
Molalité, m	mol/kg	nombre de moles de soluté par kg de solvant
Fraction molaire $\chi$	--	$n(\text{soluté})/[n(\text{soluté})+n(\text{solvant})]$
% volumique		$V(\text{soluté}) / V(\text{solution}) \times 100$
% masse		$m(\text{soluté})/m(\text{solution}) \times 100$



Molarité( M ) est l'unité de concentration la plus fréquemment utilisée en chimie

Dans 100 g d'une solution aqueuse de HCl 35% masse il y a 35 g de HCl

# Exemple de calcul stoechiométrique pour une solution

On veut préparer 5 mL d'une solution aqueuse de  $\text{FeCl}_3$  (0.1 M).

Quelle est la quantité de  $\text{FeCl}_3$  (s) nécessaire



Une solution de 5 mL  $\text{FeCl}_3$  (0.1 M) dans l'eau est préparée en mettant  $5 \times 10^{-4}$  mol  $\text{FeCl}_3$  (s) dans un ballon jaugé

$$0.1 \text{ mol/L} \times 5 \times 10^{-3} \text{ L} = 5 \times 10^{-4} \text{ mol FeCl}_3$$

$$\text{La masse de } \text{FeCl}_3 \text{ à peser est ainsi: } 5 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 162.2 \text{ g/mol} = 0.081 \text{ g}$$

On rajoute ensuite la quantité d'eau nécessaire pour obtenir 5 mL de solution en utilisant un ballon jaugé. Cette quantité est proche de (mais pas égale à) 5 mL. Dans le cadre de ce cours, les variations de volume dues à l'ajout d'un solide dans une solution liquide seront négligées.

Cette solution est dite insaturée, c'est-à-dire que la réaction (1) est **complète**.

Les concentrations finales sont les suivantes:

$$[\text{FeCl}_3] = 0; [\text{Fe}^{3+}] = 0.1 \text{ mol/L}; [\text{Cl}^-] = 0.3 \text{ mol/L}$$



# Equation chimique

Matériaux de départ

Substances formées

Réactifs



Produits

- Formule des réactifs et des produits
- Nombre de molécules, atomes, ions impliqués
- Flèche vers la droite : la réaction inverse n'a pas lieu  
(le cas plus général d'une réaction réversible sera traité plus tard)

Exemple



Coefficient stoechiométrique

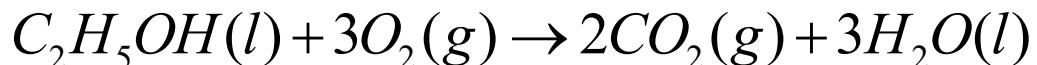
- ▶ Conservation du nombre de chacun des atomes
- ▶ Conservation de la charge électrique totale

Indications supplémentaires



à droite de la formule

- (g) phase gazeuse
- (l) phase liquide
- (s) phase solide
- (sol) solution
- (aq) solution aqueuse



Lorsqu'il y a le même nombre d'atomes de chaque élément des deux côtés de la flèche, la réaction est **équilibrée**.

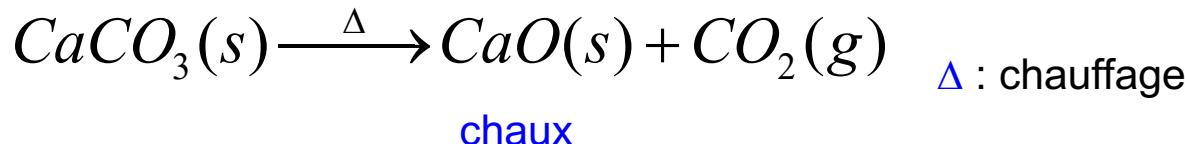
# Classification des réactions

## Par type de réaction

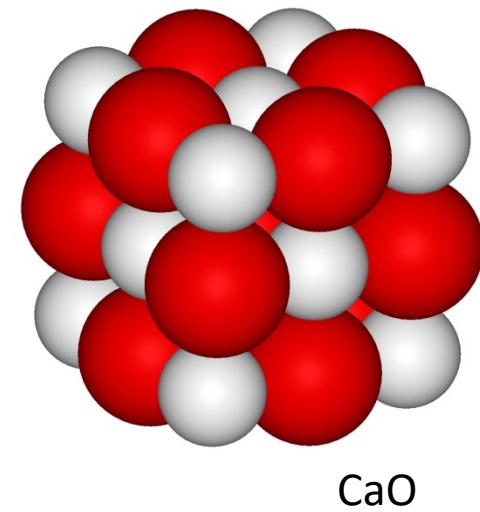
→ Equilibre (cas général, défini par thermodynamique)



→ Réaction complète (équilibre déplacé)



Δ : chauffage



Système ouvert

Industrie: acierie, verrerie, cimenterie

L'oxyde de calcium, «chaux vive», est un produit obtenu par calcination du calcaire à 825 °C.

## Par transformation chimique

→ Transfert de protons      acide-base

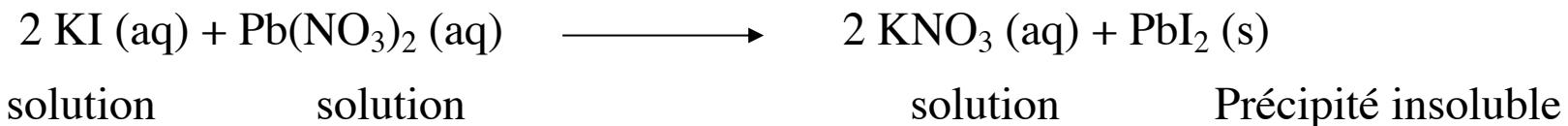
→ Transfert d'électrons      oxydation-réduction

→ Fixation de ligands      complexation

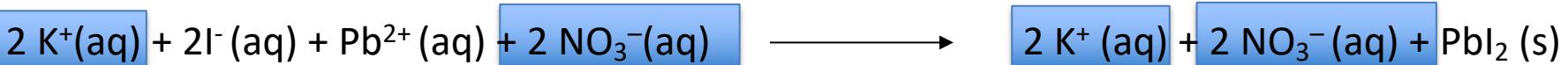
→ Substitution, dissociation, précipitation....

## Notation particulière: réaction de précipitation

## Équation moléculaire (globale)



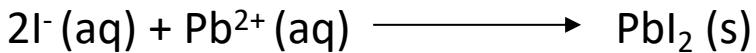
## Equation ionique complète



$\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  sont des ions spectateurs

ils ne participent pas à la réaction de précipitation mais sont présents dans la solution

## Equation ionique nette



L'équation s'écrit sans les ions spectateurs

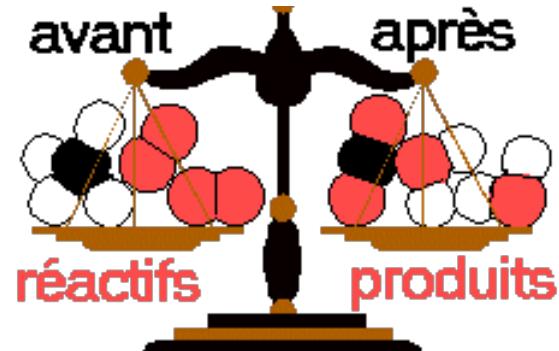
# Stoechiométrie

## Loi de conservation de masse

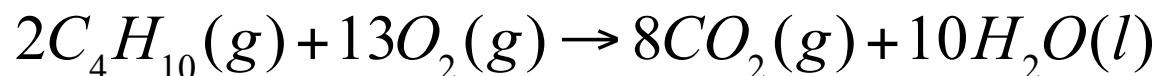
Au cours d'une réaction chimique, on peut considérer que la masse est conservée. (sauf en cas de réaction nucléaire Ce qui est vraiment conservé c'est la masse-énergie.)

**Interprétation de Dalton** : au cours d'une réaction chimique, les atomes ne sont ni créés ni détruits, ils changent de partenaires.

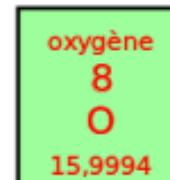
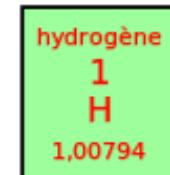
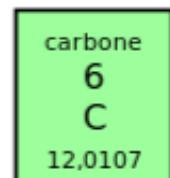
Les coefficients stoechiométriques sont introduits pour **équilibrer** les réactions : même nombre d'atomes de chaque élément de part et d'autre de la flèche.



**Exemple** : combustion du butane ( $C_4H_{10}$ )

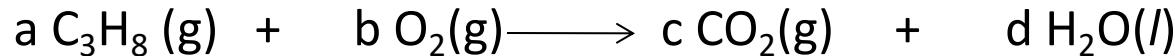


En mole	2	13	8	10	
En masse	$2 \times 58$	$13 \times 32$	$8 \times 44$	$10 \times 18$	
(g)	= 116	= 416	= 352	= 180	
	total = 532		total = 532		



# Stoechiométrie

Exemple: Combustion du propane en proportion stœchiométrique de réactifs.



$$3a = c$$

$$8a = 2d$$

$$2b = d + 2c$$

Conservation de la masse

Pour chaque élément: C, H, O

3 équations, 4 inconnues : système indéterminé

Le rapport entre ces 4 inconnues peut être obtenu mathématiquement

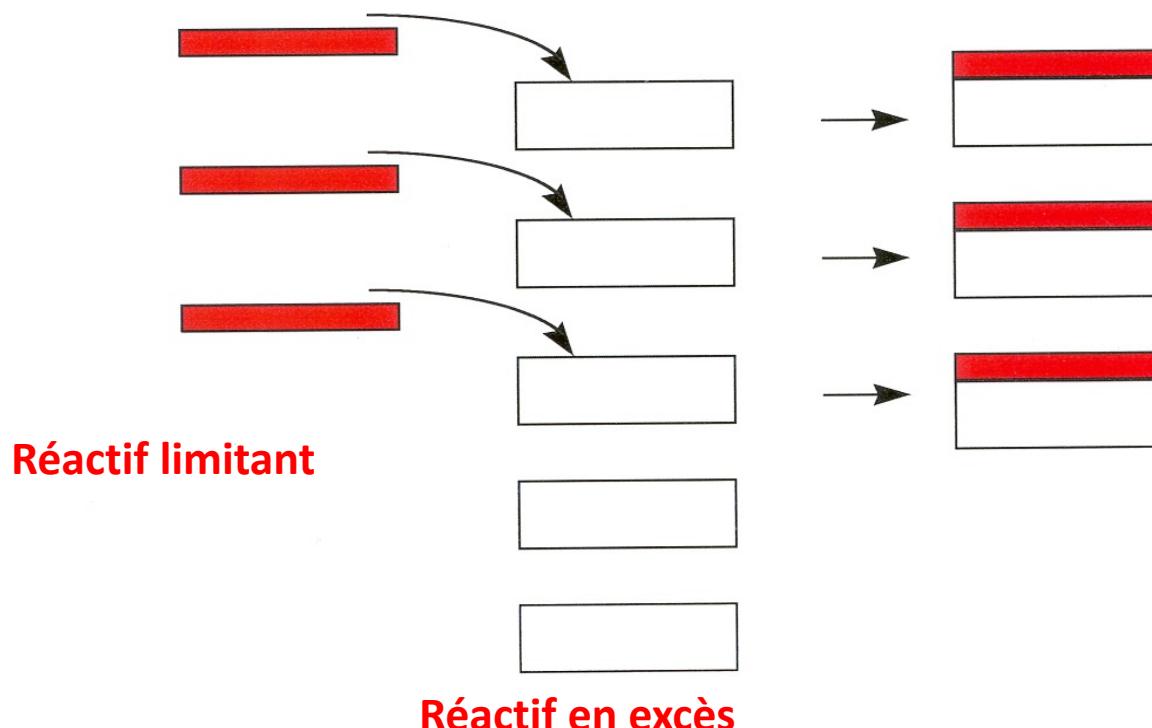
On fixe arbitrairement la valeur d'une inconnue (généralement de manière à avoir les plus petits coefficients stœchiométriques entiers)

Soit  $a = 1$    $c = 3, d = 4, b = 5$

# Réactif limitant

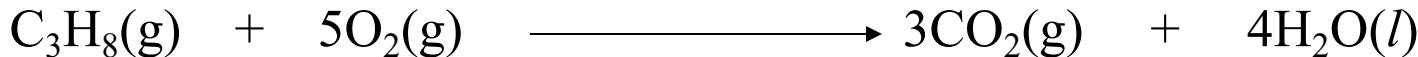
(conditions: non-stœchiométriques)

Le réactif **limitant** pour une réaction donnée est le réactif qui détermine la **quantité maximum de produit** qui peut être formée.



# Réactif limitant

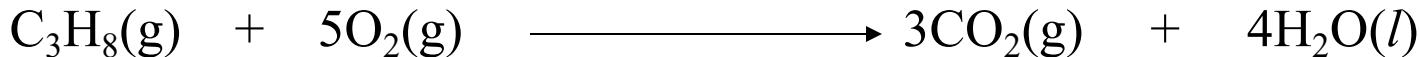
## Combustion du propane



- La flèche vers la droite indique que la réaction inverse n'a pas lieu.
- Pour cette réaction le rapport molaire optimal entre les réactifs  $\text{C}_3\text{H}_8$  et  $\text{O}_2$  est de 1:5 et que les produits  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  se formeront toujours dans le rapport molaire 3:4
- Pour toute autre rapport molaire de réactifs, il restera à la fin de la réaction un excès de  $\text{C}_3\text{H}_8$  ou de  $\text{O}_2$ . Dans ce cas, le nombre de moles de produits formé sera déterminé par le nombre de moles du réactif en défaut (réactif limitant)
- Par exemple, si l'on brûle 1 mol  $\text{C}_3\text{H}_8$  avec 7.5 mol de  $\text{O}_2$ , il se formera ... mol  $\text{CO}_2$ , ... mol  $\text{H}_2\text{O}$  et il restera ... mol  $\text{O}_2$  intactes à la fin de la réaction.  
Le réactif limitant est ...

# Réactif limitant

## Combustion du propane



- La flèche vers la droite indique que la réaction inverse n'a pas lieu.
- Pour cette réaction le rapport molaire optimal entre les réactifs  $\text{C}_3\text{H}_8$  et  $\text{O}_2$  est de 1:5 et que les produits  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  se formeront toujours dans le rapport molaire 3:4
- Pour toute autre rapport molaire de réactifs, il restera à la fin de la réaction un excès de  $\text{C}_3\text{H}_8$  ou de  $\text{O}_2$ . Dans ce cas, le nombre de moles de produits formé sera déterminé par le nombre de moles du réactif en défaut (réactif limitant)
- Par exemple, si l'on brûle 1 mol  $\text{C}_3\text{H}_8$  avec 7.5 mol de  $\text{O}_2$ , il se formera 3 mol  $\text{CO}_2$ , 4 mol  $\text{H}_2\text{O}$  et il restera 2.5 mol  $\text{O}_2$  intactes à la fin de la réaction.  
Le réactif limitant est le propane  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

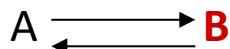
# Rendement de formation d'un produit



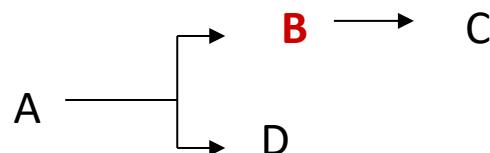
$$\eta_s (\%) = \frac{\text{masse de B pratique}}{\text{masse de B théorique}} \times 100 = \frac{\text{mole de B pratique}}{\text{mole de B théorique}} \times 100$$

$\eta < 100\%$  dans les cas:

- i) Réactions incomplètes (réversibles)

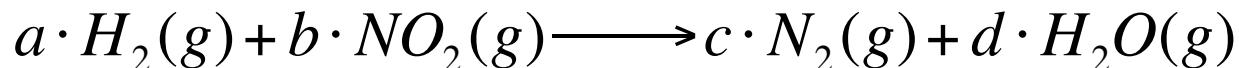


- ii) formation des autres produits secondaires (C et D)

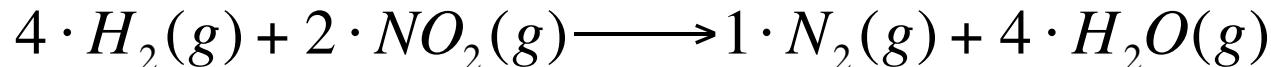


# Question

Pour éliminer le gaz toxique  $\text{NO}_2$  on le fait réagir avec de l'hydrogène en présence d'un catalyseur de Pt selon:



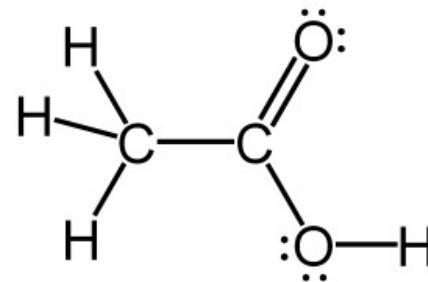
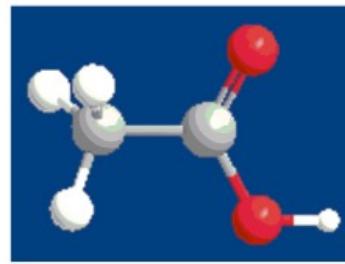
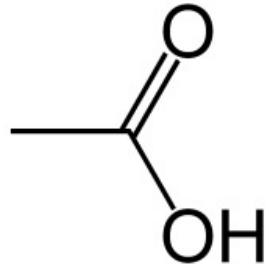
Combien de moles de  $\text{H}_2$  faut-il pour éliminer une mole de  $\text{NO}_2$  ?



- A. 4
- B. 2
- C. 0.5
- D. 1

# Question: réactif limitant

## Dissolution du calcaire dans l'acide acétique



Peut-on dissoudre 10 g de calcaire dans 50 ml de vinaigre ?  
(vinaigre: solution aqueuse de 1 mol/litre CH<sub>3</sub>COOH)?

Masse molaire CaCO<sub>3</sub> = 100 g/mol



10 g de  $CaCO_3$  :

$$10 \text{ g} / (40 + 12 + 3 \times 16) \text{ g/mol} = 10 \text{ g} / (100 \text{ g/mol}) = \textcolor{red}{0.1 \text{ mol } CaCO_3}$$

50 ml de vinaigre, 1 mol/l:  $0.05 \text{ l} \times 1 \text{ mol/l} = \textcolor{red}{0.05 \text{ mol } CH_3COOH}$

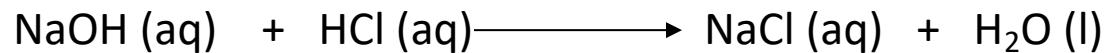
Or pour 0.1 mol de  $CaCO_3$ , il faudrait 0.2 mol  $CH_3COOH$

Il y a donc un défaut **de  $CH_3COOH$  (réactif limitant)** et un excès de  $CaCO_3$ .

Avec 0.05 mol  $CH_3COOH$ , on peut dissoudre au maximum  $0.05/2 = 0.025 \text{ mol}$ , soit 2.5 g de calcaire.

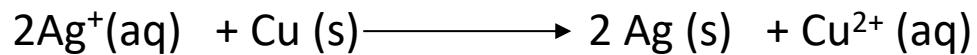
# Types de réactions chimiques

## I) Réactions sans transfert d'électrons



Conservation de la masse

## II) Réactions avec transfert d'électrons (réaction rédox)

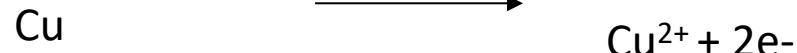
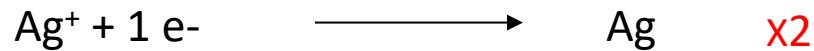


Cu: réducteur  
Ag+: oxydant

oxydant

réducteur

Conservation de la masse  
Conservation de la charge globale

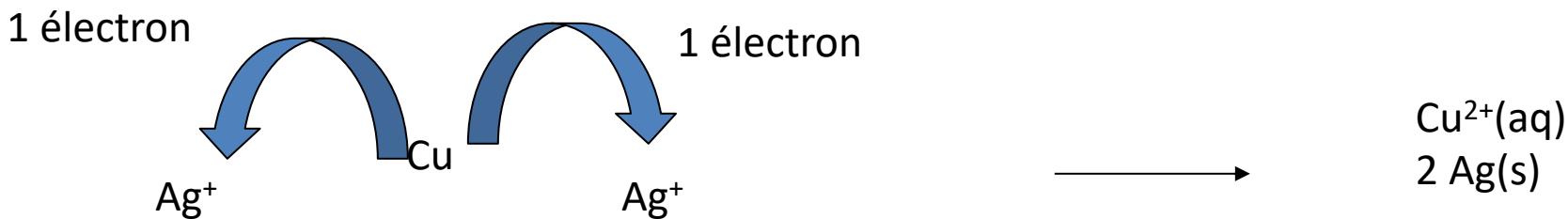




FAUX

Le nombre d'atomes d'Ag et de Cu est conservé  
mais pas la charge: la réaction n'est pas équilibrée

Au niveau moléculaire, la réaction qui se passe est un transfert  
d'électrons de Cu (donneur d'électrons, réducteur) à Ag<sup>+</sup> (accepteur d'électrons, oxydant).



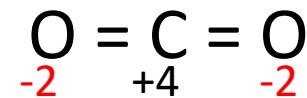
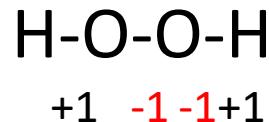
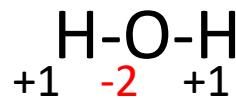
Un atome de cuivre donne deux électrons et le cation Ag<sup>+</sup> n'en reçoit qu'un seul. Il faut donc deux atomes de Ag<sup>+</sup> pour un atome de Cu afin que le nombre d'électrons donnés par le réducteur soit égal au nombre d'électrons acceptés par l'oxydant.

# Le degré d'oxydation

Le degré d'oxydation (d.o) indique le nombre d'électrons que chaque atome aurait donné ou reçu par rapport à l'état neutre si les liaisons dans lesquelles ces atomes sont impliqués étaient de nature purement ionique. Si l'électronégativité des deux atomes liés est la même (par exemple, si les atomes liés sont un même élément), alors la liaison ne contribue pas au calcul du d.o.

Considérons les exemples suivants:

chaque liaison est considérée comme ionique, càd formellement, on transfère pour chaque liaison les électrons sur l'atome le plus électronégatif.



-1: inhabituel pour O

# Règles définissant le degré d'oxydation

Dans un composé:

- Le **fluor** a toujours un d.o. égal à **-1**.
- Les **métaux alcalins** (Li, Na, etc.) ont toujours un d.o. égal à **+1**.
- Les **métaux alcalino-terreux** (Be, Mg, etc.) ont toujours un d.o. égal à **+2**.
- L'**hydrogène** possède dans la quasi-généralité des cas un d.o. égal à **+1**, à l'exception des hydrures de métaux où il a un d.o. de **-1**,
- L'**oxygène** a le plus souvent un d.o. égal à **-2**, sauf s'il est lié avec lui-même ou avec du fluor

Dans une espèce chimique neutre (molécule ou radical), la somme des d.o. des atomes est nulle. En revanche si le composé est chargé, cette somme est égale à la charge de l'ion.

Dans notre cours, nous nous restreignons aux composés dont le degré d'oxydation vaut +1 pour H et -2 pour O. Dans un élément comme  $H_2$  ou  $O_2$ , le degré d'oxydation vaut 0

A diagram consisting of two vertical blue arrows pointing downwards. The top arrow is labeled '+1' at its top end, and the bottom arrow is labeled '+2' at its top end.

O:-2 F: -1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1 <b>H</b> Hydrogène -1,1	2 <b>Xe</b> Béryllium -2	3 <b>F</b> Fluor 18,998	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 Pnictogens	16 Ch	17 Halo genes	18	
1 <b>Li</b> Lithium 1	2 <b>Be</b> Béryllium 2	3 <b>Na</b> Sodium 1	4 <b>Mg</b> Magnésium 2	5 <b>Ca</b> Calcium 2	6 <b>Sc</b> Scandium 3	7 <b>Ti</b> Titane 4	8 <b>V</b> Vanadium 5	9 <b>Cr</b> Chrome 3,6	10 <b>Mn</b> Manganèse 2,4,7	11 <b>Fe</b> Fer 2,3	12 <b>Co</b> Cobalt 2,3	13 <b>Ni</b> Nickel 2	14 <b>Cu</b> Cuivre 2	15 <b>Zn</b> Zinc 2	16 <b>Ga</b> Gallium 3	17 <b>Ge</b> Germanium -4,2,4	18 <b>As</b> Arsenic -3,3,5	19 <b>Kr</b> Krypton 2
19 <b>K</b> Potassium 1	20 <b>Ca</b> Calcium 2	21 <b>Sc</b> Scandium 3	22 <b>Ti</b> Titane 4	23 <b>V</b> Vanadium 5	24 <b>Cr</b> Chrome 3,6	25 <b>Mn</b> Manganèse 2,4,7	26 <b>Fe</b> Fer 2,3	27 <b>Co</b> Cobalt 2,3	28 <b>Ni</b> Nickel 2	29 <b>Cu</b> Cuivre 2	30 <b>Zn</b> Zinc 2	31 <b>Ga</b> Gallium 3	32 <b>Ge</b> Germanium -4,2,4	33 <b>As</b> Arsenic -3,3,5	34 <b>Se</b> Séénium -2,2,4,6	35 <b>Br</b> Brome -1,1,3,5,7	36 <b>Kr</b> Krypton 2	
37 <b>Rb</b> Rubidium 1	38 <b>Sr</b> Strontium 2	39 <b>Y</b> Yttrium 3	40 <b>Zr</b> Zirconium 4	41 <b>Nb</b> Niobium 5	42 <b>Mo</b> Molybdène 4,6	43 <b>Tc</b> Technétium 4,7	44 <b>Ru</b> Ruthénium 3,4	45 <b>Rh</b> Rhodium 3	46 <b>Pd</b> Palladium 2,4	47 <b>Ag</b> Argent 1	48 <b>Cd</b> Cadmium 2	49 <b>In</b> Indium 3	50 <b>Sn</b> Étain -4,2,4	51 <b>Sb</b> Antimoine -3,3,5	52 <b>Te</b> Tellure -2,2,4,6	53 <b>I</b> Iode -1,1,3,5,7	54 <b>Xe</b> Xénon 2,4,6	
55 <b>Cs</b> Césium 1	56 <b>Ba</b> Baryum 2	57–71		72 <b>Hf</b> Hafnium 4	73 <b>Ta</b> Tantale 5	74 <b>W</b> Tungstène 4,6	75 <b>Re</b> Rhénium 4	76 <b>Os</b> Osmium 4	77 <b>Ir</b> Iridium 3,4	78 <b>Pt</b> Platine 2,4	79 <b>Au</b> Or 3	80 <b>Hg</b> Mercure 1,2	81 <b>Tl</b> Thallium 1,3	82 <b>Pb</b> Plomb 2,4	83 <b>Bi</b> Bismuth 3	84 <b>Po</b> Polonium -2,2,4	85 <b>At</b> Astate -1,1	86 <b>Rn</b> Radon 2
87 <b>Fr</b> Francium 1	88 <b>Ra</b> Radium 2	89–103		104 <b>Rf</b> Rutherfordiu 4	105 <b>Db</b> Dubnium 5	106 <b>Sg</b> Seaborgium 6	107 <b>Bh</b> Bohorium 7	108 <b>Hs</b> Hassium 8	109 <b>Mt</b> Meithérium 8	110 <b>Ds</b> Darmstadiu 9	111 <b>Rg</b> Roentgeniu 10	112 <b>Cn</b> Copernicium 10	113 <b>Nh</b> Nihonium 11	114 <b>Fl</b> Flerovium 11	115 <b>Mc</b> Moscovium 12	116 <b>Lv</b> Livermorium 12	117 <b>Ts</b> Tennessee 13	118 <b>Og</b> Oganesson 14

Common oxidation states are shown in bold beneath the element closeup.

# Question

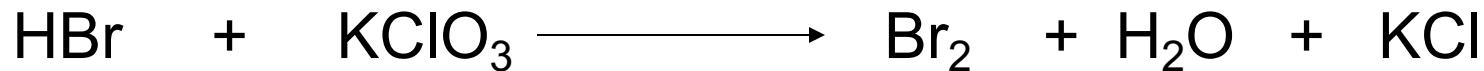
Quel est le degré d'oxydation du chrome dans  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$

- 1) +3
- 2) +6
- 3) +7
- 4) +8

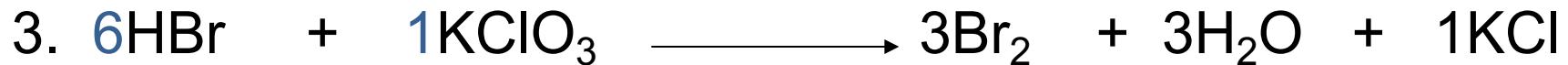
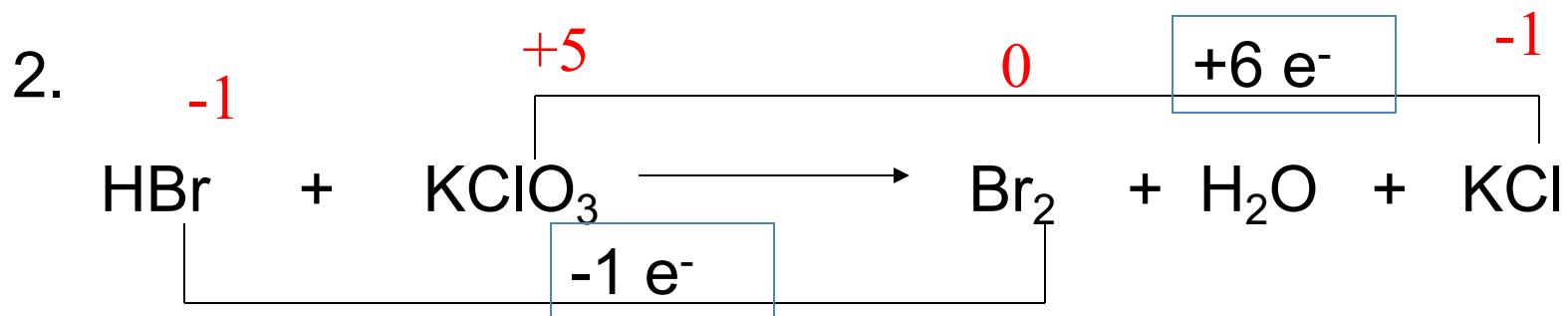
# Equilibrage de l'équation chimique

1. Repérer les éléments dont le degré d'oxydation (D.O.) change au cours de la réaction.
2. Le nombre d'électrons cédés par le réducteur doit être égal au nombre d'électrons acquis par l'oxydant; ceci permet de trouver quatre coefficients.
3. S'il figure dans l'équation d'autres substances dont le D.O. n'est pas affecté, il faut trouver le coefficient de ces substances par un bilan des masses.
4. Si des réactifs et/ou des produits sont des ions, il faudra vérifier le calcul par un bilan des charges.

# Equilibrage d'une réaction rédox



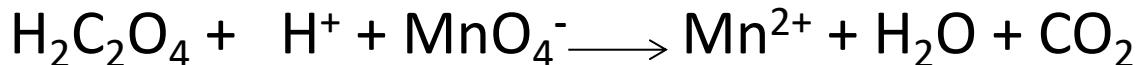
1. Eléments dont le DO change : Br, Cl



\* Cette équation chimique s'équilibre assez facilement sans considérer le nombre d'électrons transférés ce qui n'est pas toujours le cas.

# Equilibrage d'une réaction rédox

## 1. Assigner les degrés d'oxydation (D.O.)



+1

+2

D.O obligatoire



+1 -2 +1

-2

+2 +1 -2 -2

D.O.  
 $\text{H}^+ = +1$   
 $\text{O} = -2$



+1 +3 -2 +1 +7 -2

+2 +1 -2 +4-2

somme D.O.  
= charge de l'ion



Le degré d'oxydation est donné pour chaque atome

$$2 \times 1 + (2 \times \text{D.O.C}) - (2 \times -2) = 0$$

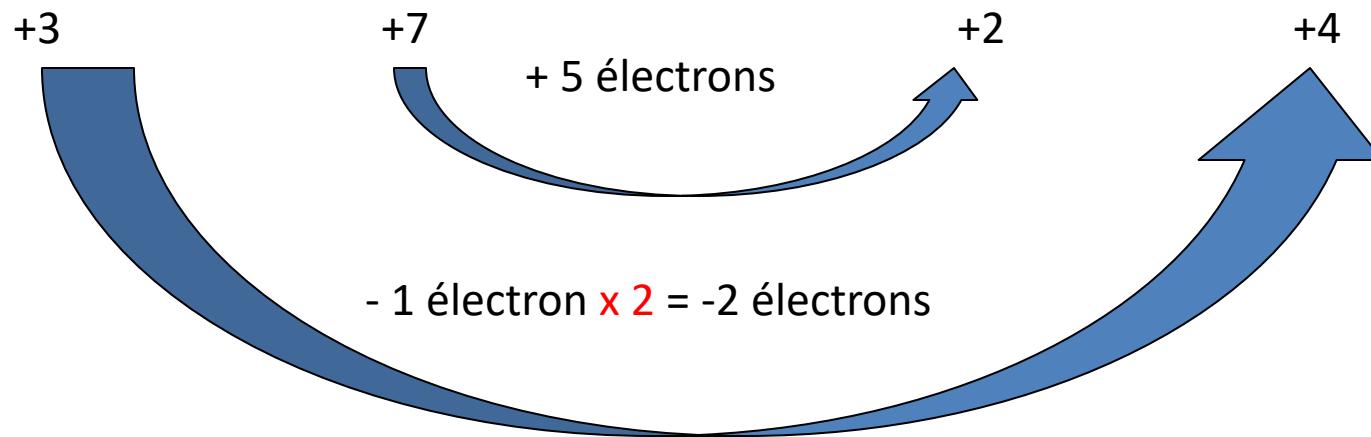
Le degré d'oxydation de C dans  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  vaut +3

## 2. On identifie les espèces qui échangent des électrons.

-1 molécule de  $\text{MnO}_4^-$  accepte 5 électrons pour former 1 ion  $\text{Mn}^{2+}$

(ce qui est équivalent à dire que 1 mole de  $\text{MnO}_4^-$  accepte 5 moles d'électrons pour former 1 mole de  $\text{Mn}^{2+}$ )

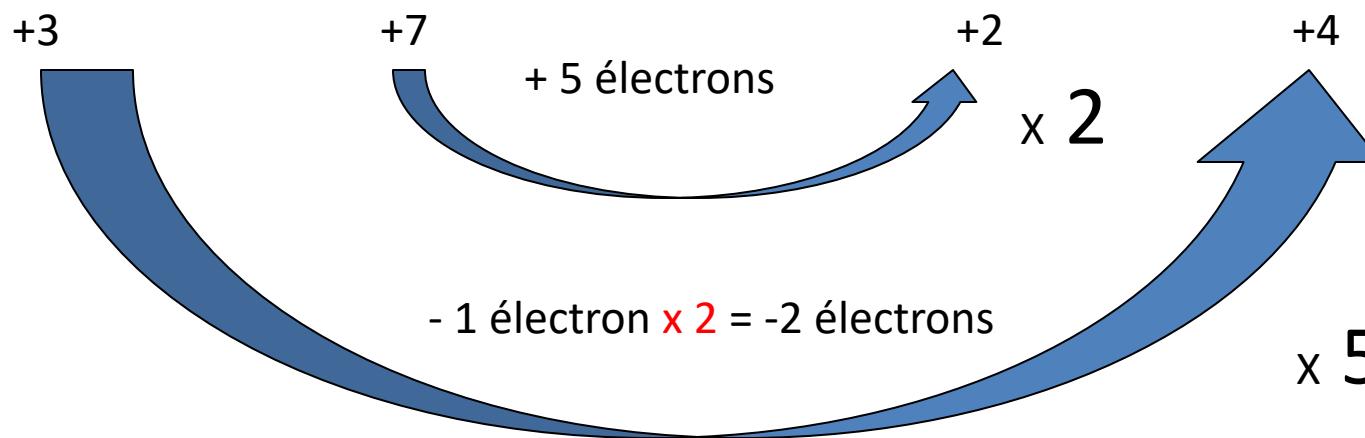
-1 molécule de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  donne 2 électrons



Comme il y a deux atomes de carbone dans  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , il faut 2 électrons pour transformer 1 molécule de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  en 1 molécule de  $\text{CO}_2$

3. On a décrit le transfert d'électrons associés à une molécule de chacun des réactifs.

On introduit ensuite les coefficients stoechiométriques pour que Le nombre d'électrons donnés par le réducteur soit égal au nombre d'électrons captés par l'oxydant



On obtient ainsi les coefficients stoechiométriques des espèces Redox

#### 4. Conservation des atomes



Conservation des atomes d'oxygène

28 atomes d'oxygène

20 +x atomes d'oxygène  
x=8 (8 H<sub>2</sub>O)



Conservation des atomes d'hydrogène

10 + x    16



Conservation of charges: +4    +4