

T1 STRUCTURE ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIERE

Programme ATS

Notions et contenus	Capacités exigibles
6. Structure de la matière et transformations physiques, chimiques ou nucléaires	
Noyau atomique, isotopes.	Déterminer la composition d'un noyau A_ZX . Reconnaître deux noyaux isotopes d'un même élément.
Entité chimique.	Utiliser le terme adapté parmi molécule, atome, anion et cation pour nommer une entité chimique à partir d'une formule chimique.
Quantité de matière. Masse molaire d'une entité.	Déterminer la quantité de matière d'une entité dans une masse donnée, et inversement, sa masse molaire étant fournie.
Système thermodynamique, état d'équilibre thermodynamique et paramètres d'état. Paramètres extensifs et intensifs. Grandeurs molaires et massiques	Identifier un jeu de paramètres d'état permettant de caractériser un système à l'état d'équilibre thermodynamique. Distinguer un système ouvert d'un système fermé. Connaissant la masse molaire, calculer une grandeur molaire à partir d'une grandeur massique et vice-versa.
Équation d'état. Modèle du gaz parfait. Modèle de la phase condensée, incompressible et indilatable.	Définir et caractériser les différents états de la matière. Exploiter l'équation d'état du gaz parfait. Déterminer la masse volumique d'un gaz parfait en fonction de la température, de la pression et de sa masse molaire. Déterminer le volume molaire d'un système en phase condensée à partir de sa masse volumique et de sa masse molaire.
Transformation physique, transformation chimique et transformation nucléaire.	Identifier une transformation physique, une transformation chimique ou une transformation nucléaire à partir d'un bilan fourni. Caractériser les transformations isothermes, isobares, monobares et isochores.
Transformation chimique. Modélisation macroscopique d'une transformation par une équation de réaction chimique.	Exploiter une équation de réaction chimique ajustée fournie pour réaliser un bilan de matière. Identifier le ou les réactifs limitants d'un système réactionnel.

TABLEAU PERIODIQUE (HORS PROGRAMME)

alcalins												Bloc p					gaz nobles	
alcalino-terreux																		
Bloc s		bloc d																
H 1	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	He 2
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
Cs 55	Ba 56	lant	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86	
Fr 87	Ra 88	act	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Uut 113	Fl 114	Uup 115	Lv 116	Uus 117	Uuo 118	
		bloc f																

		Z protons	m_p	$q_p = +e$ $= +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
ATOME	A nucléons	(A - Z) neutrons	$m_n \approx m_p$	$q_n = 0$
	Z électrons		$m_e \ll m_p \approx m_n$	$q_e = -e$ $= -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

I.2. Noyau et élément chimique

- **Comportement chimique** d'un atome : ne dépend que de son **cortège électronique**, donc de son nombre de charge ou numéro atomique Z (le nombre d'électrons étant égal à Z pour une entité neutre).
- **Élément chimique** : ensemble des atomes et ions ayant le même **nombre de charge** (ou **numéro atomique**) Z .

- **Isotopes** : désigne des noyaux ayant un même numéro atomique Z mais des nombres de masse A différents (noyaux ayant le même nombre de protons, donc atomes ayant le même nombre d'électrons) :



I.3. Quantités de matière

MOLE ET MASSE MOLAIRE

- ✗ **Mole** : quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone $12 \text{ } {}^{12}_6\text{C}$. Ce nombre correspond par définition au **nombre d'Avogadro** $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

- ✗ **Lien entre nombre de particules N et nombre de moles n** : $N = N_A \cdot n$

✦ **Ex.** : Nombre de molécules CO dans $n = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ de CO : $N = N_A \cdot n \approx 3 \cdot 10^{21}$ molécules.

✦ **Remarque** : charge d'une mole de charges élémentaires : $Q = (-e)N_A = 1 \text{ F (Faraday)} \approx 96500 \text{ C}$.

■ Masse molaire M

La masse molaire M d'un corps correspond par définition à la masse d'une mole de ce corps.

Soit m la masse d'un échantillon d'une espèce chimique de masse molaire M .

■ Relations entre masse et quantité de matière

Masse molaire d'une espèce : $M = \frac{m}{n}$ (en $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ou en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Nombre de moles de cette espèce : $n = \frac{m}{M}$ avec :

n : quantité de matière (en mol) ; m : masse de l'échantillon (en kg ou g).

Masse molaire d'un isotope A_ZX de nombre de masse A : $A \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

II. LES ETATS DE LA MATIERE

II.1. Quelques définitions

IONS ET MOLECULES

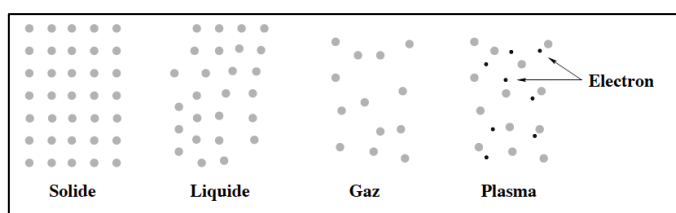
- **Ion : espèce chimique électriquement chargée.** On distingue **cations** (ions chargés positivement, ex K^+ ou Ca^{2+}) et **anions** (ions chargés négativement, ex Cl^-).
- **Valeur de la charge électrique :** indiquée en exposant à la fin de la formule chimique de l'ion, en multiple de la charge électrique élémentaire e .
- **Ion simple :** constitué d'un unique atome ayant perdu ou gagné des électrons ; **complexe** sinon
- **Molécule :** assemblage chimique, électriquement neutre, d'au-moins deux atomes.

CORPS PUR

- **Constituant physico-chimique :** constituant chimique dans un état physique défini.
- Attention : $H_2O_{(l)}$ et $H_2O_{(g)}$ sont deux constituants physico-chimiques différents !
- **Corps pur :** corps ne comportant qu'une seule espèce chimique (par opposition aux **mélanges**).
- **Corps pur simple :** corps pur constitué d'un seul type d'atomes (Cu , H_2 , O_2) (par opposition au **corps pur composé** comme l'eau H_2O ou l'acide éthanoïque CH_3COOH).
- **Mélange :** mélange de corps pur (air)

NOTION DE PHASE

- **Phase :** partie d'un système ayant **mêmes propriétés physiques et chimiques** en chacun de ses points, un changement de phase s'accompagnant d'une discontinuité de certaines des grandeurs caractéristiques (densité notamment).
- Tout corps existe essentiellement sous 3 phases : solide, liquide et gaz.



Les 4 principaux états physiques de la matière



Figure 2 Les particules d'un solide sont serrées les unes contre les autres. Elles restent au même endroit, mais elles vibrent constamment.

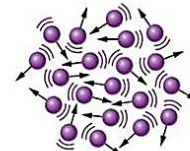


Figure 3 Les particules d'un liquide sont également près les unes des autres. Elles restent groupées, mais elles peuvent aller dans toutes les directions.

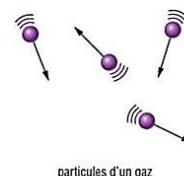


Figure 4 Les particules d'un gaz sont très éloignées les unes des autres. Elles ont beaucoup d'énergie et se déplacent rapidement dans toutes les directions. Les particules peuvent même sortir de leur contenant si ce dernier n'est pas scellé.

Ces différents états de la matière possèdent des propriétés physiques macroscopiques très différentes, car leur structure microscopique est très différente.

II.2. Gaz et plasmas, liquides et solides

- **Gaz :** forme fluide de la matière qui remplit tout le volume de son contenant.

Un **gaz se comprime donc facilement** et **se mélange complètement** avec les autres molécules de gaz.

- **Plasma** : gaz de température suffisamment élevée pour qu'au moins une partie de ses composants soit ionisée ; il est donc formé d'atomes excités, d'ions et d'électrons.

La présence d'électrons libres implique des propriétés magnétiques bien spécifiques permettant de le distinguer d'un gaz.

- **Liquide** : autre forme fluide de la matière, occupant le volume fixé par le récipient qui le contient.

En conséquence, un liquide est **très faiblement compressible** et **beaucoup plus dense** qu'un gaz.

- **Solide** : constitué d'un empilement régulier d'entités qui occupent des positions bien définies dans l'espace (aux vibrations près). Il possède une forme propre (**indéformable**), les interactions entre particules sont fortes ; il s'agit d'un état **condensé** et il est donc faiblement compressible et expansible.

II.3. Phase condensée ; phase fluide

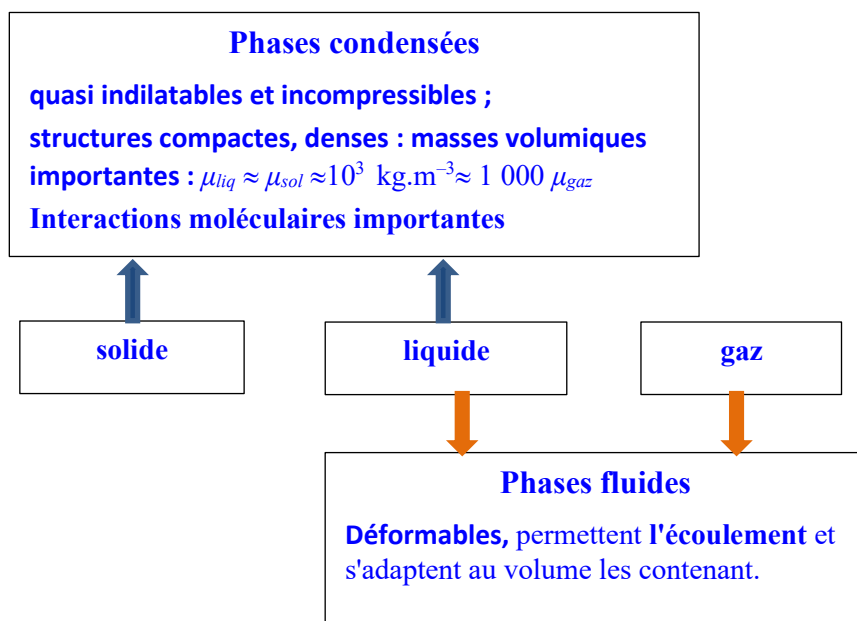
Il est parfois commode de regrouper 2 états physiques du corps pur sous une même rubrique.

Exemple : masses volumiques de l'eau à $P = 1 \text{ atm}$:

$$\mu_{\text{liq}}(4^\circ\text{C}) = 1000 \text{ kg.m}^{-3},$$

$$\mu_{\text{sol}}(0^\circ\text{C}) = 917 \text{ kg/m}^3,$$

$$\mu_{\text{vap}}(100^\circ\text{C}) = 0,5977 \text{ kg/m}^3 ;$$

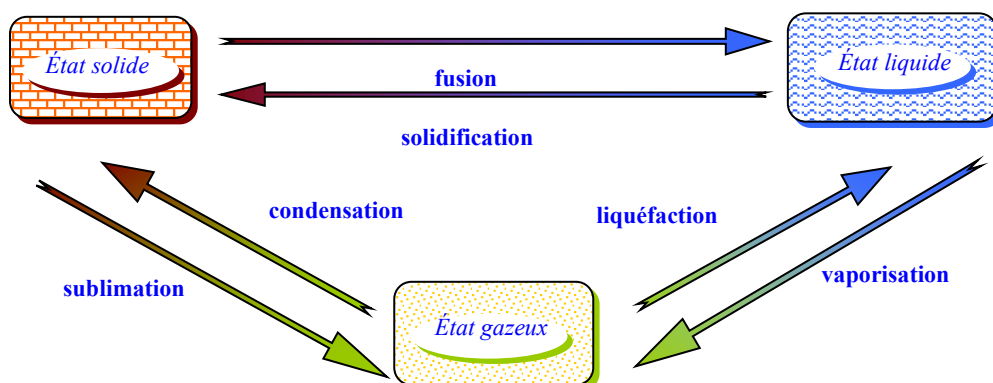


III. LES TRANSFORMATIONS DE LA MATIERE

III.1. Les transformations physiques

- **Transformation physique** : transformation de l'état physique sans modification de la structure moléculaire ou nucléaire (**modification des interactions intermoléculaires**).
- **Energies mises en jeu** : de l'ordre de la **dizaine de kJ/mol**.

■ LES TRANSITIONS DE PHASE OU CHANGEMENTS D'ETAT DU CORPS PUR

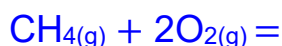


III.2. Les transformations chimiques

● Transformations chimiques :

- les ionisations (le passage à l'état plasma est une transformation chimique)
- les ruptures et / ou formations de liaisons entra atomes (modification des liaisons intramoléculaires : Il y a réorganisation des atomes d'une ou plusieurs substances constituant le système).
- **Energies mises en jeu** : de l'ordre de **plusieurs centaines de kJ/mol.**

Exemple : combustion du méthane :



III.3. Les transformations nucléaires

● Transformations nucléaires : modifient les noyaux des atomes dont la cohésion est assurée par les interactions fortes.

Energies mises en jeu : de l'ordre du GJ/mol.

Lois de conservation (lois de Soddy) : toutes les réactions nucléaires obéissent aux lois de conservation suivantes :

- Conservation de la charge électrique : charge électrique du noyau père = charge électrique du noyau fils + celle de la particule émise
- Conservation du nombre total de nucléons : $A_{\text{noyau père}} = A_{\text{noyau fils}} + A_{\text{particule émise}}$ (A nombre de masse)
- Conservation de l'énergie totale

Radioactivité : les réactions nucléaires spontanées

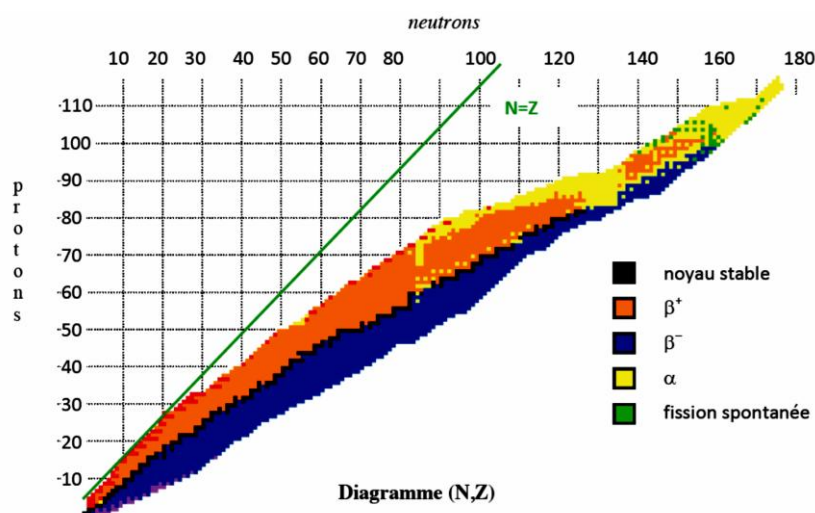
- **Radioactivité** : Propriété qu'ont certains noyaux d'atomes de se transformer (désintégrer) spontanément pour donner un autre noyau, en émettant des particules et/ou des rayonnements électromagnétiques.
- **Radioactivité naturelle** : si le noyau « père » existe dans la nature.
- **Radioactivité artificielle** : si le noyau père n'existe pas dans la nature, et a été fabriqué au laboratoire par une réaction nucléaire provoquée.

Les rayonnements radioactifs

a) Courbe de stabilité

Trois types de noyaux instables :

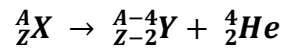
- ceux situés au-dessus du domaine de stabilité : **excès de protons** par rapport aux neutrons. Un proton va donc se transformer en neutron avec émission d'un rayonnement β^+
- ceux situés en-dessous du domaine de stabilité : **excès de neutrons** par rapport aux protons. Un neutron va donc se transformer en proton avec émission d'un rayonnement β^-
- certains noyaux trop massifs : **excès de nucléons**, se désintègrent en émettant un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$, appelé rayonnement α



b) Désintégrations α

Cas des noyaux lourds (elle prédomine au-dessus de $Z = 82$, où il n'y a aucun nucléide stable) : les noyaux « trop » lourds se transforment alors en noyaux plus légers avec émission d'une particule alpha (${}^4_2\text{He}$ ou α) :

Les nombres Z (protons) et N (neutrons) sont changés. L'émission d'une particule alpha diminue N de 2 unités, Z de 2 unités et A de 4 unités :

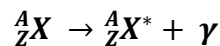


c) Désintégrations β

- **Désintégration β^-** : un neutron se transforme spontanément en proton avec émission d'un électron (${}^0_{-1}e$) et d'un antineutrino. Antineutrino : $\bar{\nu}$
- **Désintégration β^+** : un proton se transforme en neutron avec émission d'un positron (0_1e) et d'un neutrino. Neutrino : ν

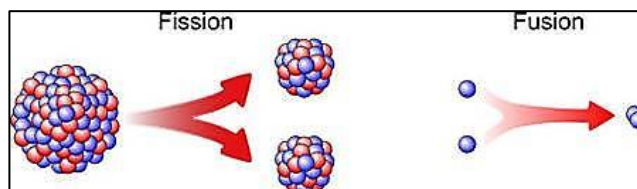
d) Radioactivité γ

Emission de rayonnement électromagnétique (photon), provenant de la désexcitation de noyaux qui ne sont généralement pas obtenus dans leur état d'énergie fondamental (le plus bas).



- ⊕ **Remarque** : Une particule α est arrêtée par une feuille de papier, une particule β est stoppée par une feuille d'aluminium alors qu'il faut 4 mètres de béton pour bloquer les rayonnements γ .

Fusion et fission nucléaires

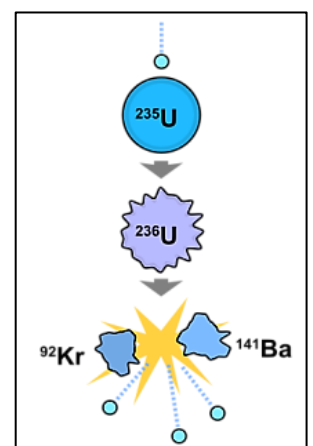


a) La fission nucléaire

Un noyau très lourd (très à droite du fer, qui contient beaucoup de nucléons, comme l'uranium) se brise en 2 noyaux plus légers et plus stables, avec émissions de neutrons et d'autres particules, et libération d'énergie (notamment utilisée dans les bombes A, les centrales nucléaires...)

Deux types de **fission** :

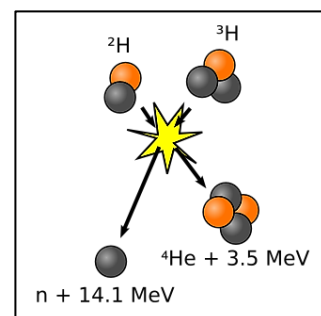
- **Fission spontanée** (pour les éléments suffisamment lourds, tels que $A > 230$) ;
- **Fission induite** : lorsque des nucléides lourds sont bombardés par des projectiles (souvent des neutrons), cela peut provoquer une fission du noyau en plusieurs nucléides plus légers et plus stables (par exemple la capture d'un neutron peut rendre certains noyaux instables et déclencher une fission).



b) La fusion nucléaire

La **fusion** pour les noyaux légers : 2 nucléides légers de faible énergie de liaison peuvent donner un nucléide plus lourd et plus stable en libérant une grande quantité d'énergie (bombe H, soleil...).

Intérêt : produire beaucoup plus d'énergie à masse de combustible égale que la fission.



IV. DESCRIPTION D'UN SYSTEME PHYSICO-CHIMIQUE

IV)1) Caractéristiques des paramètres de description

Paramètres et équations d'état

- **Paramètres d'état** d'un système : grandeurs macroscopiques pouvant être modifiées lors d'une transformation quelconque du système.
- **Equation d'état** : relation particulière liant des paramètres d'état ;
- Equation d'état des **gaz parfaits** (celle que nous utiliserons le plus couramment) :

Paramètres intensifs et extensifs

- Grandeur **X extensive** (ou *additive*) :

Elle *dépend* donc alors de la **quantité de matière considérée**, et l'égalité et la somme de 2 grandeurs de ce type sont définies : pour un système $S = S_1 + S_2$: $X(S) = X(S_1) + X(S_2)$.

Exemples :

- Grandeur **intensive** : définie comme le *rapport* de 2 grandeurs *extensives*, et définie localement (en un point du système) ;

Cas d'un système **homogène** $S = S_1 + S_2$: $X(S) = X(S_1) = X(S_2)$.

Dans le cas général, pas de relation simple entre $X(S)$, $X(S_1)$ et $X(S_2)$.

Exemples :

IV)2) Paramètres physico-chimiques classiques

Paramètres physiques

Les *paramètres physiques* intervenant sont en général la **température T** et la **pression P** ; on ne peut les définir pour l'**ensemble du système** que si elles sont **uniformes** (P et T identiques en tout point du système).

Paramètres de composition

- ✗ **Solution** : corps dissous dans un liquide appelé **solvant** ; **solution aqueuse** : si ce solvant est l'eau.
- ✗ **Soluté** : tout constituant d'une solution dont la concentration est très inférieure à celle du solvant.
- ✗ **Concentration** :

- ✗ **Titre** ou **fraction molaire x_i** d'un corps **A_i** dans une phase ϕ donnée :

- ✗ **Pression partielle** d'un gaz A_i dans un mélange gazeux : Pression qu'exercerait le gaz A_i s'il était seul dans le milieu considéré (dans les mêmes conditions de P et T).

- ✗ Cas des gaz parfaits, **loi de Dalton** :

$$\sum_i P_i = P_{TOT}$$

Densité

- ✗ **Densité** d'un corps (par rapport à un corps de référence) : Rapport de leurs masses volumique prises dans les mêmes conditions de pression et de température.
- ✗ pour les **phases condensées** :
- ✗ pour les **gaz** :

⚡ **Remarques :**

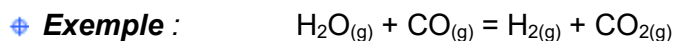
- ✗ **Masse molaire d'un mélange** : $M_{mel} = \sum x_i M_i$
- ✗ **Masse molaire de l'air** : Composition généralement utilisée : 80% de N_2 + 20% de O_2 , soit $M_{air} = 28,8 \text{ g.mol}^{-1} \approx 29 \text{ g.mol}^{-1}$.

V. LA REACTION CHIMIQUE

V)1) Définitions

Equation bilan

Lorsqu'une réaction chimique a lieu, différents constituants réagissent entre eux dans des proportions précises pour former différents produits. On représente cette réaction chimique à l'aide d'une **équation-bilan**.



⊕ **Remarque :** Etat physique des corps indiqué par l'indice (g) pour les gaz, (l) pour les liquides et (s) pour les solides.

Réactions totales et réactions limitées (ou équilibres chimiques)

✕ Réaction **totale** :

✕ Réaction **limitée** :

⊕ **Remarque :** Symbole « égal » : indique qu'il s'agit d'équations mathématiques de conservation de la masse, indépendamment du sens de déroulement des réactions et de leur caractère total ou limité.

V)2) Avancement de la réaction

Coefficients (ou nombres) stœchiométriques

Ecriture générale d'une **équation de réaction** : $\alpha_1\text{R}_1 + \alpha_2\text{R}_2 + \dots = \beta_1\text{P}_1 + \beta_2\text{P}_2 + \dots$

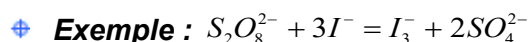
Les espèces de gauche sont les , celles de droite les .

Grandeurs α_i et β_i :

⊕ **Remarques :**

✕ Les variations des nombres de moles sont **proportionnelles** aux *coefficients stœchiométriques* ; il en est donc de même pour les variations des concentrations molaires.

✕ Dans cette écriture, les **nombres stœchiométriques** sont des nombres arithmétiques **positifs**.



Avancement de réaction

a) Définition

Soit une réaction chimique d'équation-bilan $\alpha_1\text{R}_1 + \alpha_2\text{R}_2 + \dots = \beta_1\text{P}_1 + \beta_2\text{P}_2 + \dots$

Avancement ξ de la réaction :

● **Avancement ξ de la réaction :**

On a donc, pour une réaction donnée, une grandeur unique ξ qui donne accès à toutes les quantités de matière n_i :

$$n_i(t) = n_{i,0} - \alpha_i \cdot \xi(t) = n_{i,0} + \beta_i \cdot \xi(t) \quad \text{avec } \xi(0) = 0$$

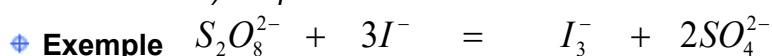
⊕ **Remarques :** L'avancement ξ est une grandeur **extensive**. Unité SI :

Il s'agit d'une grandeur qui dépend de l'équation-bilan choisie pour décrire la réaction étudiée, ainsi que des quantités de matière mises en jeu dans la réaction.

Soient deux réactifs A_i et A_j d'une même réaction, de coefficients stœchiométriques respectifs α_i et α_j .

- Réactifs en **proportions équimolaires**, ou **mélange équimolaire** :
- Réactifs en **proportions stœchiométriques** :
- Réactifs en **proportions quelconques** : en l'absence de relation particulière entre les nombres de moles de ces réactifs.
- ⊕ **Remarque** : lorsque 2 réactifs sont en proportions stœchiométriques initialement, ils restent en proportions stœchiométriques à tout instant.

b) *Espèce limitante*



E.I. (mol)	1	3	0	0	E.I. (mol)	3	3	0	0
E à t (mol)					E à t (mol)				

- ✗ **Réactif limitant** : **espèce en défaut limitant** l'avancement de la réaction chimique dans le cas d'une réaction totale.
- ✗ Dans ce cas, la valeur maximale ξ_{max} de l'avancement en fin de réaction est celle qui entraîne la consommation totale du réactif limitant.

c) **Avancement volumique**

Si le volume du système est constant, on peut alors décrire le système en utilisant les concentrations des espèces plutôt que les quantités de matière.

- **Avancement volumique** (ou **avancement en concentration**) : x , en mol.L^{-1}

On a donc, pour une réaction donnée, une grandeur unique x qui donne accès à toutes concentrations c_i :

$$c_i(t) = c_{i,0} - \alpha_i \cdot x(t) = c_{i,0} + \beta_i \cdot x(t) \quad \text{avec } x(0) = 0$$