

## Evolution spontanée d'un système d'espèces chimiques - Piles

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

•  $\tau$  : taux d'avancement

•  $x_f$  et  $x_{\max}$  : avancement final et maximal (mol)

Pour une réaction d'équation :  $b B + c C \rightarrow d D$

$$Q_r = \frac{a_D^d}{a_B^b \cdot a_C^c}$$

•  $Q_r$  : quotient de réaction

•  $a$  : activité

•  $b, c, d$  : coefficients stoechiométriques

Pour X espèce en solution aqueuse :

$$a(X) = \frac{[X]}{c^0}$$

•  $[X]$  : concentration de X (mol . L<sup>-1</sup>)

•  $c^0$  : concentration standard égale à  $c^0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Pour X espèce solide ou solvant :

$$a(X) = 1$$

$$K(T) = Q_{r,eqb}$$

•  $K(T)$  : constante d'équilibre, dépend uniquement de la température T

Piles :

$$Q = I \times \Delta t$$

•  $Q$  : capacité de la pile (C)

•  $I$  : intensité du courant (A)

•  $\Delta t$  : durée de fonctionnement de la pile (s)

$$Q = n_{e,echang} \times F$$

•  $n_{e,echang}$  : quantité de matière d'électrons échangés (mol)

•  $F$  : constante de Faraday (C . mol<sup>-1</sup>)

## Espèces chimiques acide-base

$$pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^0}\right)$$

$$[H_3O^+] = c^0 \cdot 10^{-pH}$$

•  $pH$  : potentiel hydrogène

•  $[H_3O^+]$  : concentration en ion oxonium (mol . L<sup>-1</sup>)

•  $c^0$  : concentration standard égale à  $c^0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

## Equilibre acide-base

Pour une réaction acide-base d'équation :



$$K_A = \frac{[A^-]_{eq} \cdot [H_3O^+]_{eq}}{[AH]_{eq} \cdot c^0}$$

•  $K_A$  : constante d'acidité, dépend uniquement de la température

•  $[A^-]_{eq}, [AH]_{eq}, [H_3O^+]_{eq}$  : concentration des espèces à l'équilibre (mol . L<sup>-1</sup>)

•  $c^0$  : concentration standard égale à  $c^0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$$pK_A = -\log(K_A)$$

•  $pK_A$  : constante logarithmique associée à la constante d'acidité

Pour la réaction d'autoprotolyse de l'eau d'équation :



$$K_e = \frac{[H_3O^+]_{eq}}{c^0} \times \frac{[HO^-]_{eq}}{c^0}$$

•  $K_e$  : produit ionique de l'eau (constante d'équilibre de la réaction)

•  $[OH^-]_{eq}, [H_3O^+]_{eq}$  : concentration des espèces à l'équilibre (mol . L<sup>-1</sup>)

## Méthode physique d'analyse d'un système d'espèces chimiques

$$\sigma = \sum_i (\lambda_i \cdot [X_i])$$

- $\sigma$  : conductivité ( $S \cdot m^{-1}$ )
- $\lambda_i$  : conductivité ionique molaire de l'ion  $X_i$  ( $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$ )
- $[X_i]$  : concentration en quantité de matière de l'ion  $i$  ( $mol \cdot m^{-3}$ )

**Si un seul soluté en solution, on a :  $\sigma = k \cdot c$**

- $c$  : concentration en soluté apporté ( $mol \cdot m^{-3}$ )
- $k$  : coefficient de proportionnalité

$$A = \sum_i (\epsilon_\lambda \cdot l \cdot [X_i])$$

- $A$  : absorbance à la longueur d'onde  $\lambda$
- $\epsilon$  : coefficient d'extinction molaire de l'espèce chimique ( $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ )
- $l$  : largeur de la cuve ( $cm$ )
- $[X_i]$  : concentration en quantité de matière de l'ion  $i$  ( $mol \cdot L^{-1}$ )

**Si une seule espèce chimique colorée on a :  $A = k \cdot c$**

- $c$  : concentration en soluté apporté ( $mol \cdot L^{-1}$ )
- $k = \epsilon \times l$  : coefficient de proportionnalité à la longueur d'onde  $\lambda$

$$\rho_{\text{solution}} = \frac{m_{\text{solution}}}{V_{\text{solution}}}$$

- $\rho_{\text{solution}}$  : masse volumique de la solution ( $g \cdot mL^{-1}$ )
- $m_{\text{solution}}$  : masse de la solution ( $g$ )
- $V_{\text{solution}}$  : volume de la solution ( $mL$ )

$$d_{\text{solution}} = \frac{\rho_{\text{solution}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

- $d_{\text{solution}}$  : densité de la solution
- $\rho_{\text{solution}}$  : masse volumique de la solution ( $g \cdot mL^{-1}$ )
- $\rho_{\text{eau}}$  : masse volumique de l'eau égale à  $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g} \cdot mL^{-1}$

$$t(\text{solute}) = \frac{m(\text{solute})}{m_{\text{solution}}}$$

- $t(\text{solute})$  : titre massique du soluté
- $m(\text{solute})$  : masse du soluté ( $g$ )
- $m_{\text{solution}}$  : masse de la solution ( $g$ )

$$c(\text{solute}) = \frac{n(\text{solute})}{V_{\text{solution}}}$$

- $c(\text{solute})$  : concentration en quantité ( $mol \cdot L^{-1}$ )
- $n(\text{solute})$  : quantité de matière du soluté ( $mol$ )
- $V_{\text{solution}}$  : volume de la solution ( $L$ )

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

- $n$  : quantité de matière ( $mol$ )
- $m$  : masse ( $g$ )
- $M$  : masse molaire ( $g \cdot mol^{-1}$ )

$$\text{Pour un gaz : } n = \frac{V}{V_m}$$

- $V$  : volume ( $L$ )
- $V_m$  : volume molaire ( $L \cdot mol^{-1}$ )

## Méthode chimique d'analyse d'un système d'espèces chimiques

**Conditions d'équivalence pour un titrage dont la réaction support de titrage a pour équation :**  
**a A (aq) + b B (aq) → c C (aq) + d D (aq)**

$$\frac{n_{A,\text{titree}}}{a} = \frac{n_{B,\text{titrante,eqv}}}{b}$$

- $n_{A,\text{titree}}$  : quantité de matière de A ( $mol$ )
- $n_{B,\text{titrante,eqv}}$  : quantité de matière de B versée à l'équivalence ( $mol$ )
- $a, b$  : coefficients stoechiométriques

$$c_{\text{mere}} \times V_{\text{mere}} = c_{\text{fille}} \times V_{\text{fille}}$$

$$\text{OU } F = \frac{V_{\text{fille}}}{V_{\text{mere}}} = \frac{c_{\text{mere}}}{c_{\text{fille}}}$$

- $F$  : facteur de dilution
- $c_{\text{mere}}$  : concentration de la solution mère ( $mol \cdot L^{-1}$ )
- $c_{\text{fille}}$  : concentration de la solution fille ( $mol \cdot L^{-1}$ )
- $V_{\text{mere}}$  : volume du prélèvement ( $L$ )
- $V_{\text{fille}}$  : volume de la fiole ( $L$ )

## Suivi temporel d'une transformation chimique (macroscopique)

$$v_{c,R}(t) = - \frac{d[R]}{dt}(t)$$

- $v_{c,R}(t)$  : vitesse de consommation du réactif R ( $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ )
- $[R]$  : concentration du réactif ( $mol \cdot L^{-1}$ )
- $t$  : temps ( $s$ )

**Pour une loi d'ordre 1 :**

$$v_{c,R} = k \cdot [R]$$

- $v_{c,R}$  : vitesse de consommation du réactif R ( $mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$ )
- $[R]$  : concentration du réactif ( $mol \cdot L^{-1}$ )
- $k$  : constante de vitesse ( $s^{-1}$ )

$$x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$$

- $x(t_{1/2})$  : avancement à la date  $t_{1/2}$  ( $mol$ )
- $x_f$  : avancement final ( $mol$ )

## Suivi temporel (microscopique)

pas de formule

## Evolution temporelle transf nucléaire

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

- $N(t)$  : nombre de noyaux à la date  $t$
- $N_0$  : nombre de noyaux à la date  $t=0$
- $\lambda$  : constante radioactive ( $s^{-1}$ )

$$A(t) = - \frac{dN}{dt}(t)$$

- $A(t)$  : activité à la date  $t$  (Bq)

## Optimisation de synthèse

$$r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}}$$

- $r$  : rendement
- $m_{\text{exp}}$  : masse de produit obtenue expérimentalement (g)
- $m_{\text{max}}$  : masse maximale de produit (g)

## Stratégie de synthèse

*pas de formule*

## Evolution forcée d'un système d'espèces chimiques - Electrolyse

*Voir les formules sur la pile : la quantité d'électricité  $Q$  de l'électrolyseur se calcule avec les mêmes relations*

## Forces et mouvement

### REPÈRE CARTESIEN

$$\vec{OM}(t) \begin{cases} x(t) \\ y(t) \end{cases}$$

- $\vec{OM}(t)$  : vecteur position du point M de norme OM (m)
- $x(t)$  : coordonnée selon l'axe (Ox) de la position du point M (m)
- $y(t)$  : coordonnée selon l'axe (Oy) de la position du point M (m)

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{OM}}{dt}(t) \quad \vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = \frac{dx}{dt}(t) \\ v_y(t) = \frac{dy}{dt}(t) \end{cases}$$

- $\vec{v}(t)$  : vecteur vitesse de norme v (m . s<sup>-1</sup>)
- $v_x(t)$  : coordonnée selon l'axe (Ox) du vecteur vitesse (m . s<sup>-1</sup>)
- $v_y(t)$  : coordonnée selon l'axe (Oy) du vecteur vitesse (m . s<sup>-1</sup>)

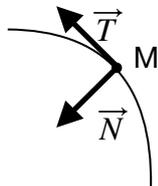
$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}(t) \quad \vec{a}(t) \begin{cases} a_x(t) = \frac{dv_x}{dt}(t) \\ a_y(t) = \frac{dv_y}{dt}(t) \end{cases}$$

- $\vec{a}(t)$  : vecteur accélération de norme a (m . s<sup>-2</sup>)
- $a_x(t)$  : coordonnée selon l'axe (Ox) du vecteur accélération (m . s<sup>-2</sup>)
- $a_y(t)$  : coordonnée selon l'axe (Oy) du vecteur accélération (m . s<sup>-2</sup>)

### REPÈRE DE FRENET

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_T(t) = v(t) \\ v_N(t) = 0 \end{cases}$$

- $\vec{v}(t)$  : vecteur vitesse de norme v (m . s<sup>-1</sup>)
- $v_T(t)$  : coordonnée du vecteur vitesse selon le vecteur  $\vec{T}$  du repère de Frenet (m . s<sup>-1</sup>)
- $v_N(t)$  : coordonnée du vecteur vitesse selon le vecteur  $\vec{N}$  du repère de Frenet (m . s<sup>-1</sup>)



$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}(t) \quad \vec{a}(t) \begin{cases} a_T(t) = \frac{dv}{dt}(t) \\ a_N(t) = \frac{v^2}{R}(t) \end{cases}$$

- $\vec{a}(t)$  : vecteur accélération de norme a (m . s<sup>-2</sup>)
- $a_T(t)$  : coordonnée du vecteur accélération selon le vecteur  $\vec{T}$  du repère de Frenet (m . s<sup>-2</sup>)
- $a_N(t)$  : coordonnée du vecteur accélération selon le vecteur  $\vec{N}$  du repère de Frenet (m . s<sup>-2</sup>)

$$\sum \vec{F} = m \times \vec{a}$$

- $\sum \vec{F}$  : somme des forces extérieures appliquées au système
- m : masse du système (kg)
- $\vec{a}(t)$  : vecteur accélération de norme a (m . s<sup>-2</sup>)

## Mouvement dans un champ uniforme

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

- $\vec{P}$  : poids du système, de norme P (N)
- m : masse du système (kg)
- $\vec{g}$  : champ de pesanteur, de norme g (N . kg<sup>-1</sup>)

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

- $\vec{F}$  : force électrique, de norme F (N)
- q : charge électrique du système (C)
- $\vec{E}$  : champ électrique, de norme E (N . C<sup>-1</sup>)

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

- $E_c$  : énergie cinétique du système (J)
- m : masse du système (kg)
- v : vitesse du système (m . s<sup>-1</sup>)

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot y$$

- $E_{pp}$  : énergie potentielle de pesanteur du système (J)
- m : masse du système (kg)
- g : champ de pesanteur (N . kg<sup>-1</sup>)
- y : position du système sur l'axe vertical (Oy) (m)

$$E_m = E_c + E_p$$

- $E_m$  : énergie mécanique du système (J)

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

- $\Delta E_c(A \rightarrow B)$  : variation d'énergie cinétique entre les points A et B (J)
- $\sum W_{AB}(\vec{F})$  : somme des travaux des forces appliquées au système (J) avec  $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$

### Pour un système en chute libre :

$$\Delta E_m(A \rightarrow B) = 0$$

- $\Delta E_m(A \rightarrow B)$  : variation d'énergie mécanique entre les points A et B (J)

## Mouvement dans un champ non uniforme

$$F = G \times \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

- F : force d'interaction gravitationnelle exercée entre les corps A et le corps B (N)
- m : masse du corps (kg)
- d : distance entre les centres de masse des corps A et B (m)
- G : constante de gravitation universelle

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

- v : vitesse du système en orbite circulaire (m . s<sup>-1</sup>)
- R : rayon du cercle (m)
- T : période de révolution (s)

## Mécanique des fluides

$$D_v = \frac{V}{\Delta t} = v \times S$$

- $D_v$  ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )
- $V$  volume de fluide ( $m^3$ )
- $\Delta t$  durée (s) pendant laquelle le volume  $V$  traverse la section d'aire  $S$  ( $m^2$ )
- $v$  vitesse d'écoulement ( $m \cdot s^{-1}$ )

Pour un fluide incompressible : Equation de continuité si la section change

$$D_{v1} = D_{v2}$$

$$\vec{\pi}_A = -\rho V \vec{g}$$

- $V$  volume de solide immergé dans le fluide ( $m^3$ )
- $\pi_A$  valeur de la poussée d'Archimède (N)
- $\rho$  masse volumique du fluide ( $kg \cdot m^{-3}$ )
- $g$  intensité de pesanteur ( $9,81 N \cdot kg^{-1}$ )

## Décrire l'état d'un système

### Equation d'état du gaz parfait :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- $P$  : pression du gaz parfait (Pa)
- $V$  : volume du gaz parfait ( $m^3$ )
- $n$  : quantité de matière du gaz parfait (mol)
- $T$  : température du gaz parfait (K)
- $R$  : constante des gaz parfait

### Pour un gaz parfait ou une phase condensée idéale :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- $\Delta U$  : variation d'énergie interne du système (J)
- $m$  : masse du système (kg)
- $c$  : capacité thermique massique du système ( $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ )
- $\Delta T$  : variation de température du système (K)

$$C = m \cdot c$$

- $C$  : capacité thermique du système ( $J \cdot K^{-1}$ )

## Transfert thermique et bilan d'énergie

### 1er principe de la thermodynamique (système au repos macroscopique)

$$\Delta U = W + Q$$

- $\Delta U$  : variation d'énergie interne du système (J)
- $W$  : énergie du transfert par travail des forces de l'extérieur sur le système (J)
- $Q$  : énergie du transfert thermique entre le système et l'extérieur (J)
- $W$  et  $Q$  sont comptés positivement (reçu) ou négativement (cédé)

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

- $\phi$  : flux thermique (ou puissance thermique  $P_{th}$ ) (W)
- $Q$  : énergie du transfert thermique entre le système et l'extérieur (J)
- $\Delta t$  : durée de l'échange (s)

### Pour 2 systèmes A et B séparés par une paroi :

$$\phi = \frac{T_A - T_B}{R_{th}}$$

- $R_{th}$  : résistance thermique de la paroi ( $K \cdot W^{-1}$ )
- $T$  : température du système (K)
- $\phi$  : flux thermique entre les 2 systèmes (W)

## Atténuations des ondes

$$I = \frac{P}{S}$$

- $I$  : intensité sonore ( $W \cdot m^{-2}$ )
- $P$  : puissance sonore de la source sonore ( $W$ )
- $S$  : surface de réception de l'onde sonore ( $m^2$ )

$$L = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

- $L$  : niveau d'intensité sonore ( $dB$ )
- $I_0$  : intensité sonore de référence  $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$

$$f = \frac{1}{T}$$

- $f$  : fréquence de l'onde ( $Hz$ )
- $T$  : période ( $s$ )

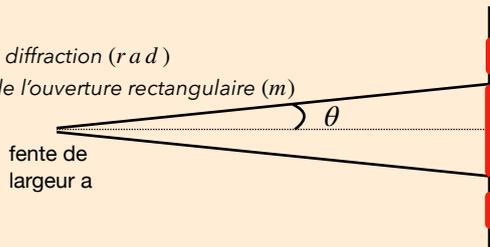
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

- $\lambda$  : longueur d'onde ( $m$ )
- $v$  : vitesse de propagation de l'onde ( $m \cdot s^{-1}$ )

## Diffraction et interférences

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

- $\theta$  : angle de diffraction ( $rad$ )
- $a$  : largeur de l'ouverture rectangulaire ( $m$ )



### Différence de marche :

$$\delta = S_2M - S_1M$$

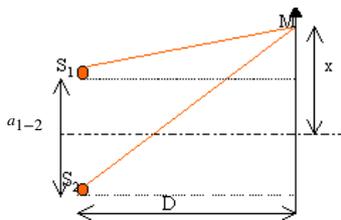
### conditions d'interférences constructives :

$$\delta = k \cdot \lambda$$

### conditions d'interférences destructives :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

- $\delta$  : différence de marche ( $m$ )
- $k$  : ordre d'interférences, correspond à un entier relatif



$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a_{1-2}}$$

- $i$  : interfrange ( $m$ )
- $D$  : distance entre les fentes et l'écran ( $m$ )
- $a_{1-2}$  : distance entre les fentes 1 et 2 ( $m$ )



## Systèmes électriques capacitifs

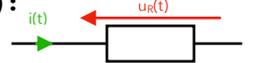
$$i(t) = \frac{dq}{dt}(t)$$

- $i$  : intensité électrique ( $A$ )
- $q$  : charge électrique ( $C$ )
- $t$  : temps ( $s$ )

### Pour un dipôle ohmique (résistance) :

$$u_R(t) = R \cdot i(t)$$

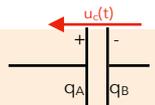
- $u_R$  : tension aux bornes du dipôle ohmique ( $V$ )
- $R$  : résistance du dipôle ohmique ( $\Omega$ )
- $i$  : intensité électrique parcourant le dipôle ( $A$ )



### Pour un condensateur :

$$q_A(t) = C \cdot u_C(t) \text{ et } q_A(t) = -q_B(t)$$

- $q$  : charge électrique accumulée par le condensateur ( $C$ )
- $C$  : capacité électrique du condensateur ( $F$ )
- $u_C$  : tension aux bornes du condensateur ( $V$ )



$$\tau = R \cdot C$$

- $\tau$  : temps caractéristique du circuit RC série ( $s$ )
- $R$  : résistance du circuit RC série ( $\Omega$ )
- $C$  : capacité du circuit RC série ( $F$ )

### Dans une maille constituée de n dipôles :

$$\sum u_i = 0$$

- $u_i$  : tension aux bornes du dipôle  $i$  ( $V$ )
- Les tensions sont comptées algébriquement

## Lunette astronomique

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

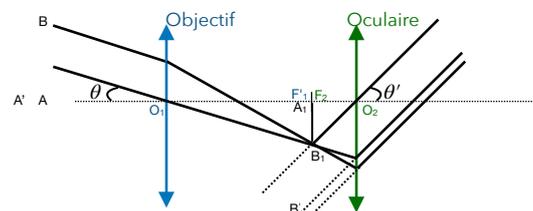
- $G$  : grossissement ( $A$ )
- $\theta'$  : angle d'observation avec l'instrument ( $rad$ )
- $\theta$  : angle d'observation à l'oeil nu ( $rad$ )

$$G = \frac{f'_1}{f'_2}$$

- $f'_1$  : distance focale de l'objectif ( $m$ )
- $f'_2$  : distance focale de l'oculaire ( $m$ )

$$f' = OF'$$

- $f'$  : distance focale ( $m$ )
- $OF'$  : distance entre le centre de la lentille et le foyer image ( $m$ )



## Effet Doppler

$$\Delta f = f_R - f_e$$

•  $\Delta f$ : décalage Doppler (Hz)

## Effet Photoélectrique

$$E = h \times \nu$$

•  $E$ : énergie d'un photon (J)

•  $h$ : constante de Planck

•  $\nu$ : fréquence du rayonnement associé au photon (Hz)

$$h\nu = W_e + E_{c,max}$$

•  $h\nu$ : énergie du photon (J)

•  $W_e$ : Travail d'extraction (J)

•  $E_{c,max}$ : énergie cinétique de l'électron émis (J)

$$\eta = \frac{P_{elec,max}}{P_{lum}}$$

•  $\eta$ : rendement de la conversion énergétique d'une cellule photovoltaïque (sans unité)

•  $P_{elec,max}$ : puissance électrique max (W)

•  $P_{lum}$ : puissance de lumière reçue par la cellule (W)