ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2019

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

04-MB-11 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

1. Vous obtenez la courbe de traction suivante pour un alliage quelconque. À partir du graphique, déterminez (15 pts)

A. Le module d'élasticité (2 pts)
B. Montrez graphiquement la limite conventionnelle d'élasticité (Re 0,2%) et indiquez la valeur (3 pts)
C. La charge maximale de l'éprouvette de diamètre initial de 10,8 mm (4 pts)
D. La variation de longueur d'une éprouvette de longueur initiale de 220 mm soumise à une contrainte de traction de 350 MPa. (4 pts)
E. Quelle est la valeur approximative de la résistance mécanique? (2 pts)

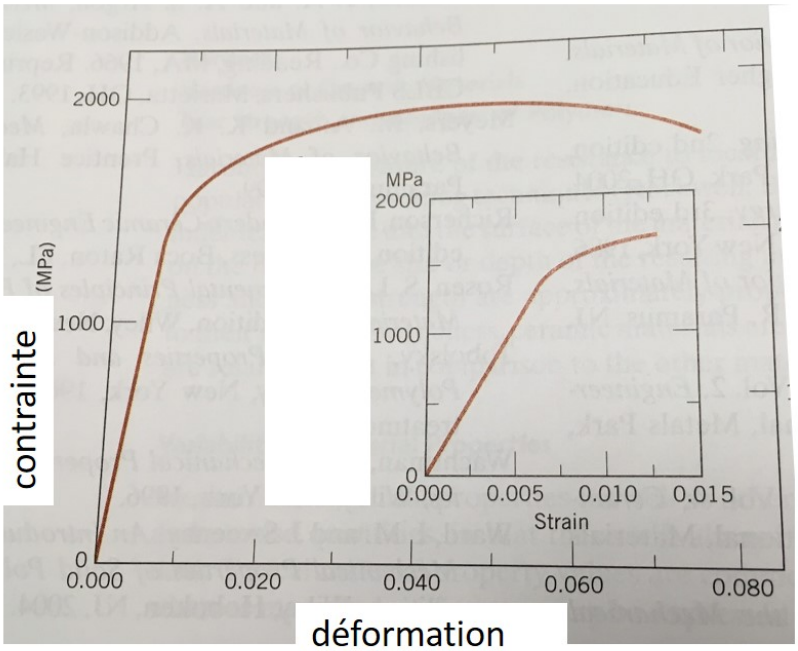


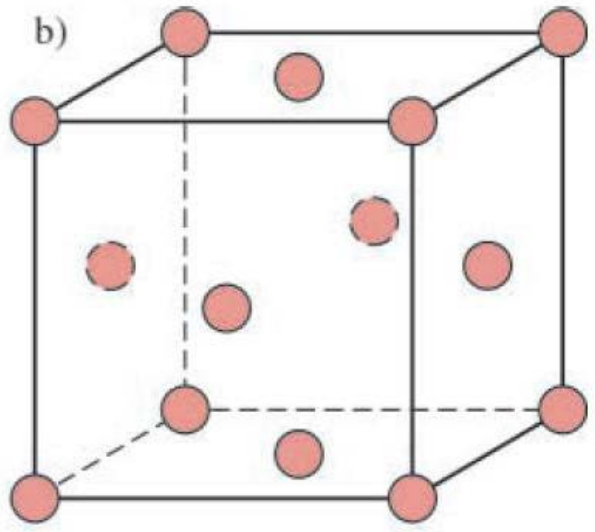
Figure 1

2. On applique une force de traction de 312 N à un fil d'aluminium (E =70 GPa et ν = 0.30). Sachant que son diamètre initial est de 4.0 mm et que sa longueur initiale est de 60 cm,

i. calculez la contrainte en MPa,
ii. calculez son allongement en mètre
iii. calculez sa longueur finale en mètre,
iv. calculez la déformation sur le rayon et
v. calculez le rayon final. (15 pts)

3. (5 pts)

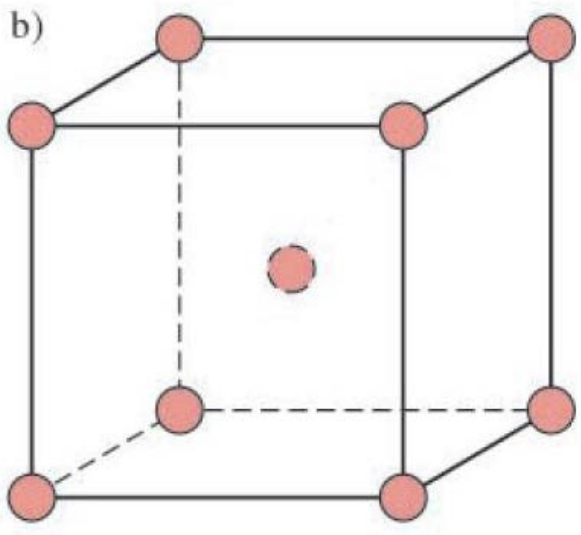
A. Dans une maille élémentaire cubique face centrée, tracez les directions [011] et [111] (2 pts)



B. Calculez la densité d'atomes par nm sur ces deux directions, s'il s'agit d'une maille cubique faces centrées avec paramètre de maille de 0.404 nm. (3 pts)

4. (5pts)

A. Dessinez le plan (111) dans une maille cubique centrée (1 pt)



B. Montrez l'arrangement des atomes dans ce plan s'il s'agit d'un cubique centré (indiquez les mesures des côtés) (2 pts)

C. Calculez le nombre d'atomes par mètre carré pour ce plan où le paramètre de maille (*a*) est 0,35 nm. (2 pts)

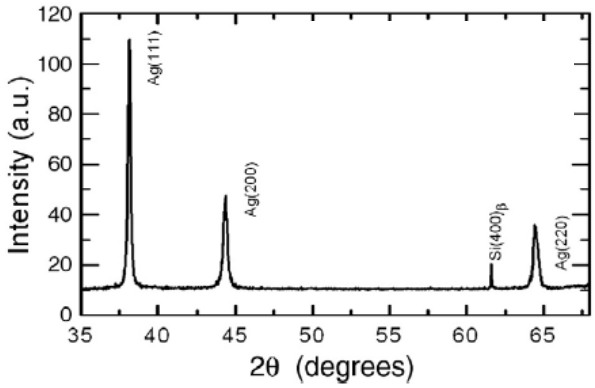
5. (5pts)

A. Écrivez l'équation de loi de Bragg (1 pt)

B. Le pic (200) de l'argent survient à un angle $2\theta = 44.38°$ (figure ci-dessous). Calculez le paramètre de maille de l'argent (2 pts)

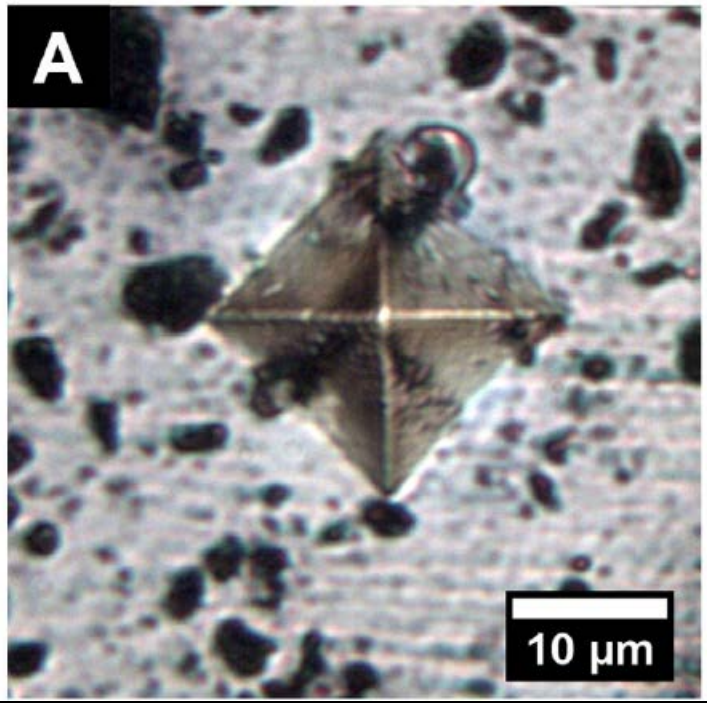
C. Quel est l'angle de diffraction pour le pic (220)? Comparez votre résultat avec la figure ci-dessous. (2 pts)

(sachant que λ=0,154 nm)



6. La dureté d'un nanocomposite doit être déterminée. En utilisant un appareil de dureté Brinell avec une charge de 400kg et une bille de carbure de diamètre 10 mm, vous obtenez un diamètre d'indentation de 1.33 mm. Quelle sera sa dureté Brinell? (10 pts)

7. Mesurez les diagonales (en µm) de l'empreinte sur l'image et calculez la dureté Vickers (HV) du matériau composite si la charge utilisée est de 50 g. (10 pts)



8. Diagramme d'équilibre binaire (15 pts)

i. Expliquez le diagramme d'équilibre de Cu-Ag comme présenté sur la figure ci-dessous (5 pts)

ii. Quelle est la limite de solubilité de Ag en phase α? (1 pt)

iii. Quelle est la limite de solubilité de Cu en phase β? (1 pt)

iv. Quelle est la température et la composition de l'eutectique? (3 pts)

v. Quelle est la fraction de α et β à 600°C à la composition eutectique? (5 pts)

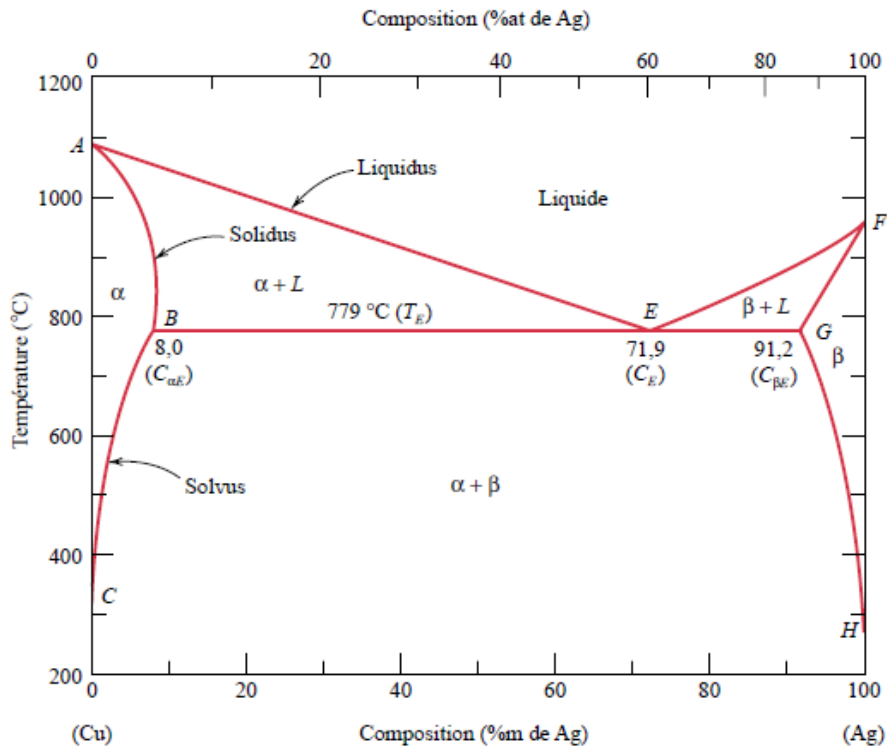
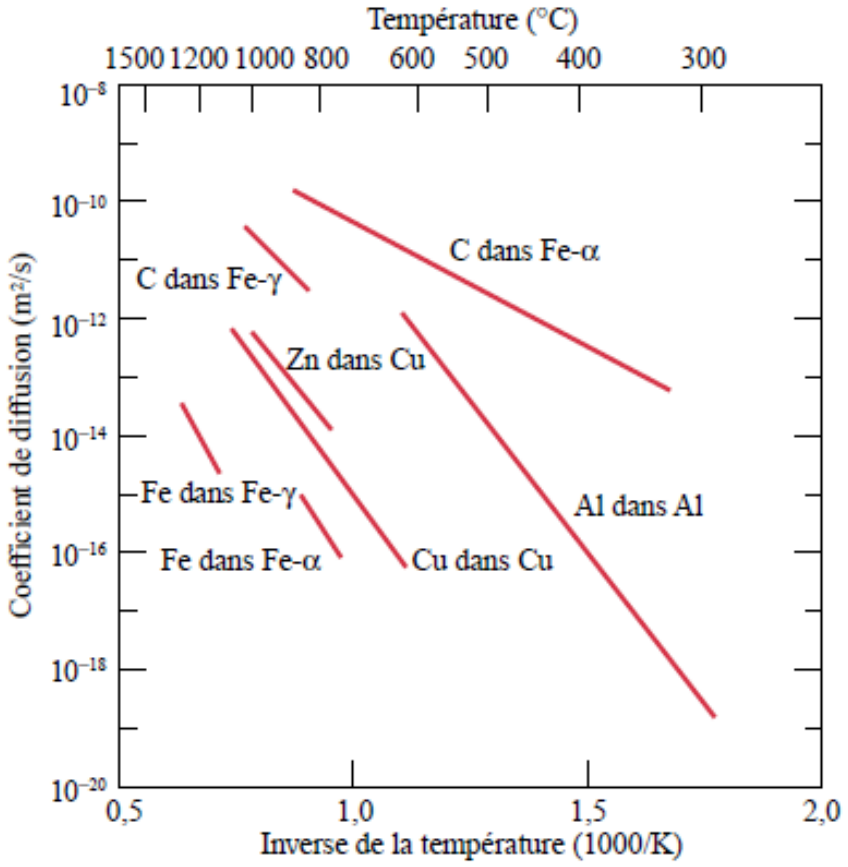


Diagramme d'équilibre cuivre- argent

9. Utilisant cette figure, calculez l'énergie d'activation en électronvolt de diffusion (eV) de l'Al dans Al (*10 pts*)



Selon la théorie de bandes expliquez (avec phrases et schéma) (*10 pts)*

A. Conducteur : (*4 pts*)
B. Isolant : (*4 pts*)
C. Semi-conducteur : (2 *pts*)

Documents de support

Crystallographie

λ =0,154 nm pour Cu K_{alpha1}

$$\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta$$

$$d_{hkl} = \sqrt{\frac{a^2}{h^2+k^2+l^2}}$$

Dureté et tests mécaniques

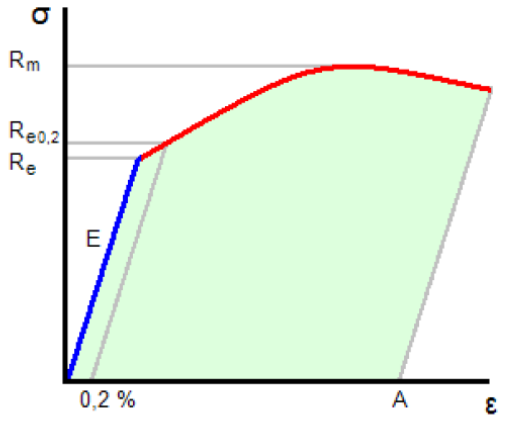
TRACTION – Relation entre contrainte et déformation

Relation entre les contraintes et les déformations:

• dans le domaine élastique, toute contrainte produit une déformation qui lui est proportionnelle, suivant la ***loi de Hooke***:

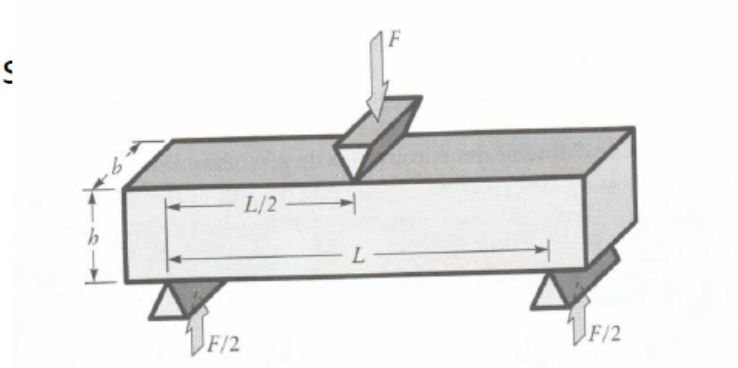
$$\boxed{\sigma = E\varepsilon}$$

où E: Module d'élasticité, constante du matériau utilisé [GPa]



À travers l'essai de traction, on peut déterminer certaines propriétés des matériaux comme:
- Le module d' Young E,
- La limite élastique R_e,
- La limite conventionnelle d'élasticité à 0, 2% ($R_{e0,2}$)
-La Résistance à la traction R_m (qui, dans le cas des matériaux fragiles est confondue avec la limite élastique R_e).
-Allongement à la rupture (A%)
-Striction à la rupture (Z%)

- Flexion 3 points



$$|\sigma_{max}| = \frac{3}{2}\left(\frac{FL}{bh^2}\right)$$

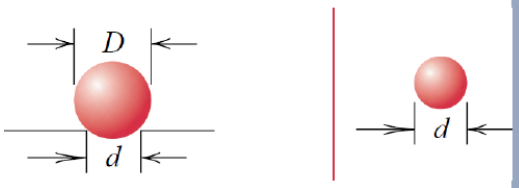
F = charge (N)
b = largeur (mm)
h = hauteur (mm)
L = distance entre les appuis (mm)

Brinell

Bille d'acier dure ou de carbure (10 mm dia.)

Charge : 500 ou 3000 kgf

Mesure du diamètre de l'empreinte (d)



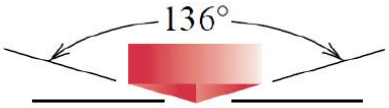
Vue latérale Vue de dessus

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$$

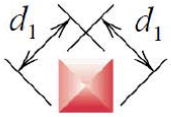
Vickers (HV)

- Pyramide de diamant (angle 136° entre face opposées)
- Charge : 2 à 100 kgf
  - (microdureté 5 à 1000 gf)
- Mesure des diagonales d

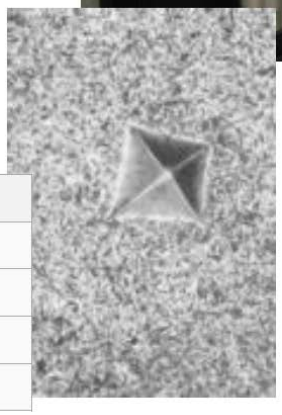
$$HV = \frac{1{,}854\,F}{d^2}$$



Vue latérale



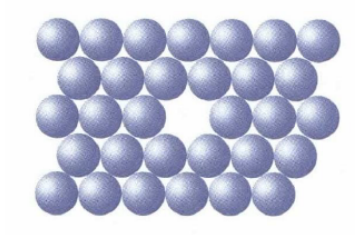
Vue de dessus



Material	Value
316L stainless steel	140HV
347L stainless steel	180HV
Carbon steel	55–120HV
Iron	30–80HV

Nombre de lacunes en fonction de la température

$$n_l = Ne^{\left(-\frac{Q_l}{kT}\right)}$$



(a)

n_l : nombre de lacunes
N : nombre de sites atomiques
Q_l : Énergie de formation de lacune
k : Constante de Boltzmann
1.38 * 10^{-23} J/K
8,62 *10^{-5} eV/K
T : température en K (celcius +273)

L'effet de la température sur le coefficient de diffusion (D)

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \tag{5.8}$$

où :

D_0 = facteur préexponentiel indépendant de la température (m^2/s),

Q_d = **énergie d'activation** de la diffusion (J/mol, cal/mol ou eV/atome),

R = constante universelle des gaz (8,31 J/mol·K ou $8{,}62 \times 10^{-5}$ eV/atome·K),

T = température absolue (K).

Facteurs influant sur la diffusion

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$$

L'application du logarithme naturel à l'équation 5.8 donne :

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{Q_d}{R}\left(\frac{1}{T}\right) \tag{5.9a}$$

si on applique le logarithme à base 10, on obtient :

$$\log D = \log D_0 - \frac{Q_d}{2{,}3R}\left(\frac{1}{T}\right) \tag{5.9b}$$

Puisque D_0, Q_d et R ont des valeurs constantes, l'équation 5.9b prend la forme de l'équation d'une droite, soit :

$$y = b + mx$$

Contraintes thermiques

- Si un matériaux est immobiles et soumise à un gradient de température, il pourra y avoir apparition de contrainte σ

$$\sigma = E\alpha(T_0 - T)$$

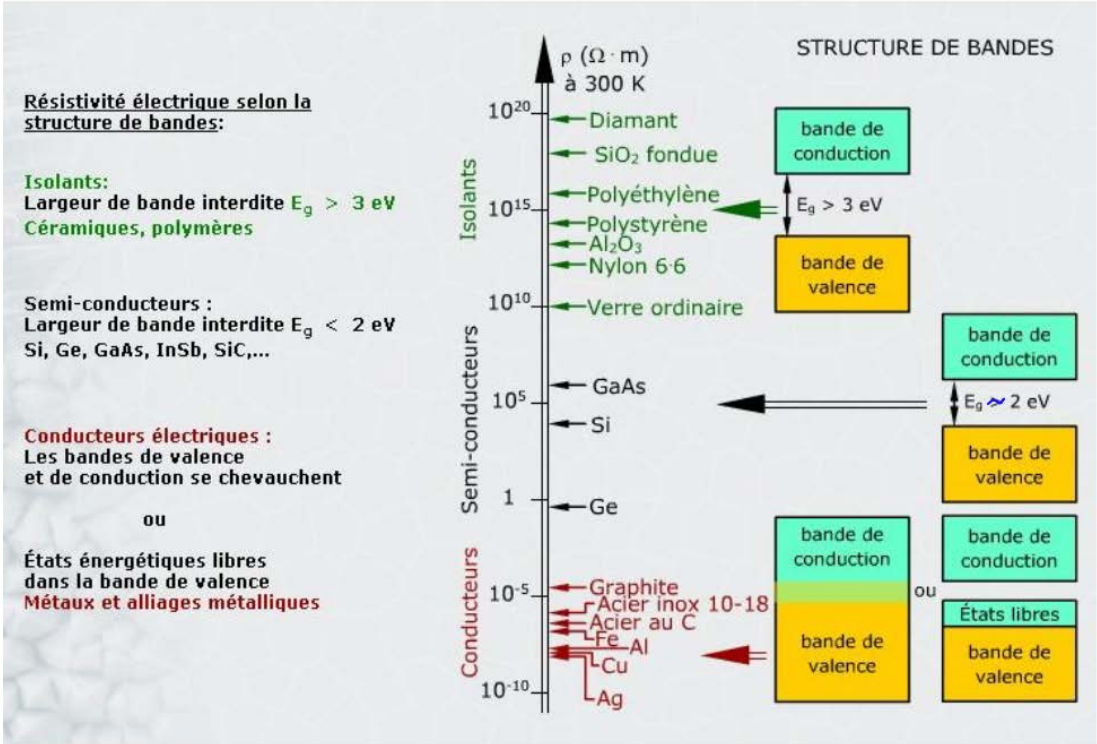
Où : E est le module d'élacticité
T la température et
α : le coefficient de dilatation thermique

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \alpha(T - T_0)$$

$$ou$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha(\Delta T)$$

Théorie des bandes: la bande interdite (E_g) vs résistivité



Corrosion des métaux en milieu aqueux – Potentiels d'équilibre

Potentiel d'équilibre : (à 25 °C)

$$E = E_0 - \frac{0{,}059}{n} \log\left[M^{n+}\right]$$: ***relation de Nernst***

où n: nombre d'électrons engagés

E_0: potentiel « normal » du métal

M^{n+}: concentration molaire en ions M^{n+}

Le tableau 8.1 donne les valeurs du potentiel d'équilibre pour une concentration en ion = 1 M = 1 mol/L

Tableau 8.1 Potentiels standard d'équilibre d'oxydo-réduction, à 25 °C

Réaction	Potentiel standard d'équilibre E_H (V)
$Au \rightleftarrows Au^{3+} + 3e$	+1,50
$2\,H_2O \rightleftarrows O_2 + 4\,H^+ + 4e$	+1,23
$Pt \rightleftarrows Pt^{2+} + 2e$	+1,19
$Ag \rightleftarrows Ag^+ + e$	+0,80
$4\,OH^- \rightleftarrows O_2 + 2\,H_2O + 4e$	+0,40
$Cu \rightleftarrows Cu^{2+} + 2e$	+0,34
$H_2 \rightleftarrows 2H^+ + 2e$	0
$Pb \rightleftarrows Pb^{2+} + 2e$	−0,13
$Sn \rightleftarrows Sn^{2+} + 2e$	−0,14
$Ni \rightleftarrows Ni^{2+} + 2e$	−0,25
$Cd \rightleftarrows Cd^{2+} + 2e$	−0,40
$Fe \rightleftarrows Fe^{2+} + 2e$	−0,44
$Cr \rightleftarrows Cr^{3+} + 3e$	−0,74
$Zn \rightleftarrows Zn^{2+} + 2e$	−0,76
$Al \rightleftarrows Al^{3+} + 3e$	−1,67
$Mg \rightleftarrows Mg^{2+} + 2e$	−2,37
$Na \rightleftarrows Na^+ + e$	−2,71