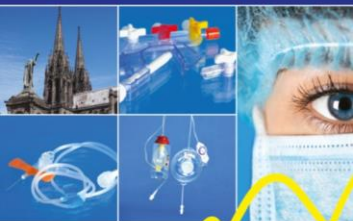


La corrosion

Pr. Jean Geringer
Mines Saint-Etienne-CIS/France
geringer@emse.fr



Déclaration liens d'intérêts

Nom auto-entrepreneur Geringer / Implants

N° SIRET 81235121100014

N° SIREN 812351211

Adresse : 62 bis, rue Henri Dechaud
42100 Saint-Etienne / France

Code NAF 7490B

Expert ANSM

à respecter le secret professionnel, conformément à l'article L. 5323-4 du Code de la santé publique.

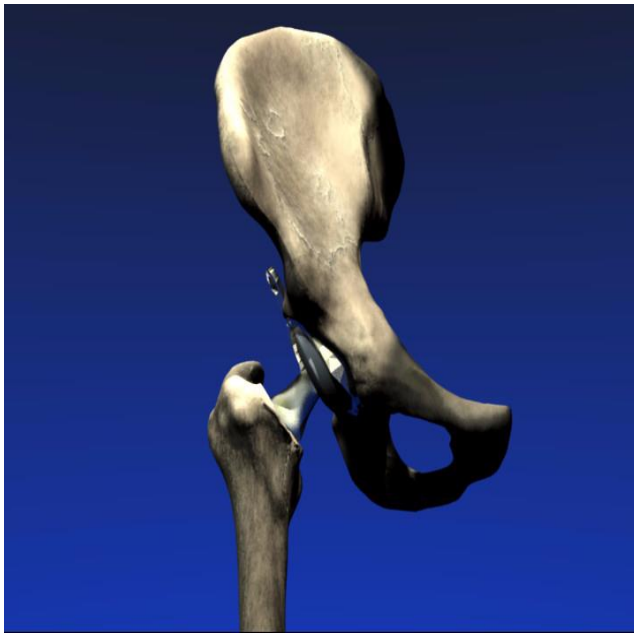
A cet égard, je déclare avoir pris connaissance des dispositions de l'article 226-13 du Code pénal.

Vous avez rédigé un article, intervenez ou êtes intervenu dans des congrès, conférences, colloques, réunions publiques diverses ou formations organisés ou soutenus financièrement par des entreprises ou organismes privés entrant dans le champ de compétence, en matière de santé publique et de sécurité sanitaire, de l'organisme ou de l'instance collégiale objet de la déclaration

Qui suis-je ?



Dr. Jean Geringer / geringer@emse.fr
Skype ID : jean.geringer
Enseignant-chercheur (Professeur des Mines/ Agrégé de Sciences Physiques option Chimie / Ingénieur chimiste).
Chevalier de l'ordre des palmes académiques
fr.linkedin.com/pub/jean-geringer/7/988/b26/



Implants orthopédiques

Science des matériaux, Biomatériaux

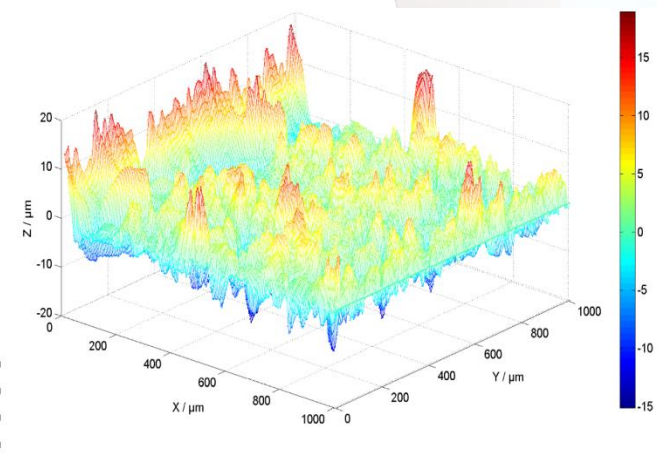
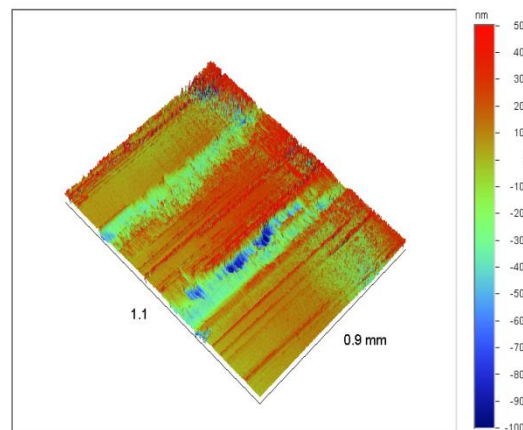
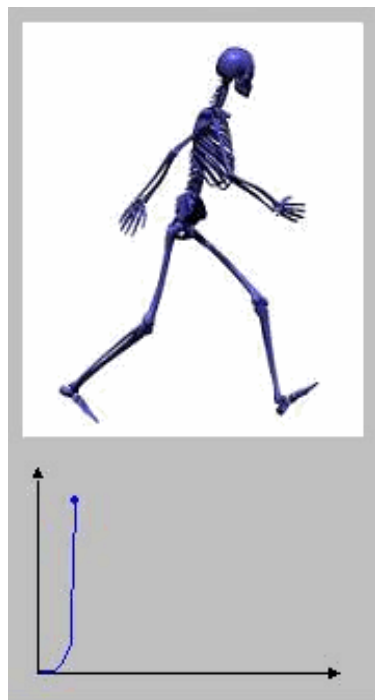
Tribologie, Tribocorrosion

Biomécanique

3 domaines d'investigation de recherche
Fretting-corrosion / Double mobilité / Chocs

Qui suis-je ?

Recherche (2015 Europharmat) : 41 articles; 40 actes de conférence; 40 posters
Recherche (2019 Europharmat) : 58 articles; 77 actes de conférence; 46 posters
Recherche (2020 Europharmat) : 64 articles; 84 actes de conférence; 46 posters
Recherche (2023 Europharmat) : 69 articles; 89 actes de conférence; 46 posters



Travaux en cours avec l'université de Minho (Portugal), mousse de titane.

<https://www.devicemed.fr/dossiers/actualites/evenements/un-nouveau-salon-de-la-sous-traitance-orthopedique-a-st-etienne/9162>

<https://www.devicemed.fr/wp-content/uploads/2020/05/devicemed-mai-juin-2020.pdf>

Plan



I. Réaction d'un métal dans l'eau Thermodynamique et cinétique Les fondamentaux

II. Alliages métalliques dans l'orthopédie 'L'Eglise au milieu du village' 316L → CoCrMo → Ti-6Al-4V

III. Biocompatibilité ? 'Une histoire pas simple...'

Conclusions & Perspectives

THERMODYNAMIQUE

Équilibres	Eo à 25° C (Volts)
$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	+ 1,5
$\text{Pt} \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 1,188
$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+ 0,799
$\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 0,796
$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	+ 0,337
$\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0
$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,126
$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,136
$\text{Mo} \rightleftharpoons \text{Mo}^{3+} + 3\text{e}^-$	- 0,20
$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,257
$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,440
$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	- 0,74
$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	- 0,763
$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	- 1,66

Tableau III - 1 : Potentiels standards d'électrodes par rapport à l'hydrogène

❖ Potentiels d'oxydo-réduction

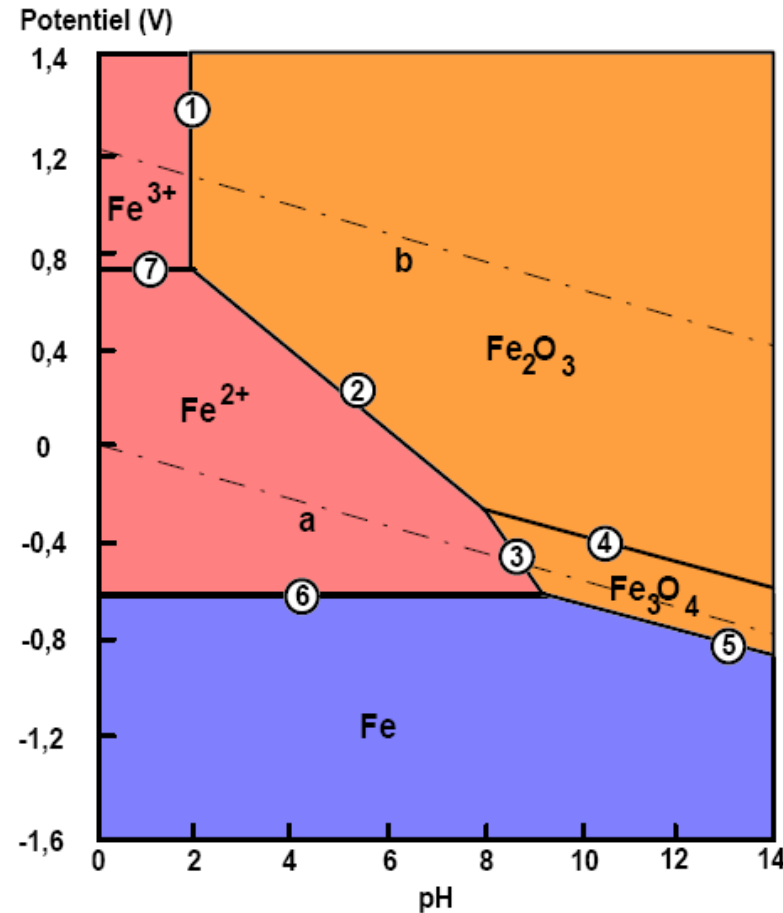
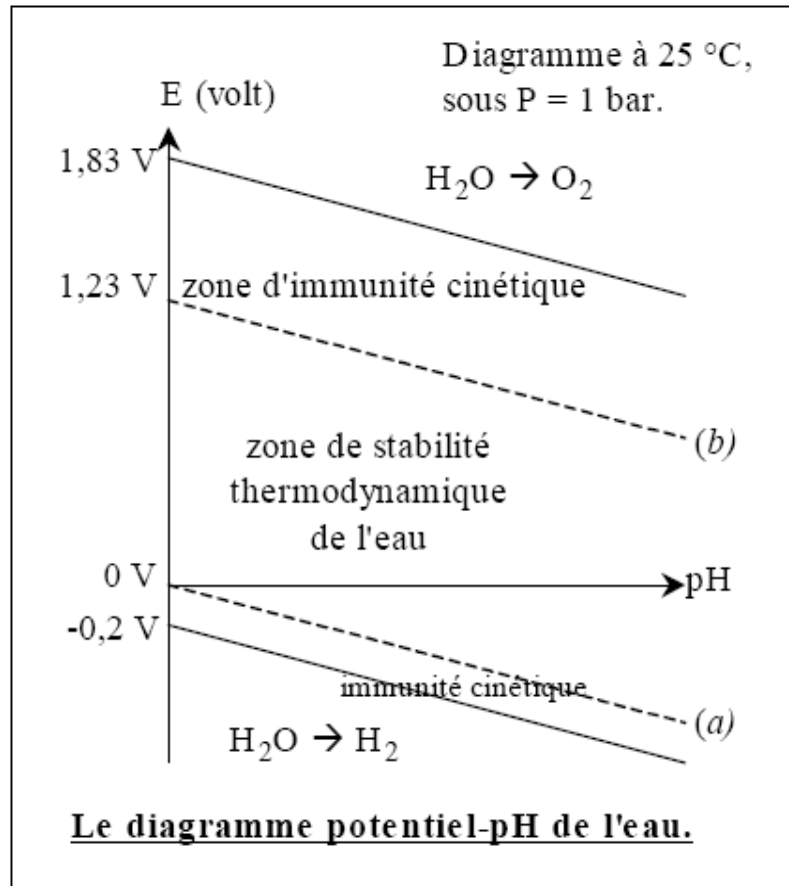
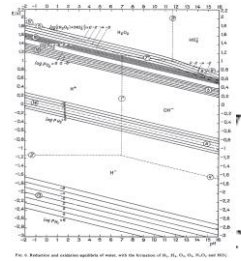
Métaux passifs

Métaux corrodables

Presque tous les métaux ne sont pas stables dans l'eau...

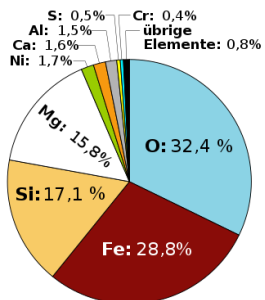


Thermodynamique, Le cas du fer



M. Pourbaix, Atlas d'équilibres électrochimiques, Gauthier-Villars, Paris, 1963

Cefracor lectures

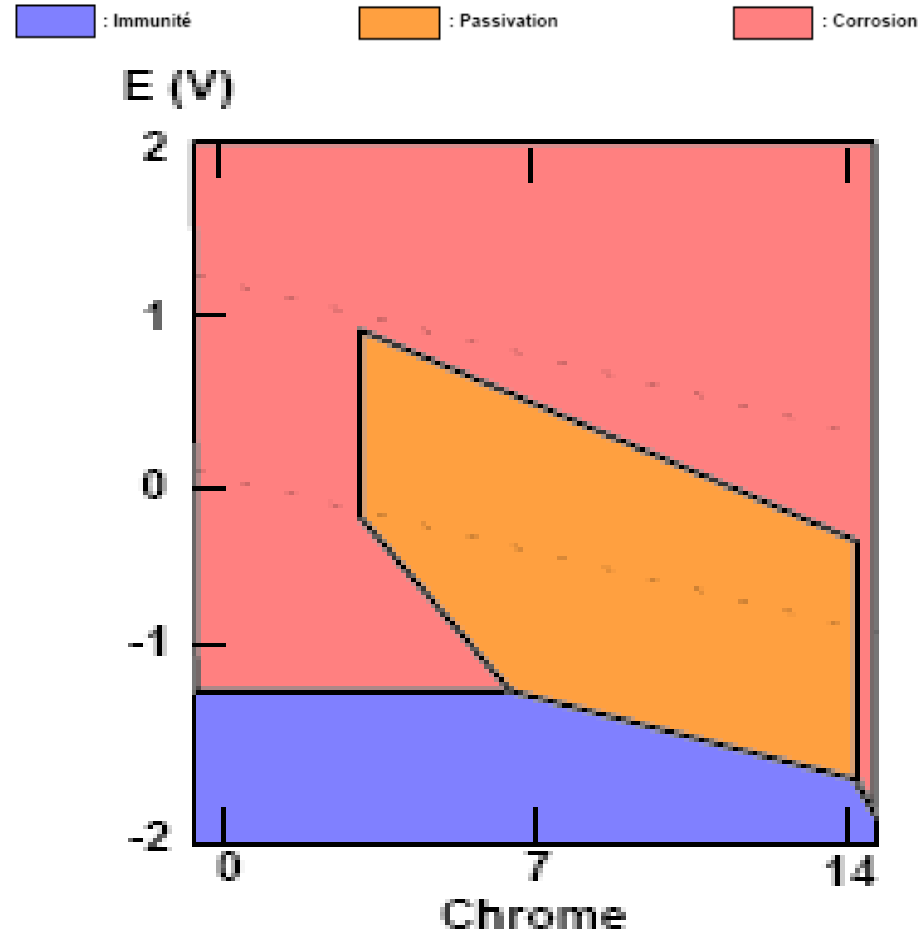
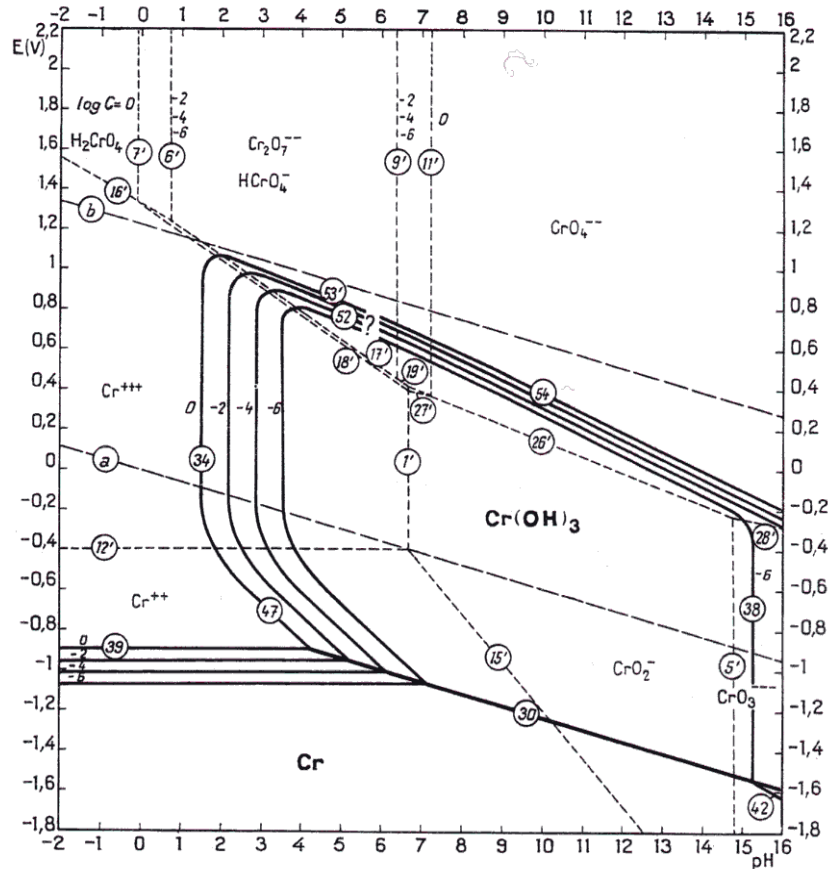


https://fr.wikipedia.org/wiki/Abondance_des_%C3%A9l%C3%A9ments_chimiques

33^E Journées nationales de formation sur les dispositifs médicaux

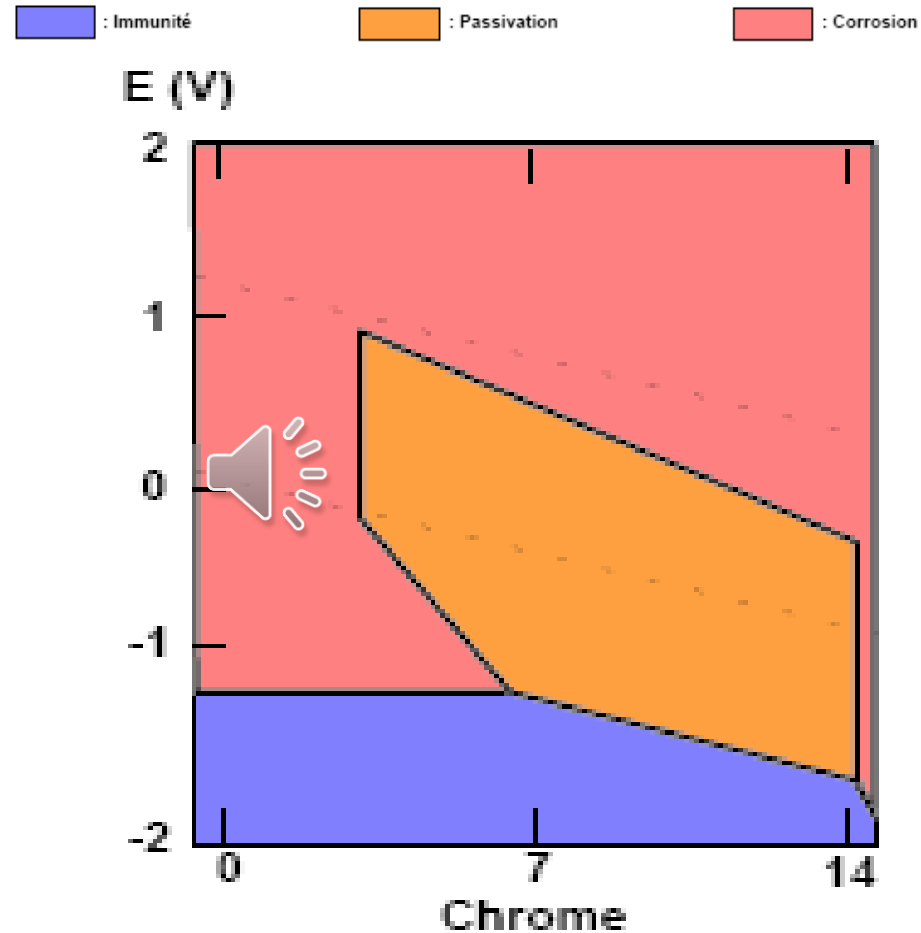
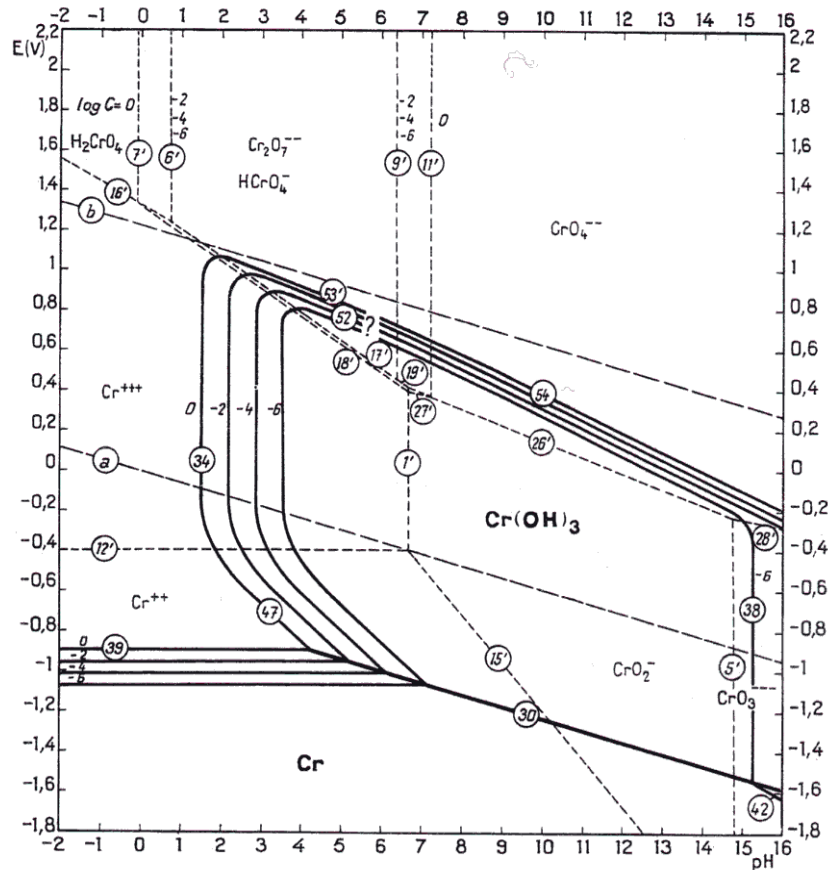


Thermodynamique, Le cas du chrome



Cefracor lectures

Thermodynamique, Le cas du chrome

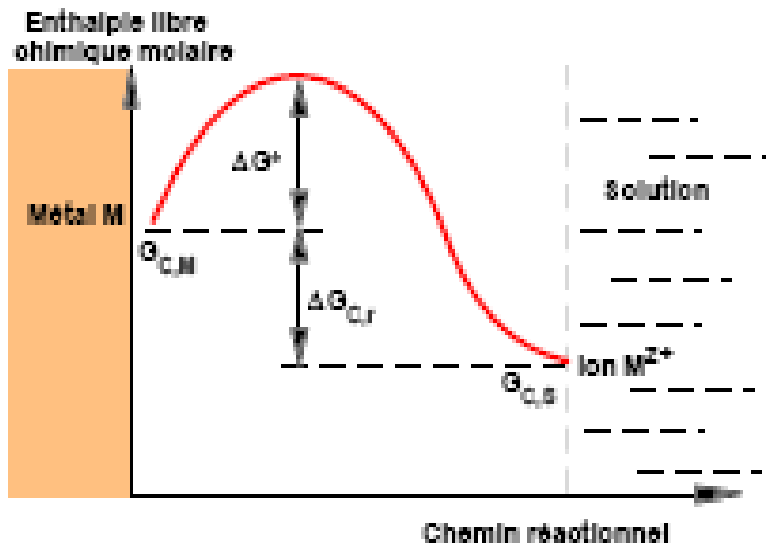


Cefracor lectures

CINETIQUE

"Passivity: The Key to Our Metals-Based Civilization",
D.D. Macdonald, Pure Appl. Chem., 71, 951-986 (1999).

❖ Réactions anodiques, à la surface du métal, équation de Nernst



$$W_E = zF E$$

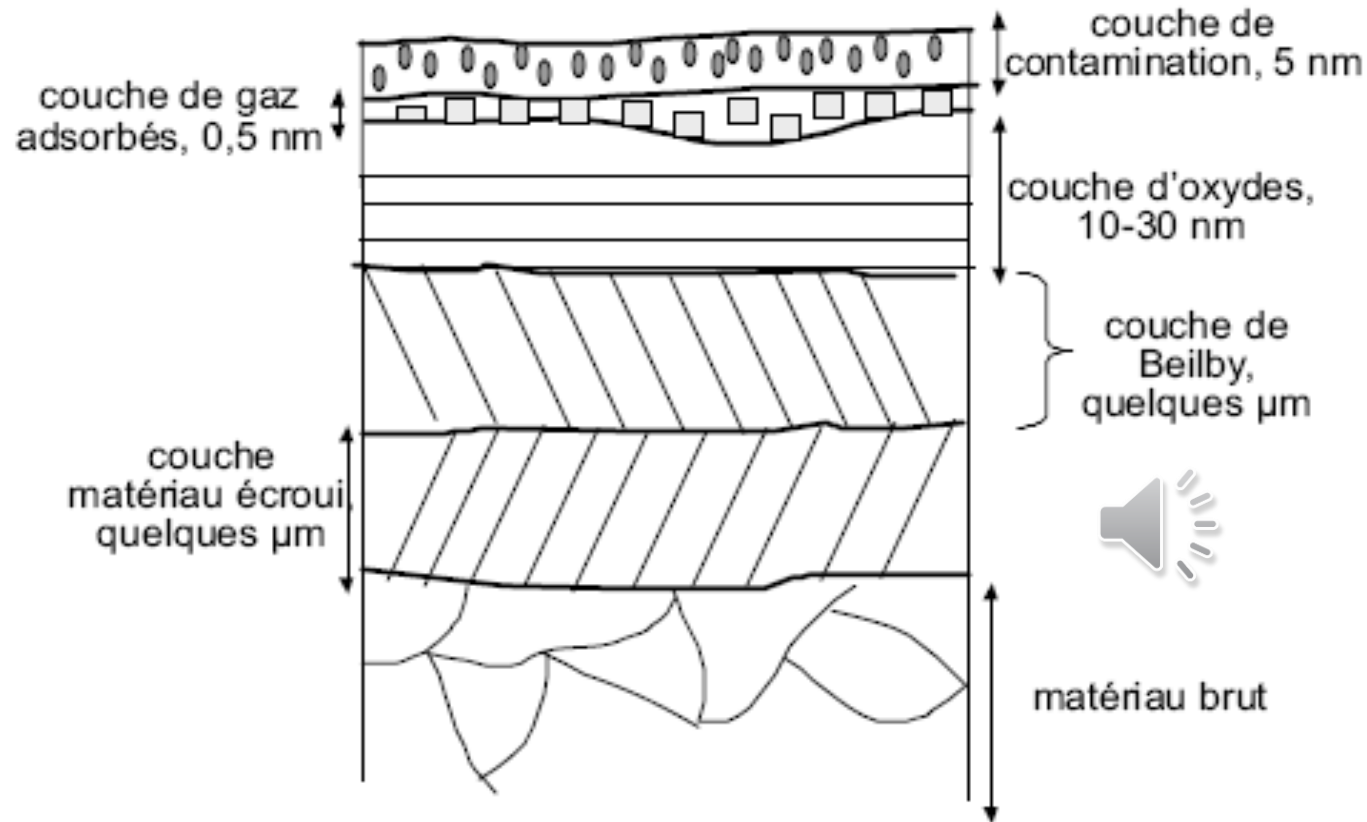
$$zF E = \Delta G_{r,C}^0 + RT \ln [M^{2+}]$$

$$E = E_0 + \frac{RT}{zF} \ln [M^{2+}]$$



Cefracor lectures

La surface d'un métal



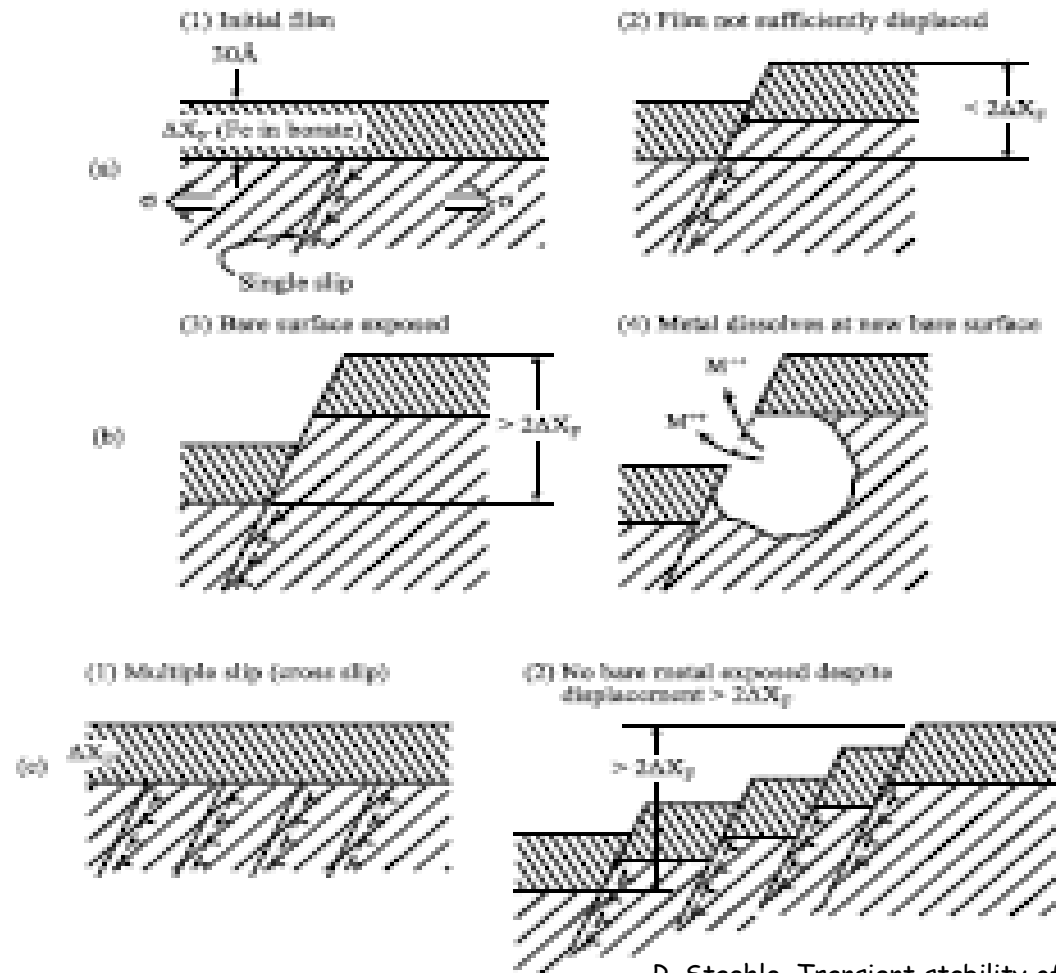
P. Kapsa, Tribologie et contact, Contacts entre solides, Cours 13-15 octobre 1998, Institut pour la Promotion des Sciences de l'Ingénieur.

Générique pour tout implant métallique

Traitement thermique : épaisseur couche d'oxydes

Traitement mécanique (grenaillage) : épaisseur couches matériau écroui

Rupture du film passif



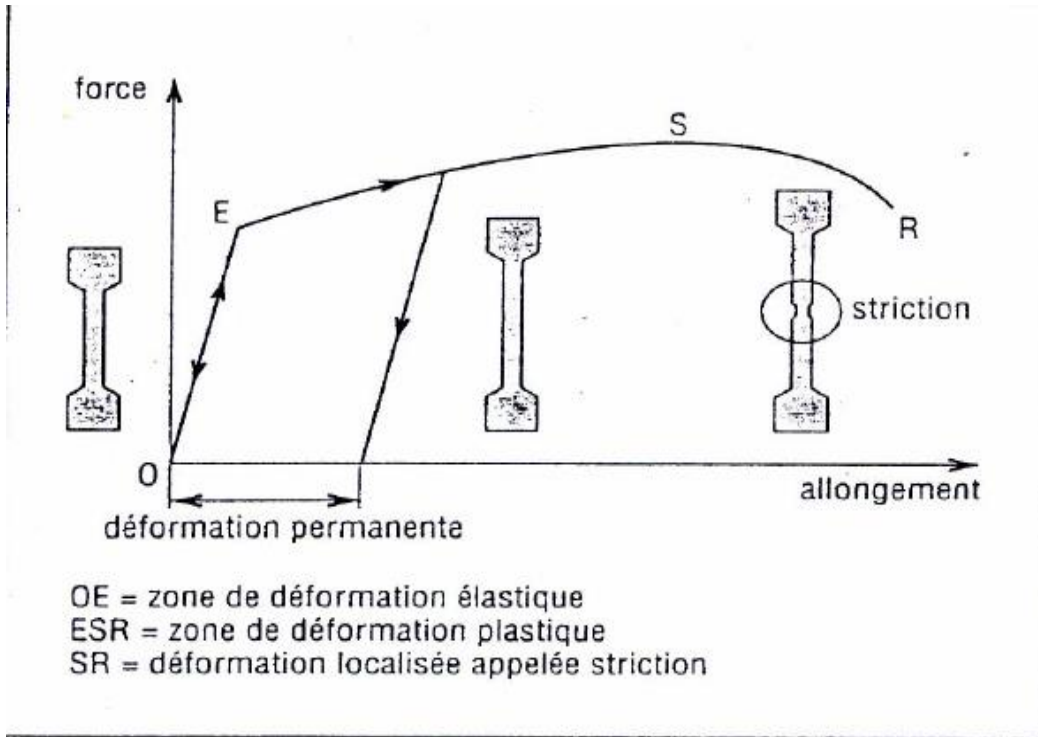
Film passif rompu en raison des chlorures + dislocations (coin & vis, shrink & screw)

R. Staehle, Transient stability of passive Films in aqueous solutions, Corr Sci 49 (2007) 7

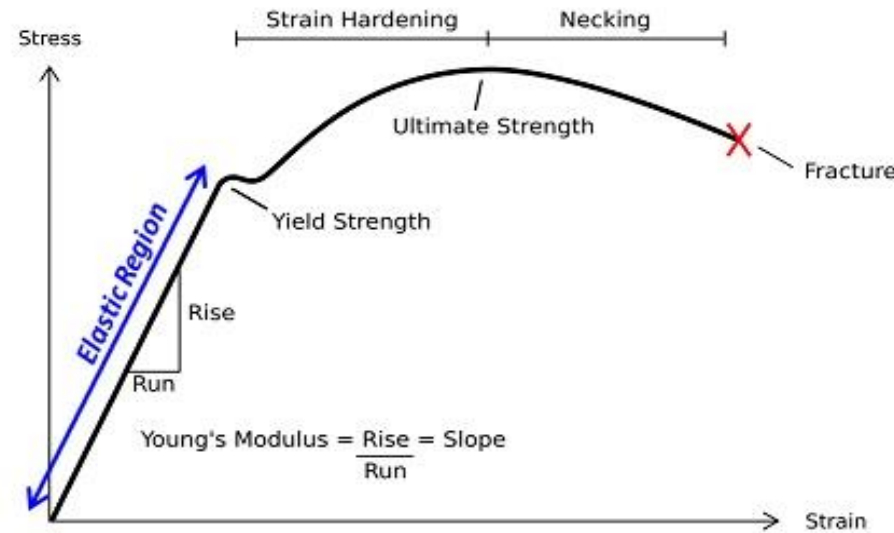
II- Les alliages utilisés, cas de l'orthopédie



Acier inoxydable 316L



MILMAN, Y. V., GRIDNEVA, I. & GOLUBENKO, A. 2007. Construction of stress-strain curves for brittle materials by indentation in a wide temperature range. Science of Sintering, 39, 67-75.



❖ Traction → propriétés mécaniques

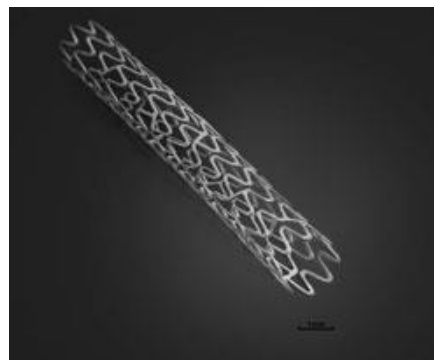
❖ 316L SS, $Re_{0,2\%} \approx 500 \text{ MPa}$ / qualité implants, minimum

'Métallurgie Du minerai au matériau'; Philibert, Vignes, Bréchet, Combrade / Dunod

Alliage CoCrMo



Elements	ASTM F75
Chromium, Cr	27-30%
Molybdenum, Mo	5-7%
Nickel, Ni	<0.5%
Iron, Fe	<0.75%
Carbon, C	<0.35%
Silicon, Si	<1%
Manganese, Mn	<1%
Tungsten, W	<0.2%
Phosphorus, P	<0.02%
Sulphur, S	<0.01%
Nitrogen, N	<0.25%
Aluminum, Al	<0.1%
Titanium, Ti	<0.1%
Boron, B	<0.01%
Cobalt, Co	Balance



https://www.google.com/search?q=stents+316L&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAcQ_AUoAWoVChMI6tCYuZq9yAIVAKMaCh1GJQH-&biw=1704&bih=945#imgrc=Gjn6d_5UvUeiXM%3A

Matériau	Module d'Young, E (GPa)	Limite d'élasticité (MPa)	Résistance à la traction (MPa)
Acier 316L	190	221-1213	586-1351
Alliage Co-Cr	210-253	448-1606	655-1896
Titane	110	485	760
Ti-6Al-4V	116	896-1034	965-1103
Os cortical	15-30	30-70	70-150

Une telle étendue : dépend du traitement thermique + métallurgie

Alliage Ti-6Al-4V



	C	N	Mo	Ni	Cr
316L	0,018	0,07	2,9	12,3	17,4

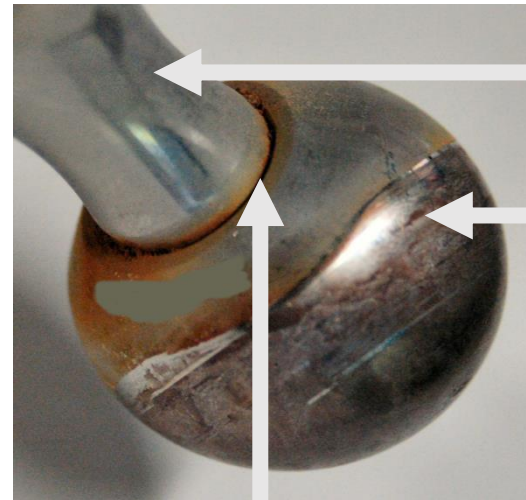
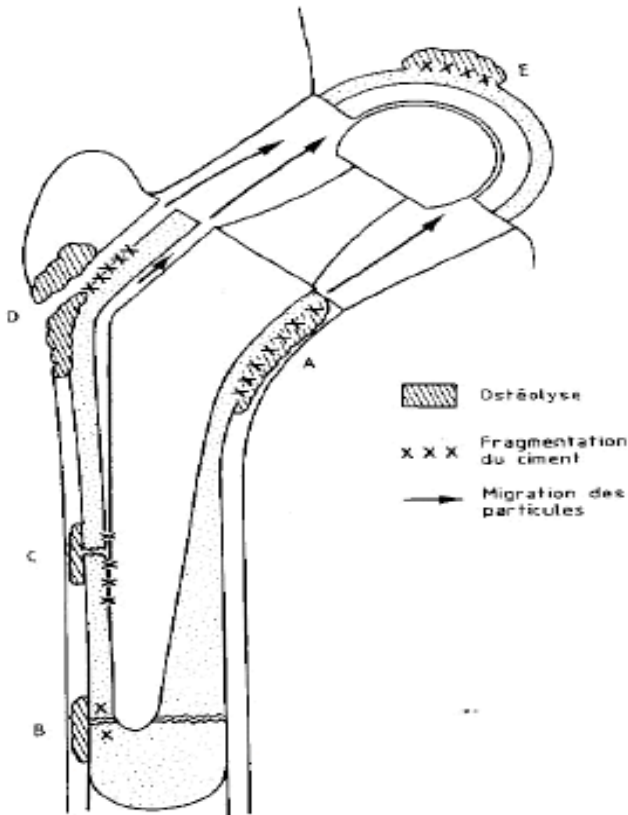
	Co	Cr	Mo
CoCrMo	60	30	6

	C	N	V	Al
Ti-6Al-4V	0,04	0,021	4,23	5,95

	316L	316LN	Ti-6Al-4V
Limite d'élasticité 0,2 % / MPa	280	570	890
Résistance ultime à la traction / MPa	635	920	960
Allongement après rupture / %	49	36	17
Module d'élasticité / GPa	197	200	110
Coefficient de Poisson	0,27	0,27	0,33

Demander par vous-même les vraies informations...

III- Biocompatibilité



Ti-6Al-4V

316L

- ♦ Débris d'oxydes
- ♦ 5 millions de cycles, sollicitation en fatigue
- ♦ Fretting corrosion

- ❖ Sollicitations mécaniques (tribologie et usure) = débris d'usure
- ❖ Problèmes de biocompatibilité et ???
- ❖ Beaucoup Beaucoup de facteurs, à considérer

Beaucoup de questions sur :

Impédancemétrie des tissus : pas de réponse standard, de 10 à 100kHz

Lésions de l'œsophage ? Lésions cardiaques (stents)

Résistivité $R = \frac{\rho l}{S}$, ρ = *resistivité*, R = résistance



Rappel des notions fondamentales mais patient dépendant ????

Avec des implants notamment...

Conclusion & Take home message

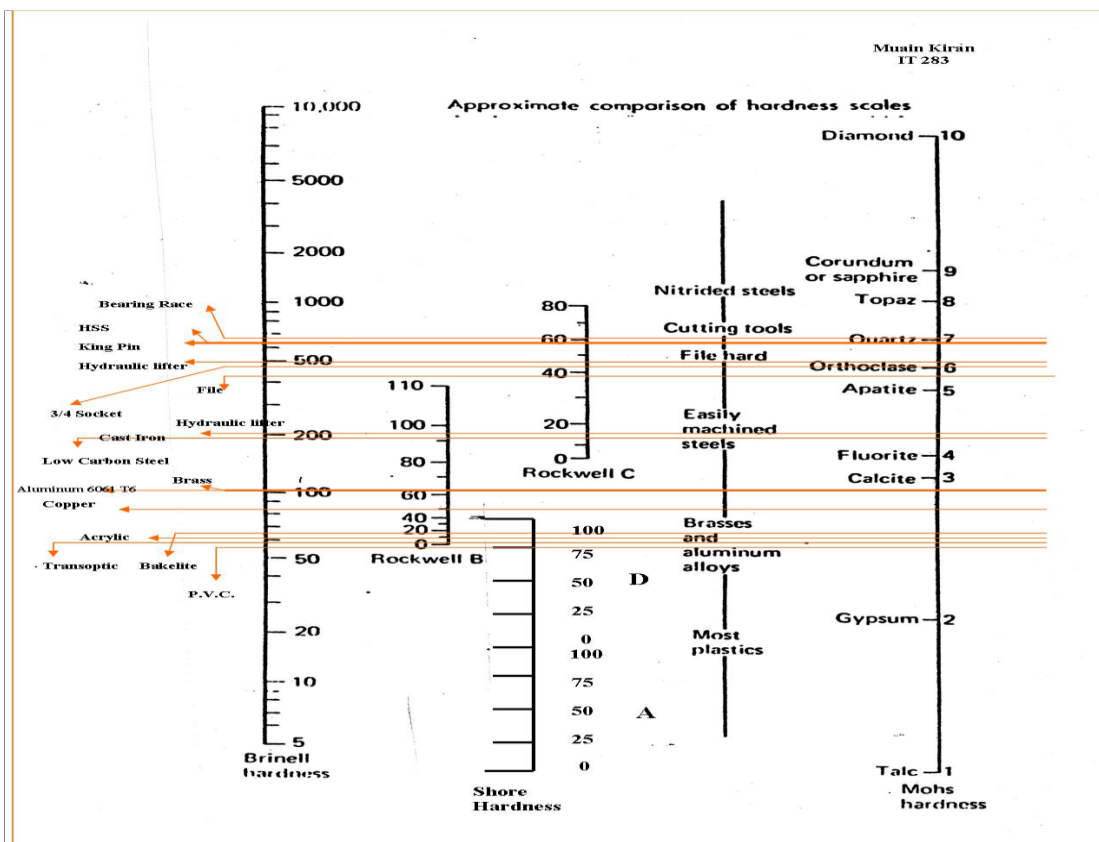
- ♦ Corrosion, Alliages métalliques, Biocompatibilité ☒
- ♦ Matériaux ☒ , un peu 
- ♦ Métallurgie-Mise en forme-Milieu-Sollicitations mécaniques-Usage
→ Prise en compte de tous ces facteurs pour avoir une bonne idée de la résistance à la corrosion.

Demandez autour de vous, si pas sûr...

Alliages métalliques dans l'orthopédie



Table de conversion Différentes échelles de dureté



<https://www.steelexpress.co.uk/steel-hardness-conversion.html>

This table shows approximate hardness of steel using Brinell, Rockwell B and C and Vickers scales. These conversion charts are provided for guidance only as each scales uses different methods of measuring hardness. The right hand column show an approximate equivalent tensile strength.

Brinell Hardness HB	Rockwell C - HRC	Rockwell B - HRB	Vickers - HV	
552	55	0	649	Calculate

Enter a figure into any of the fields and click calculate, the nearest values in each scale is shown, or zero if out of range. Values are approximate and for guidance only.

<https://www.steelexpress.co.uk/steel-hardness-conversion.html>

Demander par vous-même les vraies informations...

<https://www.elsevier-masson.fr/la-double-mobilite-en-ma-dans-les-protheses-totales-de-hanche-9782294760655>



Conclusion

- ◆ Merci à Europharmat
- ◆ Merci à Dominique Thiveaud et al.,
Pili-Pili, M^{me} la Présidente d'Euro-
pharmat
- Fabien, Nicolas, Gaël, Johann et al.

◆ geringer@emse.fr
si vous avez des questions...

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/frottement-et-usure-42464210/tribocorrosion-cor60/>