



De la Matière au Matériau

Christian Mathieu

christian.mathieu@univ-artois.fr



Plan

Définition des matériaux - typologie

Les classes/familles de matériaux

Etat ordonné - état désordonné

Les défauts

L'homme et les matériaux au cours de l'histoire

La microstructure

Les techniques analytiques

Prospectives des matériaux



Définition

Matériaux = matière pour un matériel (1)

Classification par rapport à la matière :

Nature des liaisons entre les atomes

Classification par rapport au matériel :

Matériaux de structure (fort tonnage (acier, béton)).

- Performance mécanique
- Résistance au milieu agressif

Matériaux fonctionnels

- propriétés optiques, thermiques, magnétiques, électriques

(1) Louissette Priester Matériaux (2008) CNRS édition



Classification par rapport à la matière :

Liaisons entre les atomes

Liaisons fortes

- Liaisons covalentes
 - Liaisons ioniques
 - Liaisons métalliques
- Céramique
- Métaux

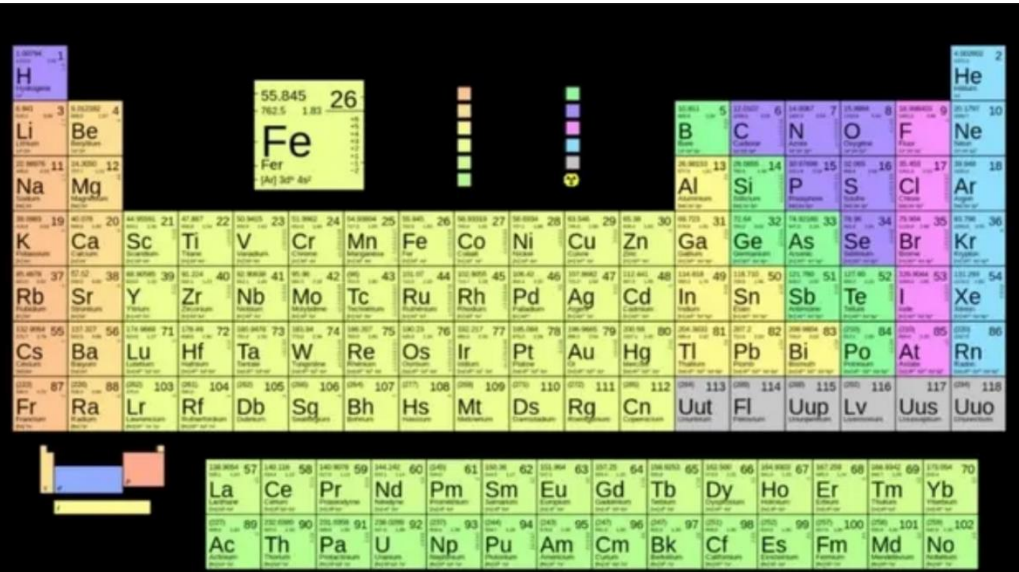
Liaisons faibles

Liaison Van der Waals

→ Polymère

Liaison Hydrogène

(eau)



A periodic table of elements. The element Iron (Fe) is highlighted in the center, with its atomic number 26 and atomic weight 55.845. The table is color-coded by groups: alkali metals (orange), alkaline earth metals (yellow), transition metals (green), post-transition metals (blue), metalloids (purple), nonmetals (pink), and noble gases (light blue). The lanthanide and actinide series are shown at the bottom.

Présentation le 6 mars 1869 par Mendeleïev
devant la société russe de chimie

Gallium (1875)
Germanium (1886)

92 éléments stables



Les familles de matériaux

Métaux
Alliages
métalliques

Matériaux
Composites

Céramiques
Verres

Polymères
Naturels
Polymères
Artificiels

Matériaux composites association de deux matériaux non miscibles
(renfort +matrice)



Ordre et désordre des matériaux

Métal
Polymère
Céramique



Distinction entre Matériaux cristallins et Matériaux amorphes



Métaux



Verres

Coexistence des deux états

- désordre locaux dans l'ordre
- régions ordonnées dans le désordre

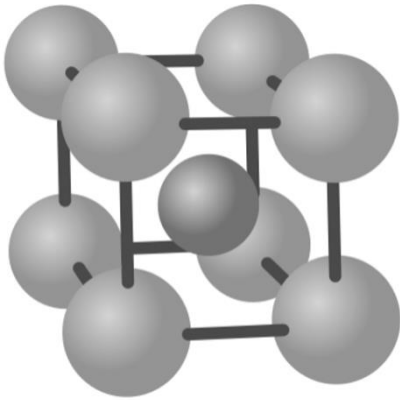


L'état ordonné

Ordre à grande distance

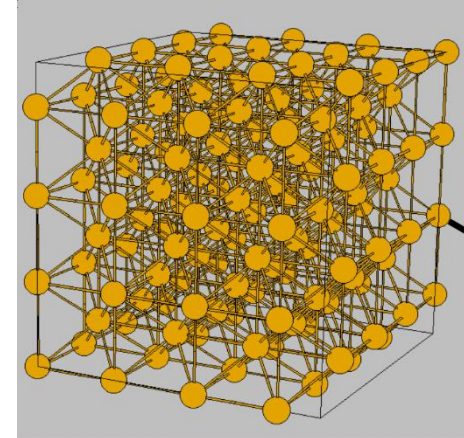


Etat cristallin



Ferrite (Fe_α)

Répétition strictement
périodique dans les 3
directions de l'espace



Monocrystal de Fer

Ordre Parfait. Oui mais à 0 K

Désordres locaux dans l'ordre liés à l'histoire thermomécanique du matériau
(chauffage, refroidissement, déformation lors de son élaboration)



Défauts

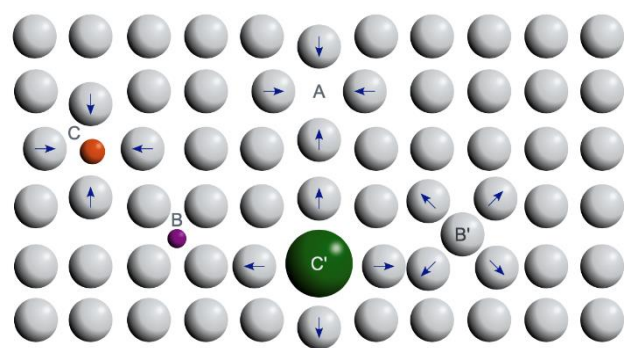


L'état ordonné

La typologie des défauts

En fonction de leur ordre dimensionnel

Défaut 0D



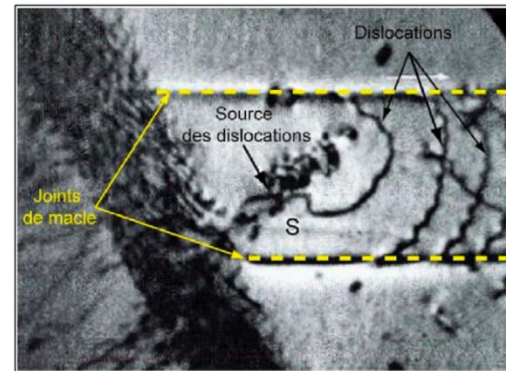
Lacune

Atome en insertion

Atome en substitution

Défaut 1D

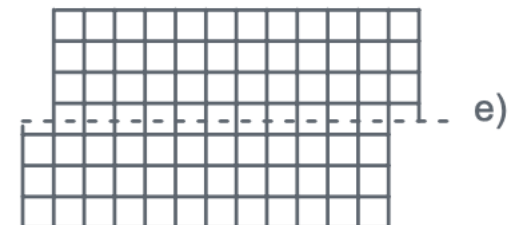
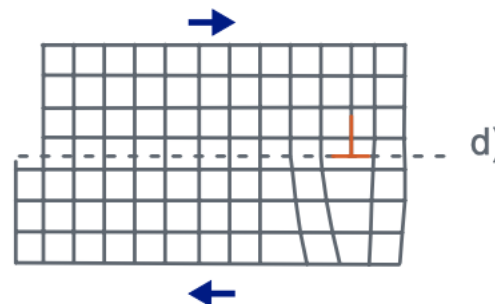
Dislocation



TiAl

Figure.IV.10. Micrographie MET d'un empilement de dislocations au voisinage d'un joint de macles dans la phase γ . S indique la source des dislocations [Zghal, 1999].

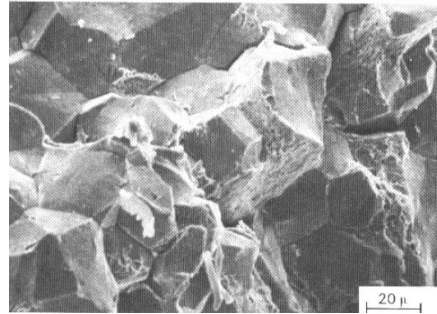
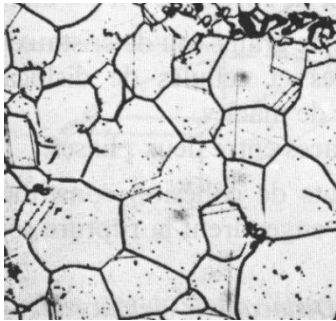
These Hana Kriaa –Université de Lorraine – (2018)





Défaut 2D

Joint de grain

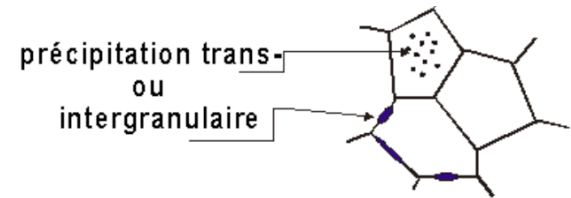
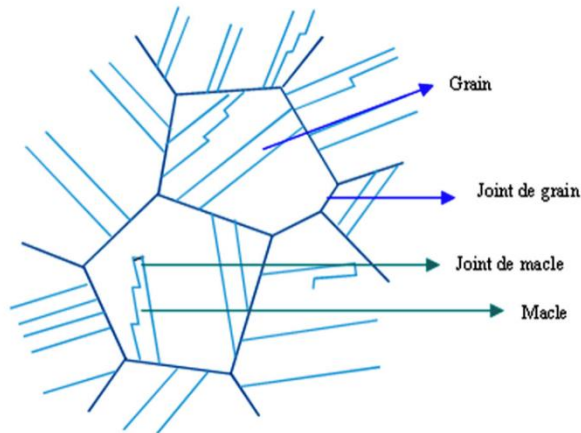
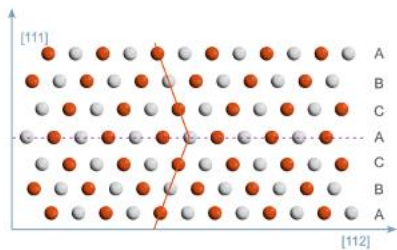


Défaut 3D

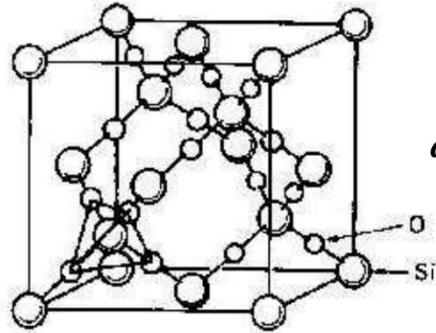
Inclusion (oxyde, sulfure)

Précipité (carbure, nitrure, composé défini)

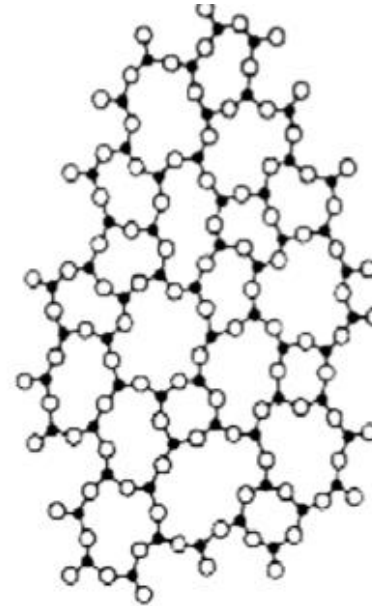
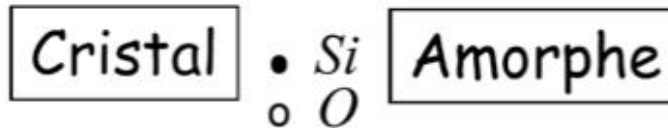
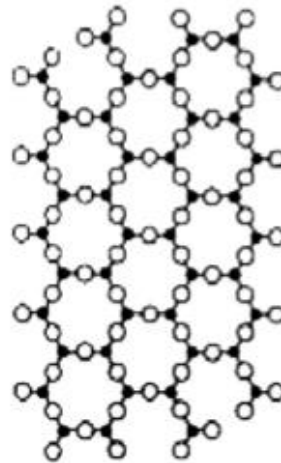
Défaut d'empilement et macle



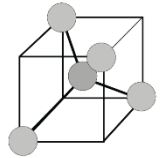
Effet néfaste ou bénéfique



Réseau
Régulier



Solide amorphe



Empilement
anarchique

Vitrification



L'état désordonné

Ordre à courte distance

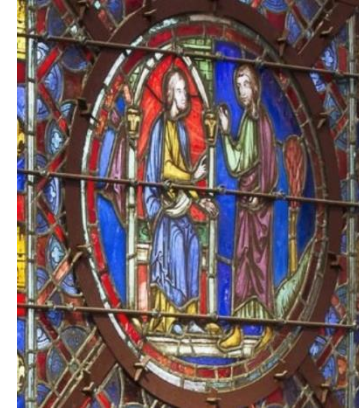
Solide amorphe

Système désordonné hors équilibre qui évolue en vieillissement



Lame en obsidienne
Néolithique

Evolution lente



Sainte Chapelle

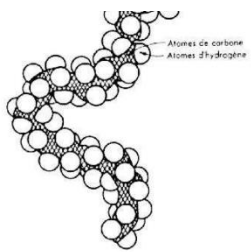
Régions ordonnées dans le désordre



Etat d'ordre intermédiaire



Les polymères



Molécule de polyéthylène

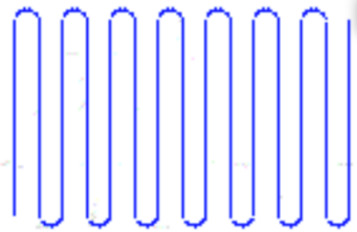
Macromolécule
longue chaîne

Configurations possibles

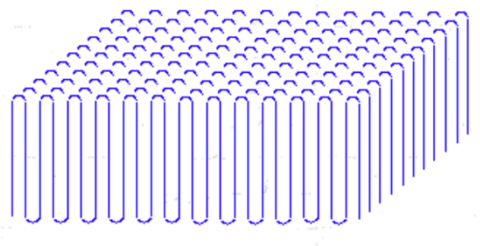


Plat de spaghetti

Polymère
Amorphe



Repli des
chaines



Empilement

Lamelle

cristallinité

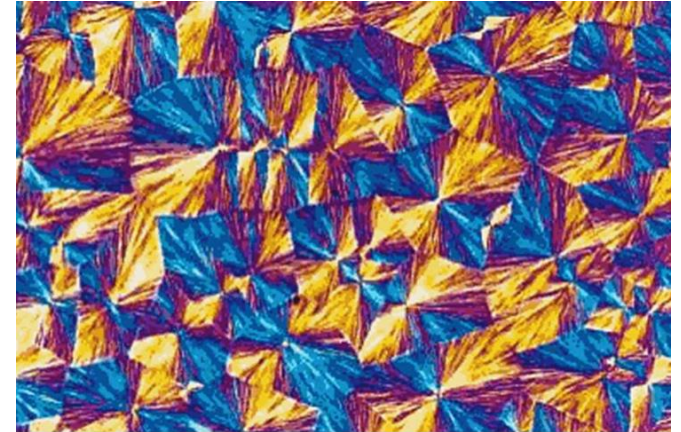
Polymère cristallisé



Polymère Semi cristallin



1-2-3-4 : zone cristallisées



Microscopie Optique d'un polymère semi-cristallin, les contrastes de couleur proviennent de la polarisation de la lumière par le réseau cristallin local formé par les molécules

Sylvie Pommier Saphire Mécanique des Matériaux

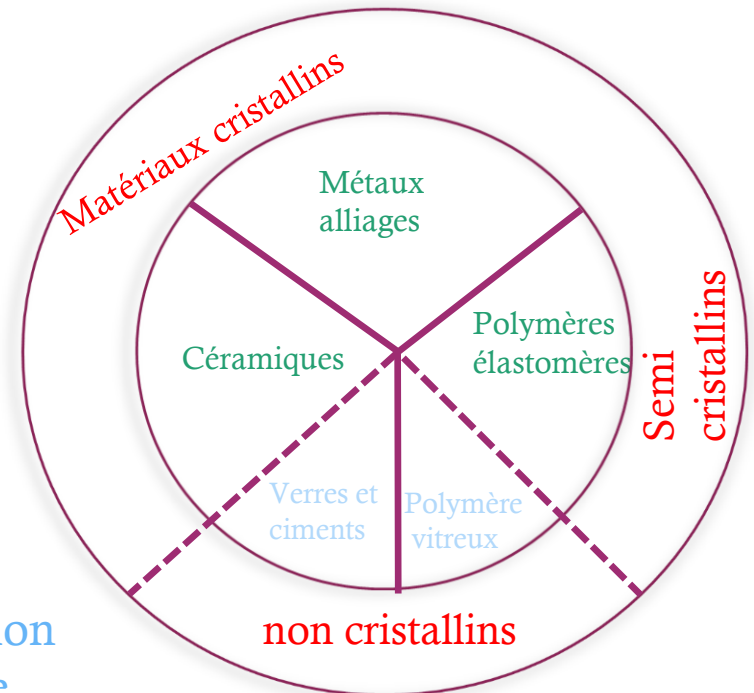
En fonction de la nature de la liaison chimique

Métaux
Alliages
métalliques

Céramiques
Verres

Polymères
Naturels
Polymères
Artificiels

Les familles de matériaux



En fonction de la notion d'ordre de la structure

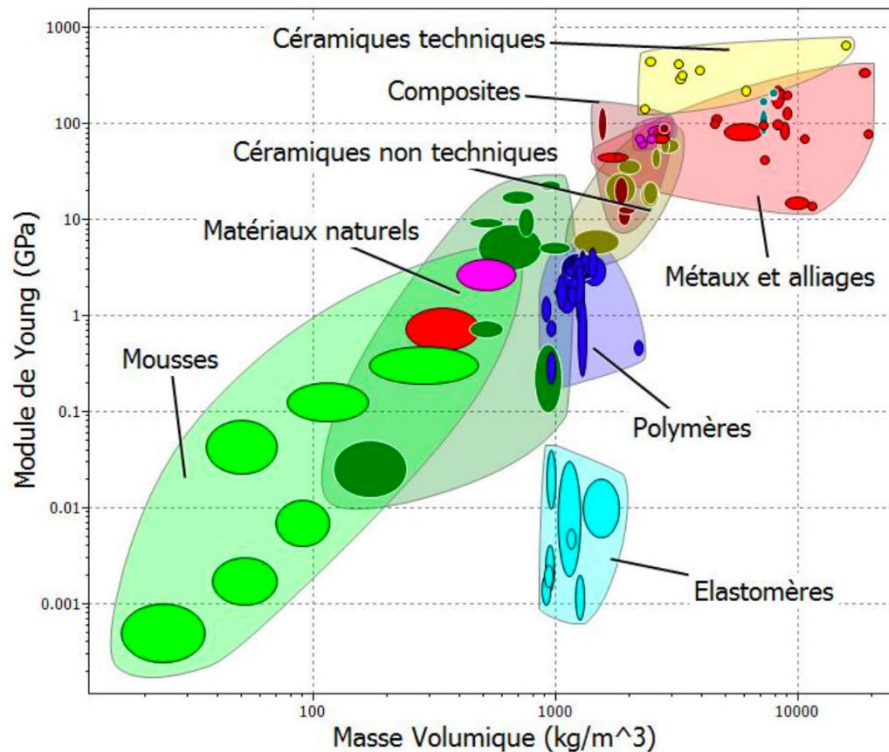
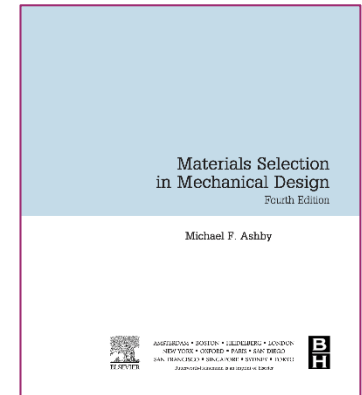


Une autre approche

Matériaux = matière pour un matériel

Famille/classe de matériaux – propriétés

Sélection des matériaux pour une application



Matériaux pour l'ingénieur
MF Ashby



Diagramme d'Ashby

$$E = f(\rho)$$

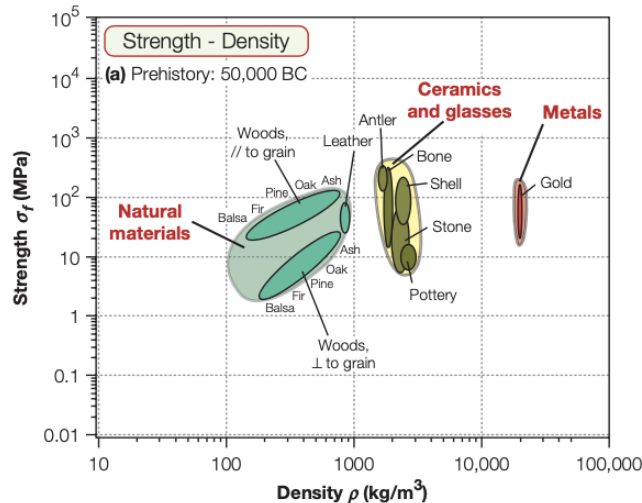


L'homme et les matériaux au cours de l'histoire

Période archéologique.
Matériau de fabrication des outils

Matériaux de rencontre

$$\sigma_f = f(\rho)$$



Céramique

Source L Priester

Polymères
Naturels

Le bois, la pierre, l'os sont façonnés en outils



Silex (paléolithique)

Les fibres végétales sont tissées



Poncho (Paracas 600 av. J.C.)

Période archéologique	Datation (années av JC)	Quelques évènements importants (relation homme/Matériaux)
Paléolithique (Age de la pierre taillée)	2 millions	Plus ancien outils connus (Afrique)
	450000	Homo erectus allume le feu
Mésolithique (Age de la Pierre Moyenne)	10000	Invention de l'arc et de la flèche en Europe
		Invention de la poterie au Japon
Néolithique (age de la Pierre polie)	9000 6000	Apparition du métier à tisser Le cuivre : monnaie d'échange dans la région méditerranéenne



Métaux

(- 10.000 av. J. C.)

Le métal est récalcitrant

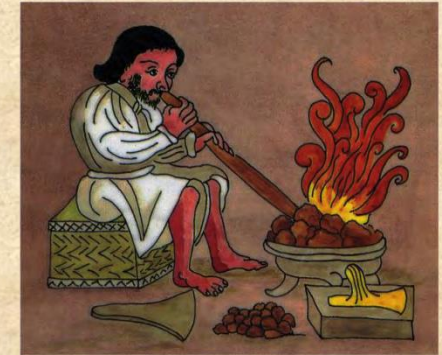
* Peu de métaux existent à l'état natif

* Extraction à partir de minerais
(3^{ème} millénaire)

* Progrès considérable avec la maîtrise du feu

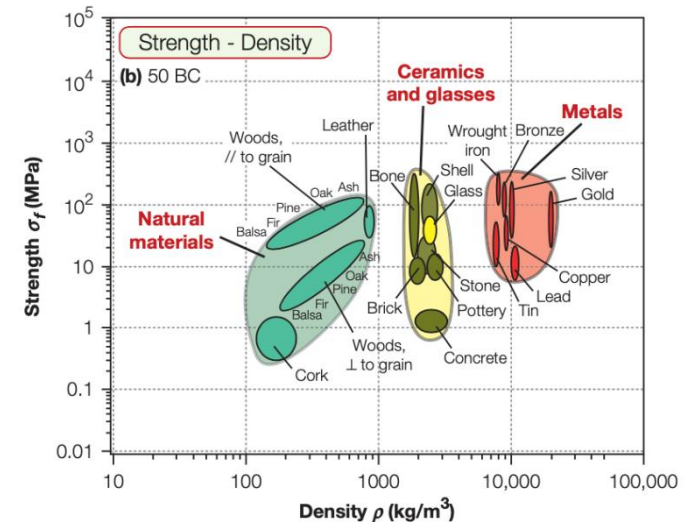
- Fusion des minerais ($T > 1000^{\circ}\text{C}$)

(≈ 4000 av. J.C. en Iran)



Le fondeur de hache en cuivre

Période archéologique	Datation (années av JC)	Quelques évènements importants (relation homme/Matériaux)
Age du cuivre	5000 32000	Invention de la roue à Sumer Les premiers bateaux marchands sillonnent la Méditerranée
Age Du Bronze	3200 1400	Premiers documents écrits avec pictogramme (Sumer) Premiers outils en Bronze (Proche Orient) Invention de la Charrue (Proche Orient) Construction des Pyramides Empire Hittite (Anatolie Centrale)
Age du Fer	1400	Apparition du Fer au proche orient puis usage en Europe Invention de la brouette à Roue (Chine)



Extrait d'un texte sumérien 2000 av. J.C. :

Quand survient l'hiver, tu ne fournis pas à l'homme la hache en cuivre pour couper le bois.

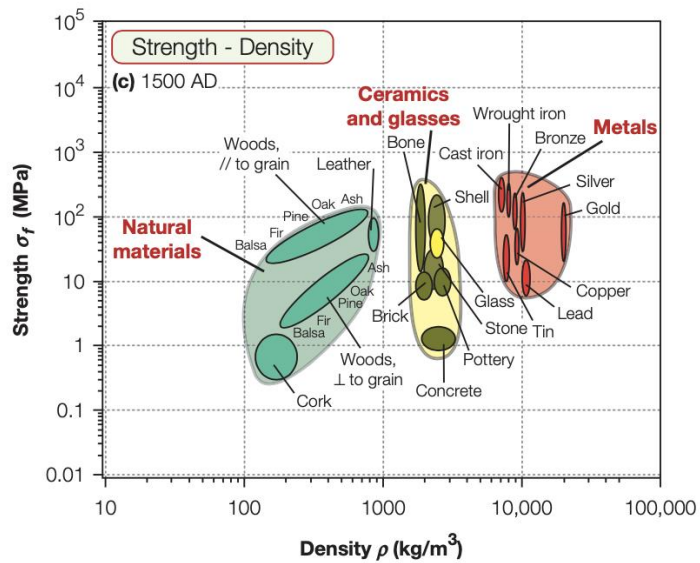
Quand survient l'époque des moissons, tu ne fournis pas à l'homme la faucille en cuivre pour récolter les céréales.

Argent, s'il n'y avait pas de palais, tu n'aurais aucun domicile fixe...

Tel un dieu, tu ne contribues à aucun travail utile.

Comment oses-tu donc t'affronter à moi ?

(1) Louissette Priester Matériaux (2008) CNRS édition



Moyen-Age

Peu d'évolution en nombre de matériaux

Maitrise des matériaux de structure

En Bois

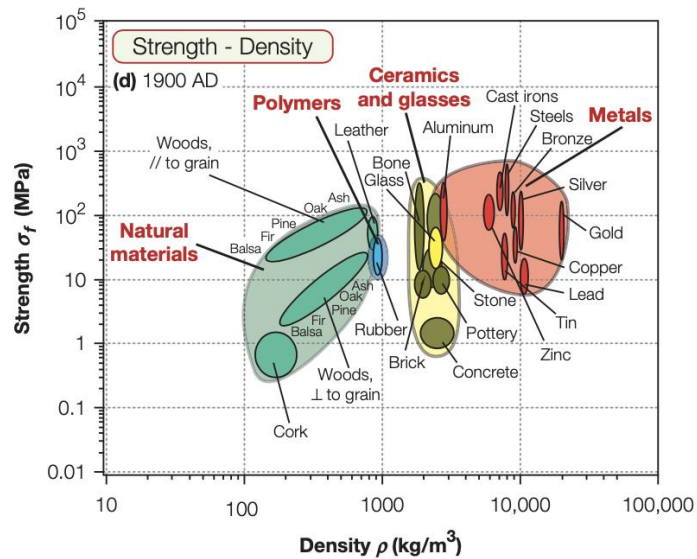


Notre Dame de Paris

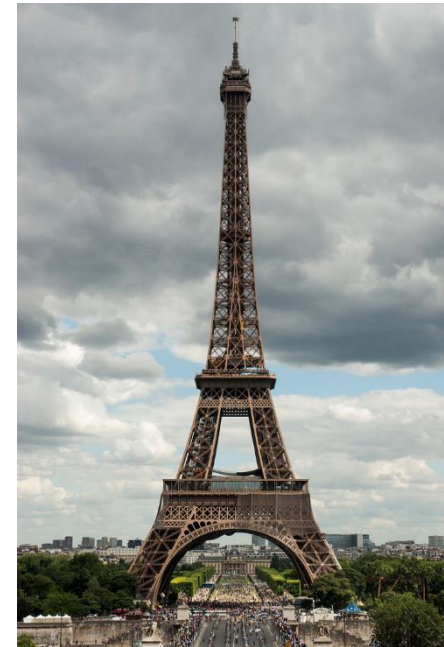


STAVKIRKE DE BORGUNG
Norvège

19^{eme} Siècle Révolution Industrielle Siècle des Métaux Ferreux



Viaduc de Garabit
(1880)



Tour Eiffel
(1887)



Emergence des matériaux fonctionnels

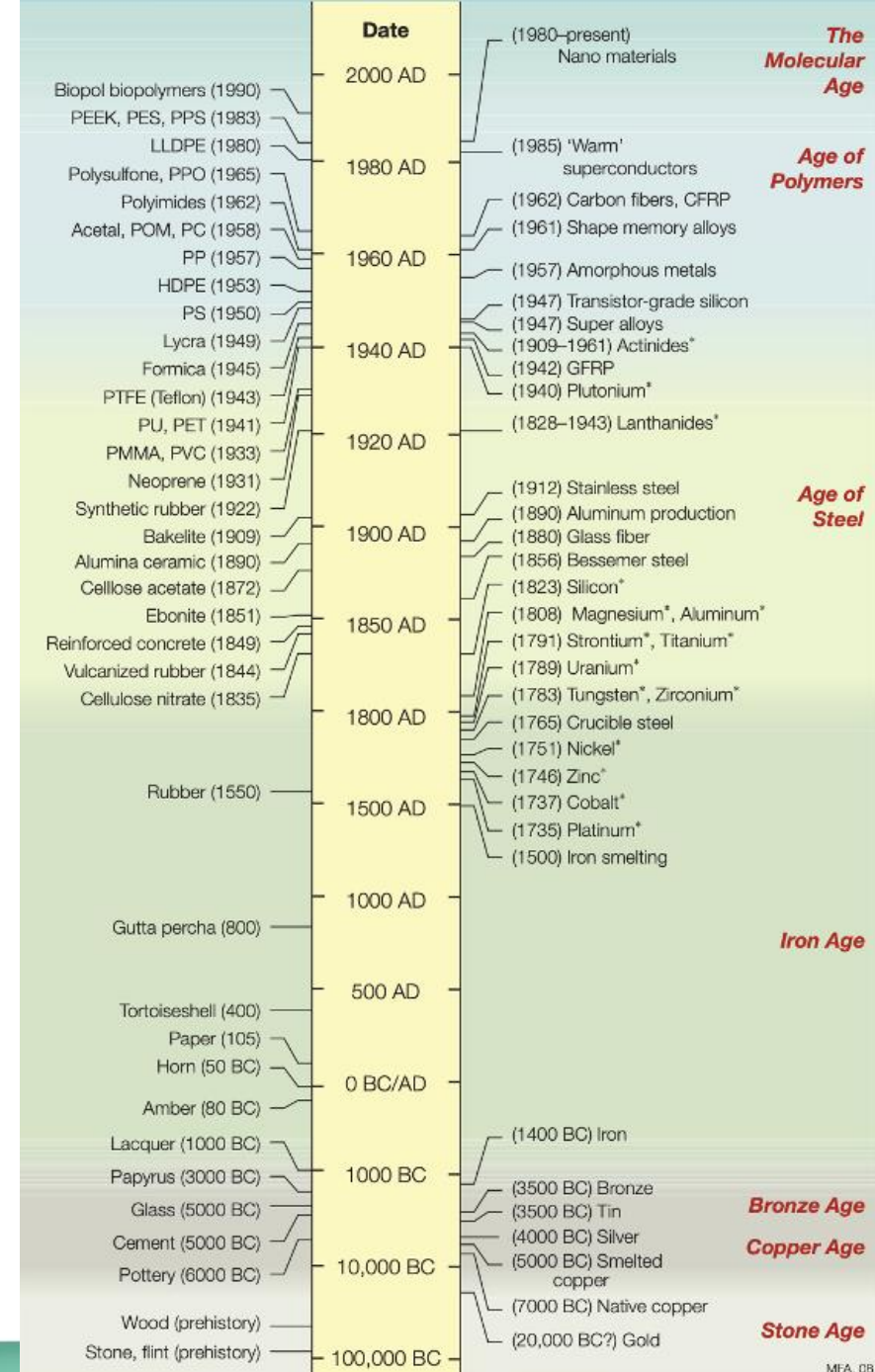
(faible quantité mais à forte valeur ajoutée))

Yves Brechet du matériau de rencontre au matériau sur mesure
(leçon inaugurale collège de France 2013)

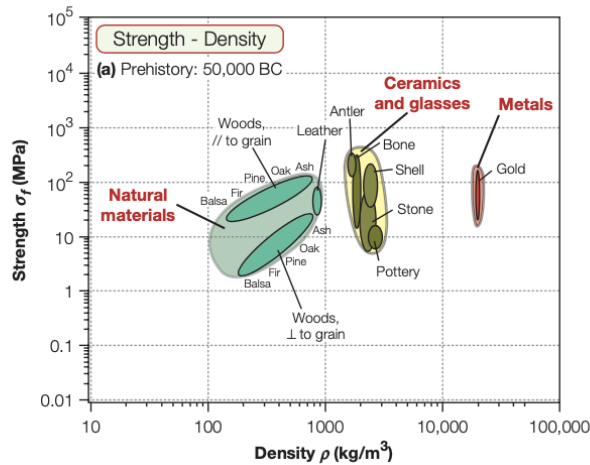
Propriétés, formes, géométries



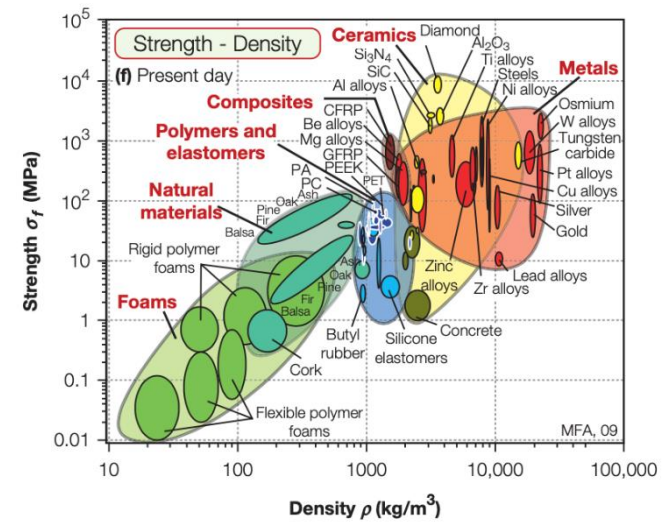
Les nanomatériaux



Préhistoire



Aujourd'hui

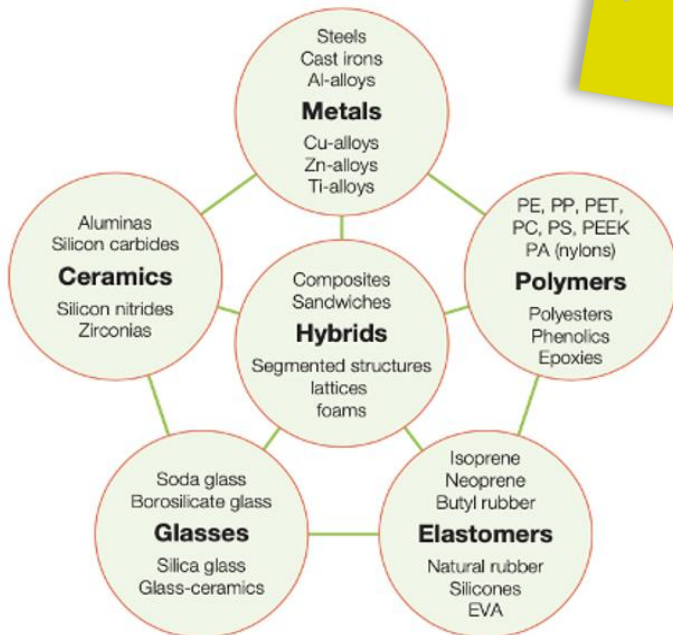


Remplissage de l'espace des matériaux

Yves Brechet (2013)

Nombre de matériaux disponibles pour l'ingénieur

100000





Les principales propriétés des matériaux

Propriétés mécaniques :

- Modules d'élasticité (Young E , Coulomb G , compression K) [GPa]
- Coefficient de Poisson $\nu = -\epsilon_t / \epsilon$ [sans dim.]
- Limite élastique R_e (traction/compression) [MPa]
- Résistance à la traction R_m [MPa]
- Dureté H [sans dim.]
- Déformation après rupture ϵ_R [sans dim.]
- Ténacité K_{Ic} [MPa m^{1/2}]
- Limite d'endurance σ_D [MPa]

Propriétés physiques :

- Propriétés thermiques : conductivité thermique λ [W m⁻¹ K⁻¹]
capacité calorifique mass. (=chaleur spécifique) C_p [J K⁻¹ g⁻¹]
température de fusion T_f [K]
coefficient de dilatation thermique α [K⁻¹]
- Propriétés électriques : conductivité électrique σ [Ω^{-1} m⁻¹]
permittivité diélectrique ϵ [F m⁻¹]
- Propriétés optiques : réflectivité R / transmittivité T [sans dim.]
densité optique [sans dim.]
couleur ...
- Propriétés magnétiques : perméabilité magnétique μ [H m⁻¹]

Autres propriétés intrinsèques :

- Masse volumique [kg m⁻³]

Propriétés extrinsèques :

- Prix
- Impact environnemental
- Disponibilité
- etc.

Propriétés chimiques = réactivité – corrosion :

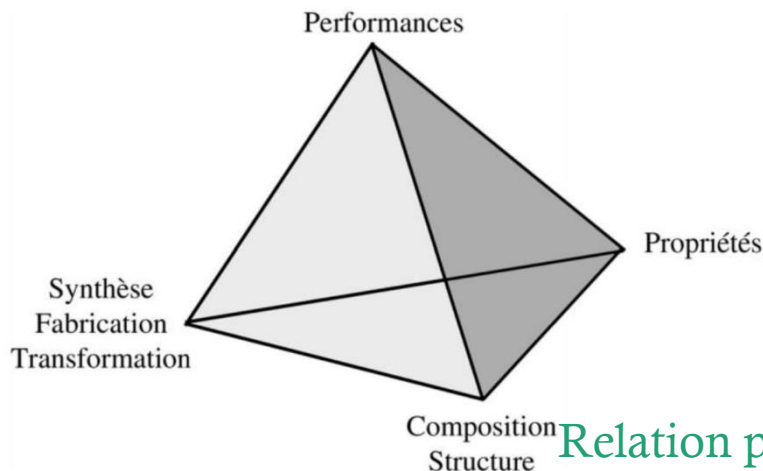
- Oxydation : réaction avec l'oxygène de l'air, de l'eau
seul 2 métaux inoxydables : or et platine
céramiques et polymères peu oxydables



Matériaux = matière pour un matériel

Table 3.1 Basic Design-Limiting Material Properties and Their Usual SI Units*

Class	Property	Symbol and Units
General	Density	ρ (kg/m ³ or Mg/m ³)
	Price	C_m (\$/kg)
Mechanical	Elastic moduli (Young's, shear, bulk)	E, G, K (GPa)
	Yield strength	σ_y (MPa)
	Tensile (ultimate) strength	σ_{ts} (MPa)
	Compressive strength	σ_c (MPa)
	Failure strength	σ_f (MPa)
	Hardness	H (Vickers)
	Elongation	ϵ (%)
	Fatigue endurance limit	σ_e (MPa)
	Fracture toughness	K_{Ic} (MPa.m ^{1/2})
	Toughness	G_{Ic} (kJ/m ²)
	Loss coefficient (damping capacity)	η (-)
	Wear rate (Archard) constant	K_A MPa ⁻¹
Thermal	Melting point	T_m (°C or K)
	Glass temperature	T_g (°C or K)
	Maximum service temperature	T_{max} (°C or K)
	Minimum service temperature	T_{min} (°C or K)
	Thermal conductivity	λ (W/m.K)
	Specific heat	C_p (J/kg.K)
	Thermal expansion coefficient	α (K ⁻¹)
	Thermal shock resistance	ΔT_s (°C or K)
	Electrical resistivity	ρ_e (Ω .m or $\mu\Omega$.cm)
	Dielectric constant	ϵ_r (-)
Electrical	Breakdown potential	V_b (10 ⁶ V/m)
	Power factor	P (-)
	Refractive index	n (-)
Optical	Embodied energy	H_m (MJ/kg)
	Carbon footprint	CO_2 (kg/kg)

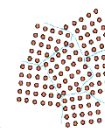


Relation propriétés-structure
A quelle échelle ?

■ Métaux :



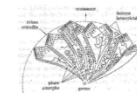
- solides atomiques à liaison métallique
- cristallins
- denses, conducteurs, opaques, résistants, ductiles, ...



■ Polymères :



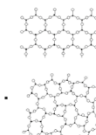
- chaînes d'atomes liées par des liaisons faibles
- amorphes ou semi-cristallins
- légers, isolants, peu résistants, faible Tf, ...



■ Céramiques :



- solides moléculaires à liaison covalente et/ou ionique
- amorphes ou cristallins
- plutôt légers, isolants, résistants, réfractaires, fragiles ...



■ Composites : association de matériaux



La caractérisation d'une propriété se fait à une échelle donnée

La masse volumique dépend :

A l'échelle du mètre

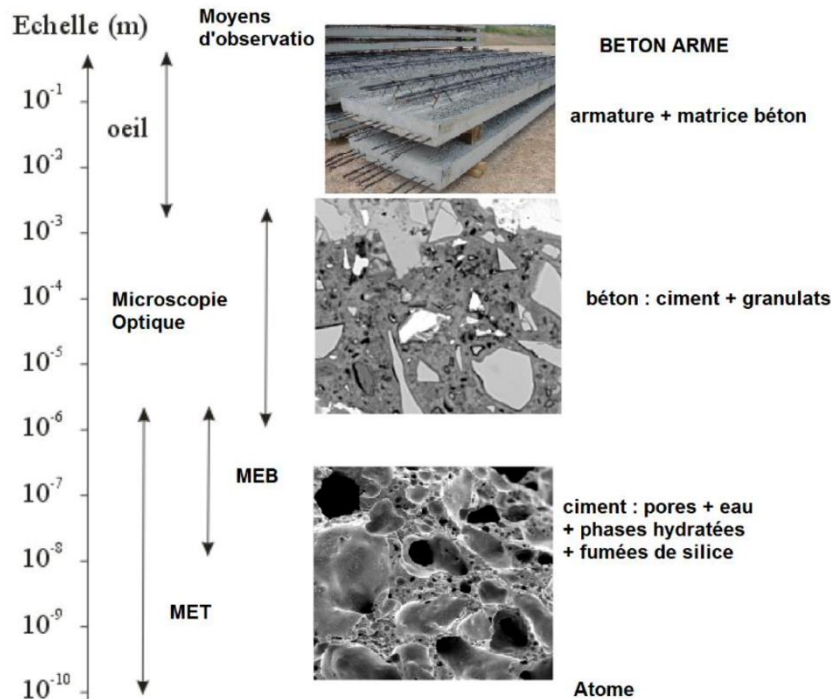
$$\rho_{\text{béton armé}} = F_{v\text{béton}} * \rho_{\text{béton}} + F_{v\text{acier}} * \rho_{\text{acier}}$$

A l'échelle du centimètre

$$\rho_{\text{béton}} = F_{v\text{ciment}} * \rho_{\text{ciment}} + F_{v\text{granulat}} * \rho_{\text{granulat}}$$

A l'échelle du millimètre

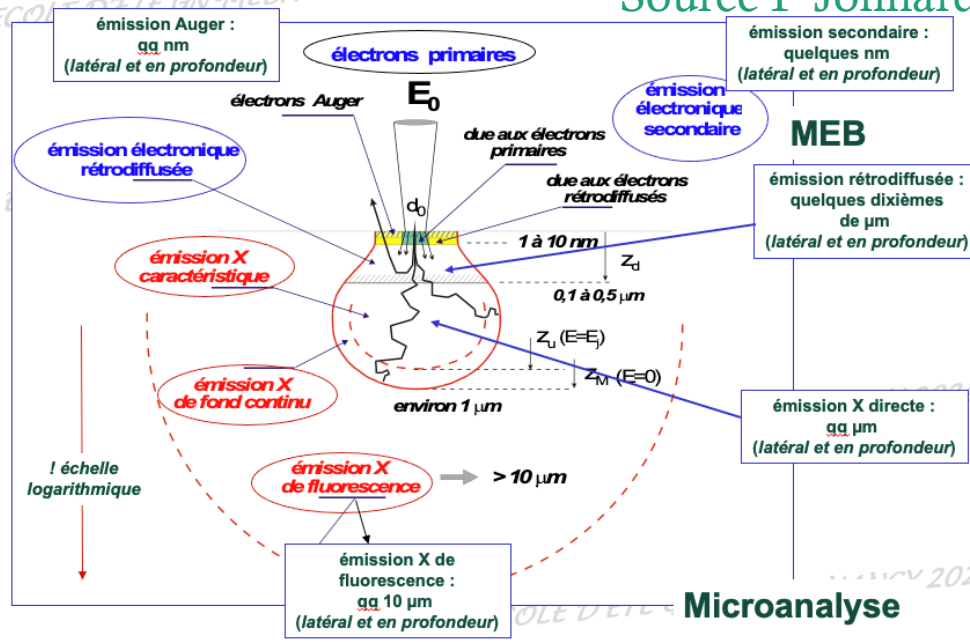
$$\rho_{\text{ciment}} = F_{vpore} * \rho_{pore} + F_{v\text{eau}} * \rho_{\text{eau}} + \dots$$



Volume représentatif

Chaque propriété est associée à une échelle caractéristique au-delà de laquelle elle peut être considérée comme une moyenne représentative du matériau.

Chaque échelle est associée à des moyens de mesure, d'analyse et d'observation adaptés.



Microanalyse

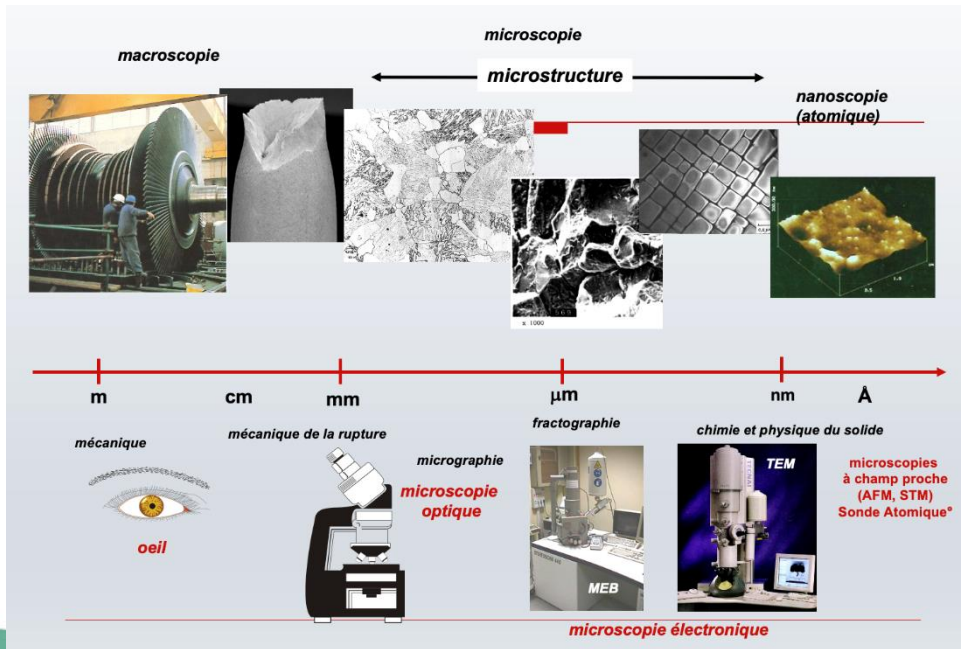
MEB +EDS, MEB+ WDS,
Microsonde de Castaing

Interactions électrons - matière

Informations venant d'un volume
de l'ordre du micromètre

Analyse chimique analyse localisée

Topographie du micromètre au nanomètre



Echelle de la microstructure



La microstructure d'un matériau est formée par l'ensemble des grains, des particules ou des défauts observables par microscopie (optique et électronique).

Atome - liaison - ordre - défaut – **grain**

Métallurgie taille des grains importante pour comprendre le comportement mécanique des métaux

Les paramètres de la microstructure



Topographie (morphologie, dimension)



Composition chimique (mode ponctuel, cartographie spatiale de la répartition chimique des éléments)



Orientation cristalline, texture

MICROSTRUCTURE



Composition chimique

Topographie

Orientation cristalline



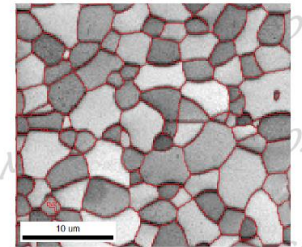
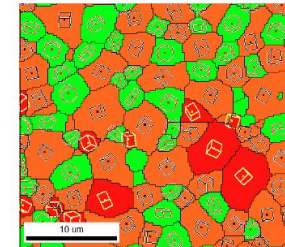
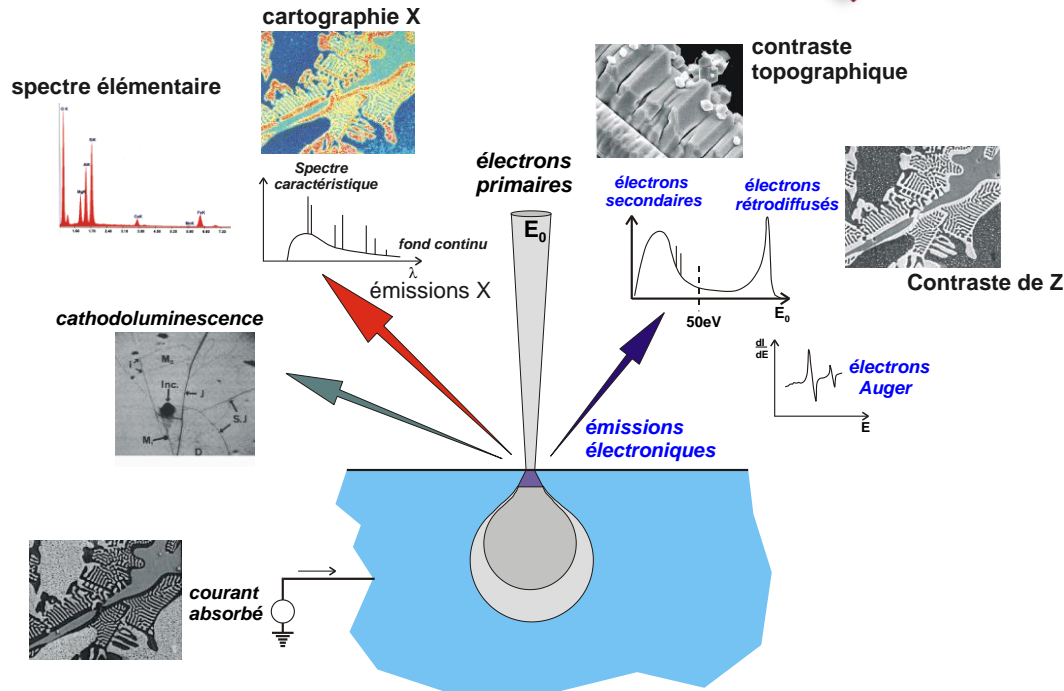
EDS, WDS, Microsonde de Castaing



MEB



EBSD



Source F Brisset

Source J.Ruste



Topographie

Composition

Texture/Orientation Cristalline EBSD

MEB FEG, Environnemental, Pression Variable

EDS, WDS, Microsonde de Castaing, Micro-fluoX

Les contraintes

Isolant / conducteur

Sensible au dégazage

Dégradation sous le faisceau

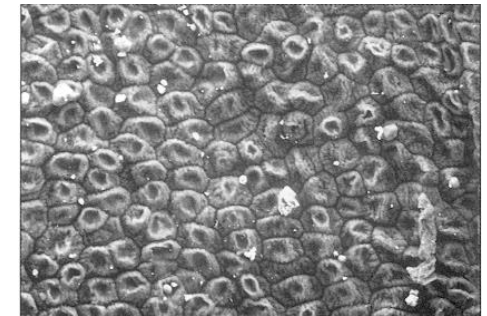
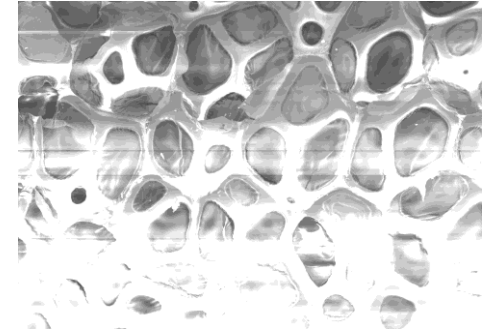


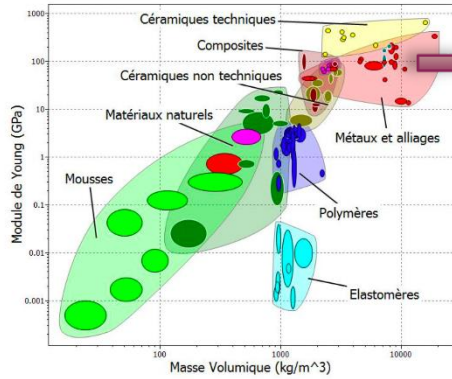
Nature du
matériau

Contrainte liée à l'analyse et l'observation : planéité



La préparation des échantillons

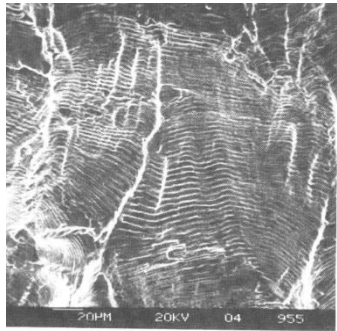




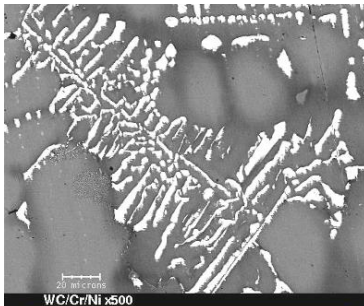
Conducteur
Insensible au dégazage
Pas de dégradation sous le faisceau
Polycristallin

Métaux et Alliages

Échantillon Massif



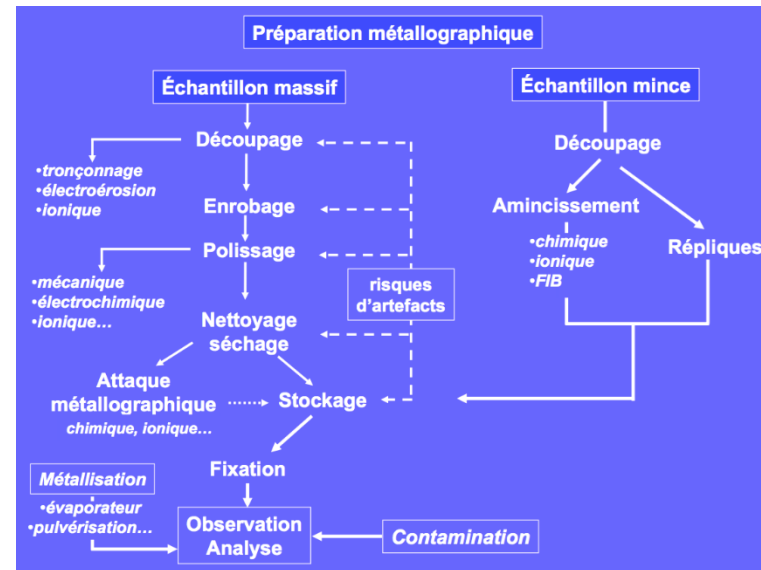
Préparation classique



carbures de W dans une matrice Cr-Ni

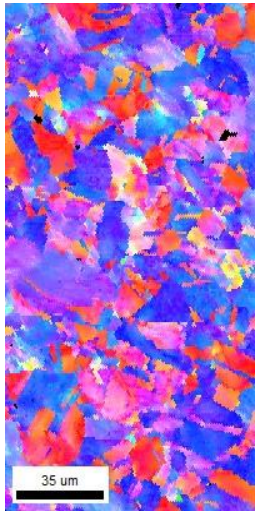
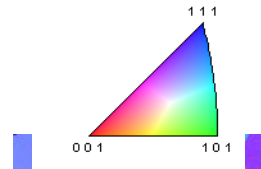
Préparation métallographique

MEB
EDS
EBSD



Evolution avec le temps
Oxydation

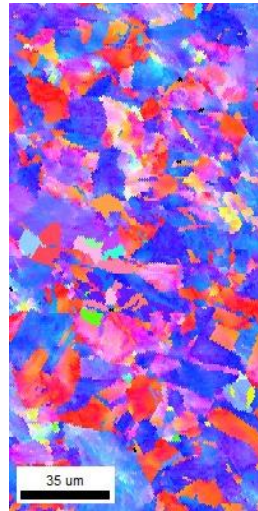
Séquence in-situ



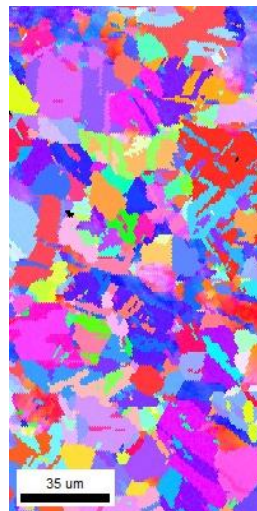
Initial state



150°C



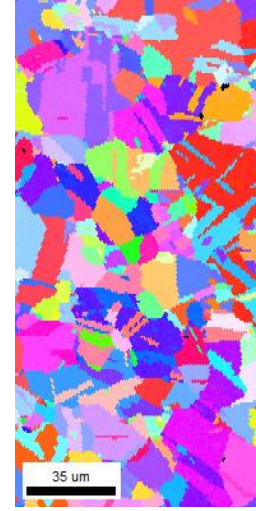
200°C



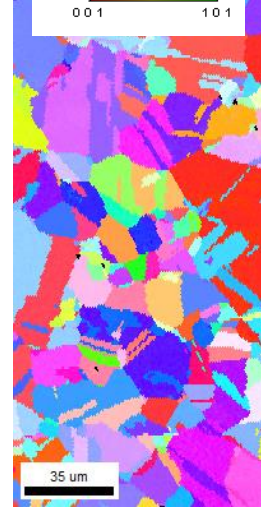
230°C – 2min.



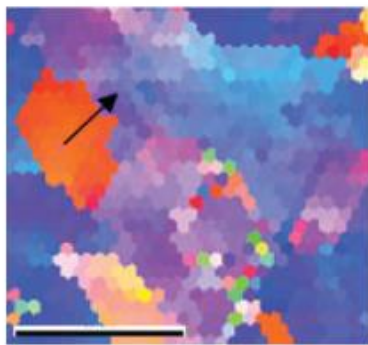
230°C – 7min.



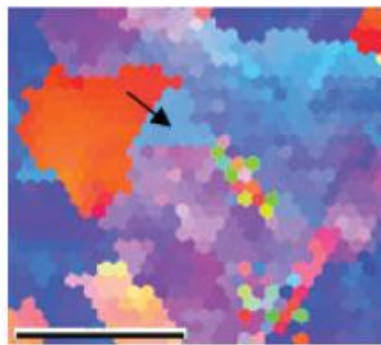
400°C



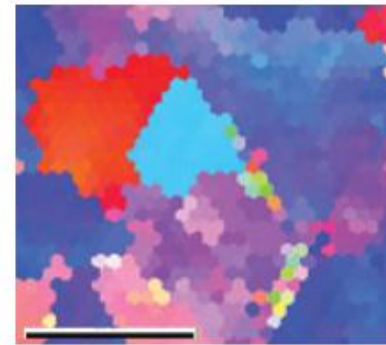
500°C



(a)



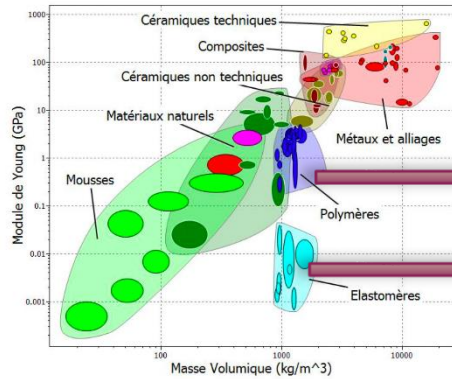
(b)



(c)

Déterminer les mécanismes de croissance des grains → croissance de grains par maclage

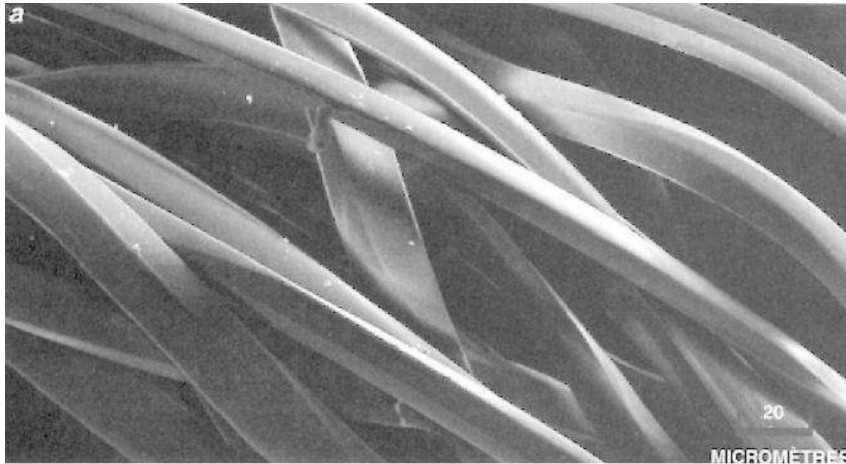
2013 - F. Brisset, A.L. Helbert, T. Baudin, *In Situ Electron Backscatter Diffraction Investigation of Recrystallization in a Copper Wire*, Microsc. and Microanal., doi:10.1017/S1431927613000299



Isolant
Insensible au
dégazage
Dégradation
sous le
faisceau

Polymère élastomère

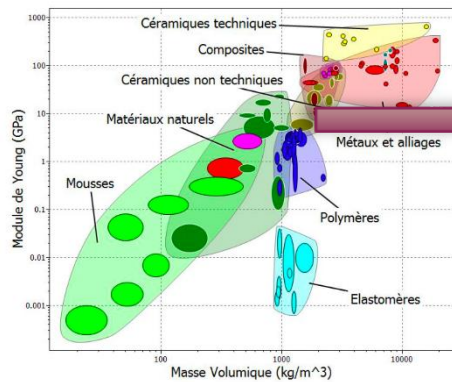
Métallisation
Observation basse
tension
Observation en mode
pression variable



Fibre polyester

Source J. ruste

MEB FEG,
MEB environnemental, MEB PC
EDS



Verre, ciment

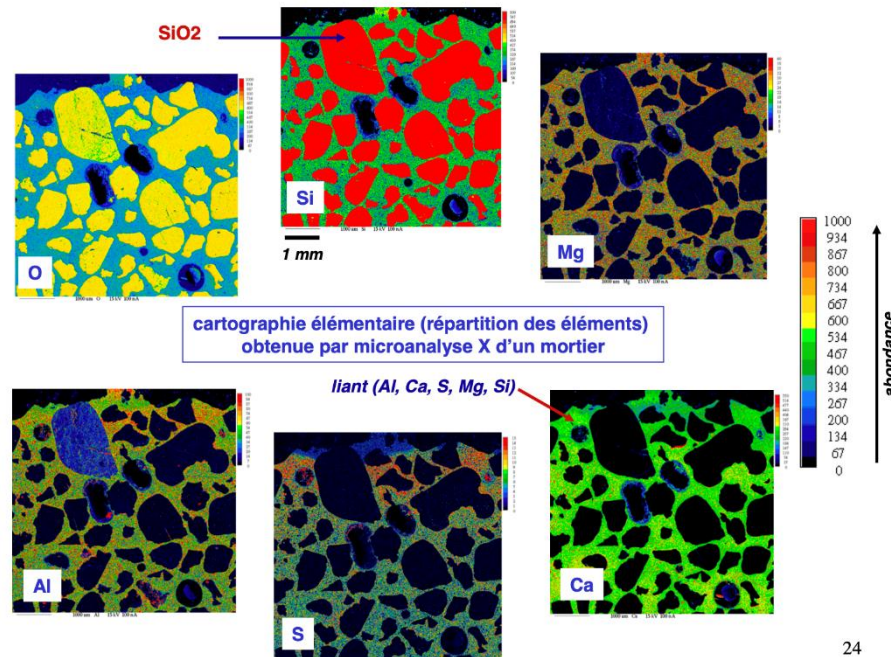
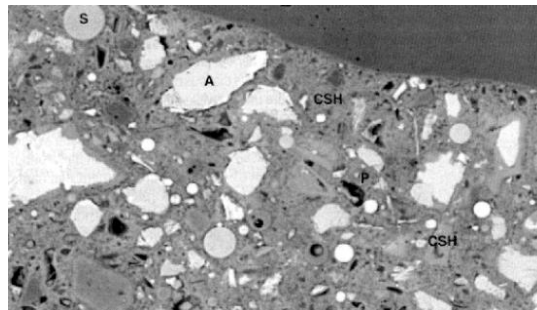
Céramiques

Céramique
grande diffusion

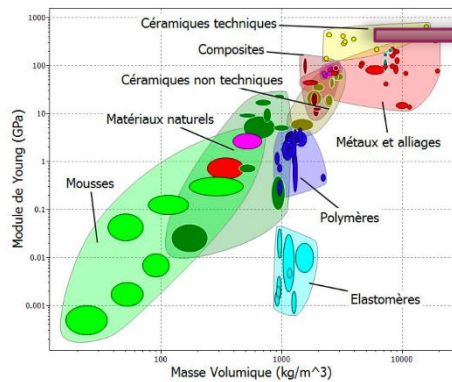
Isolant
Amorphe
Pas de
dégradation
sous le
faisceau
Insensible
au dégazage

Métallisation
Observation basse
tension
Observation en mode
pression variable

EDS, Microsonde
de Castaing



Source J Ruste



Céramique technique
Réfractaire, abrasif....

Céramiques

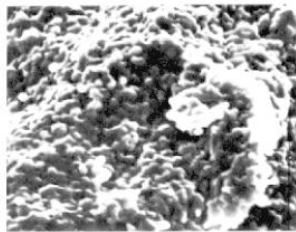
Conducteur
Isolant
Insensible au
dégazage

Métallisation
Observation basse
tension
Observation en mode
pression variable
EDS, Microsonde
de Castaing

Elaboration à partir de poudre - Frittage

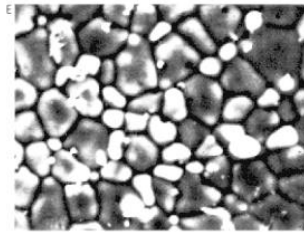
Grain

frittage d'un oxyde de cérium (CeO_2)



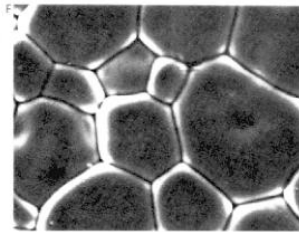
1 μm

*poudre agglomérée,
grains très fins*



1 μm

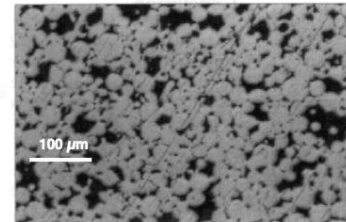
bonne densification



2,5 μm

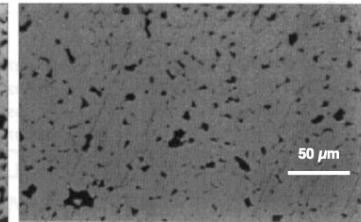
*densification terminée
gros grains*

100 MPa
890°C
0,5 mn



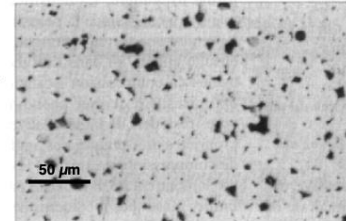
D = 0,87,

100 MPa
890°C
15 mn



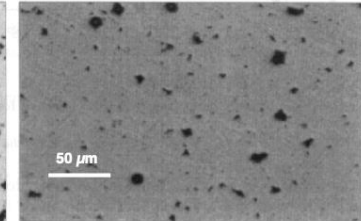
D = 0,92,

100 MPa
890°C
30 mn



D = 0,95,

100 MPa
890°C
120 mn



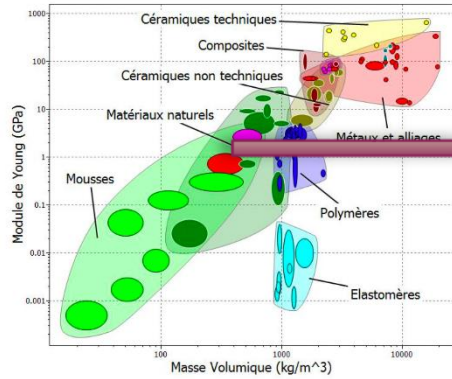
D = 0,97,

150 MPa - 990°C - 60mn → D=1

Densification

Source J Ruste

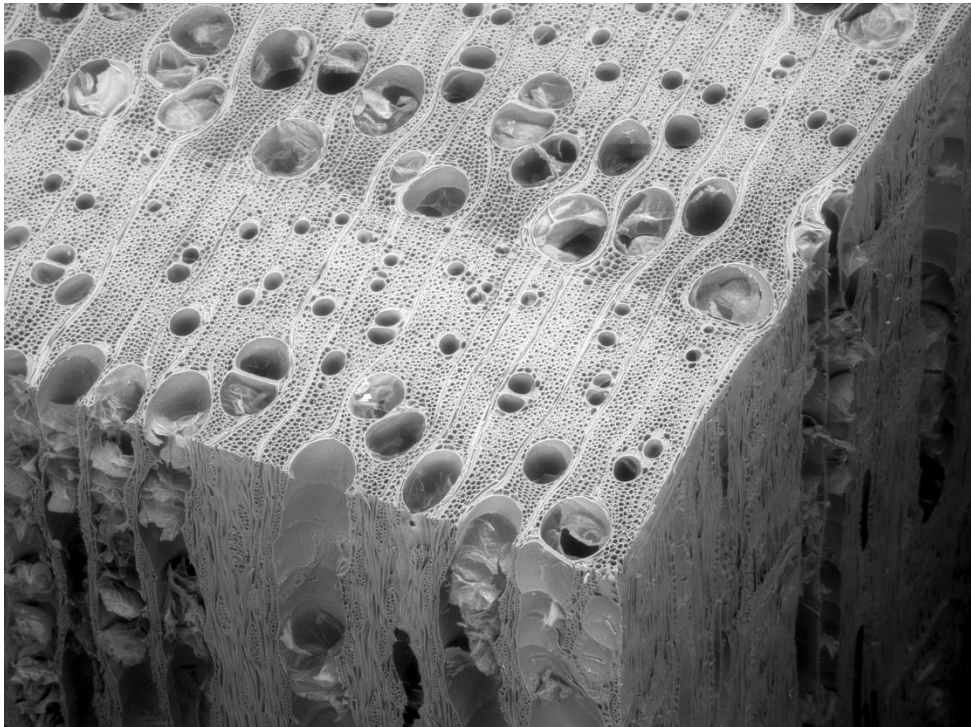
Porosité



Isolant
sensible au
dégazage
Dégradation
sous le
faisceau

Matériaux Naturels
(bois)

Préparation
Adaptée

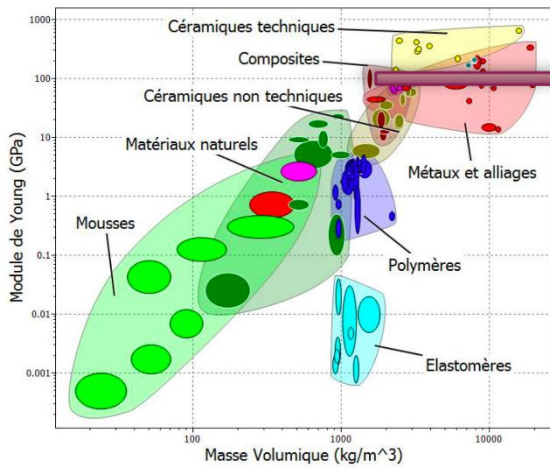


Frêne

Maryline Harroue Cindy Clement
Christophe Rose plateforme Silvatech

Métallisation
Observation basse
tension
Observation en mode
pression variable

EDS, Microsonde
de Castaing



Dépend de
la nature de
la matrice et
du renfort

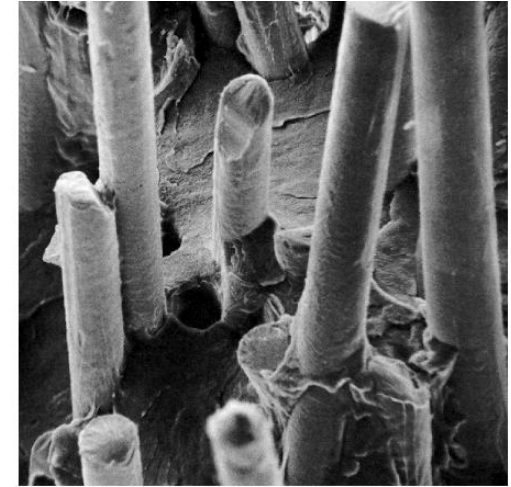
Matériaux composites

MEB
EDS

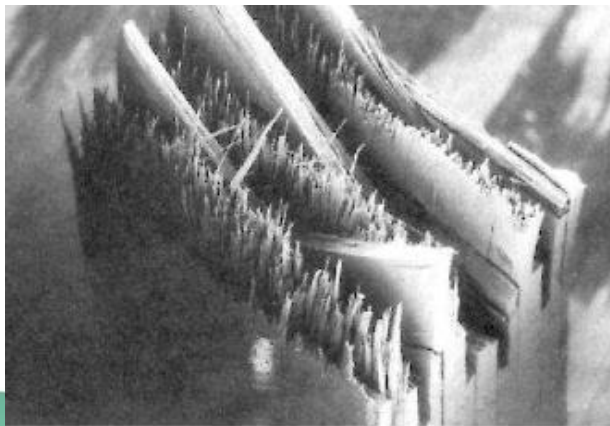
Améliorer le comportement mécanique d'un matériau ductile (polymère, métal) (matrice) par un matériau plus dur (céramique) (fibre, particule, lamelle)

Composite polymère –céramique (PRFV)

Composite métal céramique

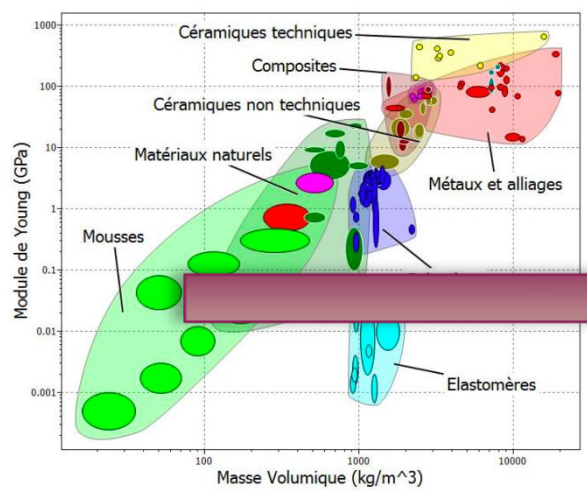


Polyester renforcé par des
fibres de verre



Rupture composite lamellaire

Matériaux à forme particulière

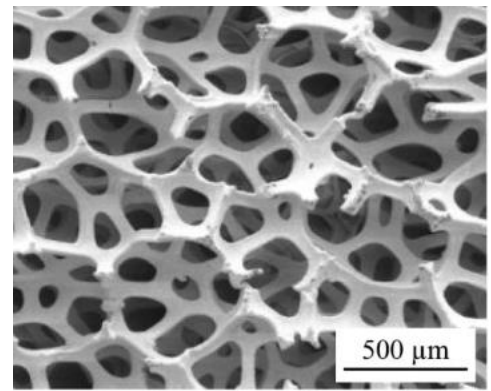


matériau poreux
(matériau +air)

Conducteur/
isolant
Insensible au
dégazage
Dégradation
thermique



MEB FEG
MEB PC,
environnemental



Mousse de Nickel

Matériau fortement hydraté

(matériau +eau)

Échantillon biologique
Liants avec l'eau



Isolant
sensible au
dégazage
Dégradation
sous le
faisceau



Fixation de
l'eau
(chimique,
congélation)
MEB env , PC
+ Platine
Peltier



Matériau sous forme pulvérulente

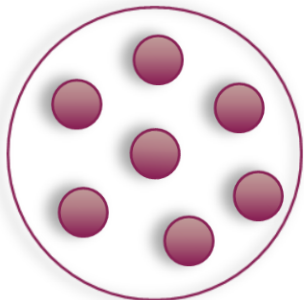
Poudre

isolante, conductrice

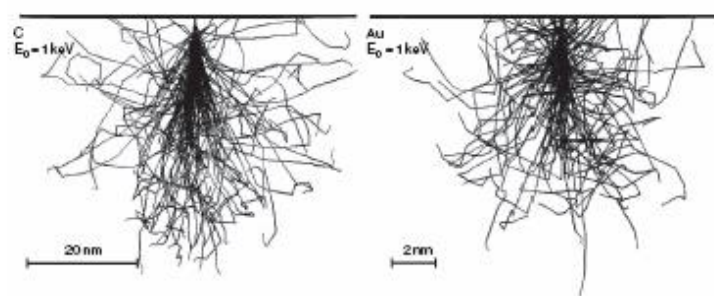
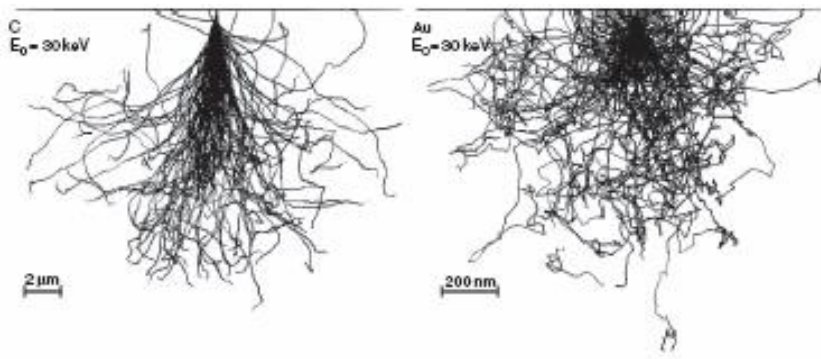
Fixation de la poudre
sur le support



Risque de contamination croisée



Zone grise en
cartographie



source

Semiconductor EDS (129 eV resolution at MnK α)
$$\mathbf{E}_0 \geq 20 \text{ keV}$$
$$\mathbf{U} \geq 2 \text{ (E}_c \leq 10 \text{ keV)}$$

 K-shell K&L

■ M-shell

 **Not detectable**


<div>Not detectable</div>										<div>M-shell</div>										
H											He									
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne			
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Fr	Ra	Ac																		
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

Periodic Table showing typical choices of atomic shells for operation in the conventional beam energy range, $E_0 = 10$ keV to 30 keV.

Semiconductor EDS (129 eV resolution at MnK α) $E_0 = 2.5 \text{ keV}$

$U_0 > 1.1$ ($E_c < 2.25$ keV)

K-shell

 **L-shell**

 M-shell


 **Not detectable**

Figure 1 is a periodic table of elements. The elements are color-coded based on the detection of M-shell vacancies. A legend at the top indicates: a white square represents 'detectable', a grey square represents 'not detectable', and a black square represents 'M-shell'. The 'M-shell' elements are H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac. The 'not detectable' elements are the remaining elements in the periodic table, including the lanthanide and actinide series. The 'detectable' elements are the remaining elements in the periodic table, including the lanthanide and actinide series.

Periodic Table showing choice of atomic shells available for operation in the low beam energy range, $E_0 = 2.5$ keV and $U = 1.1$. Note significant loss of elements that can be effectively measured.



Autres impacts environnementaux et sociétaux

(santé, biodiversité)

Décarbonation : l'extraction, la transformation et/ou l'usage de ce matériau sont-ils fortement émetteurs de gaz à effet de serre ?



Matériau = matière pour un matériel



Substituabilité



Circularité : quel est le niveau de recyclage du matériau ?

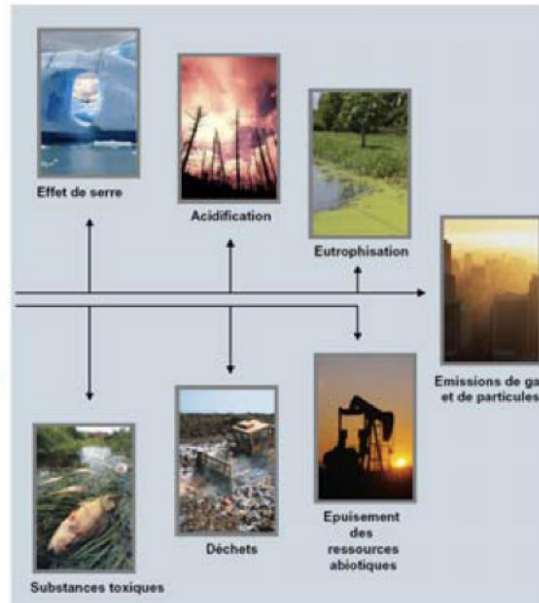
Disponibilité de la ressource

Tendances et enjeux
des consommations
de matériaux



Les matériaux du futur

Mesurer les impacts environnementaux pour les réduire



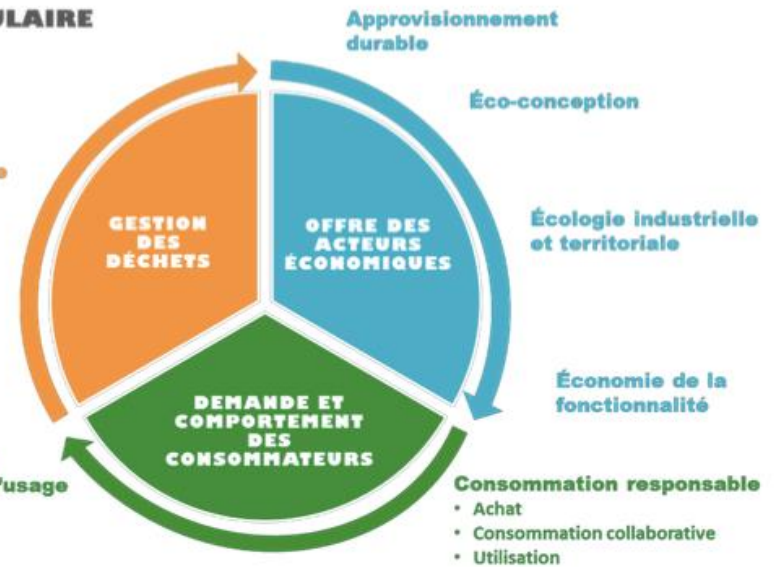
ECONOMIE CIRCULAIRE

Trois domaines d'action

Sept piliers

ADEME

Recyclage



Métal stratégique : métal indispensable à la politique économique d'un État, à sa défense, à sa politique énergétique ou à celle d'un acteur industriel spécifique (exemple : métaux pour la transition énergétique (Cuivre; Lithium ,Nickel)).

Métal critique : métal aux propriétés remarquables pouvant entraîner des impacts industriels ou économiques négatifs importants liés à un approvisionnement difficile, sujet à des aléas.



Les matières premières stratégiques dans les terres rares lourdes et les terres rares légères: Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm et Ce.

Mars 2024 réglementation européenne sur les matières premières critiques



Vision d'un écosystème européen des matériaux
autour de la transition verte et numérique

Cette feuille de route en quelques points

→ La numérisation du développement des matériaux est un besoin majeur pour accélérer l'émergence de nouveaux matériaux

développement de méthodologie de recherche combinant sciences expérimentales et de modélisation. Big Data Apport de l'IA

→ L'identification de technologie commune de fabrication et l'extension aux nouveaux matériaux (procédé de décarbonation)

→ Identification de priorités pour 9 marchés d'innovation

Améliorer la souveraineté européenne, de réduire l'empreinte environnementale et d'augmenter la durabilité

→ Éclairer l'importance d'un cadre à travers de critères harmonisés pour la sécurité, la durabilité, le cycle de vie

1



Materials for
Health Care

2



Materials for
Sustainable Construction

3



Materials for
New Energies

4



Materials for
Sustainable Transport

5



Materials for
Home & Personal Care

6



Materials for
Sustainable Packaging

7



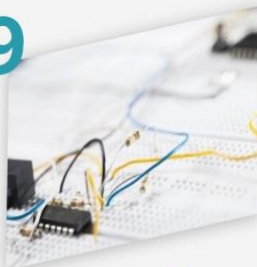
Materials for
Sustainable Agriculture

8



Materials for
Sustainable Textiles

9



Materials for
Electronics Appliance



Materials for
Sustainable Construction

4 priorités identifiées

Matériaux avec de nouvelles fonctionnalités

Matériau et métamatériaux pour la réduction du bruit

Matériaux pour améliorer l'efficacité énergétique

Matériaux et infrastructures d'isolation thermique (p. ex., structures en béton massif écoénergétiques, panneaux de fibres de cellulose, utilisation de matériaux à changement de phase)

- Matériaux légers multifonctionnels (y compris fonctionnalisation par nanotechnologie).

Matériaux pour une durabilité et une circularité accrues

Matériaux de construction durable (maximiser la teneur en déchet dans le béton)

Matériaux avec une faible empreinte carbone

Optimisation de la formulation des matériaux et des conditions de fabrication ou de traitement, en utilisant l'apprentissage automatique et les techniques basées sur l'intelligence artificielle.



La caractérisation avec nos techniques dans le futur

Techniques matures



Développement au plus près de la vie des matériaux



Essais in situ (mécanique, thermique)



Image, cartographie,

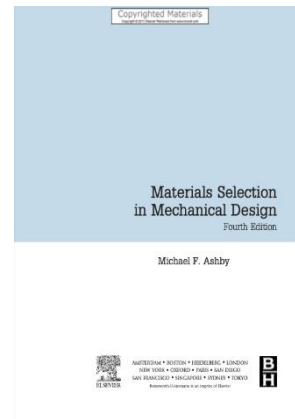
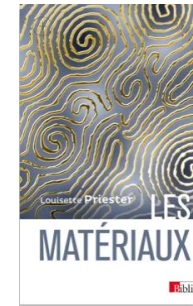
Apport de l'IA

Archivage, débruitage,
reconnaissance de particules,
identification d'objet



Pour aller plus loin

Louissette. Priester Les Matériaux ISBN 978-2-271-15164-3
MF Asbhy Materials selection in Mechanical design



You Tube

Louissette. Priester les matériaux et l'homme un voyage dans le temps et l'espace
Yves Brechet du matériau de rencontre au matériau sur mesure
(leçon inaugurale collège de France 2013)

webographie

Jacky Ruste <http://micro.icaunais.free.fr/>

Les matériaux (3 présentations)
Les Techniques
L'énergie



GNMEBA – Paris – 2 et 3 décembre 2024

Merci de votre
attention

UNITÉ DE CATALYSE ET
CHIMIE DU SOLIDE



 Université
de Lille




UNIVERSITÉ D'ARTOIS

 centralelille

 institut
Chevreul