
Le verre :
un témoin du passé,
un instrument pour construire demain ?



INTERNATIONAL YEAR OF
GLASS
2022





- ✓ *Où trouver du verre autour de nous ?*
- ✓ *Le verre un témoin de notre passé ?*
- ✓ *Qu'est ce qu'un verre ?*
- ✓ *Un instrument pour construire demain ?*

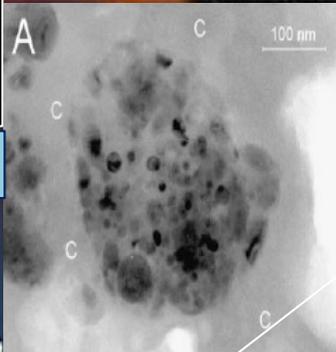




Où trouver du verre autour de nous ?

Les chondres vitreux et la naissance du système solaire

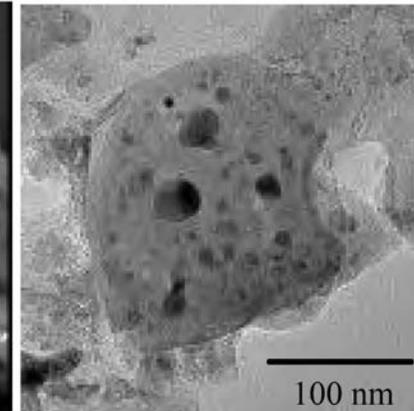
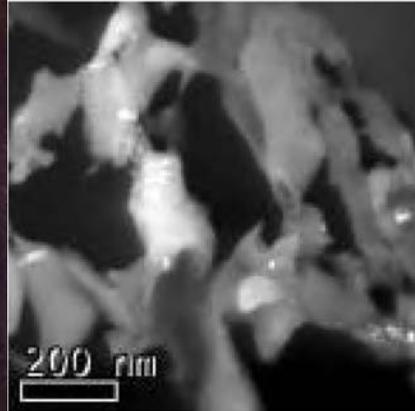
Bradley et al., (1999) An Infrared Spectral Match Between GEMS and Interstellar Grains. Science, 285, 1716



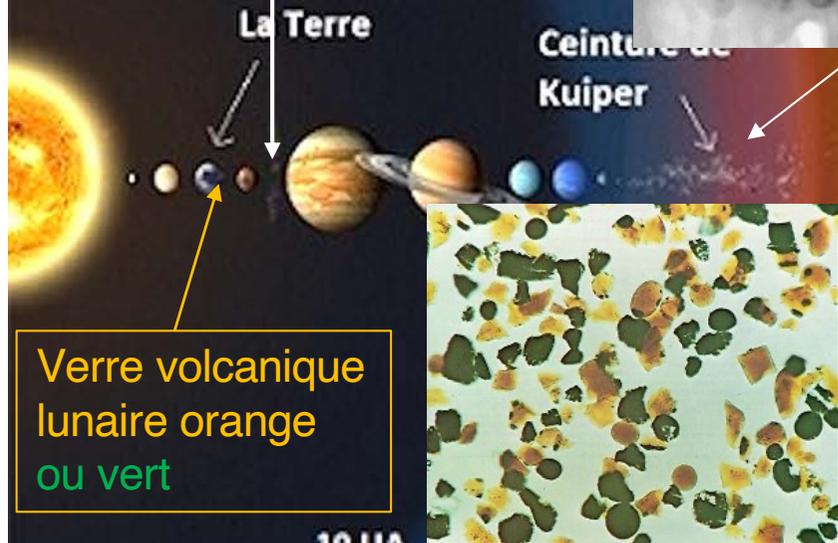
Silicate interstellaire amorphe, GEMS

Bulk Silicate Glass

GEMS



Joswiak and Brownlee (2006) Non-GEMS Silicate Glasses in Chondritic Porous Interplanetary Dust Particles. LPS XXXVII



de d'interaction

1000 UA

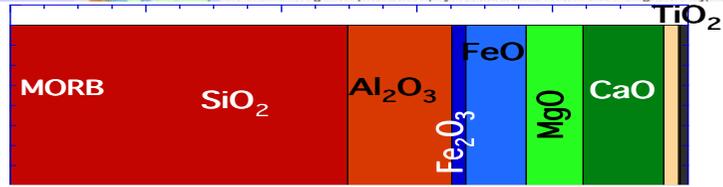
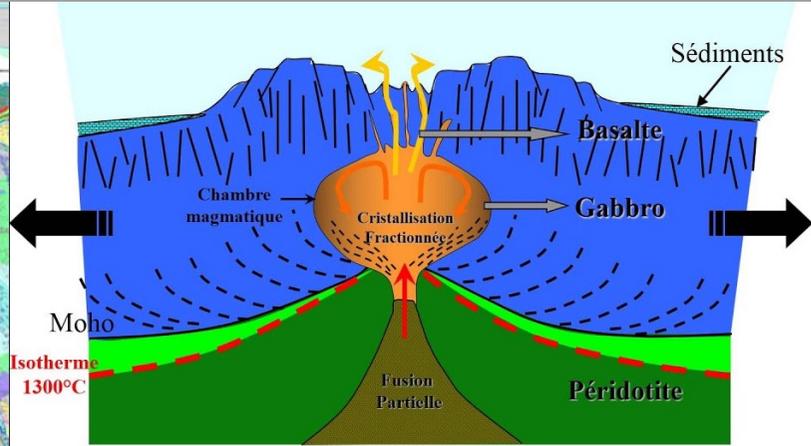
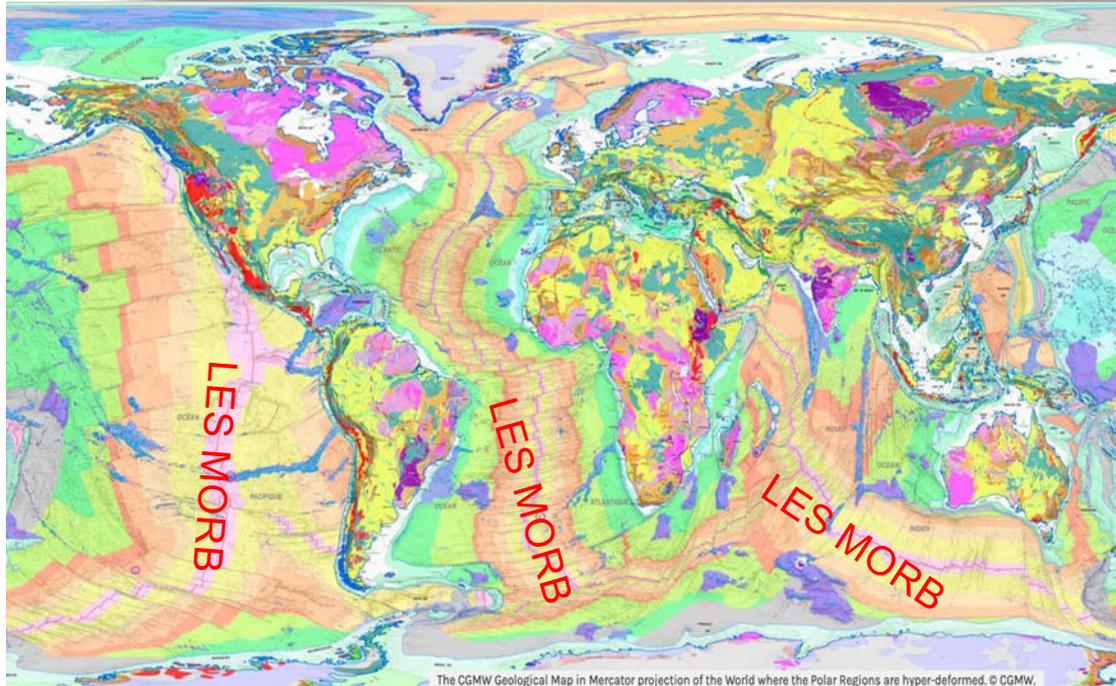
10 000 UA

100 000 UA

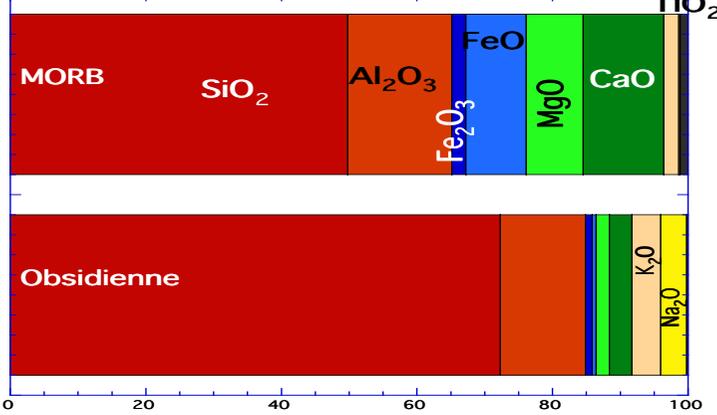
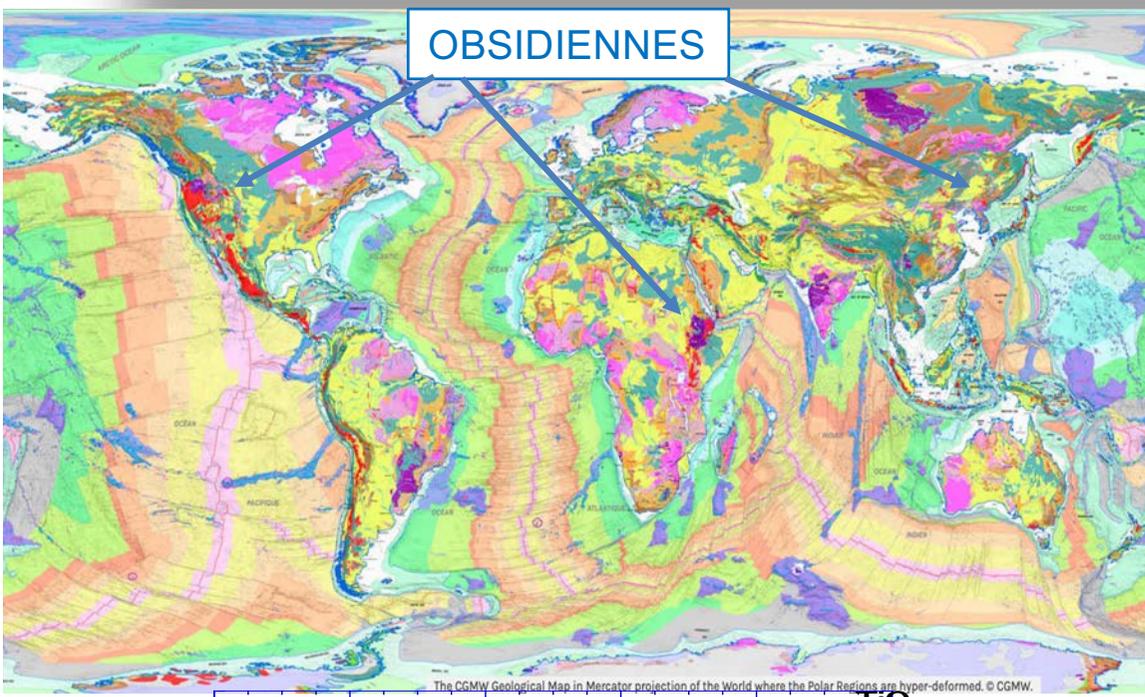
GEMS (glass with embedded metal and sulfides)



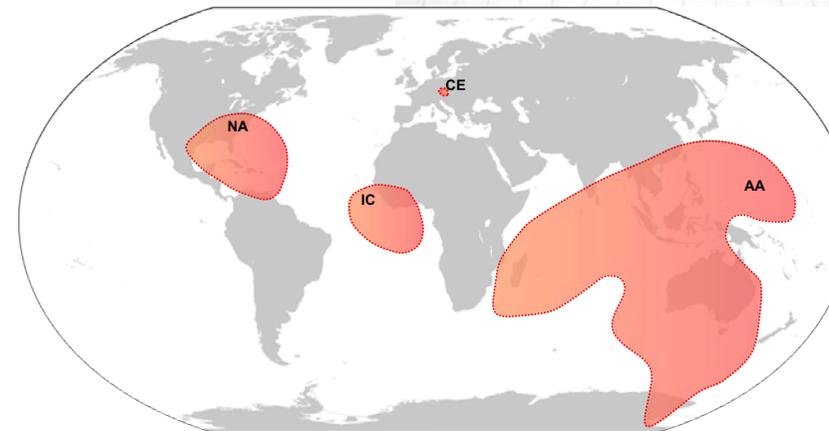
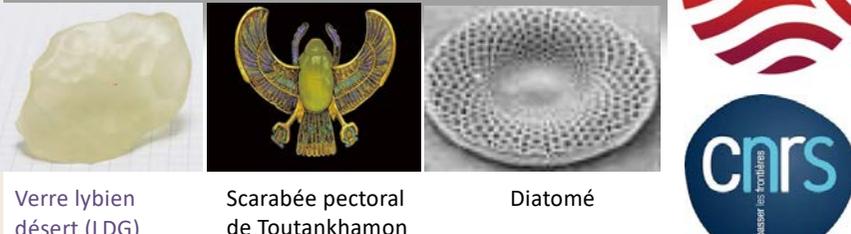
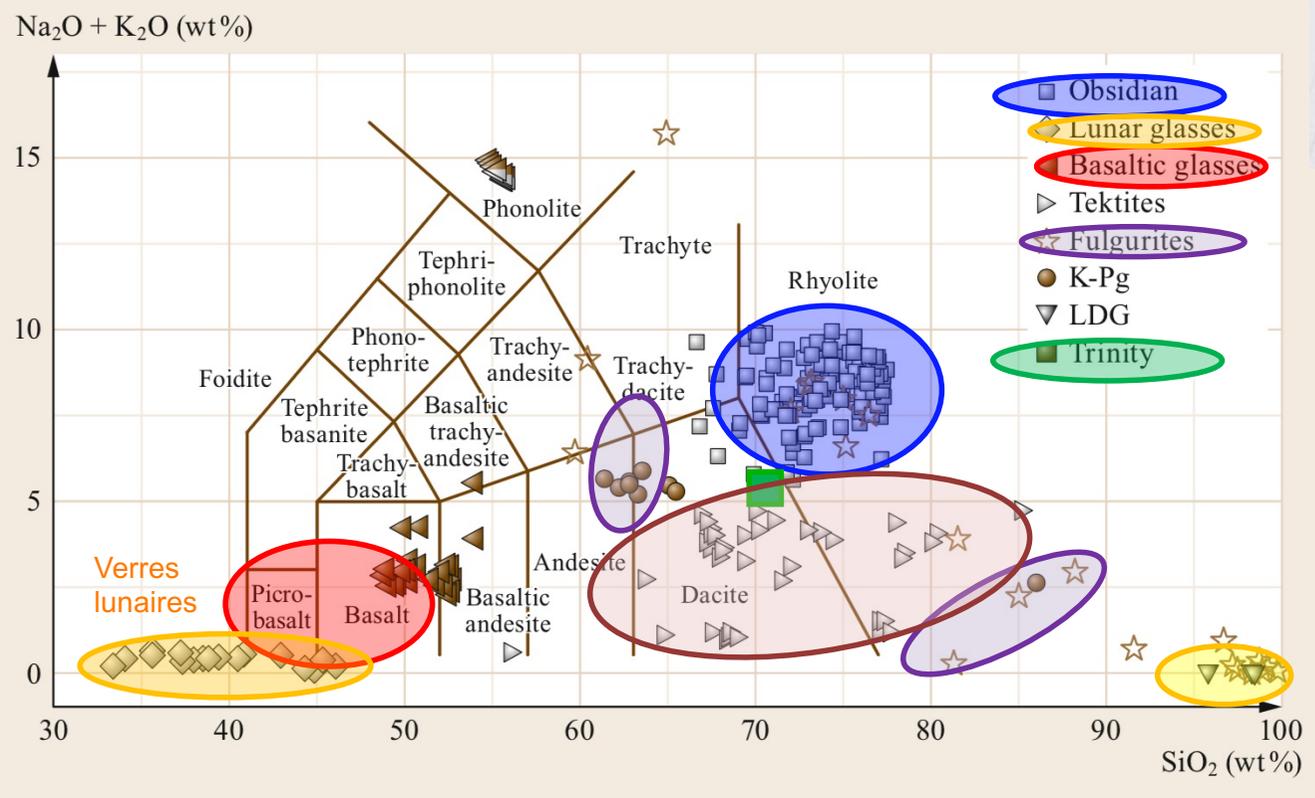
✓ Où trouver du verre autour de nous ?



✓ Où trouver du verre autour de nous ?



✓ Où trouver du verre autour de nous ?

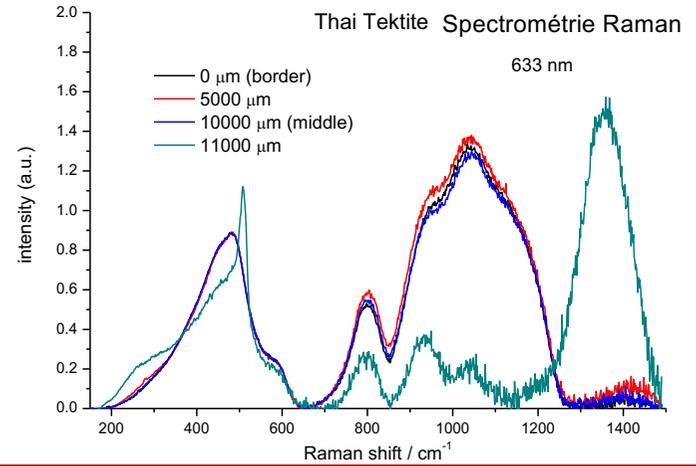
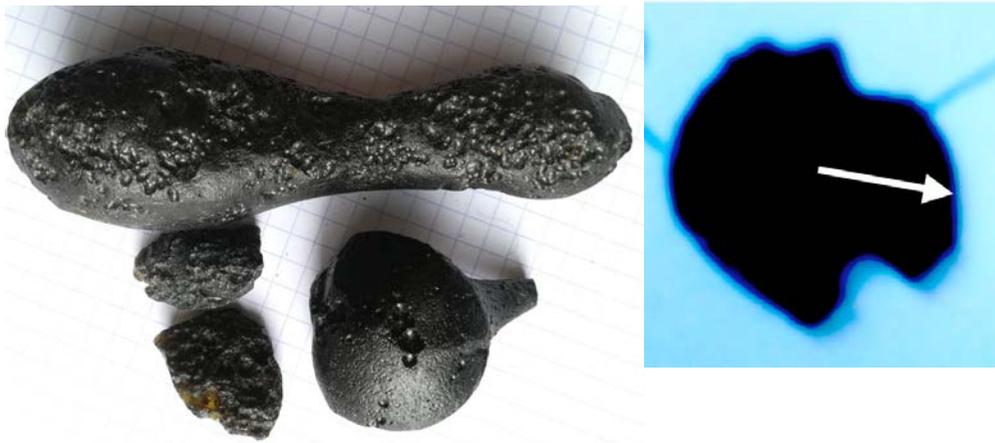
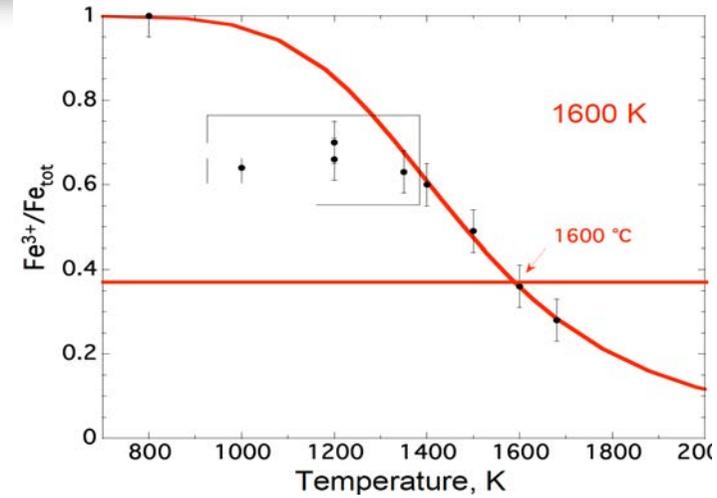
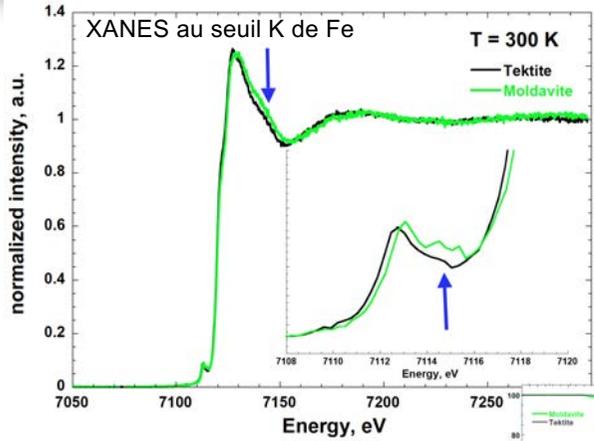
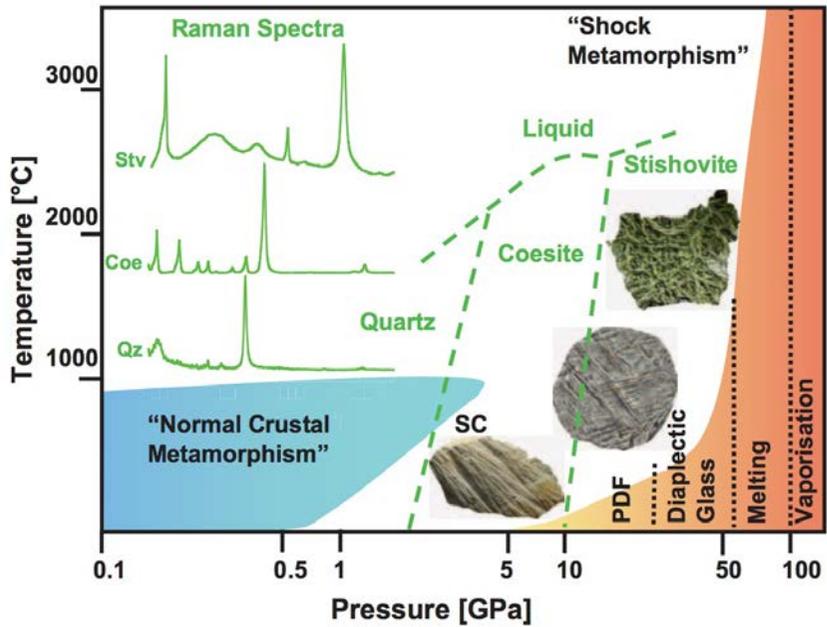


Cicconi M.R., Neuville D.R. (2019) Natural glasses. Springer Handbook of Glass. 771-804 – DOI 10.1007/978-3-319-93728-1





✓ *Le verre un témoin de notre passé ?*

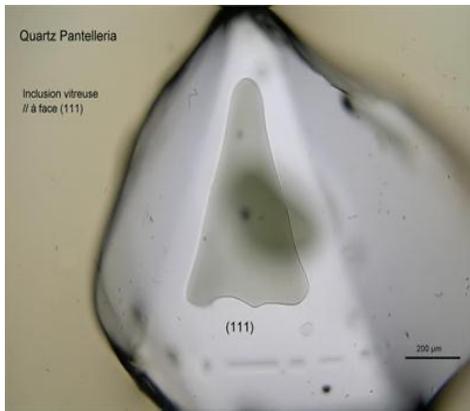


Cicconi M.R., McCloy J., Neuville D.R. (2022) Non-magmatic glasses. In Neuville D.R., Henderson G.S, Dingwell D. B. (2022) "Geological Melts" Review in Mineralogy and Geochemistry.

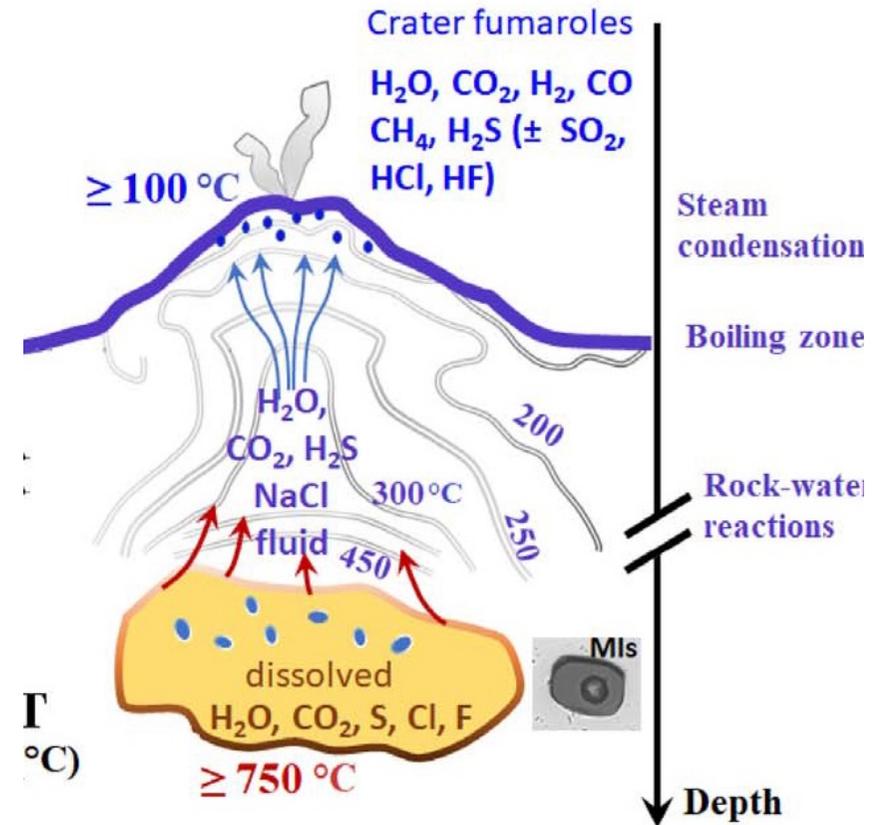
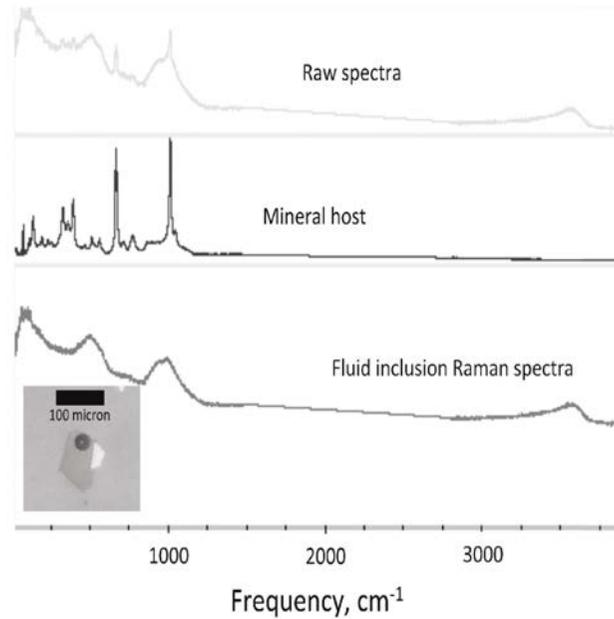




✓ *Le verre un témoin de notre passé ?*



© N. Metrich



Neuville D.R., Henderson G.S and de Ligny D. (2014) [Advances in Raman Spectroscopy Applied to Earth and Material Sciences](#). Review in Mineralogy and Geochemistry, Vol 78, 509-541.

Moretti (2022) Redox behavior of degassing magmas: critical review and comparison of glass-based oxybarometers with application to Etna volcano. *Comptes Rendus Géoscience—Sciences de la Planète*. <https://doi.org/10.5802/crgeos.135>

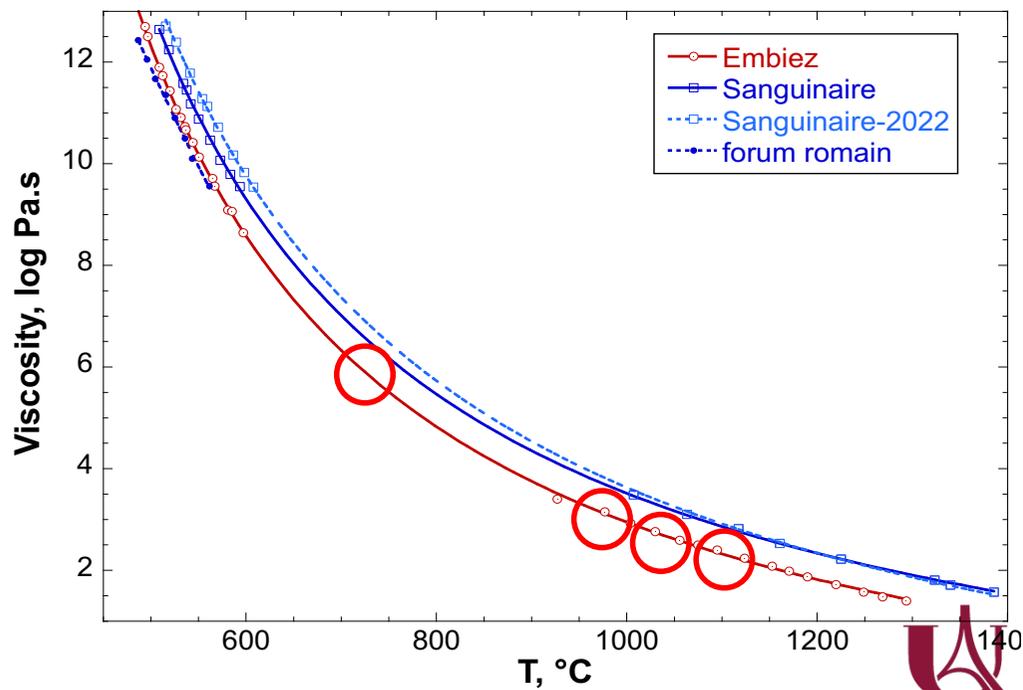


✓ *Le verre un témoin de notre passé ?*



Antoine Mexmain, Lycée Jean Monnet, Yzeure

Wt%	Embiez	Window Glass	sanguinaire	Forum Romain
SiO ₂	72,75	72,61	75,89	69,73
Al ₂ O ₃	1,78	0,61	1,84	2,09
Na ₂ O	19,00	14,32	12,95	19,38
K ₂ O	0,39	0,21	0,72	0,50
CaO	5,23	8,67	5,95	2,93
MgO	0,40	3,64	0,27	0,46
TiO ₂	0,06	0,05	-	0,02
FeO	0,33	0,78		0,38
Fe ₂ O ₃			0,38	
MnO ₂			2,95	0,27
Cl			0,72	0,96



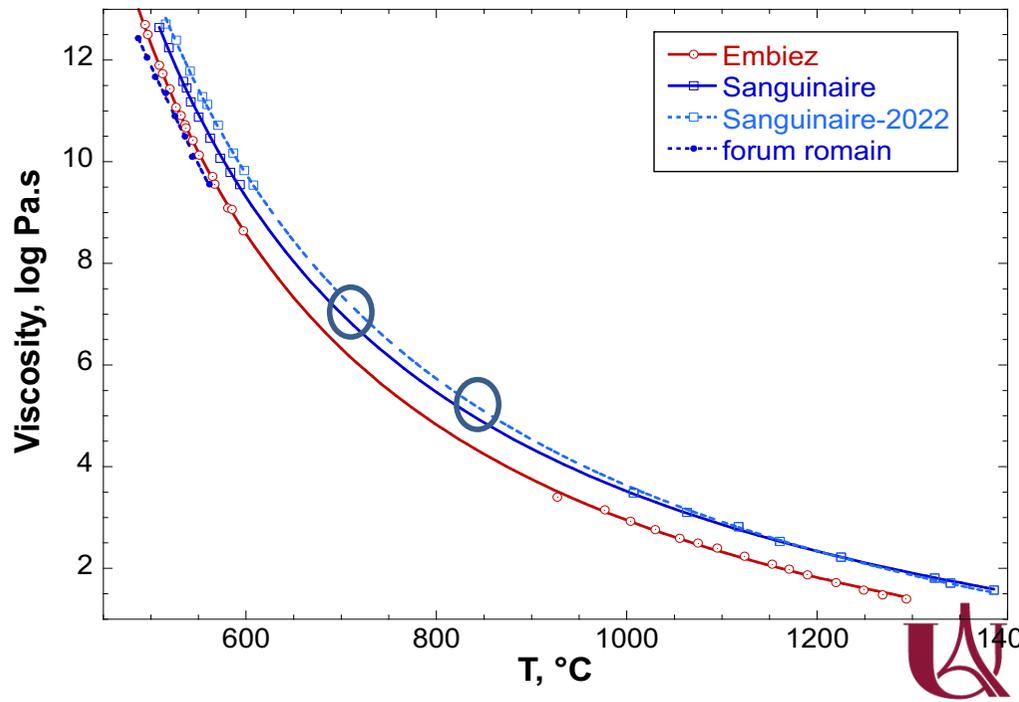
✓ *Le verre un témoin de notre passé ?*



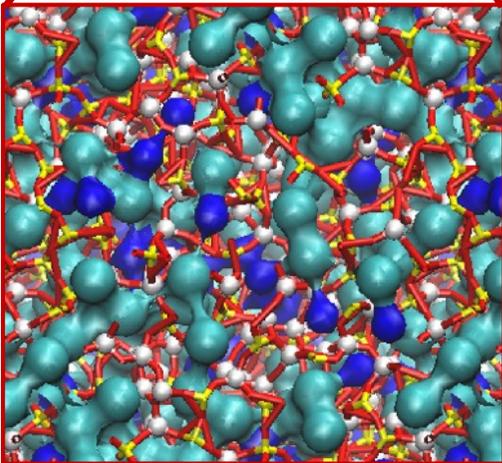
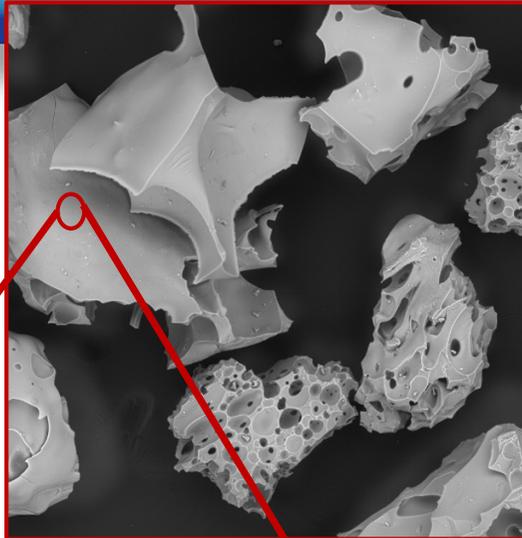
Antoine Mexmain, Lycée Jean Monnet, Yzeure

Joelle Rolland, archéologue

Wt%	Embiez	Window Glass	sanguinaire	Forum Romain
SiO ₂	72,75	72,61	75,89	69,73
Al ₂ O ₃	1,78	0,61	1,84	2,09
Na ₂ O	19,00	14,32	12,95	19,38
K ₂ O	0,39	0,21	0,72	0,50
CaO	5,23	8,67	5,95	2,93
MgO	0,40	3,64	0,27	0,46
TiO ₂	0,06	0,05	-	0,02
FeO	0,33	0,78		0,38
Fe ₂ O ₃			0,38	
MnO ₂			2,95	0,27
Cl			0,72	0,96



SEM photo of volcanic ash from the submarine eruption of Serreta off Terceira, Azores (Kueppers and Cimarelli 2018). RIMG COVER VOL87, 2022



Le Losq C, Neuville D.R., Florian P, Massiot D., Zhou Z., Chen W., Greaves N. (2017) Percolation channels: a universal idea to describe the atomic structure of glasses and melts. Scientific Reports, 7, Article number: 16490, doi:10.1038/s41598-017-16741-3



Simultaneous effusive/explosive activity of the 2021 Cumbre Vieja eruption, La Palma (Photo credit: Ulrich Kueppers: 7 October 2021 RIMG COVER VOL87, 2022





Encore plus pratiques...
les nouvelles formes
de verre à feu **PYREX**
Sedlex

Une propreté
considérablement
plus grande rendant
la manipulation
des contenants plus
"Pyrex Sedlex"
encore plus pratique.
Des bords plus
arrondis facilitent
le nettoyage.

la image spéciale du verre à feu "Pyrex Sedlex"
à usage alimentaire est indiquée sur chaque
"et permet de passer sans danger de la plus grande
taille au plus grand fond, et vice versa,
de verre à feu "Pyrex Sedlex" dans les longévités
dont sur le fond, et à tout prix.

Coûté vendu
à l. 465 Frc
de taille de 20 x
à l. l. 10.

Made in Italy 500 Frc
450 Frc

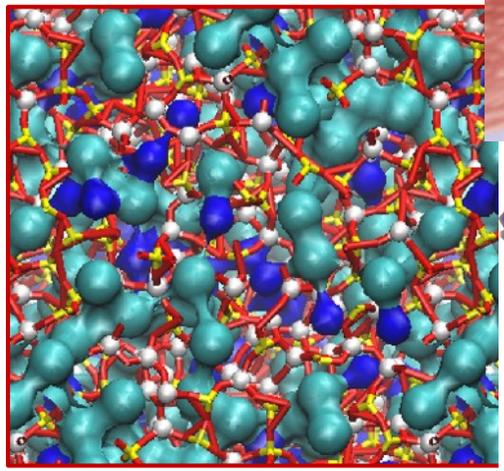
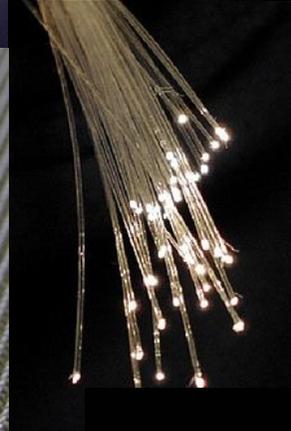
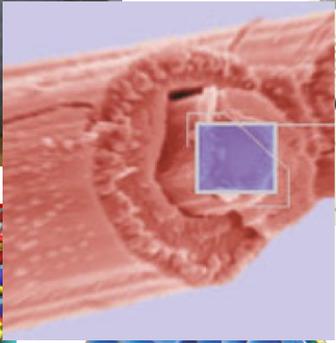
Prix à usage l. l.
315 Frc

500 Frc

Prix à usage l. l.
175 Frc

Pyrex
SEDLEX
FRANCE

Une garantie de qualité
est dans cette image
grande dans tout le verre.



Ivoclar - Vivadent website



Verre naturel

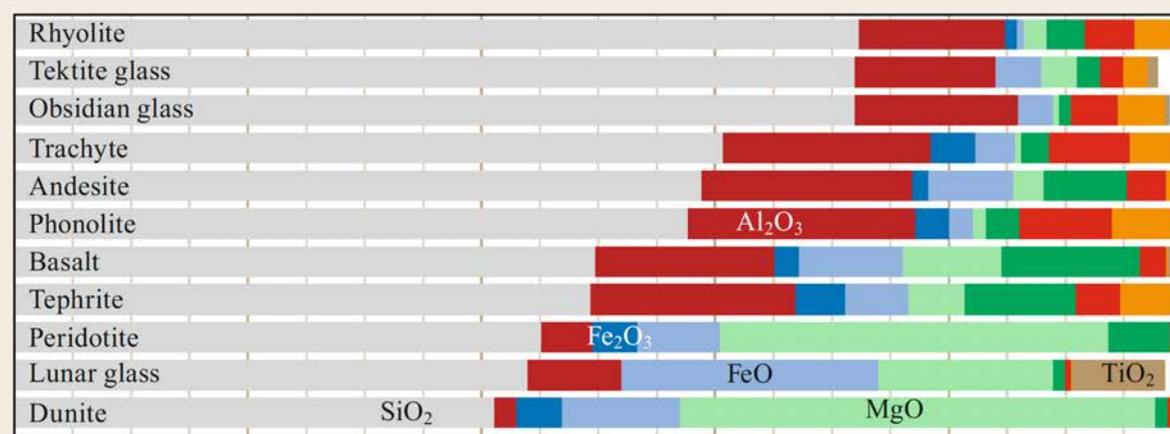


Fig. 13.3 Examples of chemical composition in wt% of various geologic (lunar glass, dunite, peridotite, tephrite, basalt, phonolite, andesite, trachyte, rhyolite, tektite, obsidian), industrial (optical fiber, window glass, E-glass, nuclear glass, Refiom, Pyrex 1912, actual window glass) and historic (Roman glass, Embiez 200 y, flint, Egyptian, Babylonian, Tour, Chartres, Rouen, Germanic, Bohemia) glasses [13.7–9]

+ 1150 volcans actifs sur Terre
+1200 tonnes de magma chaque seconde à la surface de la Terre

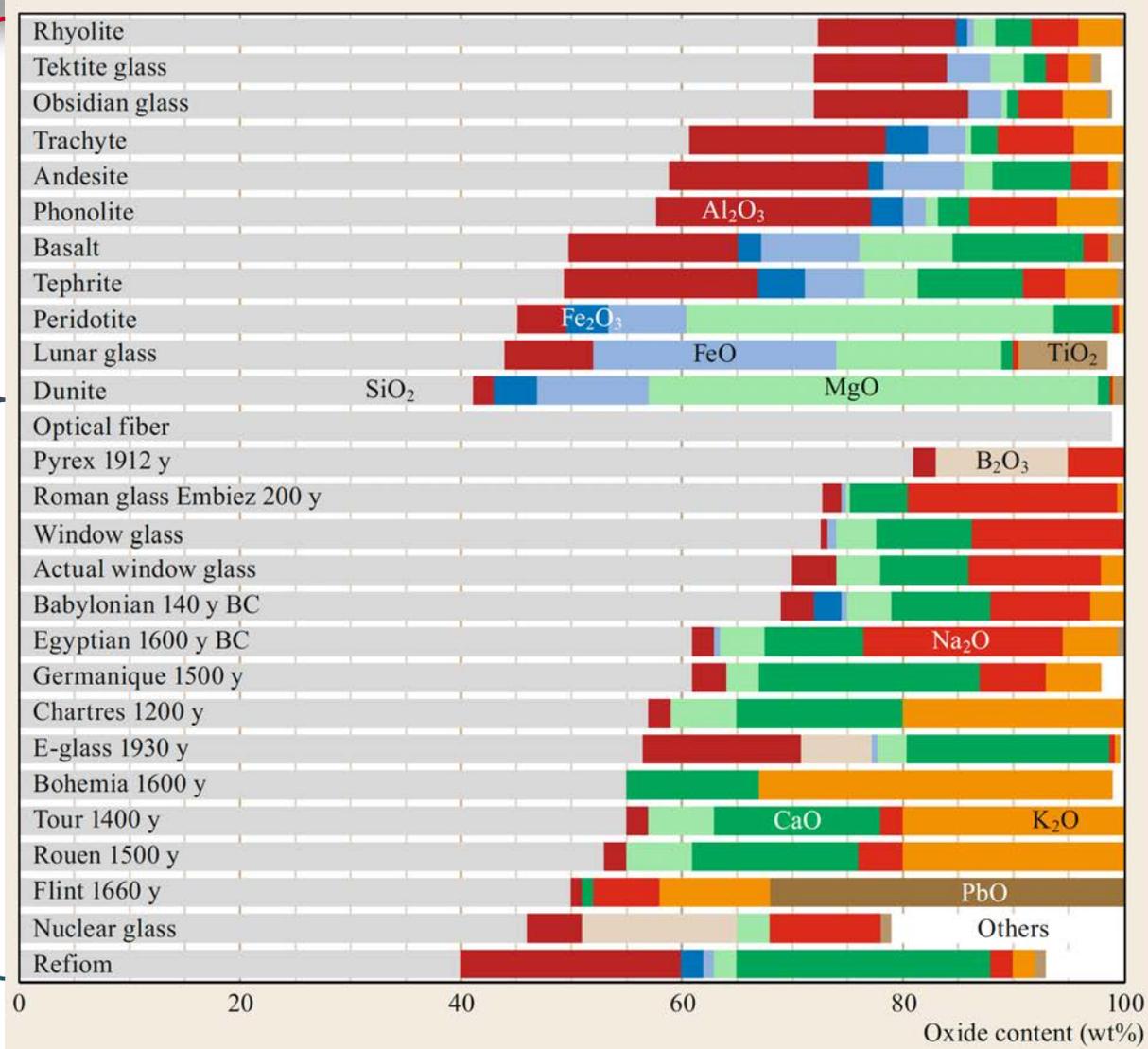
=> Grande variabilité de compositions chimiques





Verre naturel

Verre fabriqué par l'homme



+ 1150 volcans actifs sur Terre
+ 1200 tonnes de magma chaque seconde à la surface de la terre

=> Grande variabilité de compositions chimiques naturelles et une infinité de possibilité de fabrication humaine pour les verres oxydes.

mais d'autres possibilités sans Oxygène :
Verres chalcogènes, métalliques, organiques....

Le Losq C., Cicconi M.R., Greaves G.N. and Neuville D.R. (2019) Silicate glasses. Springer Handbook of Glass. 441-488 – DOI 10.1007/978-3-319-93728-1

Qu'est ce qu'un verre ?



Verre métallique



Laser glasses



Verre de phosphate

Verre organique :
le caramel



Image
visible

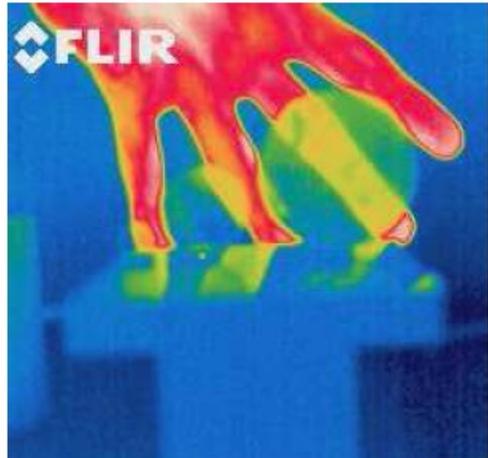


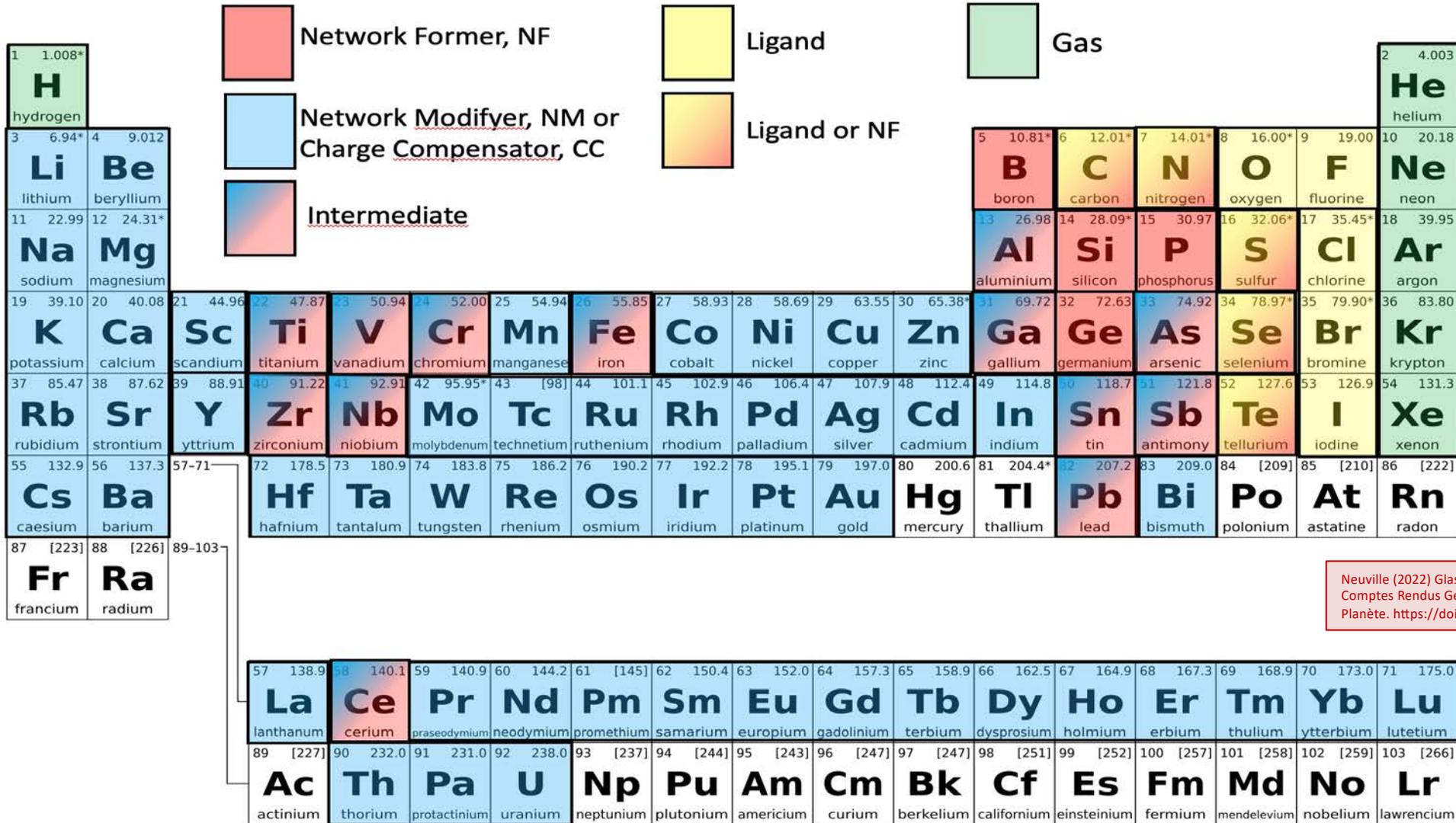
Image
caméra
thermique
8-12µm

Verre de chalcogènure

Source : écoles et ateliers
UTSV, www.ustverre.fr



Des verres possible avec tous les atomes et toutes les liaisons chimiques



Neuville (2022) Glass, an ubiquitous material. Comptes Rendus Géoscience—Sciences de la Planète. <https://doi.org/10.5802/crgeos.135>





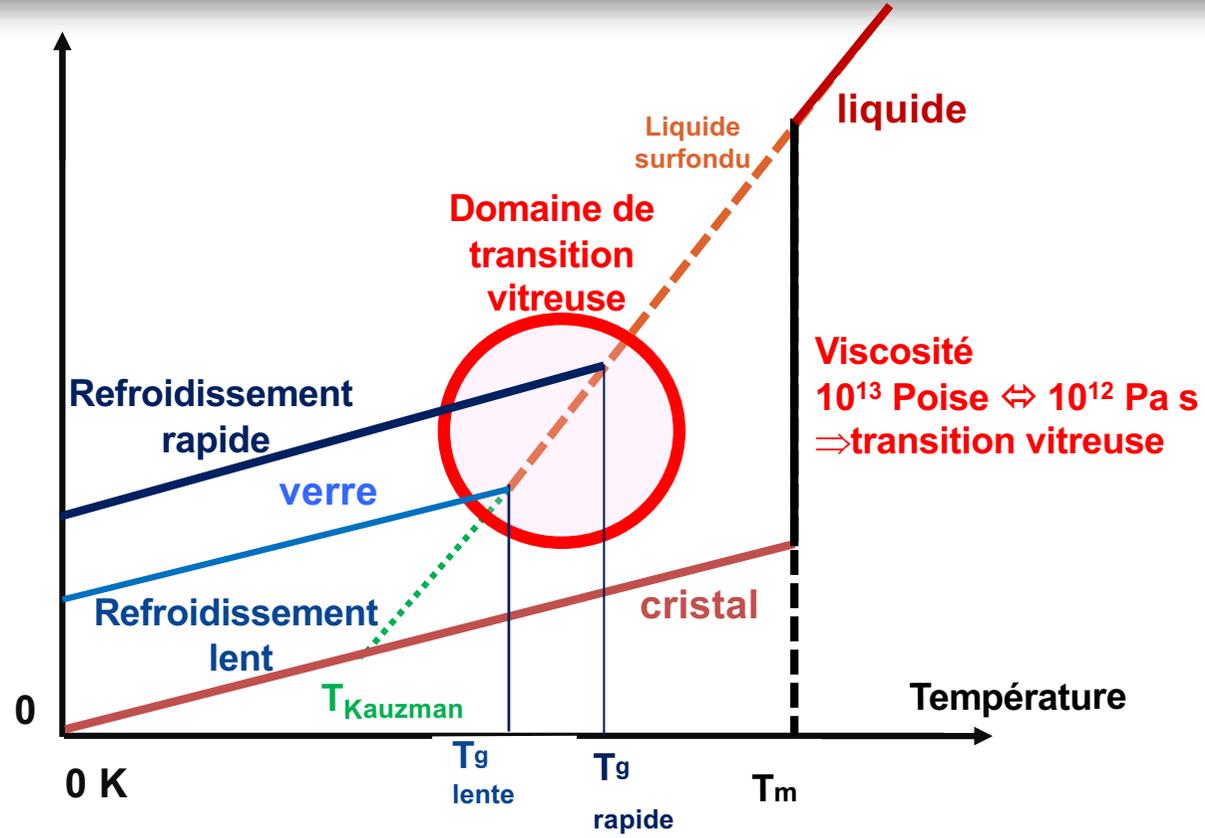
Mais comment fait-on du verre ?



Propriété d'un verre : la température de transition vitreuse

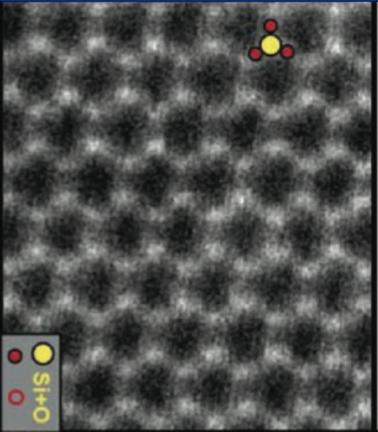
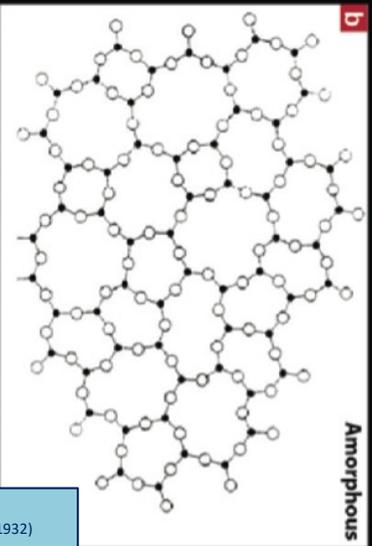
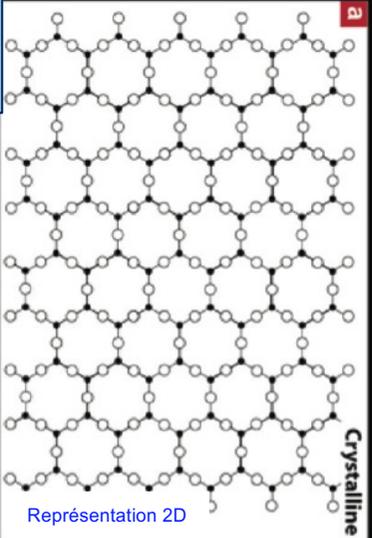


Propriété (V, H, ...)



✓ Quelques grandes notions sur le verre : Structure et propriétés

Huang, S. Kurasch, A. Srivastava, V. Skakalova, J. Kotakoski, A.V. Krasheninnikov, R. Hovden, Q. Mao, J.C. Meyer, J. Smet, D.A. Muller, U. Kaiser: Direct imaging of a two-dimensional silica glass on graphene, Nano Lett. 12, 1081–1086 (2012)



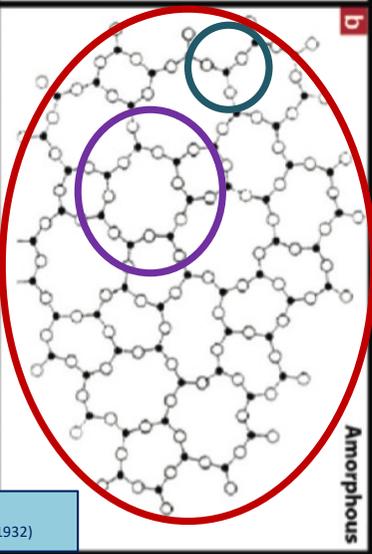
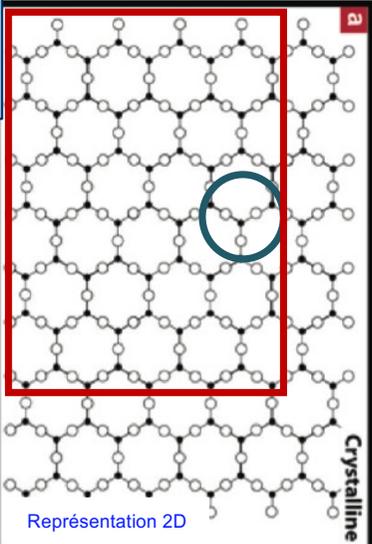
Zachariasen: The atomic arrangement in glass, J. Am. Chem. Soc. 54, 3841–3851 (1932)





✓ Quelques grandes notions sur le verre : Structure et propriétés

Huang, S. Kurasch, A. Srivastava, V. Skakalova, J. Kotakoski, A.V. Krasheninnikov, R. Hovden, Q. Mao, J.C. Meyer, J. Smet, D.A. Muller, U. Kaiser: Direct imaging of a two-dimensional silica glass on graphene, Nano Lett. 12, 1081–1086 (2012)



Zachariasen: The atomic arrangement in glass, J. Am. Chem. Soc. 54, 3841–3851 (1932)

Structure à courte distance :

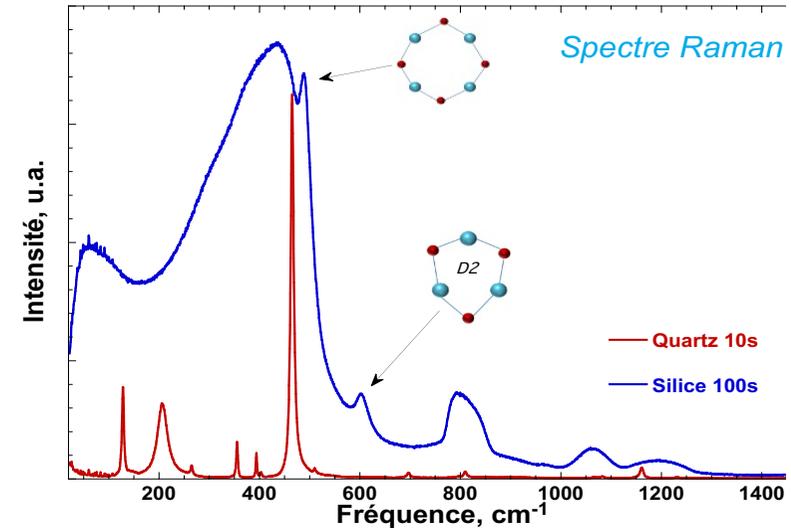
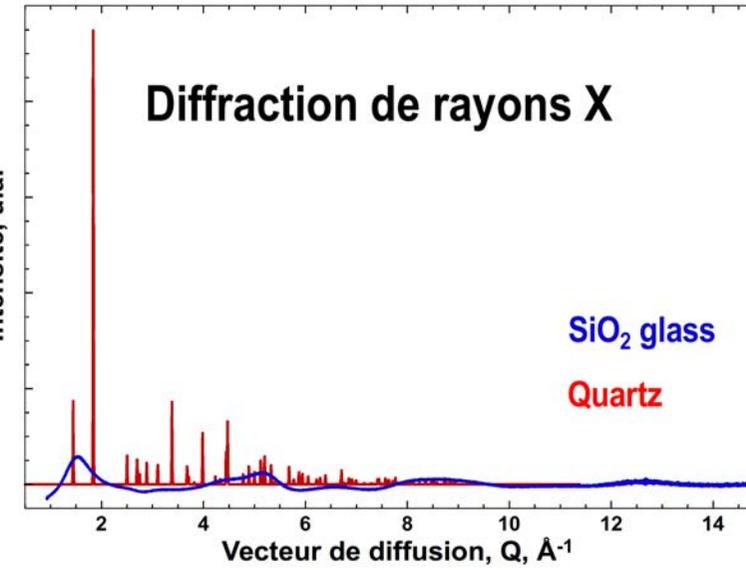
- coordination, longueurs de liaisons, angles de liaisons

Structure à moyenne distance

- angles entre les unités de base
- connectivité entre les unités de base (liaisons par sommet, arête ...)
- dimensionnalité du réseau, anneaux

Structure à longue distance (pas périodique !):

- séparation de phase
- inhomogénéité





✓ *Le verre : un instrument pour construire demain ?*



✓ Un instrument pour construire demain ?

Une quête vers la couleur
... et de nouvelles applications



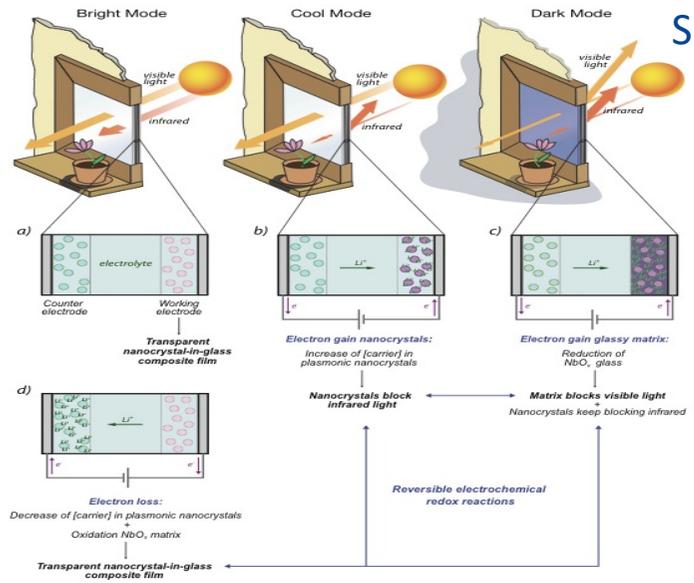
A Day Made of Glass... (Corning, 2011)



Source : écoles et ateliers UTSV,
www.ustverre.fr

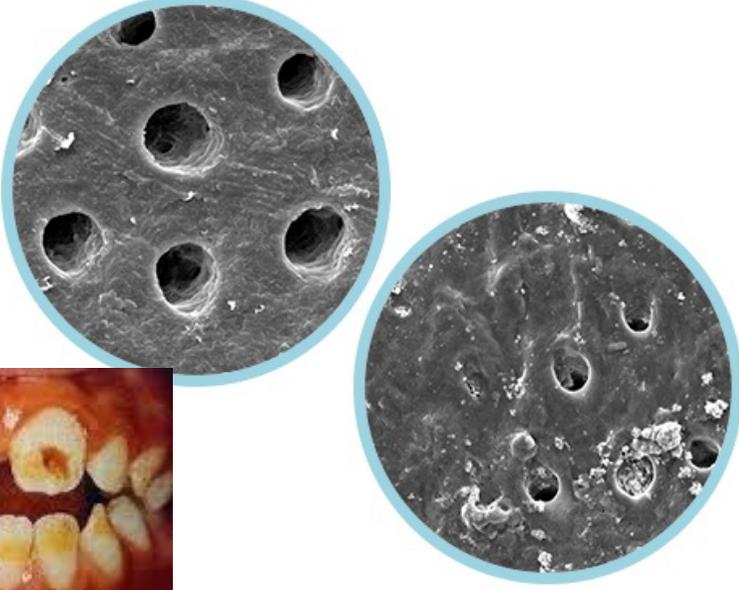
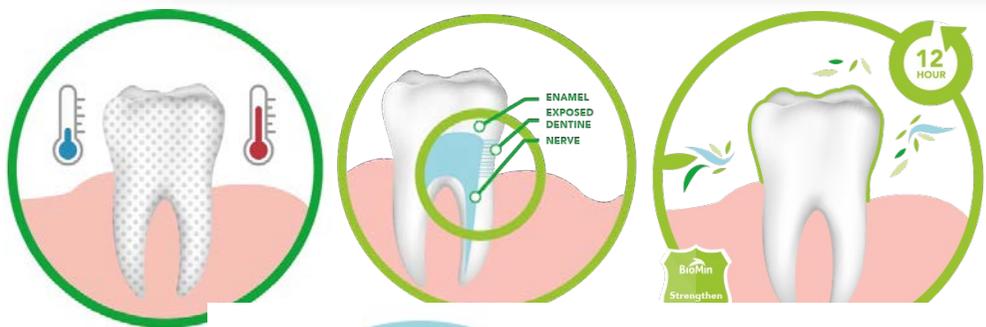
Verres photochromiques (technical window films)

Smart windows



✓ Un instrument pour construire demain ?

Réparer l'homme ?



Chlorine-containing Silicate Glasses and Glass Ceramic

NOUVEAU RÉPARATION RENFORCÉE

DENTIFRICE REPARATEUR QUOTIDIEN

gsk

SENSODYNE[®] AU FLUOR

FRAÎCHEUR RÉPARE & PROTÈGE TECHNOLOGIE NOVAMIN

CLINIQUEMENT PROUVÉ POUR SOULAGER ET PROTÉGER QUOTIDIENNEMENT LES DENTS SENSIBLES

SENSODYNE[®] FRAÎCHEUR RÉPARE & PROTÈGE

SENSIBILITÉ DENTAIRE PETITES CAVITÉS DANS LA DENTINE COUCHE PROTECTRICE SOLIDE RÉPARE CES CAVITÉS AIDE À PROTÉGER DE LA DOULEUR

Le dentifrice Sensodyne[®] Répare et Protège à base de NOVAMIN[®] est une formule unique, cliniquement prouvée, concentrée en calcium. Il aide à réparer les zones fragilisées avec des constituants naturels de vos dents. Il soulage la douleur causée par la sensibilité dentaire pour vous aider à profiter de la vie sans vous inquiéter de vos dents sensibles.

Qu'est-ce qu'une dent sensible ? La dent devient sensible quand la dentine, située sous l'émail et la gencive, est mise à nu. Lorsque la dentine exposée est en contact avec du chaud ou du froid, du sucré, de l'acidité, ou même une brosse à dents, le nerf peut alors être stimulé ce qui provoque une douleur courte et vive.

(NOUVELLE FORMULE A LA NOVAMIN)

La nouvelle dentifrice Sensodyne[®] Répare et Protège forme une couche plus dure autour des zones fragilisées de vos dents sensibles pour permettre une réparation renforcée de vos dents.

WHY SHOULD YOU USE BIOMIN[®]

It is possible to treat the symptoms of pain caused by tooth sensitivity and to repair damaged tooth surfaces. With daily use of BioMin[®] your teeth will be repaired, reinforced and protected. Its pleasant mint flavour will leave your mouth clean and fresh.

WHAT MAKES A TOOTH SENSITIVE?

A tooth becomes sensitive when the dentine, situated below the enamel, becomes exposed. When consuming food or drink that is hot, cold, sweet, acid, the nerves within the tooth can be stimulated to give short sharp pain. BioMin[®] delivers calcium, phosphate and fluoride to the tooth surfaces to create a mineral protective barrier to repair the damaged areas.

Marketed By:

BioMin

BIOMIN TECHNOLOGIES LIMITED,
Room E204, Queens Building,
Queen Mary University of London,
Mile End, London E1 4NS
www.biomin.co.uk

Mfg. Lic. No.: KTK/32/269/2006

Manufactured in India By:

Group Pharmaceuticals Limited
Plot No.41, Nasigere Village, Kasaba Hobli,
KIADB Indl. Area, Malur-563130,
Email: bangalore@grouppharma.in

BioMin[®]

Armour for Teeth

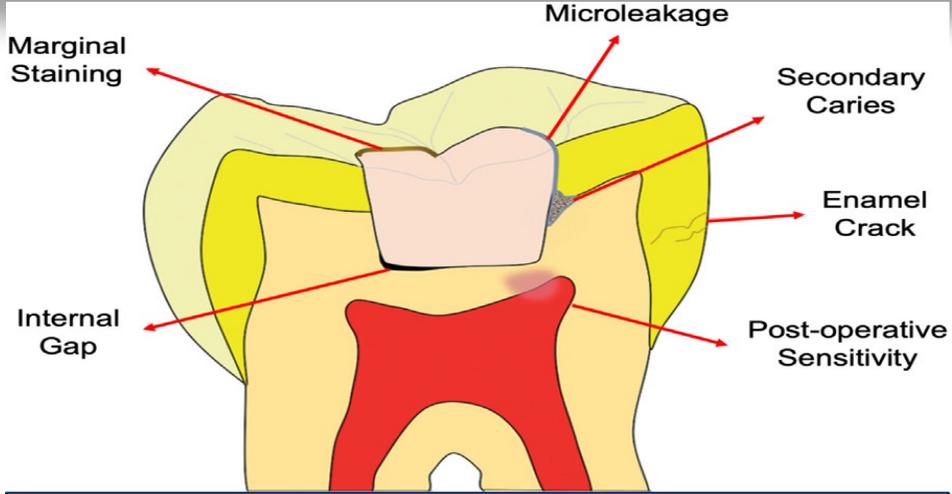


Larry Hench

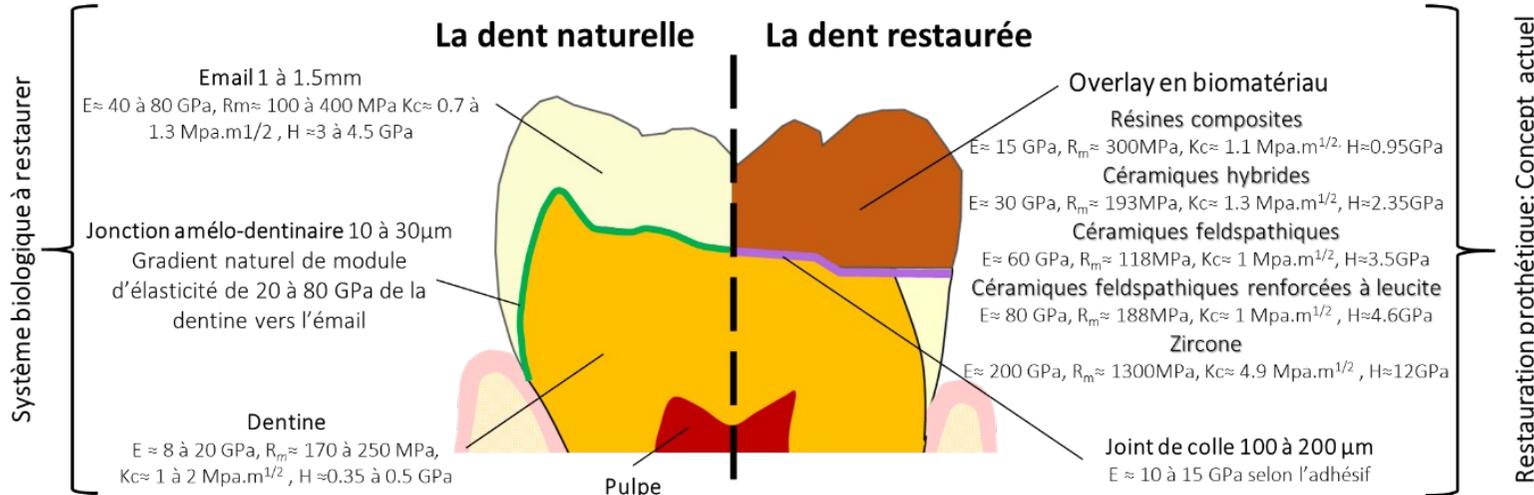


✓ Un instrument pour construire demain ?

Reconstruire l'homme ?



Tiskaya et al. (2021) The use of bioactive glass (BAG) in dental composites: A critical review. *dental materials*, 37, 296-310



Collaboration :
 Jean-Pierre Attal,
 Laurent Tapie,
 Aurelie Benoit,
 Philippe Djemia
 Odontologie, UPC

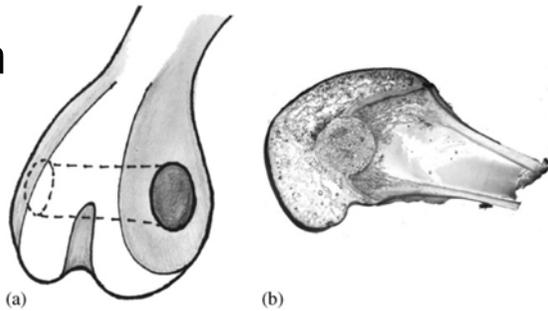


Reconstruire l'homme ?

45S5: 46.1 mol% SiO₂, 26.9 mol% CaO, 24.4 mol% Na₂O and 2.5 mol% P₂O₅. Bioglass (L. Hench)

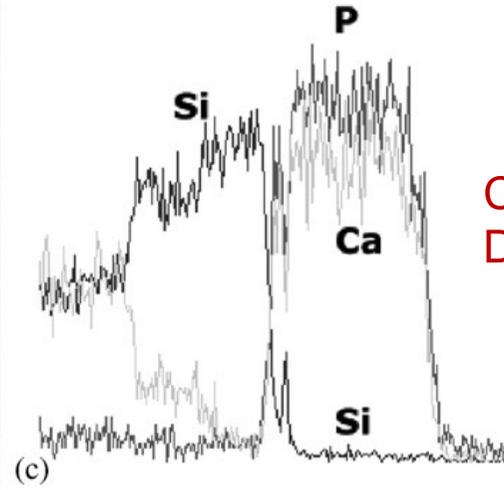
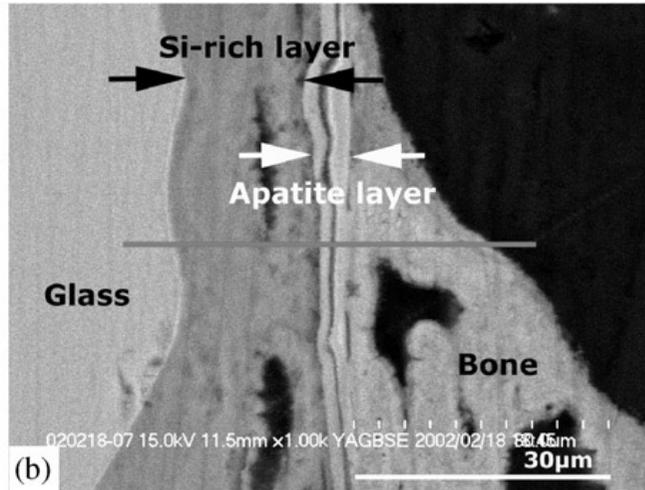
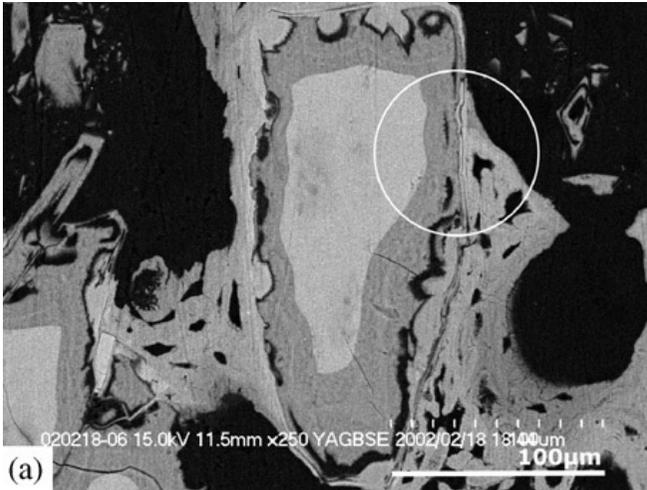


Tete d'os de lapin



Glass	Composition/mol%		
	Na ₂ O	CaO	SiO ₂
A	25.0	25.0	50.0
B	22.5	22.5	55.0
C	20.0	20.0	60.0
D	17.5	17.5	65.0
E	15.0	15.0	70.0

Fujibayashi et al. (2003) A comparative study between in vivo bone ingrowth and in vitro apatite formation on Na₂O-CaO-SiO₂ glasses. *Biomaterials* 24,1349



Collaboration :
D. Brauer, U. Iena





La fibre de verre fut brevetée en 1930, et elle est utilisée pour ses qualités mécaniques et optiques. La fibre de verre se trouve sous forme :

- ✓ mat de verre, fils simples ou mêlés à des plastiques ;
- ✓ voiles non tissés pour les chapes bitumineuses ;
- ✓ tissus pour les avions, les moustiquaires ;
- ✓ grilles pour renforcer les ciments, le bitume.

Principales utilisations :

- ✓ les bâtiments et les infrastructures (29 %) ;
- ✓ les transports (25 %) ;
- ✓ l'électricité et l'électronique (16 %) ;
- ✓ les sports et loisirs (14 %) ;
- ✓ les équipements industriels (11 %)

Source : écoles et ateliers UTSV,
www.ustverre.fr

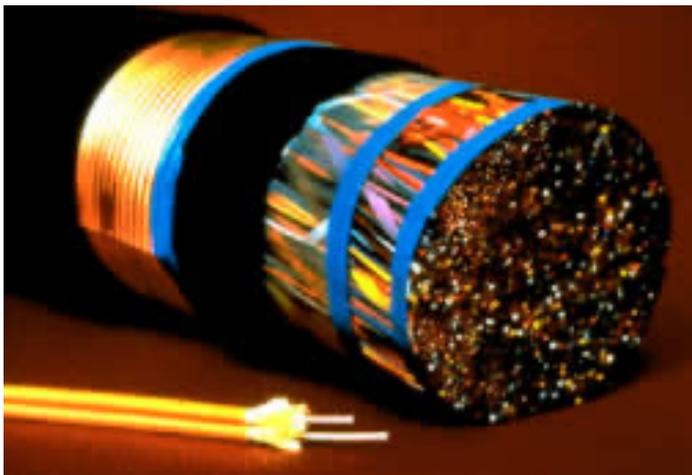
Pale +110m



	Verre de type E	Verre de type C	Verre de type AR
SiO ₂	53-55 %	60-65 %	61 %
Al ₂ O ₃	14-15 %	3, 5- 6 %	/
CaO	17-23 %	14 %	5 %
MgO	1 %	3 %	/
Na ₂ O ₃	0, 8 %	10 %	17 %
B ₂ O ₃	0-8 %	5 %	/
Fe ₂ O ₃	0, 3 %	0, 5 %	0, 3 %
TiO ₂	0, 5 %	/	/
ZrO ₂	/	/	10 %

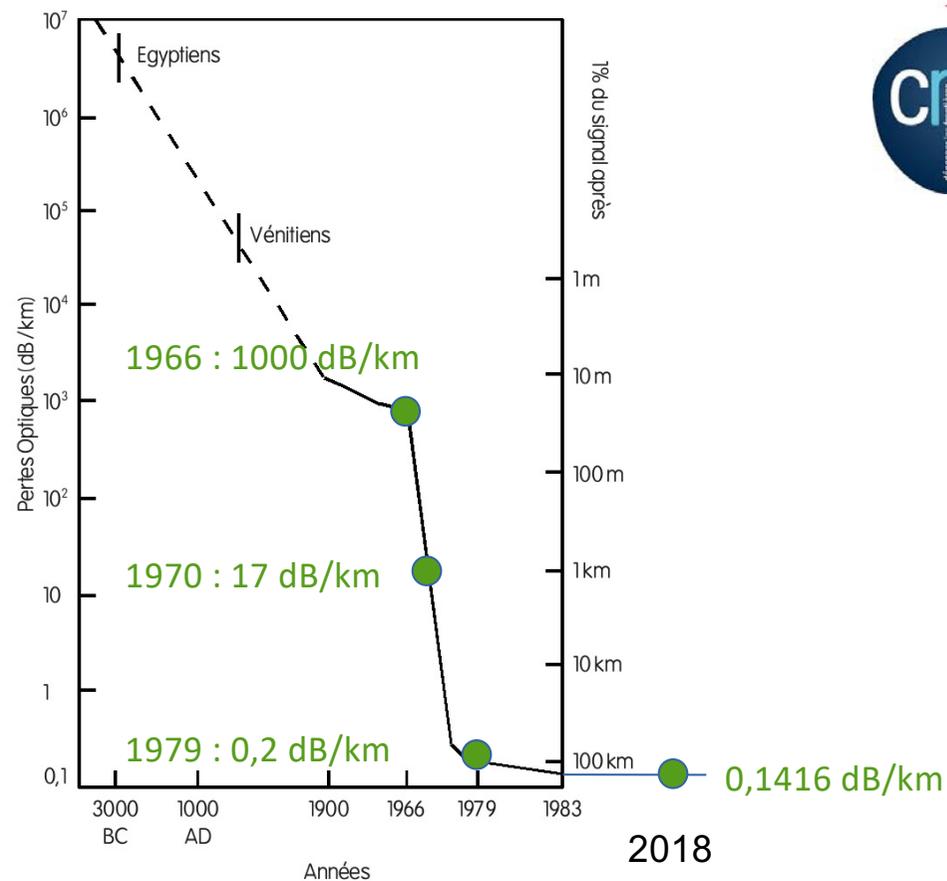
✓ *Le verre : un instrument pour construire demain ?*

La fibre optique : Transport de l'information



Une seule paire de fibre optiques transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.

Source : écoles et ateliers UTSV,
www.ustverre.fr



Source : Wilfried Blanc,
CNRS-Nice



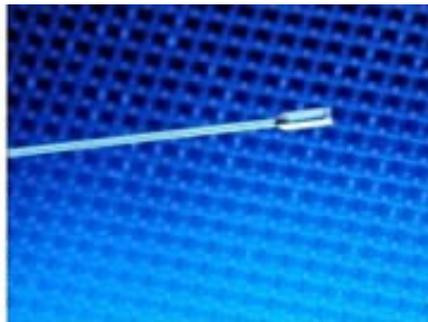
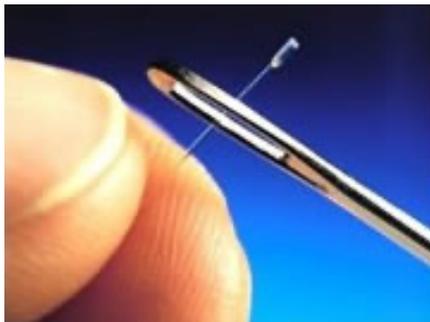
✓ *Un instrument pour construire demain ?*

La fibre optique



La fibre optique sert à transporter la lumière intense d'un laser à l'intérieur du corps humain où elle interagira par effet thermique avec les tissus :

- ✓ pulvériser un calcul rénal,
- ✓ découper une tumeur,
- ✓ réparer une rétine...



Des capteurs : température, pression, gaz

Surveillance : fours, volcans, maisons.....

Quand le verre et la lumière font des étincelles

<https://lejournalcnrs.fr/articles/quand-le-verre-et-la-lumiere-font-des-etincelles>

Source : écoles et ateliers UTSV,
www.ustverre.fr





Des batteries en verre

Batterie en verre pourrait donner aux véhicules électriques une autonomie de 1.600 kilomètres avec une charge de 60 secondes.

Braga et al. (2014) Novel Li3ClO based glasses with superionic properties for lithium batteries J. Mater. Chem. A, 2, 5470

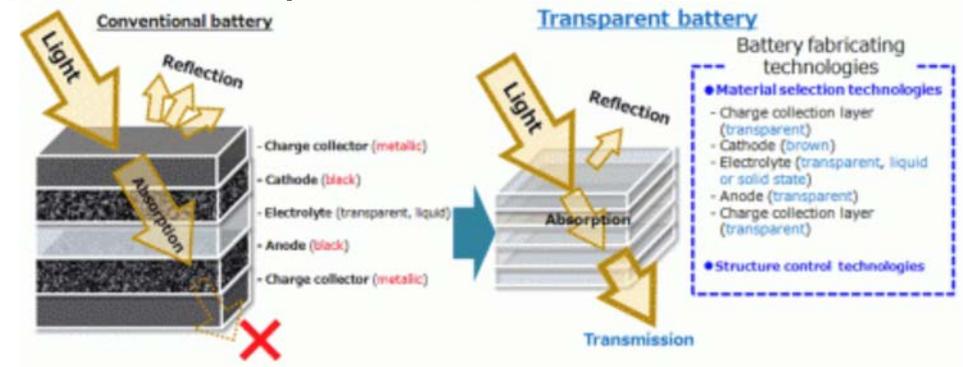
Verre de $Li_{3.2}Ca_{0.005}ClO$

Batterie en verre = des milliers" de cycles de charge et de décharge, contrairement au 1.000 à 2.000 cycles réalisables avec le nickel-manganèse-cobalt typique.

Electrode de batterie en verre résiste à une plage de température beaucoup plus large, entre -20 ° C et 60 ° C.



Hironobu Minowa et son équipe ont développé des batteries transparentes ! NTT®



✓ Le recyclage : un grand défi pour un verre éternel ?



- **80 % des émissions liées à la consommation d'énergie**
 - Gaz naturel (70 %), électricité(20 %), fioul lourd(10 % en baisse)

=> vers plus d'électricité et/ou H₂ ? Rédox? Convection? Affinage?

- **Le recyclage du verre offre un double-bénéfice pour le CO₂**
 - Réduction des consommations d'énergie du four
 - 3 % d'économie d'énergie pour 10 % de calcin en plus
 - Réduction des émissions de process liées à la décarbonation
 - Une tonne de calcin permet d'éviter 500 kg de CO₂

- **20 % des émissions de CO₂ liées aux émissions de "process"**
 - Décarbonation des matières premières : silicate de sodium et de calcium? Gisement? Autres sources?





Changer les matières premières :

- Supprimer le Na_2CO_3 , et CaCO_3 , trouver d'autres sources de Na et Ca ?
- Changer la composition chimique du verre ?
- Modifier la couleur, le procédé ?
- Utiliser directement une lave ?



Bouteille en basalte, Alain Guillot, artiste MOF





Bienvenu dans l'âge du verre



**INTERNATIONAL YEAR OF
GLASS
2022**





Verre : l'art et la matière

Les artistes verriers s'exposent à l'IPGP
à l'occasion de l'année internationale du verre

- Exposition du 10 au 26 novembre 2022
- Conférence publique le 25 novembre 2022
« Le verre : d'hier à demain »

Institut de physique du globe de Paris
1, rue Jussieu 75005 Paris

www.ipgp.fr/ExpoVerre2022
Contact : Daniel Neuville - neuville@ipgp.fr



Le verre : d'hier à demain 25 novembre - IPGP

- 9h00 Accueil
- 9h30 **Terre et Verres** : Yan Lavallée, U. Munich
- 10h00 **Etre verrier au Moyen Age** : Sophie Lagabrielle, Conservatrice du musée de Cluny
- 10h30 **Le verre pour construire demain** : Emmanuelle Gouillard, Directrice Scientifique Saint-Gobain Recherche
- 11h00 pause
- 11h30 **Energie le Verre actif** : Francois Boland, Directeur AGC Europe
- 12h00 **Patrimoine et Création** : Armelle Lalo, Directrice des Collections et Donia Lakhdar, Responsable du Patrimoine culturel groupe Saint-Louis.
- 12h30 repas libre
- 14h00 **Verre chalcogène** : Xiang-Hua Zhang, DR CNRS, ICR, U. Rennes
- 14h30 **Verre et Pharmacie** : Jingwei Zhang, Directeur R&D SGD
- 15h00 **Bioverre pour la réparation et la régénération dentaire et osseuse**, Pierre Weiss, Professeur U. Nantes, INSERM
- 15h30 **Développement une nouvelle génération de fibres pour la communication et la médecine**, Younes Messadek, Professeur, Université de Laval, Quebec
- 15h30 Pause
- 16h30 **Le futur du verre dans l'emballage alimentaire**, Corinne Payen, Directrice R&D Verallia
- 17h00 **L'art du verre** : Olivier Juteau, artiste

