

MESURE DU PHOSPHORE  
DANS LES EAUX NATURELLES :  
CONTAMINATION POTENTIELLE  
PAR LA VERRERIE.

A. AMINOT (1), R. KEROUEL (1), J. ETOUBLEAU (2)

et P. CAMBON (2)

(1) Département DRO/EL (Environnement Littoral)

(2) Département DRO/GM (Géosciences Marines)

F26



IFREMER Centre de BREST  
BP. 70 29280 PLOUZANE  
Tél: 98.22.40.40 - Télex 940627 F

IFREMER-DERO/EL



0EL03646

DRO.EL - 91.01

A800 AM1 M

MESURE DU PHOSPHORE  
DANS LES EAUX NATURELLES :  
CONTAMINATION POTENTIELLE  
PAR LA VERRERIE.

par

A. AMINOT <sup>(1)</sup>, R. KEROUEL <sup>(1)</sup>, J. ETOUBLEAU <sup>(2)</sup>  
et P. CAMBON <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Département DRO/EL (Environnement Littoral)

<sup>(2)</sup> Département DRO/GM (Géosciences Marines)

IFREMER - Centre de Brest  
Service Documentation Publication  
B.P. 70  
29280 PLOUZANE  
Tél : 98.22.40.40  
Télex 940 627

DIRECTION DES RECHERCHES OCEANIQUES  
DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

<b>AUTEUR (S) :</b>  A. AMINOT , R. KEROUEL  J. ETOUBLEAU, P. CAMBON	<b>CODE :</b>  N° DRO.EL-91.01
<b>TITRE :</b>  Mesure du phosphore dans les eaux naturelles : contamination potentielle par la verrerie.	<b>Date :</b> Janvier 1991 <hr/> <b>Nb tirages :</b> 20 <hr/> <b>Nb pages :</b> 12 <b>Nb figures :</b> 0 <b>Nb photos :</b> 0
<b>CONTRAT (intitulé) :</b>  N° _____	<b>DIFFUSION :</b>  libre <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte <input type="checkbox"/> Confidentielle <input type="checkbox"/>

### RESUME :

— Des mesures de phosphore dans plusieurs échantillons de verres de laboratoire ont été réalisées, après digestion fluorhydrique, par colorimétrie phosphomolybdique. On trouve que les verres peuvent contenir de 0,001 à 0,002 % de phosphore. On montre que la verrerie peut contribuer de manière significative à la contamination en phosphore d'échantillons d'eaux naturelles, notamment d'eau de mer, en raison de la dissolution partielle du verre dans l'échantillon, dans certaines conditions de conservation ou de digestion. —

### ABSTRACT :

Phosphorus has been determined in samples of glass from laboratory glassware, using a hydrofluoric digestion followed by colorimetry. Glass from such sources is shown to contain up to 0.001 to 0.002 % of phosphorus. It is shown that glassware may contribute significant phosphorus contamination to natural water samples, particularly seawater, as a result of partial dissolution of glass into the sample during certain storage or digestion conditions.

**Mots-clés :** Phosphore, contamination, verre.

**Key-words :** Phosphorus, contamination, glass.

## SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	2
2. MATERIEL ET METHODES	3
2.1. CHOIX DE LA METHODE	
2.2. MODE OPERATOIRE	
2.3. MESURES DU PHOSPHATE ET DU SILICATE	
3. RESULTATS	6
3.1. CORRECTIONS DE BLANCS	
3.2. SILICATE RESIDUEL	
3.3. CONCENTRATIONS DE PHOSPHORE DANS LES VERRES	
4. DISCUSSION	8
5. CONCLUSION	10
6. BIBLIOGRAPHIE	11

## 1. INTRODUCTION

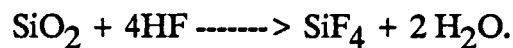
Les flacons de verre ont fréquemment été recommandés, de préférence au plastique, pour la conservation des échantillons d'eau, notamment d'eau de mer, en vue de l'analyse du phosphore sous différentes formes (APHA, 1980 ; Grasshoff, 1983). Certains auteurs ont en effet mentionné la possibilité d'adsorption de phosphate sur les parois en plastique (Murphy et Riley, 1956 ; Heron, 1962 ; Ryden et al. 1972 ; Krawczik et Allen, 1974). Plus récemment toutefois, Koroleff (1983) émet les mêmes réserves vis à vis du verre. Malgré cela, des expériences de conservation d'échantillons marins, en flacons de polypropylène avec préservation au mercure (Kirkwood et Chapman, 1989) et en flacon de verre autoclavés (Aminot et Kerouel, 1991), ont démontré la stabilité des concentrations de phosphate sur des durées de plusieurs mois. Mais cette apparente inertie du matériau vis à vis du phosphate, en conditions de stérilité, ne doit pas faire oublier l'interaction récipient-échantillon par le biais de la solubilité du matériau dans l'eau. Nous nous attacherons plus particulièrement ici au cas du verre dont l'attaque rapide par les eaux naturelles, plus spécialement l'eau de mer, a déjà été démontrée (Mullin et Riley, 1955). Ce problème, à l'époque, avait été soulevé à propos de la mesure du silicate. Il n'en reste pas moins que la présence de traces de phosphore dans le verre pourrait contribuer à un enrichissement indésirable des échantillons par dissolution de la paroi du flacon. Le présent travail vise donc à estimer l'ordre de grandeur du risque de contamination en cas de conservation de longue durée d'échantillons marins destinés à l'analyse du phosphore. Pour cela plusieurs échantillons de verre ont été analysés pour déterminer leur contenu en phosphore. Puis, en fonction d'hypothèses de dissolution plausibles du verre, les contaminations potentielles ont pu être évaluées.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. CHOIX DE LA METHODE

Une méthode physique ne nécessitant pas la mise en solution des verres aurait constitué une solution idéale. Toutefois, celle dont nous disposions, la fluorescence X, aurait été insuffisamment sensible compte tenu des faibles teneurs présumées de phosphore dans les verres. Aussi avons-nous choisi un procédé de dissolution acide suivi d'un dosage colorimétrique phosphomolybdique. Nous n'avons pas retenu la fusion alcaline car le silicate résultant risquait, compte tenu de sa forte concentration, d'interférer dans la réaction.

Nous avons donc utilisé la digestion fluorhydrique à chaud de l'échantillon et l'évaporation, ceci conduisant à la volatisation totale de la silice selon :



La reprise du résidu sec en milieu acide permettait alors la détermination colorimétrique.

### 2.2. MODE OPERATOIRE

Les acides concentrés commerciaux suivants ont été utilisés : acide fluorhydrique Merck 334, acide perchlorique Merck 519, acide chlorhydrique Merck 317.

La digestion est réalisée sous hotte aspirante en prenant les précautions d'usage (lunettes, gants...)

Un gramme de verre finement broyé est pesé précisément dans un bécher de téflon. Après quelques gouttes d'eau déminéralisée Milli-Q, 20 ml d'acide fluorhydrique sont ajoutés et le bécher est coiffé d'un verre de montre en téflon. La digestion s'effectue au bain de sable à 70-80 °C durant une nuit. Après évaporation à sec, la procédure est répétée une autre fois afin d'assurer l'élimination totale de la silice. Le résidu est repris par 10 ml d'acide perchlorique et évaporé à sec (120-130 °C) jusqu'à disparition visuelle des fumées blanches.

Finally, the residue is dissolved by several fractions of hydrochloric acid 1 mol/l collected and adjusted to 50 ml in a graduated flask.

Blank assays were carried out according to an identical protocol but without a hydrofluoric digestion.

Three glass flasks were analyzed according to this procedure :

- a borosilicate Pyrex, Sovirel (glass P),
- a ordinary glass (glass V) having been used for the autoclaved samples of the CIEM 1989 comparison of nutritive salts (Aminot and Kerouel, 1991),
- a ordinary glass (glass W) having been used for the samples of deep sea water of the same comparison (Kirkwood et al., 1991).

The control was carried out on two samples of each glass (soient  $P_1, P_2$ , etc.) as well as on two blanks ( $B_1$  et  $B_2$ ). For the analysis of phosphate in the final acid solution, it was necessary to dilute this solution. Dilutions to the tenth (soient  $P_{11}, P_{21}, V_{11}, V_{21}$ , etc.) and to the twentieth (soient  $V_{12}, V_{22}$ , etc) were carried out.

Because of the small quantities of phosphorus involved during the experiments, all useful precautions were taken to ensure the cleanliness of the material, and to avoid contamination by contact during manipulation (Kerouel and Aminot, 1987). The flasks intended for analysis were cleaned in a machine : after washing with a detergent without phosphate, they were rinsed in an acidic medium (HCl) twice with distilled water. Before being broken and ground, the flasks were again rinsed internally and externally with Milli-Q deionized water. Disposable gloves were worn for all these manipulations. The grinding material was washed with hot water, rinsed with Milli-Q water then with acetone and dried in a desiccator. The first grinding is used to "rinse" the grinder. Only the powder from the second grinding is analyzed.

The material in teflon is pre-emptively soaked in diluted hydrofluoric acid, rinsed several times with Milli-Q water and dried in an oven.

### **2.3. MESURES DE PHOSPHATE ET DE SILICATE.**

Phosphate and silicate were measured with an Autoanalyzer II Technicon, according to the methods described by Tréguer and Le Corre (1975). The only modification, concerning phosphate, consists in a reduction of the reagent flow rate (0,8 to 0,42 ml/min) in order to conform better to the conditions given by Murphy and Riley (1962).



L'analyse directe de la solution d'acide chlorhydrique 1 mol/l, produit final du mode opératoire, conduisant à des conditions réactionnelles incorrectes, des dilutions au dixième et au vingtième pour le phosphate et au huitième pour le silicate ont été effectuées. De plus, chaque mesure a fait l'objet d'un étalonnage interne.

Les concentrations en phosphate dans les acides chlorhydrique 1 mol/l et perchlorique concentré ont été trouvées inférieures respectivement à 0,1  $\mu\text{mol/l}$  et à 0,5  $\mu\text{mol/l}$ , en conformité avec les spécifications du fabricant.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. CORRECTIONS DE BLANC.

Les analyses des solutions finales d'acide chlorhydrique 1 mol/l (tableau 1) révèlent, dans les blancs, des concentrations de phosphate de l'ordre de 1,5  $\mu\text{mol/l}$ , donc non négligeables comparées à celles provenant des verres ( 2 à 20  $\mu\text{mol/l}$ ).

La contribution des acides chlorhydrique et perchlorique ( $\leq 0,2 \mu\text{mol/l}$ ) étant très faible, l'essentiel provient donc de l'acide fluorhydrique. Cet acide contiendrait donc  $\approx 3,3 \mu\text{mol/l}$  de phosphate, ce qui est conforme aux spécifications de fabrication ( $\leq 6 \mu\text{mol/l}$ ). Les blancs des réactifs ayant été réalisés avec une dose d'acide fluorhydrique, tandis que les verres en ont reçu deux, la correction de blanc en solution d'acide chlorhydrique 1 mol/l a été évaluée à  $2,5 \pm 0,7 \mu\text{mol/l}$ . Tenant compte de la variabilité des résultats, l'incertitude sur le blanc sera négligée.

Une correction supplémentaire pourrait provenir d'une éventuelle contamination de surface des poudres de verre. Un contrôle, permettant d'en obtenir une valeur majorée, a été effectué en mettant les poudres en suspension dans de l'eau déminéralisée et de l'eau de mer. Les "désorptions" mesurées après une demi-heure, et contrôlées après 6 heures, représentent moins de 0,17  $\mu\text{mol/l}$  dans la solution finale d'acide chlorhydrique 1 mol/l. Ces valeurs seront considérées comme négligeables.

#### 3.2. SILICATE RESIDUEL

Les mesures indiquent dans tous les cas des concentrations de silicate inférieures ou égales à 1,3  $\mu\text{mol/l}$  dans l'acide chlorhydrique 1 mol/l. Aucune interférence dans l'analyse du phosphate n'est donc à redouter.

#### 3.3. CONCENTRATIONS DE PHOSPHORE DANS LE VERRE

Les mesures brutes de phosphate sont corrigées du taux de dilution, du rendement et du blanc pour obtenir les concentrations nettes provenant du verre dans les solutions finales d'acide chlorhydrique 1 mol/l (tableau 1). Les concentrations dans les verres (tableau 2) sont calculées comme suit :

$$P (\mu\text{mol/g}) = \frac{C \times 0,05}{m}$$

avec C : concentration nette ( $\mu\text{mol/l}$ ) dans la solution finale d'acide chlorhydrique 1 mol/l.

m : masse de verre attaquée ( 1 gramme)

0,05 : volume de solution finale (litre)

**TABLEAU 1**

Résultats des mesures de phosphate ( $\mu\text{mol/l}$ ) dans les solutions d'acide chlorhydrique résultant de la digestion des verres.

Essai	Solutions diluées (HCl 0,1 et 0,05 mol/l)			Solution finale (HCl 1 mol/l)	
	Molarité	PO <sub>4</sub>	Rendement* (%)	PO <sub>4</sub> brut	PO <sub>4</sub> net**
Blancs					
B 11	0,1	0,10	100	1,0	-
B 21	0,1	0,17	99	1,7	-
Pyrex					
P 11	0,1	0,21	97	2,2	0,0
P 21	0,1	0,36	99	3,6	1,1
Verres ordinaires					
V 11	0,1	0,77	94	8,2	5,7
V 12	0,05	0,39	94	8,3	5,8
V 21	0,1	0,84	97	8,7	6,2
V 22	0,05	0,41	97	8,5	6,0
W 11	0,1	1,06	84	12,6	10,1
W 12	0,05	0,62	89	13,9	11,4
W 21	0,1	1,51	89	17,0	14,5
W 22	0,05	0,88	91	19,3	16,8

\* Pour un étalon interne à 1  $\mu\text{mol/l}$  de phosphate.

\*\* apport net du verre après soustraction du blanc (voir § 3.1.)

**TABLEAU 2**

Concentrations de phosphore dans le verre

Type de verre	Concentration en Phosphore	
	$\mu\text{mol/g}$	%
Borosilicaté (P)	< 0,09	< 0,0003
Ordinaire (V)	0,30 $\pm$ 0,05*	$\approx$ 0,0009
Ordinaire (W)	0,66 $\pm$ 0,24*	$\approx$ 0,002

\*.y compris l'incertitude sur le blanc.

## 4. DISCUSSION

Le procédé d'attaque choisi nous a permis de mettre en évidence la présence de faibles concentrations de phosphore dans les trois verres analysés. Malgré quelques incertitudes inhérentes à la relative complexité du mode opératoire, la précision obtenue peut être considérée comme satisfaisante compte tenu du but recherché.

A partir des concentrations ainsi déterminées il est aisé de prévoir la contamination potentielle pouvant résulter d'une dissolution de verre dans un échantillon. Ainsi, l'accroissement de la concentration en silicate dissous nous permet d'évaluer l'enrichissement correspondant en phosphate (tableau 3).

On constate notamment que les verres ordinaires sont susceptibles de provoquer un accroissement mesurable de phosphore dans des échantillons d'eau, pour une dissolution de quelques centaines de micromoles par litre de silicate. De telles augmentations (jusqu'à plus de 500  $\mu\text{mol/l}$ ) ont pu être mises en évidence pour des durées de conservation de l'ordre de l'année (Kirkwood, et al. 1991). Dans ce cas précis, l'augmentation de phosphate n'avait pas d'incidence sur les résultats car il ne s'agissait que d'une intercomparaison dans laquelle les concentrations de silicate dissous étaient très similaires d'un échantillon à l'autre, au moment de l'analyse.

Outre les problèmes liés à la conservation sur de longues périodes, il y a lieu de se préoccuper de la dissolution du verre lors de la mesure du phosphore total réalisé par attaque au persulfate à chaud en milieu basique ou acide (Koroleff, 1983).

On doit en effet, s'assurer que le blanc tient réellement compte de l'apport de phosphore provenant du flacon. Même si cela est, l'utilisation de verres de diverses origines ou de lots différents pourrait engendrer une variabilité supplémentaire et incontrôlée des résultats.

**TABLEAU 3**

Détermination de la contamination en phosphate d'un échantillon d'eau en fonction de la quantité de verre dissoute

Silice dissoute		Verre dissous *		Phosphate dissous		
		mg/l		$\mu\text{mol/l}$		
$\mu\text{mol/l}$ Si	mg/l $\text{SiO}_2$	Type P	Types V et W	Type P	Type V	type W
250	15	19	21	<0,002	0,006	0,014
500	30	38	43	<0,003	0,013	0,028
1000	60	75	86	<0,007	0,026	0,057

\* P : 80 % de  $\text{SiO}_2$  ; V et W : 70 % de  $\text{SiO}_2$  (cf Annexe)

## 5. CONCLUSION

Le phosphore, bien qu'en très faibles teneurs dans les verres (environ 0,001 %) peut se libérer lors de la dissolution de la matrice siliceuse à différentes étapes de l'analyse d'échantillons d'eaux naturelles. Cette dissolution peut en effet se produire lors du stockage prolongé de certaines eaux, notamment marines, dans des flacons de verre, ou encore lors des attaques chimiques destinées à la détermination des concentrations en phosphore total. Les concentrations libérées par la dissolution en eaux de mer, quelques centièmes de micromoles par litres, ne peuvent pas être négligées comparées aux concentrations typiques naturelles (0,05 à 0,5  $\mu\text{mol/l}$ ), notamment en milieu oligotrophes.

L'étude entreprise, bien que limitée, fait ressortir que le verre borosilicaté Pyrex est sensiblement plus pauvre en phosphore que les verres ordinaires. Présentant également une vitesse de dissolution plus faible que les verres courants (Mullin et Riley, 1955), le verre borosilicaté semble préférable, en cas de risque identifié vis à vis des problèmes évoqués. D'une manière générale, il est conseillé d'être vigilant quant au choix du matériel et des conditions opératoires pour les études du phosphore en milieu naturel.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

AMINOT, A. et KEROUEL, R., 1991. Preparation of samples T, Vand P and control of homogeneity and stability, p. A4.2 - A4.12, in Kirkwood D., Aminot A. et Perttila M.: ICES (fourth) intercomparison exercise for nutrients in sea water, ICES Cooperative Research Report (sous presse).

APHA-AWWA-WPCF, 1980. Standard methods for the examination of water and waste-water. 15e ed. Amer. Publ. Health Assoc. (ed.), Washington DC, 1134 p.

GRASSHOFF, K., 1983. Filtration and storage, p. 21-30, in Method of sea water analysis, 2<sup>e</sup> ed, Grasshoff K., Ehrhardt M. et Kremling K. (eds), Verlag-Chemie.

HERON, J., 1962. Determination of phosphate in water after storage in polyethylene. Limnol. Oceanogr. 7, 316-321.

KEROUEL, R. et AMINOT, A., Procédure optimisée hors-contaminations pour l'analyse des éléments nutritifs dissous dans l'eau de mer. Mar. Environ Res. 22, 19-32.

KIRKWOOD, D.S. et CHAPMAN, R.J., 1989. Nutrient analyses during and subsequent to IYFS 1989. ICES, C.M. 1989/C : 30.

KIRKWOOD, D.S., AMINOT, A. et PERTTILA, M., 1991. ICES (fourth) intercomparison exercise for nutrients in sea water. ICES Cooperative Research Report, 29 p + annexes (sous presse).

KOROLEFF, F., 1983. Determination of phosphorus, p. 125-139, in Method of sea water analysis, 2<sup>e</sup> ed, Grasshoff K., Ehrhardt M. et Kremling K. (eds), Verlag-Chemie.

KRAWCZYK, D.F. et ALLEN, M.W., 1974. Adsorption of orthophosphate on borosilicate and "citrate of magnesia bottles" polyethylene and polyvinyl surfaces in a distilled water and seawater matrix, p. 180-193, in Proceedings of Seminar on Methodology for Monitoring the Marine Environment. Seattle, Washington, October 1973. Environmental monitoring series EPA-600/4-74-004.

MULLIN, J. B. et RILEY, J.P., 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim. Acta 12, 162-170.

MURPHY, J., et RILEY, J.P., 1956. The storage of sea-water samples for the determination of dissolved inorganic phosphate. *Anal. Chim. Acta* 14, 318-319.

MURPHY, J. et RILEY, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27,31-36.

RYDEN, J.C., SYERS, J. K., and HARRIS, R. F., 1972. Sorption of Inorganic Phosphates by Laboratory ware. Implications in Environmental Phosphorus Techniques. *Analyst* 97, 903-908.

TREGUER, P. et LE CORRE, P., 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. LOC-UBO, Avenue le Gorgeu, 29289 Brest Cedex, France.



# **ANNEXE**

## **Composition des verres**

# EXTRAITS DES CATALOGUES DE FOURNISSEURS :

## POLYLABO

## PROLABO

### LES VERRES DE LABORATOIRES

Dans les grandes lignes, il existe 3 sortes de verre :

- verre borosilicaté
- verre sodocalcique
- verre alumino-silicaté

Les différentes caractéristiques qui permettent de les comparer sont essentiellement leur composition chimique, leurs propriétés physiques, leurs propriétés thermoplastiques, leurs propriétés thermiques, chimiques, électriques.

La composition chimique est la suivante pour les trois grandes catégories :

#### Verre borosilicaté

Silice	80 %	Oxyde ferrique	0,05%
Anhydride borique	13 %	Soude	3,50%
Alumine	2,25%	Potasse	1,15%

La composition ci-dessus est celle du verre Pyrex réf. S 732.01 telle qu'elle est indiquée par SOVIREL.

#### Verre alumino-silicaté

Silice	66%
Alumine	20%
Na2O	9% mais répartis surtout en surface

Et enfin, quelques autres éléments en très faibles quantités : F, Cl, SO<sub>4</sub>, Al et Sb entre 0,05 et 0,5%.

La composition du verre sodocalcique n'est donnée actuellement par aucun de nos correspondants. Essentiellement, ce verre contient de la soude et du calcium en quantités sensiblement plus importantes, tandis que l'Anhydride borique y fait défaut.

Chaque fabricant possède des formules qui lui sont propres et il est impossible d'établir un tableau de comparaison des différents types de verre. Il est cependant possible de comparer les verres sur la base de certaines normes dont les éléments sont indiqués par les fabricants. Ce sont essentiellement :

- **Les propriétés chimiques**, se résumant en 3 classes (3 normes AFNOR ou DIN)
  - classe hydrolytique : attaque à l'eau, déterminée par la perte de 0,009 mg Na<sup>2</sup>O/g (NF B 35 601 : DIN 12 111)
  - attaque alcaline : résistance aux bases (NF B 35 602-DIN 52322)
  - attaque acide : (DIN 12 116)
- **Les propriétés physiques** : on comparera la masse volumique (poids en g/cm<sup>3</sup>), l'élasticité (en hectobar), la dureté (méthode du jet de sable), résistance à la compression, résistance à la traction.
- **Les propriétés thermoplastiques** : il s'agit des différentes propriétés variant avec la température (température de contrainte, de recuit, de ramollissement, de travail).
- **Les propriétés thermiques** : ce sont les chaleurs massiques et la conductibilité thermique.
- **Les propriétés électriques** : il s'agit de la conductivité interne et de la conductivité superficielle.

#### Utilisation

- Les verres borosilicatés et verre Pyrex sont des verres dont le faible coefficient de dilatation leur permet de résister aux divers modes de chauffage sans risque de casse. Leur composition chimique en fait en quelque sorte des verres tamponnés qui ne présentent pas la même réaction acide que les verres sodocalciques. C'est pourquoi, ils seront employés en culture de tissus et intéressent en particulier les biologistes.
- Les verres sodocalciques sont davantage destinés à la chimie. Ils résistent particulièrement bien aux acides et aux bases.

Il faut ajouter les verres chimiquement renforcés tels que le COREX dont la résistance mécanique est 6 fois supérieure à celle des autres verres borosilicatés. Les pipettes COREX ne cassent pas à la chute ; les tubes à centrifuger COREX supportent jusqu'à 40 000 g.

### Verres

On emploie au laboratoire une grande variété de verres. Ce verre est fait d'un mélange de sable silicieux fondu vers 1 300-1 400 °C avec de la soude, de la potasse, de la chaux, de l'oxyde de bore et d'autres oxydes métalliques. C'est un matériau amorphe et transparent à la lumière, dur, imperméable aux gaz et aux liquides. Sa tenue est bonne envers la plupart des réactifs ; il est attaqué par l'acide fluorhydrique et par les produits très alcalins de pH supérieur à 10. Sa température d'emploi va jusqu'à 400 à 500 °C selon les variétés. Peu conducteur de la chaleur, il est utilisé au laboratoire sous la forme d'objets aux parois minces, qui supportent les variations brutales de température avec un risque moindre de casse.

#### • Verres borosilicatés à faible coefficient de dilatation

Ils contiennent 80 % de silice, 13 % d'oxyde de bore, 4 % de soude. Leur coefficient de dilatation est de  $32 \times 10^{-7}$ . Ce sont des verres durs, peu mouillables, se travaillant au chalumeau à oxygène. Leur emploi à chaud se fait normalement jusqu'à 400 °C ou à la limite jusqu'à 500 °C en prenant des précautions. Résistant aux chocs thermiques mieux que les autres verres, ils sont utilisés de préférence dans la construction d'appareils destinés à être chauffés.

#### • Verre borosilicaté SBW

Ce verre allie les principales qualités des verres borosilicatés et des verres sodo-calciques : coefficient de dilatation de  $65 \times 10^{-7}$  ; plus mouillable et plus facile à travailler que les verres borosilicatés classiques.

#### • Verre de chimie

C'est un verre sodo-calcique contenant 74 % de silice, 16 % de soude et 9 % de chaux et de magnésie. Il fond à plus basse température que les verres borosilicatés, et se travaille au chalumeau à air comprimé. Il s'utilise à chaud jusque'à 350 °C. Son coefficient de dilatation est de  $97 \times 10^{-7}$ . C'est un verre qui se mouille bien par les liquides, et donne des ménisques nets et bien définis. On le préfère souvent pour réaliser des instruments de volumétrie de haute précision.

#### • Verres à thermomètres

Ce sont des verres qui ont été sélectionnés pour avoir un résidu de dilatation très faible, pour que le phénomène de « dépression du zéro » soit réduit autant que possible. On utilise ainsi dans la construction des thermomètres de précision des verres spéciaux, différents de ceux qui servent à faire les autres appareils de laboratoire :

Verre Iéna N16B	
Température d'emploi maximale en °C	400
Coefficient de dilatation linéaire par °C	$87 \times 10^{-7}$

Verre 2954 III	
Température d'emploi maximale en °C	500
Coefficient de dilatation linéaire par °C	$62 \times 10^{-7}$

Suprémamax	
Température d'emploi maximale en °C	620
Coefficient de dilatation linéaire par °C	$41 \times 10^{-7}$

#### • Verre renforcé par traitement chimique

Le verre « COREX » est un verre de CORNING qui est traité chimiquement pour que sa résistance mécanique soit augmentée. Il est six fois plus solide que les verres borosilicatés usuels. Une pipette « COREX » tombe sur le sol cimenté sans se casser, et peut être enfoncée au maillet dans une planche. Les tubes à centrifuger « COREX » supportent des accélérations très élevées, jusqu'à 40 000 g.