

Étude de la solubilisation différentielle du quartz pur en laboratoire

Guy CLAISSE

SSC de l'ORSTOM, 70, 74, route d'Aulnay, 93140 BONDY

RÉSUMÉ

La solubilisation du quartz est étudiée en fonction de la granulométrie (12 classes de 2 mm à 2 μ), de la température (4 températures) et de la durée de la solubilisation (5 durées). Le quartz est tiré de filons de quartz pur.

La liqueur solubilisante est une solution de soude N/10 choisie expérimentalement.

Les résultats mis en courbes sont facilement exploités en fonction de chaque facteur pris en référence à tour de rôle.

C'est ainsi

— qu'on fait ressortir une granulométrie critique de 40 μ ; pour une granulométrie inférieure, il y a accélération de la solubilisation ;

— qu'on remarque une température seuil de l'accélération de la solubilisation se situant autour de 16-18 °C ;

— qu'on peut calculer le temps total de solubilisation évalué à 40 000 ans, pour des dimensions granulométriques comprises entre 2 mm et 2 μ .

ABSTRACT

Quartz solubilization was studied in relation to its granulometry (12 classes from 2 μ to 2 mm), temperature (4 temperatures) and solubilization duration (5 durations). The quartz was extracted from pure quartz veins.

The quartz was dissolved in 0,1 N sodium hydroxide, which was chosen experimentally.

Solubility curves show the role of each factor.

The following conclusions were drawn : Critical granulometry is 40 μ . There is an acceleration of solubilization for a lesser value. The temperature threshold of solubilization acceleration is about 16-18 °C. The total time of solubilization, evaluated at 40.000 years, can be calculated for granulometric dimensions between 2 μ and 2 mm.

PLAN

1. INTRODUCTION
2. LES DONNÉES
 21. Le matériel
 22. La liqueur de solubilisation
 23. Les températures
 24. Les durées
3. ÉTUDE DES EXTRÊMES
4. ÉTUDE DE LA SOLUBILISATION EN FONCTION DES CLASSES GRANULOMÉTRIQUES
 41. Les durées
 42. Les températures
5. ÉTUDE DE LA SOLUBILISATION EN FONCTION DES TEMPÉRATURES ET DES DURÉES
 51. En fonction des températures
 52. En fonction des durées
6. CONCLUSIONS GÉNÉRALES
 61. La durée de solubilisation
 62. Les températures
 63. L'échelle granulométrique

1. INTRODUCTION

Une étude méthodologique sur l'analyse aux trois acides, méthode employée dans divers laboratoires d'étude des sols, a montré que le quartz pur pouvait subir une solubilisation non négligeable en suivant le protocole analytique employé : attaque aux trois acides suivie d'un lavage à la soude concentrée à 2 % et à 80 °C de température (Claisse, 1968).

Une étude sur la solubilisation du quartz altéré tiré d'un profil ferrallitique a montré, d'une part une solubilisation importante du quartz à l'attaque aux trois acides et, d'autre part, que dans la nature le quartz s'altérait en passant par une phase silice amorphe due à la désorganisation du système cristallin. La silice pouvait être reprise alors dans d'autres combinaisons (Claisse, 1972).

Le but de ce travail est d'étudier la solubilisation du quartz dans des conditions de laboratoire connues ayant cependant des rapports avec les conditions naturelles.

Un certain nombre de données sont donc en présence.

2. LES DONNÉES

2.1. Le matériel

On utilise du quartz pur tiré de filons de quartzites et non pas un quartz quelconque. Le quartz des quartzites est très homogène. Dans des expérimentations précédentes, elles n'ont pas livré, à l'analyse, de silice amorphe. Des expériences analogues faites avec du quartz tiré des grès de Fontainebleau ont donné une certaine quantité de silice amorphe. En effet, des silicifications dans les conditions normales climatiques de surface, peuvent donner des produits divers selon le milieu où se produit le phénomène. La silicification peut, soit nourrir des quartz parfaitement cristallins en milieu drainé et à partir d'une solution pure et à faible teneur en silice, soit produire une infinité de grains de quartz microcristallin à partir d'une solution riche en silice, par suite de la multitude des germes cristallins, soit enfin produire en milieu non drainé et à partir d'une solution complexe des amas microfibreux de quartz et d'opale, architecture mixte d'éléments de dimension angströmique dissociée par de nombreuses molécules d'eau

et d'autres impuretés. On est alors à la limite de la cristallinité (Millot, 1964).

Les grès peuvent présenter des grains de quartz plus ou moins corrodés enrobés de ciment siliceux constitué en partie d'opale.

Le matériel quartzique choisi pour l'expérimentation, est lavé, broyé, pour être distribué après tamisage ou sédimentation, en un certain nombre de classes de granulométrie précise.

12 - de 2 à 1 mm	6 - de 32 à 20 μ
11 - de 1 à 0,5 mm	5 - de 20 à 12,5 μ
10 - de 0,5 à 0,2 mm	4 - de 12,5 à 7,9 μ
9 - de 0,2 à 0,1 mm	3 - de 7,9 à 5 μ
8 - de 100 à 50 μ	2 - de 5 à 3,2 μ
7 - de 50 à 32 μ	1 - de 3,2 à 2 μ
	(a) - de 2 à 1,25 μ

Les expériences de solubilisation se poursuivent sur ces classes granulométriques qui présentent, dans les fines dimensions (inférieures à 50 μ) l'avantage d'être assez nombreuses, d'être entre elles en rapport logarithmique tel que les différentes dimensions sont représentées par un segment de même longueur dans un graphique.

2.2. La liqueur de solubilisation

La solubilisation de soude employée couramment dans l'attaque aux trois acides est à 2 %. Cependant, il était intéressant de tester l'influence de la concentration sur la solubilisation du quartz avant d'en choisir une pour l'expérimentation. On a étudié le comportement d'une gamme granulométrique, à la température de 36 °C, pendant une semaine, avec des concentrations différentes de soude.

1. Concentration à 2 % ou 20 g/l ou NaOH N/2.
2. Concentration à 1 % ou 10 g/l ou NaOH N/4.
3. Concentration à 0,5 % ou 5 g/l ou NaOH N/8.
4. Concentration à 0,25 % ou 2,5 g/l ou NaOH N/16.
5. Concentration à 0,125 % ou 1,25 g/l ou NaOH N/32.

Le tableau I donne l'ensemble des résultats de la solubilisation aux différentes concentrations pour la gamme granulométrique.

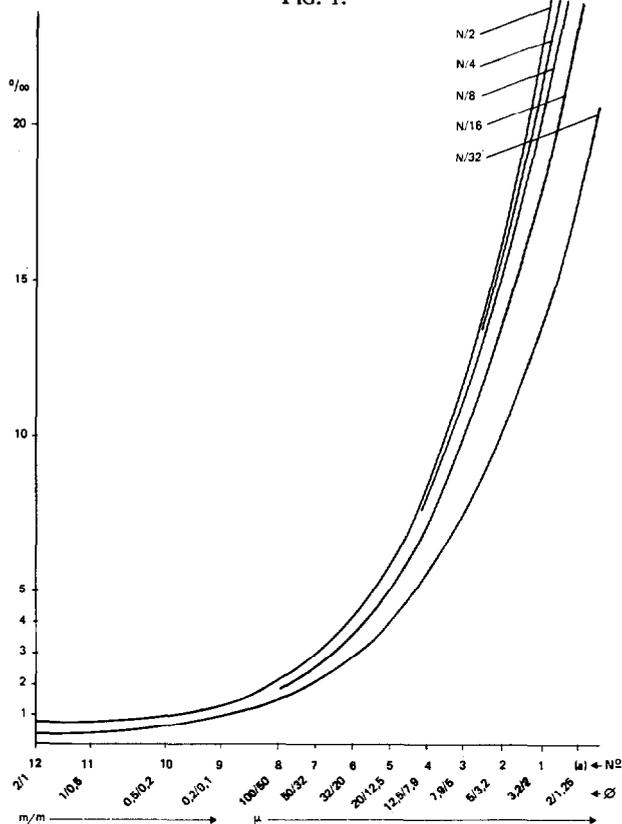
La figure 1 donne la courbe de variation de la solubilisation avec les différentes concentrations pour la gamme granulométrique.

TABLEAU I

Solubilisation du quartz pur en fonction de la dimension des grains et de la concentration en soude à une température de 36° pendant une semaine

	diamètre	Concentration de la liqueur de soude				
		20 g/l = 2% N/2	10g/l = 1 % N/4	5g/l = 0,5% N/8	2,5g/l = 0,25% N/16	1,2g/l = 0,2 % N/32
12	2/1 mm	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3
11	1/05 "	0,8	0,7	0,7	0,6	0,4
10	05/02 "	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6
9	02/01 "	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
8	100/50 μ	1,9	1,7	1,7	1,6	1,6
7	50/32 "	3,1	3	2,8	2,5	2,2
6	32/20 "	4,2	4,1	3,5	3,2	2,8
5	20/12,5 μ	5,5	5,4	5,1	4,5	3,9
4	12,5/7,9 μ	8,4	8,2	7,9	7	6
3	7,9/5 "	12,3	12	11,2	9,8	7,7
2	5/3,2 "	16,2	16,2	15,4	13,5	10
1	3,2/2 "	22,4	21,5	20,2	18	12
(a)	2/1,25 "	34	33,7	30,8	27	21,5

FIG. 1.



La figure 2 donne la courbe de variations de la solubilisation en fonction des concentrations de la liqueur de soude pour chaque classe granulométrique inférieure à 50 μ.

On remarque :

Figure 1 : l'individualisation d'un faisceau de 4 courbes se rapportant aux concentrations N/2 N/4 N/8 N/16, et une courbe isolée correspondant à N/32 nettement détachée ;

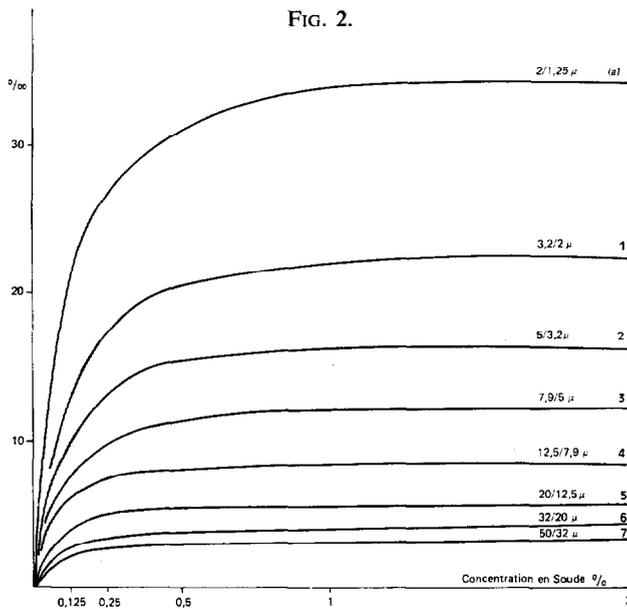
Figure 2 : un ensemble de courbes subhorizontales pour la concentration N/2 (2 ‰), N/4 (1 ‰), N/8 (0,5 ‰) avec inflexion commençant pour N/16 et s'accroissant fortement.

Le choix s'est donc porté sur une liqueur de soude décinormale qui se place au niveau inférieur de la solubilisation forte, c'est une liqueur peu concentrée ayant cependant des résultats bien marqués.

2.3. La température

4 températures ont été adoptées : 6, 12, 24 et 36 °C. Elles sont un multiple de la première

FIG. 2.



température $\times 2$, $\times 4$, $\times 6$ et elles sont entre elles comme la progression 1-1-2-2.

Elles sont aussi en corrélation avec des facteurs climatiques. En effet :

6 °C peut correspondre à la température moyenne d'un climat froid ;

12 °C à un pays à climat tempéré ;

24 °C à un pays à climat équatorial ;

36 °C à une température de laboratoire pouvant représenter des maxima climatiques.

2.4. Les durées

Cinq durées ont été choisies : 1/4 de semaine, 1/2 semaine, 1 semaine, 2 semaines et 4 semaines. L'ensemble représente une étendue d'observation dans le temps, assez longue.

Les résultats sont présentés sous plusieurs volets qui mettent en valeur les facteurs d'altération les uns après les autres en fonction de la granulométrie.

On peut étudier ainsi la solubilisation du quartz selon les 4 températures pendant les durées différentes de temps, et la solubilisation du quartz selon les 5 durées de temps pour les 4 températures successives.

3. ÉTUDE DES VALEURS MAXIMALES ET MINIMALES (tabl. II et fig. 3)

On a donc étudié les séries granulométriques suivant les normes choisies. On obtient des séquences de résultats qui se traduisent facilement en courbes. Ces courbes se groupent toutes en un paquet dont les deux courbes extérieures forment l'enveloppe. La surface ainsi délimitée est la surface de variation des résultats en fonction de l'ensemble des facteurs d'expérimentation. On obtient ainsi les limites inférieures et supérieures de la solubilisation dans la totalité des conditions expérimentées. Ces deux limites sont les suivantes :

- durée 4 semaines : température 36 °C,
- durée 1/4 de semaine : température 6 °C.

TABLEAU II

Solubilisation en fonction des valeurs maximales et minimales Quartz pur

	Diamètre	6° 1/4 semaine	36° 4 semaines	R. 36/6
12	2/1 mm	0,5	1,5	3
11	1/05 "	0,5	1,6	3,2
10	05/02 "	0,6	1,7	2,8
9	02/01 "	0,7	2	2,8
8	100/50 μ	0,9	2,8	3,1
7	50/32 "	1,1	3,6	3,2
6	32/20 "	1,3	5,1	3,9
5	20/12,5 "	1,7	6,9	4
4	12,5/7,9 "	2	10,5	5,2
3	7,9/5 "	2,7	15,5	5,7
2	5/3,2 "	3,5	21,9	6,1
1	3,2/2 "	4,5	31,8	7,1

Les deux courbes qui limitent la surface présentent les pourcentages de solubilisation extrême du quartz. On y relève en particulier certaines caractéristiques :

- différence de solubilité à 2 mm : 1 %.
- différence de solubilité à 2 μ : 27,3 %.
- rapport de solubilité à 2 mm : 3
- rapport de solubilité à 2 μ : 7

Elles présentent également des points granulométriques particuliers :

— *Le point 0,2 mm* — Il correspond à une variation de la solubilisation presque nulle, alors que pour des granulométries plus faibles, la solubilisation croît d'autant plus rapidement que la durée est plus longue et que la température est plus élevée.

— *Le point 40 μ* — C'est le point moyen de doublement de la solubilisation. Tous les points de doublement lui sont égaux ou proches. Pour une granulométrie plus faible, il y a dissociation des points de quadruplement, d'octuplement.

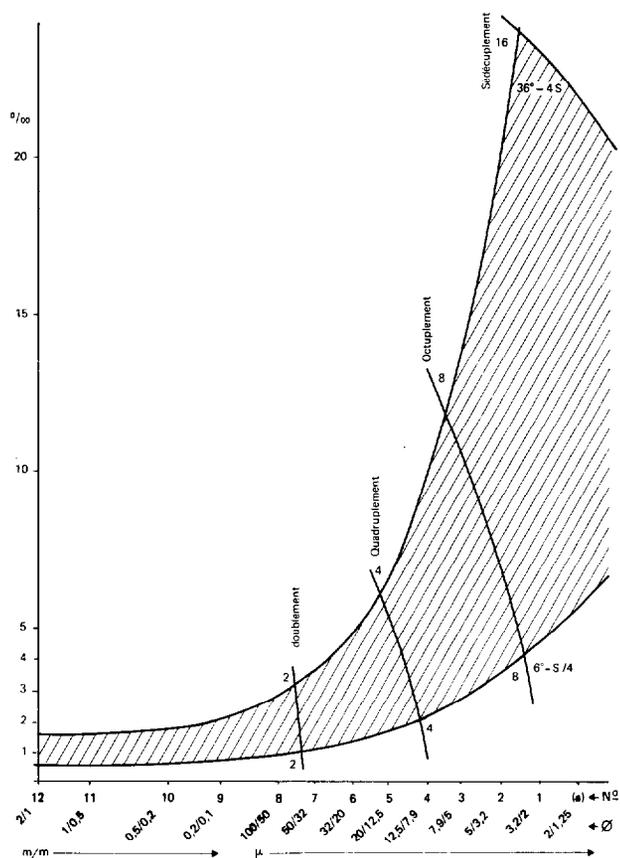


FIG. 3.

On est amené à définir les limites suivantes :

- de 2 mm à 0,2 mm solubilisation faible
variation nulle
- de 0,2 mm à 40 μ accroissement de la solubilisation
variation faible
- de 40 μ à 2 μ solubilisation forte
augmentation progressive
de la variation de la solubilisation

Le rapport de solubilisation reste constant pour des dimensions allant de 2 mm à 50/32 μ. L'accroissement de la solubilisation est proportionnel pour les 2 températures et les 2 durées. Puis pour les

dimensions inférieures à 50/32 μ, le rapport de solubilisation croît régulièrement. Il y a nette séparation de la variation du rapport autour de 40 μ. (fig. 4).

D'où cette conclusion : quelles que soient la durée et la température, les solubilisations sont proportionnelles pour les éléments grossiers jusqu'à 40 μ environ, dans les conditions de l'expérimentation.

4. ÉTUDE DE LA SOLUBILISATION EN FONCTION DES CLASSES GRANULOMÉTRIQUES

On porte en abscisse les classes granulométriques et en ordonnée les quantités de silice solubilisées en %.

4.1. Les durées

Les résultats de l'expérimentation sont consignés dans 5 tableaux correspondant à 5 durées de temps, c'est-à-dire un quart de semaine, une demi-semaine, une semaine, deux semaines et quatre semaines. Ils donnent la solubilisation du quartz pur en fonction des températures (tabl. III, IV, V, VI et VII).

Ces résultats chiffrés sont exploitables après transformation en courbes. On obtient alors 5 figures constituées chacune par un faisceau de 4 courbes. Chaque figure correspond à une durée de temps et chaque courbe correspond à une température (fig. 5, 6, 7, 8 et 9).

— Durée 1/4 de semaine

L'ensemble des courbes se divise en deux groupes :

- la courbe 36° parfaitement individualisée,
- et le faisceau de courbes 24°, 12°, 6° parfaitement homogène. Cependant, l'ensemble reste très groupé pour des granulométries allant de 2 mm à 0,2 mm puis, à partir de dimensions inférieures, la courbe 36° se détache. La solubilisation reste faible pour les 4 courbes jusqu'à 0,2 mm. Elle reste également faible jusqu'à 50 μ pour les 3 autres courbes (6°, 12°, 24°). Cela signifie que pour la température de 36 °C il y a une augmentation de la solubilisation beaucoup plus forte que pour les autres températures inférieures et à partir d'une dimension déterminée : 0,2 mm.

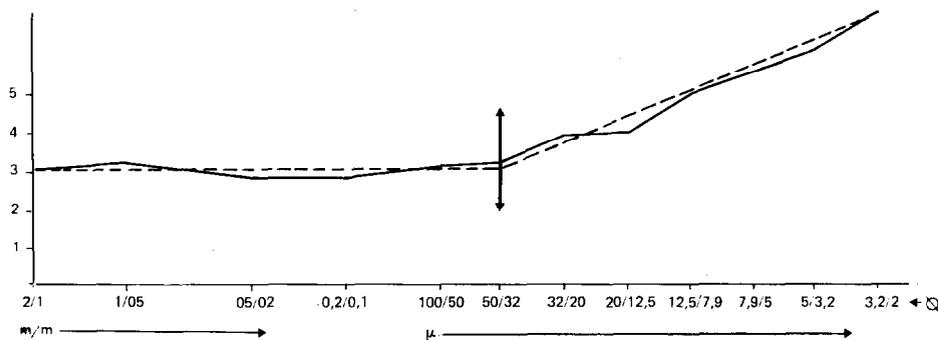


FIG. 4.

On définit les limites suivantes :

- de 2 mm à 0,2 mm : solubilisation très faible ;
- de 0,2 mm à 50 μ :
 - 36°, accroissement de la solubilisation ;
 - 24-6°, solubilisation toujours très faible ;

Les courbes ont un chemin comparable.

- de 50 μ à 2 μ : accroissement plus fort de la solubilisation.

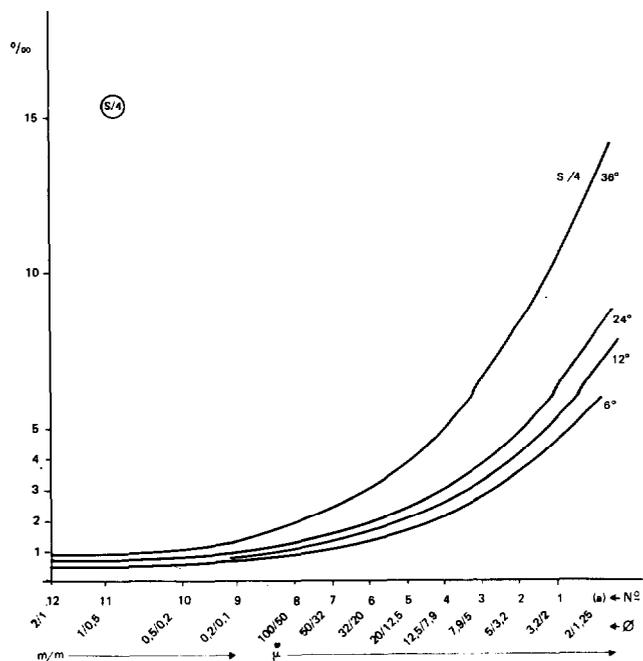


FIG. 5.

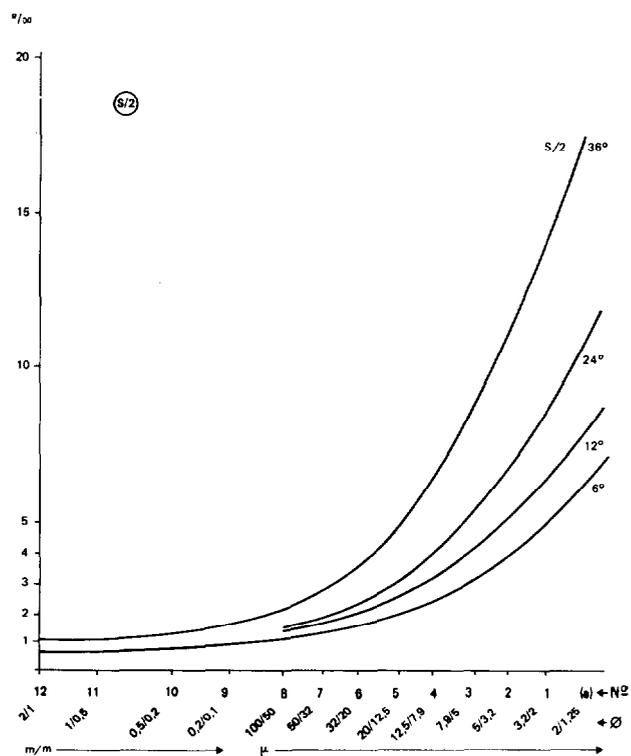


FIG. 6.

— Durée 1/2 semaine

L'ensemble des courbes se divise en 2 groupes.

La courbe 36° est assez bien individualisée et le faisceau des courbes 24°, 12°, 6° relativement homogène. Cependant, les 3 dernières courbes commencent

à diverger légèrement et ne sont plus parallèles. L'ensemble reste groupé pour des dimensions comprises entre 2 mm et 0,2 mm. Puis, à partir de dimensions inférieures, la courbe 36° se détache, ce qui signifie que pour cette température il y a une augmentation plus forte de la solubilisation. Par contre, le faisceau 24°, 12°, 6° évolue très peu jusqu'à 50 μ .

On définit ainsi les limites suivantes :

- de 2 mm à 0,2 mm : faible solubilisation. Les courbes restent groupées.
- de 0,2 à 50 μ :
 - 36°, accroissement fort de la solubilisation ;
 - 24-6°, faible solubilisation ;
- de 50 à 2 μ :
 - 36°, accroissement fort de la solubilisation ;
 - 24, 12, 6°, accroissement moins fort de la solubilisation. Les courbes divergent légèrement.

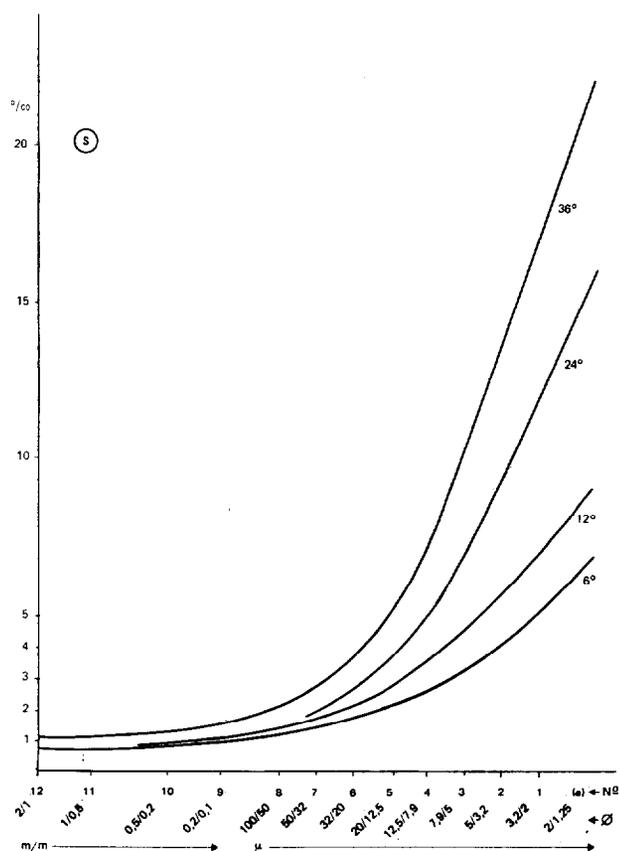


FIG. 7.

— Durée 1 semaine

L'ensemble des courbes se divise en 2 groupes de deux courbes nettement séparées 36° et 24°, 12° et 6°.

Cependant, l'ensemble reste groupé pour des granulométries allant de 2 mm à 0,2 mm. Puis, pour des granulométries inférieures, la courbe 36° se détache.

Le paquet de courbes 24°, 12°, 6° évolue très peu jusqu'à la granulométrie 100 μ . Pour des granulométries inférieures, les courbes divergent et à 50 μ la courbe 24° se détache pour évoluer parallèlement à la courbe 36°. Les courbes 12° et 6° divergent légèrement.

On définit ainsi les limites suivantes :

- de 2 mm à 0,2 mm : solubilisation faible ;
- de 0,2 mm à 0,1 mm :
 - 36°, accélération continue de la solubilisation sur toute la gamme granulométrique ;
 - 24°, 6°, solubilisation faible ;
- de 100 μ à 50 μ :
 - 24°, 6°, légère accélération de la solubilisation ;
- de 50 μ à 2 μ :
 - 24°, accélération de la solubilisation ;
 - 12°, 6°, solubilisation moins forte.

— Durée 2 semaines

L'ensemble des courbes se divise en 2 groupes parfaitement équilibrés 36° et 24°, 12° et 6°. Cependant, l'ensemble reste homogène pour des granulométries comprises entre 2 mm et 0,2 mm.

On définit ainsi les limites suivantes :

- de 2 mm à 0,2 mm : faible solubilisation ;
- de 0,2 mm à 50 μ : augmentation de la solubilisation ;
- de 50 μ à 2 μ :
 - 36° et 24°, solubilisation rapide ;
 - 12° et 6°, solubilisation moins rapide.

— Durée 4 semaines

L'ensemble des 4 courbes se divise en 2 groupes 36° et 24°, 12° et 6°. Mais la divergence entre les deux groupes de courbes est moins prononcée que pour les durées plus faibles.

Cependant, on remarque que pour des dimensions comprises entre 2 mm et 0,2 mm, l'ensemble des

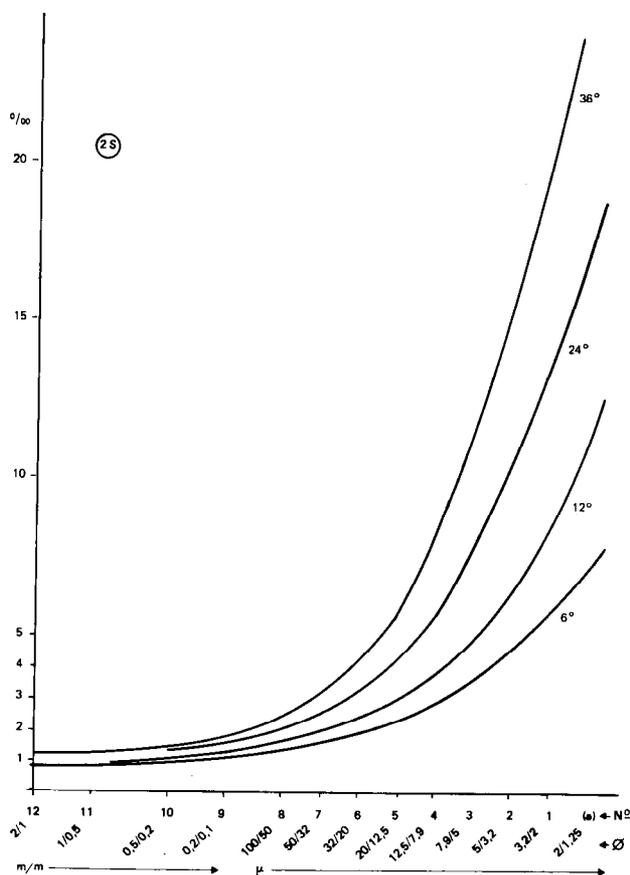


FIG. 8.

courbes reste parfaitement homogène. On définit ainsi les limites suivantes :

- de 2 mm à 0,2 mm : solubilisation faible ;
- de 0,2 mm à 20 μ : augmentation de la solubilisation ;
- de 20 μ à 2 μ : divergence des deux groupes de courbes
 - 36° et 24°, accroissement plus rapide de la solubilisation ;
 - 12° et 6°, accroissement moins rapide de la solubilisation.

— SYNTHÈSE

En faisant la synthèse de ces observations, on aboutit aux conclusions suivantes :

(a) les courbes restent groupées pour des grains de gros diamètre quelles que soient les durées d'expérimentation et les températures ;

(b) la courbe 36° évolue très rapidement pour les dimensions inférieures à 0,2 mm ;

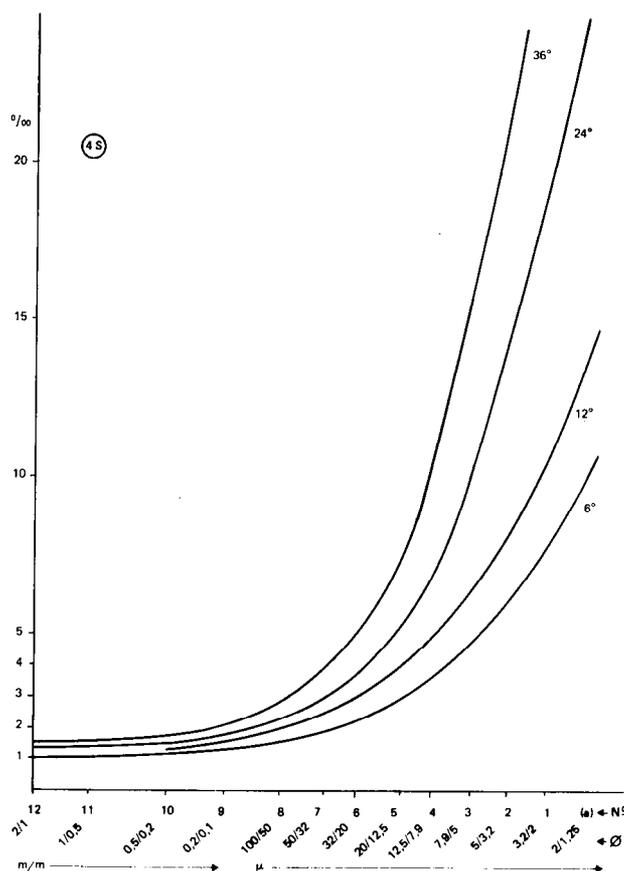


FIG. 9.

(c) à partir d'une certaine dimension, les courbes divergent et se groupent en faisceaux en fonction de la température :

— pour de faibles durées — 1/4 de semaine et 1/2 semaine — le faisceau le plus important comprend les courbes 6°, 12°, 24°,

— pour des durées plus longues, d'une semaine à 4 semaines, l'ensemble se divise en 2 faisceaux de 2 courbes 6° et 12°, 24° et 36° ; cela signifie que pour une augmentation expérimentale de durée de solubilisation, il se produit une différenciation entre les effets des températures. Ce sont les températures les plus fortes qui sont les plus actives.

(d) On remarque un certain nombre de points granulométriques caractéristiques :

— le point 0,2 mm : il indique la fin de la très faible solubilisation pour laquelle toutes les courbes restent groupées.

Pour des granulométries inférieures, la solubilisation s'accélère rapidement à 36° ;

— le point 0,1 mm marque la fin de la faible solubilisation par les températures comprises entre 26° et 6°, quelle que soit la durée de la solubilisation ;

— le point 50 μ marque le début de l'accroissement de la solubilisation pour des faibles durées et des basses températures (12° et 6°).

RAPPORT DE SOLUBILITÉ EN FONCTION DES DURÉES

A chaque granulométrie et pour une même durée, on calcule le rapport entre la plus forte solubilisation (36°) et la plus faible (6°). C'est le rapport de solubilité RS déterminé par les valeurs de l'intersection d'une verticale mobile avec les courbes 36° et 6° considérées comme enveloppe de la surface de solubilisation. Les résultats sont consignés dans le tableau 8 et transformés en courbes (fig. 10).

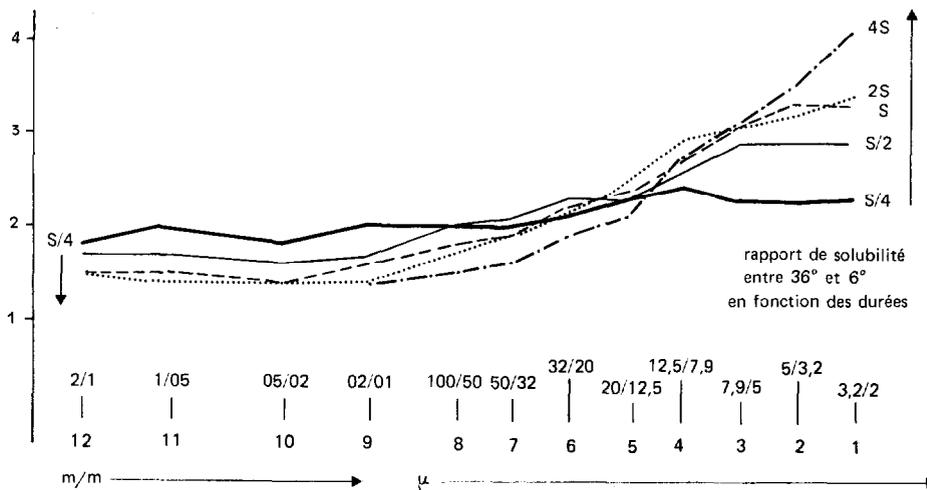


FIG. 10.

On s'aperçoit :

— que pour une granulométrie grossière, RS diminue alors que la durée croît ;

— que pour une granulométrie fine, RS croît avec la durée ;

— que RS pour S/4 (1/4 de semaine) est relativement constant (voisin de 2) avec une légère tendance à croître, ce qui donne sur la figure une courbe relativement horizontale. Les autres valeurs de RS se rapportant aux autres durées sont sensiblement inférieures pour des dimensions comprises entre 2 mm et 50 μ et supérieures pour des dimensions comprises entre 20 μ et 2 μ ; l'inversion des rapports se fait entre 50 μ et 20 μ et se concrétise sur la figure par la remontée des courbes de durées et leur intersection avec la courbe S/4 entre ces mêmes points granulométriques.

Cela signifie :

— pour une courte durée (S/4), l'augmentation de la solubilisation est proportionnelle à chaque température pour les 2 températures 36° et 6° pour une granulométrie identique, de manière à conserver un rapport RS stable ;

— pour une longue durée, l'augmentation de solubilisation n'est plus proportionnelle aux températures.

A une granulométrie grossière correspond une solubilisation identique, d'où diminution relative du rapport par augmentation du dénominateur (solubilisation à 6°).

A une granulométrie fine, correspond une solubilisation beaucoup plus forte en ce qui concerne les courbes 36°, d'où augmentation réelle du rapport par

augmentation du numérateur (solubilisation à 36°). L'évolution du rapport des résultats pour les courbes 1 et 12 (rapport 1/12), c'est-à-dire :

solubilisation pour une granulométrie 2 μ
solubilisation pour une granulométrie 2 mm

indique l'augmentation des rapports RS pour les 2 granulométries extrêmes en fonction des durées. Les rapports de solubilisation ont pratiquement doublé en passant de S/4 à 4 S.

Ce rapport 1/12 divise la gamme des températures en 2 groupes :

6° et 12° avec rapport voisin de 1
24° et 36° avec rapport voisin de 1,9

ce qui signifie : solubilisation différentielle en fonction de la granulométrie 2 fois moins forte pour les basses températures que pour les hautes températures.

La disparition des éléments fins dans les hautes températures se fera beaucoup plus vite que pour les basses températures, environ 2 fois plus vite.

Notons encore l'indifférence des granulométries grossières face aux variations de température : *quelles que soient les températures, les différences de solubilisation restent identiques.*

4.2. Les températures

Quatre tableaux correspondant aux 4 températures (6°, 12°, 24°, 36°) donnent la solubilisation du quartz pur en fonction des durées du temps (tabl. IX, X, XI, XII).

Ces résultats chiffrés sont exploitables après transformation en 4 courbes. On obtient alors 4 figures constituées chacune par un faisceau de 5 courbes. Chaque figure correspond à une température et chaque courbe correspond à une durée du temps (fig. 11, 12, 13, 14).

— Température 6 °C

Le faisceau de courbes se divise en deux. On remarque la courbe 4S bien individualisée, et les 4 autres courbes 2S à S/4 parfaitement groupées.

Cependant, l'ensemble reste groupé dans des granulométries variant de 2 mm à 0,2 mm, puis à partir de dimensions inférieures, la courbe 4S se détache

légèrement, ce qui signifie qu'à partir de 4 semaines de solubilisation il y a une augmentation de la solubilisation pour la température de 6° et pour une granulométrie inférieure à 0,2 mm.

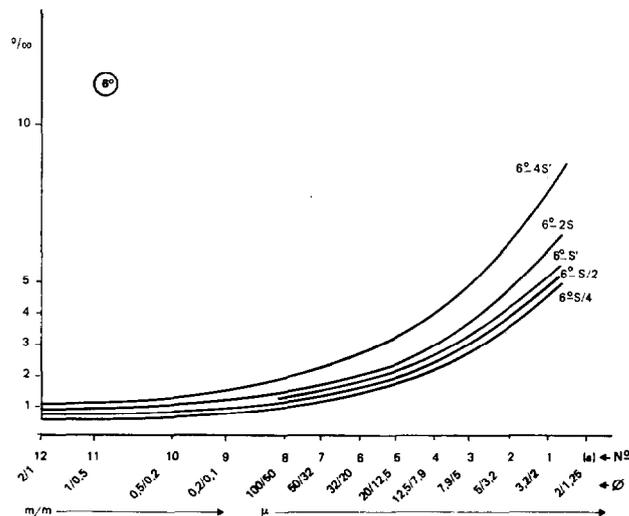


FIG 11.

Ainsi, on définit les limites suivantes :

- 2 mm à 0,2 mm : faible solubilisation régulière, les courbes restent groupées ;
- 0,2 mm à 2 μ :
 - 4S : accroissement plus rapide ;
 - 2S à 3/4 : accroissement lent et comparable pour ces 4 durées.
- Température 12 °C

Le faisceau de courbes se divise en deux.

On remarque la courbe 4S bien individualisée, et les 4 autres courbes 2S à S/4 groupées. Mais à partir de la granulométrie 3 μ 2, la courbe 2S quitte le faisceau, prend une légère avance et tend à suivre parallèlement la courbe 4S, alors que les courbes 2S à S/2 restent ensemble. Cependant, l'ensemble reste groupé pour des granulométries variant de 2 mm à 0,2 mm, puis pour des dimensions inférieures, la courbe 4S s'individualise, ce qui signifie que pour 4 semaines d'expérimentation, il y a accroissement de la solubilisation pour une température de 12° et une granulométrie inférieure à 0,2 mm.

On définit ainsi les limites suivantes :

- 2 mm à 0,2 mm : faible solubilisation régulière : les courbes restent groupées ;

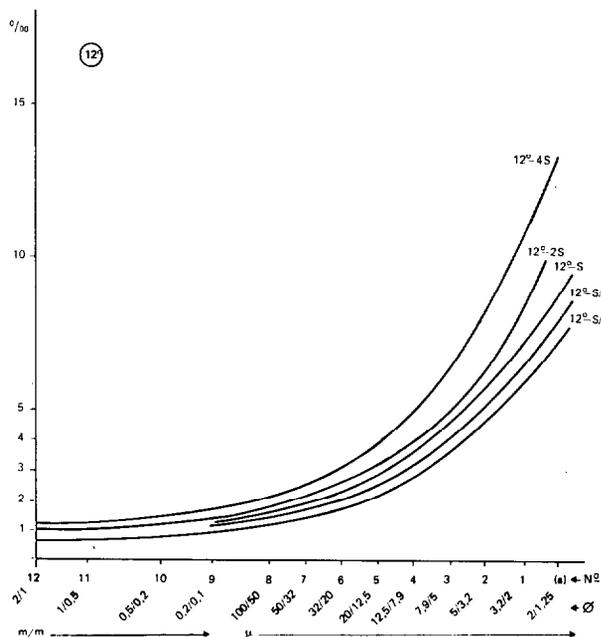


FIG. 12.

- 0,2 mm à 3,2 μ :
- 4S : accroissement plus rapide ;
- 2S à S/4 : accroissement lent ;
- à partir de 3,2 μ : accroissement légèrement plus rapide pour 2S.
- Température 24 °C

Le faisceau de courbes se divise en deux, un groupe parfaitement homogène constitué par les courbes 4S, 2S et S, et un groupe lâche formé des 2 courbes assez éloignées S/2, S/4.

Cependant, l'ensemble reste groupé pour les granulométries allant de 2 mm à 0,1 mm, puis ensuite, les courbes divergent légèrement. On assiste en particulier à la séparation à partir de 20 μ des courbes S/2 et S/4, alors que les 3 autres courbes restent relativement groupées. Ce qui signifie que pour une durée d'expérimentation égale ou supérieure à 1 semaine, il y a accroissement de la solubilisation pour une température égale à 24° et pour une granulométrie inférieure à 0,1 mm.

On définit ainsi les limites suivantes :

- 2 mm à 0,1 mm : solubilisation régulière, les courbes restent groupées ;
- 0,1 mm à 20 μ : accroissement de la solubilisation ;

- à partir de 20 μ :
- 4S, 2S, S : solubilisation identique plus rapide ;
- S/2 : accroissement plus lent ;
- S/4 : accroissement faible.

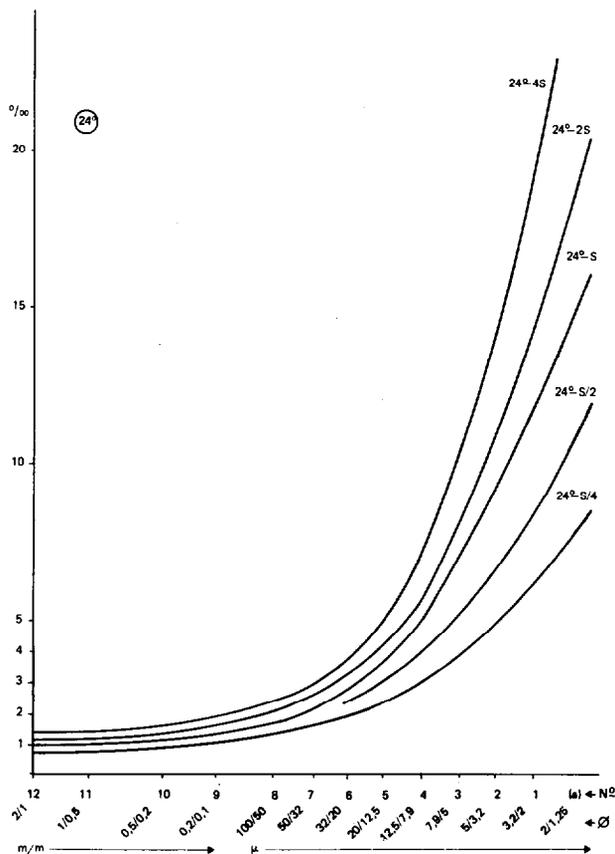


FIG. 13.

— Température 36 °C

On remarque l'ensemble des 4 courbes 4S à S/2, et la courbe S/4 qui se détache et prend du retard à partir de 40 μ, bien que le faisceau soit légèrement divergent.

Cependant, de 2 mm à 0,1 mm, l'ensemble reste groupé.

On définit ainsi les limites suivantes :

- 2 mm à 0,1 mm : faible solubilisation régulière, les courbes sont groupées ;
- 0,1 mm à 40 μ : accroissement de la solubilisation ;

— à partir de 40μ :

- faisceau des courbes 4S à S/2 à solubilisation comparable et rapide ;
- courbe S/4 : solubilisation plus lente.

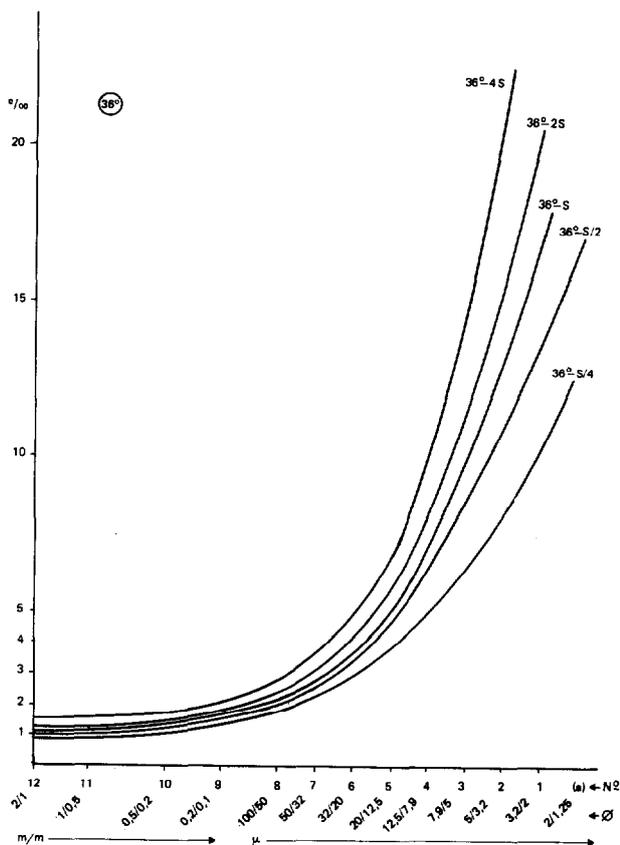


FIG. 14.

— SYNTHÈSE

En faisant la synthèse de ces observations, on aboutit aux conclusions suivantes :

(a) les courbes restent groupées pour des grains de gros diamètre — quelles que soient les durées de temps d'expérimentation ;

(b) à partir d'une certaine dimension, les courbes divergent en fonction de la durée de temps et se groupent en faisceau.

Pour les températures basses 6° et 12° , le faisceau comprend les courbes de durée plus faible S/4, S/2, S.

Pour les températures plus hautes, 24° et 36° , le faisceau comprend les courbes de durée plus importante 4S, 2S, S.

Cela signifie que la courbe de courte durée varie très lentement en fonction de la température et que celle de longue durée varie très rapidement.

(c) On remarque 2 points caractéristiques :

— le premier concerne les granulométries grossières. Il a tendance à se déplacer vers une granulométrie inférieure lorsque la température s'accroît. Ce point, correspondant aux dimensions $0,2 \text{ mm}$ à $0,1 \text{ mm}$, correspond à une faible solubilisation continue pendant laquelle toutes les courbes restent très groupées ;

— le second concerne les granulométries très fines. Il se déplace vers des granulométries supérieures lorsque la température croît. Ce point correspond à la fin de l'accroissement lent de la solubilisation pour un certain nombre de courbes. Il passe ainsi :

à 3μ pour 12°

à 20μ pour 24°

à 40μ pour 36° .

On constate qu'un grain de quartz passe, au cours de sa solubilisation, par trois phases délimitées par 2 granulométries parfaitement déterminées pour chaque température :

— phase I ou phase de solubilisation lente comparable pour l'ensemble des durées et valable pour une granulométrie grossière de 2 mm à $0,1$;

— phase II ou phase d'accélération de la solubilisation valable pour des granulométries moyennes ou faibles suivant les durées ;

— phase III ou phase de plus grande solubilisation avec caractéristiques propres à chaque courbe.

RAPPORT DE SOLUBILITÉ EN FONCTION DES TEMPÉRATURES

A chaque granulométrie et pour une même température, on calcule le rapport entre la plus forte solubilisation qui correspond à la durée 4S et la plus faible, celle de la durée S/4. C'est le rapport de solubilité RS déterminé par le rapport de la valeur à l'intersection d'une verticale mobile avec les courbes 4S et S/4 considérées comme enveloppe de la surface de solubilité. Les résultats sont consignés dans un tableau et transformés en courbes (tabl. XIII, fig. 15). On s'aperçoit :

— que pour une granulométrie grossière, RS diminue alors que la température croît ;

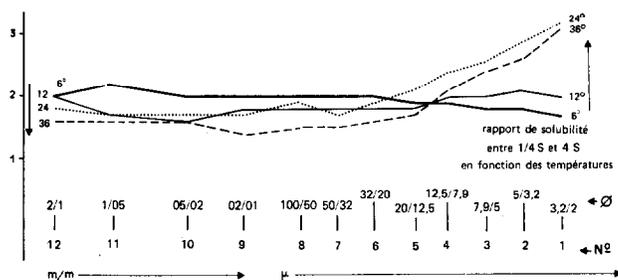


FIG. 15.

— que pour une granulométrie fine, RS croît avec la température ;

— que RS pour 6° est relativement constant avec une légère tendance à décroître (voisin de 2), ce qui donne sur la figure une courbe relativement horizontale. Les autres valeurs de RS se rapportant à la température sont sensiblement inférieures pour des dimensions comprises entre 2 mm et 32 μ, et supérieures pour des dimensions entre 20 μ et 2 μ. L'inversion des valeurs se fait entre 32 μ et 20 μ et se concrétise sur la figure par la remontée des courbes de température et leur intersection avec la courbe 6° entre ces 2 mêmes points granulométriques.

Cela signifie :

— pour une faible température, l'augmentation de la solubilisation est proportionnelle à chaque durée dans une même classe granulométrique de manière à conserver un rapport RS stable ;

— pour une forte température, l'augmentation de la solubilisation n'est plus proportionnelle aux durées.

A une granulométrie grossière, correspond une solubilisation identique, d'où diminution relative du rapport RS par augmentation du dénominateur (solubilisation à S/4).

A une granulométrie fine, correspond une solubilisation beaucoup plus forte en ce qui concerne les courbes 4S d'où augmentation réelle du rapport par augmentation du numérateur (solubilisation à 4S).

L'évolution du rapport 1/12

$$\frac{\text{solubilisation pour une granulométrie } 2 \mu}{\text{solubilisation pour une granulométrie } 2 \text{ mm}}$$

indique une augmentation de rapport RS pour les granulométries extrêmes en fonction des températures. Les rapports de solubilisation ont pratiquement doublé en passant de 6° à 36°. Mais par contre, il y a

pratiquement même rapport de solubilisation 1/12 pour des durées égales à 2S et 4S.

Ces 2 durées indiquent un même gradient de solubilisation et peuvent être considérées comme des données acceptables pour extrapoler les résultats. C'est ce qui sera fait dans les chapitres suivants où ne sera tenu compte que de la solubilisation en fonction de la durée 4S.

5. ÉTUDE DE LA SOLUBILISATION EN FONCTION DES TEMPÉRATURES ET DURÉES

L'ensemble des résultats avait été distribué sur les figures précédentes d'après deux valeurs de référence mises en coordonnées : la granulométrie sur l'axe des abscisses et le % sur l'axe des ordonnées, ce qui avait donné 2 séries de figures, celles contenant les courbes de durée pour une figure se rapportant à une température donnée, et celles contenant les courbes de température pour une figure se rapportant à une durée donnée.

Voici maintenant une nouvelle distribution des résultats. On porte en ordonnée le % de solubilisation et en abscisse, soit la température, soit la durée d'expérimentation, chaque figure correspond alors, soit à une durée définie, soit à une température définie, et chacune des courbes de l'ensemble correspond à une classe granulométrique.

Les huit courbes dessinées représentent 8 granulométries fines et moyennes se répartissant entre 2 μ (courbe 1) et 100 μ (courbe 8). L'extrapolation des résultats de solubilisation a permis de dessiner la courbe (a) qui correspondrait à une séquence granulométrique 2 μ - 1,25 μ.

Les huit courbes obtenues s'emboîtent parallèlement tout en présentant des variations d'ensemble propres à la température et aux durées d'expérimentation.

5.1. Solubilisation en fonction des températures (fig. 16, 17, 18, 19, 20)

Plusieurs observations peuvent être faites sur :

- la pente des courbes ;
- l'écartement des courbes ;
- le doublement de la solubilisation par rapport à 6°.

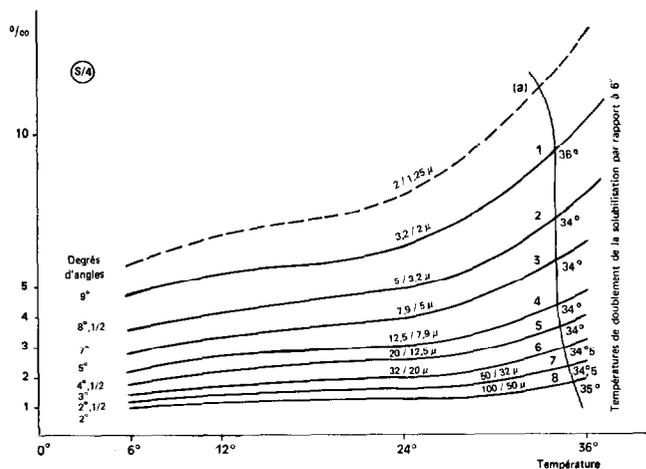


FIG. 16.

— Pente des courbes

A partir de l'ensemble des figures présentant la variation de la solubilité pour des durées expérimentées, de S/4 à 4S, on assiste à un mouvement de rotation de l'ensemble des courbes évoluant d'un tracé subhorizontal pour S/4 courbe 8 (100 μ-50 μ) à un tracé de 43° pour 4S courbe 1 (3,2 μ-2 μ). Les angles sont mesurés sur la courbe au point correspondant à une température de 6°. Ils s'échelonnent ainsi pour les courbes 8 à 1 (100 μ à 2 μ) :

- S/4 2° angulaire à 9° angulaire ;
- S/2 2° angulaire à 21° angulaire ;

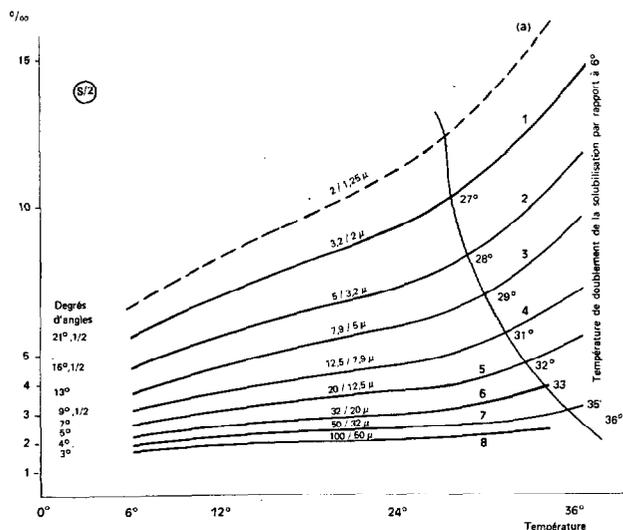


FIG. 17.

- S 3° angulaire à 34° angulaire ;
- 2S 4° angulaire à 38° angulaire ;
- 4S 4° angulaire à 43° angulaire.

Les angles des granulométries grossières sont faibles et restent faibles quelles que soient les durées d'expérimentation. Les angles de granulométries fines, presque identiques à ceux des granulométries grossières pour S/4, s'accroissent rapidement et indiquent la sensibilité de la granulométrie à la solubilisation pour une durée déterminée.

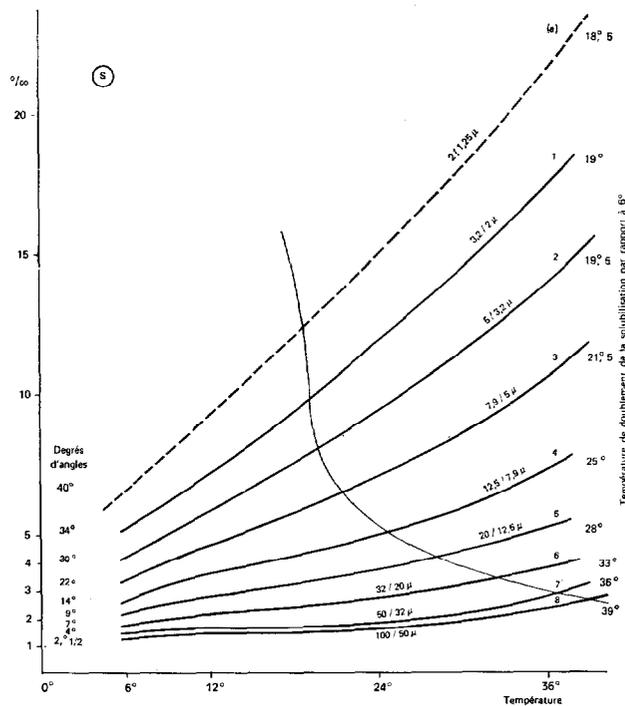


FIG. 18.

Si on prend comme angle de référence l'angle de 9° correspondant à la courbe 1, S/4, et que l'on compare aux angles des autres courbes pour les autres durées, on constate que l'ensemble des figures présente des courbes dont l'angle est inférieur ou supérieur à 9°. Nous dirons que les courbes à angle inférieur présentent une faible sensibilité à la solubilisation et les courbes à angle supérieur une forte sensibilité.

Les courbes de granulométrie à forte sensibilité se répartissent ainsi :

- (fig. 17) S/2 courbes 1 à 4 correspondant à 2 μ - 12,5 μ ;

(fig. 18) S courbes 1 à 5 correspondant à $2\ \mu - 20\ \mu$;

(fig. 19) 2S courbes 1 à 5 correspondant à $2\ \mu - 20\ \mu$;

(fig. 20) 4S courbes 1 à 5 correspondant à $2\ \mu - 20\ \mu$.

La courbe 5 de 4S (fig. 20) correspond à un angle de 11° et la courbe 6 de 4S correspond à un angle de 5° . Le changement de sensibilité se situe entre $20\ \mu$ et $32\ \mu$. Il est évident que ces angles mesurés sont fonction des coordonnées, ils indiquent seulement une valeur et une direction constante pour les courbes.

— Ecartement des courbes

Les courbes s'agencent en 2 groupes, 1 paquet de courbes très serré avec des caractéristiques proches et un ensemble plus lâche où chaque courbe croît

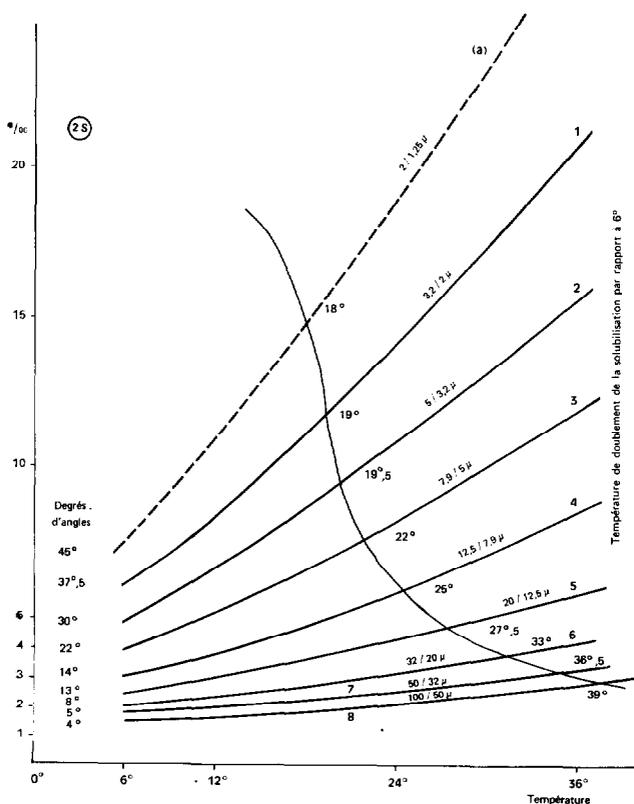


FIG. 19.

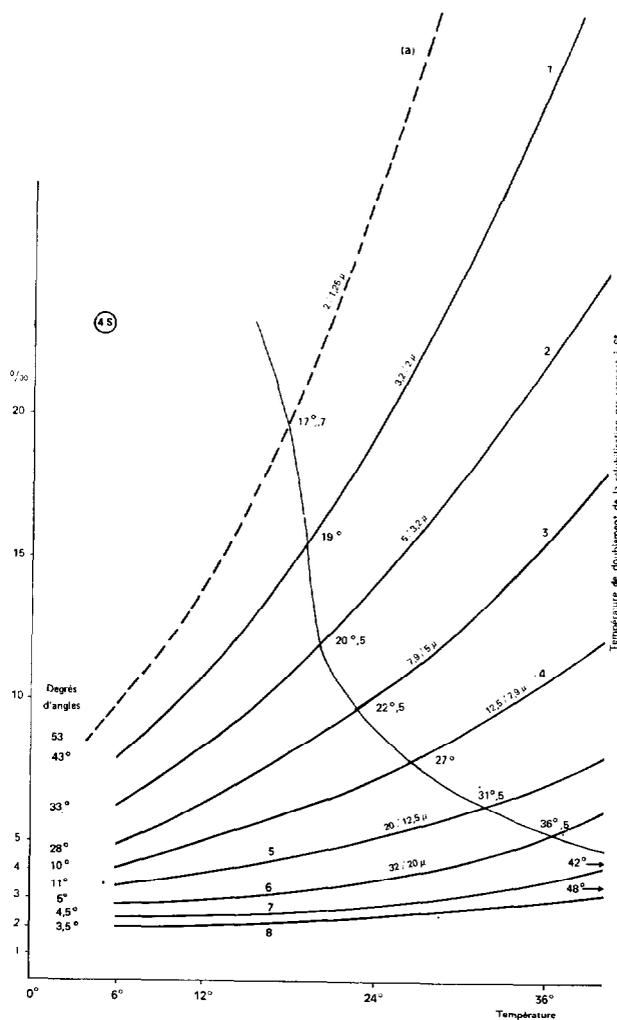


FIG. 20.

sa distance avec la précédente et prend un tracé qui lui est propre.

(fig. 16) S/4 1 et 2 à 8, c'est-à-dire 2 à $3,2\ \mu$ et 3,2 à $100\ \mu$;

(fig. 17) S/2 1 à 3 et 6 à 8, c'est-à-dire 2 à $7,9\ \mu$ et 7,9 à $100\ \mu$;

(fig. 18) S 1 à 4 et 5 à 8, c'est-à-dire 2 à $12,5\ \mu$ et 12,5 à $100\ \mu$;

(fig. 19) 2S 1 à 4 et 6 à 8, c'est-à-dire 2 à $12,5\ \mu$ et 12,5 à $100\ \mu$;

(fig. 20) 4S 1 à 5 et 6 à 8, c'est-à-dire 2 à $20\ \mu$ et 20 à $100\ \mu$.

On détermine ainsi une nouvelle échelle de sensibilité comparable à la précédente. Lorsque la durée d'expérimentation croît, la sensibilité à la solubilisation gagne régulièrement des granulométries supérieures.

— Doublement de la solubilisation

C'est le point sur une courbe pour lequel la quantité de quartz dissout à une température donnée est le double de la quantité dissoute à 6°. C'est un choix arbitraire mais qui présente une valeur de référence. En réunissant les points ainsi déterminés, on obtient une courbe sécante aux courbes granulométriques. Cette courbe est, elle-même, un bon indice de l'intensité de la solubilisation. Elle peut prendre 3 chemine-ments différents en fonction de la solubilisation dans les classes granulométriques :

- à solubilisation identique, la courbe chemine verticalement suivant l'axe d'une même température ;
- à solubilisation croissante, elle s'incline vers des températures plus basses ;
- à solubilisation décroissante, elle s'incline vers des températures plus élevées.

Elle se situe donc dans la zone des températures plus élevées pour des granulométries grossières, et dans les zones des températures plus basses pour des granulométries fines.

Pour S/4, elle est subverticale. Pour S/2, elle s'incline, et pour les 3 autres durées, elle forme une branche courbe pratiquement identique. Les températures de doublement varient pour les courbes 8 à 1 de :

- (fig. 16) S/4 (8) 35° à (1) 34° ;
- (fig. 17) S/2 (8) 36° à (1) 27° ;
- (fig. 18) S (8) 39° à (1) 19° ;
- (fig. 19) 2S (8) 39° à (1) 19° ;
- (fig. 20) 4S (8) 48° à (1) 19°.

5.2. Solubilisation en fonction des durées

On porte en abscisse les durées et en ordonnée les % de solubilisation du quartz.

Chaque figure (fig. 21, 22, 23, 24) correspond à la température choisie, soit 4 figures 6°, 12°, 24°, 36°. Elles comprennent chacune 8 courbes représentant les 8 classes granulométriques allant de 2 µ à 100 µ (courbes 1 à 8). L'extrapolation des résultats de la

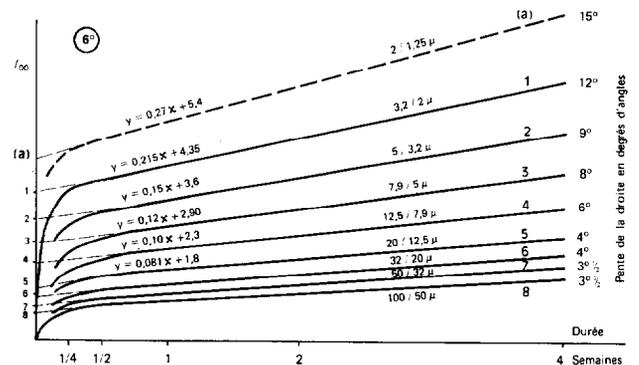


FIG. 21.

solubilisation a permis de dessiner la courbe (a) qui correspondrait à une séquence granulométrique de 2 µ/1,25 µ.

L'ensemble des faisceaux de courbe représente un certain nombre de caractéristiques :

- la durée ;
- l'allure de la courbe ;
- l'inflexion de la courbe ;
- la tangente.

1. On peut avancer qu'au temps 0, il y a une solubilisation nulle alors que dans la disposition étudiée précédemment on ne pouvait pas affirmer qu'à

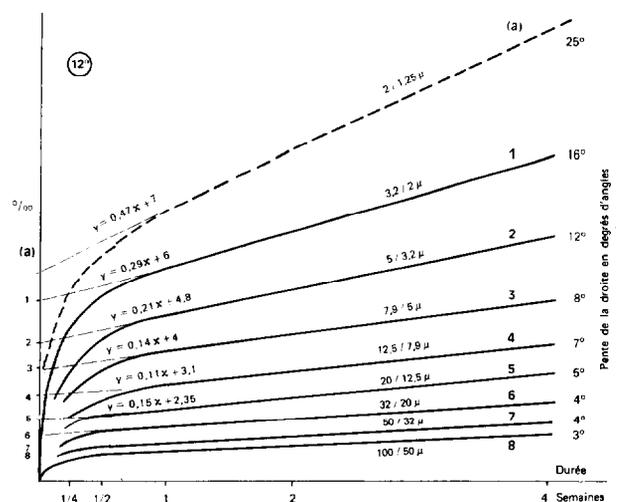


FIG. 22 (voir errata p. 83).

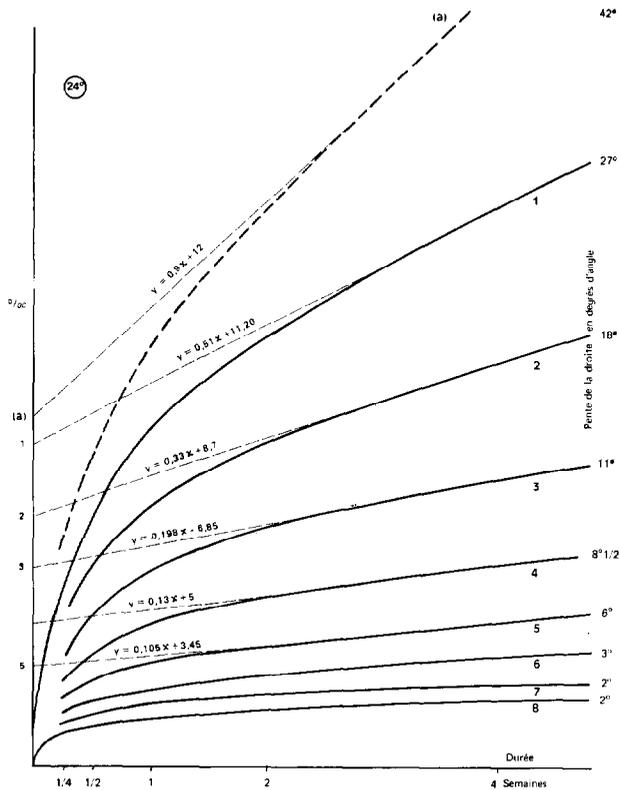


FIG. 23.

la température 0° correspondait une solubilisation nulle.

2. La courbe de solubilisation commence donc à l'origine 0 des coordonnées et prend une direction initiale proche de la verticale, alors que dans la disposition précédente, au contraire, l'allure des courbes à l'origine était subhorizontale.

3. Il s'en suit que le centre de la courbe infléchi est situé vers le bas dans les figures étudiées dans ce paragraphe sur la durée, alors que dans les figures étudiées au précédent paragraphe sur la température, le centre était localisé vers le haut.

4. Après un démarrage rapide, la vitesse de solubilisation devient constante, c'est-à-dire que la courbe tend à se stabiliser et à se confondre avec la droite tangente. Ceci se produit :

- à 6° après 1/2 semaine ;
- à 12° après 1 semaine ;
- à 26° et 36° après 2 semaines.

Nous proposerons donc comme hypothèse de réflexion qu'après 4 semaines d'expérimentation, la solubilisation devient une fonction linéaire du temps, quelles que soient les températures d'expérimentation.

Ceci amène l'étude des tangentes des courbes correspondant aux diverses granulométries au point 4S.

— Les tangentes

On remarque que l'angle que fait la tangente menée au point 4S avec l'axe des abscisses croît quand on passe de la courbe 8 (100 μ) à la courbe 1 (2μ)

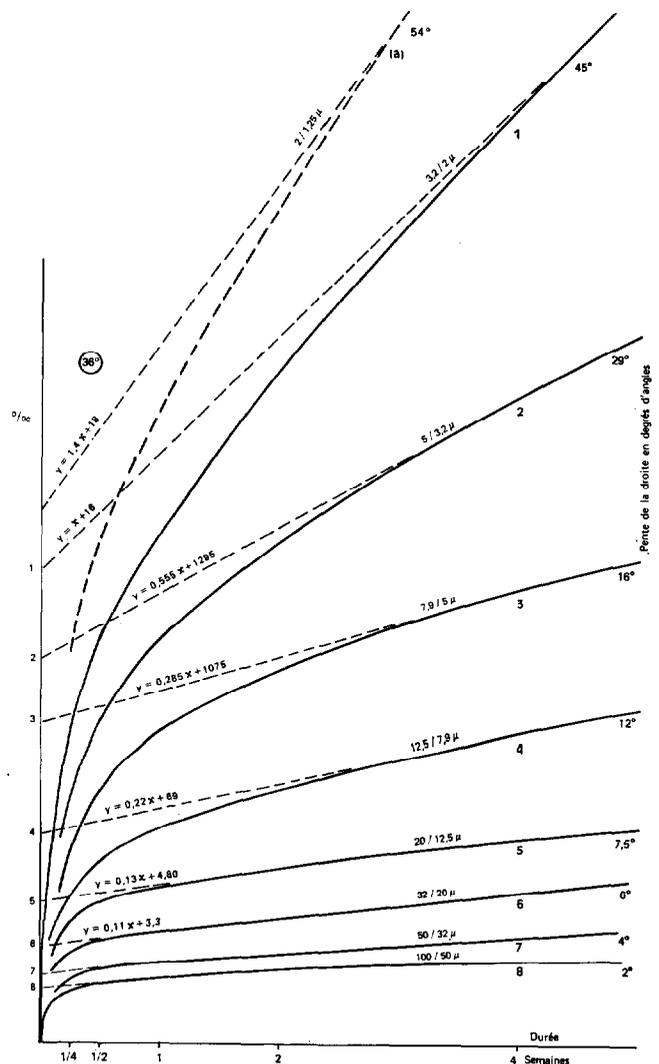


FIG. 24 (voir errata p. 83).

pour une température déterminée. Cet angle est fonction directe de la température et fonction inverse de la granulométrie :

$$\alpha = f\left(t^{\circ}, \frac{1}{g}\right)$$

Il est facile de calculer graphiquement la valeur numérique de l'équation de la droite tangente, du moins en ce qui concerne les fines granulométries pour lesquelles la tangente se distingue facilement de la courbe.

— Valeurs de l'équation $Y = ax + b$, de la tangente (tabl. XIV, XV, XVI, XVII).

En observant les angles des tangentes, on remarque certaines identités de valeurs pour des températures et des granulométries différentes. La disposition en tableau d'une manière spéciale fait apparaître cette identité. On dispose ces valeurs identiques sur des lignes horizontales et on obtient un tableau qui peut se lire, soit horizontalement, ce qui correspond aux angles des classes granulométriques décroissantes

pour des températures décroissantes, soit en diagonale descendantes, ce qui correspond aux angles d'une même classe granulométrique pour des températures décroissantes (tabl. XVIII).

Pour une classe granulométrique et pour une température déterminées, il existe une courbe de solubilisation. Au point 4S, on mène la tangente. Sa pente est la même que celle de la tangente à la courbe granulométrique de module inférieur à la température inférieure. Sa pente est la même que celle de la courbe granulométrique de module supérieur à la température supérieure.

Pour une même solubilité, à chaque palier de température correspond un palier granulométrique, ou encore, il y a solubilité identique pour une température plus élevée d'une granulométrie plus grossière.

Il y a donc correspondance de solubilité en fonction de la température et de la granulométrie.

Cette propriété est immédiatement visible dans la figure à coordonnées polaires (fig. 25).

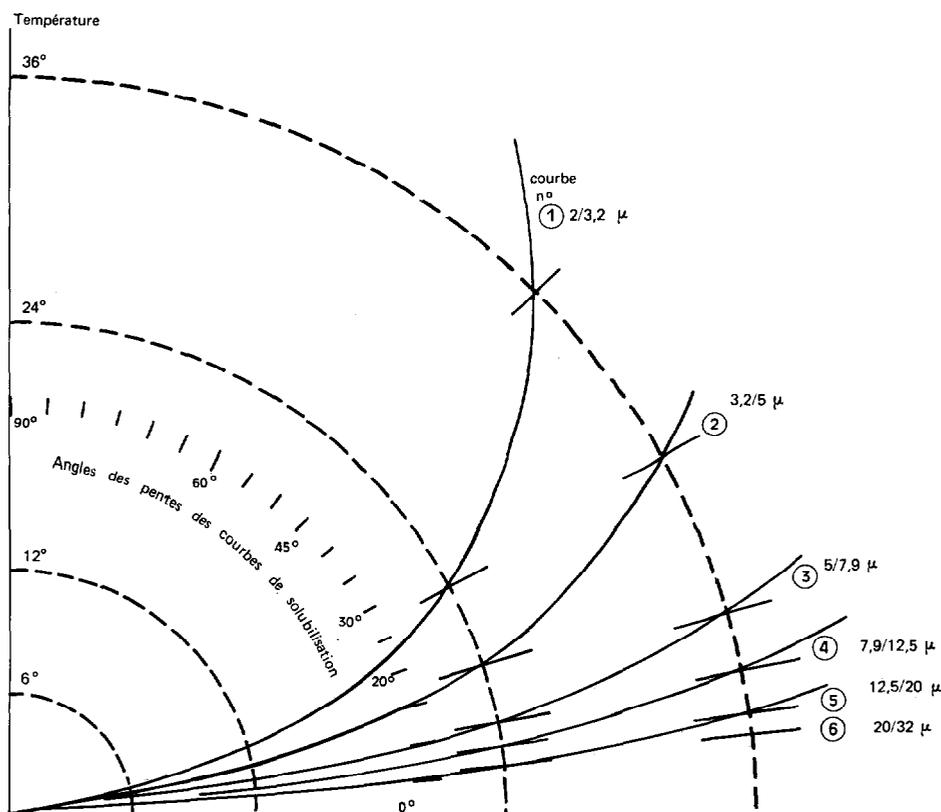


FIG. 25.

A partir du pôle 0, on porte les rayons proportionnels aux températures 6°, 12°, 24°, 36° et on trace les cercles. On trace de même en cercle une échelle des degrés angulaires de 0 à 90°. On porte la valeur angulaire des tangentes au point 4S, sur le cercle correspondant à leur température.

Les valeurs pour une même granulométrie se situent sur une spiraloïde d'origine 0. Les tangentes s'alignent visiblement.

La tangente de la courbe 2 à 36° correspond à celle de la courbe 1 à 24°. La tangente de la courbe 3

à 36° correspond à la tangente de la courbe 2 à 24° et à la tangente de la courbe 1 à 12°.

Ce diagramme donne en outre toutes les tangentes pour toutes les températures.

Ex : à 20°, température non expérimentée, l'angle de la tangente à la courbe est de 23° angulaire ; cette valeur est donnée par l'intersection du cercle température 20° avec la spiraloïde correspondant au module 2 - 3,2 μ .

Il suffit de faire un diagramme solubilité/angle des tangentes pour connaître la solubilité pour un angle déterminé (fig. 26).

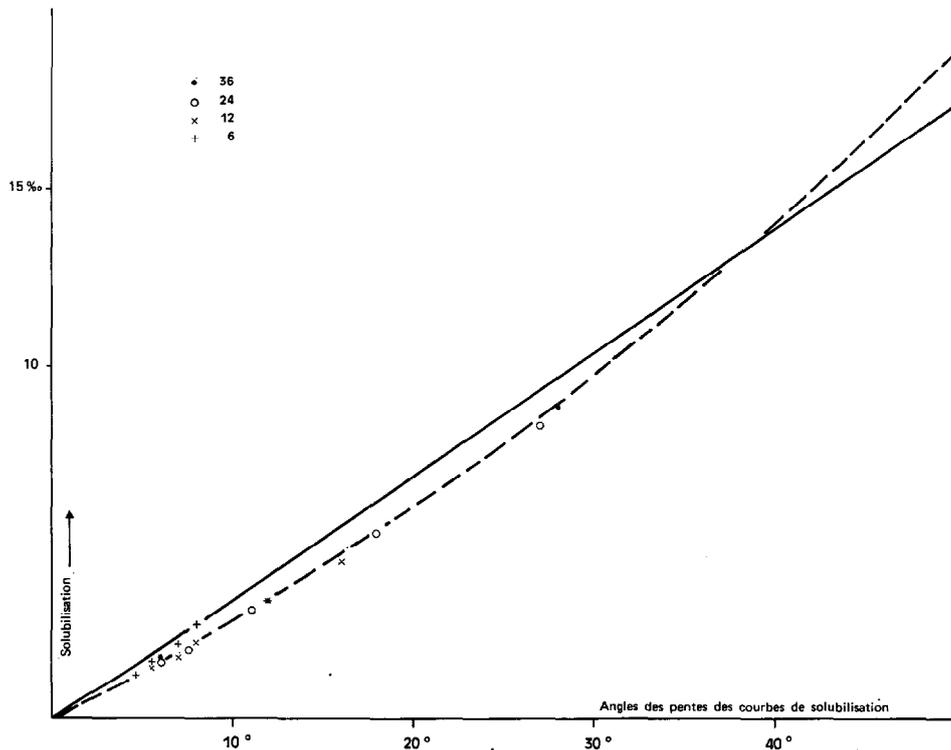


FIG. 26.

Quand on porte des solubilités connues, celles-ci s'alignent suivant une droite, quelle que soit la température. On lit que la solubilité pour un angle de 23° est de 7,5‰ (à une température de 20° et une granulométrie de 2/3, 2 μ). Pour un module 3,2/5 μ , l'angle de la tangente est de 15°, ce qui correspond à une solubilité de 4,75‰.

— Durée totale de la solubilisation

On connaît la solubilisation normale du quartz dans l'expérimentation, par l'étude des courbes en fonction de la durée, de la température, et de la granulométrie. Cette solubilisation normale se définit comme suit : c'est la solubilisation à 4S. En ce point,

la tangente tend à se confondre avec la courbe. On calcule graphiquement la solubilisation qui est représentée par la hauteur du triangle rectangle dont la tangente est l'hypothénuse. La solubilisation normale est donc l'équation de la tangente ramenée au point 0 des coordonnées (fig. 27). Avec cette donnée, et en fonction de la classe granulométrique, il est facile de calculer le temps que peut mettre un grain de quartz de dimension 2 mm pour atteindre par érosion chimique expérimentale la dimension 2μ (tabl. XIX).

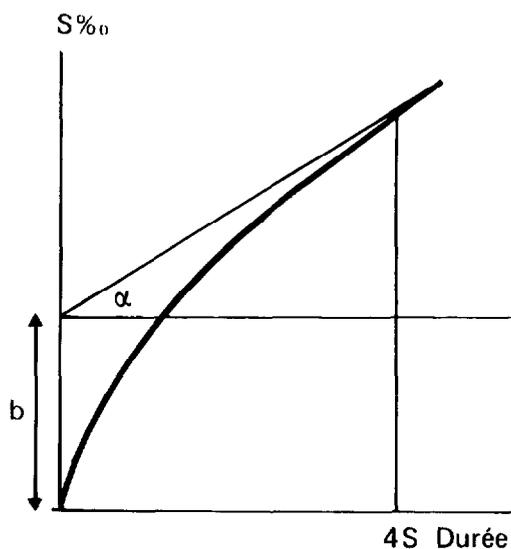


FIG. 27.

Voici le raisonnement appliqué à la classe granulométrique 2/1 mm. Ce raisonnement est répété successivement pour toutes les classes et les résultats partiels sont additionnés. Le total est égal au temps mis par le grain de quartz pour passer de la classe 2/1 mm à la classe $3,2/2\mu$

$$T = \sum_d \frac{(2\text{mm})}{(2\mu)}$$

et à la classe $2\mu/1,25\mu$ obtenue par extrapolation :

De 2 mm à 1 mm, il y a une diminution de volume dont le rapport à la dimension linéaire est comme 8 à 1, c'est-à-dire que si le volume initial est 100, le volume final sera 12,5. Dans cette érosion chimique expérimentale, le grain de quartz a perdu

en évoluant dans sa classe granulométrique (2/1) 87,5 % de son volume. Comme à chaque durée 4S il perd x %, il aura perdu $87,5/x = n$ fois 4S. Ceci est possible car volume et poids sont liés par la densité.

Si on pose que 4S correspond environ à 1 mois d'évolution, il s'en suit qu'à :

36° le quartz évoluera de 2 mm à 1 mm en $87,5/0,04$, c'est-à-dire 2 187 mois ;

6° ce sera $87,5/0,02$, c'est-à-dire 4 375 mois.

Ce raisonnement est appliqué à chaque classe granulométrique et pour chaque température. On obtient ainsi les résultats consignés dans le tableau XX.

Les résultats ainsi obtenus s'appliquent à l'étude de la solubilisation du quartz dans les conditions d'exploitation au laboratoire. Comment extrapoler pour obtenir un ordre de grandeur sur la solubilisation du quartz dans un profil pédologique et dans les conditions réelles de situation géographique et de situation climatologique ?

On avance 2 hypothèses sur l'ordre de grandeur de l'action de l'agent solubilisant. On considère que :

— en milieu naturel, l'agent solubilisant, en dehors de toute érosion mécanique tangentielle et de toute érosion d'écrasement, a une action au minimum 10 fois plus faible ;

— l'action de l'agent solubilisant est limitée dans l'année pendant les mois pluvieux. On propose donc une action de la solubilisation de 3 mois par an, soit 1/4 d'année.

Il faut donc multiplier la durée expérimentale de la solubilisation par $10 \times 4 = 40$, ce qui donne une durée de :

pour 36° : 33 080 ans ;

pour 24° : 40 556 ans ;

pour 12° : 42 240 ans ;

pour 6° : 54 350 ans.

6. CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude met en valeur un certain nombre de faits intéressants la solubilisation du quartz étudié en laboratoire et leurs conséquences sur le terrain.

6.1. La durée de solubilisation

Il est évident que l'expérimentation de courte durée en laboratoire est sans proportion devant les temps géologiques. Cependant, l'allure des courbes a montré qu'à partir de 4 semaines d'observation, on possède un gradient de solubilisation que l'on peut considérer comme régulier, ce qui a permis de calculer le temps nécessaire d'efficacité de l'érosion chimique.

La donnée de l'ordre de 40 000 ans n'est évidemment qu'une donnée avancée très prudemment. Mais il est important de constater que c'est un ordre de grandeur acceptable. Par contre, ces mêmes données dans l'optique de l'expérimentation en laboratoire peuvent apporter des indications aux expérimentateurs.

A partir d'observations effectuées en Côte d'Ivoire, Leneuf (Aubert, Leneuf, 1960) étudie l'élimination de la silice des silicates, non recombinaison dans la synthèse des minéraux phylliteux de néoformation. Il part de la teneur en silice, calcium, magnésium et potassium dans les eaux de suintement. Il y a un ordre d'élimination : Mg, Na, Ca, K, Si, correspondant à la facilité d'altération des minéraux composant le granite. Le silicium des silicates est le dernier élément éliminé avec le potassium. La solubilisation du quartz est très lente.

Dans les conditions de basse Côte d'Ivoire, conditions climatiques humides, 22 000 à 70 000 années seraient nécessaires pour assurer l'altération complète théorique d'une épaisseur de 1 m de granite (c'est-à-dire complète élimination de la silice).

Ces données seraient multipliées par 2 pour la zone moyenne de la Côte d'Ivoire, soit 50 000 à 190 000 années. Comme nous-mêmes dans la discussion des résultats, Leneuf souligne la difficulté en avançant prudemment ces chiffres. Mais, il est intéressant de remarquer que les données se recourent, bien que les méthodes employées soient différentes. Elles procèdent d'hypothèses appuyées, d'une part sur l'observation *in situ* des eaux de drainage en basse Côte d'Ivoire, et d'autre part d'expérimentation en laboratoire *in vitro*.

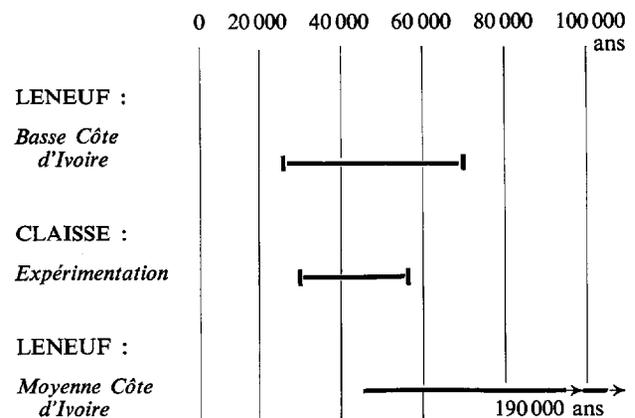
Cependant, les 2 méthodes diffèrent encore par plusieurs points.

La méthode d'observation sur le terrain n'a pas la maîtrise, ni des éléments climatiques, ni de la circulation des fluides dans le sol. Le facteur néoformation des éléments argileux est une donnée très variable quoique certaine. L'influence des cations

entre eux n'est pas non plus négligeable. Les données analytiques s'appliquent à l'ensemble des silicates. Les dimensions du quartz sont plus étalées et les graviers quartzeux ont un diamètre supérieur à 2 mm.

La méthode d'expérimentation en laboratoire s'adresse uniquement à du quartz, il y a impossibilité de néoformation. Le quartz est pur et il n'y a pas interférence de cations. La limite supérieure de la dimension est de 2 mm. Si des grains plus gros avaient été employés de manière à respecter la taille des quartz dans le granite, le temps de solubilisation aurait été considérablement allongé, si bien que les temps avancés sont des temps minima.

La maîtrise des conditions climatiques — durée et température — est parfaitement réalisée mais dans une période chronologique très courte, si bien que l'extrapolation en diminue la valeur. Le liquide solubilisant est par contre très fortement différent de celui rencontré dans les solutions naturelles et c'est là le point critiquable de l'expérimentation :



Il est évident que les solutions de sols n'atteignent pas le pH expérimental de la solution de soude N/10. Cette concentration permet cependant d'accélérer la solubilisation. C'est donc un facteur qui agit, aussi paradoxal que cela puisse être, sur le temps, par rapport aux conditions naturelles. Dire qu'une solution agit 10 fois plus vite, c'est indirectement dire que le déroulement chronologique s'est effectué 10 fois plus rapidement. C'est ce qui a permis d'utiliser des indications exploitables au bout de 4 semaines d'expérimentation.

D'autre part, il n'est pas certain qu'en des endroits précis du substratum pédologique, certains pH soient momentanément élevés :

(a) soit après une période de sécheresse, la concentration des solutions dans les premières eaux de circulation peut élever momentanément le pH :

(b) soit dans les films de séparation des minéraux et du quartz ; ainsi sur le film de contact entre feldspath orthose et quartz dans des granites en voie d'altération peuvent s'accumuler des ions K, OH. Il semble d'ailleurs évident que le pH d'un échantillon de sol soit un pH global et que l'on ne connaît nullement les pH ponctuels des contacts entre éléments minéraux divers.

La précision moindre de la solubilisation des fractions grossières est une conséquence de leur faible valeur, cela a influencé le calcul graphique de la tangente.

6.2. Les températures

Ce sont des facteurs valables et constants d'expérimentation et d'observation dans la nature. Elles correspondent à des données climatiques. L'étude des courbes a montré qu'il y a net regroupement en 2 classes : les basses températures 6° et 12° et les plus fortes températures 24° et 36°. On peut estimer en considérant, soit la moyenne arithmétique, soit la position géométrique des températures (comme 1-1 - 2-2) que la frontière 18°-20° sépare les 2 classes. Dans la classe inférieure, l'accélération de la solubilisation en fonction de la granulométrie est faible ; dans l'autre classe, elle est nettement plus forte.

6.3. L'échelle granulométrique

Elle peut se diviser en 3 parties :

- de 2 mm à 200 μ ;
- de 200 μ à 40 μ ;
- inférieure à 40 μ .

(a) De 2 mm à 200 μ : la solubilisation est faible et pratiquement constante pour les différentes granulométries. Aussi obtient-on une courbe subhorizontale.

(b) De 200 μ à 40 μ : la solubilisation augmente dans cette zone. Quand les facteurs de solubilisation sont actifs (température forte et durée longue), elle commence de suite après 200 μ ; lorsqu'ils sont faibles, elle commence un peu avant 40 μ .

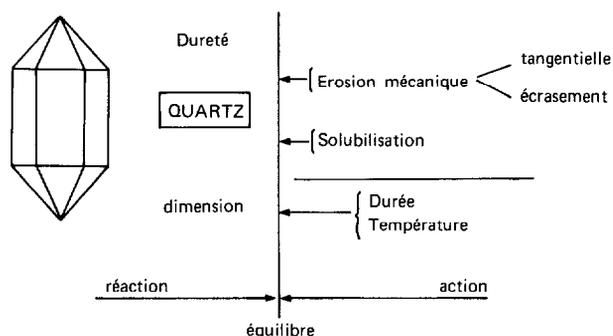
Mais la coupure 40 μ est importante car c'est à cette dimension que la quantité de silice dissoute a pratiquement doublé.

(c) Inférieure à 40 μ : la solubilisation commencée s'accroît régulièrement pour toutes les dimensions.

On peut considérer le point 20 μ comme un point secondaire à partir duquel les solubilisations sont un peu plus rapides quand les facteurs sont très faibles (température 6° et faible durée d'expérimentation). Dans l'étude des extrêmes, nous avons noté la constance des rapports de solubilisation entre les dimensions 2 mm et 40 μ , constance tournant autour de 3. Cela signifie que pour des dimensions supérieures à 40 μ , l'influence climatique ne se fait pas sentir. Les variations de solubilisation sont proportionnelles, quelles que soient les conditions de durée et de température.

Cette étude nous montre la complexité du problème de la solubilisation du minéral. Parmi les facteurs étudiés ou simplement mentionnés, ont donc été envisagés :

- le matériel minéralogique (en l'occurrence le grain de quartz), ses qualités physiques, dureté et dimension ;
- les agents érodants — solutions d'attaque, érosion tangentielle, érosion d'écrasement ;
- les facteurs d'influence — la température et la durée d'attaque.



Le quartz réside bien pour des dimensions grossières jusqu'à 200 ou 100 μ en général. Mais lorsqu'il a été suffisamment amenuisé, soit par l'érosion, soit par la dissolution, il est beaucoup plus rapidement dissout. Il semble que la dimension 40 μ soit une dimension critique dans la résistance du quartz à la solubilisation.

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT (G.), LENEUF (N.), 1960. — Essais d'évaluation de la vitesse de ferrallitisation. Congrès International de la Science du Sol, Madison, Juillet 1960 : 225-228.

CLAISSE (G.), 1968. — Etude expérimentale de l'Analyse aux trois acides. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, n° 2 : 129-149.

CLAISSE (G.), 1972. — Solubilisation du Quartz en voie d'altération. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 2 : 97-122.

MILLOT (G.), 1964. — Géologie des Argiles. Altérations, sédimentologie, Géochimie. Masson, 499 p., 75 fig., 12 pl. dont 2 en coul., 15 tabl.

ERRATA.

— Fig. 22, lire équation de la courbe 5 :

$$y = 0,09 x + 2,35$$

— Fig 24, lire :

courbe 2 : $y = 0,555 x + 12,95$

courbe 3 : $y = 0,285 x + 10,75$

courbe 4 : $y = 0,22 x + 6,9$

TABLEAU III

Solubilisation du quartz pur pour une durée de 1/4 de semaine

	g	6°	12°	24°	36°
12	2/1	0,5	0,6	0,7	0,9
11	1/05	0,5	0,7	0,8	1
10	05/02	0,6	0,8	0,9	1,1
9	02/01	0,7	0,9	1	1,4
8	100/50	0,9	1,1	1,2	1,8
7	50/32	1,1	1,3	1,5	2,3
6	32/20	1,3	1,6	1,9	3,1
5	20/12,5	1,7	2,1	2,4	4
4	12,5/7,9	2	2,5	2,9	4,9
3	7,9/5	2,7	3,2	3,8	6,4
2	5/3,2	3,5	4	4,8	8,2
1	3,2/2	4,5	5,4	6,1	10,4

TABLEAU V

Solubilisation du quartz pur pour une durée de une semaine

	g	6°	12°	24°	36°
12	2/1	0,7	0,8	0,9	1,1
11	1/05	0,8	0,9	1	1,2
10	05/02	0,9	1	1,1	1,3
9	02/01	1	1,2	1,3	1,6
8	100/50	1,2	1,4	1,6	2,2
7	50/32	1,4	1,6	2	2,7
6	32/20	1,7	2,1	2,7	3,7
5	20/12,5	2,1	2,7	3,6	5,1
4	12,5/7,9	2,6	3,5	4,9	7,1
3	7,9/5	3,3	4,6	7	10,5
2	5/3,2	4,1	5,7	9,5	13,8
1	3,2/2	5,2	7	12	17,2

TABLEAU IV

Solubilisation du quartz pur pour une durée de 1/2 semaine

	g	6°	12°	24°	36°
12	2/1	0,6	0,7	0,8	1
11	1/05	0,7	0,8	0,9	1,2
10	05/02	0,8	1	1	1,3
9	02/01	0,9	1,2	1,1	1,5
8	100/50	1	1,3	1,4	2
7	50/32	1,2	1,5	1,8	2,5
6	32/20	1,5	2	2,3	3,5
5	20/12,5	1,9	2,5	3	4,8
4	12,5/7,9	2,4	3,1	3,9	6,3
3	7,9/5	3	4	5,2	8,8
2	5/3,2	3,8	5	6,5	11
1	3,2/2	4,8	6,5	8,5	13,9

TABLEAU VI

Solubilisation du quartz pur pour une durée de deux semaines

	g	6°	12°	24°	36°
12	2/1	0,8	1	1,1	1,2
11	1/05	0,9	1,1	1,2	1,3
10	05/02	1	1,2	1,3	1,4
9	02/01	1,2	1,4	1,5	1,7
8	100/50	1,4	1,6	2	2,5
7	50/32	1,6	1,9	2,5	3,1
6	32/20	1,9	2,4	3,2	4
5	20/12,5	2,3	3	4,2	5,7
4	12,5/7,9	2,9	3,7	5,6	8,4
3	7,9/5	3,8	5	8	11,8
2	5/3,2	4,8	6,4	11	15,5
1	3,2/2	6	8,4	14,5	20,5

TABLEAU VII

Solubilisation du quartz pur pour une durée de quatre semaines

	φ	6°	12°	24°	36°
12	2/1	1	1,2	1,3	1,5
11	1/05	1,1	1,2	1,4	1,6
10	05/02	1,2	1,3	1,5	1,7
9	02/01	1,4	1,6	1,7	2
8	100/50	1,8	2	2,3	2,8
7	50/32	2,2	2,4	2,8	3,6
6	32/20	2,6	3	3,6	5,1
5	20/12,5	3,2	3,9	5	6,9
4	125/7,9	3,9	5	7	10,5
3	7,9/5	5	6,4	10	15,5
2	5/3,2	6,2	8,2	14	21,9
1	3,2/2	7,8	10,7	10,5	31,8

TABLEAU IX

Solubilisation du quartz pur pour une température de 6°

	φ	4 S	2 S	S	S/2	S/4
12	2/1	1	0,8	0,7	0,6	0,5
11	1/05	1,1	0,9	0,8	0,7	0,5
10	05/02	1,2	1	0,9	0,8	0,6
9	04/01	1,4	1,2	1	0,9	0,7
8	100/50	1,8	1,4	1,2	1	0,9
7	50/32	2,2	1,6	1,4	1,2	1,1
6	32/20	2,6	1,9	1,7	1,5	1,3
5	20/12,5	3,2	2,3	2,1	1,9	1,7
4	12/7,9	3,9	2,9	2,6	2,4	2
3	7,9/5	5	3,8	3,3	3	2,7
2	5/3,2	6,2	4,8	4,1	3,8	3,5
1	3,3/2	7,8	6	5,2	4,8	4,5

TABLEAU VIII

Rapport de solubilité entre 36° et 6° pour chaque classe granulométrique en fonction de la durée

	φ	S/4	S/2	S	2 S	4 S
12	2/1	1,8	1,7	1,5	1,5	1,5
11	1/05	2	1,7	1,5	1,4	1,4
10	05/02	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4
9	02/01	2	1,7	1,6	1,4	1,4
8	100/50	2	2	1,8	1,7	1,5
7	50/32	2	2,1	1,9	1,9	1,6
6	32/20	2,1	2,3	2,2	2,1	1,9
5	20/12,5	2,3	2,3	2,4	2,5	2,1
4	12,5/7,9	2,4	2,6	2,7	2,9	2,7
3	7,9/5	2,3	2,9	3,1	3,1	3,1
2	5/3,2	2,5	2,9	3,3	3,2	3,5
1	3,2/2	2,3	2,9	3,3	3,4	4,1
RS 1/12		1,3	1,7	2,2	2,4	2,5
Moy.		2,08	2,22	2,22	2,21	2,26

TABLEAU X

Solubilisation du quartz pur pour une température de 12°

	φ	4 S	2 S	S	S/2	S/4
12	2/1	1,2	1	0,8	0,7	0,6
11	1/05	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7
10	05/02	1,3	1,2	1	1	0,8
9	02/01	1,6	1,4	1,2	1,2	0,9
8	100/50	2	1,6	1,4	1,3	1,2
7	50/32	2,4	1,9	1,6	1,5	1,3
6	32/20	3	2,4	2,1	2	1,6
5	20/12,5	3,9	3	2,7	2,5	2,1
4	12,5/7,9	5	3,7	3,5	3,1	2,5
3	7,9/5	6,4	5	4,6	4	3,2
2	5/3,2	8,2	6,4	5,7	5	4
1	3,2/2	10,7	8,4	7	6,5	5,4

TABLEAU XI

Solubilisation du quartz pur pour une température de 24°

	g	4 S	2 S	S	S/2	S/4
12	2/1	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7
11	1/05	1,4	1,2	1	0,9	0,8
10	05/02	1,5	1,3	1,1	1	0,9
9	02/01	1,7	1,5	1,3	1,1	1
8	100/50	2,3	2	1,6	1,4	1,2
7	50/32	2,8	2,5	2	1,8	1,6
6	32/20	3,6	3,2	2,7	2,3	1,9
5	20/12,5	5	4,2	3,6	3	2,4
4	12,5/7,9	7	5,6	4,9	3,9	2,9
3	7,9/5	10	8	7	5,2	3,8
2	5/3,2	14	11	9,5	6,5	4,8
1	3,2/2	19,5	14,5	12	8,5	6,1

TABLEAU XII

Solubilisation du quartz pur pour une température de 36°

	g	4 S	2 S	S	S/2	S/4
12	2/1	1,5	1,2	1,1	1	0,9
11	1/05	1,6	1,3	1,2	1,2	1
10	05/02	1,7	1,4	1,3	1,3	1,1
9	02/01	2	1,7	1,6	1,5	1,4
8	100/50	2,8	2,5	2,2	2	1,8
7	50/32	3,6	3,1	2,7	2,5	2,3
6	32/20	5,1	4	3,7	3,5	3,1
5	20/12	6,9	5,7	5,1	4,8	4
4	12,5/7,9	10,5	8,4	7,1	6,3	4,9
3	7,9/5	15,5	11,8	10,5	8,8	6,4
2	5/3,2	21,9	15,5	13,8	11	8,2
1	3,2/2	31,8	20,5	17,2	13,9	10,4

TABLEAU XIII

Rapport de solubilité entre les deux durées 4 semaines et 1/4 de semaine pour chaque classe granulométrique en fonction de la température

	g	6°	12°	24°	36°
12	2/1	2	2	1,8	1,6
11	1/05	2,2	1,7	1,7	1,6
10	05/02	2	1,6	1,6	1,6
9	02/01	2	1,8	1,7	1,4
8	100/50	2	1,8	1,9	1,5
7	50/32	2	1,8	1,7	1,5
6	32/20	2	1,8	1,9	1,6
5	20/12,5	1,9	1,8	2,1	1,7
4	12,5/7,9	1,9	2	2,4	2,1
3	7,9/5	1,8	2	2,6	2,4
2	5/3,2	1,8	2,1	2,9	2,6
1	3,2/2	1,7	2	3,2	3,1
RS 1/12		0,9	1	1,9	1,9
Moy.		2,01	1,88	2,12	1,89

TABLEAU XIV

Tableau des équations des tangentes et des angles d'après la solubilité du quartz en fonction des durées

36°

$$y = ax + b$$

(g)	1,25/2	1,4x + 18	54
1	2 / 3,2	1x + 14	45
2	3,2 / 5	0,55x + 12,95	29
3	5 / 7,9	0,285x + 10,75	18
4	7,9 / 12,5	0,22x + 6,90	12
5	12,5 / 20	0,13x + 4,80	7 1/2
6	20 / 32	0,11x + 3,90	6

TABLEAU XV

Tableaux des équations des tangentes et des angles d'après la solubilité du quartz en fonction des durées

24° $y = ax + b$

(0)	1,25 / 2	0,9 x + 12	42
1	2 / 3,2	0,51x + 11,2	27
2	3,2 / 5	0,33 x + 8,7	18
3	5 / 7,9	0,195x + 6,85	11
4	7,9 / 12,5	0,13 x + 5	7 ½
5	12,5 / 20	0,105x + 3,45	6

TABLEAU XVI

12° $y = ax + b$

(0)	1,25 / 2	0,5 x + 7	25
1	2 / 3,2	0,29 x + 6,1	16
2	3,2 / 5	0,21 x + 4,8	12
3	5 / 7,9	0,14 x + 4	8
4	7,9 / 12,5	0,11 x + 3,1	7
5	12,5 / 20	0,085 x + 2,35	5 ½

TABLEAU XVII

6° $y = ax + b$

(0)	1,25 / 2	0,27 x + 5,4	15
1	2 / 3,2	0,215 x + 4,35	12
2	3,2 / 5	0,15 x + 3,60	8
3	5 / 7,9	0,12 x + 2,90	7
4	7,9 / 2,5	0,10 x + 2,3	5 ½
5	12,5 / 20	0,081 x + 1,8	4 ½

TABLEAU XVIII

Tableau des correspondances des angles des tangentes aux courbes de solubilisation en fonction des durées

	36° de température	24° de température	12° de température	6° de température
(0) 1,25/2	54			
(1) 2/3,2	45	42		
(2) 3,2/5	29	27	25	
(3) 5/7,9	16	18	16	15
(4) 7,9/12,5	12	11	12	12
(5) 12,5/20	7 ½	7 ½	8	8
(6) 20/32	6	6	7	7

TABLEAU XIX

Tableau de la solubilisation normale du quartz pour des durées de 4 S en ‰

	ϕ	36°	24°	12°	6°
12	2/1	0,4	0,3	0,3	0,2
11	1/05	0,5	0,4	0,4	0,3
10	05/02	0,6	0,5	0,5	0,4
9	02/01	0,7	0,6	0,6	0,5
8	100/50	0,8	0,8	0,8	0,7
7	50/32	1	0,9	0,8	0,8
6	32/20	1,8	1,4	1,1	1,1
5	20/12,5	2	1,7	1,5	1,3
4	12,5/7,9	3,5	2	1,8	1,7
3	7,9/5	4,7	3,1	2,2	2
2	5/3,2	8,9	5,3	3,4	2,8
1	3,2/2	17,6	8,3	4,5	3,4
0	2/1,25	22,5	15,2	7,7	4,4

TABLEAU XX

Tableau des durées de solubilisation totale

		rapport des volumes	Perte en %	36°	24°	12°	6°
12	2/1	100/12,5	87,5	2 187	2 918	2 918	4 375
11	1/05	100/12,5	87,5	1 750	2 143	2 143	2 917
10	05/02	100/6,4	93,6	1 560	1 860	1 860	2 337
9	02/01	100/12,5	87,5	1 250	1 456	1 456	1 750
8	100/50	100/12,5	87,5	1 093	1 094	1 094	1 250
7	50/32	100/26,2	73,8	753	820	820	922
6	32/20	100/24,4	75,6	420	540	530	688
5	20/12,5	100/24,4	75,6	378	445	506	582
4	12,5/7,9	100/25,2	74,8	213	374	416	441
3	7,9/5	100/25,2	74,8	159	241	340	374
2	5/3,2	100/26,2	73,8	83	139	217	267
1	3,2/2	100/24,4	75,6	43	90	168	222
a	2/1,25	100/24,4	75,6	34	50	98	172
mois				9 923	12 170	12 726	16 297
années				827	1 014,2 m	1 060,6 m	1 355
années (hypothèse $\times 40$)				33 080	40 566	42 093	54 350

TABLEAU XXI

Valeurs de la courbe (a) obtenue par extrapolation des résultats expérimentaux et correspondant à une séquence granulométrique de 1 μ . 25
Résultats en ‰

Durée Température	4 S	2 S	S	$\frac{1}{2}$ S	$\frac{1}{4}$ S
6°	9,7	7,6	6,5	6	5,7
12°	14,5	10,8	9	7,8	6,6
24°	27,5	19,5	14,6	10,7	7,8
36°	48	28,9	21,5	17,5	13,5