

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

N° 80 15876

⑫

⑤④ Solution de silicates à haut rapport molaire, obtention et application notamment à la consolidation des sols.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). C 09 K 17/00; C 01 B 33/32.

⑫② Date de dépôt..... 18 juillet 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 3 du 22-1-1982.

⑦① Déposant : RHONE-POULENC INDUSTRIES, résidant en France.

⑦② Invention de : Robert Maurer et Jean-Philippe Rieux.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Henri Martin, Rhône-Poulenc Industries,
Services Brevets chimie et polymères, B.P. 753, 75360 Paris Cedex 08.

SOLUTION DE SILICATES A HAUT RAPPORT MOLAIRES, OBTENTION
ET APPLICATION NOTAMMENT A LA CONSOLIDATION DES SOLS

La présente invention a trait à une solution de silicates à haut rapport molaire, à son obtention, et à son application notamment à la consolidation des sols.

On sait que l'on a déjà proposé depuis longtemps d'obtenir des silicates à haut rapport par contact d'une solution de silicate avec une résine échangeuse de cations d'acide fort comme dans le brevet américain 2 244 325, ou par enrichissement d'une solution de silicate par une solution d'acide silicique comme dans le brevet américain 3 533 816. D'une manière générale on a décrit dans le brevet français 1 338 872 un procédé de fabrication de silicates qui peuvent être de haut rapport par réaction d'un organosol d'acide silicique monomère fraîchement préparé et d'un hydroxyde métallique finement divisé de manière telle que le pH du milieu devienne instantanément supérieur à 7, ce qui provoque la formation d'un gel.

Or dans certaines applications, comme dans le cas de la consolidation des sols l'on désire provoquer une gélification, mais seulement au moment de l'utilisation, tout en faisant appel à un produit de teneur élevée en silice. C'est pourquoi par exemple dans le FR 2 015 165 on revendique de faire appel à un mélange formé par une dispersion et comprenant une phase en solution constituée par une solution aqueuse de silicate alcalin et une phase aqueuse constituée par une dispersion aqueuse de silice colloïdale, de manière à pouvoir atteindre un rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ aussi élevé que possible.

Mais l'on voit que d'une part il faut faire appel à deux compositions différentes (une solution et une dispersion) et que l'on est toujours dépendant des exigences de la solution de silicate dont on sait qu'il y a lieu de diminuer la teneur en matières solides afin de conserver sa stabilité si l'on augmente le rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ (FR 2 015 165 p. 5 lignes 12-15).

Le problème est alors de réaliser des solutions stables de silicates de rapport le plus élevé possible.

On a ainsi déjà revendiqué dans la DE-AS 1 667 538 des solutions aqueuses stables de silicate de rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{oxyde de}$

métal alcalin compris entre 4,5/1 et 9/1 en faisant appel comme stabilisant à un dérivé d'ammonium quaternaire. Mais l'on peut se rendre compte qu'il ne s'agit pas d'une solution simple.

On sait par ailleurs que de nombreux travaux ont été faits sur les solutions de silicate de rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ - Voir en particulier The Chemistry of Silica Ralph K. Iler John Wiley & Sons 1979- Pour obtenir des solutions de silicate on fabrique généralement du silicate vitreux de rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ compris entre 1,6 et 3,9, que l'on dissout. La concentration en silice dans la solution est d'autant plus élevée que le rapport molaire est plus faible (voir page 119 de l'ouvrage précité).

On peut aussi directement obtenir des solutions de silicate de rapport molaire compris entre 2,0 et 2,5 par attaque de sable à l'autoclave par une solution de soude.

Le problème est alors d'élever le rapport molaire de la solution car notamment dans le cas de la consolidation des sols, il faut à la fois apporter le plus possible de silice, et le moins possible d'oxyde métallique.

Or, l'on a observé que l'on se heurte à des difficultés sérieuses lorsque l'on veut obtenir des solutions stables riches en silices. On observe en particulier la formation de gel ou au moins une nette instabilité avec des agents d'acidification usuels tels que HNO_3 , HCl , CO_2 , l'acide borique ou des acides organiques tels que formique, acétique, propionique, succinique, glutarique, adipique, acrylique ou polyacrylique.

Or maintenant l'on a trouvé, et c'est ce qui fait l'objet de la présente invention que l'on peut obtenir des solutions stables de silicates alcalins par un procédé qui consiste à traiter une solution de silicate alcalin par un acide fort minéral.

La solution de silicate alcalin, comme dit précédemment peut être soit une solution obtenue à partir de silicate vitreux, soit directement par attaque sodique.

L'acide fort minéral peut être constitué par exemple par de l'acide sulfurique, mais selon une forme de réalisation préférée de la présente invention l'on fait appel à de l'acide phosphorique. On observe qu'avec l'acide phosphorique l'on peut obtenir une meilleure stabilité et notamment obtenir des solutions de rapports molaires

SiO₂/oxydes métalliques plus élevés.

Il s'agit là d'un effet tout à fait inattendu et imprévisible de la part de l'homme de l'art car le pourcentage de cation est sensiblement le même, aux erreurs de mesure près, entre l'acide sulfurique et l'acide phosphorique.

Les silicates selon l'invention comprennent éventuellement les silicates de sodium, mais aussi de potassium et de lithium.

Selon la présente invention le silicate de départ présente un rapport molaire $R_m = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$ compris entre 2 et 4 et le produit final

un rapport R_m d'au moins 3,3 et avantageusement au moins égal à 3,9.

Mais comme dit précédemment la stabilité des solutions de silicate dépend de la concentration en matières sèches, ou extraits secs. Celle-ci est exprimée en % en poids de SiO₂ dépend du rapport molaire SiO₂/Na₂O.

Les concentrations des solutions de silicate de départ peuvent varier dans de larges limites mais sont de l'ordre de 15 à 30 % en poids en SiO₂.

La concentration de l'acide phosphorique est comprise entre 1 et 87 %.

La température de réaction est comprise entre 10 et 95°C, et avantageusement entre 20 et 40°C.

Par ailleurs on observe, que contrairement à ce qui se passe lorsque l'on fait réagir une solution de silicate avec un autre acide, les solutions obtenues sont stables c'est-à-dire que leur viscosité demeure sensiblement constante avec le temps.

Ceci est bien entendu un avantage considérable et les rend utilisables dans toutes les utilisations où, avec un silicate l'on désire apporter beaucoup de silice, par rapport à la quantité d'oxyde de sodium, lequel est à éviter dans le cas de l'étanchement des sols.

Or on a observé que les solutions de silicate selon l'invention étaient parfaitement adaptées à ce genre d'application, et permettent notamment de préparer des solutions prêtes à l'emploi et transportables. Il est en effet impensable de réaliser sur place une réaction d'acidification avec un acide fort.

En particulier ils sont appropriés à des formulations contenant des % de SiO_2 entre 3 et 10 % et en particulier 10 à 20 %.

Mais bien entendu cette application n'est nullement limitative du produit selon l'invention.

Mais la présente invention sera plus aisément comprise à l'aide des exemples suivants donnés à titre illustratif, mais nullement limitatif.

lère série d'exemples

Ces exemples ont pour but d'étudier comparativement l'action de diverses solutions d'acide sur une même solution de silicates alcalins dans les mêmes conditions opératoires. La solution de silicate alcalin est constituée par une solution renfermant 266 g/l de SiO_2 et 74,1 g/l de Na_2O ce qui correspond à un silicate de rapport molaire Rm égal à 3,5.

La température de réaction est de 20°C pour l'ensemble des exemples.

a) Dans un réacteur de 5 litres renfermant 3855 g de la solution de silicate on verse en 5 minutes 79,7 g d'acide orthophosphorique à 85 % exprimés en H_3PO_4 dilué dans 1133 g d'eau permutée de manière à obtenir un silicate de rapport Rm égal à 4,4.

Dans les mêmes conditions opératoires l'on remplace l'acide phosphorique par les acides minéraux et organiques suivants :(*)

Observations

HCl	précipitation immédiate
H_2SO_4	précipitation après un temps relativement court
HNO_3	précipitation immédiate
Acide carbonique (barbotage CO_2 dans le silicate)	gel en surface
Acides organiques	} formation de grumeaux
Acide acrylique et polyacrylique	

On voit donc que seul l'acide phosphorique conduit dans ces conditions à une solution stable mais que l'on note un effet positif de l'acide sulfurique.

(*) les solutions des divers acides utilisés ont la même normalité que le H_3PO_4 employé.

2ème série d'exemples

Dans cette série d'exemples on opère selon le mode préférentiel de l'invention en faisant varier la température et le rapport molaire du silicate.

Les conditions opératoires et les résultats sont résumés dans le tableau ci-après. Ces résultats concernent également l'application en consolidation des sols.

Dans ce tableau : les coulis à 10 % et 14 % de SiO_2 correspondent à la composition pondérale suivante :

:	:	:	:
:	SiO_2	10 %	14 %
:	:	:	:
:	Silicate $R_m = 4,4$	50,2	70,3
:	:	:	:
:	Durcisseur	3,9	5,5
:	:	:	:
:	Eau	45,9	24,2
:	:	:	:
:	:	100,0	100,0
:	:	:	:

CNT = coefficient de neutralisation théorique d'environ 0,6

Durcisseur = masse moléculaire 181

mélange de succinate
 " " glutarate de méthyle
 " " adipate et éthyle

réactivité : représentée par le temps de prise

pour $\text{SiO}_2 = 10 \%$ 58 min.
 " " = 14 % 22 min.

synérèse : liquide expulsé par le gel 15 jours après la prise.

Ces exemples illustrent donc bien le comportement remarquable des silicates selon l'invention en consolidation de sols.

Le temps de prise est défini conventionnellement comme le temps compris entre l'instant du mélange des 3 composants et le moment où le coulis devient suffisamment rigide (augmentation de viscosité) pour ne plus couler lorsque l'on incline le récipient de mélangeage jusqu'à l'horizontale.

Les résultats de ces essais sont rassemblés dans les tableaux ci-après.

TABLEAU I

ANALYSE DU SILICATE DE DEPART
TEMPERATURE DE L'OPERATION

Silicate de départ						
Référence silicate	Rapport théorique	R	Analyse		Tempéra. Opér. °C	
			% SiO ₂	% Na ₂ O		
Silicate	2,6	2,69	31,5	11,7	-	
1	2,6	2,69	31,5	11,7	20	
2	"	"	"	"	40	
1	"	"	"	"	60	
2	"	"	"	"	20	
3	"	"	"	"	40	
1	"	"	"	"	60	
1	"	"	"	"	20	
4	"	"	"	"	40	
2	"	"	"	"	60	
	3,3	3,59	26,6	7,41	-	
2	"	"	"	"	20	
5	"	"	"	"	40	
3	"	"	"	"	60	
1	"	"	"	"	20	
6	"	"	"	"	40	
4	"	"	"	"	60	
	3,9	4,03	23,7	5,88	-	

TABLEAU II
ANALYSE DU SILICATE D'ARRIVEE
ET VISCOSITE A 24 HEURES ET 3 MOIS

R	Analyse silicate d'arrivée			Viscosité en mPa/s Rhéomat 30 = 30		
	Référence silicate	% SiO ₂	% Na ₂ O	% Na ₃ PO ₄	à 24h00	à 3 mois
-	Silicate	-	-	-	286	297
3,38	1	24,9	7,37	3,52	97	107
3,36	2	25,2	7,50	3,54	95	109
3,35	1	25,2	7,52	3,50	95	110
3,71	2	22,2	5,98	4,20	61	58
3,74	3	22,3	5,96	4,40	53	59
3,66	1	22,3	6,05	4,28	62	60
4,27	1	19,1	4,47	4,55	36	38
4,11	4	19,2	4,67	4,50	57	39
4,20	2	19,3	4,60	4,50	44	42
-		-	-	-	62	69
3,93	2	23,3	5,93	1,11	51	55
3,90	5	23,5	6,03	1,06	42	44
3,95	3	23,4	5,92	1,11	57	56
4,55	1	20,2	4,44	2,08	121	119
4,41	6	19,9	4,51	2,08	140	(*)
4,42	4	20,1	4,55	1,97	102	128
-		-	-	-	70	51

(*) non mesurable

TABLEAU III

COULIS DE CONSOLIDATION A 10 % ET 14 % DE SiO_2
 REACTIVITE, SYNERESE ET RESISTANCE A LA COMPRESSION

Référence silicate	Coulis à 10 % SiO_2				Coulis à 14 % SiO_2			
	Réactivité en mn	Syné- rèse %	Rc		Réactivité en mn	Syné- rèse %	Rc	
	à 24 h	à 3 mois	à 15 j.	à 7 j.	à 24 h	à 3 mois	à 15 j.	à 7 j.
silicate	130	134	32,0	45^{+25}	115	130	46,5	155^{+32}
1	104	116	24,5	47^{+06}	102	110	52,5	119^{+16}
2	130	117	35,0	-	98	121	53,5	-
1	130	117	47,0	-	98	122	52,5	-
2	91	101	11,0	45^{+06}	82	99	25,5	118^{+17}
3	122	102	31,5	-	96	99	31,5	-
1	107	101	37,0	-	102	98	37,0	-
1	65	57	12,0	62^{+05}	49	51	21,5	119^{+22}
4	72	58	10,0	-	52	50	21,5	-
2	70	58	9,5	-	59	51	21,5	-
	112	102	5,5	60^{+12}	80	79	21,5	130^{+21}
2	87	85	4,5	84^{+06}	60	61	16	152^{+12}
5	100	78	1,0	77^{+10}	65	64	16	152^{+10}
3	89	71	4,0	70^{+09}	65	62	15,5	123^{+24}
1	60	51	4,0	74^{+05}	20	21	10,5	130^{+34}
6	58	51	4,0	-	22	22	10,5	-
4	61	55	4,0	-	24	23	10,5	-
	89	78	2,7	76^{+08}	59	55	10,5	151^{+18}

R_c = Résistance à la compression sur éprouvettes (40 h80 mn) de sable de Fontainebleau injecté, exprimé en 10^5 Pa (bar).

3ème série d'exemples - Influence de la dilution.

Augmentation du rapport par addition d'acides (H_3PO_4 , H_2SO_4 , HCl). Influence de la dilution. Passage Rm 3,6 à Rm 4,5.

On part d'un SILICATE de Na COMMERCIAL de Rp = 3,3 que l'on veut transformer en Rp = 4,4 par addition d'acide. Le silicate de Na de départ est dilué de telle façon que :

SiO_2 finale = environ 10 %

Formules (en grammes)

	1	2	3
Silicate Na 3.3	385.5	385.5	385.5
Eau permutée	500	500	500
Eau permutée	113.3	101	110
H_3PO_4 à 85 %	7.97	-	-
H_2SO_4 à 98 %	-	-	10.7
H Cl à 38 %	-	19.9	-
	<hr/> 1006.77	<hr/> 1006.4	<hr/> 1006.2

Mode opératoire

On dilue le silicate avec 500 g d'eau. On verse le mélange (acide + eau restante) dans le silicate dilué. Température ambiante comprise entre 20 et 25°C.

Résultats

formule 1 - obtention d'un liquide homogène (préparation plus facile que lorsque l'on part d'un silicate liquide commercial non dilué).

formule 2 - le liquide obtenu ne contient pas de grumeaux sur le moment, mais gélification après 3 jours au plus de stockage.

formule 3 - le liquide obtenu ne contient pas de grumeaux immédiatement après mélangeage, mais gélification après 3 jours au plus de stockage.

Gélification par concentration à chaud

Si dans l'heure qui suit le mélangeage on porte à l'ébullition

un échantillon de chacun des liquides précédents, de façon à provoquer un départ d'eau correspondant à environ 50 % du poids total de manière à avoir une SiO_2 d'environ 20 %, on observe les phénomènes suivants :

- . traitement H_3PO_4 : obtention d'un liquide plus visqueux
- . traitement HCl et H_2SO_4 : la concentration par ébullition conduit à la gélification.

Conclusion

Le silicate de Na liquide Rp = 4,4, ex H_3PO_4 est stable à froid et à chaud. Les produits ex- HCl et H_2SO_4 ne le sont pas.

Augmentation du rapport - Passage Rm 2,7 (ou 3,6) à Rm 3,9

Les SILICATES de Na COMMERCIAUX de départ ont pour caractéristiques :

SiO_2 =	25.6 %	30.8 %
Na_2O =	7.35 %	11.8 %
Rp =	3.48	2.61
Rm =	3.59	2.69

Formule en grammes

	4	5	6	7
Silicate Na 3.3	4450	4450	-	-
Silicate Na 2.6	-	-	3763	3763
H_3PO_4 à 85 %	42.5	-	162.5	-
H_2SO_4 à 98. %	-	55.3	-	211.4
Eau permutée	<u>543.5</u>	<u>495</u>	<u>1302.5</u>	<u>1115.6</u>
	5036.0	5000.3	5228.0	5090.0

Mode opératoire

Le mélange (acide +eau) est versé sous agitation dans le silicate commercial. La température ambiante est de 20°C.

Résultats

formule 4 : (3.3 + H_3PO_4) : le liquide obtenu est homogène. Son pH = 11.23

	Prévision	obtenu
SiO_2		22.4 %
Na_2O		5.9 %
Rp	3.90	3.79
Rm	4.02	3.91

formule 5 : (3.3 + H₂SO₄) : après addition de l'acide sulfurique dilué en 15 min. environ, on obtient un silicate final assez visqueux de pH = 11.07

	Prévision	obtenu
SiO ₂		22.75 %
Na ₂ O		5.96 %
Rp	3.90	3.82
Rm	4.02	3.94

formule 6 : (2.6 + H₃PO₄) : le liquide final est homogène. Son pH = 11.26

	Prévision	obtenu
SiO ₂		21.6 %
Na ₂ O		6.0 %
Rp	3.90	3.60
Rm	4.02	3.71

formule 7 : (2.6 + H₂SO₄) : l'addition de l'acide sulfurique dilué se fait en 12 min environ, le silicate final (pH = 11.1) comporte de nombreux grumeaux. Après 24 heures environ de stockage. Séparation en deux phases distinctes :

- 1'une (A) supérieure liquide
- 1'autre (B) inférieure extrêmement visqueuse

	Prévision	obtenu	
		(A)	(B)
SiO ₂		21.3 %	25.8 %
Na ₂ O		5.94 %	6.5 %
Rp	3.90	3.58	3.97
Rm	4.02	3.70	4.09

Conclusions

A température ambiante il est possible de passer du rapport 3.3 au 3.9 en utilisant H₃PO₄ ou H₂SO₄.

Par contre, lorsque l'on part du rapport 2.6 et que l'on cherche à atteindre 3.9, la transformation ne se fait normalement qu'avec H₃PO₄.

L'emploi de H₂SO₄ conduit à la formation de deux phases une liquide Rm = 3.7 + une extrêmement visqueuse Rm = 4.1) dans ce dernier cas.

4ème série d'exemplesSILICATE DE POTASSIUM LIQUIDE

Augmentation du rapport par addition d'acides (H_3PO_4 , H_2SO_4 , H Cl). Passage Rm 3.7 à Rm 4.5

On part d'un SILICATE de K COMMERCIAL caractérisé par :

SiO_2	=	21,5 %	soit	Rp = 2.37
K_2O	=	9,07 %		Rm = 3.71
d	=	1.271		

que l'on traite par H_3PO_4 , H_2SO_4 ou H Cl pour en augmenter le rapport.

<u>Formules (en grammes)</u>	1	2	3	4
Silicate de K 2.3	400	400	400	400
H_3PO_4 à 85 %	5.32	5.32	-	-
H_2SO_4 à 98 %	-	-	6.8	-
H Cl à 38 %	-	-	-	15
Eau permutée	95	45	93	85
	<u>500.32</u>	<u>450.32</u>	<u>499.8</u>	<u>500</u>

Mode opératoire

On verse le mélange (acide + eau) dans le silicate de K sous l'agitation à la température ambiante (20-25°C).

Résultats

formule 1 : (3.7 + H_3PO_4 plus dilué) : le liquide obtenu est homogène.

	Prévision	obtenu
SiO_2		16.9
K_2O		5.8
Rp	2.90	2.91
Rm	4.54	4.56

formule 2 : (3.7 + H_3PO_4 moins dilué) : formation de grumeaux. Au bout de 30 min. environ, séparation en deux couches.

formule 3 : (3.7 + H_2SO_4) : formation de grumeaux. Après 30 min. environ séparation en deux couches, l'inférieure étant la plus visqueuse.

	Prévision	obtenu (phase liquide)
SiO_2		16.0
K_2O		5.55
Rp	2.70	2.91
Rm	4.23	4.54

formule 4 : (3.7 + H Cl) : précipitation immédiate.

Ces exemples illustrent donc clairement que l'on peut obtenir, dans certaines conditions, une augmentation du rapport $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ grâce à l'emploi d'un acide fort. Ceci peut être d'un intérêt appréciable si l'on part d'une solution de silicate obtenue par attaque sodique.

Mais l'on remarque surtout le comportement particulier de l'acide phosphorique. En effet l'on s'est livré à l'analyse des échantillons de silicates de sodium et de potassium, puis on a mesuré la fraction Na^+ et K^+ dissociée à l'aide des électrodes sélectives Na^+ selon PL BAILEY - HEYDEN et Son Ltd 1976.

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux ci-après.

SILICATE DE SODIUM

Echantillon	d	pH	Na ₂ O % p/p	SiO ₂ % p/p	Rm	Na ₃ PO ₄ % p/p	Na ₂ SO ₄ % p/p
Silicate de Na 2,6	1,48		11,8	30,8	2,7		
Silicate de Na 3,3	1,33		7,35	25,6	3,6		
4	1,24	11,2	5,9	22,4	3,9	1,14	
5	1,21	11,1	5,96	22,75	3,9		1,75
6	1,28	11,3	6,0	21,6	3,7	4,26	
7 (A)	1,24	11,1	5,94	21,3	3,7		5,9
(B)			6,5	25,8	3,97 = Rp		
					4,1 = Rm		

(A) Analyse de la solution

(B) Analyse de la phase visqueuse : c'est un silicate de sodium de même Rm un peu différent légèrement plus concentré que la phase aqueuse correspondante.

SILICATE DE POTASSIUM

			K ₂ O	SiO ₂	Rm	K ₃ PO ₄	K ₂ SO ₄
Silicate de K 2,37	1,27	9,07	21,5	3,7			
1	1,16	5,8	16,9	4,6	1,95		
3 (A)	1,12	5,55	16,0	4,5		2,90	

(A) Analyse de la solution.

Résultats

Remarque : Pour faciliter la mesure les silicates sont dilués d'un facteur 2 avec de l'eau distillée.

SILICATE DE SODIUM

Echantillon (dilué 2)	Na total	Na ⁺	$\frac{Na^+}{Na_t}$ %	SiO ₂
Rm 2,6	2,7 ion g/l	0,54 ion g/l	20 %	3,9 M/l
Rm 3,3	1,6	0,37	25 %	2,7
1	1,28	0,34	26 %	2,3
2	1,29	0,36	28 %	2,3
3	1,64	0,41	25 %	2,3
4	1,61	0,52	32 %	2,3
Comparaison avec un silicate de Rm 3,5	1,25	0,30	24 %	2,1

SILICATE DE POTASSIUM

Echantillon (dilué 2)	K _{total}	K ⁺	$\frac{K^+}{K_t}$ %	SiO ₂
Rm = 2,37	1,18 ion g/l	0,21 ion g/l	18 %	2,2 M/l
1	0,87	16	19 %	1,63
2 solution	0,85	0,20	23 %	1,5

On remarque une faible différence dans le pourcentage de cation entre les deux acides sulfurique et phosphorique, voisin de l'erreur analytique. L'on ne connaît pas d'explication satisfaisante à cette différence de comportement.

RE V E N D I C A T I O N S

1) Nouvelle solution stable de silicates alcalins à rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ élevé, caractérisée par le fait qu'elle est obtenue en traitant une solution de silicate alcalin par un acide minéral fort.

2) Nouvelle solution selon la revendication 1, caractérisée par le fait que l'acide minéral fort est constitué par de l'acide phosphorique.

3) Nouvelle solution selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisée par le fait que le métal alcalin est constitué par le sodium et qu'elle présente un rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ d'au moins 3,3 et avantageusement au moins égal à 3,9.

4) Nouvelle composition pour la consolidation des sols caractérisée par le fait qu'elle comprend une solution selon l'une des revendications 1 à 3.

5) Nouvelle composition selon la revendication 4, caractérisée par le fait qu'elle contient de 3 à 30 % de SiO_2 et plus particulièrement de 10 à 20 % de SiO_2 .