

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 82 07620

(54) Procédé de fabrication de silane à partir de trichlorosilane.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). C 01 B 33/04.

(22) Date de dépôt 3 mai 1982.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 44 du 4-11-1983.

(71) Déposant : RHONE-POULENC SPECIALITES CHIMIQUES. — FR.

(72) Invention de : Jean-Luc Lepage et Gérard Simon.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Rhône-Poulenc Recherches, service brevets chimie et polymères,
25, quai Paul-Doumer, 92408 Courbevoie.

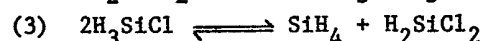
PROCEDE DE FABRICATION DE SILANE
A PARTIR DE TRICHLOROSILANE

La présente invention concerne un procédé de fabrication de silane à partir d'halogénosilanes.

Elle a trait plus particulièrement à un procédé de fabrication de silane à partir de trichlorosilane.

Le silane constitue une matière première de choix pour obtenir, par décomposition, du silicium utilisable notamment dans les dispositifs à semi-conducteurs ou photovoltaïques (cellules solaires).

On sait qu'il est possible d'obtenir du silane par dismutation de trichlorosilane en présence de divers catalyseurs selon les réactions équilibrées suivantes :



soit globalement



Ainsi, selon le brevet français n° 2 261 977, il a été proposé de produire du silane par réaction de dismutation ou de redistribution de HSiCl_3 dans un lit de résine solide d'échange d'anions à une température suffisante pour provoquer la vaporisation, hors de la zone de réaction, des produits à plus faible point d'ébullition de la réaction et pour provoquer la condensation du produit liquide à point supérieur d'ébullition résultant de la réaction, SiCl_4 , et son écoulement loin de la zone de réaction. On maintient la température au sommet du lit à une valeur supérieure au point d'ébullition de SiH_4 et inférieure au point d'ébullition de H_3SiCl et l'on récupère du lit SiH_4 comportant de petites quantités d'hydrogènes chlorosilane qui nécessitent une séparation ultérieure.

Ce procédé extrêmement complexe et délicat à mettre en oeuvre opère soit une distillation continue des produits des différentes réactions équilibrées (1) (2) et (3) et permet une certaine séparation des divers produits en présence soit une purification de SiH_4 sur piège à charbon.

Par ailleurs, on connaît différents procédés de fabrication de dichlorosilane par dismutation du trichlorosilane en présence de catalyseurs divers. Lors de cette dismutation selon la réaction (1) les rendements en dichlorosilane obtenus sont toujours bien supérieurs aux rendements dans les autres chlorosilanes. Parmi les catalyseurs connus dans ce but, on a proposé notamment : les amines tertiaires de formule générale $NR'R''R'''$ dans laquelle R' , R'' , R''' sont des radicaux alcoyles identiques ou différents (brevet français n° 1 111 925), les chlorhydrates d'amines (brevet français n° 2 096 605), les pyrrolidones N-substituées (brevet français n° 2 290 447) et les tétraalcoylurées (brevet français n° 2 290 448).

La demanderesse a mis au point un procédé de fabrication de silane qui permet notamment d'obtenir celui-ci très aisément et avec une excellente sélectivité sans avoir recours à une série de distillations successives comme dans le procédé selon le brevet français n° 2 261 977. Le procédé selon la présente invention permet en outre d'obtenir le silane avec une excellente productivité.

La présente invention concerne en effet un procédé de fabrication de silane à partir de trichlorosilane caractérisé en ce que :

a) dans une première étape, on opère la dismutation du trichlorosilane en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine,

b) dans une deuxième étape, on sépare par distillation du mélange réactionnel, le dichlorosilane formé lors de la première étape,

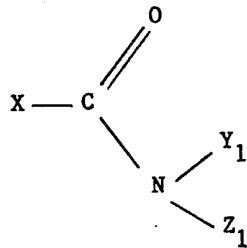
c) dans une troisième étape, on opère la dismutation du dichlorosilane provenant de la deuxième étape en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine,

d) dans une quatrième étape, on opère la séparation du silane formé des autres produits gazeux par mise en contact du mélange gazeux provenant de la troisième étape avec un composé réalisant la solvataion sélective des chlorosilanes contenus dans le mélange gazeux.

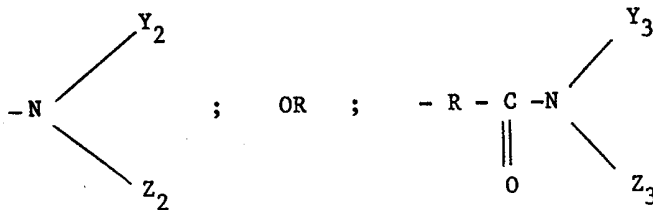
La demanderesse a découvert de façon totalement surprenante que la combinaison des quatre étapes ci-dessus permettait non seulement

d'obtenir du silane à partir du trichlorosilane avec une excellente sélectivité et un excellent rendement, mais également une récupération du silane très aisée par solvatisation sélective des autres produits de réaction. Le composé réalisant la solvatisation sélective des chlorosilanes contenus dans le mélange gazeux peut notamment être un composé comportant un groupement α oxo-amine. En effet, et sans limiter la présente invention à la théorie, il semble que les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine peuvent jouer à la fois un rôle de catalyseur dans les deux étapes de dismutation du procédé de l'invention et, dans la quatrième étape, un rôle de solvant sélectif des produits de réaction qui permet la séparation du silane des autres produits de réaction.

Les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine que l'on peut mettre en oeuvre selon le procédé de l'invention répondent à la formule générale



dans laquelle X est choisi parmi les radicaux hydrocarbonés ayant de 1 à 10 atomes de carbone et les radicaux :



avec Y_2 , Z_2 , R, Y_3 , Z_3 représentant des radicaux hydrocarbonés ayant de 1 à 10 atomes de carbone.

Y_1 et Z_1 sont choisis parmi les radicaux hydrocarbonés ayant de 1 à 10 atomes de carbone et les radicaux alkoxy ayant de 1 à 10 atomes de carbone.

Y_1 , Z_1 , Y_2 et Z_2 pouvant être liés,

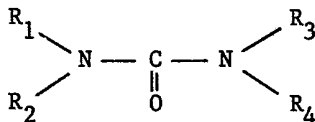
X et Y_1 ou Z_1 pouvant être liés quand X est un radical hydrocarboné,

X_3 et Z_3 pouvant être liés.

Parmi ces composés on pourra utiliser notamment les urées, les diurées, les carbamates, les N-alkoxyamides, les tétraalcoylurées et les pyrrolidones N-substituées.

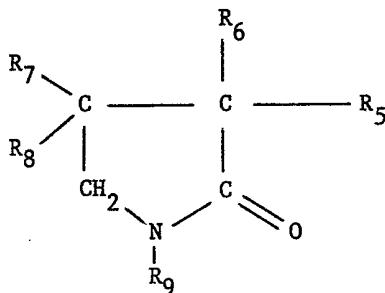
Selon le procédé de l'invention, on préfère mettre en oeuvre les tétraalcoylurées et les pyrrolidones N-substituées.

Les tétraalcoylurées qui conviennent plus particulièrement aux fins de l'invention répondent à la formule générale



dans laquelle les radicaux R_1 , R_2 , R_3 , R_4 identiques ou différents représentent des groupements alcoyle à chaîne droite ou ramifiée comportant de 1 à 6 atomes de carbone. Parmi celles-ci on peut citer la tétraméthylurée, la tétraéthylurée et la tétrabutylurée.

Les pyrrolidones N-substituées qui conviennent plus particulièrement aux fins de l'invention répondent à la formule générale :



dans laquelle les radicaux R_5 , R_6 , R_7 , R_8 identiques ou différents représentent l'hydrogène ou un radical méthyle, le radical R_9 représente un radical alcoyle ou alcenyle à chaîne droite ou

ramifiée comportant de 1 à 6 atomes de carbone, ou un radical cyclohexyle ou phényle. Parmi celles-ci on peut citer la N-méthylpyrrolidone et la N-éthylpyrrolidone.

Selon la première étape du procédé de l'invention, on opère la dismutation du trichlorosilane en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine.

La quantité dudit composé mis en oeuvre dans cette étape n'est pas critique. De préférence, le rapport molaire entre le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine et le trichlorosilane est compris entre 2 et 1/100 et de préférence entre 1/2 et 1/50, le composé pouvant être ajouté en totalité au début de la réaction ou en plusieurs fois.

Cette première étape est de préférence réalisée par chauffage de l'ensemble des réactifs à la température d'ébullition du mélange sous une pression inférieure, égale ou supérieure à la pression atmosphérique. On opère de préférence à la pression atmosphérique ou à une pression supérieure. La température d'ébullition du mélange est généralement comprise entre 15°C et 120°C.

Par ailleurs, cette première étape peut être réalisée en présence d'un diluant des réactifs tel qu'un hydrocarbure aliphatique ou aromatique. On peut ainsi utiliser comme diluant par exemple du cyclohexane, du benzène, du toluène, de l'orthodichlorobenzène ou du tétrachloro 1,1,2,2 éthane.

Cette première étape peut être mise en oeuvre en continu ou en discontinu.

Selon la deuxième étape du procédé de l'invention, on sépare par distillation du mélange réactionnel, le dichlorosilane formé lors de la première étape. On opère de préférence en continu avec séparation par distillation du dichlorosilane au fur et à mesure de sa formation. La distillation est opérée sous une pression inférieure, égale ou supérieure à la pression atmosphérique et de préférence à une pression identique à celle mise en oeuvre lors de la première étape.

Le dichlorosilane ainsi séparé peut contenir de petites quantités de trichlorosilane sans que cela nuise à la mise en oeuvre des étapes ultérieures.

Selon la troisième étape du procédé de l'invention, on opère la dismutation du dichlorosilane provenant de la deuxième étape en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine. Le composé mis en oeuvre dans cette troisième étape est de préférence identique à celui mis en oeuvre au cours de la première étape. La dismutation du dichlorosilane conduit à la formation de silane, de trichlorosilane et de chlorosilanes résiduels.

La quantité de composé mis en oeuvre dans cette étape n'est pas critique. De préférence, le rapport molaire entre le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine et le dichlorosilane est compris entre 1/100 et 1/50 et de préférence entre 1/2 et 1/50.

La dismutation du dichlorosilane est de préférence réalisée à une température comprise entre -20°C et 100°C et plus particulièrement entre 10°C et 80°C sous une pression inférieure, égale ou supérieure à la pression atmosphérique. On opère de préférence à la pression atmosphérique.

Par ailleurs, comme pour la première étape, la troisième étape peut être réalisée en présence d'un diluant des réactifs tel qu'un hydrocarbure aliphatique ou aromatique. On peut ainsi utiliser comme diluant, par exemple, du cyclohexane, du toluène, du benzène, de l'orthodichlorobenzène ou du tétrachloro 1,1,2,2 éthane.

Selon la quatrième étape du procédé de l'invention, on opère la séparation du silane formé des autres produits gazeux par mise en contact du mélange gazeux provenant de la troisième étape avec un composé réalisant la solvatation sélective des chlorosilanes contenus dans le mélange gazeux.

Le composé mis en oeuvre dans cette étape est notamment choisi parmi les hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques éventuellement halogénés, les éther-oxydes, les cétones et les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine ou des mélanges de ces produits.

Les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine que l'on peut mettre en oeuvre dans cette étape pour réaliser la séparation du silane d'avec les autres produits gazeux sont ceux qui ont été décrits ci-dessus. Selon l'invention, lorsque dans cette quatrième étape on utilise un tel composé, celui-ci est de préférence choisi identique pour les première, troisième et quatrième étape.

Par ailleurs, si l'on opère la quatrième étape en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine, la troisième étape peut se poursuivre au cours de cette quatrième étape.

Parmi les composés opérant la séparation du silane formé des autres produits gazeux provenant de la troisième étape, on utilise de préférence au moins un composé choisi parmi : le cyclohexane, le benzène, le toluène, l'orthodichlorobenzène, le tétrachloro 1,1,2,2 éthane, la tétraméthylurée, la tétraéthylurée, la tétrabutylurée, la N-méthylpyrrolidone, la N-éthylpyrrolidone ou un mélange de ces produits.

La présente invention va maintenant être décrite dans une forme de réalisation préférée en se référant à la figure 1.

Le trichlorosilane (1) est introduit dans le réacteur R_1 de dismutation constituant par ailleurs le pied de la colonne A. Le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine éventuellement en solution dans un diluant est également introduit dans ce réacteur R_1 . Le réacteur est maintenu à une pression égale ou supérieure à la pression atmosphérique et à une température telle que le mélange soit à l'ébullition. On fait fonctionner la colonne A à reflux de façon à soutirer en tête de la colonne le dichlorosilane (2) formé. Le dichlorosilane (2) est introduit sous forme liquide ou gazeuse dans le réacteur R_2 constituant par ailleurs le pied de la colonne B.

Le composé T comportant au moins un groupement α oxo-amine éventuellement en solution dans un diluant et qui a été choisi également comme composé réalisant la solvatisation sélective des chlorosilanes est alimenté (3) en tête de la colonne B. On maintient dans la colonne B un gradient de température tel que les produits de la dismutation autres que SiH_4 restent dissouts dans la phase liquide, le silane (4) étant récupéré pur en tête de B.

On recueille dans le réacteur R_2 du trichlorosilane, des chlorosilanes résiduels et le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine éventuellement en solution dans un diluant, ce mélange peut être recyclé dans le réacteur R_1 .

Si on le désire, on peut opérer la séparation par distillation dans la colonne C entre le trichlorosilane n'ayant pas réagi dans R_1 et le mélange : tétrachlorure de silicium formé plus

composé T. Le trichlorosilane (5) ainsi séparé peut être recyclé dans le réacteur R_1 en pied de la colonne A. Puis, on peut facilement séparer le tétrachlorosilane $SiCl_4$ du composé T par distillation dans la colonne D et recycler ledit composé T (6) éventuellement en solution dans un diluant en tête de la colonne B.

La présente invention va maintenant être illustrée par les exemples ci-après qui font également référence à la figure 1.

EXEMPLE 1

Le réacteur R_1 utilisé est constitué d'un ballon de 1 litre surmonté d'une colonne à distiller A de 2m de long et de 30mm de diamètre, remplie de serpentins en verre de 4mm de diamètre. Cette colonne est elle-même surmontée d'un rétrogradateur permettant de faire varier le taux de reflux. Le rétrogradateur et le condenseur qui le suit sont refroidis à l'aide d'un groupe frigorifique. Le récepteur est refroidi par de la carboglace.

L'ensemble de l'appareillage est sous atmosphère d'azote.

792g de trichlorosilane (1) sont chargés dans le réacteur et portés à l'ébullition, à reflux total. Le mélange catalytique constitué de 79g de N-méthylpyrrolidone et 156g de cyclohexane sont ensuite chargés rapidement dans R_1 .

Le prélèvement du dichlorosilane (2) formé débute lorsque la température en tête de colonne atteint $11^\circ C$. Il est arrêté lorsque cette température dépasse $20^\circ C$. La masse de la fraction ainsi obtenue en 6 heures est de 158g et sa composition est la suivante (analyse par chromatographie en phase gazeuse) :

H_3SiCl	:	1,5 %	} Pourcentages volumiques
H_2SiCl_2	:	89 %	
$HSiCl_3$:	9,5 %	

La poursuite de la distillation permet de séparer $HSiCl_3$ qui n'a pas réagit et qui peut être recyclé.

On obtient ainsi, en tenant compte de l'ensemble des fractions prélevées, un taux de transformation de $HSiCl_3$ de 71,2 % et un rendement en H_2SiCl_2 par rapport à $HSiCl_3$ transformé de 72,8 %.

Plusieurs dismutations successives permettent d'obtenir suffisamment de dichlorosilane pour passer aux autres étapes.

Le réacteur R_2 utilisé pour la troisième étape est constitué d'un ballon de 1 litre surmonté d'une colonne B à plateaux de 800mm de long et de 30mm de diamètre.

Le dichlorosilane (2) est introduit par barbotage dans le ballon préalablement rempli de 500ml de mélange tétraméthylurée - orthodichlorobenzène (rapport 50/50 volumique). Le mélange T tétraméthylurée - $C_6H_4Cl_2$ est introduit en tête de colonne T (3), il circule à contre-courant avec la phase gazeuse provenant du ballon.

Le débit de H_2SiCl_2 est de 69,1g/h et celui du mélange T 66,7g/h.

La température du ballon est maintenue à 26°C. Celle de la colonne est de 26°C en pied et de -12°C en tête.

Le volume de la masse réactionnelle dans le ballon est maintenu à 500ml par prélèvement continu, à niveau constant.

La phase liquide prélevée et la phase gazeuse sortant du réacteur sont analysés par chromatographie en phase gazeuse. Le débit de la phase gazeuse est mesuré.

A l'équilibre, la composition de la phase liquide sortant du réacteur est la suivante :

H_2SiCl_2	: 20 %	} Pourcentages massiques
$HSiCl_3$: 35 %	
$SiCl_4$: 1 %	
(Tétraméthylurée $C_6H_4Cl_2$)	: 44 %	

Celle de la phase gazeuse sortant en tête de la colonne B est la suivante :

H_2	: 2,1 %	} Pourcentages volumiques
SiH_4	: 97,9 %	

Son débit est de 2,40 l/h.

Ces compositions correspondent à un taux de transformation de H_2SiCl_2 de 48,2 % et à un rendement en silane par rapport à H_2SiCl_2 de 85,6 %.

EXEMPLE 2

L'appareil est constitué d'un réacteur R_1 émaillé de 12 litres surmonté d'une colonne à distiller de 2m de haut, de 50mm de diamètre, avec un garnissage Knit en P.T.F.E. Une tête de colonne à commande électromagnétique permet de régler le taux de reflux. Différents récipients de stockage et des vannes électromagnétiques permettent d'introduire dans le réacteur des quantités connues de

trichlorosilane et de catalyseur. Le dichlorosilane produit est stocké dans des récepteurs en acier inoxydable après condensation dans un réfrigérant refroidi au Flugène 113^(R).

L'ensemble de l'appareillage est sous atmosphère d'azote.

7 500g de HSiCl_3 (1) sont chargés dans le réacteur et portés à l'ébullition à reflux total. 1 476g de tétraméthylurée sont ensuite introduits dans le réacteur R_1 .

Le dichlorosilane (2) est prélevé au fur et à mesure de sa production. Le taux de reflux est réglé de façon à ce que la température en tête de colonne ne dépasse pas 11°C , ce taux est environ de 40/1. En fin d'essai, cette température est portée à 21°C afin de distiller le maximum de H_2SiCl_2 .

On obtient en 4h 55, un condensat de 1 500g dont la composition est la suivante :

H_3SiCl	:	7 %	} Pourcentages volumiques
H_2SiCl_2	:	88,6 %	
HSiCl_3	:	4,4 %	

La poursuite de la distillation permet d'éliminer le trichlorosilane qui n'a pas réagi et qui peut être recyclé, puis le tétrachlorure de silicium formé. La phase liquide restant dans le réacteur ne contient pratiquement que de la tétraméthylurée et peut être réutilisée telle quelle.

Le taux de transformation de HSiCl_3 obtenu est de 64,0 % et le rendement en H_2SiCl_2 par rapport à HSiCl_3 transformé, de 77,7 %.

Dans un réacteur R_2 identique à celui décrit dans le premier exemple, sont introduits le dichlorosilane et le mélange catalytique T constitué de tétraméthylurée et d'orthodichlorobenzène dans le rapport 25/75 volumique. Le mélange catalytique T est introduit en tête de la colonne T (3), il circule à contre-courant avec la phase gazeuse provenant du ballon.

Le débit de H_2SiCl_2 est de 64g/h et celui du mélange catalytique 80g/h.

La température du ballon est fixée à 35°C , celle de la colonne B est de 30°C en pied et de -10°C en tête.

A l'équilibre, la composition de la phase liquide prélevée est la suivante :

H_2SiCl_2	:	14 %	}	Pourcentages massiques
$HSiCl_3$:	34 %		
$SiCl_4$:	1 %		
(Tétraméthylurée- $C_6H_4Cl_2$)	:	51 %		

Celle de la phase gazeuse sortant de la colonne de lavage est la suivante :

H_2	:	1,5 %	}	Pourcentages volumiques
SiH_4	:	98,5 %		

Son débit est de 3,41 l/h.

Ces compositions correspondent à un taux de transformation de H_2SiCl_2 de 70,7 % et le rendement en silane, par rapport à H_2SiCl_2 transformé, est de 93,1 %.

REVENDEICATIONS

1) Procédé de fabrication de silane à partir de trichlorosilane caractérisé en ce que :

a) dans une première étape, on opère la dismutation du trichlorosilane en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine,

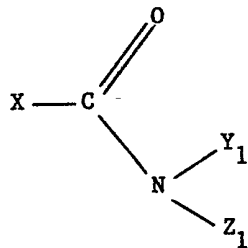
b) dans une deuxième étape, on sépare par distillation, du mélange réactionnel, le dichlorosilane formé lors de la première étape,

c) dans une troisième étape, on opère la dismutation du dichlorosilane provenant de la deuxième étape en présence d'un composé comportant au moins un groupement α oxo-amine,

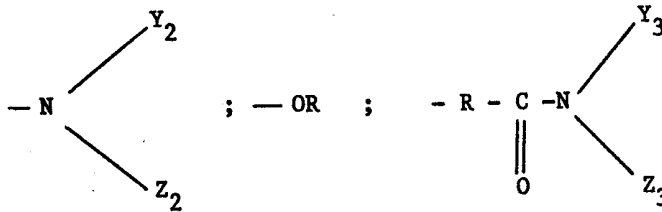
d) dans une quatrième étape, on opère la séparation du silane formé des autres produits gazeux par mise en contact du mélange gazeux provenant de la troisième étape avec un composé réalisant la solvatation sélective des chlorosilanes contenus dans le mélange gazeux.

2) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le composé mis en oeuvre dans la quatrième étape est choisi parmi : les hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques éventuellement halogénés, les éther-oxydes, les cétones et les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine.

3) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine répondent à la formule générale



dans laquelle X est choisi parmi les radicaux hydrocarbonés ayant de 1 à 10 atomes de carbone et les radicaux :



avec Y_2 , Z_2 , R , Y_3 , Z_3 représentant des radicaux hydrocarbonés ayant de 1 à 10 atomes de carbone.

Y_1 et Z_1 sont choisis parmi les radicaux hydrocarbonés ayant de 1 à 10 atomes de carbone et les radicaux alkoxy ayant de 1 à 10 atomes de carbone.

Y_1 , Z_1 , Y_2 et Z_2 pouvant être liés,

X et Y_1 ou Z_1 pouvant être liés quand X est un radical hydrocarboné,

X_3 et Z_3 pouvant être liés.

4) Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine sont choisis parmi : les urées, les diurées, les carbamates, les N-alkoxyamides, les tétraalcoylurées, les pyrrolidones N-substituées.

5) Procédé selon la revendication 4 caractérisé en ce que les composés comportant au moins un groupement α oxo-amine sont choisis parmi : la tétraméthylurée, la tétraéthylurée, la tétrabutylurée, la N-méthylpyrrolidone, la N-éthylpyrrolidone.

6) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la première et la troisième étape sont réalisées en présence d'un diluant des réactifs choisi parmi le cyclohexane, le toluène, le benzène, l'orthodichlorobenzène et le tétrachloro 1,1,2,2 éthane.

7) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que, dans la première et la troisième étape, le rapport molaire entre le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine et le trichlorosilane ou le dichlorosilane est compris entre 2 et 1/100 et de préférence entre 1/2 et 1/50.

8) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la première étape est réalisée par chauffage de l'ensemble des réactifs à la température d'ébullition du mélange.

9) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la troisième étape est réalisée à une température comprise entre -20°C et 100°C et de préférence entre 10 et 80°C .

10) Procédé de fabrication de silane à partir de trichlorosilane caractérisé en ce que le trichlorosilane (1) est introduit dans le réacteur R_1 de dismutation constituant par ailleurs le pied de la colonne A ; le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine éventuellement en solution dans un diluant est également introduit dans ce réacteur R_1 ; le réacteur est maintenu à une pression égale ou supérieure à la pression atmosphérique et à une température telle que le mélange soit à l'ébullition ; on fait fonctionner la colonne A à reflux de façon à soutirer en tête de la colonne le dichlorosilane (2) formé ; le dichlorosilane (2) est introduit dans le réacteur R_2 constituant par ailleurs le pied de la colonne B sous forme liquide ou gazeuse ; le composé T comportant au moins un groupement α oxo-amine éventuellement en solution dans un diluant et qui a été choisi également comme composé réalisant la solvatisation sélective des chlorosilanes est alimenté (3) en tête de la colonne B ; on maintient dans la colonne B un gradient de température tel que les produits de la dismutation autres que SiH_4 restent dissouts dans la phase liquide, le silane (4) étant récupéré pur en tête de B. On recueille dans le réacteur R_2 de la colonne B du trichlorosilane, des chlorosilanes résiduels et le composé comportant au moins un groupement α oxo-amine éventuellement en solution dans un diluant, ce mélange peut être recyclé dans le réacteur R_1 .

