

Journal of Organometallic Chemistry, 411 (1991) 69–74
 Elsevier Sequoia S.A., Lausanne
 JOM 21845

Synthèse régiosélective de silanes α -fonctionnels par alkylation du dérivé lithié du triméthylsilylacétonitrile

Bernard Mauzé et Léone Miginiac*

Laboratoire de Synthèse Organique associé au CNRS (UA 574), Université de Poitiers, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers (France)

(Reçu le 18 février 1991)

Abstract

Lithiated trimethylsilylacetonitrile easily reacts, at -78°C , with various alkyl bromides to lead to α -functional trimethylsilanes $\text{RCH}(\text{SiMe}_3)\text{C}\equiv\text{N}$, with R a saturated or unsaturated group.

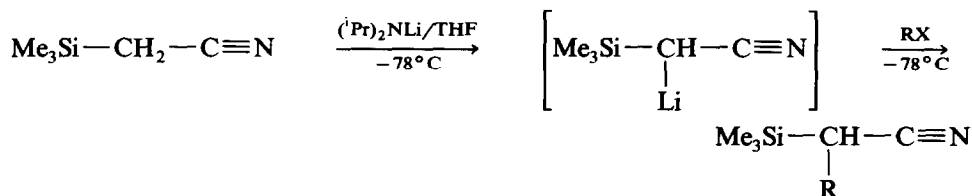
Résumé

Nous avons mis au point la synthèse de silanes α -fonctionnels à chaîne saturée ou insaturée, à partir du dérivé lithié du triméthylsilylacétonitrile et de bromures d'alkyle.

Introduction

La facilité de préparation du dérivé lithié du triméthylsilylacétonitrile (TMSAN Li) et sa haute réactivité vis à vis de dérivés carbonylés variés ont été maintes fois signalées [1–8]. Par contre, le comportement de ce réactif vis à vis des dérivés halogénés a été peu étudié: signalons cependant un essai avec le bromure de triméthylgermyle qui a conduit à $(\text{Me}_3\text{Ge})(\text{Me}_3\text{Si})\text{CHCN}$ avec un rendement moyen [9].

Dans ce travail, nous montrons que TMSAN Li, préparé *in situ* selon [1] à partir du triméthylsilylacétonitrile (lui-même obtenu selon [1]) peut réagir avec certains dérivés halogénés et conduire ainsi à des silanes à chaîne saturée ou insaturée (simple ou fonctionnelle), comportant en outre une fonction nitrile en position α du groupe triméthylsilyle:



Résultats

Les premiers essais ont été effectués en utilisant les bromures d'allyle, de méthallyle et de crotyle. Ils nous ont permis de déterminer les meilleures conditions expérimentales possibles: en effet, il est apparu absolument nécessaire de réaliser la réaction à -78°C , la formation de mélanges complexes étant observée lorsqu'on opère à $t \geq -60^{\circ}\text{C}$. Nous avons ensuite, dans ces mêmes conditions expérimentales, étudié le comportement de bromures allyliques fonctionnalisés, de bromures propargyliques et benzyliques, puis de divers autres agents alkylants.

Les résultats du Tableau 1 conduisent aux remarques suivantes:

1. La réaction a lieu aisément à -78°C [conditions (a)] avec des bromures primaires allyliques, benzyliques et propargyliques diversement substitués et s'effectue toujours sans transposition.
2. La réaction a lieu également dans le cas d'un iodure saturé, en opérant de manière un peu différente [conditions (b)]; mais, dans ces mêmes conditions, aucune réaction n'a pu être mise en évidence avec un bromure saturé, ainsi qu'avec les dérivés chlorés suivants: $\text{ClCH}_2\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)_2$, $\text{ClCH}_2\text{Onc}_4\text{H}_9$, $\text{ClCOOC}_2\text{H}_5$.
3. Enfin, signalons que dans les conditions expérimentales (a) ou (b) utilisées dans ce travail, la réaction attendue n'a pas pu être obtenue à partir d'agents alkylants autres que les dérivés halogénés, tels que les réactifs suivants: ${}^n\text{C}_4\text{H}_9\text{OCH}_2\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, $\text{CH}_3\text{OCH}(\text{C}_6\text{H}_5)\text{N}(\text{CH}_3)_2$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{SCH}_2\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, ${}^n\text{C}_4\text{H}_9\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{-}p\text{-CH}_3$.

Conclusion

Nous disposons donc d'une méthode simple et commode de préparation de nouveaux organosilanes α -fonctionnels; de tels réactifs présentent une haute poten-

Tableau 1

Réaction de TMSAN Li avec les dérivés halogénés

Dérivé halogéné	Condi- tions ^a	Silane fonctionnel	Rdt (%)
$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	70
$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	65
$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{Br}$ (E + Z)	(a)	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$ (E + Z)	62
$(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CHCH}_2\text{Br}$	(a)	$(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	80
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{Br}$ (E)	(a)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$ (E)	84
$\text{Me}_3\text{SiCH}=\text{CHCH}_2\text{Br}$ (E)	(a)	$\text{Me}_3\text{SiCH}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$ (E)	63
$\text{CH}_2=\text{C}(\text{Br})\text{CH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{Br})\text{CH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	40
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	77
$\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	54
$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	41
$\text{Me}_3\text{SiC}\equiv\text{CCH}_2\text{Br}$	(a)	$\text{Me}_3\text{SiC}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	36
${}^n\text{C}_4\text{H}_9\text{I}$	(a)	${}^n\text{C}_4\text{H}_9\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	< 5
	(b)	${}^n\text{C}_4\text{H}_9\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$	68

^a Voir partie expérimentale.

tialité en synthèse organique, compte tenu d'une part de la grande réactivité des organosilanes vis à vis des réactifs électrophiles [10,11] et d'autre part, des nombreuses transformations réalisables au niveau de la fonction nitrile [12].

Partie expérimentale

Introduction

Les chromatographies en phase gazeuse ont été effectuées avec un appareil Intersmat IGC 12M (détecteur à conductibilité thermique) équipé de colonnes analytiques de 2 m (diamètre: 0,63 cm) remplissage soit 20% SE30, soit 20% Carbowax 20M sur Chromosorb W, ou avec un appareil 90P3 Aerograph (détecteur à conductibilité thermique) équipé de colonnes préparatives de 3 et 6 m (diamètre 0,95 cm), remplissage soit 30% SE30, soit 30% Carbowax 20 M sur Chromosorb W.

Les spectres infrarouges ont été enregistrés sur les produits à l'état pur entre lames de chlorure de sodium avec un appareil IR 4240 Beckman. Intensités des bandes: F, forte; m, moyenne; f, faible; tF, très forte; tf, très faible.

Les spectres ^1H RMN ont été enregistrés en solution dans CDCl_3 à 90 MHz sur un appareil Jeol JNM EX 90. Les déplacements chimiques sont exprimés en ppm par rapport au tétraméthylsilane utilisé comme référence. Les spectres ^{13}C RMN ont été enregistrés à 22,5 MHz sur le même appareil Jeol JNM EX 90, en solution dans CDCl_3 (utilisé comme solvant et comme référence interne, $\delta = 77,00$ ppm).

Les produits nouveaux ont donné des résultats analytiques correspondant à la formule à $\pm 0,3$ près.

L'appareillage classiquement utilisé est constitué par un ballon à trois tubulures de volume convenable, muni d'un agitateur mécanique, d'un réfrigérant à eau, d'un thermomètre, d'une ampoule isobare pour l'introduction des réactifs liquides et d'un dispositif permettant de travailler sous atmosphère d'azote.

Matières premières

Le triméthylsilylacétonitrile est préparé selon [1] à partir de chloroacétonitrile, de chlorotriméthylsilane et de zinc.

Agents alkylants: Certains sont des produits commerciaux, qui ont été distillés avant utilisation. Les bromures allyliques ont été préparés selon [13,14] et les bromures propargyliques selon [15,16], à partir des alcools correspondants. Les *gem*-aminoéthers et *gem*-aminothioéthers ont été préparés selon [17] à partir d'une amine secondaire, de polyoxyméthylène (ou benzaldéhyde) et d'un alcool (ou thiophénol). Le tosylate de l'alcool n-butylique a été préparé selon [18].

Mode opératoire

Dans un ballon à trois tubulures de 250 ml séché à la flamme sous courant d'azote sec, on prépare à température ambiante 30 mmol de diisopropylamidure de lithium par action de 30 mmol de $^n\text{C}_4\text{H}_9\text{Li}$ (en solution 1,6 M au sein de l'hexane) sur 30 mmol de diisopropylamine en solution dans 90 ml de THF (distillé sur benzophénone-sodium). Au ballon refroidi à -78°C , on ajoute lentement 30 mmol (3,4 g) de triméthylsilylacétonitrile (TMSAN) et l'on maintient sous agitation à -78°C pendant 50 min.

Conditions (a): Au dérivé lithien ainsi formé, on additionne à -78°C 30 mmol de dérivé alkylant, puis le milieu réactionnel est maintenu sous agitation pendant une

heure à -78°C . L'hydrolyse du milieu réactionnel est alors réalisée à -78°C par addition de 100 ml d'une solution saturée en NH_4Cl .

Conditions (b): Au dérivé lithien ainsi formé on additionne à -78°C 30 mmol de dérivé alkylant et on maintient les réactifs en contact à -78°C pendant 10 min après la fin de l'addition; on laisse le milieu réactionnel revenir très lentement à -60°C , puis à température ambiante. L'hydrolyse est ensuite réalisée comme ci-dessus, à 20°C .

Après traitements usuels, le produit de la réaction est isolé par distillation.

Caractéristiques physicochimiques des silanes fonctionnels

$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$. Eb. $85^{\circ}\text{C}/18$ Torr. IR (cm^{-1}): 3080m, 1640m, 990F, 915F ($\text{CH}_2=\text{CH}$); 2220F ($\text{C}\equiv\text{N}$); 1250F, 840F, 750m (SiMe_3). ^1H RMN (δ ppm, CDCl_3): 0,21 (s, 9H, SiMe_3); 1,88 (dd, 1H, J 7,0 et 7,8 Hz, CHSi); 2,18–2,38 (m, 2H, $\text{CH}_2\text{C}=\text{}$); 5,03–5,28 (m, 2H, $\text{CH}_2=\text{}$); 5,89 (ddt, 1H, J 6,5, 9,8 et 17,1 Hz, $\text{CH}=\text{}$). ^{13}C RMN (δ ppm, CDCl_3): $-3,55$ ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3$); 18,49 (CHSi); 30,49 (CH_2); 116,56 ($\text{CH}=\text{}$); 120,98 ($\text{C}\equiv\text{N}$); 135,21 ($\text{CH}_2=\text{}$).

$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$. Eb. $102^{\circ}\text{C}/20$ Torr. IR (cm^{-1}): 3080m, 1650m, 890m ($\text{CH}_2=\text{}$); 2220F ($\text{C}\equiv\text{N}$); 1250F, 840F, 750m (SiMe_3). ^1H RMN (δ ppm, CDCl_3): 0,20 (s, 9H, SiMe_3); 1,77 (t, 3H, J 1,0 Hz, CH_3); 1,90–2,26 (m, 3H, CH_2CH); 4,80–4,90 (m, 2H, $\text{CH}_2=\text{}$). ^{13}C RMN (δ ppm, CDCl_3): $-4,03$ ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3$); 16,70 (CHSi); 21,00 (CH_3); 33,98 (CH_2); 111,70 ($\text{CH}_2=\text{}$); 120,83 ($\text{C}\equiv\text{N}$); 141,92 ($\text{C}=\text{}$).

$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$ (E + Z). Eb. $93\text{--}94^{\circ}\text{C}/17$ Torr. IR (cm^{-1}): 3020m, 1670m, 960F ($\text{CH}=\text{CH}$, E); 1640f, 690f ($\text{CH}=\text{CH}$, Z); 2220F ($\text{C}\equiv\text{N}$); 1250F, 840F, 750m (SiMe_3). ^1H RMN (δ ppm, CDCl_3): 0,19 (s, 9H, SiMe_3); 1,56–1,71 (m, 3H, CH_3); 1,82 (t apparent, 1H, J 7,3 Hz, CHSi); 2,10–2,30 (m, 2H, $\text{CH}_2\text{C}=\text{}$); 5,44–5,64 (m, 2H, $\text{CH}=\text{CH}$). ^{13}C RMN (δ ppm, CDCl_3): $-3,79$ ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3$); 12,14 (CH_3 , isomère Z); 17,09 (CH_3 , isomère E); 18,55 (CHSi , isomère Z); 18,82 (CHSi , isomère E); 23,45 (CH_2 , isomère Z); 29,20 (CH_2 , isomère E); 121,04 ($\text{C}\equiv\text{N}$); 125,57 ($\text{CH}_2\text{CH}=\text{}$, isomère Z); 126,94 ($\text{CH}_2\text{CH}=\text{}$, isomère E); 127,03 ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{}$, isomère Z); 127,78 ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{}$, isomère E).

$(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$. Eb. $114^{\circ}\text{C}/20$ Torr. IR (cm^{-1}): 3020f, 1670m ($\text{CH}=\text{}$); 2220F ($\text{C}\equiv\text{N}$); 1250F, 845F, 755m (SiMe_3). ^1H RMN (δ ppm, CDCl_3): 0,19 (s, 9H, SiMe_3); 1,63 et 1,71 (2s élargis, 6H, CH_3); 1,80 (dd, 1H, J 6,5 et 8,0 Hz, CHSi); 2,23 (t élargi, 2H, CH_2); 5,10–5,35 (m, 1H, $\text{CH}=\text{}$). ^{13}C RMN (δ ppm, CDCl_3): $-3,94$ ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3$); 16,97 et 24,85 (CH_3); 18,67 (CHSi); 24,55 (CH_2); 121,01 ($\text{C}\equiv\text{N}$); 121,24 ($\text{CH}=\text{}$); 133,00 ($\text{C}(\text{CH}_3)_2$).

$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$ (E). Produit isolé par évaporation-piégeage. IR (cm^{-1}): 3060m, 1650m, 960F ($\text{CH}=\text{CH}$, E); 3030m, 1600m, 1580f, 1490m (C_6H_5); 2220F ($\text{C}\equiv\text{N}$); 1255F, 845F, 745m (SiMe_3). ^1H RMN (δ ppm, CDCl_3): 0,14 (s, 9H, SiMe_3); 1,79 (dd, 1H, J 7,0 et 7,8 Hz, CHSi); 2,23–2,40 (m, 2H, CH_2); 6,18 (dt, 1H, J_{AB} 15,8 Hz, J 6,3 Hz, $\text{CH}_2\text{CH}=\text{}$); 6,43 (d, 1H, J_{AB} 15,8 Hz, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{}$); 7,10–7,35 (m, 5H, C_6H_5). ^{13}C RMN (δ ppm, CDCl_3): $-3,70$ ($\text{Si}(\text{CH}_3)_3$); 18,61 (CHSi); 29,62 (CH_2); 121,04 ($\text{C}\equiv\text{N}$); 125,69, 126,56, 126,88, 127,99 (C_6H_5); 131,54 ($\text{CH}_2\text{CH}=\text{}$); 136,34 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{}$).

$\text{Me}_3\text{SiCH}=\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{SiMe}_3)\text{CN}$ (E). Eb. $134^{\circ}\text{C}/19$ Torr. IR (cm^{-1}): 3060m, 1615F, 990F ($\text{CH}=\text{CH}$, E); 2220F ($\text{C}\equiv\text{N}$); 1250F, 840F, 760F (SiMe_3). ^1H RMN (δ ppm, CDCl_3): 0,07 (s, 9H, $\text{Me}_3\text{SiC}=\text{}$); 0,20 (s, 9H, SiMe_3); 1,86 (dd, 1H, J 6,8 et 7,9

Hz, CHSi); 2,24–2,42 (m, 2H, CH₂); 5,81 (d, 1H, *J*_{AB} 18,5 Hz, SiCH=); 6,06 (dt, 1H, *J*_{AB} 18,5 Hz, *J* 5,5 Hz, CH=). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –3,40 (Si(CH₃)₃); –1,64 ((CH₃)₃SiCH=); 18,17 (CHSi); 33,14 (CH₂); 121,16 (C≡N); 132,61 (SiCH=); 142,64 (CH₂CH=).

CH₂=C(Br)CH₂CH(SiMe₃)CN. Eb. 118° C/20 Torr. IR (cm⁻¹): 2230F (C≡N); 1630F, 890F (CH₂=C); 1260F, 850tF, 760m (SiMe₃). ¹H RMN (δ ppm, CDCl₃): 0,24 (s, 9H, SiMe₃); 2,25 (dd, 1H, *J* 10,8 et 4,4 Hz, CHSi); 2,40–2,75 (m, 2H, CH₂CH); 5,56 (d élargi, 1H, *J* 2,2 Hz, HC= en *cis* du brome); 5,80 (dt, 1H, *J* 2,2 et 1,0 Hz, HC=en *trans* du brome). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –3,61 (Si(CH₃)₃); 18,08 (CHSi); 38,42 (CH₂CH); 118,68 (CH₂=); 120,11 (C≡N); 130,70 (BrC=).

C₆H₅CH₂CH(SiMe₃)CN. Eb. 103° C/1 Torr. IR (cm⁻¹): (nujol) 1600f (C₆H₅); 2220F (C≡N); 1250F, 845F, 755m (SiMe₃). ¹H RMN (δ ppm, CDCl₃): 0,18 (s, 9H, SiMe₃); 1,98 (dd, 1H, *J* 7,1 et 8,3 Hz, CH); 2,75 (d, 1H du CH₂, *J* 8,3 Hz); 2,76 (d, 1H du CH₂, *J* 7,1 Hz); 7,23 (s, 5H, C₆H₅). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –3,58 (Si(CH₃)₃); 21,24 (CH); 32,46 (CH₂); 121,36 (C≡N); 126,56, 127,99, 128,32, 139,18 (C₆H₅).

HC≡CCH₂CH(SiMe₃)CN. Eb. 107° C/20 Torr. IR (cm⁻¹): 3300F, 2120m (C≡CH); 2220F (C≡N); 1250F, 840F, 750m (SiMe₃). ¹H RMN (δ ppm, CDCl₃): 0,24 (s, 9H, SiMe₃); 2,08 (dd, 1H, *J* 6,6 et 7,3 Hz, CHSi); 2,15 (t, 1H, *J* 2,6 Hz, HC≡C); 2,49 (dd, 1H du CH₂, *J* 2,6 et 6,5 Hz); 2,50 (dd, 1H du CH₂, *J* 2,6 et 7,4 Hz). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –3,55 (Si(CH₃)₃); 16,49 (CH₂); 18,14 (CHSi); 70,73 et 80,52 (C=C); 120,32 (C≡N).

CH₃C≡CCH₂CH(SiMe₃)CN. Eb. 117° C/21 Torr. IR (cm⁻¹): 2220F (C≡N); 2185tf (C=C); 1250F, 845F, 760m (SiMe₃). ¹H RMN (δ ppm, CDCl₃): 0,22 (s, 9H, SiMe₃); 1,78 (t, 3H, *J* 2,5 Hz, CH₃); 2,03 (dd, 1H, *J* 6,5 et 7,1 Hz, CHSi); 2,42 (dq, 1H du CH₂, *J* 2,5 et 6,4 Hz); 2,43 (dq, 1H du CH₂, *J* 2,50 et 7,2 Hz). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –4,03 (Si(CH₃)₃); 2,38 (CH₃); 16,46 (CH₂); 18,08 (CHSi); 75,21 et 77,33 (C=C); 120,20 (C≡N).

Me₃SiC≡CCH₂CH(SiMe₃)CN. Eb. 125° C/22 Torr. IR (cm⁻¹): 2225F (C≡N); 2190F (C=C); 1255F, 850F, 760F (SiMe₃). ¹H RMN (δ ppm, CDCl₃): 0,15 (s, 9H, Me₃SiC≡); 0,25 (s, 9H, SiMe₃); 2,03 (dd, 1H, *J* 6,3 et 7,4 Hz, CHSi); 2,54 et 2,55 (2d, 2H, CH₂). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –2,99 (Si(CH₃)₃); –0,27 ((CH₃)₃SiC≡); 18,25 (CH₂); 18,61 (CHSi); 87,65 et 102,90 (C=C); 120,71 (C≡N).

ⁿC₄H₉CH(SiMe₃)CN. Eb. 104° C/22 Torr. IR (cm⁻¹): 2220F (C≡N); 1250F, 840F, 750m (SiMe₃). ¹H RMN (δ ppm, CDCl₃): 0,19 (s, 9H, SiMe₃); 0,93 (t, 3H, CH₃); 1,20–1,90 (m, 7H, (CH₂)₃CH). ¹³C RMN (δ ppm, CDCl₃): –4,06 (Si(CH₃)₃); 13,00 (CH₃); 17,96 (CH); 21,27, 25,59, 31,32 (CH₂); 121,07 (C≡N).

Bibliographie

- 1 I. Matsuda, S. Murata et Y. Ishii, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. I*, (1979) 26.
- 2 I. Ojima, M. Kumagai et Y. Nagai, *Tetrahedron Lett.*, (1974) 4005.
- 3 T.H. Chan et E. Chang, *J. Org. Chem.*, 39 (1974) 3264.
- 4 Y. Yamakado, M. Ishiguro, N. Ikeda et H. Yamamoto, *J. Am. Chem. Soc.*, 103 (1981) 5568 et références citées.
- 5 K. Tomioka et K. Koga, *Tetrahedron Lett.*, 25 (1984) 1599.
- 6 H.E. Zimmerman et R.T. Klun, *Tetrahedron*, 34 (1978) 1775.
- 7 K. Furata, M. Ishiguro, R. Haruta, N. Ikeda et H. Yamamoto, *Bull. Soc. Chem. Soc. Jpn.*, 57 (1984) 2768.

- 8 B. Mauzé et L. Miginiac, *Synth. Commun.*, 20 (1990) 2251.
- 9 S. Inoue et Y. Sato, *Organometallics*, 5 (1986) 1197.
- 10 E.W. Colvin, *Silicon in Organic Synthesis*, Butterworths, London, 1981, p. 44–173 et références citées.
- 11 W.P. Weber, *Silicon Reagents for Organic Synthesis*, Springer Verlag, Berlin, 1983, p. 79–227 et références citées.
- 12 S. Pataí, *The Chemistry of the Cyano Group*, Interscience Publishers, London, 1970, p. 239–421 et références citées.
- 13 R.H. Dewolfe et W.G. Young, *Chem. Rev.*, 56 (1956) 753 et références citées.
- 14 L. Birkofer et J. Kittler, *Chem. Ber.*, 115 (1982) 3737.
- 15 L. Miginiac, *Ann. Chim.*, 6 (1961) 1075 et références citées.
- 16 R. Bryan Miller, *Synth. Commun.*, 2 (1972) 267.
- 17 B. Mauzé et L. Miginiac, *Bull. Soc. Chim. Fr.* (1968) 2544 et références citées.
- 18 A.T. Roos, H. Gilman et N.J. Beaber, *Organic Syntheses*, Wiley, New York, 1964, Coll. Vol. I, p. 145–147.