

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.

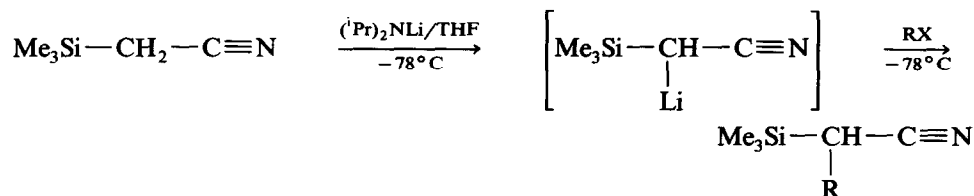
Résumé

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. Patai, *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.