

SULFONATION DE DERIVES ALLENIQUES SILICIÉS. SYNTHÈSE DE COMPOSÉS SULFONIQUES INSATURÉS

PAUL BOURGEOIS*, RAYMOND CALAS* et GEORGES MERAULT*

Laboratoire de Chimie Organique et Laboratoire de Chimie des Composés Organiques du Silicium et de l'Étain associé au C.N.R.S. (No. 35) Université de Bordeaux I, 33405 Talence (France)

(Reçu le 15 avril 1977)

Summary

Sulfonating agents such as trimethylsilylchlorosulfonate or "dioxan, SO_3 " adduct react with α -trimethylsilyl allenic compounds leading to an SO_3 insertion on the unsaturated bond and produce silyl esters of sulfonic acids in good yields. In most experiments the sulfonating process led to the transposition of the allenic structure into an acetylenic or conjugated diene system. We have tried to explain such changes in the unsaturated skeleton by the electronic and steric effects of the other substituents to the allenic carbon atoms.

As regards synthesis, such reactions have led to the discovery of new unsaturated sulfonic compounds which have not been studied before.

Résumé

Les agents de sulfonation tels que le chlorosulfonate de triméthylsilyle ou l'adduit "dioxanne, SO_3 " réagissent avec des dérivés alléniques siliciés de type $-\text{C}=\text{C}=\text{C}-\text{SiMe}_3$ pour conduire avec de bons rendements à des esters siliciés d'acides sulfoniques insaturés. Dans la plupart des cas la sulfonation s'accompagne de transposition: passage d'une structure allénique à une structure acétylénique ou diénique conjuguée. Nous avons tenté d'expliquer ces modifications du squelette insaturé à partir des influences électroniques et stériques des autres substituants des carbones alléniques.

Du point de vue de la synthèse, ces réactions ont permis l'accès à de nouveaux acides sulfoniques acétyléniques, alléniques ou diéniques conjugués de même qu'à un sulfate allénique, dérivés non décrits jusqu'à ce jour.

* Adresse Actuelle: U.E.R. Sciences (C.U.A.G.) B.P. 592 - Pointe à Pitre 97 167 (Guadeloupe).

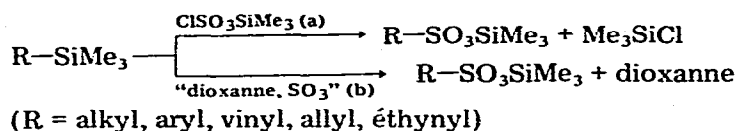
TABLEAU I
SULFONATION DE $R^1R^2C=C=CR^3SiMe_3$ PAR $ClSO_3SiMe_3$ (a) ou "dioxane, SO_3 " (b)

Allène no.	R ¹	R ²	R ³	Sulfonation avec transposition du sulfonate	Formule No.	Sulfonation sans transposition	Formule du sulfonate No.
I	H	H	H	$CH_2-C \equiv C-H$ $ $ SO_3SiMe_3	VII		
II	Me	Me	Me_3Si	$Me-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ SO_3SiMe_3	VIII		
III	Me	Me_3SiCH_2	Me_3Si	$Me-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ Me_3SiCH_2 $ $ SO_3SiMe_3	IV	$Me-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ Me_3SiCH_2 $ $ SO_3SiMe_3	X
IV	Me	Me_3SiCH_2	Ph	$Me-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ $CH_2-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ SO_3SiMe_3 $ $ Ph	XI		
V	t-Bu	Me_3SiO	n-Bu	$t-Bu-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ O $ $ SO_3SiMe_3	XII		
VI	t-Bu	Me_3SiO	Me_3Si			$t-Bu-C \equiv C-SiMe_3$ $ $ Me_3SiO $ $ SO_3SiMe_3	XIII

a Les proportions relatives de IX et X sont les suivantes: avec a (75/25) et avec b (60/40). b Le triméthylsilylbutadiène-3,4 conduit à un sulfonate du même type cependant il est très polymérisable et n'a pu être isolé. c XI est constitué par un mélange de stéréoisomères (cf. partie expérimentale).

Au cours d'études préliminaires concernant la sulfonation de dérivés alléniques α -siliciés [1,2] nous avons observé deux types de réactions: celles qui ont lieu avec transposition de l'allène et celles qui n'entraînent pas de modification de la structure du système insaturé. Nous avons développé ce travail en essayant de relier les divers résultats aux effets électroniques et stériques de substituants d du composé allénique α -silicié et pour cela nous avons envisagé la sulfonation de divers allènes de type $R^1R^2C=C=C(R^3)SiMe_3$ dans lesquels R^1 , R^2 , R^3 sont des groupes hydrocarbonés, organosiliciés ou fonctionnels.

Comme agent de sulfonation nous utilisons le chlorosulfonate de triméthylsilyle (a) ou le "dioxanne, SO_3 " (b), réactifs qui ont permis déjà de réaliser la sulfonation des nombreux autres types de composés organosiliciés. Il s'agit d'une réaction d'insertion de SO_3 au niveau d'une liaison C—Si qui peut être schématisée de la manière suivante [3,4].



Résultats

Par addition de a (ou de b) à l'allène silicié nous observons une réaction exothermique qui conduit d'une part au triméthylchlorosilane ou au dioxanne, d'autre part à l'ester silicié d'un acide sulfonique dérivant de l'allène initial. Compte tenu de la structure du dérivé sulfonique ainsi formé on peut classer ces réactions de sulfonation selon trois types:

(1) Sulfonation ayant lieu avec isomérisation totale du système allénique, soit en un système acétylénique (dérivés I et II); soit en un système diénique conjugué (allénysilane IV), soit en un système cétone éthyénique conjugué (allén-oxysilane V).

(2) Sulfonation qui s'accompagne d'un réarrangement partiel allène—acétylène et qui conduit à la fois à des sulfonates siliciés, acétylénique (produit majoritaire 65%) et allénique (produit minoritaire 35%).

(3) Sulfonation au cours de laquelle la structure allénique est maintenue (obtention d'un sulfate allénique).

Les résultats sont rassemblés dans le Tableau 1.

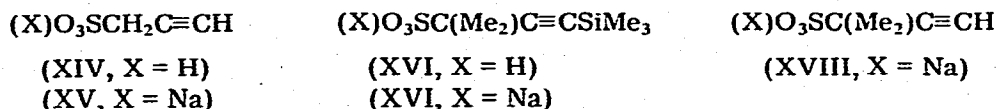
Identification

Ces dérivés sulfoniques siliciés qui n'étaient pas connus ont été identifiés par les techniques physicochimiques: infrarouge, RMN, spectrométrie de masse; par microanalyse élémentaire et par l'identification des acides sulfoniques résultant de leur hydrolyse.

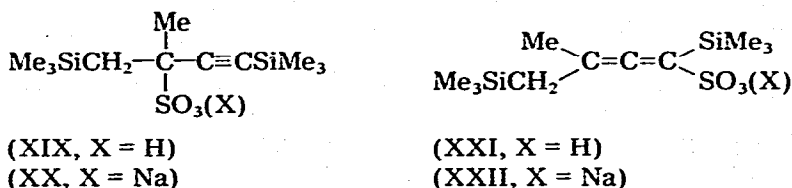
Dans la plupart des cas, l'acide lui-même n'a pas été isolé, mais nous l'avons caractérisé par ses sels métalliques ou de *S*-benzylisothiuronium.

(a) Sulfonates VII et VIII: par hydrolyse suivie d'une neutralisation des solutions aqueuses par $NaHCO_3$ nous avons obtenu XV et XVII: sels de sodium respectivement des acides XIV et XVI (non isolés).

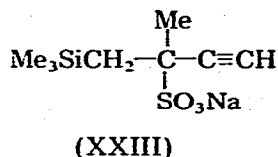
Lorsque la solution de XVI est neutralisée par la soude on observe une scission de la liaison $\text{Si}-\text{C}(\text{acétylénique})$; le sel de sodium isolé est alors le dérivé XVIII. Des désilylations en milieu basique ont déjà été observées dans des dérivés analogues [4].



(b) Sulfonates IX et X: Ces deux composés n'ont pu être séparés, leur identification a été réalisée à partir du mélange. L'hydrolyse suivie rapidement par une neutralisation par HNaCO_3 conduit aux sels de sodium XX et XXII; les acides correspondants sont respectivement XIX et XXI (non isolés).



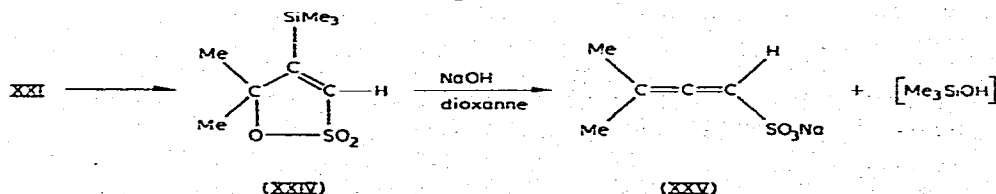
Lorsque la salification est réalisée par une solution de soude, les sels de sodium isolés sont XXII et XXIII; ce dernier correspond à la substitution de groupement SiMe_3 porté par un carbone acétylénique de XX, par un atome d'hydrogène, comme nous l'avons déjà rencontré lors de la formation de XVIII.



Lorsqu'on laisse pendant plusieurs jours les acides XIX et XXI en solution dans CHCl_3 , XXI se transforme progressivement en une sultone éthylénique XXIV. Dans ces mêmes conditions l'acide XIX ne subit aucune transformation.

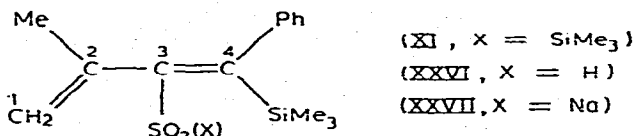
La structure de XXIV et en particulier les positions de l'hydrogène et du groupe SiMe_3 sur la double liaison ont été mises en évidence par RMN. On trouve pour H un déplacement chimique de δ 6.75 ppm, valeur qui correspondrait assez bien aux déplacements chimiques d'un hydrogène vinylique en position *gémée* par rapport à un groupe sulfonique tel qu'il ressort des travaux de Matter, Pascual et Pross [5].

Une autre confirmation de la structure de XXIV est donnée par la réaction suivante: traité par un équivalent de soude dans le dioxanne, il conduit quantitativement au sulfonate de sodium allénique XXV. Dans la partie réservée à la discussion nous proposerons une interprétation de ces résultats.



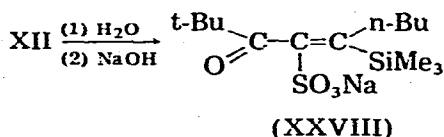
(c) Sulfonate XI. La RMN et l'infrarouge permettent de mettre en évidence sans aucune ambiguïté la structure diène conjuguée de XI; la RMN indique en outre qu'il s'agit d'un mélange à peu près équivalent de deux stéréoisomères par rapport à la liaison C₃—C₄ (voir partie expérimentale).

Par hydrolyse de XI (brut) nous avons pu isoler un acide sulfonique diénique-1,3, (XXVI sous forme d'un dihydrate. L'acide conduit au sel de sodium XXVII.

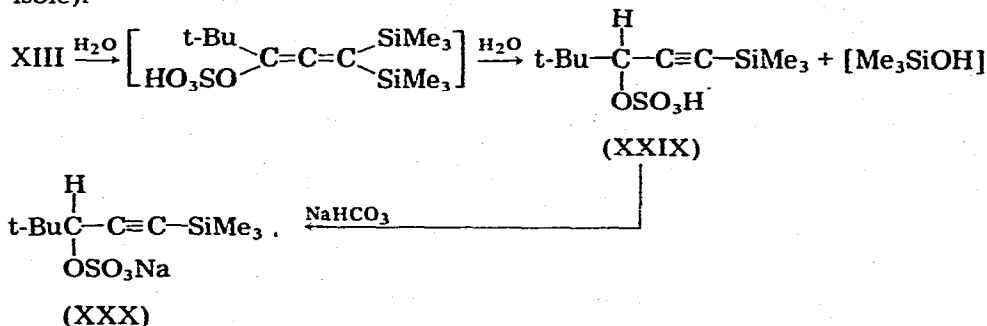


Contrairement à l'ester silicié XI, l'acide XXVI, isolé, n'est constitué que par un seul stéréoisomère. Du fait des difficultés de manipulation nous n'avons pu préciser sa stéréochimie.

(d) Sulfonate XII: l'acide correspondant n'a pu être isolé à l'état pur, nous l'avons caractérisé sous forme de sels de sodium XXVIII et de *S*-benzylthiouronium.



(e) Sulfonate XIII: lors de l'hydrolyse de XIII, nous notons également une scission d'une des liaisons Si—C(allénique). Nous obtenons dans ce cas, après neutralisation, le monosulfate de sodium XXX provenant de l'acide XXIX (non isolé).



Interprétation des résultats.

Réactions de sulfonation

Pour expliquer les réactions de SO₂ avec les allènes α-stanniques, Clifford et Kitching [6] ont proposé un mécanisme par transfert cyclique concerté à 6 centres. En ce qui concerne la sulfonation, nous pensons que l'étape initiale serait plutôt du type substitution électrophile par SO₃ *. Nous retiendrons cependant

* Nous avons montré que a et b réagissaient en libérant "SO₃" qui par la suite assure la sulfonation [3,4].

l'hypothèse du transfert cyclique de Clifford et Kitching pour expliquer le deuxième stade de la réaction, notamment la scission de la liaison C(insaturé)—SiMe₃ et les transpositions éventuelles qui accompagnent cette scission.

La phase initiale de la réaction est donc l'attaque de "SO₃" sur un des carbones du système allénique ($\text{C}_1=\text{C}_2=\text{C}_3$). Les divers travaux consacrés à la substitution électrophile dans cette série mettent en évidence deux possibilités d'attaque: en C₁ ou C₃ et en C₂, chacun de ces sites étant plus ou moins favorisé par les effets électroniques et stériques des substituants de l'allène [6].

Outre ces effets, nous pensons que la position d'attaque est également conditionnée par la structure de l'intermédiaire sulfonique formé initialement qui doit être tel qu'il puisse permettre l'élimination d'un groupe SiMe₃ et la formation de l'ester sulfonique silicié.

Du point de vue des résultats expérimentaux nous observons deux types de sulfonation; celles qui se font en 1 ou 3 (cas des allénysilanes I—III et celles qui se font en 2 (allénysilanes IV et V), le cas de l'allénoxysilane VI pouvant être considéré comme un exemple particulier de ce dernier type. Dans la suite de l'exposé, nous développerons les arguments théoriques justifiant l'appartenance de chacune des réactions de sulfonation à la rubrique considérée.

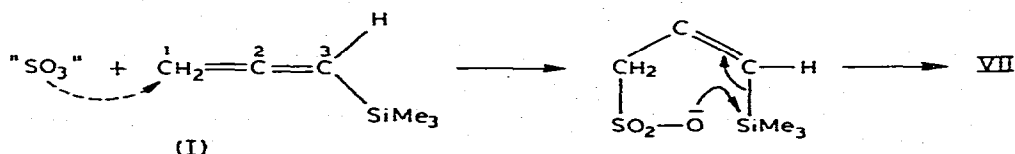
(1) Sulfonation en C₁ ou C₃

Celle-ci doit intervenir de manière préférentielle lorsque le caractère nucléophile de C₂ n'est pas très prononcé, ceci pouvant être dû à des effets peu ou pas donneurs des substituants sur C₁ et C₃. Il en est ainsi dans I, II et III dont les substituants sont l'hydrogène ou des groupes saturés.

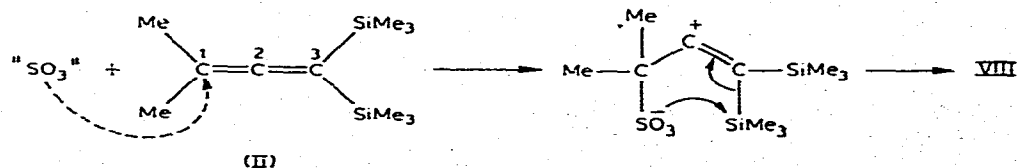
Il faut par ailleurs expliquer la sélectivité ou non de la fixation de "SO₃" sur les positions 1 ou 3. Nous l'envisagerons en considérant plus particulièrement des facteurs d'ordre stérique et géométrique.

(a) *Formation de VII à partir de I.* Deux arguments peuvent être avancés pour interpréter ce résultat et justifier l'attaque univoque de "SO₃" sur C₁: l'encombrement en cette position est moins important qu'en C₃; l'intermédiaire sulfonique résultant de cette fixation en C₁ permet d'envisager une désilylation à partir d'un transfert cyclique à 6 centres, géométriquement plus favorable qu'un transfert à 4 centres qu'impliquerait une attaque initiale de "SO₃" sur C₃.

Le processus de déroulement de la réaction est alors le suivant:

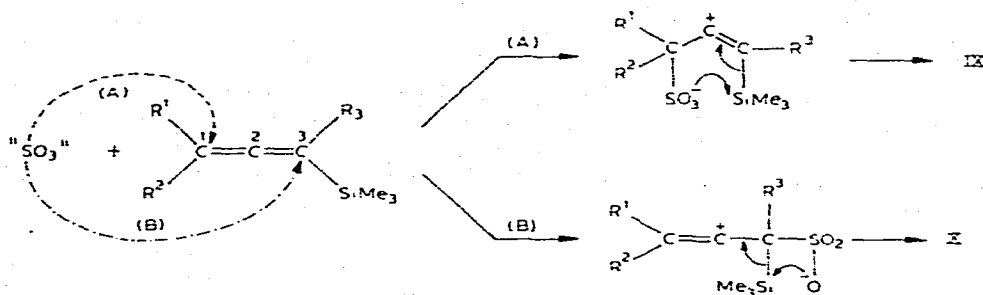


(b) *Formation de VIII à partir de II.* Les arguments concernant le transfert cyclique à 6 centres et l'encombrement plus faible en C₁ peuvent être repris pour justifier une fixation univoque de "SO₃" en cette position et la formation de VIII.



(c) *Sulfonation de III*. L'argument stérique est ici moins net que précédemment; en effet la présence de Me_3SiCH_2 sur C_1 augmente l'encombrement en cette position et la sélectivité de l'attaque par " SO_3 ", sous contrôle stérique n'est pas très évident d'autant plus que le réactif attaquant (" SO_3 ") est lui-même volumineux.

On peut donc raisonnablement envisager une attaque sur les deux positions C_1 et C_3 et par la suite une révolution selon les chemins A et B.



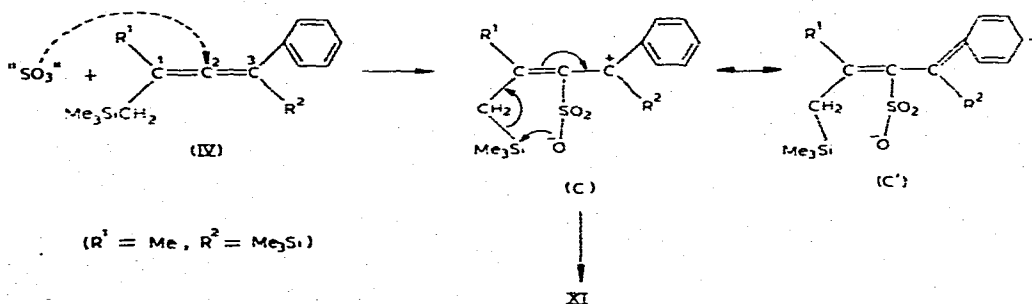
A procédant selon un transfert cyclique à 6 centres, B selon un transfert à 4 centres. Le processus A géométriquement plus favorable devrait être prépondérant ce qui impliquerait une prédominance de IX; ceci est expérimentalement vérifié (X produit minoritaire).

L'influence de l'effet stérique dû à " SO_3 " dans le sens d'une diminution de sélectivité lors de sa fixation, peut être renforcé par un argument expérimental: lorsqu'on fait réagir des électrophiles moins encombrants que " SO_3 " tels que Br^+ , H^+ , $\text{RC}^+=\text{O}$, la fixation de ces derniers a lieu de manière univoque sur C_1 [2].

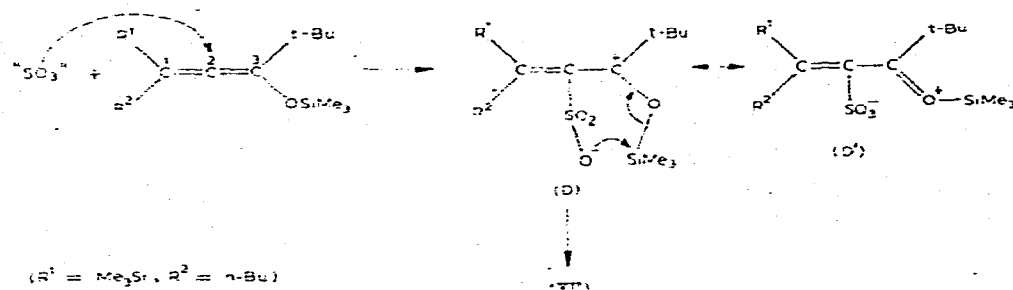
(2) Sulfonation sur C_2

Celle-ci pourra intervenir lorsque les effets électroniques des substituants de l'allène rendront C_2 suffisamment nucléophile ou lorsque la carbocation résultant de l'attaque initiale en cette position pourra être délocalisé du fait de la présence d'un groupe d'effet mésomère donneur. Il en est ainsi dans IV et V.

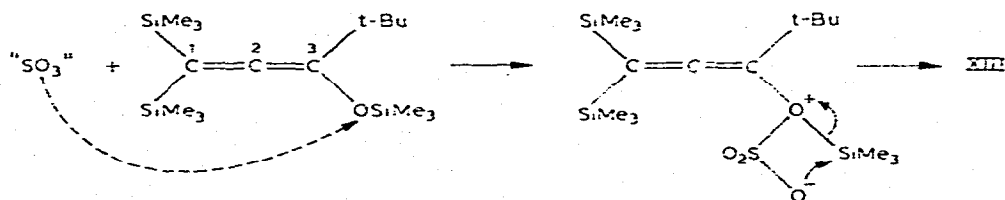
(a) *Sulfonation de IV*. La fixation de SO_3 sur C_2 conduit à l'intermédiaire C dans lequel le carbocation (C_3) est délocalisé par effet du phényle (formules limites C et C'). A partir de l'une ou l'autre forme, un transfert cyclique conduit au sulfonate dienique XI.



(b) *Sulfonation de V.* Une attaque de "SO₃" sur C₂ peut être envisagée du fait, d'une part de la présence d'un groupe t-Bu sur C₃, d'autre part de la possibilité de délocalisation du carbocation en cette position par le doublet de l'oxygène du groupement OSiMe₃ (formules limites D et D'). L'un ou l'autre de ces intermédiaires conduit à XII à partir d'un transfert à 6 centres.



(c) *Sulfonation de VI formation du sulfate XIII.* Les arguments électroniques que nous avons développés pour V peuvent être repris pour VI, ce qui implique que la sulfonation devrait intervenir en 2. Expérimentalement il n'en est pas ainsi et la diminution de réactivité de cette position doit être imputée à l'effet stérique important en C₁, du fait de la présence de deux groupes SiMe₃ suffisamment volumineux pour gêner l'attaque de "SO₃" lui-même encombrant. Ce dernier attaque alors l'autre pôle nucléophile de la molécule, l'oxygène et conduit au sulfate XIII selon:

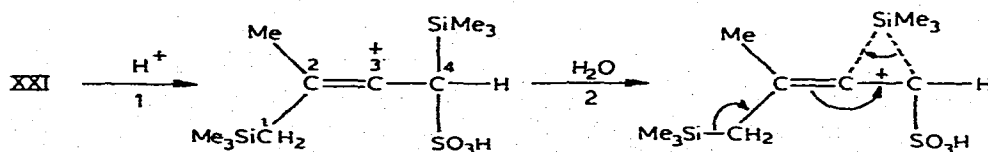


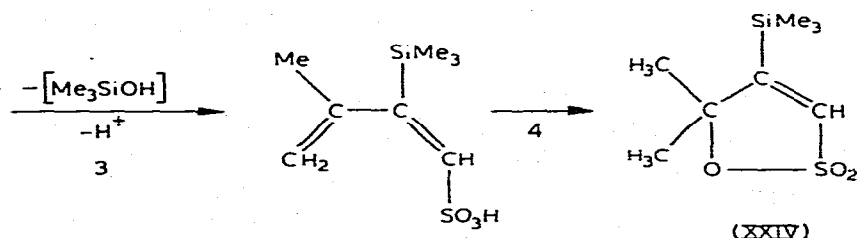
Cette formation de sulfate mixte par action de "SO₃" sur les alcoxysilanes (R-OSiMe₃) est générale et se déroule selon un mécanisme du même type que celui que nous proposons [7,8].

(3) *Interprétation de la transformation: ccide sulfonique XXI en sultone éthylénique XXIV*

Avant de proposer un mécanisme il faut préciser les conditions de cette transformation: l'acide XXI mis en solution chloroformique, résulte de l'hydrolyse de l'ester silicié correspondant; comme la plupart des acides sulfoniques il est sous forme d'hydrate et de ce fait les molécules d'eau peuvent participer à diverses réactions concernant cet acide.

Le schéma réactionnel de la cyclisation est le suivant:





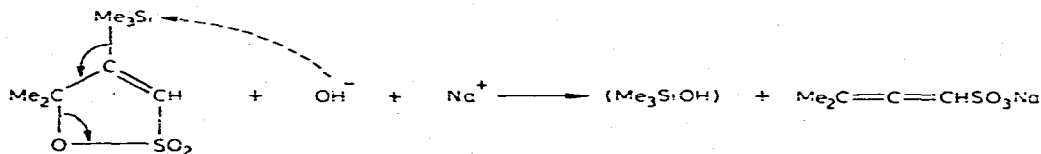
L'acide XXI subit une protonation qui compte tenu des effets des groupes présents doit avoir lieu en 4 en laissant une charge positive sur C₃. (réaction 1).

A ce niveau on peut envisager une migration du groupe Me₃Si de C₄ vers C₃ qui se fait d'autant mieux qu'il y a possibilité de départ du groupe SiMe₃ situé en position allylique (réaction 2 et 3). L'acide sulfonique diénique ainsi obtenu peut subir une cyclisation par une addition classique, de SO₃H sur la double liaison C₁—C₂ et conduire à la sultone XXIV [9].

Ce mécanisme suppose la migration d'un groupe silicié d'un carbone à un autre carbone adjacent. Bien que peu courant ce type de réarrangement a été signalé par Seyferth et coll. [10] à propos de l'isomérisation de l'*o*-bis(triméthylsilyl)benzène en *m*-bis(triméthylsilyl)benzène, catalysée par les acides forts.

(4) Formation de XXV à partir de XXIV

Cette transformation peut être expliquée à partir d'une attaque nucléophile (par OH⁻) du groupe Me₃Si, assistée par l'ouverture du cycle sultone.



Conclusions

Les divers résultats obtenus lors de la sulfonation des dérivés alléniques siliciés: réactions se faisant avec ou sans transposition peuvent être interprétés en tenant compte des effets électroniques et stériques des substituants du système insaturé.

Les composés obtenus: esters sulfoniques siliciés, acides sulfoniques ou sels métalliques correspondants sont nouveaux pour la plupart et leur synthèse par d'autres méthodes paraît difficilement envisageable.

Nous avons mis en évidence une réaction de cyclisation accompagnée d'une migration d'un groupement silicié d'un atome de carbone sur un autre atome de carbone contigu. Il faut souligner que peu d'exemples de transfert de ce type ont été mis en évidence en chimie organosilicique.

Partie expérimentale

Esters siliciés des acides sulfoniques

D'une manière générale a ou b (en solution dans CH₂Cl₂) 0.1 mol est addi-

tionné à une quantité équimoléculaire du dérivé allénique. Le mélange est laissé 1 h à température ambiante. Les différents produits sont isolés par distillation.

Acides sulfoniques, sels

Mode opératoire général: 0.1 mol d'ester silicié de l'acide sulfonique, en solution dans 50 ml d'éther ou de CHCl_3 , est versée avec précaution dans 20 ml d'eau glacée. L'évaporation sous pression réduite de ce mélange laisse un résidu, généralement huileux, constitué par l'acide sous forme d'hydrates mal définis, Sauf dans le cas de XXVI où l'acide sulfonique hydraté, solide, a pu être recristallisé et isolé, les autres acides ont été directement transformés en sel de sodium, en traitant le mélange initial par une quantité équivalente de NaOH ou de NaHCO_3 . Le sel obtenu après évaporation des produits volatils peut être purifié par cristallisation dans le méthanol ou être caractérisé sous forme de sel de *S*-benzylthiouronium ou de *p*-chlorobenzylthiouronium.

Caractéristiques des dérivés*

Sulfonate acétylénique VII. $\text{Me}_3\text{SiSO}_3^b\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CH}$. Rdt. 80% avec a ou b. Eb. $110^\circ\text{C}/2\text{ mmHg}$. IR: $\nu(\text{C}\equiv\text{CH})$ 2200, $\nu(\text{C}=\text{CH})$ 3200. RMN (CCl_4): 0.40 (H_a , s, 9H); 3.90 (H_b , d, 2H); 2.40 (H_c , t, 1H). Analyse: Tr.: C, 37.32, H, 6.32; S, 15.88; Si, 14.37. $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_3\text{SSi}$ calc.: C, 37.50; H, 6.25; S, 16.66; Si, 14.58%.

Sel de *p*-chloro-*S*-benzylthiuronium correspondant au sel de sodium XV. F. 135°C (AcOEt). Analyse: Tr.: C, 39.83; H, 4.30; S, 19.75; N, 8.66. $C_{11}H_{17}ClN_2O_3S_2$ calc.: C, 40.25; H, 4.06; S, 20.00; N, 8.75%.

Allénysilane II (produit non décrit). $\text{Me}_2\text{C}=\text{C}=\text{C}(\text{SiMe}_3)_2$ (préparé par la réaction: $\text{Me}_2\text{CClC}\equiv\text{CSiMe}_3 + \text{Mg} + \text{Me}_3\text{SiCl} + \text{HMPT}$). Eb. 85°C 25 mmHg. IR: $\nu(\text{C}=\text{C}=\text{C})$ 1942. RMN (CCl_4): 1.58 (H_a , s, 6H); 0.10 (H_b , s, 18H).

Sulfonate acétylénique VIII. $\text{Me}_2\text{C}(\text{SO}_3\text{SiMe}_3)\text{C}\equiv\text{C}-\text{SiMe}_3$

Rdt. 65% avec a. Eb. 100–102°C/1 mmHg. IR: $\nu(\text{C}\equiv\text{C})$ 2165. RMN (CCl_4): 1.54 (H_a , s, 6H); 0.35 (H_b , s, 9H); 0.13 (H_c , s, 9H). Analyse: Tr.: C, 44.77; H, 7.98; S, 11.17, Si, 18.66. $\text{C}_{11}\text{H}_{24}\text{O}_3\text{SSi}_2$ calc.: C, 45.05; H, 8.50; S, 10.95; Si, 19.11%. Sel de *p*-chloro-*S*-benzylthiuronium correspondant à XVIII. F. 210°C (EtOH). Analyse: Tr.: C, 45.16; H, 5.74; N, 7.38; S, 17.80. $\text{C}_{13}\text{H}_{17}\text{ClN}_2\text{O}_3\text{S}_2$ calc.: C, 44.76; H, 4.88; N, 8.03; S, 18.36%.

Sulfonates IX et X (mélange). Rdt. 80% avec a, 75% avec b. Eb. 135–138°C/3 mmHg. Analyse: Tr.: C, 45.96; H, 8.64; S, 8.64; Si, 22.84. $C_{14}H_{32}O_3SSi_3$ calc.: C, 46.15; H, 8.79; S, 8.79; Si, 23.07%.

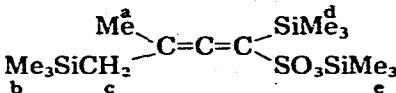
Sulfonate acétylénique IX. $\text{Me}_3\text{SiCH}_2-\overset{\overset{\text{Me}}{\text{C}}}{\underset{\underset{\text{SO}_3\text{SiMe}_3}{\text{C}}}{\text{C}}}=\text{C}-\text{SiMe}_3$. IR: $\nu(\text{C}\equiv\text{C})$ 2160.

RMN (CCl₄): 1.65 (H_a, t, 3H); 1.15 (H_b, m, 2H); 0.16 (H_c et H_d, s, 18H); 0.40 (H_e, s, 9H).

* Les fréquences infrarouges sont données en cm^{-1} ; les déplacements chimiques en δ , ppm (références internes TMS ou CHCl_3).

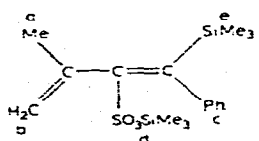
Sel de *S*-benzylthiuronium correspondant à XX: F. 202°C (AcOEt). IR: $\nu(\text{C}\equiv\text{C})$ 2150. Analyse: Tr.: C, 46.98; S, 12.94; Si, 11.45. $\text{C}_{19}\text{H}_{26}\text{O}_3\text{N}_2\text{S}_2\text{Si}_2$ calc.: C, 47.34; S, 13.08; Si, 11.38%.

Sel de *S*-benzylthiuronium correspondant à XXIII: F. 165°C (AcOEt) IR: $\nu(\text{C}\equiv\text{C})$ 2100. Analyse: Tr.: C, 45.61; S, 15.32; Si, 6.81. $\text{C}_{16}\text{H}_{26}\text{O}_3\text{N}_2\text{S}_2\text{Si}$ calc.: C, 45.71; S, 15.23; Si, 6.61%.

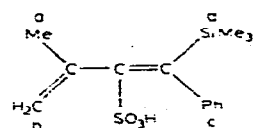
Sulfonate allénique X.  IR: $\nu(\text{C}=\text{C}=\text{C})$

1945. RMN (CCl_4): 1.85 (H_a , t, 3H); 0.12 (H_b , s, 9H); 1.45 (H_c , m, 2H); 0.22 (H_d , s, 9H); 0.35 (H_e , s, 9H).

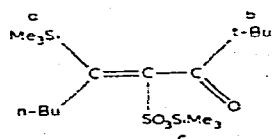
Sel de *S*-benzylthiuronium correspondant F. 169–170°C (AcOEt). IR: $\nu(\text{C}=\text{C}=\text{C})$ 1950.

Sulfonate diénique XI.  Rdt. 65% avec a. Eb. 150–

154°C/2 mmHg. IR: $\nu(\text{C}=\text{C})$ 1615 (faible). RMN (CCl_4): 1.58 et 2.12 (H_a , m, 3H); 4.90 et 5.20 (H_b , m, 2H en tout); 7.20 (H_c , massif, 5H); 0.06, 0.12, 0.1 et 0.38 (H_d et H_e , s, 18H (en tout)). Analyse: Tr.: C, 55.61; H, 7.00; S, 9.96; Si, 8.45. $\text{C}_{17}\text{H}_{28}\text{O}_3\text{SSi}_2$ calc.: C, 55.43; H, 7.22; S, 9.63; Si, 8.43%. Allénysilane de départ: IV. Préparation et caractéristiques dans réf. [11].

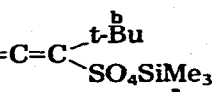
Acide sulfonique diénique XXVI.  $\cdot 2\text{-H}_2\text{O}$ F. 140°C

(C_6H_{12}). RMN (CDCl_3): 2.10 (H_a , m, 3H); 5.50 (H_b , m, 2H); 7.20 (H_c , massif, 5H); 0.04 (H_d , s, 9H). Sel de *S*-benzylthiuronium correspondant: F. 220°C (EtOH, H_2O).

Sulfonate cétonique XII.  Rdt. 75% avec a. Eb. 110°C/

0.1 mmHg. IR: $\nu(\text{C}=\text{O})$ 1680, $\nu(\text{C}=\text{C})$ 1560. RMN (CCl_4): 0.20 (H_a , s, 9H); 1.20 (H_b , 9H); 0.40 (H_c , s, 9H). Analyse: Tr.: C, 50.52; S, 8.38; Si, 13.95. $\text{C}_{17}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{SSi}_2$ calc.: C, 50.52; S, 8.42; Si, 14.73%.

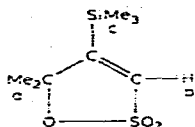
Sel de *S*-benzylthiuronium correspondant à XXVIII F. 113–114°C (AcOEt). Analyse: Tr.: C, 50.72; H, 7.09; N, 5.32; S, 12.44; Si, 5.05. $\text{C}_{22}\text{H}_{37}\text{O}_4\text{N}_2\text{S}_2\text{SiCl}$ calc.: C, 50.76; H, 7.11; N, 5.34; S, 12.30; Si, 5.34%.

Sulfate allénique XIII.  Rdt. 75% avec a. Eb.

130°C/0.1 mmHg. IR: $\nu(\text{C}=\text{C}=\text{C})$ 930. RMN (CCl_4): 0.25 (H_a , s, 18H); 1.50 (H_b , s, 9H); 0.45 (H_c , s, 9H). Analyse: Tr.: C, 47.04; H, 8.42; S, 7.64; Si, 20.00. $\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Si}_3$ calc.: C, 47.05; H, 8.82; S, 7.84; Si, 20.58%.

Sel de S-benzylthiuronium correspondant à XXX: F. 245°C (AcOEt). Analyse: Tr.: C, 46.51; H, 6.12; N, 6.00; S, 13.87; Si, 6.14. $C_{18}H_{29}N_2O_4S_2SiCl$ calc.: C, 46.55; H, 6.25; S, 13.79; N, 6.03%.

Sultone XXIV. On ajoute 2 ml d'eau à 0.05 M du mélange IX + X en solution dans 50 ml d'éther. L'ensemble évaporé, sous pression réduite laisse une huile brunâtre constituée par XIX et XXI sous forme d'hydrates. Cette partie huileuse est dissoute dans 100 ml de $CHCl_3$ et la solution laissée à 30–35°C pendant 2 jours. La solution chloroformique est alors lavée par deux portions de 20 ml de solution $HNaCO_3$ à 10%. Le chloroforme est recueilli, séché et évaporé; on récupère un solide blanchâtre qui est recristallisé dans le cyclohexane. (Dans la solution bicarbonatée on trouve le sel de sodium de XIX).



F. 111–112°C IR: $\nu(C=C)$ 1612. RMN ($CDCl_3$): 1.58 (H_a , s, 6H); 6.75 (H_b , s, 1H); 0.36 (H_c , s, 9H). Analyse: Tr.: C, 43.42; H, 7.14; S, 14.40; Si, 12.32. $C_8H_{16}O_3SSi$ calc.: C, 43.63; H, 7.27; S, 14.10; Si, 12.72%.

Sulfonate allénique XXV. La sultone XXIV en solution dans du dioxanne est chauffée à reflux de ce dernier avec 1 éq. NaOH, pendant 2 h. Après évaporation on obtient un solide blanc qui est repris à l'éthanol anhydre bouillant;

par refroidissement de cette solution, on obtient XXV. $Me_2C=C=C(H^b)SO_3Na$ (XXV). Solide infusible. IR: $\nu(C=C=C)$ 1968 (nujol). RMN (D_2O): 2.02 (H_a , d, 6H); 6.10–6.30 (H_b , m, 1H). Analyse: Tr.: C, 35.35; H, 4.15; S, 18.32; Na, 13.37. $C_5H_7O_3SNa$ calc.: C, 35.29; H, 4.11; S, 18.83; Na, 13.52%.

Sel, de p-chloro-S-benzylthiuronium: F. 147°C (AcOET). Analyse: Tr.: C, 44.12; H, 4.88; S, 17.94; N, 7.88. $C_{13}H_{17}ClN_2O_3S_2$ calc.: C, 44.82; H, 4.88; S, 18.39; N, 8.03%.

Bibliographie

- 1 P. Bourgeois, G. Mèrault, N. Duffaut et R. Calas; J. Organometal. Chem., 59 (1973) 145.
- 2 P. Bourgeois, C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. C, 278 (1974) 969.
- 3 P. Bourgeois, N. Duffaut et R. Calas, C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. C, 263 (1966) 243.
- 4 P. Bourgeois et R. Calas J. Organometal. Chem., 22 (1970) 89.
- 5 A.E. Matter, C. Pascual, A. Pross Tétraedron, 25 (1969) 691.
- 6 W.F. Clifford et N. Kitching J. Organometal. Chem., 22 (1970) 107
- 7 M. Casserio, Selective Organic Transformations, Vol. 1, Wiley, New York, 1970.
- 8 M. Schmidt et H. Schmidbaur, Angew. Chem., 70 (1958) 469; J. Dubac, P. Mazerolles, M. Lesbre et M. Joly, J. Organometal. Chem., 25 (1970) 367.
- 9 F.G. Bordwell, R.D. Chapman et C.E. Osborne, J. Amer. Chem. Soc., 81 (1959) 2002.
- 10 D. Seyferth et D. White, J. Organometal. Chem., 26 (1971) C15.
- 11 J. Dunoguès, P. Bourgeois, J.P. Pillot, G. Mèrault et R. Calas, J. Organometal. Chem., 87 (1975) 169.