

46. Etude des composés d'addition des acides de LEWIS
XXIX. Composés d'addition entre acides aromatiques
et SbCl₅, AlCl₃, TiCl₄, SnCl₄ ou ZnCl₂

par **B. Petitpierre** et **B. P. Susz**

(24 XII 66)

1. Introduction

Les recherches sur les composés d'addition entreprises dans notre laboratoire ont porté jusqu'à ce jour sur une série d'acides de LEWIS et des donneurs électroniques à groupe carbonyle: cétones, esters ou chlorures d'acides. Dans chaque cas, la spectrographie IR. a confirmé, par un abaissement de la fréquence carbonyle, la présence d'une liaison covalente dative entre l'oxygène du groupe C=O et le métal de l'acide de LEWIS. Dès lors il nous a paru intéressant d'étudier le comportement du groupe carboxylique vis-à-vis d'une série de chlorures métalliques possédant les propriétés d'accepteurs électroniques. L'objet de la présente recherche est donc la préparation et l'étude des composés d'addition de quelques acides aromatiques: benzoïque, *p*-toluïque, mésoïtoïque et cinnamique, et des accepteurs électroniques SbCl₅, AlCl₃, TiCl₄, SnCl₄ et ZnCl₂. Le choix de ces acides de LEWIS a été opéré en fonction des effets plus ou moins marqués qu'ils étaient susceptibles de provoquer, d'après la littérature, sur la répartition électronique du groupe C=O.

Les spectres d'absorption IR. nous ont permis d'observer les variations des vibrations propres au groupe COOH, lors de la formation des composés d'addition, de connaître avec plus de détails la signification de ces fréquences et, d'après l'importance du déplacement de la bande carbonyle, de comparer entre eux les différents acides de LEWIS utilisés.

Certains complexes d'addition des acides mentionnés ci-dessus ont déjà été préparés: ROSENHEIM & LOEWENSTAMM [1] ont obtenu à l'état cristallisé et analysé les composés CH₃COOH, SbCl₅, C₆H₅COOH, SbCl₅ et C₆H₅CH₂COOH, SbCl₅, KLAGES & ZANGE [2], les composés HCOOH, SbCl₅, CH₃COOH, SbCl₅ et C₆H₅COOH, SbCl₅. PFEIFFER [3] est parvenu, à partir du benzène, à isoler des cristaux de 2C₆H₅COOH, SnCl₄, tandis que d'autres chercheurs [4] [5] ont travaillé avec des solutions comprenant AlCl₃, SnCl₄ ou SnBr₄, des acides benzoïque, mésoïtoïque, acétique ou d'autres acides carboxyliques encore.

La littérature, à notre connaissance, est très pauvre en ce qui concerne la spectrographie de vibration de ces composés d'addition. ZACKRISSON & LINDQUIST [6] ont comparé, au moyen des spectres d'absorption IR. de mélanges liquides d'acide acétique avec SbCl₅, SnCl₄ ou SbCl₃, et d'acide formique avec SbCl₅, les différents déplacements de la fréquence carbonyle. TAHA & WILKINSON [7] ont décrit les spectres d'absorption IR. obtenus à partir de composés cristallins formés d'acides aliphatiques et de chlorures de rhénium. OULEVEY & SUSZ [5], dans le cadre de leurs recherches sur la présence de l'ion mésoïtylium, ont étudié, en solution dans CH₂Cl₂, le composé acide mésoïtoïque, AlCl₃. Ils concluent qu'il doit exister un équilibre entre les composés de

structure dative et ionique. A ce propos, nous nous devons de vérifier dans le spectre d'absorption IR. de nos composés d'addition à base d'acide mésitoïque s'il apparaissait la fréquence caractéristique d'une forme ionique et de pouvoir conclure dans quel sens cet équilibre est déplacé.

2. Partie expérimentale

2.1. *Produits utilisés.* Acide benzoïque: FLUKA, *purum*, F. 121–122°. – acide *p*-toluïque: FLUKA, *puriss.*, F. 180°. – acide mésitoïque: FLUKA, *purum*, F. 156°. – acide *trans*-cinnamique: FLUKA, *puriss.*, F. 135°. – chlorure de zinc: MERCK, *puriss.*, séché sous vide à 150°. – tétrachlorure

Tableau 1. *Propriétés physiques et analyses*

Donneurs	Accept.	Compos.	Temp. de pré- par. °C	État	Analyse élémentaire			
					C%	H%	Cl%	M%
C ₆ H ₅ COOH	SbCl ₅		20	En solution				
	AlCl ₃	1:1	50	Cristaux violacés	Calc. 32,9 Tr. 32,7	2,3 2,4	41,7 40,9	10,6 11,1
	TiCl ₄	1:1	20	Cristaux jaunes	Calc. 27,0 Tr. 27,1	1,9 2,0	45,5 {44,5* 40,5	15,4 15,2
	SnCl ₄		20	En solution				
<i>p</i> -CH ₃ -C ₆ H ₄ COOH	SbCl ₅		20	En solution				
	TiCl ₄	1:1	20	Cristaux jaune-orange déc. dès 180°C	Calc. 29,4 Tr. 29,8	2,5 2,5	43,5 {42,8* 40,6	14,7 15,4
	SnCl ₄		20	En solution				
(CH ₃) ₃ -2,4,6-C ₆ H ₂ COOH	SbCl ₅		20	En solution				
	AlCl ₃		50	En solution				
	TiCl ₄	1:1	20	Cristaux brun-orange	Calc. 34,0 Tr. 34,2	3,4 3,3	40,0 {39,1* 36,5	13,6 14,0
	SnCl ₄		20	En solution				
C ₆ H ₅ CH=CHCOOH	SbCl ₅	1:1	20	Cristaux jaunes F. 118°C	Calc. 24,2 Tr. 24,3	1,8 2,0	39,6 39,8	27,0 26,8
	AlCl ₃	1:1	40–50	Cristaux rouge-grenat	Calc. 38,4 Tr. 38,0	2,8 2,8	37,8 35,5	9,6 10,1
	TiCl ₄	1:1	20	Cristaux rouge-grenat F. 151°C	Calc. 32,0 Tr. 32,6	2,4 3,0	42,0 {42,3* 40,7	14,2 13,9
	SnCl ₄	2:1	20	Cristaux beige-clair F. 118°C	Calc. 38,8 Tr. 38,8	2,9 3,1	25,5 26,1	21,3 20,9
	ZnCl ₂		50	Mélange de cristaux orangés et blancs				

Les résultats pour Cl marqués d'un * ont été obtenus par radioactivation.

de titane: FLUKA, *purum*, Eb. 132–135°. – pentachlorure d'antimoine: SCHUCHARDT (Munich), *purum*, Eb. 67°. – tétrachlorure d'étain: FLUKA, *puriss.*, anhydre et exempt de fer, resublimé sous vide. – tétrachlorure de carbone: MERCK, *puriss.*, redistillé sur P₂O₅, Eb. 77°.

2.2. *Préparation et propriétés des composés.* La plupart des composés étudiés ne paraissent pas avoir été décrits jusqu'à présent. Comme ils sont sensibles à l'humidité, toutes les manipulations mentionnées ci-dessous ont été effectuées dans une cage à gants dont l'air est desséché par circulation forcée à travers une tour remplie de silicagel, et par du pentoxyde de phosphore contenu dans une capsule. L'appareillage en verrerie rodée est séché, avant son emploi, par séjour prolongé dans la cage à gants; il comprend un ballon quadricol avec vibro-mélangeur, thermomètre, ampoule à robinet et réfrigérant à reflux relié à un tube avec chlorure de calcium.

Pour la préparation des composés à partir de TiCl₄, SnCl₄ ou SbCl₅, nous dissolvons dans le ballon environ 5 g d'acide carboxylique dans 100 ml de CCl₄ et dans l'ampoule à robinet une quantité équimoléculaire d'acide de LEWIS dans 30 ml du même solvant. La solution d'acide de LEWIS est ajoutée goutte à goutte, à la température ordinaire, à la solution d'acide carboxylique et l'agitation du mélange est maintenue durant environ deux heures. Le composé cristallin formé est ensuite filtré, lavé avec le même dissolvant et séché sous pression réduite.

Pour la préparation des composés à partir de AlCl₃ ou ZnCl₂, nous dissolvons dans le ballon environ 4–5 g d'acide carboxylique et une quantité équimoléculaire d'acide de LEWIS dans 120 ml de CCl₄. Ce mélange est alors porté à une température de 40–50° au moyen d'un bain d'huile et agité plusieurs heures, dans certains cas même 2–3 jours. Après refroidissement, le composé cristallin formé est filtré sur verre fritté, lavé et séché sous pression réduite; toutes ces manipulations se font soit dans la cage, soit dans un appareillage déshydraté et hermétiquement clos.

Les composés d'addition étudiés ont été obtenus à l'état cristallisé ou en solution dans CCl₄. Ils se conservent bien à l'abri de l'humidité et à la température ordinaire. Leurs propriétés physiques et analyses sont indiquées dans le tableau 1.

Analyse élémentaire: Carbone et hydrogène par microanalyse selon PREGL¹⁾, titane, étain et aluminium par gravimétrie, antimoine par iodométrie et chlore par argentométrie potentiométrique et par radioactivation (précision ± 2%)²⁾.

Tableau 2. *Fréquence carbonyle ω (C=O) et sa variation $\Delta\omega$ lors de la formation du composé d'addition (cm⁻¹)*

	C ₆ H ₅ COOH		pCH ₃ C ₆ H ₄ COOH		(CH ₃) ₃ C ₆ H ₂ COOH		C ₆ H ₅ CH=CHCOOH	
	ω	$\Delta\omega$	ω	$\Delta\omega$	ω	$\Delta\omega$	ω	$\Delta\omega$
	1) 1690		1) 1690		1) 1685		1) 1672	
	2) 1692		2) 1694		2) 1695			
SbCl ₅	1) 1568	-128 ^{a)}	1) 1555	-147 ^{a)}	1) 1582	-133 ^{a)}	1) 1530	-142
	2) 1568	-124	2) 1555	-139	2) 1582	-113		
AlCl ₃	1) 1560	-130			1) 1585	-130 ^{a)}	1) 1510	-162
					2) 1585	-110		
TiCl ₄	1) 1555	-135	1) {1585	-105	1) 1520	-165	1) 1542	-130
			1) {1512	-178				
SnCl ₄	1) 1635	-84 ^{a)}	1) 1610	-132 ^{a)}	1) 1608	-107 ^{a)}	1) 1585	-87
	2) {1612	-57	2) {1610	-84	2) 1608	-87		
		-80		-124				
ZnCl ₂							1) 1595	-77

Etant donné qu'avec ZnCl₂ nous n'avons pas pu isoler de complexe de composition stœchiométrique définie, nous n'avons pas poursuivi nos recherches avec cet acide de LEWIS.

1) Dosages effectués par le Dr. K. EDER que nous tenons à remercier ici.

2) L'analyse du chlore par radioactivation a pu être réalisée grâce à la collaboration d'assistants de chimie minérale et analytique. Notre gratitude va au Professeur D. MONNIER, au Dr W. HAERDI et au Dr R. BEELER pour leur précieux concours.

Appareillage optique: L'absorption IR. a été déterminée à l'aide du spectromètre PERKIN-ELMER 521, avec réseaux optiques. Les composés d'addition solides, placés entre des fenêtres de NaCl ou CsBr, étaient dispersés dans le nujol; les composés en solution dans CCl_4 étaient introduits dans une cellule à liquide dont la distance entre les plaques de NaCl ou CsBr était de 50 μ .

3. Interprétation des spectres d'absorption IR.

La vibration de valence C=O. Tous les composés d'addition étudiés présentent la disparition de la fréquence associée à la fonction carbonyle, située à 1672–1695 cm^{-1} (en dispersion dans le nujol ou en solution dans CCl_4 , à des concentrations de l'ordre de 0,2M). La nouvelle fréquence, désignée comme vibration de valence du carbonyle perturbé $\omega(\text{C}=\text{O} \rightarrow)$, se situe entre 1513 et 1635 cm^{-1} (Tableau 2).

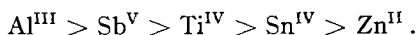
Nous en concluons, conformément aux résultats obtenus lors de précédents travaux [8] [9], qu'il se forme une liaison dative entre l'atome central de l'accepteur électronique (SbCl_5 , AlCl_3 , TiCl_4 , SnCl_4 ou ZnCl_2) et l'atome d'oxygène de la fonction carbonyle. Cette liaison dative détermine, dans la molécule du «donneur» surtout, des déplacements intramoléculaires de charges négatives vers cet atome d'oxygène, qui diminuent le caractère de double liaison du groupe C=O et abaissent la fréquence de vibration, comme cela a été montré pour un grand nombre de composés d'addition donneur-accepteur électroniques.

Tableau 3. Abaissement de la fréquence $\omega(\text{C}=\text{O})$ lors de la formation de composés d'addition de l'acide cinnamique et d'esters aliphatiques (cm^{-1})

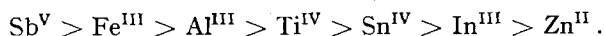
Accepteurs	AlBr_3	AlCl_3	SbCl_5	TiCl_4	SnCl_4	ZnCl_2
Acide cinnamique		162	142	130	87	77
Formiate d'éthyle [10]	124	119		119	122	
Acétate d'éthyle [10]	135	125		120	112	

Composés d'addition de l'acide cinnamique. Tous les composés d'addition préparés à partir de l'acide cinnamique ont été obtenus à l'état solide. Les spectres étudiés pour cet acide sont donc des spectres de dispersions de cristaux dans le nujol. Les abaissements de la fréquence carbonyle les plus forts sont ceux observés lors de la formation de composés d'addition avec AlCl_3 , SbCl_5 et TiCl_4 , les plus faibles avec SnCl_4 et ZnCl_2 . L'ordre de classement de ces acides en fonction de la grandeur du déplacement de fréquence provoqué est en accord avec celui obtenu par BYSTROW & FILIMONOV pour des esters aliphatiques [10] (Tableau 3).

La série finalement trouvée pour l'acide cinnamique reprend les différents métaux utilisés ici, dans l'ordre:



B. P. SUSZ [11] a tenté de classer les métaux M d'après l'effet d'accepteurs MX_N sur l'abaissement de la fréquence $\omega(\text{C}=\text{O})$ de composés d'addition de cétones, de chlorures d'acides et d'acides carboxyliques formés par une liaison de coordination CO-M, et il a établi des relations entre l'ordre obtenu et le nombre d'oxydation N de l'atome central de l'accepteur et les rayons atomiques, ionique et univalent selon PAULING. La série finalement obtenue par SUSZ est la suivante:



En conséquence, les deux séries ne diffèrent que par une interversion inexplicquée de Al et Sb.

Composés d'addition des acides benzoïque, p-toluique et mésitoïque. Les spectres des composés d'addition des acides benzoïque, *p*-toluique et mésitoïque mettent en évidence la présence de nouvelles bandes dues à la vibration de valence du groupe carbonyle perturbé. Dans la plupart des cas, la bande due à la vibration de valence du groupe carbonyle de l'acide original a complètement disparu. Les abaissements observés sont, d'une manière générale, plus importants que ceux obtenus lors de la formation de composés d'addition à partir de cétones, de chlorures d'acides ou d'esters.

Contrairement aux résultats trouvés pour l'acide cinnamique, c'est TiCl_4 qui dans chaque cas a provoqué le plus fort déplacement de la fréquence carbonyle. Il est vrai que certains de ces complexes ont été obtenus en solution dans CCl_4 et que les spectres de ces composés ont été mesurés à partir de ces solutions. ROSSETTI & SUSZ [12] ont étudié la variation de la fréquence carbonyle lors de la dissolution dans CH_2Cl_2 d'acétophénonnes *para*-substituées et de leurs composés d'addition avec TiCl_4 . Pour l'acétophénone par exemple, l'abaissement de la fréquence carbonyle du complexe d'addition, quand on passe de la solution au solide, est trois fois plus important que celui enregistré pour la même fréquence de l'acétophénone non-complexée. Si nous calculons selon le même rapport les corrections à apporter aux fréquences de nos composés d'addition obtenus et étudiés en solution (tableau 2: valeurs indiquées par ^a), nous constatons que cela ne change en rien l'ordre de ces acides de LEWIS, si on les classe d'après la grandeur de l'abaissement de la fréquence $\omega(\text{C}=\text{O})$ observé lors de la formation des composés d'addition solides de ces acides:



Les spectres des composés d'addition comprenant SnCl_4 , à l'état dissous dans CCl_4 , présentent à la fois les bandes d'absorption caractéristiques de l'acide de départ, toutefois atténuées, et les nouvelles bandes relatives au composé d'addition. Dans ce cas, il doit donc s'établir un équilibre entre la forme complexée et la forme non complexée.

OULEVEY & SUSZ [5] ont préparé des composés d'addition à partir de l'acide mésitoïque et de certains acides de LEWIS (AlCl_3 , SbF_5 , SbCl_5 et TiCl_4). Lors de l'étude des spectres d'absorption IR. obtenus à partir de solutions concentrées dans CH_2Cl_2 , ils ont constaté la présence d'une bande située entre 2180 et 2190 cm^{-1} , correspondant à la fréquence d'une forme ionisée. Les spectres de nos composés formés à partir d'acide mésitoïque ne nous ont révélé aucune bande relative à la présence d'une structure ionique. Nos solutions étaient d'ailleurs très diluées (environ 0,2M; l'acide mésitoïque est relativement peu soluble dans CCl_4).

4. Calcul des constantes de force et de leur contribution à l'énergie potentielle de vibration de l'acide benzoïque monomère et de son composé d'addition avec TiCl_4

Nous avons essayé de définir plus exactement la signification des fréquences propres à l'acide carboxylique. Dans ce but, nous avons calculé, par la méthode GF de WILSON [13], les fréquences de vibration d'un modèle très simplifié de PhCOOH et $\text{PhCOOH}, \text{TiCl}_4$ (5 et 6 masses). A partir des fréquences trouvées dans la littérature

[14], et que nous avons partiellement vérifiées, pour l'acide monomère et obtenues expérimentalement pour le complexe, nous avons donc, dans l'approximation choisie, déterminé les constantes de force, les coordonnées de déplacement des atomes et la part des constantes de force dans l'énergie potentielle de vibration.

Notre intérêt s'est porté spécialement sur l'étude des fréquences dues aux vibrations du groupe COOH, car c'est dans l'interprétation de ces bandes que les avis étaient les plus partagés.

La valeur des constantes de force se trouve déterminée par la fonction d'énergie potentielle V choisie. Nos modèles étant fortement simplifiés et les fréquences inférieures à 600 cm^{-1} , comme le spectre RAMAN, étant encore inconnus pour le monomère et les composés d'addition, nous avons adopté une fonction V plus simple que celle de UREY-BRADLEY, soit:

$$2V = \sum_i f_i R_i^2,$$

où f_i représentent les constantes de force, R_i les variations au cours de la vibration des longueurs des liaisons chimiques et des angles formés par ces liaisons.

A partir des différentes composantes R_{in} des vecteurs propres R_n de la matrice GF, dont l'une est arbitrairement choisie égale à l'unité pour chaque vecteur, nous avons calculé les contributions V_i de chaque déplacement à l'énergie potentielle V , normée à l'unité, soit:

$$V_i = f_i R_{in}^2 / \sum_i f_i R_{in}^2 \quad (\text{tableau 4})$$

Le tableau 4 montre que la fréquence 1739 cm^{-1} de l'acide est due principalement aux déplacements des atomes de C et O du groupe carbonyle, puisque les 77% de l'énergie de cette vibration sont dus à l'action de la constante de force $f = f(\text{C=O})$. Il met en évidence que lors de la formation du composé d'addition, la nouvelle fréquence 1555 cm^{-1} subit un couplage des vibrations $\omega(\text{C=O})$ et $\omega(\text{C-O})$. En effet, les 54% de l'énergie correspondant à cette fréquence reviennent à l'action de la constante de force $f = f(\text{C=O})$ et 28% de l'énergie (au lieu de 11% dans l'acide non complexé) à l'action de la constante de force $\phi = f(\text{C-O})$.

Tableau 4. Constantes de force f_i et leurs contributions procentuelles V_i de l'énergie potentielle correspondant à la fréquence carbonyle

Acide benzoïque Fréquence 1739 cm^{-1}			Acide benzoïque, TiCl_4 Fréquence 1555 cm^{-1}		
f_i		V_i	f_i		V_i
$f = f(\text{C=O})$	$= 10,05\text{ m dyn}/\text{Å}$	76,9	$f = f(\text{C=O})$	$= 6,79\text{ m dyn}/\text{Å}$	54,0
$\varphi = f(\text{Ph-C})$	$= 6,6\text{ m dyn}/\text{Å}$	6,0	$\varphi = f(\text{Ph-C})$	$= 7,23\text{ m dyn}/\text{Å}$	4,2
$\phi = f(\text{C-O})$	$= 5,83\text{ m dyn}/\text{Å}$	10,8	$\phi = f(\text{C-O})$	$= 6,45\text{ m dyn}/\text{Å}$	27,9
$D = f(\text{C-O-H})$	$= 0,5268\text{ dyn cm}/\text{rad}$	2,6	$D = f(\text{C-O-H})$	$= 0,6218\text{ dyn cm}/\text{rad}$	8,5

Les résultats de ces calculs permettent de conclure que l'addition de TiCl_4 sur l'oxygène du groupe carbonyle de l'acide benzoïque se traduit par une diminution marquée de la constante de force $f(\text{C=O})$. Cette dernière passe de $10,05\text{ m dyn}/\text{Å}$ à $6,79\text{ m dyn}/\text{Å}$, ce qui donne une différence de $3,26\text{ m dyn}/\text{Å}$, alors que CASSIMATIS & Susz [9] [15] avaient obtenu des écarts de $2,70\text{ m dyn}/\text{Å}$ pour le chlorure d'acétyle

et 1,69 mdyn/Å pour l'acétone, l'abaissement de la fréquence carbonyle, lors de la formation du composé d'addition avec TiCl_4 , étant plus faible pour les chlorures d'acides ou les cétones que pour les acides carboxyliques. Si l'on admet que cette différence entre les deux valeurs est caractéristique de la perturbation subie par le groupe carbonyle, l'ordre de la liaison $\text{C}=\text{O}$, qui est proportionnel à la constante de force, se trouve nettement abaissé.

D'autre part, ces résultats montrent qu'une contribution importante de la vibration $\text{C}-\text{O}$ prend part au mouvement dans la fréquence 1555 cm^{-1} du composé d'addition.

Les autres fréquences dues aux vibrations du groupe carboxylique seront étudiées dans une note ultérieure.

SUMMARY

The adducts of benzoic, *p*-toluic, mesitoic and cinnamic acids with SbCl_5 , AlCl_3 , TiCl_4 , SnCl_4 and ZnCl_2 have been prepared, and the IR. absorption spectra of the compounds, in the solid state or in solution in CCl_4 , studied. The lowering of the carbonyl frequency shows that the acceptor is linked by a dative bond to the carbonyl oxygen atom acting as donor. A calculation, by the WILSON GF method, of force constants and their contributions in potential energy of vibration for monomeric benzoic acid and its adduct with TiCl_4 confirmed that the carbonyl stretching force constant, and therefore the $\text{C}=\text{O}$ bond order, is lowered by the formation of the adducts.

Laboratoire de Chimie Physique.
Université de Genève

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. ROSENHEIM & W. LOEWENSTAMM, Ber. deutsch. chem. Ges. 35, 1115 (1902).
- [2] F. KLAGES & E. ZANGE, Chem. Ber. 92, 1828 (1959).
- [3] P. PFEIFFER, Liebigs Ann. Chem. 376, 285 (1900).
- [4] O. A. OSIPOV, G. S. SAMOFALOVA & E. GLUSHKO, Z. obšč. Chim. 27, 1428 (1957); T. SUMAROKOVA, *ibid.* 30, 1698 (1960); T. SUMAROKOVA & I. LITVYAK, *ibid.* 37, 352 (1961).
- [5] G. OULEVEY & B. P. SUSZ, Helv. 48, 630, 1965 (1965).
- [6] M. ZACKRISSON & I. LINDQUIST, J. inorg. nucl. Chemistry 77, 69 (1961).
- [7] F. TAHA & G. WILKINSON, J. chem. Soc. 1963, 5406.
- [8] G. P. ROSSETTI, Helv. 47, 2053 (1964); G. P. ROSSETTI & B. P. SUSZ, Helv. 47, 289 (1964); J. GÖHRING, G. P. ROSSETTI & B. P. SUSZ, Helv. 46, 2639 (1963); B. P. SUSZ & D. CASSIMATIS, Helv. 44, 395 (1961); B. P. SUSZ & J. J. WUHRMANN, Helv. 40, 722 (1957); B. P. SUSZ & P. CHALANDON, Helv. 47, 1332 (1958); B. MORI, J. GÖHRING, D. CASSIMATIS & B. P. SUSZ, Helv. 46, 2639 (1963).
- [9] D. CASSIMATIS & B. P. SUSZ, Helv. 43, 852 (1960).
- [10] D. BYSTROW & W. FILIMONOV, Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R. 131, 338 (1960).
- [11] B. P. SUSZ, Bull. Soc. chim. France 1965, 2671.
- [12] G. P. ROSSETTI & B. P. SUSZ, Helv. 47, 299 (1964).
- [13] E. B. WILSON JR., J. C. DECIUS & P. C. CROSS, Molecular Vibrations - The Theory of Infrared and Raman Vibrational Spectra, McGraw-Hill Book Company Inc., New York 1955.
- [14] D. HADZI & M. PINTAR, Spectrochim. Acta 72, 162 (1958).
- [15] D. CASSIMATIS & B. P. SUSZ, Helv. 44, 943 (1961).