

Nouvelles synergies entre chimie du phosphore et chimie de coordination

François Mathey* *directeur de recherche*

New synergies between organophosphorus and coordination chemistry

Low-coordinate phosphorus species, including phosphinidenes, phosphalkynes, phosphalkenes and phosphinines are presented. Their various coordination modes towards transition metals are described. For phosphinidenes, both electrophilic and nucleophilic terminal complexes are known, corresponding to the Fischer and Schrock carbene complexes. For the three other species, the π -coordination mode is very common. Strong similarities are found between the chemistry of sp and sp^2 phosphorus and carbon derivatives.

Hétéroaromaticité, liaison π , phosphalènes, phosphalcynes, phosphimidènes, phosphinines.
Heteroaromaticity, π -bands, phosphalkenes, phosphalkynes, phosphinidenes, phosphinines.

Introduction

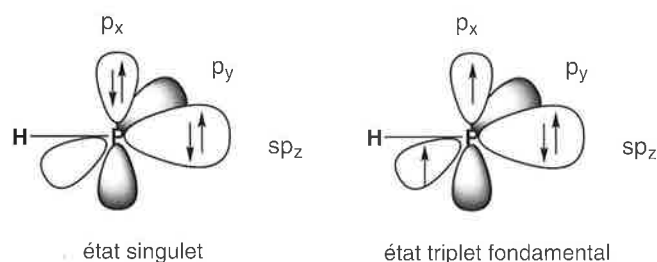
Aujourd'hui, parmi tous les complexes de métaux de transition nouvellement découverts, environ un sur deux contient des ligands phosphorés si l'on prend en compte ceux où le phosphore ne joue qu'un rôle « ancillaire ». Ce simple constat souligne la formidable synergie existant entre la chimie organique du phosphore et celle des métaux de transition, avec tout ce que cela implique en catalyse et dans le domaine des nouveaux matériaux. Or, contrairement à ce que l'on pourrait supposer, seule une toute petite fraction du potentiel structural de la chimie du phosphore est aujourd'hui exploitée par les chimistes de coordination. De fait, pratiquement tous les ligands utilisés sont du type phosphane (A_3P) et les seules variations systématiquement employées concernent la nature de A:H, alkyle, aryle, X, OR, SR etc., le but du jeu étant évidemment de moduler le caractère donneur-accepteur et de faire varier l'encombrement stérique tel qu'on le mesure classiquement par le cône de Tolman. L'objet de cette présentation est de sensibiliser les chimistes de coordination aux fantastiques développements récents intervenus en chimie du phosphore de façon à stimuler l'emploi des nouvelles structures « mises sur le marché » par les spécialistes. Nous nous intéresserons plus précisément aux bas degrés de coordination (I et II) du phosphore.

* Laboratoire hétéroéléments et coordination, URA CNRS 1499, DCPH, École polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex.
 Tél. : 01.69.33.40.79. Fax : 01.69.33.30.10.

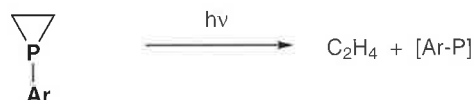
Le phosphore monocoordonné

Les phosphinidènes [R-P]

Ce sont des espèces instables à 6 électrons, analogues des carbènes et des nitrènes. Leur état fondamental est triplet. Le premier état singulet se situe environ 22 kcal/mol plus haut en énergie [1]. Les substituants à paires libres (RO, $R_2N...$) ne parviennent pas à inverser l'ordre singulet-triplet.



La préparation la plus fiable de ces espèces repose sur la photolyse des phosphiranes [2].

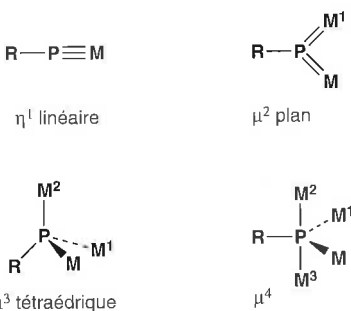


Les phosphinidènes peuvent se complexer de six manières différentes.

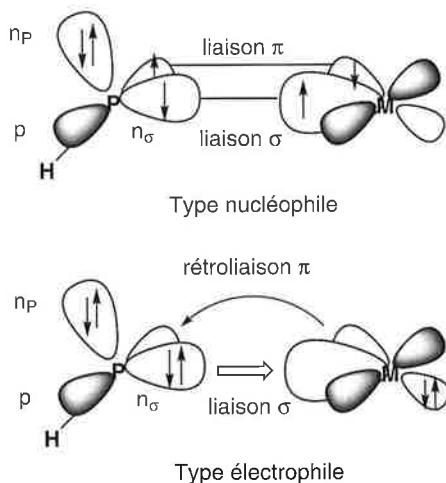
complexes à 2 électrons :



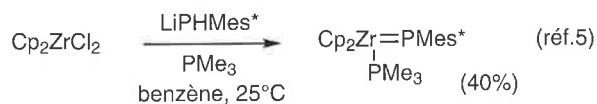
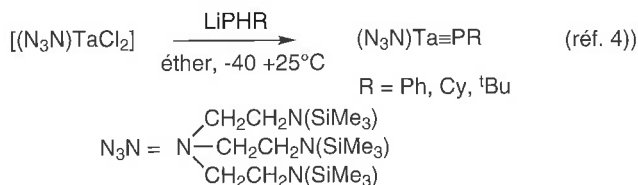
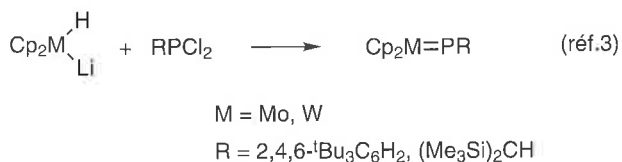
complexes à 4 électrons :



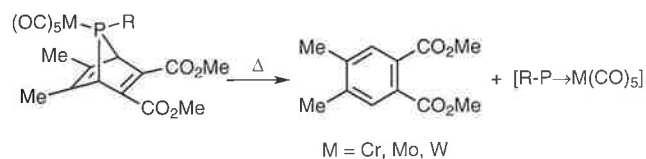
Les plus intéressants de ces complexes, car les plus riches en possibilités synthétiques, sont les complexes terminaux. On distingue le type nucléophile stable (P^{-δ}) et le type électrophile instable (P^{+δ}). Le parallèle avec les complexes carbéniques de Schrock et de Fischer est évident. En poursuivant cette analogie, on peut représenter le type nucléophile comme une combinaison triplet-triplet et le type électrophile comme une combinaison singulet-singulet.



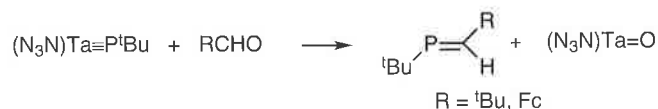
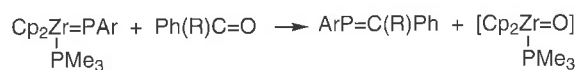
Quelques synthèses représentatives de complexes nucléophiles sont résumées ci-après [3,4,5] :



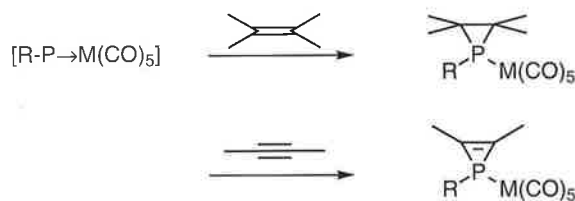
La synthèse la plus efficace des complexes électrophiles repose, quant à elle, sur une cycloréversion [6] :



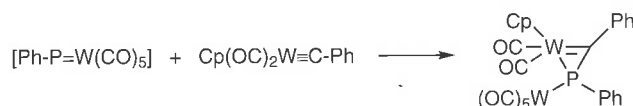
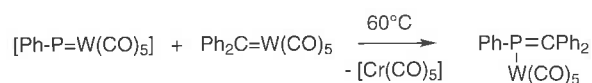
La chimie des espèces nucléophiles et électrophiles est très contrastée. Les espèces nucléophiles réagissent avec les composés carbonylés pour donner des phosphaalcènes (réaction de « phospha-Wittig ») [4,5] :

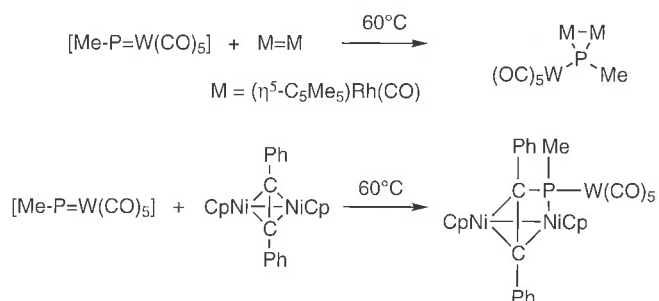


Les espèces électrophiles réagissent avec les alcènes et les alcynes pour donner des cycles à trois chaînons [6,7] :



La réactivité des complexes terminaux de phosphinidènes vis-à-vis des métaux de transition a été à peine exploitée. L'essentiel des résultats concerne les espèces électrophiles. Une première exploration de leurs réactions avec les complexes de carbènes, de carbynes, les liaisons doubles M=M et les clusters a été conduite [8-12].

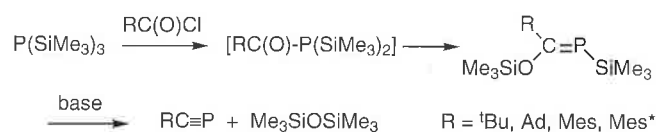




À l'évidence, de très nombreuses autres possibilités existent. La capacité des phosphinidènes de monter jusqu'au degré de coordination 4 en fait des ligands assembleurs exceptionnels. Leur forte réactivité leur permet de s'insérer dans des liaisons très variées. Ils peuvent servir à augmenter la nucléarité des clusters. Les applications de leurs complexes en catalyse n'ont pas été étudiées à ce jour.

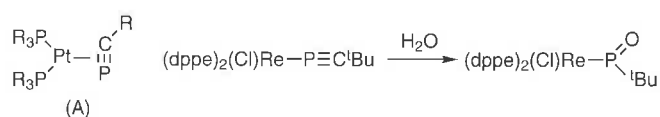
Les phosphaalcyne RC≡P

Le parent, instable, a été découvert par Gier dès 1961 [13]. Mais en fait, la chimie de ces espèces ne s'est développée que lorsque Becker [14] découvrit que ^tBuC≡P était stable dans les conditions normales. Sa préparation est la suivante :

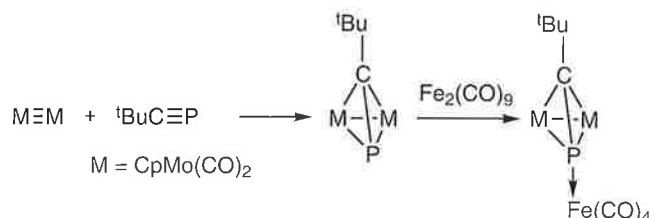


La distance C≡P est très courte à 1,548(1) Å contre 1,80-1,85 Å pour une liaison C-P simple [15]. Des études en spectroscopie photoélectronique UV indiquent que le système π se situe à -9,61 eV (HOMO) et la paire libre à -11,44 eV [16]. La polarisation est inverse de celle des nitriles P^{δ+}...C^{δ-}. La protonation se produit sur le carbone [17] ainsi que la complexation par les acides de Lewis (B(OTf)₃, BCl₃...) [18]. Comme l'on s'en doute, la chimie organique de ^tBuC≡P est extrêmement riche. Toute une série de réactions de cycloaddition [2+1], [2+2], [2+3], [2+4]... est connue. Elle donne naissance à une énorme variété d'hétérocycles phosphorés [19]. En outre, de nombreux oligomères ont été préparés [20]. Le plus spectaculaire d'entre eux est le tétraphosphacubane [21].

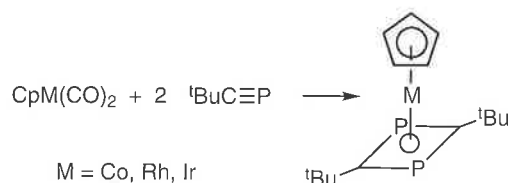
La chimie de coordination de RC≡P est, elle aussi, très variée. Très logiquement compte tenu de la nature de la HOMO, RC≡P tend à donner des complexes η² (type A) comme les alcynes [22]. Mais il est aussi possible d'engager la paire libre sur des centres métalliques encombrés. La réactivité de la triple liaison vis-à-vis des nucléophiles s'en trouve renforcée [23].



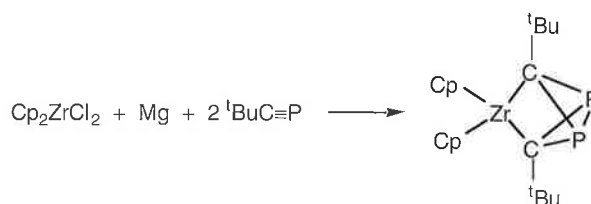
Les phosphaalcyne sont également capables de jouer le rôle de ligands à 4 et 6 électrons comme le montre l'exemple suivant [24] :



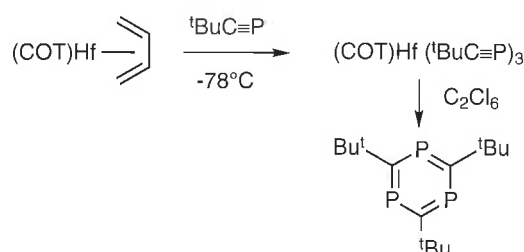
Mais l'aspect le plus intéressant de la chimie de coordination des phosphaalcyne concerne leur oligomérisation sur les centres métalliques. La cyclodimérisation a été découverte très rapidement. On obtient ainsi des complexes de diphosphacyclobutadiène très stables [25, 26].



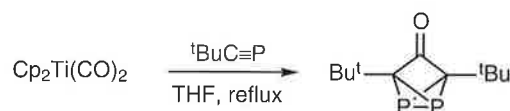
Un complexe η⁴ de l'isomère 1,2 avec le titane a été décrit récemment. Dans ce cas, la décomplexation par C₂Cl₆ engendre un nouveau tétramère [27]. Mais la réaction la plus surprenante a lieu avec le système Cp₂ZrCl₂ + Mg. Elle engendre un complexe de diphosphabicyclo[1.1.0]butane dont la chimie est très riche [28].

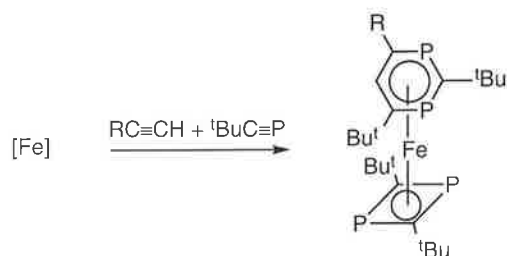


Contrairement à ce que l'on pourrait supposer par analogie avec les alcynes, la cyclotrimérisation simple est difficile à réaliser. En fait, on a tout d'abord obtenu des structures complexes du type prismane [29]. Tout récemment, le trimère 1,3,5 a cependant pu être synthétisé par le biais d'un complexe avec l'hafnium [30].

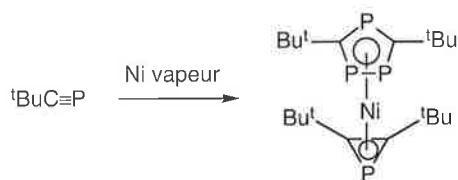


Sur la même lancée, on a aussi préparé des complexes de tétramère. Mais la cocyclooligomérisation avec CO ou les alcynes représente un développement plus intéressant.





L'utilisation des vapeurs métalliques a permis d'obtenir une autre série de complexes dérivant le plus souvent des anions 1,3-diphospha- et 1,3,4-triphospha-cyclopentadiénures. Le résultat le plus frappant a été observé avec le nickel [33].



Il s'agit là du premier complexe décrit du cation phosphirénylium. Pour terminer dans un registre plus classique, signalons que Stone a réalisé une cycloaddition [2+2] entre ce même phosphaalcyne et un complexe de carbyne [34]. Le métallaphosphacyclobutadiène ainsi obtenu a été stabilisé sous forme de complexe η^4 avec $\text{Fe}(\text{CO})_3$.

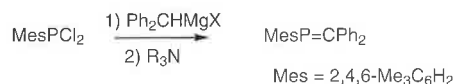
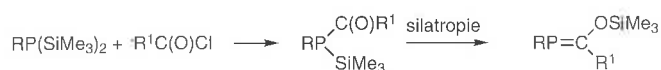
Pour conclure, nous insisterons sur le fait que, malgré leur variété, tous les exemples décrits ne représentent qu'un petit aperçu des possibilités offertes par la chimie de coordination des phosphaalcyènes. En effet, toutes les études ont été réalisées avec des phosphaalcyènes encombrés. Or, l'encombrement joue un rôle central dans les réactions d'oligomérisation et, *a fortiori*, de polymérisation. On rêve d'un polyphosphaalcétyle !

Le phosphore dicoordonné

Les phosphaalcènes $\text{R}_2\text{C}=\text{PR}$

Le premier phosphaalcène stable a été découvert par Becker en 1976 [35]. Le phosphore de ces espèces est hybridé sp^2 , la paire libre, la liaison simple P-R et la liaison double $\text{P}=\text{C}$ se situant sensiblement à 120° dans un plan. La double liaison a une longueur de l'ordre de 1,60-1,70 Å contre plus de 1,80 Å pour une liaison P-C simple. Le système π est faiblement polarisé $\text{P}^{+\delta} - \text{C}^{-\delta}$. La structure électronique se caractérise par deux orbitales occupées de niveaux voisins, l'une correspondant à la paire libre, l'autre à la liaison π (pour le parent, respectivement - 10,70 et - 10,30 eV) [36]. D'un point de vue thermodynamique, la liaison $\pi \text{P}=\text{C}$ est nettement plus fragile que la liaison $\pi \text{C}=\text{C}$, environ 45 contre 65 kcal/mol [37]. De tout cela, on peut déduire qu'il y aura compétition entre paire libre et système π vis-à-vis des électrophiles et qu'il faudra plus ou moins stabiliser le système par encombrement stérique ou conjugaison pour le garder sous contrôle.

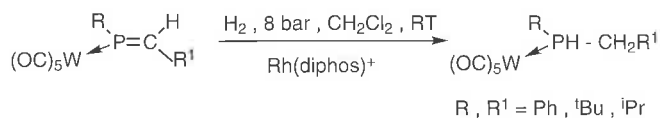
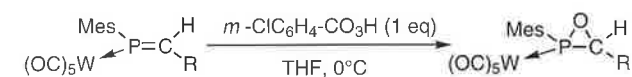
Les principales méthodes de synthèse des phosphaalcènes font intervenir une silatropie ou une élimination 1,2 [35, 38] :



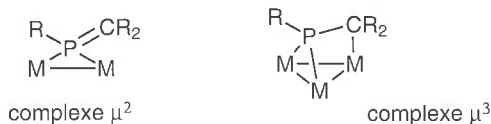
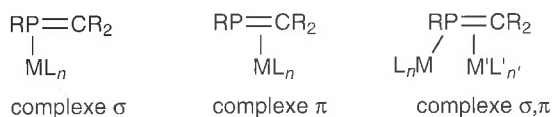
Une transposition de la réaction de Wittig fournit un accès très commode aux phosphaalcènes stabilisés par complexation de la paire libre [39, 40] :



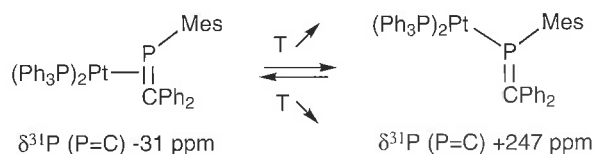
Outre les réactions de la paire libre, on observe de nombreuses réactions d'additions 1,2 et de cycloadditions [2+1], [2+3], [2+4] etc... soulignant la forte analogie existant entre doubles liaisons $\text{P}=\text{C}$ et $\text{C}=\text{C}$. Comme cela était prévisible, il est souvent nécessaire de protéger la paire libre pour réaliser une réaction sur la double liaison. C'est ainsi le cas pour l'époxydation et l'hydrogénation catalytique [41, 42] :



Les phosphaalcènes donnent cinq types de complexes faisant intervenir la paire libre et le système π :



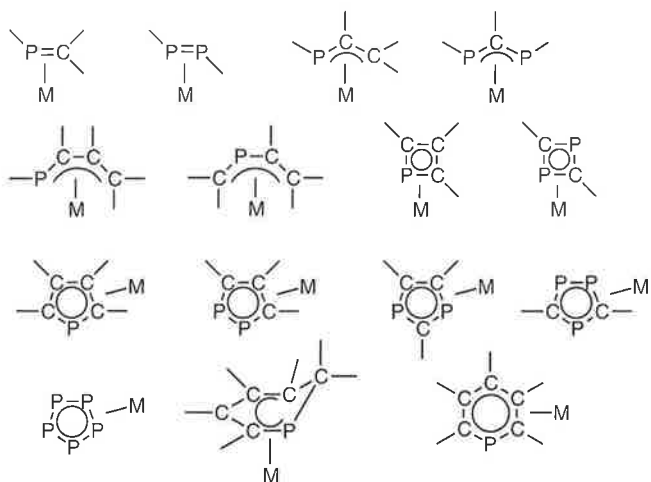
Le type μ^2 , encore peu répandu, reflète la préférence du phosphore pour le degré de coordination IV. La faible différence d'énergie entre les orbitales π et n_p entraîne quelquefois des interconversions entre les types σ et π que l'on peut aisément détecter par RMN ³¹P [43] :



Du point de vue électronique, les phosphaalcènes sont des donneurs σ faibles et de très bons accepteurs π . D'un autre côté, l'existence des doubles liaisons $\text{P}=\text{C}$ et $\text{P}=\text{P}$ a permis la création de toute une série de complexes π phosphorés

analogues des complexes π carbonés. Nous en avons déjà rencontrés certains. Une liste des principaux types connus est fournie dans la table.

Table - Analogues phosphorés des complexes π .

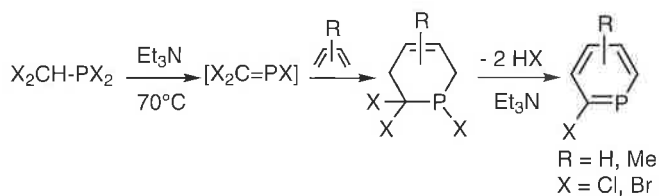
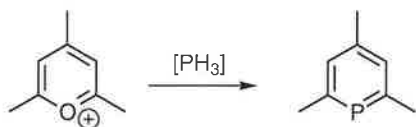


Il est inutile d'insister sur la richesse de ce nouveau domaine dont l'exploration est à peine entamée.

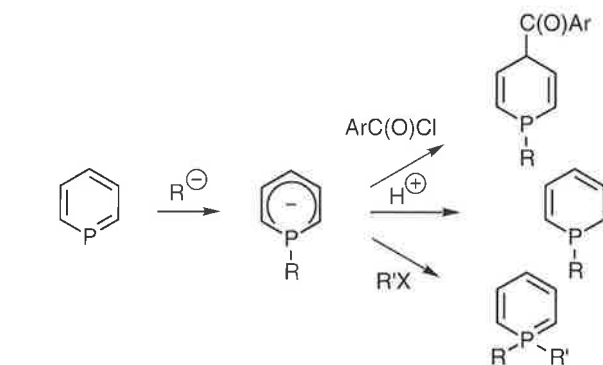
Les phosphinines

La découverte des phosphinines par Märkl date de 1966 [44]. Il s'agit d'un système plan, délocalisé : P-C 1,74 Å, C-C 1,40 Å. L'aromaticité est estimée à 88 % de celle du benzène [45]. Le phosphore est positif (+ 0,55), la HOMO et la LUMO sont des orbitales π symétriques, essentiellement localisées sur le P et C_γ . La paire libre est dans le plan et correspond au 3^e niveau occupé [46]. En conséquence, le phosphore n'est pas basique et se comporte comme un électrophile (accepteur) puissant.

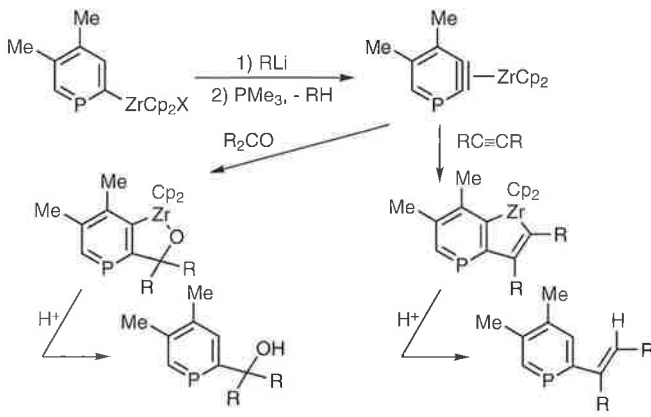
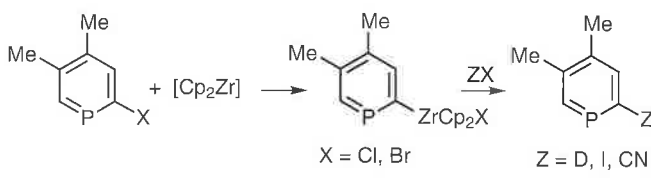
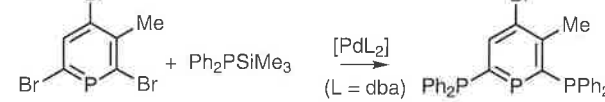
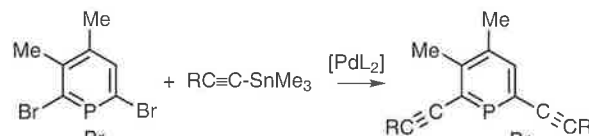
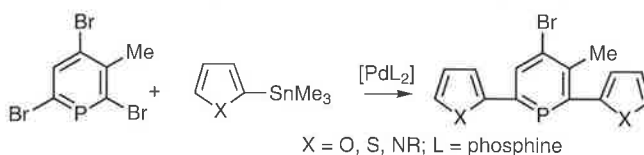
Il existe de très nombreuses préparations des phosphinines, mais les deux plus simples sont indiscutablement les suivantes [47, 48] :



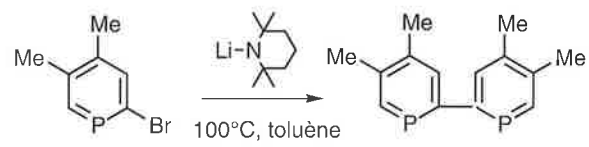
La chimie classique se déroule essentiellement au niveau du phosphore [49] :



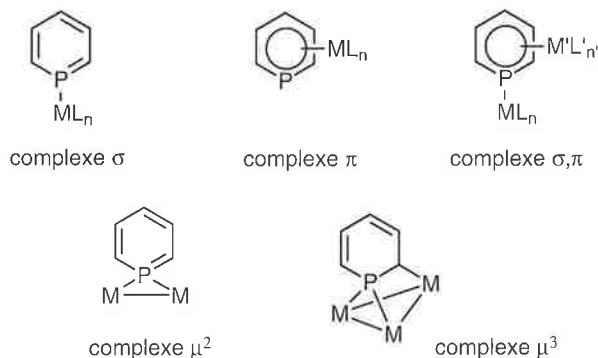
Les principales méthodes de fonctionnalisation sur les carbones en α du cycle font appel aux métaux de transition [50, 51].



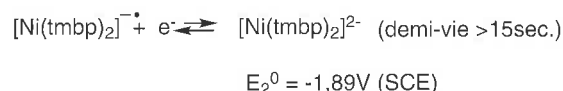
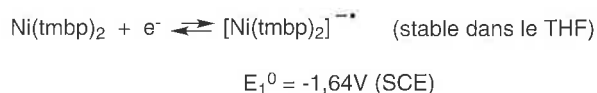
Le pontage conduisant aux 2,2'-biphosphinines se réalise simplement de la façon suivante [52] :



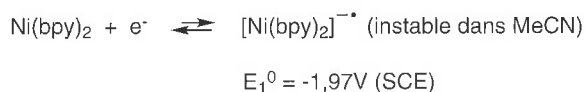
Si l'on met de côté les produits d'insertion de $[PdL_2]$ et de $[ZrCp_2]$ dans les liaisons C-X en α , les phosphinines peuvent donner cinq types de complexes de la même façon que les phosphalécènes.



Les deux derniers types ont été décrits récemment [53, 54]. En tant que ligand σ , les phosphinines sont d'excellents accepteurs. Des complexes homoleptiques CrL_6 , FeL_5 , NiL_4 ont été préparés par Elschenbroich [55-57]. De la même façon, les biphosphinines donnent des complexes homoleptiques stables avec $\text{Cr}(0)$, $\text{Mo}(0)$, $\text{W}(0)$ et $\text{Ni}(0)$ [58]. Le pouvoir stabilisant des biphosphinines vis-à-vis des bas degrés d'oxydation a été mis en évidence par électrochimie dans le cas du nickel [59].



Pour comparaison :



De nombreux complexes π ont été également préparés. Ainsi, le bis- $(\eta^6\text{-phosphinine})$ vanadium a été obtenu par Elschenbroich à partir de la vapeur métallique [60]. De manière générale, il est nécessaire d'encombrer le phosphore par des substituants en α pour stabiliser ces complexes η^6 . L'étude de leur chimie reste à faire.

Conclusion

Les travaux effectués récemment dans le domaine des bas degrés de coordination du phosphore (I et II) ont conduit à la découverte de nombreuses structures nouvelles, toutes potentiellement utilisables en chimie de coordination. Aux modes σ classiques, ces nouvelles espèces ajoutent les modes de coordination π . Dans le mode σ , ces composés se comportent comme des donneurs faibles et des accepteurs puissants, plus proches de CO que des phosphines classiques. Dans le mode π , on observe une fantastique analogie phosphore-carbone qui n'a pas d'équivalent dans la chimie des autres hétéroéléments. Cette nouvelle chimie de coordination est, pour le moment, dans l'enfance. Au travers de cette courte mise au point, nous espérons que les chimistes de coordination réaliseront son intérêt et chercheront à la développer et à l'utiliser.

Références

- [1] Kim S.-J., Hamilton T.P., Schaeffer III H.F., *J. Phys. Chem.*, **1993**, 97, p. 1872
- [2] Li X., Lei D., Chiang M.Y., Gaspar P.P., *J. Am. Chem. Soc.*, **1992**, 114, p. 8526
- [3] Hitchcock P.B., Lappert M.F., Leung W.-P., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1987**, p. 1282
- [4] Cummins C.C., Schrock R.R., Davis W.M., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1993**, 32, p. 756
- [5] Breen T.L., Stephan D.W., *J. Am. Chem. Soc.*, **1995**, 117, p. 11914
- [6] Marinetti A., Mathey F., Fischer J., Mitschler A., *J. Am. Chem. Soc.*, **1982**, 104, p. 4484
- [7] Marinetti A., Mathey F., *Organometallics*, **1984**, 3, p. 456
- [8] Tran Huy N.H., Ricard L., Mathey F., *Organometallics*, **1988**, 7, p. 1791
- [9] Tran Huy N.H., Fischer J., Mathey F., *J. Am. Chem. Soc.*, **1987**, 109, p. 3475
- [10] Tran Huy N.H., Fischer J., Mathey F., *Organometallics*, **1988**, 7, p. 240
- [11] Ajulu F.A., Hitchcock P.B., Mathey F., Nixon J.F., *J. Organomet. Chem.*, **1993**, 444, p. C60
- [12] de Vaumas R., Marinetti A., Mathey F., Ricard L., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1988**, p. 1325
- [13] Gier T.E., *J. Am. Chem. Soc.*, **1961**, 83, p. 1769
- [14] Becker G., Gresser G., Uhl W., *Z. Naturforsch.*, **1981**, 36B, p. 16
- [15] Antipin M.Y. *et al.*, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1995**, 505
- [16] Burckett J.C.T.R. *et al.*, *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **1983**, 755
- [17] Laali K.K., Regitz M., à paraître.
- [18] Breit B., Regitz M., *Chem. Ber.*, **1996**, 129, p. 489
- [19] Regitz M., *J. Heterocycl. Chem.*, **1994**, 31, p. 663
- [20] Streubel R., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1995**, 34, p. 436
- [21] Wettling T., Schneider J., Wagner O., Kreiter C.G., Regitz M., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1989**, 28, p. 1013
- [22] Burckett-St. Laurent J.C.T.R., Hitchcock P.B., Kroto H.W., Nixon J.F., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1981**, p. 1141
- [23] Hitchcock P.B., Johnson J.A., Lemos M.A.N.D.A., Meidine M.F., Nixon J.F., Pombeiro A.L., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1992**, p. 645
- [24] Hitchcock P.B., Meidine M.F., Nixon J.F., *J. Organomet. Chem.*, **1987**, 333, p. 337
- [25] Hitchcock P.B., Maah M.J., Nixon J.F., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1986**, 737
- [26] Binger P., Milczarek R., Mynott R., Regitz M., Rösch W., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1986**, 25, p. 644
- [27] Binger P., Glaser G., Albus S., Krüger C., *Chem. Ber.*, **1995**, 128, p. 1261
- [28] Wettling T., Geissler B., Schneider R., Barth S., Binger P., Regitz M., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1992**, 31, p. 758

- [29] Milczarek R., Rüsseler W., Binger P., Jonas K., Angermund K., Krüger C., Regitz M., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1987**, *26*, p. 908
- [30] Binger P., Leininger S., Stannek J., Gabor B., Mynott R., Bruckmann J., Krüger C., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1995**, *34*, p. 2227
- [31] Barron A.R., Cowley A.H., Hall S.W., Nunn C.N., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1988**, *27*, p. 837
- [32] Böhm D., Knoch F., Kummer S., Schmidt U., Zenneck U., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1995**, *34*, p. 198
- [33] Avent A.G., Cloke F.G.N., Flower K.R., Hitchcock P.B., Nixon J.F., Vickers D., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1994**, *33*, p. 2330
- [34] Hill A.F., Howard J.A.K., Spaniol T.P., Stone F.G.A., Szameitat J., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1989**, *28*, p. 210
- [35] Becker G., *Anorg. Z. Allg. Chem.*, **1976**, *423*, p. 242
- [36] Lacombe S., Gonbeau D., Cabioch J.-L., Pellerin B., Denis J.-M., Pfister-Guillouzo G., *J. Am. Chem. Soc.*, **1988**, *110*, p. 6964
- [37] Schmidt M.W., Truong P.N., Gordon M.S., *J. Am. Chem. Soc.*, **1987**, *109*, p. 5217
- [38] Klebach Th.C., Lourens R., Bickelhaupt F., *J. Am. Chem. Soc.*, **1978**, *100*, p. 4886
- [39] Marinetti A., Mathey F., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1988**, *27*, p. 1382
- [40] Le Floch P., Marinetti A., Ricard L., Mathey F., *J. Am. Chem. Soc.*, **1990**, *112*, p. 2407
- [41] Bauer S., Marinetti A., Ricard L., Mathey F., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1990**, *29*, p. 1166
- [42] de Vaumas R., Marinetti A., Mathey F., *J. Organomet. Chem.*, **1991**, *413*, p. 411
- [43] Van der Knaap Th. A., Bickelhaupt F. *et al*, *Organometallics*, **1984**, *3*, p. 1804
- [44] Märkl G., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1966**, *5*, p. 846
- [45] Baldrige K.K., Gordon M.S., *J. Am. Chem. Soc.*, **1988**, *110*, p. 4204
- [46] Nyulaszi L., Keglevich G., *Heteroatom Chem.*, **1994**, *5*, p. 131
- [47] Märkl G., Lieb F., Merz A., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1967**, *6*, p. 944
- [48] Le Floch P., Mathey F., *Tetrahedron Lett.*, **1989**, *30*, p. 817
- [49] Märkl G., Merz A., *Tetrahedron Lett.*, **1968**, p. 3611
- [50] Le Floch P., Carmichael D., Ricard L., Mathey F., *J. Am. Chem. Soc.*, **1993**, *115*, p. 10665 ; Trauner H., Le Floch P., Lefour J.-M., Ricard L., Mathey F., *Synthesis*, **1995**, *717*
- [51] Le Floch P., Ricard L., Mathey F., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1993**, p. 789 ; Le Floch P., Kolb A., Mathey F., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1994**, p. 2065
- [52] Le Floch P., Ricard L., Mathey F., *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1994**, *131*, p. 330
- [53] Schmid B., Venanzi L.M., Gerfin T., Gramlich V., Mathey F., *Inorg. Chem.*, **1992**, *31*, p. 5117
- [54] Arce A.J., Deeming A.J., De Sanctis Y., Manzur J., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, **1993**, p. 325
- [55] Elschenbroich C., Nowotny M., Kroker J., Behrendt A., Massa W., Wocadlo S., *J. Organomet. Chem.*, **1993**, *459*, p. 157
- [56] Elschenbroich C., Nowotny M., Behrendt A., Harms K., Wocadlo S., Pebler J., *J. Am. Chem. Soc.*, **1994**, *116*, p. 6217
- [57] Elschenbroich C., Nowotny M., Behrendt A., Massa W., Wocadlo S., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1992**, *31*, p. 1343
- [58] Mathey F., Le Floch P., *Chem. Ber.*, **1996**, *129*, p. 263
- [59] Le Floch P., Ricard L., Mathey F., Jutand A., Amatore C., *Inorg. Chem.*, **1995**, *34*, p. 11
- [60] Elschenbroich C., Nowotny M., Metz B., Massa W., Graulich J., Biehler K., Sauer W., *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **1991**, *30*, p. 547

Polymérisation catalytique

Roger Spitz* *directeur de recherche*

L'exposé de R. Spitz a montré l'intérêt de la catalyse par des complexes de coordination pour répondre aux exigences industrielles dans l'obtention de polymères de stéréochimie contrôlée.

Partant des premiers procédés de type Ziegler-Natta, l'auteur a montré comment se sont développées de nouvelles familles de catalyseurs organométalliques à base de zirconium et les résultats remarquables obtenus.

Nos lecteurs ont eu le privilège de découvrir l'essentiel de la substance de l'exposé de R. Spitz dans un précédent numéro.

* Laboratoire de chimie et procédés de polymérisation, Vernaison.
Tél. : 04.72.43.17.68. Fax : 04.72.43.17.66

Référence :

R. Spitz, *L'Actualité Chimique*, **1996**, *5*, p. 5-12.