

Réactions S_{RN1}. Synthèses d'hétérocycles azotés, soufrés, phosphorés accolés au naphtalène

René Beugelmans*, Mohamed Chbani

ICSN, CNRS, 91198 Gif-sur-Yvette, France

(reçu le 7 février 1995, accepté le 14 mai 1995)

Summary – 1-Bromo-2-naphthylamine or 2-bromo-1-naphthylamine were used as substrates and treated with various nucleophiles, such as ketone enolates, phosphonates or thiolates, under S_{RN1} conditions to afford benzo[e]- or benzo[g]indoles, naphthoazaphospholes and thiazines.

S_{RN1} reaction / naphthalenic substrate / benzo[e]indoles / benzo[g]indoles / naphthoazaphosphole / naphthothiazines

Une publication récente [1], soulignant la difficulté d'obtenir les dérivés benzo[e] et benzo[g]indoliques **3e** et **4e** par une variante (Japp-Klingeman) de la réaction de Fischer, nous a conduit à examiner les possibilités de la chimie radicalaire S_{RN1}. En effet les réactions de substitution nucléophile radicalaire en chaîne (S_{RN1}) entre un substrat benzénique ou pyridinique porteur d'une fonction amine en *ortho* du nucléofuge (I, Br) et des énolates de cétone en tant que nucléophiles sont connues pour livrer des indoles [2-4] et des azaindoles [5-7] de manière directe, efficace et douce et nous les avons appliquées en série naphtalénique en vue d'accéder aux hétérocycles **3e** et **4e**.

Dérivés benzo[e] et benzo[g]indoliques

Les réactions entre les substrats naphtaléniques **1** et **2** possédant une fonction amine en *ortho* de l'atome de brome, excellent nucléofuge en série naphtalénique et un nucléophile classique, l'énolate de pinacolone CH₂=C(O)-*t*-C₄H₉ qui ont été effectuées dans un premier temps à titre de modèles, ont livré les dérivés benzo[e] et benzo[g]indoliques **3a** et **4a**. Les rendements et les durées réactionnelles sont tout à fait comparables à ceux de l'*ortho*-iodo aniline traitée avec le même nucléophile. Pour accéder directement aux composés indoliques **3e** et **4e** portant en position 2 un groupe carboxylate d'éthyle, il était logique d'opposer les substrats **1** et **2** à l'énolate dérivé du pyruvate d'éthyle CH₂=C(O)-CO₂Et. Or, celui-ci n'avait jamais à notre connaissance été utilisé comme nucléophile et s'est avéré inutilisable, la réaction S_{RN1} livrant un mélange complexe de produits issus de la dégradation des deux réactants. L'accès aux composés désirés est néanmoins possible grâce à l'emploi de l'énolate de l'aldéhyde pyruvique protégé CH₂=C(O)CH(OCH₃)₂, que nous avions

antérieurement constaté être un nucléophile efficace vis-à-vis de l'*ortho*-iodoaniline dans une réaction S_{RN1} qui avait conduit au 2-formylindole avec un rendement convenable [3].

La réaction de **1** ou **2** avec cet énolate livre **3b** ou **4b** dans d'aussi bonnes conditions que celles ayant conduit à **3a** ou **4a**. La fonction aldéhyde est déprotégée spontanément lors de la séparation sur colonne de silice pour donner **3d** et **4c** et cette fonction libre étant particulièrement sensible à l'oxydation, les acides respectifs **3d**, **4d** sont formés au simple contact de l'air. Sans purification, ils sont estérifiés dans des conditions classiques, de sorte que les dérivés cibles **3e** et **4e** ont été obtenus par une séquence réactionnelle très courte. Les rendements globaux respectifs, 52% et 65%, se comparent avantageusement à ceux rapportés dans la littérature [1].

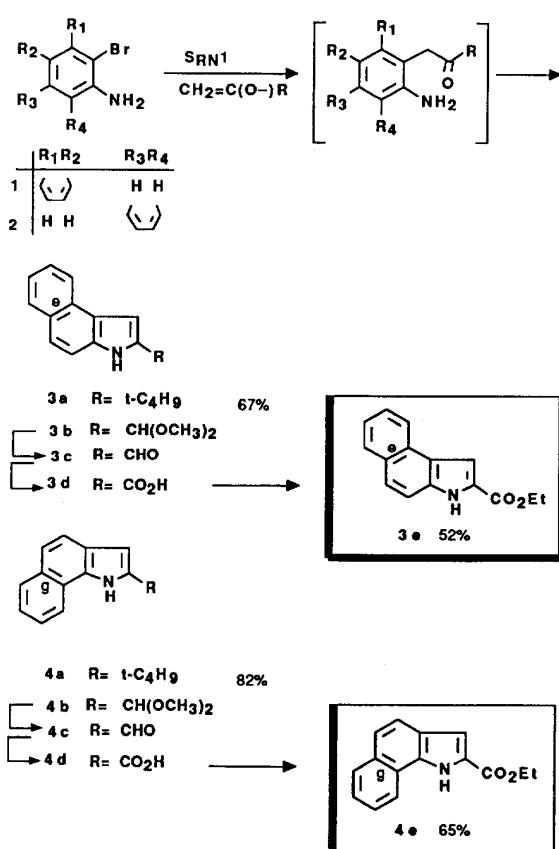
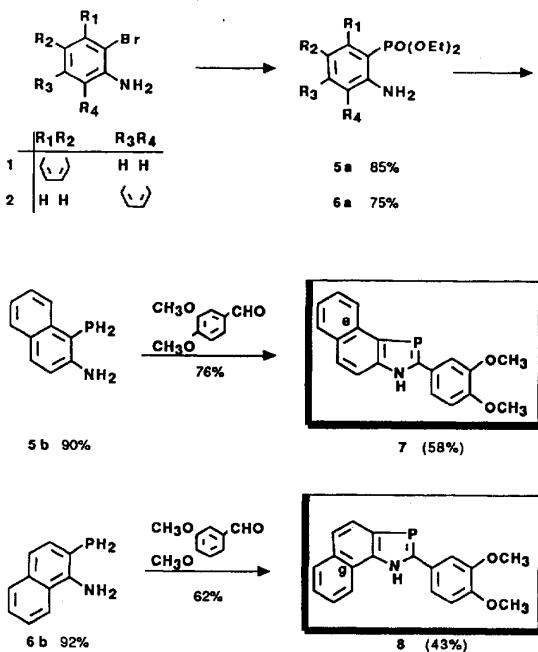
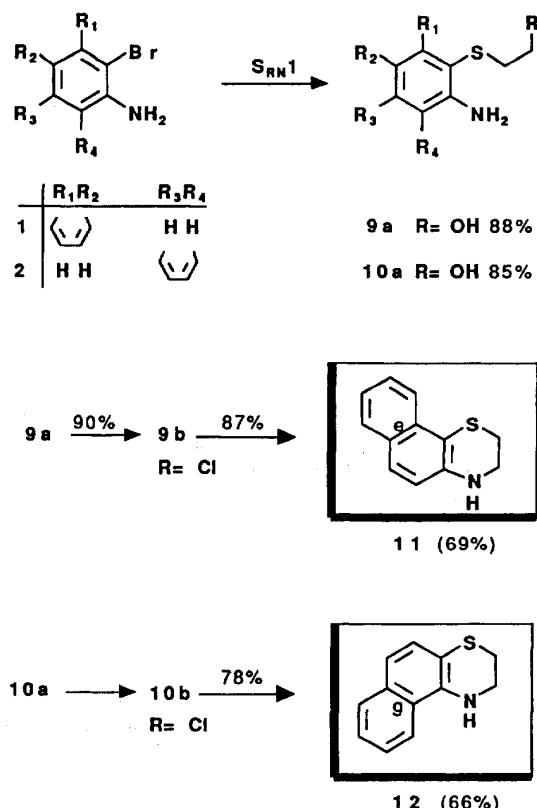
Synthèse d'hétérocycles comportant d'autres hétéroatomes

Comparée aux séries benzéniques et pyridiniques, la série naphtalénique n'a jusqu'à présent fait l'objet que d'un nombre relativement restreint de travaux à visée synthétique [8]. Nous avons donc été incités à étendre le domaine de la chimie radicalaire S_{RN1} à la synthèse d'hétérocycles accolés au naphtalène et comportant un atome de phosphore ou de soufre en plus de l'atome d'azote.

Dérivés 1*H*-naphto[1,2-*d*]- et 1*H*-naphto[2,1-*d*]-1,3-azaphospholes

Le phosphonate d'éthyle qui est un excellent nucléophile vis-à-vis de substrats benzéniques [9, 10] a été peu utilisé dans des réactions S_{RN1} avec des substrats

* Correspondance et tirés à part

Tableau I. Synthèse de benzo[e] et benzo[g]indoles.**Tableau II.** Synthèse de 1*H*-naphto[1,2-*d*]- et 1*H*-naphto[2,1-*d*]-1,3-azaphospholes.**Tableau III.** Synthèse de naphto[1,2-*b*] et naphto[2,1-*b*]-1,4-thiazines.

naphthaléniques. La réaction avec **1** ou **2** donne les composés attendus **5a** ou **6a**, qui par réduction, livrent les amino phosphines correspondantes **5b**, **6b**. Par reflux en présence de vératraldéhyde [11], les benzo[e] ou benzo[g]-1,3-benzazaphospholes **7** ou **8** sont obtenus avec des rendements globaux respectifs de 58% et 43%.

Dérivés naphto[1,2-*b*] et naphto[2,1-*b*]-1,4-thiazines

L'anion du 2-mercaptopropanol ($-\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) présente la particularité de réagir très efficacement avec des substrats naphthaléniques, alors qu'avec les substrats benzéniques, des réactions parasites de fragmentation en limitent l'intérêt [12, 13]. Nous l'avons donc utilisé pour réaliser une synthèse de composés thiaziniques **11** et **12**. Les composés **9a** ou **10a** sont obtenus aisément à partir de **1** ou **2**, et via les dérivés chlorés correspondants **9b** ou **10b**, les naphto[1,2-*b*] et naphto[2,1-*b*]-1,4-thiazines **11** ou **12** sont synthétisées en deux étapes avec des rendements globaux de 69% ou 66% respectivement.

Conclusion

Dans ce travail nous avons montré que la chimie radicalaire $S_{RN}1$ constitue une alternative très intéressante pour accéder à des dérivés benzo[e] et

benzo[*g*]indoliques et qu'elle permet en outre d'accéder à des structures hétérocycliques du type benzo[*e*] et benzo[*g*] phosphazoliques et thiaziniques. Ces nouveaux résultats contribuent à élargir notablement le domaine synthétique de cette réaction de substitution nucléophile par mécanisme SRN1 dont la découverte est relativement récente [14].

Partie expérimentale

Généralités

Les points de fusion sont mesurés sur un appareil Reichert et ne sont pas corrigés. Les spectres de RMN ^1H (CDCl_3 ; δ , ppm; J , Hz) sont enregistrés sur des appareils Bruker WP 200 SY, AC 200 et 250. Les spectres de RMN ^{13}C (CDCl_3 ; δ , ppm) sont enregistrés sur des appareils Bruker AC 300. Les spectres de masse (SM) et les spectres à haute résolution (SMHR) sont enregistrés sur un appareil AEI MS 50 (IE). Les analyses élémentaires ont été effectuées par le service de micro-analyse de l'Institut de Chimie des Substances Naturelles du CNRS de Gif-sur-Yvette. Les chromatographies analytiques (CCM) ont été effectuées sur plaque de silice Schleicher & Schull réf F 1500/LS 254 et les chromatographies préparatives sur plaques épaisse (CPP, éluant) ou sur colonne (CC, éluant) de silice Merck 60H (230-400 mesh).

Procédure générale pour la réaction SRN1

Un ballon tricol de Pyrex de 100 mL, préalablement séché, muni d'un barreau magnétique et d'un réfrigérant contenant un mélange d'acétone et de carboglace est purgé à l'argon puis l'ammoniac est condensé (50-60 mL). On introduit alors successivement le *tert*-butanolate de potassium fraîchement sublimé, le nucléophile et, après 1 à 2 min, le substrat. La solution, agitée est irradiée par une lampe Hanovia HP de 400 W refroidie par circulation d'eau, placée à 3 cm du ballon. L'évolution de la réaction est suivie en prélevant par siphonnage un aliquot qui, extrait comme ci-dessous est examiné par CCM. Une fois l'irradiation terminée, la réaction est stoppée par addition de chlorure d'ammonium et le résidu obtenu après évaporation de l'ammoniac est repris dans 50 mL d'eau. L'extraction au chlorure de méthylène (4×30 mL) suivie du lavage à l'eau et du séchage sur sulfate de sodium anhydre livre un produit brut qui est purifié.

2-*tert*-Butyl- ^3H -benzo[*e*]/indole 3a

L'irradiation pendant 60 min d'une solution de 1 (0,14 g, 1 mmol), de pinacolone (0,2 g, 2 mmol) et de *tert*-butanolate de potassium (0,24 g, 2 mmol) livre 3a (CC, CH_2Cl_2). (0,149 g, 67%); huile.

RMN ^1H : 1,4 (s, 9H), 6,35 (s, 1H), 7,35 (dd, 1H, $J = 8$ Hz, $J = 1,5$ Hz), 7,45 (td, 2H, $J = 8$ Hz, $J = 1,5$ Hz), 7,62 (dd, 1H, $J = 8$ Hz, $J = 1,5$ Hz), 7,88 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,95 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 8,6 (s, 1H, NH).

RMN ^{13}C : 30,68; 98,85; 119,16; 120,48; 120,54; 121,13; 122,44; 123,33; 123,76; 125,28; 127,49; 128,68; 129,02.

SM (IE) m/e : 223 (M^+), 194, 178.

SMHR calc pour $\text{C}_{16}\text{H}_{17}\text{N}$: 223,13609; tr : 223, 1370.

2-*tert*-Butyl-1H-benzo[*g*]/indole 4a

L'irradiation pendant 120 min d'une solution de 2 (0,14 g, 0,5 mmol), de pinacolone (0,2 g, 2 mmol) et de *tert*-butanolate de potassium (0,24 g, 2 mmol) livre 4a (CPP, CH_2Cl_2). (0,091 g, 82%); huile.

RMN ^1H : 1,45 (s, 9H), 6,74 (s, 1H), 7,32 (td, 1H, $J = 8$ Hz, $J = 1,5$ Hz), 7,38 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,45 (td + s, 2H, $J = 8$ Hz, $J = 1,5$ Hz), 7,82 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 8,15 (d, 2H, $J = 8$ Hz).

RMN ^{13}C : 30,62; 98,63; 119,12; 119,53; 120,58; 120,55; 121,22; 122,37; 123,30; 123,68; 125,13; 127,52; 128,67; 129,32.

SM (IE) m/e : 223 (M^+), 209, 193, 179, 167.

HMHR calc pour $\text{C}_{16}\text{H}_{17}\text{N}$: 223,13609; tr : 223,1370.

^3H -Benzo[*e*]/indole-2-carboxylate d'éthyle 3e

Lors de la purification sur colonne de silice, 3b est déprotégé et oxydé spontanément au contact de l'air libre et l'acide ainsi formé est alors estérifié pour donner 3e. (0,124 g, 52%); F = 163°C; litt 164-165°C.

RMN ^1H : 1,4 (t, 3H, $J = 6$ Hz), 4,34 (q, 2H, $J = 6$ Hz), 6,90 (s, 1H), 7,20 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,30 (t, 1H, $J = 8$ Hz), 7,40 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,60 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,80 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 8,20 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 10,05 (s, 1H).

SM (IE) m/e : 239 (M^+), 210, 120.

Anal calc % pour $\text{C}_{15}\text{H}_{13}\text{NO}_2$: C 75,30; H 5,48. Tr : C 75,19; H 5,34.

1H-Benz[*g*]/indole-2-carboxylate d'éthyle 4e

Lors de la purification sur colonne de silice, 4b est déprotégé et oxydé comme 3b, et l'acide est estérifié pour donner 4e. (0,155 g, 65%); F = 174°C; litt 176-177°C.

RMN ^1H : 1,45 (t, 3H, $J = 6$ Hz), 4,48 (q, 2H, $J = 6$ Hz), 6,86 (s, 1H), 7,20 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,32 (t, 1H, $J = 8$ Hz), 7,40 (m, 2H), 7,65 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 8,13 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 9,98 (s, 1H).

SM (IE) m/e : 239 (M^+), 209.

Anal calc % pour $\text{C}_{15}\text{H}_{13}\text{NO}_2$: C 75,30; H 5,48. Tr : C 75,36; H 5,56.

(2-Aminonaphthalén-1-yl)phosphonate de diéthyle 5a

L'irradiation pendant 180 min d'une solution de 1 (0,5 g, 5 mmol) de phosphonate de diéthyle (1,1 g, 10 mmol) et de *tert*-butanolate de potassium (1,2 g, 10 mmol), après purification (CC, $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{MeOH}$, 99/1) livre 5a (1,185 g, 85%); F = 110-112°C.

RMN ^1H : 1,35 (t, 6H, $J = 6$ Hz), 4,03 (q, 2H, $J = 6$ Hz), 4,15 (q, 2H, $J = 6$ Hz), 6,22 (s, 2H, NH₂), 6,75 (dd, 1H, $J = 8$ Hz, $J_{\text{P}-\text{H}_\text{meta}} = 6$ Hz), 7,23 (1, 1H, $J = 8$ Hz), 7,42 (td, 1H, $J = 8$ Hz, $J = 1,5$ Hz), 7,63 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 7,68 (d, 1H, $J = 8$ Hz), 8,12 (d, 1H, $J = 8$ Hz).

SM (IE) m/e 279 (M^+), 250 ($\text{M}^+ - \text{C}_2\text{H}_5$), 222 (251- C_2H_4), 204 (222- H_2O).

Anal calc % pour $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{PNO}_3$: C 60,21; H 6,50. Tr : C 60,25; H 6,56.

1-Phosphanylnaphtalén-2-ylamine 5b

La réduction de la fonction phosphonate de 5a (1 équiv) par LiAlH_4 (2 équiv) dans le THF fournit 5b qui est utilisé sans purification. (0,157 g, 90%); huile.

RMN ^1H : 3,41 (s, 1H), 4,15 (s, 1H), 4,63 (s, 2H), 7,23 (m, 1H), 7,45 (m, 3H), 7,75 (m, 2H).

SM (IE) m/e 175 (M^+).

(1-Aminonaphthalén-2-yl)phosphonate de diéthyle 6a

L'irradiation pendant 180 min d'une solution de **2** (1,1 g, 5 mmol) de phosphonate de diéthyle (1,1 g, 10 mmol) et de *tert*-butanolate de potassium (1,2 g, 10 mmol), après purification (CC, CH₂Cl₂/MeOH, 99/1) livre **6a** (1,046 g, 75%) ; huile.

RMN ¹H : 1,42 (t, 6H, *J* = 6 Hz), 4,15 (q, 4H, *J* = 6 Hz), 6 (s, 2H), 6,53 (t, 1H, *J* = 8 Hz), 7,15 (t, 1H, *J* = 8 Hz), 7,52 (dd, 1H, *J* = 8 Hz, *J*_{P-Hmét} = 6 Hz), 7,56 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,72 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 8,05 (dd, 1H, *J*_{P-Hortho} = 15 Hz, *J* = 8 Hz).

SM (IE) *m/e* 279 (M⁺), 251 (M⁺-C₂H₄), 223 (251-C₂H₄), 205 (223-H₂O).

Anal calc % pour C₁₄H₁₈PNO₃ : C 60,21; H 6,50. Tr : C 60,30; H 6,60.

2-Phosphanyl-naphthalén-1-ylamine 6b

La réduction de la fonction phosphonate de **6a** (1 équiv) par LiAlH₄ (2 équiv) dans le THF, livre **6b** qui est utilisé sans purification. (0,161 g, 92%) ; huile.

RMN ¹H : 3,41 (s, 1H), 4,15 (s, 1H), 4,61 (s, 2H), 7,15 (m, 1H), 7,35 (m, 3H), 7,62 (m, 2H).

SM (IE) *m/e* 175 (M⁺).

2-(3,4-Diméthoxyphényl)naphto[1,2-d]-1,3-azaphosphole 7

L'aminophosphine **5b** (0,18 g, 1 mmol), condensé avec le vénératraldéhyde (0,16 g, 1 mmol), l'acide *p*-toluènesulfonique (0,01 mmol) et chauffé à reflux dans le benzène pendant 3 h livre **7**. (0,243 g, 76%) ; huile.

RMN ¹H : 3,87 (s, 3H), 3,88 (s, 3H), 7,01 (m, 2H), 7,45 (m, 2H), 7,55 (t, 2H, *J* = 8 Hz), 7,81 (m, 3H).

SM (IE) *m/e* 321 (M⁺), 289, 258.

SMHR calc pour C₁₉H₁₆NO₂P : 321,3192; tr : 321,3190.

2-(3,4-Diméthoxyphényl)naphto[2,1-d]-1,3-azaphosphole 8

L'aminophosphine **6b** (0,17 g, 1 mmol), condensé avec le vénératraldéhyde (0,16 g, 1 mmol), l'acide *p*-toluènesulfonique (0,01 mmol) et chauffé à reflux dans le benzène pendant 3 h livre **8**. (0,199 g, 62%) ; huile.

RMN ¹H : 3,87 (s, 3H), 3,88 (s, 3H), 7,03 (m, 2H), 7,45 (m, 2H), 7,55 (t, 2H, *J* = 8 Hz), 7,82 (m, 3H).

SM (IE) *m/e* 321 (M⁺), 290, 259.

SMHR calc pour C₁₉H₁₆NO₂P : 321,3192; tr : 321,3191.

2-[(2-Aminonaphthalén-1-yl)thio]éthanol 9a

L'irradiation pendant 180 min d'une solution de **1** (0,14 g, 0,5 mmol) de 2-mercaptopropanoïde (0,1 g, 1 mmol) et de *tert*-butanolate de potassium (0,12 g, 1 mmol) dans l'ammoniac liquide, après purification (CPP, CH₂Cl₂/MeOH (95/5)) livre **9a**. (0,096 g, 88%) ; F = 61-63°C.

RMN ¹H : 2,85 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 3,45 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 3,65 (s, 2H), 7,97 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,25 (td, 1H, *J* = 8 Hz, *J* = 1,5 Hz), 7,52 (td, 1H, *J* = 8 Hz, *J* = 1,5 Hz), 7,63 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,66 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 8,35 (d, 1H, *J* = 8 Hz).

RMN ¹³C : 37,35; 60,50; 117,08; 122,27; 123,67; 123,72; 127,19; 128,19; 128,24; 130,52; 136,01; 148,23.

SM (IE) *m/e* 219 (M⁺).

SMHR calc pour C₁₂H₁₃NOS : 219,0718; tr : 219,0700.

1-[(2-Chloroéthyl)thio]naphthalén-2-ylamine 9b

A une solution de **9a** (0,2 g, 1 mmol) dans 10 mL de CH₂Cl₂, on ajoute PCl₅ (1 équiv). Le mélange agité pendant 30 min puis extrait et purifié (CC, CH₂Cl₂/pentane (1/3)) livre **9b** utilisé sans purification. (0,214 g, 90%) ; huile.

RMN ¹H : 3,15 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 3,55 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 5,12 (s, 2H), 7,2 (d, 2H, *J* = 8 Hz), 7,54 (t, 2H, *J* = 8 Hz), 7,85 (m, 2H).

SM (IC) : 238-240 (M + H)⁺, 176 (M + H-C₂H₆Cl + H)⁺.

2-[(1-Aminonaphthalén-1-yl)thio]éthanol 10a

L'irradiation pendant 60 min d'une solution de **2** (0,14 g, 1 mmol), de 2-mercaptopropanoïde (0,2 g, 2 mmol) et de *tert*-butanolate de potassium (0,24 g, 2 mmol) livre **10a** (CPP, CH₂Cl₂). (0,186 g, 85%) ; huile.

RMN ¹H : 1,65 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 2,35 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 2,72 (s, 1H), 4,61 (s, 2H), 5,9 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 6,20 (m, 3H), 6,52 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 6,88 (dd, 1H, *J* = 8 Hz, *J* = 1,5 Hz).

RMN ¹³C : 37,31; 60,63; 116,85; 122,26; 123,52; 123,63; 127,02; 128,31; 128,15; 130,41; 136,41; 149,21.

SM (IE) *m/e* : 219 (M⁺), 174 (M⁺-OC₂H₅).

SMHR calc pour C₁₂H₁₃NOS : 219,0718; tr : 219,0715.

3,4-Dihydro-2H-naphto[1,2-b]-1,4-thiazine 11

L'aminosulfure **9b** (0,3 g, 1 mmol), chauffé à reflux une nuit dans (15 mL) de DMF avec un excès de K₂CO₃ (4 mmol), et purifié (CC, CH₂Cl₂/pentane, 1/3) livre **11**. (0,174 g, 87%) ; huile.

RMN ¹H : 3,10 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 3,92 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 6,73 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,25 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,35 (td, 1H, *J* = 8 Hz, *J* = 1,5 Hz), 7,41 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,61 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,70 (d, 1H, *J* = 8 Hz).

RMN ¹³C : 25,73; 43,04; 119,09; 122,42; 123,14; 126,26; 126,89; 126,94; 128,73; 128,84; 138,37; 143,19.

SM (IE) *m/e* : 201 (M⁺), 153 (M⁺-SCH₃), 140 (M⁺-SCH₂CH₃).

SMHR calc pour C₁₂H₁₁NS : 201,0612; tr : 201,0618.

2,3-Dihydro-1H-naphto[2,1-b]-1,4-thiazine 12

L'aminosulfure **10a** (0,22 g, 1 mmol) traité par PCl₅ comme **9a** livre **10b**, qui traité de la même façon que précédemment, livre **12**. (0,156 g, 78%) ; huile.

RMN ¹H : 3,1 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 3,82 (t, 2H, *J* = 6 Hz), 4,13 (s, 1H), 7,08 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,15 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,35 (t, 1H, *J* = 8 Hz), 7,42 (t, 1H, *J* = 8 Hz), 7,63 (d, 1H, *J* = 8 Hz), 7,73 (d, 1H, *J* = 8 Hz).

RMN ¹³C : 37,23; 60,52; 116,75; 122,16; 123,52; 123,41; 127,31; 128,05; 128,08; 130,65; 136,37; 149,51.

SM (IE) *m/e* : 201 (M⁺).

SMHR calc pour C₁₂H₁₁NS : 201,0612; tr : 201,0614.

Références

- Watanabe T, Takahashi H, Kamakura H, Sakaguchi S, Osuki M, Toyama S, Mizuma Y, Ikuko U, Murakami Y, *Chem Pharm Bull (Tokyo)* (1991) 39, 3145
- Beugelmans R, Roussi G, *J Chem Soc Chem Commun* (1979) 950
- Beugelmans R, Roussi G, *Tetrahedron* 37, Suppl 1 (1981) 393
- Bard R, Bunnett JF, *J Org Chem* (1980) 45, 1546

- 5 Beugelmans R, Boudet B, Quintero L, *Tetrahedron Lett* (1980) 21, 1943
- 6 Fontan R, Galvez C, Villadoms P, *Heterocycles* (1981) 16, 11473
- 7 Estel L, Marsais F, Queguiner G, *J Org Chem* (1988) 53, 2740
- 8 Norris RK, *Nucleophilic Coupling with Aryl Radicals*. Comprehensive Organic Synthesis, vol 4, p 451, Trost BM Ed, Pergamon, Oxford, 1991
- 9 Bunnett JF, Creary X, *J Org Chem* (1974) 39, 3612
- 10 Bunnett JF, Swartz JE, *J Org Chem* (1979) 44, 4673
- 11 Issleib K, Vollmer R, Oehme H, Meyer H, *Tetrahedron Lett* (1978) 19, 441
- 12 Rossi RA, Palacios SM, *J Org Chem* (1981) 46, 5300
- 13 Rossi RA, *Acc Chem Res* (1982) 15, 164
- 14 Bunnett JF, *Acc Chem Res* (1978) 11, 413