

# Quelques tests caractéristiques de groupements fonctionnels en chimie organique

par **Édith FLORENTIN**

ENS/DESCO - 75005 Paris

edith.florentin@ens.fr

**Johann JÉZÉQUEL** et **Hélène SOYER**

Préparation à l'agrégation de sciences physiques

École normale supérieure - 92120 Montrouge

johann.jezequel@ens.fr

helene.soyer@ens.fr

## RÉSUMÉ

*Dans cet article sont abordés différents tests caractéristiques de quelques fonctions en chimie organique. Ils sont présentés sous forme de fiches explicitant la préparation des réactifs et la mise en œuvre de ces tests. Une interprétation des réactions mises en jeu est alors proposée. Dans un premier temps sont abordés les tests propres aux fonctions alcool, phénol, aux alcènes, puis divers tests sur les dérivés carbonylés et enfin sur la fonction amine.*

## INTRODUCTION

Cet article reprend un ensemble de tests caractéristiques de quelques groupements fonctionnels importants en chimie organique. Bien que ces tests soient traités dans un grand nombre d'ouvrages de chimie organique, il nous a semblé utile de les aborder aux cours de cet article sous forme de fiches. En effet, nous nous sommes aperçus que les protocoles proposés explicitaient occasionnellement ou de façon trop succincte la préparation des réactifs utilisés pour effectuer ces différents tests.

Les fiches disponibles, décrivant quelques tests caractéristiques de groupements fonctionnels en chimie organique, sont divisées en trois grandes parties :

- ♦ une partie décrivant la préparation du réactif ;
- ♦ une partie explicitant la manière d'utiliser le réactif préparé précédemment et les précautions à suivre lors du test effectué (bain de glace, ordre d'introduction, précaution opératoire...) ;
- ♦ une partie donnant l'interprétation du test effectué.

### Test caractéristique de la classe d'un alcool : réactif de Lucas

#### Préparation du réactif

Manipuler sous la hotte.

Dissoudre à froid, 0,5 mole (68 g) de chlorure de zinc anhydre dans 0,5 mole (42 mL) d'acide chlorhydrique concentré.

#### Utilisation du réactif

Dans un tube à essai, introduire 1 mL d'alcool.

Introduire 10 mL de réactif de Lucas.

Agiter vigoureusement pendant une minute. Attention, un dégagement de HCl peut avoir lieu. Il est donc souhaitable d'équilibrer les pressions régulièrement et de se placer sous une hotte.

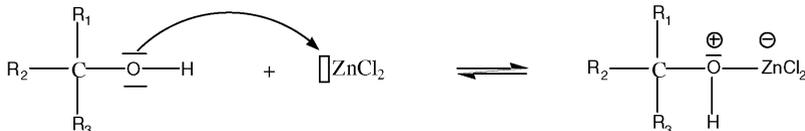
- pour un alcool primaire : rien à froid.
- pour un alcool secondaire : apparition de deux phases ou émulsion au bout de cinq à dix minutes.
- pour un alcool tertiaire : Apparition de deux phases ou émulsion presque immédiatement.

Remarque : Ce test est pertinent pour les alcools solubles en phase aqueuse (moins de 7 carbones). En cas de problèmes inattendus, il peut être nécessaire d'introduire les réactifs dans l'ordre inverse.

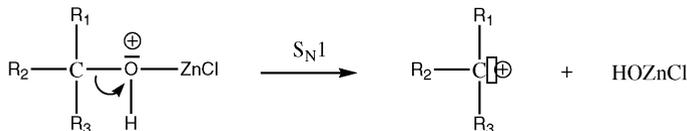
#### Interprétation

La réaction mise en œuvre ici est une substitution nucléophile d'ordre 1 ( $S_N1$ ). Le chlorure de zinc ( $ZnCl_2$ ) est un acide de Lewis jouant le rôle de catalyseur.

*Activation :*

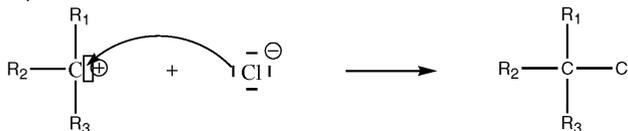


*Formation d'un carbocation :*



$HOZnCl$  est un meilleur nucléofuge que la molécule d'eau (après protonation de l'alcool).

*Attaque nucléophile :*



Lors de la réaction, il se forme un carbocation (étape cinétiquement déterminante), donc la transformation est :

- rapide avec les alcools tertiaires ;
- lente avec les alcools secondaires ;
- impossible avec les alcools primaires.

Remarque : La réaction est rapide sur les alcools primaires allyliques. En effet,  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH}$  réagit comme un alcool tertiaire car le carbocation allyle  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2^\oplus$  est stabilisé.

### Test caractéristique des phénols en milieu aqueux

#### Préparation du réactif

Préparer une solution à  $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$  de chlorure de fer (III) ; pour cela dissoudre 4 g de  $\text{FeCl}_3$  anhydre dans 50 mL d'eau.

#### Utilisation du réactif

Dans un tube à essai, dissoudre par exemple 0,05 g de phénol (soit environ  $5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ ) dans  $3 \text{ cm}^3$  d'eau. Si vous rencontrez des problèmes de dissolution, il est préférable de pratiquer le test en milieu organique (voir test suivant).

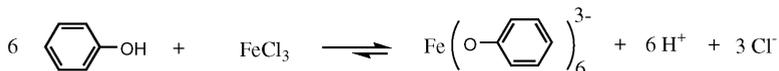
Puis ajouter une goutte du réactif, voire deux ou trois gouttes.

Le test est positif si une coloration, le plus souvent violette, apparaît. La solution peut également prendre la coloration bleue, verte ou pourpre qui dépend du dérivé du phénol utilisé.

#### Interprétation

L'obtention d'une coloration violette, parfois bleue, verte ou pourpre caractérise la présence du groupement fonctionnel phénolique.

Les phénols ou groupements phénoliques forment des complexes colorés avec l'ion fer (III) dont la formule brute est  $\text{Fe}(\text{OPh})_6^{3-}$ . Le bilan de cette complexation est le suivant :



La coloration de ce complexe dépend des substituants portés par le cycle aromatique. On observe, par exemple, une coloration violette avec le phénol et une coloration rouge avec l'acide salicylique ou le 2-nitrorésorcinol...

La déprotonation de la fonction phénol est favorisée par la formation du complexe. Il y a déplacement de l'équilibre acido-basique.

Cependant, attention il n'est pas rare que certains composés non phénoliques donnent des complexes colorés avec l'ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Ce n'est donc pas un test infallible !

### Test caractéristique des phénols en milieu organique

Ce test est plus sensible que celui que l'on peut effectuer en milieu aqueux.

#### Préparation du réactif

Manipuler sous la hotte.

Dissoudre 1 g de chlorure de fer (III) anhydre (soit environ  $6 \cdot 10^{-3}$  mol) dans 100 mL de chloroforme (trichlorométhane) ; agiter la solution pendant environ une heure pour favoriser la dissolution du chlorure de fer (III). Laisser décanter puis filtrer cette solution.

#### Utilisation du réactif

Manipuler sous la hotte.

Dissoudre dans un tube à essai cinq gouttes ou environ 0,1 g d'échantillon dans 2 mL de chloroforme.

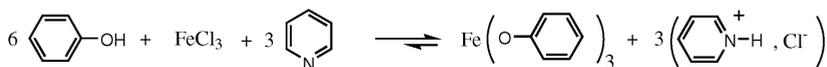
Ajouter deux gouttes de réactif et trois gouttes de pyridine. Agiter.

Le test est positif si une coloration, le plus souvent rouge, apparaît. Elle peut cependant être également bleue, violette, verte ou rouge brun.

#### Interprétation

L'obtention d'une coloration violette, parfois bleue, verte ou rouge brun met en évidence la présence du groupement fonctionnel phénolique.

Les phénols forment des complexes colorés avec l'ion fer (III) selon :



La pyridine ici joue différents rôles :

- comme il s'agit d'une base de Lewis, elle permet la déprotonation de la fonction phénol en ion phénolate et favorise leur complexation avec le fer (III) ;
- elle permet d'éviter le dégagement gazeux de chlorure d'hydrogène ;
- elle favorise la cinétique de la réaction de complexation.

La pyridine s'avère donc indispensable à la réalisation de ce test.

### Test caractéristique des alcènes en milieu organique

#### Préparation du réactif

Manipuler sous la hotte. Lorsque l'on manipule le dibrome, il est indispensable de disposer de thiosulfate de sodium afin de réduire le dibrome en ion bromure. Toute la verrerie en contact avec le dibrome devra être nettoyée avec une solution suffisamment concentrée de thiosulfate de sodium (jusqu'à décoloration).

Préparer une solution à environ 2 % en masse de dibrome dans le dichlorométhane. Pour cela, introduire une goutte de dibrome dans environ 10 mL de dichlorométhane.

#### Utilisation du réactif

Manipuler sous la hotte.

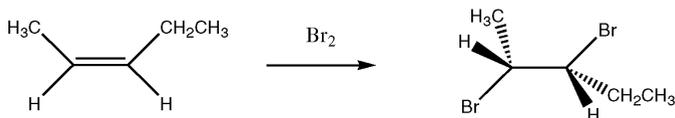
Verser dans un tube à essai 2 mL de dichlorométhane et cinq gouttes de l'alcène liquide ou 30 mg d'un alcène solide. Ajouter ensuite, goutte à goutte, la solution de dibrome.

Le test est positif si la couleur brune de la solution de dibrome disparaît par agitation vigoureuse.

**Attention :** Les vapeurs de dibrome, de dichlorométhane et d'halogénoalcane sont toxiques.

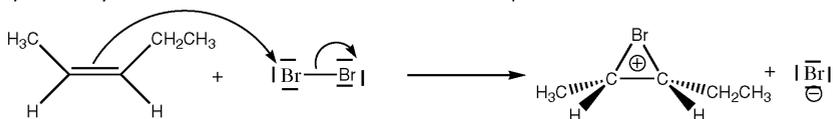
#### Interprétation

La réaction du dibrome  $\text{Br}_2$ , sur les alcènes est une réaction d'addition électrophile. Le bilan est le suivant :

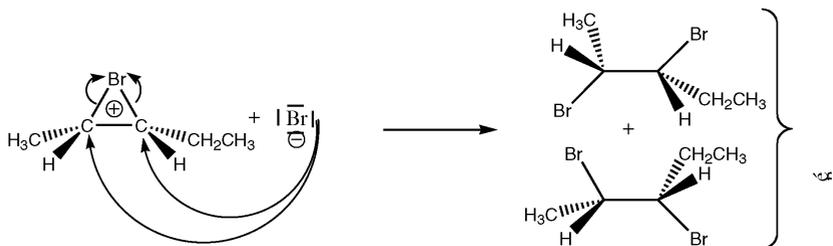


*Mécanisme :*

*Étape cinétiquement déterminante :* formation d'un ion ponté bromonium



*Seconde étape :*



**Remarque :** Un composé saturé ne pourra réagir avec le dibrome qu'en présence d'amorceur de radicaux ou de rayonnement UV.

**Test caractéristique des alcènes en milieu aqueux****Préparation du réactif**

Manipuler sous la hotte. Lorsque l'on manipule le dibrome, il est indispensable de disposer de thiosulfate de sodium afin de réduire le dibrome en ion bromure. Toute la verrerie en contact avec le dibrome devra être nettoyée avec une solution suffisamment concentrée de thiosulfate de sodium (jusqu'à décoloration). Attention les vapeurs de dibrome et d'halogénoalcane sont toxiques. Il est conseillé de boucher tout récipient contenant du dibrome.

Préparer une solution aqueuse de dibrome. Pour cela introduire une goutte de dibrome dans environ 100 mL d'eau. Agiter. La dissolution peut s'avérer lente.

**Utilisation du réactif**

Manipuler sous la hotte.

Verser dans un tube à essai cinq gouttes de l'alcène liquide ou 30 mg d'un alcène solide. Ajouter ensuite, goutte à goutte, la solution de dibrome. Si vous rencontrez des problèmes de dissolution, il est préférable de pratiquer le test en milieu organique (voir test précédent).

Le test est positif si la couleur rouge brun de la solution de dibrome disparaît par agitation vigoureuse.

**Interprétation**

Voir test précédent.

**Test caractéristique des aldéhydes et cétones : test à la 2, 4-dinitrophénylhydrazine****Préparation du réactif**

Manipuler sous la hotte.

Dissoudre 0,25 g de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH) dans 50 mL d'eau et 42 mL d'acide chlorhydrique concentré. Tiédir si nécessaire. Après dissolution, compléter à 250 mL avec de l'eau permutée.

**Utilisation du réactif**

Introduire quelques gouttes de cétone ou d'aldéhyde dans 3 mL de solution de 2,4-DNPH. Si le produit à tester est solide, on peut le dissoudre au préalable dans quelques gouttes d'éthanol ou d'éther diéthylique, qui ne réagissent pas positivement avec la 2,4-DNPH. Agiter fortement.

Le test est positif si on constate l'apparition d'un précipité jaune.

*Remarque* : Il ne faut pas opérer en excès de dérivé carbonylé car l'hydrazone formée est soluble en solvant organique.

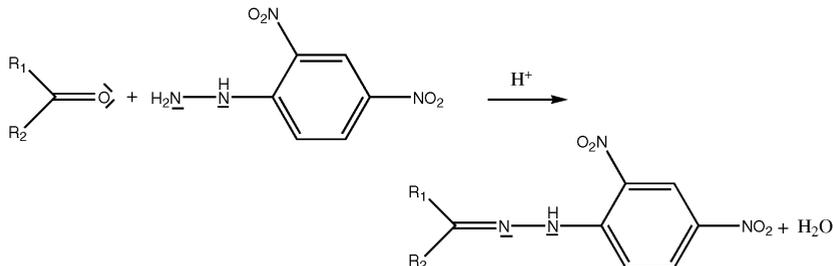
**Interprétation**

À l'issue de la réaction, qu'il s'agisse d'un aldéhyde ou d'une cétone, il se forme une hydrazone qui est très peu soluble en milieu aqueux. Ce précipité, une fois isolé et séché, peut être caractérisé par son point de fusion. La température de fusion de la 2, 4-dinitrophénylhydrazone cristallisée est caractéristique de la cétone ou de l'aldéhyde traité.

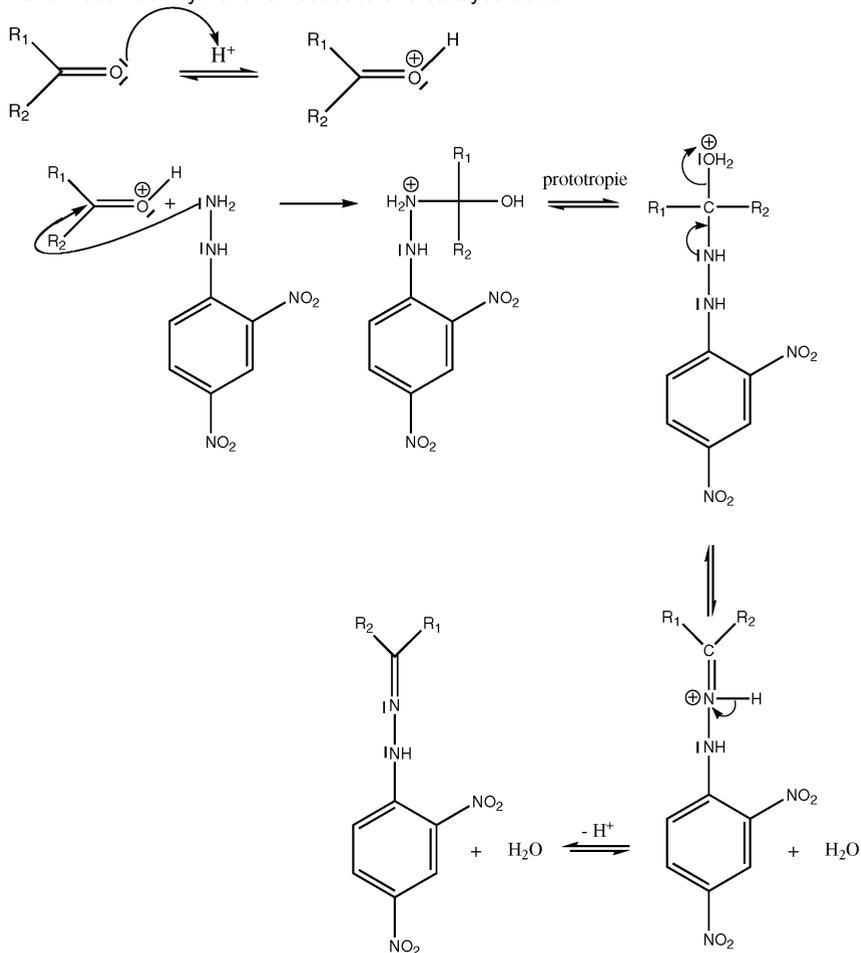
Voici quelques exemples (d'après Vogel's) :

Dérivé carbonylé	Température de fusion de la 2, 4-dinitrophénylhydrazone (°C)
Éthanal	168
Propanal	155
Butanal	123
Acétone	128
Cyclohexanone	162

Le bilan de la réaction est le suivant :



La formation de l'hydrazone nécessite une catalyse acide.



Sans catalyse acide, la réaction est trop lente. Cependant, il est important de se placer à un  $pH$  adapté, afin que l'équilibre acido-basique de protonation de l'amine ne soit pas trop déplacé dans le sens de la formation de l'ammonium.

### Test caractéristique des aldéhydes : test à la liqueur de Fehling

#### Préparation du réactif

##### Solution A : (pour 1 L)

35 g de sulfate de cuivre pentahydraté ;  
5 mL d'acide sulfurique concentré ;  
compléter à 1 L avec de l'eau distillée.

##### Solution B : (pour 1 L)

200 g de sel de Seignette (tartrate de potassium et de sodium  
ou 2,3-dihydroxybutanoate de potassium et de sodium) ;  
375 mL de soude à 30 % ;  
compléter à 1 L avec de l'eau distillée.

#### Utilisation du réactif

Dans un tube à essai, mélanger la solution A et B (50/50), soit environ 2 mL de chaque solution, introduire le produit à analyser (quelques gouttes), chauffer au bec bunsen (attention aux projections).

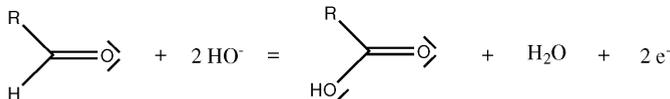
Le test est positif s'il apparaît un précipité rouge brique.

#### Interprétation

Ce test à la liqueur de Fehling est caractéristique des aldéhydes et met en jeu les propriétés réductrices des aldéhydes face à une oxydation par les ions cuivriques.

La réaction est une réaction d'oxydoréduction, mettant en jeu les deux demi-équations suivantes :

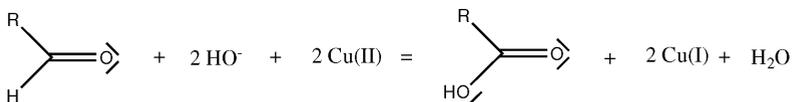
*Oxydation :*



*Réduction :*



D'où le bilan :



Le précipité rouge brique est dû à la formation d'oxyde cuivreux  $\text{Cu}_2\text{O}$  (Cu(I)).

La présence de sel de Seignette permet de complexer l'ion cuivrique (Cu(II)) et d'éviter tout problème de solubilité en milieu basique (formation du précipité d'hydroxyde de cuivre (II)  $\text{Cu(OH)}_2$  en milieu basique).

### Test caractéristique des aldéhydes : le miroir d'argent

#### Préparation du réactif

Dans un erlenmeyer de 50 mL, introduire 20 mL d'une solution de nitrate d'argent à  $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ , préparée préalablement en dissolvant 0,34 g de nitrate d'argent dans 20 mL d'eau.

Manipuler sous la hotte. Ajouter sous agitation, goutte à goutte, une solution concentrée commerciale d'ammoniaque à  $10,8 \text{ mol.L}^{-1}$ , jusqu'à disparition du précipité noirâtre formé et ceci à la goutte près.

#### Utilisation du réactif

Remplir un ballon de 50 mL, parfaitement sec et propre, des 20 mL de réactif de Tollens préparé pour l'occasion, car ce réactif **ne doit pas être conservé**. Ajouter environ 5 mL de la solution d'aldéhyde, puis agiter vivement. Tiédir ensuite le milieu réactionnel sans agiter dans un bain thermostaté à  $60^\circ\text{C}$ .

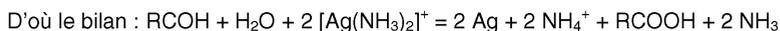
Le test est positif si un miroir se développe sur la surface interne du ballon.

#### Interprétation

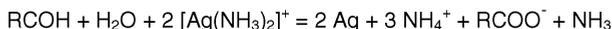
La formation du miroir d'argent caractérise exclusivement les aldéhydes. En effet, ce sont les propriétés réductrices des aldéhydes qui sont utilisées.

Ce test se base sur une réaction d'oxydoréduction en milieu basique entre un aldéhyde (réducteur) et les ions  $\text{Ag(I)}$  sous forme de complexe diamine argent  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ .

Cette réaction met en jeu les deux demi-équations suivantes :



Vu les conditions de *pH* de l'expérience, il y a réaction acido-basique entre l'acide carboxylique et l'ammoniac, d'où le bilan observé :



On utilise comme oxydant l'ion argent (I), car c'est un oxydant sélectif qui ne réagit pas avec les fonctions alcool. De plus, l'ion argent (I) est sous forme complexée  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ . Bien que cette complexation abaisse le pouvoir oxydant de l'argent ( $E^\circ([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ / \text{Ag}) = 0,35 \text{ V}$ , car la constante globale de formation de  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  vaut à 298 K :  $\log(\beta_2) = 7,4$ ), l'oxydation reste toujours possible du point de vue thermodynamique, car le potentiel standard d'un couple acide carboxylique / aldéhyde varie entre  $-0,15 \text{ V}$  et  $0 \text{ V}$ . Cependant il est indispensable lors de la préparation du réactif de Tollens d'arrêter l'ajout d'ammoniaque à la goutte près, suite à la disparition du précipité noirâtre formé (hydroxyde d'argent) ; sinon la concentration en ammoniaque dans le milieu deviendrait trop importante pour permettre du point de vue thermodynamique l'oxydation de l'aldéhyde.

Par ailleurs, il est impératif de préparer le réactif de Tollens juste avant son emploi et de ne pas le conserver, du fait des risques d'explosion par formation d'« argent fulminant ». Pour cette même raison, il faut procéder à la destruction de la solution obtenue une fois le test effectué en neutralisant lentement à l'aide d'une solution d'acide nitrique.

**Test caractéristique des aldéhydes : réactif de Schiff****Préparation du réactif**

Préparer une solution de 1 g fuschine dans 1 L d'eau.

En travaillant sous une hotte, dans une fiole jaugée de 500 mL, introduire :

- 50 mL de solution de fuschine à 0,1%. La solution est de couleur rose foncé ;
- 200 mL d'eau distillée ;
- 5 g de sulfite de sodium (la solution s'éclaircit) ;
- 5 mL d'acide chlorhydrique concentré. La coloration du milieu devient jaune pâle ;
- agiter et laisser reposer une heure ;
- compléter à 500 mL avec de l'eau distillée ;
- filtrer sur charbon animal si la solution n'est pas incolore.

Conserver la solution au frais.

**Utilisation du réactif**

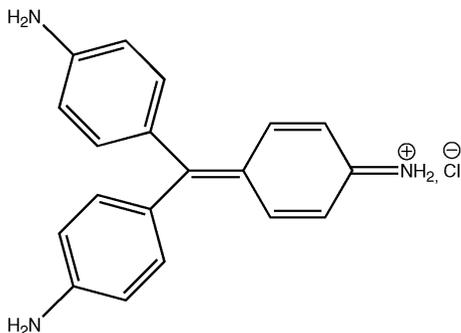
Dans un bain de glace, introduire dans un tube à essai, 2 mL de réactif de Schiff et deux gouttes d'aldéhyde.

Le test est positif si une coloration rose apparaît.

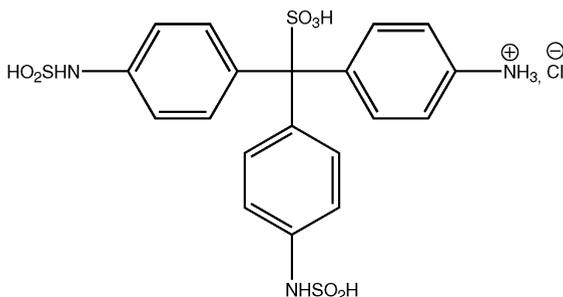
Remarque : Le test fonctionne pour les aldéhydes et les cétones méthylées.

**Interprétation**

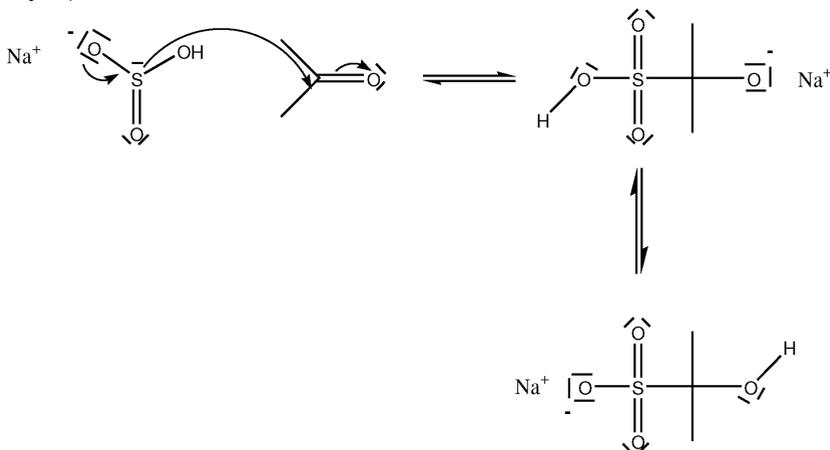
La fuschine de formule développée représentée ci-dessous, est un composé fortement conjugué, de couleur rose.



Le réactif de Schiff est incolore car il résulte de la réaction de la fuschine avec l'acide sulfureux  $H_2SO_3$ , qui détruit la structure conjuguée du colorant. Sa formule est la suivante :



La réaction avec l'aldéhyde est du même type que celle mise en jeu lors de l'addition d'un aldéhyde et de certaines cétones avec l'hydrogénosulfite de sodium  $NaHSO_3$ , tout se passe comme si  $-SO_3H$ , porté par le carbone, réagissait avec un aldéhyde ou une cétone méthylée). Le mécanisme est le suivant :



Cette réaction est réversible. Par ailleurs, cette réaction étant exothermique, il est souhaitable si on veut déplacer l'équilibre vers la formation du composé souhaité de se placer dans un bain de glace.

Cette réaction permet de retrouver la structure conjuguée de l'édifice et donc la couleur.

**Remarque** : Le passage de la fuschine au réactif de Schiff est un équilibre que l'on peut déplacer dans le sens de formation de la fuschine (solution rose), même en l'absence de composé carbonylé, par élévation de température, par circulation de gaz dans la solution. Ce test est donc délicat à réaliser et à interpréter !

### Test caractéristique des cétones $\alpha$ -méthylées : test iodoforme

Ce test peut également permettre de caractériser l'éthanal, l'éthanol et les alcools secondaires du type  $R-CH(OH)-CH_3$ .

#### Préparation des réactifs

Manipuler sous la hotte. Lorsque l'on manipule le diiode, il est indispensable de disposer de thiosulfate de sodium afin de réduire le diiode en ion iodure. Toute la verrerie en contact avec le diiode devra être nettoyée avec une solution suffisamment concentrée de thiosulfate de sodium (jusqu'à décoloration). Attention les vapeurs de diiode et d'halogénoalcane sont toxiques. Il est conseillé de boucher tout récipient contenant du diiode ou du iodoforme.

Préparer, dans un erlenmeyer bouché, une solution aqueuse de diiode. Pour cela, dissoudre 5 g de cristaux de diiode ( $M(I_2) = 253,81 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) et 10 g d'iodure de potassium dans 50 mL d'eau. Agiter jusqu'à dissolution complète.

#### Utilisation du réactif

Dans un erlenmeyer, introduire dans l'ordre :

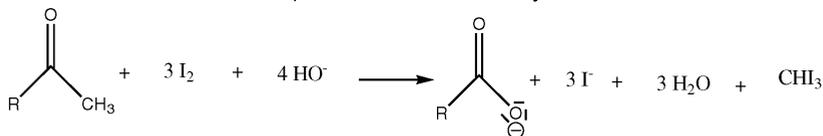
- 4 gouttes de produit ;
- 2 mL d'éther diéthylique ;
- 5 mL d'eau distillée ;
- 1 mL de soude à 10 % (environ  $3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

Ajouter goutte à goutte, 3 mL de la solution de diiode (la coloration brune disparaît), en agitant. La phase organique est de couleur jaune limpide. Chauffer à  $60^\circ\text{C}$  quelques minutes. Il y a évaporation de l'éther et un précipité jaune se forme. Si après ajout d'eau, le précipité jaune persiste, il s'agit du iodoforme (triiodométhane). Le test est positif.

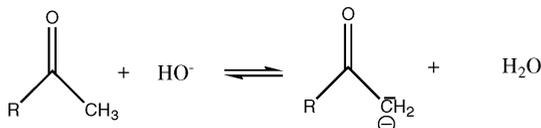
#### Interprétation

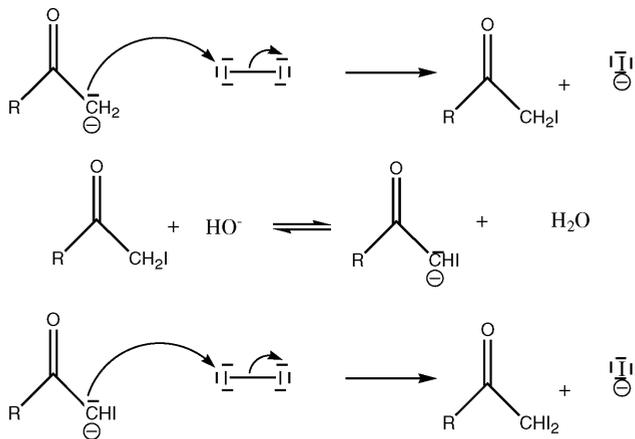
La formation d'un solide à l'issue de ce test met en évidence l'obtention du triiodométhane (iodoforme), caractérisant la présence initiale d'une cétone  $\alpha$ -méthylée, d'un alcool secondaire, de l'éthanal ou de l'éthanol dans le milieu réactionnel.

Le bilan de cette transformation pour une cétone  $\alpha$ -méthylée est le suivant :

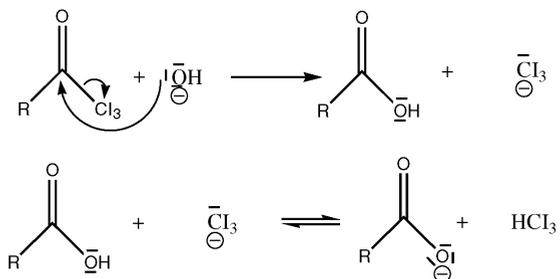


Le mécanisme de cette réaction est le suivant :





etc.



### Test caractéristique des amines : le test d'Hinsberg

Ce test est caractéristique des amines, il permet de distinguer les trois classes d'amine.

#### Préparation du réactif et utilisation du réactif

Manipuler sous la hotte.

##### Première étape :

Dans un erlenmeyer de 25 mL, introduire cinq gouttes ou 0,1 g d'échantillon et 1 mL de chlorure de paratoluène sulfonyle (ou, à défaut, du chlorure de benzène sulfonyle). Des fumées blanches peuvent se former.

Porter au bain-marie à 80 °C pendant quelques minutes. Laisser refroidir puis ajouter 5 mL d'hydroxyde de sodium à 0,5 mol.L<sup>-1</sup> sous agitation. Il y a deux phases en présence.

Au bout de dix minutes au bain thermostaté, observer s'il y a eu, ou non, formation d'un précipité.

##### Deuxième étape :

Si aucun précipité ne s'est formé, acidifier goutte à goutte à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique à 6 mol.L<sup>-1</sup>. Observer s'il se forme ou non un précipité.

Lors de la première étape, s'il s'agit d'une amine secondaire, il se forme soit un précipité, soit un composé huileux non miscible dans la phase aqueuse.

Lors de la deuxième étape, s'il s'agit d'une amine primaire, il se forme un précipité en phase aqueuse.

Si aucun précipité ne se forme (ou phase huileuse), l'échantillon étudié doit être une amine tertiaire.

#### Interprétation

Ce test permet de différencier les trois classes d'amine ; il est basé sur la réactivité différente des amines primaires, secondaires et tertiaires vis à vis du chlorure de paratoluène sulfonyle.

L'interprétation de ce test telle qu'elle est faite ci-dessous, n'est valable que si on suppose que les composés formés ne peuvent pas former, dans ces conditions expérimentales, de sels solubles par protonation de l'azote.

En présence d'hydroxyde de sodium, les amines primaires forment des sulfonamides. Ces sulfonamides d'amines primaires ont des propriétés d'acide faible et de ce fait sont solubles en milieu alcalin.

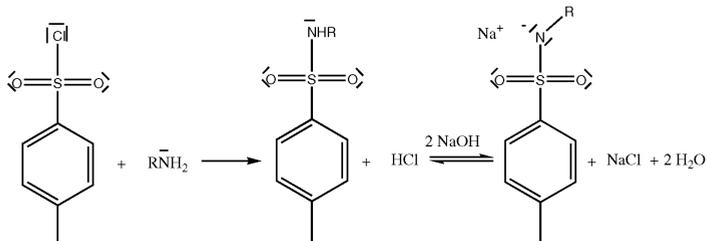
Dans les mêmes conditions, les amines secondaires des sulfonamides à caractère non acide sont donc insolubles dans ce milieu.

Quant aux amines tertiaires, elles réagissent avec le chlorure de paratoluène sulfonyle pour former un sel qui se décompose en reformant l'amine de départ.

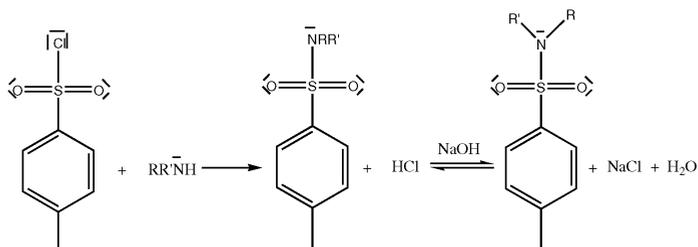
**Première étape :**

Les bilans respectifs de ces substitutions nucléophiles en milieu basique sont :

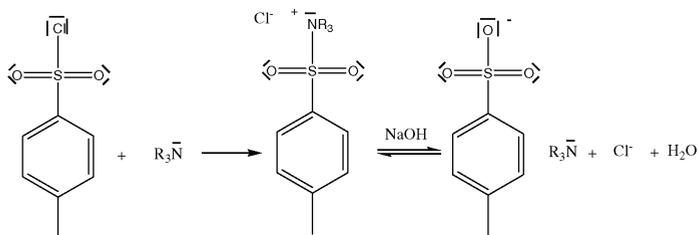
- ◆ pour les amines primaires :



- ◆ pour les amines secondaires :

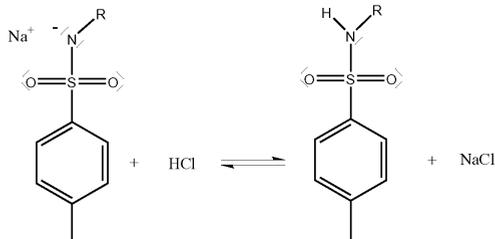


- ◆ pour les amines tertiaires :



**Deuxième étape :**

En milieu acide, seules les sulfonamides d'amine primaire, formées précédemment en milieu basique, peuvent être protonées et formées un composé insoluble selon ce bilan :



**BIBLIOGRAPHIE**

- ◆ CHAVANNE M., BEAUDOIN G. J., JULLIEN A. et FLAMAND E. *Chimie organique expérimentale*. Modulo éditeur, 1986.
- ◆ DAUMARIE F., GRIESMAR P. et SALZARD S. *Florilège de chimie pratique*. Collection enseignement des sciences, Hermann, Éditeurs des sciences et des arts, 1999.
- ◆ MESPLÈDE J. et SALUZZO C. *100 manipulations de chimie organique et inorganique*. Capes et Agrégation de sciences physiques, Bréal, 2002.
- ◆ BLANCHARD-DESCE M., FOSSET B., GUYOT F., JULLIEN L. et PALACIN S. *Chimie organique expérimentale*. Hermann, Éditeurs des sciences et arts, 1987.
- ◆ FURNISS B. S., HANNAFORD A. J., SMITH P. W. G. et TATCHELL A. R. *Vogel's, textbook of practical organic chemistry*. Fifth edition, Longman scientific & Technical, New York, 1989.
- ◆ PAVIA D. L., LAMPMAN G. M., KRIZ G. S. et ENDEL R. G. *Introduction to organic laboratory techniques*. First edition, Saunders College Publishing, 1998.
- ◆ BRÜCKNER R. *Mécanismes réactionnels en chimie organique, méthodes synthétiques stéréochimie et réactions modernes*. DeBoeck Université, 1999.
- ◆ CLAYDEN J., GREEVES N., WARREN S. et WOTHERS P. *Chimie organique*. DeBoeck Université, 2003.

**Édith FLORENTIN**

Professeur  
ENS / DESCO  
Paris (V<sup>e</sup>)

**Johann JÉZÉQUEL**

Technicien  
École normale supérieure  
Montrouge (Hauts-de-Seine)

**Hélène SOYER**

Professeur  
École normale supérieure  
Montrouge (Hauts-de-Seine)