

EPFL ISIC
Prof. Jérôme Waser
Bât BCH 1402
CH 1015 Lausanne

Téléphone : +4121 693 93 88
Fax : +4121 693 97 00
E-mail : jerome.waser@epfl.ch
Site web : <http://lcsso.epfl.ch>

Cours Chimie Générale Avancée I

Exercices_Séance 26 novembre 2021

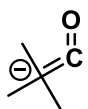
Exercice 1 (15 points)

Pour les composés suivants, complétez les structures par les atomes de H et les paires d'électrons manquantes, puis proposez une structure plus précise en trois dimensions à l'aide du modèle VSEPR. (11 points)

Deux molécules ne suivent pas la règle de l'octet: lesquelles? L'une des deux molécules est pourtant très stable, et l'autre par contre ne peut pas exister. Identifier les deux cas et justifier votre réponse. (4 points)



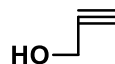
acétaldéhyde



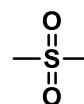
une cétène



diéthyl d'éther



alcool propargylique



dimethyl sulfone

Exercice 2 (19 points)

a) Déterminer le degré d'insaturation et dessiner les isomères de constitution en incluant la structure en trois dimensions pour la formule brute C_3H_5F . (11 points)

b) Dessiner au moins 3 isomères de constitution pour H_3PO_4 . Analysez vos propositions du point de vue de la stabilité : est-ce que l'une de vos structures est particulièrement probable/stable ? Si non, essayez de proposer une structure plus stable (il n'existe en réalité qu'un seul isomère de constitution stable). La structure en trois dimensions n'est pas demandée pour cet exercice. (8 points)

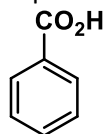
Attention : la formule pour le degré d'insaturation n'est valable que pour les éléments de la première et deuxième rangée, car elle résulte de l'octet. Pour ceux/celles qui veulent aller plus loin: comment corriger la formule en cas d'éléments pouvant excéder l'octet?

Exercice 3 (15 points)

Les molécules suivantes sont utilisées dans le TP séparation par extraction

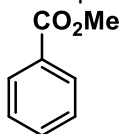
Dessiner la structure majoritaire à pH 0, 7 et 14 en vous basant sur les valeurs pK_a et pK_{aH} données pour les groupes fonctionnels. Indiquez quelles molécules seront dans la phase organique et lesquelles dans la phase aqueuse à chaque pH. Indication: l'eau dissout mieux les molécules chargées que les molécules neutres. (12 points)

Décrivez la procédure que vous utiliseriez pour séparer les molécules (3 points).



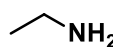
Acide benzoïque

$pK_a = 4.2$



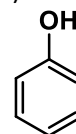
Methyl benzoate

$pK_a > 40$



Ethyl amine

$pK_{aH} = 11$



Phenol

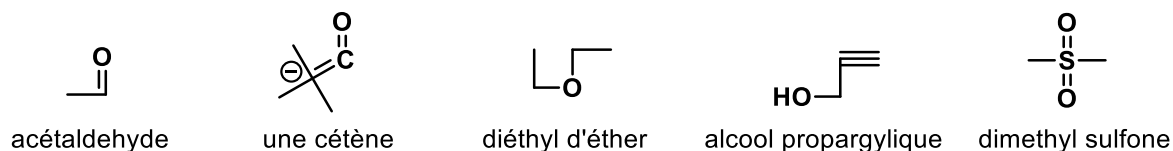
$pK_a = 10$

Cours Atomes, ions, molécules et fonctions I

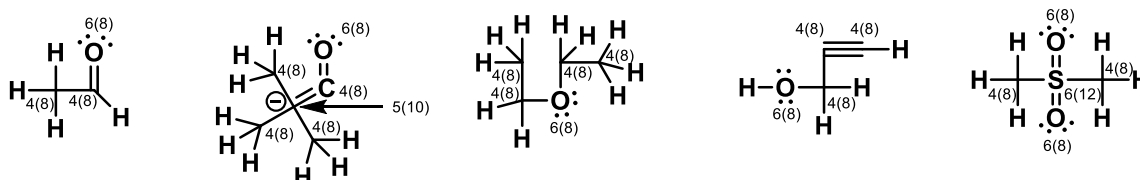
Solutions Exercices_Séance n°1_26 novembre 2021

Exercice 1 (15 points)

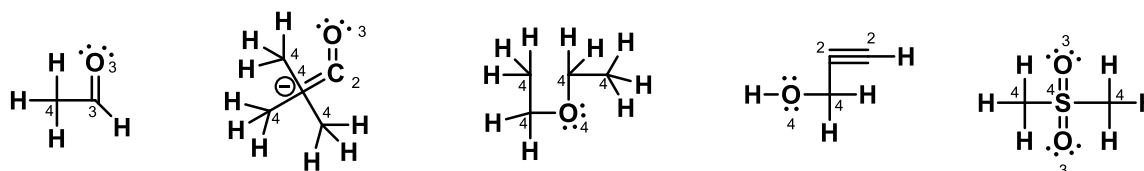
Pour les composés suivants, complétez les structures par les atomes de H et les paires d'électrons manquantes, puis proposez une structure plus précise en trois dimensions à l'aide du modèle VSEPR. (11 points)



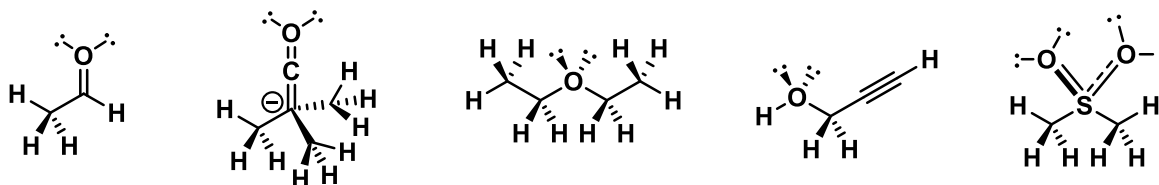
Etape 1: En utilisant les valences des atomes, ajouter les atomes d'hydrogène et les paires d'électrons manquantes. Par convention en chimie organique, seuls les atomes d'hydrogène sur les atomes de carbone ne sont pas dessinés. Contrôler soigneusement les électrons de valence et la règle de l'octet (les électrons contribuant à l'octet sont indiqués entre parenthèse ci-dessous). L'exception est l'hydrogène, qui a un électron de valence et 2 électrons pour atteindre la structure de l'hélium (1(2), non dessiné pour ne pas surcharger le dessin)). Les électrons de valence sont ceux directement liés à l'atome (les paires d'électrons et un électron de chaque liaison). Pour contrôler l'octet, les 2 électrons des liaisons sont comptés.



Etape 2: Compter le nombre de substituants liés à chaque atome. Attention, les paires d'électrons comptent également comme substituants! (l'hydrogène a seulement un substituant, pas dessiné pour ne pas surcharger le dessin)

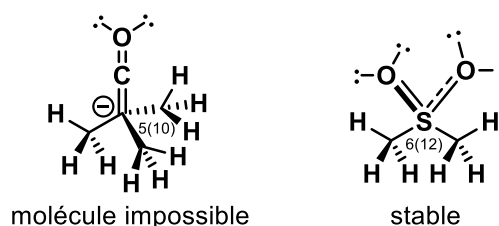


Etape 3: En utilisant le modèle VSEPR, dessiner la géométrie correcte (4 substituants = tétraédrique, 3 substituants = trigonal, 2 substituants = linéaire). La meilleure façon de limiter les répulsions électron-électron pour les longues chaînes est la structure en zig-zag ci-dessous.



[Barème : 1 point pour la justification : 4 substituants = tétraédrique, 3 substituants = trigonal, 2 points pour chaque structure (- 1 point par centre incorrect). 11 points au total]

Deux molécules ne suivent pas la règle de l'octet: lesquelles? L'une des deux molécules est pourtant très stable, et l'autre par contre ne peut pas exister. Identifier les deux cas et justifier votre réponse. (4 points)



En regardant l'étape 1, on voit que la règle de l'octet n'est pas respectée pour deux molécules: la cétène et le diméthyl sulfone, qui ont respectivement 10 électrons et 12 électrons sur le carbone et le soufre. Le carbone appartient à la première-deuxième rangée: étendre l'octet n'est pas possible pour ce petit atome: cette molécule ne peut donc pas exister. Par contre le soufre appartient à la 3^{ème} rangée, c'est un grand atome pour lequel la règle de l'octet n'est plus valable. Le diméthyl sulfone est en effet une molécule stable. C'est un solide cristallin que l'on peut trouver naturellement dans certaines plantes et qui est utilisé comme additif alimentaire.

[Barème : 2 points pour la réponse, 2 points pour la justification]

Remarque: Les 3 étapes décrites dans cet exercice sont très importantes en chimie organique et seront réutilisées pratiquement pour tous les exercices, même si elles ne seront plus décrites autant en détails. Avec l'expérience, vous serez capable de passer directement à la structure finale.

Exercice 2 (19 points)

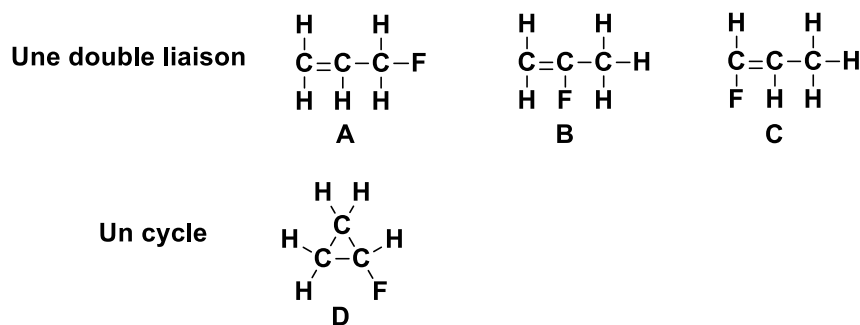
a) Déterminer le degré d'insaturation et dessiner les isomères de constitution pour la formule brute C_3H_5F . (11 points).

Etape 1 : Valences : C = 4, H = 1, F = 1, Donc 3 atomes avec 4 électrons de valence libre et 6 atomes avec 1 électron de valence libre.

Etape 2 : Degré d'insaturation : $I = (2 + 2 * 3 - 1 * 6) / 2 = 1$: donc un degré d'insaturation (une double liaison ou un cycle).

[barème : 1 point pour la formule et les valences et 1 point pour la réponse]

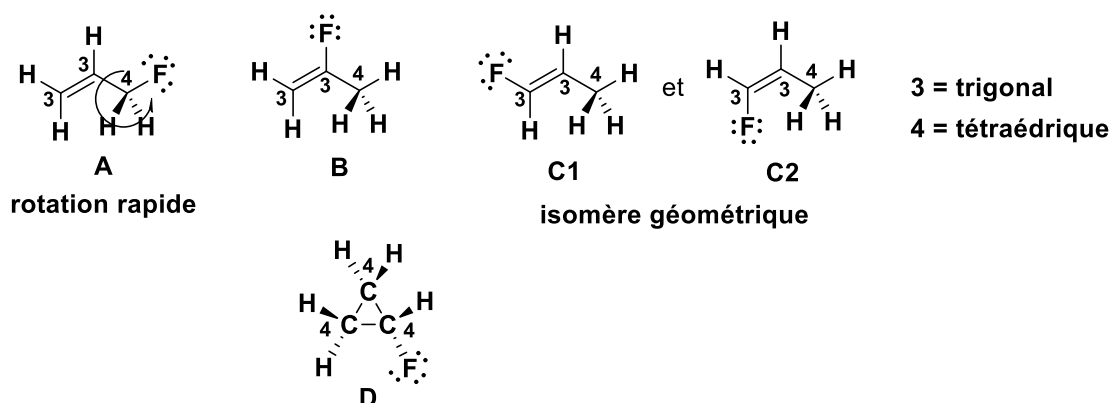
Etape 3 : Dessiner les connectivités possibles :



Avec l'aide du degré d'insaturation et des valences, il est possible de dessiner les isomères de constitution, ils doivent contenir soit une double liaison, soit un cycle. La double liaison doit être entre les atomes de carbone, il suffit ensuite de déplacer l'atome de fluor pour obtenir les différentes possibilités (3 possibilités, déplacer la double liaison conduit au même résultat). Une seule molécule cyclique est possible.

[barème : 1 point par isomère (4 points)]

Etape 4 : Passer en trois dimensions avec VSEPR :



Les carbones avec 3 substituants sont trigonaux, les carbones avec 4 substituants sont tétraédriques. Les structures en 3 dimensions font apparaître également d'autres possibilités d'isomérisie qui seront discutées en détail dans la deuxième partie du cours : les conformations obtenues en tournant autour des liaisons simples (un procédé très rapide à température ambiante qui ne résulte pas en des molécules qui peuvent être isolées) et les isomères de géométrie pour les doubles liaisons, qui sont stables à température ambiante.

[barème : 1 point pour la justification : 4 substituants = tétraédrique, 3 substituants = trigonal, 1 point par structure (4 points). La description des isomères de géométrie n'est pas encore requise à ce point du cours]

b) Dessiner au moins 3 isomères de constitution pour H_3PO_4 . Analysez vos propositions du point de vue de la stabilité : est-ce que l'une de vos structures est particulièrement probable/stable ? Si non, essayez de proposer une structure plus stable (il n'existe en réalité qu'un seul isomère de constitution stable). La structure en trois dimensions n'est pas demandée pour cet exercice. (8 points)

Attention : la formule pour le degré d'insaturation n'est valable que pour les éléments de la première et deuxième rangée, car elle résulte de l'octet.

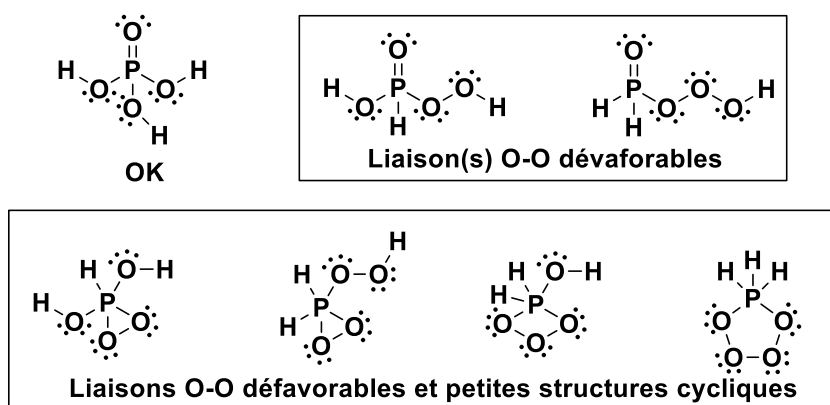
De toutes les solutions possibles soit avec 3 liaisons sur P ou 5 liaisons (possible pour la 3^{ème} rangée !), une seule ne présente ni liaisons O-O ou petites structures cycliques défavorables. C'est en fait la structure « réelle » de l'acide phosphorique. Comme nous sommes maintenant dans la troisième rangée, il n'est plus nécessaire de suivre l'octet : la structure de résonance avec des charges n'est pas incorrecte, mais moins importante que celle avec la double liaison $\text{P}=\text{O}$.

En tenant compte du fait que le phosphore peut accepter plus d'électrons que l'octet, on peut également appliquer la formule pour le degré d'insaturation, mais avec deux valeurs différentes pour le nombre de liaisons pour P : 3 et 5. Dans le cas d'une valence à 5, le nombre à rajouter est 3 par atome (en général, ce nombre est valence-2). On obtient alors les résultats suivants pour H_3PO_4 : pour P avec 3 liaisons : $(2 + 1 \cdot 1 + 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1) / 2 = 0$ et pour P avec 5 liaisons : $(2 + 1 \cdot 3 + 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1) / 2 = 1$. En regardant les solutions, on voit que cela est effectivement correct (Attention : pour la structure de résonance contenant les charges +/-, il faut également compter une liaison ionique entre le plus et le moins !)

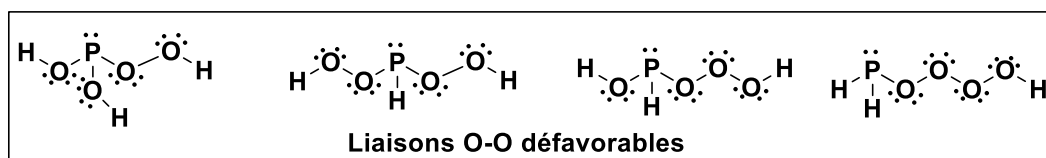
Finalement, un autre fait important non discuté en cours est que les liaisons entre atomes de taille très différentes sont faibles et défavorables (liaison P-H), ce qui renforce encore l'instabilité de certains isomères.

[barème : 1 point par structure correct + 1 point pour l'analyse (6 points), 2 points pour la structure la plus stable avec justification. -0.5 point global si les structures avec séparation de charge sont utilisées.]

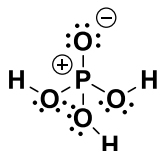
1) Avec 5 liaisons et sans paire d'électrons sur P (possible pour la 3ème rangée!).



2) Avec 3 liaisons et une paire d'électrons sur P.



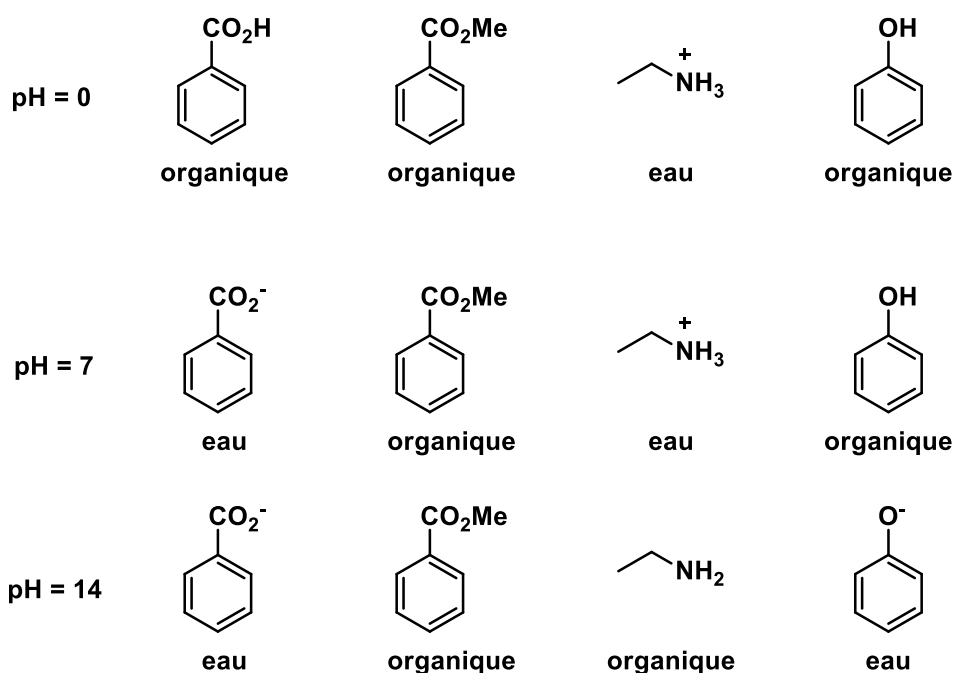
Structure de résonance également correcte mais moins importante:



Exercice 3 (15 points)

Les molécules suivantes sont utilisées dans le TP séparation par extraction

Dessiner la structure majoritaire à pH 0, 7 et 14 en vous basant sur les valeurs pK_a et pK_{aH} données pour les groupes fonctionnels. Indiquez quelles molécules seront dans la phase organique et lesquelles dans la phase aqueuse à chaque pH. Indication: l'eau dissout mieux les molécules chargées que les molécules neutres.



Les structures résultent directement de la définition de pK_a et pK_{aH} :

Le groupe fonctionnel est protoné si le pH est plus bas que le pK_a ou le pK_{aH} . Si le pK_a est donné, cela signifie que la structure dessinée est protonée. Si le pK_{aH} est donné, cela signifie que la structure déprotonée est dessinée !

[barème : 0.5 point pour chaque structure correcte et 0.5 point pour la phase]

Pour séparer les molécules, on peut procéder de la sorte:

1) Dissoudre le mélange dans une phase organique et extraire avec une phase aqueuse à pH 0. Séparer les phases. L'éthyl amine pure se trouve dans la phase aqueuse. Elle peut être récupérée pure en basifiant la phase aqueuse à 14, suivi par extraction avec un solvant organique et distillation fractionnée.

2) Extraire la phase organique contenant encore 3 molécules avec de l'eau à pH 7. Séparer les phases. L'acide benzoïque pure se trouve dans la phase aqueuse. Il peut être récupéré pur en acidifiant la phase aqueuse à 0, suivi par extraction avec un solvant organique et évaporation.

3) Extraire la phase organique contenant encore 2 molécules avec de l'eau à pH 14. Séparer les phases. Le phénol pur se trouve dans la phase aqueuse. Il peut être récupéré pur en acidifiant la phase aqueuse à 7, suivi par extraction avec un solvant organique et évaporation. La phase organique restante contient maintenant le méthyl benzoate, qui peut être récupéré pur après évaporation.

[barème : 3 points]

EPFL ISIC
 Prof. Jérôme Waser
 Bât BCH 4306
 CH 1015 Lausanne

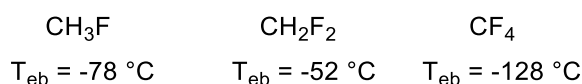
Téléphone +4121 693 93 88
 E-mail : jerome.waser@epfl.ch
 Site web : <http://lcs0.epfl.ch>

Cours Chimie Générale I, Partie Organique
Exercices_Séance n°2, 3 décembre 2021

Exercice 1 (13 points)

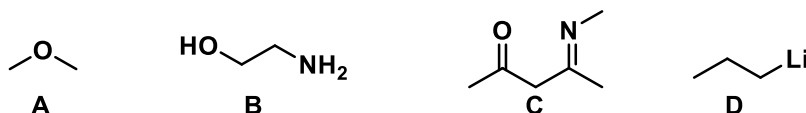
Pour les 3 composés suivants :

- 1) Dessiner la structure en 3 dimensions avec les charges partielles induites par l'électronégativité des atomes. (3 points)
- 2) Dessiner les dipôles induits par la polarité des liaisons. La taille relative des dipôles doit être respectée. Dessiner ensuite le dipôle global de la molécule. (3 points)
- 3) Indiquer l'état d'oxydation des atomes. (3 points)
- 4) Ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). **Justifiez vos réponses.** (2 points)
- 5) Essayer de rationaliser les points d'ébullition par rapport à votre analyse. (2 points)



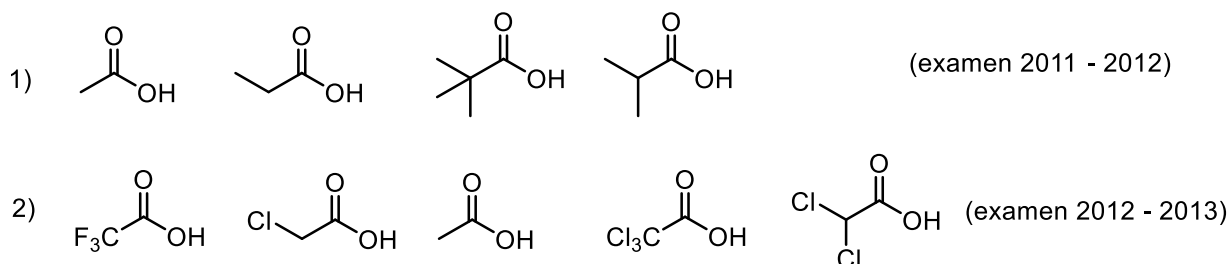
Exercice 2 (36 points)

Pour les molécules suivantes, déterminer les positions nucléophiles et électrophiles. Dessiner le flux des électrons avec des flèches pour les réactions avec H^+ comme électrophile et OH^- comme nucléophile. S'il y a plusieurs positions nucléophiles/électrophiles, classifiez-les en classes I, II ou III. Si vous avez plusieurs positions dans la même classe, déterminer leur force relative et justifier votre choix.

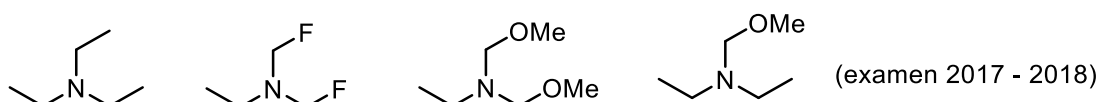


Exercice 3 (12 points)

A) Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). **Justifiez vos réponses.** (8 points)



B) Pour chaque série, ranger les composés par ordre de basicité croissante (pK_{AH} croissant). **Justifiez vos réponses.** (4 points)



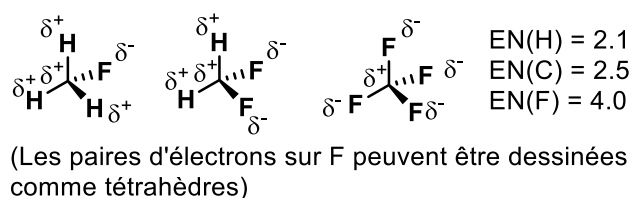
EPFL ISIC Téléphone: +4121 693 93 88
 Prof. Jérôme Waser Fax : +4121 693 97 00
 Bât BCH 4306 E-mail : jerome.waser@epfl.ch
 CH 1015 Lausanne Site web : <http://lcsso.epfl.ch>

Cours Chimie Générale I, Partie Organique
Exercices_Séance n°2, 3 décembre 2021 - Solutions

Exercice 1 (13 points)

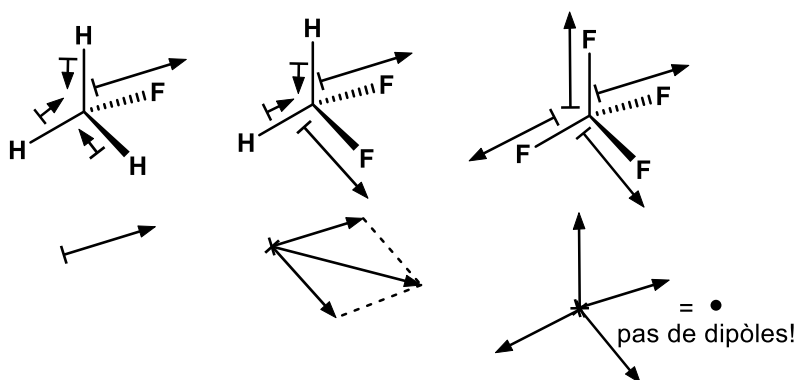
Pour les 3 composés suivants :

1) Dessiner la structure en 3 dimensions avec les charges partielles induites par l'électronégativité des atomes. (3 points)



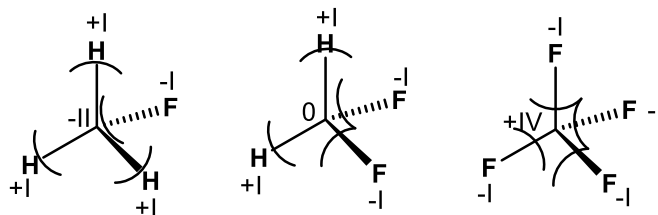
En utilisant la notation de Lewis et les électronégativités des atomes, on obtient les charges partielles indiquées. Pour déterminer la charge partielle sur un atome donné, c'est la liaison la plus polaire qui est déterminante.

2) Dessiner les dipôles induits par la polarité des liaisons. La taille relative des dipôles doit être respectée. Dessiner ensuite le dipôle global de la molécule. (3 points)



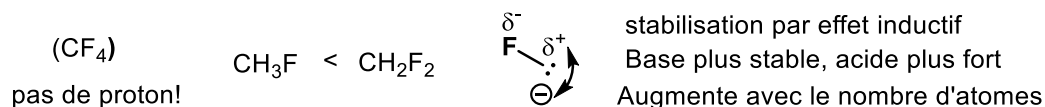
La polarisation est plus forte entre le fluor et le carbone ($\Delta EN = 1.5$), qu'entre le carbone et l'hydrogène ($\Delta EN = 0.4$). Cela permet d'estimer la taille des dipôles et de faire leur addition vectorielle. On remarque alors que le CF_4 n'a pas de dipôle global.

3) Indiquer l'état d'oxydation des atomes. (3 points)



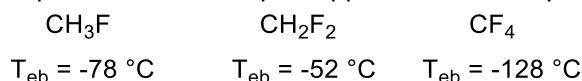
L'état d'oxydation peut ensuite être déterminé en attribuant dans chaque liaison les deux électrons à l'atome le plus électronégatif. L'état d'oxydation correspond ensuite à la différence par rapport à la valence (4 électrons pour C, 1 pour H, 7 pour F).

4) Ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). **Justifiez vos réponses.** (2 points)



[Barème : 1 point pour la réponse, 1 point pour l'effet inductif, 1 point l'effet de nombres]

5) Essayer de rationaliser les points d'ébullition par rapport à votre analyse. (2 points)



Pour rationaliser le point d'ébullition, il ne faut plus considérer les liaisons entre les atomes, mais bien les interactions entre les molécules. Deux interactions sont importantes :

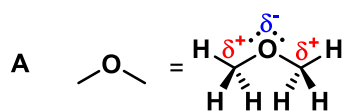
- Les forces de dispersion (London, Van der Waals) qui augmentent avec la surface des molécules, donc avec leur taille. Les masses moléculaires de 34, 52 et 88 donnent une première idée de la taille, car toutes les molécules ont le même nombre d'atomes.
- Les interactions dipolaires, qui ne sont possible qu'entre molécules polarisées : Le CF_4 n'est pas polarisé et n'a donc pas d'effet dipolaire.

L'effet de taille sur le point d'ébullition se voit le mieux en comparant CH_3F et CH_2F_2 qui ont des dipôles pas très différents. Le point d'ébullition très bas de CF_4 s'explique par le fait que cette molécule soit la seule sans dipôles.

Exercice 2 (36 points)

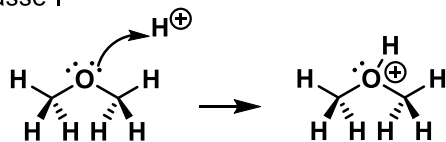
Pour les molécules suivantes, déterminer les positions nucléophiles et électrophiles. Dessiner le flux des électrons avec des flèches pour les réactions avec H^+ comme électrophile et OH^- comme nucléophile. S'il y a plusieurs positions nucléophiles/électrophiles, déterminer leur ordre d'importance. Justifier votre choix.





1) Comme nucléophile

classe I



(2 points)

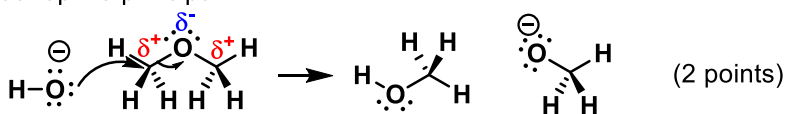
pas de classe II/III

2) Comme électrophile

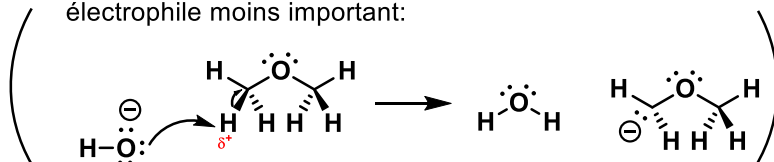
Pas de classe I, II

classe III

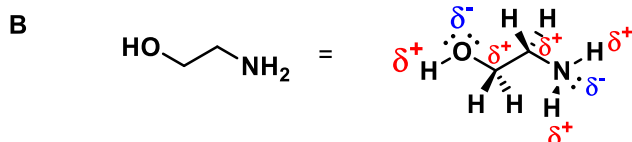
électrophile principal



électrophile moins important:

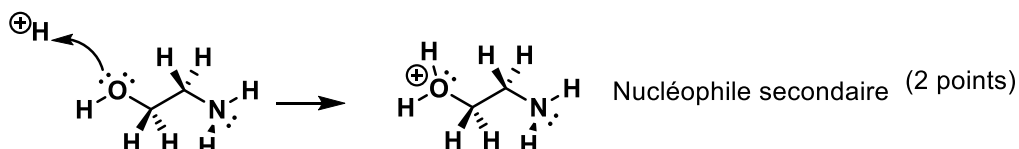
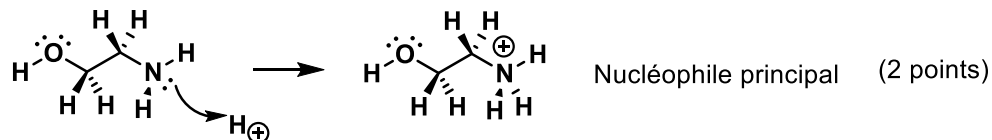


L'attaque sur la liaison C-O est favorisée, car elle est plus polarisée que la liaison C-H. De plus, la charge moins se trouve sur un oxygène plus électronégatif après la réaction, qui stabilise mieux les électrons. (1 point)



1) Comme nucléophile

classe I



N est le nucléophile le plus fort, car il est moins électronégatif. La charge positive après la réaction est mieux stabilisée sur l'azote. Cet effet domine sur la charge partielle négative légèrement plus élevée sur l'oxygène. (1 point)

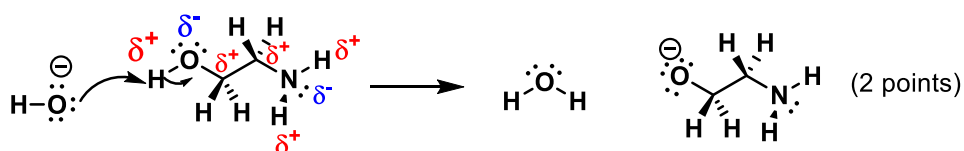
pas de classe II/III

2) Comme électrophile

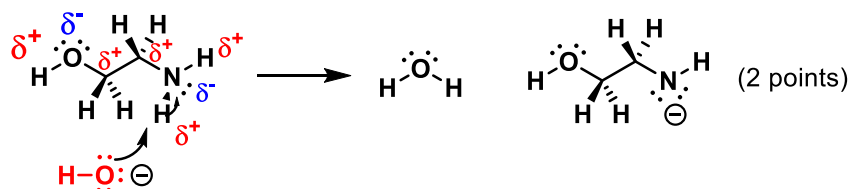
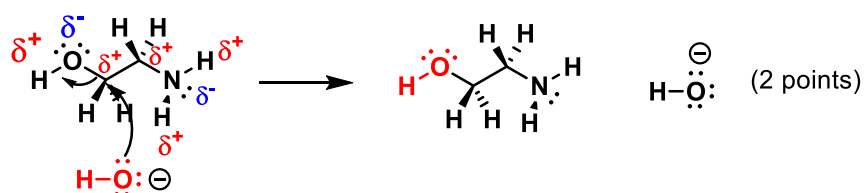
Pas de classe I, II

L'analyse est ici plus compliquée, on a les différences d'électronégativité: O-H (1.4) > C-O (1.0), N-H (0.9) > C-N (0.5), C-H (0.4). Il fait sens de considérer uniquement le cas des 3 liaisons les plus polarisées:

électrophile principale

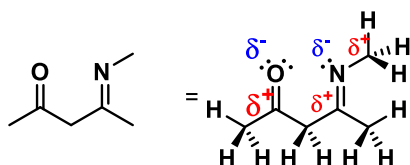


électrophiles secondaires



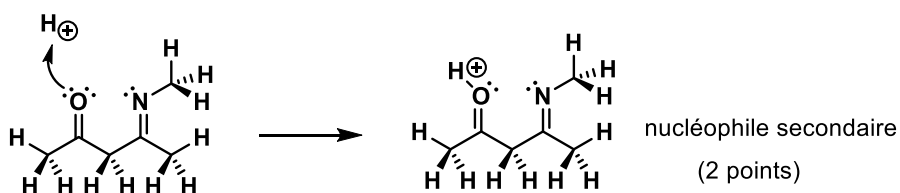
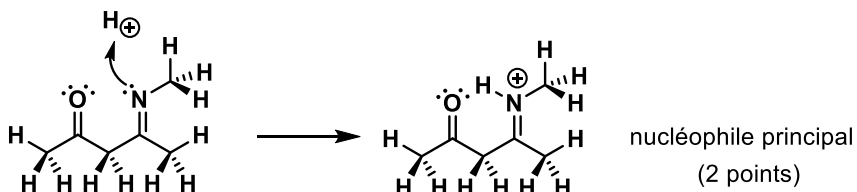
Ces 2 positions sont certainement moins électrophiles et il y a peu de différence de polarisation entre elles. (1 point)
La seconde réaction sur l'azote est probablement moins favorable, car la charge négative se retrouve sur un azote moins électronégatif.

C



1) Comme nucléophile

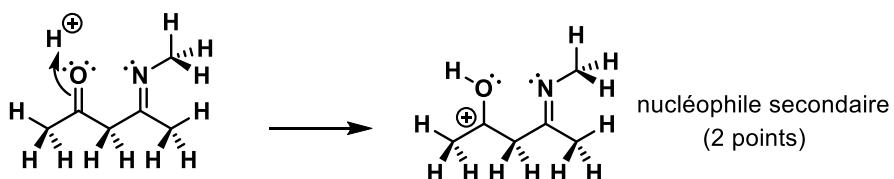
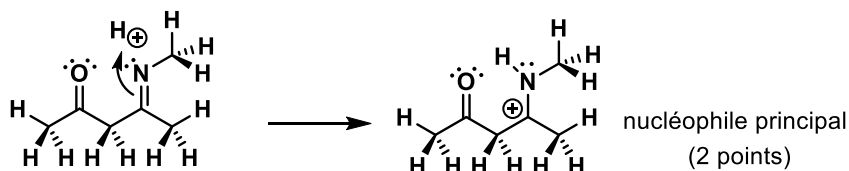
classe I



N est le nucléophile le plus fort, car il est moins électronégatif. La charge positive après la réaction est mieux stabilisée sur l'azote. Cet effet domine sur la charge partielle négative légèrement plus élevée sur l'oxygène.

(1 point)

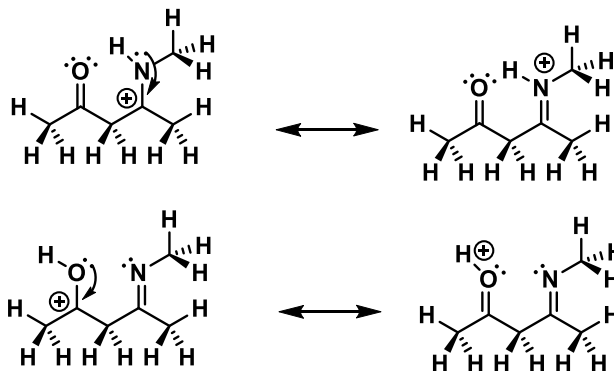
classe II:



La charge plus se retrouve à chaque fois sur le carbone moins électronégatif. Elle est favorisée à côté de l'azote moins électronégatif.

Remarque: dans ce cas particulier les 2 types de nucléophiles conduisent aux mêmes produits, car les électrons peuvent se délocaliser par résonance. Cela sera discuté dans le chapitre 4 du cours.

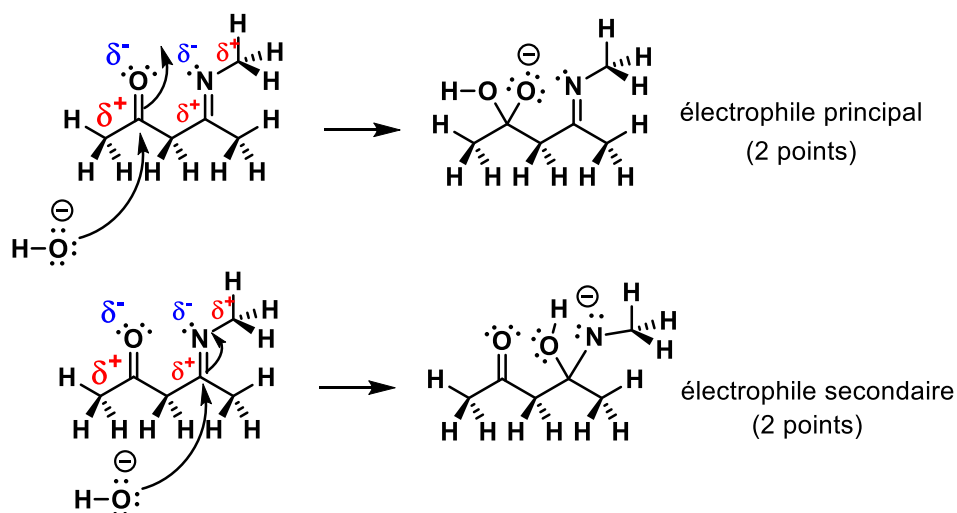
(1 point)



2) Comme électrophile

Pas de classe I

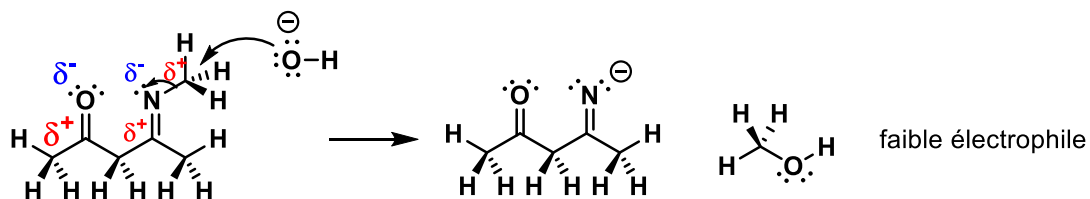
Classe II



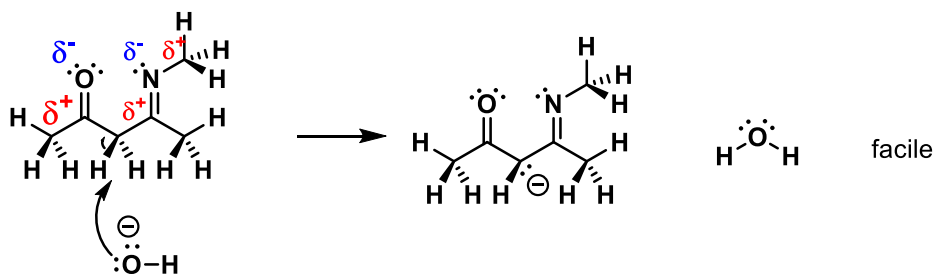
La réaction avec le carbonyl est favorisée à cause de la plus forte polarisation et de la stabilisation de la charge négative sur l'oxygène plus électronégatif.
(1 point)

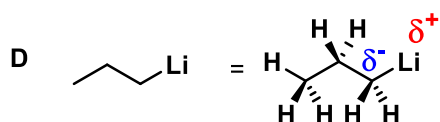
Classe III

Basé sur la polarisation des liaisons, pas d'électrophile fort. Le mieux serait la liaison C-N.



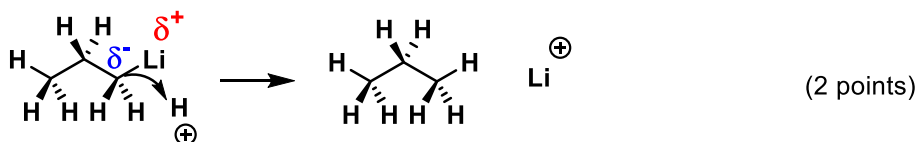
Une des liaisons C-H réagit cependant de façon aisée. Cela ne peut pas être expliqué par l'électronégativité des atomes. La stabilisation de la charge négative est due à la présence de structures de résonances, que nous verrons au chapitre 4.





1) Comme nucléophile

Pas de classes I et II.
classe III

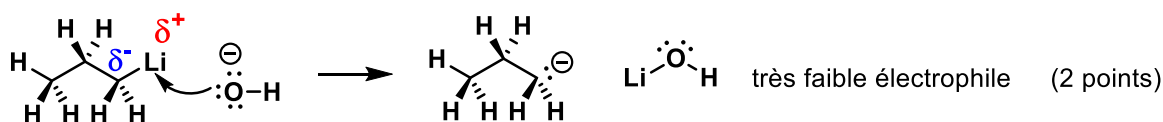


La liaison C-Li très polarisée est un cas rare de nucléophile de classe III.

2) Comme électrophile

Pas de classes I et II

Classe III

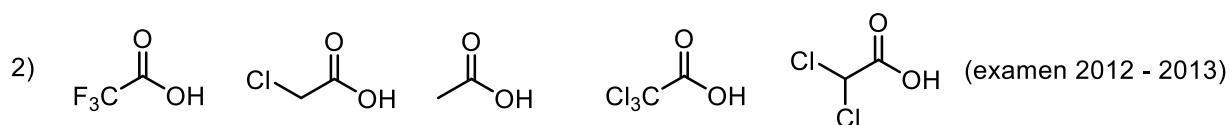
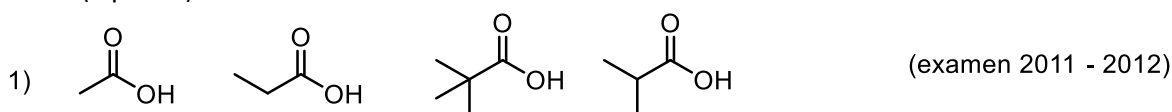


Seule la liaison Li-C est polarisée de manière significative. Cependant, la réaction conduit à une charge négative sur un carbone, beaucoup moins favorable que la situation de départ avec une charge sur l'oxygène plus électronégatif. De manière générale, le caractère électrophile de cette molécule peut être négligé: elle réagira exclusivement comme nucléophile.

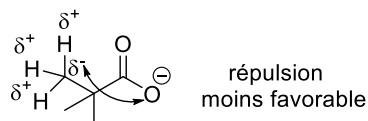
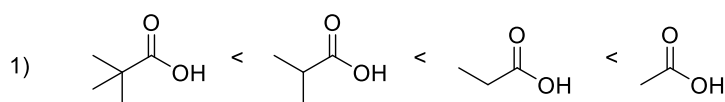
Exercice 3 (12 points)

Remarques : Les solutions indiquées ci-dessous correspondent au minimum nécessaire pour obtenir le maximum de points à l'examen. Il n'est en effet pas du tout nécessaire de justifier avec de longues phrases quand quelques mots clés peuvent suffire !

A) Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). **Justifiez vos réponses.** (8 points)

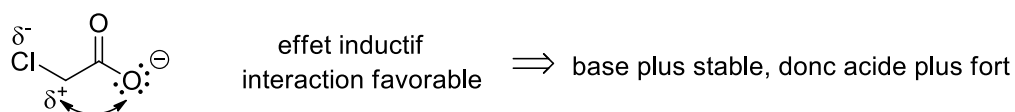
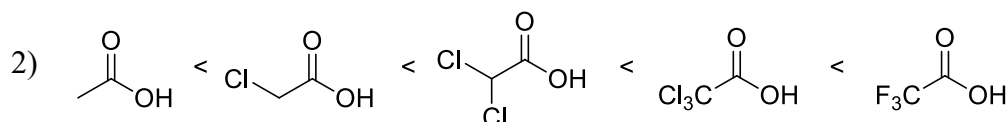


Réponses



⇒ Chaque CH₃ rend la base moins stable, donc l'acide plus faible

[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 1.5 points pour le dessin, 1.5 points pour la conséquence sur l'acidité.]



⇒ base plus stable, donc acide plus fort

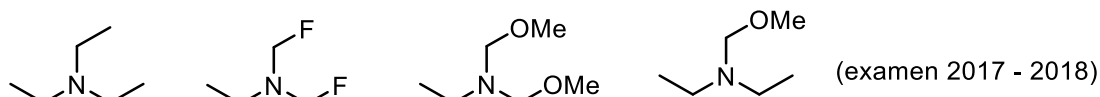
Electronégativité: C < Cl < F

Effet additif, donc plus acide avec plus de Cl

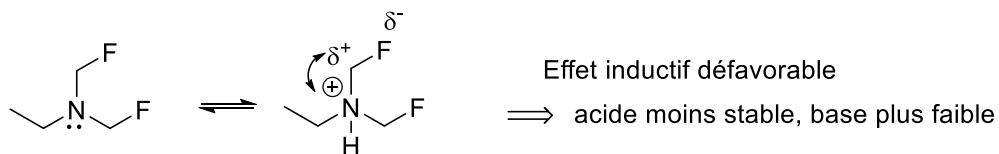
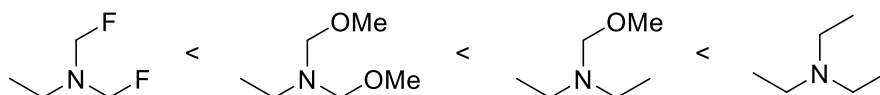
F est plus électronégatif, donc effet plus fort

[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour le dessin de l'effet inductif, 1 point pour l'influence sur l'acidité et l'effet additif (0.5 chaque), 1 point pour la différence Cl/F basée sur l'électronégativité]

B) Pour chaque série, ranger les composés par ordre de basicité croissante (pK_{AH} croissant). **Justifiez vos réponses.** (4 points)



(examen 2017 - 2018)



⇒ acide moins stable, base plus faible

EN(F) > EN(O): effet inductif plus important pour F que OMe

⇒ acide plus stable avec OMe, base plus forte

Effet inductif augmente avec le nombre

⇒ acide plus stable avec 1 OMe que 2, base plus forte

[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour le dessin de l'effet inductif, 1 point pour l'effet de l'électronégativité, 1 point pour l'effet du nombre]

EPFL ISIC
Prof. Jérôme Waser
Bât BCH 1402
CH 1015 Lausanne

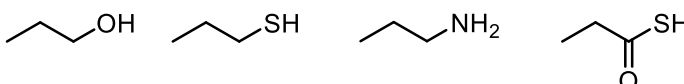
Téléphone +4121 693 93 88
E-mail : jerome.waser@epfl.ch
Site web : <http://lcsso.epfl.ch>

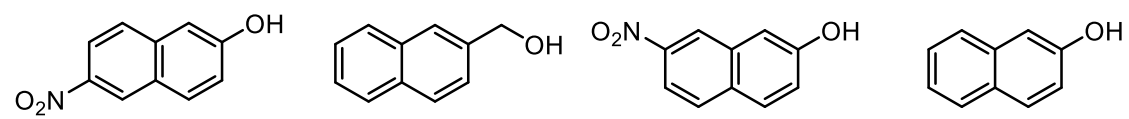
Cours Chimie Générale Avancée I
Exercices_Séance n°3, 10 décembre 2021

Exercice 1 (12 points)

A) Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). **Justifiez vos réponses.** (12 points)

1) $HClO_2$, $HClO_4$ (examen 2017- 2018)

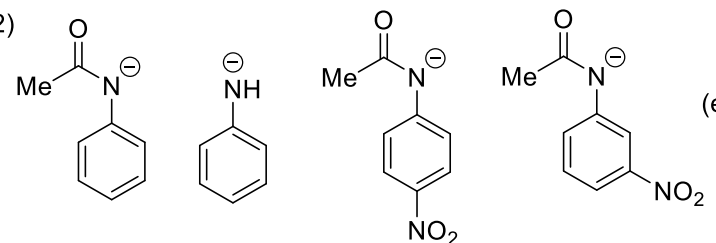
2)  (examen 2019- 2020)

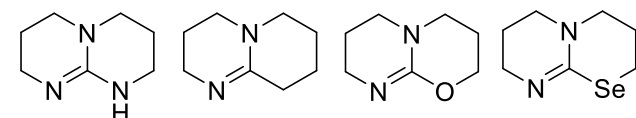
3)  (examen 2019- 2020)

Exercice 2 (12 points)

Pour chaque série, ranger les composés par ordre de basicité croissante (pK_{AH} croissant). **Justifiez vos réponses.** (12 points)

1) BrO_2^- , BrO_4^- (examen 2019-2020)

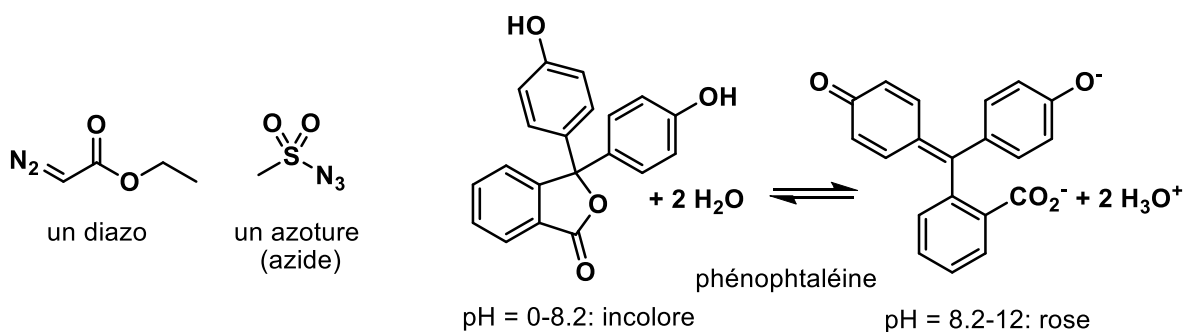
2)  (examen 2018-2019)

3)  (examen 2018-2019)

Exercice 3 (13 points)

1) Dessiner les structures de résonance les plus importantes pour le diazo et l'azoture. (9 points)

2) La phénophtaléine est un indicateur utilisé dans les TP pour les titrations : essayez de rationaliser pourquoi cette molécule est incolore en milieu acide et colorée en milieu basique en vous basant sur votre analyse des structures de résonance. (Indication : quand les électrons sont délocalisés dans un espace plus grand, les états d'énergies se rapproche et la molécule peut absorber de la lumière visible, vous devez donc argumenter par rapport aux structures de résonance présentes dans les deux structures de la phénophtaléine) (4 points)



EPFL ISIC
 Prof. Jérôme Waser
 Bât BCH 1402
 CH 1015 Lausanne

Téléphone: +4121 693 93 88
 Fax : +4121 693 97 00
 E-mail : jerome.waser@epfl.ch
 Site web : <http://lcsso.epfl.ch>

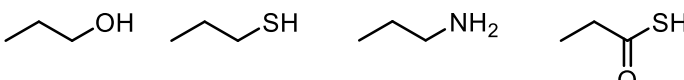
Cours Chimie Générale Avancée I
Exercices_Séance n°3, 10 décembre 2021 Solutions

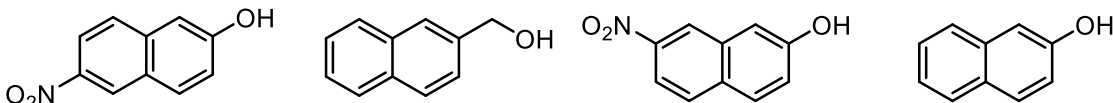
Exercice 1 (12 points)

Remarques : Les solutions indiquées ci-dessous correspondent au minimum nécessaire pour obtenir le maximum de points à l'examen. Il n'est en effet pas du tout nécessaire de justifier avec de longues phrases quand quelques mots clés peuvent suffire !

A) Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). **Justifiez vos réponses.** (12 points)

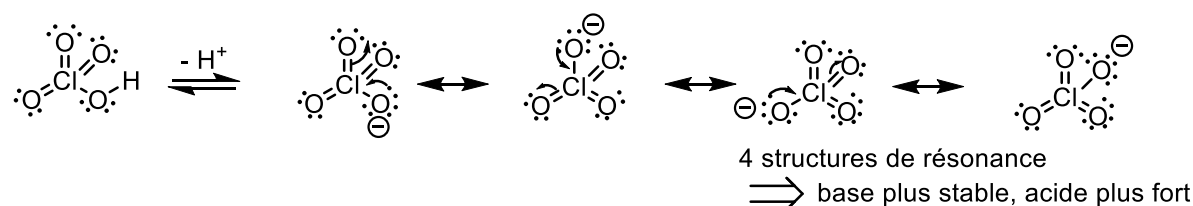
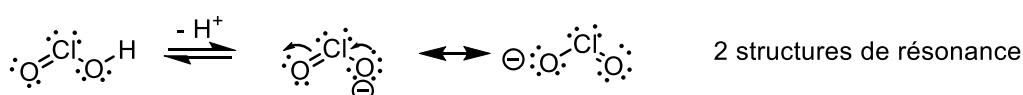
1) HClO_2 , HClO_4 (examen 2017- 2018)

2)  (examen 2019- 2020)

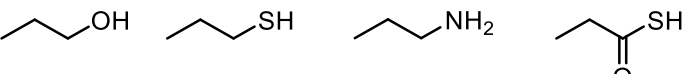
3)  (examen 2019- 2020)

Réponses

1) $\text{HClO}_2 < \text{HClO}_4$

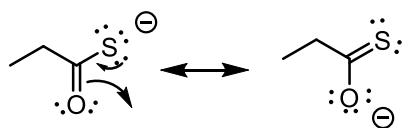


[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 2 points pour les structures de résonance, 1 point pour la justification. Remarque : indiquer le flux des électrons avec des flèches fait partie de la réponse]

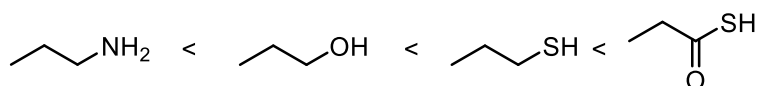
2) 

Taille de l'atome: $S > N, O$, charge négative mieux stabilisée, domine sur électronégativité
Base plus stable, acide plus fort

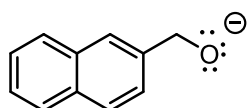
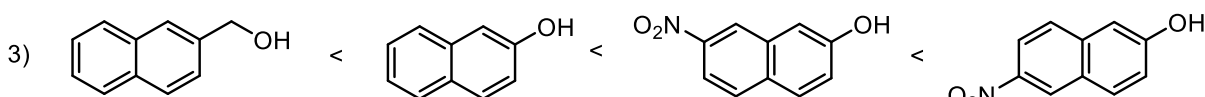
Électronégativité: $O > N$, charge négative mieux stabilisée sur atome électronégatif
Base plus stable, acide plus fort



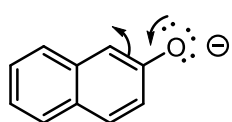
structure de résonance en plus: base plus stable, acide plus fort



[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour l'effet de taille avec justification, 1 point pour l'électronégativité avec justification, 1 point pour la résonance avec dessin]

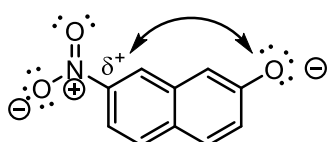


pas de résonance, base instable, acide faible

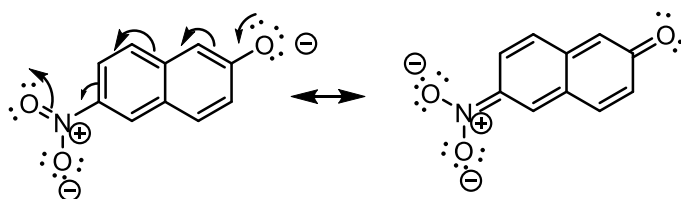


+ 4 résonance dans les cycles

nombreuses résonances, base stable, acide plus fort



pas de résonance en plus, mais effet inductif stabilisant
base plus stable, acide plus fort.



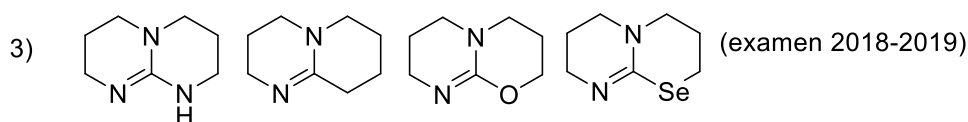
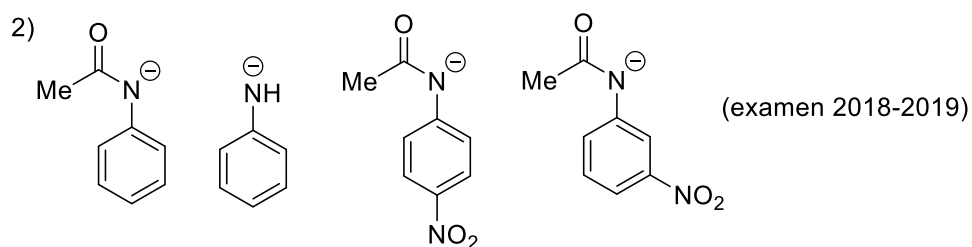
bonne résonance supplémentaire, effet plus fort que effet inductif
Base la plus stable, acide le plus fort.

[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour la résonance dans le cycle, 1 point pour l'effet inductif, 1 point pour la résonance avec le nitro]

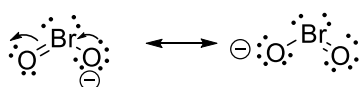
Exercice 2 (8 points)

B) Pour chaque série, ranger les composés par ordre de basicité croissante (pK_{AH} croissant). **Justifiez vos réponses.** (8 points)

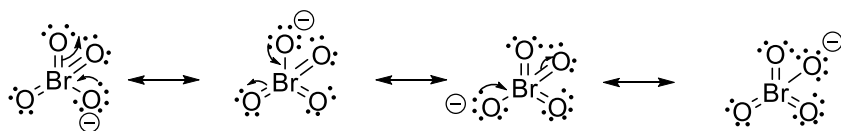
1) BrO_2^- , BrO_4^- (examen 2019-2020)



1) $\text{BrO}_4^- < \text{BrO}_2^-$



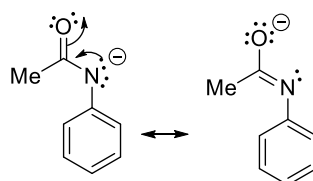
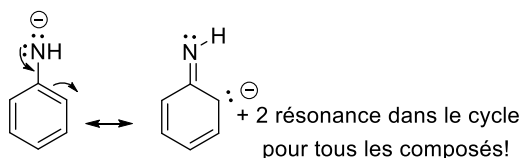
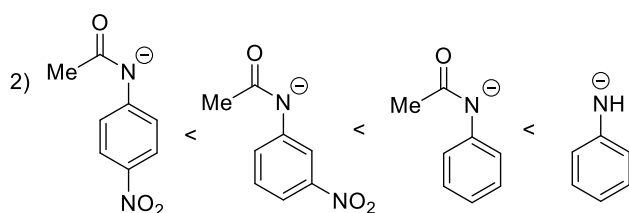
2 structures de résonance



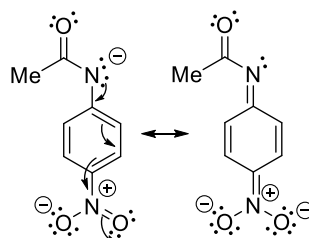
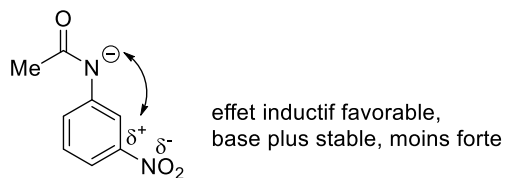
4 structures de résonance

$\Rightarrow$ base plus stable, moins forte

[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour la justification, 2 points pour les structures de Lewis avec résonance]

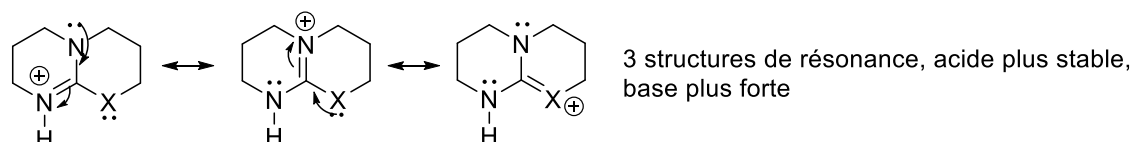
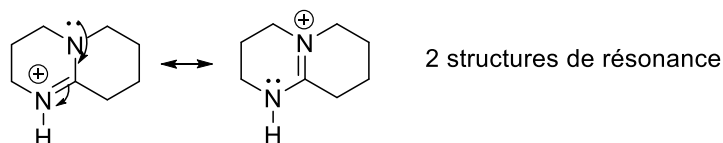
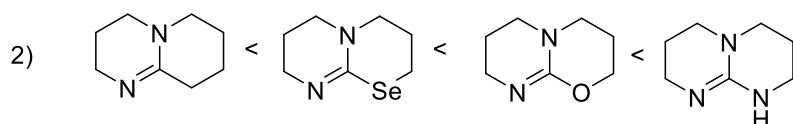


résonance supplémentaire
base plus stable, moins forte



bonne résonance supplémentaire
plus fort que l'effet inductif
base plus stable, moins forte

[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour la résonance de l'amide, 1 point pour l'effet inductif, 1 point pour la résonance du nitro. Remarque : indiquer le flux des électrons avec des flèches fait partie de la réponse]



3ème résonance plus faible pour Se (grand atome, mauvaise superposition des orbitales)

3ème résonance meilleures pour N que O (charge plus sur atome moins électronégatif)

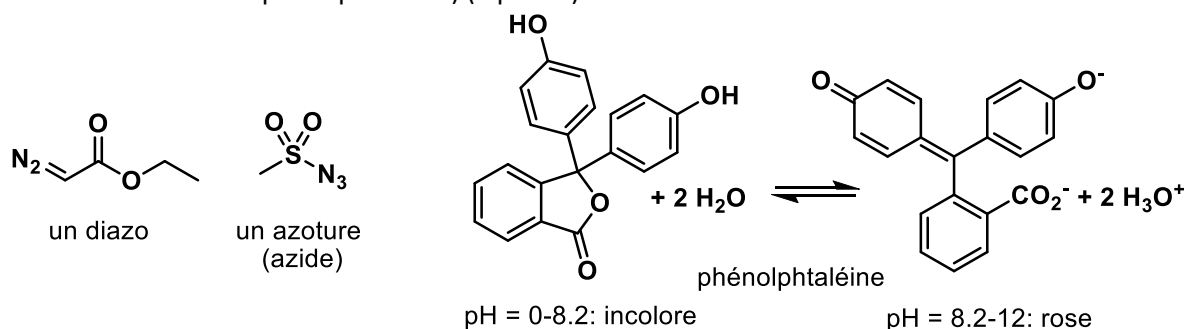
La protonation d'un autre azote n'est pas favorable, car il n'y a pas de structures de résonance.

[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 2 points pour les structures de résonance, 0.5 point pour l'effet de la taille, 0.5 point pour l'effet de l'électronégativité. Remarque : indiquer le flux des électrons avec des flèches fait partie de la réponse]

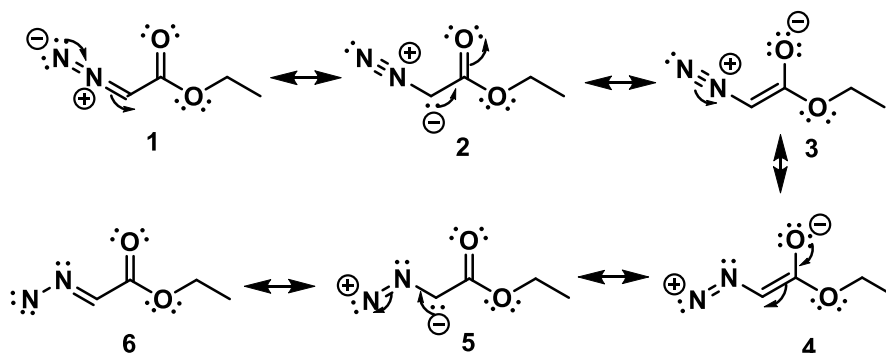
Exercice 3 (13 points)

1) Dessiner les structures de résonance les plus importantes pour le diazo et l'azoture. (9 points)

2) La phénolphthaléine est un indicateur utilisé dans les TP pour les titrations: essayez de rationaliser pourquoi cette molécule est incolore en milieu acide et colorée en milieu basique en vous basant sur votre analyse des structures de résonance. (Indication : quand les électrons sont délocalisés dans un espace plus grand, les états d'énergies se rapproche et la molécule peut absorber de la lumière visible, vous devez donc argumenter par rapport aux structures de résonance présentes dans les deux structures de la phénolphthaléine) (4 points)



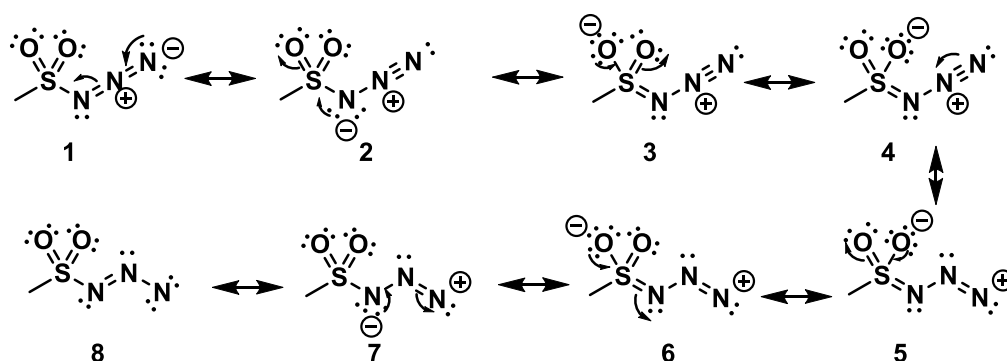
1)



Importance : **3>1>>2>6>4>5** Il n'est pas possible de dessiner les diazo sans charges formelles en préservant l'octet. Les structures **1-3** sont plus importantes car tous les atomes atteignent l'octet. Sur les structures **4 -6**, un des azotes n'a que 6 électrons. La classification à l'intérieur des 2 groupes se fait ensuite en rapport avec l'électronégativité de l'atome sur lequel se trouve la charge négative ($O > N > C$). **6** est favorisé par rapport à **4-5**, car il n'y a pas de charges partielles. De nombreuses autres structures de résonances auraient été possibles, mais seulement avec 4 charges formelles : leur importance aurait donc été faible.

(4 points)

[Barème : 0.5 point par structure et 1 point pour la justification. Remarque : indiquer le flux des électrons avec des flèches fait partie de la réponse]

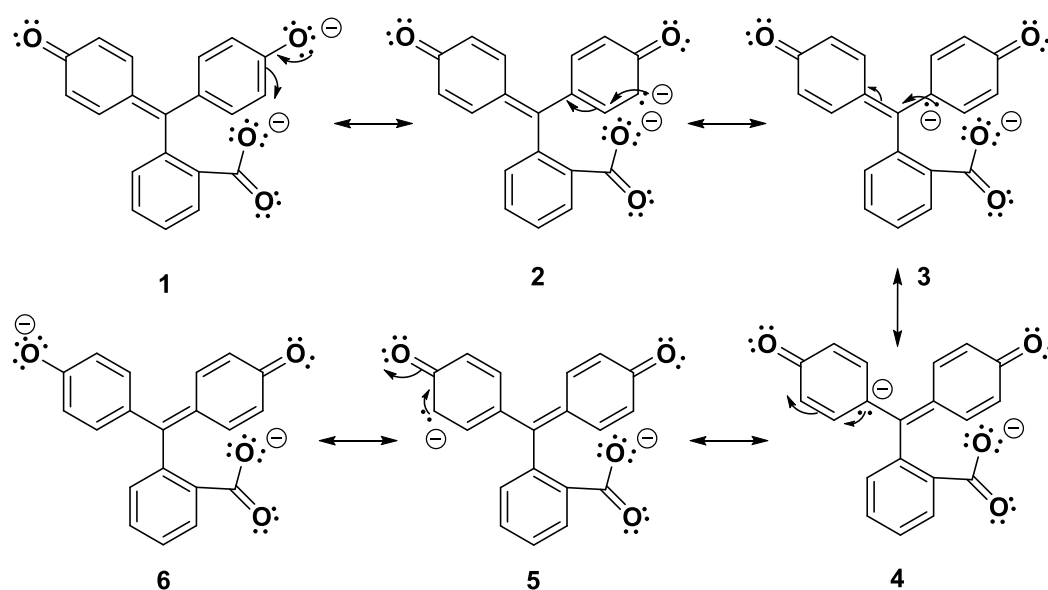


Importance : **3=4>1≈2>>8>5=6>7** Il n'est pas possible de dessiner les azotures sans charges formelles en préservant l'octet. Les structures **1-4** sont plus importantes car tous les atomes atteignent l'octet. Sur les structures **5-8**, un des azotes n'a que 6 électrons. La classification à l'intérieur des 2 groupes se fait ensuite en rapport avec l'électronégativité de l'atome sur lequel se trouve la charge négative ($O > N$). **8** est favorisé par rapport à **5-7**, car il n'y a pas de charges partielles. De nombreuses autres structures de résonances auraient été possibles, mais seulement avec 4 charges formelles : leur importance aurait donc été faible.

(5 points)

[Barème : 0.5 point par structure et 1 point pour la justification. Remarque : indiquer le flux des électrons avec des flèches fait partie de la réponse]

2)



résonances dans les cycles benzènes: identiques à l'autre forme!

La question sur la couleur nécessite de faire le lien avec la première partie du cours AIMF et les solutions de l'équation de Schrödinger pour la molécule dans la boîte. Lors du cours, il a été vu que les énergies possibles étaient inversement proportionnelles au carré de la longueur de la boîte. Plus la boîte est grande et plus les états d'énergies seront donc bas et rapprochés l'un de l'autre. A partir d'une certaine longueur, l'énergie nécessaire pour changer de niveau d'énergie va passer de la zone UV à visible. Il s'agit donc ici de voir quelle molécule a un système de structures de résonance très étendu. A $\text{pH} < 8.2$, les cycles benzènes ne "communiquent pas" : seul des structures de résonance dans le cycle ou avec les groupes hydroxy (OH) et ester (CO_2) sont possibles. Par contre, à $\text{pH} > 8.2$, un système de structures de résonance étendu relie les deux cycles benzènes du haut. Cette délocalisation étendue rapproche les états d'énergie et la molécule devient colorée. Elle peut donc être utilisée comme indicateur de pH.

(4 points)

[Barème : 0.5 point par structure et 1 point pour la justification. Remarque : indiquer le flux des électrons avec des flèches fait partie de la réponse]

EPFL ISIC
Prof. Jérôme Waser
Bât BCH 1402
CH 1015 Lausanne

Téléphone : +4121 693 93 88
Fax : +4121 693 97 00
E-mail : jerome.waser@epfl.ch
Site web : <http://lcsso.epfl.ch>

Chimie générale avancée I

Exercices_Séance n°4_17 décembre 2021

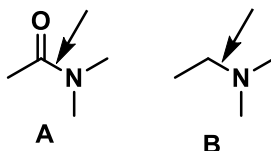
Exercice 1- Examen AIMF 2019-2020 (10 points)

Pour les molécules dessinées ci-dessous :

1) Pour les deux molécules, déterminer l'hybridation de tous les atomes et justifier votre choix en vous basant sur le modèle VSEPR. Si vous trouvez une ou plusieurs exceptions, justifiez la/les sur la base de structures de résonance. (3 points)

2) **Pour la molécule A uniquement**, dessinez les interactions liantes entre les orbitales atomiques de la molécule, sans diagramme d'énergie. Ajoutez les électrons de manière correcte dans toutes les orbitales. (2 points)

3) Pour la liaison C-N indiquée dans les molécules A et B, construisez les orbitales moléculaires à partir des orbitales atomiques. Dessinez les orbitales pour la liaison C-N des molécules A et B dans le même diagramme d'énergie, en prenant soin de montrer clairement des différences d'énergie (s'il y en a). L'une des deux liaisons C-N est plus courte que l'autre. Laquelle ? Justifier votre réponse par une interaction supplémentaire entre orbitales (5 points)



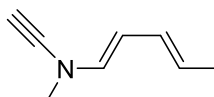
Exercice 2- Examen AIMF 2018-2019 (10 points)

Pour la molécule dessinée ci-dessous :

1) Déterminer l'hybridation de tous les atomes et justifier votre choix en vous basant sur le modèle VSEPR. Si vous trouvez une ou plusieurs exceptions, justifiez la/les sur la base de structures de résonance. (3 points)

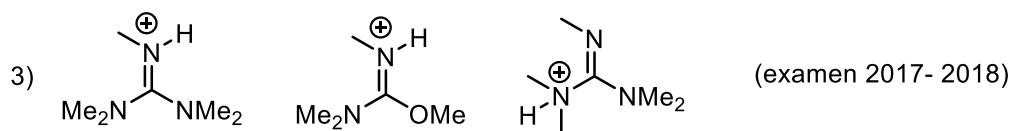
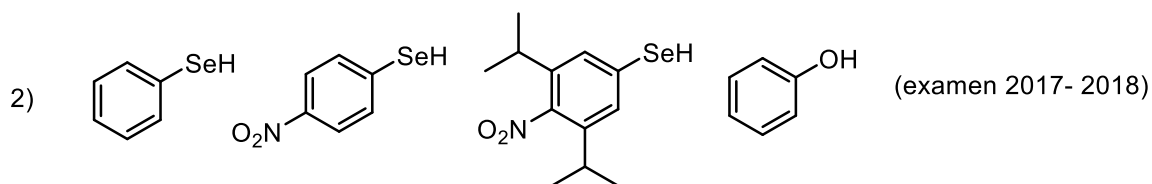
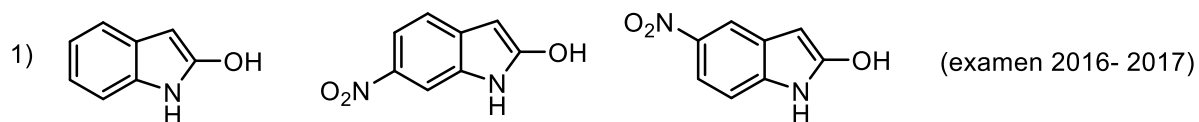
2) Dessinez les interactions liantes entre les orbitales atomiques de la molécule, sans diagramme d'énergie. Ajoutez les électrons de manière correcte dans toutes les orbitales. (3 points)

3) Cette molécule contient deux liaisons simples carbone-carbone. Laquelle des deux est la plus courte ? Justifiez votre réponse au moyen de structures de résonance et d'interactions entre orbitales. (4 points)



Exercice 3 (12 points) - Sélection de questions difficiles pour les acides

Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant).
Justifiez vos réponses. (12 points)



EPFL ISIC
Prof. Jérôme Waser
Bât BCH 1402
CH 1015 Lausanne

Téléphone : +4121 693 93 88
Fax : +4121 693 97 00
E-mail : jerome.waser@epfl.ch
Site web : <http://lcsio.epfl.ch>

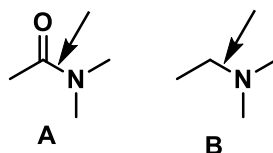
Chimie Générale Avancée I

Exercices_Séance n°4_17 décembre 2021-solutions

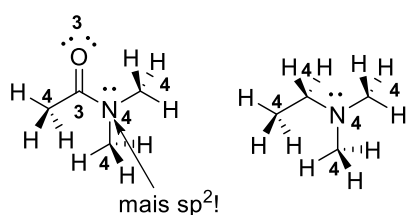
Exercice 1 - Examen AIMF 2019-2020 (10 points)

Pour les molécules dessinées ci-dessous :

- 1) Pour les deux molécules, déterminer l'hybridation de tous les atomes et justifier votre choix en vous basant sur le modèle VSEPR. Si vous trouvez une ou plusieurs exceptions, justifiez la/les sur la base de structures de résonance. (3 points)
- 2) **Pour la molécule A uniquement**, dessinez les interactions liantes entre les orbitales atomiques de la molécule, sans diagramme d'énergie. Ajoutez les électrons de manière correcte dans toutes les orbitales. (2 points)
- 3) Pour la liaison C-N indiquée dans les molécules A et B, construisez les orbitales moléculaires à partir des orbitales atomiques. Dessinez les orbitales pour la liaison C-N des molécules A et B dans le même diagramme d'énergie, en prenant soin de montrer clairement des différences d'énergie (s'il y en a). L'une des deux liaisons C-N est plus courte que l'autre. Laquelle ? Justifier votre réponse par une interaction supplémentaire entre orbitales (5 points)



1)



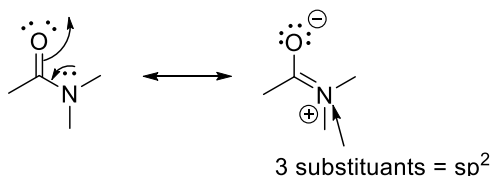
H = s

4 substituants = sp^3 (répulsion des électrons minimale selon VSEPR)

3 substituants = sp^2 (répulsion des électrons minimale selon VSEPR)

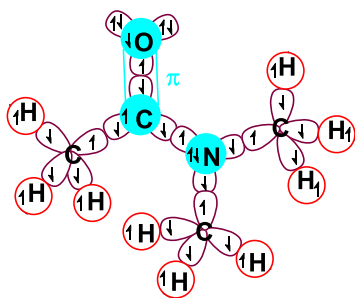
2 substituants = sp (répulsion des électrons minimale selon VSEPR)

1 exception: géométrie nécessaire aux structures de résonance



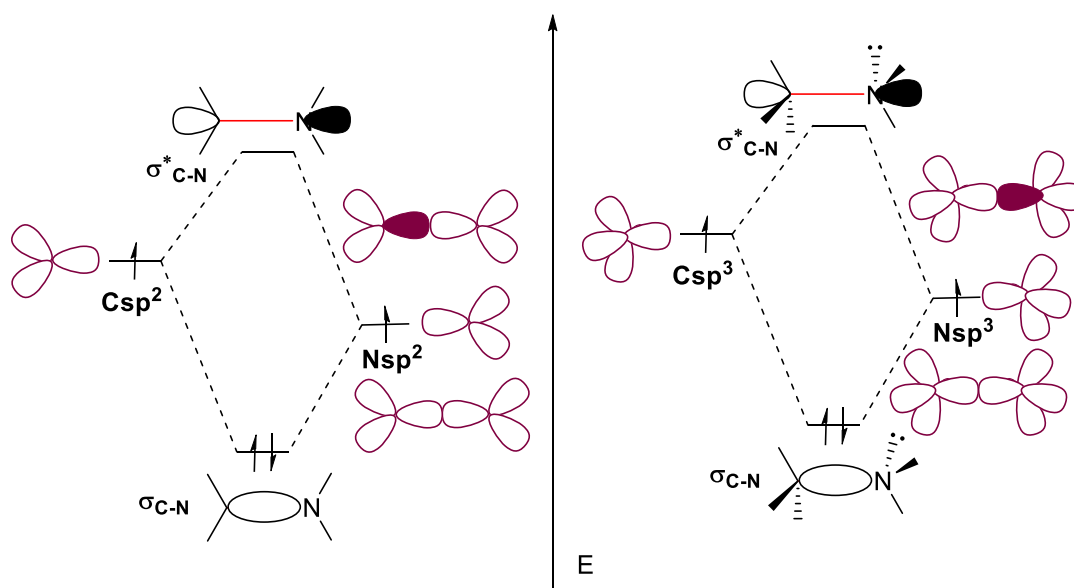
[Barème : 1.5 points pour la structure avec hybridation sans les exceptions (tous corrects : 1.5 point, - 0.5 point par atome incorrect). 0.5 point pour la justification VSEPR. 1 point pour l'exception avec la structure de résonance]

2)

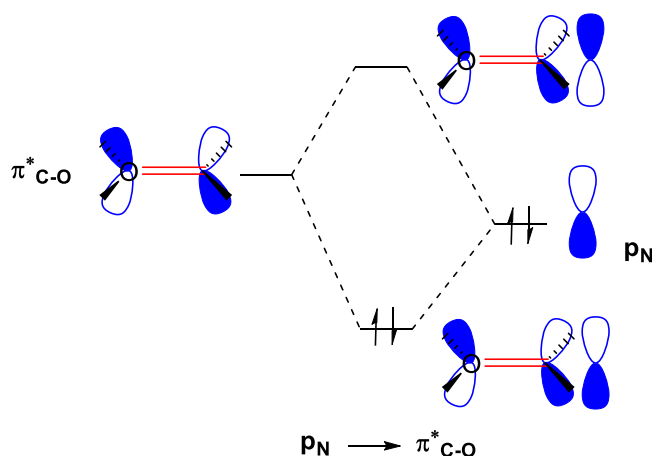


[Barème : 1.5 points pour les orbitales (0.5 point enlevé par atome incorrect), 0.5 point pour les électrons (1 erreur tolérée). Les dessins illisibles sont incorrects.]

3)



A cause du plus grand caractère S, le système sp^2 est plus bas en énergie.-



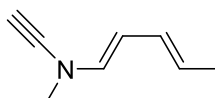
interaction p_N vers π^*_{C-O} conduisant à une double liaison partielle plus courte possible que pour la molécule A!

[Barème : 3 points pour la formation des orbitales moléculaires C-N (2 points structures, 1 point énergie, 2 points pour la liaison plus courte (0.5 points réponses, 1 point pour la structure des orbitales, 0.5 points pour leur énergie)]

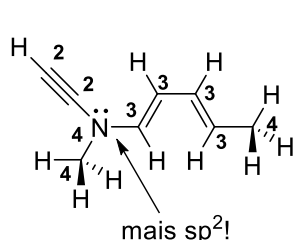
Exercice 2 (10 points, examen 2015-2016)

Pour la molécule dessinée ci-dessous :

- 1) Déterminer l'hybridation de tous les atomes et justifier votre choix en vous basant sur le modèle VSEPR. Si vous trouvez une ou plusieurs exceptions, justifiez la/les sur la base de structures de résonance. (3 points)
- 2) Dessinez les interactions liantes entre les orbitales atomiques de la molécule, sans diagramme d'énergie. Ajoutez les électrons de manière correcte dans toutes les orbitales. (3 points)
- 3) Cette molécule contient deux liaisons simples carbone-carbone. Laquelle des deux est la plus courte ? Justifiez votre réponse au moyen de structures de résonance et d'interactions entre orbitales. (4 points)



1)



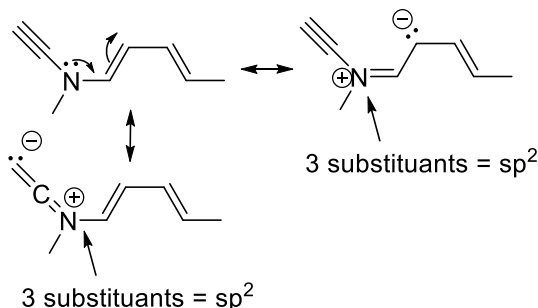
H = s

4 substituants = sp^3 (répulsion des électrons minimale selon VSEPR)

3 substituants = sp^2 (répulsion des électrons minimale selon VSEPR)

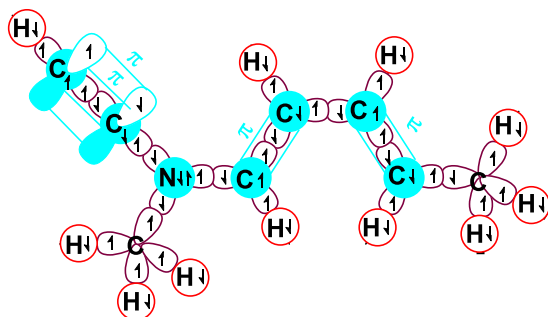
2 substituants = sp (répulsion des électrons minimale selon VSEPR)

1 exception: géométrie nécessaire aux structures de résonance



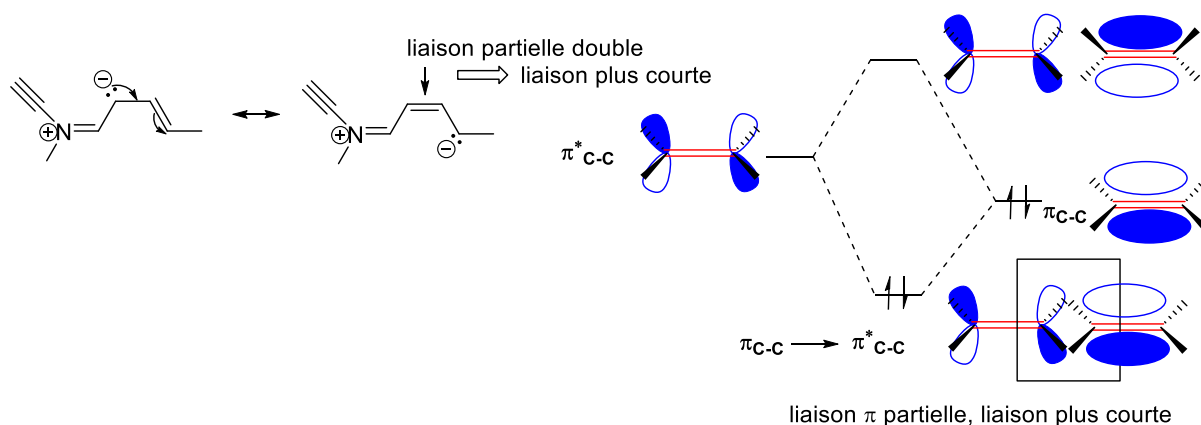
[Barème : 1.5 points pour la structure avec hybridation sans les exceptions (tous corrects : 1.5 point, -0.5 point par atome incorrect). 0.5 point pour la justification VSEPR. 1 point pour l'exception avec la structure de résonance]

2)



[Barème : 2.5 points pour les orbitales (0.5 points pour les H, 2 points pour le reste 0.5 point enlevé par atome incorrect), 0.5 point pour les électrons (1 erreur tolérée). Les dessins illisibles sont incorrects.]

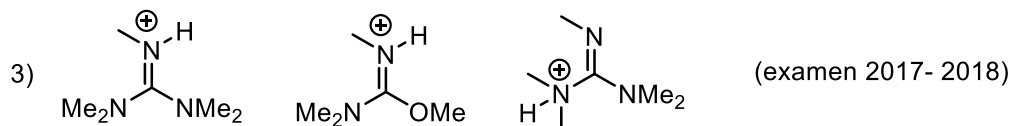
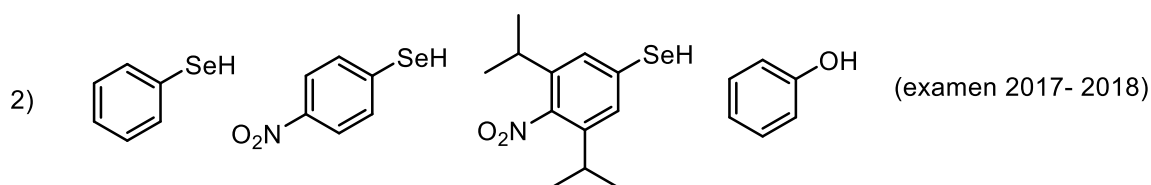
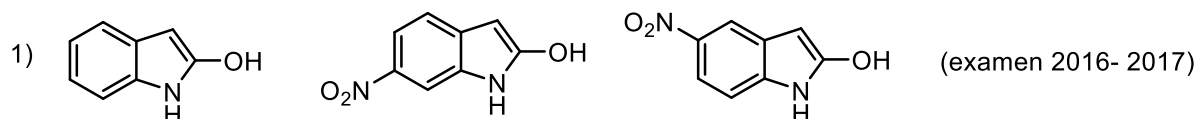
3)



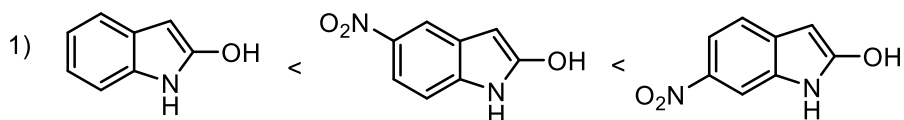
[Barème : 1 point pour la réponse correcte, 1 point pour la justification par structure de résonance, 2 points pour la justification par orbitales (1.5 points dessin, 0.5 point justification) Réponse alternative acceptée : utilisation de la structure de résonance pour dessiner une liaison pi pour justifier la structure]

Exercice 3 (12 points)

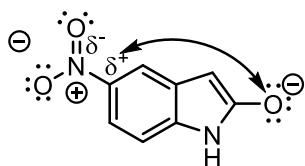
Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant). Justifiez vos réponses. (12 points)



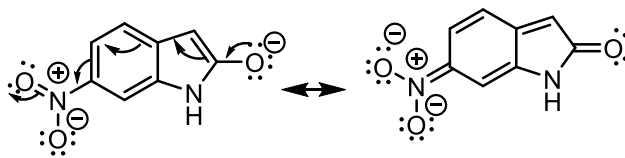
Réponses



OH considéré (plus acide que NH à cause de l'électronégativité)

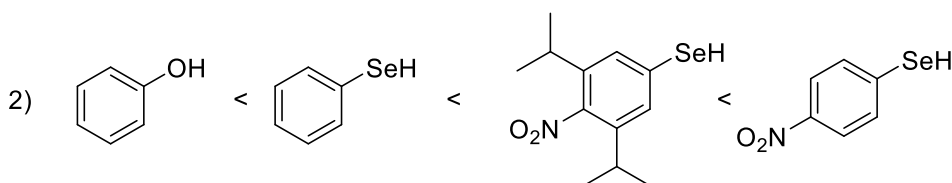


effet inductif stabilisant
base moins forte
acide plus fort

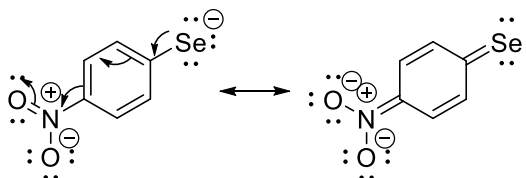


structure de résonance importante, base moins forte, acide plus fort

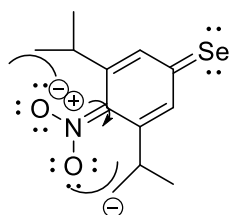
[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour l'effet inductif avec justification (0.5 point dessin, 0.5 point justification), 2 points pour les structures de résonance avec justification (1.5 point dessin, 0.5 point justification)]



ROH < RSeH, car : taille des atomes: O < Se et charge négative des bases mieux stabilisée sur grand atome, donc acides plus forts



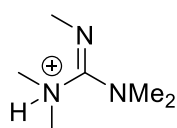
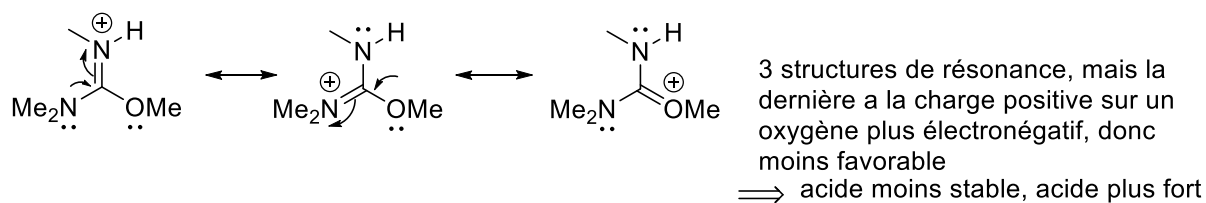
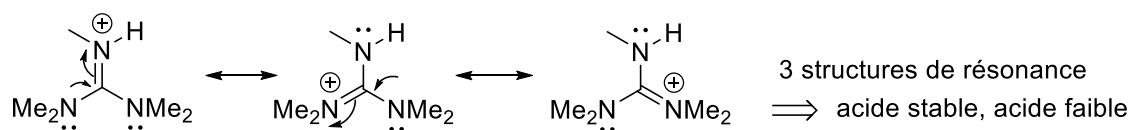
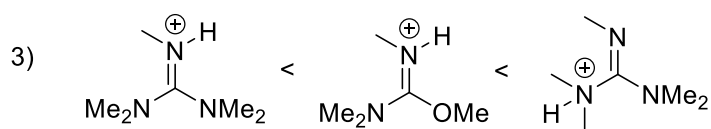
+1 structure de résonance en plus avec le nitro
⇒ base plus stable, acide plus fort



résonance affaiblie par effet stérique défavorisant la géométrie planaire nécessaire à la résonance

⇒ base moins stabilisée, acide moins fort que sans les groupes isopropyles

[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour la taille avec justification, 1 point pour la résonance du nitro, 1 point pour l'effet stérique]

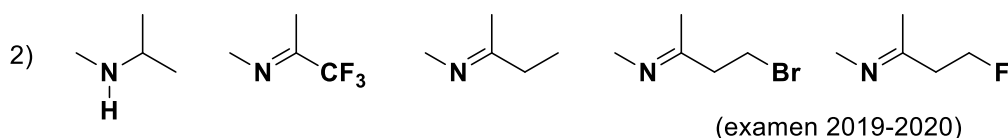
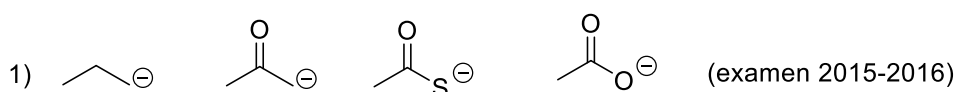


Pas de résonance sans génération de charges
 $\Rightarrow$ acide moins stable, acide plus fort

[Barème : 1 point pour l'ordre correct, 2 points pour les structures de résonance, 1 point pour la justification]

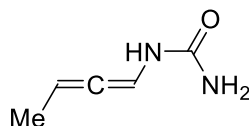
Chimie générale avancée I
Exercices_Séance n°5_21 décembre 2021**Exercice 1 (8 points)**

Pour chaque série, ranger les composés par ordre de basicité croissante (pK_{AH} croissant).
Justifiez vos réponses. (8 points)

**Exercice 2- Examen AIMF 2017-2018 (10 points)**

Pour la molécule dessinée ci-dessous :

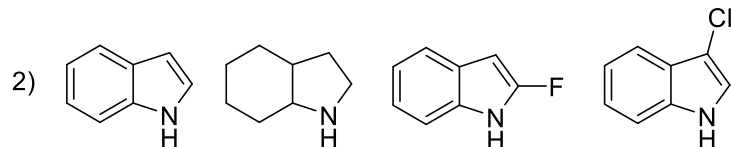
- 1) Déterminer l'hybridation de tous les atomes et justifier votre choix en vous basant sur le modèle VSEPR. Justifier les exceptions sur la base de structures de résonance. (4 points)
- 2) Dessinez les interactions liantes entre les orbitales atomiques de la molécule, sans diagramme d'énergie. Ajoutez les électrons de manière correcte dans toutes les orbitales. (3 points)
- 3) Comme dessinée, la structure en trois dimensions de la molécule n'est pas correcte. Comment devrait-elle être corrigée ? Justifier votre réponse en vous basant sur le modèle des orbitales (3 points)



Exercice 3 – Examen 2018-2019 (8 points)

Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant).
Justifiez vos réponses. (8 points)

1) $H_2N_2O_2$, HNO_3



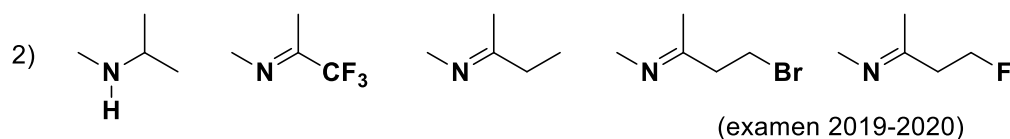
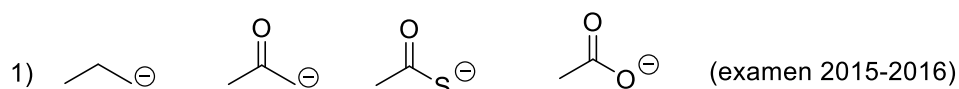
EPFL ISIC
Prof. Jérôme Waser
Bât BCH 1402
CH 1015 Lausanne

Téléphon +4121 693 93 88
e : +4121 693 97 00
Fax : jerome.waser@epfl.ch
E-mail : pfl.ch
Site web : <http://lcso.epfl.ch>

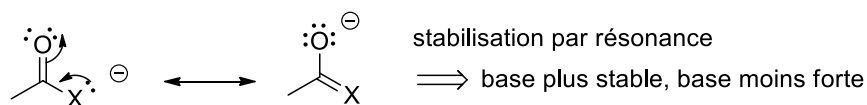
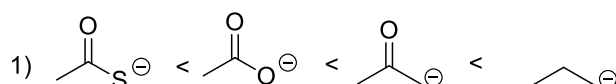
Chimie Générale Avancée I
Exercices_Séance n°5_21 décembre 2021- Solutions

Exercice 1 (8 points)

Pour chaque série, ranger les composés par ordre de basicité croissante (pK_{AH} croissant). Justifiez vos réponses. (8 points)



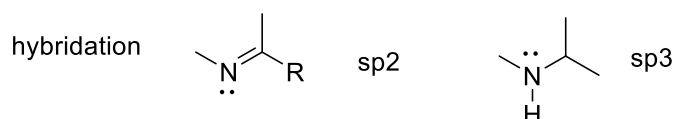
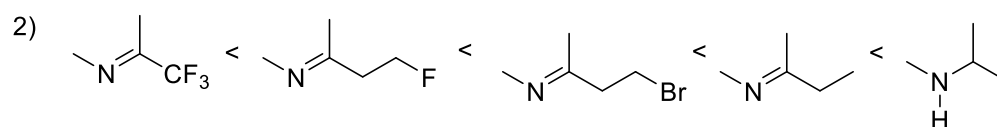
Réponses



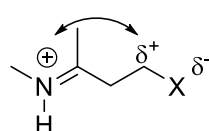
électronégativité: $O > C$: charge négative mieux stabilisée sur O, base moins forte

Taille des atomes: $S > O$ (changement de rangée), charge négative mieux stabilisée sur S, base moins forte (domine sur l'électronégativité lors d'un changement de rangée)

[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour la justification par les résonances, 1 point pour l'électronégativité avec justification, 1 point pour la taille des atomes avec justification]



électrons plus stable en sp², base plus stable, base moins forte



Effet inductif déstabilisant sur acide conjugué
acide moins stable, base moins forte

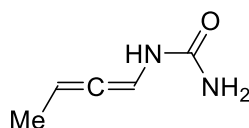
Effet augmente avec électronégativité et nombre d'atomes
diminue avec la distance

[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour l'hybridation, 1 point pour l'effet inductif, 1 point pour les effets de électronégativité, distance et nombre d'atomes]

Exercice 2 (10 points, examen 2017-2018)

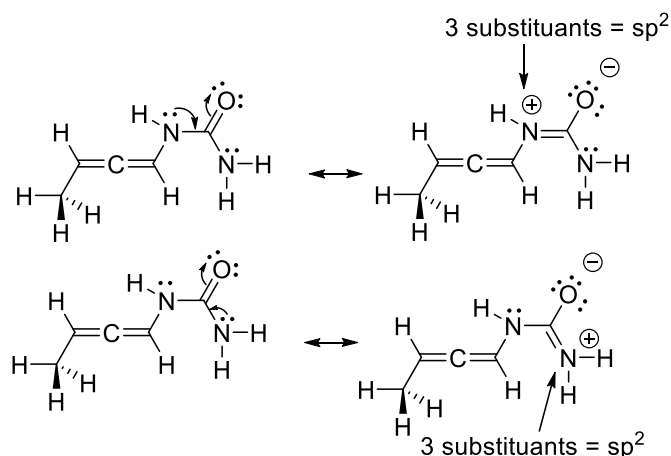
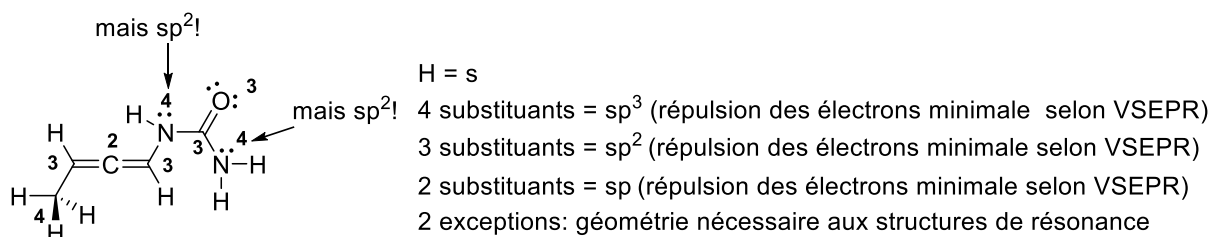
Pour la molécule dessinée ci-dessous:

- 1) Déterminer l'hybridation de tous les atomes et justifier votre choix en vous basant sur le modèle VSEPR. Justifier les exceptions sur la base de structures de résonance. (4 points)
- 2) Dessinez les interactions liantes entre les orbitales atomiques de la molécule, sans diagramme d'énergie. Ajoutez les électrons de manière correcte dans toutes les orbitales. (3 points)
- 3) Comme dessinée, la structure en trois dimensions de la molécule n'est pas correcte. Comment devrait-elle être corrigée? Justifier votre réponse en vous basant sur le modèle des orbitales (3 points)



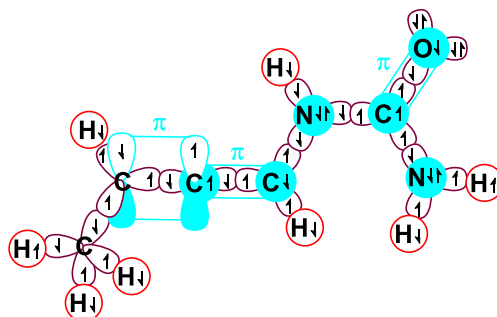
Réponses

1)



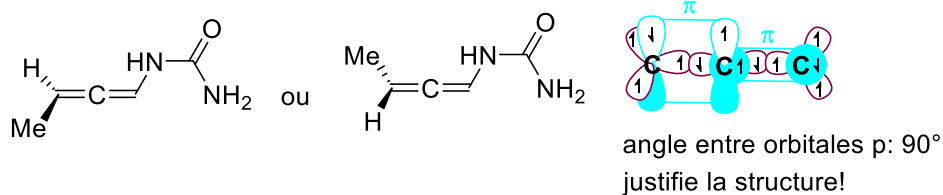
[Barème: 0.5 point pour les H, 1 points pour la structure avec hybridation sans les exceptions (tous corrects : 1 point, 4-5 atomes corrects : 0.5 points). 0.5 point pour la justification VSEPR. 2 points pour les exceptions et le dessin des structures de résonance]

2)



[Barème: 2.5 points pour les orbitales (0.5 points pour les H, 2 points pour le reste 0.5 point enlevé par atome incorrect), 0.5 point pour les électrons (1 erreur tolérée). Les dessins illisibles sont incorrects. L'angle correct entre les orbitales p sur l'atome de carbone sp n'est pas encore exigé à ce stade]

3)

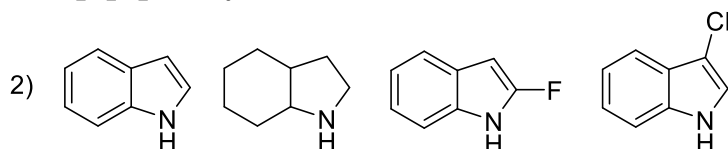


[Barème: 1 point pour la structure, 2 points pour les orbitales avec justification]

Exercice 3 – Examen 2018-2019 (8 points)

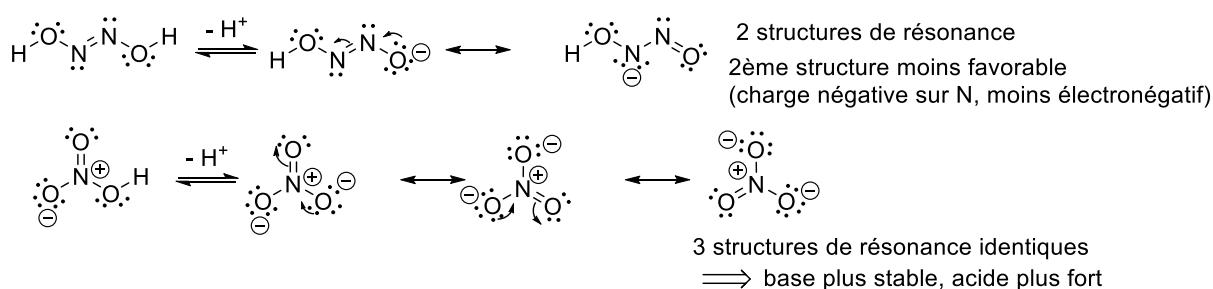
Pour chaque série, ranger les composés par ordre d'acidité croissante (pK_A décroissant).
Justifiez vos réponses. (8 points)

1) $H_2N_2O_2$, HNO_3

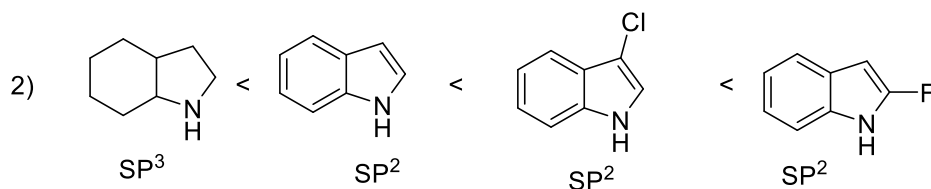


Réponses

1) $H_2N_2O_2 < HNO_3$

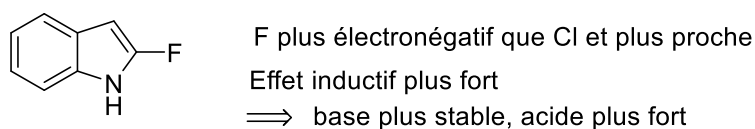
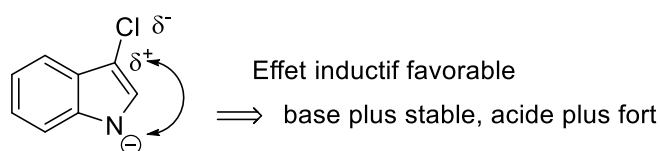


[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 3 points pour les résonances (2 points dessin (1 point pour chaque molécule), 1 point justification), cas particulier: si une structure correcte mais moins favorable a été dessinée pour $H_2N_2O_2$, -0.5 point global]



électron mieux stabilisé sur SP^2 , car S plus bas en énergie

=> Base plus stable avec SP^2 , acide plus fort



[Barème: 1 point pour l'ordre correct, 1 point pour l'effet d'hybridation avec justification, 1 point pour l'effet inductif avec structure, 1 point pour les effets de distance et électronégativité]