

# CHIMIE ORGANIQUE

## EXERCICES ET MÉTHODES

Licence • PACES • CAPES

*Sous la direction de* **Jacques Maddaluno**

Directeur de recherche au CNRS (université de Rouen)

■ **Véronique Bellostà**

Professeur à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI Paris)

■ **Isabelle Chataigner**

Professeur à l'université de Rouen

■ **François Couty**

Professeur à l'université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines

■ **Anne Harrison-Marchand**

Maître de conférences à l'IUT de Rouen

■ **Marie-Claire Lasne**

Professeur retraitée de l'université de Caen-Normandie

■ **Chrystel Lopin-Bon**

Maître de conférences à l'université d'Orléans

■ **Jacques Rouden**

Professeur à l'ENSICAEN

DUNOD

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



ÉDITEUR DE SAVOIRS

### Illustration de couverture

© digitalstock - Fotolia.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements



d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, 2017

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-074945-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

	<i>Avant-propos</i>	5
<b>1</b>	<b>Atomes et molécules : structure, représentation et nomenclature</b>	<b>9</b>
	QCM .....	23
	Vrai ou faux ? .....	33
	Exercices .....	41
	Aperçu du chapitre : Atomes et molécules .....	55
<b>2</b>	<b>Les acteurs de la réaction</b>	<b>57</b>
	QCM .....	66
	Vrai ou faux .....	75
	Exercices .....	80
	Aperçu du chapitre : Les acteurs de la réaction .....	87
<b>3</b>	<b>Comprendre la réaction</b>	<b>89</b>
	QCM .....	94
	Vrai ou faux .....	103
	Exercices .....	108
	Aperçu du chapitre : Comprendre la réaction .....	112
<b>4</b>	<b>Les grands mécanismes</b>	<b>113</b>
	QCM .....	123
	Vrai ou faux .....	131
	Exercices .....	140
	Schéma de synthèse : Les principaux mécanismes .....	144
<b>5</b>	<b>Les hydrocarbures</b>	<b>145</b>
	QCM .....	154
	Vrai ou faux .....	165
	Exercices .....	167
	Aperçu du chapitre : Les hydrocarbures .....	177
<b>6</b>	<b>Le benzène et ses dérivés</b>	<b>179</b>
	QCM .....	185
	Vrai ou faux .....	191
	Exercices .....	195
	Aperçu du chapitre : Le benzène et dérivés .....	200
<b>7</b>	<b>Les fonctions monovalentes</b>	<b>201</b>
	QCM .....	213
	Vrai ou faux .....	224
	Exercices .....	229
	Aperçu du chapitre : Les fonctions monovalentes .....	236

<b>8</b>	<b>Les fonctions divalentes, aldéhydes et cétones</b>	<b>237</b>
	QCM .....	248
	Vrai ou faux .....	255
	Exercices .....	259
	Aperçu du chapitre : Les fonctions divalentes.....	272
<b>9</b>	<b>Les fonctions trivalentes</b>	<b>273</b>
	QCM .....	284
	Vrai ou faux .....	291
	Exercices .....	294
	Aperçu du chapitre : Les fonctions trivalentes .....	308
<b>10</b>	<b>Les biomolécules</b>	<b>309</b>
	QCM .....	315
	Vrai ou faux .....	321
	Exercices .....	325
	Aperçu du chapitre : Les biomolécules .....	343
	<b>Annexes</b>	<b>345</b>
	<b>Index</b>	<b>349</b>

# Avant-propos

Cet ouvrage « Exercices et Méthodes » vient compléter les deux précédents, rédigés par un collectif d'auteurs très similaire et parus dans la même collection chez le même éditeur (*Chimie Organique : Tout le cours en fiches, 2<sup>e</sup> édition* – 2016 et *Mémo visuel de chimie organique* – 2015). Chaque fiche de ce nouveau livre est centrée sur un point précis de chimie organique et propose aux étudiants de Licence, PACES... dans une approche simple et très compacte, un bref rappel de cours pour comprendre et mémoriser l'essentiel de ce qu'ils doivent savoir. De nombreux QCM, Vrai/Faux, et exercices, de difficulté progressive, sont ensuite proposés ; ils constituent un entraînement vraiment efficace. Les corrigés qui suivent sont détaillés et commentés afin de compléter les connaissances de base rappelées dans les fiches.

Les auteurs tiennent à remercier très sincèrement l'équipe éditoriale de Dunod, à savoir Mmes Lætitia Herin et Clémence Mocquet ainsi que M. Adrien Benoît, pour la gestion et la réalisation de cet ouvrage. Leur assistance et leurs conseils permanents ont été appréciés tout au long de l'écriture de ce livre. L'aide affable de Mme Marie Perez (CNRS) lors de l'organisation de la plupart des réunions de travail lui vaut également tous nos remerciements.



# cet ouvrage ?

Des questions Vrai/Faux

Des aperçus de chapitre récapitulants les notions abordées

Des QCM pour s'auto-évaluer

**Aperçu du chapitre : Les principaux mécanismes**

Le groupe fonctionnel principal qui est impliqué est indiqué

**Substitutions nucléophiles (alcools-dérivés halogénés)**

**Substitutions électrophiles (aromatiques)**

**Additions électrophiles et aprotaires (alcènes-alcynes)**

**Additions nucléophiles (dérivés carbonyles)**

**Éliminations (alcools-dérivés halogénés)**

144

**Entraînement**

**Vrai ou faux ?**

1. La configuration électronique de l'atome de carbone à l'état fondamental est :  $1s^2 2s^1 2p^1$ . Vrai Faux

2. Une liaison ionique met en jeu des espèces chargées.

3. Dans une liaison covalente multiple, un atome partage plusieurs électrons avec un même second atome.

4. Pour obéir à la règle de l'octet, les atomes de carbone, azote, oxygène

Fiches

QCM

**Entraînement**

**QCM**

Cocher la ou les cases correspondant à une affirmation exacte.

1. L'ordre de remplissage des couches et sous-couches électroniques de l'atome à l'état fondamental est :

a. 1s 4f 2s 3s 3p 6s 3d 2p 4s 5d 4p 5s 4d 5p

b. 1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d

c. 1s 2s 3s 4s 5s 6s 2p 3p 4p 5p 3d 4d 5d 4f

d. 1s 2s 2p 3s 3p 4s 4p 4d 4f 5s 5d 6s

2. L'atome d'azote (Z = 7) compte :

a. 2 électrons de valence.

b. 3 électrons de valence.

c. 5 électrons de valence.

d. 7 électrons de valence.

3. L'atome d'oxygène (Z = 8) est entouré de :

a. 2 électrons non appariés sur sa couche périphérique.

b. 4 électrons non appariés sur sa couche périphérique.

c. 6 électrons non appariés sur sa couche périphérique.

d. 8 électrons non appariés sur sa couche périphérique.

4. Les halogènes (Fluor : Z = 9, Chlore : Z = 17, Brome : Z = 35, Iode : Z = 53) comptent :

a. 1 doublet non liant sur leur couche périphérique.

b. 2 doublets non liants sur leur couche périphérique.

c. 3 doublets non liants sur leur couche périphérique.

d. 4 doublets non liants sur leur couche périphérique.

5. Dans le méthanoate de lithium ( $\text{CH}_3\text{O}_2\text{Li}$ ), la liaison  $\text{O-Li}$  est plutôt :

a. covalente.

b. ionique.

c. délocalisée.

d. covalente de coordination.

6. Un atome de carbone entouré de deux liaisons simples et une liaison double est :

a. monovalent.

b. divalent.

c. trivalent.

d. tétravalent.

Fiches

QCM

Vrai ou faux ?

Exercices

1. Atomes et molécules

23

Des exercices pour s'entraîner

Toutes les réponses commentées avec des conseils méthodologiques

**Entraînement**

**Exercices**

1. Écrire la configuration électronique à l'état fondamental des atomes de potassium ( ${}_{19}\text{K}$ ), d'aluminium ( ${}_{13}\text{Al}$ ) et d'iode ( ${}_{53}\text{I}$ ).

2. Le Kevlar est un matériau très résistant. Il est composé de chaînes polyamides (l'une d'elles est représentée ci-après) reliées entre elles par des liaisons H. Représenter les liaisons H entre deux chaînes polyamides.

3. L'acide 2-hydroxybenzoïque (acide salicylique) est moins soluble dans l'eau que les acides 3-hydroxybenzoïque et 4-hydroxybenzoïque. Expliquer cette observation.

4. Relier les représentations moléculaires du Tiorfan (antidiarrhéique) ci-dessous à leur formule correspondante.

5. Écrire pour chaque molécule ci-dessous la formule brute correspondante.

41

**Réponses**

1. Les configurations électroniques à l'état fondamental des atomes de potassium ( ${}_{19}\text{K}$ ), d'aluminium ( ${}_{13}\text{Al}$ ) et d'iode ( ${}_{53}\text{I}$ ) sont (Fiche 1) :

${}_{19}\text{K} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^1$

${}_{13}\text{Al} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$

${}_{53}\text{I} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 4s^2 4p^6 5s^2 5p^5$

2. Les liaisons H s'établissent entre l'atome d'oxygène du C=O de la fonction amide et l'atome d'hydrogène porté par l'atome d'azote. L'enchaînement  $-\text{O}-\text{H}\cdots\text{N}-$  étant linéaire, la représentation est la suivante (Fiche 5) :

3. Les acides 3- et 4-hydroxybenzoïques peuvent se lier par des liaisons H (Fiche 5) avec un atome OH. Dans le cas de l'acide 2-hydroxybenzoïque, deux des atomes d'oxygène de son ion carboxyle sont libres pour se lier à l'eau car ils sont impliqués dans une liaison hydrogène intramoléculaire pour effet de réduire sa solubilité dans ce solvant.

4. Fiche 6.

46



# Atomes et molécules : structure, représentation et nomenclature

# 1

## MOTS-CLÉS

**Atome** : noyau ■ électron ■ numéro atomique ■ configuration électronique ■ électrons périphériques ■ électrons de valence ■ classification périodique

**Molécule** : liaison chimique ■ octet ■ duet ■ doublet liant ■ doublet non liant ■ électronégativité ■ Lewis ■ Kekulé ■ lacune électronique ■ formule brute ■ formule développée plane ■ formule semi-développée ■ formule développée topologique ■ géométrie VSEPR ■ hybridation ■ Cram ■ Newman ■ Fischer

**Isomérie** : isomère de constitution ■ stéréoisomère ■ conformation ■ configuration ■ règles CIP ■ stéréodescripteur ■ *Z/E* ■ *cis/trans* ■ *R/S* ■ stéréogène ■ asymétrie ■ chiralité ■ énantiomère ■ diastéréoisomère

**Nomenclature** : règles IUPAC ■ hydrocarbure ■ alcane ■ alcène ■ alcyne ■ aromatique ■ benzène ■ amine ■ alcool ■ éther ■ halogénure ■ imine ■ aldéhyde ■ cétone ■ cétal ■ nitrile ■ amide ■ acide carboxylique ■ ester ■ anhydride ■ acyle

Si l'on comparait la synthèse organique à un jeu de construction, les molécules en seraient les briques. Or, bâtir nécessite de connaître et maîtriser la teneur, la composition, la forme, les caractéristiques des pièces élémentaires à assembler. Aussi,

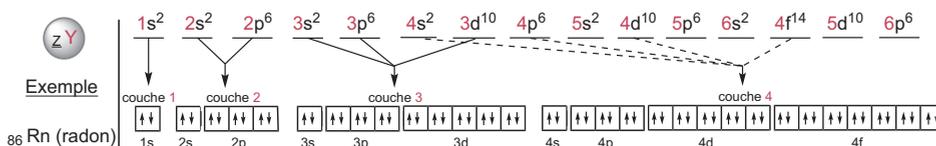
**l'objectif de ce chapitre vise à scruter les molécules** en sachant :

- identifier les atomes qui les constituent ;
- appréhender la force des liaisons chimiques liant ces atomes ;
- respecter les géométries ;
- distinguer chaque isomère ;
- reconnaître et identifier les fonctions présentes et à l'origine des réactions ;
- les nommer suivant un référentiel international (IUPAC).

C'est fort de ces acquis, que le chimiste organicien devient prêt, tel un architecte, à conceptualiser des édifices moléculaires.

## Structure de l'atome

L'atome, plus petit constituant électriquement neutre de la matière, est identifié par un symbole **Y** et est constitué d'un noyau chargé positivement (formé de nucléons = neutrons + protons), autour duquel gravite un nuage électronique chargé négativement. Les électrons, dont le nombre est défini par **Z** = numéro atomique, sont répartis en s'appariant dans des orbitales atomiques (OA), elles-mêmes distribuées sur des couches (1, 2, 3) et des sous-couches (s, p, d, f) électroniques. L'exemple du radon ci-après montre l'ordre de remplissage des premières OA. Cet ordre définit la **configuration électronique** des atomes à l'état fondamental.



Les électrons les plus éloignés du noyau sont appelés **électrons périphériques** ou **électrons de valence**. Ce sont ces électrons qui sont mis en jeu dans la formation des liaisons chimiques, et donc des molécules.

## Les atomes de la chimie organique

Les atomes les plus fréquemment rencontrés en chimie organique, et le nombre d'électrons périphériques (ou de valence) qui les entourent, sont indiqués dans le tableau de classification périodique restreint ci-contre.

	${}^1\text{H}$								${}^2\text{He}$
	${}^3\text{Li}$		${}^5\text{B}$	${}^6\text{C}$	${}^7\text{N}$	${}^8\text{O}$	${}^9\text{F}$		${}^{10}\text{Ne}$
	${}^{11}\text{Na}$	${}^{12}\text{Mg}$	${}^{13}\text{Al}$	${}^{14}\text{Si}$	${}^{15}\text{P}$	${}^{16}\text{S}$	${}^{17}\text{Cl}$		${}^{18}\text{Ar}$
	${}^{19}\text{K}$						${}^{35}\text{Br}$		${}^{36}\text{Kr}$
							${}^{53}\text{I}$		${}^{54}\text{Xe}$
									gaz rares
									(2) 8
Nombre d'électrons périphériques (ou de valence) $\Rightarrow$	1	2	3	4	5	6	7		

## Pourquoi les atomes se lient

Les atomes se lient entre eux car le composé résultant, appelé **molécule**, est plus stable. Le lien, appelé **liaison chimique**, s'établit en deux étapes.

**1.** Les atomes passent d'abord d'un état fondamental à un état excité en se rapprochant (ce changement peut modifier la distribution des électrons dans les sous-couches : cf. cas de l'atome de carbone).

2. Chaque atome va ensuite chercher à acquérir huit électrons – **un octet** – sur sa couche périphérique, configuration électronique stable du gaz rare le plus proche (Néon =  $_{10}\text{Ne}$  pour  $_{6}\text{C}$ ,  $_{7}\text{N}$ ,  $_{8}\text{O}$  et  $_{9}\text{F}$ ).

Atome	carbone	azote	oxygène	halogènes
Configuration électronique à l'état fondamental	$2s^2 2p^2$ ↑↓ ↑ ↑	$2s^2 2p^3$ ↑↓ ↑ ↑ ↑	$2s^2 2p^4$ ↑↓ ↑ ↑ ↑	$ns^2 np^5$ ↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑
Configuration électronique à l'état excité	$2s^1 2p^3$ ↑ ↑ ↑ ↑	$2s^2 2p^3$ ↑↓ ↑ ↑ ↑	$2s^2 2p^4$ ↑↓ ↑ ↑ ↑	$ns^2 np^5$ ↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑
Structure de Lewis	$\cdot\dot{\text{C}}\cdot$	$\cdot\dot{\text{N}}\cdot$	$\cdot\ddot{\text{O}}\cdot$	$\cdot\ddot{\text{X}}\cdot$
Demande électronique pour atteindre l'octet	4 électrons	3 électrons	2 électrons	1 électron
Valence des atomes	tétraivalent	trivalent	divalent	monovalent

Les atomes d'hydrogène ( $_{1}\text{H}$ ) et de lithium ( $_{3}\text{Li}$ ) ne s'entourent que de deux électrons formant ainsi un **duet** (gaz rare le plus proche =  $_{2}\text{He}$ ). Ils sont monovalents.

## Fiche 4

# Les liaisons de forte énergie

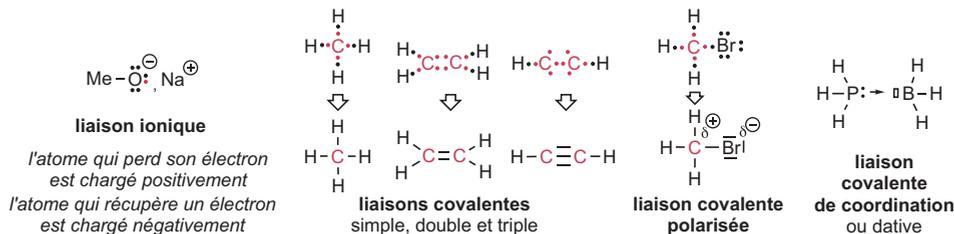
## La liaison ionique

Dans la liaison ionique, l'un des atomes acquiert la structure du gaz rare le plus proche en « donnant » ses électrons périphériques. Ceux-ci sont récupérés par l'autre atome de la liaison qui atteint alors lui aussi une couche externe complète. Il en résulte un couple d'ions (anion, cation) en interaction. Les métaux alcalins (Li, Na et K) sont particulièrement disposés à établir ce type de liaison chimique.

## La liaison covalente

Dans la liaison covalente, pour atteindre l'octet, les atomes « partagent » des électrons de valence en les appariant, formant ainsi des **doublets liants** (autre nom pour la liaison chimique) d'électrons.

Une liaison covalente est **polarisée** lorsque les deux atomes liés présentent une forte différence d'électronégativité. L'atome le plus électronégatif, de densité électronique plus élevée, est marqué  $\delta^-$ . L'atome moins électronégatif est marqué  $\delta^+$ . Les symboles  $\delta^+$  et  $\delta^-$  définissent des charges partielles.



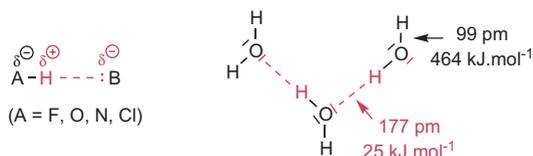
Le partage d'électrons peut avoir lieu entre un doublet non liant (dnl) d'un premier atome et une lacune électronique d'un second atome. On parle alors de **liaison covalente de coordination** (ou **liaison dative**).

## Les liaisons de faible énergie

Les liaisons de faible énergie sont responsables de l'état condensé de la matière. Elles résultent d'**interactions  $\delta^+/\delta^-$** , permanentes ou non, entre atomes ou molécules.

### La liaison hydrogène

La liaison hydrogène, notée **liaison H**, s'établit entre deux molécules dont l'une possède une liaison A–H polarisée (l'atome A étant très électronégatif par rapport à l'atome d'hydrogène) et l'autre, un atome B porteur d'un doublet non liant. La liaison hydrogène est directionnelle : les trois atomes A, H et B sont généralement alignés. Il en résulte des réseaux de liaisons H avec une architecture bien définie. L'énergie des liaisons H est de l'ordre de 10 à 30 kJ·mol<sup>-1</sup> et la cohésion résultante justifie les températures d'ébullition et de fusion plus élevées que celles attendues.



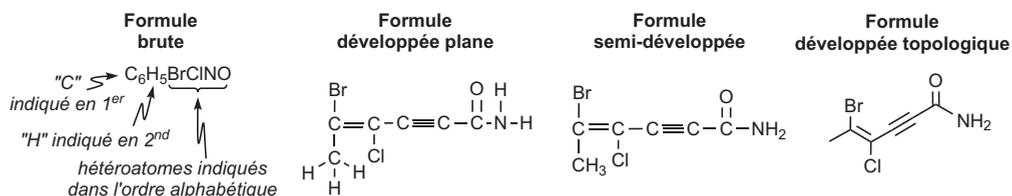
### La liaison de Van der Waals

La liaison de Van der Waals (1 à 10 kJ·mol<sup>-1</sup>) recouvre trois types d'interactions :

- entre dipôles permanents de molécules polaires (Keesom) ;
- entre un dipôle permanent de molécule polaire et un dipôle induit de molécule non polaire (Debye) ;
- entre molécules non polaires (London).

## L'écriture des molécules

Pour désigner une molécule organique, plusieurs écritures sont possibles selon l'information requise. Les doublets non liants (dnl) autour des hétéroatomes sont indiqués ou non.



## La géométrie des molécules

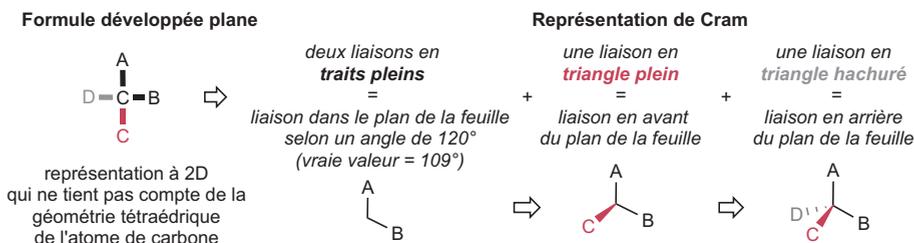
La géométrie des molécules est directement liée à celle des atomes qui les constituent et s'inscrit dans un espace à trois, deux ou une dimension(s) selon la nature des liaisons. Deux théories, VSEPR (*Valence Shell Electronic Pairs Repulsion*) et l'hybridation des orbitales, visent à approcher les représentations les plus justes.

Type de doublet entourant l'atome	4 liaisons simples	3 liaisons simples + 1 dnl*	2 liaisons simples + 2 dnl*	présence d'une liaison double	présence d'une triple liaison
Exemples					
Espace occupé	3D			2D	1D
Géométrie inspirée de la théorie VSEPR	C : <b>tétragonal tétraédrique</b>	N : <b>trigonal pyramidal</b>	O : <b>digonal coudé</b>	C : <b>trigonal plan</b>	C : <b>digonal linéaire</b>
Hybridation des atomes	$sp^3$			$sp^2$	$sp$

\*dnl = doublet non liant

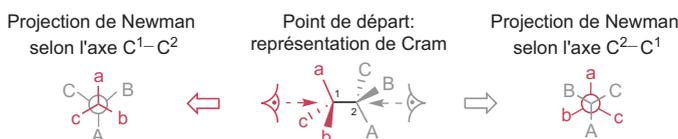
## La représentation de Cram

La représentation de Cram a été définie pour rendre compte de la géométrie 3D des molécules sur un support limité à seulement deux dimensions (feuille, tableau, etc.).



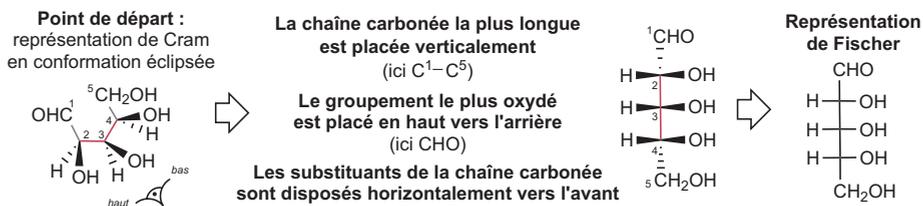
## La représentation de Newman

La représentation de Newman, qui est une projection, vise à mieux observer des proximités entre atomes et liaisons d'une zone précise d'une molécule, en général une liaison carbone-carbone (dans l'exemple ci-dessous, la liaison C<sup>1</sup>-C<sup>2</sup>). Elle a pour point de départ une représentation de Cram de la liaison examinée.



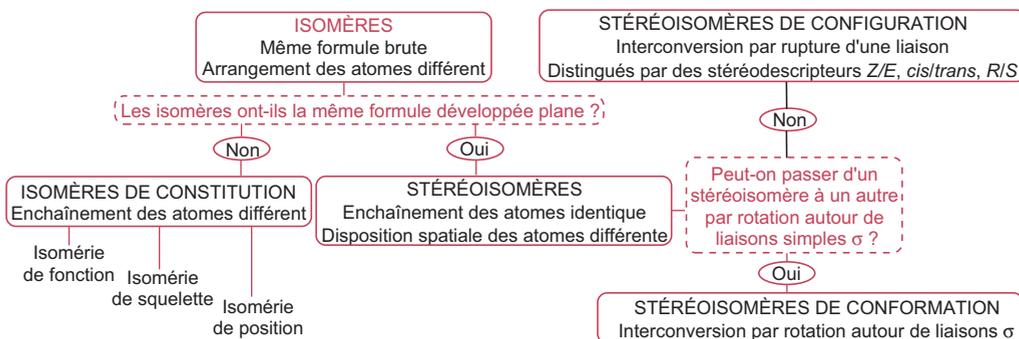
## La représentation de Fischer

La représentation de Fischer, qui est aussi une projection, est surtout utilisée pour représenter les acides aminés et les sucres. Elle utilise comme point de départ une représentation de Cram en conformation éclipsée.



## Les différents types d'isomérisation

Deux **isomères** sont des composés de même formule brute mais qui diffèrent par l'arrangement des atomes les uns par rapport aux autres. Il existe deux grandes classes d'isomérisation : l'**isomérisation de constitution** et la **stéréoisomérisation**. Les stéréoisomères peuvent différer par leur conformation ou leur configuration (énantiomères, diastéréoisomères).

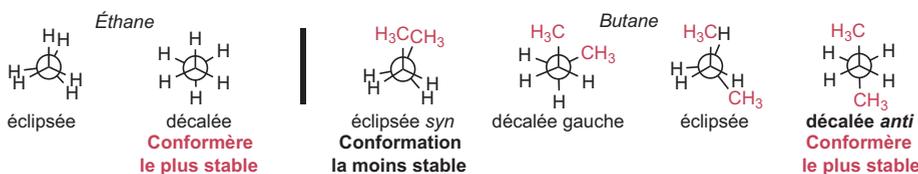


# Conformations de composés acycliques

Deux **stéréoisomères de conformation** diffèrent par une (ou des) rotation(s) autour de liaison(s) simple(s)  $\sigma$ . Le passage d'une conformation à une autre ne nécessite aucune rupture de liaison. Les conformations les plus stables sont celles minimisant les gênes stériques et sont appelées conformères (minimum d'énergie potentielle).

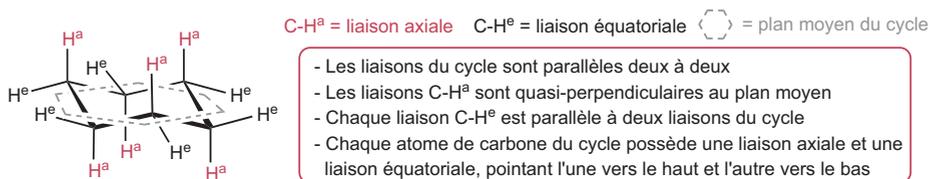


L'éthane possède deux conformations remarquables : éclipsée et décalée. Les conformations décalées (moins de gêne stérique) sont de plus basse énergie et sont appelées **conformères décalés**. Le butane possède quatre conformations remarquables.

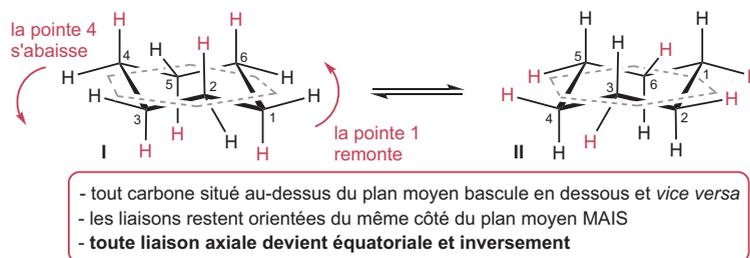


# Conformations du cyclohexane

Le cyclohexane  $C_6H_{12}$  adopte deux conformations caractéristiques : **chaise** et **bateau**. Le conformère chaise, présentant des contraintes stériques minimales, est le plus stable.



Équilibre conformationnel entre deux conformères chaises : le cyclohexane possède deux conformères chaise de même énergie et en équilibre à température ambiante.



Pour un cyclohexane substitué, la conformation chaise la plus stable est celle ayant un maximum de substituants en position équatoriale (les plus volumineux).

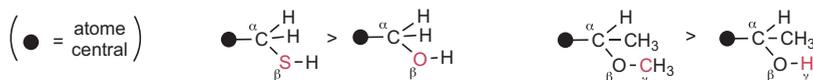
## Les règles de Cahn, Ingold et Prelog

Les règles séquentielles de Cahn, Ingold, Prelog (CIP) attribuent un ordre de priorité aux substituants portés par un même atome central.

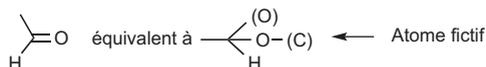
- Les substituants sont d'abord classés selon le numéro atomique  $Z$  de l'atome directement lié à l'atome central (rang 1 ou position  $\alpha$ ) : un atome de numéro atomique supérieur est prioritaire sur un atome de  $Z$  inférieur.



- Si les atomes en  $\alpha$  directement liés à l'atome central sont identiques, les atomes de rang suivant ( $\beta$ ,  $\gamma$ ) sont comparés et classés (suivre le chemin prioritaire).



- Les liaisons doubles  $X=Y$  (ou triples  $X\equiv Y$ ) comptent pour deux (ou trois) liaisons simples avec  $X$  fictivement lié à deux (ou trois) atomes  $Y$  et réciproquement.



Les règles CIP sont utilisées pour définir les **stéréodescripteurs**. Ces derniers permettent de distinguer deux stéréoisomères de configuration (énantiomères, diastéréoisomères). Les stéréodescripteurs ( $Z/E$ ,  $cis/trans$ ,  $R/S$ ) sont précisés devant le nom de chaque stéréoisomère.

## Stéréodescripteurs $Z/E$ et $cis/trans$

Les stéréodescripteurs  $Z/E$  et  $cis/trans$  permettent de distinguer des stéréoisomères de configuration qui ne diffèrent que par la position relative des substituants par rapport à un plan (double liaison :  $Z/E$  ou cycle considéré comme plan :  $cis/trans$ ).



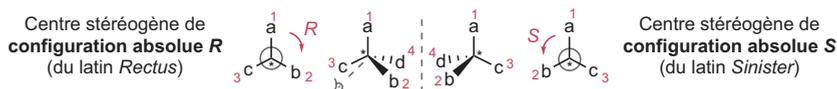
## Centre stéréogène

Un **centre stéréogène** (noté avec un astérisque\*) est un atome de géométrie tétraédrique substitué par quatre atomes ou groupes d'atomes distincts. Un doublet non liant peut aussi compter. Il possède deux dispositions spatiales différentes qui correspondent à des stéréoisomères de configuration. Une molécule comportant  $n$  centres stéréogènes présente  $2^n$  stéréoisomères de configuration, la présence de symétrie pouvant réduire ce nombre. Dans le cas de l'atome de carbone, on parle aussi de **carbone asymétrique**.

## Stéréodescripteurs R/S

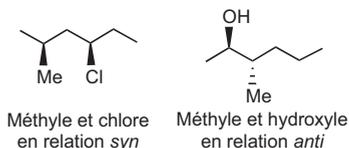
Les stéréodescripteurs *R/S* permettent d'indiquer la configuration absolue d'un centre stéréogène. Pour cela il faut :

- classer les substituants liés au centre stéréogène selon les règles CIP :  $1 > 2 > 3 > 4$  ;
- projeter en Newman selon la liaison centre stéréogène  $\rightarrow$  substituant de priorité 4 ;
- regarder le sens de lecture  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ .



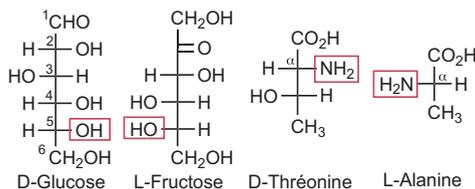
## Stéréodescripteurs *syn/anti* et D/L

Une chaîne carbonée peut présenter plusieurs centres stéréogènes. La nomenclature *syn/anti* décrit la relation entre deux substituants portés par des centres stéréogènes différents sur une chaîne carbonée acyclique représentée sous forme W (ou zigzag).



*syn* : les deux substituants sont du même côté du plan de la chaîne  
*anti* : les deux substituants sont de part et d'autre du plan de la chaîne

La nomenclature D/L est très utilisée en chimie des sucres et des  $\alpha$ -aminoacides. Elle permet de déterminer la configuration absolue d'un centre stéréogène précis de ces familles à partir de la projection de Fischer.



Sucres : regarder le OH sur le C\* le plus éloigné de C=O

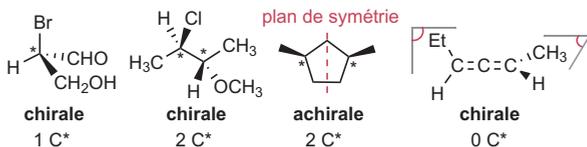
- D = OH à droite
- L = OH à gauche

$\alpha$ -Aminoacides : regarder le NH<sub>2</sub> en  $\alpha$  de CO<sub>2</sub>H

- D = NH<sub>2</sub> à droite
- L = NH<sub>2</sub> à gauche

## Chiralité et activité optique

Une **molécule chirale** n'est pas superposable à son image dans un miroir plan (image spéculaire). Elle ne possède pas d'éléments de symétrie.



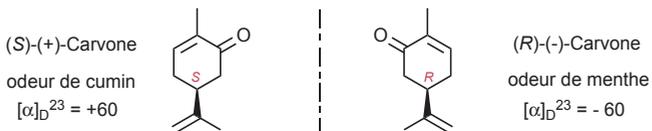
- Une molécule possédant un et un seul C\* est chirale
- Une molécule possédant deux (ou plus) C\* est chirale ou achirale
- Une molécule ne possédant pas de C\* peut être chirale

Les molécules chirales ont la propriété de dévier la lumière polarisée plane qui les traverse : elles sont dites optiquement actives et possèdent un **pouvoir rotatoire** ( $[\alpha]_D^{25}$ ). Si la lumière est déviée vers la droite, la molécule est dite **dextrogyre (d)** et de pouvoir rotatoire positif. Si la lumière est déviée vers la gauche, la molécule est **lévogyre (l)** et son pouvoir rotatoire est négatif. Pour indiquer le sens du pouvoir rotatoire, les signes (+) ou (-) précèdent le nom de la molécule.

## Fiche 20

# L'énantiométrie

Deux molécules images dans un miroir et non superposables sont chirales et forment un couple d'énantiomères (stéréoisomères de configuration). Les configurations absolues des centres stéréogènes de deux énantiomères sont inversées. Un mélange d'énantiomères enrichi en un énantiomère est caractérisé par son excès énantiomérique (ee). Un mélange d'énantiomères en proportions égales (50/50) est un mélange racémique : son pouvoir rotatoire est nul.



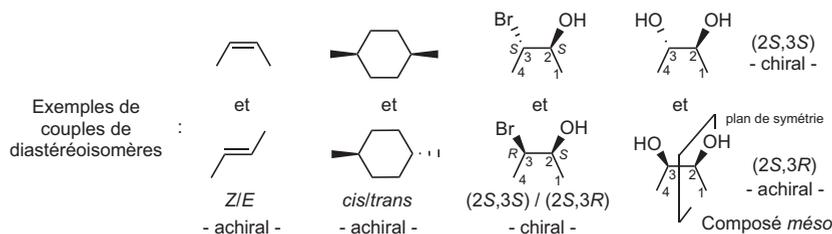
## Fiche 21

# Diastéréoisométrie et composés *méso*

Des diastéréoisomères sont des stéréoisomères de configuration qui ne sont pas images dans un miroir plan. Ils peuvent être chiraux ou non, posséder ou non des centres stéréogènes.

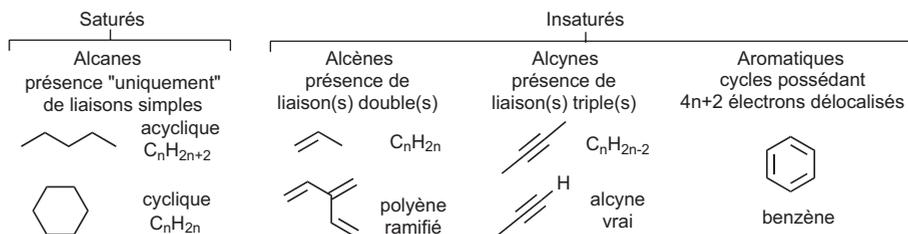
- Diastéréoisométrie *Z/E* et *cis/trans* : cas des doubles liaisons et des composés cycliques, respectivement.
- Diastéréoisométrie due à la présence de plusieurs centres stéréogènes : pris deux à deux, les diastéréoisomères doivent avoir au moins un centre stéréogène identique et au moins un différent.

Un composé *méso* possède des éléments de chiralité mais il est rendu **achiral** du fait de la présence d'un élément de symétrie tel qu'un plan. Un composé *méso* est optiquement inactif.



# Les hydrocarbures

Sont appelés **hydrocarbures** les composés ne comportant que des atomes de carbone et d'hydrogène.



# Les « fonctions » chimiques

Une molécule organique contenant un hétéroatome (atome différent de C et H) est qualifiée de **composé fonctionnel**. Les fonctions chimiques sont classées par **valence** (nombre d'atomes d'hydrogènes qu'il faudrait substituer aux hétéroatomes pour atteindre l'alcane saturé correspondant).

Fonctions	Hétéroatomes						
	N	O			X = F, Cl, Br ou I		
monovalentes	$\begin{array}{c} \text{R} \\   \\ \text{---C---N---} \\   \\ \text{R}' \end{array}$ amine R = R' = H : amine primaire R = H, R' ≠ H : amine secondaire R & R' ≠ H : amine tertiaire	$\begin{array}{c} \text{R} \\   \\ \text{---C---OH} \\   \\ \text{R}'' \end{array}$ alcool R = R' = R'' = H : alcool primaire R = R' = H, R'' ≠ H : alcool primaire R = H, R' & R'' ≠ H : alcool secondaire R & R' & R'' ≠ H : alcool tertiaire					$\begin{array}{c} \text{---C---X} \\   \\ \text{---} \end{array}$ halogénure d'alkyle
divalentes	$\begin{array}{c} \text{---C=N---} \\   \\ \text{---} \end{array}$ imine	$\begin{array}{c} \text{---C=O} \\   \\ \text{H} \end{array}$ aldéhyde	$\begin{array}{c} \text{---C=O} \\   \\ \text{---} \end{array}$ cétone	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{---C---} \\ // \\ \text{---} \end{array}$ époxyde		$\begin{array}{c} \text{---C---X} \\   \\ \text{---C---X} \\   \\ \text{---} \end{array}$ cétal, acétal dihalogénure	
trivalentes	$\text{---C}\equiv\text{N}$ nitrile	$\begin{array}{c} \text{---C=O} \\   \\ \text{HO} \end{array}$ amide acide carboxylique	$\begin{array}{c} \text{---C=O} \\   \\ \text{---O---} \end{array}$ ester	$\begin{array}{c} \text{---C=O} \\   \\ \text{---O---C=O} \\   \\ \text{---} \end{array}$ anhydride	$\begin{array}{c} \text{---C=O} \\   \\ \text{X} \end{array}$ halogénure d'acide (ou d'acyle)	$\begin{array}{c} \text{---C---X} \\   \\ \text{---C---X} \\   \\ \text{---C---X} \\   \\ \text{---} \end{array}$ trihalogénure	
tétravalentes	$\begin{array}{c} \text{---N---} \\   \\ \text{---C=O} \\   \\ \text{---N---} \\   \\ \text{---} \end{array}$ urée	$\begin{array}{c} \text{---N---} \\   \\ \text{---C=O} \\   \\ \text{---O---} \end{array}$ carbamate	$\text{---N=C=O}$ isocyanate	$\begin{array}{c} \text{---O---} \\   \\ \text{---C=O} \\   \\ \text{---O---} \end{array}$ carbonate	$\text{O=C=O}$ dioxyde de carbone	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{---C---} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$ phosgène	$\begin{array}{c} \text{X} \\   \\ \text{---C---} \\   \\ \text{---X} \\   \\ \text{---X} \\   \\ \text{---} \end{array}$ tétrahalogénure

## Priorité des fonctions

Lorsqu'une molécule présente plusieurs fonctions, un ordre de **priorité des fonctions** a été établi pour désigner celle qui appartient à la chaîne principale, et de ce fait imposera le nom de la molécule.

Priorité :	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fonction :	acide carboxylique	ester	halogénure d'acide (ou d'acyle)	amide	nitrile	aldéhyde	cétone	alcool	amine

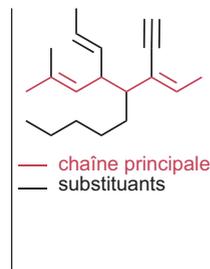
## Nommer les molécules : chaîne principale et substituants

### Cas des hydrocarbures alcanes, alcènes, alcynes

La détermination de la chaîne principale d'alcane, alcène, alcyne suit l'ordre des consignes suivant (« > » signifie « prioritaire sur ») :

1. Liaisons multiples  $\pi$  (insaturations) > liaisons simples  $\sigma$ .
2. Liaisons doubles > liaisons triples.
3. Suivre la chaîne carbonée la plus longue « intégrant » un maximum d'insaturations prioritaires (ce n'est pas forcément la plus longue !).
4. Si deux chaînes carbonées sont de même longueur avec un même nombre d'insaturations, avantage à la plus ramifiée (substituée).

Les fragments carbonés non intégrés dans la chaîne principale sont des substituants.

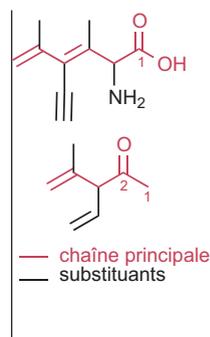


### Cas des composés fonctionnels

La détermination de la chaîne principale d'un composé fonctionnel suit l'ordre des consignes suivant :

1. Repérer la fonction prioritaire. Elle sera nommée en suffixe.
2. Définir la chaîne principale. Elle doit contenir :
  - la fonction prioritaire (le maximum s'il y en a plusieurs) ;
  - un maximum d'insaturations (double > triple) ;
  - une longueur maximale.
3. Assigner le numéro « 1 » à l'atome de carbone de la fonction principale s'il est en bout de chaîne. En cas contraire, lui attribuer le plus petit numéro possible.

Les fragments carbonés non intégrés dans la chaîne principale, ainsi que les fonctions non prioritaires sont des substituants.



# Nommer les molécules : préfixes et suffixes

## Préfixes

Le nombre  $n$  d'atomes de carbone que compte la chaîne principale est précisé par un préfixe (numérique à partir de  $n = 5$ ).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
préfixe	méth	éth	prop	but	pent	hex	hept	oct	non	déc	undéc	dodéc

Sont désignés par un préfixe les atomes d'halogène (F, Cl, Br, I), les groupes alcoxy (RO) et nitro (NO<sub>2</sub>), des fonctions systématiquement considérées comme substituants.

F— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$	Cl— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$	Br— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$	I— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$	MeO— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$	EtO— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$	O <sub>2</sub> N— $\overset{\curvearrowright}{\text{C}}$
fluoro	chloro	bromo	iodo	méthoxy	éthoxy	nitro

Une fonction non prioritaire est désignée par son nom de substituant, *i. e.* **préfixe**.

## Suffixes

Dans le nom d'une molécule, le **suffixe** désigne la nature de la fonction principale.

	acide carboxylique	ester	amide	nitrile	aldéhyde	cétone	alcool	amine	alcyne	alcène	alcane
<b>suffixe</b>	acide ...oïque	oate de	amide	nitrile	al	one	ol	amine	yne	ène	ane
<b>préfixe</b>	carboxy	alcoyxcarbonyl	carbamoyl	cyano	formyl	oxo	hydroxy	amino	ynyl	ényl	yl

# Nommer les molécules : règles IUPAC\*

\*IUPAC : *International Union of Pure and Applied Chemistry*. UICPA en français

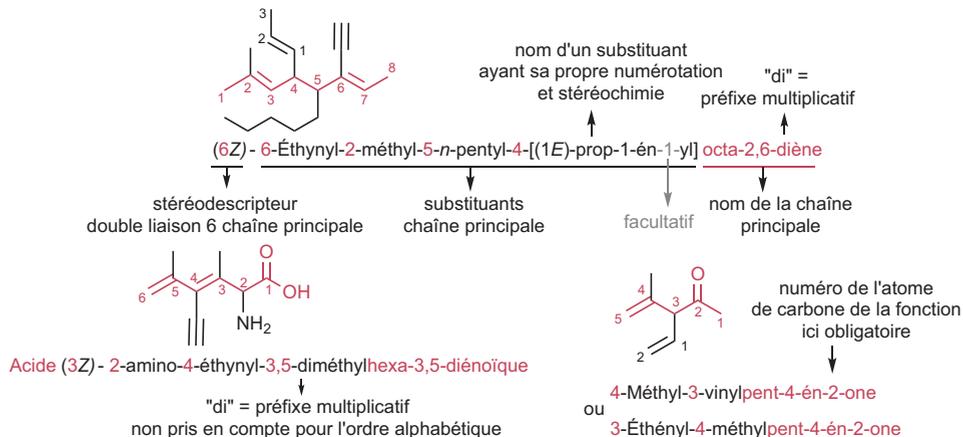
- Définir la chaîne principale. (Fiche 25)
- Numéroter la chaîne principale afin d'attribuer les plus petits indices.
  - hydrocarbures :
    - privilégier le sens qui rencontre le plus rapidement une double liaison, ou, à défaut, une triple liaison ;
    - si pas d'insaturation, ou présence d'insaturations aux mêmes numéros dans les deux sens de lecture, choisir le sens qui rencontre le plus vite un substituant.
  - composés fonctionnels : l'atome de carbone n° 1 (ou de plus faible indice) a été placé lors de la détermination de la chaîne principale. Suivre la numérotation sur cette chaîne. (Fiche 25)
- Nommer la chaîne principale en indiquant dans l'ordre :
  - le préfixe désignant le nombre d'atomes de carbone de cette chaîne ;
  - les insaturations par « èn » et/ou « yn » précédés du numéro de leur emplacement, voire d'un préfixe multiplicatif (di, tri, tétra...) s'il y en a plusieurs ;
  - le suffixe relatif à la fonction prioritaire (précédé du numéro de l'atome de carbone portant la fonction quand celui-ci est différent de 1).

4. Indiquer, devant le nom de la chaîne principale, et dans l'ordre alphabétique, les noms des substituants avec leur emplacement sur la chaîne principale.

Un substituant peut nécessiter d'être lui-même numéroté pour être nommé. Dans ce cas, le plus petit indice est situé au plus près du **point d'accroche** de ce substituant sur la chaîne principale. Indiquer le nom de ce substituant pourvu d'une numérotation secondaire entre crochets.

Un même substituant présent plusieurs fois est précédé d'un préfixe multiplicatif (di-, tri-, tétra-). Toutefois, ce dernier n'est pas pris en compte pour l'ordre alphabétique.

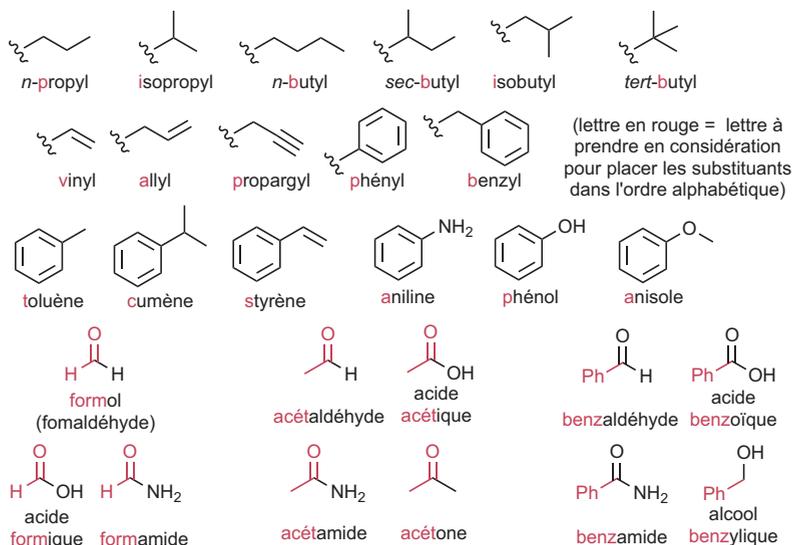
5. Préciser les stéréodescripteurs (*Z*, *E*, *cis*, *trans*, *R*, *S*) devant le nom.



## Fiche 28

# Nommer les molécules : noms usuels

Quelques composés et substituants possèdent des noms usuels qui, à l'usage, sont préférés à la nomenclature IUPAC. Les principaux à connaître sont :



# Entraînement

## QCM

Cocher la ou les cases correspondant à une affirmation exacte.

**1. L'ordre de remplissage des couches et sous-couches électroniques de l'atome à l'état fondamental est :**

- a. 1s 4f 2s 3s 3p 6s 3d 2p 4s 5d 4p 5s 4d 5p.
- b. 1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d.
- c. 1s 2s 3s 4s 5s 6s 2p 3p 4p 5p 3d 4d 5d 4f.
- d. 1s 2s 2p 3s 3p 3d 4s 4p 4d 4f 5s 5p 5d 6s.

**2. L'atome d'azote ( $Z = 7$ ) compte :**

- a. 2 électrons de valence.
- b. 3 électrons de valence.
- c. 5 électrons de valence.
- d. 7 électrons de valence.

**3. L'atome d'oxygène ( $Z = 8$ ) est entouré de :**

- a. 2 électrons non appariés sur sa couche périphérique.
- b. 4 électrons non appariés sur sa couche périphérique.
- c. 6 électrons non appariés sur sa couche périphérique.
- d. 8 électrons non appariés sur sa couche périphérique.

**4. Les halogènes (Fluor :  $Z = 9$ , Chlore :  $Z = 17$ , Brome :  $Z = 35$ , Iode :  $Z = 53$ ) comptent :**

- a. 1 doublet non liant sur leur couche périphérique.
- b. 2 doublets non liants sur leur couche périphérique.
- c. 3 doublets non liants sur leur couche périphérique.
- d. 4 doublets non liants sur leur couche périphérique .

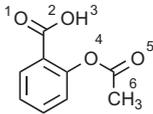
**5. Dans le méthanolate de lithium ( $\text{CH}_3\text{OLi}$ ), la liaison « OLi » est plutôt :**

- a. covalente.
- b. ionique.
- c. dative.
- d. covalente de coordination.

**6. Un atome de carbone entouré de deux liaisons simples et une liaison double est :**

- a. monovalent.
- b. divalent.
- c. trivalent.
- d. tétravalent.

**7.** Une liaison hydrogène intramoléculaire peut s'établir dans la molécule d'aspirine (acide 2-acétyloxybenzoïque). Les atomes mis en jeu sont :

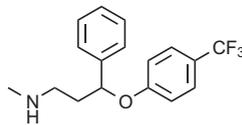


- a. 3, 4.                       d. 1, 6.  
 b. 3, 5.                       e. 1, 5.  
 c. 2, 6.

**8.** Parmi les molécules suivantes, quelles sont celles qui peuvent participer à des liaisons hydrogène ?

- a. Acide benzoïque.       c. Chlorométhane.  
 b. Toluène.                 d. Butan-1-ol.

**9.** La formule brute du Prozac, un antidépresseur connu et dont la formule développée topologique est donnée ci-dessous, s'écrit :



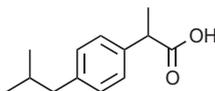
- a.  $C_{17}H_{17}F_3NO$ .             c.  $C_{17}H_{27}F_3NO$ .  
 b.  $C_{17}H_{18}F_3NO$ .             d.  $C_{17}F_3H_{18}NO$ .

**10.** Dans l'Acétone, un solvant usuel et dont la formule développée topologique est rappelée ci-contre, l'atome de carbone du carbonyle (C=O) est de géométrie :



- a. tétragonale tétraédrique.  
 b. trigonale plane.  
 c. digonale linéaire.

**11.** La molécule d'Ibuprofène, dont la formule développée topologique est donnée ci-dessous, compte :



- a. 5 atomes  $C^{sp^3}$ , 6 atomes  $C^{sp^2}$  et un atome  $C^{sp}$ .  
 b. 6 atomes  $C^{sp^3}$  et 6 atomes  $C^{sp^2}$ .  
 c. 6 atomes  $C^{sp^3}$  et 7 atomes  $C^{sp^2}$ .  
 d. 6 atomes  $C^{sp^3}$ , 6 atomes  $C^{sp^2}$  et un atome  $C^{sp}$ .

**12. Les correspondances entre théorie VSEPR et théorie de l'hybridation sont :**

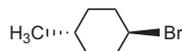
- a. géométrie tétragonale tétraédrique = hybridation  $C^{sp^4}$ .
- b. géométrie trigonale plane = hybridation  $C^{sp^3}$ .
- c. géométrie tétragonale tétraédrique = hybridation  $C^{sp^3}$ .
- d. géométrie digonale linéaire = hybridation  $C^{sp}$ .
- e. géométrie digonale linéaire = hybridation  $C^{sp^2}$ .
- f. géométrie trigonale plane = hybridation  $C^{sp^2}$ .

**13. Deux molécules possédant la même formule brute mais un enchaînement des atomes différent sont des :**

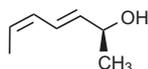
- a. stéréoisomères de conformation.
- b. isomères de constitution.
- c. stéréoisomères de configuration.

**14. Les stéréodescripteurs utilisés pour nommer les différents stéréoisomères d'alcènes sont :**

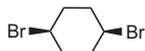
- a. *R/S*.
- b. *cis/trans*.
- c. *D/L*.
- d. *Z/E*.

**15. La molécule suivante compte :**

- a. aucun  $C^*$ .
- b. un  $C^*$ .
- c. deux  $C^*$ .

**16. La molécule suivante est décrite par les stéréodescripteurs :**

- a.  $6R, 2E, 4Z$ .
- b.  $2R, 3E, 5E$ .
- c.  $2S, 3Z, 5E$ .
- d.  $2S, 3E, 5Z$ .

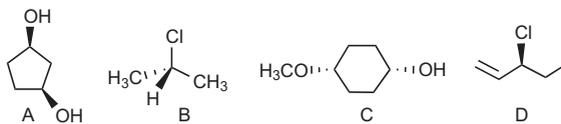
**17. La molécule suivante est le :**

- a. *syn*-1,4-dibromocyclohexane.
- b. *trans*-1,4-dibromocyclohexane.
- c. *cis*-1,4-dibromocyclohexane.
- d. *anti*-1,4-dibromocyclohexane.

**18. La conformation suivante est :**

- a. décalée *anti*.
- b. décalée gauche.
- c. éclipsée *syn*.

**19. Parmi les quatre structures suivantes, il y a :**



- a. une molécule chirale.  c. deux molécules chirales.  
 b. un composé *méso*.  d. deux composés *méso*.

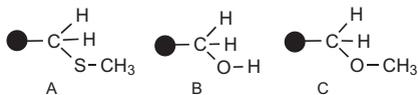
**20. La conformation la plus stable d'un cyclohexane substitué est :**

- a. la conformation chaise avec le maximum de groupements en axial.  
 b. la conformation bateau.  
 c. la conformation chaise avec le groupement le plus volumineux en équatorial.

**21. Si un groupement est placé en axial et au-dessus du plan moyen d'un cyclohexane, ce groupement se retrouvera, après interconversion conformationnelle :**

- a. en axial et en dessous du plan moyen du cycle.  
 b. en axial et au-dessus du plan moyen du cycle.  
 c. en équatorial et en dessous du plan moyen du cycle.  
 d. en équatorial et au-dessus du plan moyen du cycle.

**22. Le classement (du plus prioritaire au moins prioritaire) des groupements suivants selon les règles CIP est :**



- a.  $A > B > C$ .  c.  $C > A > B$ .  
 b.  $A > C > B$ .  d.  $B > C > A$ .

**23. Le cyclopentane est de formule brute générale :**

- a.  $C_nH_n$ .  c.  $C_nH_{2n}$ .  
 b.  $C_nH_{2n+2}$ .  d.  $C_nH_{2n-2}$ .

**24. Les aldéhydes et les cétones sont des fonctions :**

- a. tétravalentes.  c. trivalentes.  e. pentavalentes.  
 b. monovalentes.  d. divalentes.

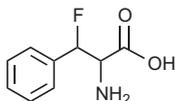
**25. Parmi les fonctions suivantes, lesquelles sont trivalentes ?**

- a. ester.  d. amide.  g. époxyde.  
 b. urée.  e. dioxyde de carbone.  
 c. éther.  f. nitrile.

**26.** Une chaîne carbonée comptant quatre atomes de carbone correspond au préfixe :

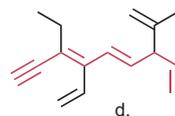
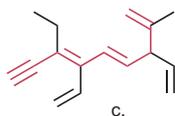
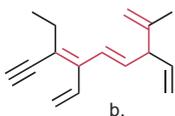
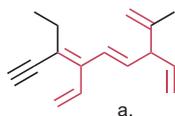
- a. hex.                       c. but.                       e. méth.  
 b. pent.                       d. prop.

**27.** Pour désigner la chaîne principale de la molécule suivante, et consécutivement la nommer, la fonction prioritaire est :



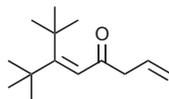
- a. le groupement aromatique « phényle ».  
 b. l'halogène « fluor ».  
 c. la fonction « amine ».  
 d. la fonction « acide carboxylique ».

**28.** La chaîne principale dans la molécule suivante est celle marquée en rouge pour :



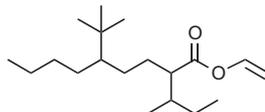
- a.                       c.  
 b.                       d.

**29.** Le nom IUPAC de la molécule suivante est (sans les stéréodescripteurs) :



- a. 1-allyl-3,3-di-*tert*-butylprop-2-énone.  
 b. 6-*tert*-butyl-7,7-diméthyl-octa-1,5-diène-4-one.  
 c. 3-*tert*-butyl-2,2-diméthyl-octa-3,7-diène-5-one.  
 d. 1,1-di-*tert*-butylhexa-1,5-diène-3-one.

**30.** La molécule ci-dessous, désignée par le nom IUPAC « 5-[1,1-diméthyléthyl]-2-[but-2-yl]nonanoate d'éthényle » porte aussi le nom usuel de :



- a. 2-(*sec*-butyl)-5-(*tert*-butyl)nonanoate d'allyle.  
 b. 5-(*tert*-butyl)-2-(*isobutyl*)nonanoate de vinyle.  
 c. 2-(*sec*-butyl)-5-(*tert*-butyl)nonanoate de vinyle.  
 d. 2-(*sec*-butyl)-5-(*tert*-butyl)nonanoate de propargyle.

# Réponses

1. **b.** Les électrons des atomes se répartissent par couches et sous-couches électroniques d'énergie croissante (principe de l'énergie minimale, Klechkowski), ce qui correspond à l'ordre de remplissage :  $1s\ 2s\ 2p\ 3s\ 3p\ 4s\ 3d\ 4p\ 5s\ 4d\ 5p\ 6s\ 4f\ 5d$  (Fiche 1).

Les sous-couches « s » correspondent à une orbitale atomique (OA).

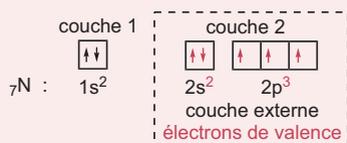
Les sous-couches « p » contiennent trois OA ( $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ ), tandis que « d » et « f » comptent cinq et sept OA, respectivement.

Une OA ne peut contenir que deux électrons de spins opposés (principe de Pauli).

Les électrons se répartissent sur le maximum d'OA dans une sous-couche d'énergie donnée avant de s'apparier (règle de Hund).

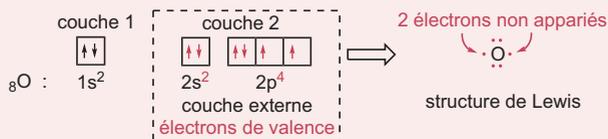
2. **c.** L'atome d'azote ( $Z = 7$ ) compte cinq électrons de valence (Fiches 2 et 3).

La configuration électronique de l'atome d'azote à l'état fondamental est  $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$ , les chiffres en exposant indiquant le nombre d'électrons dans chaque sous-couche. Les électrons de valence (ou électrons périphériques) sont ceux qui appartiennent à la couche  $n$  la plus éloignée du noyau, c'est-à-dire de  $n$  plus élevé. Pour l'atome d'azote,  $n = 2$  ( $2s^2\ 2p^3$  soit **5 électrons de valence**).



3. **a.** L'atome d'oxygène ( $Z = 8$ ) est entouré de deux électrons non appariés sur sa couche périphérique (Fiche 3).

La configuration électronique de l'atome d'oxygène à l'état fondamental est  $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$ , les chiffres en exposant indiquant le nombre d'électrons dans chaque sous-couche. Les électrons périphériques (ou électrons de valence) sont ceux qui appartiennent à la couche  $n$  la plus éloignée du noyau, c'est-à-dire de  $n$  plus élevé. Pour l'atome d'oxygène,  $n = 2$  ( $2s^2\ 2p^4$  soit **6 électrons de valence**). Parmi ces six électrons de valence, quatre sont appariés (deux doublets non liants) et deux électrons ne le sont pas.



4. **c.** Les halogènes (Fluor :  $Z = 9$ , Chlore :  $Z = 17$ , Brome :  $Z = 35$ , Iode :  $Z = 53$ ) comptent trois doublets non liants sur leur couche périphérique (Fiche 3).

Pour exemple, la configuration électronique de l'atome de fluor à l'état fondamental est  $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ , les chiffres en exposant indiquant le nombre d'électrons dans chaque sous-couche. Les électrons périphériques (ou électrons de valence) sont ceux qui appartiennent à la couche  $n$  la plus éloignée du noyau, c'est-à-dire de  $n$  plus élevé. Pour l'atome de fluor,  $n = 2$  ( $2s^2\ 2p^5$  soit **7 électrons de valence**). Parmi ces sept électrons de valence, six sont appariés (trois doublets non liants) et un électron ne l'est pas.

