

# A l'intérieur des matériaux: les liaisons chimiques

## **Buts:**

- Connaître le modèle quantique de l'atome
- Décrire sommairement la composition du tableau périodique des éléments
- Connaître et appliquer la règle de l'octet
- Connaître les différentes liaisons chimiques
- Connaître et savoir utiliser les termes suivants: configuration électronique, électronégativité, hybridation, radical
- Savoir décrire la structure tridimensionnelle des molécules

1

## **Modèle de l'atome quantique, orbitales, tableau périodique**

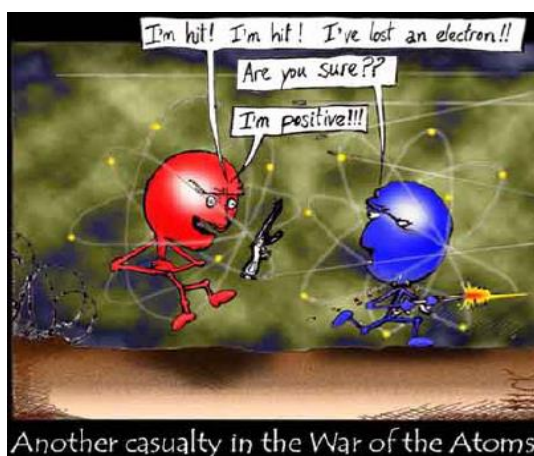
2

## La structure électronique des atomes et des molécules

### Pour comprendre la chimie il faut étudier le nuage électronique

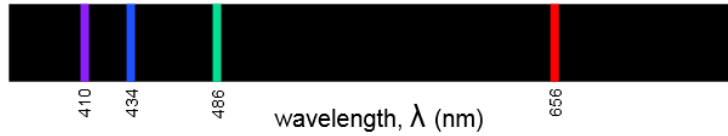
- La structure électronique des atomes explique
- la structure de la matière (tableau périodique)
  - la structure des molécules
  - la réactivité des molécules
  - les interactions entre les molécules

3



4

## Hydrogen Emission Spectrum

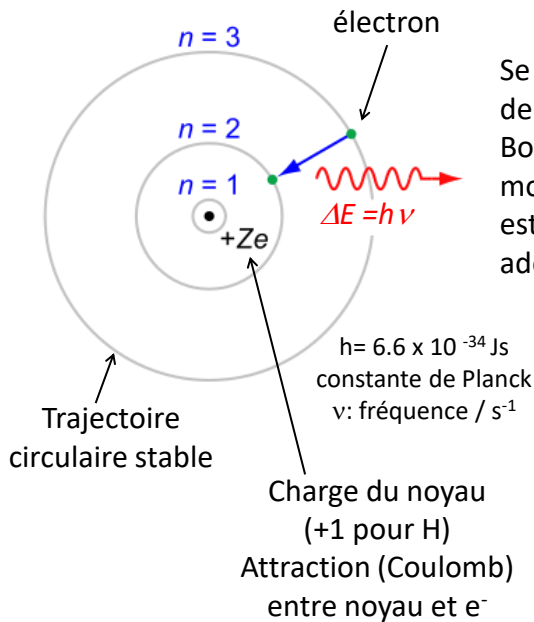


## Hydrogen Absorption Spectrum



5

## Modèle de l'atome de Bohr



Se concentrant sur les spectres de l'atome d'hydrogène Niels Bohr propose en 1913 un modèle. L'énergie de l'électron est *quantifié*. Elle ne peut adopter que certaines valeurs.

$$E_n = 13,6 \text{ eV } Z^2/n^2$$

$n = \text{nombre entier } (1,2,3\dots)$   
Nombre quantique principal

Ce modèle explique le spectre de l'hydrogène.

6

## Modèle de l'atome quantique

A toute particule en mouvement (masse  $m$  et vitesse  $v$ ) est associé une onde de longueur d'onde  $\lambda$ :

$$\lambda = h/mv \text{ (de Broglie)}$$

$m$ : masse,  $v$ : vitesse

$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js (} h \text{: constante de Planck)}$$

### Propriétés corpusculaires et ondulatoires des électrons (dualité)

Un électron dans un atome ou dans une molécule est décrit par une **fonction d'onde**  $\Psi$  (**orbitale**, solution de l'équation de Schrödinger) La **fonction d'onde**  $\Psi$  n'a pas, par elle-même, de réalité physique. Par contre la valeur en un point de son carré  $|\Psi|^2$  détermine la probabilité  $dP$  de trouver l'électron dans un volume  $dV$  autour de ce point:

$$dP = |\Psi|^2 dV; \text{ (peut être mesuré)}$$

$$\int |\Psi|^2 dV = 1$$

7

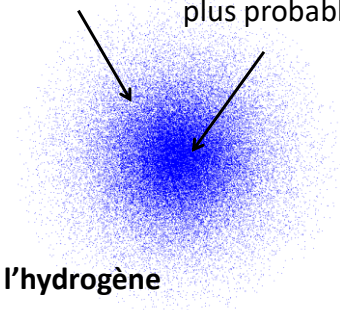
## Modèle de l'atome quantique

On n'attribue pas une trajectoire définie aux électrons.

On peut seulement connaître la **probabilité de présence** d'un électron en un point en espace donné

moins probable

plus probable



### Probabilité de trouver l'électron de l'hydrogène à l'intérieur d'une sphère de rayon $r$

$r/\text{nm}$	0.026	0.106	0.167	$\infty$
probabilité	0.08	0.76	0.95	1.00

8

## Modèle de l'atome quantique

Les orbitales de l'hydrogène (et d'autres atomes) peuvent être trouvées par résolution de l'équation Schrödinger. Les orbitales sont classifiées par quatre **nombre quantiques** (n, l, m, spin).

couche	nombre principal n	nombre secondaire l	nombre quantique magnétique m	orbitale
K	1	0	0	1s
L	2	0	0	2s
		1	-1, 0, 1	2p
M	3	0	0	3s
		1	-1, 0, 1	3p
		2	-2, -1, 0, 1, 2	3d
...	...	...	...	...

9

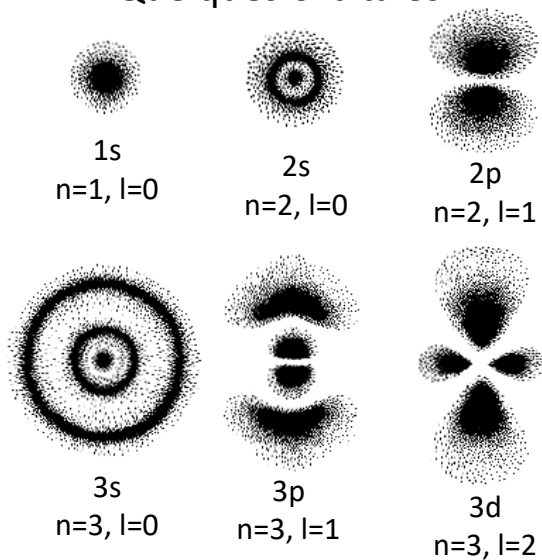
## Les nombres quantiques

Chaque orbitale (et chaque électron qui se trouve dans cette orbitale) est décrit par les nombres quantiques.

- **nombre principal n**: détermine l'énergie de l'électron dans l'atome et la taille des orbitales, *couches*
- **nombre secondaire l**: influence l'énergie et détermine la forme des orbitales, *sous-couches*
- **nombre quantique magnétique m**: pour  $l > 0$  il y a plusieurs orbitales iso-énergétiques (dégénérées) avec la même forme mais différentes orientations (déterminée par m)
- **spin s**:  $\alpha \uparrow \beta \downarrow$  (propriété quantique)

10

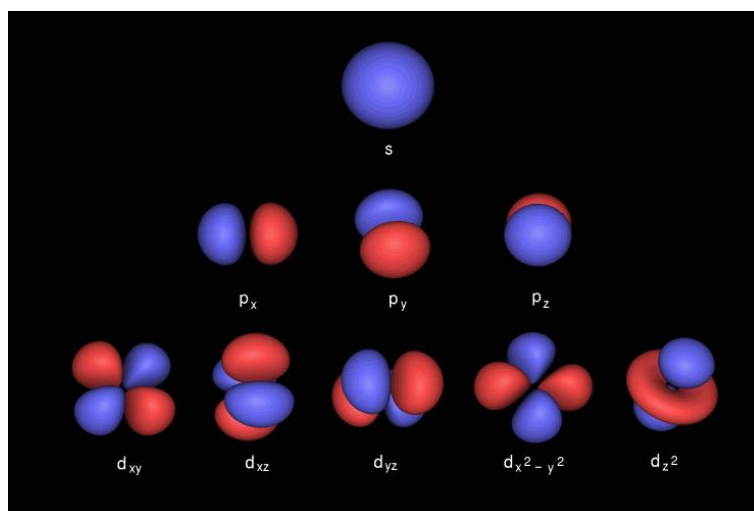
## Quelques orbitales



D.A. McQuarrie, *Quantum Chemistry*, University Science Books, 1983

11

## Quelques orbitales



Couleurs: signe de la fonction d'onde (+ ou -), n'influence pas la *probabilité de présence*.

Alex M. Clark, <https://www.chemcomp.com/journal/molorb.htm>

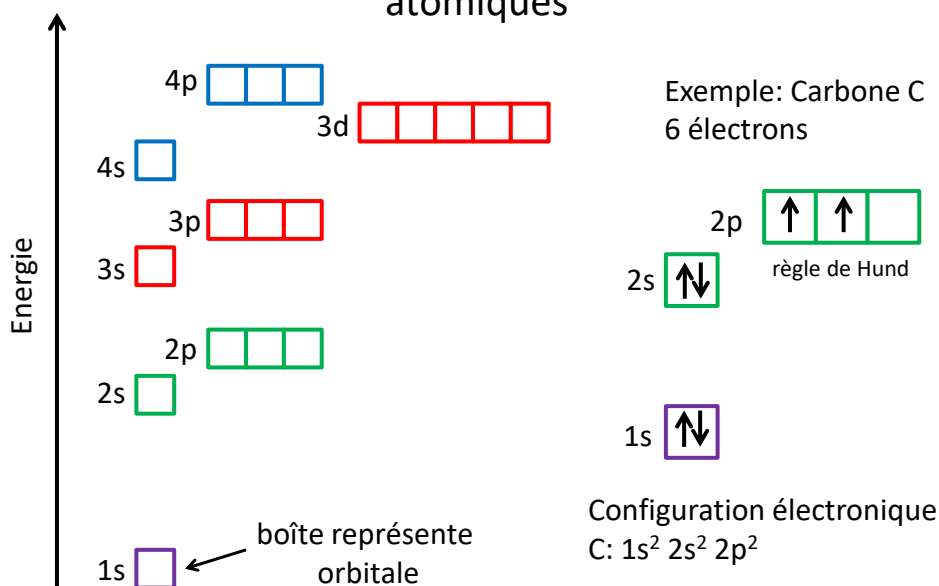
12

## Distribution des électrons sur les orbitales atomiques

- Dans un atome (ou dans une molécule) il n'y a pas deux électrons qui ont des nombres quantiques identiques. Au moins un nombre quantique doit être différent (principe de Pauli).
- Les orbitales sont occupées par les électrons selon leur énergie.
- Il faut utiliser le plus grand nombre possible d'orbitales dans une sous-couche (règle de Hund).

13

## Distribution des électrons sur les orbitales atomiques



14



## Les éléments chimiques: le tableau périodique

Éléments chimiques connus : 118  
 Éléments chimiques naturels : 91  
 Éléments chimiques artificiels : 27

La diversité de la matière s'explique par les combinaisons différentes de ces éléments chimiques en composés chimiques.

**Tableau périodique des éléments**

1																	18	
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuq	Uuo
6	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
7	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

17

## Le tableau périodique

Numéros des périodes	bloc s		bloc d										bloc p					
	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13/III	14/IV	15/V	16/VI	17/VII	18/VIII	
1	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux																
2	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux																
3	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux																
4	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Métaux de transition										Halogènes, Gaz nobles					
5	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Métaux de transition										Halogènes, Gaz nobles					
6	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Métaux de transition										Halogènes, Gaz nobles					
7	Métaux alcalins	Métaux alcalino-terreux	Métaux de transition										Halogènes, Gaz nobles					
			Lanthanides															
			Actinides															

18

## Le tableau périodique

Le tableau périodique regroupe tous les éléments qui constituent la matière. Les éléments sont classés par numéro atomique croissant (et donc aussi par nombre d'électrons croissant). Les colonnes sont appelées des *groupes*. Les rangées horizontales les *périodes*. Groupes principales : 1, 2, 13-18

Groupe 1 : métaux alcalins

Groupe 2 : métaux alcalino-terreux

Groupe 13 : bore et métaux terreux

Groupe 14: les carbonides (de la famille du carbone)

Groupe 15: les azotides (de la famille de l'azote)

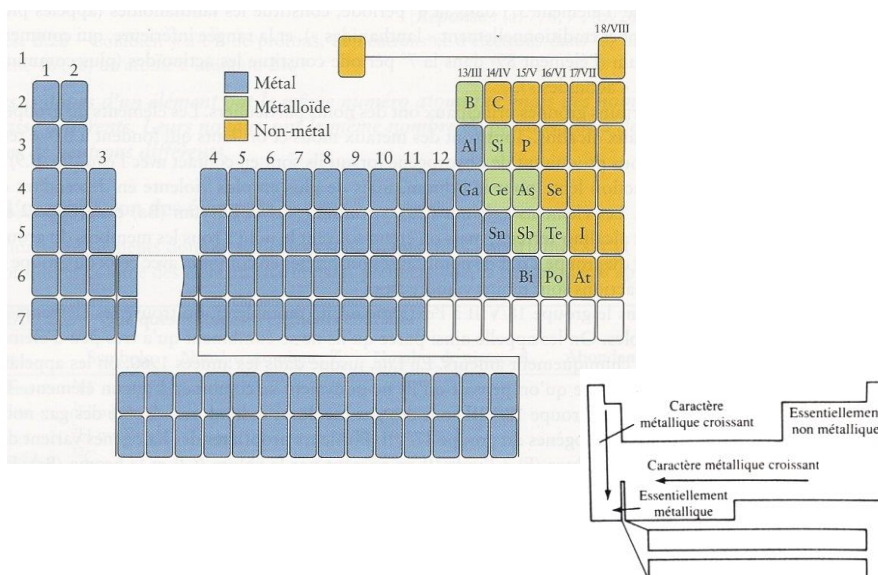
Groupe 16 : famille de l'oxygène ou chalcogènes

Groupe 17 : halogènes

Groupe 18 : gaz rares (ou nobles ou inertes).

19

## Métaux et non-métaux



20

## Règle de l'octet

21

## Règle de l'octet

La **couche de valence** détermine les propriétés chimiques d'un élément.

		réactif
		— — —
		↑
réactif	inerte	↑↓ ↑↓ ↑↓
↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓
↑↓	↑↓	↑↓
↑↓  F	↑↓  Ne	↑↓  Na
$1s^2 2s^2 2p^5$	$1s^2 2s^2 2p^6$	Ne $3s^1$
He $2s^2 2p^5$	He $2s^2 2p^6$	

Les éléments avec une couche de valence partiellement remplie (1-7 électrons) ont tendance à réagir avec d'autres éléments de manière à gagner, perdre ou mettre en commun des électrons en vue d'aboutir, soit à une couche vide, soit à une couche complète (**règle de l'octet**).

22

## Exemple: Le dentifrice

Presse quotidienne:

### « **Fluor dans la pâte dentifrice**

*Si l'on en croit les statistiques ... le FLUOR ..... il serait dangereux pour la santé. Malgré tout, on notera que les dentifrices au fluor sont moins dangereux qu'on le croit, car le fluor est très volatil et après quelques minutes d'ouverture de tube, il n'y a plus du tout de fluor dans la pâte dentifrice. »*

**FAUX**



F: atome de fluor, très réactif (il manque un électron dans la couche de valence).

F<sub>2</sub>: **Fluor** (molécule), stable, gaz, toxique. En faisant **une liaison covalente** les deux atomes mettent en commun deux électrons pour compléter leur couche de valence.

NaF: **Fluorure** de sodium, stable, sel, composé des ions Na<sup>+</sup> (**cation**) et F<sup>-</sup> (**anion**). Les deux ont une couche de valence complète.

Le dentifrice contient le fluorure (fluorure de sodium, fluorure d'amines), pas le fluor (propriétés complètement différentes)

23

## Pourquoi les requin n'ont pas de caries?

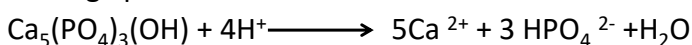


Alors que des dents de requin contiennent de la fluoroapatite (phosphate de calcium fluoré), les dents de l'homme et d'autres mammifères contiennent de l'hydroxyapatite.

Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH): hydroxyapatite

Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F: fluoroapatite

Afin de rendre les dents plus résistantes à l'acide, le dentifrice contient souvent du **fluorure**. Dans la surface des dents humaines après le brossage, une petite quantité, moins de 1 %, d'hydroxyde est échangé par le fluorure.



Acide, protonation, dissolution....caries.

Prof. Matthias Epple, Université de Duisburg-Essen

24

## Règle de l'octet

«Je veux être un gaz noble»

La règle de l'octet est un modèle puissant pour les éléments de la première et de la deuxième période (éléments importants pour la médecine: H, C, O, N). Pour la troisième période la règle de l'octet est considérée comme règle de base.

Deux façons de répondre à la règle de gaz noble (règle de l'octet):

- gagner ou perdre des électrons: **liaisons ioniques**, **liaisons métalliques**
- mettre en commun des électrons: **liaisons covalentes** (dans des molécules)

25

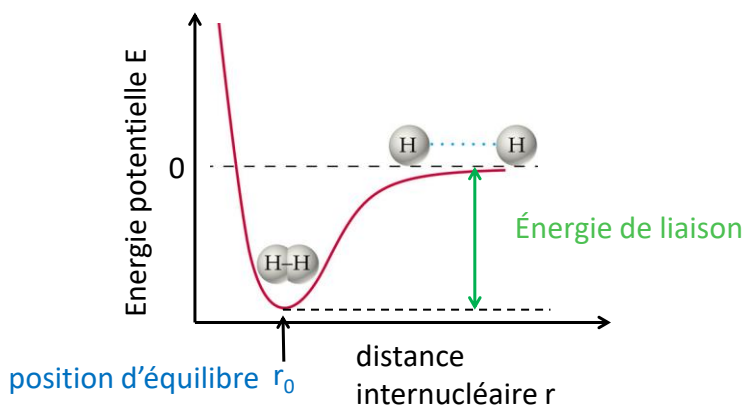
## La liaison chimique

26

## La liaison chimique

Entre deux atomes infiniment séparés et que l'on rapproche se manifestent deux types d'interactions:

- des *forces d'attraction* entre le nuage électronique de l'un et le noyau de l'autre
- des *forces de répulsion* entre électrons et entre noyaux



27

## La liaison chimique

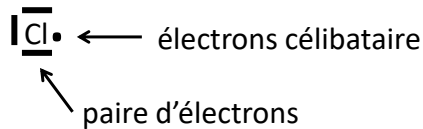
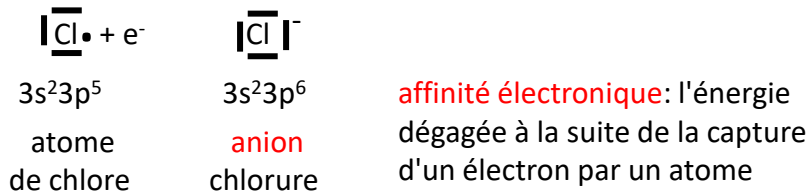
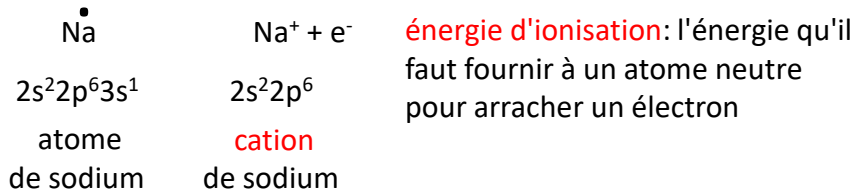
Les électrons se trouvent au cœur de la liaison chimique!

La formation des liaisons se produit lorsque les **électrons de valence** des atomes se déplacent vers de nouvelles positions. On peut imaginer deux formes extrêmes:

- le **transfert complet** d'électrons entre deux atomes donne lieu à une **liaison ionique** ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  plus stables que  $\text{Na}$  et  $\text{Cl}$ )
- le **partage** d'électrons conduit à la formation d'une **liaison covalente** et des molécules discrètes se forment ( $\text{NH}_3$  est plus stable que  $\text{N} + 3 \text{H}$ )

28

## La liaison ionique



29

## La liaison ionique

Réaction entre Na (métal) et  $\text{Cl}_2$  (gaz):  
 $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{NaCl (sel)}$

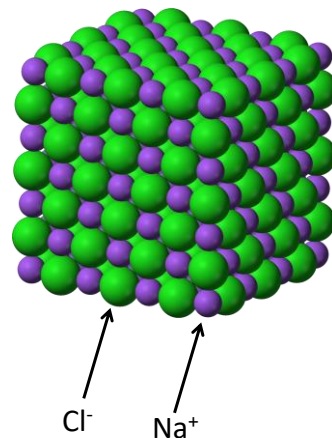


perfusions intraveineuses  
(solution)

**Un sel** est un composé ionique composé de cations et d'anions formant un produit neutre donc sans charge nette.



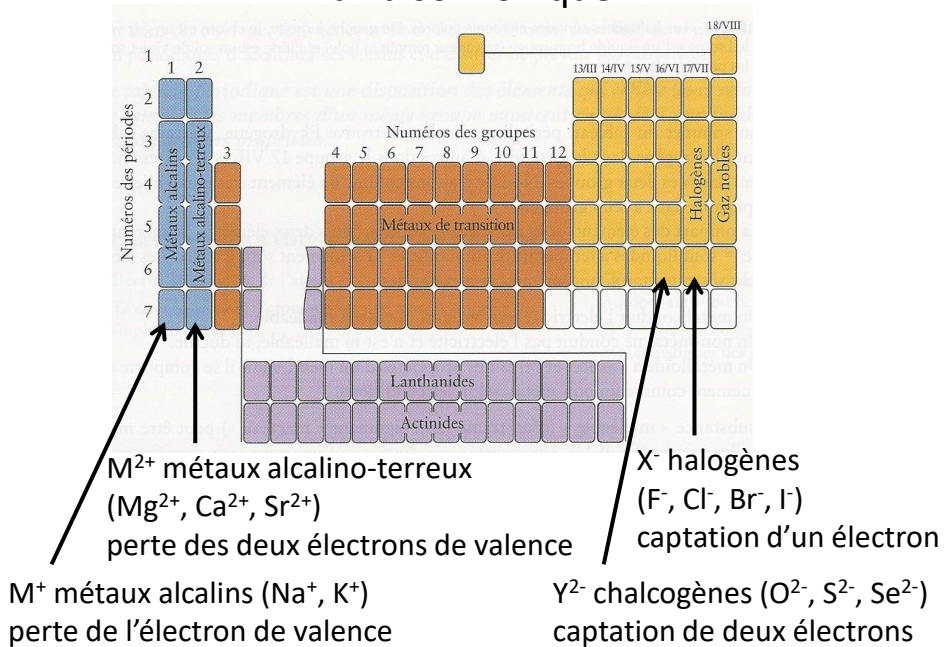
Attraction électrostatique entre anions et cations



<https://www.youtube.com/watch?v=Ftw7a5ccubs>

30

## La liaison ionique



31

## Importance des sels minéraux en médecine

Les sels minéraux sont indispensables à l'organisme et à son fonctionnement métabolique:

- l'équilibre hydrique
- la transmission de l'influx nerveux
- la contraction des muscles
- la composition des os et des dents
- 
- 

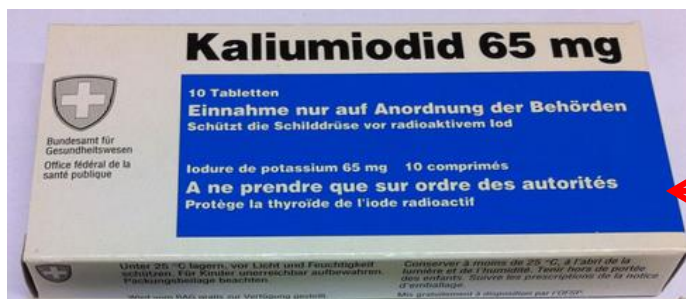
L'organisme ne peut les fabriquer donc ils doivent être apportés par l'alimentation.

32

Formule moléculaire	Nom du sel	Application
NaCl	Chlorure de sodium	solutions d'électrolyte pour perfusions
KI	Iodure de potassium	déficit en iode, agent prophylactique (accidents réacteurs)
MgSO <sub>4</sub>	Sulfate de magnésium	laxatif
CaSO <sub>4</sub>	Sulfate de calcium	plâtre
CaCO <sub>3</sub>	Carbonate de calcium	antiacide
KMnO <sub>4</sub>	Permanganate de potassium	désinfectant
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonate de lithium	médicament antidépresseur

33

## Comprimés d'iodure de potassium

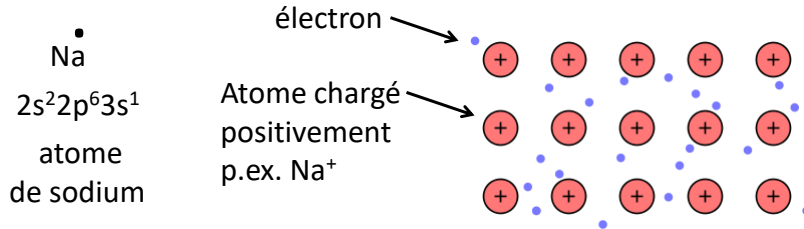


Tschernobyl, 26. 4. 1986

<sup>131</sup>I, demi-vie: 8 jours

34

## La liaison métallique



**Liaison métallique:** des atomes de métaux chargés positivement sont tenus ensemble par des électrons bougeant librement (« *le lac des électrons* »).

Métaux: Bons **conducteurs électriques et thermiques**.

**Alliages:** Corps métalliques obtenus par l'ajout d'un ou de plusieurs éléments au métal

35

## Quelques métaux et alliages en médecine

**Amalgame** (médecine dentaire): Alliage Hg (mercure, 50%), Ag (argent), Sn (étain), Cu (cuivre), In (indium)



Amalgame: toxicité du mercure!



Obturations (céramique)

Chirurgie osseuse: **implants chirurgicaux:**  
 Alliage de Ti (titane), Al (aluminium)  
 et de V (vanadium).

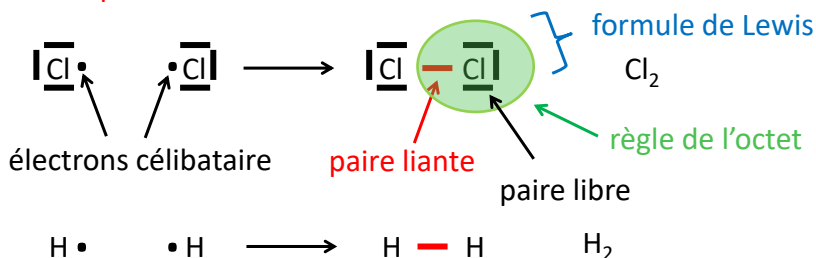


Extenseur (stent): acier inoxydable  
 chirurgical: Alliage de Fe (fer), Cr (chrome),  
 Ni (nickel) et de Mo (molybdène)

36

## La liaison covalente

Partage d'une paire d'électrons entre deux atomes



L'hydrogène est une exception : il tend à réaliser la configuration de l'hélium (doublet).

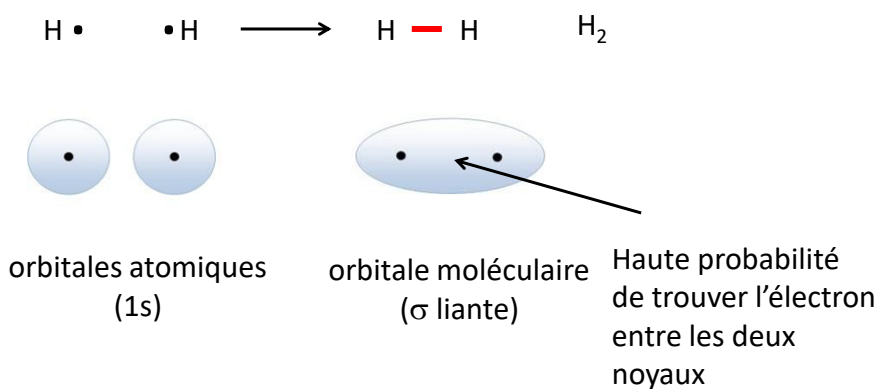
Il existe deux types de paires d'électrons :

- une **paire liante** forme une liaison chimique entre deux atomes adjacents, chacun des partenaires fournissant un électron ;
- une **paire libre** est localisée sur un seul atome. Il s'agit d'un doublet d'électrons de valence qui n'est engagé dans aucune liaison.

37

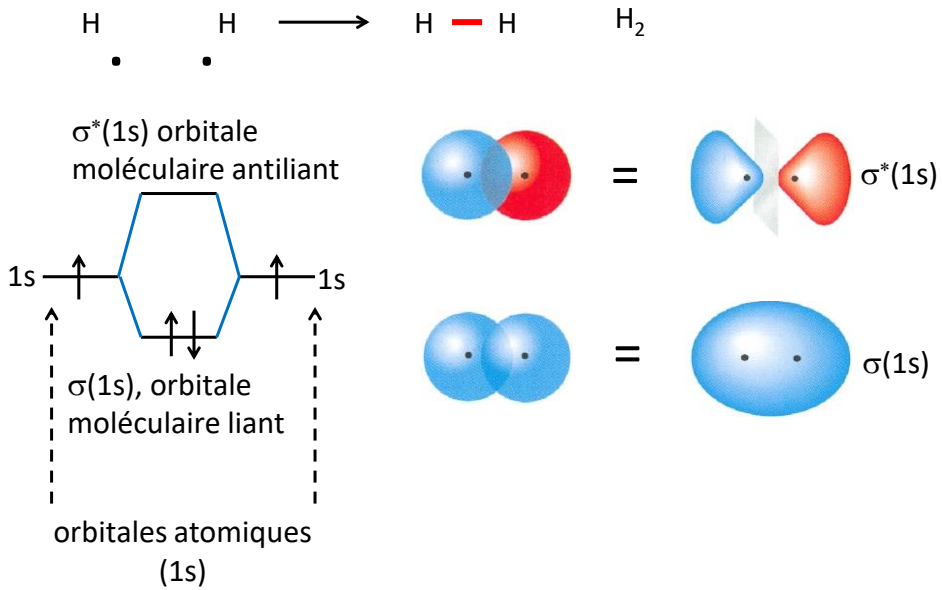
## La liaison covalente

Partage d'une paire d'électrons entre deux atomes



38

## La liaison covalente



39

## La liaison covalente

Quelques énergies de liaison (moyennes)

liaison	Énergie (kJ/mol)
H-H	436
H-Cl	432
C-H	415
C-C	344
C=C	615
C≡C	812
O-H	463
C-O	350
C=O	724
N≡N	956
C-Cl	328

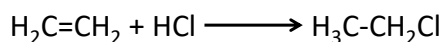
40



41

## La liaison covalente

Lors d'une réaction chimique des liaisons sont cassées et d'autres liaisons sont formées.



*Est-ce que cette réaction libère ou absorbe de l'énergie?*

Estimation:

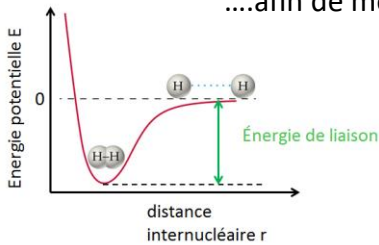
Casser une liaison C=C	+615 kJ/mol (il faut fournir de l'énergie)
Casser une liaison H-Cl	+432 kJ/mol
Former une liaison C-C	-344 kJ/mol (de l'énergie est libérée)
Former une liaison C-H	-415 kJ/mol
Former une liaison C-Cl	-328 kJ/mol

-40 kJ/mol d'énergie est libérée (sous forme de chaleur) lors de la réaction (estimation!)

Mesure directe: -72 kJ/mol

42

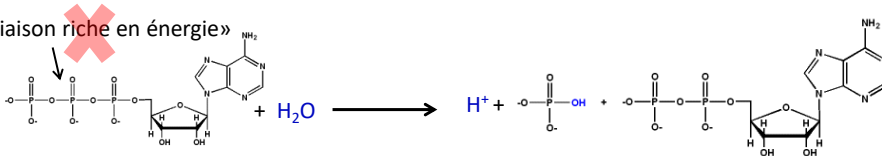
...afin de mettre les choses au clair



Pour casser une liaison il faut fournir de l'énergie!

$$\Delta E > 0$$

«Liaison riche en énergie»



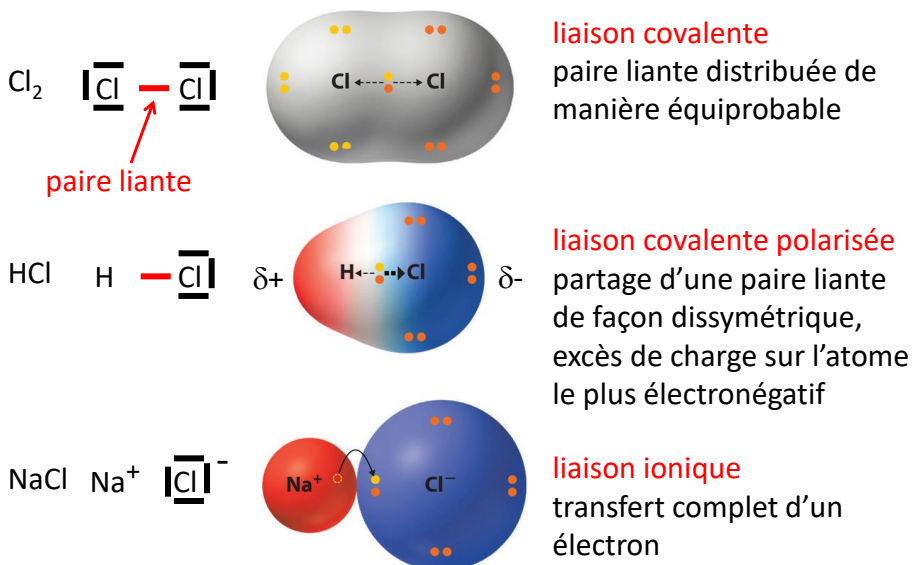
$$\Delta G^0 = -30.9 \text{ kJ/mole}$$

Mais attention!:

- réaction chimique
- énergie (E) et énergie libre de Gibbs (G) sont deux choses différentes (il faut tenir compte de l'entropie)
- tenir compte de la solvatation (eau!!)

43

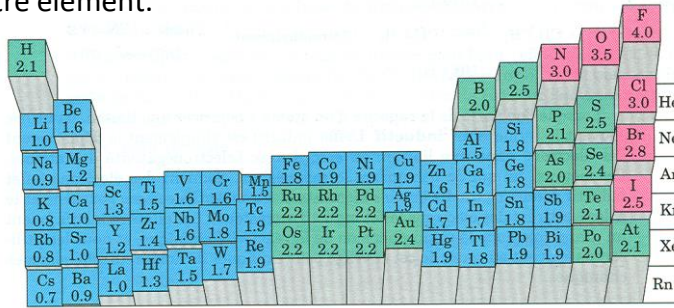
## La liaison covalente polarisée



44

## Electronégativités

L'**électronégativité** ( $E_n$ ) d'un élément caractérise sa capacité à attirer les électrons lors de la formation d'une liaison chimique avec un autre élément.



Liaison covalente

$$\Delta E_n = E_n(A) - E_n(B) = 0$$

Liaison covalente polarisée

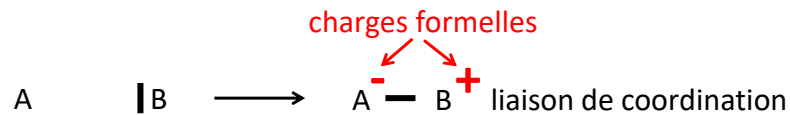
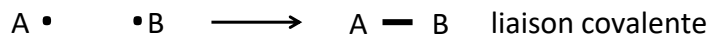
$$0 < \Delta E_n = |E_n(A) - E_n(B)| < 1.7$$

Liaison ionique

$$\Delta E_n = |E_n(A) - E_n(B)| \geq 1.7$$

45

## La liaison de coordination



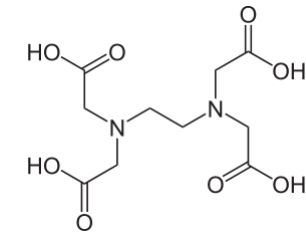
acide de Lewis    base de Lewis



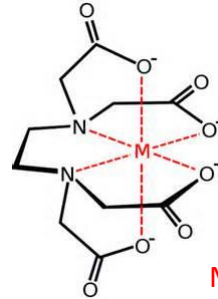
46

## La liaison de coordination

Application en médecine: Complexes de coordination



EDTA  
*Ethylenediaminetetraacetic acid*



M: métal

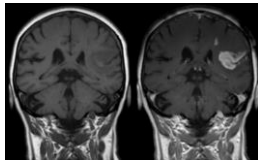
- Formation d'un complexe très stable avec certains ions métalliques
- L'EDTA, permet de lutter contre les surcharges tissulaires en fer
- L'EDTA est utilisé aussi dans les intoxications par métaux lourds (mercure, plomb etc.)

47

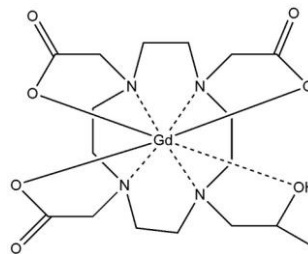
## La tomographie par résonance magnétique



Sans agent de contraste    Avec agent de contraste



attaque cérébrale



Gadoteridol  
Agent de contraste

- complexe stable
- éliminé rapidement par les reins
- Gd<sup>3+</sup> est toxique
- complexe beaucoup moins toxique

By Hellerhoff - Own work, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10323803>

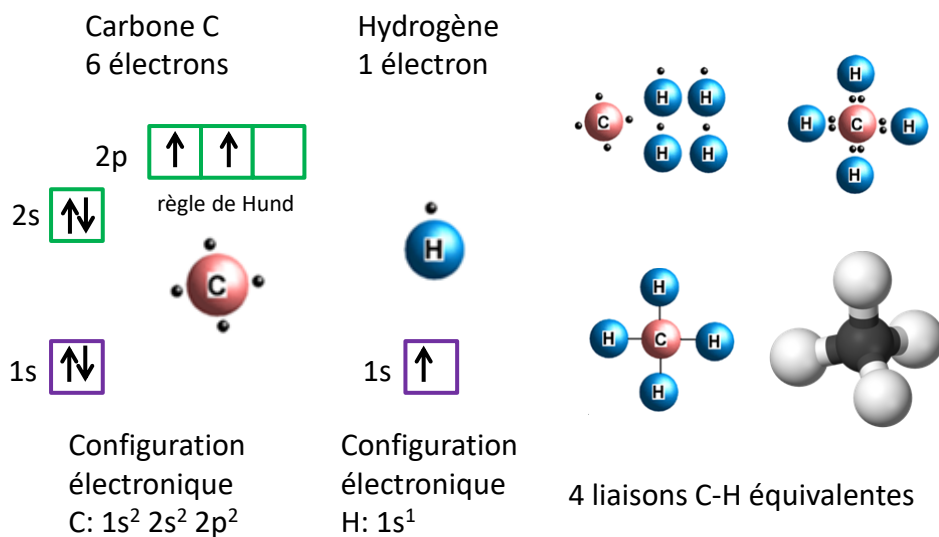
48

## L'hybridation et la géométrie des molécules

49

### La liaison covalente

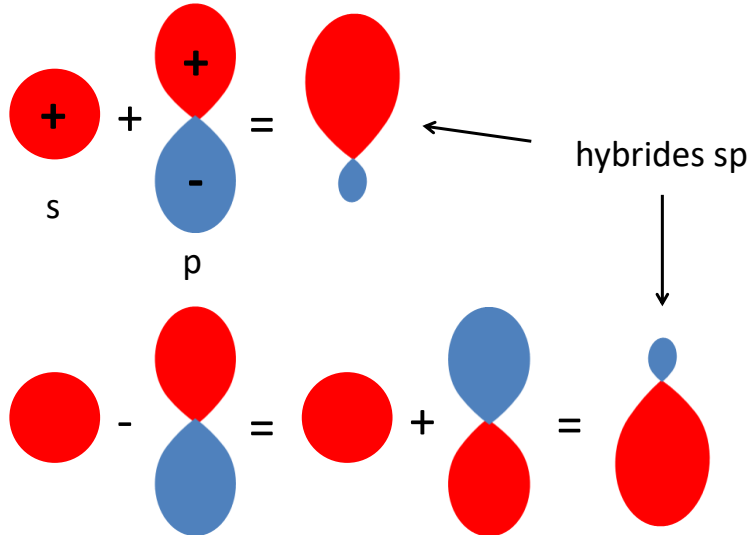
Exemple: le méthane  $\text{CH}_4$



50

## Hybridation

Combinaison linéaires des orbitales atomiques s et p

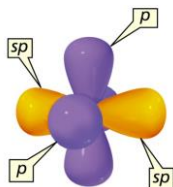


51

## Hybridation

Combinaison linéaires des orbitales atomiques s et p

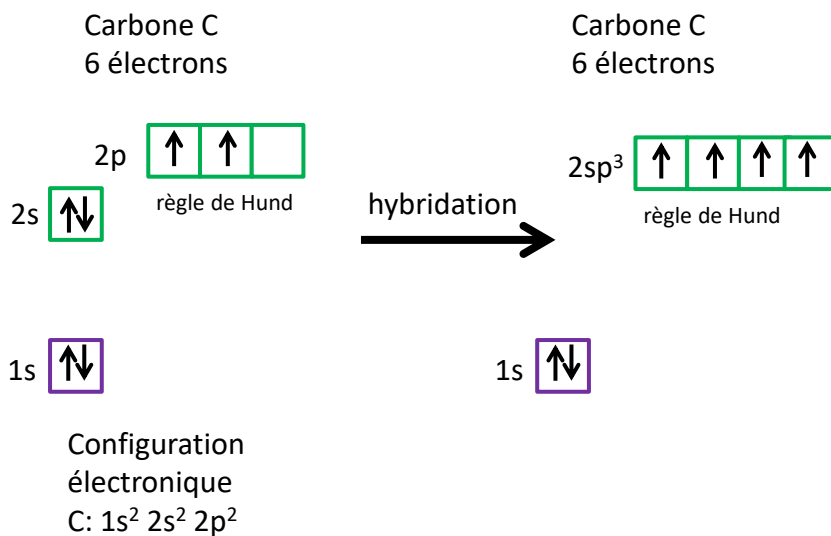
mode	orbitales atomiques concernées par l'hybridation	orbitales atomiques pures non hybridées	symétrie des orbitales hybrides
sp	s, p <sub>z</sub>	p <sub>x</sub> , p <sub>y</sub>	linéaire
sp <sup>2</sup>	s, p <sub>x</sub> , p <sub>y</sub>	p <sub>z</sub>	plane
sp <sup>3</sup>	s, p <sub>x</sub> , p <sub>y</sub> , p <sub>z</sub>		tétraédrique



52

## Hybridation

Exemple:  $sp^3$



53

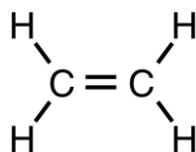
## Hybridation

### éthène

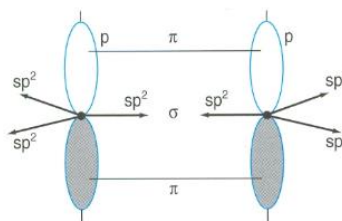
Formule brut:  $C_2H_4$

Formule développée:  $CH_2=CH_2$

Formule structurale:



planaire



Hybridation  $sp^2$  des atomes C

C=C double liaison

- 1 liaison  $\sigma$  (recouvrement axial)
- 1 liaison  $\pi$  (recouvrement latéral)

54

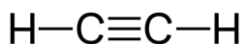
## Hybridation

### éthyne (acétylène)

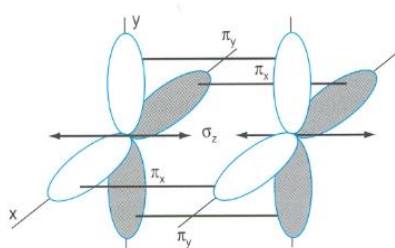
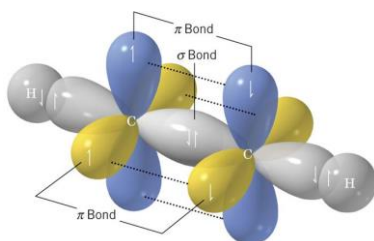
Formule brut:  $C_2H_2$

Formule développée:  $CH\equiv CH$

Formule structurale:



linéaire



Hybridation  $sp$  des atomes C

$C\equiv C$  triple liaison

- 1 liaison  $\sigma$
- 2 liaisons  $\pi$

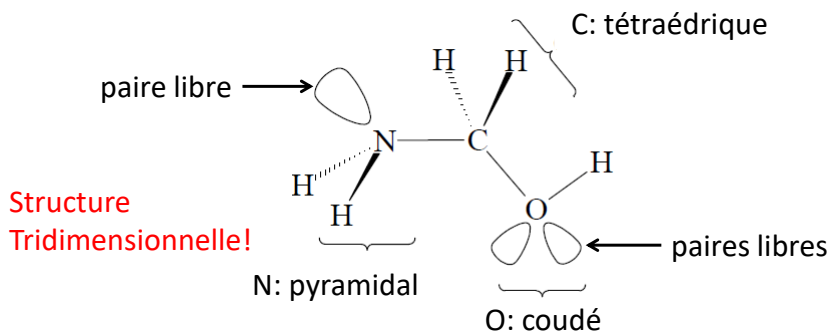
55

## Géométrie des molécules covalentes

### aminométhanol

Formule brut:  $CH_5NO$

Formule développée:  $NH_2-CH_2-OH$



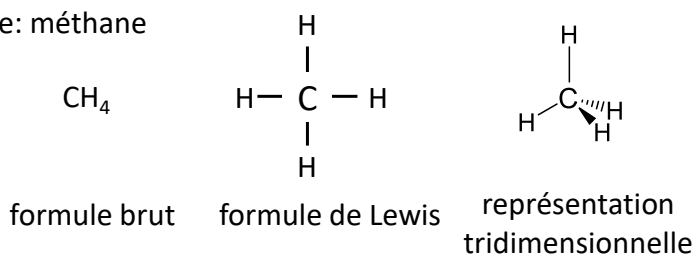
Les paires liantes et non liantes correspondent à des zones de densité de charge négative qui **se repoussent**. Les paires se distribuent dans l'espace de façon optimale pour **minimiser cette répulsion** (VSEPR = Valence Shell Electronic Pair Repulsion)

56

## Prévision de la géométrie selon le modèle VSEPR

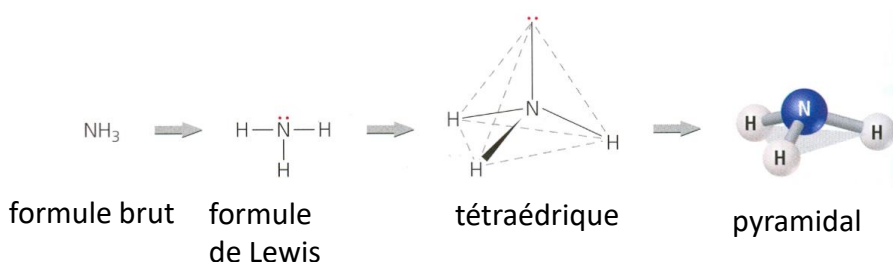
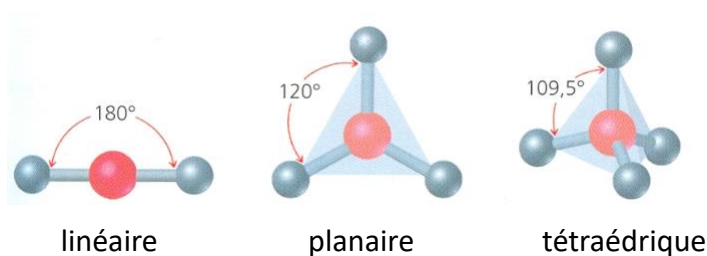
- Toutes **les paires** (liantes et non-liantes) autour d'un atome **se repoussent**. Position dans l'espace pour maximiser la distance entre eux.
- Le nombre des paires d'électrons détermine la structure: linéaire: deux paires, trigonal planaire: trois paires, tétraédrique: quatre paires (double et triple liaisons compte comme une paire)
- Les paires libres occupent plus de place que les paires liantes (estimer les angles)

Exemple: méthane



57

## Prévision de la géométrie selon le modèle VSEPR

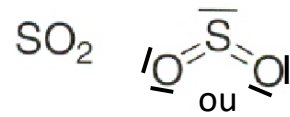
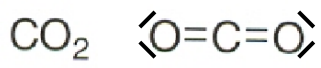
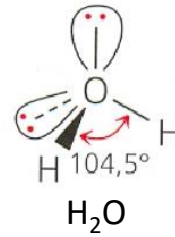
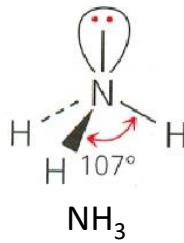
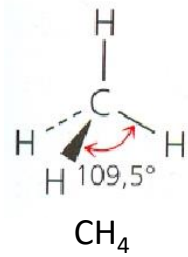


Brown, T. L.; LeMay, H. E.; Bursten, E. B. (2007)

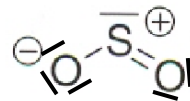
58

## Prévision de la géométrie selon le modèle VSEPR

Les paires libres occupent plus de place que les paires liantes



Règle de l'octet pas valable pour S!



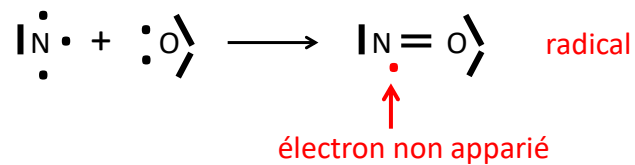
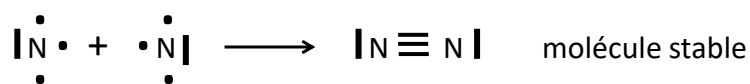
59

60

## Les radicaux

61

### Les radicaux



- Une liaison chimique peut se couper de façon homolytique (les deux électrons de la liaison A-B sont répartis équitablement) pour donner deux radicaux (A $\cdot$  et B $\cdot$ )
- Les radicaux sont très réactifs, courte durée de vie
- NO (monoxyde d'azote): durée de vie de quelques secondes (long pour un radical)

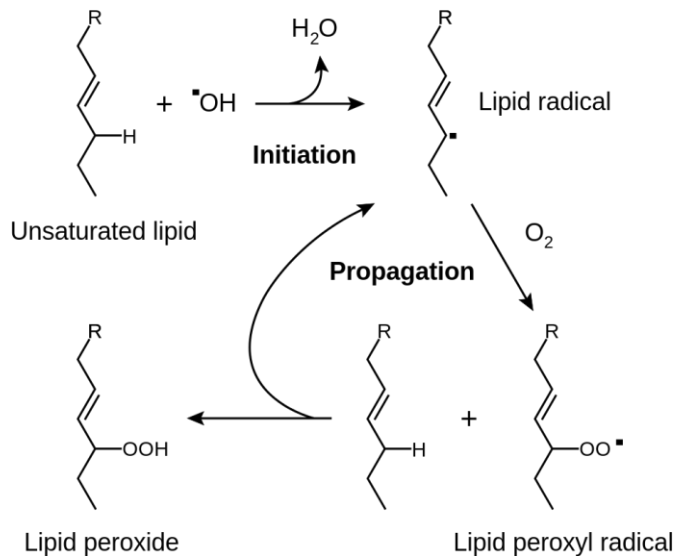
62

## Les dérivés réactifs de l'oxygène

«Reactive oxygen species» : ROS

- l'oxygène singulet  $\cdot\text{O}-\text{O}\cdot$  (état excité de la molécule  $\text{O}_2$ )
  - l'anion radicalaire superoxyde  $\text{O}_2^{\cdot-}$
  - le radical hydroxyle  $\text{HO}\cdot$
  - le radical hydroperoxyle  $\text{HO}_2\cdot$
  - les radicaux peroxyde ( $\text{ROO}\cdot$ ), radical alkoxyde ( $\text{RO}\cdot$ ) où R est une chaîne carbonée
- ces radicaux peuvent attaquer (peroxyder) les lipides insaturés (membranes) et peuvent alors tuer la cellule (**stress oxydant**)
  - le remplacement de la cellule oblige l'organisme à activer ses cellules souches, ce qui augmente le risque de cancérisation
  - ceci contribue aussi à un vieillissement accéléré de l'organisme (les cellules souches ne pouvant éternellement se multiplier)

63



I. S. Young, J. McEneny, Biochemical Society Transactions May 01, 2001, 29 (2) 358-362

64

## Sources

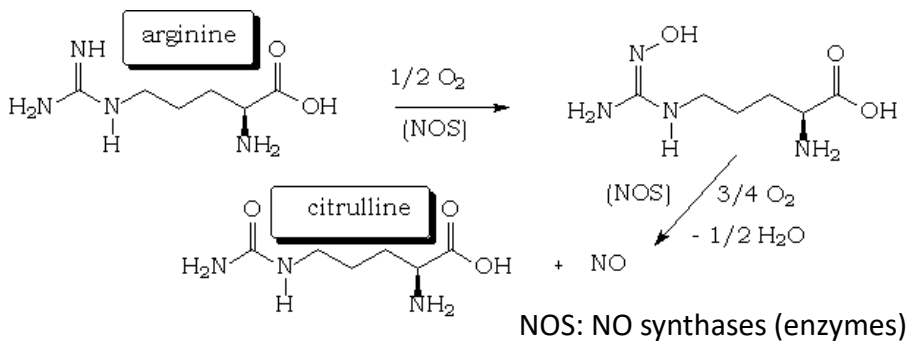
- Les ROS proviennent de produits dérivés de réactions enzymatiques essentielles, principalement de processus métaboliques **endogènes**
- Parmi les processus **exogènes**, on citera les rayons UV, les rayons gamma, les rayonnements lumineux intenses, l'ozone, le tabac, les infections (virales, bactériennes)



65

## NO: Monoxyde d'azote

- NO est une **molécule endogène** libérée par les cellules endothéliales, les macrophages, les cellules du foie et les neurones
- dans l'organisme NO remplit plusieurs fonctions
- synthèse par le corps à partir de la L-arginine et de l'oxygène



66

## NO: Monoxyde d'azote

### Fonctions:

**Vasodilatateur:** L'endothélium des vaisseaux sanguins se sert du NO pour déclencher le relâchement de sa tunique de muscle lisse

**Microbicide:** Les macrophages, cellules du système immunitaire, produisent du NO dans le but d'éliminer des bactéries pathogènes

**Neurotransmetteur:** Le NO joue le rôle d'un neurotransmetteur entre cellules nerveuses (diffusion rapide, NO peut atteindre plusieurs neurones)

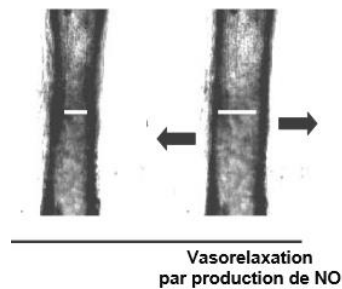
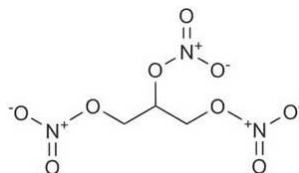
67

## NO, un radical important en médecine

- effet sur les muscles lisses (détente les muscles lisses, dilatation des vaisseaux)

Nitrolingual<sup>®</sup>

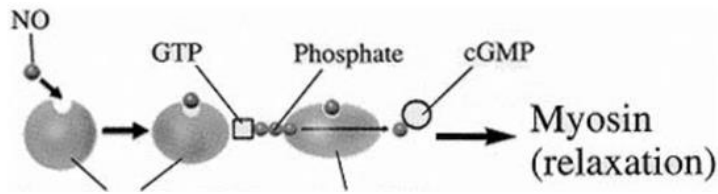
nitroglycérine, libère NO



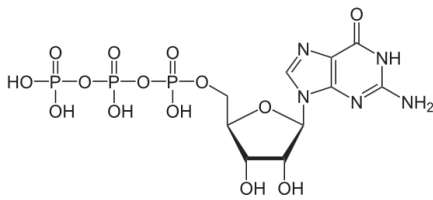
Débit  $q$  du sang dépend du rayon  $r$  intérieur du vaisseau sanguin

68

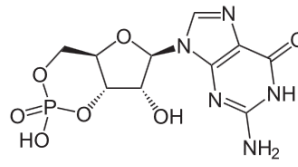
## Activation de la **guanylate cyclase** par NO



**guanylate cyclase** (GC) GC activée



guanosine triphosphate  
GTP



cyclic guanosine monophosphate  
cGMP

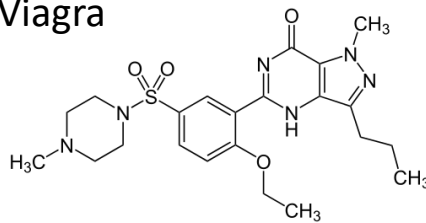
69



Viagra<sup>R</sup>

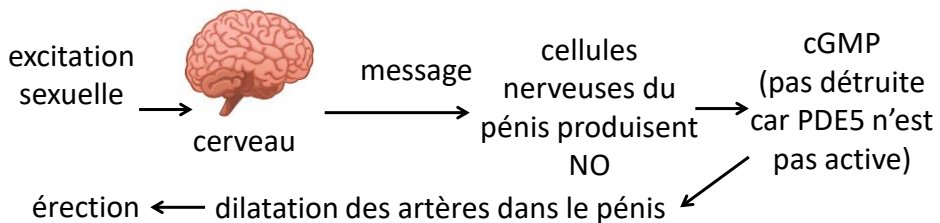
traitement de la  
dysfonction érectile

## Viagra



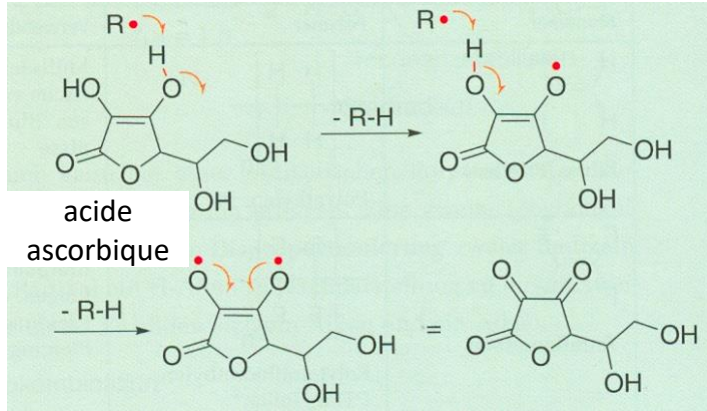
Sildenafil

Sildenafil: inhibiteur de la phosphodiésterase de type 5 (PDE5),  
une enzyme qui favorise la dégradation du cGMP.



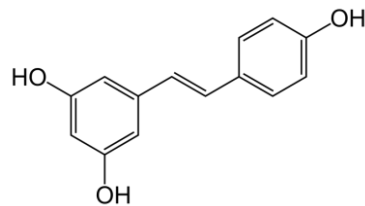
70

## Capteur de radicaux



71

## Capteur de radicaux



Resveratrol

72