



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

Chimie des Processus Biologiques: une introduction

Marc Fontecave

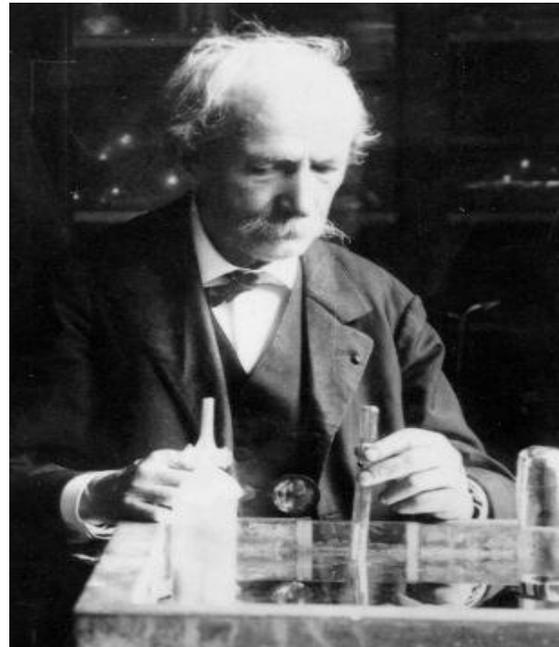
Paris le 26 Mars 2009

Introduction à la chimie des processus biologiques

- **La chimie: synthèse des molécules et langage**
- La chimie: vivant...moléculaire
- Vitalisme et réductionnisme
- Histoire abrégée de la chimie biologique
- La chimie bio-inorganique: vivant...minéral
- Chimie du vivant: perspectives

Marcellin Berthelot (1827-1907)

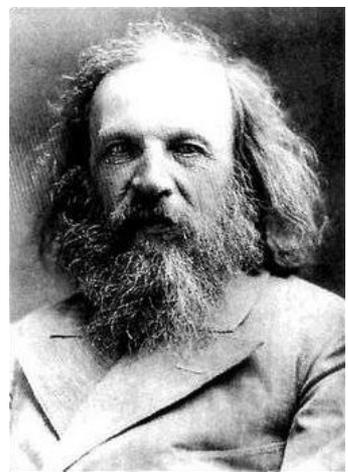
Professeur au Collège de France
Chaire de Chimie Organique (1865)



***« Cette faculté créatrice semblable à l'art lui-même
la distingue essentiellement des sciences naturelles et
historiques »***

Introduction à la chimie des processus biologiques

- **La chimie: synthèse des molécules et langage**
- La chimie: vivant...moléculaire
- Vitalisme et réductionnisme
- Histoire abrégée de la chimie biologique
- La chimie bio-inorganique: vivant...minéral
- Chimie du vivant: perspectives



Dimitri Mendeleev

PERIODIC TABLE Atomic Properties of the Elements

NIST
National Institute of Standards and Technology
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

Group
1
IA
2
IIA
3
IIIB
4
IVB
5
VB
6
VIB
7
VIIB
8
VIII
9
VIII
10
VIII
11
IB
12
IIB

Period
1
2
3
4
5
6
7

Frequently used fundamental physical constants

For the most accurate values of these and other constants, visit physics.nist.gov/constants
1 second = 9 192 631 770 periods of radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of ¹³³Cs

speed of light in vacuum	<i>c</i>	299 792 458 m s ⁻¹ (exact)
Planck constant	<i>h</i>	6.6261 × 10 ⁻³⁴ J s (<i>h</i> = <i>h</i> /2π)
elementary charge	<i>e</i>	1.6022 × 10 ⁻¹⁹ C
electron mass	<i>m_e</i>	9.1094 × 10 ⁻³¹ kg
	<i>m_ec²</i>	0.5110 MeV
proton mass	<i>m_p</i>	1.6726 × 10 ⁻²⁷ kg
fine-structure constant	<i>α</i>	1/137.036
Rydberg constant	<i>R_∞</i>	10 973 732 m ⁻¹
	<i>R_∞c</i>	3.289 842 × 10 ¹⁵ Hz
	<i>R_∞hc</i>	13.6057 eV
Boltzmann constant	<i>k</i>	1.3807 × 10 ⁻²³ J K ⁻¹

- Solids
- Liquids
- Gases
- Artificially Prepared

1 ¹ H Hydrogen 1.00784 1s 13.5984	2 ⁴ He Helium 4.002602 1s ² 24.5874											13 ¹⁰ B Boron 10.811 1s ² 2s ² 2p 8.2980	14 ¹² C Carbon 12.0107 1s ² 2s ² 2p 11.2603	15 ¹⁴ N Nitrogen 14.0067 1s ² 2s ² 2p 14.5341	16 ¹⁶ O Oxygen 15.9994 1s ² 2s ² 2p 13.6181	17 ¹⁸ F Fluorine 18.9984032 1s ² 2s ² 2p 17.4228	18 ²⁰ Ne Neon 20.1797 1s ² 2s ² 2p 21.5645																			
3 ⁶ Li Lithium 6.941 1s ² 2s 5.3917	4 ⁹ Be Beryllium 9.012182 1s ² 2s 9.3227	11 ²³ Na Sodium 22.989770 [Ne]3s 5.1391	12 ²⁴ Mg Magnesium 24.3050 [Ne]3s ² 7.6482	19 ³⁹ K Potassium 39.0983 [Ar]4s 4.3407	20 ⁴⁰ Ca Calcium 40.078 [Ar]4s 6.1132	21 ⁴⁵ Sc Scandium 44.955910 [Ar]3d ¹ 4s 6.5615	22 ⁴⁸ Ti Titanium 47.887 [Ar]3d ² 4s 6.8281	23 ⁵¹ V Vanadium 50.9415 [Ar]3d ³ 4s 6.7462	24 ⁵² Cr Chromium 51.9961 [Ar]3d ⁵ 4s 6.7695	25 ⁵⁵ Mn Manganese 54.938049 [Ar]3d ⁵ 4s 7.4340	26 ⁵⁶ Fe Iron 55.845 [Ar]3d ⁶ 4s 7.9024	27 ⁵⁹ Co Cobalt 58.933200 [Ar]3d ⁷ 4s 7.8810	28 ⁵⁸ Ni Nickel 58.6934 [Ar]3d ⁸ 4s 7.6398	29 ⁶³ Cu Copper 63.546 [Ar]3d ¹⁰ 4s 7.7264	30 ⁶⁵ Zn Zinc 65.409 9.3942	31 ⁶⁹ Ga Gallium 69.723 [Ar]3d ¹⁰ 4s 5.9993	32 ⁷² Ge Germanium 72.64 [Ar]3d ¹⁰ 4s 7.8994	33 ⁷⁵ As Arsenic 74.92160 9.7886	34 ⁷⁸ Se Selenium 78.96 9.7524	35 ⁷⁹ Br Bromine 79.904 11.8138	36 ⁸⁴ Kr Krypton 83.798 13.9996															
37 ⁸⁵ Rb Rubidium 85.4678 [Kr]5s 4.1771	38 ⁸⁸ Sr Strontium 87.62 [Kr]5s 5.6949	39 ⁸⁹ Y Yttrium 88.90585 [Kr]4d ¹ 5s 6.2173	40 ⁹¹ Zr Zirconium 91.224 [Kr]4d ² 5s 6.6339	41 ⁹³ Nb Niobium 92.90638 [Kr]4d ⁴ 5s 6.7589	42 ⁹⁵ Mo Molybdenum 95.94 [Kr]4d ⁵ 5s 7.0924	43 ⁹⁸ Tc Technetium (98) [Kr]4d ⁵ 5s 7.28	44 ¹⁰¹ Ru Ruthenium 101.07 7.3605	45 ¹⁰³ Rh Rhodium 102.90550 7.4589	46 ¹⁰⁶ Pd Palladium 106.42 8.3369	47 ¹⁰⁸ Ag Silver 107.8682 8.3369	48 ¹¹² Cd Cadmium 112.411 8.9938	49 ¹¹⁵ In Indium 114.818 5.7864	50 ¹¹⁸ Sn Tin 118.710 7.3439	51 ¹²¹ Sb Antimony 121.760 8.6084	52 ¹²⁷ Te Tellurium 127.60 9.0096	53 ¹²⁷ I Iodine 126.90447 10.4513	54 ¹³¹ Xe Xenon 131.293 12.1298	55 ¹³³ Cs Cesium 132.90545 [Xe]6s 3.8939	56 ¹³⁷ Ba Barium 137.327 [Xe]6s 5.2117	72 ¹⁷⁸ Hf Hafnium 178.49 6.8251	73 ¹⁸¹ Ta Tantalum 180.9479 7.5496	74 ¹⁸³ W Tungsten 183.84 7.8640	75 ¹⁸⁶ Re Rhenium 186.207 7.8335	76 ¹⁹⁰ Os Osmium 190.23 8.4382	77 ¹⁹² Ir Iridium 192.217 8.9670	78 ¹⁹⁵ Pt Platinum 195.078 8.9588	79 ¹⁹⁷ Au Gold 196.96655 9.2255	80 ²⁰⁰ Hg Mercury 200.59 10.4375	81 ²⁰⁴ Tl Thallium 204.3833 6.1082	82 ²⁰⁷ Pb Lead 207.2 7.4167	83 ²⁰⁸ Bi Bismuth 208.98038 7.2855	84 ²⁰⁹ Po Polonium (209) 8.414	85 ²¹⁰ At Astatine (210) [Hg]6p ⁵	86 ²²² Rn Radon (222) [Hg]6p ⁶ 10.7485		
87 ²²³ Fr Francium (223) [Rn]7s 4.0727	88 ²²⁶ Ra Radium (226) [Rn]7s 5.2784											104 ²⁶¹ Rf Rutherfordium (261) [Rn]5f ¹⁴ 6d ² 7s ² 6.0 ?	105 ²⁶² Db Dubnium (262)	106 ²⁶⁶ Sg Seaborgium (266)	107 ²⁶⁴ Bh Bohrium (264)	108 ²⁶⁵ Hs Hassium (265)	109 ²⁶⁸ Mt Meitnerium (268)	110 ²⁶⁸ Uun Ununium (268)	111 ²⁷² Uuu Unununium (272)	112 ²⁸⁵ Uub Ununbium (285)											114 ²⁸⁹ Uuq Ununquadium (289)			116 ²⁹² Uuh Ununhexium (292)		

Atomic Number: 58
Ground-state Level: 1G₄
Symbol: Ce
Name: Cerium
Atomic Weight: 140.116
Ground-state Configuration: [Xe]4f¹5d¹6s²
Ionization Energy (eV): 5.5387

57 ¹³⁹ La Lanthanum 138.9055 [Xe]5d ¹ 6s ² 5.5769	58 ¹⁴⁰ Ce Cerium 140.116 [Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ² 5.5387	59 ¹⁴¹ Pr Praseodymium 140.90765 [Xe]4f ³ 6s ² 5.473	60 ¹⁴² Nd Neodymium 144.24 [Xe]4f ⁴ 6s ² 5.5250	61 ¹⁴⁵ Pm Promethium (145) [Xe]4f ⁵ 6s ² 5.582	62 ¹⁵⁰ Sm Samarium 150.36 [Xe]4f ⁶ 6s ² 5.6704	63 ¹⁵² Eu Europium 151.964 [Xe]4f ⁷ 6s ² 5.6704	64 ¹⁵⁷ Gd Gadolinium 157.25 [Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ² 5.8398	65 ¹⁵⁹ Tb Terbium 158.92534 [Xe]4f ⁹ 6s ² 5.9389	66 ¹⁶² Dy Dysprosium 162.500 [Xe]4f ¹⁰ 6s ² 6.0215	67 ¹⁶³ Ho Holmium 164.93032 [Xe]4f ¹¹ 6s ² 6.0215	68 ¹⁶⁵ Er Erbium 167.259 [Xe]4f ¹² 6s ² 6.1077	69 ¹⁶⁷ Tm Thulium 168.93421 [Xe]4f ¹³ 6s ² 6.1843	70 ¹⁷³ Yb Ytterbium 173.04 [Xe]4f ¹⁴ 6s ² 6.2542	71 ¹⁷⁵ Lu Lutetium 174.967 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² 5.4259
89 ²²³ Ac Actinium (227) [Rn]6d ¹ 7s ² 5.17	90 ²³² Th Thorium 232.0381 [Rn]6d ² 7s ² 6.3087	91 ²³¹ Pa Protactinium 231.03588 [Rn]5f ² 6d ¹ 7s ² 5.89	92 ²³⁸ U Uranium 238.02891 [Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ² 6.1941	93 ²³⁷ Np Neptunium (237) [Rn]5f ⁴ 6d ¹ 7s ² 6.2657	94 ²⁴⁴ Pu Plutonium (244) [Rn]5f ⁶ 7s ² 6.0260	95 ²⁴³ Am Americium (243) [Rn]5f ⁷ 7s ² 5.9738	96 ²⁴⁷ Cm Curium (247) [Rn]5f ⁸ 6d ¹ 7s ² 5.9914	97 ²⁴⁷ Bk Berkelium (247) [Rn]5f ⁹ 7s ² 6.1979	98 ²⁵¹ Cf Californium (251) [Rn]5f ¹⁰ 7s ² 6.2817	99 ²⁵² Es Einsteinium (252) [Rn]5f ¹¹ 7s ² 6.42	100 ²⁵⁷ Fm Fermium (257) [Rn]5f ¹² 7s ² 6.50	101 ²⁵⁸ Md Mendelevium (258) [Rn]5f ¹³ 7s ² 6.58	102 ²⁵⁹ No Nobelium (259) [Rn]5f ¹⁴ 7s ² 6.65	103 ²⁶² Lr Lawrencium (262) [Rn]5f ¹⁴ 7s ² 7p ¹ 4.9 ?

[†]Based upon ¹²C. () indicates the mass number of the most stable isotope.

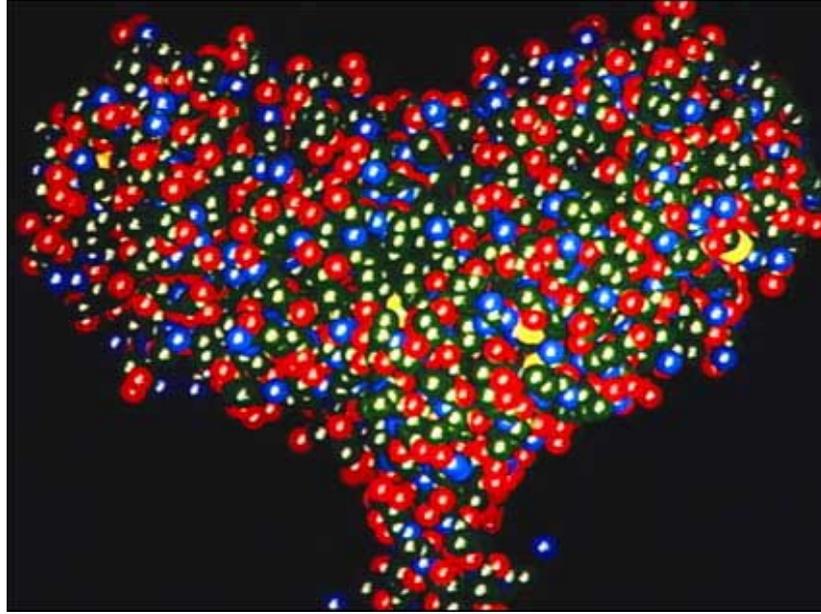
For a description of the data, visit physics.nist.gov/data

urée



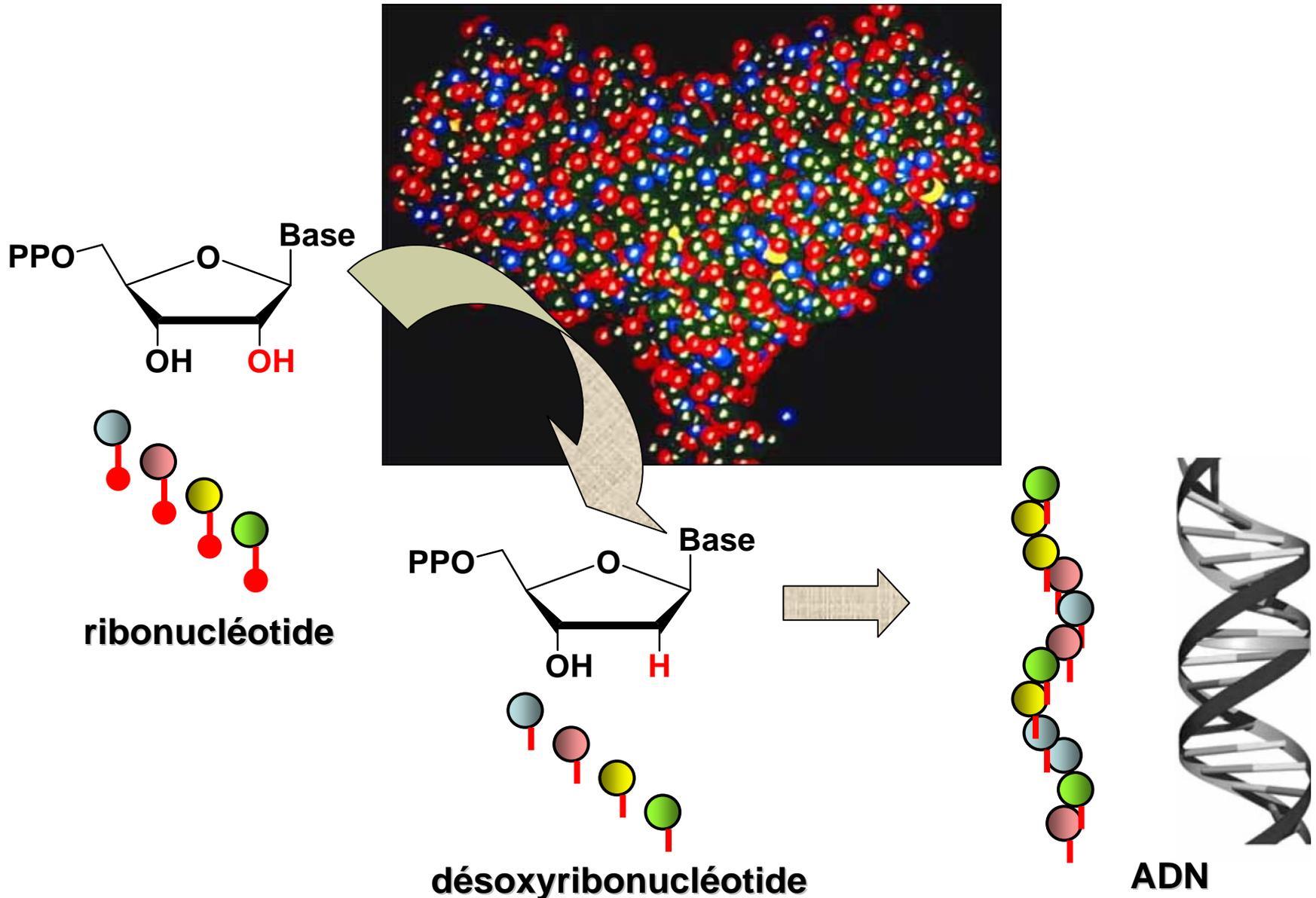
Une protéine

La Ribonucléotide Réductase

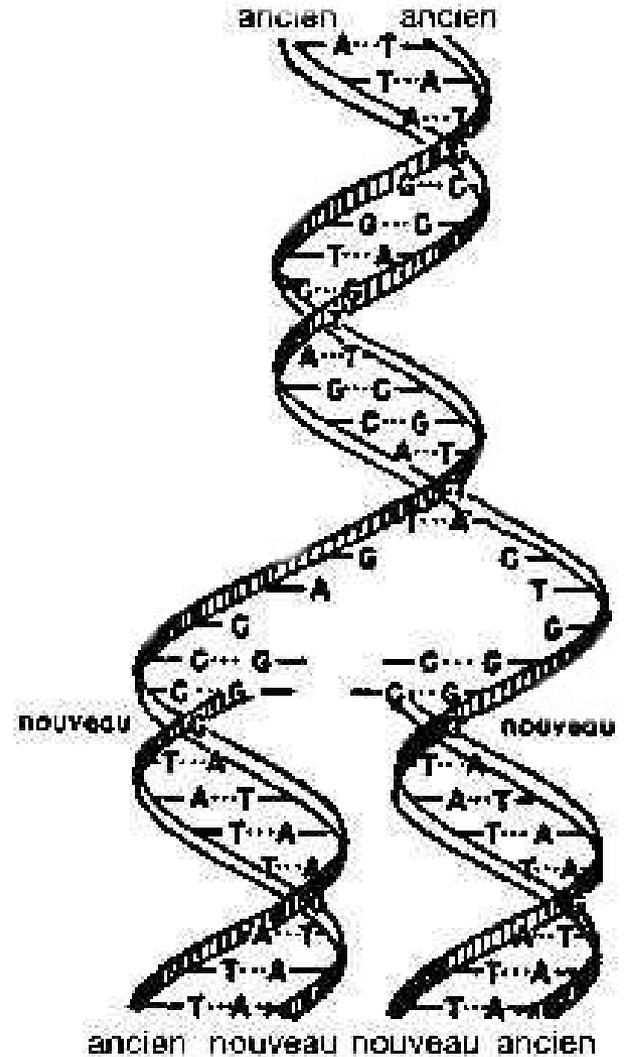


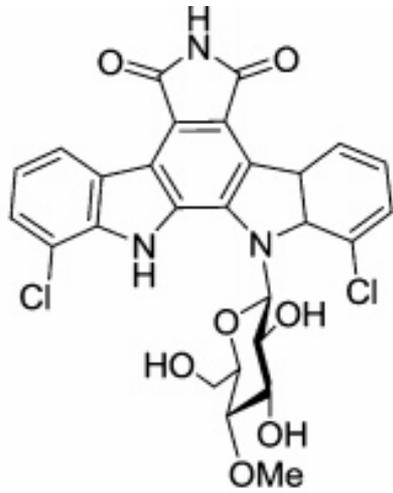
Une protéine

La Ribonucléotide Réductase

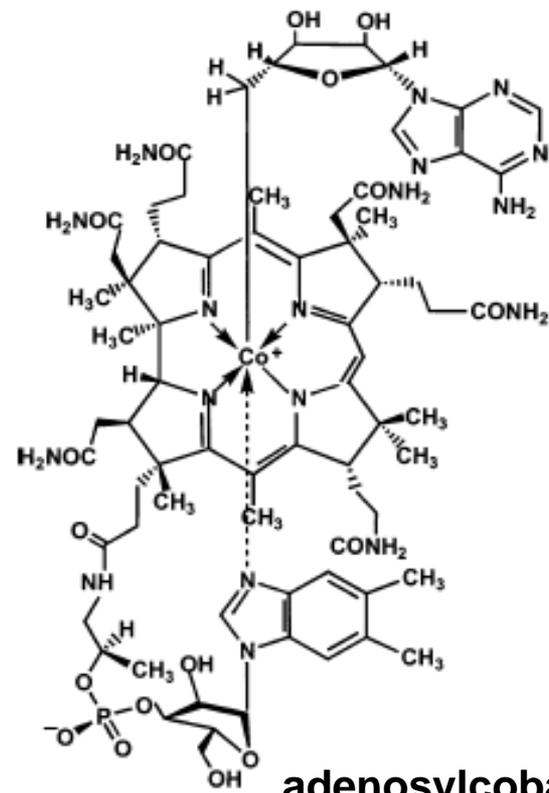


La double hélice de l'ADN

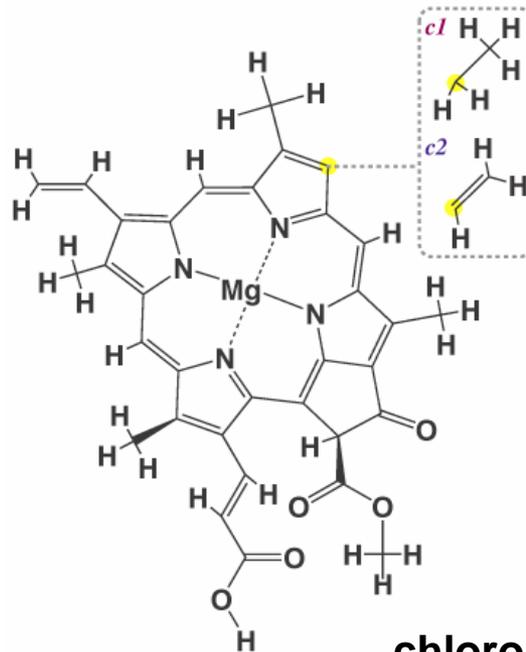




rebeccamycin



adenosylcobalamine



chlorophyll



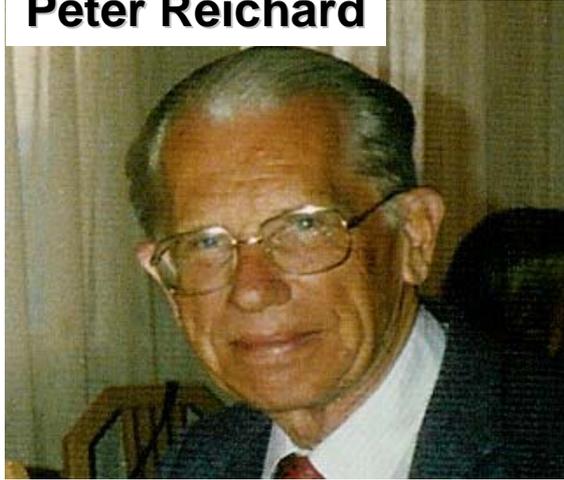
Nature (2009) 457 910

Introduction à la chimie des processus biologiques

- La chimie: synthèse des molécules et langage
- **La chimie: l'unité moléculaire du vivant; science de la matière « informée », science de la matière « transformée »**
- Vitalisme et réductionnisme
- Histoire abrégée de la chimie biologique
- La chimie bioinorganique: vivant...minéral
- Chimie du vivant: perspectives

La ribonucléotide réductase anaérobie

Peter Reichard



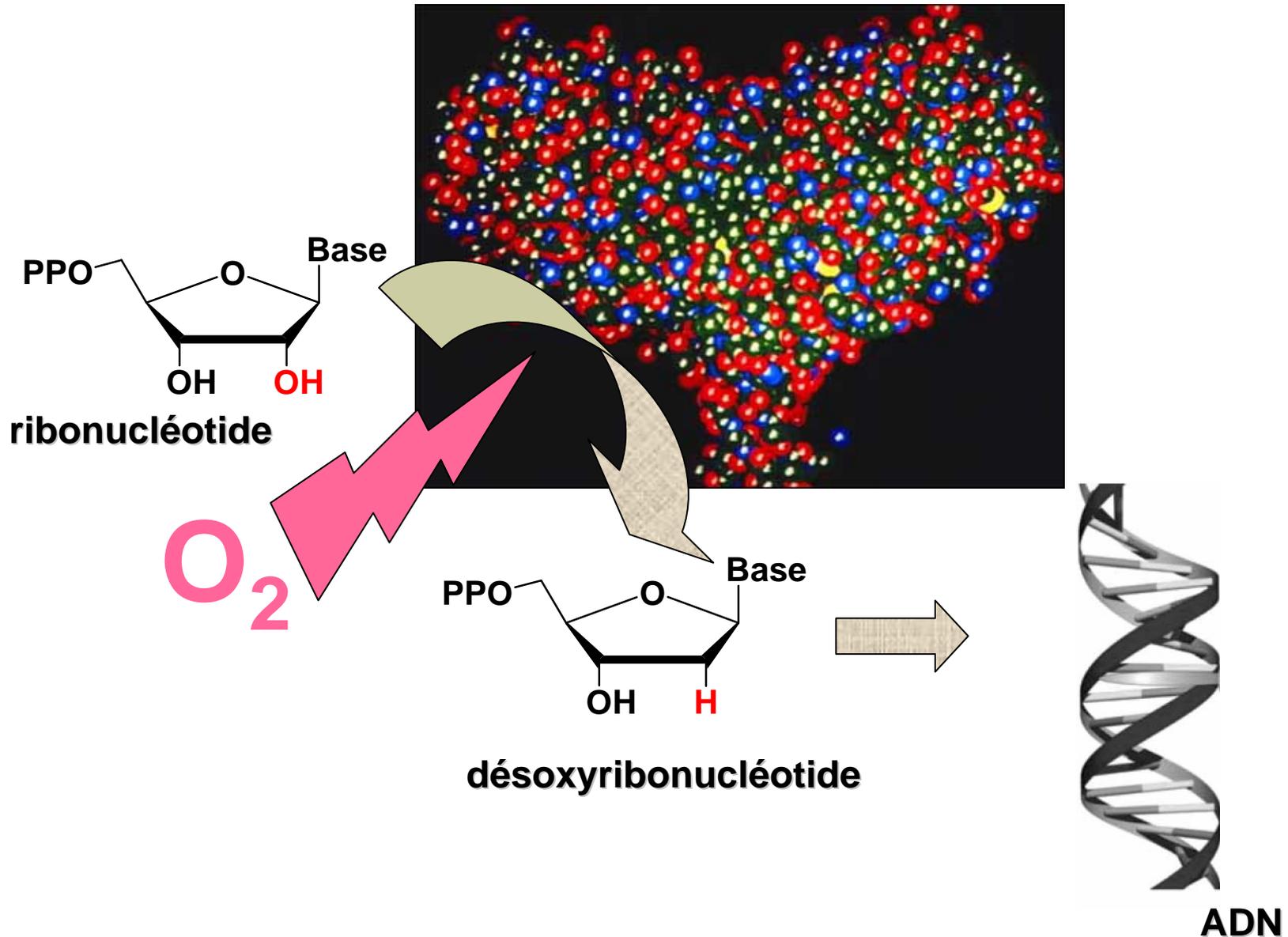
Etienne Mulliez



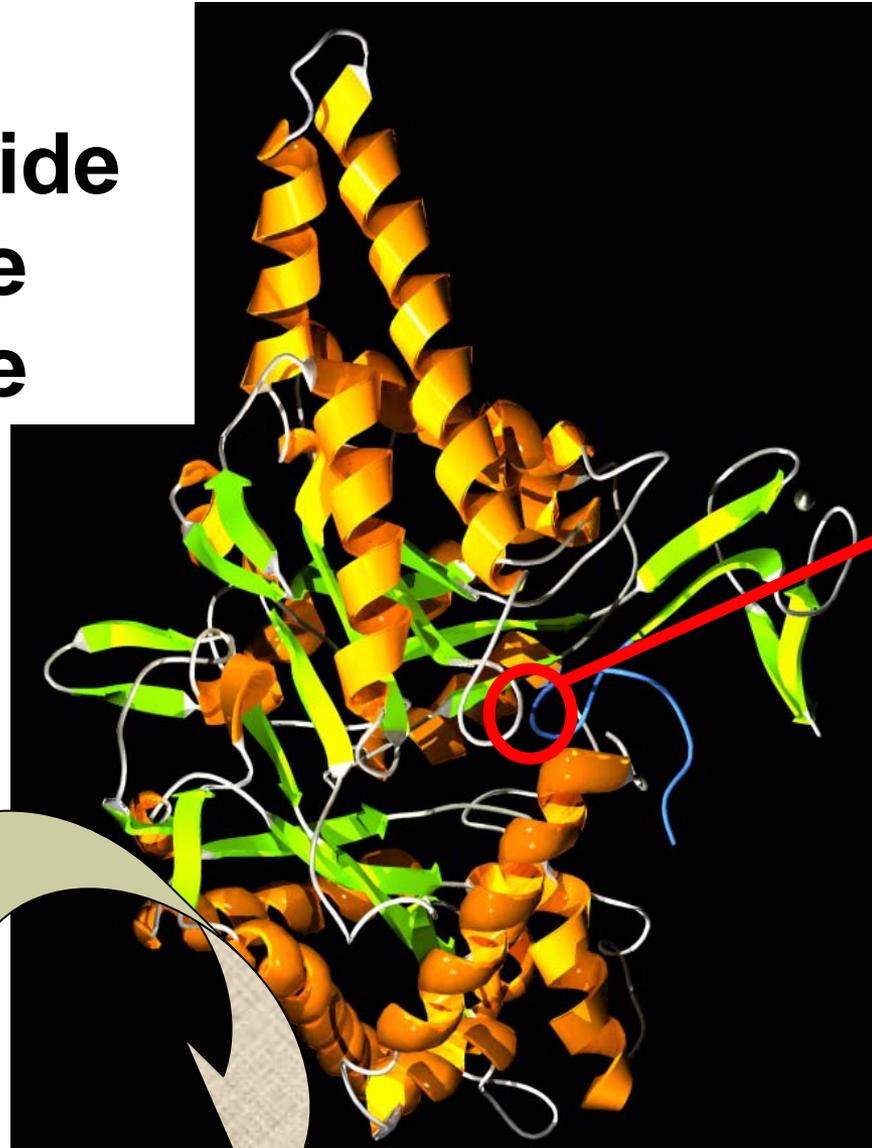
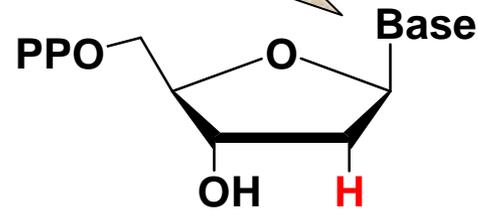
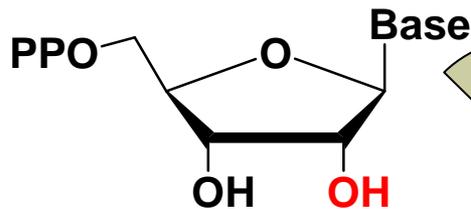
Sandrine Ollagnier-de-Choudens



Biosynthèse de l'ADN et oxygène



La ribonucléotide réductase anaérobie



Enzyme inactive



Enzyme active



Introduction à la chimie des processus biologiques

- La chimie: synthèse des molécules et langage
- La chimie: l'unité moléculaire du vivant; science de la matière « informée », science de la matière « transformée »
- **Vitalisme et réductionnisme**
- Histoire abrégée de la chimie biologique
- La chimie bioinorganique: vivant...minéral
- Chimie du vivant: perspectives

« La science des corps organisés doit être traitée d'une manière toute différente de celles qui ont les corps inorganiques pour objets....

La physique, la chimie se touchent, parce que les mêmes lois président à leurs phénomènes; mais un immense intervalle les sépare de la science des corps organiques, parce qu'une énorme différence existe entre ces lois et celles de la vie »

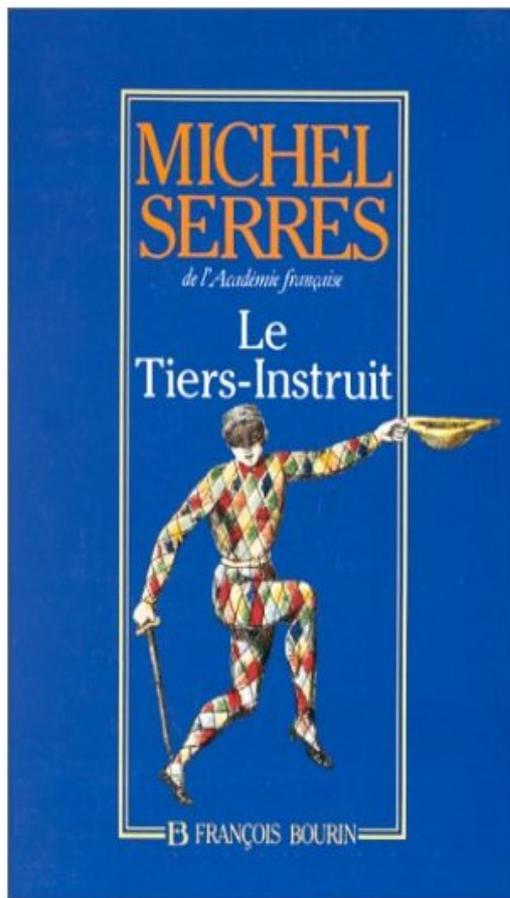
M.F.X. Bichat (1771-1802)





**Georges Whitesides
Médaille Priestley 2007**

« The nature of the cell is an entirely molecular problem »



***« Le corps qui traverse apprend
certes un second monde,
celui vers lequel il se dirige, où l'on
parle une autre langue,
mais il s'initie surtout à un
troisième, par où il transite »***

Introduction à la chimie des processus biologiques

- La chimie: synthèse des molécules et langage
- La chimie: l'unité moléculaire du vivant; science de la matière « informée », science de la matière « transformée »
- Vitalisme et réductionnisme
- **Histoire abrégée de la chimie biologique**
- La chimie bioinorganique: vivant...minéral
- Chimie du vivant: perspectives



Frederick Wöhler
(1800-1882)

Isocyanate
d'argent
AgNCO

Chlorure
d'ammonium
NH₄Cl

+

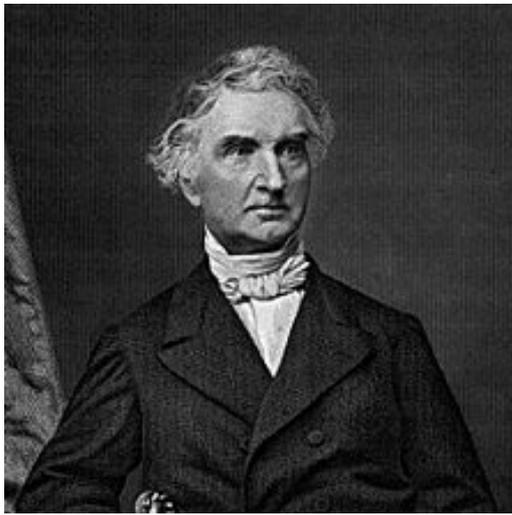


AgCl
Chlorure
d'argent

+

NH₂-CO-NH₂
Urée

« je dois vous informer que je suis en mesure d'obtenir de l'urée sans recourir à un rein animal ou humain » (1828)

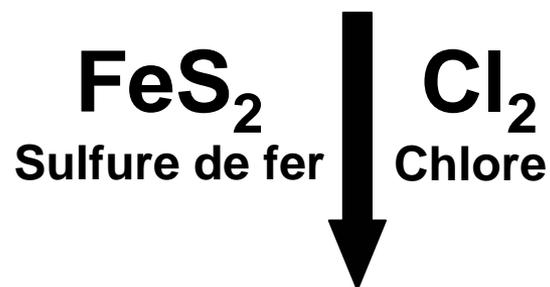
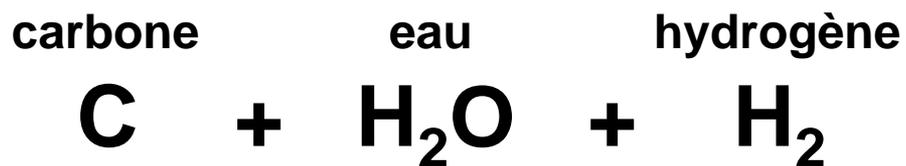


**Justus Von Liebig
(1803-1873)**

« L'extraordinaire et inexplicable production d'urée sans l'assistance de fonctions vitales, que nous devons à Wöhler, doit être considérée comme l'une des découvertes avec lesquelles une nouvelle ère de la science commence » (1837)

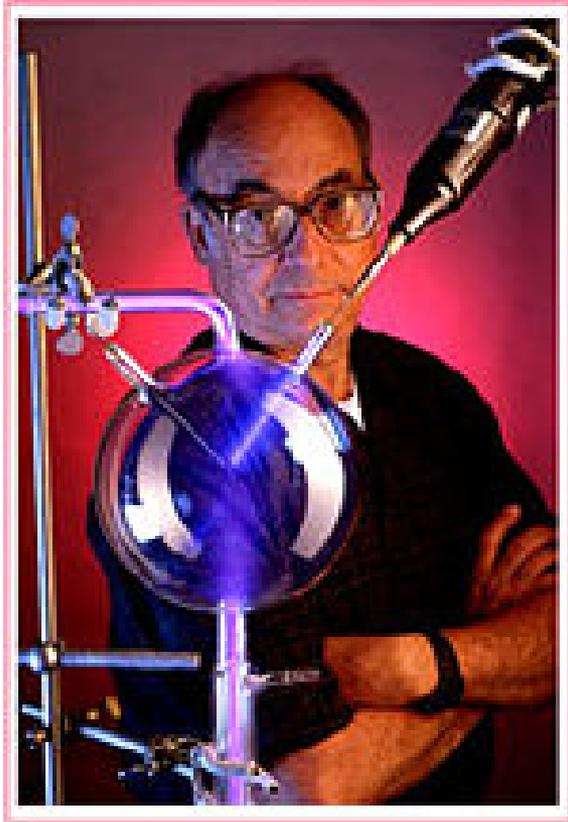


Hermann Kolbe
(1818-1884)

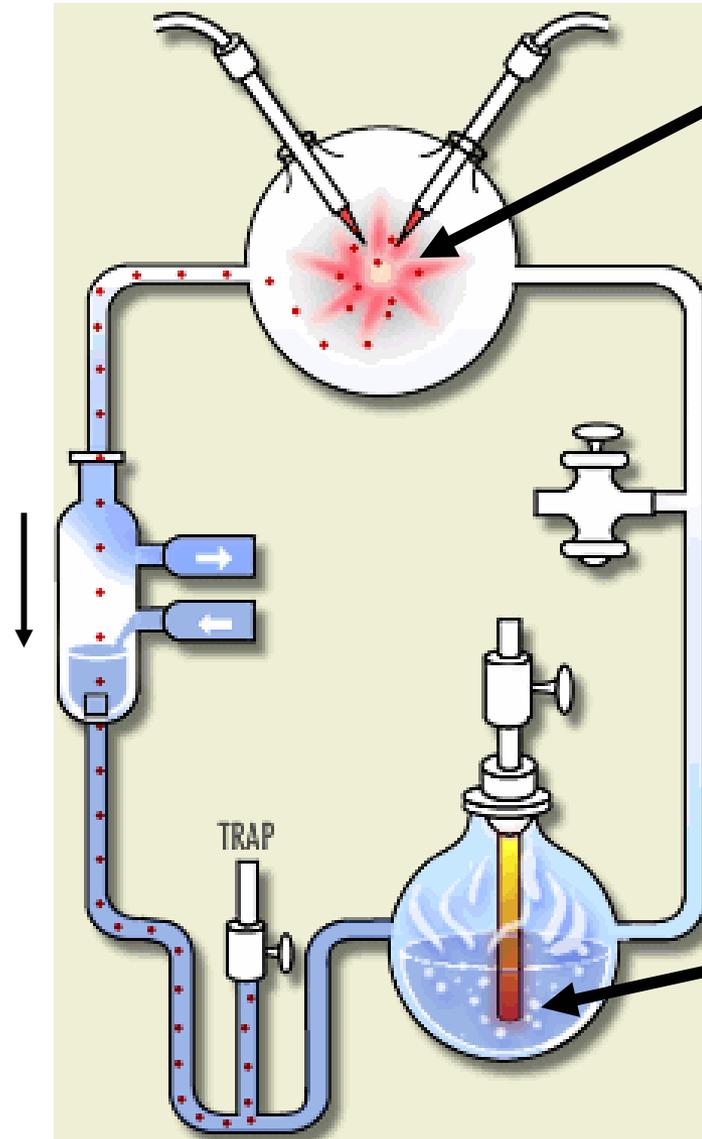


Acide acétique

L'expérience de Miller (1953)



**Stanley Miller
(1930-2007)**



« Atmosphère irradiée »
 H_2O , CH_4
 NH_3 , H_2
...

« Océan chaud »
**Acides,
Acides aminés,
Sucres,...**

Introduction à la chimie des processus biologiques

- La chimie: synthèse et langage
- La chimie: l'unité moléculaire du vivant; science de la matière « informée », science de la matière « transformée »
- Vitalisme et réductionnisme
- **Histoire abrégée de la chimie biologique: Wöhler, Berthelot, Kolbe, Pasteur (1822-1895)**
- La chimie bioinorganique: vivant...minéral
- Chimie du vivant: perspectives



Deux révolutions de la chimie biologique



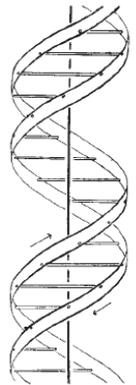
**Edouard Büchner
(1860-1917)**



**Les enzymes:
la chimie
de la matière vivante transformée**



**James Watson
Francis Crick**



**La double hélice de l'ADN:
la chimie
de la matière vivante informée**

No. 4356 April 25, 1953

NATURE

equipment, and to Dr. G. E. R. Deacon and the captain and officers of R.R.S. *Discovery II* for their part in making the observations.

¹ Young, F. B., Gerrard, H., and Jevons, W., *Phil. Mag.*, **40**, 149 (1920).

² Longuet-Higgins, M. S., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc., Geophys. Supp.*, **5**, 285 (1949).

³ Von ARX, W. S., *Woods Hole Papers in Phys. Oceanog. Meteor.*, **11** (3) (1950).

⁴ Ekman, V. W., *Arkiv. Mat. Astron. Fysik. (Stockholm)*, **2** (11) (1905).

MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

is a residu
tion. We
adjacent
structure
is, after
from the
the outsid
The stru
is rather
expect the
become m

The nov
in which
purine and
are perpen
together in
hydrogen-l

Introduction à la chimie des processus biologiques

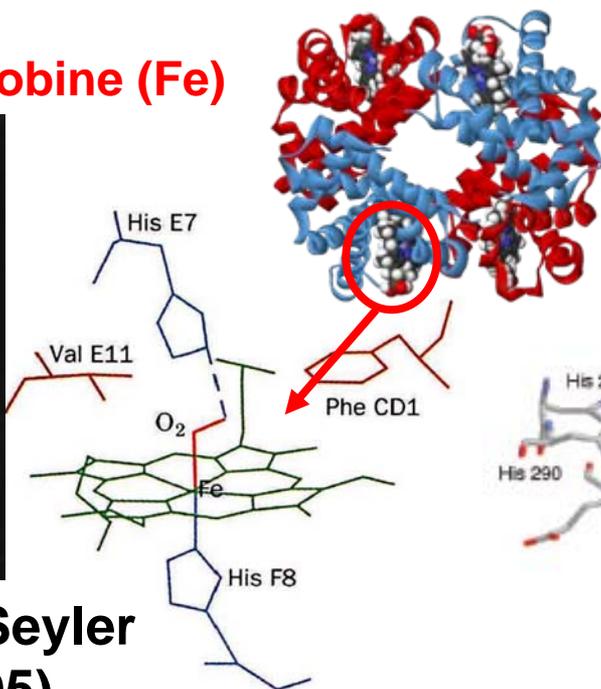
- La chimie: synthèse des molécules et langage
- La chimie: l'unité moléculaire du vivant; science de la matière « informée », science de la matière « transformée »
- Vitalisme et réductionnisme
- Histoire abrégée de la chimie biologique: Wöhler, Kolbe, Berthelot, Pasteur, Büchner, Watson/Crick
- **La chimie bioinorganique: vivant...minéral**
- Chimie du vivant: perspectives

La révolution de la chimie bioinorganique

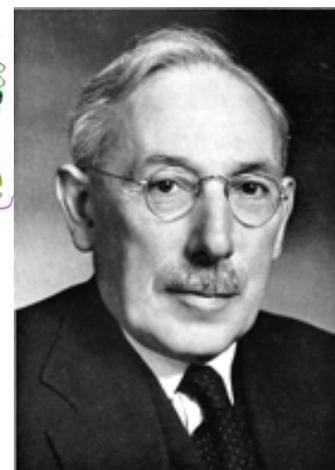
Hémoglobine (Fe)



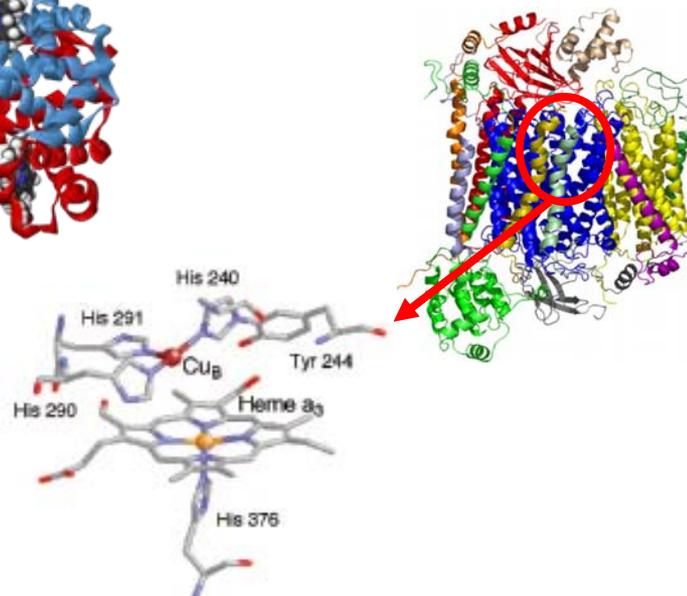
E. F. Hoppe-Seyler
(1825-1895)



Cytochrome oxydase (Fe, Cu)



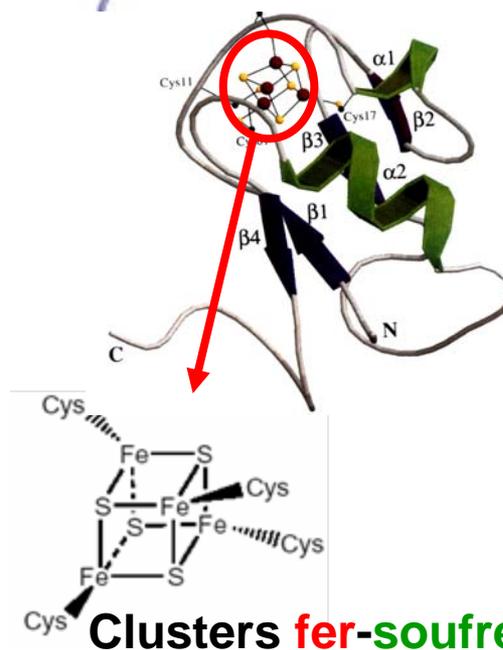
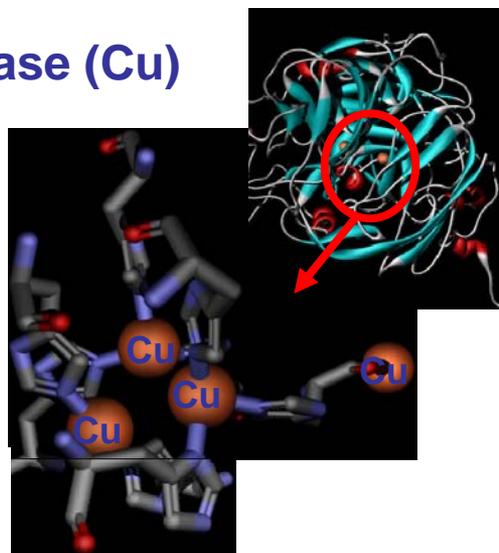
David Keilin
(1887-1963)



Laccase (Cu)



Gabriel Bertrand
(1867-1962)

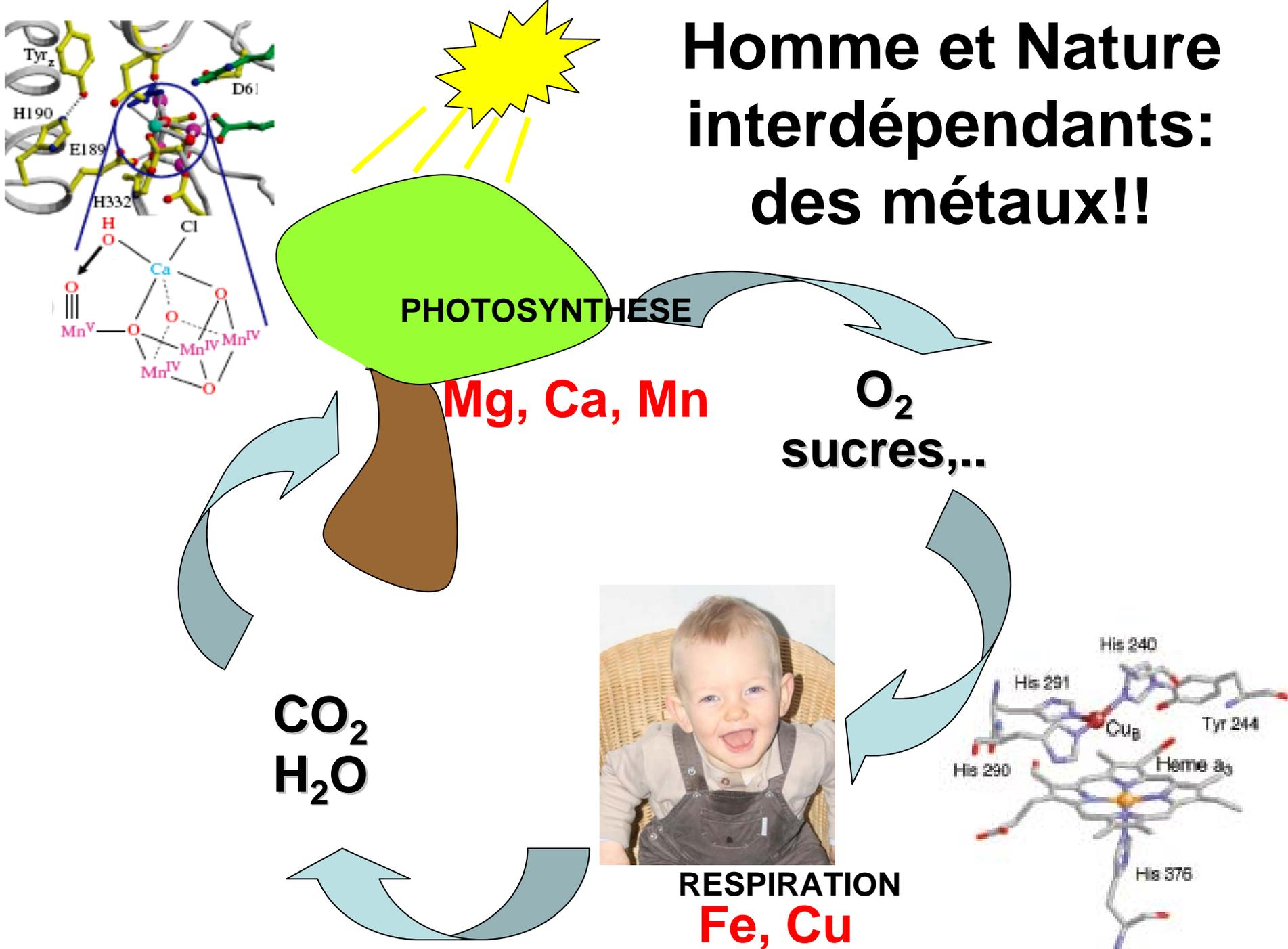


Clusters fer-soufre



Helmut Beinert
(1913-2007)

Homme et Nature interdépendants: des métaux!!



Introduction à la chimie des processus biologiques

- La chimie: synthèse des molécules et langage
- La chimie: l'unité moléculaire du vivant; science de la matière « informée », science de la matière « transformée »
- Vitalisme et réductionnisme
- Histoire abrégée de la chimie biologique: Wöhler, Kolbe, Pasteur, Buchner, Watson/Crick
- La chimie bioinorganique: vivant...minéral
- **Chimie du vivant: perspectives...**

Chimie du vivant: perspectives

- **Contexte: science, technologie, démographie, énergie**
- Chimie « verte »: toxicologie, (bio)catalyse, catalyse « bioinspirée »
- Les molécules du vivant
- Chimie et santé
- Vectorisation, imagerie, chimie du cerveau, origines chimiques de la vie,.....

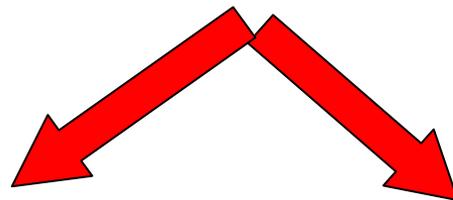
Chimie du vivant: perspectives

- Contexte: science, technologie, démographie, énergie
- **Chimie « verte »: toxicologie, (bio)catalyse, catalyse « bioinspirée »**
- Les molécules du vivant
- Chimie et santé
- Vectorisation, imagerie, chimie du cerveau, origines chimiques de la vie,.....

La chimie « verte »:

Nouvelles synthèses chimiques

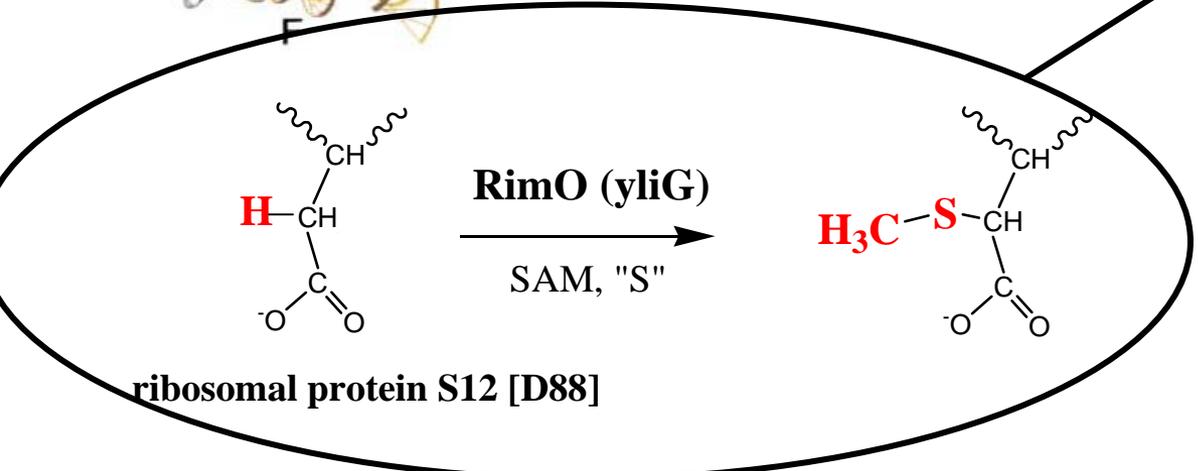
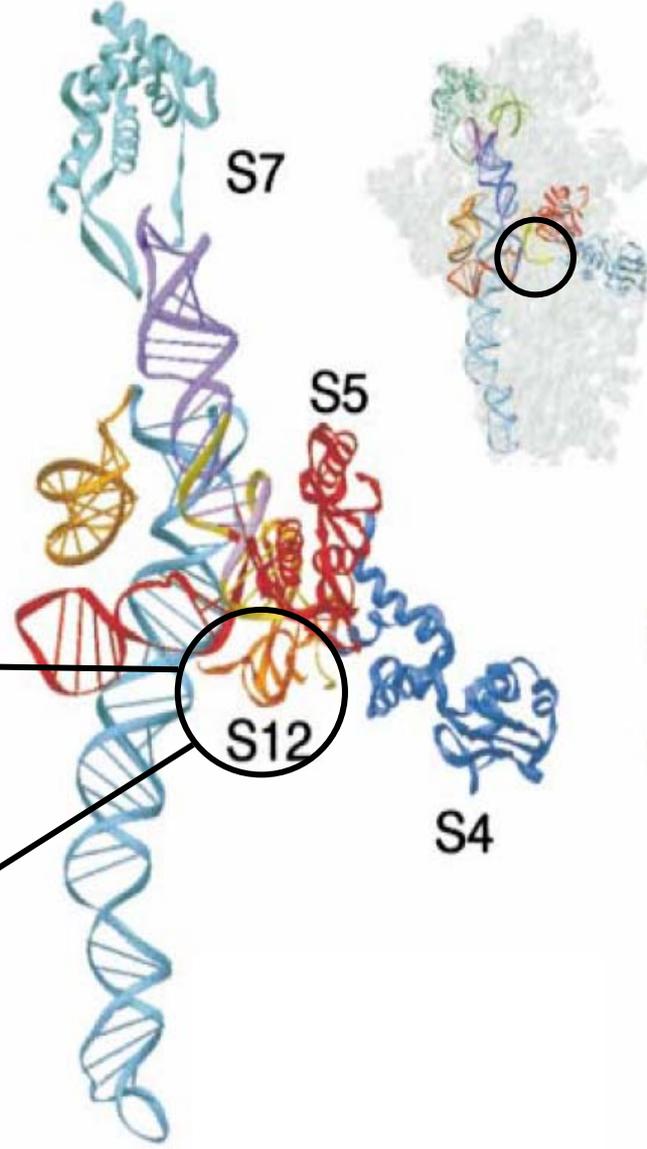
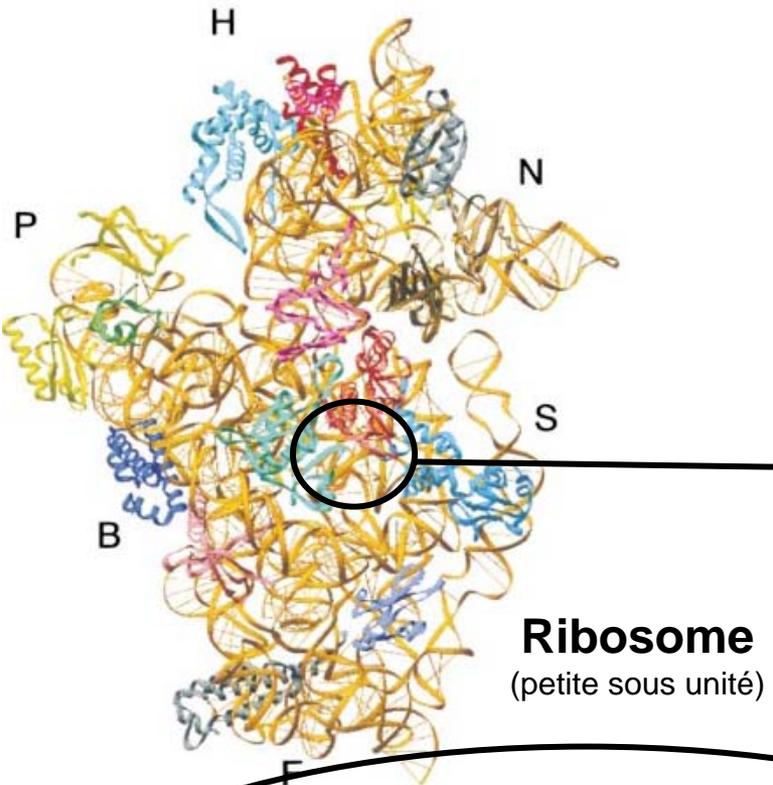
- Solvants, produits, réactifs non toxiques
- Substrats renouvelables
- Limitation des déchets
- Limitation de la dépense énergétique
-



(ECO)TOXICOLOGIE

(BIO)CATALYSE

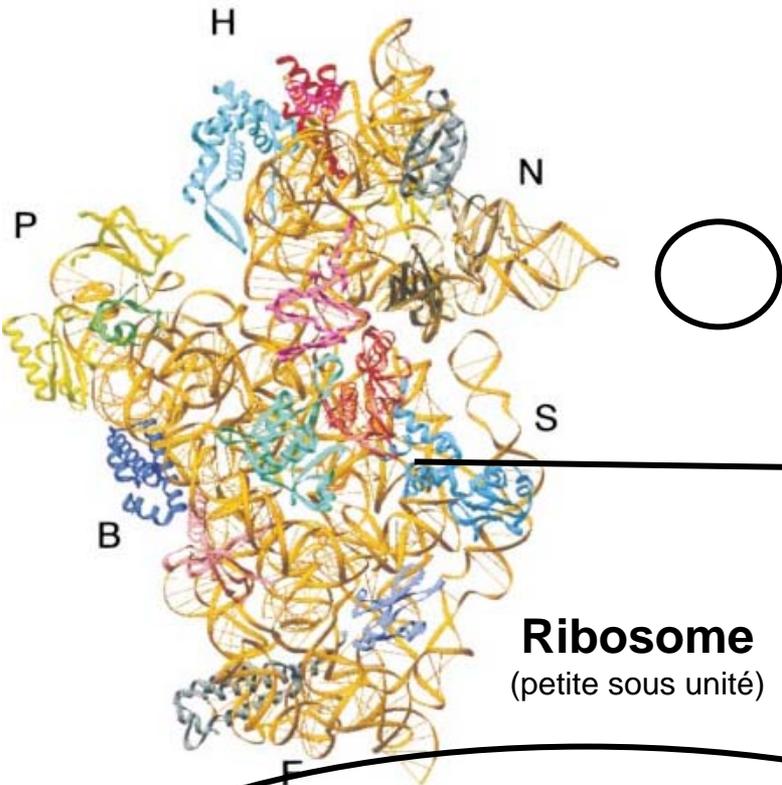
Les mystères de la biocatalyse des sélectivités extrêmes



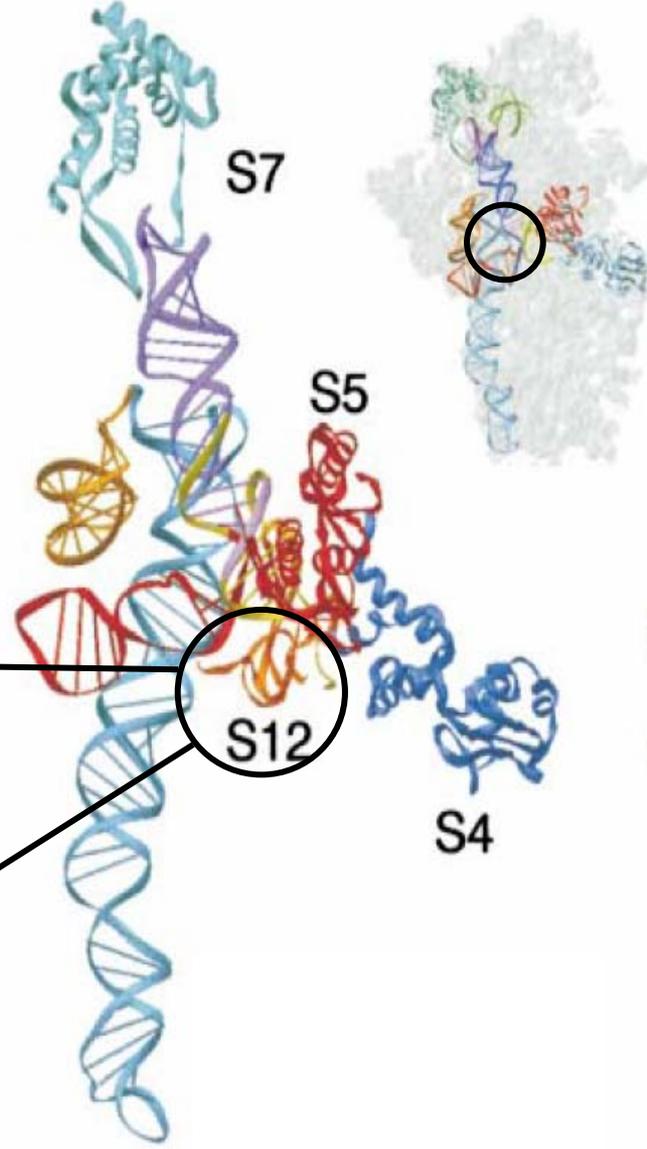
New light on methylthiolation reactions
M. Fontecave, E. Mulliez, M. Atta
Chemistry and Biology 2008, 15, 209-210

Shluenzen F et coll, *Cell* 2000, 102, 615

Les mystères de la biocatalyse des sélectivités extrêmes



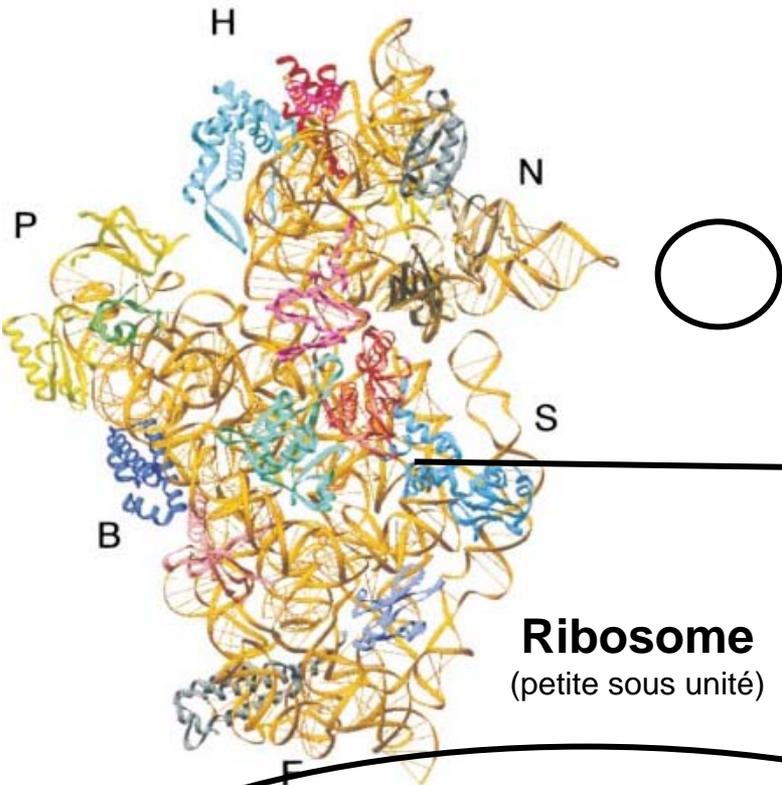
RimO



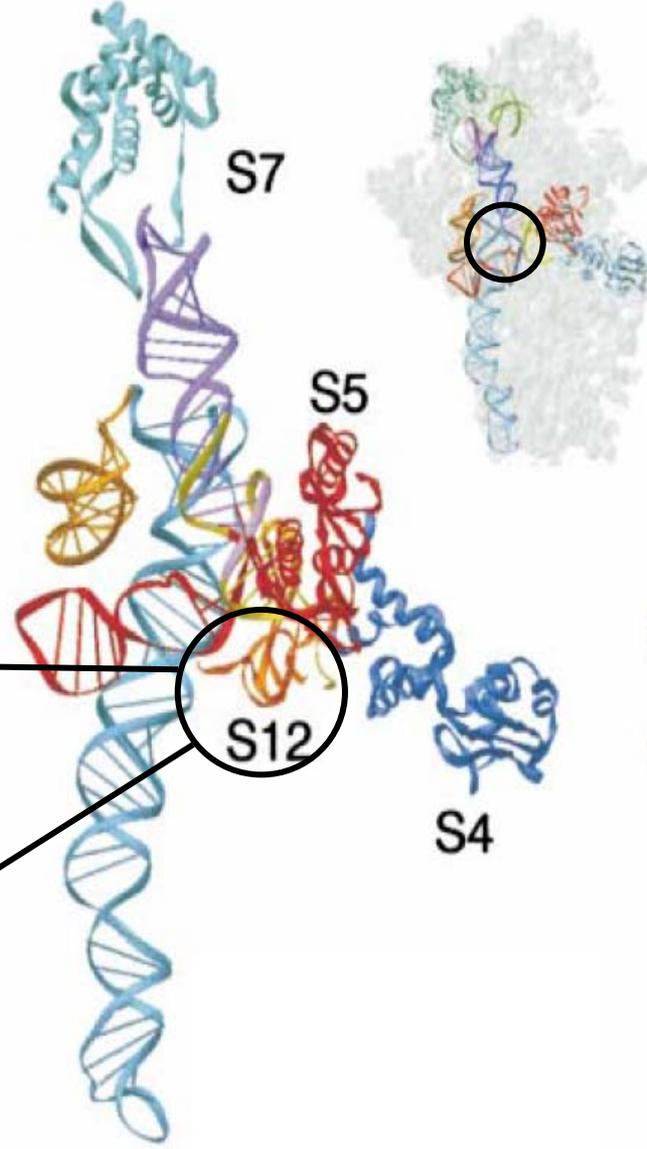
New light on methylthiolation reactions
M. Fontecave, E. Mulliez, M. Atta
Chemistry and Biology 2008, 15, 209-210

Shluenzen F et coll, *Cell* 2000, 102, 615

Les mystères de la biocatalyse des sélectivités extrêmes

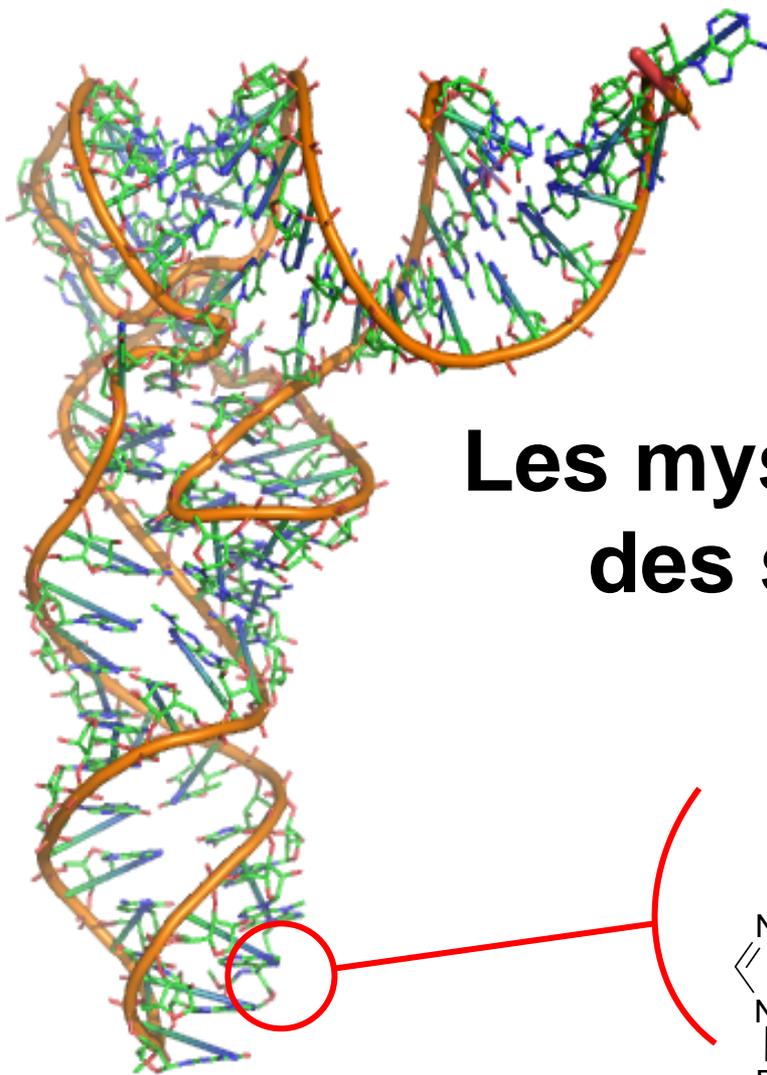


RimO

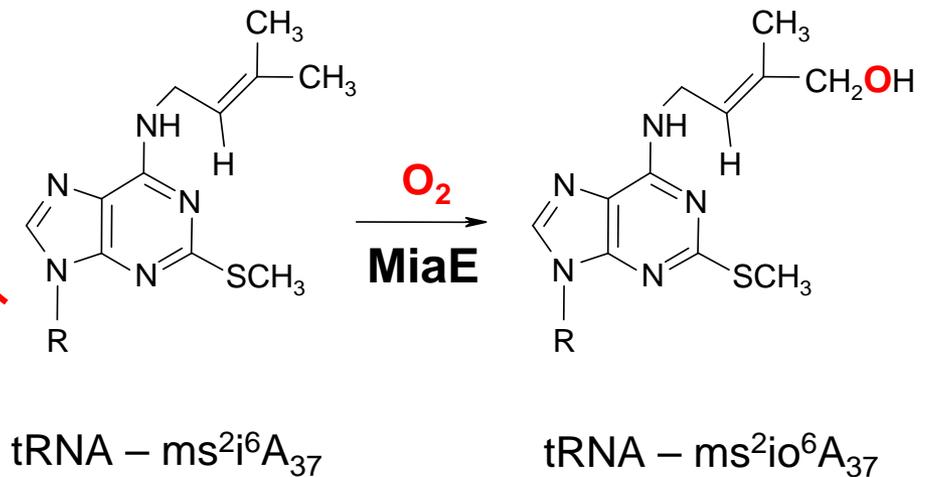


New light on methylthiolation reactions
M. Fontecave, E. Mulliez, M. Atta
Chemistry and Biology 2008, 15, 209-210

Shluenzen F et coll, *Cell* 2000, 102, 615



Les mystères de la biocatalyse: des sélectivités extrêmes



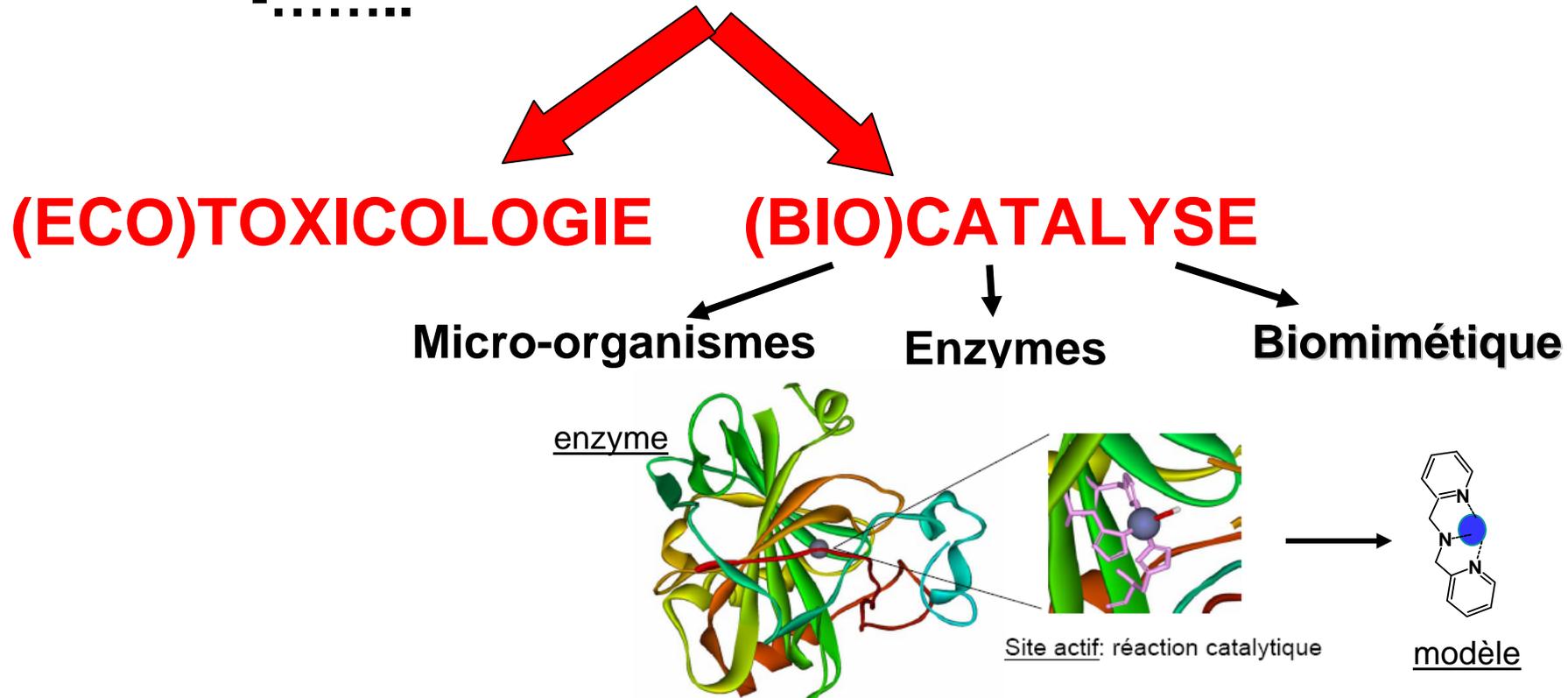
tRNA-modifying MiaE protein from *Salmonella typhimurium* is a non heme diiron monooxygenase

C. Mathevon, F. Pierrel, J-L. Oddou, R. Garcia-Serres, G. Blondin, J-M. Latour, S. Ménage, S. Gambarelli, M. Fontecave, M. Atta
Proc. Natl. Acad. Sci. 2007, 104, 13295-13300

La chimie « verte »:

Nouvelles synthèses chimiques

- Solvants, produits, réactifs non toxiques
- Substrats renouvelables
- Limitation des déchets
- Limitation de la dépense énergétique
-



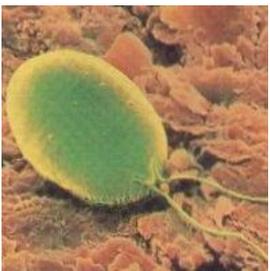
L'hydrogène: carburant du futur ?



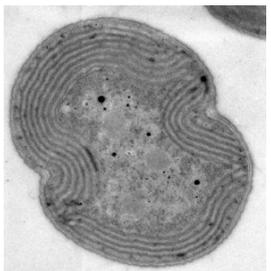
$$\Delta H = - 570 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

**Énergie massique de H₂: 119930 kJ/kg; 33,3 kWh/kg
(2.7 X pétrole; 2.4 X gaz naturel ; 5 X charbon)**

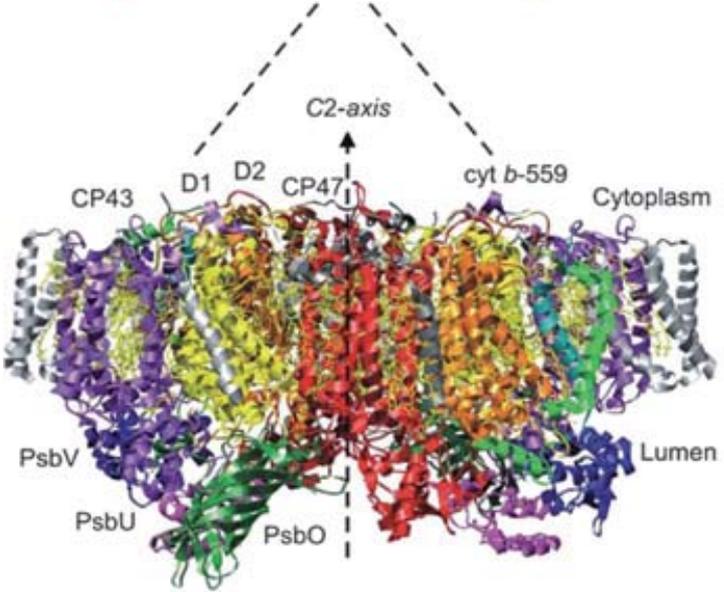
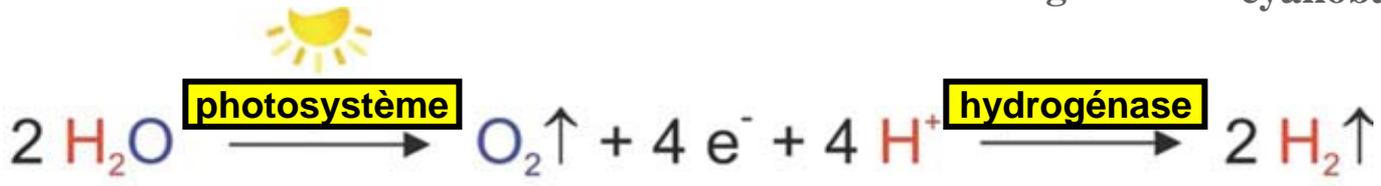
Production d'hydrogène: les solutions du vivant



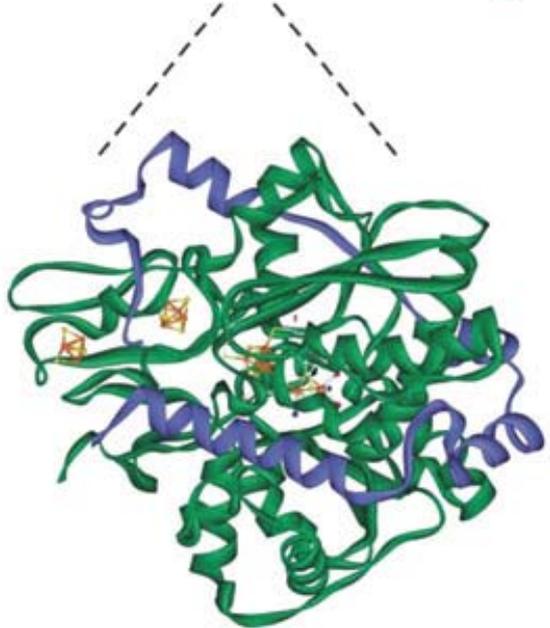
microalgue



cyanobactérie

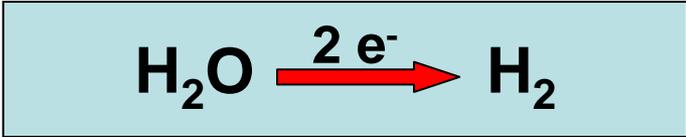


Mn
manganèse

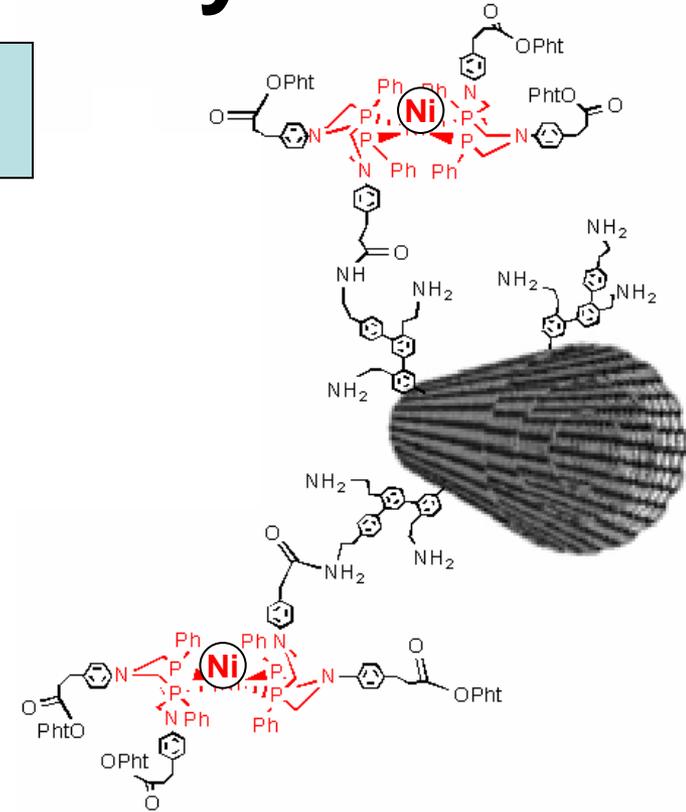
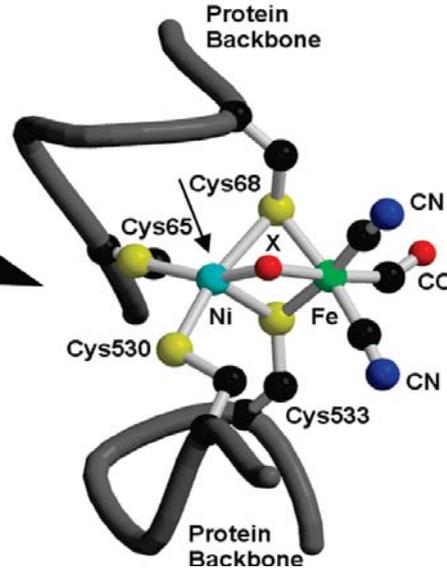


Ni, nickel
Fe, fer

Des enzymes aux nanocatalyseurs



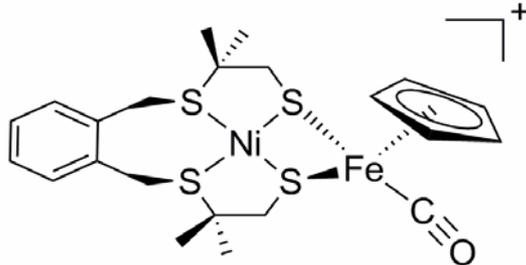
Biocatalyseurs:
Les hydrogénases



Nanocatalyseurs:

Brevet EP-08 290 988.8

V. Artero



Catalyseurs « bioinspirés »

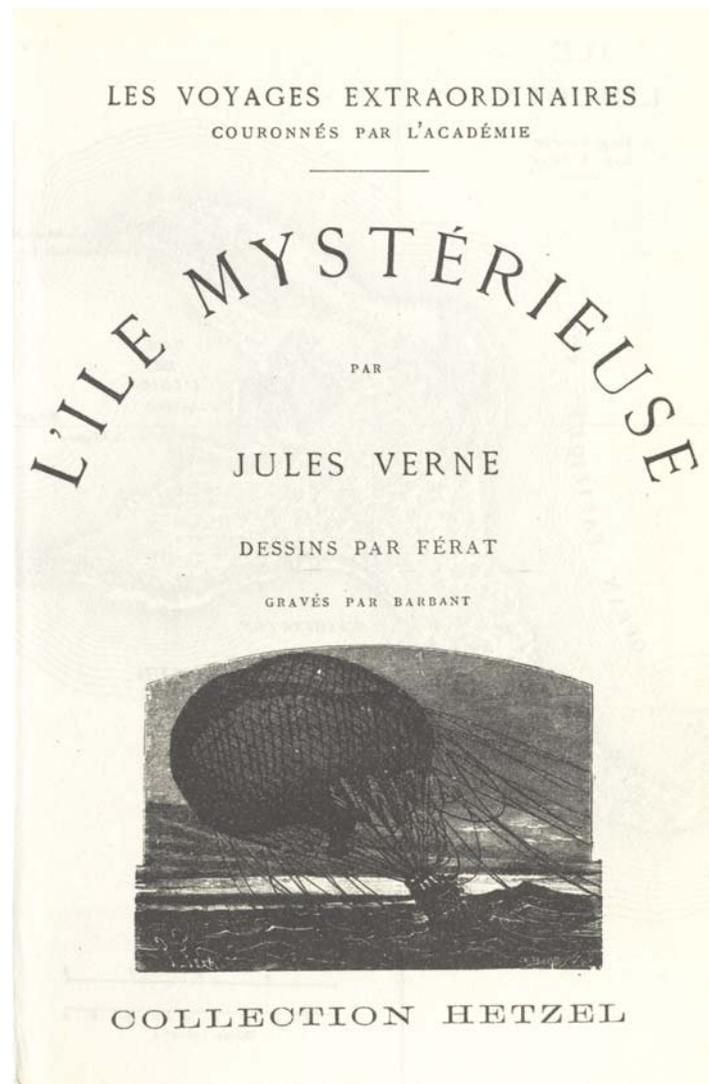


Laboratoire de Chimie des Surfaces et Interfaces
CEA Saclay

Serge Palacin, Bruno Jusselme

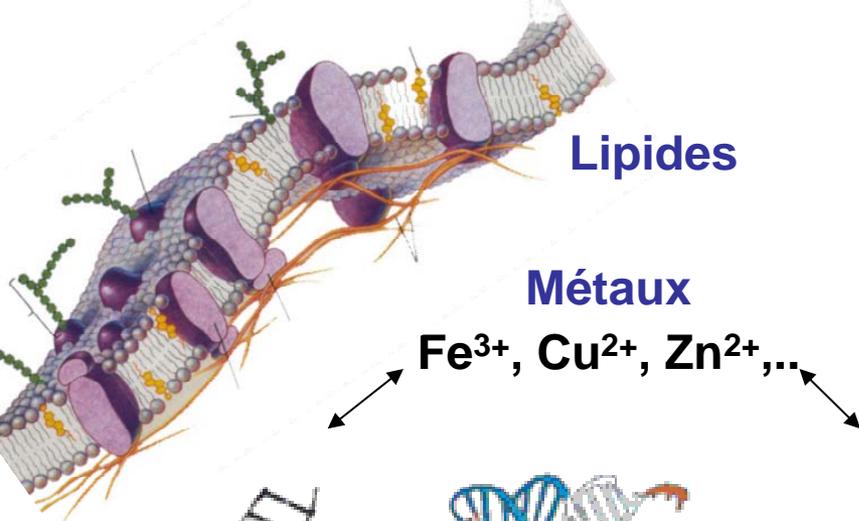
Pencroff : « et qu'est ce qu'on brulera à la place du charbon ? »

Cyrus Smith :
« l'eau! Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir... Ainsi donc rien à craindre ».



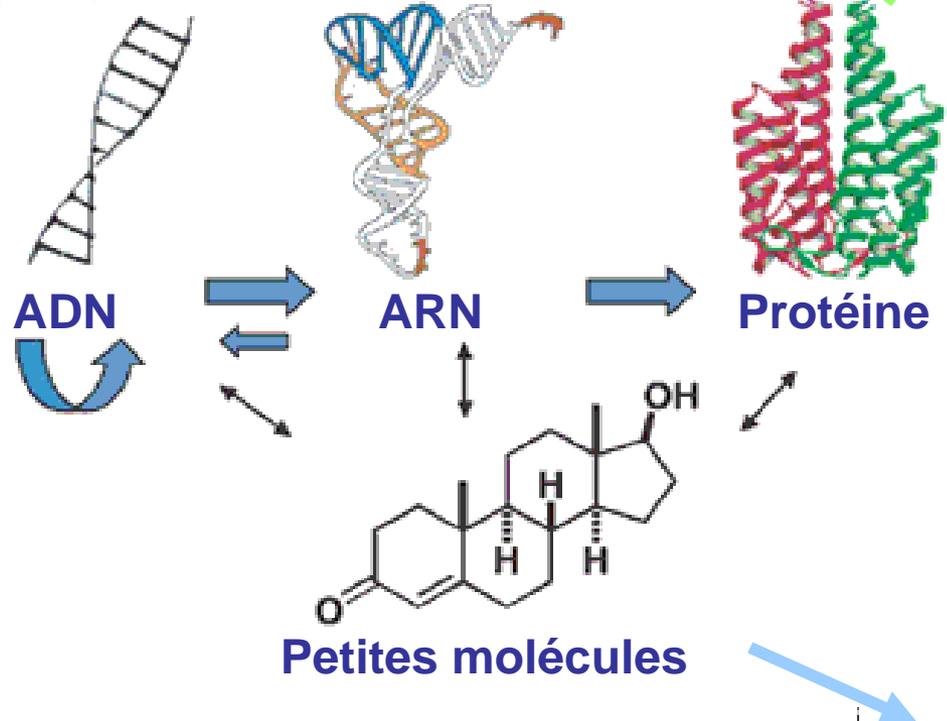
Chimie du vivant: perspectives

- Contexte: science, technologie, démographie, énergie
- Chimie « verte »: toxicologie, (bio)catalyse, catalyse « bioinspirée »
- **Les molécules du vivant**
- Chimie et santé
- Vectorisation, imagerie, chimie du cerveau, origines chimiques de la vie,.....



Le répertoire des protéines

- Nouvelles cibles thérapeutiques
- Nouveaux assemblages moléculaires
- Nouvelles réactions enzymatiques



Le répertoire des petites molécules

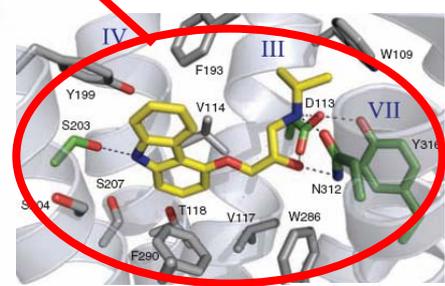
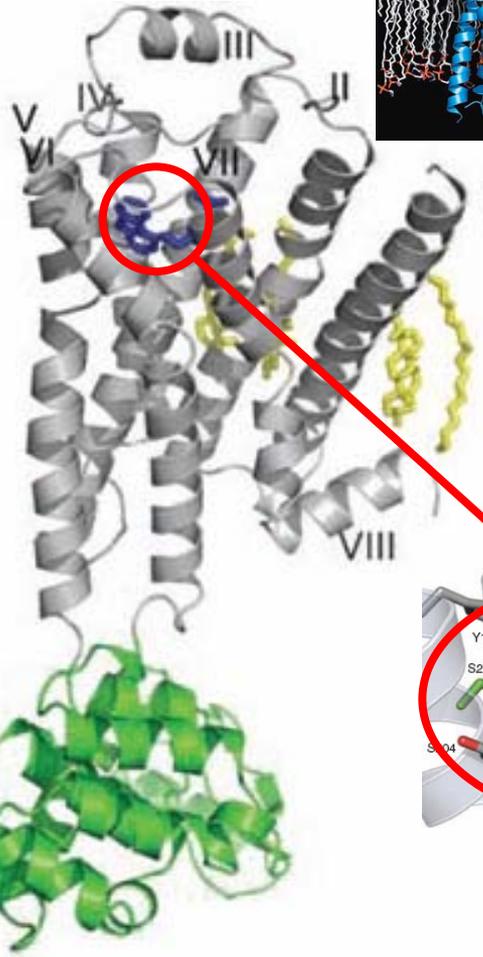
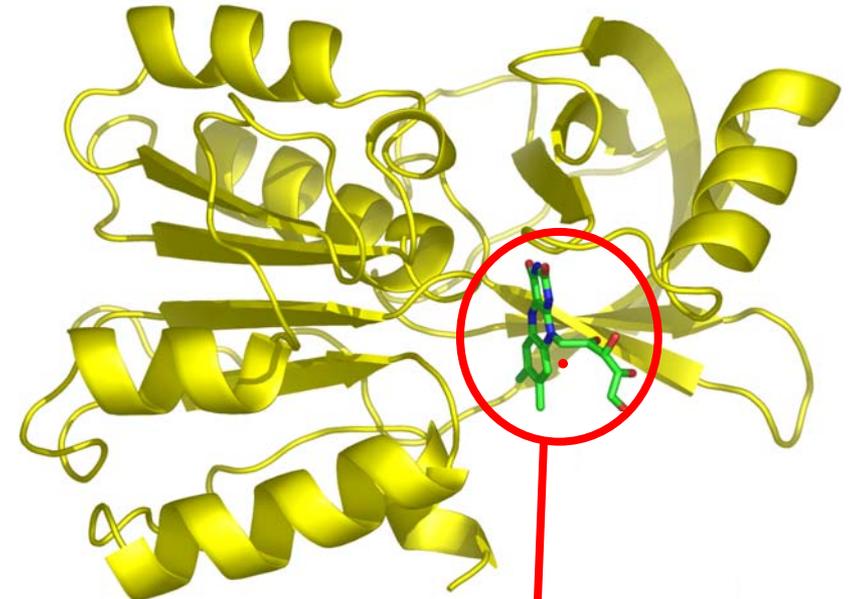
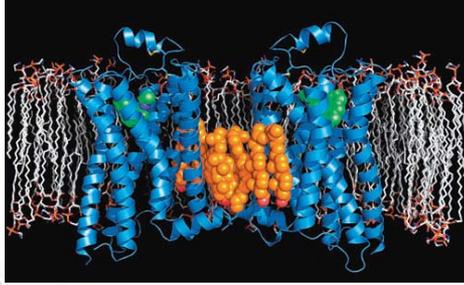
- Nouvelles fonctions biologiques
- santé: nouveaux médicaments

Chimie du vivant: perspectives

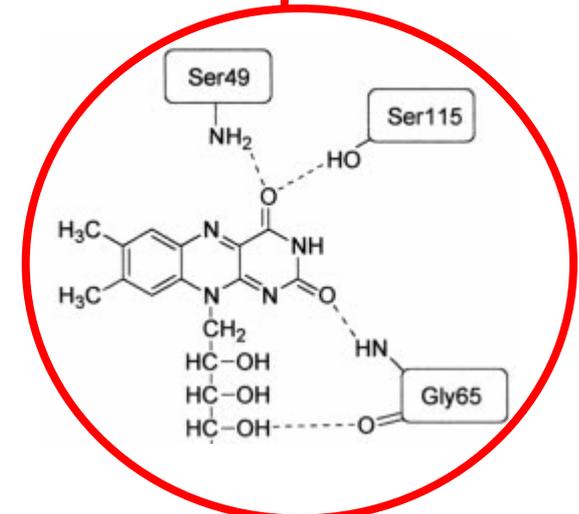
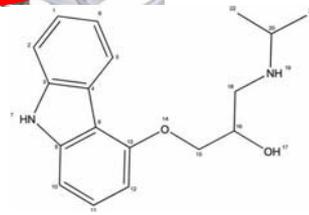
- Contexte: science, technologie, démographie, énergie
- Chimie « verte »: toxicologie, (bio)catalyse, catalyse « bioinspirée »
- Les molécules du vivant
- **Chimie et santé**
- Vectorisation, imagerie, chimie du cerveau, origines chimiques de la vie,.....

Complexe enzyme/substrat

Fontecave, Niviere et coll, Biochemistry 1999



carazolol



Complexe récepteur/ligand

Récepteur β 2-adrénergique humain
Stevens, RC et coll Science 2007

Chimie du vivant: perspectives

- Contexte: science, technologie, démographie, énergie
- Chimie « verte »: toxicologie, (bio)catalyse, catalyse « bioinspirée »
- Les molécules du vivant
- Chimie et santé
- **Vectorisation, imagerie, chimie du cerveau, origines chimiques de la vie,....**