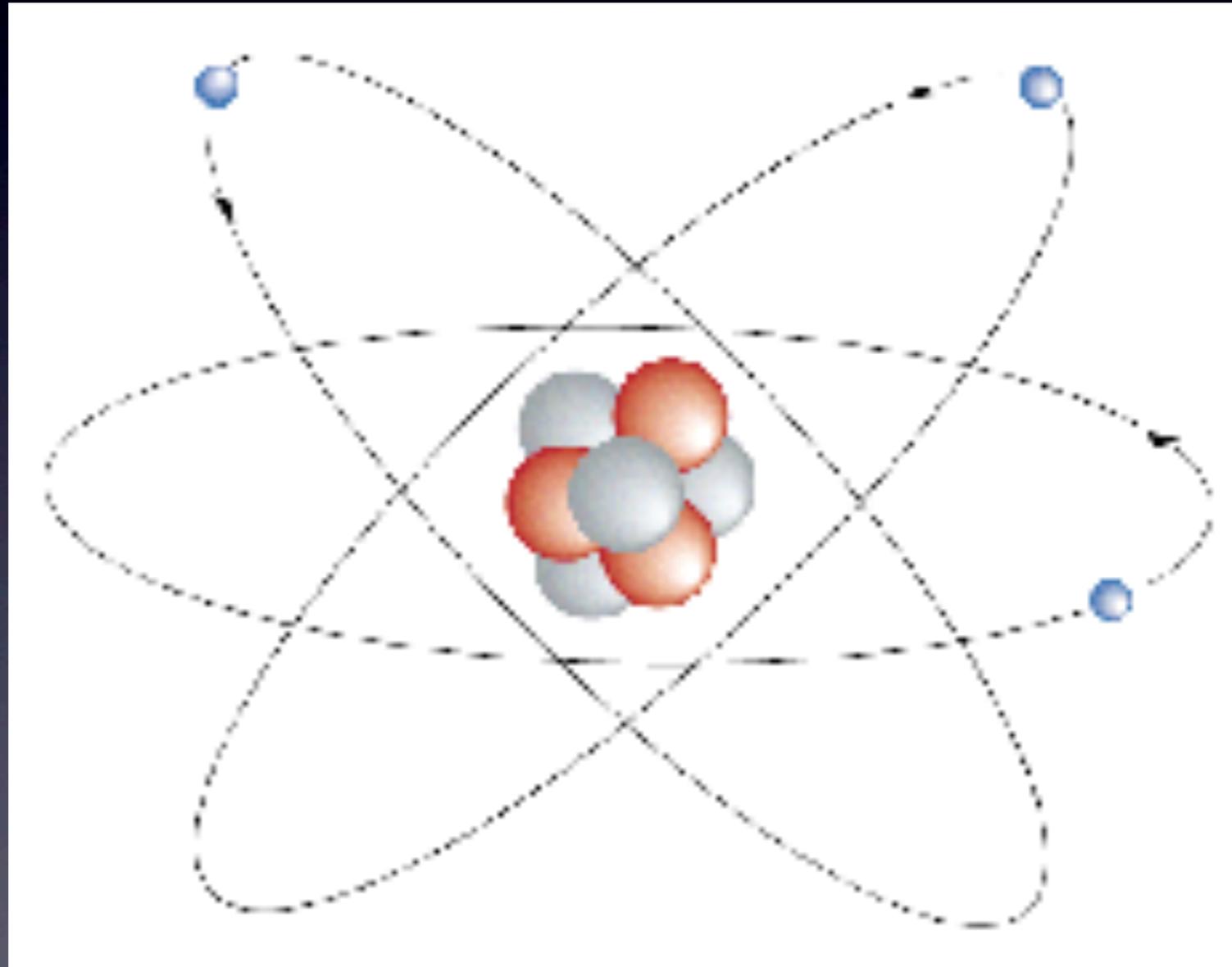
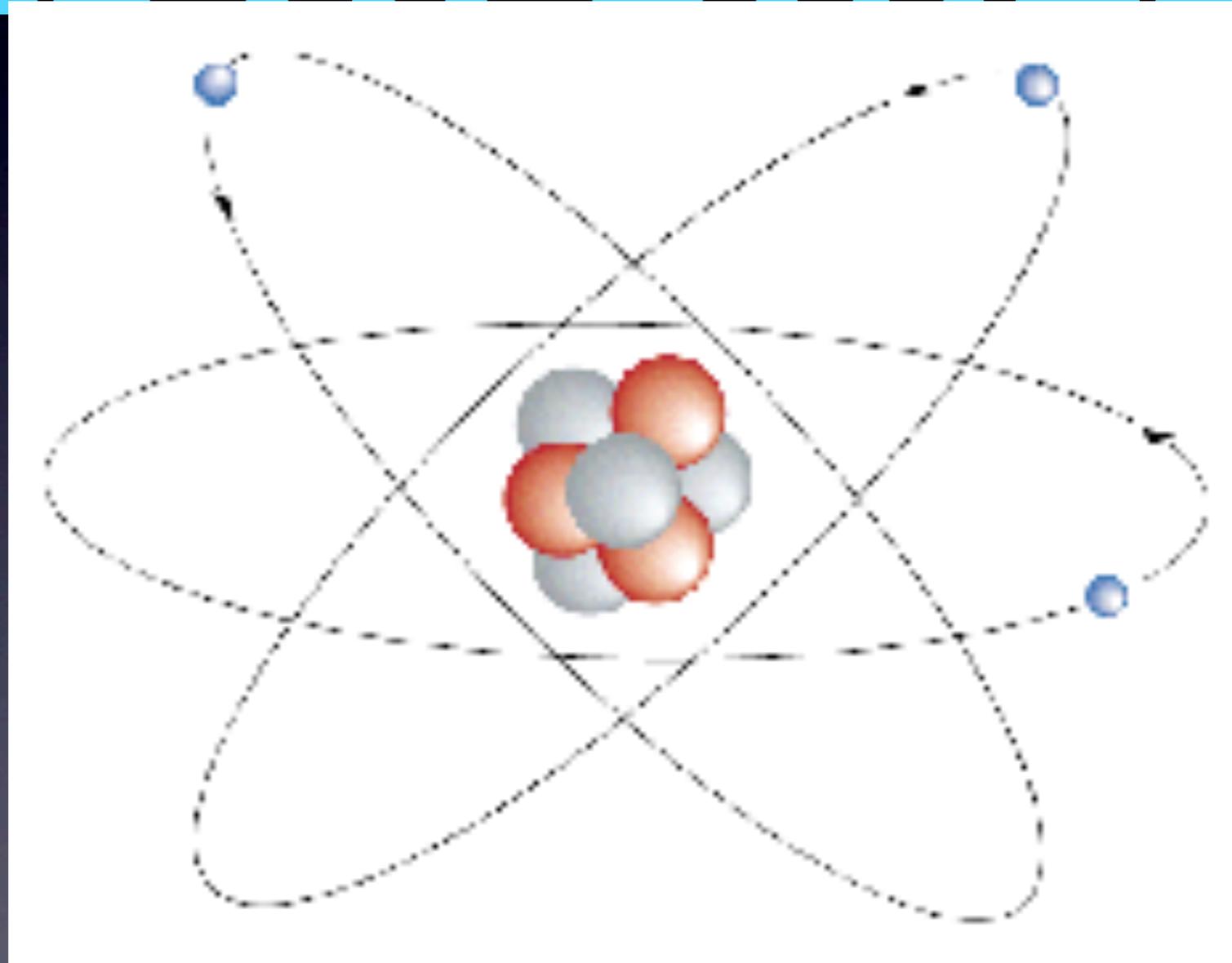


# ***D'OU VIENNENT LES ATOMES?***



**A. Mazure LAM/OAMP/CNRS    Novembre 2009**

# D'OU VIENNENT LES ATOMES?



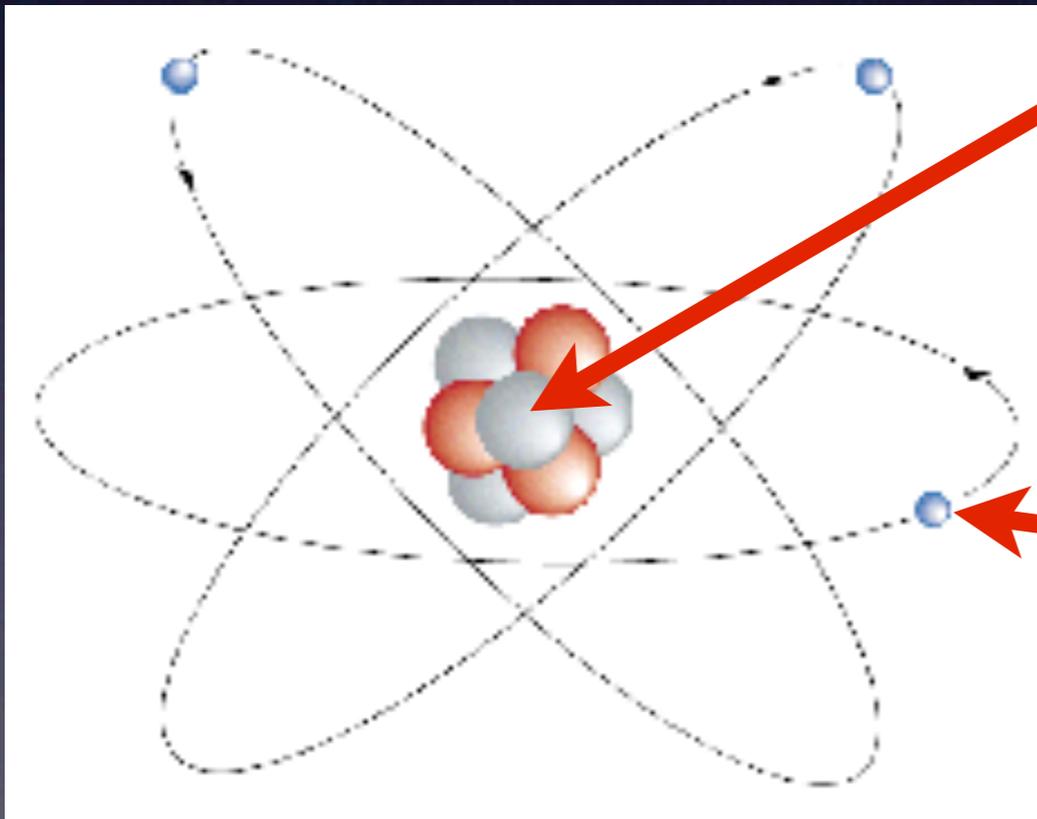
A. Mazure LAM/OAMP/CNRS Novembre 2009



- **ATOME : VIENT DU GREC SIGNIFIE INSECABLE MAIS CA N'EST PAS VRAI**
- **CONSTITUANT ELEMENTAIRE DE LA MATIERE «ORDINAIRE»**

## **LE NOYAU**

**charge électrique  $> 0$**



## **L'ELECTRON**

**charge électrique  $< 0$**



L'ELEMENT LE PLUS SIMPLE: L'HYDROGENE



LE 2EME LE HELIUM



PERIODIC TABLE  
Atomic Properties of the Elements

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

**Frequently used fundamental physical constants**  
For the most accurate values of these and other constants, visit [physics.nist.gov/constants](http://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 <sup>133</sup>Cs

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

Legend:

- Solids
- Liquids
- Gases
- Artificially Prepared

Physics Laboratory  
[physics.nist.gov](http://physics.nist.gov)

Standard Reference Data Group  
[www.nist.gov/srd](http://www.nist.gov/srd)

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII	VIII	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	
1	<b>H</b> Hydrogen 1.00794 1s 13.5984																	<b>He</b> Helium 4.002602 1s <sup>2</sup> 24.5874	
2	<b>Li</b> Lithium 6.941 1s <sup>2</sup> 2s 5.3917	<b>Be</b> Beryllium 9.012182 1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 9.3227																	
3	<b>Na</b> Sodium 22.989770 [Ne]3s 5.1391	<b>Mg</b> Magnesium 24.3050 [Ne]3s <sup>2</sup> 7.6462																	
4	<b>K</b> Potassium 39.0983 [Ar]4s 4.3407	<b>Ca</b> Calcium 40.078 [Ar]4s <sup>2</sup> 6.1132	<b>Sc</b> Scandium 44.955910 [Ar]3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> 6.5615	<b>Ti</b> Titanium 47.887 [Ar]3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> 6.8281	<b>V</b> Vanadium 50.9415 [Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> 6.7462	<b>Cr</b> Chromium 51.9961 [Ar]3d <sup>5</sup> 4s 6.7695	<b>Mn</b> Manganese 54.938049 [Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> 7.4340	<b>Fe</b> Iron 55.845 [Ar]3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 7.9024	<b>Co</b> Cobalt 58.933200 [Ar]3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> 7.8810	<b>Ni</b> Nickel 58.6934 [Ar]3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> 7.6398	<b>Cu</b> Copper 63.546 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s 7.7264	<b>Zn</b> Zinc 65.409 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 9.3942	<b>Ga</b> Gallium 69.723 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup> 5.9993	<b>Ge</b> Germanium 72.64 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup> 7.8994	<b>As</b> Arsenic 74.92160 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup> 9.7886	<b>Se</b> Selenium 78.96 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup> 9.7524	<b>Br</b> Bromine 79.904 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup> 11.8138	<b>Kr</b> Krypton 83.798 [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 13.9996	
5	<b>Rb</b> Rubidium 85.4678 [Kr]5s 4.1771	<b>Sr</b> Strontium 87.62 [Kr]5s <sup>2</sup> 5.6949	<b>Y</b> Yttrium 88.90585 [Kr]4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> 6.2173	<b>Zr</b> Zirconium 91.224 [Kr]4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> 6.8339	<b>Nb</b> Niobium 92.90538 [Kr]4d <sup>4</sup> 5s 7.589	<b>Mo</b> Molybdenum 95.94 [Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup> 7.0924	<b>Tc</b> Technetium (98) [Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup> 7.28	<b>Ru</b> Ruthenium 101.07 [Kr]4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup> 7.3605	<b>Rh</b> Rhodium 102.90550 [Kr]4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup> 7.4589	<b>Pd</b> Palladium 106.42 [Kr]4d <sup>10</sup> 8.3369	<b>Ag</b> Silver 107.8682 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s 8.9938	<b>Cd</b> Cadmium 112.411 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 8.9938	<b>In</b> Indium 114.818 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup> 7.864	<b>Sn</b> Tin 118.710 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup> 7.3439	<b>Sb</b> Antimony 121.760 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup> 8.6084	<b>Te</b> Tellurium 127.60 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup> 9.0096	<b>I</b> Iodine 126.90447 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup> 10.4513	<b>Xe</b> Xenon 131.293 [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 12.1298	
6	<b>Cs</b> Cesium 132.90545 [Xe]6s 3.8939	<b>Ba</b> Barium 137.327 [Xe]6s <sup>2</sup> 5.2117		<b>Hf</b> Hafnium 178.49 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> 6.8251	<b>Ta</b> Tantalum 180.9479 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 7.5496	<b>W</b> Tungsten 183.84 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 7.8640	<b>Re</b> Rhenium 186.207 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 7.8335	<b>Os</b> Osmium 190.23 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 8.4382	<b>Ir</b> Iridium 192.217 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 8.9670	<b>Pt</b> Platinum 195.078 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup> 8.9588	<b>Au</b> Gold 196.96655 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup> 9.2255	<b>Hg</b> Mercury 200.59 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 10.4375	<b>Tl</b> Thallium 204.3833 [Hg]6p <sup>1</sup> 6.1082	<b>Pb</b> Lead 207.2 [Hg]6p <sup>2</sup> 7.4167	<b>Bi</b> Bismuth 208.98038 [Hg]6p <sup>3</sup> 7.2855	<b>Po</b> Polonium (209) [Hg]6p <sup>4</sup> 8.414	<b>At</b> Astatine (210) [Hg]6p <sup>5</sup> 8.414	<b>Rn</b> Radon (222) [Hg]6p <sup>6</sup> 10.7485	
7	<b>Fr</b> Francium (223) [Rn]7s 4.0727	<b>Ra</b> Radium (226) [Rn]7s <sup>2</sup> 5.2784		<b>Rf</b> Rutherfordium (261) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Db</b> Dubnium (262) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Sg</b> Seaborgium (266) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>4</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Bh</b> Bohrium (264) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Hs</b> Hassium (277) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Mt</b> Meitnerium (268) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Uun</b> Ununnilium (281) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>8</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Uuu</b> Ununnilium (272) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?	<b>Uub</b> Ununnilium (285) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0 ?		<b>Uuq</b> Ununquadium (289) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>1</sup> 6.0 ?		<b>Uuh</b> Ununhexium (292) [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>2</sup> 6.0 ?			
			<b>La</b> Lanthanum 138.9055 [Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 5.5789	<b>Ce</b> Cerium 140.116 [Xe]4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 5.5387	<b>Pr</b> Praseodymium 140.90765 [Xe]4f <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> 5.473	<b>Nd</b> Neodymium 144.24 [Xe]4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 5.5250	<b>Pm</b> Promethium (145) [Xe]4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 5.582	<b>Sm</b> Samarium 150.36 [Xe]4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 5.6437	<b>Eu</b> Europium 151.964 [Xe]4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 5.6704	<b>Gd</b> Gadolinium 157.25 [Xe]4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 6.1496	<b>Tb</b> Terbium 158.92534 [Xe]4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> 5.8638	<b>Dy</b> Dysprosium 162.500 [Xe]4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 5.9389	<b>Ho</b> Holmium 164.93032 [Xe]4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup> 6.0215	<b>Er</b> Erbium 167.259 [Xe]4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup> 6.1077	<b>Tm</b> Thulium 168.93421 [Xe]4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup> 6.1843	<b>Yb</b> Ytterbium 173.04 [Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> 6.2542	<b>Lu</b> Lutetium 174.967 [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 5.4259		
			<b>Ac</b> Actinium (227) [Rn]6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 5.17	<b>Th</b> Thorium 232.0381 [Rn]6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> 6.3067	<b>Pa</b> Protactinium 231.03688 [Rn]5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 5.89	<b>U</b> Uranium 238.02891 [Rn]5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 6.1941	<b>Np</b> Neptunium (237) [Rn]5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 6.2657	<b>Pu</b> Plutonium (244) [Rn]5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> 6.0260	<b>Am</b> Americium (243) [Rn]5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> 5.9738	<b>Cm</b> Curium (247) [Rn]5f <sup>8</sup> 7s <sup>2</sup> 5.9914	<b>Bk</b> Berkelium (247) [Rn]5f <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup> 6.1979	<b>Cf</b> Californium (251) [Rn]5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 6.2817	<b>Es</b> Einsteinium (252) [Rn]5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup> 6.42	<b>Fm</b> Fermium (257) [Rn]5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup> 6.50	<b>Md</b> Mendelevium (258) [Rn]5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> 6.58	<b>No</b> Nobelium (259) [Rn]5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> 6.85	<b>Lr</b> Lawrencium (262) [Rn]5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>1</sup> 4.9 ?		

Atomic Number: 58, Ground-state Level: <sup>1</sup>G<sub>4</sub>, Symbol: Ce, Name: Cerium, Atomic Weight: 140.116, Ground-state Configuration: [Xe]4f<sup>1</sup>5d<sup>1</sup>6s<sup>2</sup>, Ionization Energy (eV): 5.5387

†Based upon <sup>12</sup>C. () indicates the mass number of the most stable isotope. For a description of the data, visit [physics.nist.gov/data](http://physics.nist.gov/data) NIST SP 966 (September 2003)



UN TABLEAU CELEBRE



**N° 1**

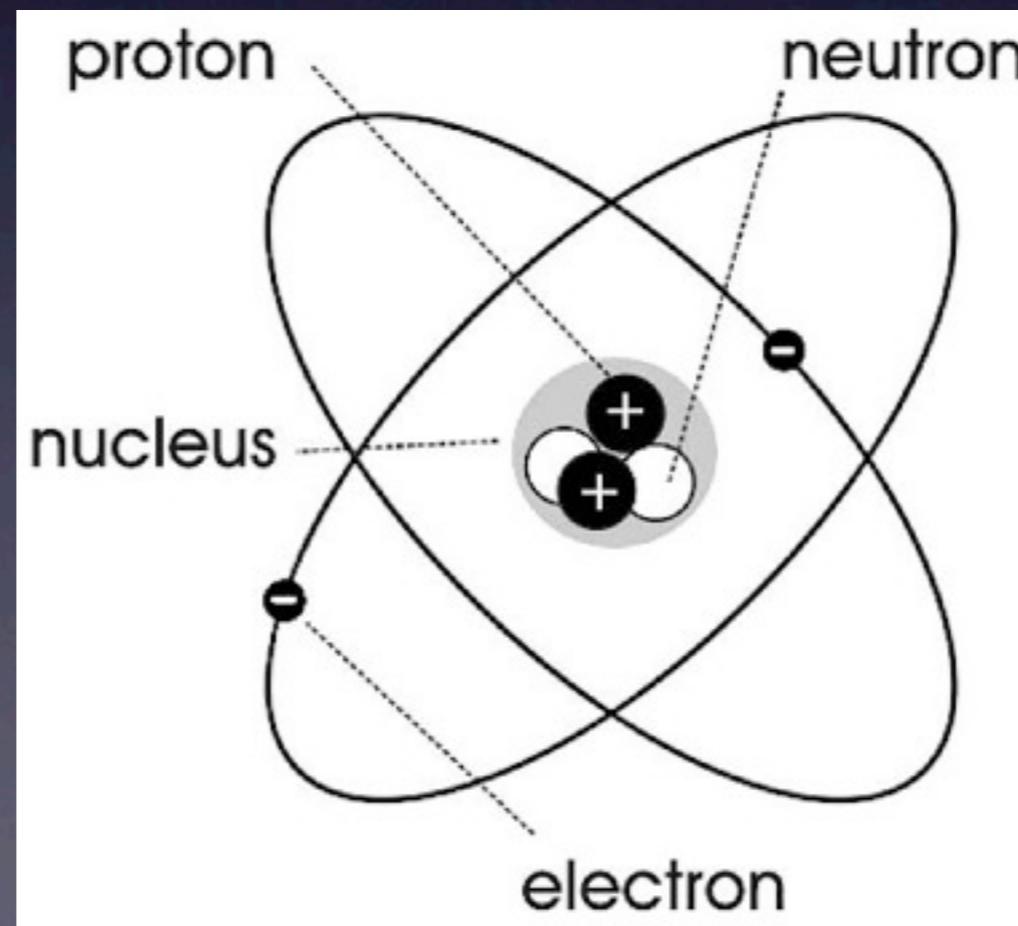
# L'HYDROGENE

**LES 2 ELEMENTS DE BASE**

**1 PROTON**

**+**

**1 ELECTRON**



**N° 2**

**L'HELIUM**

**Etc....**





***POUR COMPRENDRE***

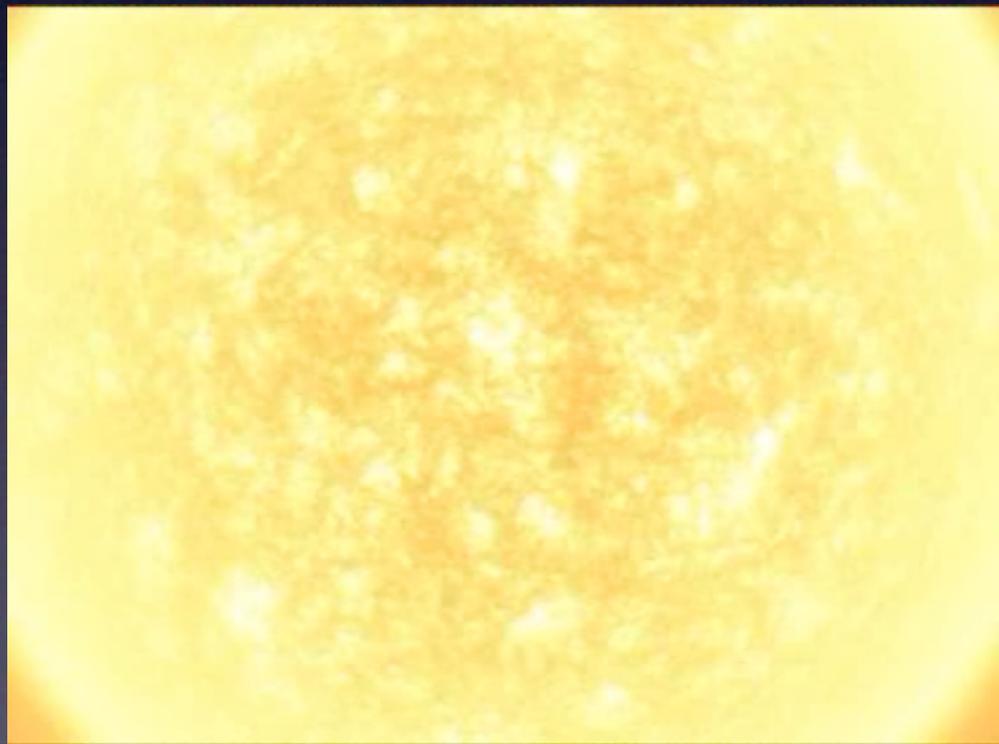
***D'OU ILS VIENNENT***

***IL FAUT ECRIRE L'HISTOIRE DE  
L'UNIVERS!***

***UNE HISTOIRE QUI DURE 14 MILLIARDS D'ANNEES***



# QU'EST CE QUE L'UNIVERS?





# UN MONDE DE GALAXIES

EN  
EXPANSION !





# **VOIR L'EXPANSION COMME UN FILM QUI SE DEROULE**

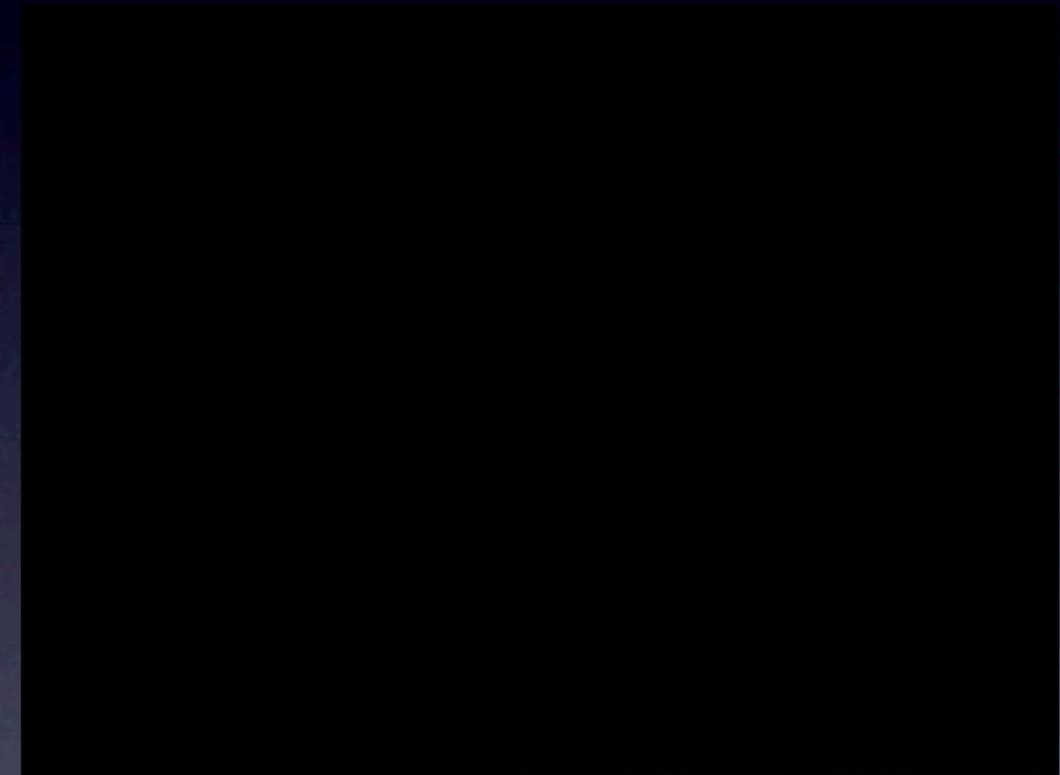
*En "rembobinant" le film:*

**On imagine toute la  
matière  
se condenser et s'échauffer**

**L'Univers il y a 14 milliards  
d'années était**

***TRES TRES TRES*  
dense et chaud !**

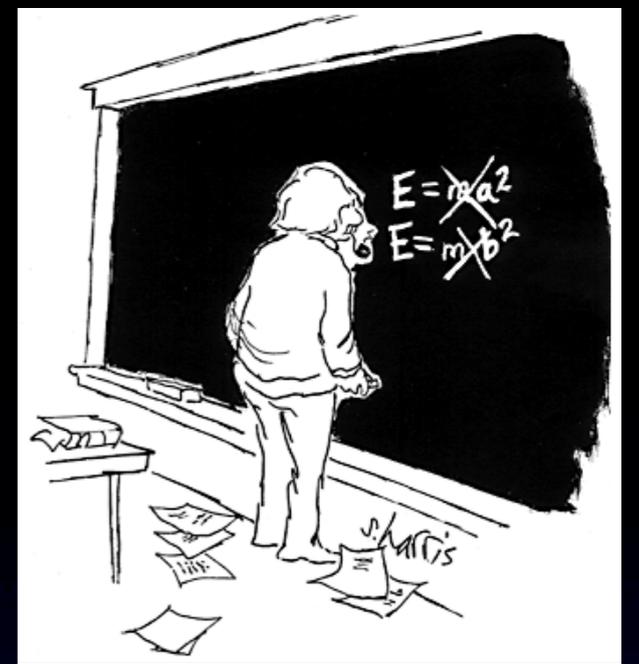
**L'IDEE DE BASE  
DU  
"BIG BANG" !!**





$t \sim 1/\text{millionième } s$

**T ~ 100000 MILLIARD DE DEGRES**



$t \sim 1 s$

$$E = MC^2$$

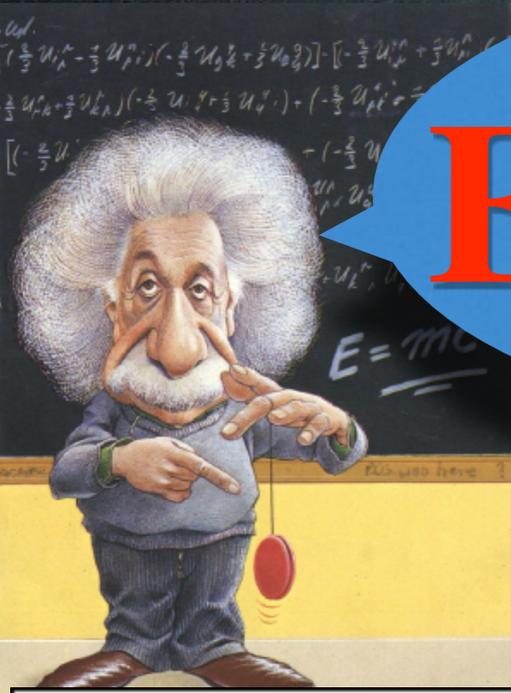
**T ~ 100 MILLIARD DE DEGRES**

$t \sim 100 s$

**T ~ 1 MILLIARD DE DEGRES**







$$E = MC^2$$

**QUAND L'ENERGIE**

**(OU CE QUI EST EQUIVALENT LA TEMPERATURE)**

**EST SUFFISANTE, ON PEUT CREER DES PARTICULES !!!!**

**CREATION**

**DE**

**PROTONS**

**C'est à dire**

**LE NOYAU**

**D'HYDROGENE**

$e^+$

$e^-$

**MATIERE = ENERGIE**

© 3xplus.com



**LE JEU PEUT  
CONTINUER**

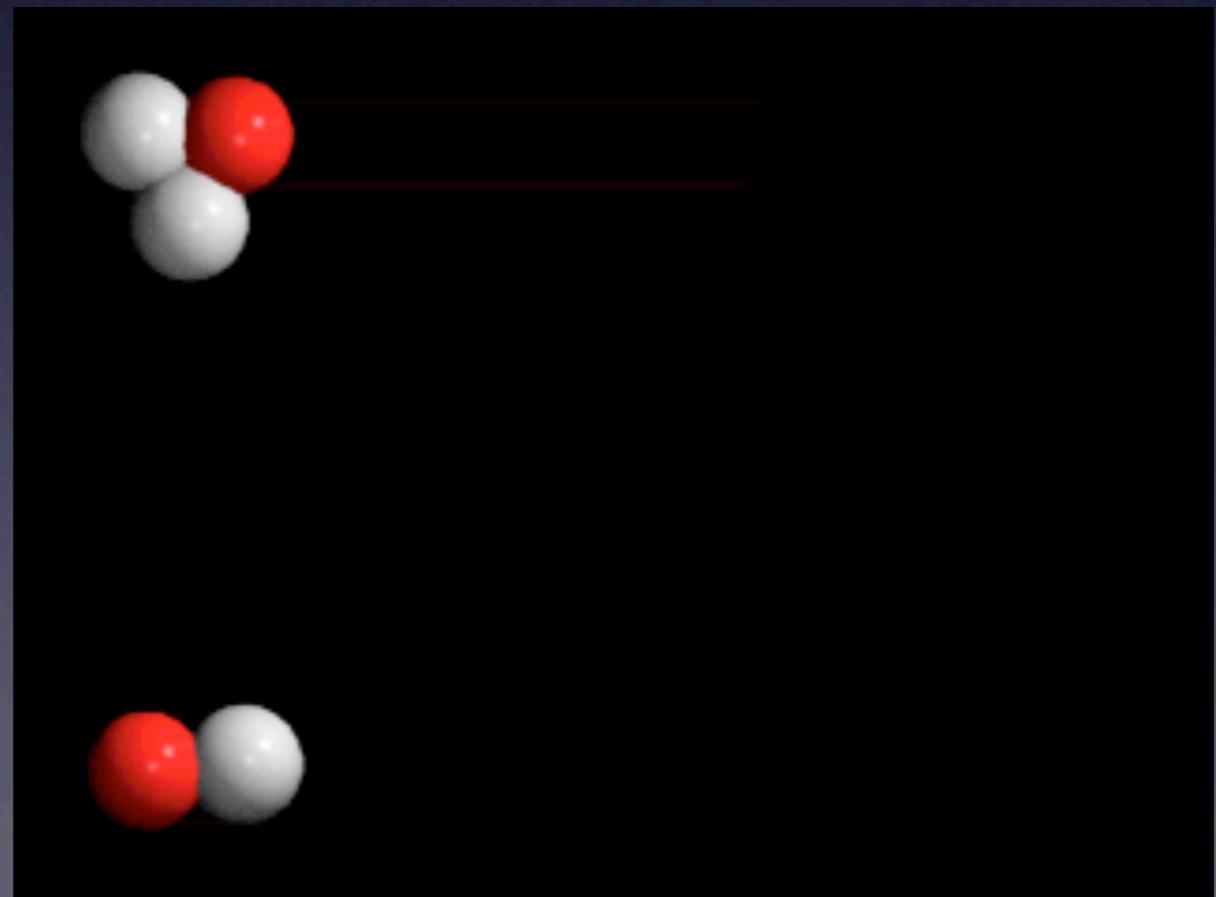
On dispose au bout de quelques fractions  
de seconde  
d'une « soupe » de protons  
qui peuvent interagir pour faire de la fusion nucléaire !

**FORMATION DES PREMIERS NOYAUX D'HELIUM**

(Le numéro 2 du tableau)

**$t \sim 100 \text{ s}$**

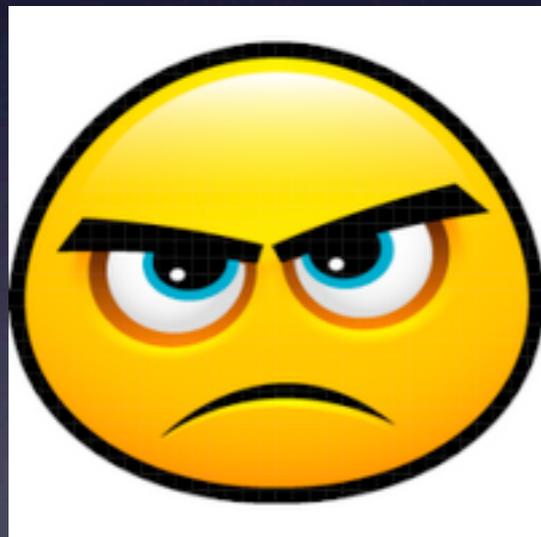
**$T \sim 1 \text{ MILLIARD}$   
**DE DEGRES****





**EN FAIT  
CA N'EST PAS  
SI SIMPLE**

**CA S'ARRETE  
A L'ELEMENT  
NUMERO 4**



**D'OU VIENT  
ALORS LE RESTE  
DU TABLEAU ??**

PERIODIC TABLE  
Atomic Properties of the Elements

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

Physics Laboratory  
physics.nist.gov

Standard Reference Data Group  
www.nist.gov/srd

Frequently used fundamental physical constants  
For the most accurate values of these and other constants, visit [physics.nist.gov/constants](http://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  $^{133}\text{Cs}$

speed of light in vacuum	$c$	$299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$	(exact)
Planck constant	$h$	$6.6261 \times 10^{-34}\text{ J s}$	( $h = h/2\pi$ )
elementary charge	$e$	$1.6022 \times 10^{-19}\text{ C}$	
electron mass	$m_e$	$9.1094 \times 10^{-31}\text{ kg}$	
$m_e c^2$		$0.5110\text{ MeV}$	
proton mass	$m_p$	$1.6726 \times 10^{-27}\text{ kg}$	
fine-structure constant	$\alpha$	$1/137.036$	
Rydberg constant	$R_\infty$	$10\,973\,732\text{ m}^{-1}$	
$R_\infty c$		$3.289\,842 \times 10^{15}\text{ Hz}$	
$R_\infty h c$		$13.6057\text{ eV}$	
Boltzmann constant	$k_B$		

Legend:  
Solids (white)  
Liquids (blue)  
Gases (pink)  
Artificially Prepared (yellow)

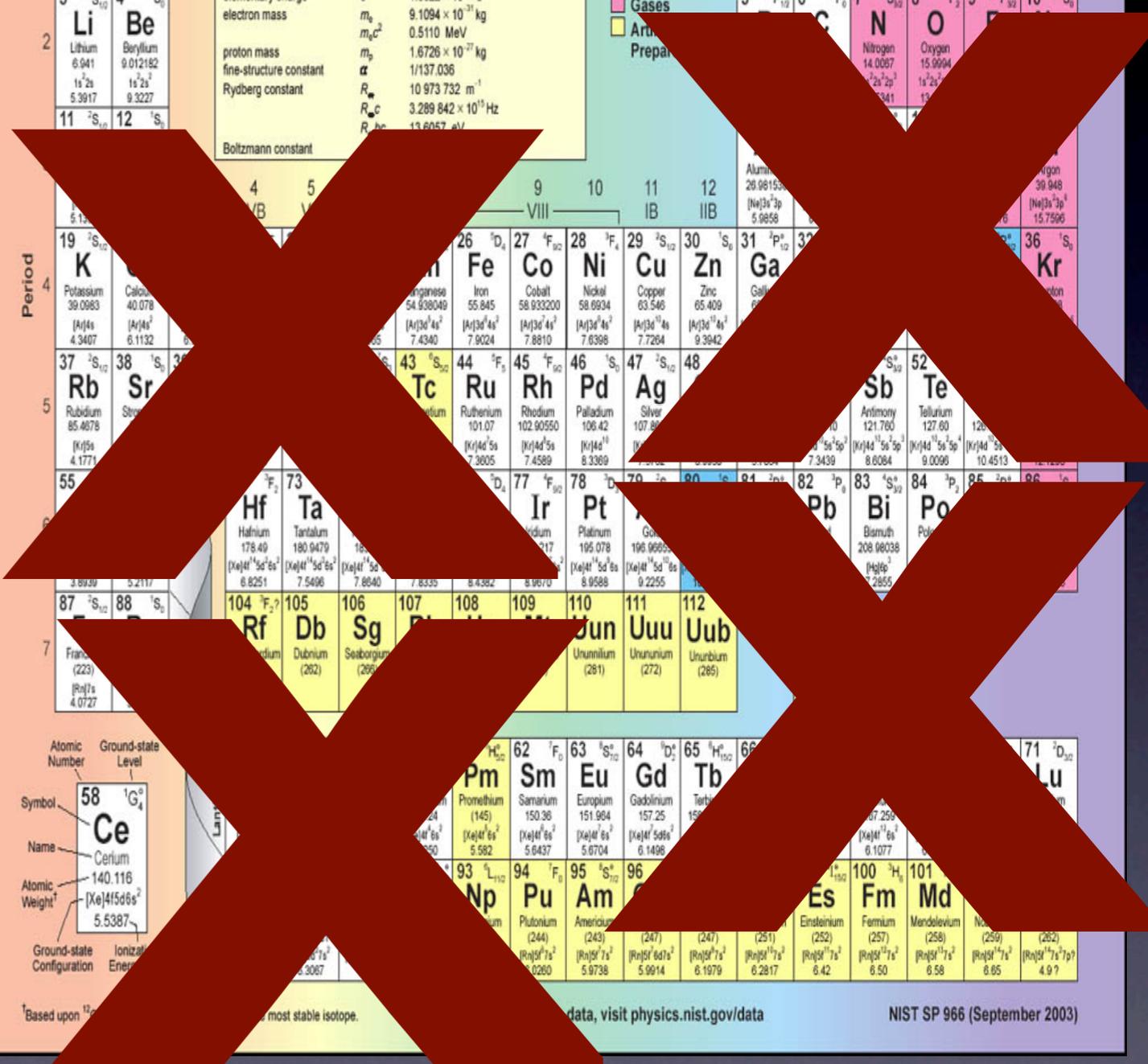
Group 1 IA, 2 IIA, 3-10, 11 IB, 12 IIB, 13 IIIA, 14 IVA, 15 VA, 16 VIA, 17 VIIA, 18 VIIIA

Period 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Atomic Number, Symbol, Name, Atomic Weight, Ground-state Configuration, Ionization Energy

Example: 58  $^{140}\text{Ce}$  Cerium, Atomic Weight 140.116, Ground-state Configuration  $[\text{Xe}]4f15d6s^2$ , Ionization Energy 5.5387 eV

data, visit [physics.nist.gov/data](http://physics.nist.gov/data)  
NIST SP 966 (September 2003)





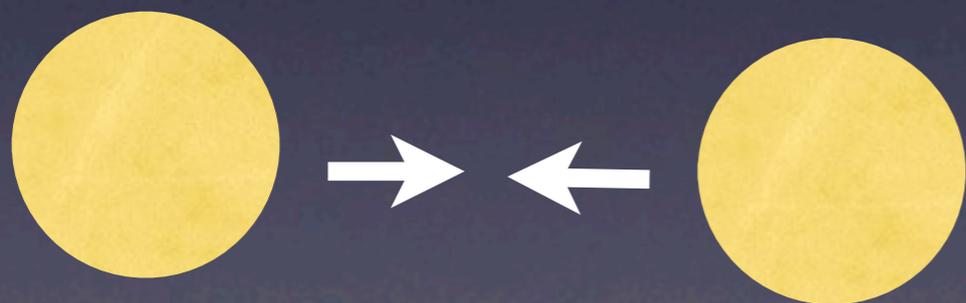
# POURQUOI ?????

## ● PROTON + PROTON

**Répulsion électrique**



**DE PLUS LE RING DE  
BOXE  
S'ETIRE AVEC LE  
TEMPS !**



**Attraction nucléaire**

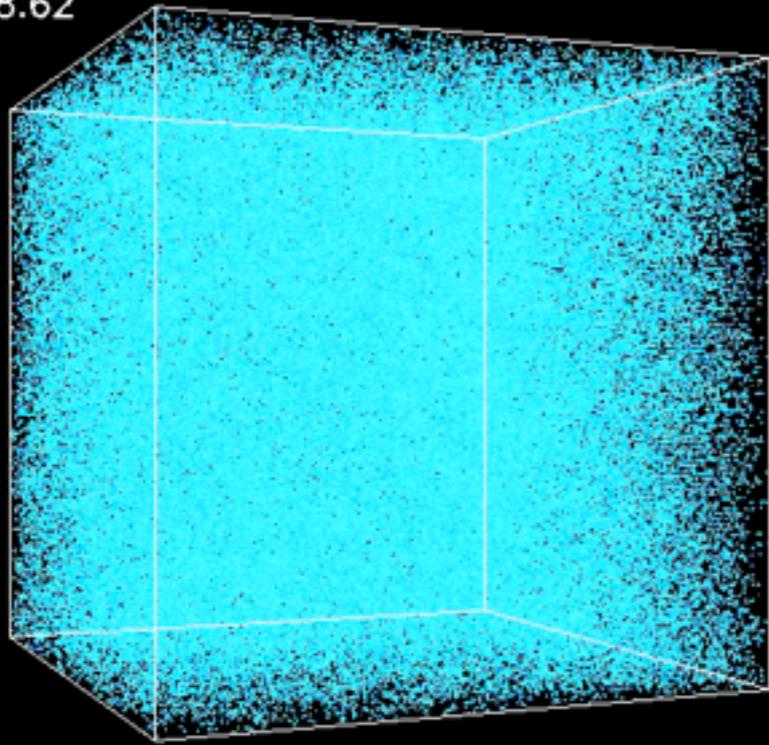
**D'OU VIENT  
ALORS LE RESTE  
DU TABLEAU ??**





# IL FAUT ATTENDRE quelques millions d'années que les *lères étoiles se forment*

Z=28.62



Conditions physiques au centre du Soleil  
Température: 10 Millions de degrés



LES ETOILES:  
DES CENTRALES  
NUCLEAIRES  
COSMIQUES

1 milliard de milliards  
de centrales en énergie



**MAIS CA NE SUFFIT PAS ENCORE !**

**POUR COMPLETER LE TABLEAU, IL FAUT L'AIDE  
DE CERTAINES ETOILES QUI TERMINENT LEUR  
CARRIERE DANS DES EXPLOSIONS GIGANTESQUES**



**Le reste des éléments du  
tableau  
sont formés dans l'explosion  
de ces étoiles**

**Une supernova**



Au début de l'univers, les protons, les neutrons  
et les électrons se sont formés

Au bout de 3 minutes il y a eu fusion nucléaire pour former  
l'hydrogène et l'hélium

A partir de cette matière primordiale, les premières étoiles se forment

Grâce à la fusion nucléaire la plupart des atomes plus lourds (jusqu'au fer) sont alors créés au  
sein des étoiles.

Les atomes plus lourds que le fer sont créés lors de l'explosion de certaines étoiles, les supernovae.

Le Soleil et son système planétaire ont été formés à partir d'atomes qui ont été synthétisés  
dans des étoiles maintenant mortes.

**La Terre et tout ce qui s'y trouve, en particulier les êtres vivants, sont donc  
constitués de poussière d'étoiles...**

# THE END

