

# Spectrométries atomiques

Spectres atomiques

Spectrométries d'absorption atomique

Spectrométries d'émission

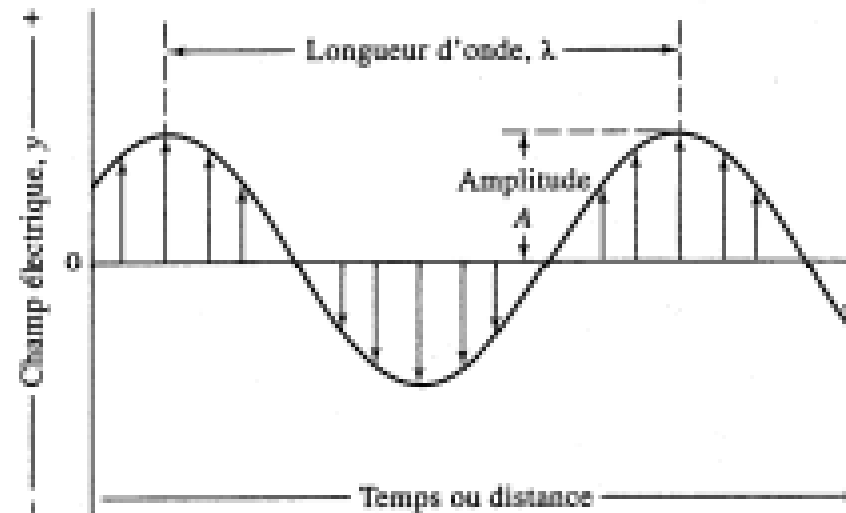
---

# Spectres Atomiques

---

## Nature de la lumière

Onde



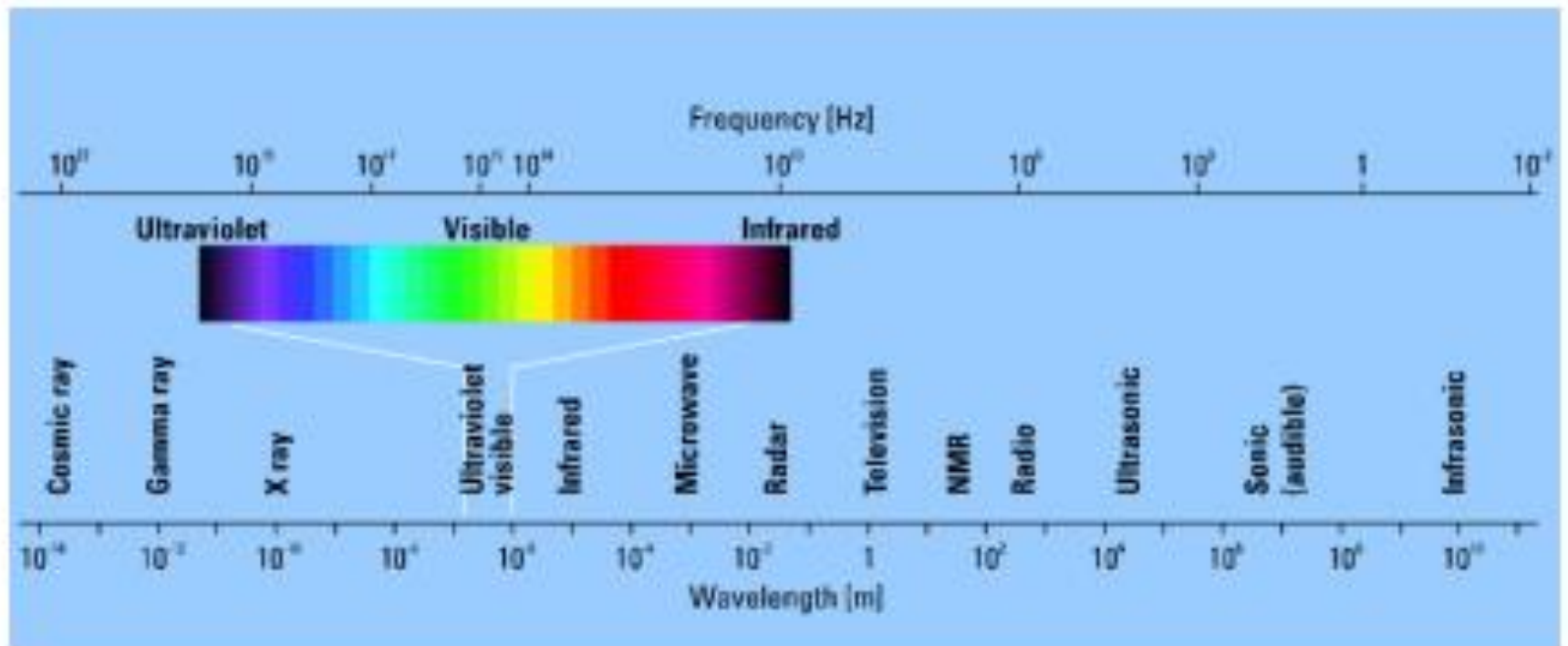
Corps : Photon

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

$h$  : constante de Planck =  $6,6 \cdot 10^{-34}$  J.s

$c$  : vitesse de la lumière =  $3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

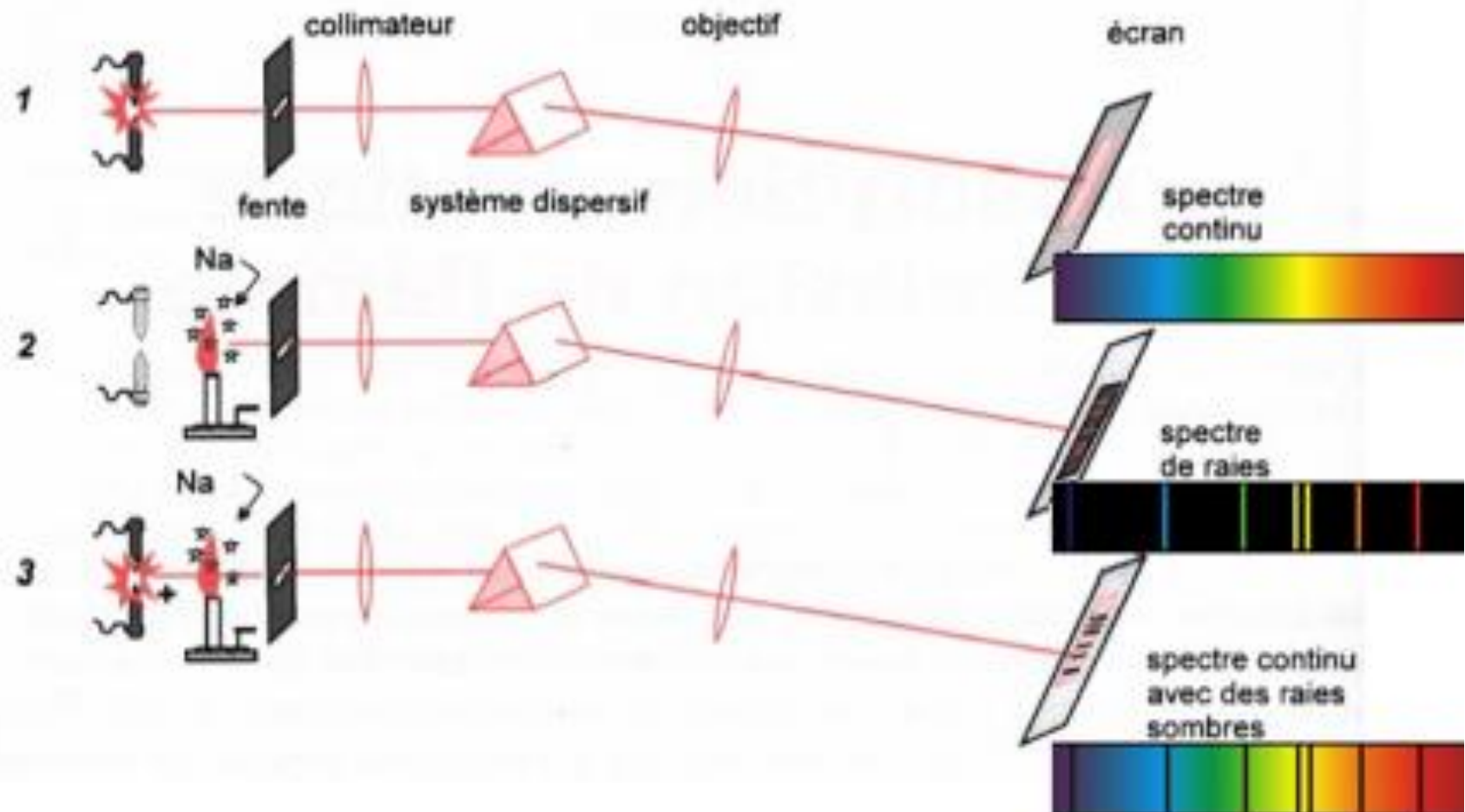
# I.1 Spectres Atomiques



### Prisme



## Expériences de Kirchhoff



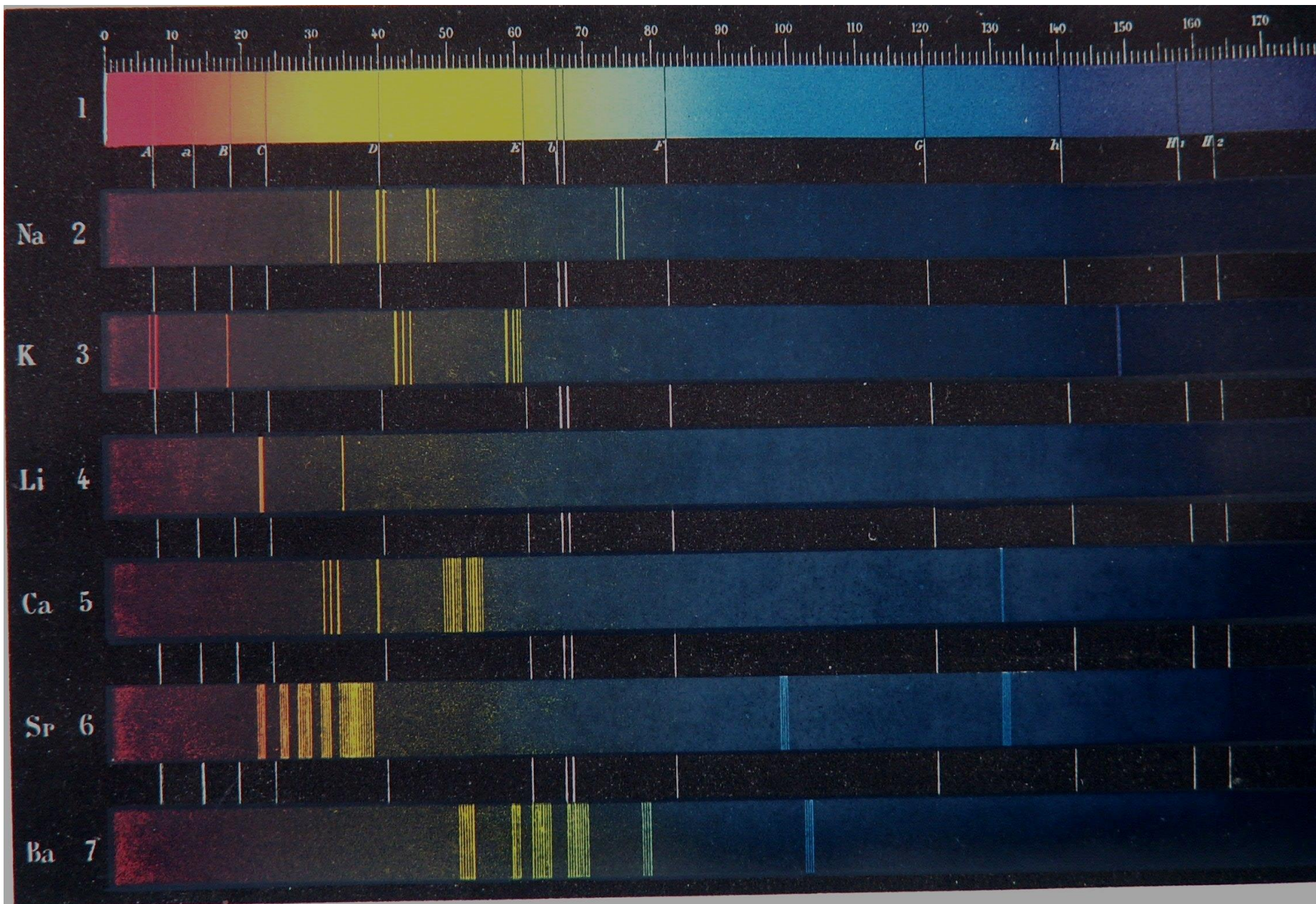
## Spectres d'absorption - spectres d'émission

La lumière d'un arc en ciel est composée de toutes les couleurs du visible, du bleu au magenta. Chaque couleur est un rayon lumineux visible auquel est associée une grandeur appelée longueur d'onde. Un ensemble de rayons séparés selon leur longueur d'onde, est appelé spectre.

- La lumière blanche du soleil décomposée dans un arc-en-ciel ou dispersée par un prisme forme un spectre continu car toutes les couleurs sont présentes.
- Le spectre émis par un atome lorsqu'il est chauffé, est discret car il ne contient qu'un nombre restreint de rayons. Il apparaît des raies de lumière sur un fond noir (figure ci-dessous, spectres n° 2 à 7).
- Inversement, la lumière blanche est partiellement absorbée par des atomes chauffés. L'absorption entraîne la baisse d'intensité lumineuse pour les mêmes longueurs d'onde que celles émises. Après dispersion de la lumière absorbée, il apparaît des raies sombres ou noires sur un fond irisé (figure ci-dessous , spectres n° 1).

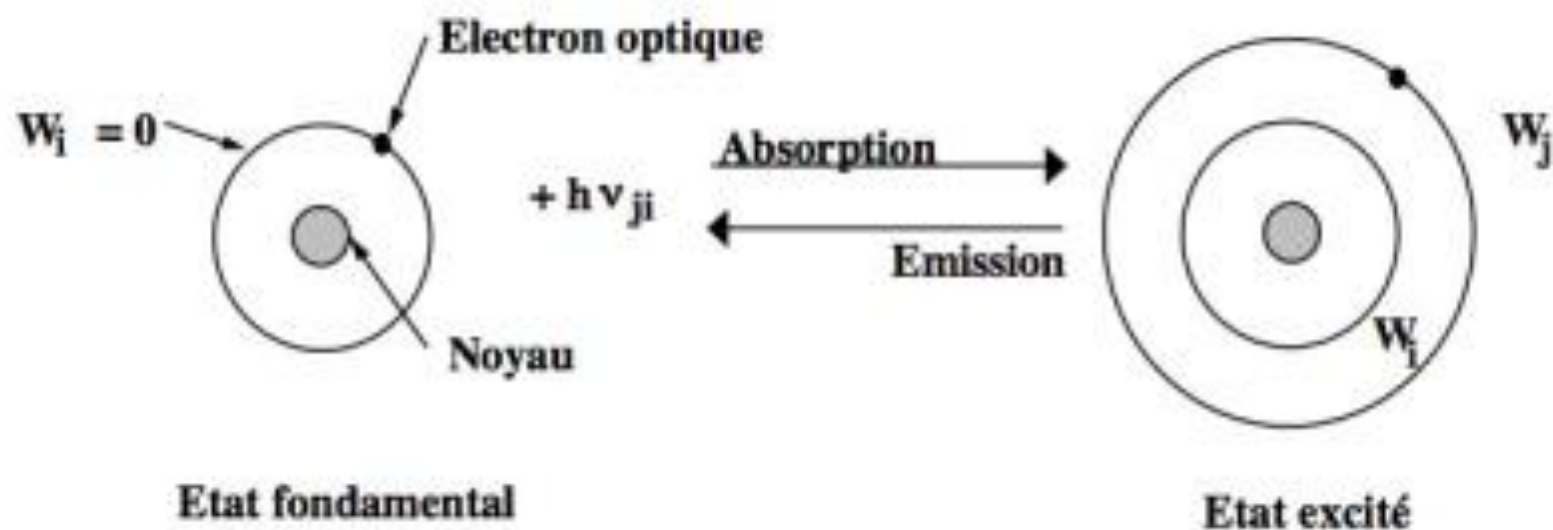
Ces propriétés des atomes existent aussi pour des molécules, ainsi que pour d'autres rayonnements comme l'ultraviolet (UV).

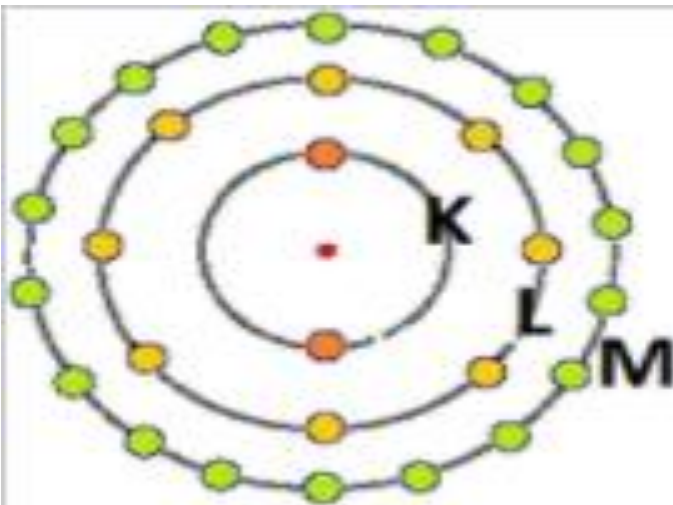




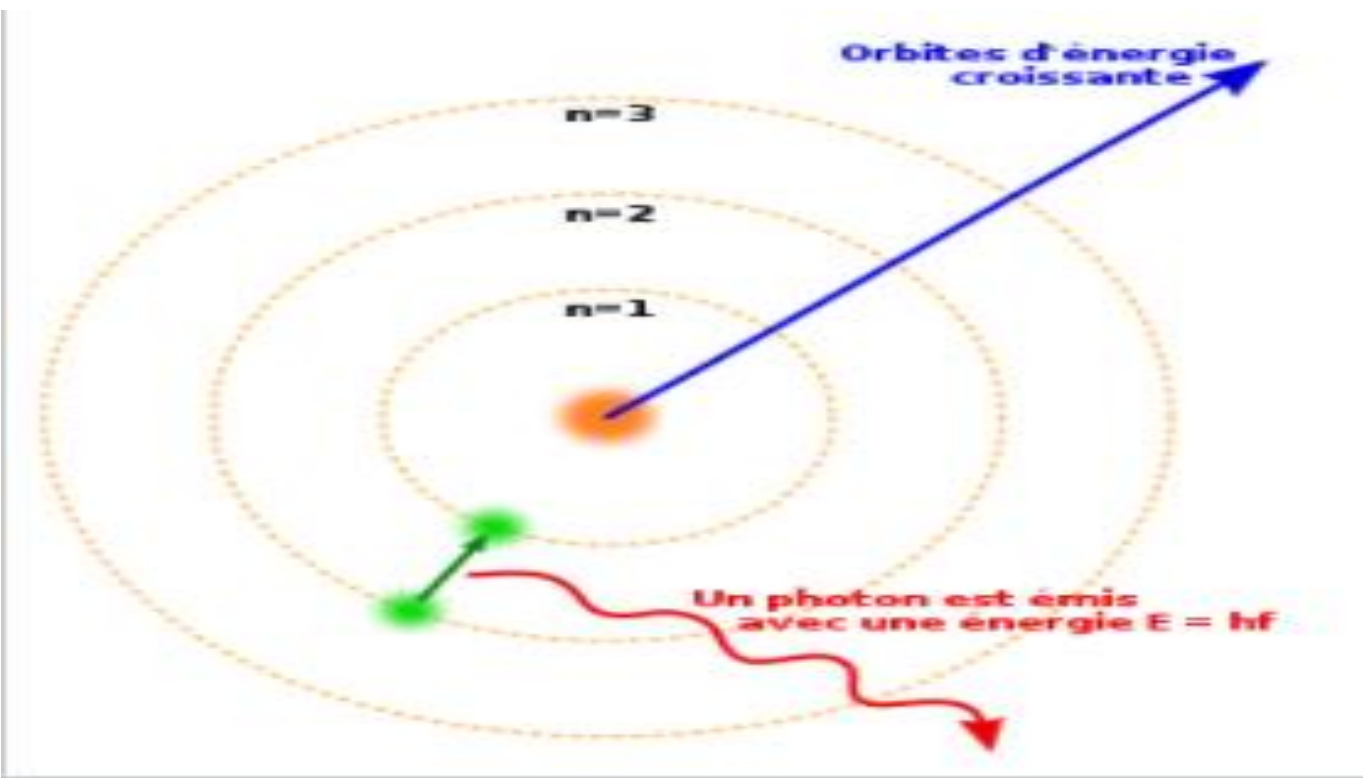
SPECTRES DES MÉTAUX

## Interactions rayonnement / Matière





- K : 2 électrons
- L : 8 électrons
- M : 18 électrons
- N : 32 électrons
- O : 50 électrons
- P : 72 électrons



<b>H</b> Hydrogène 1,01																	<b>He</b> Hélium 4,00	
<b>Li</b> Lithium 6,94	<b>Be</b> Béryllium 9,01																	<b>Ne</b> Néon 20,18
<b>Na</b> Sodium 22,99	<b>Mg</b> Magnésium 24,31																	<b>Ar</b> Argon 39,95
<b>K</b> Potassium 39,10	<b>Ca</b> Calcium 40,08	<b>Sc</b> Scandium 44,96	<b>Ti</b> Titane 47,87	<b>V</b> Vanadium 50,94	<b>Cr</b> Chrome 52,00	<b>Mn</b> Manganèse 54,94	<b>Fe</b> Fer 55,85	<b>Co</b> Cobalt 58,93	<b>Ni</b> Nickel 58,69	<b>Cu</b> Cuivre 63,55	<b>Zn</b> Zinc 65,41	<b>Ga</b> Gallium 69,72	<b>Ge</b> Germanium 72,64	<b>As</b> Arsenic 74,92	<b>Se</b> Sélénium 78,96	<b>Br</b> Brome 79,90	<b>Kr</b> Krypton 83,79	
<b>Rb</b> Rubidium 85,47	<b>Sr</b> Strontium 87,62	<b>Y</b> Yttrium 88,91	<b>Zr</b> Zirconium 91,22	<b>Nb</b> Niobium 92,91	<b>Mo</b> Molybdène 95,94	<b>Tc</b> Technétium (98)	<b>Ru</b> Ruthénium 101,07	<b>Rh</b> Rhodium 102,91	<b>Pd</b> Palladium 106,42	<b>Ag</b> Argent 107,87	<b>Cd</b> Cadmium 112,41	<b>In</b> Indium 114,82	<b>Sn</b> Étain 118,71	<b>Sb</b> Antimoine 121,76	<b>Te</b> Tellure 127,60	<b>I</b> Iode 126,90	<b>Xe</b> Xénon 131,29	
<b>Cs</b> Césium 132,90	<b>Ba</b> Baryum 137,34	57-71	<b>Hf</b> Hafnium 178,49	<b>Ta</b> Tantale 180,95	<b>W</b> Tungstène 183,85	<b>Re</b> Rérium 186,21	<b>Os</b> Osmium 190,23	<b>Ir</b> Iridium 192,22	<b>Pt</b> Platine 195,09	<b>Au</b> Or 196,97	<b>Hg</b> Mercure 200,59	<b>Tl</b> Thallium 204,38	<b>Pb</b> Plomb 207,19	<b>Bi</b> Bismuth 208,98	<b>Po</b> Polonium (209)	<b>At</b> Astate (210)	<b>Rn</b> Radon (222)	
<b>Fr</b> Francium (223)	<b>Ra</b> Radium (226)	89-103	<b>Rf</b> Rutherfordium (261)	<b>Db</b> Dubnium (268)	<b>Sg</b> Seaborgium (271)	<b>Bh</b> Bohrium (272)	<b>Hs</b> Hassium (270)	<b>Mt</b> Meitnium (276)	<b>Ds</b> Darmstadtium (281)	<b>Rg</b> Roëntgenium (280)	<b>Cn</b> Copernicium (285)	<b>Uut</b> Ununtrium (284)	<b>Fl</b> Flerovium (289)	<b>Uup</b> Ununpentium (288)	<b>Lv</b> Livermorium (293)	<b>Uus</b> Ununseptium (294)	<b>Uuo</b> Ununoctium (294)	

$e^-$   $n^0$   
**Sym**  
 Nom  
 Masse atomique

Solide  
 Liquide  
 Gazeux  
 Inconnu

- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Métaux pauvres
- Lanthanides
- Actinides
- Métalloïdes
- Non-métaux
- Halogènes
- Gaz rares



<b>La</b> Lanthane 138,91	<b>Ce</b> Cérium 140,12	<b>Pr</b> Praseodyme 140,91	<b>Nd</b> Néodyme 144,24	<b>Pm</b> Prométhéum (145)	<b>Sm</b> Samarium 150,36	<b>Eu</b> Europium 151,96	<b>Gd</b> Gadolinium 157,25	<b>Tb</b> Terbium 158,92	<b>Dy</b> Dysproxium 162,50	<b>Ho</b> Holmium 164,93	<b>Er</b> Erbium 167,26	<b>Tm</b> Thulium 168,93	<b>Yb</b> Ytterbium 173,04	<b>Lu</b> Lutécium 174,97
<b>Ac</b> Actinium (227)	<b>Th</b> Thorium 232,04	<b>Pa</b> Protactinium 231,04	<b>U</b> Uranium 238,03	<b>Np</b> Neptunium (237)	<b>Pu</b> Plutonium 244,06	<b>Am</b> Américium (243)	<b>Cm</b> Curium (247)	<b>Bk</b> Berkélium (247)	<b>Cf</b> Californium (251)	<b>Es</b> Einsteinium (252)	<b>Fm</b> Fermium (257)	<b>Md</b> Mendélévium (258)	<b>No</b> Nobélium (259)	<b>Lr</b> Lawrencium (262)

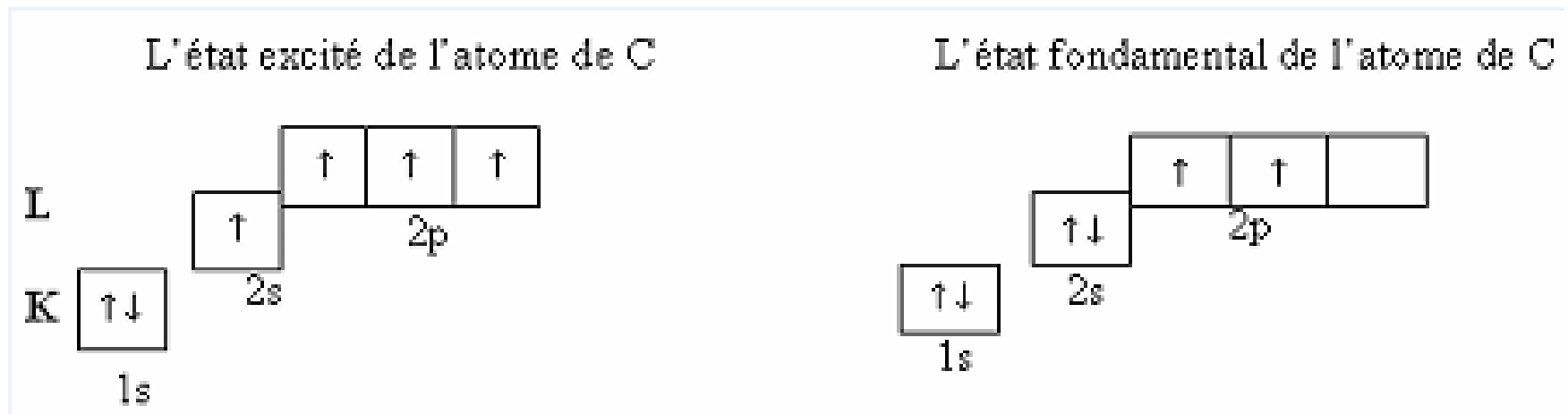
- **L'état fondamental**

Il est facile d'établir à priori la configuration électronique de l'élément dans son état fondamental (énergie de l'atome minimale).

		K	L	M			N		Forme réduite	
Z=1	H	$1s^1$								
Z=2	He	$1s^2$								
Z=3	Li	$1s^2$	$2s^1$						[He] $2s^1$	
Z=10	Ne	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$					[He] $2s^2 2p^6$	
Z=18	Ar	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^6$			[Ne] $3s^2 3p^6$	
Z=36	Kr	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^6$	$3d^{10}$	$4s^2$	$4p^6$	[Ar] $3d^{10} 4s^2 4p^6$

L'état fondamental d'un système est l'état de plus basse énergie. Si, à la suite d'un apport extérieur, l'énergie de l'atome augmente, on dit que l'atome se trouve dans un état excité.

Cet état est instable, c'est-à-dire que sa durée d'existence est très brève : l'atome excité revient dans l'état stable d'énergie la plus basse.



## Effet de la température

$$N_e / N_0 = g e^{-\Delta E / k T}$$

$N_0$  et  $N_e$  : Nombre des atomes à l'état fondamental et à l'état excité,  
 $T$  : Température (K)

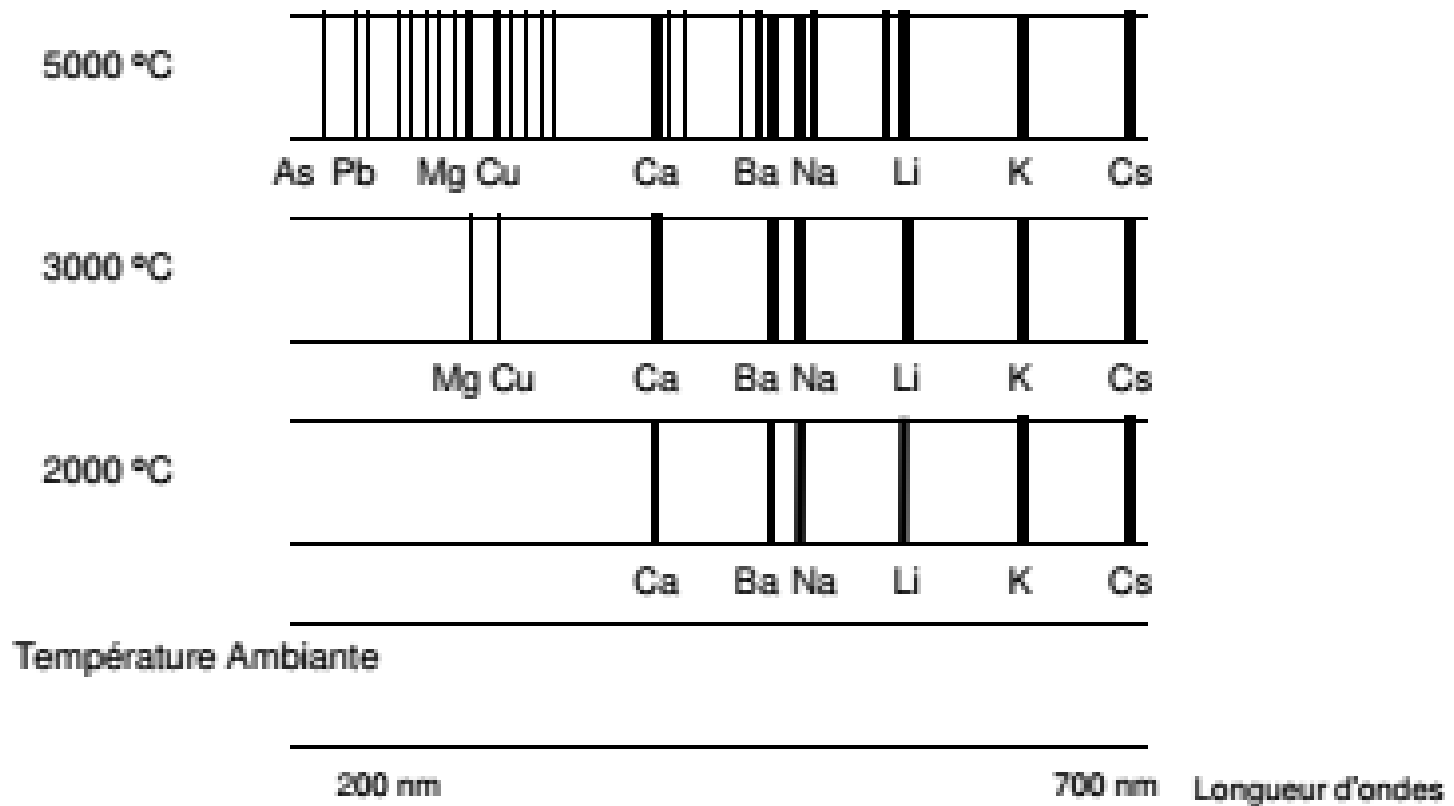
$\Delta E$  : différence d'énergie entre les niveaux fondamental et excité (J),

$k$  : Constante de Boltzmann,  $k = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

$g$  : entier, fonction des nombres quantiques de chaque élément.

Élément	$\lambda(\text{nm})$	$E(\text{eV})$	$g$	2 000 K	3 000 K	4 000 K
Na	589	2,1	2	$1,0 \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-4}$	$4,5 \times 10^{-3}$
Ca	423	2,93	3	$1,2 \times 10^{-7}$	$3,6 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-4}$
Cu	325	3,82	2	$4,8 \times 10^{-10}$	$7,3 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-5}$
Zn	214	5,79	3	$7,3 \times 10^{-15}$	$5,7 \times 10^{-10}$	$1,5 \times 10^{-7}$

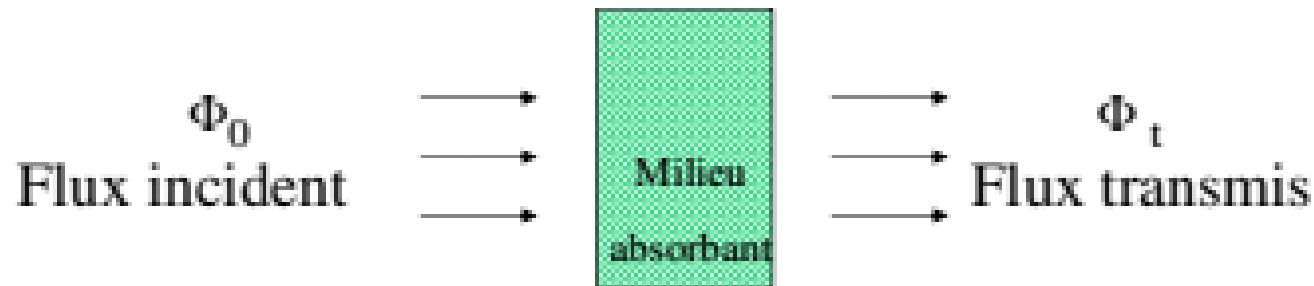
## Effet de la température





## Applications analytiques

### Absorption



L'absorbance

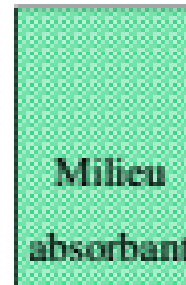
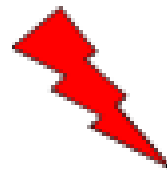
$$A = \log_{10} \frac{\Phi_0}{\Phi_t}$$

$$A = KC$$

## Applications analytiques

Emission

Excitation

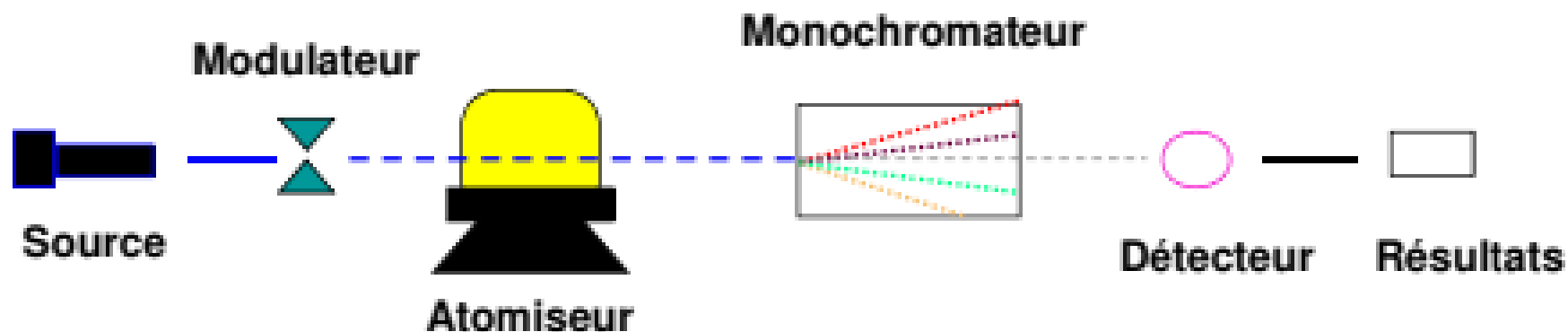


Intensité d'émission

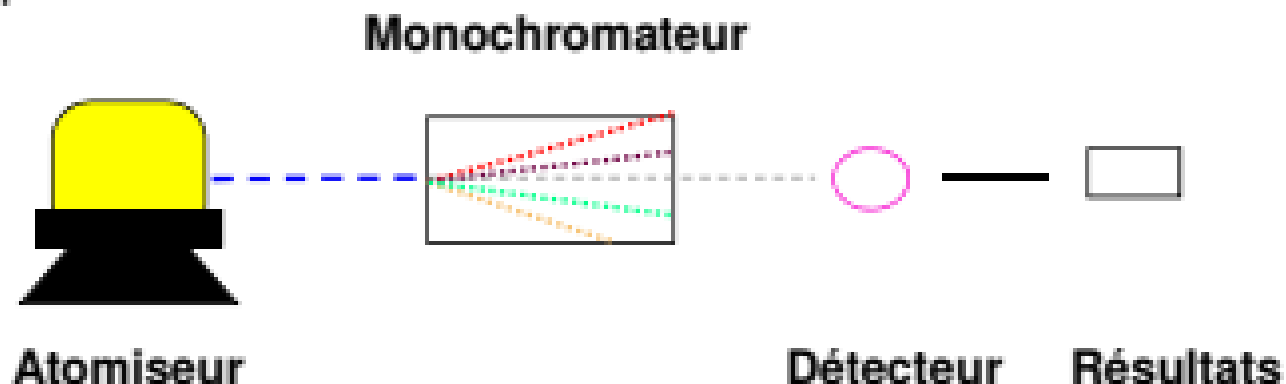
$$I=KC$$

## Différentes spectrométries Atomiques

### ➤ Absorption atomique



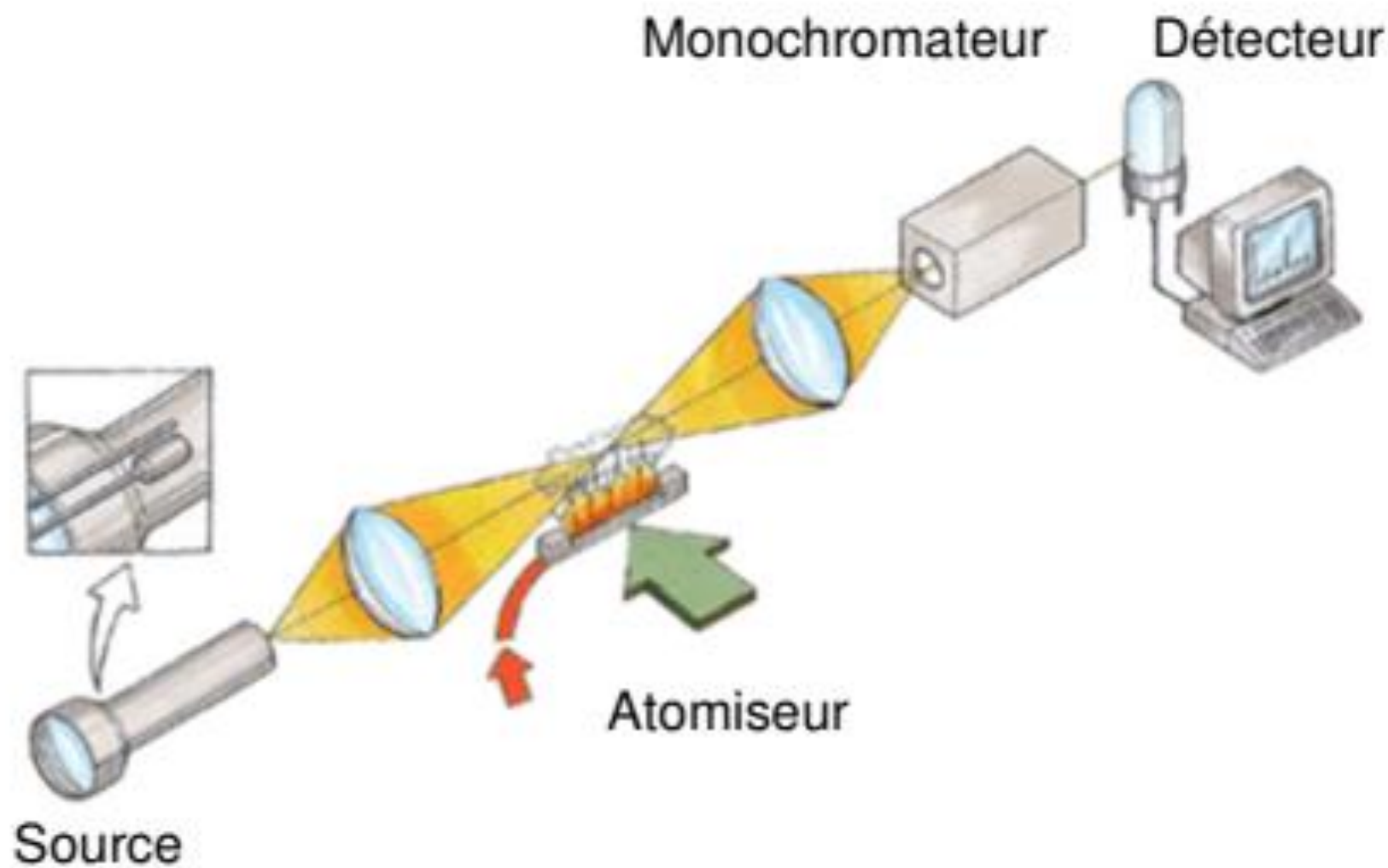
### ➤ Emission atomique



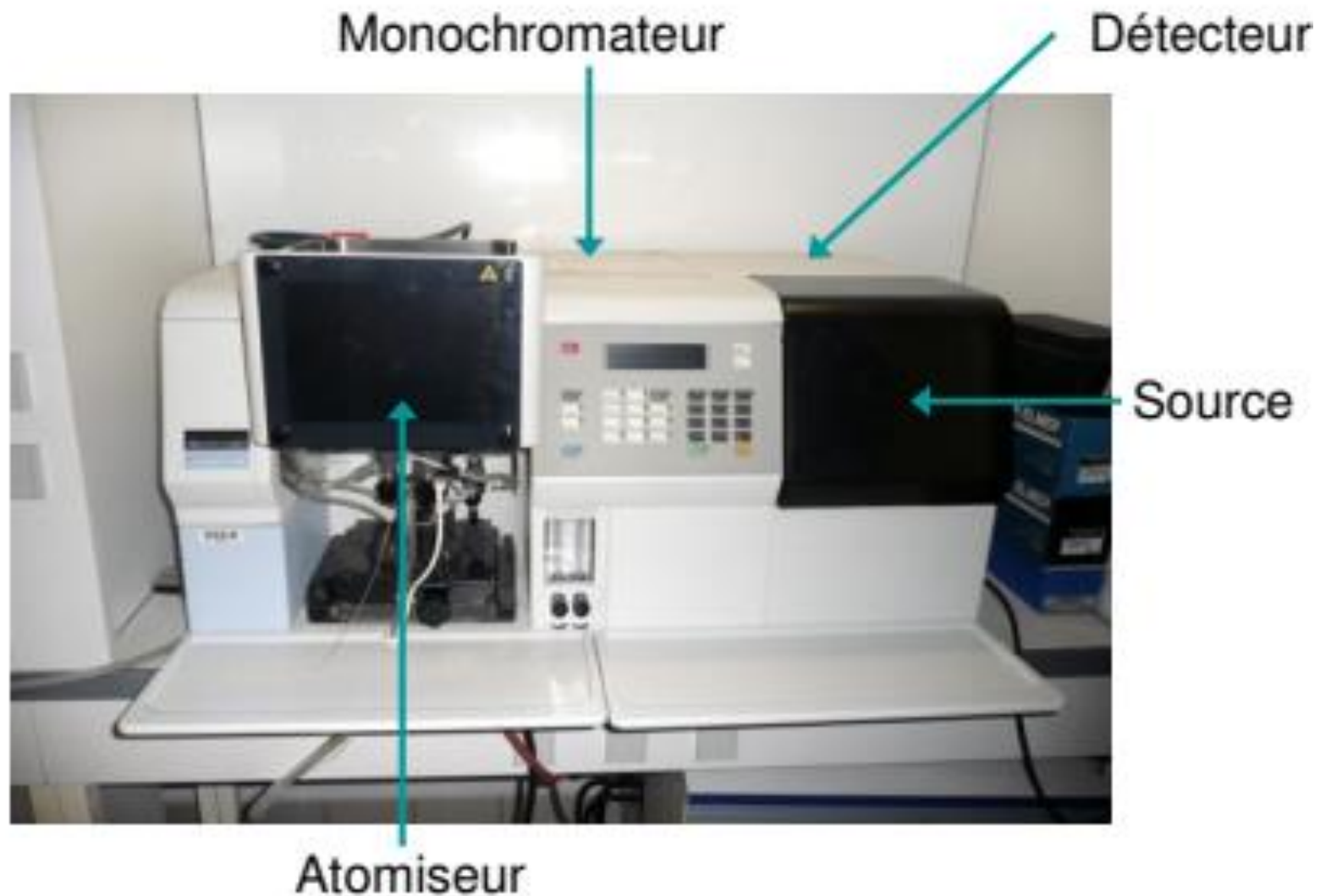
---

# II Spectrométrie Absorption Atomique

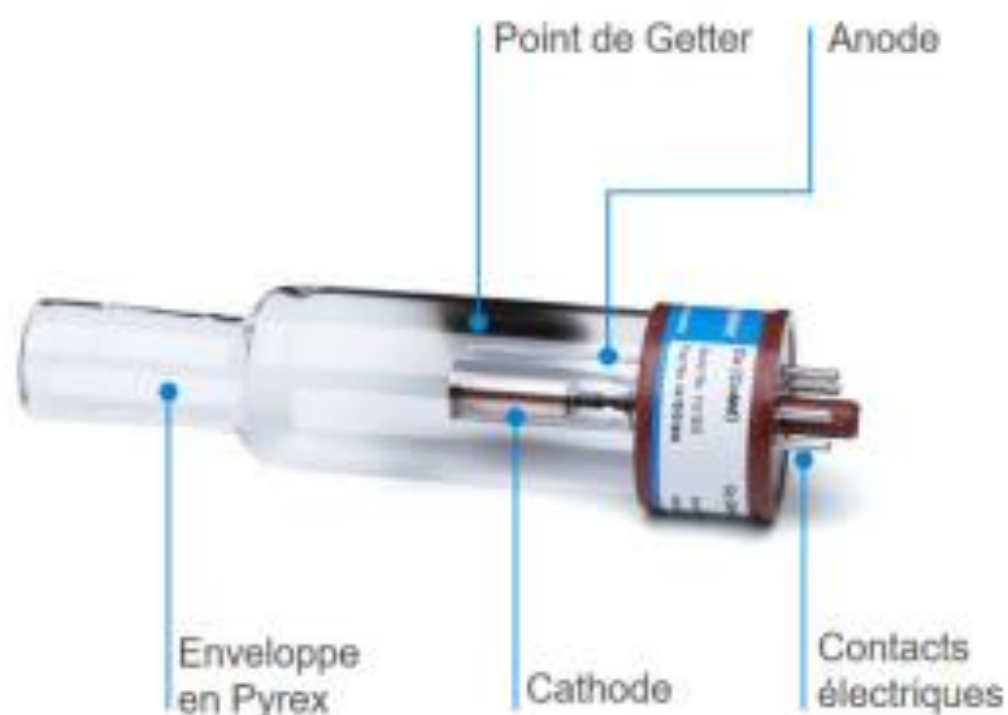
---



## II.2 Appareillage

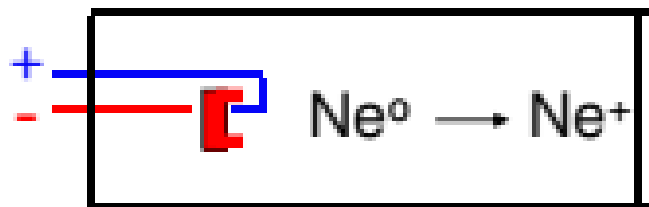


### Source à Cathode Creuse

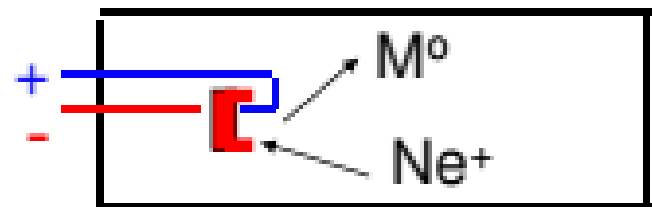


## Source à Cathode Creuse

1. Ionisation



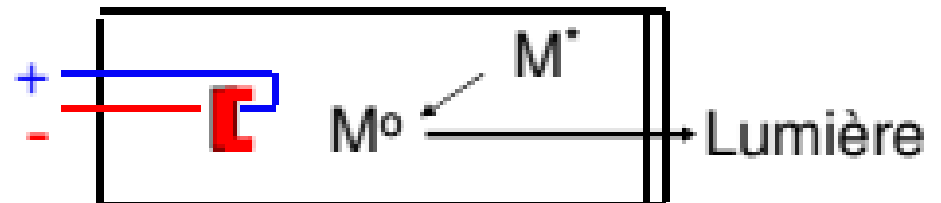
2. Bombardement



3. Excitation



4. Emission



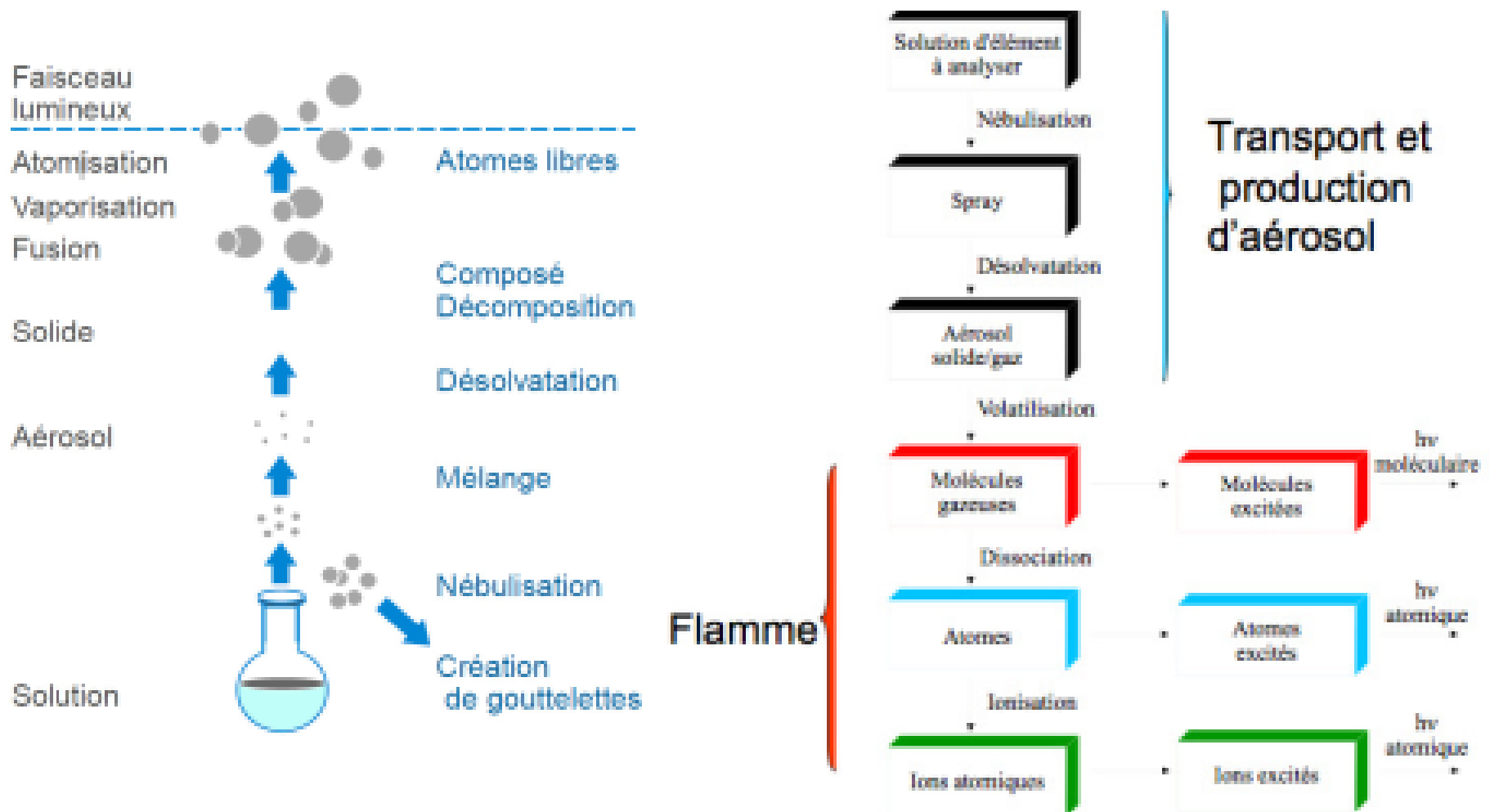


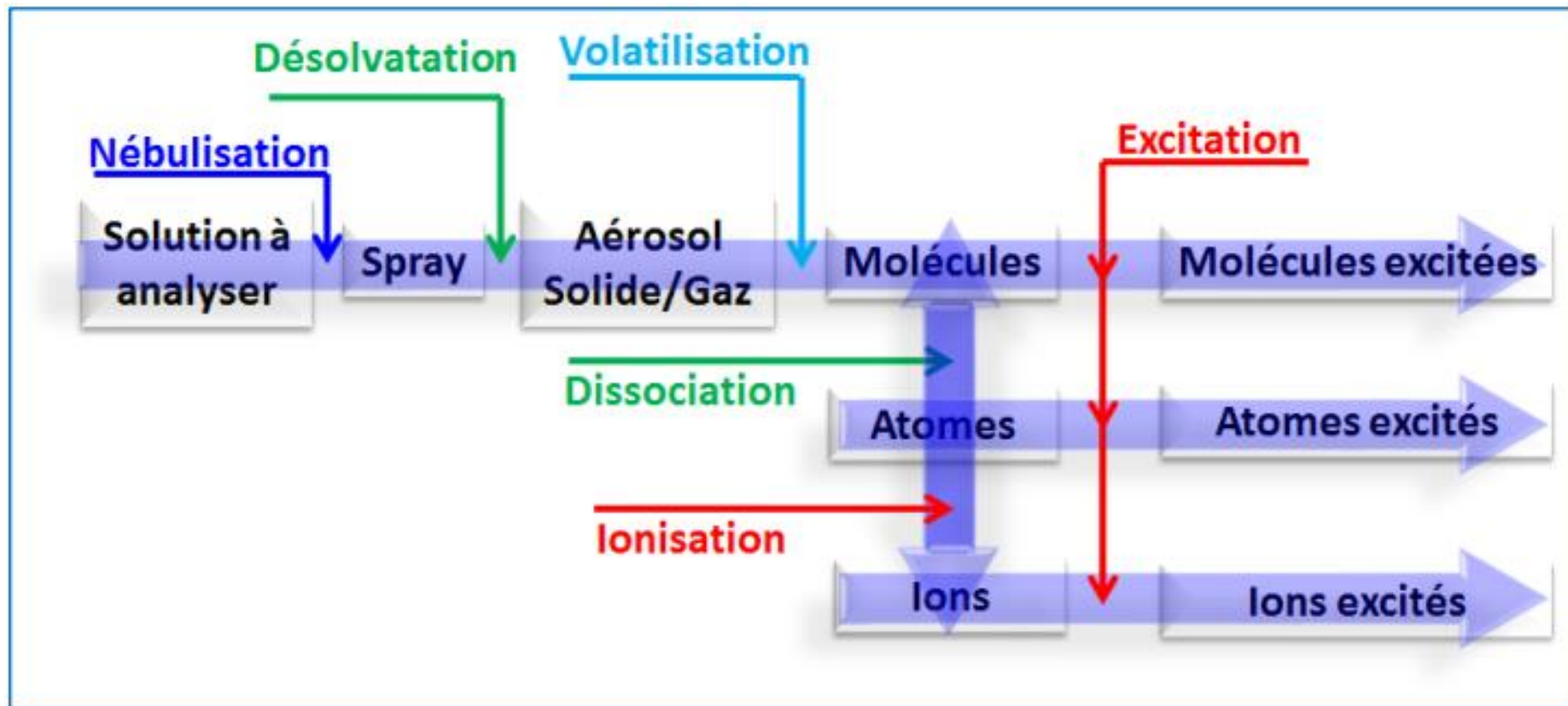
Lampe à décharge



As, Bi, Cd, Cs, Ge, Hg, P, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Te, Tl, Zn  
Très grande intensité lumineuse

## Evolution d'un aérosol dans une flamme



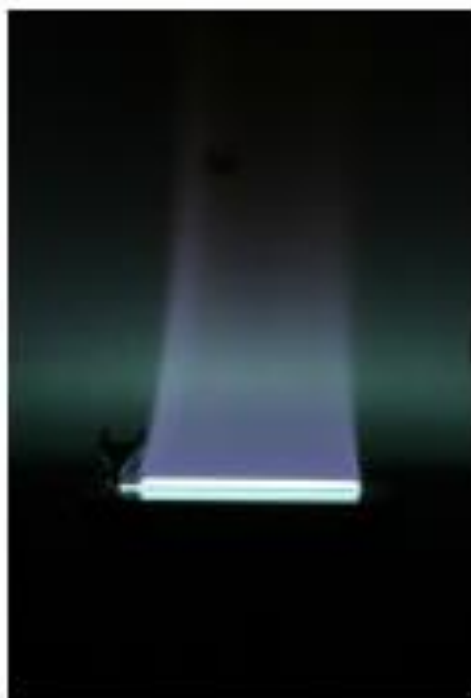


## Choix de la flamme

Combustible	Comburant	Température
		(K)
Gaz naturel	Air	2 115
	Oxygène	3 015
Butane	Air	2 175
	Oxygène	3 175
Propane	Air	2 200
	Oxygène	3 125
Hydrogène	Air	2 300
	Oxygène	2 935
	N <sub>2</sub> O	2 925
Acétylène	Air	2 500
	Oxygène	3 400
	Oxygène-Hélium	2 750
	N <sub>2</sub> O	3 175
	Oxygène-Azote 50/50	3 090

## Choix de la flamme

Acétylène/Air



Flamme standard  
 $T^{\circ} = 2450^{\circ} \text{ C}$

Acétylène/Protoxyde d'azote



Flamme de haute température  
 $T^{\circ} = 3200^{\circ} \text{ C}$

### Choix de la flamme

IA																				VIIIA	
H																					He
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA					
Li 3	Be 4											B 5	C	N	O	F				Ne	
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P	S	Cl				Ar	
		IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII		IB	IIB											
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br				Kr	
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I				Xe	
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po	At				Rn	
Fr	Ra	Ac																			
			Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71					
			Th 90	Pa 91	U 92	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw					

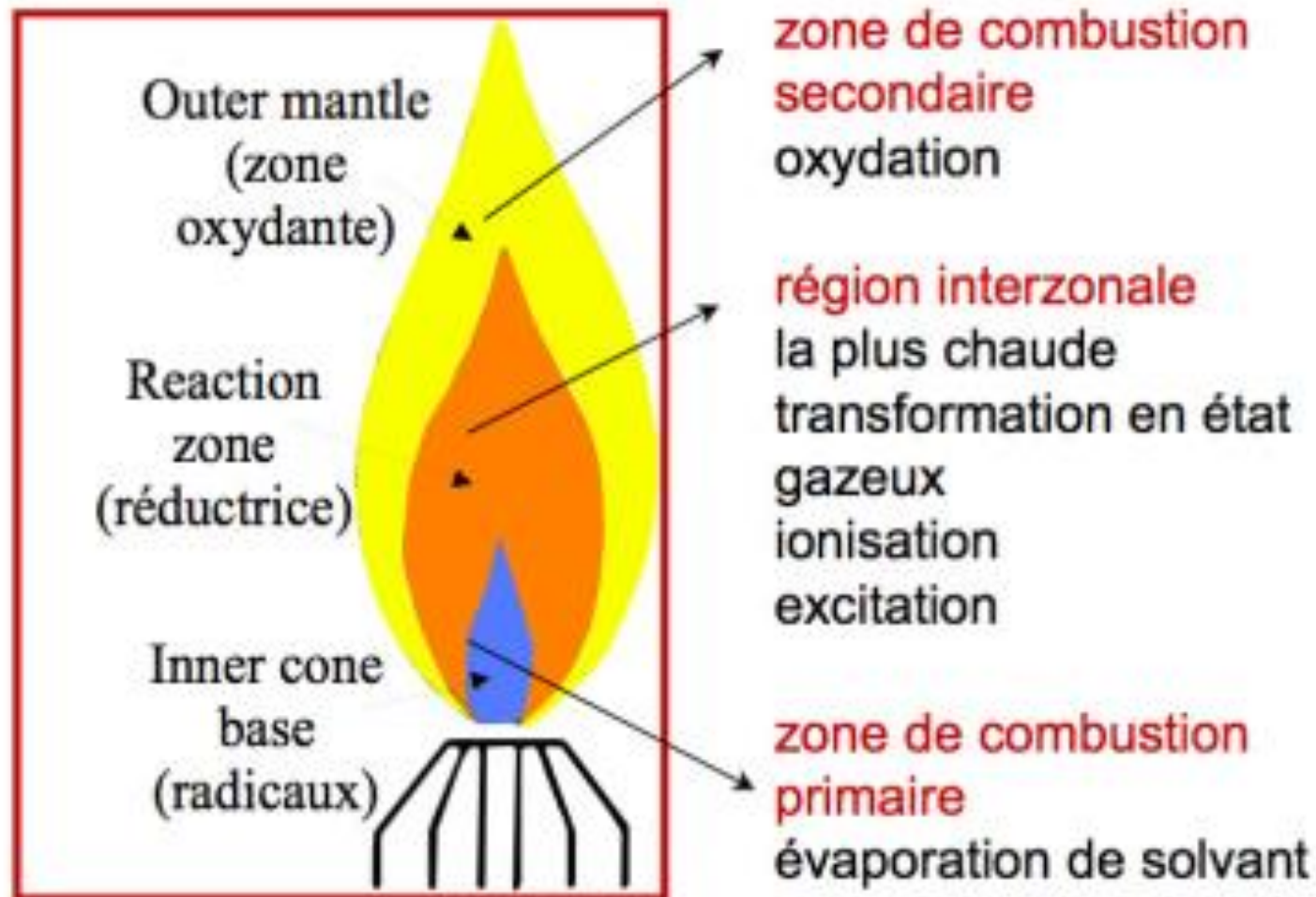
M
XX

Flamme air/Acétylène

M
XX

Flamme N<sub>2</sub>O/Acétylène

### Structure de la flamme



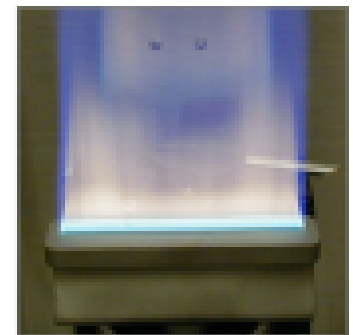
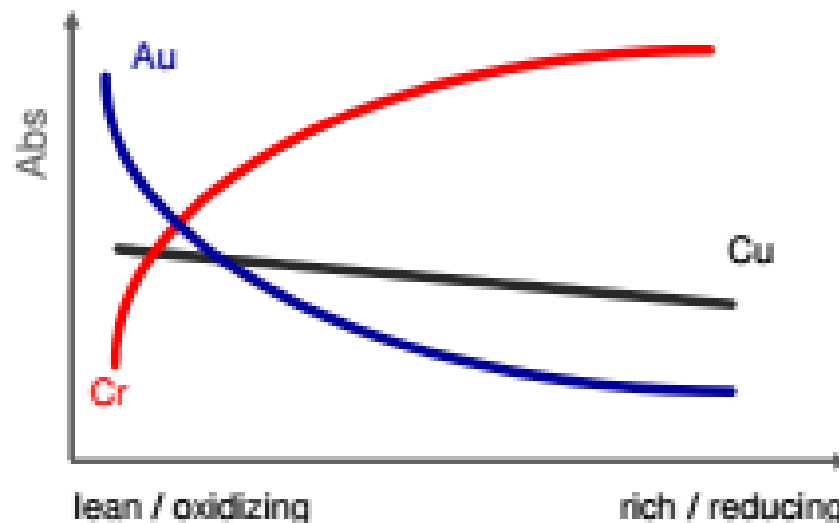
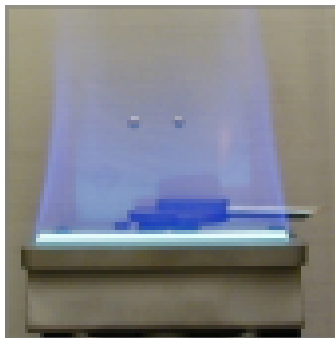
### Ratio Comburant /Carburant

#### Flamme oxydante

- ▶ Moins d' Acetylene
- ▶ Flamme Bleue
- ▶ Flamme Chaude
- ▶ Réduit les interferences

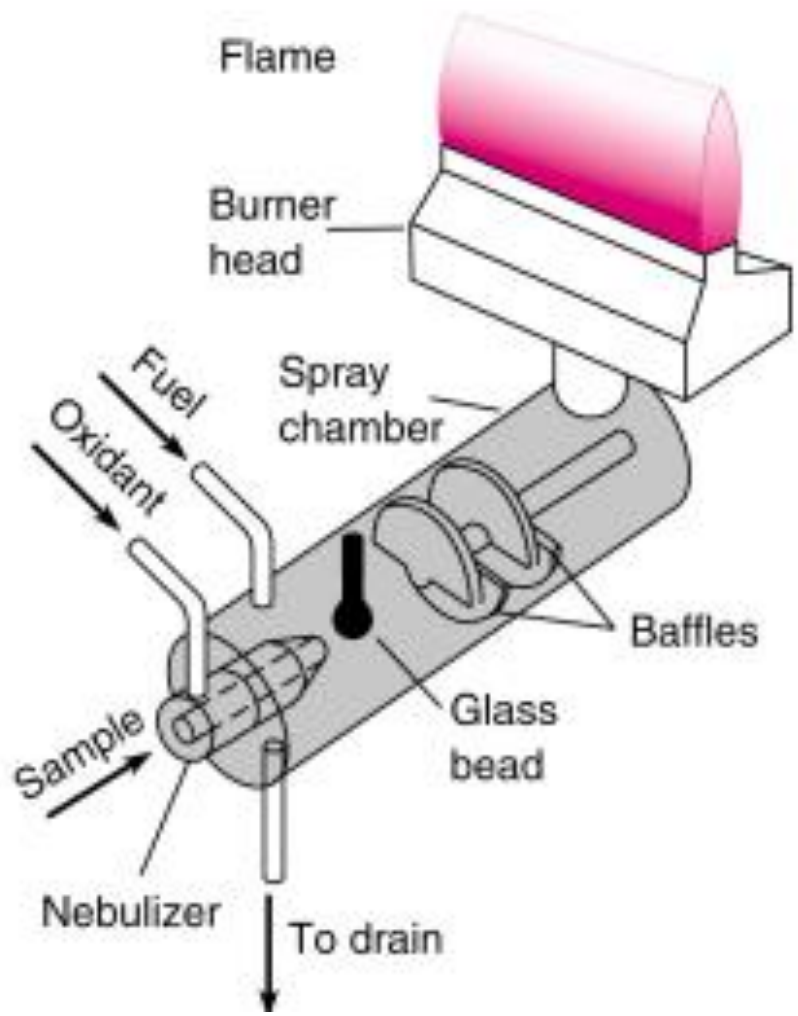
#### Flamme réductrice

- ▶ Plus d' Acetylene
- ▶ Flamme Jaune
- ▶ Flamme froide
- ▶ interferences possibles





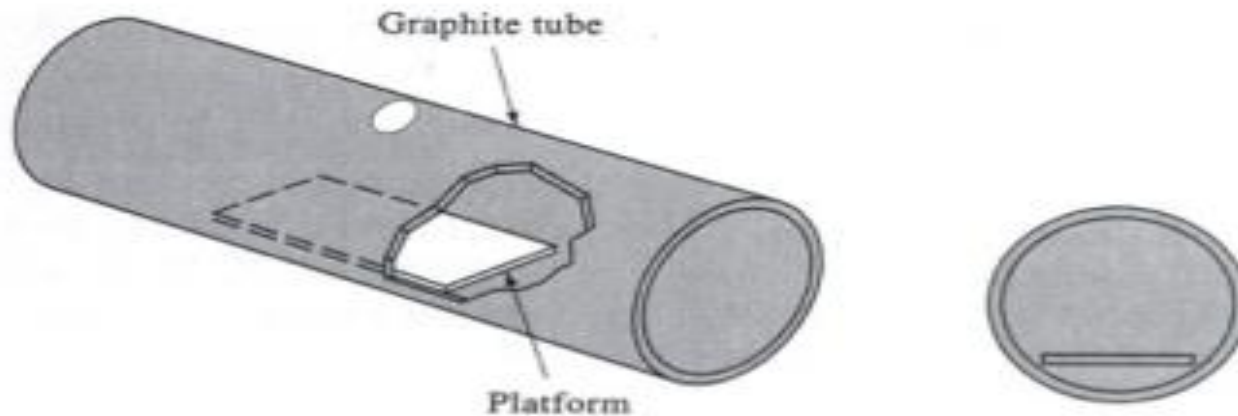
### Atomiseur



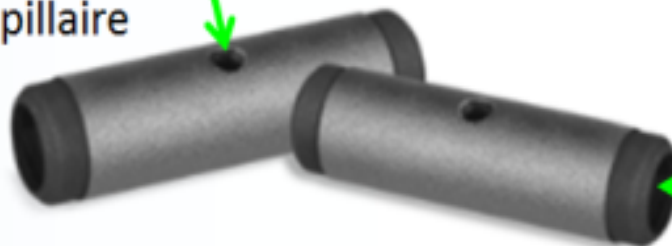
Atomiseur



## Atomisation électrothermique



Orifice d'introduction de l'échantillon en solution  
Par un capillaire



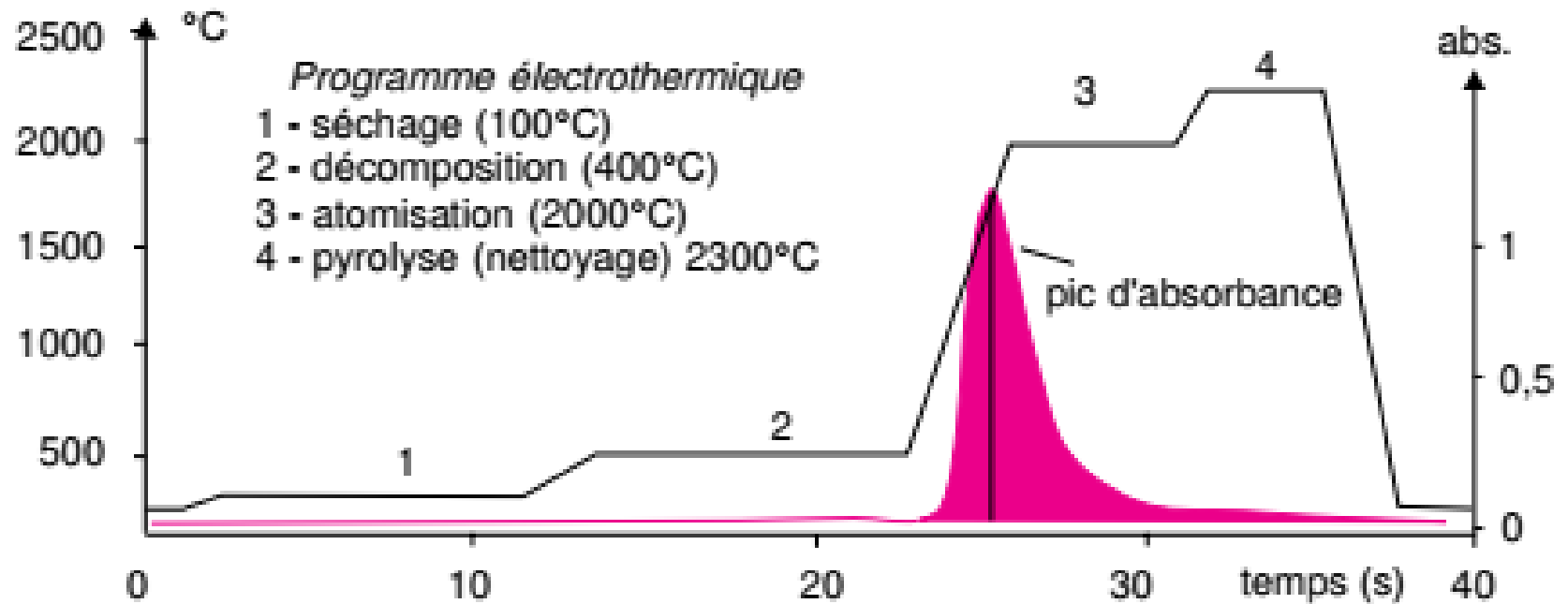
Possibilité d'introduire des échantillons sous forme solide

**Four graphite**

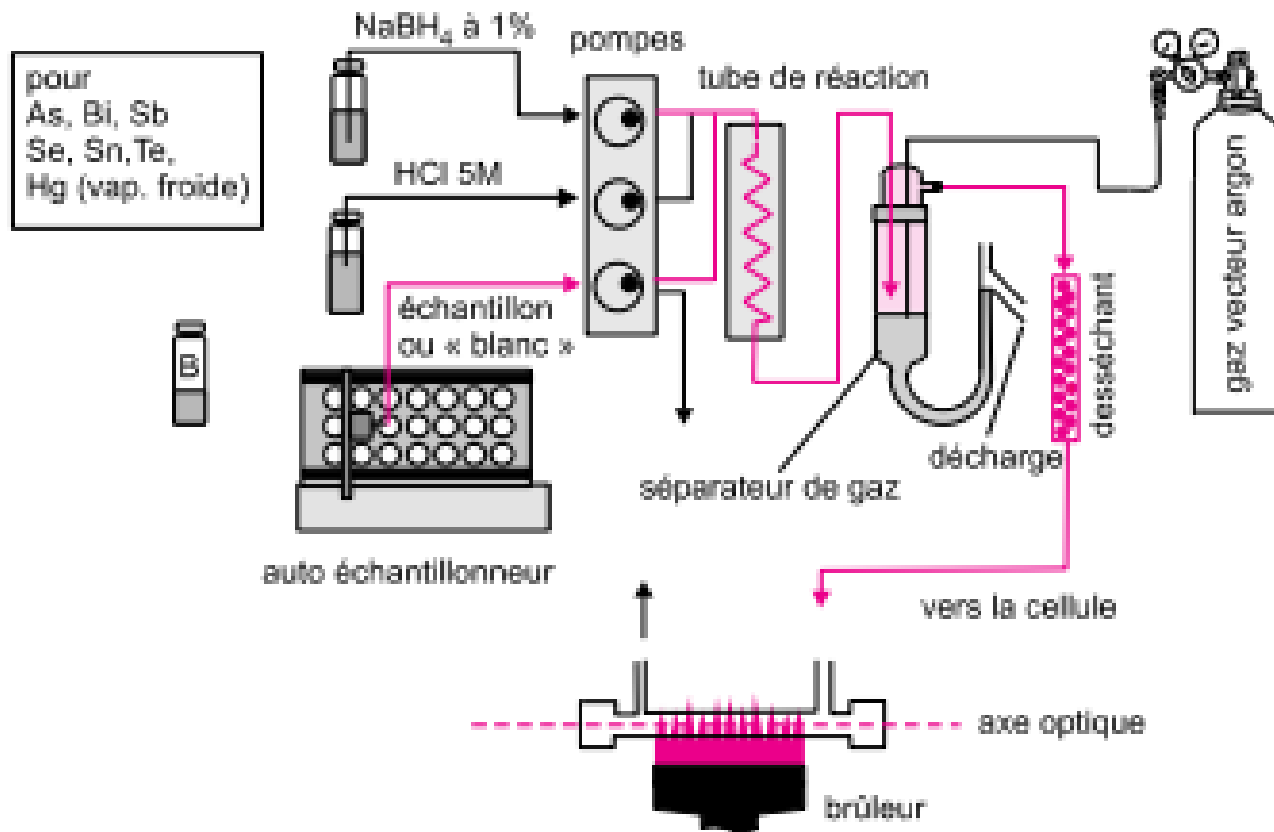
Atomisation électrothermique



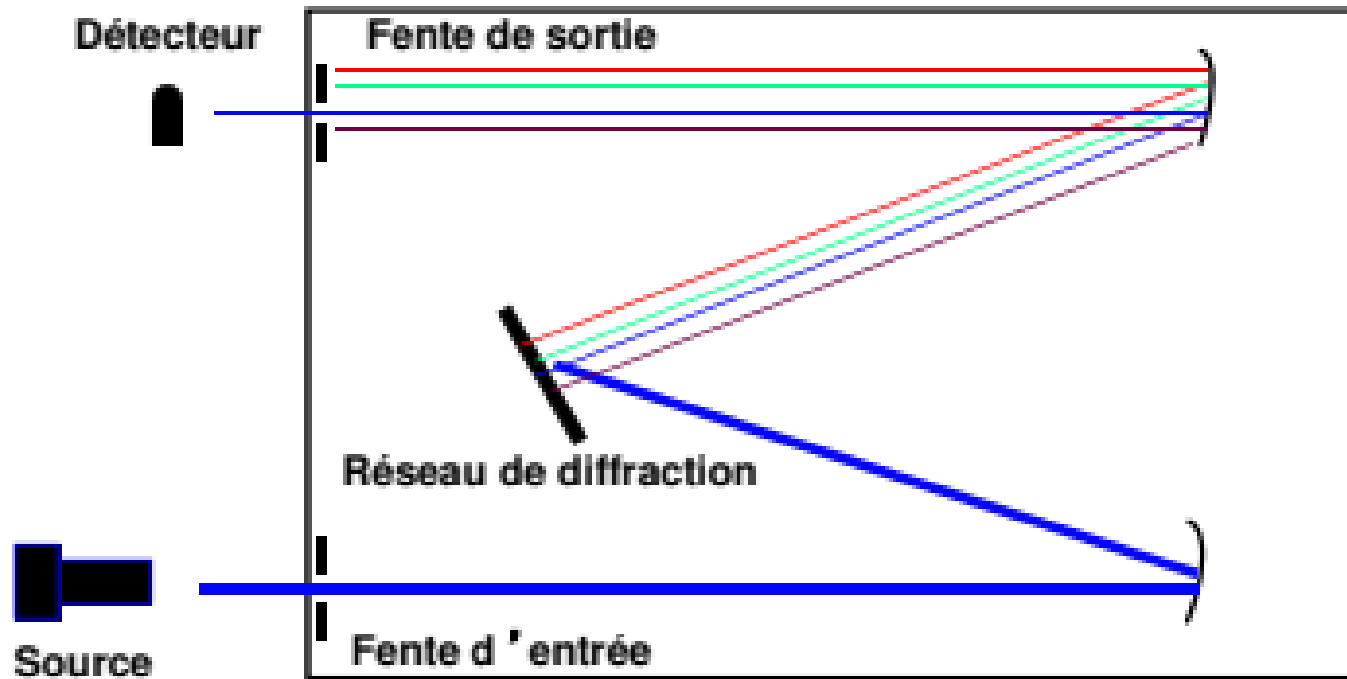
## Atomisation électrothermique



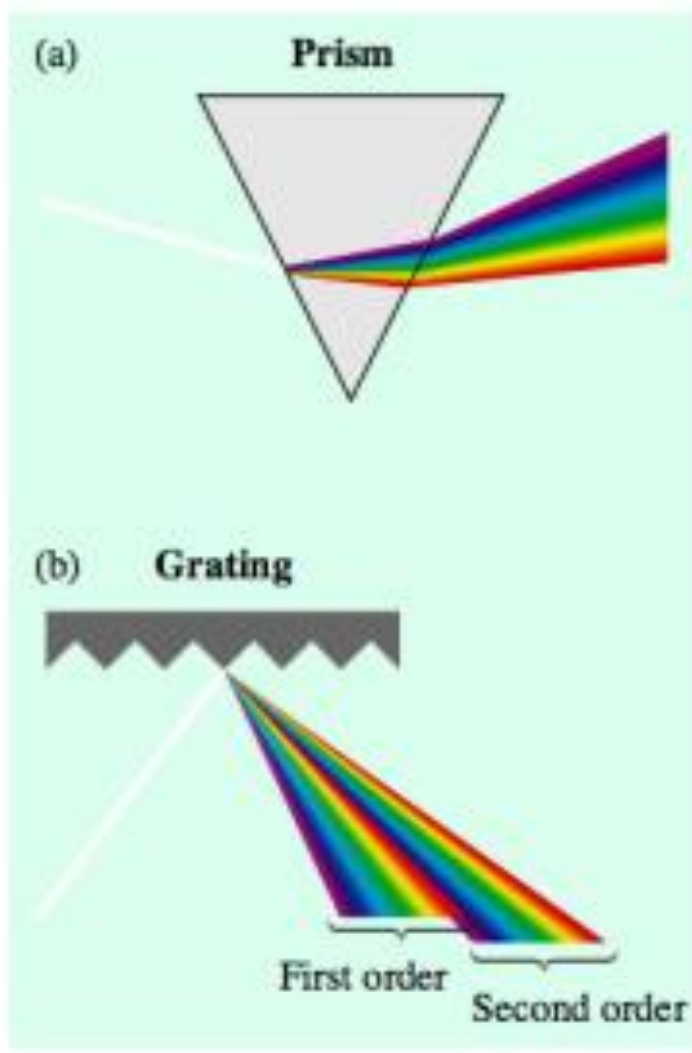
## Vaporisation chimique



## Monochromateur Czerney-Turner



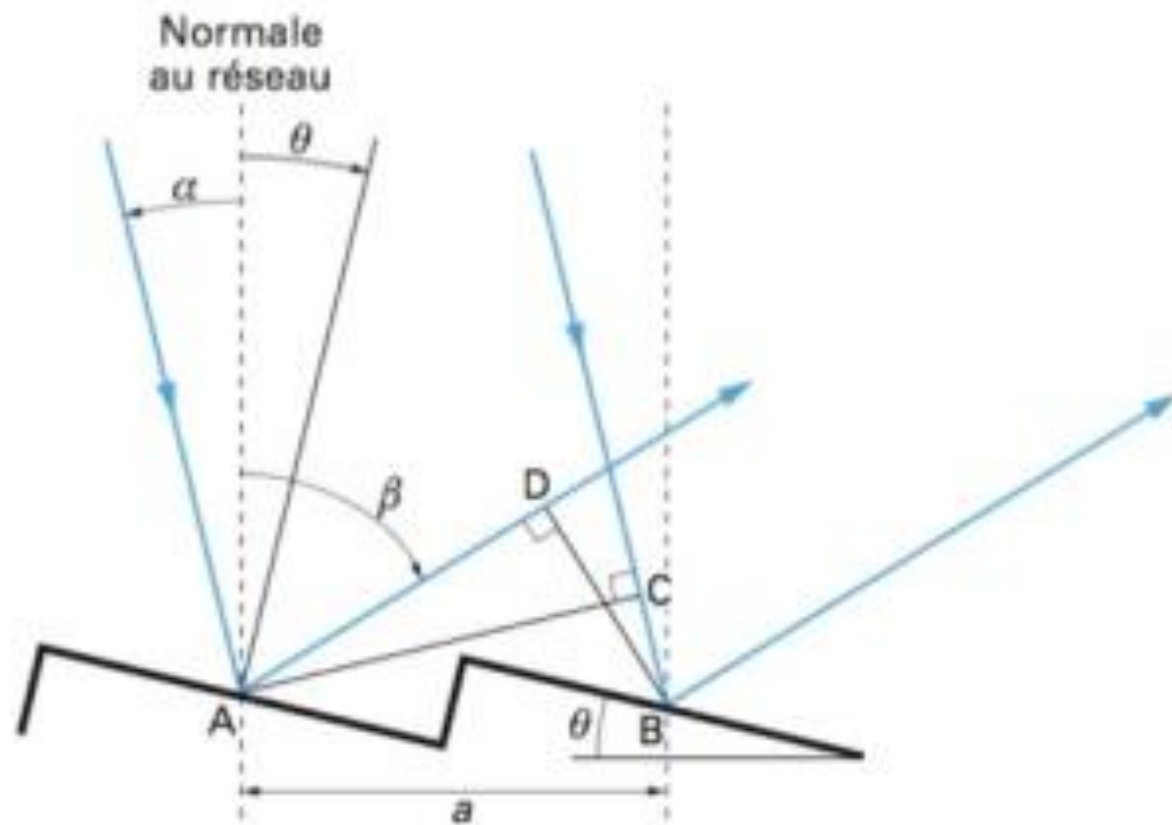
Prisme



Réseau

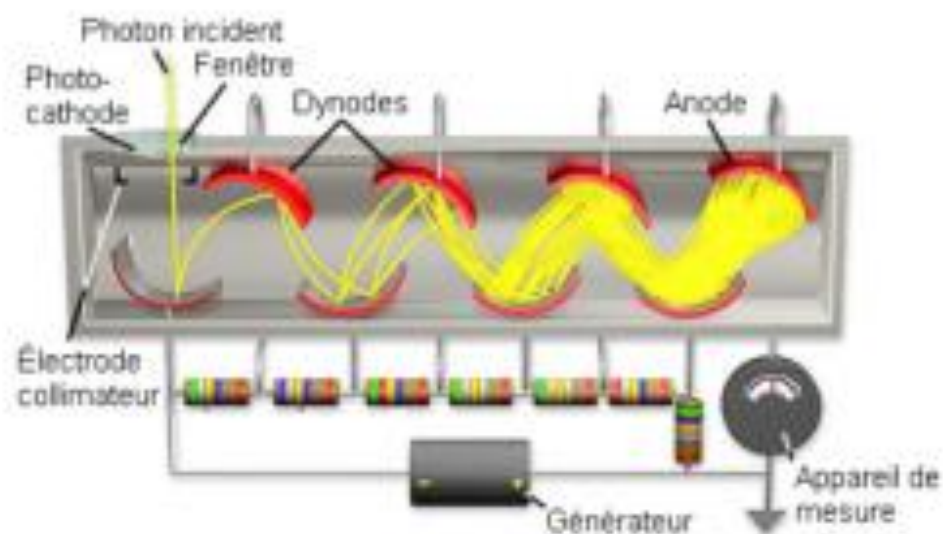


## Réseau



$$a(\sin \alpha \pm \sin \beta) = n\lambda$$

### Photomultiplicateur

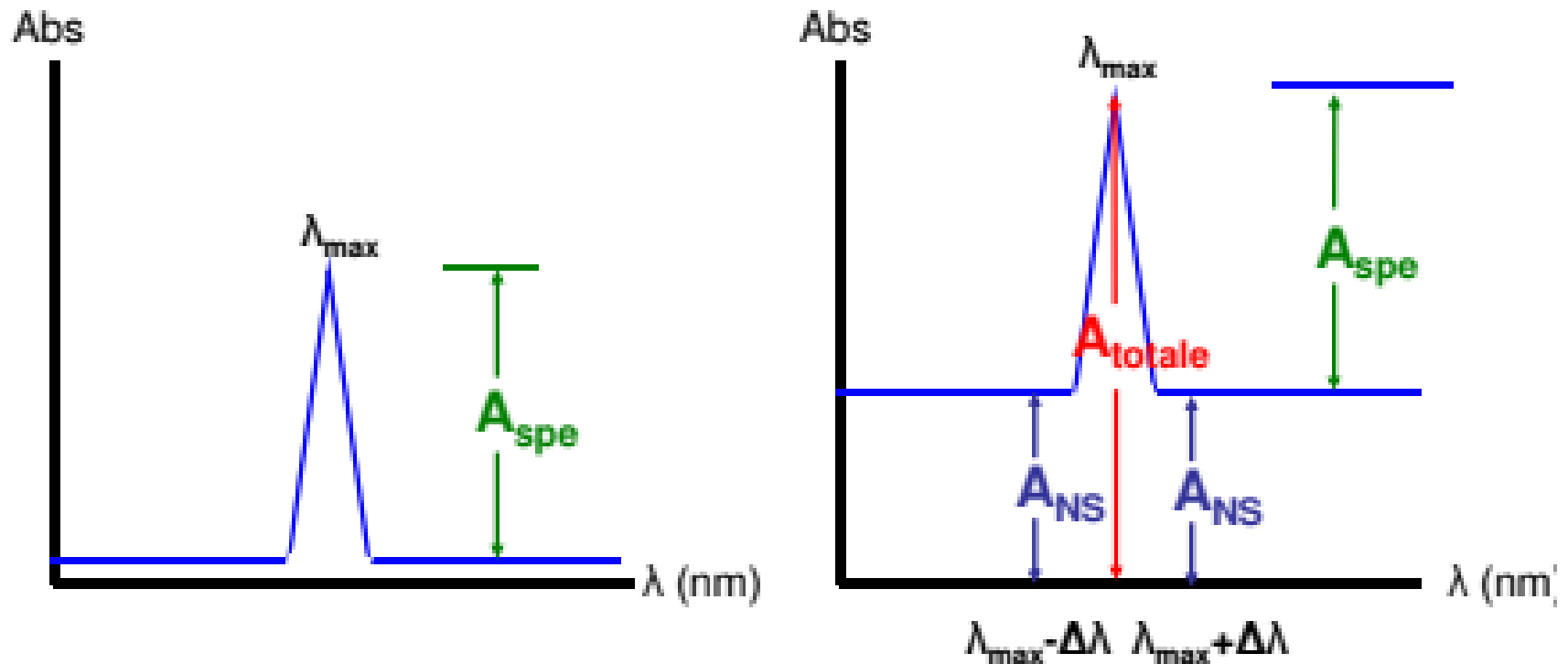


### Détecteur solide



## II.3. Corrections absorption parasite

### Correction des absorptions parasites



## II.3. Corrections absorption parasite

---

### Correction des absorptions parasites

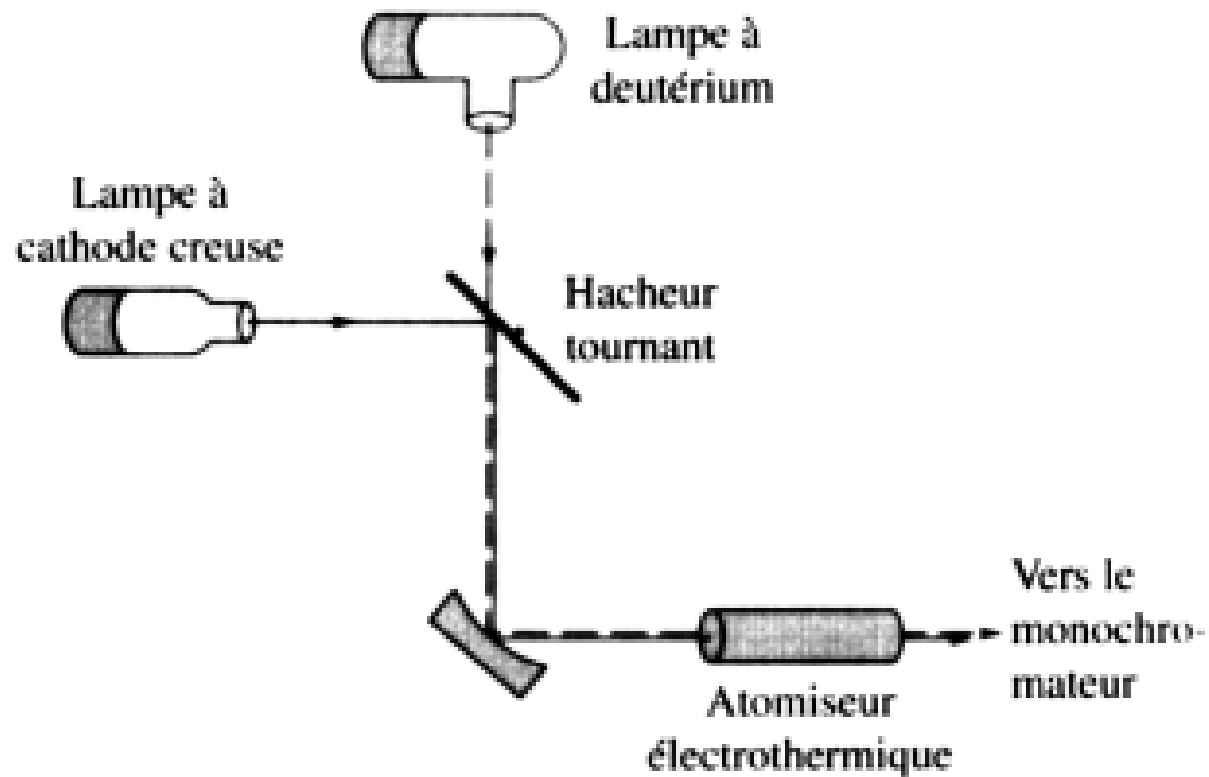
Correction par lampe à deutérium

Correction par application à l'effet Zeeman

Correction du bruit de fond par LCC pulsée

## II.3. Corrections absorption parasite

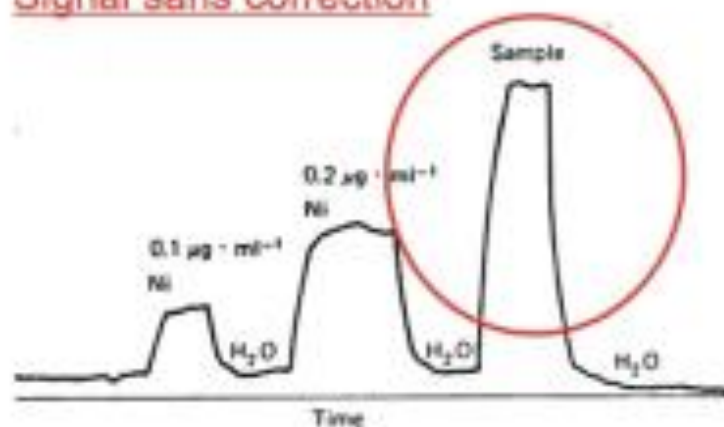
### Correction par lampe à deutérium



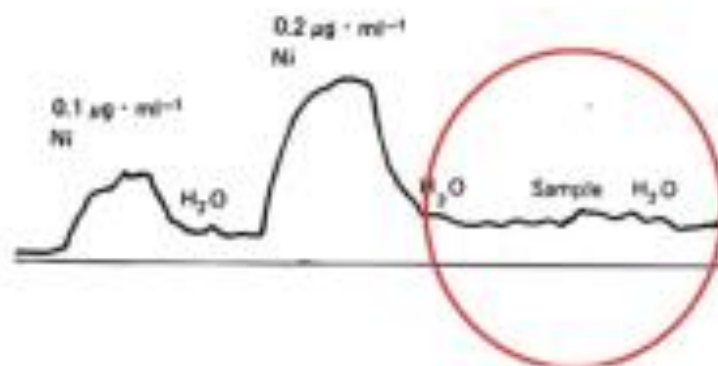
## II.3. Corrections absorption parasite

### Correction par lampe à deutérium

Signal sans correction

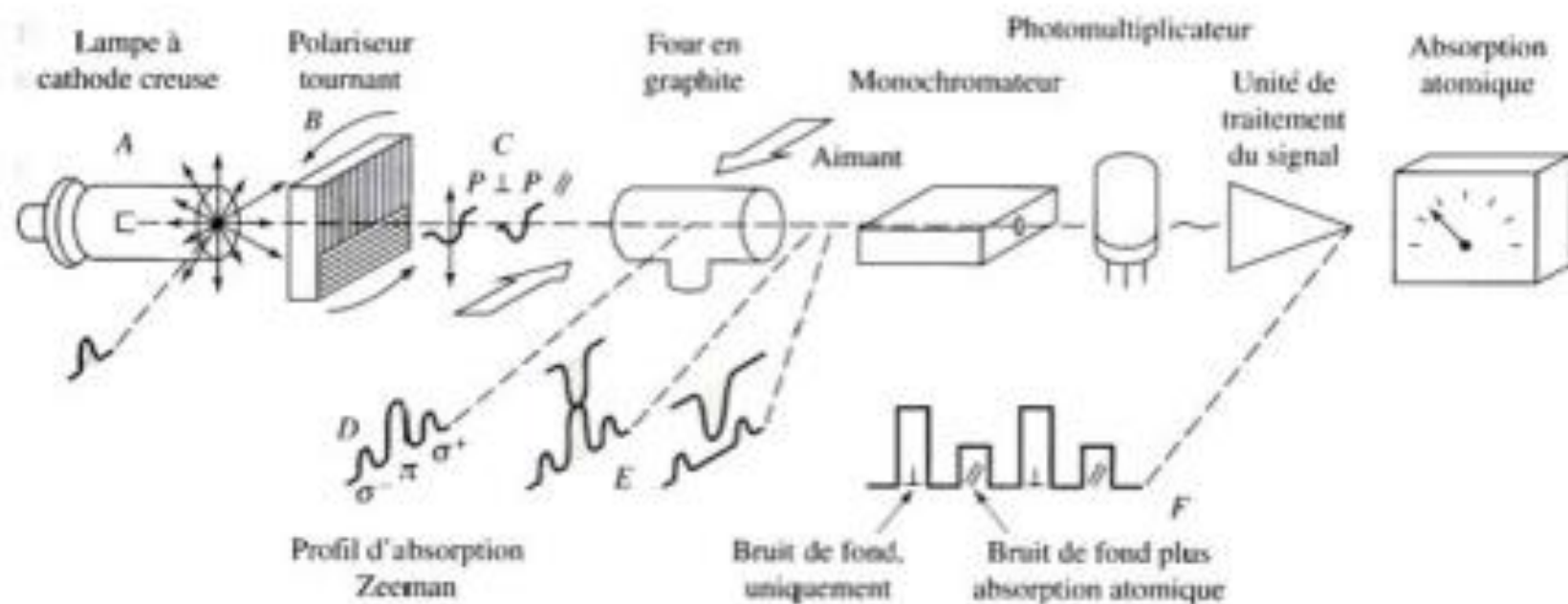


Signal après correction



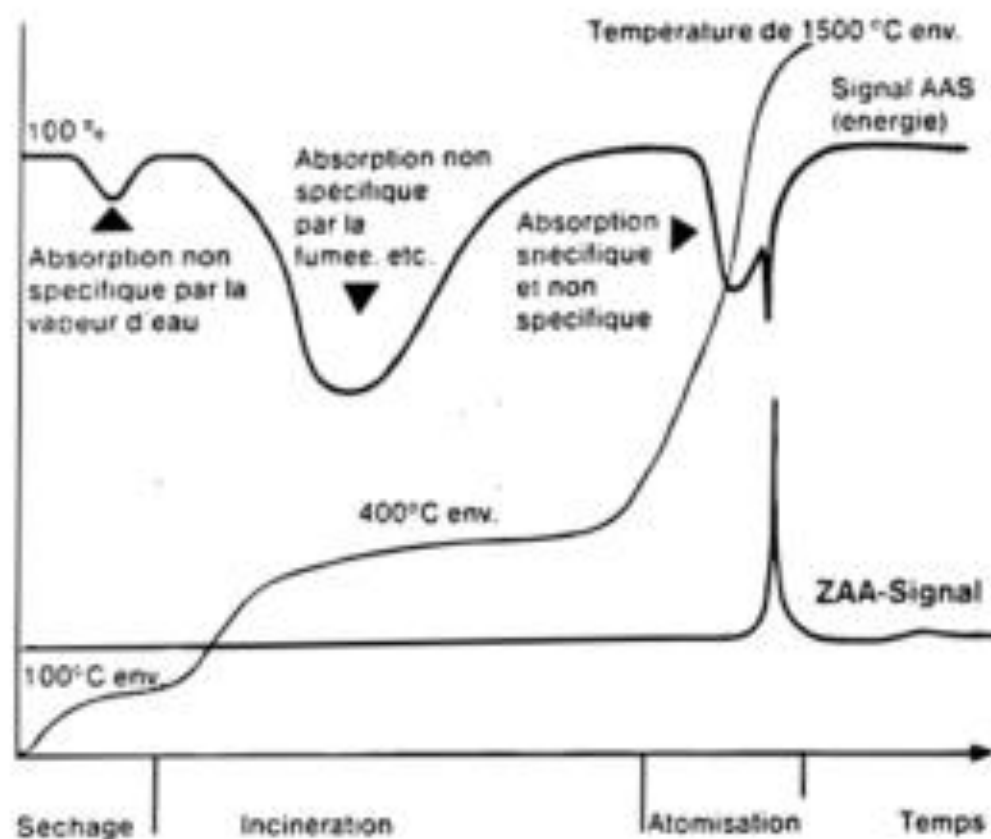
## II.3. Corrections absorption parasite

### Correction par application à l'effet Zeeman



## II.3. Corrections absorption parasite

### Correction par application à l'effet Zeeman

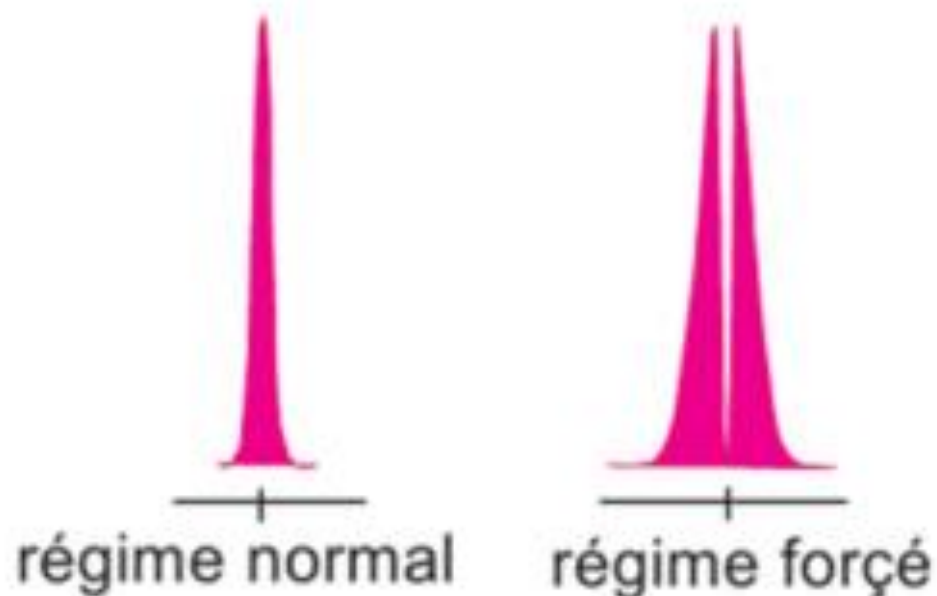




## II.3. Corrections absorption parasite

---

Correction du bruit de fond par LCC pulsée



## *IV/ Dosage par absorption atomique.*

La courbe d'étalonnage est déterminée de deux manières différentes :

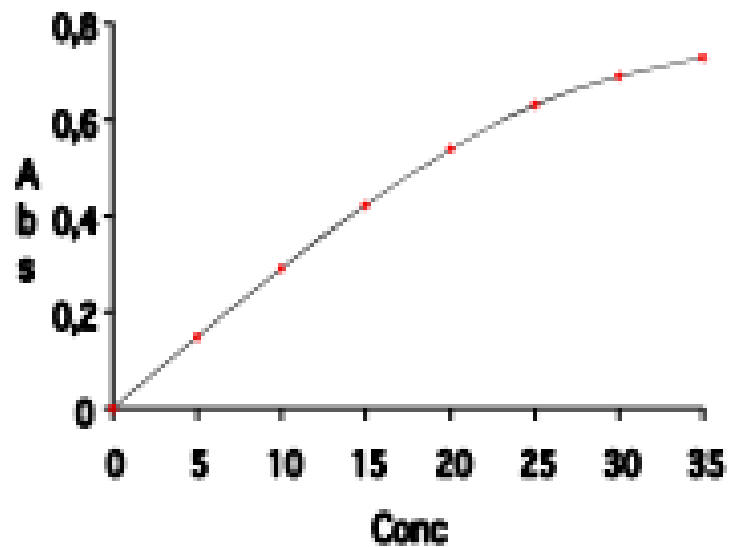
- Étalonnage direct --> matrice simple (un seul élément à doser)
- Méthode des ajouts dosés --> matrice complexe ou inconnue.

Remarques :

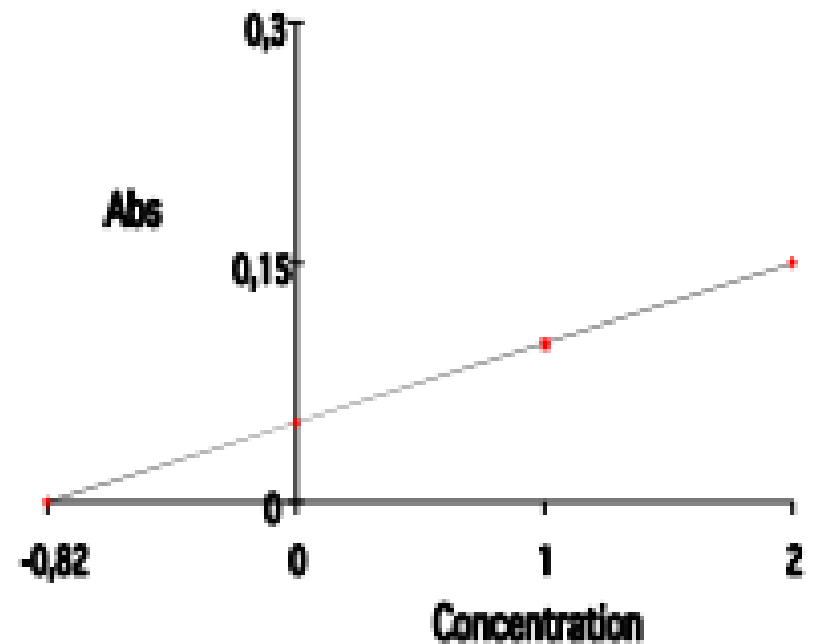
- S'assurer de la similitude de composition (solvant, concentration en acide, teneur en sels...) entre les solutions d'étalonnage et d'échantillons.
- Ne pas comparer des échantillons en solution organique à des étalons aqueux.

## Les méthodes de dosage

## Méthode Courbe étalonnage



## Méthode Ajouts Dosés



### Sensibilité et limite de détection

La sensibilité :

La concentration (mg/ml) qui en solution aqueuse, conduit à une diminution de la lumière transmise de 1% ( $A=0.0044$ )

La limite de détection :

La concentration de l'élément qui donne un signal dont l'intensité est égale 3 fois l'écart type d'une série d'au moins 10 mesures faites pour le blanc analytique (ou sur une solution très diluée)

### Sensibilité et limite de détection

"A" AND "B" HAVE SAME SENSITIVITY...

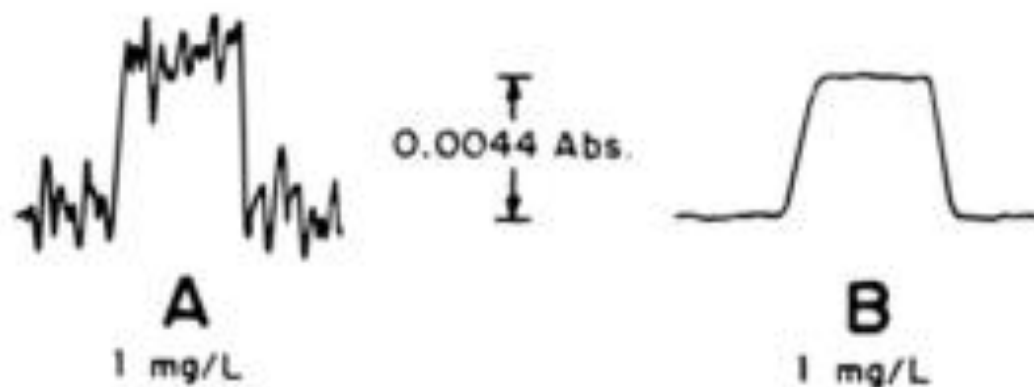
A = 1 mg/L

B = 1 mg/L

BUT DIFFERENT DETECTION LIMITS

A = 1 mg/L

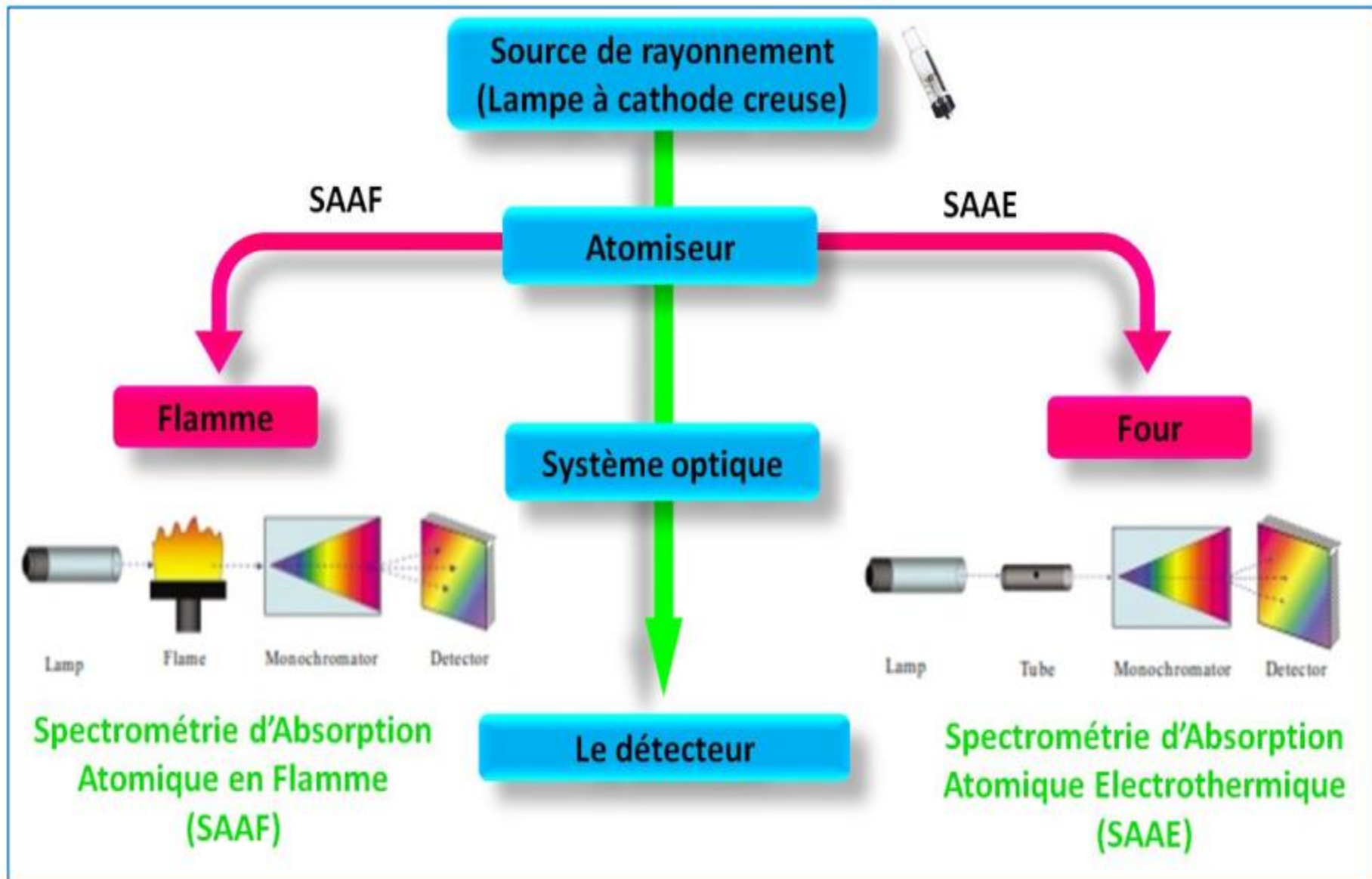
B =  $\ll$  1 mg/L



## II.6.b. Dosages en SAA

### Limites de détection (ng/mL ou ppb)

Élément	Longueur d'onde (nm)	SAAF		SAAE	
		Limite de détection ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	Concentration caractéristique ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	Limite de détection ( $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ )	Masse caractéristique $m_0$ (pg)
Ag	328,1	2	30	1	1,4
Al	309,3	30	800	6	9
As	193,7	300	500	10	20
Ba	553,6	20	200	18	6,5
Be	234,9	1	15	0,4	1,2
Cd	228,8	2	10	0,4	0,3
Co	240,7	5	50	8	8
Cu	324,7	3	30	5	8
Cr	357,9	6	50	1,6	3,5
Mn	279,5	2	20	1,8	2,2
Ni	232,0	10	70	16	9
Pb	217,0	10	100	3	11
Se	196,0	500	1000	14	30
Tl	276,8	20	200	8	10
V	318,5	100	700	6	10
Zn	213,9	1	8	6	0,5



# PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLONS

Afin de simplifier la composition des échantillons à analyser, il est nécessaire de procéder à une minéralisation pour éliminer les composés organiques du moment où il s'agit d'analyses élémentaires.

Procédé	Avantages	Inconvénients
Minéralisation par voie sèche (four à moufle)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Peu couteuse</li><li>- Le poids de l'échantillon peut être augmenté</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Perte d'éléments volatils (Cl, As, Hg ...).</li><li>- Contaminations.</li><li>- Formation de silicates non solubles.</li></ul>
Minéralisation par voie humide (Acides forts)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Moins de pertes et moins de contaminations</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Acides dangereux</li><li>- Très longue</li></ul>
Minéralisation assistée à micro-ondes	<ul style="list-style-type: none"><li>- Rapide</li><li>- Pas de pertes volatiles</li><li>- Contamination minimisée</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Equipement coûteux</li></ul>



- *V/ Quelques applications*

La spectrophotométrie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des composants majeurs.

La spectrométrie d'absorption atomique permet le dosage de nombreux matériaux inorganiques (roches et minerais, métaux et alliages...).

Elle est donc très adaptée à l'étude du matériel archéologique. Elle permet aussi de quantifier les éléments métalliques en solutions (Gestion des déchets)

Citons Quelques exemples :

L'analyse des éléments traces pour identification des pierres ;

L'analyse des constituants majeurs et mineurs de céramiques archéologiques ;

L'analyse des eaux ;

L'analyse des sols, engrais et sédiments ;

L'analyse des produits industriels ainsi que d'autres analyses.

Les avantages de la méthode spectrométrie d'absorption atomique : haute sensibilité, grande spécificité, rapidité, faible quantité de substance nécessaire (1 ml de la solution peut suffire) et facilité de préparation des solutions étalons.

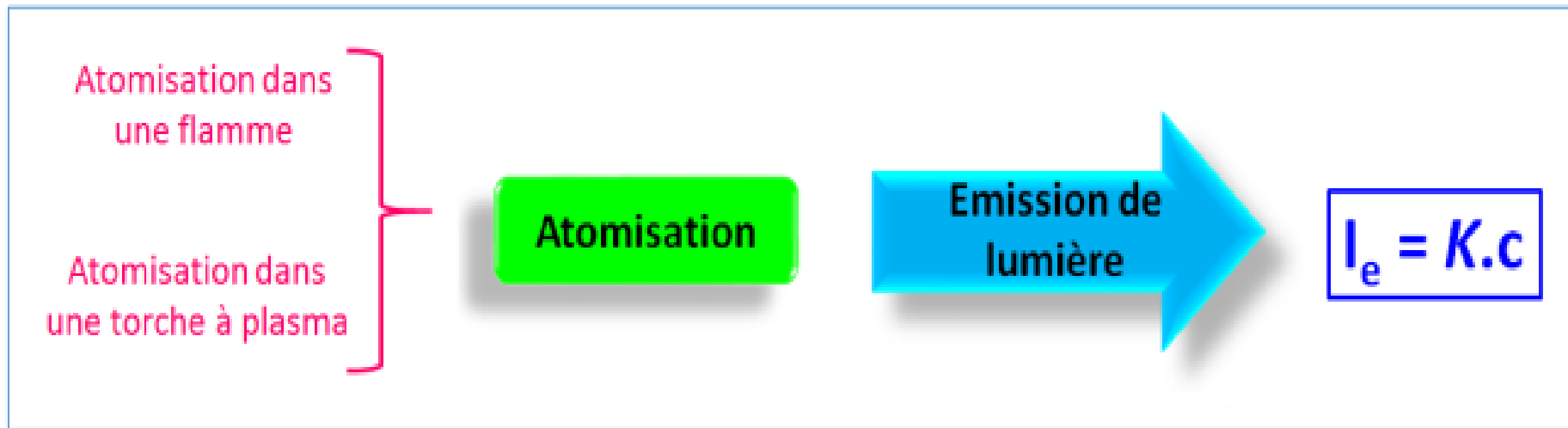
Les inconvénients : nécessité d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique, technique d'analyse destructrice, domaine d'application limité presque exclusivement aux métaux (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cd, etc....), nécessité d'avoir des concentrations assez faibles.

# ***Spectrométrie d'émission atomique***

# Définition

La spectrométrie d'émission atomique est une méthode d'analyse élémentaire qualitative et quantitative basée sur le phénomène d'émission du rayonnement électromagnétique UV-Visible par les vapeurs atomiques dans un domaine énergétique de l'ordre des transitions électroniques.

# principe



# principe

- L'échantillon est introduit au niveau de l'atomiseur, ce dernier joue un double rôle :
  - Production de vapeurs atomiques.
  - Excitation des atomes.
- Après excitation, le retour à l'état fondamental est accompagné d'émission de rayonnements spécifiques de l'élément à doser (ou des éléments à doser).
- L'intensité du rayonnement émis est proportionnelle à la concentration de l'analyte considéré.

En SEA, il existe deux types d'atomiseurs :

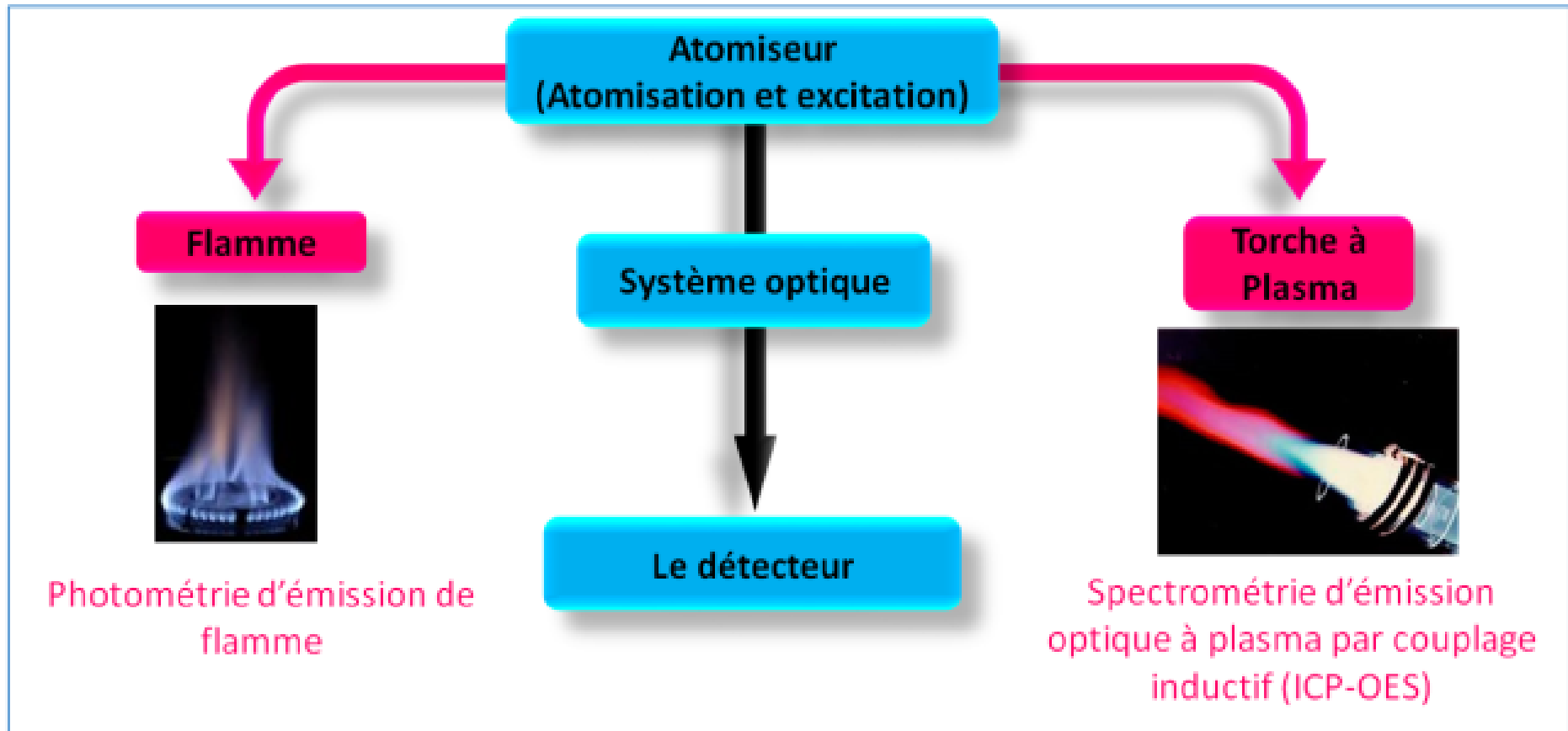
- ✓ La flamme (Photométrie d'émission de flamme).
- ✓ La torche à plasma (Spectrométrie d'émission optique à plasma par couplage inductif = Induced Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry ICP-OES).



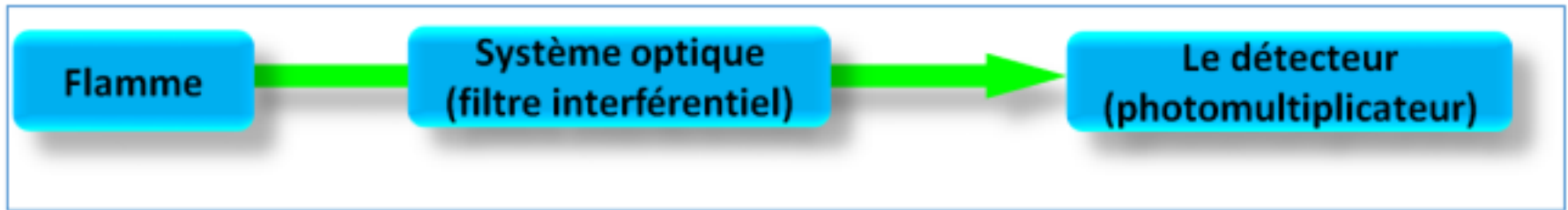
## NB

- La SEA permet une analyse **élémentaire qualitative de composition**, c'est-à-dire, qu'il est possible d'identifier les éléments d'un échantillon de composition inconnue contrairement à la SAA, où on ne dose que l'élément pour lequel le spectromètre a été préparé par le choix de la lampe de l'élément à analyser.
- Après excitation, pour chaque atome, il existe une centaine de possibilités de retour à l'état fondamental et pour chacune un rayonnement de longueur d'onde spécifique est émis. Ainsi, le spectre de l'émission atomique présente plusieurs raies d'émission, qui constituent une empreinte de l'élément à doser tandis qu'en SAA, les mesures se font sur une longueur d'onde, sélectionnée par la bande passante (le spectre présente une seule bande d'absorption).

# Appareillage



# Photométrie d'émission atomique



- **La flamme**

Atomisation de l'échantillon et excitation des atomes réduit en vapeurs.

- **Le filtre interférentiel**

Permet de sélectionner la raie de résonance de l'élément à doser.

- **Raie de résonance :**

Il s'agit de la raie la plus intense du spectre d'émission atomique qui correspond à la transition la plus facile et la moins énergétique.

- **Photomultiplicateur :**

Permet la conversion des rayonnements émis en courant électrique qui sera amplifié et mesuré par un ampèremètre.

# SPECTROMÉTRIE D'ÉMISSION OPTIQUE A PLASMA PAR COUPLAGE INDUCTIF (ICP-OES)



- **La torche à plasma :**  
La torche à plasma est l'atomiseur qui permet aussi l'**excitation et/ou l'ionisation** des atomes.
- **Le polychromateur :**  
Permet la dispersion des raies émises.
- **Le capteur CCD :**  
Permet de convertir les rayonnements émis en spectre 3D.

# plasma



Le plasma est le quatrième état de la matière.

Il s'agit d'un gaz ionisé où les électrons ont arrachés de leurs orbitales atomiques.

Le plasma est constitué d'atomes isolés à l'état d'équilibre entre leur forme neutre et forme ionisée (1 à 2 %) et d'électrons ( $10^8/\text{cm}^3$ ) assurant la neutralité du milieu.

# L'ICP (Induced Coupled Plasma = Plasma à Couplage Inductif)

L'ICP est un plasma d'argon confiné par un champ magnétique créé par radiofréquence :

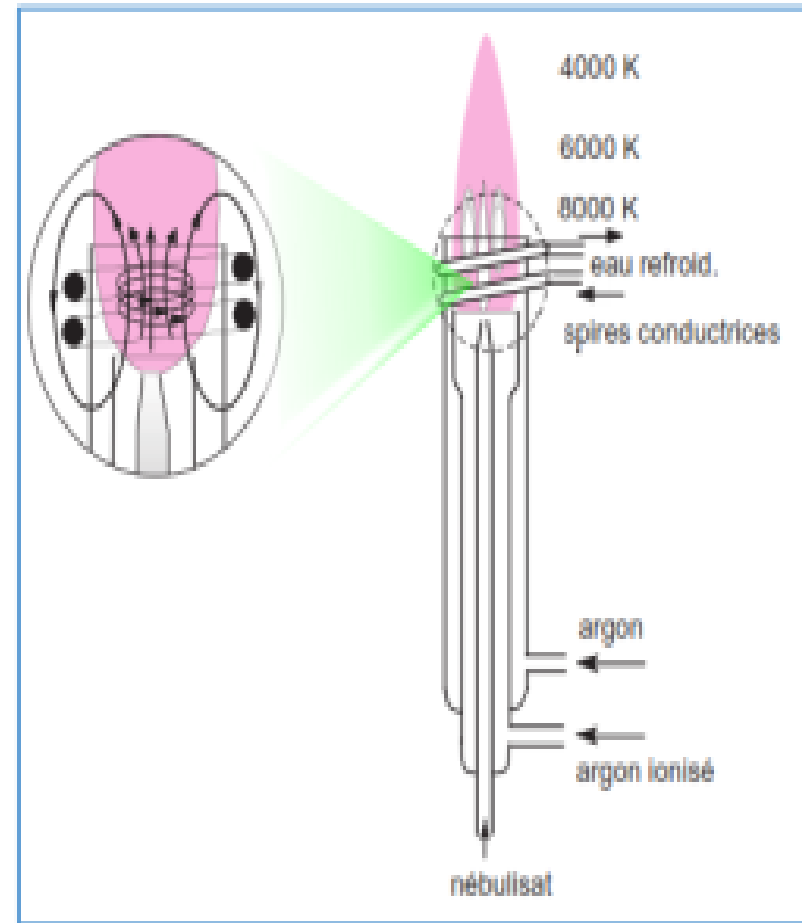
- La température atteint 10 000 °K.
- A cette température, il y a **excitation et/ou ionisation** des atomes.
- L'ionisation permet le couplage de l'ICP à la SM (Spectrométrie de masse).

## **NB**

Comme L'ICP produit des ions, la technique est plus communément appelée ICP-**OES** pour Induced Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry ou Spectrométrie d'Emission Optique à Plasma par Couplage Inductif où le mot « optique » englobe les ions.

# La torche à plasma

- Le plasma est constitué par un jet tangentiel du gaz d'argon (plasmagène) coulant entre deux tubes de quartz.
- Un champ magnétique d'oscillation est formé par le raccordement des spires à un générateur radiofréquence (27 ou 40 MHz).
- Le plasma est créé par exposition de l'argon à une décharge électrique qui crée des ions et des électrons.
- Ces derniers sont confinés par le champ magnétique sur un parcours annulaire (forme d'un anneau).



- < 0.1 ppb
- 0.1-1 ppb
- 1-10 ppb
- > 10 ppb

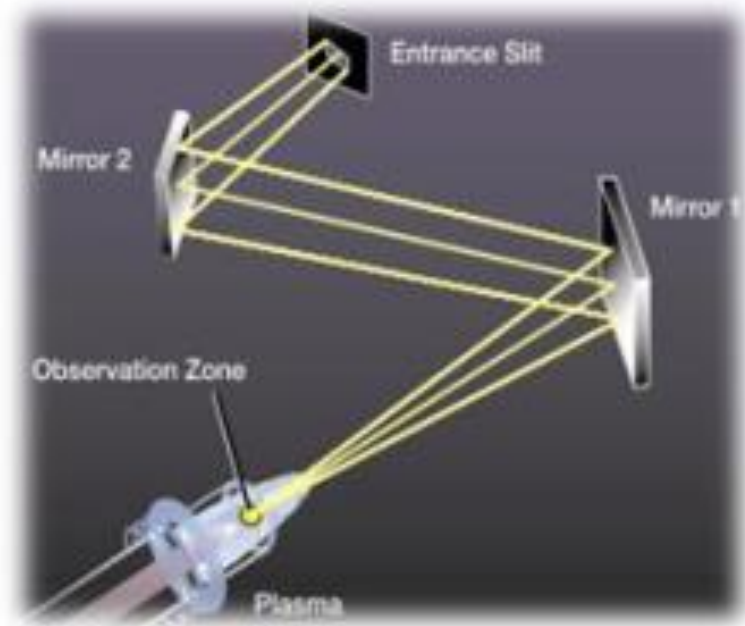
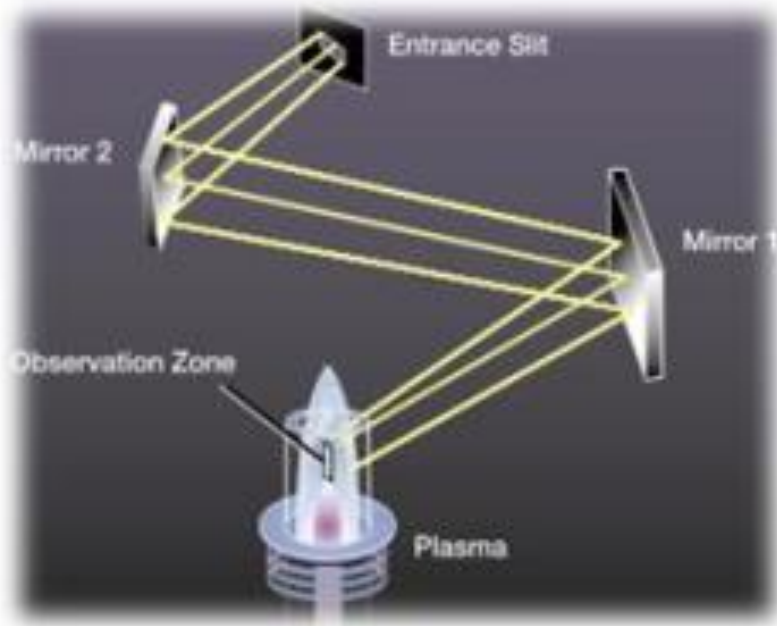
<sup>1</sup> H																	<sup>4</sup> He
<sup>3</sup> Li 693.244 I	<sup>4</sup> Be 900.157 II											<sup>5</sup> B 108.113 I	<sup>6</sup> C 12.011 I	<sup>7</sup> N 14.006 I	<sup>8</sup> O 15.999 I	<sup>9</sup> F 18.998 I	<sup>10</sup> Ne
<sup>11</sup> Na 22.990 I	<sup>12</sup> Mg 24.305 II											<sup>13</sup> Al 26.982 I	<sup>14</sup> Si 28.086 I	<sup>15</sup> P 30.974 I	<sup>16</sup> S 32.065 I	<sup>17</sup> Cl 35.453 I	<sup>18</sup> Ar
<sup>19</sup> K 39.098 I	<sup>20</sup> Ca 40.078 II	<sup>21</sup> Sc 44.956 III	<sup>22</sup> Ti 47.883 IV	<sup>23</sup> V 50.942 V	<sup>24</sup> Cr 52.004 VI	<sup>25</sup> Mn 54.938 VII	<sup>26</sup> Fe 55.845 VIII	<sup>27</sup> Co 58.933 VIII	<sup>28</sup> Ni 58.693 VIII	<sup>29</sup> Cu 63.546 I	<sup>30</sup> Zn 65.38 II	<sup>31</sup> Ga 69.723 III	<sup>32</sup> Ge 72.63 IV	<sup>33</sup> As 74.922 V	<sup>34</sup> Se 78.96 VI	<sup>35</sup> Br 79.904 VII	<sup>36</sup> Kr
<sup>45</sup> Rh 101.072 I	<sup>38</sup> Sr 87.62 II	<sup>39</sup> Y 88.906 III	<sup>40</sup> Zr 91.224 IV	<sup>41</sup> Nb 92.906 V	<sup>42</sup> Mo 95.94 VI	<sup>43</sup> Tc 98.906 VII	<sup>44</sup> Ru 101.07 VIII	<sup>45</sup> Rh 101.072 I	<sup>46</sup> Pd 106.36 VIII	<sup>47</sup> Ag 107.868 I	<sup>48</sup> Cd 112.411 II	<sup>49</sup> In 114.818 III	<sup>50</sup> Sn 118.710 IV	<sup>51</sup> Sb 121.757 V	<sup>52</sup> Te 127.603 VI	<sup>53</sup> I 126.905 VII	<sup>54</sup> Xe
<sup>55</sup> Cs 132.905 I	<sup>56</sup> Ba 137.327 II	<sup>57</sup> La 138.905 III	<sup>58</sup> Hf 178.49 IV	<sup>59</sup> Ta 180.948 V	<sup>60</sup> W 183.84 VI	<sup>61</sup> Re 186.207 VII	<sup>62</sup> Os 190.23 VIII	<sup>63</sup> Ir 192.222 VIII	<sup>64</sup> Pt 195.084 I	<sup>65</sup> Au 196.967 I	<sup>66</sup> Hg 200.59 II	<sup>67</sup> Tl 204.384 III	<sup>68</sup> Pb 207.2 IV	<sup>69</sup> Bi 208.98 V	<sup>70</sup> Po	<sup>71</sup> At	<sup>72</sup> Rn
<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac															

<sup>72</sup> Hf 178.49 IV	<sup>73</sup> Ta 180.948 V	<sup>74</sup> W 183.84 VI	<sup>75</sup> Re 186.207 VII	<sup>76</sup> Os 190.23 VIII	<sup>77</sup> Ir 192.222 VIII	<sup>78</sup> Pt 195.084 I	<sup>79</sup> Au 196.967 I	<sup>80</sup> Hg 200.59 II	<sup>81</sup> Tl 204.384 III	<sup>82</sup> Pb 207.2 IV	<sup>83</sup> Bi 208.98 V	<sup>84</sup> Po	<sup>85</sup> At	<sup>86</sup> Rn		
<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac	<sup>90</sup> Th 232.037 IV	<sup>91</sup> Pa 231.036 V	<sup>92</sup> U 238.029 VI	<sup>93</sup> Np	<sup>94</sup> Pu	<sup>95</sup> Am	<sup>96</sup> Cm	<sup>97</sup> Bk	<sup>98</sup> Cf	<sup>99</sup> Es	<sup>100</sup> Fm	<sup>101</sup> Md	<sup>102</sup> No	<sup>103</sup> Lr

*Eléments analysés par ICP-OES*



# Position de la torche à plasma



Positionnement de la torche à plasma ; fente radiale à gauche et fente axiale à droite

Chaque position présente des avantages et des inconvénients résumés dans un tableau ci-après :

	<b>Fente radiale</b>	<b>Fente axiale</b>
<b>Echantillons</b>	Concentrés	Dilués
<b>La calibration pour l'analyse des métaux alcalins</b>	Linéaire	Moins linéaire
<b>Interférences spectrales</b>	- - -	+ + +
<b>Sensibilité</b>	Faible	Élevée
<b>Limite de détection</b>	Élevée	Très faible

## DOMAINES D'APPLICATION : ANALYSE ÉLÉMENTAIRE

- ✓ Analyse environnementales : Sols, plantes ...
- ✓ Analyse des denrées alimentaires : Métaux dans le poisson, les céréales.
- ✓ Métallurgie et pétrochimie : La céramique, le verre, les alliages, le pétrole ...
- ✓ Médecine : Métaux lourds dans les cheveux, les ongles ...
- ✓ Industrie pharmaceutique : Matière première et produit finis.

# APPLICATIONS PHARMACEUTIQUES : ANALYSE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE

- ✓ Identification et dosage des substances actives ou des principes actifs lors du contrôle des matières premières ou des produits finis pharmaceutiques à base de minéraux (fortifiants, tonifiants, anti-stress ...).
- ✓ Contrôle des impuretés élémentaires et des métaux lourds qui ont pour origines :
  - Les catalyseurs et les réactifs métalliques utilisés dans la voie de synthèse des substances actives et excipients.
  - Les lignes de production et de transfert
  - Le conditionnement du vrac
  - L'environnement
  - Les solvants utilisés pour le nettoyage

Tableau comparatif entre les différentes techniques spectrométriques atomiques  
d'absorption et d'émission

	Nature de l'élément	Sensibilité	Vitesse de l'analyse	Coût
SAA-flamme	Métaux de transition (Fe, Cu, Mn, Co...)		La plus longue	+
SAA-four	Mg, Al, Si Métaux de transition et métaux lourds	++		++
SEA-flamme	Alcalins Li, Na, K, Rb, Cs			-
SEA-ICP	Tout les éléments du tableau périodique sauf les non métaux.	++ ++		++++