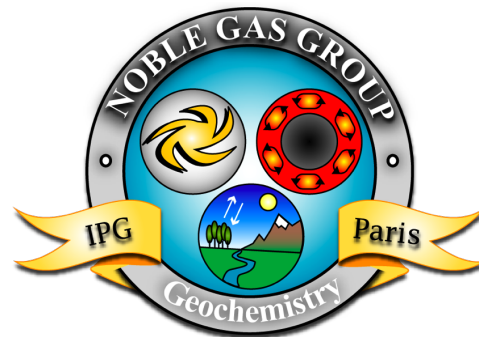


Mesure du Temps en Géochimie

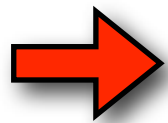
Spectrométrie de Masse et Isotopes Cosmogéniques



Méthode de caractérisation de la matière qui repose sur la détermination des masses at. ou molec. des espèces individuelles présentes dans l'échantillon

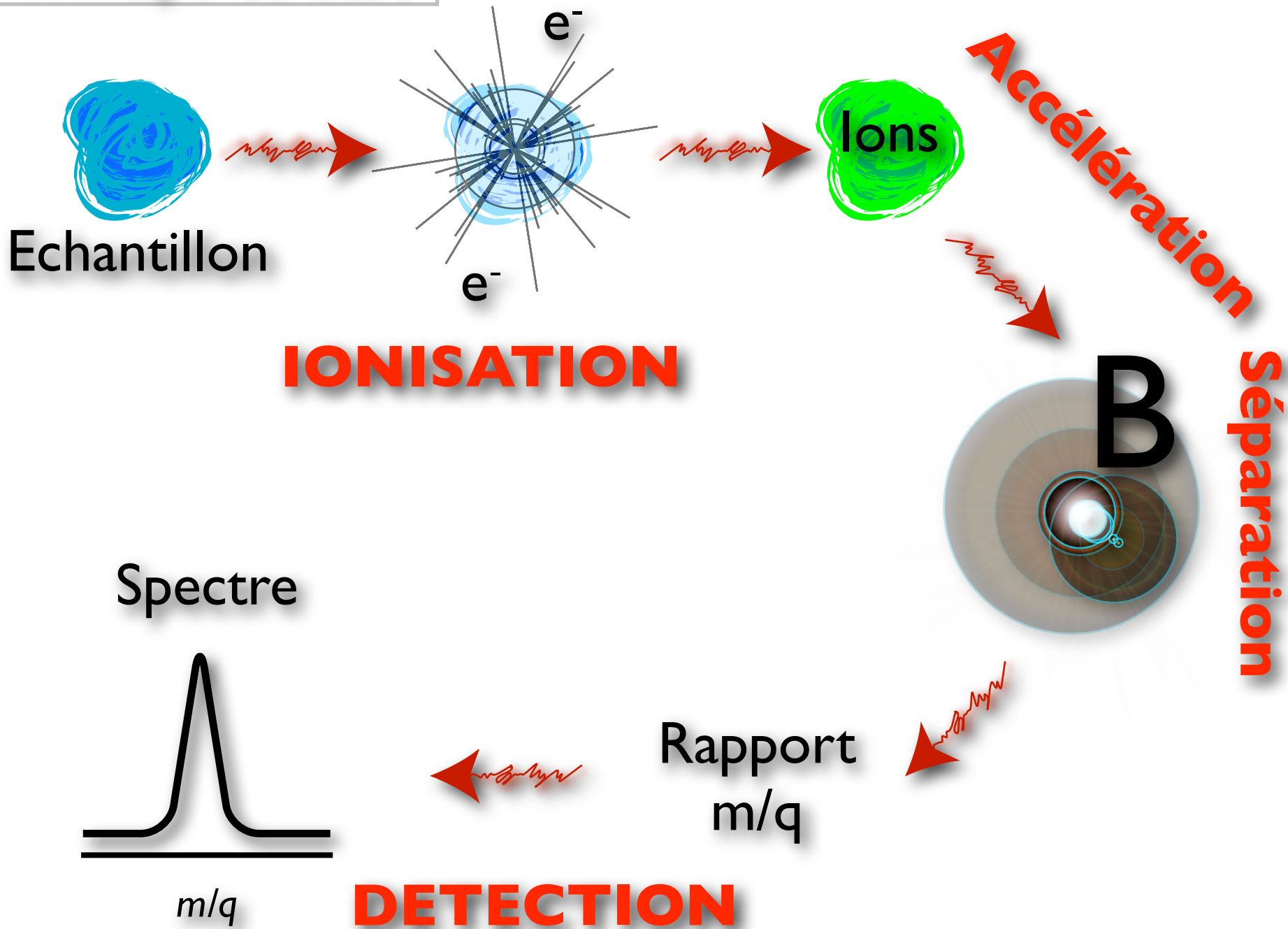
- Méthode au plus vaste champs d'application

Chimie org., chimie inorg., biochimie, géochimies etc etc ...



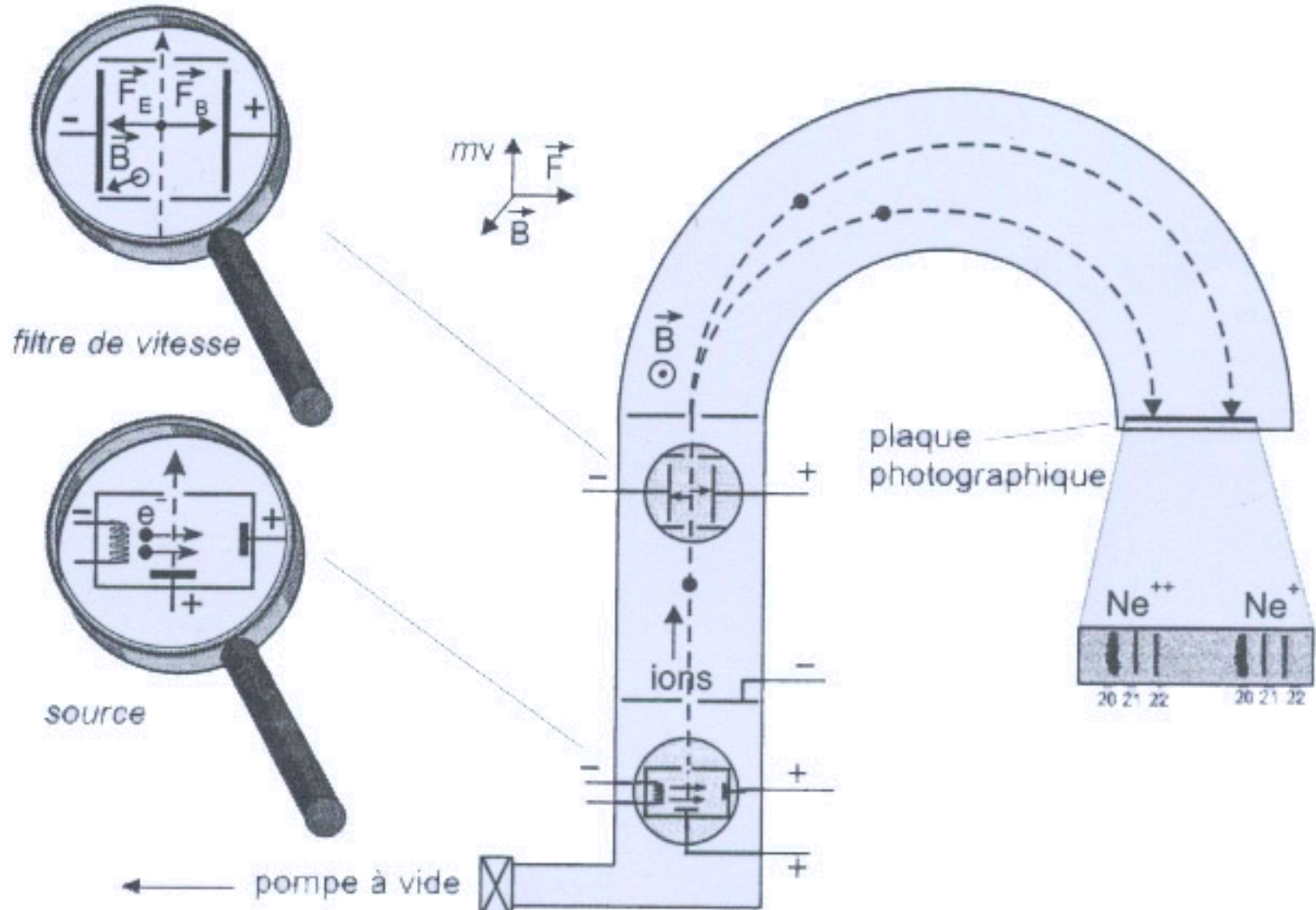
Déterminer la nature, la composition des échantillons

Principe de base



Spéctrometre de Bainbridge (1933)

Isotopes : même nombre de protons Z mais nombre différents de neutrons N

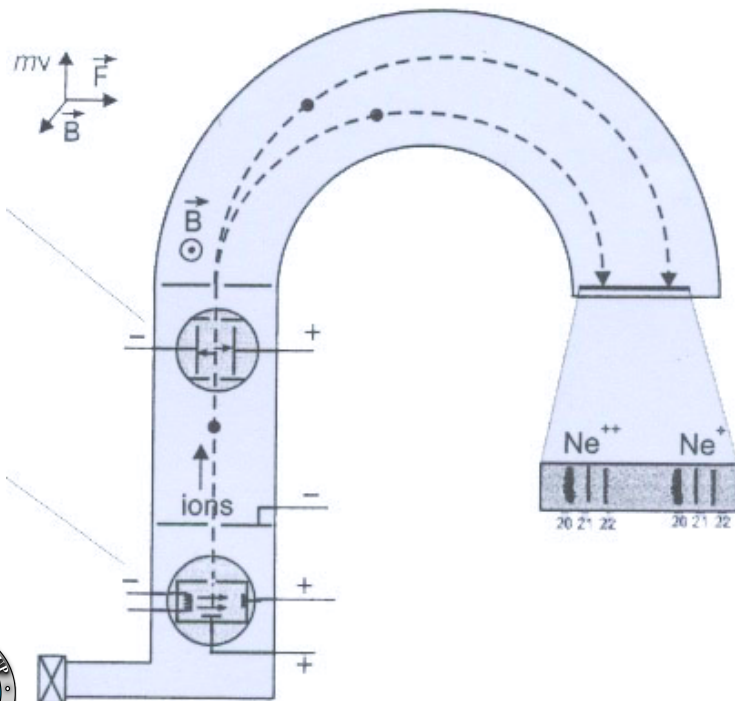


Spectromètre de Bainbridge (1933)

Accélération ■ Différence de potentiel U

Vitesse ■ v fonction de leur masse m

Déviaton ■ Champs magnétique \mathbf{B} , rayon fonction de m



$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a} \quad (\text{Newton})$$

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B} \quad (\text{Lorentz})$$

$$\mathbf{a} = q/m \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$$

$$\mathbf{a} = v^2 / R$$

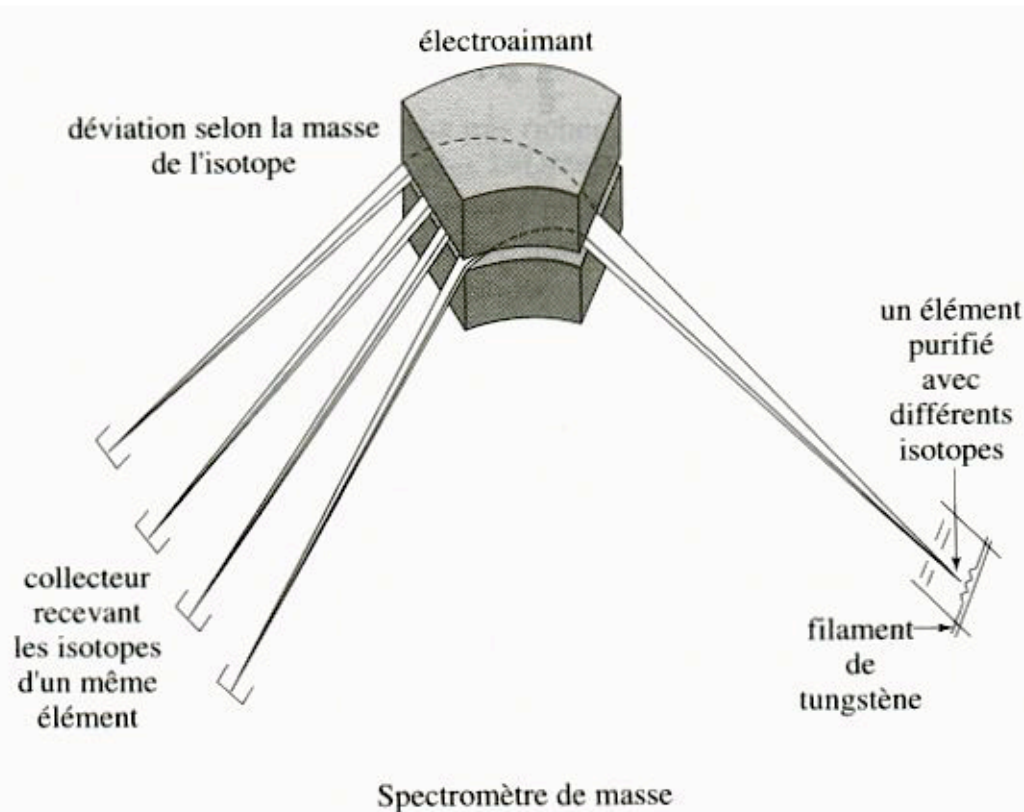
$$\rightarrow \mathbf{m}/q = R \cdot B / v$$

Spectromètres de modernes

Accélération ■ Différence de potentiel U

Vitesse ■ v fonction de leur masse m

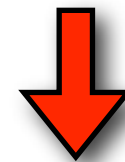
Déviation ■ Champs magnétique B , rayon fonction de m



$$F = m \cdot a = m \cdot v^2/R$$

$$E = 1/2 m \cdot v^2$$

$$F = q \cdot v \wedge B$$



$$m/q = R^2 \cdot B^2 / 2 U$$

Spectromètres de masse - Secteur magnétique

Le champ magnétique d'intensité B a une direction perpendiculaire à la vitesse de l'ion, celui-ci est soumis à une force F_m .

$$F_m = qvB$$

L'ion décrira une trajectoire circulaire si la force centrifuge équilibre la force magnétique F_m .

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

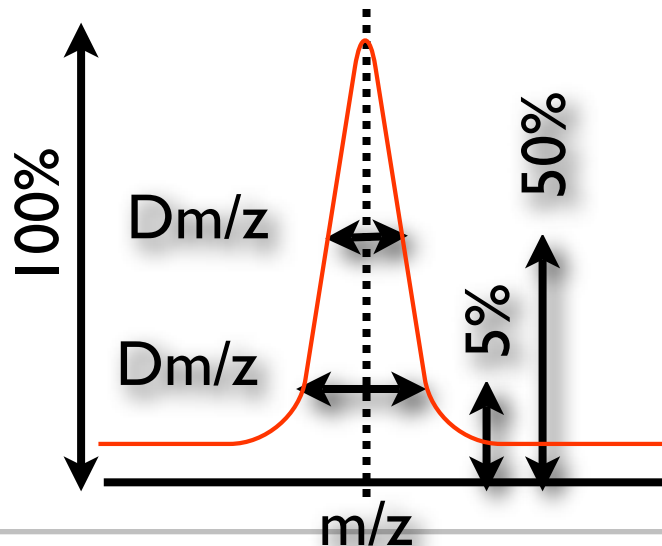
Pour chaque valeur de B , les ions de même quantité de mouvement et de même charge décriront la même trajectoire déterminée par la valeur de R .

En imposant R par la courbure d'un tube guide, nous voyons que pour une valeur de B seuls les ions d'un même rapport m/q pourront passer par l'analyseur.

En faisant varier B au cours du temps, nous observerons successivement les ions de diverses valeurs de m/q .

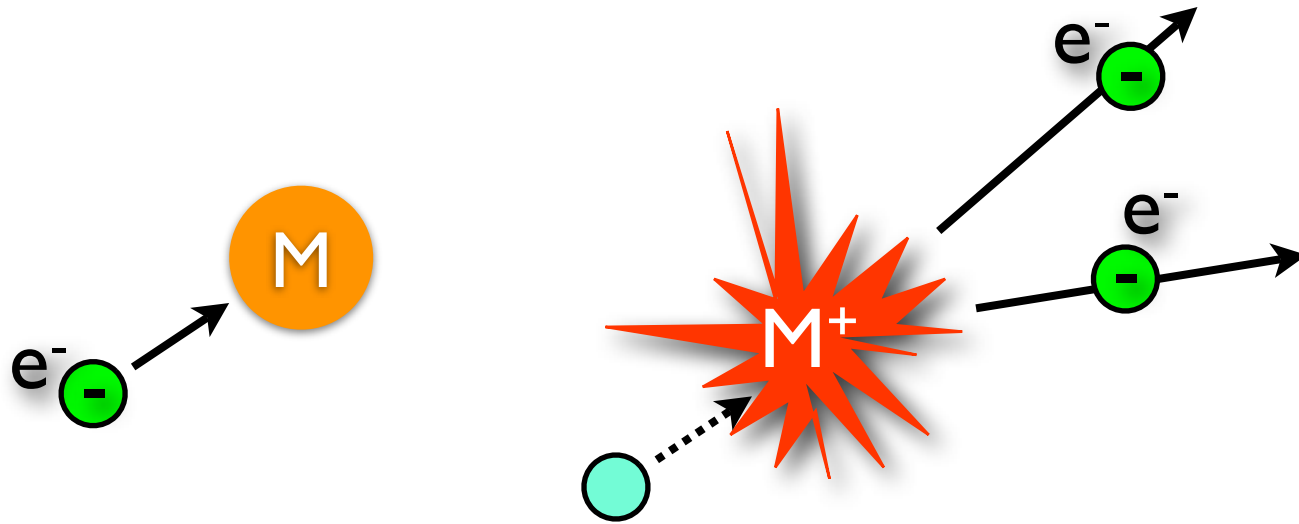
Performance des Spec. de masse

- **Limite en masse** m/q max
- **Sensibilité** Capacité du spectromètre à mesurer une certaine quantité de gaz. Mesuré en poids d'échantillon consommé /s pour obtenir un signal d'intensité normalisé.
- **Pouvoir de résolution R**

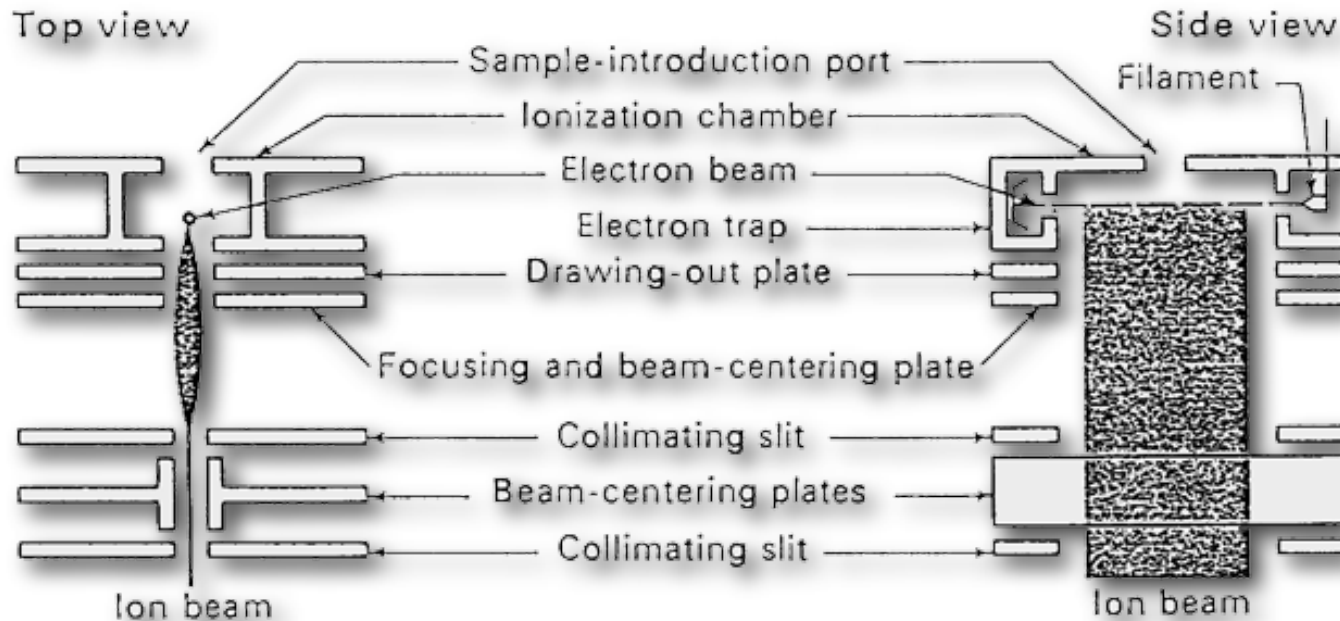


$$R = m / Dm$$

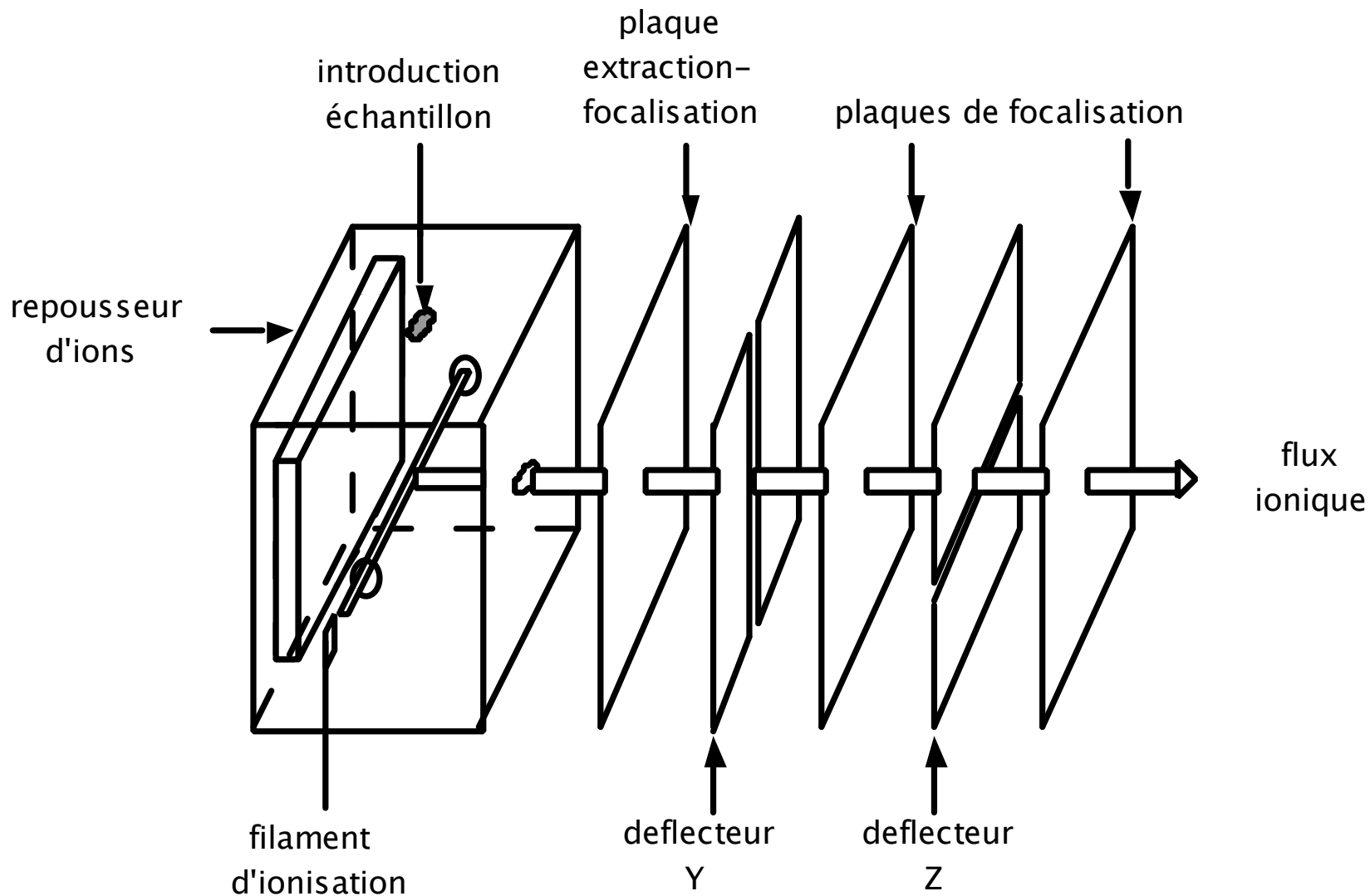
Procédés d'ionisation - Par impact électronique



Source type NIER



Procédés d'ionisation - Accélération



Procédés d'ionisation - Accélération

Les électrons sont produits par effet joule au niveau du filament. Ceux-ci sont accélérés par une ddp afin d'acquérir une énergie suffisante pour produire des chocs ionisants avec les atomes.

Les cations formés sont extraits de la chambre d'ionisation grâce à une ddp entre le repousseur et la plaque d'extraction-focalisation.

Les plaques suivantes permettent de réduire la dispersion angulaire du flux ionique et de le positionner de manière à obtenir un maximum de transmission.

A l'entrée du secteur magnétique le faisceau ionique doit être intense et homogène.

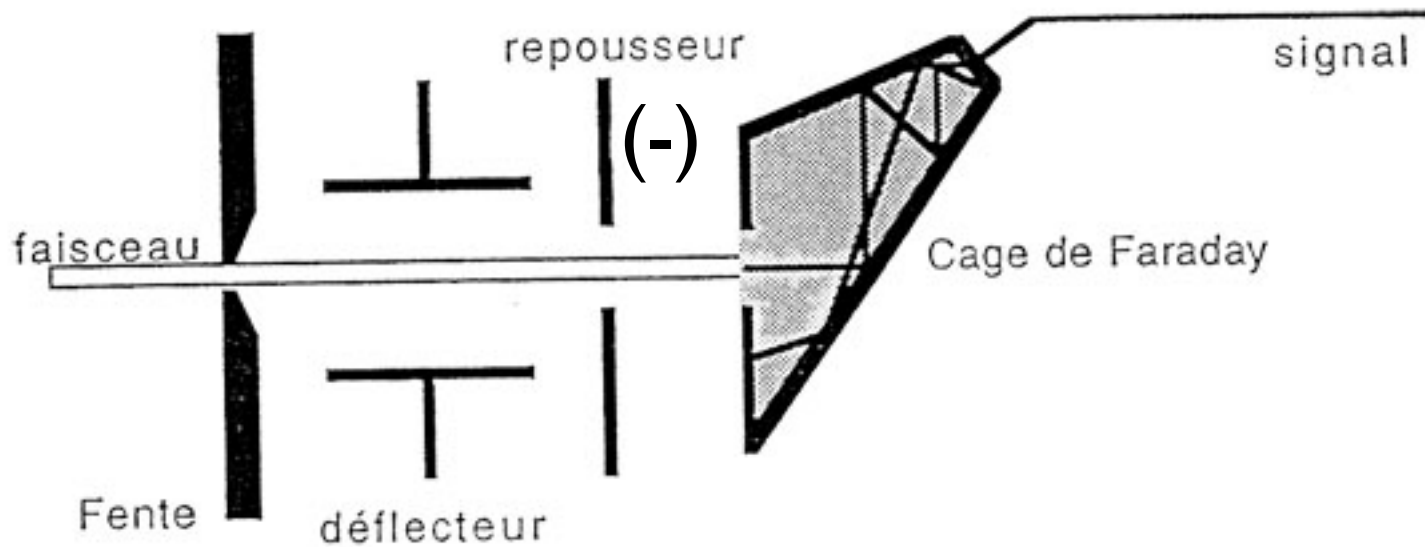


Secteur Magnétique

Détection - Système de collection

Basée sur la mesure des charges transportées par les ions

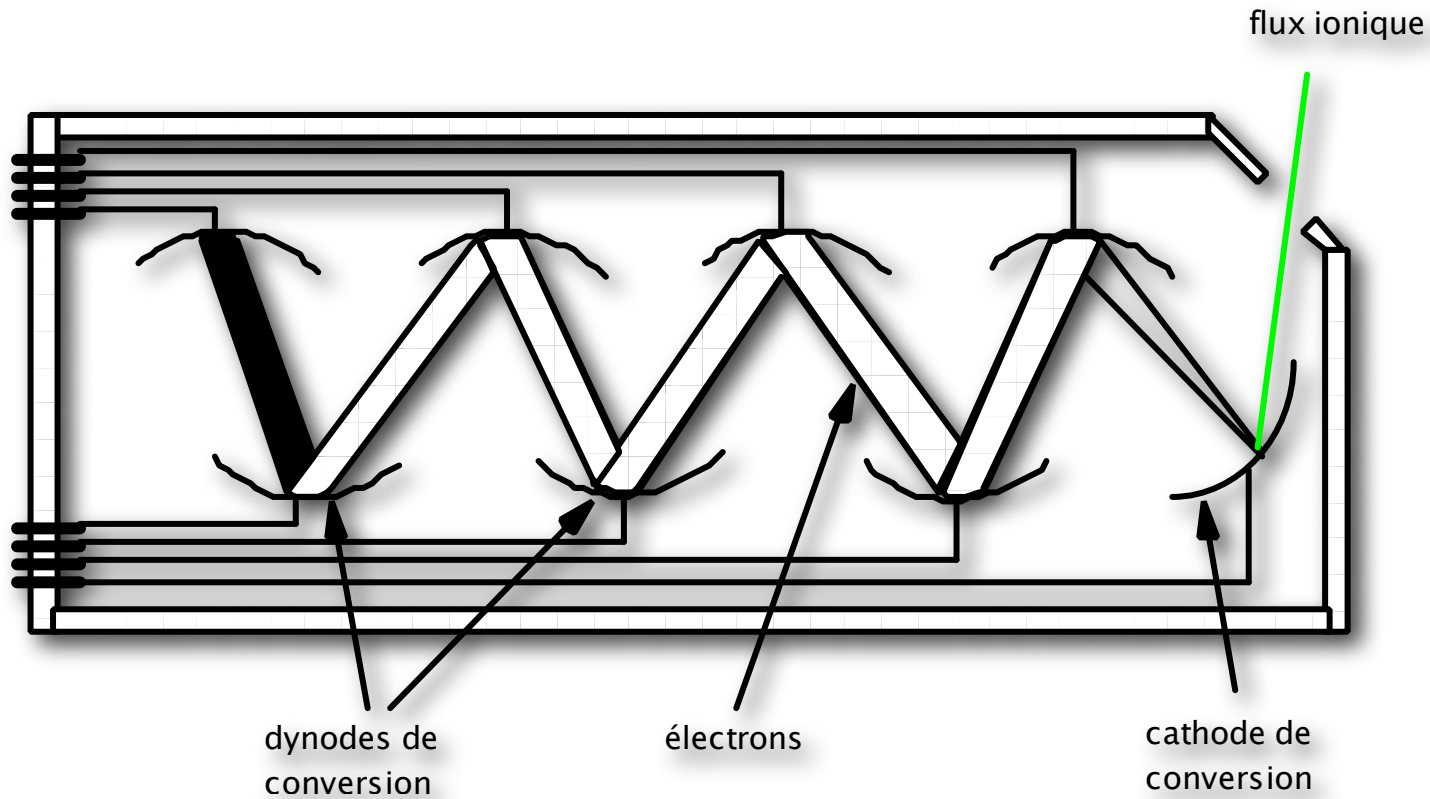
■ Cage de Faraday



Détection - Système de collection

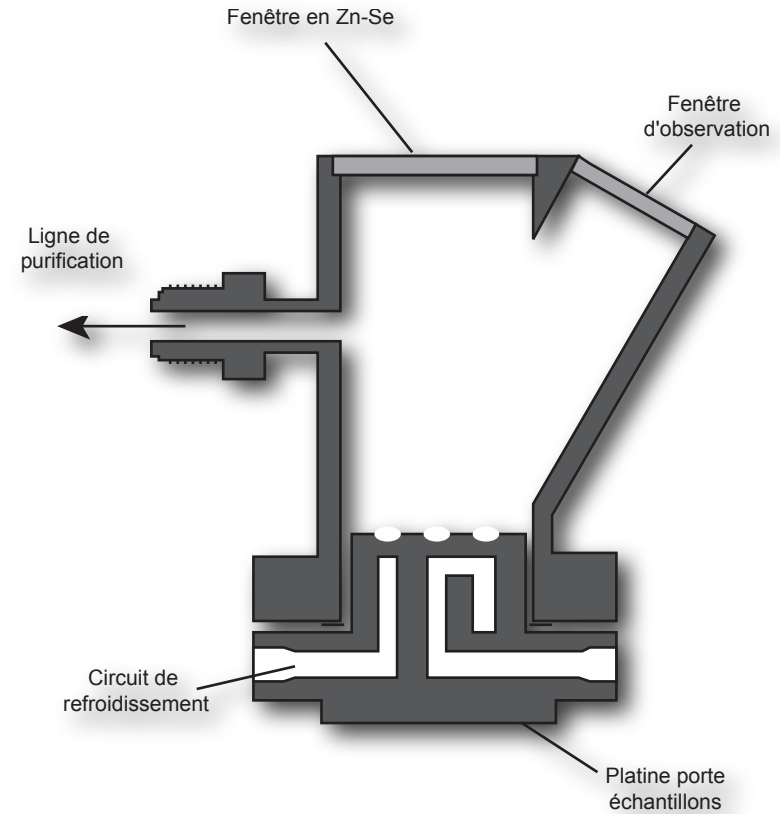
Transformation d'un flux ionique en flux électronique

■ Multiplicateur d'électrons



Extraction

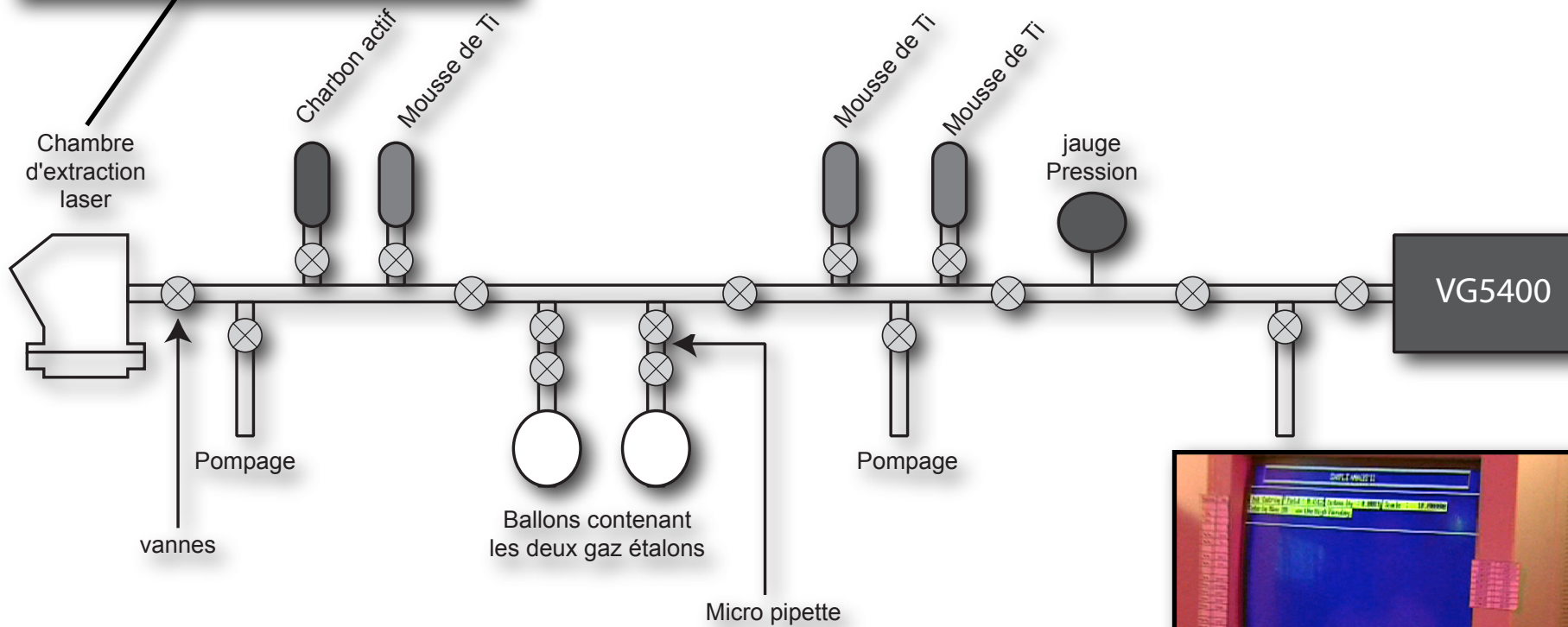
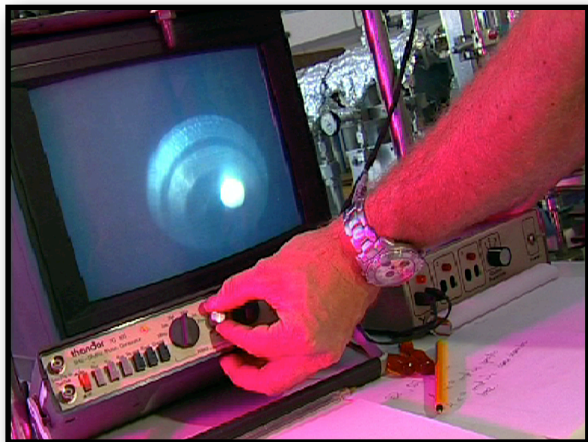
- Broyage
- Fusion Laser



- Four Haute Température

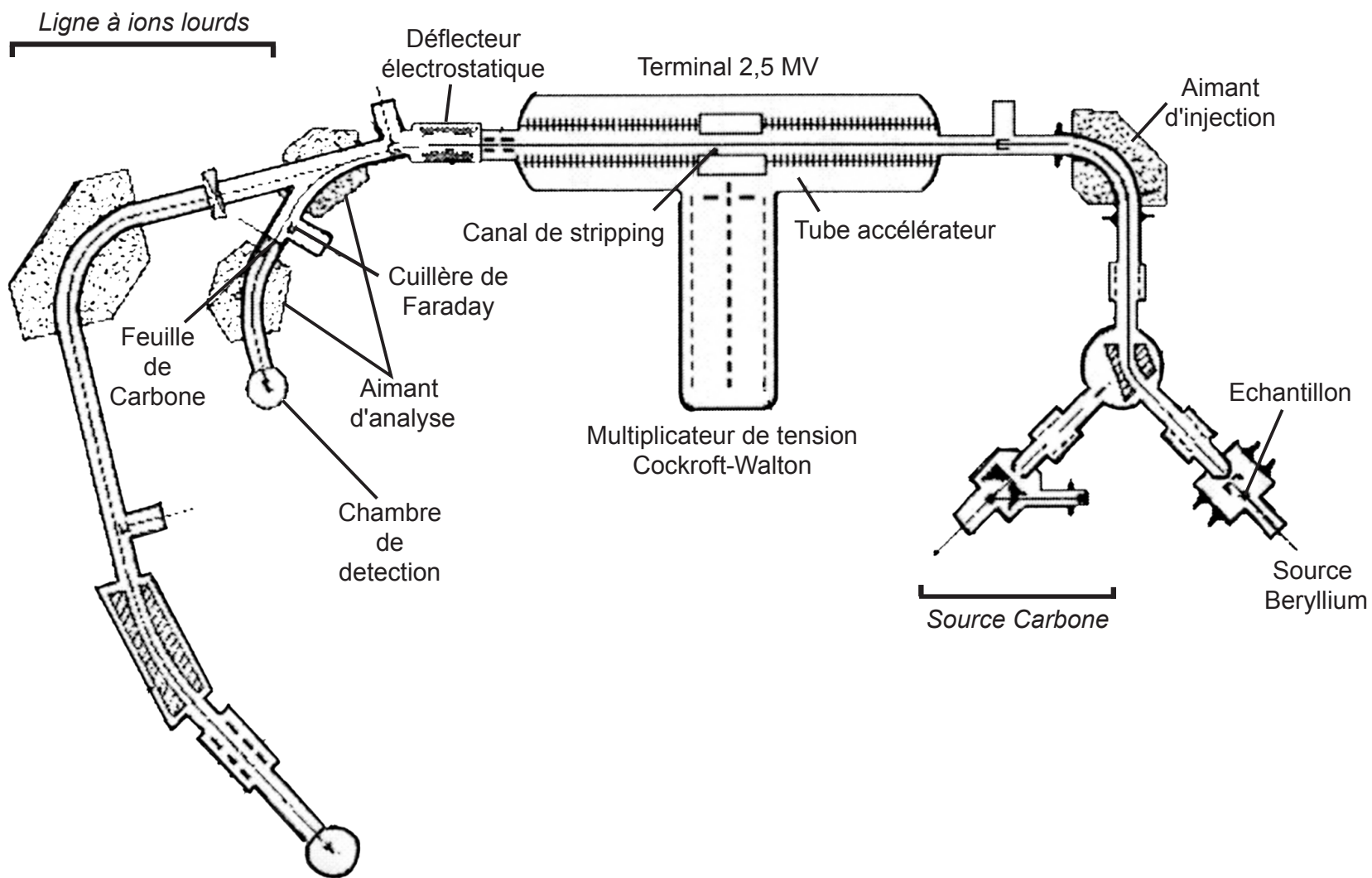
1600-2000 °C pour pouvoir fondre l'olivine

Purification



Accelerator Mass Spectrometry

AMS



Concept de la méthode des cosmonucléides

**Mesurer le degré de rougeur d'un individu
pour estimer le temps passé au soleil**

(Pr. E. Evenson, Lehigh Univ.)

UV varient avec l'altitude et la latitude



Flux cosmique

Crèmes solaires, chapeau protègent
du soleil



Atmosphère, Neige, Relief atténuent la
production de cosmonucléides

Sensibilité différente au soleil



Les taux de production varient entre les minéraux

Rebronzer après avoir pelé



L'érosion influe le temps d'exposition

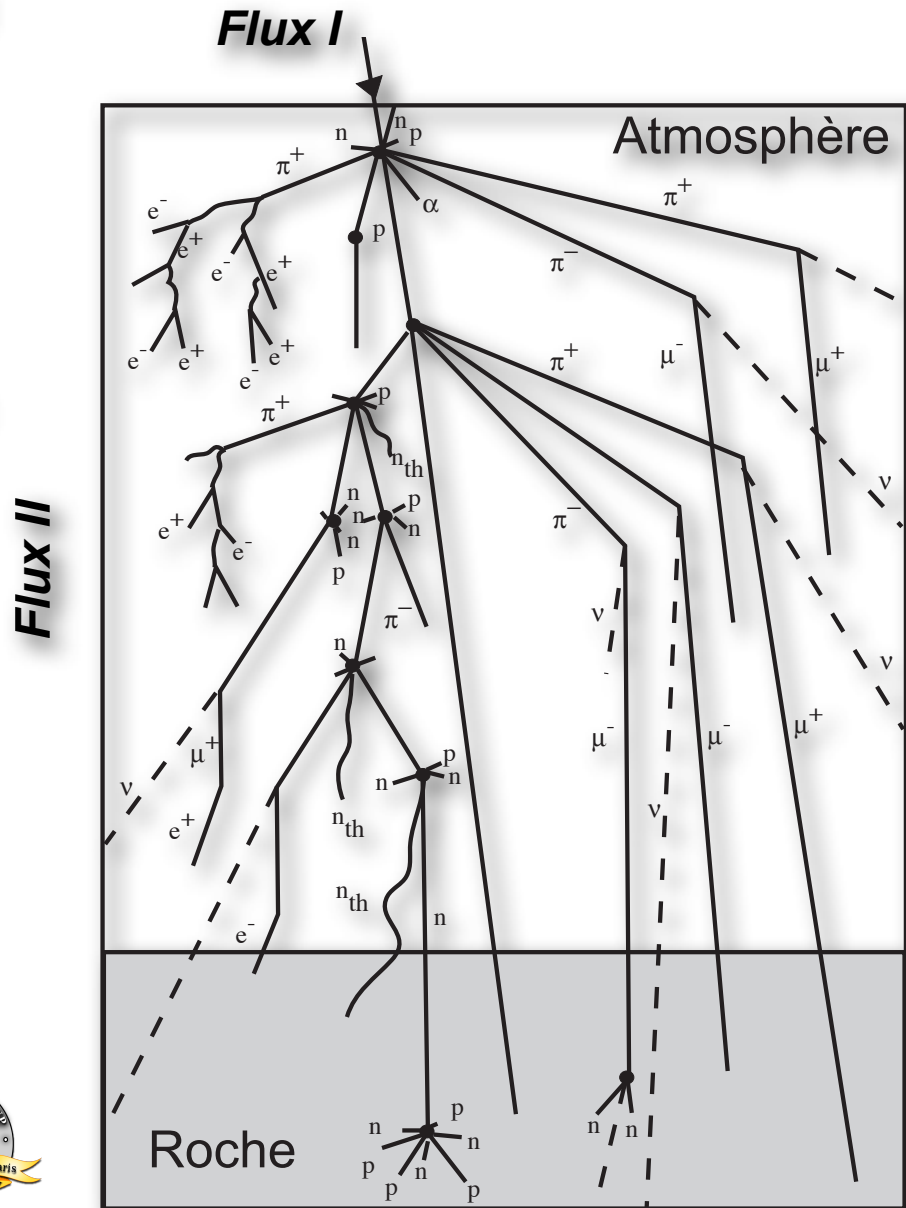
Rebronzer après plusieurs jours de
bronzage



Des cosmonucléides peuvent être hérités d'une
exposition antérieure

Production des cosmonucléides

Produit par l'interaction des particules cosmiques avec les atomes constitutifs de la matière.



Flux I (P 83%, α 13%...), E GeV



Spallation : éjection **p** et **n**

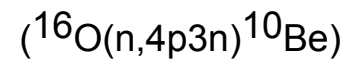


Flux II (**n** essentiellement)



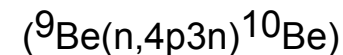
Spallation

Collision **nII / cible** \Rightarrow noyau plus léger

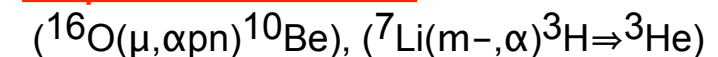


Capture de neutrons thermalisés

Collision **nII / cible** \Rightarrow noyau plus lourd



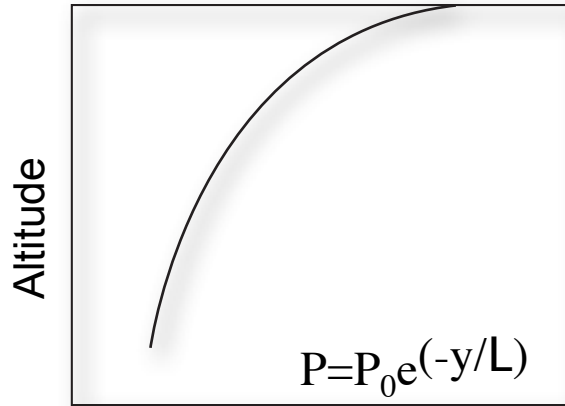
Capture de muons



Taux de production des cosmonucléides

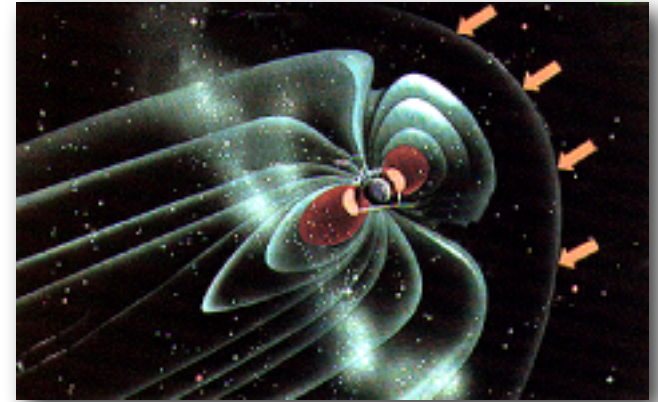
Taux de production varie avec la profondeur de matière traversée et le champ magnétique

Tx .Prod. (at/g/a)



Tx de prod. en altitude > au niveau de la mer

Taux de production varient avec la latitude



Tx de prod. aux pôles > à l'équateur

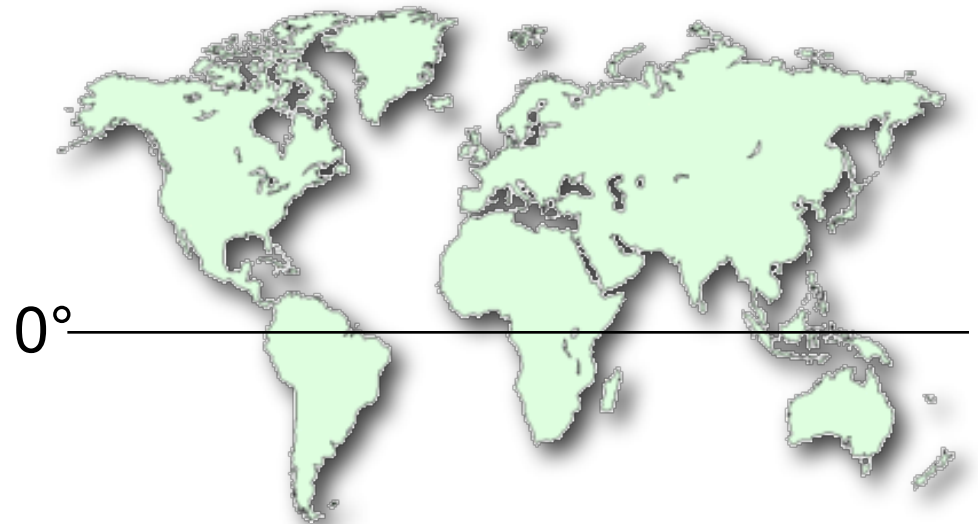
Système de conversion

(Lal, 1991; Dunai, 2000)

Taux prod. >60°, alt.=0



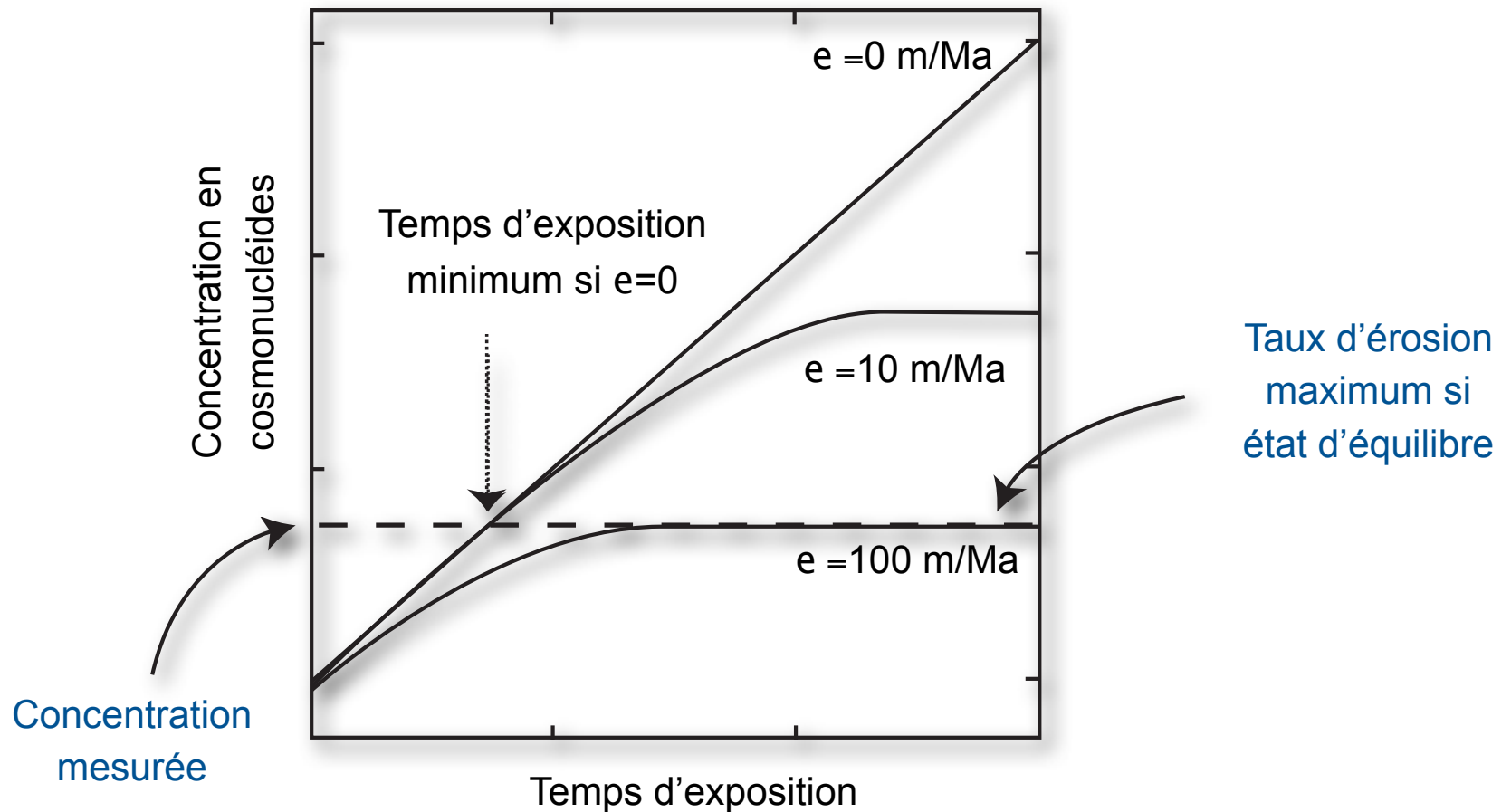
Taux prod. X° Z m



Temps d'exposition et taux d'érosion apparents

La quantité de cosmonucléides accumulés dans un minéral enregistre le temps d'exposition aux rayons cosmiques et la vitesse à laquelle il a été amené à la surface par l'érosion.

$$N(x,t) = N(x,0)e^{-\lambda t} + \frac{P_0}{\lambda + \rho\varepsilon/\Lambda} e^{-\frac{\rho}{\Lambda}(x_0 - \varepsilon t)}$$



Systèmes cosmogéniques

^{10}Be - Quartz

- + Pas un gaz
- + phase résistante et ubiquiste
- Instable: limite les temps d'expo. à quelques Ma
- Mesure par SMA

He - Olivine / Grenats / Px

- + Mesure par spectromètre classique
- + Taux de production le plus élevé (115 at/g/a)
- + Stable : Temps d'expo long.
- Terrain volcanique

Source d'erreur	erreur individuelle	erreur sur l'âge	
Mesure des concentrations	5-20%	5-20%	
Long. d'att.mass Prof.(x) Densité	10 g/cm ² 5 cm 0.2 g/cm ³		
Correct. Prof		13% 20% 36%	x= 50 cm x= 100 cm x= 200 cm
Composante muogénique négligée	2%	2% 10% 54% 7400%	x= 0 cm x= 100 cm x= 200 cm x= 500 cm
Taux de production	10-20%	10-20%	x=0,60°
Méthode de conversion		10% 2-10%	Lal (1991) Dunai (2000a)
Conversion utilisant l'altitude plutôt que la pression	1% 2-4%	6-8% 15-15%	autre que Antarctique à l'Antarctique
Utilisation des coord. géographiques	1.5	2%	pour t > 1Ka
Champ magnétique non dipolaire	15-25%	0-30%	pour t 10-20Ka fonction de la localité
Variation de l'activité solaire	± 400 MeV	10%	
Variation du champ magnétique	± 4 × 10 ²² Am ²	<12% <20%	Masarik et al. (2001) Dunai(2001b)