

**LES ISOTOPES DU MILIEU ET LEUR  
EMPLOI EN HYDROGEOLOGIE**

**Programme de la matière :**

I/ Les isotopes du milieu et leur emploi en hydrogéologie

1/ Rappel sur la structure atomique

2/ Rappel sur la structure du noyau

3/ Application des techniques isotopiques en Hydrogéologie

3.1/ Les isotopes de la molécule d'eau

3.2/ Les isotopes des espèces dissoutes

3.3/ Les isotopes constitutifs de la molécule d'eau

II/ Fractionnement isotopique

III/ Le tritium

III.1/ Datation des eaux ou " temps de séjour " de l'eau

III.2/ Mise en évidence du phénomène de mélange

III.3/ Mesure de l'infiltration efficace locale sous un climat semi-aride par la recherche du pic de Tritium thermonucléaire en zone non saturée

IV/ Le carbone

IV.1/ Datation des eaux par le  $^{14}\text{C}$

## **1. Rappels sur la structure atomique:**

La matière qui nous entoure est constituée d'atomes et ces atomes sont liés entre eux de différentes façons.

**Un atome** est constitué essentiellement **d'un noyau**, disposant de presque toute la masse chargé **d'électricité positive** et d'un nuage d'électrons (cortège d'électrons) qui gravitent autour du noyau, selon des orbites bien définies pour chacun d'entre eux.

Ces électrons ont une **masse très petite par rapport à celle du noyau** et portent une charge **électrique négative**.

La somme des charges négatives des électrons est compensée par la charge positive du noyau.

Les atomes ne peuvent s'approcher les uns des autres qu'à des distances respectueuses, en raison de la **forte répulsion électrostatique** entre noyau.

La gravitation des électrons dans le champ électrostatique central créé par le noyau est régie par les lois de la **mécanique quantique** que l'on peut énoncer ainsi : « **Un électron lorsqu'il décrit une orbite correspond à une énergie donnée caractéristique et ne rayonne pas d'énergie** ».

Cette orbite correspond à un mouvement stable dans l'atome ou « **état stationnaire** ».

Par contre cet électron rayonne lorsqu'il passe d'un **état stationnaire** à un autre et conformément à la théorie classique de l'**électromagnétisme**, il perd son énergie en **émettant un rayonnement analogue à la lumière**.

## **2. Rappels sur la structure du noyau :**

Le **noyau** est formé de la réunion de **protons** et de **neutrons**, particules élémentaires, les uns chargées positivement, les autres électriquement neutres. Protons et neutrons sont intimement liés par des forces très puissantes, dont on **connait mal la nature**.

Les protons et les neutrons sont appelés nucléons.

Le nombre atomique **Z** correspond au nombre de protons. Il est égal au nombre d'électrons périphériques, de sorte que la charge totale de l'atome est nulle.

Z est le numéro ou le rang de la classe de classification périodique.

Pour un même élément, on peut avoir divers noyaux de **même Z**, mais comportant un nombre de **neutrons différents**, ce sont les **isotopes**.

Ils ont les mêmes propriétés chimiques puisque le nombre des **électrons externes** est rigoureusement le même, par contre leur **masse diffère**.

Certains ions sont stables, d'autres radioactifs (instables). La **stabilité** est liée au rapport du nombre de **neutrons** sur le nombre de **protons**. Le nombre de masse d'un noyau correspond au nombre total de nucléons (protons + neutrons).

Un noyau (ou un atome) est représenté ainsi :  ${}^A_Z X$

$A=N+Z$ , A étant le nombre total de nucléon (neutrons + protons).

### 3. Application des techniques isotopiques en hydrogéologie:

L'étude de la répartition des isotopes stables ou radioactifs de l'eau et des espèces qui y sont dissoutes, apporte des informations concernant **l'origine de l'eau minérale**, ou des **éléments dissous**, la **durée du transit souterrain** de cette eau (son **âge**) et permet dans certains cas de caractériser des processus dits **secondaires**, mais qui peuvent parfois contribuer de façon importante à **l'originalité du faciès** de cette eau.

Les méthodes les plus courantes font appel au **deutérium** ( ${}^2\text{H}$ ), à l'**oxygène** ( ${}^{18}\text{O}$ ), au **tritium** ( ${}^3\text{H}$ ) de la molécule d'eau, ainsi qu'aux isotopes du carbone des carbonates dissous.

#### 3.1/ Les isotopes de la molécule d'eau:

Eléments	Isotopes	Abondance naturelle moyenne (%)	Propriété
Hydrogène	${}^1\text{H}$	99.985	Stable
	${}^2\text{H}=\text{D}$ (Deutérium)	0.015	Stable
	${}^3\text{H}=\text{T}$ (Tritium)	$10^{-18}$	<b>Radioactif</b> (période T= 12.43 Ans)
Oxygène	${}^{16}\text{O}$	99.76	Stable
	${}^{17}\text{O}$	0.04	Stable
	${}^{18}\text{O}$	0.20	Stable

#### Isotopes du milieu de l'oxygène et de l'hydrogène : Traceurs intimes de la molécule d'eau

Parmi ceux-ci :  ${}^{18}\text{O}$ ,  ${}^2\text{H}$  et le  ${}^3\text{H}$  sont particulièrement utiles, les deux premiers sont stables et présents en concentration significative ; l'atome de Tritium ( ${}^3\text{H}$ ) lui est rarissime à l'état naturel, il est produit naturellement dans la haute atmosphère par bombardement cosmique des atomes d'azote



Depuis 1952 (premier essai nucléaire d'Eniwetok), du tritium d'origine artificielle a envahi la stratosphère, puis l'atmosphère et a contribué à "ensemencer" les précipitations ; on en retrouve jusqu'à maintenant les traces dans les eaux souterraines.

**Eniwetok** ou **Enewetak** (qui rendrait mieux la dénomination en marshallais) est un atoll corallien situé le plus au nord-ouest des îles Marshall en Micronésie, au centre de l'océan Pacifique. Au XXI<sup>e</sup> siècle, il est surtout connu comme lieu d'essais nucléaires par les États-Unis dans les années 1950.

### 3.2. Les isotopes des espèces dissoutes :

Eléments	Isotopes	Abondance naturelle moyenne (%)	Propriétés
Carbone	$^{12}\text{C}$	98.89	Stable
	$^{13}\text{C}$	1.11	Stable
	$^{14}\text{C}$	$10^{-10}$	<b>Radioactif (T= 5730 ans)</b>
Soufre	$^{32}\text{S}$	95.01	Stable
	$^{33}\text{S}$	0.75	Stable
	$^{34}\text{S}$	4.22	Stable
	$^{36}\text{S}$	0.02	Stable
Azote	$^{14}\text{N}$	99.634	Stable
	$^{15}\text{N}$	0.366	Stable
Chlore	$^{35}\text{Cl}$	75.53	Stable
	$^{36}\text{Cl}$		<b>Radioactif (T=3.04 10<sup>5</sup> ans)</b>
	$^{37}\text{Cl}$	24.47	stable

Ce sont principalement les isotopes du carbone, du soufre, de l'Azote et du chlore.

### 3.3. Isotopes constitutifs de la molécule d'eau :

Les principaux domaines d'application des techniques isotopiques en hydrogéologie se résument comme suit :

- Recharge
  - ◆ Qualitative
  - ◆ Quantitative
- Localisation des zones de recharge
- Relation entre eaux de surfaces et eaux souterraines
- Drainance et mélange entre aquifères
- Hydrologie des roches fracturées
  - ◆ Carbonatées (Karst)
  - ◆ Non carbonatées (entreposage des déchets)
- Mécanisme de salinisation
- Estimation du temps de transit ( " âge des eaux " )
- Géothermie

On utilise les rapports de deux isotopes stables d'un même composé (isotope lourd rare sur isotope léger banal), ceux de la molécule d'eau  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  et  $^2\text{H}/^1\text{H}$ , ou ceux des espèces dissoutes  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  du gaz carbonique ou des carbonates ;  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  des sulfates et des sulfures ;  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  des nitrates et  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  du Strontium.

Les abondances isotopiques permettent d'identifier **l'origine des constituants** et de reconstituer les phénomènes **physiques, chimiques et biologiques** ayant affecté la **répartition biologique (fractionnement)**.

Les isotopes radioactifs comme le Tritium ( $^3\text{H}$ ) de la molécule d'eau, le carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) ou le chlore 36 ( $^{36}\text{Cl}$ ) se désintègrent régulièrement en fonction du temps. Ils peuvent permettre des **mesures chronologiques** ou d' "**âge d'après modèles** ».

Il est nécessaire en effet de retrouver leur **activité originelle** et de vérifier **qu'une production in-situ** ou une **dilution par mélange** ou par **échange** n'aient pas perturbé la seule **décroissance radioactive**.