

210

83

Bi

## FICHE RADIONUCLÉIDE

### Bismuth 210 et environnement

Cette fiche résume le comportement de l'élément chimique dans les principaux compartiments des écosystèmes terrestres et aquatiques, sous les deux hypothèses suivantes. La discrimination isotopique est négligeable, ce qui est vérifié pour la plupart des éléments traités. Lorsque l'élément possède des isotopes stables, l'analogie de comportement entre ses isotopes stables et radioactifs est admise implicitement, sachant toutefois que pour les éléments existant à l'état naturel, la forme chimique et le milieu d'émission des rejets anthropiques sont susceptibles d'impliquer des voies et processus de transfert autres que ceux identifiés pour l'élément stable naturel.

Le ou les isotopes radioactifs désignés dans l'intitulé de la fiche correspondent aux radionucléides d'importance radioécologique majeure, au sens des quantités et de la rémanence dans l'environnement, d'autres isotopes, radioactifs ou stables, pouvant être cités à titre complémentaire. Les informations, volontairement simplifiées, sont destinées à refléter l'état des connaissances sur le sujet à la date de mise à jour et à proposer des valeurs pour les principaux paramètres radioécologiques usuels permettant une estimation des transferts dans l'environnement et plus particulièrement au sein de la chaîne alimentaire.

Rédaction : P. Henner, L. Garcia-Sanchez

Vérification : C. Colle

Date de rédaction : 27/03/03

## Caractéristiques

### Chimiques

Le bismuth est un métal appartenant à la même famille que le phosphore, l'arsenic ou l'antimoine. C'est un métal blanc, cristallin, cassant, possédant les plus fortes propriétés diamagnétiques et la conductivité thermique la plus basse parmi les métaux, et se dilatant en se solidifiant. Il est employé principalement pour la fabrication des alliages fusibles à basse température et des caractères d'imprimerie. C'est un des métaux les moins toxiques, et seul ou associé à des antibiotiques, il est très utilisé pour le traitement des ulcères de l'estomac et des affections intestinales. Le Bi(III) est plus particulièrement utilisé dans un but thérapeutique comme anti-acide, astringent, antiseptique, antiprotozoaires et comme radiocontrastant, le Bi(V) comme radiocontrastant principalement. Le bismuth est rare dans l'écorce terrestre (73<sup>ème</sup> élément par ordre d'abondance), et est présent aux valences +3 et +5, la première étant la plus stable.

### Nucléaires

Les isotopes du bismuth ont des masses atomiques allant de 195 à 215. Un seul isotope est stable, <sup>209</sup>Bi, et son abondance relative est de 100 %. Les isotopes 210, 211, 212 et 214 appartiennent aux chaînes de filiation des familles naturelles.

Le bismuth, du fait de son point de fusion très bas et de sa faible section efficace d'absorption de neutrons, est utilisé à l'état fondu comme réfrigérant et comme support de combustible dans les réacteurs nucléaires de haute puissance. Il est de plus fissible sous l'action de diverses particules accélérées et de photons, et subit la spallation aux énergies élevées.

	<sup>210</sup> Bi
Période radioactive	5 jours
Activité massique	$4,6 \times 10^{15} \text{ Bq.g}^{-1}$
Émission(s) principale(s) par désintégration (rendement d'émission %)	$\beta^-$ $E_{\text{max}} = 1,17 \text{ MeV (99 \%)}$

(Pannetier, 1980)

---

# Origines

## Naturelle

A l'état naturel, le bismuth se trouve sous forme de bismuthine ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ), dont les principaux gisements se trouvent en Tchécoslovaquie, en France et en Australie. La plupart du temps, il se trouve associé aux minerais de plomb, argent et étain (Li et Thornton, 1993). Sa redistribution anthropique dépend ainsi principalement des activités d'extraction minière.

Du fait que la contribution des activités anthropiques dans la répartition globale du bismuth reste très limitée (Ferrari *et al.*, 2000), il est tout particulièrement utilisé comme indicateur de l'activité volcanique, en liaison avec l'émission de sulfures. Les émissions d'origine volcanique sont évaluées à 1 200 – 1 700  $\text{t.an}^{-1}$  de bismuth, contre moins de 40  $\text{t.an}^{-1}$  pour la remise en suspension de particules issues de l'érosion de la croûte terrestre et les sels marins (Candelone *et al.*, 1995 ; Crisholm *et al.*, 1997 ; Ferrari *et al.*, 2000). Les activités anthropiques sont responsables de l'émission de moins de 15  $\text{t.an}^{-1}$  de bismuth dans l'environnement, bien que ce chiffre semble en constante augmentation depuis les dernières décennies, en liaison avec l'utilisation de combustibles fossiles, et les activités d'extraction minière (Candelone *et al.*, 1995). L'utilisation de fongicides contenant du bismuth et de certains engrais naturels ou synthétiques participerait à l'augmentation de la teneur de cet élément dans les sols, mais toutefois de manière négligeable par rapport au fond géochimique de la plupart des sols cultivés (Senesi *et al.*, 1979 ; Smith et Javed, 1985).

## Artificielle

Sans objet.

---

## Concentrations dans l'environnement et métrologie

Le  $^{210}\text{Bi}$  n'est pas détecté dans l'environnement.

Le bismuth est un composant rare de la croûte terrestre, aussi est-il souvent présent en quantités proches du seuil de détection de la majeure partie des appareils de mesure. Les teneurs moyennes en bismuth de la croûte terrestre et des sols non contaminés sont respectivement d'environ  $0,048 \mu\text{g.g}^{-1}$  et  $0,2 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Bowen, 1979). Des teneurs de  $5 \mu\text{g.g}^{-1}$  sont observées dans certains charbons et graphites (Kabata-Pendias, 2001). Les zones situées au voisinage des activités d'extraction présentent cependant des teneurs beaucoup plus élevées en bismuth,  $436 \mu\text{g.g}^{-1}$  par exemple (Jung *et al.*, 2002).

Pour mesurer le bismuth, deux grandes catégories de techniques peuvent être appliquées. Les mesures de type pondéral utilisent des techniques ultra sensibles, étant donnée la faible abondance de l'élément : spectrométrie de fluorescence atomique par excitation laser (LEAFS) et spectrométrie de masse à ionisation thermique (TIMS).

Les isotopes radioactifs sont mesurés *via* leurs émissions radioactives.  $^{210}\text{Bi}$  est ainsi mesuré par scintillation liquide. En règle générale, ces techniques demandent une minéralisation préalable des échantillons et la résolution des phénomènes d'interférences entre éléments pour les matrices complexes.

L'analyse du bismuth 210, isolé après électrodéposition, est parfois utilisée pour analyser le  $^{210}\text{Pb}$  *via* les liens de filiation existant entre ces deux radionucléides, l'équilibre entre les deux étant atteint relativement rapidement : 98 % au bout d'un mois (Peck et Smith, 2000). Cet isotope est souvent utilisé comme standard interne pour l'analyse d'échantillons contenant des isotopes lourds (U, Th) (Buchmann *et al.*, 2000).

---

## Mobilité et biodisponibilité en milieu terrestre

Les données relatives au comportement de l'élément dans le sol, à la mobilité, au transfert racinaire aux végétaux, au transfert foliaire, aux produits animaux sont quasi inexistantes.

### Sols

Dans les sols, le bismuth originaire de la roche mère est oxydé et se retrouve souvent sous forme de carbonates. L'élément pourrait s'accumuler dans les horizons riches en matières organiques ou oxydes de fer (Kabata-Pendias, 2001). Sa mobilité pourrait être affectée par le pH.

### Végétaux

Le bismuth est un élément non essentiel à la plante. La teneur des végétaux terrestres en bismuth est très faible, souvent proche de la limite de détection, y compris pour des plantes poussant sur un terrain contaminé ( $< 0,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  ; Bowen, 1979 ; Jung *et al.*, 2002). Au voisinage des mines, toutefois, la teneur des végétaux est plus importante, au maximum comprise entre 0,01 et  $0,18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Li et Thornton, 1993). Ces auteurs montrent que la concentration en bismuth des feuilles est supérieure à celle des fruits ou des graines et que les facteurs de transfert racinaires sont très faibles, compris entre  $10^{-5}$  et  $10^{-4}$ . La teneur en bismuth des sols n'est, en général, pas phytotoxique puisque le seuil de toxicité mesuré en solution nutritive est compris entre 1 et 100 ppm (Senesi *et al.*, 1979).

### Animaux

Les effets du bismuth sur les animaux terrestres sont très peu étudiés, à l'exception de l'homme, pour lequel on sait que les effets toxiques ne sont pas reliés à la dose ou à la durée d'exposition (Martin-Bouyer *et al.*, 1980). Pour le gibier, l'utilisation croissante de balles contenant du bismuth (91 %) pour la chasse récréative, en particulier aux États-Unis, pose le problème des effets sur la faune qui survit après avoir été touchée (Pamphlett *et al.*, 2000). Ainsi, des souris auxquelles on a implanté une balle dans la cavité péritonéale présentent des quantités importantes de bismuth dans le cytoplasme de divers types de cellules du système nerveux moteur, dans les cellules tubulaires des reins, dans les cellules dendritiques du foie et les macrophages au niveau des poumons, mais les conséquences d'une telle accumulation à long terme sur la vie de l'animal ne sont pas connues.

---

# Mobilité et biodisponibilité dans les écosystèmes dulçaquicoles

## Eaux

Le bismuth est très insoluble dans l'eau et y est rarement décelable. Son principal état d'oxydation est +III. Ses principales formes minérales connues sont les assemblages ioniques  $\text{BiOCl}$ ,  $\text{BiO(OH)}$ ,  $\text{Bi(OH)}_3$ ,  $\text{BiNO}_3$ ,  $\text{BiI}_3$  et  $\text{BiPO}_4$ . Tous ces sels sont très insolubles dans les conditions environnementales (Slikkerveer et de Wolff, 1989). La concentration du bismuth en solution est extrêmement faible dans les cours d'eau. Elle est de l'ordre de 0,004 à 0,02  $\mu\text{g.l}^{-1}$  en dehors de toute contamination (Chang et Jiang, 1997 ; Chen et Jiang, 1996), et est supérieure d'environ deux ordres de grandeur en cas de contamination ( $< 8,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ ) (Jung *et al.*, 2002).

## Sédiments

Les composés minéraux du bismuth ont une mobilité très restreinte dans les compartiments physiques des milieux aquatiques. Ils sont très majoritairement associés aux supports solides (matières en suspension, sédiments). En l'absence de contamination du milieu, la concentration du bismuth est de l'ordre du  $\mu\text{g.g}^{-1}$  dans les matières en suspension et sédiments (Gücer et Demir, 1987 ; Ivanova *et al.*, 1997 ; Zhe-Ming *et al.*, 1986). Au proche voisinage de sites contaminés, cette concentration est supérieure d'environ deux ordres de grandeur : 161  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Jung *et al.*, 2002). Elle semble essentiellement liée à la précipitation rapide de tous les composés minéraux du bismuth (Jung *et al.*, 2002).

Les phénomènes d'échange entre les phases solubles et fixées du bismuth (limites de solubilité, diagrammes Eh - pH, coefficients de partage) ne sont pas aujourd'hui quantifiés.

## Végétaux et animaux

Le bismuth n'est essentiel à aucun être vivant. Aucun mécanisme actif ne favorise son entrée dans les cellules. Par rapport à d'autres métaux lourds (plomb, arsenic, mercure...), la très forte insolubilité du bismuth restreint considérablement son absorption par les êtres vivants (Di Palma, 2001), notamment aquatiques. Son transfert n'est pas traité dans la littérature, vraisemblablement car il n'est pas facilement mesurable. L'analyse du bismuth est très difficile et est sujette à beaucoup de variations selon la méthode analytique adoptée (Slikkerveer et de Wolff, 1989). La mise au point de méthodes de mesure adaptées aux

concentrations traces du bismuth est un thème de recherche en soi (e.g. Acar *et al.*, 1999 ; Itoh *et al.*, 1999).

Les transferts chez les végétaux aquatiques sont inconnus. La seule source vraisemblable est le sédiment par voie racinaire compte-tenu de l'absence quasi absolue du bismuth dans la colonne d'eau.

Les transferts aux animaux aquatiques sont inconnus. Seuls les organismes benthiques semblent susceptibles d'ingérer du bismuth, notamment par consommation de sédiments lors de la quête de nourriture.

Le transfert et l'impact possible ne peut aujourd'hui s'évaluer grossièrement que par analogie avec les connaissances disponibles en médecine humaine. Pour les micro-organismes, les sels de bismuth ont des vertus antiseptiques quand ils sont appliqués sur des surfaces vives. Des auteurs invoquent l'insolubilité combinée à la lipophilie du bismuth. Il entrerait dans les micro-organismes sous forme de complexe neutre métal-ligand (Williams, 2000). Pour l'homme, en cas d'intoxication, on attribue au Bismuth divers symptômes : néphropathie, encéphalopathie, ostéoarthropathie, gingivite, stomatite... Le bismuth s'accumule préférentiellement dans le rein. Il y est retenu fixé à une protéine ligante (métallothionéine) dont il stimule la synthèse (Rodilla *et al.*, 1996 ; Slikkerveer et de Wolff, 1989). Au-delà de 100  $\mu\text{M}$ , le bismuth entraîne une nécrose des cellules tubulaires du rein, probablement par déstabilisation de la membrane cellulaire (Leussink *et al.*, 2002). Sa concentration normale dans le sang est d'environ 1 à 15  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Elle n'augmente pas beaucoup après une intoxication (Di Palma, 2001). Le bismuth est éliminé de ce compartiment selon plusieurs cinétiques dont les périodes vont de 3,5 minutes à 17 - 22 ans. Dans l'urine, sa concentration est de 400  $\text{mmol.l}^{-1}$  chez les sujets intoxiqués, et de 0 à 20 chez les individus normaux (Di Palma, 2001).

---

## En résumé ...

Le  $^{210}\text{Bi}$  n'est pas détecté dans l'environnement. Le comportement du bismuth stable est peu connu.

Dans les écosystèmes terrestres, le bismuth stable d'origine anthropique est négligeable par rapport d'une part, au fond géochimique de la plupart des sols et, d'autre part, à l'apport atmosphérique naturel. Généralement, cet élément est présent en quantités proches des seuils de détection. Dans les sols, il est souvent présent sous forme de carbonates et est associé au plomb, à l'arsenic et à l'antimoine dans les minerais. Le transfert racinaire est limité ; les autres types de transfert n'ont pas été étudiés.

Dans les eaux douces, le bismuth stable prédomine largement sous forme particulaire, ses formes chimiques étant très insolubles. Sa mobilité est donc entièrement dépendante du transfert physique des particules minérales sur lesquelles il précipite. Le transfert du bismuth dans les écosystèmes d'eau douce n'a pas été étudié. Compte-tenu des données disponibles, seuls les êtres vivants en relation particulière avec les sédiments semblent susceptibles de l'accumuler



---

## Paramètres radioécologiques usuels : milieu terrestre

### Coefficient de distribution eau-sol $K_d$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ de sol sec par $\text{Bq.l}^{-1}$ d'eau)

Sol sableux et/ou acide	120
Sol argileux	670
Sol limoneux ou texture moyenne	400
Sol organique (> 30 % de M.O.)	1 500

(IAEA, 1994)

### Facteur de transfert foliaire ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ de végétal sec par $\text{Bq.m}^{-2}$ )

Aucune valeur

### Facteur de transfert racinaire ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ de végétal sec par $\text{Bq.kg}^{-1}$ de sol sec)

Aucune valeur

### Facteur de transfert aux produits d'origine animale ( $\text{j.kg}^{-1}$ ou $\text{j.l}^{-1}$ )

Aucune valeur

### Facteur de transfert par transformation alimentaire

Aucune valeur

---

## Paramètres radioécologiques usuels : eaux douces

Coefficient de distribution eau-MES  $K_d$  ( $\text{Bq.kg}^{-1}$  de solide sec par  $\text{Bq.l}^{-1}$  d'eau)

Aucune valeur

Facteur de concentration aux végétaux ( $\text{Bq.kg}^{-1}$  de végétal frais par  $\text{Bq.l}^{-1}$  d'eau)

Aucune valeur

Facteur de concentration aux animaux ( $\text{Bq.kg}^{-1}$  d'animal frais par  $\text{Bq.l}^{-1}$  d'eau)

Aucune valeur

---

## Bibliographie succincte

Acar O, Kilic Z et Türker AR (1999). Determination of bismuth, indium and lead in geological and sea-water samples by electrothermal atomic absorption spectrometry with nickel-containing chemical modifiers. *Anal Chim Acta*, 382: 329-338.

AIEA (1994). *Handbook of parameter values for radionuclide transfers in temperate environment*. Technical report series, Vienne, Autriche.

Bowen HJM (1979) *Environmental chemistry of the elements*. Academic Press.

Buchmann JH, de Souza SJE et Rodrigues C (2000). Determination of metals in plant samples by using a sector field inductively coupled plasma mass spectrometer. *Sci Tot Environ*, 263: 221-229.

Candelone JP, Bolshov MA, Rudniev SN, Hong S et Boutron CF (1995). Bismuth in recent snow from central greenland: preliminary results. *Atmos Environ*, 29: 1843-1848.

Chang CC et Jiang SJ (1997). Determination of Hg and Bi by electrothermal vaporization inductively coupled plasma mass spectrometry using vapor generation with in situ preconcentration in a platinum-coated graphite furnace. *Anal Chim Acta*, 353: 173-180.

Chen CS et Jiang SJ (1996). Determination of As, Sb, Bi and Hg in water samples by flow-injection inductively coupled plasma spectrometry with an in-situ nebulizer/hybride generator. *Spectrochim Acta B*, 51: 1813-1821.

Crisholm W, Rosman KJR, Candelone JP, Boutron C et Bolshov MA (1997). Measurement of bismuth at  $\text{pg.g}^{-1}$  concentrations in snow and ice samples by thermal ionisation mass spectrometry. *Anal Chim Acta*, 347: 351-358.

Di Palma JR (2001). *Bismuth toxicity*. Rieders Renaissance Report (Spring 2001).

Ferrari CP, Hong S, Van de Velde K, Boutron CF, Rudniev SN, Bolshov M, Crisholm W et Rosman KJR (2000). Natural and anthropogenic bismuth in Central Greenland. *Atmos Environ*, 34: 941-948.

Gücer S et Demir M (1987). Determination of bismuth, cadmium and lead in soil extracts by atomic absorption spectrometry with loop sample introduction. *Anal Chim Acta*, 196: 277-282.

Itoh SI., Kaneco S, Ohta K et Mizuno T (1999). Determination of bismuth in environmental samples with Mg-W cell electrothermal atomic absorption spectrometry. *Anal Chim Acta*, 379: 1629-173.

Ivanova E, Yan XP et Adams F (1997). Determination of bismuth in cod muscle, lake and river sediment by flow injection on-line sorption preconcentration in a knotted reactor coupled with electrothermal atomic absorption spectrometry. *Anal Chim Acta*, 354: 7-13.

Jung MC, Thornton I et Chon HT (2002). As, Sb and Bi contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of the Dalsung Cu-W mine in Korea. *Sci Tot Environ*, 295: 81-89.

Kabata-Pendias A (2001). *Trace elements in soils and plants*. 3<sup>ème</sup> édition, Kabata-Pendias A et Pendias H (Eds), CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington DC, 413p.

- Leussink B., Nagelkerke JF, van de Water B, Sillerveer A, van der Voet GB, Srinivasan A, Bruijn JA et de Heer E (2002). Pathways of proximal tubular cell death in bismuth nephrotoxicity. *Tox Appl Pharmacol*, 180: 100-109.
- Li X et Thornton I (1993). Arsenic, antimony and bismuth in soil and pasture herbage in some old metalliferous mining areas in England. *Environ Geochem Health*, 15(2/3): 135-144.
- Martin-Bouyer G, Foulon B, Guerbois H et Barin C (1980). Epidemiological aspects of the encephalopathies resulting from oral administration of bismuth. *Therapie*, 35: 307-313.
- Pamphlett R, Danscher G, Rungby J et Stoltenberg M (2000). Tissue uptake of bismuth from shotgun pellets. *Environ Res A*, 82: 258-262.
- Pannetier R (1980). *Vade-mecum du technicien nucléaire*, tome II. S.C.F. du Bastets.
- Peck GA et Smith JD (2000). Determination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in rainwater using measurement of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Bi}$ . *Anal Chim Acta*, 422: 113-120.
- Rodilla V, Little JP, Afzal N, Miles AT et Hawksworth GM (1996). Induction of metallothionein in cultured human proximal tubular cells can protect against cisplatin induced nephrotoxicity. *Toxicol Lett*, 88: 35.
- Senesi N, Polemio M et Lorusso L (1979). Content and distribution of arsenic, bismuth, lithium and selenium in mineral and synthetic fertilizers and their contribution to soil. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 10(8): 1109-1126.
- Slikkerveer A et de Wolff FA (1989). Pharmacokinetics and toxicity of bismuth compounds. *Med Toxicol Adverse Drug Exp*, 4(5): 303-323.
- Smith FE et Javed ZUR (1985). Bismuth compounds as fungicides. *Int Pest Control*, 27(6): 144-145.
- Williams DR (2000). Chemical speciation applied to bio-inorganic chemistry. *J Inorg Biochem*, 79: 275-283.
- Zhe-Ming N, Xiao-Chun L et Heng-Bin H (1986). Determination of bismuth in river sediment by electrothermal atomic absorption spectrometry with low-temperature atomization in argon/hydrogen. *Anal Chim Acta*, 186: 147-153.