

Origine du sélénium dans les eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable dans le bassin de Paris

Laurence Gourcy, Robert Wyns, C. Garnier-Sereno, Agnès Brenot

► **To cite this version:**

Laurence Gourcy, Robert Wyns, C. Garnier-Sereno, Agnès Brenot. Origine du sélénium dans les eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable dans le bassin de Paris. *Géologues, Société Géologique de France*, 2014, pp.44-49. hal-00947993

HAL Id: hal-00947993

<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00947993>

Submitted on 17 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Origine du sélénium dans les eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable dans le bassin de Paris

L. Gourcy¹, R. Wyns², C. Garnier-Sereno³, A. Brenot⁴

Introduction

Le sélénium est un élément essentiel au bon fonctionnement du métabolisme humain, néanmoins son déficit ou son excès provoque des perturbations de l'état sanitaire (Rayman, 2000) des populations. La marge de sécurité entre l'apport toxique potentiel et le niveau nutritionnel requis est inconnue. Le sélénium est généralement d'origine naturelle du fait de la présence de cet élément dans des formations géologiques spécifiques. Il peut être également d'origine industrielle avec de fortes concentrations locales (jusqu'à 1 mg.l⁻¹), être apporté via les engrais séléniés ou les rejets de stations d'épuration. En France il existe une forte densité spatiale de forages destinés à la production d'eau potable montrant des dépassements de la norme (>10 µg.l⁻¹) dans les départements de l'Aube, de l'Eure-et-Loir, de l'Essonne, du Loiret, de la Marne, de l'Oise, de la Seine-et-Marne et des Yvelines.

Afin de connaître l'origine de cet élément dans les eaux souterraines, diverses études ont été réalisées qui ont montré une origine naturelle pour cet élément. Les formations géologiques enrichies sont très variées allant des formations calcaires du Jurassique et du Crétacé, aux sables de Cuise et de Fontainebleau de l'Oligocène (Burgéap, 1961 ; Pion, 1989 ; Vernoux *et al.*, 1998 ; Karnay, 1999 ; Robaux, 2004 ; Damien, 2006 ; Chabart *et al.*, 2006). Dans le monde, les contextes géologiques favorables à la présence de sélénium sont notamment des formations sédimentaires, sables, schistes, grès ou conglomérats à restes de plantes et lignite ou riches en sulfures (Ihnat, 1989 ; Coleman *et al.*, 1993 ; Rässler *et al.*, 2000 ; Vesper *et al.*, 2008). La corrélation entre sélénium et matière organique a été fréquemment enregistrée.

La mobilité du sélénium et notamment la mise en solution du sélénium des roches dépend fortement de la forme chimique sous laquelle il se trouve. L'étude de la remobilisation du sélénium doit donc tenir compte de sa spéciation. Dans les eaux souterraines, quelques rares mesures de Se(-II), Se(VI) et Se(IV) ont été réalisées en France et les quelques analyses effectuées (Souni, 1988 ; Chabart *et al.*, 2006) indiquent uniquement la présence de Se(VI) dans les eaux souterraines exploitées.

Une étude a été menée de 2008 à 2011 afin de déterminer l'origine dominante du sélénium dans les eaux souterraines du bassin Seine-Normandie (Gourcy *et al.*, 2011). Les conclusions de cette étude permettent de proposer des pistes pour la gestion des forages pour l'alimentation en eau potable à teneur élevée en sélénium.

Matériel et méthodes

Site d'étude et contexte hydrogéologique

L'étude se limite au bassin de Paris dans lequel on note le plus de forages destinés à l'alimentation en eau potable avec des concentrations en sélénium régulièrement supérieures à 10 µg.l⁻¹. Après une analyse statistique détaillée des données disponibles sous ADES⁵, l'étude s'est focalisée sur quelques secteurs en particulier (**Fig. 1 Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) dans lesquels les forages sont localisés dans des contextes géologiques favorables à la présence de sélénium dont la molasse des calcaires d'Étampes, les niveaux réducteurs du sable de Fontainebleau, les marnes vertes du Stampien

¹ BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans. Courriel. l.gourcy@brgm.fr

² BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, 45060 Orléans. Courriel. r.wyns@brgm.fr

³ Agence de l'eau Seine-Normandie, Direction territoriale rivières d'Ile-de-France, 51 rue S. Allende, 92027 Nanterre.

⁴ BRGM, Direction Régionale RHA, 69626 Villeurbanne Cedex. Courriel. A.brenot@brgm.fr

⁵ Banque nationale d'accès aux données sur les eaux souterraines. Site Internet. ades.eaufrance.fr

sous le calcaire de Brie, les marnes de l'infra et supra Ludien, les marnes du Lutétien, base du calcaire de Champigny sens large, et les argiles et sables de Cuise de l'Yprésien. Plus au Nord, en Champagne certains forages riches en sélénium exploitent les eaux de la craie, horizon géologique a priori non enrichis en sélénium.

Figure 1. Localisation des secteurs d'étude (source : Gourcy et al.2011).

Acquisitions

Une sélection de 29 points d'eau a été réalisée en tenant compte de la répartition spatiale des points du suivi, la diversité des niveaux géologiques captés et les concentrations en sélénium dans les eaux. Ces points ont fait l'objet d'un prélèvement d'eau lors de deux campagnes en avril et octobre 2009. Parmi ces points, 5 ont été retenus pour le suivi mensuel réalisé d'avril 2009 à mars 2010.

Les analyses des éléments suivants ont été réalisées au laboratoire du BRGM : Ca, Mg, K, Na, HCO₃, CO₃, Cl, SO₄, NO₃, NH₄, NO₂, Mn, PO₄, B, Ba, F, Fe, Li, Pb, Se total, SiO₂, Sr, U, Se(IV) et Se(VI), carbone organique dissous (COD) et carbone organique total (COT), isotopes stables ²H et ¹⁸O de l'eau, δ³⁴S et δ¹⁸O des sulfates, concentrations en CFC-11, CFC-12, CFC-113

Les protocoles d'échantillonnage en eau souterraine conformes aux normes en vigueur (ISO 5667-11 et FD T 90523-3) ont été appliqués. Une filtration à 0,45 µm a été effectuée sur le terrain. Les paramètres physico-chimiques non conservatifs ont été mesurés au moment des prélèvements. Des analyses des composés dissous majeurs et traces ont été faites selon les normes NF EN ISO/CEI 17025 et NF EN ISO 9001-2000. Les espèces Se(IV) et Se(VI) ont été analysées après séparation et préconcentration sur résine. Les analyses de Setot, Se(IV) Se(VI) ont été réalisées par HPLC/ICP/MS ou HPLC/HG/FAAS. Les isotopes des sulfates sont déterminés par spectrométrie de masse isotopique (IRMS). Les CFC et SF₆ sont déterminés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à capture d'électron.

Plusieurs cuttings de forages ont été collectés ; les niveaux du calcaire de Champigny, marnes blanches de Pantin et argiles vertes ont été récupérés pour le forage de La Forêt-Sainte-Croix (91) et les calcaires de Brie, marnes vertes et marnes infragypseuses du forage d'Itteville (91). Des roches ont été également collectés ; les argiles ligniteuses du Sparnacien dans la carrière de Châlautre-la-Petite (77), du sable noir ligniteux des faciès sableux Yprésiens au contact des argiles du Sparnacien dans la carrière « la Queue du Renard » à Montpothier (10), des argiles noires du Sparnacien au contact des sables cuisins de la sablière du Mont Berru (51) et du calcaire vers le village de Mareuil-les-Meaux (77). Un échantillon du niveau des argiles noires sparnaciennes du sondage PZ20 réalisé en 2007 sur le site de Montreuil-sur-Epte (95) a également été récupéré. Pour chaque échantillon une analyse chimique complète a été réalisée par ICP-MS après attaque à l'eau régale (HCl+HNO₃) et minéralisation par micro-ondes permettant la mise en solution complète des éléments des roches. Les éléments mesurés sont : Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, C, capacité d'échange cationique, CaO, Cd, Ce, Co, Cr, Ct, Cu, FeO₃, K₂O, La, Li, MgO, MnO, Mo, Na₂O, Nb, Ni, P₂O₅, perte au feu, perte de poids, Pb, S, SO₄, Sb, Se, SiO₂, Sn, Sr, TiO₂, U, V, W, Y, Zn, Zr.

Le sélénium dans le bassin de Paris

Le sélénium dans les sols et les roches

Les sols français sont relativement pauvres en sélénium avec des concentrations maximales ne dépassant que rarement 1 µg/g⁻¹ (Baize, 2000). En ce qui concerne les roches collectées dans le cadre de cette étude, les marnes infraludiennes (ingrayscaleuses), les marnes vertes et bleues et les argiles vertes présentent des concentrations moyennes en sélénium respectivement de 2,3 mg.kg⁻¹, 1,5 mg.kg⁻¹ et 1,4 mg.kg⁻¹. Pour les autres échantillons (marnes infragypseuses et calcaire de Champigny), la concentration en cet élément est inférieure à 1 mg.kg⁻¹. On note une concentration exceptionnelle (695,3 mg.kg⁻¹) en sélénium dans l'échantillon de sable noir ligniteux de Montpothier qui correspond

aux faciès sableux yprésiens au contact des argiles du Sparnacien. Les argiles du Sparnacien présentent une concentration en sélénium également très élevée de $11,8 \text{ mg.kg}^{-1}$. Les argiles ligniteuses de Châlautre-la-Petite (77) et les argiles noires du Mont Berru (51) ont des concentrations en sélénium proches respectivement de $2,8$ et $1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Les données acquises lors de cette étude permettent de confirmer les fortes concentrations en sélénium des niveaux riches en argiles et matière organique de l'Yprésien. Les argiles et marnes vertes de l'Oligocène inférieur comme les marnes de l'Infraludien sont également particulièrement riches en sélénium.

Le sélénium dans les eaux de surface et eaux souterraines

Au cours du contrôle de la qualité réalisé en 2009 par l'Agence de l'eau Seine-Normandie diverses rivières du bassin de Paris ont montré des concentrations supérieures à $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ (LQ). On remarque une certaine relation entre la présence de sélénium dans les eaux de surface et les secteurs où les eaux souterraines exploitées sont enrichies en sélénium comme pour la Remarde et l'Orge (dép.91), des rivières dont l'origine est la vidange du calcaire de Beauce + calcaires d'Etampes + sables de Fontainebleau et calcaire de Brie (Maget et Pointet, 2006) présentent des concentrations en sélénium importantes. À la Voulzie et l'Auxence qui proviennent des calcaires de Champigny et circulent au contact des argiles du Sparnacien (Yprésien) des concentrations allant jusqu'à $17 \mu\text{g.l}^{-1}$ sont relevées.

Les résultats des deux campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines effectuées en 2009 montrent que les concentrations en sélénium mesurées vont de $< 0,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ (limite de quantification) pour les forages à Baulne (91) où Aunay-sous-Auneau (dép.28) à $50,9 \mu\text{g.l}^{-1}$ pour Beauthel F2 (77). Les mesures de spéciation du sélénium indiquent que c'est le séléniate [HSeO_4^- , $\text{Se}^{+\text{VI}}\text{O}_4^{2-}$], Se(VI), la forme la plus oxydée du Se, très soluble et peu adsorbée qui se retrouve principalement dans les eaux souterraines.

Une analyse statistique effectuée avec toutes les données indique que le sélénium n'est corrélé à aucun autre élément dissous. Ceci est sans doute dû à la variabilité des contextes géologiques pour lesquels on retrouve le sélénium en forte concentration et la sensibilité de cet élément aux conditions redox. L'analyse des isotopes du sulfate indique un enrichissement isotopique avec une diminution des concentrations en sélénium (Fig. 2). Dans les conditions réductrices, où le sélénium est principalement présent à l'état élémentaire (Se0) ou de séléniure (Se-II), la précipitation-dissolution des phases solides notamment les sulfures gouverne alors la solubilité du sélénium. La réduction bactérienne des sulfates entraînerait alors une diminution des concentrations en sélénium (Hockin et Gadd, 2003). Une oxydation des sulfures (pyrite) est susceptible de provoquer le relargage du Se sorbés à la surface des sulfures. Une autre hypothèse suggère que les sulfures présents dans la matrice ainsi que le sélénium seraient relargués en même temps, ce qui entraînerait une augmentation des concentrations en sélénium.

Figure 2. $\delta^{34}\text{S}$ vs Se pour les eaux collectées en avril et octobre 2009 (source : Gourcy et al., 2011).

On observe une grande variabilité des âges avec des eaux antérieures à 1960 (limite de la datation par gaz dissous) et la source de Boursault à plus de 90% d'eau actuelle (2000-2010). Malgré le faible nombre de points par type d'aquifère on constate que les eaux les plus jeunes se retrouvent dans les captages de l'Yprésien, les sables de Cuise, la craie à Oeuilly (51) et le Champigny-St Ouen de Jouy-sur-Morin (77). Les eaux les plus anciennes se retrouvent pour les captages du Champigny (à l'exception de Gironville-sur-Essonne (91) et du calcaire de Brie. On constate que les plus fortes concentrations en sélénium sont observées pour les eaux ayant un % d'eau jeune le moins important (Fig. 3). Ainsi l'hypothèse de la présence du sélénium dans les formations géologiques plutôt que les apports anthropiques (engrais, pollution industrielles) est renforcée.

Figure 3. Pourcentage d'eau jeune aux captages échantillonnés en avril et octobre 2009 (source : Gourcy et al., 2011).

Modes d'acquisition dans les eaux souterraines

Un travail de compilation des informations géologiques (Infoterre) et hydrogéologiques (ADES) disponibles pour chacun des forages ayant fait l'objet d'un prélèvement d'eau pour analyse dans le cadre de cette étude a permis d'identifier les sources potentielles de sélénium. L'analyse de l'évolution mensuelle des concentrations en sélénium en fonction du niveau piézométrique et de l'évolution des autres éléments dissous d'avril 2009 à mars 2010 ainsi que les chroniques de concentrations en sélénium des autres forages du secteur d'étude présentant des concentrations en sélénium supérieures à $8 \mu\text{g.l}^{-1}$ et disponibles sous ADES a été réalisée.

Le mode d'enrichissement le plus « direct » est celui considérant que les roches composant l'aquifère capté sont elles-mêmes riches en sélénium. En milieu réducteur (aquifère profond ou non exploité) le sélénium est immobile dans les roches sous ses formes $-II$ ou $+IV$. Le fait d'exploiter l'aquifère entraîne le plus souvent un changement des conditions d'oxydo-réduction et une oxydation du milieu par dénoyage. Cet apport d'oxygène permet au sélénium contenu dans les roches de passer de formes réduites à formes oxydées ($+IV$ $+VI$). Le sélénium est alors mobile et peut facilement passer dans l'eau.

Ainsi on comprendra que si les niveaux riches en sélénium qui peuvent être localisés au-dessus ou au sein des aquifères exploités sont en partie dénoyés, il y aura un possible « relargage » du sélénium dans les eaux pompées (**Fig. 4** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Figure 4. Exemple de l'oxydation par dénoyage d'horizons réducteurs à pyrite/matière organique (source : Gourcy et al., 2011).

Un autre mode de contamination est lié soit à la réinfiltration dans l'aquifère de sources (sources au sommet de l'argile de Laon réinfiltrées dans l'aquifère du Cuisien, sources au sommet du Sparnacien réinfiltrées dans la craie) émergeant en amont après avoir traversé des niveaux réducteurs en oxydant les minéraux riches en sélénium, soit à l'infiltration d'eaux de surface ayant traversé des amendements ligniteux dans les vignes de Champagne en oxydant les minéraux riches en sélénium (**Fig. 5**).

Figure 5. Exemple de réinfiltration d'eaux ayant lessivé les sulfures ou niveaux argileux et riche en matières organiques d'une nappe perchée (source : Gourcy et al., 2011).

Sectorisation de l'information

Ainsi, il n'existe pas un contexte unique d'enrichissement en sélénium des eaux souterraines mais, régionalement, différentes lithologies et hydrogéologies permettant d'expliquer ces anomalies et leurs variations. Il est possible de résumer les informations obtenues par secteur d'étude (**voir figure 1** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Sur le premier secteur, localisé en Grande Beauce, il existe globalement deux aquifères exploités. Lors de l'exploitation du calcaire d'Etampes ce sont les niveaux réducteurs qui seraient responsables des apports en sélénium aux eaux souterraines. L'exploitation du calcaire de Champigny entrainerait un dénoyage des marnes et argiles vertes du supra Ludien. Sur le secteur du Hurepoix (91) on constate que les forages riches en sélénium exploitent soit le calcaire de Champigny, soit le calcaire de Brie. Les faciès réducteurs qui pourraient être impliqués dans les apports en sélénium aux forages sont respectivement les marnes supraludiennes et des niveaux gris-noirs réducteurs des sables de Fontainebleau situées au-dessus des niveaux captés.

Dans le Hurepoix des départements de l'Eure-et-Loir et des Yvelines les niveaux potentiellement riches en sélénium sont les faciès réducteurs des sables de Fontainebleau et la base de la molasse du

Gâtinais. Le niveau dynamique permet un dénoyage des niveaux riches en matière organique et/ou pyrite du sable de Fontainebleau. En Brie Champenoise, les faciès réducteurs enrichis en sélénium et très probablement responsable des fortes concentrations dans les eaux souterraines sont les argiles et niveaux riches en pyrite de l'Yprésien et du Cuisien. Il existe deux modes d'enrichissement en sélénium sur ce secteur ; les sources qui circulent sur les niveaux réducteurs et riches en sélénium de l'Yprésien et les forages localisés au pied de la cuesta tertiaire où pourrait se réinfiltrer les eaux des sources riches en sélénium comme indiqué sur [la figure 5](#).

Une autre hypothèse pour expliquer la présence en forte concentration de sélénium dans l'aquifère de la craie serait l'infiltration d'eaux de surface ayant traversé des amendements ligniteux riches en sélénium utilisés dans les vignes de Champagne. Autour du parc naturel régional de la Montagne de Reims, les niveaux enrichis en sélénium qui sont les plus susceptibles d'être à l'origine des fortes teneurs en sélénium mesurés dans les eaux souterraines sont les argiles de Laon et les argiles à lignites de l'Yprésien.

Il existe trois modes principaux d'enrichissement des eaux souterraines en sélénium sur ce secteur. Pour les sources, les eaux circulent au sein des sables de Cuise ou des sables du Thanétien. Le sommet de ces formations contient des marnes ligniteuses, argiles et lignite constituant un niveau réducteur. Il est possible que la libération de sélénium provienne de l'altération de ces niveaux riches en lignites et matière organique. Les eaux des sources s'infiltrent ensuite dans l'aquifère de la craie qui est ainsi enrichi localement (dans les secteurs où il existe des sources en amont des captages, et limite de cuesta).

Une seconde hypothèse pour l'enrichissement de la craie serait l'utilisation du lignite provenant des formations riches en matière organique de l'Yprésien et Cuisien pour enrichir les sols de Champagne. À l'est du bassin, en Brie de Seine-et-Marne c'est essentiellement le calcaire de St. Ouen qui est exploité. Le niveau qui serait enrichi en sélénium correspond à celui des marnes infragypseuses. L'influence des marnes supragypseuses ne peut toutefois pas être écartée. En Clermontois, le niveau exploité sur le site de Labruyère (60) est la craie avec au-dessus des formations du Thanétien (sables noirs et argiles noires). L'exploitation des eaux souterraines entraîne un cône de rabattement lors du pompage qui permet une oxydation des niveaux du Thanétien riches en argiles et matière organique et donc potentiellement enrichies en sélénium.

Conclusions et recommandations

Deux campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines sur plus d'une vingtaine de points représentatifs du bassin de Paris ont permis de caractériser précisément des sites ayant une concentration élevée en sélénium ($>10 \mu\text{g.l}^{-1}$, norme AEP). La détermination des âges des eaux souterraines permet d'expliquer la faible variabilité temporelle des concentrations en sélénium, les eaux jeunes étant faiblement présentes. L'analyse des isotopes du sulfate indique qu'une oxydation des sulfures (pyrite) est susceptible de provoquer le relargage du Se sorbés à la surface de ces minéraux. Les niveaux géologiques les plus riches en pyrite, argiles et matière organiques (sable noir ligniteux de l'Yprésien, argiles du Sparnacien) présentent une concentration en sélénium de 11,8 à plus de 660 mg.kg^{-1} .

L'analyse des variations spatiales des concentrations en sélénium en fonction des variations des niveaux piézométriques ainsi que l'étude des coupes géologiques disponibles et données complémentaires acquises lors de l'étude menée de 2008 à 2011 a permis de montrer qu'il n'existe pas un contexte unique d'enrichissement en sélénium des eaux souterraines mais, régionalement, différentes lithologies et hydrogéologies permettant d'expliquer les anomalies. Ainsi il a été possible de distinguer trois modes principaux d'enrichissement des eaux souterraines en sélénium sur le bassin de Paris.

Au vue de ces informations il est possible, pour les secteurs étudiés, de donner quelques recommandations qui permettraient, dans les cas favorables, de limiter les concentrations en sélénium

dans les eaux destinées à l'alimentation en eau potable (Gourcy, 2011). Pour la réalisation de nouveaux forages il s'avère nécessaire de tenir compte de la présence des terrains susceptibles d'enrichir les eaux en sélénium (niveaux réducteurs riches en matières organiques et /ou pyrites) et des niveaux statiques des aquifères du secteur pour la définition du nombre de forages nécessaires et de leur profondeur, des débits d'exploitation, du positionnement des crépines et du positionnement des pompes afin de ne pas dénoyer de façon répétée ces horizons et entraîner des variations des conditions d'oxydoréduction du milieu souterrain. Pour l'exploitation de forages il est important de noter la position des niveaux d'eau de la nappe par rapport aux différents niveaux géologiques réducteurs susceptibles d'apporter du sélénium. Ainsi des modes d'exploitation ne permettant pas le dénoyage des niveaux réducteurs seront privilégiés (si possible les niveaux statique et dynamique restent soit toujours au-dessus soit toujours au-dessous des niveaux réducteurs).

Bibliographie

- ❖ Baize D., 2000 : Teneurs totales en «métaux lourds» dans les sols français : résultats généraux du programme ASPITET. *Courrier de l'environnement de l'INRA* 39 :39-54.
- ❖ Burgéap, 1961 : Étude hydrogéologique du gisement d'eaux minérales de la Roche-Posay. Rapport R-293, 16 p.
- ❖ Chabart M., Gourcy, L., Braibant, G. *et al.*, 2006 : Origine des anomalies en sélénium dans les captages d'AEP du département de la Marne. Première approche. Rapport BRGM RP-54939-FR. 68 pages, 46 illustrations et 4 annexes.
- ❖ Coleman L., Bragg L.J., Finkelman R.B., 1993: Distribution and mode of occurrence of selenium in US coals. *Environ. Geochem. Health* 15, 215–227.
- ❖ Damien K.A., 2006 : Occurrence du sélénium, fluor, baryum et arsenic dans les aquifères du bassin parisien et leur répartition en Ile-de-France et Centre. Rapport de fin d'étude de Master 2 de recherche, Université Paris-11.
- ❖ Gourcy L., Lions J., Wyns R., *et al.*, 2011 : Origine du sélénium et compréhension des processus dans les eaux du bassin Seine-Normandie. Rapport final. BRGM/RP-59445-FR, 180 p.
- ❖ Gourcy L., 2011 : Synthèse opérationnelle de l'étude de l'origine du sélénium et compréhension des processus dans les eaux souterraines du bassin Seine-Normandie. Rapport final. BRGM/RP-60061-FR, 53 p.
- ❖ Hockin S.L., Gadd G.M., 2003: Linked redox precipitation of sulfur and selenium under anaerobic conditions by sulfate-reducing bacterial biofilms. *Applied Environmental Microbiology*, 69 : 7063-7072.
- ❖ Inhat I.M., 1989: Occurrence and distribution of selenium, CRC Press, Boca Raton, Florida (USA), 354p.
- ❖ Karnay G., 1999 : Délimitation des aquifères susceptibles de renfermer du sélénium en Poitou-Charentes (France). Rapport BRGM/RP-40460-FR, 27 p.
- ❖ Maget P., Pointet T., 2006 : Beauce. *In: Aquifères et eaux souterraines en France* tome 1, Brgméditations, 191-1999.
- ❖ Pion V., 1989 : Les eaux de la Roche-Posay ; le sélénium et la silice. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux III, 231 p.
- ❖ Rässler M., Michalke B., Schulte-Hostede S., Kettrup A., 2000: Long-term monitoring of arsenic and selenium species in contaminated groundwaters by HPLC and HC-AAS. *Sci Total Environ*, 258, 171-181.
- ❖ Rayman, M. P., 2000: The importance of selenium to human health. *Lancet* 356, 233-241.
- ❖ Robaux V., 2004 : Évaluation de la présence de sélénium dans les eaux d'alimentation de captages de l'Essonne : caractérisation, évolution. Rapport non publié. École Nationale de la Santé Publique, Rennes, 27 p.
- ❖ Vernoux J. -F., Barbier J., Chery L., 1998 : Les anomalies en sélénium dans les captages d'Île-de-France (Essonne, Seine-et-Marne). Rapport BRGM/RP-40114-FR, 46 p.
- ❖ Vesper D.J., Roy M., Rhoads C.J., 2008: Selenium distribution and mode of occurrence in the Kanawha Formation, southern West Virginia, USA. *International Journal of Coal Geology*, 73, 237-249.