



ENSP

ECOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur d'Etudes Sanitaires

Date du Jury : **Juillet 2004**

**Evaluation de la présence de sélénium
dans des eaux d'alimentation de
captages de l'Essonne :
caractérisation, évolution**

Véronique Robaux

Remerciements

œ Mme Delphine Caamano, la « Cellule-Eau », ainsi que toute l'équipe du service Santé-Environnement de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de l'Essonne pour son accueil et son aide

œ M. Carré pour ses conseils

œ M. Lauverjat pour son expertise sur la partie hydrogéologique

œ M. Fully pour ses informations précieuses

œ Mme Di Gioia pour sa disponibilité

œ Ainsi que tous les interlocuteurs rencontrés qui m'ont permis de réaliser cette étude.

œ La famille Robaux pour son indéfectible soutien

œ Toutes les personnes qui m'ont soutenue pour la réalisation de ce projet

En mémoire de Christine Robaux

Sommaire

1	PROBLEMATIQUE.....	1
1.1	Historique	1
1.2	Les questions posées aujourd'hui.....	2
2	LES OUVRAGES AFFECTES.....	3
2.1	Sélection des ouvrages retenus dans l'étude.....	3
2.2	Description des ouvrages	5
3	DOSAGE DU SELENIUM DANS L'EAU	5
3.1	Méthode analytique	5
3.2	Méthode utilisée en Essonne.....	6
4	ANALYSE DES DONNEES.....	7
4.1	Résultats obtenus sur l'ensemble des ouvrages affectés.....	8
4.2	Ouvrages du SIE de Champcueil et environs	9
4.3	Prise d'eau d'Itteville (SIE de la région Hurepoix)	11
4.4	Autres ouvrages sélectionnés pour l'étude	11
5	DISCUSSION.....	11
5.1	Actualisation des données	11
5.2	Origines géologiques possibles du sélénium.....	12
5.2.1	Les hypothèses proposées	14
5.2.2	Perspectives	17
5.3	Cas de la rivière Essonne	17
5.3.1	Origines possibles.....	18
A)	Origine industrielle	18
B)	Origine agricole	18
5.3.2	Géologie de la vallée de l'Essonne.....	19
5.3.3	Perspectives	20
	CONCLUSION	23
	Bibliographie.....	25
	Liste des annexes	I

Liste des sigles utilisés

AFNOR : Agence Française de Normalisation

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

BOIRE : Bureau de Opérations d'Investigations – Ressources en en Eau

BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières

BSS : Banque du Sous-Sol (BRGM)

Capt. : Captage (SISE-Eaux)

CGE : Compagnie Générale des Eaux

COFRAC: Comité Français d'Accréditation

CSHPF : Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France

DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt

DDASS/SSE 91 : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, Service Santé-Environnement de l'Essonne

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

ISO : International Organization for Standardization

$\mu\text{g.L}^{-1}$: microgramme par litre

NF : Norme Française

mNGF : mètre(s) selon le Nivellement Général de la France

[Se] : concentration en sélénium

SIARCE : Syndicat Intercommunal d'Assainissement et de Restauration de Cours d'Eau de l'Essonne
SIE : Syndicat Intercommunal des Eaux

SISE-EAUX : Système d'Information en Santé Environnement sur les eaux

TTP : Station de traitement (Sise-Eaux)

US-EPA : United States – Environmental Protection Agency

1 PROBLEMATIQUE

1.1 Historique

La période d'étude s'étendant de 1990 au premier trimestre 2004, seul le décret n°89-3 du 3 janvier 1989 a été pris en compte pour les aspects réglementaires du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

Dans le cadre de ce contrôle, des anomalies en sélénium ont été mises en évidence au début des années 90 dans certaines ressources en eau du département de l'Essonne. Etant donné, d'une part, que les teneurs en sélénium des eaux souterraines sont rarement supérieures à $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ et d'autre part l'ampleur des anomalies sur le SIE de Champcueil et environs, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France a été saisi en octobre 1995, afin d'obtenir un avis sur la gestion des non-conformités.

Le service Santé-Environnement de l'Essonne a privilégié une origine naturelle, se basant sur l'apparition d'un cas similaire dans le département de Seine-et-Marne et dans la mesure où aucune contamination d'origine superficielle n'avait pu être mise en évidence.

Considérant les données toxicologiques, le CSHPF a estimé, dans son avis de décembre 1996, que la consommation d'une eau d'une teneur de $20 \mu\text{g.L}^{-1}$ en sélénium ne représente qu'une surcharge minime et ne semble pas induire de risques cliniques. Ainsi, l'arrêté préfectoral n°97-4976 a autorisé le SIE de Champcueil et environs à distribuer de l'eau dont la teneur en sélénium dépasse les $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ sans pour autant dépasser $20 \mu\text{g.L}^{-1}$ jusqu'à exécution des travaux d'amélioration de la qualité de l'eau au plus tard pour le 1^{er} janvier 1999.

Les travaux d'amélioration ont consisté en la création d'une interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix, effective depuis décembre 2001. Elle permet l'apport d'environ un tiers des besoins sur le SIE de Champcueil et environs.

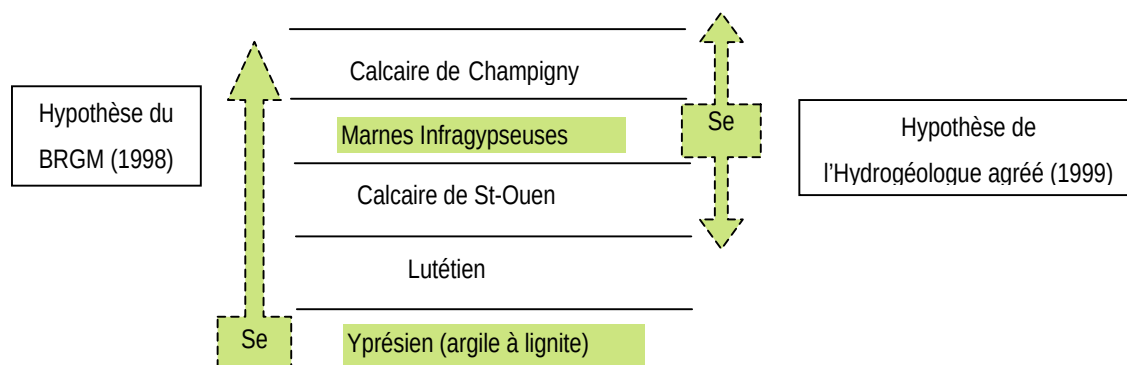
En application de l'arrêté préfectoral, le service Santé-Environnement a renforcé le contrôle sanitaire du sélénium, a mis en place un système d'alerte avec le laboratoire d'analyse (si $[\text{Se}] > 5 \mu\text{g.L}^{-1}$) et les mairies de l'unité de distribution (si $[\text{Se}] > 20 \mu\text{g.L}^{-1}$). Les consommateurs sont informés de la qualité de l'eau par des synthèses trimestrielles affichées en mairie.

Concernant l'origine du sélénium, le BRGM dans son rapport de 1998 conclut à une origine naturelle et profonde (Yprésien). Mis en solution par l'oxydation des sulfures à l'interface de la surface de la nappe avec la zone non-saturée, celui-ci remonterait dans l'aquifère par drainance verticale « *per ascensum* » (secteur non captif de la nappe).

Une autre origine géologique a été proposée par l'hydrogéologue agréé dans le cadre de l'instauration des périmètres de protection du captage de Nainville-les-Roches (« Bois Carré ») : à savoir les marnes infragypseuses intercalées entre les faciès de Champigny et de Saint-Ouen.

Un forage récent dans le Lutétien, sur la commune de Champcueil, ne présentant pas de sélénium, l'origine dans l'Yprésien ne serait fondée que dans l'hypothèse d'une dissémination des lentilles riches en lignite dans l'Yprésien.

Figure n°1 : Hypothèses géologiques proposées



1.2 Les questions posées aujourd'hui

Les valeurs en sélénium des eaux destinées à la consommation humaine restent un sujet de préoccupation sur le département : l'inquiétude porte sur l'augmentation du nombre de ressources en eau affectées, l'augmentation des concentrations en sélénium, sur l'insuffisance de l'interconnexion des réseaux pour respecter les exigences de qualité.

L'objectif de la présente étude est d'actualiser l'information relative à la présence de sélénium à l'aide des données du contrôle sanitaire, renforcé sur certains points, afin de voir si cette actualisation permet de confirmer les évolutions signalées précédemment.

Il s'agit notamment de savoir si la prise en compte de l'incertitude analytique permet d'expliquer les évolutions observées (partie 3), de déterminer l'évolution dans le temps et dans l'espace du phénomène (partie 4).

L'étude s'attache également à donner des éléments relatifs à l'hydrogéologie locale pour confirmer, ou non, les hypothèses sur l'origine du sélénium tant au niveau des captages qu'au niveau de la prise d'eau d'Itteville dans la rivière Essonne, également affectée par des teneurs en sélénium proches de l'exigence de qualité (partie 5).

2 LES OUVRAGES AFFECTES

La démarche de collecte des données est exposée précisément en annexe 4.

La recherche a porté sur les points de contrôle sur lesquels ont été mesurées des teneurs en sélénium total supérieures au seuil de quantification, soit $5 \mu\text{g.L}^{-1}$.

La carte n°1 ci-après indique l'implantation des ouvrages de production d'eau affectés par des teneurs en sélénium supérieures à $5\mu\text{g.L}^{-1}$.

2.1 Sélection des ouvrages retenus dans l'étude

L'extraction des données de la base SISE-Eaux et la recherche manuelle ont permis d'identifier 24 ouvrages de production dont 3 prises d'eau de surface et 12 stations de traitement reliées aux ouvrages de production. Comme certains de ces ouvrages ne présentent que ponctuellement des teneurs en sélénium, il n'a été retenu pour l'étude statistique que les ouvrages présentant des teneurs en sélénium :

☒ de façon fréquente (>50% des recherches de sélénium)

☒ en nombre suffisant (> 5)

Tableau n°1 : Ouvrages de production retenus pour l'étude statistique

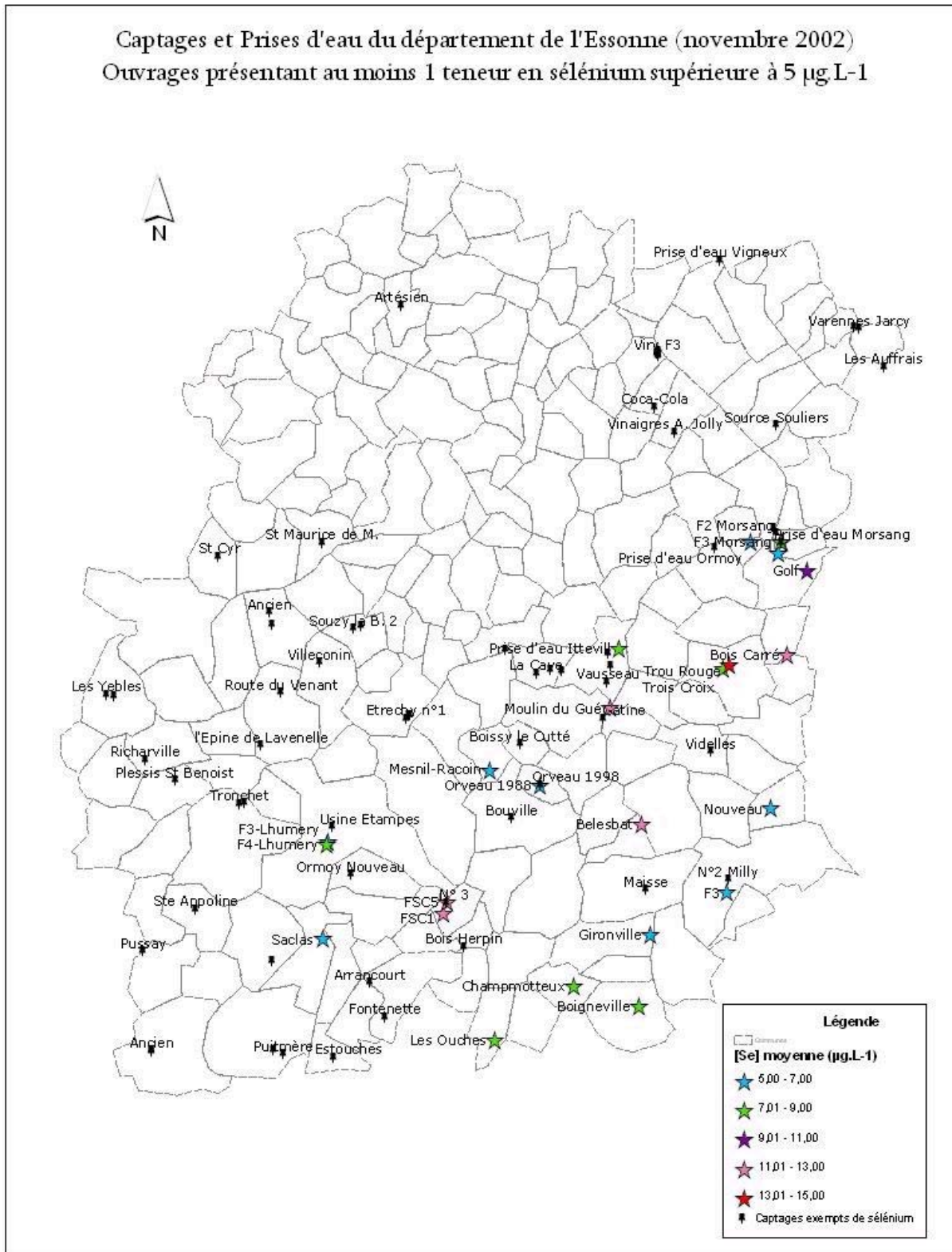
Commune	Ouvrage	Pourcentage des analyses présentant [Se] > $5 \mu\text{g.L}^{-1}$	Ressource
Champcueil	Capt. Champcueil 1 (Trou Rouge)	.*	Champigny
Champcueil	Capt Champcueil 2 (Trois Croix)	.*	Champigny
Nainville-les-Roches	Capt. Champcueil 3 (Bois Carré)	93% (SISE-EAUX)**	Champigny/Saint-Ouen
Itteville	Prise d'eau d'Itteville	48%	Essonne
Courdimanche-sur-Essonne	Capt. Belesbat	83%	Champigny
Etampes	Capt. Lhumery F3	50%	Calcaire de Brie
Morsang-sur-Seine	Capt. Morsang F2	83%	Champigny/Saint-Ouen
Saclas	Capt. Saclas	50%	Sables de Fontainebleau

*l'information n'a pu être obtenue dans SISE-Eaux.

**la base SISE-Eaux ne rapporte que 27 analyses présentant du sélénium, alors que 49 analyses supplémentaires ont pu être répertoriées par ailleurs.

Les stations de traitement associées à ces ouvrages de production sont également prises en compte. D'une part, la recherche de sélénium n'étant imposée qu'au niveau de la station de traitement pour les captages, cela permet d'avoir une série de données plus complète (capt. Saclas). D'autre part, séparer la station de traitement de l'ouvrage de pompage peut permettre d'identifier des modifications de concentration en sélénium entre l'eau brute et l'eau traitée.

Carte n°1



2.2 Description des ouvrages

Une recherche des dossiers d'autorisation des ouvrages de production a été entreprise pour connaître les particularités des ouvrages affectés. Une attention particulière a été portée à l'identification de la nappe captée : sur chaque coupe géologique, la hauteur de crépine a permis de déterminer le niveau capté. A noter que dans certaines situations, les terrains situés en dessous ou au-dessus peuvent également être sollicités par le pompage.

La description des ouvrages sélectionnés pour l'étude statistique est donnée en annexe 2 du présent rapport.

Pour le cas particulier du SIE de Champcueil et environs, les services de la DDAF et du délégataire (CGE-Agence Sud) ont été contactés pour préciser le fonctionnement de la production et de la distribution d'eau sur le syndicat (synoptique consultable en annexe 2).

Les captages du SIE de Champcueil et environs sont :

- ☒ Champcueil 3 ou « Bois Carré » : captage ayant présenté les premières anomalies. Toujours en activité, il alimente le réservoir de tête de Noisement et celui de Nainville-les-Roches soit directement, soit par l'intermédiaire du réservoir de tête.
- ☒ Champcueil 1 ou « Trou Rouge » : Arrêté depuis 2000, il alimentait le réservoir de tête de Noisement.
- ☒ Champcueil 2 ou « Trois Croix » : Captage peu exploité, il est arrêté depuis 2000 suite à son effondrement.

3 DOSAGE DU SELENIUM DANS L'EAU

L'annexe 3 reprend les méthodes disponibles de mesure du sélénium dans les eaux destinées à l'alimentation humaine.

3.1 Méthode analytique

Les différentes méthodes de spectrométrie d'absorption atomique sont les plus employées pour la mesure du sélénium.

Tableau n°2 : les méthodes d'analyse du sélénium dans l'eau

Nom	Norme	Gamme de travail (µg.L-1)	Formes analysées
Spectrométrie d'absorption atomique avec atomisation électrothermique	NF-T90-119	2 < [Se] < 50	Se total
Spectrométrie d'absorption atomique à génération d'hydrures	ISO-9965 :1993	1 < [Se] < 10	Se total et Se ^{IV} *
Spectrométrie d'émission atomique avec plasma couplé par induction	ISO EN 11885	[Se] > 75 (1996)	Se total

* SeO₃²⁻ ; HSeO₃⁻ ; H₂SeO₃ ; CaSeO₃ et MgSeO₃

En l'absence de traitement préalable, ces techniques ne permettent pas la spéciation du sélénium lors de la mesure. Aussi le contrôle sanitaire ne s'intéresse qu'au sélénium total, sans distinction de formes et d'état d'oxydation, en accord avec l'exigence de qualité.

Les techniques utilisées permettent une mesure de plus en plus précise du sélénium dans les eaux : les principaux facteurs d'interférences sont connus et les corrections mises en œuvre.

La méthode préconisée par l'AFSSA pour la mesure du sélénium est la spectrométrie d'absorption atomique à génération d'hydrures qui permet une meilleure sensibilité de la mesure. Cependant cette technique reste peu utilisée en routine pour le contrôle sanitaire.

Pourtant aucune méthode n'est réglementairement imposée, seules les caractéristiques de performances de la méthode d'analyse doivent respecter l'arrêté ministériel du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyse des échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performances. Ainsi, pour le sélénium, la justesse, la fidélité et la limite de détection ne doivent pas dépasser 10% de la valeur paramétrique (soit $1 \mu\text{g.L}^{-1}$) et la limite de quantification ne doit pas être supérieure à $5 \mu\text{g.L}^{-1}$.

3.2 Méthode utilisée en Essonne

La technique utilisée pour la mesure du sélénium par le laboratoire agréé Wolff-Environnement, devenu SGS-Multilab, est la méthode spectrométrique d'absorption atomique avec atomisation électrothermique, selon la norme NF-T90-119.

Le laboratoire agréé a fait l'ensemble des analyses depuis l'apparition des teneurs anormalement élevées en sélénium sur le département. Il a reçu son accréditation au COFRAC en 1995.

Les modifications apportées à la méthode mise en œuvre par le laboratoire portent uniquement sur le changement du matériel (mise en place de la correction par effet Zeeman) et sur l'introduction d'un modificateur de matrice (AgNO_3) pour éliminer les interférences avec les autres éléments.

En application de l'arrêté ministériel du 17 septembre 2003, le laboratoire SGS-Multilab a déterminé pour l'analyse du sélénium :

- ☒ sa limite de quantification : $5 \mu\text{g.L}^{-1}$.
- ☒ le critère de justesse : 9,21%. Il caractérise l'étroitesse de l'accord entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une large série de résultats d'essais et la valeur de référence acceptée (NF-ISO-5725-1).
- ☒ le critère de fidélité : 6,58%. Il caractérise l'étroitesse d'accord entre des résultats d'essai indépendants obtenus soit en interne, soit entre plusieurs laboratoires (NF-ISO-5725-1).

Dans le cas présent, la méthode utilisée par le laboratoire SGS-Multilab est conforme pour ces 3 paramètres aux exigences réglementaires. Par contre la limite de détection, d'après les documents fournis, serait de $2,4 \mu\text{g.L}^{-1}$, supérieure à la limite exigée ($1 \mu\text{g.L}^{-1}$) mais conforme à la norme NF-T90-119.

Le laboratoire SGS-Multilab a également déterminé l'incertitude de mesure par une approche interlaboratoire : l'incertitude obtenue est de 6,52%, elle prend en compte tous les facteurs d'influence. Cette incertitude traduit la dispersion maximum des valeurs autour de la valeur mesurée par le laboratoire. Dans l'hypothèse d'une distribution normale du paramètre mesuré, lorsque la valeur obtenue pour le sélénium est $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, l'intervalle de confiance est alors de $\text{IC}_{95} [9 ; 11] \mu\text{g.L}^{-1}$.

Il n'a pas été possible de connaître l'évolution de l'incertitude de mesure et des critères de justesse et de précision sur la période d'étude : le laboratoire n'ayant pas déterminé ces paramètres auparavant.

Néanmoins, l'incertitude analytique de la méthode ne permet pas d'expliquer à elle seule les variations de sélénium observées sur les captages et les stations de traitement du département.

4 ANALYSE DES DONNEES

Le traitement statistique des données est développé en détail en annexe 4.

Une attention particulière a été portée sur les ouvrages présentant une longue série analytique (taille d'échantillon supérieure à 30) : il s'agit des ouvrages du SIE de Champcueil et environs (captages « Bois Carré », « Trou Rouge », réservoir de Noisement et de Nainville-les-Roches) et de la prise d'eau d'Itteville.

Sur ces ouvrages, une analyse statistique a pu être réalisée avec la mise en œuvre de tests permettant d'identifier la distribution de fréquence des concentrations en sélénium sur les ouvrages (test de conformité à la loi Normale), de comparer les concentrations entre deux ouvrages (test de comparaison de moyennes et de variances) et de mettre en évidence une corrélation entre les concentrations observées sur deux ouvrages (test de significativité du coefficient de corrélation). Les tests ont été choisis en fonction de l'indépendance ou non des échantillons, de la taille des échantillons et de leur appartenance ou non à la loi normale.

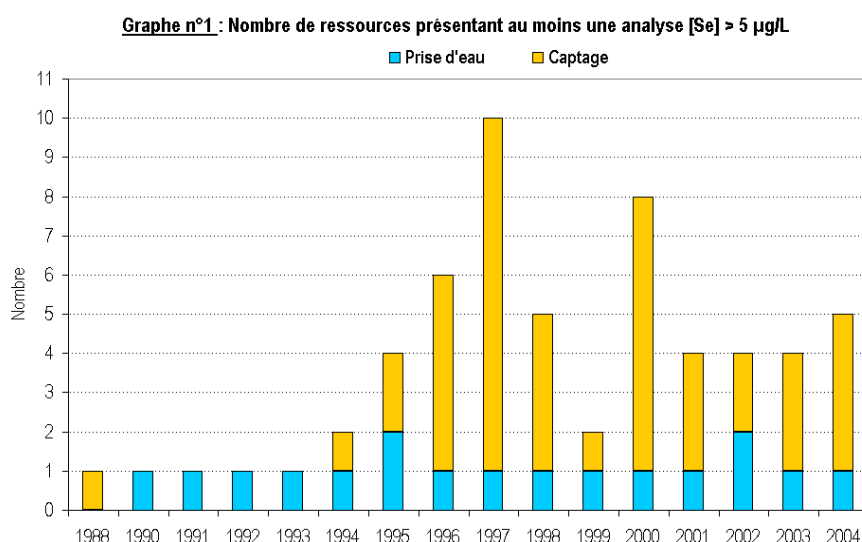
Aucun traitement de la série chronologique n'a été réalisé compte-tenu des outils et des compétences fournis pendant le stage.

Sur les ouvrages présentant peu d'observations en sélénium, aucun traitement n'a pu être réalisé. Ils ont néanmoins été pris en compte pour l'analyse géographique et temporelle du

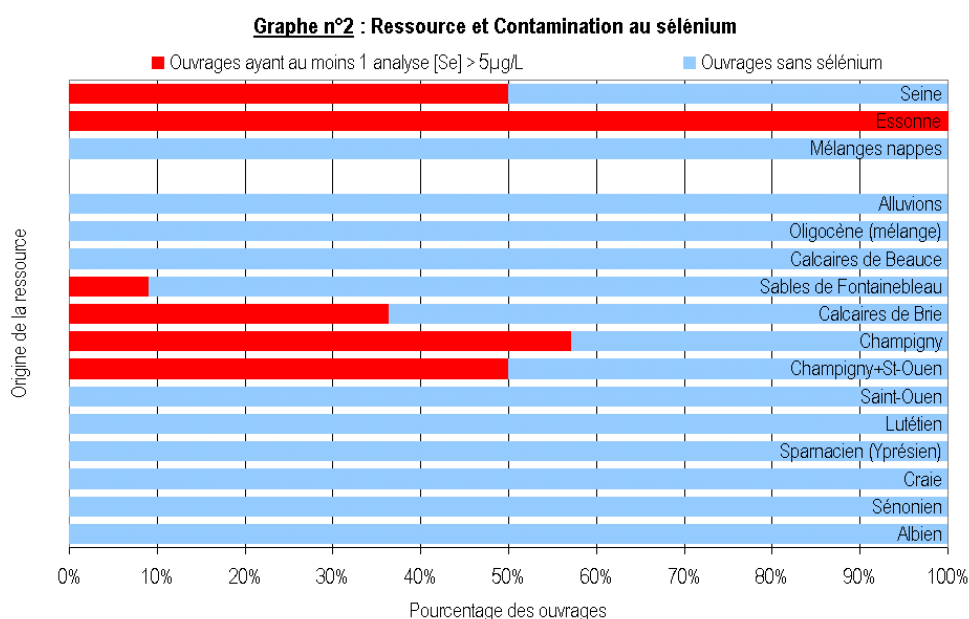
phénomène à l'échelle du département, ainsi que l'identification des aquifères principalement affectés.

4.1 Résultats obtenus sur l'ensemble des ouvrages affectés

Les anomalies en sélénium ont concerné 35% des ouvrages de production d'eau potable du département de l'Essonne sur la période 1990 à 2004 (résultat du premier trimestre uniquement en 2004).



L'année 1997 est l'année présentant le plus grand nombre de ressource concernée : 9 captages et 1 prise d'eau (graphe n°1). D'une année sur l'autre, ce ne sont pas forcément les mêmes ouvrages qui sont affectés par une anomalie en sélénium. Seuls les captages « Bois Carré », « Trou Rouge », « Morsang-F2 » et la prise d'eau d'Itteville présentent une concentration en sélénium mesurable plus de deux ans de suite.



Les principales ressources affectées par la présence de sélénium sont (graphe n°2) :

- ☒ L'aquifère des sables de Fontainebleau (9% des ouvrages exploitant cet aquifère)
- ☒ L'aquifère du calcaire de Brie (36%)
- ☒ L'aquifère du calcaire de Champigny seul (57%)
- ☒ L'aquifère des calcaires de Champigny et de Saint-Ouen (50%)
- ☒ La prise d'eau d'Essonne et les prises d'eau de la Seine (50%).

Les ouvrages exploitant les aquifères situés sous l'Eocène supérieur n'ont jamais présenté de sélénium dans leur analyse (voir stratigraphie, graphe n°2). De même, les forages industriels de Coca-Cola (Grigny) et des vinaigres Arnaud Jolly (Ris-Orangis) exploitant l'Yprésien n'ont jamais présenté de sélénium.

Pour les eaux de surfaces, pour lesquelles la recherche de sélénium est imposée à la ressource, seules deux des prises d'eau en Seine (Ormoy et Morsang-sur-Seine) ont présenté des teneurs en sélénium quantifiables, de façon très ponctuelle et avec des teneurs faibles (5 à 7 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Par contre, la prise d'eau dans la rivière Essonne (Itteville) présente régulièrement depuis 1990 des teneurs comprises entre 5 et 14 $\mu\text{g.L}^{-1}$, soit inférieures aux captages les plus affectés, mais supérieures à l'exigence de qualité.

Les anomalies en sélénium concernent principalement les aquifères du Champigny et du Champigny/Saint-Ouen (51% des ouvrages présentant au moins une analyse supérieure à 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Par ailleurs, les captages présentant des dépassements de l'exigence de qualité exploitent principalement ces aquifères (captage « Trou Rouge », « Bois Carré », « Belesbat »).

L'étude a fait apparaître que 33% des ouvrages affectés exploitent l'aquifère du calcaire de Brie, celui-ci avait été précédemment identifié sans qu'un mécanisme préférentiel de contamination en sélénium ne soit proposé (BRGM, 1998).

4.2 Ouvrages du SIE de Champcueil et environs

Pour ces ouvrages, le nombre d'observations de sélénium est supérieur à 60 sur la période d'étude (32 pour le réservoir de Noisement). Les concentrations moyennes calculées sur la période sont supérieures à 11 $\mu\text{g.L}^{-1}$, avec des concentrations maximales supérieures à 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur les captages et à 18 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur les réservoirs.

Aucune évolution particulière dans le temps n'a pu être mise en évidence sur les ouvrages.

Les distributions des observations des captages « Bois carré » et « Trou Rouge » suivent des lois normales, de même pour les observations estivales et celles hivernales. Il est possible d'en déduire, d'après les propriétés de la loi Normale, que le phénomène de contamination en sélénium est « naturel » et chronique, en opposition à un accident.

La chloration s'étant toujours faite en crépine sur ces captages, il n'est pas possible de connaître l'information sur la concentration en sélénium dans l'eau brute. La chloration modifiant la chimie des eaux, il serait intéressant d'évaluer son impact sur la mesure du sélénium total réalisé sur les captages.

Entre 1996 et 1998, une relative diminution de l'hétérogénéité des résultats semble s'observer sur les captages « Bois Carré » et « Trou Rouge », pouvant signifier une stabilisation du phénomène, étant donné que la méthode d'analyse est restée identique.

Le contrôle sanitaire ayant été modifié durant l'année 1998 sur les captages (une recherche annuelle), il y a une rupture de la série chronologique sur les captages du syndicat.

Aucune amélioration significative des teneurs en sélénium n'a pu être mise en évidence entre la situation avant l'interconnexion et celle après sur les réservoirs de Noisement et de Nainville-les-Roches.

Sur le réservoir de Noisement, l'interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix ne permet pas une dilution suffisante pour respecter l'exigence de qualité : 90% des concentrations en sélénium étant supérieures à $9 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Comme le réservoir de Nainville-les-Roches continue d'être alimenté directement par le captage « Bois Carré », l'effet positif de la dilution par l'interconnexion est encore moindre au niveau de ce réservoir.

Un effet saisonnier n'a pu être montré que sur le captage « Trou Rouge » : les concentrations moyennes mesurées en hiver sont plus élevées que celles mesurées en été ($\times 1,2$). L'effet de la pluviométrie est peu probable compte-tenu de la profondeur de l'aquifère, par contre les effets de la variation de la piézométrie ou du débit de pompage seront à étudier.

Les concentrations sur le captage « Bois Carré » sont significativement inférieures à celles sur le captage « Trou Rouge ». Ainsi ce sont les eaux des captages « Bois Carré » et « Trois Croix » qui diluaient les eaux du captage « Trou Rouge » dans le réservoir de Noisement.

Les observations sur les captages « Bois Carré » exploitant l'aquifère du Champigny/Saint-Ouen et « Trou Rouge » exploitant l'aquifère du Champigny sont significativement corrélées entre elles :

- ☒ soit il s'agit d'une migration du sélénium depuis le secteur de « Trou Rouge » vers le captage « Bois Carré » dans le sens d'écoulement de la nappe,
- ☒ soit les deux sont influencés par un même facteur temporel intervenant dans le phénomène de relargage de sélénium (piézométrie).

4.3 Prise d'eau d'Itteville (SIE de la région Hurepoix)

Le phénomène d'anomalies en sélénium s'exprime de façon différente sur la prise d'eau d'Itteville : les observations ne suivent pas une loi normale et les concentrations moyennes sont plus faibles ($\approx 7 \mu\text{g.L}^{-1}$), les concentrations maximales également ($\approx 14 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Le nombre d'observations augmente depuis 1998 (+40%), sans pouvoir mettre en évidence une augmentation significative des concentrations du fait de leur hétérogénéité.

La différence des distributions saisonnières des concentrations indique l'influence de facteurs saisonniers (débit de la rivière, phénomène saisonnier sur le bassin versant, relation entre la rivière et les nappes l'alimentant, rejet saisonnier des activités en amont).

Enfin, les procédés classiques de traitement de l'eau de surface mis en œuvre dans l'usine de production d'eau et la dilution avec les eaux en provenance du champ captant d'Itteville permettent un abattement des concentrations en sélénium en deçà du seuil de quantification en sortie d'usine.

4.4 Autres ouvrages sélectionnés pour l'étude

Le nombre d'observations est trop faible sur ces ouvrages pour réaliser une réelle analyse statistique. Les observations peuvent être très espacées sur la période d'étude, ce qui limite l'interprétation de l'évolution temporelle.

Néanmoins, sur le captage « Morsang-F2 », le contrôle annuel du sélénium indique une augmentation linéaire de la concentration en sélénium depuis décembre 2000.

De même, depuis 1996, la station de traitement de Saclas présente régulièrement des concentrations en sélénium supérieures à l'exigence de qualité, sans que cela ne s'observe au niveau du captage.

5 DISCUSSION

5.1 Actualisation des données

Au vu des résultats obtenus par l'étude de la série d'analyse du contrôle sanitaire, il n'est pas possible de parler d'une augmentation du nombre de ressources en eau affectées par le sélénium.

Concernant une amplification du phénomène au niveau des captages :

- ☒ Il ne s'observe pas d'augmentation des concentrations en sélénium mesurées au niveau des captages et prises d'eau.
- ☒ Il ne s'observe pas non plus d'augmentation du nombre d'analyses supérieures au seuil de quantification.

A l'exception, dans les deux cas, de la prise d'eau d'Itteville et du captage « Morsang-F2 » pour lesquels la fréquence de recherche du sélénium n'a pas été modifiée au cours de la période d'étude (aucun biais de fréquence d'analyse).

Pour le captage « Morsang-F2 » et le captage de Saclas, la surveillance est peut-être à renforcer pour confirmer ou non l'augmentation du sélénium dans la ressource.

Pour le SIE de Champcueil et environs, les dernières observations sur les réservoirs indiquent que la dilution n'est pas encore suffisante pour respecter l'exigence de qualité, notamment du fait du fonctionnement du réseau qui permet au captage « Bois Carré » d'alimenter directement le réservoir et la commune de Nainville-les-Roches, qui ne bénéficie pas de la dilution avec les eaux du SIE de la région Hurepoix.

5.2 Origines géologiques possibles du sélénium

Pour une meilleure compréhension, la carte n°2 et le tableau n°4 indiquent les formations géologiques et hydrogéologiques rencontrées sur le département de l'Essonne.

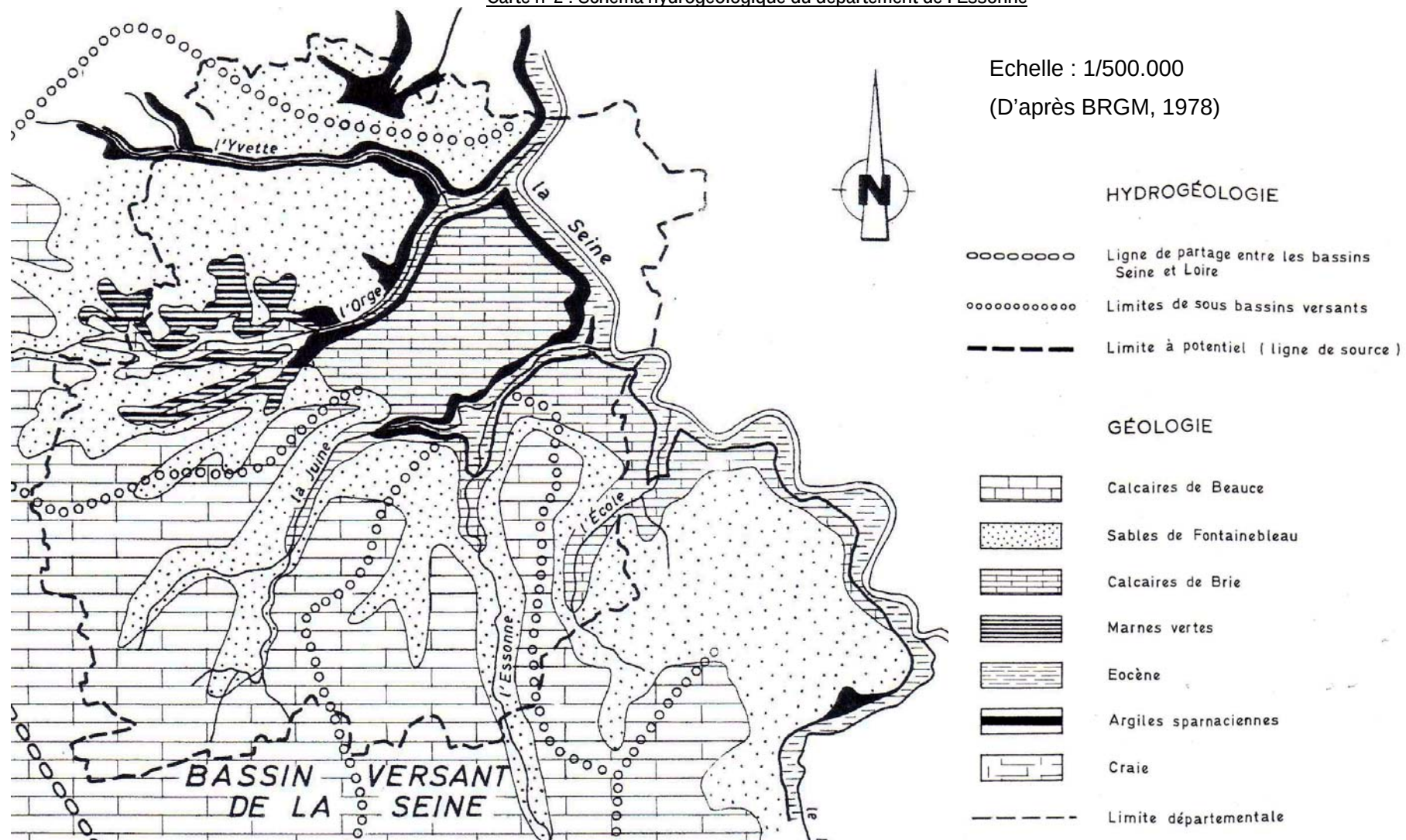
Tableau n°4 : Formations géologiques et hydrogéologiques sur l'Essonne (d'après AESN, 1974)

Système	Etages	Formations	Aquifères
Quaternaire		Alluvions	Alluvions
Oligocène	Aquiténien	Calcaire de Beauce	Aquifère multicouche de l'Oligocène (nappe de l'Oligocène)
	Stampien	Calcaire d'Etampes Sables de Fontainebleau	
		Calcaire de Brie Marnes Vertes	
Eocène supérieur	Bartonien	Marnes supragypseuses Calcaire de Champigny Marnes infragypseuses	Aquifère multicouche de l'Eocène supérieur (nappe de l'Eocène)
		Calcaire de Saint-Ouen	
Eocène moyen	Lutétien	Calcaire grossier	Aquifère multicouche de l'Eocène moyen et inférieur
Eocène inférieur	Yprésien	Sables de Cuise Sables du Soissonnais Argile à lignite et plastique	
Paléocène	Thanétien	Sables de Bracheux	Aquifère des sables de Bracheux
	Dano-Montien	Calcaires et marnes	
Crétacé supérieur	Sénonien	Craie supérieure	Aquifère de la Craie
	Turonien	Craie grise marneuse	
	Cénomanién	Craie inférieure glauconieuse Gaize sableuse ou siliceuse	

Carte n°2 : Schéma hydrogéologique du département de l'Essonne

Echelle : 1/500.000

(D'après BRGM, 1978)



5.2.1 Les hypothèses proposées

Dans le cadre de sa mission de service public, le BRGM a réalisé en 1998 une étude portant sur les anomalies en sélénium dans les eaux des captages de l'Essonne et de la Seine-et-Marne.

Le sélénium se rencontre dans des terrains géologiques correspondant à d'anciens dépôts fluviaux (grès, lignites et conglomérats à restes de plantes). Partant de ce constat, et identifiant ce type de terrains dans l'Yprésien sur le bassin de Paris, le BRGM concluait à une circulation des eaux de l'Yprésien par drainance verticale vers les aquifères sous-jacents de l'Eocène, jusqu'au aquifères de Champigny, Champigny/Saint-Ouen.

Cependant, il est apparu que des captages exploitant l'aquifère de Saint-Ouen exclusivement et des aquifères plus profonds dans l'Eocène inférieur ne présentent pas d'anomalies en sélénium. De même, il est peu vraisemblable que du sélénium remonte des niveaux Yprésien jusqu'à l'Oligocène (traversée des marnes infragypseuses, supragypseuses et marnes vertes).

Par ailleurs, le phénomène de libération du sélénium en fonction des conditions d'oxydoréduction liées au battement de la nappe, s'adapte mal en dehors du secteur Est où la nappe Eocène cesse d'être captive à semi-captive.

Aussi, une autre hypothèse a été proposée par l'hydrogéologue agréé : l'origine du sélénium serait à rechercher dans les marnes infragypseuses marquant la séparation entre le calcaire de Champigny et le calcaire de Saint-Ouen.

Les anomalies en sélénium observées sur les captages exploitant l'aquifère de l'Oligocène (calcaire de Brie, sables de Fontainebleau) pourraient être expliquées :

- ☐ par un phénomène équivalent à celui proposé par le BRGM mais à partir des marnes infragypseuses sous l'hypothèse que la faible drainance à travers les marnes supragypseuses et vertes est suffisante pour contaminer les nappes sous-jacentes.
- ☐ par la mise en communication de la nappe Oligocène avec celle Eocène dans les secteurs où les marnes vertes, séparant les deux nappes, sont fortement érodées (BRGM, 1978). Notamment, dans le Sud du département et dans la zone de cressonnières à l'amont de La Ferté-Alais.
- ☐ par une origine du sélénium dans les marnes supragypseuses et vertes ou dans le calcaire d'Etampes pouvant contenir des lignites (BRGM, 2001). Le calcaire d'Etampes est retrouvé sur les coupes géologiques de certains captages exploitant la nappe de l'Oligocène dans le Sud du département.

La différence de concentrations en sélénium observées, plus élevées dans l'Eocène, pourrait s'expliquer soit par un phénomène de dilution du sélénium dans l'Oligocène

lorsqu'il y a communication des deux nappes, soit par une source géologique de moindre importance (calcaire d'Etampes).

Ainsi, trois secteurs pourraient se dessiner :

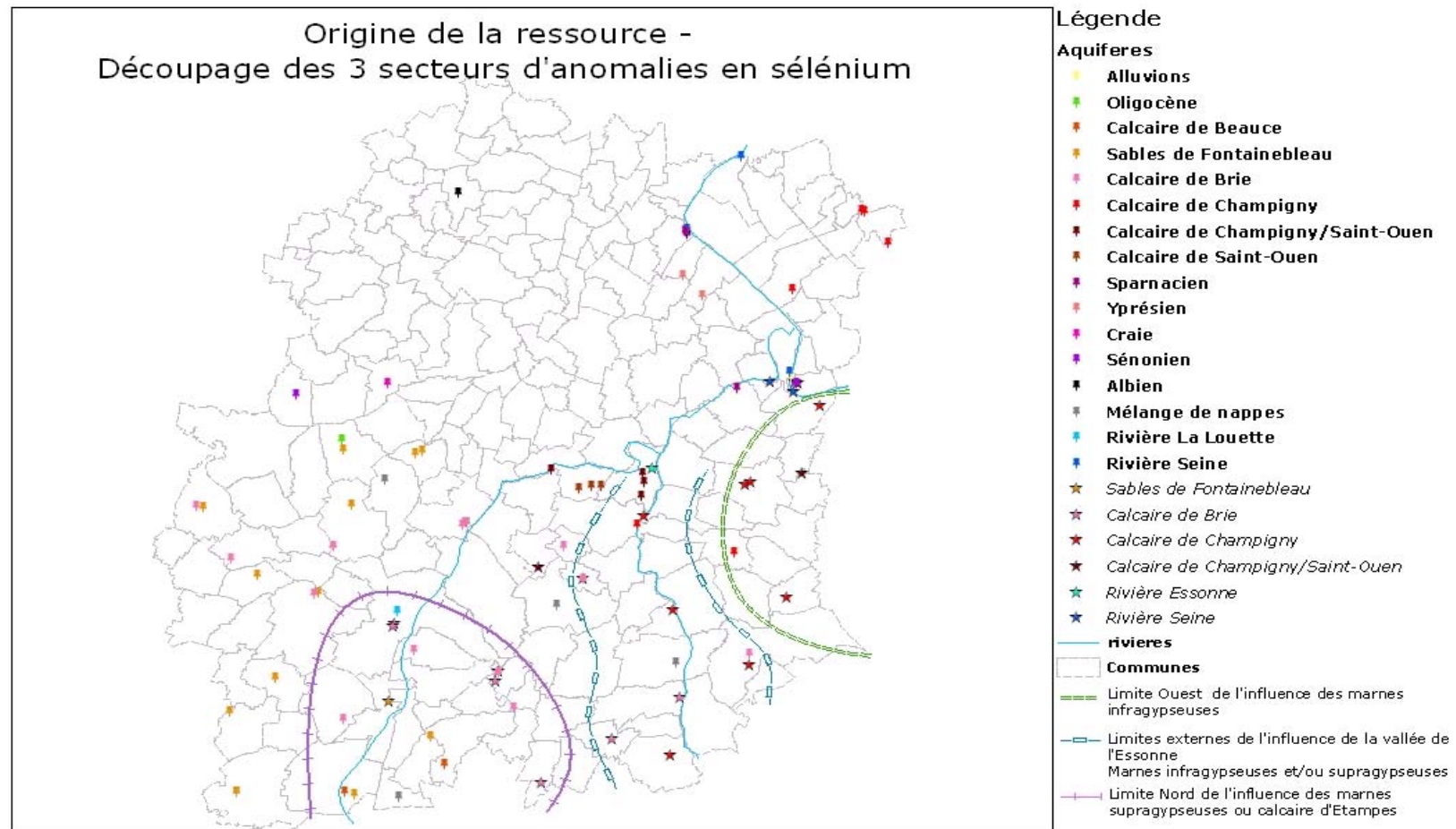
- ☐ Dans la partie Est du département, l'origine du sélénium dans l'aquifère de Champigny serait liée aux marnes infragypseuses,
- ☐ Le long de la vallée de l'Essonne, en amont de la Ferté-Alais, le sélénium observé dans la nappe de l'Oligocène serait lié à la mise en communication des deux nappes, avec une origine dans les marnes infragypseuses et/ou supragypseuses,
- ☐ Au Sud-Ouest, l'origine du sélénium serait liée soit aux marnes supragypseuses, soit au calcaire d'Etampes présentant des lignites.

La carte n°3 reprend l'ensemble des captages du département de l'Essonne en fonction de l'origine hydrogéologique de la ressource, ainsi que les trois secteurs d'origine géologique du sélénium différents décrits ci-dessus.

La discontinuité des chenaux de dépôts à l'origine du sélénium peut permettre d'expliquer que deux captages proches et présentant les mêmes caractéristiques géologiques ne sont pas pareillement affectés par des teneurs en sélénium (cas des captages d'Orveau).

La comparaison des hauteurs de pompage des ouvrages n'a pas permis d'identifier un niveau de l'aquifère présentant plus particulièrement du sélénium.

Carte n°3



5.2.2 Perspectives

Les hypothèses sur l'origine géologique du sélénium pourront être confirmées ou non par des études géologiques approfondies, notamment en prenant en considération des forages autres que ceux destinés à la production d'eau de consommation humaine.

La mise en évidence par le BRGM d'une relation entre le niveau statique de la nappe et la concentration en sélénium dans le captage « Bois Carré » n'a pu être confirmée dans cette étude par absence de données piézométriques sur le secteur de Champcueil. Les relevés piézométriques sur les aquifères affectés par le sélénium concernent des secteurs où les anomalies sont trop ponctuelles, ce qui ne permet pas d'étudier la relation entre piézométrie et concentration en sélénium.

Les débits de production mensuels ont été demandés au délégataire exploitant les captages du SIE de Champcueil et environs pour les années 1996 et 1997, correspondant aux années où les observations en sélénium sont les plus nombreuses. Il n'a pas été possible au délégataire de fournir cette information : les débits de pompage étant enregistrés à l'époque sur format papier, ils n'apparaissent pas dans leur base de données.

Lors de la mise en conformité de l'ouvrage concernant la chloration en crépine, il pourrait être intéressant d'observer l'impact sur la spéciation du sélénium de l'arrêt de l'oxydation puissante des eaux due à la chloration en crépine.

Le BRGM préconisait également dans son rapport de réaliser des analyses sur les eaux pour rechercher le sélénium et un cortège d'éléments pouvant être associé : sulfates, uranium, pH et Eh.

Cet aspect sera traité ultérieurement par le laboratoire de Géochimie et Métallogénie de l'université Pierre et Marie Curie (Paris-VI), qui se propose d'étudier l'état d'équilibre ou non entre les phases minérales et la phase aqueuse et d'identifier les réactions chimiques à l'origine des concentrations en sélénium (Castrec-Rouelle, 2004).

5.3 Cas de la rivière Essonne

Le sélénium est généralement présent dans les eaux de surface à des concentrations de l'ordre de 0,1 à 0,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Lemly, 1997). En Belgique, les valeurs observées sont comprises entre 0,05 et 0,58 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur des cours d'eau jugés « non pollués » (Robberecht & all., 1981). Enfin, en France, la référence trouvée indique une concentration comprise entre de 2 et 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sur le fleuve Rhône (Montiel, 1981).

5.3.1 Origines possibles

L'étude des données a permis de mettre en évidence que d'autres facteurs interviennent dans l'apparition d'anomalies en sélénium dans la rivière Essonne, milieu plus sujet à des variations qu'une nappe profonde.

L'hypothèse privilégiée reste une origine géochimique, la vallée de l'Essonne recoupant les niveaux géologiques ayant présentés des contaminations en sélénium sur certains captages.

Cependant, il est intéressant d'identifier les autres sources potentielles sur le bassin versant, source sur lesquelles il sera possible d'agir le cas échéant.

A) Origine industrielle

Le sélénium est utilisé dans l'industrie électronique (cellules photoélectriques, photopiles...) et photographique (photocopieuses, imprimantes laser, radiographie...), l'industrie du caoutchouc, l'industrie chimique (catalyseur), les pigments et les additifs pour la transformation du métal et de la verrerie, et dans l'industrie pharmaceutique (traitement dermatologique et cosmétiques). Le sélénium est également un sous-produit de certaines activités industrielles, comme l'affinage du cuivre et l'exploitation, le stockage et la combustion du charbon et du pétrole. Toutes ces activités sont susceptibles de rejeter du sélénium dans l'environnement soit sous forme atmosphérique (cendres et particules qui sont redéposées par les précipitations), soit par rejet plus ou moins direct, soit par lessivage et ruissellements sur les zones de stockage.

D'après l'arrêté du 1^{er} mars 1993 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des ICPE soumises à autorisation, le sélénium fait partie des contaminants atmosphériques à surveiller, mais il n'est pas repris dans les paramètres à surveiller dans les rejets aqueux.

Ainsi, en France, l'industrie fut responsable de 92% des émissions atmosphériques (11 t en 1998), dont 6% lié à la production d'énergie (centrales thermiques). Les rejets atmosphériques augmentent depuis 1990 (Miquel, 2001).

Par ailleurs, les industries du textile, du verre, de l'imprimerie et de la métallurgie ont déjà été identifiées comme contribuant à la contamination en sélénium des eaux souterraines (Miquel, 2003).

B) Origine agricole

De faibles quantités de sélénium sont essentielles à la croissance des plantes et des animaux, c'est pourquoi ces composés sont incorporés aux engrais, pesticides et compléments alimentaires des animaux d'élevage.

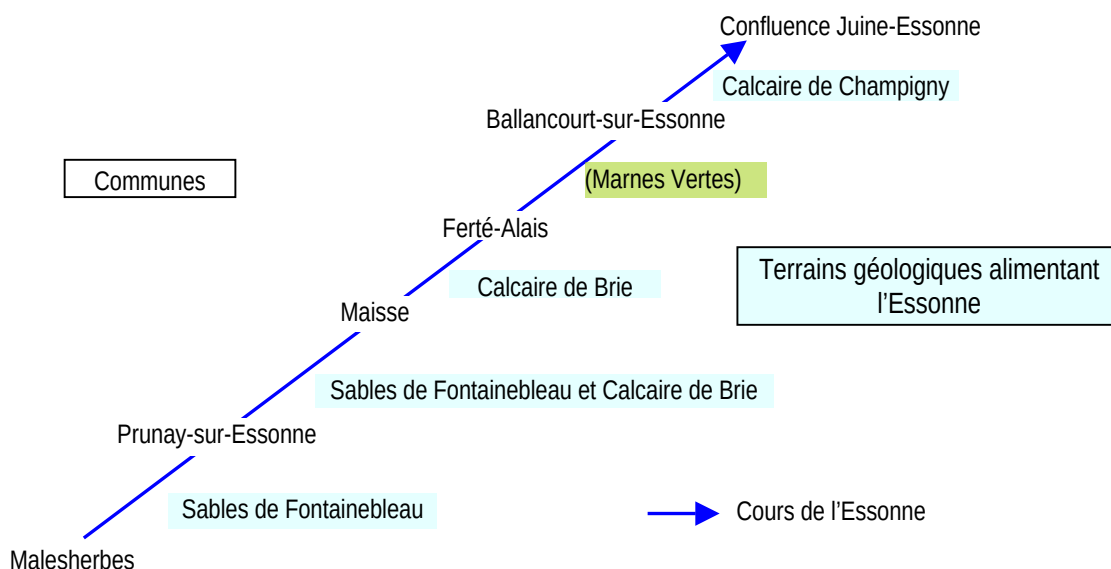
Le sélénium fait également partie des éléments traces pouvant être retrouvés dans les boues des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines utilisées en épandage agricole. L'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles indique que ce paramètre n'est à analyser qu'en cas d'épandage sur une zone de pâturage. Par ailleurs, la norme NFU-44-041 fixant les concentrations en éléments traces à respecter dans les boues destinées à l'épandage agricole donne comme limite pour le sélénium 200 mg.(kg de matières sèches)⁻¹.

Cependant la littérature indique que le sélénium contenu dans des boues est peu mobile dans le sol : il ne migre que sur quelques dizaines de centimètres dans le cas d'épandage de boues chargées en sélénium (Zawislanski et coll., 2003). Par contre le ruissellement sur des terrains amendés peut être à l'origine d'apport dans le cours d'eau.

5.3.2 Géologie de la vallée de l'Essonne

L'Essonne est essentiellement alimentée par le débordement du système de Beauce (nappes Oligocène et Eocène) en raison de la faible importance du ruissellement sur le bassin versant. La nappe Oligocène alimente le cours d'eau de l'amont jusqu'à Ballancourt-sur-Essonne, et la nappe de l'Eocène l'alimente en aval de Ballancourt-sur-Essonne. Rappelons qu'à l'amont de la Ferté-Alais, l'érosion des marnes vertes permettrait la communication entre les deux nappes (BRGM, 1978).

Figure n°3 : Modes d'alimentation de la rivière Essonne (BRGM, 2001)



Entre la Ferté-Alais et Ballancourt-sur-Essonne, donc au niveau d'Itteville, la rivière Essonne coule dans les Marnes Vertes, frontière entre l'Eocène et l'Oligocène.

La rivière Essonne est également alimentée par les sources du calcaire de Brie (77%), des sables de Fontainebleau (9%) et du calcaire d'Etampes (14%). Une partie de ces sources

est exploitée par les cressonnières implantées à proximité de la rivière Essonne (20 en activité en 2000). La tableau 3 reprend les résultats d'analyse en sélénium effectuée au niveau des cressonnières (1998-99) et des captages situés sur les même communes.

Tableau n°4 : Résultat d'analyse au niveau des cressonnières et des captages à proximité

	Prélèvement	Fréquence	[Se] $\mu\text{g.L}^{-1}$	Aquifère
Boigneville	3 Cressonnières	-	5 / 7 / 7,7	-
	Capt. Boigneville	40%	7,8	Champigny
Gironville-sur-Essonne	Capt. Gironville	50%	7	Calcaire de Brie
Maisse	Cressonnière	-	7,8	-
Courdimanche-sur-Essonne	Cressonnière	-	9	-
	Capt. Belesbat	83%	8,70	Champigny

Du sélénium a été observé au niveau des cressonnières dans le secteur où la rivière Essonne est alimentée par les sables de Fontainebleau et/ou les calcaires de Brie.

A noter que d'une part du sélénium n'a pas été observé sur toutes les cressonnières de la vallée de l'Essonne, d'autre part, du sélénium a également été observé au niveau de cressonnières de la vallée de la Juine (alimentation des sources par le calcaire d'Etampes et les sables de Fontainebleau).

Depuis fin 1998, après une période de sécheresse entre 1990 et 1995, la nappe de la Beauce s'est rechargée jusqu'à son niveau record de 1983. Ce qui a entraîné une augmentation des débits journaliers mesurés à Ballancourt-sur-Essonne, avec l'observation de crues plus fréquentes et plus intenses (SIARCE, 2002). Parallèlement, les observations de sélénium sont de plus en plus nombreuses depuis 1998 sur la station d'Itteville, les concentrations semblent augmenter (+50%)¹.

Cette modification des conditions hydrauliques et donc d'oxydoréduction peut entraîner une remobilisation du sélénium stocké dans les premiers centimètres à la surface des sédiments où il est adsorbé sur la matière organique. La relative augmentation de la concentration en sélénium dans la prise d'eau d'Itteville pourrait être liée au relargage du sélénium stocké dans les sédiments, et/ou à l'apport en eau de la nappe de Beauce, chargée en sélénium.

Il apparaît donc que l'hypothèse d'une origine géologique du sélénium observé au niveau de la prise d'eau d'Itteville est valable compte-tenu de la concordance d'alimentation de la rivière et des captages affectés par des anomalies en sélénium. Par ailleurs, à hauteur d'Itteville, l'Essonne coule sur les marnes vertes, réservoir potentiel en sélénium.

5.3.3 Perspectives

Pour bien identifier la problématique du sélénium dans la rivière Essonne, une campagne de mesure devra être réalisée sur le cours de la rivière Essonne et au niveau des sources

¹ Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les moyennes annuelles.

de la vallée (cressonnières). Ainsi il sera possible de déterminer à partir de quel secteur du sélénium est quantifiable dans la rivière et depuis quel faciès géologique.

Dans le cadre du recensement des rejets dans l'Essonne réalisé par le SIARCE, il serait intéressant d'identifier les industries susceptibles de rejeter du sélénium dans le milieu à l'amont de la prise d'eau d'Itteville.

A noter la toxicité pour l'écosystème aquatique du sélénium à partir d'une concentration de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$: à ces faibles niveaux des effets sur la reproduction (effet tératogène, échec de la reproduction) et sur la survie des espèces aquatiques ont été observés. Par ailleurs, le sélénium a un fort potentiel de biomagnification² et de bioaccumulation³ dans la chaîne alimentaire : selon les espèces et les tissus à une multiplication par 100 à plus de 30.000 fois la concentration dans l'eau (Lemly, 1997). Ces effets ont conduit les autorités en charge de la santé publique aux Etats-Unis à édicter des restrictions de consommation de poisson et de gibiers sur certains secteurs contaminés.

Il n'existe pas de critère de qualité des eaux de surface sur le sélénium en France. Par contre, aux Etats-Unis, le critère pour la protection de la biodiversité des eaux continentales est de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour les eaux de surface (US-EPA, 2002).

Il pourrait être intéressant dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires de vérifier si les concentrations observées dans l'Essonne conduisent à une bioaccumulation et une biomagnification au niveau des organismes pouvant être consommés par les pêcheurs. Ceci également au niveau du cresson cultivé à partir de sources contaminées en sélénium.

Pour la production d'eau destinée à l'alimentation humaine, l'eau en sortie de traitement sur l'usine de production d'Itteville présente rarement des concentrations en sélénium supérieures à l'exigence de qualité (une seule analyse supérieure à l'exigence de qualité en 1990). Il ne semble pas nécessaire d'ajouter une unité de traitement supplémentaire spécifique pour le sélénium.

² Augmentation à chaque maillon de la chaîne trophique de la concentration d'une substance.

³ Processus d'assimilation et de concentration d'une substance dans l'organisme.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, il apparaît qu'il n'y a eu que peu de modification des teneurs en sélénium de certains ouvrages de production d'eau sur le département depuis les premières observations.

A l'exception de deux ressources, la prise d'eau d'Itteville et un captage de Morsang-sur-Seine, aucune accentuation du phénomène n'est observée sur le département : le nombre de ressource affectée reste constant et il n'a pas été montré d'augmentation significative des concentrations mesurées.

L'analyse statistique a permis de confirmer que l'origine la plus probable des teneurs anormales en sélénium dans les ressources en eau du département reste une origine naturelle géochimique, aussi bien pour les eaux souterraines que superficielles.

L'étude de la géologie du département en rapport avec les captages affectés et la géologie de la rivière Essonne a permis de proposer un découpage du secteur affecté par les anomalies en sélénium en trois zones pour lesquelles le sélénium pourrait avoir une origine différente. Si l'origine dans l'Yprésien du sélénium est remise en cause, il n'est pas possible à ce niveau d'identifier clairement les formations géologiques sources de sélénium, notamment au niveau des marnes (infragypseuses, supragypseuses et vertes).

Il apparaît alors que les connaissances restent limitées sur l'évolution des teneurs sélénium rencontrées sur le département.

D'une part, le contrôle sanitaire n'est pas suffisant sur certaines ressources pour permettre de mieux comprendre le phénomène. Des analyses statistiques n'ont pu être réalisées que sur les ressources dont le nombre annuel de recherche en sélénium est important soit du fait de la production de la ressource (prise d'eau d'Itteville), soit du fait d'un renforcement du contrôle sanitaire suite à une première alerte (SIE de Champcueil et environs).

D'autre part, les connaissances sur la géologie et la géochimie ne sont pas suffisantes pour identifier clairement les sources du sélénium sur le département.

Il est donc nécessaire de renforcer les connaissances par de nouvelles études d'ordre :

- ❶ géologique : répartition géographique des marnes infragypseuses et supragypseuses, des marnes vertes et du calcaire d'Etampes, prise en considération des forages agricoles et industriels.
- ❷ géochimique : spéciation du sélénium, analyse de paramètres chimiques associés pouvant permettre de mieux identifier les mécanismes de relargage du sélénium dans la ressource et la nature des terrains sources.

Une campagne de prélèvement sur la rivière Essonne concernant les eaux, les sédiments et les organismes permettra de compléter l'information sur les tronçons du cours d'eau affectés, sur la contamination de la chaîne alimentaire. Cette dernière information pourra être utile à l'élaboration d'une évaluation du risque sanitaire lié à la consommation de poissons et de végétaux contaminés par du sélénium.

Concernant la gestion de la non-conformité du SIE de Champcueil et environs, dont l'eau distribuée ne satisfait toujours pas à l'exigence de qualité de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, les actions possibles portant sur :

- l'arrêt de l'alimentation directe de la commune et du réservoir de Nainville-les-Roches par le captage « Bois Carré » pour que la dilution soit profitable à toutes les unités de distribution,
- l'augmentation de la dilution en important un volume plus important depuis le SIE de la région Hurepoix,
- la mise en place d'un traitement spécifique du sélénium au niveau du captage « Bois Carré ».

Interrogé par le parlement en mai 2003 sur ce problème de non-conformité liée à une ressource naturellement contaminée, le Ministère en charge de la Santé a réaffirmé l'importance du respect de la réglementation et à indiquer qu'il existait des techniques de traitement (filtration sur alumine activée ou sur dioxyde de manganèse) et des aides financières (Agence de l'Eau, fonds européens, Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau et Conseil Général).

Quelle que soit la solution technique envisagée, le SIE de Champcueil et environs devra faire une demande de dérogation selon les dispositions de l'article 24 du décret n°2001-51.

Bibliographie

- œ AFNOR (1994) - *Qualité de l'eau – Recueil de normes françaises 1994*. Saint-Denis-La-Plaine : Editions AFNOR. ?p.
- œ Berger P., Roussel Ph.(1978) - *Alimentation en eau des communes de la zone rurale de l'Essonne – Vulnérabilité des réservoirs aquifères*. Paris : BRGM, service géologique régional Bassin de Paris. 102 p (+annexes). N°78-SGN610-BDP.
- œ BOIRE (1994) – *Etude d'environnement et rechercher des causes des concentrations en sélénium – Forage de reconnaissance de Pontcarré (77)*. Saint-Remy-les-Chevreuses : Société BOIRE. 22 p (+ annexes).
- œ Castrec-Rouelle M. (2004) - *Sélénium*. Paris : Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Géochimie et Métallogénie. 14 p.
- œ Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (1996) – Compte-rendu de la séance du 19 mars 1996. Dossier n°950080.
- œ Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (1996) – Compte-rendu de la séance du 22 octobre 1996. Dossier n°950080.
- œ Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (1996) – Compte-rendu de la séance du 19 novembre 1996. Dossier n°950080.
- œ Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (1996) – Compte-rendu de la séance du 17 décembre 1996. Dossier n°950080.
- œ Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (1998) – Compte-rendu de la séance du 10 février 1998. Dossier n°970059.
- œ Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France (1999) – Compte-rendu de la séance du 18 mai 1999. Dossier n°990002.
- œ Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, Service Santé-Environnement (1995) – *Pollution du captage de Nainville-les-Roches "Bois Carré" par du sélénium et des métaux*. Evry : DDASS. 6 p (+ annexes).
- œ Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, Service Santé-Environnement (1997) – *Le sélénium dans l'eau de consommation humaine. Recherche d'une "pollution"; suivi des teneurs, définitions d'une position sanitaire, résolution d'une "crise"*. Evry : DDASS. ?p.
- œ Duvoid I. (1999) – *Le sélénium, un élément essentiel parfois redoutable ou le rapport bénéfice/risque du sélénium*. Lyon : ENSIB/Université Claude Bernard, Lyon I. 99 p.
- œ Lemly AD. (1997) - Environmental implications of excessive selenium : a review. *Biomedical and environmental sciences*, vol 10, n°4, p.415-435.

- œ Mégnien C. (1999) – *Avis sur les disponibilités en eau et les périmètres de protection du forage de Nainville-les-Roches (91)*. Saint-Maur : Mégnien. 7 p. (+ annexes).
- œ Miquel G. (2001) - *Effet des métaux lourds sur l'environnement et la santé*. Rapport d'information du Sénat, n°261. En ligne: <http://www.senat.fr/rap/I00-261/I00-261.html>
- œ Miquel G., Revol H. (2003) - *La qualité de l'eau et de l'assainissement en France*. Rapport d'information du Sénat n°215, tome 1. En ligne: <http://www.senat.fr/rap/I02-215-1/I02-215-1.html>
- œ Rail CD, Hadley WM. (1976) - Selenium in water an overview. *Journal of environmental health*, vol 39, n°3, p.173-175
- œ Reddy K.J., Zhang Z., Blaylock M., Vance G.F. (1995) - Method for detecting selenium speciation in groundwater. *Environmental Science Technology*, vol. 29, p.1754-1759.
- œ Robberecht H., Van Grieken R. (1982) - Selenium in environmental waters : determination, speciation and concentration levels. *Talanta*, vol.29, p 823-844.
- œ Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L. (1996) - *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 8^{ème} édition. Paris : Dunod. 1383 p.
- œ Scherrer B. (1984) - *Biostatistique*. Boucherville (Québec) : Gaëtan Morin éditeur. 850 p.
- œ SIARCE. (2002) – *Etude de l'impact quantitatif et qualitatif des zones de résurgences et des sources sur la rivière Essonne dans le département de l'Essonne*. Corbeil-Essonne : SIARCE. ??p.
- œ Vernoux J.F., Barbier J., Chery L. (1998) - *Les anomalies en sélénium dans les captages d'Ile-de-France (Essonne, Seine-et-Marne)*. Paris : BRGM, BRGM, Service Géologique Régional Ile-de-France. 45 p (+ annexes) N°R40114.
- œ Vernoux J.F., Le Nindre Y.M., Martin J.C. (2001) - *Relations nappe-rivière et impact des prélèvements d'eau souterraine sur le débit des cours d'eau dans le bassin de la Juine et de l'Essonne*. Paris : BRGM, Service Géologique Régional Ile-de-France. 159 p. N°RP-50637-FR.
- œ Zawislanski P., Benson S.M., Terberg R., Borglin S.E. (2003) - Selenium speciation, solubility, and mobility in land-disposed dredged sediments. *Environmental Science Technology*, vol. 37, p. 2415-2420.

Non lus mais référence reprise d'un ouvrage consulté

- œ Agence de l'Eau Seine-Normandie (1974) – *Les Bassins de la Seine et les cours d'eau normands*. Nanterre : AESN. ? p. tome 1, fascicule 4.
- œ Robberecht H., Van Grieken R. (1980) - *Trace substances in Environmental Health*. XIV, D.D.Hemphill (ed.), p.362, Univ. Missouri, Columbia.
- œ Montiel A. (1981) – *Analisis*. vol 9, p.112.

Sites Internet consultés

- œ Base Infoterre – Banque du Sous-Sol : <http://infoterre.brgm.fr/>
- œ Compilation of National Recommended Water Quality Criteria – US-EPA - <http://www.epa.gov/waterscience/standards/wqcriteria.html>
- œ Etude de la normalité d'une distribution – Utilisation du test de Kolmogorov-Smirnov <http://sn1.chez.tiscali.fr/calculs/normale/norma.html#smirnov>
- œ Réseau piézométrique du Bassin Seine-Normandie. <http://aesn.brgm.fr/piezo/piezo.dbc>

Références juridiques

- œ Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles.
- œ Décret n°2001-1220 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.
- œ Arrêté du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyse des échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performance.
- œ Arrêté du 1er mars 1993 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

Liste des annexes

ANNEXE 1 : HISTORIQUE	II
ANNEXE 2 : DESCRIPTION DES OUVRAGES SELECTIONNES	VI
ANNEXE 3 : METHODE ANALYTIQUE DU SELENIUM	XIII
ANNEXE N°4 : TRAITEMENT DES DONNEES	XVII
ANNEXE N°5 : RÉSULTATS NUMÉRIQUES.....	LI
ANNEXE N°6 : LISTE DES CONTACTS ET CALENDRIER DU STAGE	LVIII

Annexe 1 : Historique

Le contrôle sanitaire, défini par le décret n°89-3 du 3 janvier 1989⁴, prévoit la recherche du sélénium au point de pompage pour les eaux superficielles (1 à 12 analyses par an selon le débit de pompage) et après traitement pour les eaux souterraines et superficielles (au moins une fois tous les ans).

Dans le cadre de ce contrôle, des teneurs anormalement élevée en sélénium ont été mises en évidence dès 1993 sur le captage « Bois Carré » du SIE de Champcueil et environs.

Les concentrations et la fréquence d'apparition ont augmenté en 1994 et 1995 conduisant à la saisine du Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France en octobre 1995 afin d'obtenir un avis sur la gestion du problème.

Dans son rapport de demande de saisine, le service Santé-Environnement de la DDASS de l'Essonne formule plusieurs hypothèses sur l'origine des anomalies en Sélénium :

- ❶ une contamination par les eaux de surface, par passage préférentiel,
- ❷ une origine naturelle, se basant sur un cas similaire dans le département de Seine-et-Marne.

Les hypothèses d'une contamination par le réseau de collecte des effluents de la station d'épuration et par épandage agricole de boues de station d'épuration ont été rejetées, aucune contamination organique de la nappe n'ayant été mise en évidence.

Durant l'année 1996, le Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique de France a demandé des données complémentaires pour statuer : un renforcement de la surveillance de la ressource est mis en place, et un pompage d'essai est réalisé durant l'été 1996.

Le rapport sur le pompage d'essai indique une circulation rapide dans les aquifères et que la qualité de l'eau est constante. Cependant, cet essai est jugé trop court pour mettre en évidence des relations entre débit de composition chimique de l'eau (BRGM, 1998).

Dans son avis de décembre 1996, aux vues des données bibliographiques, le Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique estime que la consommation d'une eau à 20 µg.L⁻¹ de sélénium ne représente qu'une surcharge minime et ne semble pas induire de risques cliniques.

⁴ Abrogé par le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié aux articles R.1321-1 à D1321-105 du Code de la Santé Publique.

Dans son avis du 12 janvier 1997, il indique qu'une dérogation est possible sous réserve :

- ❏ que la concentration en sélénium reste inférieure à $20 \mu\text{g.L}^{-1}$,
- ❏ que la population soit informée si la concentration est supérieure à $10 \mu\text{g.L}^{-1}$,
- ❏ qu'une étude sur les possibilités d'utiliser d'autres ressources de substitution soit réalisée sous 6 mois,
- ❏ qu'une campagne de suivi hebdomadaire sur les forages concernés et que l'étude de l'influence possible des épisodes de pluies sur la concentration en Sélénium soient réalisées sous 6 mois.

Pour répondre à ces conditions, le SIE de Champcueil et environs étudie les possibilités d'amélioration de la ressource en eau. Les propositions portent sur la réalisation d'un forage dans la nappe du Lutétien et sur une interconnexion avec un autre syndicat.

Le rapport d'octobre 1997 sur l'influence possible des précipitations sur la concentration en sélénium ne permet pas de conclure à une relation possible, les données pluviométriques n'étant pas exploitables.

L'arrêté préfectoral n°97-4976 autorise provisoirement le SIE de Champcueil et environs à distribuer de l'eau dont la teneur en sélénium dépasse les $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ et fixe un délai d'exécution des travaux d'amélioration de la qualité de l'eau au 1^{er} janvier 1999. Les travaux d'amélioration passent :

- ❏ par la réalisation d'un forage de reconnaissance et si les résultats sont satisfaisants en qualité et en quantité, par la réalisation d'un forage définitif,
- ❏ par la création d'une interconnexion si la solution du forage de reconnaissance n'est pas envisageable.

Conformément à l'arrêté préfectoral, le service Santé-Environnement établit un programme trimestriel d'information des consommateurs et renforce le contrôle sanitaire en mars 1997 :

- ❏ Par le contrôle sanitaire :
 - ☒ En distribution : 2 analyses par mois
 - ☒ Sur le captage : 1 analyse par an
 - ☒ Sur les réservoirs : Noisement (4 analyses par an) Nainville-les-Roches (3 analyses par an)
- ❏ Par l'autosurveillance : 1 analyse par mois en distribution, le même jour sur toutes les communes desservies.

En avril 1998, le forage de reconnaissance ne présentant pas les caractéristiques suffisantes pour une production d'eau, l'option de la création d'une nouvelle ressource est donc abandonnée. La solution choisie est alors une interconnexion avec le SIE de la région du Hurepoix, qui présente les meilleures garanties de diversification de la ressource.

En 1998, l'étude du BRGM sur « Les anomalies en sélénium dans les eaux des captages d'Ile-de-France (Essonne, Seine-et-Marne) » conclut à une origine naturelle et profonde (Yprésien) du sélénium. La mise en solution serait due à l'oxydation des sulfures, à l'interface de la nappe avec la zone non-saturée. Il met également en évidence une relation entre le niveau statique de la nappe et la concentration en sélénium : la concentration augmente quand le niveau statique de la nappe baisse ($R^2 = 0,58^5$) (BRGM, 1998).

Par ailleurs, dans le cadre de la demande d'utilité publique du captage « Bois Carré », l'hydrogéologue agréé propose une origine (Mégrien, 1999) :

- ❏ anthropique : infiltration des eaux du fossé de drainage dans lequel se jettent les effluents de la station d'épuration de Champcueil, ou depuis les épandages de boues de station d'épuration à proximité du captage,
- ❏ naturelle du Sélénium à rechercher dans les marnes infragypseuses intercalées entre les faciès de Champigny et de Saint-Ouen. S'opposant ainsi aux conclusions du rapport du BRGM : un forage récent dans le lutétien, sur la commune de Champcueil, ne présentant pas de Sélénium, l'origine dans l'Yprésien ne serait pas fondée.

L'avis de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire et Aliments du 18 mai 1998, concernant un problème équivalent rencontré dans les départements de Seine-et-Marne et du Loiret :

- ❏ estime que la consommation est tolérée pour une teneur en sélénium inférieure ou égale à $20 \mu\text{g.L}^{-1}$, sous réserve d'une information du consommateur, mais qu'au-delà de $20 \mu\text{g.L}^{-1}$, doit être entrepris soit un traitement, soit un changement de la ressource, soit une dilution,
- ❏ recommande de ne pas faire boire l'eau aux nourrissons dans leur 1^{ère} année, pour une eau dont la teneur en Sélénium est comprise entre 10 et $20 \mu\text{g.L}^{-1}$,
- ❏ Considère :
 - ☒ que la surveillance doit être renforcée lorsqu'une unité de distribution est alimentée par un mélange dont l'une des ressources a une teneur en sélénium non conforme, afin de s'assurer de la conformité de l'eau distribuée aux consommateurs,
 - ☒ que le traitement est nécessaire pour une unité de distribution alimentée par une ressource dont la teneur en sélénium est non conforme, la substitution étant préférée au traitement,
 - ☒ que le traitement ou la dilution doit permettre le respect des limites de qualité fixées par le décret n°89-3 modifié, pour tout nouveau forage,
 - ☒ que le prélèvement doit être fait en milieu acide pour éviter une précipitation de l'acide sélénieux avec les hydroxydes de fer, et dans un flacon en verre fermé hermétiquement, l'acide sélénieux étant volatile pour les dosages en sélénium.

⁵ Significativité du coefficient non testée

☒ que la seule méthode permettant une limite de détection égale au 10^{ème} de la valeur de l'exigence de qualité est celle des hydrures et de l'adsorption atomique. La méthode électrothermique et adsorption atomique ne permet pas de respecter ce seuil de détection (*méthode selon la norme NF-T90-119*).

En décembre 2001, l'interconnexion du SIE de Champcueil et environs avec le réseau du SIE de la région Hurepoix est opérationnelle.

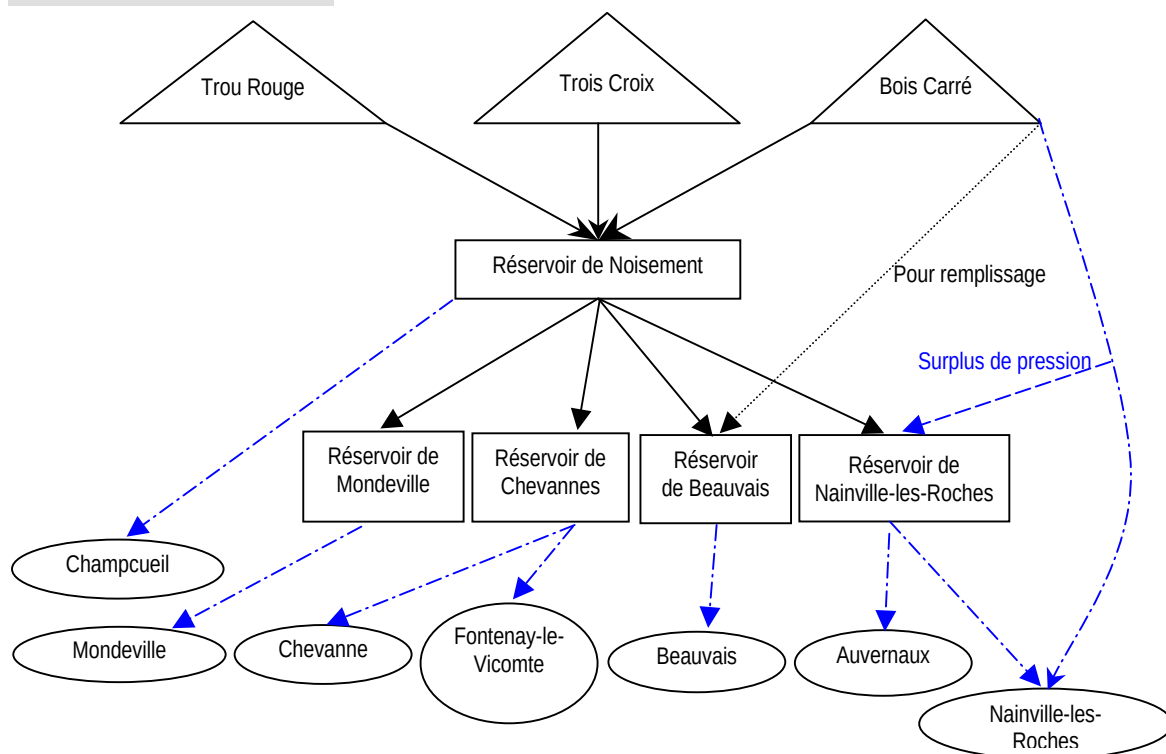
Annexe 2 : Description des ouvrages sélectionnés

Les coupes géologiques sont fournies en fin d'annexe n°2.

A2-1 CAPTAGES DU SIE DE CHAMPCUEIL ET ENVIRONS

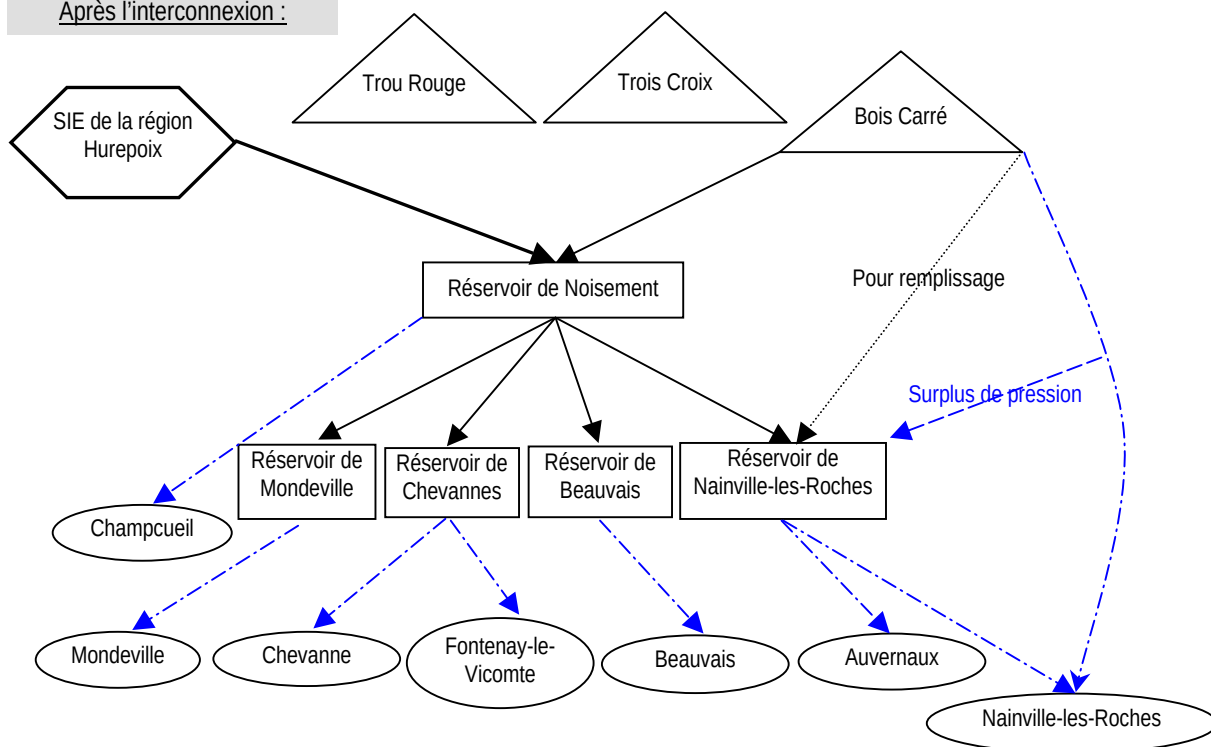
Synoptique n°1 : Fonctionnement du SIE de Champcueil et environs

Avant l'interconnexion :



— Distribution d'eau aux consommateurs

Après l'interconnexion :



A2-1-1 CAPTAGE « BOIS CARRE » (BSS 02574X0084)

C'est historiquement le captage sur lequel les premières anomalies en sélénium ont été observées.

Le captage de « Bois Carré » ou « Champcueil 3 » est situé sur la commune de Nainville-les-Roches dans l'Est du département, à la limite du département de Seine-et-Marne.

Réalisé en 1987, il s'agit d'un ouvrage de 59 m de profondeur, constitué jusqu'à 47 mNGF d'une colonne de 740 mm de diamètre cimentée au terrain pour isoler l'ouvrage des venues d'eau de surface, puis d'une colonne en acier de 600 mm munie d'une crépine de fente 6 fois 30 mm (voir coupe géologique).

L'aquifère de Champigny/Saint-Ouen est capté de 17 à 39,7 mNGF.

Lors de sa réalisation, le niveau statique de la nappe se trouvait à 39,7 mNGF. Lors des premières analyses en 1987, la qualité de l'eau était bonne, avec néanmoins une faible teneur en oxygène ($2,2 \text{ mg.L}^{-1}$) et des traces en sélénium ($8 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$), en zinc ($8 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) et en baryum ($100 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$).

L'ouvrage a été autorisé par les arrêtés préfectoraux n°88-0197 du 29 janvier 1988 et n°2002-1266 du 13 mars 2002 qui autorise le SIE de Champcueil et environs à exploiter le forage, et déclare d'utilité publique l'exploitation du forage et l'instauration des périmètres de protection et servitudes attenantes.

L'eau captée subit uniquement une chloration au niveau de la crépine (chlore gazeux). Cette chloration continue en crépine malgré son interdiction par l'arrêté préfectoral d'autorisation de 2002.

Avant l'interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix, l'eau traitée était dirigée :

- ❶ Soit directement vers la commune de Nainville-les-Roches, le surplus de pression étant dirigé vers le réservoir de Nainville-les-Roches et le réservoir de Beauvais,
- ❷ Soit vers le réservoir de Noisement (réservoir de tête).

Le réservoir de Nainville-les-Roches (200 m^3) reçoit également des eaux en provenance du réservoir de Noisement (synoptique n°1) pour alimenter les communes d'Auvernaux et de Nainville-les-Roches.

Depuis décembre 2001, le réservoir de Noisement est alimenté par l'interconnexion avec le SIE de la région du Hurepoix (120.000 m^3 d'eau par an).

A noter que les captages « Trou Rouge » et « Trois Croix » alimentaient également le réservoir de Noisement jusqu'en 2000, date d'arrêt des deux captages. Ainsi, entre l'arrêt de ces captages et la mise en place de l'interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix, seul le captage « Bois Carré » alimentait les communes du SIE de Champcueil et environs.

A2-1-2 CAPTAGE « TROU ROUGE » (BSS 02574X0012)

Le captage de « Trou Rouge » ou « Champcueil 1 » est situé sur la commune de Champcueil dans l'Est du département.

Réalisé en 1953, il s'agit d'un ouvrage de 44,8 m de profondeur. Le niveau statique a été mesuré à 41,4 mNGF lors des travaux en 1953, et à 38,66 mNGF en 1983. La série chronologique est la suivante :

mNGF	Faciès géologiques
83 à 81	Terre argileuse
81 à 72,6	Sables de Fontainebleau
72,6 à 69,3	Meulière de Brie (1 ^{ère} nappe)
69,3 à 67,1	Marne sableuse
67,1 à 62,9	Marne Verte
62,9 à 62,6	Marne chocolat
62,6 à 62,2	Calcaire
62,2 à 61,6	Calcaire et Marne
61,6 à 50,1	Marne Verte et bancs calcaires
50,1 à 44,4	Marne Blanche
44,4 à 38,2	Calcaire de Champigny

L'aquifère sollicité était celui du calcaire de Champigny, entre 38,2 et 44,4 mNGF. La qualité de la ressource était bonne, à l'exception des fluorures (1,6 mg.L⁻¹).

L'ouvrage a été autorisé par l'arrêté préfectoral du 20 avril 1977, arrêté déclarant d'utilité publique l'exploitation du captage et instaurant la mise en place de périmètres de protection. L'ouvrage a été de nouveau autorisé par l'arrêté préfectoral n°84-1293 du 12 avril 1984, arrêté commun au captage « Trois Croix ».

Compte-tenu de la dégradation de la qualité des eaux captées et du risque d'effondrement, l'exploitation a cessé en 2000.

L'eau captée était chlorée en crépine et mélangée aux eaux en provenance des captages « Trois Croix » et « Bois Carré » dans le réservoir de Noisement.

A2-1-3 CAPTAGE « TROIS CROIX » (BSS 02578X0042)

Réalisé en 1976, l'ouvrage a une profondeur de 59 m complété par une galerie perpendiculaire de 36 m de long et 81 m de forages inclinés à 45° (voir coupe géologique). En 1980, le niveau statique est mesuré à 43,25 mNGF. La crépine est placée à 33 mNGF.

L'aquifère sollicité était celui du calcaire de Champigny, entre 28,9 et 46,4 mNGF. La qualité de la ressource est bonne, sauf pour les fluorures (2,3 mg.L⁻¹). Les pompages d'essai ont montré une grande perméabilité de l'aquifère.

L'ouvrage a été autorisé par l'arrêté préfectoral n°84-1293 du 12 avril 1984, arrêté déclarant d'utilité publique l'exploitation du captage et instaurant la mise en place de périmètres de protection. Le forage s'étant effondré, son exploitation a cessé en 2000.

L'eau était chlorée au niveau de la crépine, et mélangée aux eaux en provenance des autres captages du syndicat dans le réservoir de Noisement.

A2-2 PRISE D'EAU D'ITTEVILLE

La prise d'eau d'Itteville est installée en rive gauche de l'Essonne, au niveau du marais d'Autin.

Le bassin versant de l'Essonne, essentiellement agricole et forestier, s'étend sur plus de 1.500 km² jusqu'aux abords d'Orléans. Le débit de l'Essonne est fonction de l'importance du ruissellement et des vidanges des réservoirs Oligocène et Eocène.

L'usine de potabilisation de l'eau fonctionne depuis 1973, la prise d'eau a été autorisée par l'arrêté préfectoral n°74-6442 du 3 septembre 1974. L'usine traite les eaux pompées de l'Essonne (7.227.000 m³ par an) et celle d'un champ captant de trois forages (3.723.000 m³ par an), qui bénéficie d'une déclaration d'utilité publique de protection en date du 21 septembre 1982.

L'arrêté préfectoral n°2003.PREF.DCL/0050 du 21 février 2003 autorise la dérivation et l'exploitation d'une prise d'eau dans la rivière Essonne pour l'alimentation en eau potable sur le territoire de la commune d'Itteville et déclare d'utilité publique l'instauration des périmètres de protection et des servitudes y afférentes au bénéfice du SIE de la région du Hurepoix.

Le prélèvement dans l'Essonne se fait par l'intermédiaire de deux canalisations de 400 mm de diamètre, à 1,5 m de profondeur. L'eau brute satisfait aux critères de la catégorie A3, elle est jugée de bonne qualité physico-chimique et bactériologique. A noter la présence de fluorures (moyenne sur 3 ans : 657 µg.L⁻¹), ainsi que la présence de baryum (entre 0,1 et 0,22 mg.L⁻¹).

Aucune mention n'est faite sur les concentrations en sélénium mesurées depuis 1990. Des analyses réalisées sur l'eau traitée indiquent une teneur en sélénium de 7,9 µg.L⁻¹.

L'eau produite est envoyée vers les réservoirs de Ballancourt-sur-Essonne et des Bois Blancs. Une partie des eaux produite par le SIE de la région Hurepoix permet la dilution des eaux produites sur SIE de Champcueil et environs.

A2-3 CAPTAGE « BELESBAT » (BSS 02577X0017)

Le captage, réalisé en 1966, est situé sur la commune de Courdimanche-sur-Essonne, en rive gauche de l'Essonne. D'une profondeur de 31 m, il capte l'aquifère du calcaire de Champigny de 28 à 32 mNGF.

Le captage de Belesbat exploité par le SIE de Boutigny a fait l'objet d'une autorisation d'exploitation et d'une déclaration d'utilité publique par les arrêtés préfectoraux n°71-4012 du 8 septembre 1971 et n°89-3280 du 10 octobre 1989.

La série géologique décrite par le rapport de l'hydrogéologue agréé en 1981 est :

mNGF	Faciès géologiques
59 – 51,2	Alluvions, tourbeuses au sommet, argileuses à la base
51,2 – 47,3	Marnes vertes
47,3 – 43,75	Calcaire, équivalent des Marnes de Pantin
43,75 – 34,5	Marnes bleues d'Argenteuil
34,5 - 28	Calcaire de Champigny

Le niveau statique mesuré en 1977 était à 54,1 mNGF.

L'ouvrage comporte un cuvelage monolithique, coulé de la surface jusqu'à 29,6 mNGF. Le cuvelage est percé de 3 rangs de 20 barbacanes de 29,6 à 32 mNGF. En dessous, le puits est à paroi nue.

En janvier 1998, l'exploitant s'est inquiété des concentrations en sélénium mesurées sur la station de traitement de Belesbat durant l'année 1997, concentrations avoisinant 10 µg.L⁻¹. Le service Santé-Environnement a jugé que compte tenu de l'incertitude de mesure de l'ordre de 10%, il n'était pas nécessaire d'engager une recherche de solutions techniques en vue de remplacer ou de diluer la ressource. Néanmoins un renforcement de la surveillance du captage a été demandé sur l'année 1998.

L'eau est refoulée vers deux réservoirs avant distribution. Aucune information n'est disponible sur le traitement entre le captage et le réservoir.

A2-4 CAPTAGE « LHUMERY-F3 » (BSS 02924X0025)

Le captage est situé au Sud-Ouest de la commune d'Etampes. L'usine de Moulin Atan assure le mélange des eaux de surface de l'Alouette et des eaux souterraines du champ captant dont fait partie le captage « Lhumery-F3 », pour l'alimentation de la commune.

Réalisé en 1988, le captage est d'une profondeur de 39 m, il capte les eaux de l'aquifère du calcaire de Brie de 52,8 à 62 mNGF.

L'ouvrage est tubé en 244 mm de diamètre (tube acier) avec cimentation de l'espace annulaire jusqu'à 62 mNGF (voir coupe géologique). La colonne de captage est constituée par un tube PVC de 180 mm de diamètre placé entre 52,6 et 64 mNGF et lanterné à partir de 61,3 mNGF.

Le niveau statique se tenait à la cote 76 mNGF lors des essais de débit en janvier 1989.

L'analyse de la qualité de l'eau captée lors de la réalisation ne mentionne pas d'anomalies.

Le captage a été autorisé par l'arrêté préfectoral n°2002-PREF.DCL/0076 du 12 mars 2002, l'instauration de périmètres de protection et de servitudes y afférentes ont été déclarés d'utilité publique par le même arrêté.

A2-5 CAPTAGE « MORSANG-F2 » (BSS 02574X0086)

Le captage est situé à l'Ouest de la commune de Morsang-sur-Seine, en rive droite de la Seine, à proximité de l'usine de production d'eau potable à partir de l'eau de la Seine, exploitée par La Société Lyonnaise des Eaux – Direction Régionale Parisienne Sud. L'eau pompée dans le captage est mélangée à celle de la Seine et traitée dans l'usine.

Réalisé en 1986, le captage a une profondeur de 25 m. L'ouvrage est tubé par une colonne en acier et lanterné entre 25,6 et 33,6 mNGF (voir coupe géologique). L'espace annulaire est rempli de gravier calibré (4 – 8 mm) entre 23,1 et 34,6 mNGF puis cimenté jusqu'à la surface.

Le forage capte dans le calcaire de Champigny entre 24,22 et 34,64 mNGF. Le niveau statique a été mesuré à 34,7 mNGF lors des essais de 1986. L'eau captée ne provient que de l'Eocène. L'hydrogéologue dans ses rapports de juillet 1986 et juin 1992 indique que des relations existent entre la Seine et les calcaires exploités mais celles-ci ne sont véritablement sensibles qu'à proximité immédiate du fleuve.

L'eau captée est de bonne qualité (hormis une concentration en atrazine supérieure à l'exigence de qualité), aucun éléments traces n'a été mesuré lors de la réalisation du captage.

Le captage F2 est autorisé par les arrêtés préfectoraux n°87-406 du 10 février 1987 et n°96-4500 du 18 octobre 1996, l'instauration de périmètres de protection et de servitudes y afférentes ont été déclarés d'utilité publique par les mêmes arrêtés.

A2-6 CAPTAGE DE SACLAS (BSS 02924X0020)

Le forage de Saclas est situé sur le plateau de Beauce en bordure d'une vallée sèche. Réalisé en 1977, le captage a une profondeur de 85 m. L'ouvrage comporte un avant-puits cuvelé en béton jusqu'à 84 mNGF, puis une partie forée équipée.

L'aquifère sollicité est celui des sables de Fontainebleau, entre 51 et 84 mNGF. Le niveau statique mesuré en 1977 était à 72,5 mNGF. La série géologique est la suivante :

mNGF	Faciès géologiques
135 à 134,5	Terre végétale
134,5 à 109,7	Calcaire de Beauce inférieur
109,7 à 51	Sables de Fontainebleau
51 à 50,6	Molasse d'Etrechy

L'arrêté n°89-1543 du 23 mai 1989 déclare d'utilité publique les travaux de dérivation par pompage d'eaux souterraines, de délimitation des périmètres de protection et institution des servitudes sur les terrains compris dans ces périmètres.

Les eaux sont chlorées et stockées dans le réservoir attenant au captage avant distribution aux communes de Saclas et Guillerval.

Annexe 3 : Méthode analytique du sélénium

A3-1 SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

Parmi les techniques disponibles, les différentes méthodes de spectrométrie d'absorption atomique sont les plus employées pour doser le sélénium dissous.

A3-1-1 PRINCIPES GENERAUX

L'élément dispersé à l'état atomique dans une flamme possède la propriété d'absorber tout rayonnement de fréquence donnée permettant le passage d'un état stable à un état excité : il en résulte une absorption du rayon incident proportionnelle à la concentration en élément. L'atomisation de l'élément peut se faire par une flamme ou par électrothermie : les deux méthodes sont utilisées pour la mesure du sélénium. L'emploi des fours sans flamme a de meilleures performances que ceux avec flamme dont la limite de détection est trop élevée.

Pour le sélénium, la longueur d'onde d'absorbance spécifique est de 196 nm.

Les interactions possibles sont liées à la matrice (faible à nul dans le cas de l'atomisation sans flamme), aux interactions chimiques entre espèces chimiques pouvant masquer une partie des éléments à doser, et les interférences spectrales lorsqu'un élément possède une bande d'absorption identique ou proche de celle de l'élément à doser. Les moyens de limiter ces interactions sont connus, et relativement faciles à mettre en œuvre.

A3-1-2 SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE AVEC ATOMISATION ELECTROTHERMIQUE

Il s'agit d'une méthode de dosage d'éléments minéraux s'appliquant essentiellement aux eaux et aux eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine (eau de surface ou souterraine), d'une minéralisation totale inférieure à 1.500 mg.L⁻¹, limite respectée sur les captages du département de l'Essonne.

Le domaine de travail pour la teneur en sélénium est compris entre 2 et 50 µg.L⁻¹. La méthode réalise une mesure du sélénium total.

Les prélèvements doivent être faits dans des flacons en polyéthylène, avec l'acide nitrique à pH < 2. Dans le cas d'une eau brute, une filtration de l'échantillon est nécessaire.

A3-1-3 METHODE DE SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE A GENERATION D'HYDRURES

Cette méthode a été normalisée pour le sélénium sous le référentiel ISO-9965 :1993.

Il s'agit d'une décomposition thermique des hydrures de sélénium pour la détermination par spectrométrie d'absorption atomique. Avant la mesure, les différentes formes oxydées de

sélénium doivent être converties en sélénium de degré d'oxydation +IV (Se^{IV}), ce dernier est ensuite réduit de façon quantitative en hydruure de sélénium.

La méthode est utilisable pour les eaux de consommation, les eaux souterraines et les eaux de surface dans une gamme de concentration allant de 1 à 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Pour des concentrations plus élevées, l'échantillon doit être dilué.

Les formes du sélénium mesurées sont le sélénium total et le Se^{IV} . Les formes organiques du sélénium et le Se^{VI} sont calculées par déduction ou par pré-traitement des échantillons (Reddy et coll., 1995).

Comme les composés organiques contenant du sélénium peuvent être très stables, il est recommandé de réaliser une décomposition par oxydation pour obtenir des résultats corrects de teneur totale en éléments.

Cette méthode n'est cependant pas utilisée en routine dans les laboratoires de d'analyse, du fait de sa durée de mise en œuvre, de sa complexité, de sa fragilité, de son coût, et de son manque de robustesse. Par ailleurs, pour les concentrations supérieures à 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, elle nécessite une dilution et donc des manipulations supplémentaires.

A3-1-4 METHODE DE SPECTROMETRIE D'EMISSION ATOMIQUE AVEC PLASMA COUPLE PAR INDUCTION

Cette méthode a été normalisée pour le sélénium sous le référentiel ISO-EN-11885 :1996.

Le principe d'atomisation est le passage des éléments à mesurer dans un plasma, mélange gazeux à haute température de particules neutres et de particules chargées. Les éléments excités par ce passage reviennent à leur état normal en émettant des photons de longueur d'ondes caractéristiques qui sont analysées par un mono ou polychromateur.

La détermination simultanée de plusieurs éléments est possible sur des appareils multicanaux.

Les interférences constituent la principale limite de cette méthode : interférences spectrales par superposition des raies, interférences physiques dues à la matrice...

Pour le sélénium, cette méthode ne permet pas la mesure en dessous d'une concentration de 75 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Rodier, 1996) : elle est donc peu appropriée aux eaux destinées à la consommation humaine.

⁶ SeO_3^{2-} ; HSeO_3^- ; H_2SeO_3 ; CaSeO_3 et MgSeO_3

⁷ SeO_4^{2-} ; HSeO_4^- ; H_2SeO_4^0 ; CaSeO_4^0 ; MgSeO_4^0

A3-2 LES ETAPES POUVANT INTERFERER SUR LA MESURE DU SELENIUM

En dehors des interférences liées à la méthode de spectrométrie d'absorption atomique, succinctement décrites plus haut, des interférences sont possibles du fait de la nature de l'élément sélénium.

L'ensemble des étapes de pré-traitement et de nettoyage des bouteilles d'échantillonnage et des autres outils de laboratoire utilisés, de prélèvement, de filtration et de stockage sur de longue durée peut constituer une source d'incertitude de mesure du sélénium et des éléments traces en général (Robberecht et coll, 1982).

Les composés du sélénium peuvent se volatiliser ou s'adsorber sur les parois du flaconnage, l'acidification lors du prélèvement permet de limiter ces effets. Cependant, l'acidification entraîne également une modification de la spéciation du sélénium : elle entraîne la désorption et l'hydrolyse du sélénium organique adsorbé sur les colloïdes. Par ailleurs, le chauffage des échantillons en milieu acide (HNO_3^-) entraîne l'oxydation partielle à totale du séléniure d'hydrogène et du sélénium élémentaire (Robberecht et coll, 1982).

Dans la mesure où seul le sélénium total est pris en compte, cette modification de la spéciation a un impact limité dans le cadre du contrôle sanitaire.

Le stockage ne doit pas être trop long : les formes méthylées du sélénium sont volatilisées dans la journée, même dans des flaconnages hermétiques (Robberecht et coll., 1982). Compte-tenu des délais de campagne de prélèvement sur le département de l'Essonne, les analyses sont réalisées le jour suivant le dépôt au laboratoire.

Pour augmenter la sensibilité de la mesure, des modifieurs sont ajoutés à l'échantillon pour limiter la volatilité de certaines formes du sélénium et permettre une meilleure atomisation (Robberecht et coll., 1982).

Il apparaît que les techniques d'analyse du sélénium ne permettent que d'approcher la valeur en sélénium dans l'échantillon. Cependant, l'amélioration des techniques d'analyse a permis d'avoir une mesure de plus en plus précise en routine et de contrôler les principaux facteurs d'incertitudes.

A3-3 L'INTERET D'UNE SPECIATION DU SELENIUM

La littérature consultée, principalement publiée par des laboratoires de recherche n'ayant pas les mêmes objectifs que les laboratoires d'analyses agréés du contrôle sanitaire; insiste sur l'intérêt de réaliser une spéciation du sélénium.

Pourtant, l'élaboration de l'exigence de qualité n'a pris en compte que des résultats d'études portant sur le sélénium total, sans distinction de formes et de degrés d'oxydation. Ce qui conduit logiquement à ne mesurer que le sélénium total dans les eaux de consommation humaine.

Néanmoins, certains auteurs émettent l'hypothèse d'une toxicité différentielle des formes dissoutes du sélénium. Ainsi les formes organiques sont considérées comme moins toxiques et d'une meilleure biodisponibilité pour les organismes. Les formes inorganiques comme les complexes métalliques et les formes ioniques Se^{IV} et Se^{VI} seraient plus toxiques, avec une toxicité accrue pour le Se^{VI} (CSHPPF, 1996).

La spéciation du sélénium permettrait alors d'avoir de meilleures informations sur le risque sanitaire des différentes formes, qui sont assimilées différemment par les organismes (Robberecht et coll, 1982 ; Katta et coll., 1995).

Pour réaliser une spéciation du sélénium dans les échantillons, des étapes de séparation sont nécessaires avant mesure.

A noter que la forme de sélénium la plus représentée dans les eaux de boisson traitées par chloration sont les Se^{VI} (60% des formes), cela étant lié à l'oxydation forte des éléments par la chloration (Robberecht et coll., 1982).

Annexe n°4 : Traitement des données

L'ensemble des résultats numériques est repris dans l'annexe n°5.

A4-1 EXTRACTION DES DONNEES ET CHOIX DES OUVRAGES

A4-1-1 EXTRACTION DES DONNEES DANS SISE-EAUX

Le choix de la requête à porter sur :

- ☒ l'ensemble des points de captage et des points de production échantillonnés dans le département,
- ☒ présentant une mesure de la concentration en Se supérieure à 5 µg.L⁻¹ (seuil de quantification),
- ☒ depuis qu'il existe des données dans la base SISE-Eaux.

Ce choix tient compte d'une volonté d'avoir une vision sur l'ensemble du département des anomalies et de retenir les observations supérieures au seuil de quantification et non pas seulement celles supérieures à la limite de qualité pour observer une évolution dans le temps.

Lors de la première interrogation de la base SISE-Eaux, la requête n'a retenu que 20 ouvrages dont 3 prises d'eau de surface et 5 stations de traitement (TTP).

Une recherche manuelle des observations antérieures à 1996 a permis de compléter les données : 24 ouvrages dont 3 prises d'eau, 13 TTP ont répondu à la requête.

De ces observations n'ont été retenues que celles apparaissant dans d'anciens bulletins de requête de la base SISE-EAUX et celles utilisées pour l'élaboration des rapports du BRGM ou de l'hydrogéologue agréé (données fournies par la DDASS/SSE).

Tableau n°A4-1 : Ouvrages issus de l'extraction

Communes	Ouvrages	Nombre d'analyse [Se] > 5 µg/L	Nombre de recherche du sélénium	Pourcentage des analyses présentant [Se] > 5 µg.L ⁻¹
Baulne	Capt. Moulin du Gué-Baulne	1	4	25
Blandy	Capt. Les Ouches	1	2	100
Boigneville	Capt. Boigneville	2	5	40
Champcueil	Capt Champcueil 2 (Trois Croix)	5	?	?
Champcueil	Capt. Champcueil 1 (Trou Rouge)	81	?	?
Champmotteux	Capt. Champmotteux	3	4	75
Coudray Montceaux (Le)	Capt. Golf Coudray Montceaux	1	1	100
Courances	Capt. Courances (actuel)	1	3	33
Courdimanche-sur-Essonne	Capt. Belesbat	5	6	83
Etampes	Capt. Lhumery F3	5	10	50
Etampes	Capt. Lhumery F4	2	6	33
Foret-Sainte-Croix	Capt. FSC1	3	6	50
Foret-Sainte-Croix	Capt.FSC5-L'Argentière	2	3	67
Gironville-sur-	Capt-. Gironville	1	2	50

Communes	Ouvrages	Nombre d'analyse [Se]> 5 µg/L	Nombre de recherche du sélénium	Pourcentage des analyses présentant [Se] > 5 µg.L ⁻¹
Essonne				
Itteville	Prise d'eau d'Itteville	69	145	48
Milly-la-Forêt	Capt. Milly 3	2	6	33
Morsang-sur-Seine	Capt. Morsang F2	4	4	100
Morsang-sur-Seine	Capt. Morsang F3	1	6	17
Morsang-sur-Seine	Prise d'eau de Morsang	1	67	1
Nainville-les-Roches	Capt. Bois Carré (Champcueil 3)	(27)	(29)	(93)
Ormoy	Prise d'eau Essonne Seine Ormoy	1	7	14
Orveau	Capt. Orveau 1988	2	5	40
Saclas	Capt. Saclas	1	2	50
Villeneuve-sur-Auvers	Capt. Mesnil Racoin	1	4	25

Le pourcentage d'analyses présentant du sélénium ne peut être calculé pour les captages du SIE de Champcueil et environs :

- ☒ pour les captages « Trou Rouge » et « Trois Croix » : leurs résultats ne sont pas sortis lors des requêtes SISE-EAUX,
- ☒ pour le captage « Bois Carré » : d'après les données fournies par SISE-EAUX, 27 analyses sur 29 recherches mesurent une concentration en sélénium supérieure à 5 µg.L⁻¹. Or la recherche de données a permis de retrouver 49 analyses supplémentaires répondant aux critères.

A noter que les analyses présentant une concentration en sélénium supérieure à 26 µg.L⁻¹ ont été retirées de l'étude : ces valeurs s'éloignant trop de l'ensemble des résultats. Il s'agit de 2 analyses sur le captage « Bois Carré » (30 et 40 µg.L⁻¹ en 1995) et d'une analyse sur la prise d'eau d'Itteville (30,7 µg.L⁻¹ en 1993).

Tableau n°A4-2 : Stations de traitement issues de l'extraction

Commune	Ouvrage	Ressource	Nombre d'analyse [Se] > 5 µg/L	1ere analyse
Courdimanche	TTP Belesbat	Capt. de Belesbat	7,00	1992
Orveau	TTP d'Orveau	Capt. Orveau-1988	1,00	1995
Gironville	TTP Gironville	Capt. Gironville	1,00	1997
Blandy	TTP Blandy Les Ouches	Capt. Les Ouches	3,00	1997
Maisse	TTP Maisse		1,00	1999
Itteville	TTP Usine d'Itteville	Prise d'eau d'Itteville	6,00	1990
La-Forêt-Sainte-Croix	TTP l'Argentière	Capt. FSC5-l'Argentière	1,00	1997
La-Forêt-Sainte-Croix	TTP les Gatines FSC1	Capt. FSC1	4,00	1993
Etampes	TTP Moulin ATAN	Prise d'eau de l'Alouette et Capt. Lhumery-F3 et F4	1,00	1990
Milly-la-Forêt	TTP Milly 3	Capt. Milly-3	1,00	2003
Nainville-les-Roches	TTP Nainville Bois Carré	Capt. Bois carré et réservoir de Noisement	64,00	1992
Champcueil	TTP Reprise Noisement	Capt. Bois Carré, Trou rouge et Trois Croix	32,00	1995
Saclas	TTP Saclas	Capt. Saclas	21,00	1996

A4-2-2 SELECTION DES OUVRAGES RETENUS DANS L'ETUDE

Il s'agit de choisir des ouvrages :

- ☒ dont $[Se] > 5 \mu g.L^{-1}$ de façon relativement fréquente (> 50% des recherches)
- ☒ ou dont le nombre d'analyse est suffisant (> 5)

Tableau n°A4-3 : Ouvrages sélectionnés pour l'étude

Commune	Ouvrage	Nombre d'analyses $[Se] > 5 \mu g/L$	Nombre de recherche du sélénium	Pourcentage des analyses présentant $[Se] > 5 \mu g.L^{-1}$
Champcueil	Capt. Trou Rouge (Champcueil 1)	81	?	?
Champcueil	Capt. Trois Croix (Champcueil 2)	5	?	?
Nainville-les-Roches	Capt. Bois Carré (Champcueil 3)	76 (27)	(29)	93% (SISE-EAUX)
Itteville	Prise d'eau d'Itteville	69	145	48%
Courdimanche-sur-Essonne	Capt. Belesbat	5	6	83%
Etampes	Capt. Lhumery F3	5	10	50%
Morsang-sur-Seine	Capt. Morsang F2	4	4	100%
Saclas	Capt. Saclas	1	2	50%

Les stations de traitement des ouvrages de production ont été également prises en compte.

A4-2 OUTILS STATISTIQUES MIS EN ŒUVRE

La variable aléatoire est la concentration en sélénium : elle est quantitative et continue. Une observation de la variable aléatoire correspond à une concentration en sélénium supérieure à $5 \mu g.L^{-1}$. Les résultats d'analyse indiquant « $[Se] < 5 \mu g.L^{-1}$ » ne peuvent être pris en compte dans l'étude.

Un échantillon correspond aux observations :

- ❶ sur un point de surveillance (captage, prise d'eau ou station de traitement/réservoir) : il est fait l'hypothèse que l'observation sur la station est indépendante de celle sur la ressource. D'une part, les périodes de prélèvement ne concordent pas, d'autre part, les mélanges, les conditions de stockage et les traitements réalisés sur la station peuvent modifier la concentration en sélénium.
- ❷ aux observations sur une saison (été, hiver) : il est fait l'hypothèse que les observations hivernales n'ont pas d'influence sur les observations estivales. La période d'été couvre les mois d'avril à septembre inclus, et celle d'hiver couvre les mois d'octobre à mars inclus.

Les tests ont été mis en œuvre pour les échantillons présentant plus de 30 observations. En dessous de cette taille d'échantillon, la mise en évidence de différences significatives est difficile du fait de l'hétérogénéité observée sur la variable.

A4-2-1 TEST DE CONFORMITE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Le test de conformité à la loi Normale permet de vérifier qu'une variable aléatoire suit une loi normale. Par la suite, cette vérification permet de pouvoir mettre en œuvre des tests paramétriques entre variables distribuées normalement.

Au niveau interprétation, une variable obéit à une loi normale quand :

- ☒ le phénomène dépend de nombreux facteurs indépendants entre eux,
- ☒ les effets aléatoires de ces facteurs sont cumulatifs et les variations de ces facteurs sont faibles,
- ☒ la variation du phénomène due à la variation de chacun de ces facteurs est également faible.

Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui s'applique aux distributions de fréquences de variables quantitatives continues. Le test repose sur le calcul de la plus grande différence de fréquence relative cumulée entre la distribution observée et la distribution normale simulée. Les hypothèses sont les suivantes :

- ☒ Hypothèse H_0 : la distribution théorique est conforme à la distribution observée.
- ☒ Hypothèse H_1 : la distribution théorique n'est pas conforme à la distribution observée, il existe au moins une valeur de la variable pour lequel l'écart entre les deux distributions est trop grand.

La variable de décision D_{obs} est comparée à la valeur critique D_α . L'hypothèse H_0 est rejetée quand D_{obs} est supérieur ou égal à D_α .

A4-2-2 TEST DE COMPARAISON DES VARIANCES (TEST F DE FISHER-SNEDECOR)

Il s'agit d'un test paramétrique de comparaison des variances de deux échantillons indépendants, qui s'applique aux variables quantitatives continues distribuées normalement.

Les hypothèses sont les suivantes :

- ☒ Hypothèse H_0 : les variances sont égales, elles sont des estimations de la variance de la population dont sont issus les deux échantillons.
- ☒ Hypothèse H_1 : l'une des variances est supérieure à la seconde, les échantillons sont issus de deux populations différentes.

La variable de décision F_c est calculée à partir des variances, elle suit une loi de Fisher-Snedecor à (n_1-1) et (n_2-1) degrés de liberté. Sa valeur est comparée à la valeur critique F_α , lue dans la table au seuil $\alpha=5\%$. L'hypothèse H_0 est rejetée quand F_c est supérieure ou égale à F_α .

A4-2-3 CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE LA MOYENNE

La comparaison des intervalles de confiance de la moyenne de deux échantillons indépendants permet de déterminer rapidement si les deux moyennes sont significativement différentes.

Lorsque la variable suit une loi normale $N(\mu; \sigma)$, que la taille de l'échantillon n est supérieure ou égale à 30, les bornes de l'intervalle de confiance à 95% de la moyenne μ sont calculées comme suit :

$$IC_{95} = \left[m - 1,96 \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right); m + 1,96 \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \right]$$

où m et s sont les paramètres calculés sur la population.

Si $n < 30$, la formule devient :

$$IC_{95} = \left[m - t \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right); m + t \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \right]$$

Où t se lit dans la table de la loi de Student, avec $v = n - 1$ degré de liberté

Enfin, si la distribution de la variable aléatoire n'est pas normale, la normalité de la distribution peut être acceptée quand la taille de l'échantillon était au moins égale à 25 fois le carré du coefficient d'asymétrie de la distribution (approximation de Cochran).

A4-2-4 TEST DE KRUSKAL-WALLIS

Il s'agit d'un test non paramétrique de comparaison de k échantillons indépendants. Il permet de déterminer si les k sommes des rangs se révèlent trop disparates pour que l'hypothèse nulle d'unicité de la population d'origine des échantillons soit retenue.

L'ensemble des observations des k échantillons est classé par ordre croissant, à chaque valeur est affecté un rang. La somme des rangs est ensuite calculée pour les k échantillons. Les hypothèses sont :

- ☒ Hypothèse H_0 : le groupe d'échantillons est homogène.
- ☒ Hypothèse H_1 : le groupe d'échantillons est hétérogène.

La variable de décision H_{corr} suit une loi du Chideux à $(k-1)$ degrés de liberté, la valeur critique est lue dans la table du Chideux. L'hypothèse H_0 est rejetée quand H_{corr} est supérieure ou égale à la valeur critique.

A4-2-5 CORRELATION LINEAIRE SIMPLE

Une corrélation permet de déterminer le degré de liaison qui unit plusieurs variables. Lorsqu'il s'agit de variables distribuées normalement, il s'agit d'une corrélation linéaire simple.

A noter qu'une relation de corrélation n'indique pas nécessairement une dépendance directe des variables ou une relation de cause à effet : il peut s'agir d'une évolution temporelle très voisine sous l'effet d'un même facteur.

La force de la corrélation s'évalue avec le calcul du coefficient de Bravais-Pearson, noté r :

$$r = \frac{\text{covariance}(x;y)}{\text{variance}(x) \times \text{variance}(y)}$$

Ce coefficient est nul lorsque les deux variables sont indépendantes l'une de l'autre.

Un test de signification du coefficient de Bravais-Pearson est nécessaire pour s'assurer que le résultat obtenu est suffisamment différent de 0. Les hypothèses sont :

☒ Hypothèse H_0 : $r = 0$, il n'existe aucune relation entre les deux variables

☒ Hypothèse H_1 : r différent de 0, il existe une relation entre les deux variables.

La variable de décision, notée T_r , suit une loi de Student à $(n-2)$ degrés de liberté et est comparée à la valeur critique $T_{\alpha/2}$ lue dans une table de Student.

Il y a rejet de l'hypothèse H_0 si T_r est supérieur à $T_{\alpha/2}$ au seuil α choisi (5%).

A noter que le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson est égal au coefficient de détermination R calculé dans le cadre d'une régression linéaire.

$$R^2 = \frac{\text{Dispersion expliquée par la régression}}{\text{Dispersion totale}}$$

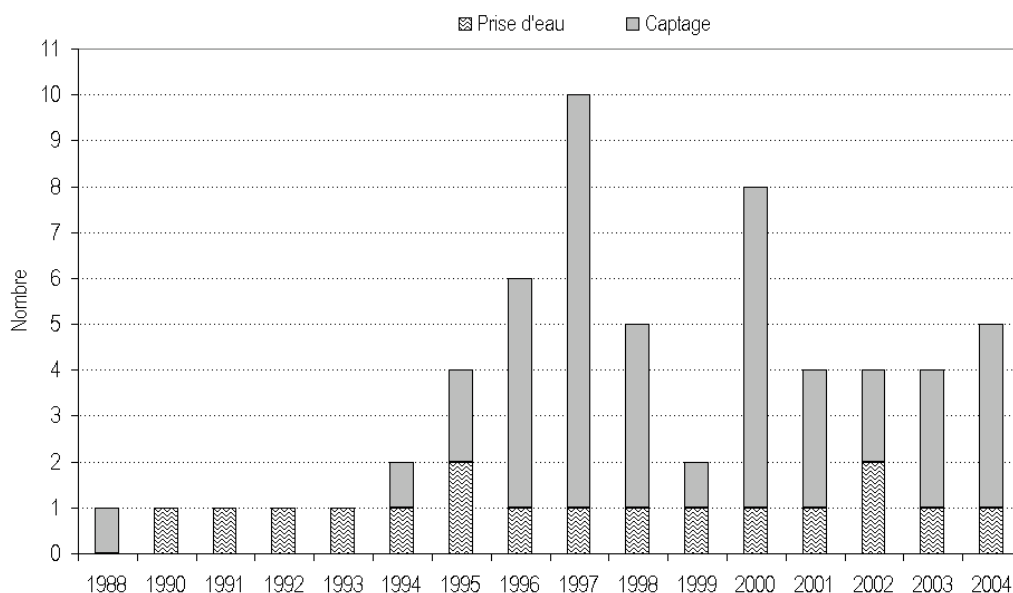
Ainsi, tester la signification du coefficient de Bravais-Pearson permet également de tester la signification d'une droite de régression.

A4-3 PRESENTATION DES DONNEES

A4-3-1 ENSEMBLE DES OUVRAGES

A4-3-1-1 REPARTITION PAR ANNEE

Graphe n°A4-1 : Nombre de ressources présentant au moins une observation



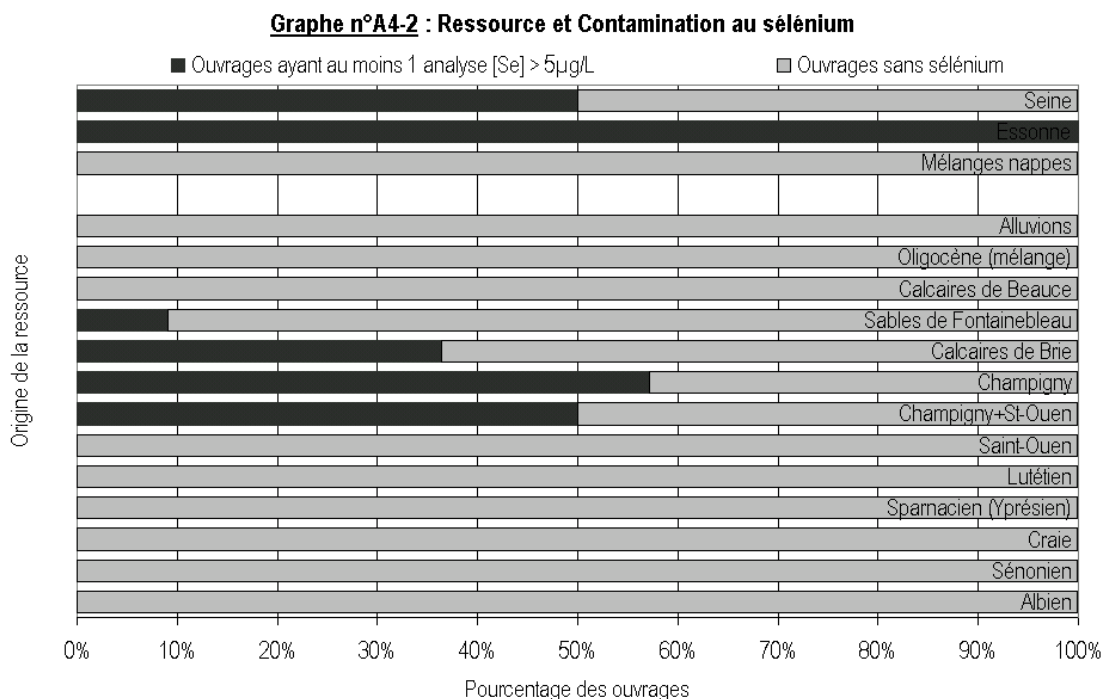
L'année 1997 est l'année présentant le plus grand nombre de ressource concernée : 9 captages et 1 prise d'eau (graphe n°A4-1). La campagne de mesure réalisée en 1996 sur l'ensemble des captages en service sur l'aquifère de Champigny et/ou Saint-Ouen n'a pas permis d'identifier de nouveau captage concerné par les anomalies en sélénium.

Le tableau n°A4-4 indique que seuls les ouvrages « Bois Carré », « Trou rouge », « Trois Croix », « Morsang-F2 » et la prise d'eau d'Itteville présentent des observations plus de 2 ans de suite.

Tableau n°A4-4 : Ouvrages affectés par année

Année	Captages concernés	Prises d'eau
1988	Boigneville	
1990 à 1993		Itteville
1994	Bois Carré	Itteville
1995	Golf-Coudray-Montceaux ; Bois Carré	Morsang-sur-Seine Itteville
1996	FSC5-L'argentière ; FSC1 ; Trou Rouge ; Trois Croix ; Bois Carré	Itteville
1997	Champmotteux ; Courances (actuel) ; Mesnil-Racoin ; Milly-3 ; FSC1 ; Orveau 1988 ; Trou Rouge ; Trois Croix ; Bois Carré	Itteville
1998	Trou Rouge ; Trois Croix ; Belesbat ; Bois Carré	Itteville
1999	Lhumery-F4	Itteville
2000	Gironville ; Les Ouches ; Saclas ; Orveau 1988 ; Belesbat ; Lhumery-F3 ; Morsang-F2	Itteville
2001	Moulin-Gué-Baulne ; Lhumery-F3 ; Morsang-F2	Itteville
2002	Lhumery-F4 ; Morsang-F2	Essonne-Seine-Ormoy Itteville
2003	Morsang-F3 ; Lhumery-F3 ; Morsang-F2	Itteville
2004	Boigneville ; Belesbat ; Lhumery-F3 ; Bois Carré	Itteville

A4-3-1-2 REPARTITION DES ANOMALIES PAR ORIGINE DE LA RESSOURCE



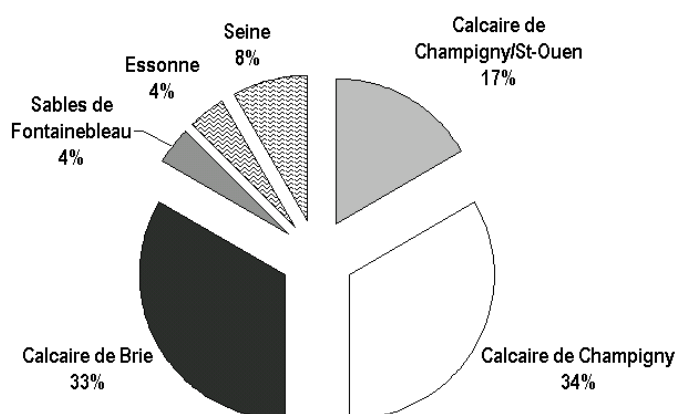
Les principales ressources concernées par la présence de sélénium sont (graphe n°A4-2) :

- L'aquifère des sables de Fontainebleau (9% des ouvrages captant cette ressource)
- L'aquifère des calcaires de Brie (36%)
- L'aquifère de Champigny seul (57%)
- L'aquifère de Champigny et de Saint-Ouen (50%)
- La prise d'eau d'Essonne et les prises d'eau de la Seine (50%).

Les ouvrages exploitant les aquifères situés sous l'Eocène supérieur n'ont jamais présenté de sélénium dans leur analyse.

Pour les eaux de surfaces, pour lesquelles la recherche de sélénium est imposée à la ressource, seules deux des prises d'eau en Seine (Ormoy et Morsang-sur-Seine) ont présenté des teneurs en sélénium quantifiables, de façon très ponctuelle et avec des teneurs faibles (5 à 7 µg.L⁻¹). Par contre, l'unique prise d'eau dans la rivière Essonne (Itteville) présente régulièrement depuis 1990 des teneurs comprises entre 5 et 14 µg.L⁻¹, soit légèrement inférieures aux captages les plus affectés.

Graphe n°A4-3 : Répartition des ouvrages ayant présenté au moins une observation par origine de la ressource



Le graphe n°A4-3 montre que 51 % des ouvrages concernés par des anomalies en sélénium exploitent les aquifères de Champigny et de Champigny/Saint-Ouen : cela confirme l'importance du phénomène dans cet aquifère.

Les ouvrages exploitant l'aquifère des calcaires de Brie représentent 33% des ouvrages ayant au moins une concentration supérieure à $5 \mu\text{g.L}^{-1}$.

A noter que cette répartition ne prend pas en compte la fréquence des observations sur la période :

- ❑ les prises d'eau en Seine affectées représentent 8% des ouvrages affectés, mais ces observations sont très ponctuelles dans le temps (2 observations).
- ❑ la prise d'eau sur la rivière Essonne représente 4% des ouvrages affectés, avec des observations régulières depuis 1990 (69 observations).

Les aquifères présentant des concentrations en sélénium en moyenne supérieures à $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ sont l'aquifère de Champigny, l'aquifère de Champigny-Saint-Ouen, et celui des calcaires de Brie. Le nombre de captage concerné par ces dépassements de l'exigence de qualité ne représente que 6% des captages du département. Il s'agit principalement des captages du SIE de Champcueil et Environs :

- ❑ 90% des observations pour le captage « Trou Rouge »,
- ❑ 81% des observations pour le captage « Bois Carré »,
- ❑ 13% des observations pour la prise d'eau d'Itteville.

Seuls les aquifères de Champigny, de Champigny et Saint-Ouen et la rivière Essonne présentent des observations très régulières en sélénium. C'est pourquoi les captages sélectionnés pour l'étude exploitent majoritairement ces aquifères (tableau n°A4-5).

Tableau n°A4-5 : Origine de la ressource des ouvrages sélectionnés pour l'étude

Ouvrages retenus pour l'étude	Ressource
Capt. Belesbat	Champigny
Capt. Bois Carré	Champigny/Saint-Ouen
Capt. Trou Rouge	Champigny
Capt Trois Croix	Champigny
Capt. Lhumery F3	Calcaires de Brie
Capt. Morsang F2	Champigny/Saint-Ouen
Prise d'eau d'Itteville	Essonne

A4-3-1-3 CONCLUSIONS

Sur la période de 1988 à début 2004, le nombre de ressources concernées par les anomalies en sélénium a été maximum en 1997, pour se stabiliser autour de 5 ressources sans toutefois qu'il s'agisse de la même ressource d'une année sur l'autre.

Seuls les captages du SIE de Champcueil et Environs et la prise d'eau d'Itteville, et plus récemment le captage « Morsang-F2 », présentent régulièrement des résultats d'analyses supérieurs à 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$, voir supérieurs à 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Par contre l'origine hydrogéologique est bien conservée sur la période d'étude : ce sont principalement les captages de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène qui participent aux anomalies de sélénium. Il s'agira de déterminer si cette origine géologique se retrouve pour les observations de sélénium dans la rivière Essonne.

A4-3-2 OUVRAGES RETENUS POUR L'ETUDE

Tableau n°A4-6 : Indicateurs statistiques des ouvrages sélectionnés pour l'étude

Ouvrages	Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
Capt. Belesbat	5	11,50	11,00	10,90	12,60	0,58
Capt. Bois Carré	76	12,77	13,00	5,00	26,00	16,08
Capt. Trou Rouge	81	13,60	13,00	7,00	25,00	11,27
Capt Trois Croix	5	7,36	7,50	6,30	8,00	0,52
Capt. Lhumery F3	5	6,54	7,00	5,00	8,00	1,41
Capt. Morsang F2	4	9,08	8,70	6,00	12,90	8,55
Prise d'eau d'Itteville	69	7,27	6,70	5,00	13,90	4,08

Seuls trois ressources présentent une série chronologique importante : les captages « Trou Rouge » et « Bois Carré », la prise d'eau d'Itteville (tableau n°A4-6).

Les observations faites au niveau des captages de « Bois carré » et « Trou Rouge » présente une certaine hétérogénéité, tandis que les observations de la prise d'eau d'Itteville présentent une meilleure homogénéité. Pour les autres ouvrages, il est difficile de faire la même interprétation compte tenu du faible nombre d'observations.

Tableau n°A4-7 : Indicateurs statistiques des TTP des ouvrages sélectionnés

Ouvrages	Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
TTP Belesbat	7	13,71	13,00	9,00	20,00	16,50
TTP Usine d'Itteville	6	7,18	6,45	5,00	12,00	6,74
TTP Reprise Noisement	32	9,92	9,80	5,10	21,00	11,08
TTP Nainville Bois Carré	63	11,14	11,00	6,00	18,60	5,22
TTP Saclas (réservoir)	21	10,18	10,00	6,00	17,80	7,77

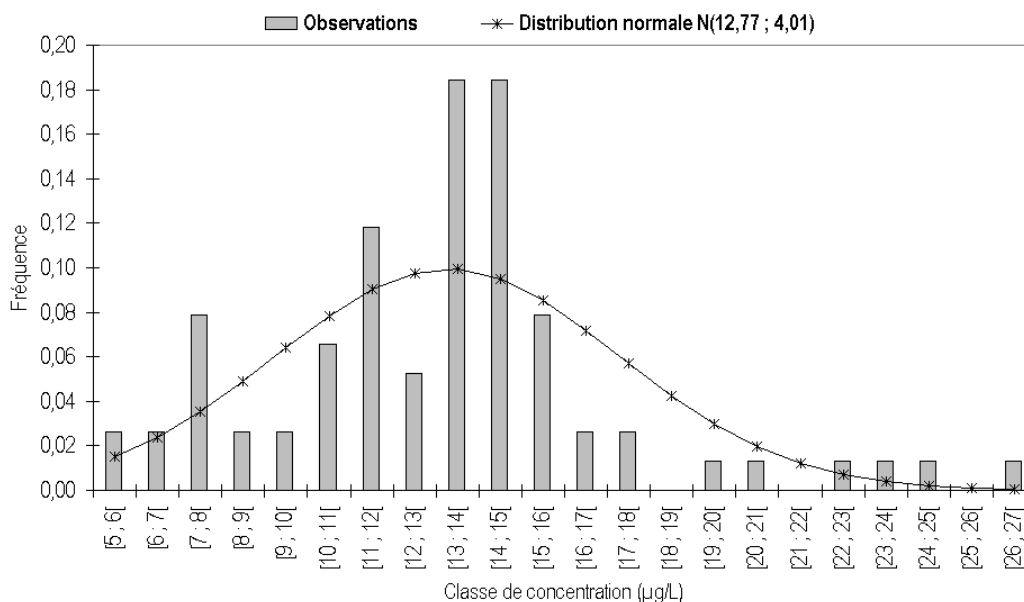
Les échantillons présentent en général une grande variabilité, à l'exception du TTP de Nainville-les-Roches et celui de Saclas (tableau n°A4-7).

A4-3-3 CAPTAGE « BOIS CARRE »

A4-3-3-1 DISTRIBUTIONS DES OBSERVATIONS

Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
76	12,77	13	5	26	16,08

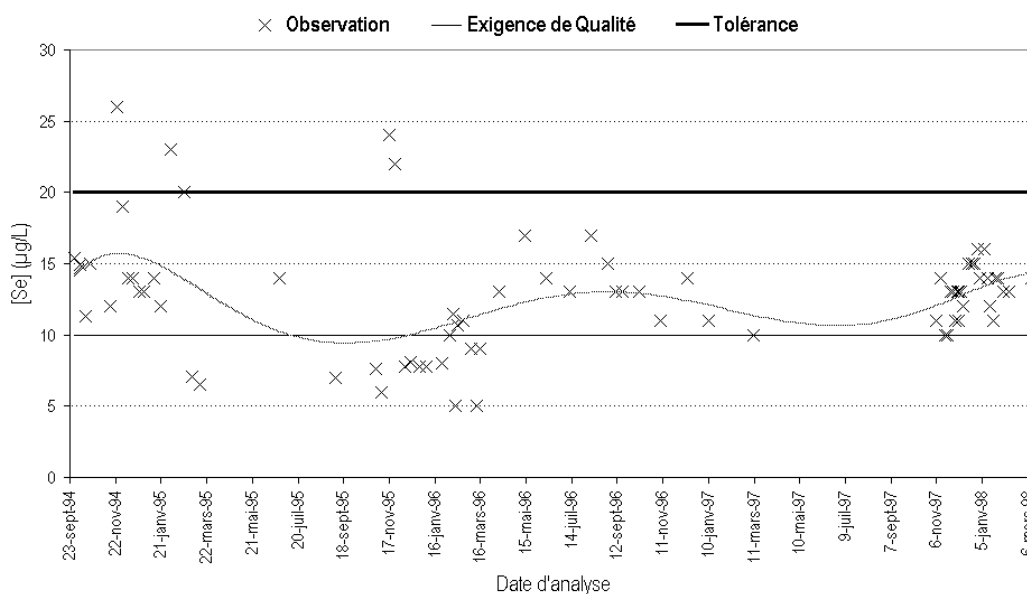
Graphe n°A4-4 : Distribution des observations - Capt. "Bois Carré"



La mise en œuvre d'un test de conformité de Kolmogorov-Smirnov indique que la distribution des observations se fait selon une loi normale de type $N(12,77 ; 4,01)$.

A4-3-3-2 EVOLUTION TEMPORELLE

Graphe n°A4-5: Evolution des observations (sauf 2004) - Capt. "Bois Carré"

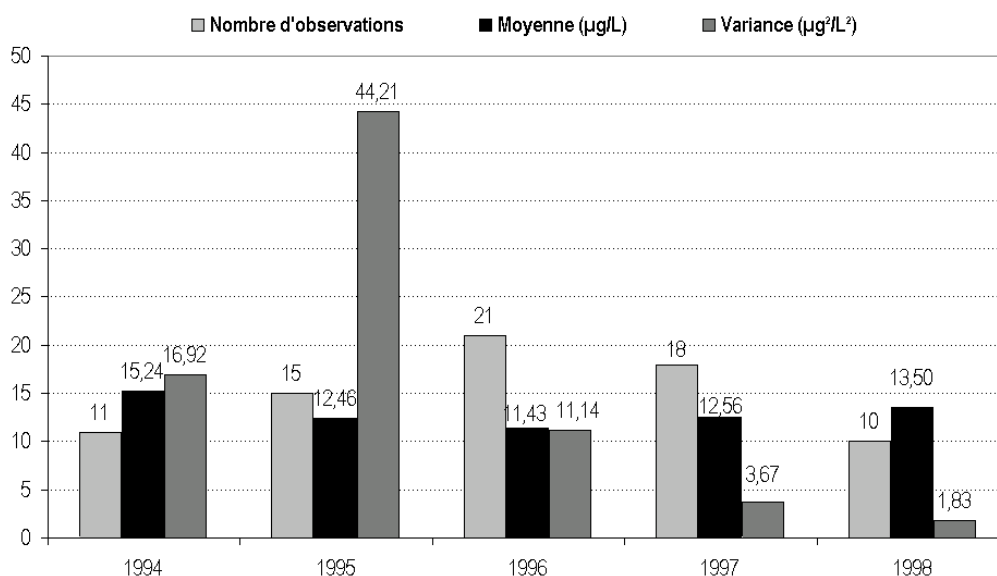


Pour la représentation graphique, n'est reprise que la période 1994 à 1998. Entre 1998 et 2004, il n'y a eu qu'une seule observation au premier trimestre 2004.

Aucune tendance nette n'est observable sur le graphe n°A4-5 : la droite de tendance représentée est polynomiale d'ordre 6 et n'explique que 18% des variations observées.

L'étude par année ne permet pas non plus d'observer de tendance nette (graphe n°A4-6). Cependant à partir de l'année 1996, les concentrations en sélénium n'ont jamais dépassé la limite de tolérance de 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ imposée par le CSHPF.

Graphe n°A4-6 : Comparaison des paramètres de distribution - Capt. "Bois Carré"



Pour les trois premières années, une grande variabilité des résultats est observée. Ainsi, en 1995, la variance de la distribution des concentrations mesurées est plus de 3 fois

supérieure à la moyenne de la distribution : les concentrations mesurées sont très hétérogènes.

Par contre, pour les années 1997 et 1998, la variance semble plus faible : les concentrations mesurées sont nettement plus homogènes.

Il n'est pas possible de mettre en évidence une différence significative entre les moyennes et les variances annuelles (taille des échantillons trop faible).

A4-3-3 EVOLUTION SAISONNIERE

INDICATEURS STATISTIQUES

Les observations sont plus fréquentes durant la période d'hiver (tableau n°A4-8) :

Tableau n°A4-8 : Indicateurs statistiques saisonniers – Capt. « Bois Carré »

	Eté (Avril à Septembre)	Hiver (Octobre à Mars)
Nombre d'observations	12	64
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,85	12,56
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	14,00	13,00
Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	7,00	5,00
Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	17,00	26,00
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	6,76	17,70

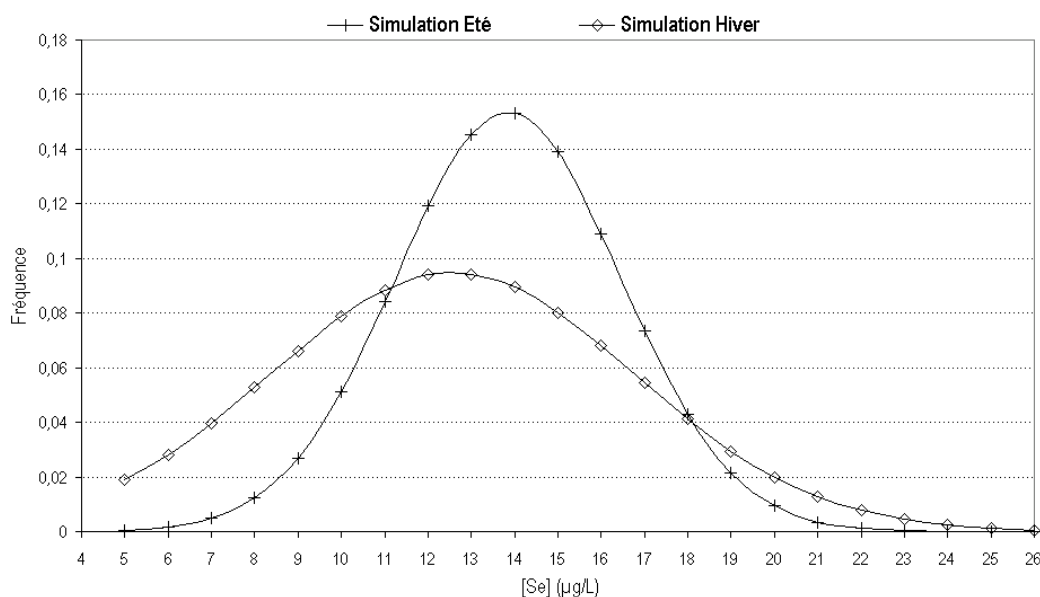
En hiver, la variance semble supérieure à la moyenne des observations, signifiant une grande hétérogénéité des observations hivernales.

DISTRIBUTIONS SAISONNIERES

Un test de conformité de Kolmogorov-Smirnov permet de déterminer que les distributions hivernales et estivales suivent chacune une loi normale (graphe n°A4-7) :

- Eté : $N(13,85 ; 2,60)$
- Hiver : $N(12,56 ; 4,21)$

Graphe n°A4-7 : Distributions saisonnières des observations - Capt."Bois Carré"



Le test de comparaison des variances des deux échantillons permet de conclure à une différence significative des variances : la variance hivernale est plus élevée que celle estivale.

Le calcul de l'intervalle de confiance de chacune des moyennes ne permet pas de conclure que la moyenne estivale est significativement différente de la moyenne hivernale.

Aucun phénomène saisonnier ne peut être mis en évidence, notamment du fait du faible nombre d'observation en hiver.

A4-3-3-4 COMPARAISON CAPTAGE/RESERVOIR DE NAINVILLE-LES-ROCHES

Il peut être intéressant de comparer les observations au niveau du captage « Bois Carré » et celle au niveau du réservoir étant donné la connexion entre les deux ouvrages.

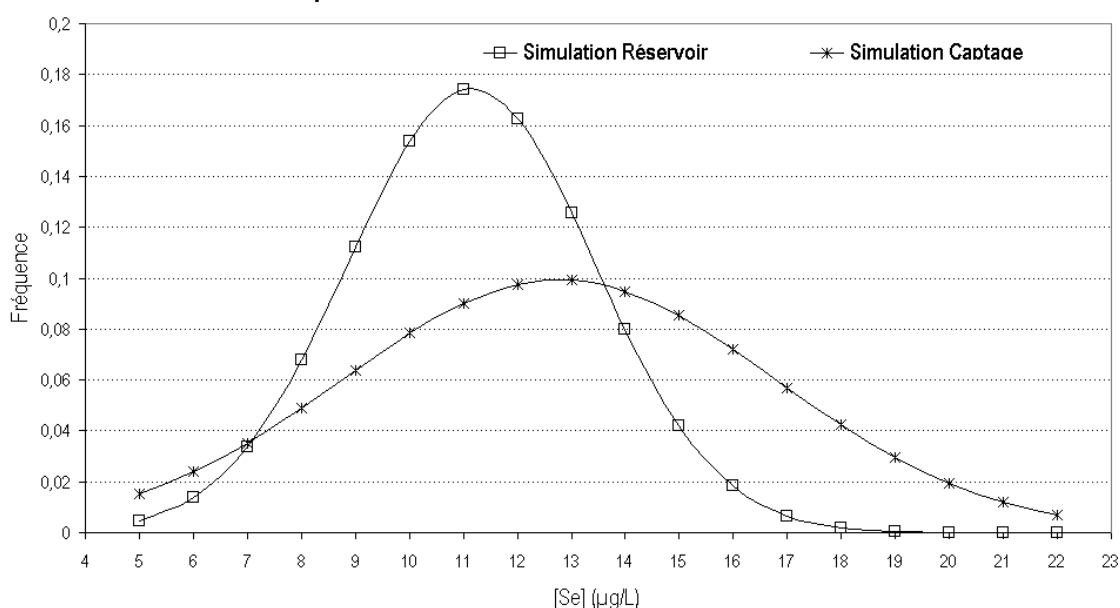
Tableau n°A4-9 : Indicateurs statistiques du réservoir de Nainville-les-Roches et du capt. « Bois Carré »

	Réservoir	Captage
Nombre d'observations	63	76
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,14	12,77
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,00	13,00
Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,00	5,00
Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	18,60	26,00
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	5,22	16,08

La variance semble plus faible pour les observations du réservoir.

Un test de conformité de Kolmogorov-Smirnov permet de conclure que la distribution des observations du réservoir suit une loi Normale de type $N(11,14 ; 2,29)$ (graphe n°A4-8).

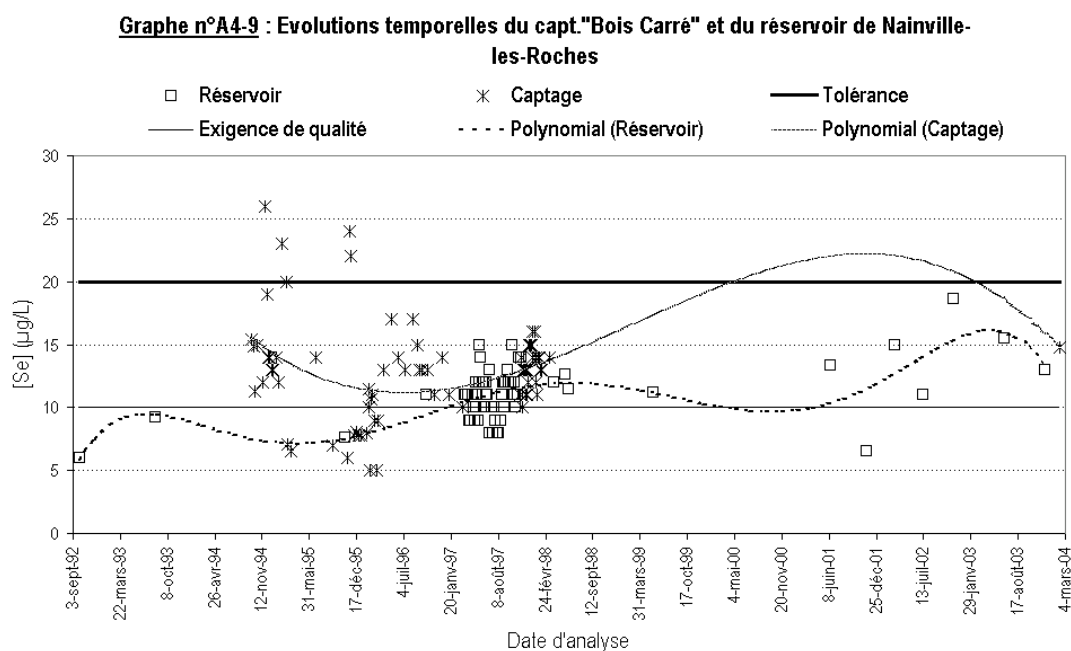
Graphe n°A4-8 : Comparaison des distributions -
Capt. "Bois Carré" et Réservoir de Nainville-les-Roches



Le test de comparaison des variances permet de conclure que la variance est plus élevée dans le captage que dans le réservoir : les facteurs de variabilité seraient plus nombreux dans le captage que dans le réservoir.

Le calcul des intervalles de confiance des moyennes des deux échantillons indique un léger chevauchement des intervalles : en tenant compte de la taille des échantillons, il est possible de considérer que les valeurs observées dans le réservoir sont plus faibles que celles observées au niveau du captage.

L'apport d'eau depuis le réservoir de Noisement permet d'abaisser la concentration en sélénium des eaux captées. Le réservoir de Noisement étant alimenté par les autres captages du syndicat jusqu'en 2000, puis par l'interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix depuis 2002.

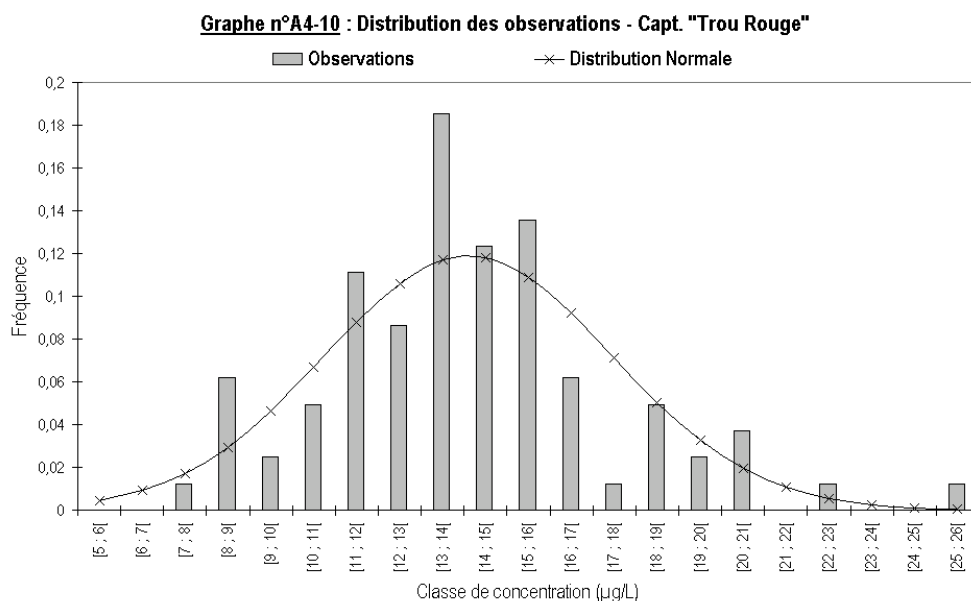


L'évolution des observations ne montre pas de relation nette entre les observations du captage et celles du réservoir (graphe n°A4-9).

A4-3-4 CAPTAGE « TROU ROUGE »

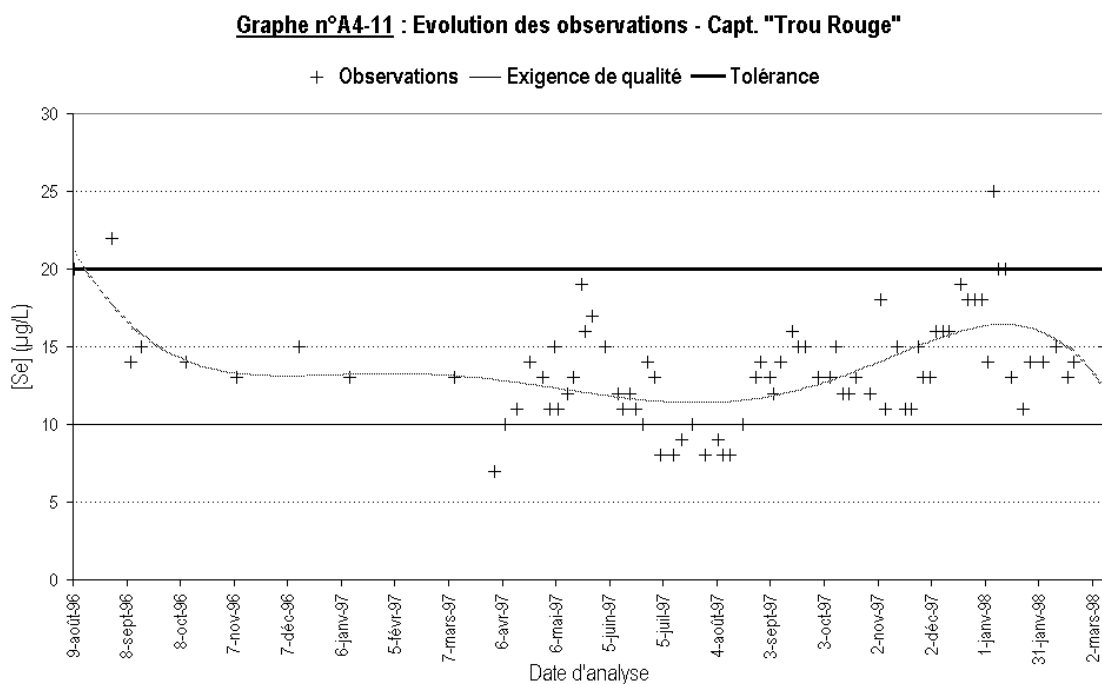
A4-3-4-1 DISTRIBUTION DES OBSERVATIONS

Nombre d'observations	Moyenne (µg.L ⁻¹)	Médiane (µg.L ⁻¹)	Minimum (µg.L ⁻¹)	Maximum (µg.L ⁻¹)	Variance (µg ² .L ⁻²)
81	13,60	13,00	7,00	25,00	11,27



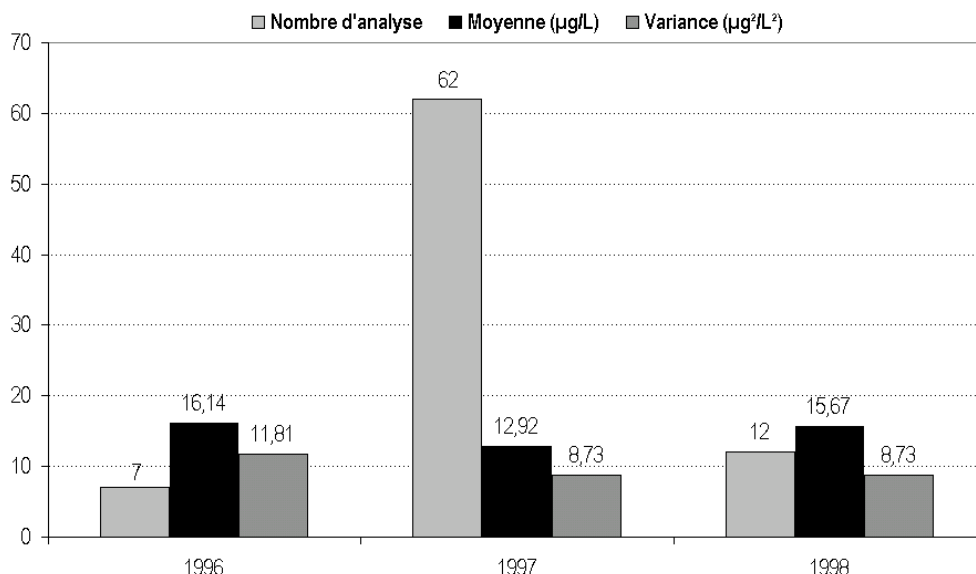
Le test de conformité de Kolmogorov-Smirnov permet de déterminer que la distribution des observations suit une loi de distribution normale de type $N(13,60 ; 3,36)$ (graphe n°A4-10).

A4-3-4-2 EVOLUTION TEMPORELLE



Aucune tendance nette n'est observable : la droite de tendance représentée sur le graphe n°A4-11 est polynomiale d'ordre 6.

Graphe n°A4-12 : Comparaison des distributions annuelles - Capt. Trou Rouge



L'étude année par année ne permet pas non plus de dégager une tendance nette (graphe n°A4-12).

La variance des deux dernières années est égale pour un nombre d'observation plus faible la dernière année : il semble que les concentrations en sélénium mesurées en 1998 soient relativement plus homogènes.

A4-3-4-3 EVOLUTION SAISONNIERE

INDICATEURS STATISTIQUES

Les observations se répartissent équitablement sur les deux périodes d'étude (tableau n°A4-10).

Tableau n°A4-10 : Indicateurs statistiques saisonniers – Capt. « Trou Rouge »

	Été (Avril à Septembre)	Hiver (Octobre à Mars)
Nombre d'observations	43	38
Moyenne (µg.L ⁻¹)	12,58	14,76
Médiane (µg.L ⁻¹)	13,00	14,00
Minimum (µg.L ⁻¹)	7,00	11,00
Maximum (µg.L ⁻¹)	22,00	25,00
Variance (µg².L ⁻²)	11,2	9,05

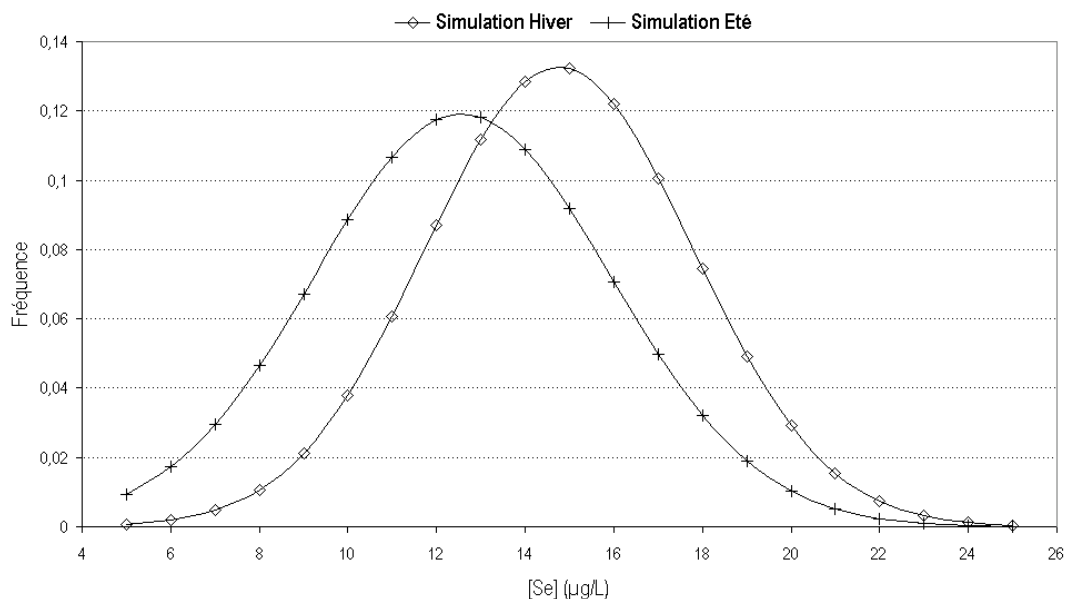
Les concentrations hivernales semblent plus élevées que celle estivales : les observations estivales descendent jusqu'à 7 µg.L⁻¹, tandis que les observations hivernales sont toujours au-dessus de l'exigence de qualité de 10 µg.L⁻¹.

DISTRIBUTIONS SAISONNIERES

Les tests de conformité à la distribution normale permettent de conclure que les deux distributions suivent une loi normale (graphe n°A4-13) :

- Été : $N(12,58 ; 3,35)$
- Hiver : $N(14,76 ; 3,01)$

Graphe n°A4-13 : Distributions saisonnières des observations - Capt. "Trou Rouge"



La comparaison des variances ne permet pas de mettre en évidence une différence significative des variances saisonnières. La taille des échantillons étant relativement grande, les variances sont considérées comme égales.

Les concentrations en sélénium observées en hiver sont significativement plus élevées que celle observées en été, même si cette différence reste faible.

Il s'agira de déterminer ce qui pourrait être à l'origine de ce décalage des observations (conditions météorologiques, caractéristiques hydrauliques de l'aquifère). Il semble que les facteurs de variabilité soient identiques sur les deux saisons.

A4-3-5 CAPTAGE « TROIS CROIX »

L'exploitation de ce captage s'est arrêtée en 2000.

Seules 5 analyses ont reporté une concentration en sélénium supérieure à 5 µg.L⁻¹. Ces observations sont apparues d'août 1996 à juin 1998.

Nombre d'observations	Moyenne (µg.L ⁻¹)	Médiane (µg.L ⁻¹)	Minimum (µg.L ⁻¹)	Maximum (µg.L ⁻¹)	Variance (µg ² .L ⁻²)
5	7,36	7,50	6,30	8,00	0,52

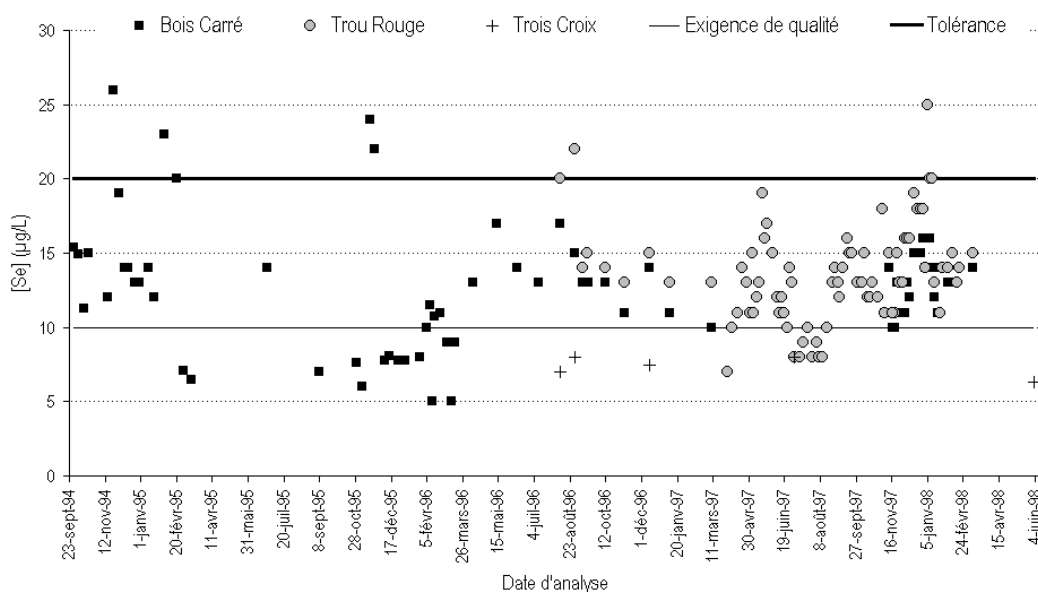
Toutes ces concentrations sont inférieures à l'exigence de qualité (10 µg.L⁻¹).

Compte-tenu du faible nombre d'observations, aucune tendance ne peut être mise en évidence.

A4-3-6 COMPARAISON DES CAPTAGES DE CHAMPCUEIL

A4-3-6-1 EVOLUTION TEMPORELLE

Graph n°A4-14 : Evolution temporelle (hors 2004) - Capt. du SIE de Champcueil et environs



Le phénomène est d'abord apparu sur le captage « Bois Carré » en septembre 1994 (graphe n°A4-14).

En août 1996, les premières « bouffées » de sélénium apparaissent sur le captage « Trou Rouge » et « Trois Croix », ce qui a limité l'impact de la dilution des eaux prélevées sur « Bois Carré » par ces deux autres captages.

Sur l'année 1997, les anomalies en sélénium sont surtout importantes sur le captage « Trou Rouge ». Puis en début d'année 1998, les concentrations en sélénium semblent équivalentes sur « Bois Carré » et « Trou Rouge ». Ensuite le contrôle sanitaire annuel sur les captages n'observe pas de sélénium quantifiable dans les eaux.

Les concentrations supérieures à $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ représentent 83% des concentrations mesurées sur les trois captages. Pour chaque captage, elles représentent :

- ☐ « Bois Carré » : 81%
- ☐ « Trou Rouge » : 90%
- ☐ « Trois Croix » : aucune.

Il peut être intéressant de comparer les distributions des concentrations en sélénium mesurées sur le captage « Bois Carré » (aquifère de Champigny/Saint-Ouen) et celles mesurées sur le captage « Trou Rouge » (aquifère de Champigny).

Si la couche de marnes infragypseuses entre le calcaire de Champigny et le calcaire de Saint-Ouen est suffisamment épaisse pour constituer une barrière imperméable, une différence entre les deux captages pourraient privilégier l'une ou l'autre origine géologique proposée pour le sélénium (Yprésien versus marnes infragypseuses).

A4-3-6-2 « BOIS CARRÉ » VERSUS « TROU ROUGE »

La comparaison portera sur une période où les observations ont été réalisées le même jour : d'août 1996 à mars 1998.

Tableau n°A4-11 : Indicateurs statistiques – Capt. « Bois Carré » et « Trou Rouge »

	Bois Carré	Trou Rouge
Nombre d'observations	32	32
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,19	15,16
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,00	15,00
Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	10,00	11,00
Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	17,00	22,00
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	3,25	8,46

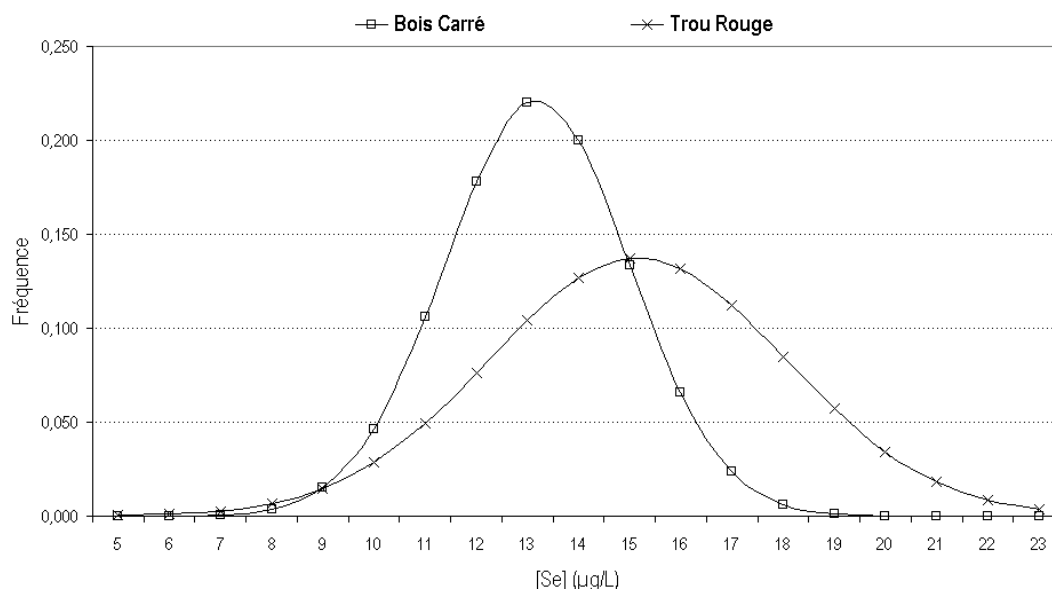
Les observations sur "Trou Rouge" semblent plus élevées que celles sur "Bois Carré" (tableau n°A4-11). L'hétérogénéité des observations semble également plus importante sur le captage "Trou Rouge".

COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS

Les tests de conformité de Kolmogorov-Smirnov permettent de conclure que les distributions des deux échantillons suivent une loi Normale (graphe n°A4-15) :

- « Bois Carré » : $N(13,19 ; 1,80)$
- « Trou Rouge » : $N(15,16 ; 2,91)$

Graphe n°A4-15 : Distributions des observations sur la même période -
Capt. "Bois Carré" et "Trou Rouge"

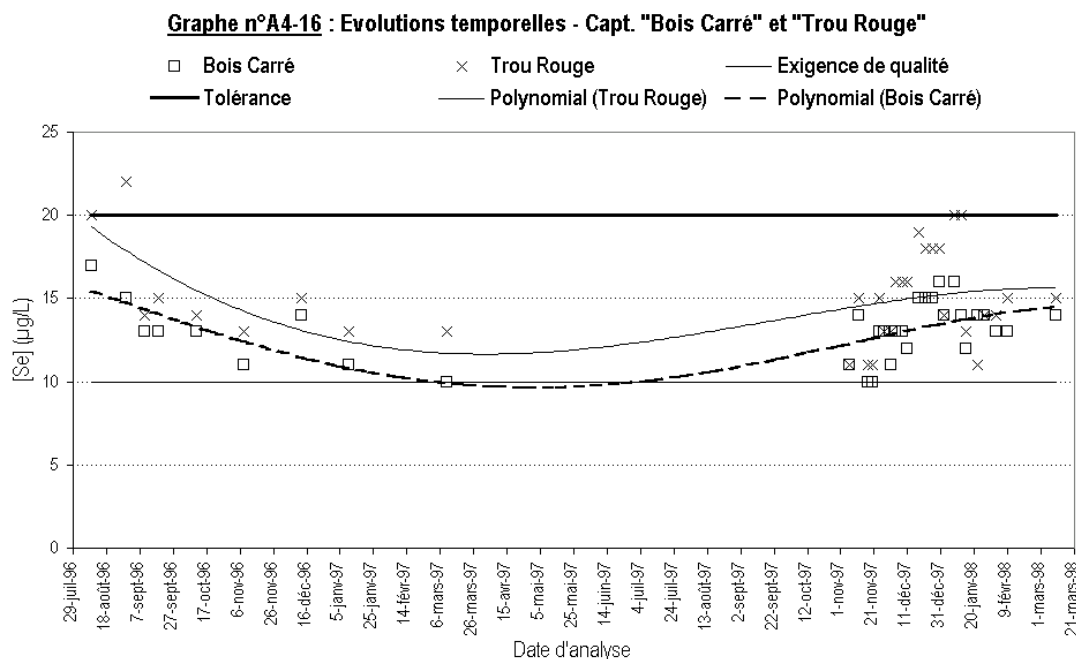


Le test de comparaison des variances ne peut être mis en œuvre car les échantillons ne sont pas indépendants (voir ci-après). Cependant la variance des observations sur le captage « Trou Rouge » semble plus élevée que celle des observations sur le captage « Bois Carré »

Le calcul des intervalles de confiance de la moyenne des deux échantillons indique que les observations sur « Trou Rouge » sont significativement plus élevées que celles sur « Bois Carré ».

Le phénomène de relargage du sélénium semble plus important au niveau du captage « Trou Rouge » qu'au niveau du captage « Bois Carré », les facteurs de variabilité aussi.

EVOLUTION TEMPORELLE

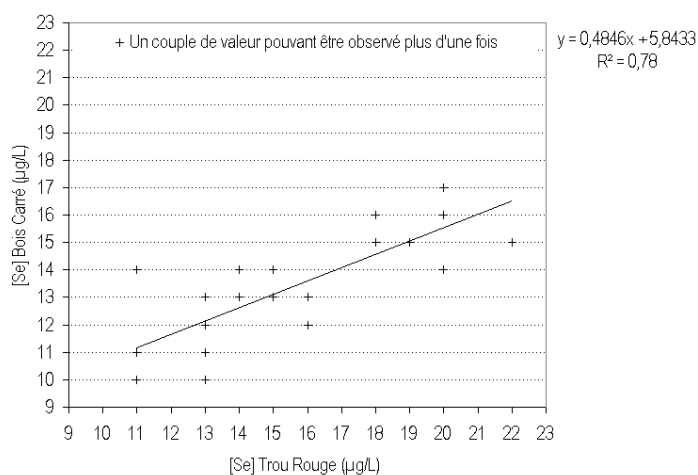


Les courbes de tendances calculées (polynomiales d'ordre 4) sont relativement proches : les observations suivent la même évolution (graphe n°A4-16).

CORRELATION LINEAIRE SIMPLE – REGRESSION LINEAIRE

Une corrélation peut être recherchée entre les observations sur le captage « Bois Carré » et celles sur le captage « Trou Rouge » (graphe n°A4-17).

Graphe n°A4-17 : Correlation des observations des capt. "Bois Carré" et "Trou Rouge"
Résultat d'analyse un même jour



Cette régression linéaire explique 78% de la variation total des concentrations mesurées sur le captage “Bois Carré”. La pente de régression est inférieure à 1 : pour un même jour, les observations sur le captage “Bois Carré” sont plus faibles que celles sur le captage “Trou Rouge”.

Le test de signification de cette droite de régression confirme qu’au seuil $\alpha=5\%$, il existe une relation entre les observations sur le captage “Bois Carré” et celle sur le captage “Trou Rouge”.

Il n’est pas évident qu’il s’agisse d’une relation de cause à effet, il peut s’agir d’une co-évolution liée à un facteur temporel agissant de la même manière sur les observations (piézométrie).

Le sens d’écoulement de la nappe, vers la vallée de Seine au Nord-Est, serait à préciser sur le secteur de Champcueil et Nainville-les-Roches pour valider l’hypothèse d’une migration du sélénium depuis le captage de “Trou Rouge” vers le captage “Bois Carré” situé à 2 km au Nord-Est-Est du premier.

A4-3-6-3 CAPTAGES DE CHAMPCUEIL VERSUS RESERVOIR DE NOISEMENT

Le réservoir de Noisement a réceptionné les eaux des 3 captages jusqu’en 2000, date d’arrêt des captages « Trou Rouge » et « Trois Croix ». Entre 2001 et 2002, seul le captage de « Bois Carré » alimentait le réservoir de Noisement. Début 2002, l’interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix a permis la dilution des eaux de « Bois Carré » dans le réservoir de Noisement.

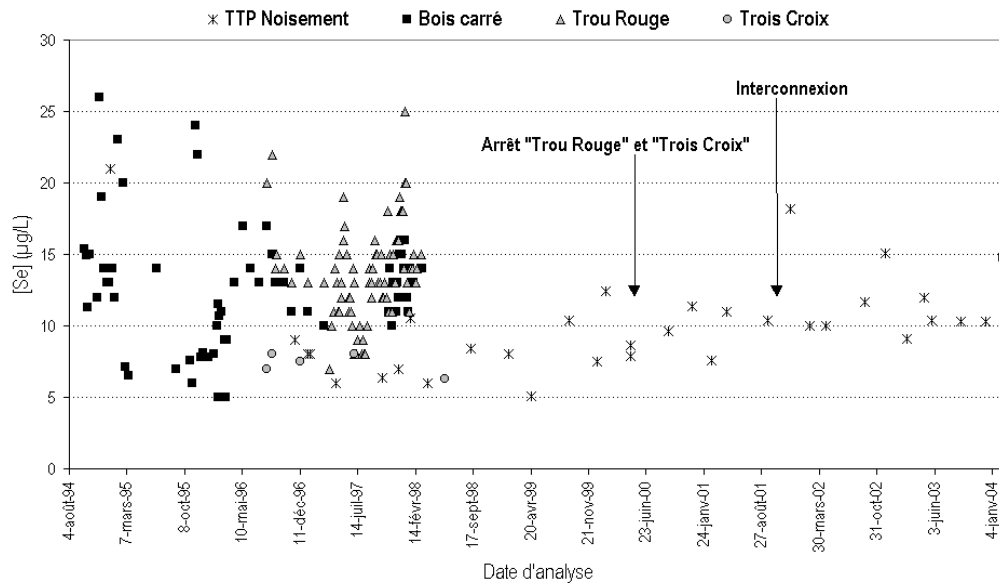
Ouvrage	Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
TTP Noisement	32	9,92	9,80	5,10	21,00	11,08

Les observations sur le réservoir de Noisement sont très hétérogènes (variance supérieure à la moyenne). En effet, sur la période d’étude, le réservoir de Noisement a été alimenté par plusieurs ressources différentes.

Un test de conformité de Kolmogorov-Smirnov permet de conclure que la distribution des observations sur le réservoir de Noisement suivent une loi normale $N(9,92 ; 3,33)$ (graphe n°A4-19).

Malgré la dilution avec les eaux du syndicat de la région Hurepoix, les concentrations en sélénium restent supérieures à l’exigence de qualité (graphe n°A4-18).

Graphe n°A4-18 : Evolution des observations - Captages et réservoir Noisement



La comparaison des intervalles de confiance des observations sur les captages alimentant le réservoir et celles sur le réservoir ne peut être réalisée avant l'arrêt du suivi régulier des captages (1999) : la distribution des observations sur le réservoir de Noisement est trop asymétrique pour que le calcul de l'intervalle de confiance soit possible.

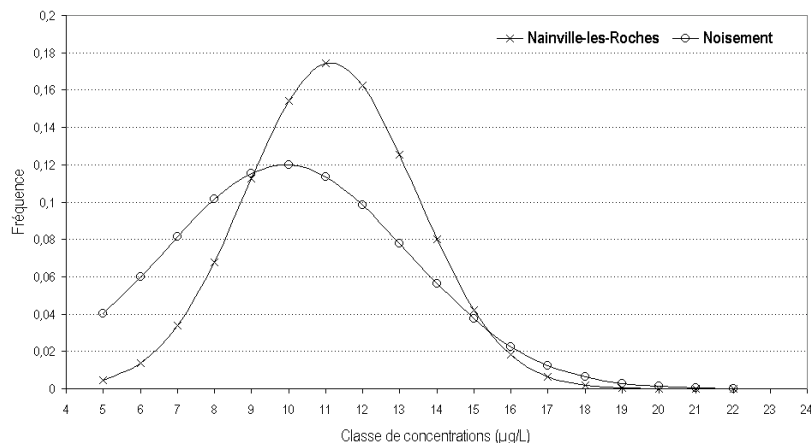
A4-3-6-4 RESERVOIR DE NAINVILLE-LES-ROCHES VERSUS RESERVOIR DE NOISEMENT

Dans une première approximation, il est considéré que les observations sur les deux réservoirs sont indépendantes. Pour déterminer l'indépendance des observations, il aurait fallu comparer des observations réalisées aux mêmes dates, ce qui n'est pas possible avec le jeu de données.

Le réservoir de Noisement alimente le réservoir de Nainville-les-Roches, tous deux sont alimentés par le captage « Bois Carré ».

Ouvrage	Nombre d'observations	Moyenne (µg.L ⁻¹)	Médiane (µg.L ⁻¹)	Minimum (µg.L ⁻¹)	Maximum (µg.L ⁻¹)	Variance (µg ² .L ⁻²)
Nainville-les-Roches	63	11,14	11,00	6,00	18,60	5,22
Noisement	32	9,92	9,80	5,10	21,00	11,08

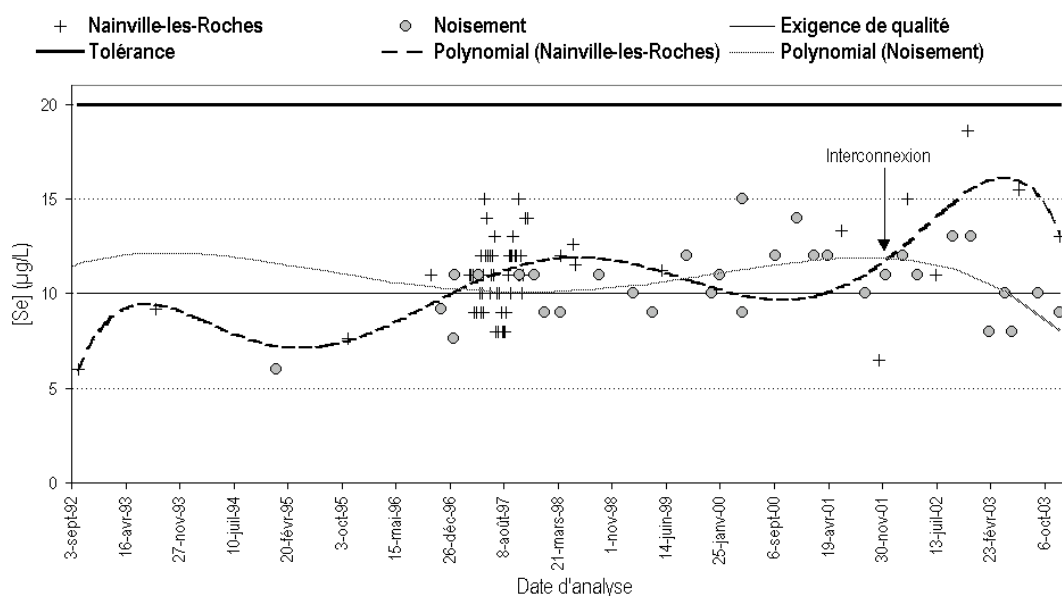
Graphe n°A4-19 : Distributions des observations - Réservoirs de Nainville-les-Roches et de Noisement



La comparaison des variances permet de conclure que la variance sur le réservoir de Noisement est significativement plus élevée que celle sur le réservoir de Nainville-les-Roches. La dilution entraîne une hétérogénéité plus importante des observations.

Sur la période d'étude, il n'est pas mis en évidence de différence significative des moyennes des deux échantillons. Compte-tenu de la taille des échantillons, les moyennes sont considérées comme égales.

**Graphe n°A4-20 : Evolutions temporelles des observations -
Réservoirs de Noisement et de Nainville-les-Roches**



Il n'est pas possible de mettre en évidence une relation entre l'évolution des observations sur le réservoir de Nainville-les-Roches et celle sur le réservoir de Noisement (graphe n°A4-20). Les courbes de tendances (polynomiales d'ordre 4 et 6) sont différentes.

Aucune différence significative ne peut être mise en évidence entre les moyennes après l'interconnexion : le coefficient d'asymétrie de la distribution des observations sur le réservoir de Noisement est trop élevé pour faire le calcul de l'intervalle de confiance.

Cependant, les observations sur le réservoir de Nainville-les-Roches restent élevées, tandis que celles sur le réservoir de Noisement semblent plus faibles. Le fait d'alimenter régulièrement le réservoir de Nainville-les-Roches uniquement avec le captage « Bois Carré » ne permet pas de respecter l'exigence de qualité.

De même, aucune différence significative des concentrations observées sur chaque réservoir n'a pu être mise en évidence entre la situation avant l'interconnexion et la situation après :

- ❑ La taille d'échantillon est trop faible,
- ❑ Le coefficient d'asymétrie de la distribution des observations sur le réservoir de Noisement est trop élevé pour permettre le calcul de l'intervalle de confiance.

A4-3-7 CONCLUSIONS SUR L'ETUDE DES CAPTAGES DE CHAMPCUEIL

Aucune évolution particulière des données dans le temps n'a pu être mise en évidence sur les ouvrages du SIE de Champcueil et environs.

Les concentrations en sélénium mesurées sur les captages « Bois Carré » et « Trou Rouge » suivent des distributions normales, il en est de même pour les concentrations réparties selon les saisons.

Comme un phénomène obéit approximativement à une loi normale s'il dépend de nombreux facteurs indépendants entre eux, si les variations de ces facteurs sont faibles, les anomalies en sélénium rencontrées doivent répondre à ces conditions. Par extension, il est possible d'en déduire qu'il s'agit d'un phénomène « naturel » et chronique, en opposition à un accident.

La chloration s'étant toujours faite en crépine sur ces captages, il n'est pas possible d'avoir l'information sur la concentration en sélénium dans l'eau brute. La chloration modifiant la chimie des eaux, il serait intéressant d'évaluer son impact sur la mesure du sélénium total réalisé sur les captages.

Une relative diminution de l'hétérogénéité des résultats semble s'observer sur les captages « Bois Carré » et « Trou Rouge », pouvant signifier une stabilisation du phénomène entre 1996 et 1998, étant donné que la méthode d'analyse est restée la même sur la période.

Le contrôle sanitaire ayant été modifié durant l'année 1998 sur les captages, il y a une rupture de la série chronologique sur les captages du syndicat (une recherche annuelle).

Avant 1999, la dilution des eaux issues du captage « Bois Carré » dans le réservoir de Nainville-les-Roches par les apports du réservoir de tête ne permettait d'abaisser la concentration en sélénium que d'un microgramme par litre. L'alimentation directe du réservoir de Nainville-les-Roches par les eaux du captage « Bois Carré » annule les effets positifs de ce mélange. Cette comparaison ne peut être réalisée après 1999 du fait de la modification du contrôle sanitaire sur le captage.

Sur le réservoir de Noisement, les observations de sélénium sont régulières à partir de 1996. L'interconnexion avec le SIE de la région Hurepoix ne permet pas une dilution suffisante pour respecter l'exigence de qualité : les concentrations en sélénium à la sortie du réservoir restent comprises entre 10 et 15 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

La seule différence significative mise en évidence entre les réservoirs de Noisement et de Nainville-les-Roches porte sur la variance : l'hétérogénéité des concentrations en sélénium est plus importante dans le réservoir de Noisement, traduisant la différence d'apport entre les réservoirs et la dilution depuis la mise en place de l'interconnexion.

Aucune amélioration significative des teneurs en sélénium n'a pu être mise en évidence entre la situation avant l'interconnexion et celle après sur chaque réservoir.

Concernant un effet saisonnier, une différence entre les concentrations estivales et hivernales n'a pu être montrée que sur le captage « Trou Rouge », le nombre de concentrations estivales sur le captage « Bois Carré » étant trop faible pour montrer une éventuelle différence.

Aux vues des résultats sur le captage « Trou Rouge », les concentrations mesurées en hiver sont plus élevées que celles mesurées en été, elles sont également soumises à une plus grande variabilité. L'effet de la pluviométrie est peu probable compte-tenu de la profondeur de l'aquifère, par contre les effets de la variation de la piézométrie ou du débit de pompage seront à étudier.

Les observations sur « Bois Carré » sont significativement inférieures à celles sur « Trou Rouge ». Ainsi ce sont les eaux des captages « Bois Carré » et « Trois Croix » qui diluaient les eaux du captage « Trou Rouge » dans le réservoir de Noisement.

Les observations sur les captages « Bois Carré » et « Trou Rouge » sont significativement corrélées entre elles.

Comme le captage « Trou Rouge » n'exploite que l'aquifère de Champigny, tandis que le captage « Bois Carré » capte l'aquifère multicouche de Champigny et Saint-Ouen :

- ☒ soit il s'agit d'une migration du sélénium depuis le secteur de « Trou Rouge » vers le captage « Bois Carré » dans le sens d'écoulement de la nappe,
- ☒ soit les aquifères de Champigny et de Champigny/Saint-Ouen sont influencés par un même facteur temporel intervenant dans le phénomène de relargage de sélénium.

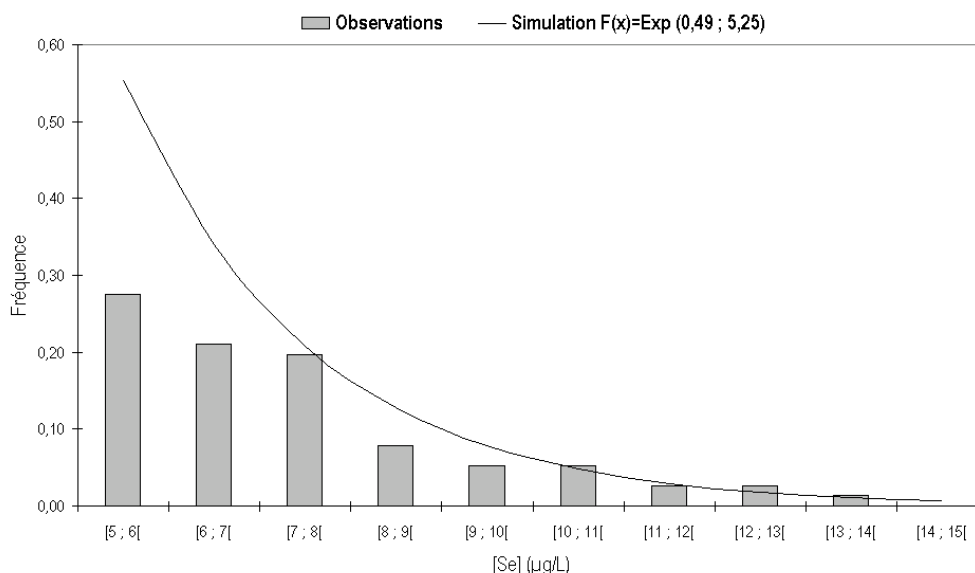
Il n'est donc pas possible avec cette seule analyse de conclure sur l'origine géologique du sélénium entre les marnes infragypseuses et l'Yprésien.

A4-3-8 PRISE D'EAU D'ITTEVILLE

A4-3-8-1 DISTRIBUTIONS DES OBSERVATIONS

Ouvrage	Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
Captage	69	7,27	6,70	5,00	13,90	4,08
TTP	6	7,18	6,45	5,00	12,00	6,74

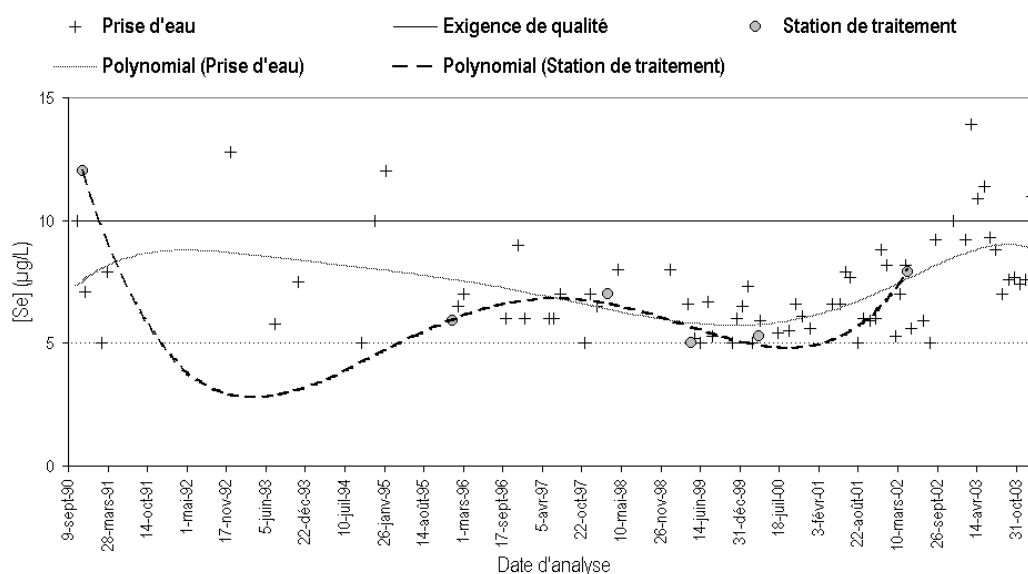
Graphe n°A4-21 : Distribution des observations - Prise d'eau d'Itteville



La distribution des observations est très différente de celle observée sur les captages précédents (graphe n°A4-21). La simulation d'une distribution de type exponentielle prenant en compte la moyenne et l'écart-type ne correspond pas tout à fait à l'observation.

A4-3-8-2 EVOLUTION TEMPORELLE

**Graphe n°A4-22 : Evolution des observations -
Prise d'eau et station de traitement d'Itteville**

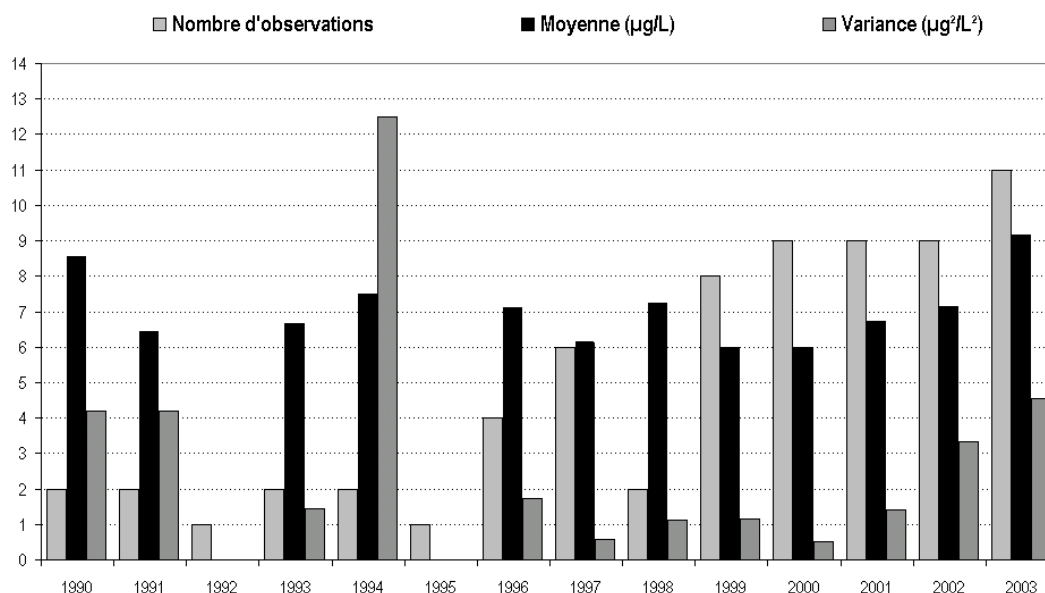


Les concentrations en sélénium sont mesurées régulièrement depuis 1990, avec une augmentation du nombre d'observations depuis 1996 (graphe n°A4-22). Les valeurs

observées restent le plus souvent en deçà de l'exigence de qualité. Les observations sur la station de traitement sont nettement plus faibles, le processus de potabilisation de l'eau permet de réduire notablement les concentrations en sélénium.

Les courbes de tendance, de type polynomial (d'ordre 6 et 4) ne présentent pas les mêmes évolutions sur la prise d'eau et sur la station de traitement.

Graphique n°A4-23 : Comparaison des distributions annuelles - Prise d'eau d'Itteville



Si le nombre d'observation augmente régulièrement depuis 1996, il reste difficile de mettre en évidence une augmentation des concentrations moyennes annuelles, du fait de des valeurs élevées de la variance (graphe n°A4-23).

A4-3-8-3 EVOLUTION SAISONNIERE

INDICATEURS STATISTIQUES

Le nombre d'observations est pratiquement équivalent entre les deux saisons (tableau n°A4-12).

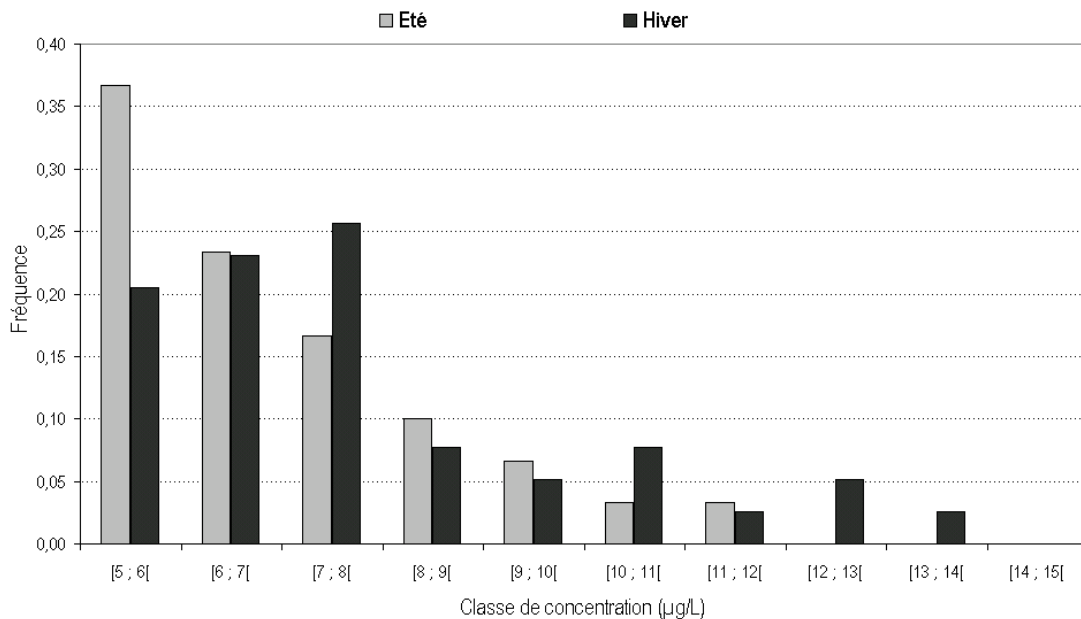
Tableau n°A4-12 : Indicateurs statistiques saisonniers – Prise d'eau d'Itteville

	Été (Avril à Septembre)	Hiver (Octobre à Mars)
Nombre d'observations	30,00	39,00
Moyenne (µg.L ⁻¹)	6,90	7,55
Médiane (µg.L ⁻¹)	6,60	7,00
Minimum (µg.L ⁻¹)	5,00	5,00
Maximum (µg.L ⁻¹)	11,40	13,90
Variance (µg²/L²)	2,90	4,89

Les observations hivernales semblent présenter une moyenne légèrement supérieure à celle estivale, ainsi qu'une dispersion plus importante.

DISTRIBUTION SAISONNIERE

Graphe n°A4-24 : Distribution saisonnière des observations - Prise d'eau d'Itteville



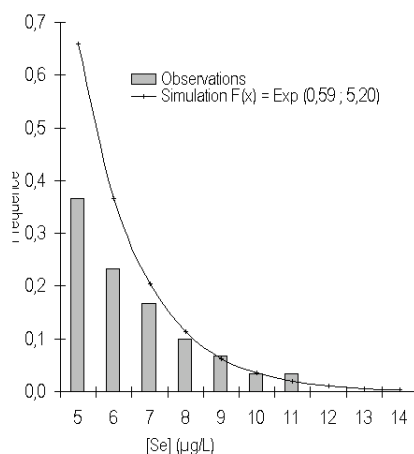
Une légère différence de distribution est observée entre l'été et l'hiver : la distribution estivale est régulièrement décroissante tandis que celle hivernale n'est décroissante qu'à partir d'une concentration observée de 8 µg.L⁻¹ (graphe n°A4-24).

Il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les moyennes des deux échantillons (test de Kruskal-Wallis). Les deux distributions présentent des caractéristiques de dispersion et d'asymétrie différentes pour un même paramètre de position.

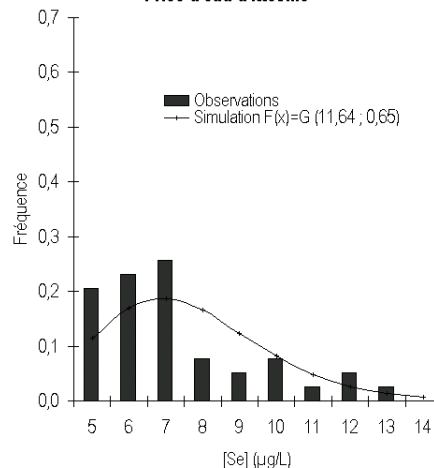
La simulation de distributions de type Exponentielle et Gamma appliquée aux observations saisonnière permet de penser que :

- ☐ les concentrations estivales suivent une loi de type Exponentielle (graphe n°A4-25a),
- ☐ les concentrations hivernales suivent une loi de type Gamma (graphe n°A4-25b).

Graphe n°A4-25a :
Distribution exponentielle - Eté -
Prise d'eau d'Itteville



Graphe n°A4-25b :
Distribution Gamma - Hiver -
Prise d'eau d'Itteville



A4-3-8-4 CONCLUSION

Les observations sur la prise d'eau d'Itteville ne suivant pas une distribution normale, le phénomène d'anomalies en sélénium s'y exprime de façon différente de précédemment.

Le nombre d'observation augmente depuis 1998 (+40%), sans pouvoir mettre en évidence une augmentation des concentrations moyennes annuelles du fait de l'importance de la dispersion autour de la valeur moyenne.

Les distributions des observations hivernales et estivales sont différentes, sans que toutefois une différence significative soit mise en évidence entre les moyennes des deux populations.

Des facteurs différents doivent intervenir entre les deux saisons : débit de la rivière, phénomène saisonnier sur le bassin versant, relation entre la rivière et les nappes l'alimentant, rejet saisonnier des activités en amont du point de mesure...

Enfin, les traitements mis en œuvre dans l'usine de production d'eau potable et la dilution avec l'eau en provenance du champ captant d'Itteville permettent un abattement des concentrations en sélénium en deçà du seuil de quantification en sortie d'usine.

A4-3-9 CAPTAGE « BELESBAT »

A4-3-9-1 RAPPEL DES INDICATEURS STATISTIQUES

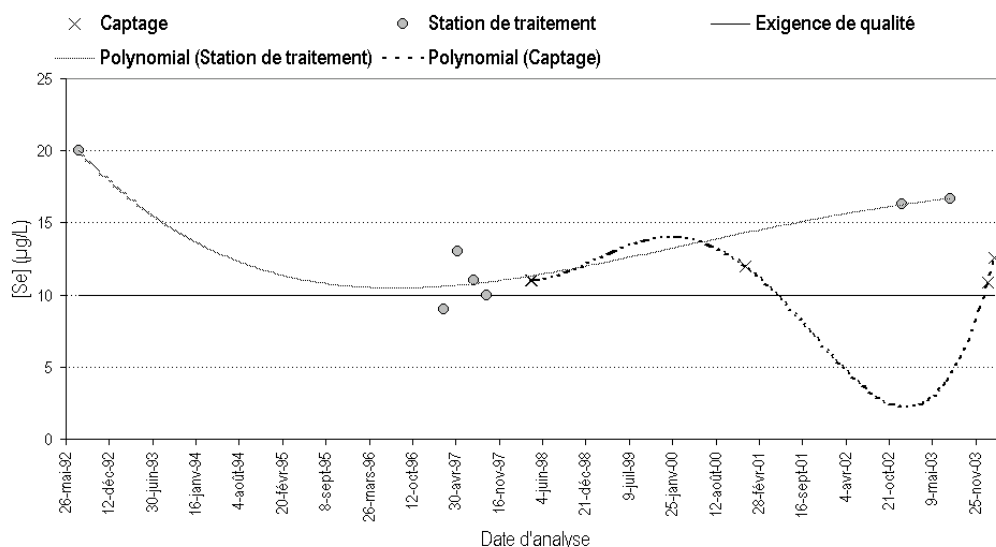
Ouvrage	Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
Captage	5	11,50	11,00	10,90	12,60	0,58
TTP	7	13,71	13,00	9,00	20,00	16,50

Le captage présente des concentrations en sélénium toujours supérieures à l'exigence de qualité quand elles sont mesurables. La dispersion des observations est faible autour de la moyenne.

Au niveau de la station de traitement, la moyenne des observations est supérieure à celle mesurée au niveau du captage mais elle est peu significative du fait de la dispersion très importante des observations.

A4-3-9-2 EVOLUTION TEMPORELLE

**Graphe n°A4-26: Evolution des observations -
Captage et Station de traitement de Belesbat**



Le sélénium a d'abord été mesuré au niveau de la station de traitement en 1992 et 1997 avec des concentrations supérieures à l'exigence de qualité. Par la suite, les mesures effectuées sur le captage ont également montré des observations supérieures à l'exigence de qualité (graphe n°A4-26).

Il n'apparaît pas de relation entre les observations au niveau du captage et les observations au niveau de la station de traitement, d'autant que les périodes d'observation ne concordent pas.

Il n'est possible d'identifier une évolution d'après les données (courbes de tendance polynomiales d'ordre 4), les observations de sélénium dans la ressource semblent relativement épisodiques.

A4-3-10 CAPTAGE « LHUMERY-F3 »

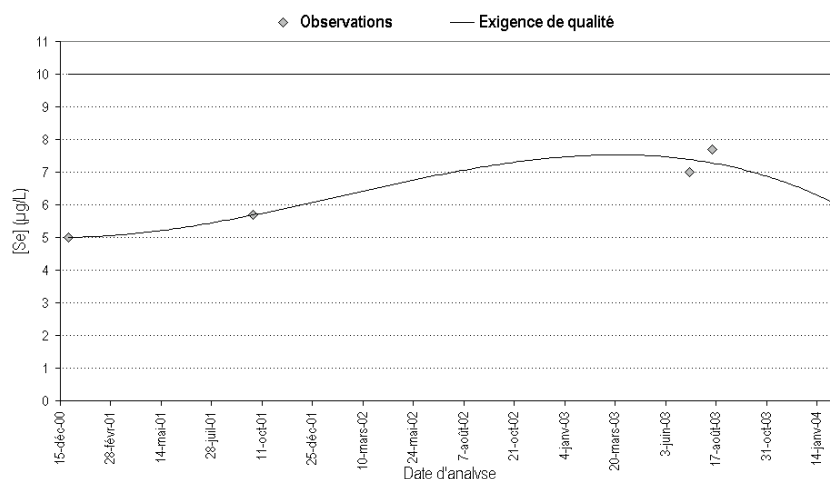
A4-3-10-1 RAPPEL DES INDICATEURS STATISTIQUES

Nombre d'observations	Moyenne (µg.L ⁻¹)	Médiane (µg.L ⁻¹)	Minimum (µg.L ⁻¹)	Maximum (µg.L ⁻¹)	Variance (µg ² .L ⁻²)
5,00	6,28	6,00	5,00	7,70	1,15

Les observations restent inférieures à l'exigence de qualité, la moyenne relativement faible, ainsi que la dispersion des valeurs.

A4-3-10-2 EVOLUTION TEMPORELLE

Graphe n°A4-27 : Evolution des observations - Capt. "Lhumery-F3"



La première observation du sélénium dans le captage date de fin décembre 2000, il n'y a eu aucune observation sur l'année 2002 (graphe n°A4-27).

La tendance indiquée sur le graphique est de type polynomiale d'ordre 3, elle explique 97% de la variabilité observée. Des données supplémentaires sont nécessaires pour observer une tendance plus précise.

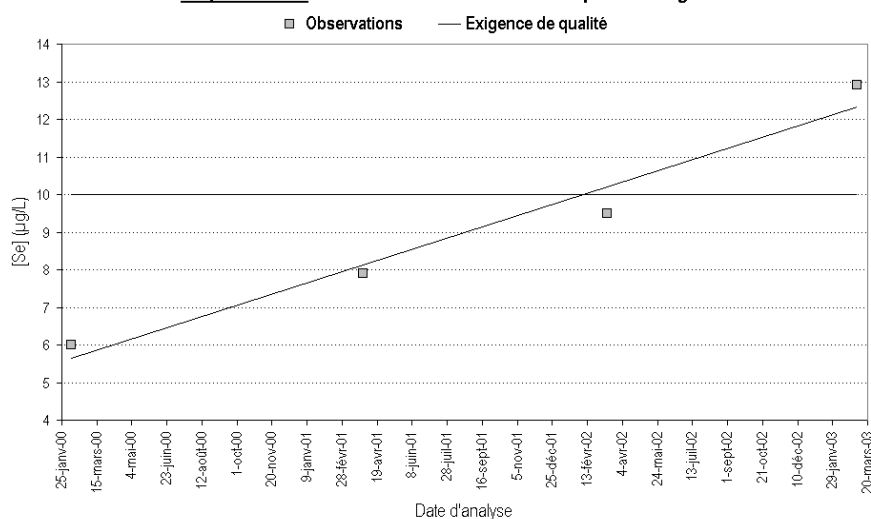
A4-3-11 CAPTAGE « MORSANG-F2 »

A4-3-11-1 RAPPEL DES INDICATEURS STATISTIQUES

Nombre d'observations	Moyenne (µg.L ⁻¹)	Médiane (µg.L ⁻¹)	Minimum (µg.L ⁻¹)	Maximum (µg.L ⁻¹)	Variance (µg ² .L ⁻²)
4	9,08	8,70	6,00	12,90	8,55

A4-3-11-2 EVOLUTION TEMPORELLE

Graphe n°A4-28 : Evolution des observations - Capt. "Morsang-F2"



Les observations sur le captage de Morsang-F2 suivent une croissance linéaire depuis février 2000 : ce point est à surveiller pour confirmer cette croissance et pour ensuite apporter des corrections (graphe n°A4-28).

A4-3-12 CAPTAGE DE SACLAS

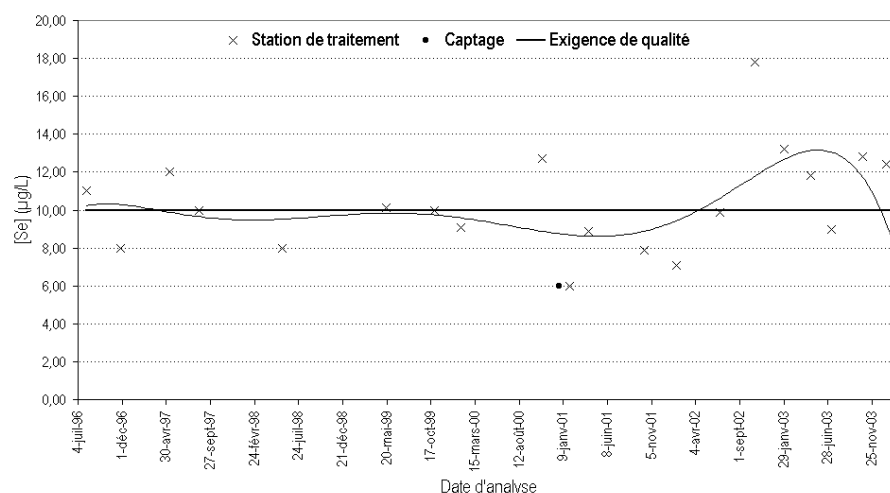
A4-3-12-1 RAPPEL DES INDICATEURS STATISTIQUES

Ouvrage	Nombre d'observations	Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Minimum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Maximum ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)
Captage	1	6	-	-	-	-
TTP	21	10,18	10,00	6,00	17,80	7,77

Le test de conformité de Kolmogorov-Smirnov permet de conclure que les observations mesurées sur la station de traitement de Saclas suivent une loi normale $N(10,18 ; 2,79)$.

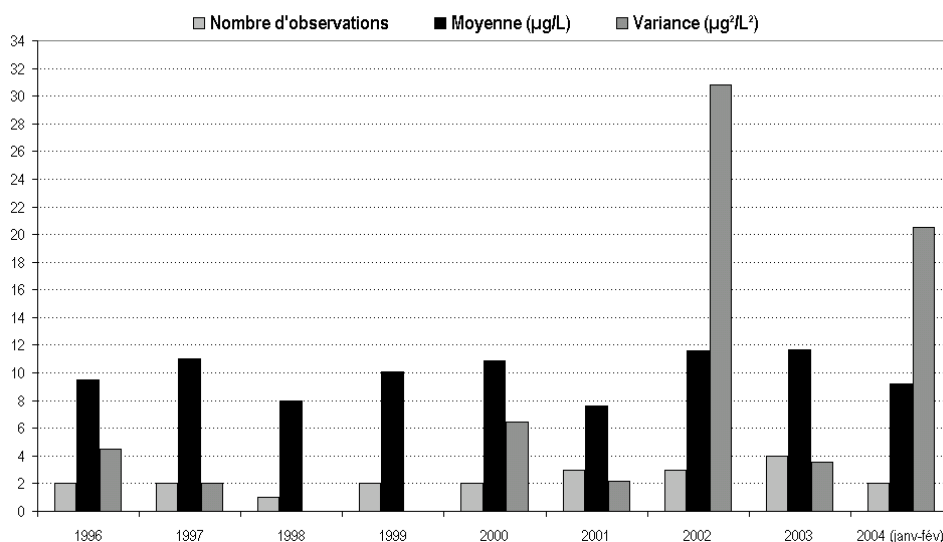
A4-3-12-2 EVOLUTION TEMPORELLE

Graphique n°A4-29 : Evolution des observations - Captage et station de traitement de Saclas



Aucune tendance n'est observable, la courbe est polynomiale d'ordre 6 (graphique n°A4-29).

Graphique n°A4-30 : Evolution annuelle des observations - Station de traitement de Saclas



Le nombre d'observation augmente légèrement depuis l'année 2000 passant de 2 par an à 3 en 2001 et 2002, puis 4 en 2003. Les dernières observations semblent légèrement plus élevée que les précédentes, avec parallèlement une plus grande hétérogénéité.

A4-3-13 CONCLUSIONS SUR LES AUTRES OUVRAGES

Le nombre d'observations étant assez faible pour ces ouvrages, peu d'information sur l'évolution du sélénium peut en être extraite.

Cependant, sur le captage « Morsang-F2 », la mesure annuelle du sélénium augmente linéairement depuis décembre 2000 : il serait nécessaire de surveiller cet ouvrage de production pour confirmer cette évolution.

De même 1996, la station de traitement de Saclas présente régulièrement des concentrations en sélénium mesurables, parfois supérieures à l'exigence de qualité. A noter que le captage de Saclas puise dans les sables de Fontainebleau.

Annexe n°5 : Résultats numériques

A5-1 CAPTAGE « BOIS CARRE »

A5-1-1 RESULTATS GLOBAUX

Nombre d'observations	76
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	12,77
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	26,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	4,01
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	16,08

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov

D_{obs}	0,1413
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,156

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

A5-1-2 COMPARAISON DES OBSERVATIONS SAISONNIERES

	Eté	Hiver
Nombre d'observations	12	64
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,85	12,56
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	14,00	13,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	7,00	5,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	17,00	26,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2,60	4,21
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	6,76	17,70

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution hivernale

D_{obs}	0,1622
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,17

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution estivale

D_{obs}	0,2172
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,375

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Calcul IC95	Eté	Hiver
Borne Inférieure	12,20	11,53
Borne Supérieure	15,50	13,59
	Petit échantillon	Grand échantillon

Test de Fisher-Snédecor

F_c	2,620
$F_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	1,946

$F_c > F_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 est rejetée, la variance hivernale est significativement plus élevée.

A5-1-3 COMPARAISON CAPT. "BOIS CARRÉ" ET RÉSERVOIR DE NAINVILLE-LES-ROCHES

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution du réservoir de Nainville-les-Roches

D_{obs}	0,1475
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,1713

$D_{obs} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

	Réservoir	Captage
Nombre d'observations	63	76
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,14	12,77
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,00	13,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,00	5,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	18,60	26,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2,29	4,01
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	5,22	16,08

	Réservoir	Captage
Calcul IC95		
Borne Inférieure	10,57	11,87
Borne Supérieure	11,71	13,67

Test de Fisher-Snédecor

F_c	3,0785
$F_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	1,485

$F_c > F_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 est rejetée, la variance au niveau du captage est significativement plus élevée.

A5-2 CAPT. "TROU ROUGE"

A5-2-1 RESULTATS GLOBAUX

Nombre d'observations	81
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,60
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	7,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	25,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	3,36
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	11,27

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov

D_{obs}	0,0788
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,1511

$D_{obs} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

A5-2-2 COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS SAISONNIERES

	Eté	Hiver
Nombre d'observations	43	38
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	12,58	14,76
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,00	14,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	7,00	11,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	22,00	25,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	3,35	3,01
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	11,20	9,05

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution hivernale

D_{obs}	0,1136
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,2150

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution estivale

D_{obs}	0,058851709
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,207398056

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Calcul IC95	Eté	Hiver
Borne Inférieure	11,58	13,80
Borne Supérieure	13,54	15,72

Test de Fisher-Snédecor

F_c	1,2376
$F_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	1,6800

$F_c < F_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, aucune différence significative n'est mise en évidence.

A5-3 CAPT. "BOIS CARRÉ" VERSUS "TROU ROUGE"

	Bois Carré	Trou Rouge
Nombre d'observations	32	32
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,19	15,16
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,00	15,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	10,00	11,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	17,00	22,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1,80	2,91
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	3,25	8,46

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution « Bois Carré »

D_{obs}	0,0642
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,2340

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution « Trou Rouge »

D_{obs}	0,1197
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,2340

$D_{obs} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Calcul IC95	Bois carré	Trou Rouge
Borne Inférieure	12,56	14,15
Borne Supérieure	13,81	16,16

Test de significativité de la corrélation

T_R	6,8553
$T_{\alpha/2} (\alpha = 5\%)$	2,043

$T_R >> T_{\alpha/2}$: L'hypothèse H_0 est rejetée, les deux variables sont significativement corrélées.

A5-4 RESERVOIR DE NOISEMENT VERSUS RESERVOIR DE NAINVILLE-LES-ROCHES

A5-4-1 SUR LA PERIODE ENTIERE (1990-2004)

	Nainville-les-Roches	Noisement
Nombre d'observations	63	32
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,14	9,92
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,00	9,80
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,00	5,10
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	18,60	21,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2,29	3,33
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	5,22	11,08

Test de Kolmogorov-Smirnov – Distribution du réservoir de Noisement

D_{obs}	0,2313
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,2340

$D_{obs} < D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale

Calcul IC95	Nainville-les-Roches	Noisement
Borne Inférieure	10,57	8,77
Borne Supérieure	11,71	11,07

Test de Fisher-Snédecor

F_c	2,1226
$F_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	1,7288

$F_c > F_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 est rejetée, la variance sur le réservoir de Noisement est significativement plus élevée.

A5-4-2 PÉRIODE ANTÉRIEURE À L'INTERCONNECTION (AVANT 2002)

	Nainville-les-Roches	Noisement
Nombre d'observations	58	23
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	10,84	9,50
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,00	8,40
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,00	5,10
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	15,00	21,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1,99	3,72
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	3,96	13,81
Coefficient d'asymétrie	-0,18	1,74*

Calcul IC95	Nainville-les-Roches	Noisement
Borne Inférieure	10,33	Non calculable*
Borne Supérieure	11,35	Non calculable*
Petit échantillon		

A5-4-3 PERIODE POSTERIEURE A L'INTERCONNEXION (A PARTIR DE 2002)

	Nainville-les-Roches	Noisement
Nombre d'observations	5	9
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	14,62	10,99
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	15,00	10,30
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,00	9,10
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	18,60	15,10
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2,85	1,78
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	8,12	3,16
Coefficient d'asymétrie	0,13	1,36*

Calcul IC95	Nainville-les-Roches	Noisement
Borne Inférieure	11,08	Non calculable*
Borne Supérieure	18,16	Non calculable*
Petit échantillon		

A5-5 PRISE D'EAU D'ITTEVILLE**A5-5-1 RESULTATS GLOBAUX**

	Prise d'eau	Usine de traitement
Nombre d'observations	69	6
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	7,27	7,18
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,70	6,45
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5,00	5,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	13,90	12,00
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2,02	2,60
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	4,08	6,74

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov – Distribution de la prise d'eau

D_{obs}	0,2200
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,1637

$D_{\text{obs}} > D_{\alpha}$: L'hypothèse H_0 est rejetée, la distribution n'est pas normale

Simulation loi exponentielle ; $F(x) = \text{Exp}(\tau ; \nu)$

$$\mu = \nu + \frac{1}{\tau} \text{ et } \sigma^2 = \frac{1}{\tau^2}$$

Soit en remplaçant par les paramètres de la population :

$$m = \nu + \frac{1}{\tau} \text{ et } s^2 = \frac{1}{\tau^2}$$

Ici, $m = 7,27 \mu\text{g.L}^{-1}$ et $s^2 = 4,08 \mu^2.\text{L}^{-2}$

Donc : $\tau = 0,49$ et $\nu = 5,25$

A5-5-2 COMPARAISON DES DISTRIBUTIONS SAISONNIERES

	Eté	Hiver
Nombre d'observations	30	39
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,90	7,55
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,60	7,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	5,00	5,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	11,40	13,90
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1,70	2,21
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	2,90	4,89
Coefficient d'asymétrie	1,11	1,17

Calcul IC95	Eté	Hiver
Borne Inférieure	6,29	6,86
Borne Supérieure	7,51	8,24
	approximation de Cochran	approximation de Cochran

Simulation loi exponentielle, $F(x) = \text{Exp}(\tau ; \nu)$

	Eté	Hiver
τ	0,59	0,45
ν	5,20	5,34

Simulation loi Gamma, $F(x) = G(\alpha ; \beta)$

	Eté	Hiver
α	16,44	11,64
β	0,42	0,65

$$\text{Où } \alpha = \frac{m}{\beta} \text{ et } \beta = \frac{s^2}{m}$$

Test de Kruskal-Wallis

H_{corr}	1,3692
chideux ($\alpha = 5\%$, $\nu = 1$)	3,8400

$H_{\text{corr}} < \text{Chideux}$: l'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, les deux échantillons sont issus de la même population.

A5-6 RESERVOIR DE SACLAS

Nombre d'observations	21
Moyenne ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	10,18
Médiane ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	10,00
Min ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	6,00
Max ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	17,80
Ecart-type ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2,79
Variance ($\mu\text{g}^2.\text{L}^{-2}$)	7,77

Test de conformité de Kolmogorov-Smirnov

D_{obs}	0,1261
$D_{\alpha} (\alpha = 5\%)$	0,2870

$D_{\text{obs}} < D_{\alpha}$: l'hypothèse H_0 ne peut être rejetée, la distribution est normale.

Annexe n°6 : Liste des contacts et Calendrier du stage

PERSONNES CONTACTEES

- ❏ M. Lauverjat, Hydrogéologue agréé coordonnateur pour le département de l'Essonne.
- ❏ M. Fully, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.
- ❏ M. Raguenes, Cellule d'assistance technique à l'entretien des rivières, Conseil Général.
- ❏ Mme Degert, Ingénieur du suivi de la qualité des eaux de l'Essonne, SIARCE.
- ❏ Mme Di Gioia, Ingénieur matriciel, laboratoire SGS-Multilab.
- ❏ M. Boucry, CGE-Agence Sud (Dourdan).
- ❏ La cellule Eau du service Santé-Environnement de la DDASS de l'Essonne.

ORGANISATION DU TEMPS

Semaine 1 :

	Nombre de jours
Accueil	1
Récupération du fond de dossier « sélénium » et consultation	1
Extraction des données depuis la base Sise-Eaux (capt. et TTP)	0,25
Recherche manuelle des données	1
Traitement des données	1,75

Semaine 2 :

	Nombre de jours
Traitement des données	3
Rédaction	1,125
Recherche sur l'historique	0,25
Réunion avec le maître de stage	0,125
Lecture des articles de la recherche bibliographique	0,5

Semaine 3 :

	Nombre de jours
Jour férié	1
Traitement des données	1,5
Réunion de service	0,5
Réunion avec le maître de stage	0,125
Description des captages sélectionnés	1
Echanges avec Mme Di Gioia	0,875

Semaine 4 :

	Nombre de jours
Rédaction	2,25
Entretien M Lauverjat	0,5
Cartographie (Arcview)	1,5
Recherche de données sur Internet	0,5
Prise de contact avec M. Fully, M. Raguenes et Mme Degert	0,25

Semaine 5 :

	Nombre de jours
Traitement des données	0,5
Rédaction	2,25
Consultation de données Internet	0,5
Méthode analytique	0,25
Echanges avec M. Fully, M. Raguenees et Mme Degert	0,25
Lecture des articles de la recherche bibliographique	0,5
Consultation des documents sur la géologie	0,75

Semaine 6 :

	Nombre de jours
Rédaction	2,25
Réunion avec le maître de stage	0,25
Consultation de données Internet	0,375
Recherche sur la méthode analytique	0,625
Lecture des articles de la recherche bibliographique	0,25
Consultation des documents sur la géologie	0,5
Consultation de coupes géologiques au BRGM (Maison de la géologie)	0,25
Consultation des documents de la DDAF	0,25
Prise de contact avec l'exploitant du SIE de Champcueil et environs (CGE-Agence Sud)	0,25

Semaine 7 :

	Nombre de jours
Traitement des données	0,25
Rédaction (correction, figures)	3,875
Réunion avec le maître de stage	0,25
Description du SIE de Champcueil et environs	0,125
Recherche sur la méthode analytique	0,25
Consultation de M. Carré (réfèrent de stage), M. Lauverjat pour la rédaction du rapport	0,25

Semaine 8 :

	Nombre de jours
Jour fériés et fermeture de la DDASS	2
Rédaction (correction, figures)	1,5
Réunion avec le maître de stage	0,25
Archivage et classement des éléments du dossier	0,25
Cartographie	1