

Intérêt des réseaux multi-profondeurs, exemple de la plateforme de Maisse (Essonne, France)

Thierry Gaillard¹ et Cécile Garnier-Sérénio².

Introduction : La théorie de d'Andrimont et de Tòth

On doit à René d'Andrimont le premier schéma relatif qui prend en compte l'écoulement gravitationnel de l'eau souterraine dans ses composantes locales et régionales (D'Andrimont, 1906). Tòth (1962), après avoir étudié les données piézométriques des puits de la rivière Red Deer, dans l'Alberta (Canada), élabore la théorie de l'écoulement des eaux souterraines dans les petits bassins en reprenant la formulation de Hubbert (1940). Il parvient à la conclusion que les lignes de courant peuvent être analysées en considérant plusieurs échelles d'écoulement : les échelles locales et régionales ayant chacune leurs caractéristiques en terme de temps de transfert et de qualité des eaux (Fig. 1). En France, ces travaux restent peu connus et notre vision des flux d'eau souterraine dans les bassins sédimentaires est en grande partie conditionnée par l'hypothèse de Dupuit (1857) qui conduit à représenter les isopièzes comme des lignes verticales. L'usage de cette équation aboutit alors à une simple vision 2D en plan des écoulements, ne permettant pas de résoudre toutes les problématiques de protection et de gestion des hydrosystèmes. Or, les réseaux de mesures doivent aussi s'intéresser aux écoulements à différentes échelles selon la théorie d'Andrimont et de Hubbert-Tòth pour aborder les enjeux de la gestion des ressources. Une approche fondée sur la théorie des écoulements a été

menée dans le Sud de l'Essonne, afin d'étudier les phénomènes de drainage et l'origine du sélénium (Se) dans les eaux de la nappe la plus exploitée du Sud du bassin parisien : la nappe des calcaires de Champigny.

Contexte de l'étude

Le SIARCE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement, de Rivières et du Cycle de l'Eau) est un syndicat situé sur le bassin versant de l'Essonne, à compétences Rivière, Assainissement et Eau Potable. La majorité de ses communes est alimentée par des eaux souterraines. Trois de ses unités de distribution du sud-est de l'Essonne sont alimentées par des forages parfois vétustes, et qui présentent des problèmes de qualité (sélénium, OHV³ en panache en provenance de Sermaises (45), perchlorates).

Afin d'assurer la pérennité de l'alimentation en eau potable de ces communes, le maître d'ouvrage a commandé une étude hydrogéologique approfondie des aquifères superposés de la région permettant d'envisager une exploitation durable, en quantité et en qualité suffisante tout en privilégiant les ressources locales du Stampien à l'Yprésien. L'objectif de l'étude visait aussi la compréhension des variations des teneurs en sélénium dans le parc de forages du SIARCE.

Après une étude bibliographique du secteur et l'analyse de l'opportunité de recherche de nouvelles ressources, il est apparu indispensable de lever les incertitudes sur les caractéristiques et les fonctionnements hydraulique et chimique des aquifères superposés susceptibles d'être ciblés pour l'alimentation en eau potable : Calcaires de Brie, Calcaires de Champigny, Calcaires de St Ouen, Calcaires du Lutétien, Sables de l'Yprésien. Une plateforme expérimentale hydrogéologique a été proposée puis mise en œuvre sur la commune de Maisse (Fig. 2), où l'on rencontre la succession de l'ensemble des aquifères exploitables sous leurs épaisseurs les plus favorables. Le site expérimental se trouve en dehors du panache d'OHV en provenance du Loiret, ce qui permettrait de

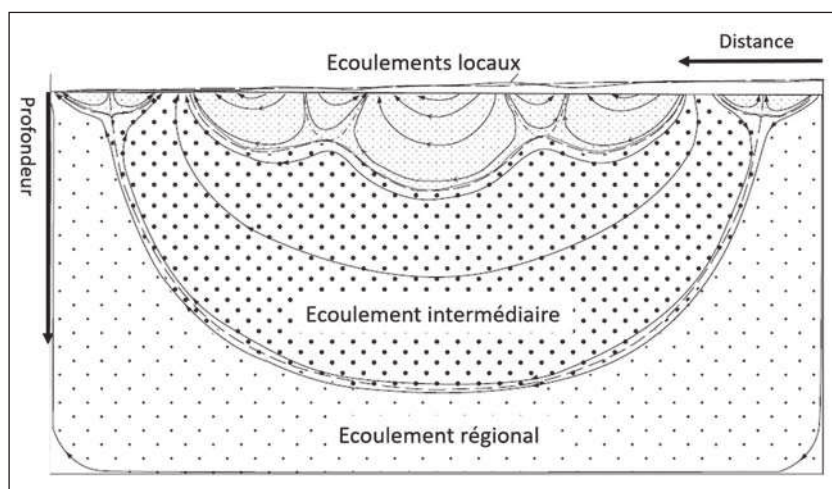


Figure 1. Théorie des écoulements. Source : Tòth modifié, 1963.

1. CPGF-HORIZON. Courriel : tgaillard.cpgf@orange.fr

2. Agence de l'Eau Seine-Normandie, Direction Territoriale des Rivières d'Île-de-France (Nanterre). Courriel : garnier.cecile@aesn.fr

3. Organo-Halogénés Volatils.

le valoriser en équipant de futurs forages d'exploitation pour l'AEP⁴.

Programme d'investigations

La réalisation d'une plateforme de cinq forages a été proposée suivant un dispositif en « flûte de Pan », captant



Figure 2. Carte de localisation du site expérimental. Source : géoportail.fr

les cinq niveaux aquifères (Fig. 3). Les sondages visent à recaler la stratigraphie, à rechercher la présence de sélénium, à mesurer les influences hydrauliques entre chaque forage et d'autres points d'eau environnants (y compris les eaux de surface de la rivière Essonne) par le biais des pompages d'essais, à mesurer les qualités physico-chimiques des différents aquifères en particulier, le transfert éventuel de sélénium ou autres éléments polluants (OHV, perchlorates, pesticides, nitrates). Les investigations comprenaient :

- la foration de cinq sondages et leur équipement en piézomètres : le plus profond par carottage (SC1) pour permettre une description stratigraphique et des analyses de roches ;
- des pompages d'essais sur chacun d'eux (par paliers et de longue durée) avec suivi des niveaux d'eau sur les points d'eau à proximité ;
- des analyses d'eau : 5 de type 1^{ère} adduction et perchlorates, 15 pour les paramètres sélénium (IV et VI), fluor, césium, vanadium ;
- des analyses de roches : numérisation des carottes, ana-

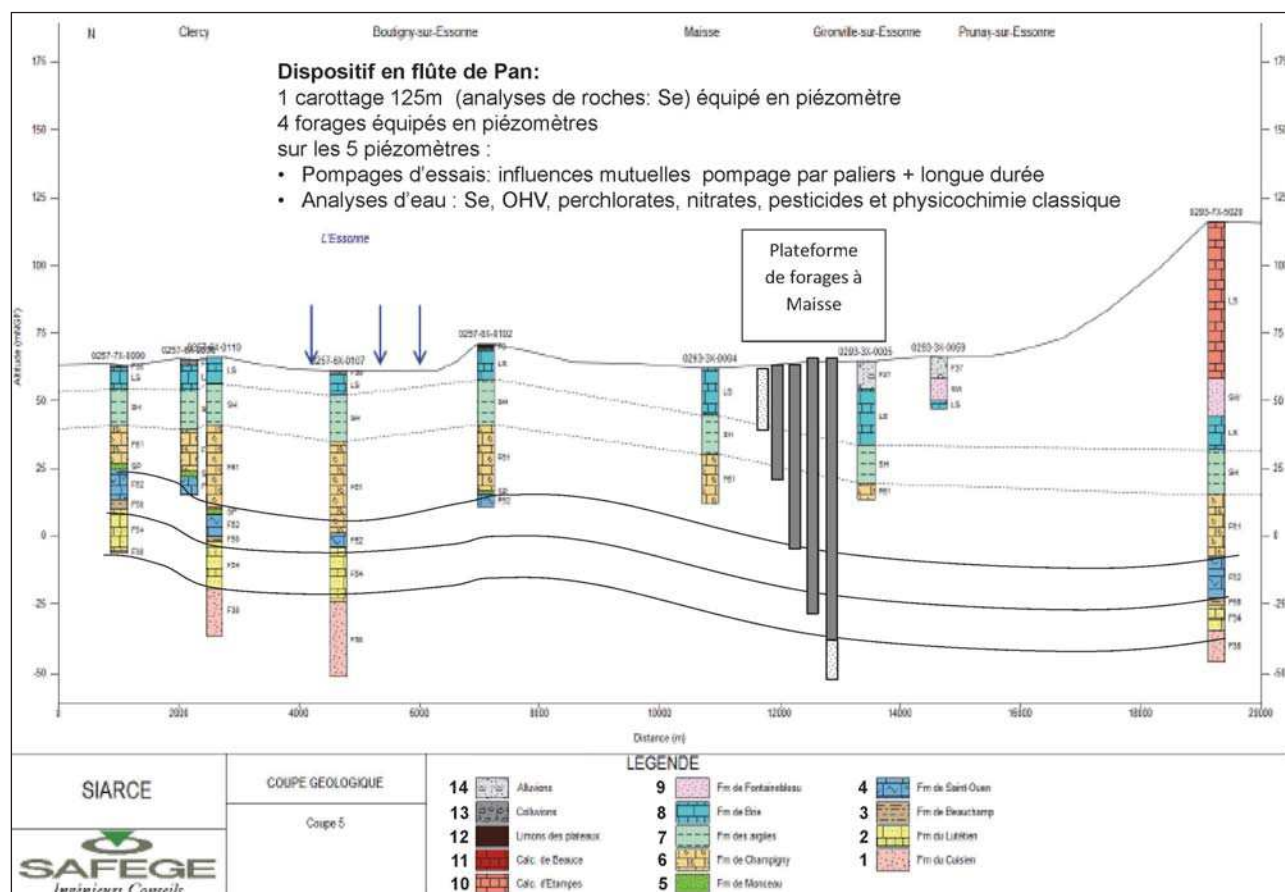


Figure 3. Principe des investigations hydrogéologiques de la plateforme de Maisse. Source : Gaillard T., 2017.

Légende : 1) Formation du Cuisien ; 2) Fm du Lutétien ; 3) Fm de Beauchamp ; 4) Fm de Saint-Ouen ; 5) Fm de Monceau ; 6) Fm de Champigny ; 7) Fm des Argiles ; 8) Fm de Brie ; 9) Fm de Fontainebleau ; 10) Calcaires d'Etampes ; 11) Calcaires de Beauce ; 12) Limons des plateaux ; 13) Colluvions ; 14) Alluvions.

4. Alimentation en Eau Potable.

- lyses chimiques (20) de carottes et minéralogiques (10) ;
- des diagraphies en trou nu : IDP⁵, gamma-ray, résistivité.

Résultats acquis sur la plateforme hydrogéologique de Maise

Nous ne présenterons ici que les résultats hydrogéologiques qui démontrent l'intérêt de l'approche de d'Andrimont-Tôth dans l'étude des ressources en eau du Sud du bassin francilien. En premier lieu, le carottage a permis d'équiper les différents sondages en fonction de leur stratigraphie, et de mettre en évidence un niveau très productif (karst 1, Tabl. 1) localisé à la limite entre le Lutétien et le Bartonien. La silicification de ce niveau pourrait être liée à l'action précoce des eaux douces alimentées en silice au Plio-Quaternaire (selon le modèle de Thiry et Ribet, 1999). Les mesures des niveaux statiques dans les ouvrages de la plateforme et au niveau des points d'eau environnants ont clairement mis en évidence un potentiel plus faible dans l'aquifère exploité (calcaire pseudobrèchique du Champigny-Saint-Ouen) par rapport aux autres nappes (Tabl. 1).

Ces mesures entraînent plusieurs remarques dans le cadre d'un schéma hydrogéologique local :

- le potentiel le plus haut est celui de l'Essonne. À partir de l'Essonne, le potentiel de la nappe des calcaires Brie décroît au fur et à mesure de l'éloignement des piézomètres à la rivière (S5, SC1, F Stade): ***l'Essonne alimente donc localement l'aquifère des calcaires de Brie*** ;
- les sondages S2, S3 et S4 sont sensiblement à l'équilibre, mais environ 7 m sous la nappe des calcaires de Brie. ***Un gradient vertical descendant est donc clairement mis en évidence*** ;
- la nappe de l'Yprésien est en charge de près de 2 m sur les niveaux Lutétien/Bartonien. ***Un gradient vertical ascendant vers les calcaires pseudobrèchiques est donc mesuré***.

Cette approche des flux par drainance est par ailleurs nécessaire pour comprendre la contamination naturelle de

l'aquifère du Champigny/Saint-Ouen par le sélénium. Le sélénium a été recherché sur les carottes du SC1, mais aussi dans les sables de Fontainebleau et les calcaires de Beauce dans la carrière Fulchiron de Bois Rond, à Maise. Les principaux résultats sont donnés dans la figure 4 (résultats de 5 échantillons positifs). Le sélénium mobile et facilement échangeable se trouve dans la tourbe mais aussi dans les niveaux argileux marquant les fins de séquences de dépôts des calcaires du Lutétien. L'argile à lignite surmontant des faciès de galets contient elle aussi des teneurs en sélénium notable.

Rôle de l'écoulement régional dans la compréhension du fonctionnement des nappes sud-franciliennes

La plateforme de Maise est un exemple de réseau de mesures multi-profondeurs qui permet de mettre en évidence des phénomènes de drainance qui pour certains relèvent de l'écoulement local (gradient Essonne-nappe de Brie) et pour d'autres d'écoulements régionaux (alimentation par drainance de la nappe du Champigny-Saint-Ouen). L'intérêt de ce réseau de mesures est aussi de mieux comprendre le transfert du sélénium à l'échelle du bassin de l'Essonne. Ainsi, les teneurs observées dans les calcaires de Brie (environ 9 µg/L) ne peuvent provenir que de la tour-

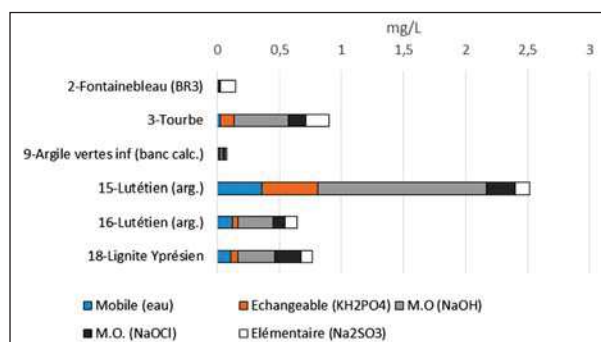


Figure 4. Concentration des eaux en sélénium après tests de lixiviation d'échantillon. Source : Gaillard T., 2017.

Nom	Aquifère	Faciès décrits en sondages	Niv. Statique (m/tubage)	Potentiel nappe (m NGF)
Essonne	Rivière		/	62.17
S5	Brie	Calcaire	2.31	61.97
SC1	Brie	Galets de silex et sables grossiers (Breuillet)	1.71	61.51
F Stade	Brie		2.40	60.84
Gironville	Brie/Champigny		2.05	62.35
S4	« Champigny »	Calcarénite. Pseudobrèchique terminal. Calcaire oxydé	10.65	53.54
S3	Karst 1 (Saint-Ouen)	Calcaire pseudobrèchique supérieur (Saint-Ouen ?)	10.91	53.52
S2	Lutétien	Calcaire pseudobrèchique inférieur (Morancez ?) Calcaire à milioles	11.00	53.54
S1bis	Yprésien	Galets de silex et sables grossiers (Breuillet)	8.98	55.26

Tableau 1. Comparaison des potentiels des différents aquifères. Source : Gaillard T., 2017.

5. Imagerie De Paroi – technique permettant de réaliser une image numérique sur tout le périmètre des parois d'un trou nu (totalité de la hauteur du cylindre inspecté).

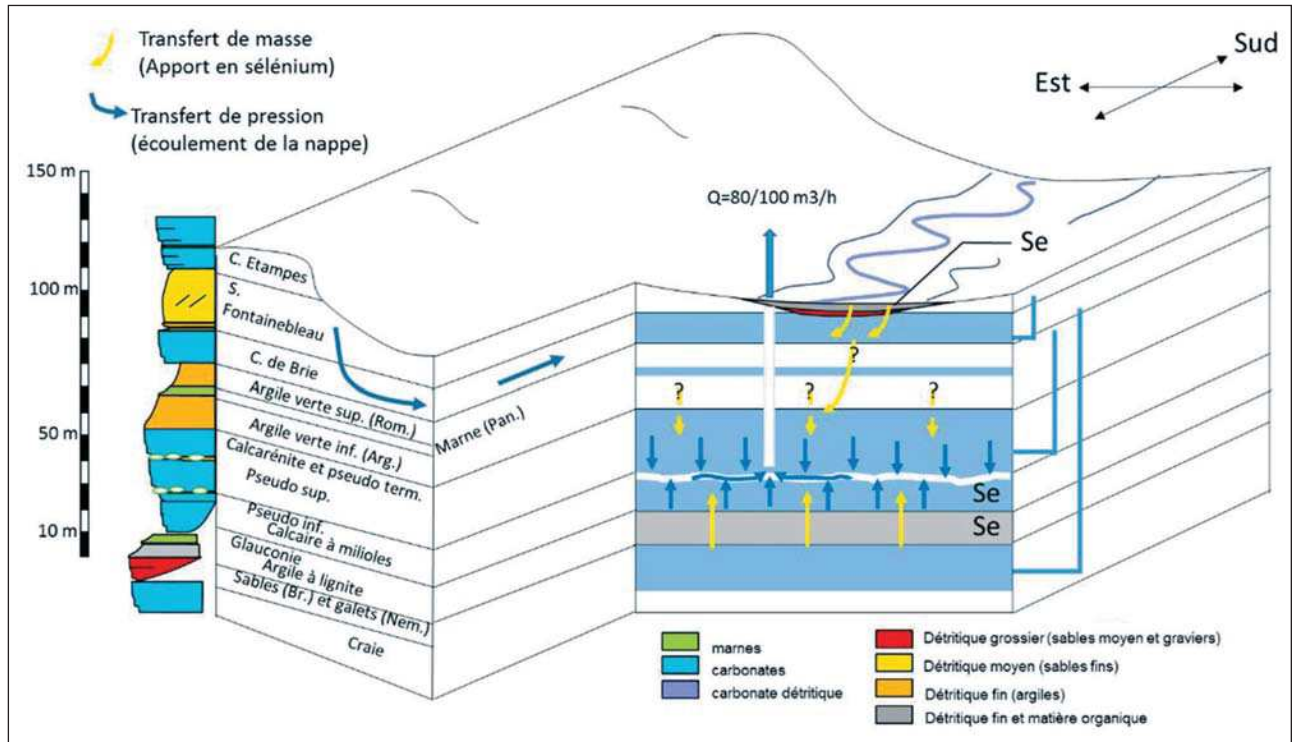


Figure 5. Schéma de drainage le long de la vallée de l'Essonne. Source : Gaillard T., 2017.

be, selon un écoulement local. Au contraire, les teneurs mesurées dans le Champigny/Saint-Ouen peuvent provenir par drainance régionale du Lutétien, et d'autre part du lessivage des marnes supra-gypseuses (Fig. 5).

Perspectives

La plateforme hydrogéologique de Maisse met en évidence l'intérêt de mettre en place des réseaux de mesures multi-profondeurs dans les bassins sédimentaires. Outre la caractérisation des échanges par drainance, ce type de réseau permet d'étudier l'alimentation des zones humides et les relations nappe-rivière à différentes échelles. Cette plateforme hydrogéologique permet aussi d'apporter un éclairage sur les données de qualité des eaux souterraines en tenant compte des écoulements locaux et régionaux. Les données apportées par un tel réseau de mesures peuvent ensuite être valorisées dans des modèles hydrodynamiques ou des modèles hydrochimiques, apportant ainsi une plus grande capacité de gestion des nappes souterraines dans un contexte de changement climatique. Ces enseignements serviront également à l'amélioration de la caractérisation de la masse d'eau souterraine multicouche dite de « Beauce » (FRGG092⁶) dans le prochain état de lieux pour répondre à la Directive Cadre sur l'Eau.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Duperche (maire de Maisse) et M. Fulchiron (carrière Fulchiron) pour leur aide sur le terrain.

Références bibliographiques

- D'andrimont R., 1906. La Science Hydrologique. Ses méthodes, ses récents progrès, ses applications. Ed. Ch. Béranger, Paris, Liège.
- Dupuit J., 1857. Mouvement de l'eau à travers les terrains perméables, C. R. Acad. Sci., 45, p 92-96.
- Gaillard T., 2017. Étude de sécurisation en eau potable de plusieurs communes du Sud-Est de l'Essonne, Résultats de la plateforme hydrogéologique de Maisse. SAFEGE S15DRE017, 389 p.
- Hubbert M.K., 1940. The Theory of Ground-Water Motion, Journal of Geology, 48, 8, Part 1 (Nov. - Dec., 1940), p 785-944.
- Thiry M., Ribet I., 1999. Groundwater silicification in Paris Basin limestones; fabrics, mechanisms, and modeling. Journal of Sedimentary Research, 69: 1, p 171-183.
- Tôth J., 1962. A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada, Journal of geophysical research 6 (11), octobre 1962, p 4375-4387.
- Tôth J., 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. Journal of Geophysical Research 68 (16), p 4785-4812.

6. FRGG092 : Codification européenne sur le territoire français (« FR ») du district hydrographique « Loire, cours d'eau côtiers vendéens et bretons » (« G », = bassin Loire-Bretagne) de la masse d'eau souterraine (« G » : Groundwater), trans-bassin avec Seine-Normandie, de numéro d'ordre « 092 », dénommée « Calcaires tertiaires libres de Beauce », pour le rapportage de la France à la Commission Européenne pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (2000/60/CE).