

**AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE UNIQUE**  
**CREATION D'UN PARC D'ACTIVITES SUR LE SITE**  
**DE L'ANCIENNE RAFFINERIE DE PETIT-COURONNE (76)**

**Pièce Jointe n°4**



**ANNEXE 6**

**PLAN DE GESTION DES PARCELLES AM 40 ET AM 100**

**REHABILITATION DE L'ANCIENNE RAFFINERIE**

**PETROPLUS DE PETIT COURONNE**



DONNE UNE NOUVELLE VIE  
AUX SITES ET SOLS POLLUÉS

[www.valgo.com](http://www.valgo.com)



# PLAN de GESTION

## des parcelles AM 40 et AM 100

---

### Réhabilitation de l'ancienne raffinerie

### PETROPLUS de Petit Couronne



VALGO SA  
Siège Social : 72 rue Aristide Briand  
76650 Petit Couronne



	<b>ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS</b> <b>PLAN DE GESTION</b>	Page : 2/74
		Date : 24/05/2019
		N° 16B76-PLMM

**TITRE DU DOCUMENT** Plan de Gestion des parcelles AM40 et AM 100 –  
Réhabilitation de l'ancienne raffinerie PETROPLUS de Petit-Couronne

**N° PROJET** **16B76-PLMM**

**STATUT** Version 1

**PRODUCTION / APPROBATION DU DOCUMENT :**

	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE
Rédigé par	Éric BRANQUET			Ecofield-Expert Dépollution
	Valérie LOUBES			Directrice Travaux PIC
	Marius DRAGA			Ingénieur Dépollution
	Jasmin CHRISTIN			Ingénieur Dépollution
Vérifié et approuvé par	Valérie LOUBES			Directrice Travaux PIC
Vérifié et approuvé par	Eric BRANQUET			Ecofield-Expert Dépollution

**REVISION DU DOCUMENT :**

Version 1



## Sommaire

1.	Introduction.....	8
2.	Le contexte hydrogéologique.....	11
3.	L'état des eaux circulant dans la craie.....	17
3.1.	Le réseau de suivi .....	17
3.2.	Les résultats analytiques, le suivi de la qualité des eaux circulant dans la craie. ....	20
4.	Proposition d'un schéma conceptuel hydrogéologique.....	22
5.	Conclusion sur les cibles « Seine et réservoir de la craie » .....	24
6.	Le plan de gestion, les objectifs des travaux.....	26
7.	Etat des connaissances acquises sur les zones concernées par des produits hydrocarbonés surnageant et le comportement des hydrocarbures présents sur le toit des eaux souterraines dans un contexte de fort marnage .....	32
8.	La distribution des hydrocarbures dans la zone de battement du marnage .....	35
8.1.	Les données ANTEA.....	35
8.2.	Les données VALGO.....	37
8.3.	La concentration résiduelle .....	37
9.	Données de terrain relatives à la distribution des hydrocarbures dans la zone de battement des eaux souterraines.....	39
9.1.	Sonde OIP .....	43
10.	La sélection de méthodes de récupération des produits.....	44
11.	Les objectifs de récupération de phase libre et épaisseurs résiduelles visées .....	49
11.1.	Protocole de réception des travaux .....	50
11.2.	Comportement des hydrocarbures dans le temps.....	51
12.	La concentration en composés volatils dans la zone non saturée et les concentrations maximales admissibles.....	53
12.1.	Etude des risques sanitaires et CMA pour des composés volatils .....	53



12.2.	La gestion des terres présentant des concentrations supérieures à la concentration à saturation résiduelle, dans la zone non saturée. ....	58
12.3.	Synthèse des méthodes possibles de traitement de la zone non saturée.....	62
12.4.	Apport d'une couche de matériaux de remblaiement et couche de confinement .....	62
12.4.1.	Topographie du site : régalage du terrain.....	64
12.4.2.	Méthodologies de remblaiement.....	64
12.4.3.	Définition des seuils d'acceptation des matériaux de remblaiement.....	65
13.	Bilan carbone.....	66
	GLOSSAIRE.....	67

## Liste des figures

Figure 1 : contour du tènement visé par les travaux de dépollution et le présent plan de gestion.....	8
Figure 2 : les cibles potentielles sensibles à la situation environnementale de la parcelle de raffinage .....	11
Figure 3 : Diagramme de la géologie locale (Rapport ANTEA 2014) – d’après carte Géologique de Rouen Ouest du BRGM au 1/50 000 .....	12
Figure 4 : Synthèse des flux d’eau dans les eaux souterraines et avec la Seine .....	15
Figure 5 : Influence de la marée sur la piézométrie dans le secteur de la zone en traitement.....	16
Figure 6 : Plan d’implantation du réseau de puits de suivi des eaux circulant dans la craie .....	18
Figure 7 : Schéma d’installation d’un puits pour le suivi des eaux circulant dans la craie.....	19
Figure 8 : Axe des schémas conceptuels hydrogéologiques .....	22
Figure 9 : Transept sud .....	22
Figure 10 : Transept nord .....	23
Figure 11 : Stratégie des mesures de gestion d’un site pollué (Nathanail et al., 2002).....	29
Figure 12 : Cartographie des impacts en couche hydrocarbonée flottant conjecturée par ANTEA en janvier 2014.....	33
Figure 13 : Répartition des différents puits et piézomètres sur l’emprise de l’ancienne zone de raffinage .....	34
Figure 14 : Représentation statistique des épaisseurs d’hydrocarbures (en mètre) sur l’ancienne zone de raffinage. ....	35
Figure 15 : Distribution des hydrocarbures dans la porosité ouverte du sol en fonction de différentes concentrations « seuils ».....	38
Figure 16 : Schéma du plan de division par secteur de travaux.....	40
Figure 17 : Images de la distribution des hydrocarbures dans la zone de battement des eaux souterraines capturées à l’aide d’une sonde OIP.....	43
Figure 18 : Courbes de simulation de récupération des LNAPL par deux méthodes de traitement, obtenues par le modèle LDRM de API.....	46
Figure 19 : Carte des épaisseurs résiduelles objectifs (ERO) et état d’avancement des pompages.....	50
Figure 20 : Répartition des bâtiments dans le cadre du projet d’aménagement de l’ancienne zone dédiée au raffinage.....	54
Figure 21 : Cartographie des probabilités de dépassements pour les risques sanitaires sans seuil ERI, dans le cadre du développement de bureaux de plain-pied.....	56
Figure 22 : Concentrations en coupe C5 / C10 et en BTEX dans les gaz du sol (ZNS) .....	57


	<b>ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS</b>	Page : 6/74
	<b>PLAN DE GESTION</b>	Date : 24/05/2019
	Des parcelles AM 40 et AM 100	N° 16B76-PLMM

Figure 23 : Répartition des différents piézais sur l’emprise de l’ancienne zone de raffinage .....	58
Figure 24 : Cartographies des répartitions de probabilité des dépassements des concentrations en hydrocarbures (C10 – C40) résiduelles à saturation .....	59
Figure 25 : Zone de stockage des terres présentant des concentrations en hydrocarbures supérieurs à $C_{res}$ .....	61
Figure 26 : Cartographie des zones déficitaires en matériaux (en rouge) et excédentaires en matériaux (en jaune) .....	64

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des ouvrages de suivi de la nappe de la craie .....	19
Tableau 2 : Concentrations maximales et minimales mesurées en HAP et benzène dans la nappe alluviale et la nappe de la craie entre 2014 et 2019 .....	20
Tableau 3 : Perméabilité des différents réservoirs (ANTEA, 2014) .....	21
Tableau 4 : Récapitulatif des valeurs de perméabilité obtenues par MIP-HPT.....	21
Tableau 5 : Évolution des ouvrages implantés sur la zone du raffinage entre 2012 et 2019 .....	34
Tableau 6 : Calcul des concentrations résiduelles pour la zone non saturée .....	42
Tableau 7 : Comparaison avantage/limite/coût de différentes de traitement de la zone saturée .....	48
Tableau 8 : Volumes des matériaux ayant une probabilité de 50 % et plus, de présenter une concentration en hydrocarbures (C10 – C40) supérieure à 10 000 mg/kg MS ( $C_{res}$ ) dans la zone non saturée.....	60
Tableau 9 : Comparaison avantage/limite/coût de différentes méthodes de traitement de la zone non saturée.....	62
Tableau 10 : Seuils d’acceptabilité des terres d’apport pour les travaux de remblaiement .....	65
Tableau 11 : Bilan des émissions et des économies de CO <sub>2</sub> poste à poste .....	66

### Liste des Annexes

Annexe 1 : Liste des incidents survenus entre 2003 et 2006 .....	68
Annexe 2 : Rapport ANTEA – Impact de l’arrêt du puits SHELL 1 sur les pollutions en nappe – Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive. Juin 2013, A71576/A.....	69
Annexe 3 : Schéma général d’implantation des ouvrages interceptant les eaux souterraines .....	70
Annexe 4 : Note technique – Analyses de Risques Résiduels .....	71
Annexe 5 : Tableau de synthèse de Gaz de sols et CMA .....	72

	<p>ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS  PLAN DE GESTION  Des parcelles AM 40 et AM 100</p>	Page : 7/74
		Date : 24/05/2019
		N° 16B76-PLMM

Annexe 6 : Plan d'aménagement du site..... 73

Annexe 7 : Note HYDROTEX ..... 74



## PREMIERE PARTIE

### 1. INTRODUCTION


Le présent plan de gestion concerne la réhabilitation d'une ancienne raffinerie pétrolière, située en bord de Seine sur la commune de Petit Couronne, en aval hydraulique de Rouen. Cette raffinerie a été exploitée entre 1929 et 2013. La surface totale de la raffinerie comprenant les installations de distillation, les unités de raffinage, les bacs de stockage des produits intermédiaires ou finis, ainsi que la gare routière, représentait un tènement de 250 hectares.

Le périmètre spécifique de cette ancienne raffinerie, visé par les travaux de réhabilitation et les objectifs décrits dans ce document, accueillait les unités de raffinage, soit une surface d'environ 55 hectares. Le périmètre de ce secteur est représenté sur la Figure 1.



**Figure 1 : contour du tènement visé par les travaux de dépollution et le présent plan de gestion**


L'arrêt de la raffinerie est intervenu en 2013. Un pré traitement des unités pour maîtriser les risques liés aux composés volatils a été réalisé jusqu'au mois d'avril 2014, par une cellule liquidative opérationnelle. Les coupes pétrolières les plus légères ont été retirées des installations, les autres produits pétroliers ont été extraits des capacités jusqu'au désamorçage des pompes et plusieurs secteurs des installations pétrolières ont été ouvertes (mises à l'air).

	ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS	Page : 9/74
	PLAN DE GESTION	Date : 24/05/2019
	Des parcelles AM 40 et AM 100	N° 16B76-PLMM

Une partie des hydrocarbures perdus dans les années 1990 a atteint le nord de la zone de raffinage. Des opérations de pompage écrémage ont été réalisées par l'exploitant de l'époque (la société SHELL), entre 2009 et 2011. Le résultat de ces opérations sera présenté plus en avant. Ils se poursuivent actuellement sur la parcelle visée par ce plan de gestion, à l'angle nord-ouest du terrain. L'état actuel de la zone non saturée et de la zone saturée, d'un point de vue environnemental, est le résultat de plus de 80 années de raffinage. Des incidents d'exploitation conduisant à des pertes de produits pétroliers ont fréquemment émaillé les activités. Pour exemple, la liste des incidents survenus entre 2003 et 2006 (Annexe 1) sur l'ensemble de la parcelle dédiée au raffinage permet de prendre la mesure des nombreux relargages de produits intervenus sur une période pourtant limitée de 3 années. On constate que ces incidents ont impliqué des quantités limitées de produits pétroliers, mais avec un large spectre de composition, allant des huiles, dans la partie sud du terrain, jusqu'à des coupes légères, vers le nord du site. Des travaux de récupération des produits perdus ont été mis en œuvre dès le constat des fuites, que celles-ci aient eu une origine accidentelle ou « chronique ». L'exploitation de la raffinerie sur plus de 80 années aura vraisemblablement conduit à la perte de milliers de mètres cubes de produits pétroliers dans le sol.

Le devenir de ces produits est variable. Les hydrocarbures imprègnent le sol, s'évaporent pour les coupes les plus volatiles, rentrent dans la porosité la plus fine de la zone non saturée, puis sous l'effet de la gravité, ils gagnent les eaux souterraines où ils peuvent s'y dissoudre en fonction de leur solubilité. Une partie de ces produits peut être bio dégradée, une autre migrer sous forme dissoute, ou éventuellement persister sous la forme d'une phase dite surnageant. Dans ce dernier cas, les caractéristiques du déplacement d'une phase hydrocarbonées surnageant, est fonction de facteurs tels que la viscosité des produits pétroliers, la granulométrie caractérisant le sol et des caractères liés à l'hydrodynamisme des eaux souterraines.

Pour le besoin du raffinage, deux puits de pompage d'eau implantés dans la craie étaient utilisés. Ces puits étaient situés au nord et au sud du foncier : le premier intitulé SHELL 4 situé au nord était sollicité à un débit de 350 m<sup>3</sup>/h, le second intitulé SHELL 1, au sud, était utilisé à un débit de 150 m<sup>3</sup>/h. Ces ouvrages visaient une double fonctionnalité, à savoir alimenter les unités de raffinage en eau de refroidissement, et parallèlement, confiner les eaux souterraines au droit du foncier, par le biais des cônes de rabattement induits par ces pompages. Les deux puits SHELL qui étaient utilisés à l'époque recoupent une strate sédimentaire comprise entre 20 et 86 m de profondeur, composée par de la craie du Santonien-Campanien.

	ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS PLAN DE GESTION Des parcelles AM 40 et AM 100	Page : 10/74
		Date : 24/05/2019
		N° 16B76-PLMM

La nappe d'eau circulant sous l'emprise de la zone de raffinage et concernée par la présence d'hydrocarbures, représente un milieu potentiellement vecteur de ces hydrocarbures pour plusieurs raisons.

1 du fait que les eaux souterraines sont en relation avec la SEINE, qui peut potentiellement alimenter, ou drainer ce milieu, à la faveur des marnages, et notamment au cours des basses eaux (situation de drainage.).

2 du fait de la géologie locale composée par plusieurs strates alluvionnaires, qui reposent sur une puissante couche de craie dans laquelle circule une nappe d'intérêt régional, sans qu'une séparation « étanche » entre les strates supérieures et la craie ne soit réellement présente (pas de couche de type argileuse). Ces formations renferment des hétérogénéités qui entraînent une diffusivité variable des variations marégraphiques, pouvant potentiellement concourir à la dispersion verticale des hydrocarbures.

3 du fait que l'écoulement général des eaux souterraines est en direction du sud-est vers le nord-ouest, les produits hydrocarbonés surnageant sont susceptibles de se déplacer en direction de la zone habitée de Petit Couronne localisée au nord du Boulevard Cordonnier, ce déplacement étant favorisé par le fonctionnement du puits SHELL 6.

La Figure 2 résume les différentes cibles susceptibles d'être affectées par la présence des composés hydrocarbonés dissous, ou flottantes, à la surface du toit de la nappe alluviale, à savoir :

- la Seine
- les eaux circulant dans la couche de la craie
- la zone urbaine de Petit Couronne au nord
- les nouveaux usages du terrain.

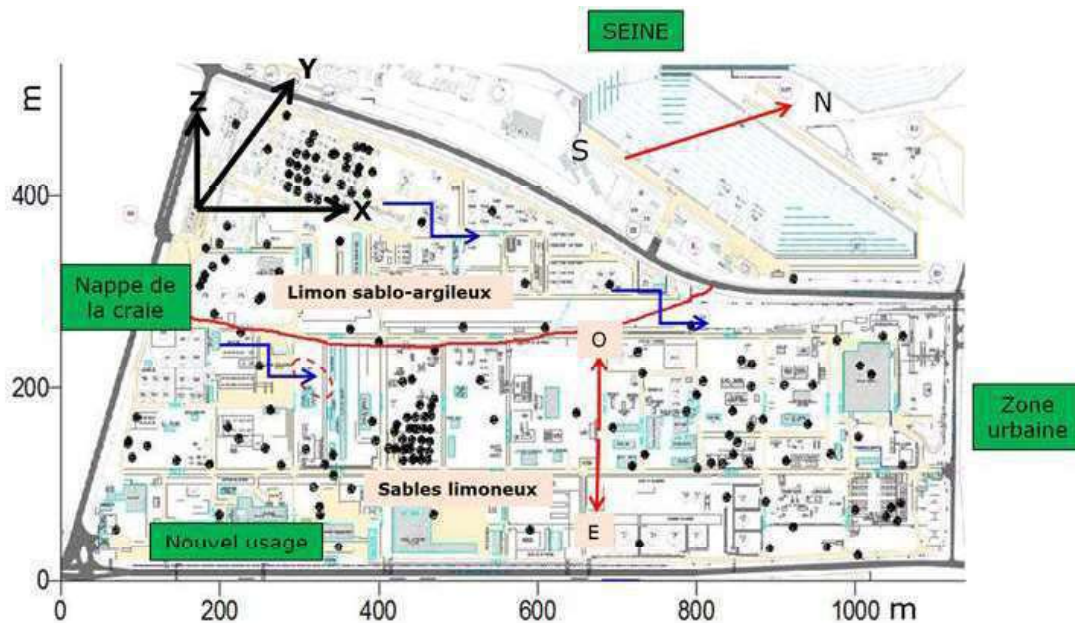


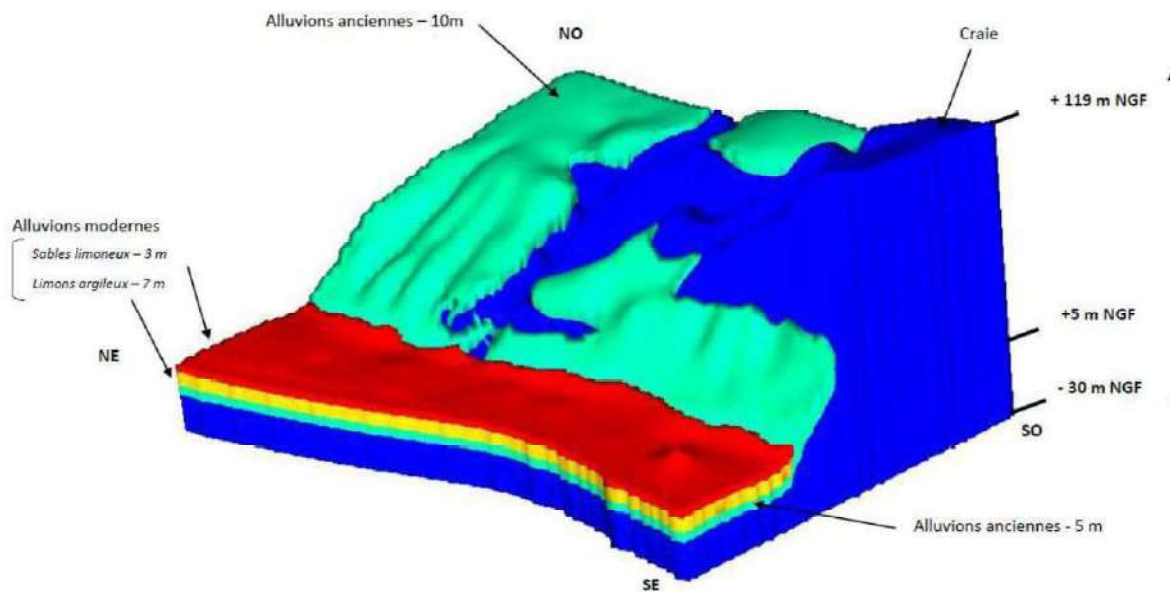
Figure 2 : les cibles potentielles sensibles à la situation environnementale de la parcelle de raffinage

## 2. LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le site repose sur les formations suivantes, de haut en bas, formant un complexe alluviale :

- Des remblais de surélévation en bordure de Seine, de nature et d'épaisseurs très hétérogènes (sables, argiles, matériaux de démolition, etc.) ;
- Des alluvions modernes, principalement constituées de silts, d'argiles, de tourbes, de vases et de sables fins. Ces matériaux ont été déposés par la Seine et dont l'extension correspond à celle des plus grandes crues du fleuve ;
- Des alluvions anciennes, plus grossières se composant de sables et de graves plus ou moins argileux. Elles constituent les différents niveaux de terrasses quaternaires le long de la Seine ;
- Des formations à silex, issues des résidus de décalcification de la Craie lorsque cette dernière affleurerait ;
- La craie du Santonien-Campanien (C<sub>5-6</sub>) et du Coniacien (C<sub>4</sub>), craie blanche, marneuse renfermant de nombreux silex. Elle affleure en pied de coteaux, à l'est du site ;

La figure ci-dessous schématise le profil de la géologie locale, dans le secteur de la zone en cours de traitement.



**Figure 3 : Diagramme de la géologie locale (Rapport ANTEA 2014) – d’après carte Géologique de Rouen Ouest du BRGM au 1/50 000**

L’aquifère qui circule dans la craie est l’un des plus grands d’Europe. Il s’étend de la Belgique, jusqu’au bassin parisien. Il représente environ 20 % du territoire français et sa puissance dépasse fréquemment 100 m.

Cette nappe libre est l’une des sources principales d’eau pour l’industrie, les collectivités et l’irrigation. A l’échelle de la région, il faut préciser que la formation géologique crayeuse est composée de craie datant du Crétacé Supérieur et présente trois faciès différents (Source SIGES Seine Normandie) :

- Craie blanche du Sénonien
- Craie marneuse du Turonien inférieur
- Craie du Cénomaniens glauconieuse

La particularité de cet aquifère est qu’il révèle une triple porosité (Source : SIGES Seine Normandie<sup>1</sup>) :

- Porosité matricielle : la porosité matricielle inter-granulaire a une fonction capacitive conséquente de 15 à 45 % selon les horizons lithologiques et les auteurs. Cependant la porosité efficace reste faible, les valeurs de conductivité hydraulique ou perméabilité sont de

<sup>1</sup> <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?article305>, Consulté le 25/03/2019




l'ordre de  $10^{-8}$  à  $10^{-6}$  m/s, les coefficients d'emmagasinement de 5 à 10 % et les transmissivités inférieures ou égales à  $1.10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Ces valeurs conduisent à des vitesses de transport dans le milieu souterrain de l'ordre du mètre par an

- Porosité de fracture : Selon l'importance de la fracturation et des processus de dissolution qui peuvent les affecter, elle conduit à des perméabilités de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s à  $10^{-6}$  m/s (et des transmissivités jusqu'à 3 ou  $4.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s) soit des vitesses de transfert de l'ordre de quelques mètres par mois. Cette porosité est associée à la fonction de stockage temporaire dans les formations superficielles ; elle pourrait expliquer le retard de la recharge de l'aquifère comme l'atteste les variations piézométriques au cours d'un cycle hydrologique. Cette porosité peut ainsi jouer un rôle dans la fonction capacitive de l'aquifère, mais exerce surtout un rôle primordial dans la fonction transmissive de l'aquifère et dans l'organisation des gradients hydrauliques
- Porosité de conduits, de type karstique : la porosité de conduits karstiques peut, localement (selon des connexions actives avec les bétoires), assurer des vitesses de transfert (depuis un point d'infiltration préférentiel à l'exutoire du système karstique) pouvant atteindre et dépasser 100 m/h. Les pseudo-perméabilités associées sont de l'ordre de  $10^{-1}$  m/s à  $10^{-3}$  m/s. La porosité de conduits n'a qu'un rôle transmissif dans les transferts rapides. Ce rôle reste en partie contrôlé par les gradients hydrauliques hérités de la porosité de fracture et le contexte structural régional. Son importance et les vitesses de transfert qui en découlent exercent aussi un rôle primordial sur la vulnérabilité des ressources exploitées. Si la porosité karstique induit une vulnérabilité importante du milieu, la perméabilité de type karstique confère un intérêt majeur aux eaux souterraines qui circulent dans cette strate, compte tenu de sa transmissivité et de son coefficient d'emmagasinement. Globalement le complexe alluvionnaire dans lequel les eaux souterraines circulent, peut-être défini par deux strates à perméabilité différente, la couche des alluvions modernes et anciennes, et la couche composée par les différents types de craie ;

Le sens d'écoulement général des eaux souterraines dans le secteur de l'ancienne raffinerie, est commandé par la Seine, c'est à dire du Sud-Est vers le Nord-Ouest avec quotidiennement des inversions liées aux marées. Ces inversions conduisent à un mouvement des eaux souterraines selon une direction Est-Ouest (voir la figure 5).

La première formation géologique rencontrée (les alluvions modernes) est sensible à des impacts provenant de la surface. Peu productive, cette formation ne constitue pas un gisement d'eau

	ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS PLAN DE GESTION Des parcelles AM 40 et AM 100	Page : 14/74
		Date : 24/05/2019
		N° 16B76-PLMM

exploitable. Dans ces conditions sa vulnérabilité ne représente pas directement un enjeu pour l'alimentation en eau. Le risque lié à la circulation des eaux souterraines dans cette partie supérieure de ces couches sédimentaires, est la mobilisation et le déplacement potentiel des hydrocarbures absorbés ou surnageant, en direction de la zone habitée située au nord, mais aussi verticalement, en direction de la strate crayeuse, et horizontalement vers la Seine.

La nappe qui circule au sein de ce complexe alluvionnaire est donc en connexion avec la Seine. On considère que c'est un seul aquifère qui circule au sein de ces formations géologiques sédimentaires (ANTEA nuance cette description en évoquant deux nappes en continuité). Cette masse d'eau constitue ainsi une nappe bicouche libre et non disjointe, du fait de l'absence de strate géologique imperméable permettant de distinguer les deux aquifères, qui peuvent alors, a priori, communiquer. L'alimentation de la nappe alluviale dans le secteur de l'ancienne raffinerie est assurée par la Seine ainsi que par des apports venant du plateau Est. Quotidiennement, la nappe enregistre un état de hautes et de basses eaux liées aux marées : il faut noter que l'amplitude des marées s'atténue en s'éloignant des berges du fleuve, pour devenir quasiment nul dans le secteur de la rue Aristide Briand. De plus les bords de Seine présentent des zones de colmatage liées à la présence de lentilles argileuses, sur des épaisseurs pouvant aller jusqu'à 10 m.

L'étude hydrodispersive réalisée par la société ANTEA (Annexe 2) en juin 2013 a modélisé qualitativement et quantitativement les caractéristiques de fonctionnement de ce réservoir et les influences des marées sur les échanges entre la Seine et les différentes couches du complexe sédimentaire.

La modélisation hydrodispersive a été réalisée en différenciant plusieurs strates. Il ressort de cette modélisation que les deux couches concernées par des mouvements/déplacements d'eau dans le modèle sont essentiellement les alluvions anciennes et la couche de la craie.

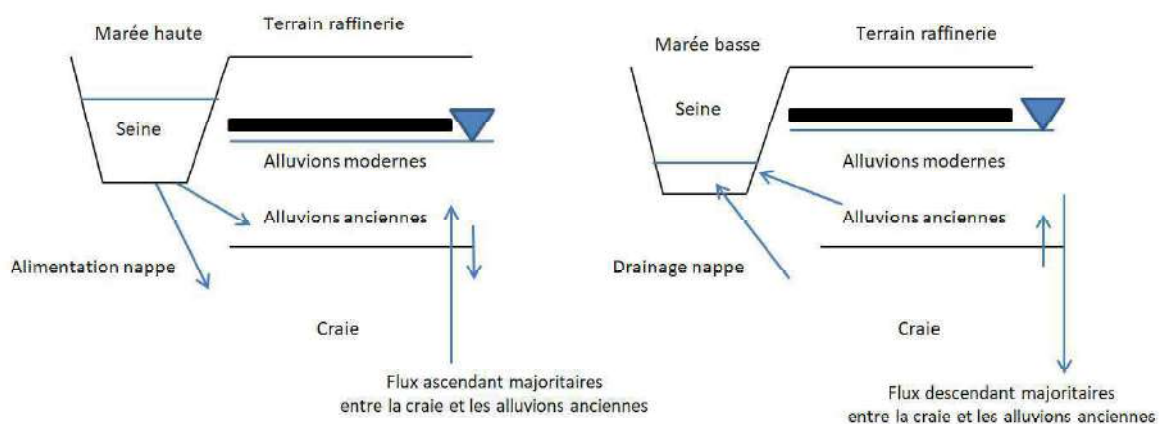
Cette étude visait aussi à quantifier l'effet des pompages réalisés sur la gare routière, à travers les ouvrages référencés puits SHELL 6 et SHELL 7 (à plus de 450 m<sup>3</sup>/h), qui modifient localement le sens d'écoulement avec la création d'un cône de rabattement orienté N/NE-S/SO, et à évaluer l'impact de l'arrêt des puits SHELL 1 et SHELL 4 (pompant respectivement à 150 et 350 m<sup>3</sup>/h) sur le confinement des hydrocarbures présents au droit de la zone de l'ancienne raffinerie. L'Annexe 3 présente un

schéma général d'implantation des ouvrages interceptant les eaux souterraines, sur l'emprise de la zone en traitement, et à l'extérieur de celle-ci.

Dans le rapport d'ANTEA, il a été montré que lorsque la Seine est en phase de « basses eaux » d'une marée, le fleuve peut drainer l'ensemble des eaux souterraines, contenues dans les différentes couches retenues dans le modèle hydro-dispersif, à savoir les alluvions modernes, les alluvions anciennes et la craie.

**Mais il apparaît que les flux d'eau arrivant en Seine proviennent quasi-exclusivement des couches composées par les alluvions anciennes et par la craie.** Les échanges d'eau entre la craie et les alluvions anciennes sont ascendants lors des basses eaux, indiquant que localement selon le modèle, la nappe de la craie est en charge sous les alluvions anciennes. Toutefois ce flux ascendant est faible par rapport au flux descendant entre les alluvions anciennes et la craie.

Lorsque la Seine est en hautes eaux, elle alimente l'ensemble des nappes d'eau. **Les flux d'eau provenant de la Seine vont quasi-exclusivement en direction des alluvions anciennes et de la craie.** Au contraire de la situation des basses eaux, les échanges d'eau ascendants ont lieu entre l'ensemble des couches. Les flux ascendants entre la craie et les alluvions anciennes deviennent majoritaires devant les flux descendants. La craie est donc globalement en charge sous l'ensemble des alluvions modernes.



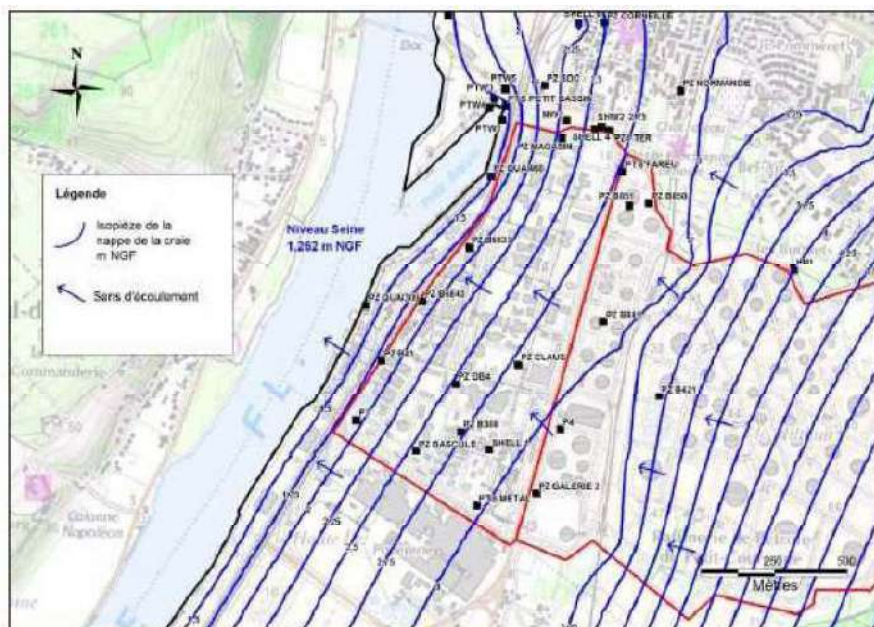
**Figure 4 : Synthèse des flux d'eau dans les eaux souterraines et avec la Seine**

On peut donc conclure que les variations des marées au sein de la Seine induisent des flux d'eau drainant, ou alimentant, quasiment exclusivement les eaux qui circulent dans la craie et dans les alluvions anciennes.



En plus de ces échanges latéraux, il existe donc des échanges verticaux concernant principalement les couches formées par la craie et les alluvions anciennes, et qui peuvent être soit majoritairement ascendant, soit majoritairement descendant, en fonction des marées.


Enfin, l'étude des charges piézométriques a montré que les mouvements est-ouest dans la craie, étaient accompagnés d'un gradient hydraulique très faible, de l'ordre de 0,3 % au maximum (voir la figure 5 ci-après). Si des impacts par les hydrocarbures ont été observés dans les alluvions anciennes, les concentrations mesurées sont marginales par rapport à celles qui ont été mises en évidence dans les alluvions récentes, concernées par la présence des composés hydrocarbonés sous forme d'une phase organique non miscible aux eaux souterraines.



**Figure 5 : Influence de la marée sur la piézométrie dans le secteur de la zone en traitement**

On peut donc en conclure que dans le secteur de l'ancienne raffinerie, le comportement de la nappe alluviale est fortement influencé par le marnage.

Avec le cycle des marées, les eaux souterraines circulant dans les alluvions anciennes et dans la couche de craie sont soit alimentées par la Seine, soit drainées par cette dernière. Les eaux circulant dans les alluvions modernes impactées par d'importantes concentrations en hydrocarbures, sont très marginalement concernées par les échanges avec la Seine.

	<b>ANCIENNE RAFFINERIE PETROPLUS</b>	Page : 17/74
	<b>PLAN DE GESTION</b>	Date : 24/05/2019
	Des parcelles AM 40 et AM 100	N° 16B76-PLMM

Les échanges verticaux dans la masse d'eau, entre les différentes couches du complexe alluvionnaire, se font essentiellement entre les alluvions anciennes et la craie mais demeurent limités compte tenu de la perméabilité inférieure de plusieurs ordres de grandeurs entre la craie et les alluvions.

La conjonction de ces deux facteurs conduit à une faible possibilité de mobilisation des hydrocarbures présents dans les alluvions modernes, vers les couches inférieures du complexe alluvionnaire.

L'étude hydrodispersive d'ANTEA a permis de conclure que :

- les variations quotidiennes des écoulements souterrains, selon un axe EST-OUEST sous l'effet de la Seine, qui provoque un battement du toit de la nappe alluvial pouvant aller jusqu'à deux mètres, ont pour conséquence de fixer la pollution en nappe et de maintenir l'extension des panaches de pollution autour de leurs sources ;
- les flux massiques sortant de la craie en amont Seine sont faibles, inférieurs à 1 kg/h ;
- les calculs montrent que le fonctionnement du puits SHELL 1 permet de minimiser encore ce flux massique déjà faible en confinant les pollutions affectant les réservoirs des alluvions anciennes et la craie. D'après ces mêmes calculs, une pollution dans les sables limoneux au sommet des alluvions modernes dans le sud du terrain étudié, semblerait ne pas pouvoir être confinée par un pompage dans le puits SHELL 1, induisant ainsi un risque de migration des hydrocarbures en dehors des limites du site, vers le sud. L'arrêt du pompage dans le puits SHELL 1 est de nature à amplifier ce risque ;
- Le fonctionnement des puits sur la gare routière (SHELL 6 et SHELL 7) peut potentiellement accélérer les temps de transfert de pollution affectant le secteur nord de la raffinerie.

Il faut aussi préciser que ces calculs de modélisation ont été réalisés en retenant un régime permanent, non transitoire, qui ne décrit donc pas le phénomène bi quotidien du marnage. Les résultats de la modélisation sont donc pénalisants.

### **3. L'ETAT DES EAUX CIRCULANT DANS LA CRAIE**

#### **3.1. Le réseau de suivi**

La qualité chimique des eaux souterraines circulant dans la craie a fait l'objet d'un suivi depuis de nombreuses années à travers un réseau d'ouvrages dont la disposition est présentée sur la figure 6.

Les résultats de ces analyses, au sein des puits SHELL 1 et SHELL 4, et d'un réseau d'ouvrages interceptant cette couche ont été mis à profit afin de confirmer ou d'infirmer les prévisions issues des modélisations réalisées par ANTEA en 2013.

Ce réseau est constitué par des puits crépinés (voir la Figure 7) qui n'interceptent que la craie, et ce afin de prélever exclusivement l'eau circulant dans cette couche.

Dans la partie sud du foncier, la modélisation laissait apparaître un risque de déplacement des hydrocarbures, en direction de l'avenue SONOPA, conséquemment à l'arrêt du pompage dans le puits référencé SHELL1. Deux ouvrages, référencés PzV-C3 et C4 ont été implantés, à l'extérieur de l'emprise de l'ancienne raffinerie, dans la nappe de la craie, afin de suivre la qualité des eaux.

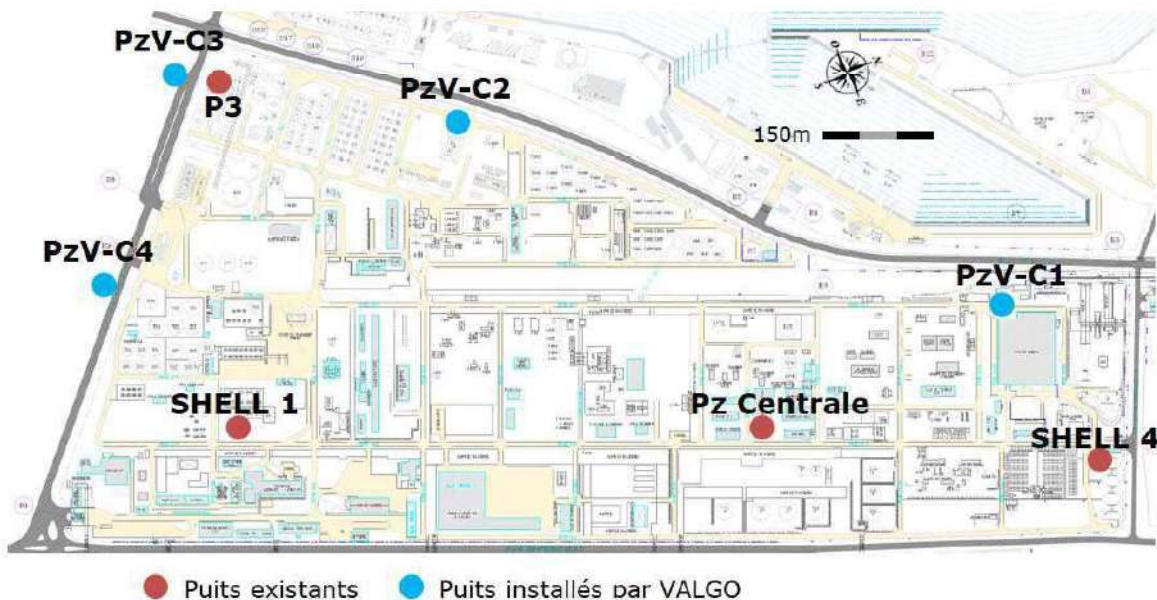
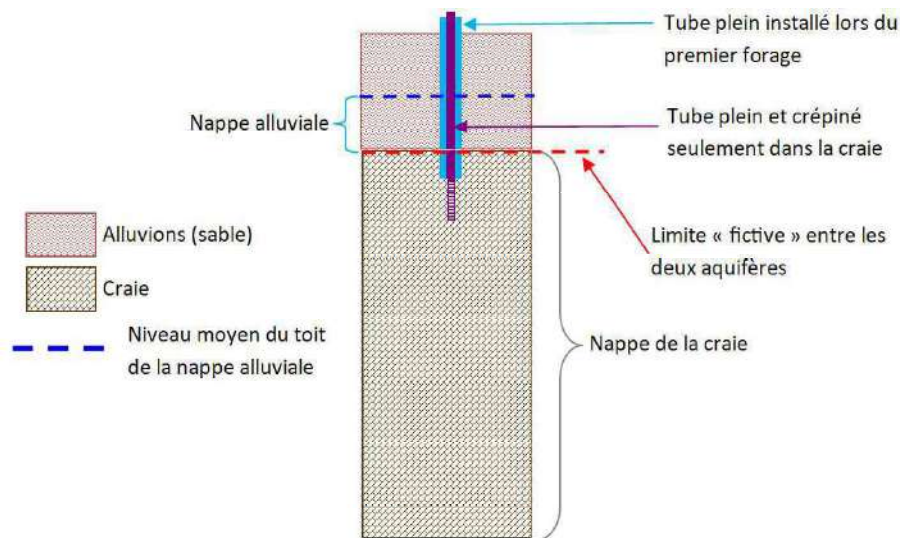


Figure 6 : Plan d'implantation du réseau de puits de suivi des eaux circulant dans la craie



**Figure 7 : Schéma d'installation d'un puits pour le suivi des eaux circulant dans la craie**

L'implantation de ces ouvrages comprend la pose d'un premier tubage plein en tête, de sorte à prévenir tout mélange entre les eaux de la craie et les eaux circulant dans les alluvions, reposant sur la craie.

Le Tableau 1 décrit les différents ouvrages constituant le réseau de surveillance des eaux circulant dans la craie, avec les profondeurs des ouvrages et les parties crépinées sur les tubes.

Ouvrages	Dates de construction	Profondeur des crépines (m)	Nappe prélevée
PzV-C1	Mars 2019	14-16	Craie
PzV-C2	Mars 2019	14-16	Craie
PzV-C3	Mars 2019	14-16	Craie
PzV-C4	Mars 2019	14-16	Craie
SHELL 1	1936	26-86	Craie
SHELL 4	1957	20-80	Craie
P3	1994	2,5-18,5	Craie et alluviale
Pz Centrale	Septembre 1987	10-15	Craie et alluviale

**Tableau 1 : Caractéristiques des ouvrages de suivi de la nappe de la craie**

### 3.2. Les résultats analytiques, le suivi de la qualité des eaux circulant dans la craie.

Les résultats significatifs acquis entre 2014 et 2019, dans les ouvrages constitutifs du réseau captant les eaux circulant dans la couche de la craie, sont exposés dans le Tableau 2.

	Nappe alluviale		Nappe de la craie		Valeurs OMS pour eau potable*
	Valeurs minimales	Valeurs maximales	Valeurs minimales	Valeurs maximales	
<b>Concentration 16 HAP (µg/l)</b>	0,06	94	0,06	7,9	-
<b>Concentration 6 HAP (µg/l)*</b>	<0,0575	<0,0875	<0,0875	<0,0775	0,2
<b>Benzène (µg/L)</b>	<0,5	174	<0,5	1,31	10

**Tableau 2 : Concentrations maximales et minimales mesurées en HAP et benzène dans la nappe alluviale et la nappe de la craie entre 2014 et 2019**

Le suivi de la qualité des eaux présentes dans la formation crayeuse a montré que l'aquifère qui y circule, n'est pas concerné par la présence d'hydrocarbures.

Les phénomènes qui permettent d'expliquer cette situation sont les suivants :

- les battements de la nappe alluviale : ces battements piègent la phase hydrocarbonée dans les alluvions modernes, au sein de la porosité fermée mais aussi ouverte, sous forme insulaire (voir le paragraphe 7.), sur une épaisseur pouvant dépasser 2 m ;
- la faible solubilité des hydrocarbures qui comprennent plus de 10 carbones. Les fractions hydrocarbonées les plus solubles, intégrant de 5 à 10 carbones ainsi que le benzène, sont faiblement présents dans les hydrocarbures qui ont été libérés dans le sous-sol, ce qui explique leur faible concentration dans les eaux souterraines présentes dans la craie ;
- les disparités de perméabilité entre les alluvions modernes et la couche de la craie, et notamment la présence d'une couche de plus faible perméabilité située sur le toit de la craie, limite les échanges verticaux.

Les perméabilités de ces différentes couches constituant le complexe alluvionnaire ont été précisées par ANTEA. Les valeurs retenues par ANTEA à l'issue de tests de pompage, sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Type de réservoir	Perméabilité (m.s <sup>-1</sup> )
Craie	Environ 1.10 <sup>-03</sup>
Alluvions anciennes	Environ 1.10 <sup>-02</sup>
Alluvions modernes (Limon argileux)	Environ 1.10 <sup>-06</sup>
Alluvions modernes (Sables limoneux)	Environ 1.10 <sup>-05</sup>

**Tableau 3 : Perméabilité des différents réservoirs (ANTEA, 2014)**

Afin de confirmer ces données retenues dans le modèle hydro-dispersif, des mesures de terrain ont été réalisées par VALGO à l'aide d'une sonde MIP-HPT (Membrane Interface Probe – Hydraulic Profiling Tool) qui permet, entre autres choses, de mesurer la perméabilité des couches rencontrées au cours des forages.

Les résultats obtenus sur l'ensemble du secteur qui était dédié au raffinage, sont présentés dans le Tableau 4 ci-après.

Zone	Perméabilité minimale mesurée (m.s <sup>-1</sup> )	Perméabilité maximale mesurée (m.s <sup>-1</sup> )
Nord	1,97.10 <sup>-4</sup>	3,49.10 <sup>-4</sup>
Centrale	Proche de 0	3,28.10 <sup>-4</sup>
Sud	4,63.10 <sup>-5</sup>	2,36.10 <sup>-4</sup>

**Tableau 4 : Récapitulatif des valeurs de perméabilité obtenues par MIP-HPT**

Il a été observé que dans le secteur nord, les valeurs de perméabilité varient peu sur l'ensemble du profil reconnu, le sol étant assez homogène, composé pour l'essentiel de sable, jusqu'à l'horizon crayeux.

Dans la zone centrale, les perméabilités mesurées sont variables sur le profil reconnu. Localement une perméabilité très faible a été mesurée, dans les alluvions récentes, au sein d'un secteur concerné par la présence d'hydrocarbures en phase libre.

Dans la zone sud, on observe un ordre de grandeur de différence entre les valeurs maximales et minimales mesurées : le sol dans ce secteur est très hétérogène, avec des passes de limons et parfois d'argiles induisant ces importantes variations de perméabilité au sein des strates rencontrées.

A partir des données fournies par ANTEA et celles qui ont été collectés par VALGO au cours des différentes études conduites depuis 4 ans, un schéma conceptuel hydrogéologique a pu être précisé.

#### 4. PROPOSITION D'UN SCHEMA CONCEPTUEL HYDROGEOLOGIQUE

Deux transepts selon un axe est-ouest (Figure 8, Figure 9, Figure 10), situés au nord et au sud du foncier, reprennent les observations qui ont été accumulées au cours des différentes études, et permettent d'objectiver chacun de ces secteurs.

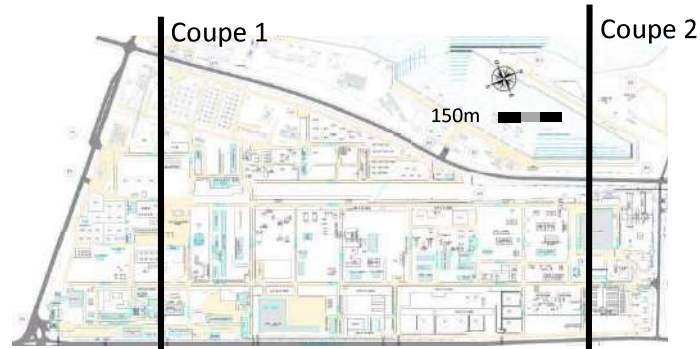


Figure 8 : Axe des schémas conceptuels hydrogéologiques

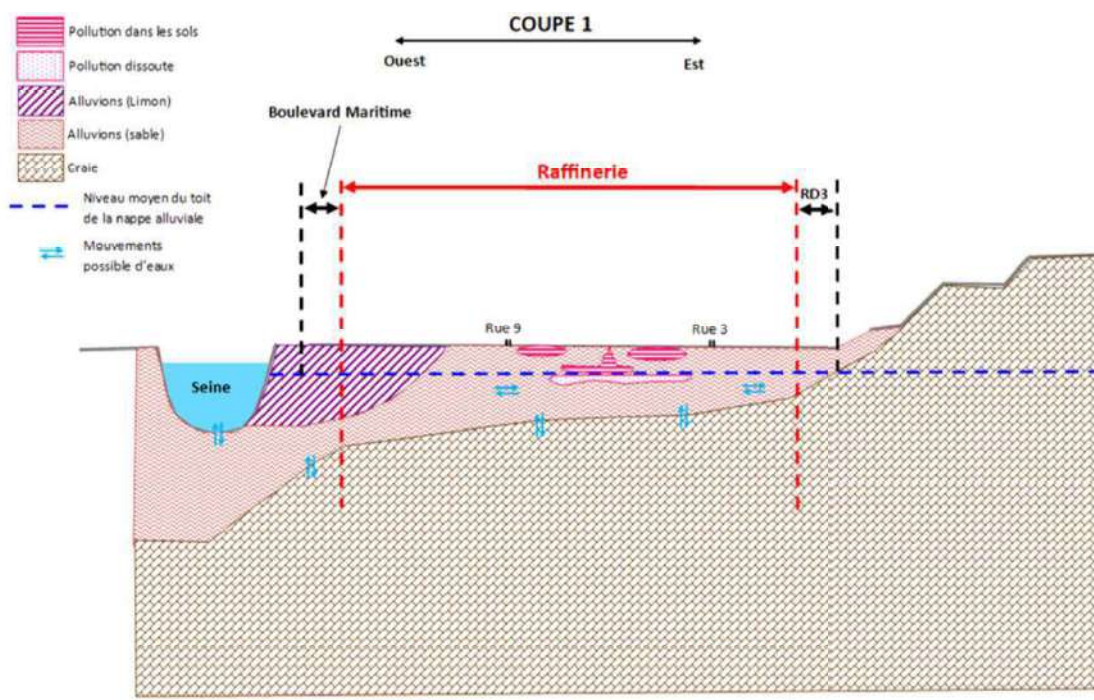


Figure 9 : Transept sud

Dans la partie Sud de la raffinerie (Coupe 1, Figure 9) on observe que ce secteur repose principalement sur des alluvions modernes sableuses, à l'exception de la partie la plus à l'ouest qui, elle, repose sur des alluvions anciennes de type limons. Cette barrière limoneuse forme un mur entre les hydrocarbures surnageant ou dissous présents dans les alluvions modernes, et la Seine : en effet

la perméabilité très faible des limons (entre 2 et  $3,6 \cdot 10^{-6}$  m/s) ne permet pas aux hydrocarbures de migrer latéralement vers la Seine. Cette barrière permet d'expliquer, en partie, l'absence d'interaction entre les eaux circulant entre 3 et 5 m de profondeur, chargées en hydrocarbures, et la Seine.

Il a été exposé au point 1 du présent document, que des mouvements d'eaux verticaux étaient possibles entre les eaux circulant dans les alluvions anciennes et dans la craie. Cependant, les déplacements d'eaux sont bien plus rapides dans la craie que dans les alluvions (perméabilité de l'ordre de  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s dans les alluvions et  $1 \cdot 10^{-2}$  m/s dans la craie), cette importante rupture de perméabilité défavorise ainsi les échanges entre ces deux strates sédimentaires.

Il découle de cette situation, en partie sud du site, que les eaux et les hydrocarbures présents dans les alluvions modernes, sont doublement confinés, vis-à-vis de la Seine et vis-à-vis de la nappe de la craie.

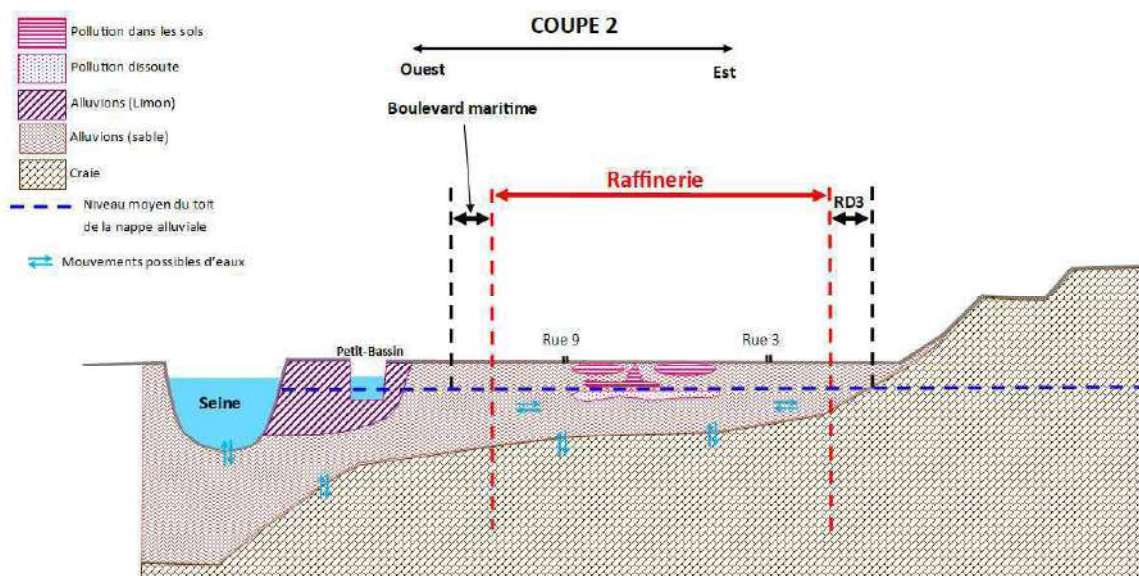


Figure 10 : Transept nord

La coupe 2 présentant le second transept révèle la présence d'alluvions modernes de type sable sur la majeure partie des premiers mètres du sol, dans le secteur nord du site. On observe la présence d'insertions limoneuses, de manière erratique, le long des berges de la darse (Petit-Bassin) et de la Seine.