



**Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme
de la Licence en Sciences et Techniques à la FST-G Marrakech, option :
GEOLOGIE APPLIQUEE AUX RESSOURCES MINIERES**

**Réalisation d'un projet préliminaire
pour l'échantillonnage minéralurgique
d'un gisement de phosphate
Bassin des Gantour - Site de Youssoufia**

Réalisé par : JOUHARI Mehdi
TALBI Said

Encadré par : Pr. El GHORFI Mustapha (FST-G)
Mr. DAAFI Youssef (OCP Group)

Soutenu à la FSTG le 09 Juin 2016 devant le jury :
Pr. El GHORFI Mustapha
Pr. BERRADA Samia

Stage effectué à : Direction Géologie – Département Géologie Zone Centre
Du 11 avril 2016 au 12 mai 2016

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier dans un premier temps les enseignants du département de Géologie pour avoir assuré la partie théorique de notre formation et en particulier Mr. Mustapha El Ghorfi, notre encadrant de la FST-G, qui a bien voulu accepter de suivre notre travail et nous diriger, afin que nous puissions mener ce sujet à terme.

Nous remercions chaleureusement :

- Mr. Ahmed Chakir pour nous avoir accueillis au sein du service de géologie de l'office chérifien des phosphates à Youssoufia.
- Mr. Youssef Daafi , notre responsable de stage, pour ses éclaircissements et ses conseils constructifs qui nous ont permis de toujours bien avancer dans la réalisation du sujet.

Nous remercions également nos parrains de stage Mr. Hicham Alahian et Mr. Ahmed Bikarnaf, pour leur disponibilité et leurs conseils avisés.

Sans oublier d'adresser nos remerciements à toutes les personnes que nous avons eu la chance de rencontrer, et précisément Mr. Hamdi Massiste et Mr. Hamed Khella pour leur aide précieuse.

Enfin, nos vifs remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou loin à la réussite de ce travail.

DEDICACE

À nos très chers parents

Nous vous dédions ce travail fruit de notre effort en guise de témoignage de reconnaissance et gratitude pour vos soutiens permanents. Que Dieu vous préserve la bonne santé et la longue vie. Tous nos sentiments de reconnaissance pour vous.

À nos professeurs qui ont veillés à nous apprendre tout ce qui est nécessaire pour affronter le monde réel du travail.

À tous nos collègues et ami(e)s pour les moments agréables et inoubliables que nous avons passés ensemble.

TABLE DES MATIERES

Listes des figures et des tableaux.....	6
Problématique et Objectifs du stage	7
Chapitre 1 : Introduction générale	
1. Généralités sur les phosphates.....	9
1.1. L’historique des phosphates.....	9
1.2. Utilisations des phosphates	9
1.3. Les différents types des gisements phosphatés.....	10
2. Répartition des phosphates dans le monde	11
2.1. La répartition géographique dans le monde.....	11
2.2. Répartition stratigraphique des dépôts phosphatés	12
3. Genèse des phosphates sédimentaires	13
3.1. Sources de phosphore	13
3.2. Modèles de phosphatogenèse.....	13
3.3. Mode de formation des apatites sédimentaires	14
4. Les phosphates au Maroc	14
4.1. La découverte des phosphates au Maroc	14
4.2. L’Office Chérifien des Phosphates	15
4.3. L’OCP en quelques dates	15
4.4. 4.4. Les sites de production	15
4.5. Activités du groupe OCP	16
4.6. Principaux bassins phosphatés du Maroc	16
Bassin des Ouled Abdoun	16
Bassin des Gantour	17
Bassin des Meskala.....	17
Bassin d'Oued Eddahab	17
Chapitre 2: Géologie du secteur d'étude et notions d'échantillonnage	
1. Géologie régionale : Bassin des Gantour	19
1.1. Généralités	19
1.2. Cadre géographique	19
1.3. Morphologie.....	19
1.4. Climat.....	19
1.5. Cadre géologique	20
1.5.1. Stratigraphie	20
1.6. Cadre structural.....	24
1.7. Hydrogéologie	24
1.8. Paléontologie	24

2.	Géologie locale du secteur d'étude : Recette VI	25
2.1.	Cadre géographique	25
2.2.	Cadre géologique	26
2.3.	Historique de reconnaissance	28
3.	Echantillonnage	28
3.1.	Notions.....	28
3.2.	Les techniques d'échantillonnage dans les puits	29
3.3.	Contrôle qualité de l'échantillonnage	30
Chapitre 3: Travaux réalisés		
1.	Travail au bureau	35
1.1.	Préparation de la base de données	35
1.2.	Extraction des informations à partir des coupes	38
2.	Traitement des données	38
2.1.	Vérification de l'accessibilité des niveaux phosphatés.....	38
3.	Sur le terrain	42
3.1.	Les mesures des toisés.....	42
3.2.	Topographie et itinéraire	44
4.	Analyse des résultats et recommandation.....	43
5.	Conclusion	48
	Bibliographie	49
	Webographie :.....	49

TABLES DES FIGURES :

Figure 1 : Localisation des principaux types de gisements de phosphates dans le monde.....	11
Figure 2 : Mécanisme des courants ascendants Upwelling	13
Figure 3 : la répartition des sites de l'OCP avec leurs rôles	16
Figure 4 : Carte géologique du bassin des Gantour	22
Figure 5 : Log lithologique synthétique de bassin des Gantour occidental.....	23
Figure 6 : exemples du contenu paléontologique du bassin des Gantour.....	25
Figure 7 : Situation géographique de la recette 6	26
Figure 8 : Carte géologique de la recette 6	27
Figure 9 : Type de puits de prospection.	29
Figure 10 : Technique de quartage	30
Figure 11 : Schéma de la méthode adoptée pour le traitement du sujet	33
Figure 12 : Schéma des différentes étapes du traitement des données	34
Figure 13 : exemple de choix des puits selon une maille	35
Figure 14 : Carte de situation des puits de la zone d'étude	37
Figure 15 : Treuil d'échantillonnage	38
Figure 16 : Lecture des résultats du canevas	41
Figure 17 : Les sondes des toisées.....	42
Figure 18 : Carte représentante les sites proposés pour l'implantation des nouveaux puits	46

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : les principaux minéraux de gangue des gisements de phosphates magmatiques	10
Tableau 2 : Répartition chronostratigraphique des gisements phosphatés dans le monde	12
Tableau 3 : Les coordonnées et les matricule des puits	36
Tableau 4 : Les résultats de l'étude de l'accessibilité des puits	41
Tableau 5 : Puits à proximité suggérés pour l'échantillonnage	43
Tableau 6 : Profondeur de curage pour chaque puits remblayé	45
Tableau 7 : Nombre de postes	47

PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DU STAGE

Le travail réalisé au cours de notre stage, concerne la participation dans une campagne d'échantillonnage minéralurgique préliminaire de la Recette VI (Secteur d'étude et partie du Bassin des Gantour).

En fait, cette zone a déjà fait l'objet de plusieurs campagnes d'échantillonnage, mais les analyses sur les échantillons prélevés à partir des puits ont été limitées à un nombre d'analyses des éléments très réduit, à savoir : La teneur en BPL/Brut, BPL/Lavé, CO₂/Brut, MgO.

Le problème devient beaucoup plus difficile au fur et à mesure de l'évolution de la charte de l'environnement et la nouvelle définition du portefeuille qualité des phosphates.

Actuellement, les exigences du marché et de la clientèle deviennent de plus en plus accrues. On a besoin donc de faire des analyses complémentaires sur de nouveaux échantillons prélevés au niveau des puits pour quantifier les teneurs, par exemple, en éléments pénalisants (Cd, Se, As, Hg...), en éléments radioactifs (U, Ra...) ; ainsi qu'en d'autres éléments chimiques bonificateurs tel que le fluor F, le vanadium V et les terres rares REE...

Sur le plan technique, notre objectif principal est d'identifier géologiquement les ouvrages miniers (puits) susceptibles d'être utilisés pour effectuer un échantillonnage géologique et minéralurgique en fonction des critères spécifiques de choix fixés au départ par les opérateurs sur le terrain. Cependant, des cartes seront dressées et élaborées dans lesquelles on projette les ouvrages miniers positifs (puits et tranchée miniers) sélectionnés pour une telle étude.

Parmi les autres objectifs de ce stage, on cite :

- ◆ Exploiter l'expérience et les connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de la formation pédagogique sur le plan pratique, et la valorisation technico-économique des projets en relation avec la substance phosphate et les éléments chimiques accompagnateurs ;
- ◆ Se familiariser avec les problèmes du domaine professionnel.
- ◆ Travailler directement avec des spécialistes dans le domaine de la géologie appliquée à savoir la cartographie géologique appliquée (coupes et cartes géologiques) et la géochimie de valorisation économique des projets ;
- ◆ Avoir une idée sur les techniques et les étapes de valorisation ainsi que la méthode d'exploitation des gisements miniers en relation avec la substance phosphate.
- ◆ Pratiquer sur le terrain la méthode de prélèvement géologique et d'échantillonnage représentatif d'une telle minéralisation
- ◆ Dépouillement des cuttings et lecture des carottes des sondages réalisés sur le terrain pour un objectif d'exploration et de certification des ressources minières.
- ◆ Modélisation géologique et minières dans un objectif de se prononcer correctement sur les ressources minières.
- ◆ Et finalement, avoir une idée globale sur le contrôle qualité et la sécurité.

*BPL : (Bone Phosphate of Lime = phosphate de chaux des os, unité des teneurs en phosphates BPL=P₂O₅ x 2,1853).

CHAPITRE 1 :
INTRODUCTION GENERALE

1. GENERALITES SUR LES PHOSPHATES :

Le minerai de phosphate est une roche phosphatée sédimentaire dite roche exogène. Elle se forme par concentration lorsque des ions phosphates précipitent dans une roche en diagenèse.

Elle contient une plus ou moins grande quantité de phosphate. On distingue selon la classification minéralogique de Strunz deux types de roches phosphatées : les phosphatites qui sont des roches de la famille de l'apatite et les autres roches dénommées phosphorites qui sont des chaux phosphatées.

Le phosphore est indispensable à la croissance des plantes, et l'industrie des engrais est essentiellement responsable du développement considérable de la recherche et de l'exploitation des gisements de phosphates depuis la fin du XIX^e siècle.

1.1. L'historique des phosphates :

Le phosphate est utilisé en tant que fertilisant depuis l'antiquité. Les romains employaient les excréments d'oiseaux comme engrais, les arabes utilisaient les dépôts de guanos qui se trouvent le long de leurs côtes, et en Amérique du sud, les premiers explorateurs remarquaient que les indiens étaient familiarisés avec l'utilisation des guanos comme fertilisant.

Le chimiste allemand Liebig (1840) professeur à l'université de Giessen, est considéré le premier à employer les engrais phosphatés, il a constaté que l'action de l'acide sulfurique sur le phosphate tricalcique insoluble le transforme en phosphate mono calcique soluble qui est directement assimilable par les plantes.

1.2. Utilisations des phosphates :

Le phosphate est utilisé, principalement, pour produire l'acide phosphorique et les engrais. Les produits des phosphates sont utilisés dans des domaines diversifiés à savoir :

- L'alimentation, levure chimique, fromagerie, traitement de la viande et du poisson (ils préservent les qualités nutritionnelles et améliorent la stabilité microbiologique de certains produits alimentaires).
- Dentifrice, agent clarifiant pour Savons et pour Shampooing, Nettoyage de tôles, lessives (détergents), adoucisseur,
- Photographie (agent fixateur de la lumière),
- Stabilisation des peintures (ils favorisent l'adhérence de la peinture à la surface).
- Abrasif pour polissage des métaux (ils réduisent les risques de corrosion des métaux).
- L'acide phosphorique purifié entre dans la synthèse de produits pharmaceutiques... etc.

1.3. Les différents types des gisements phosphatés :

- Les gisements d'origine ignée :

Ils sont associés à des complexes intrusifs alcalins. Ces gisements sont de trois types : les carbonatites, les syénites néphéliniques et les pyroxénites, chacun de ces types est riche en fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), mais leurs minéraux de gangues varient, le tableau 1 montre les minéraux de gangue typiques pour chaque catégorie.

Igneous Deposit Type	Typical Gangues	Chemical Formula
<i>Carbonatite</i> (Phalaborwa, Jacupiranga, Araxá, Sillinjärvi)	Barite	BaSO_4
	Calcite	CaCO_3
	Dolomite	$(\text{CaMg})(\text{CO}_3)_2$
	Magnetite	Fe_3O_4
	Olivine	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$
	Phlogopite	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2$
	Pyrochlore	$(\text{Na,Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH,F})$
	Quartz	SiO_2
	Vermiculite	$(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<i>Nephelinic-syenite</i> (Kola)	Nepheline	$(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$
	Alkali feldspar	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8 / \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	Aegirine	$\text{NaFe}^{+3}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
	Magnetite	Fe_3O_4
	Quartz	SiO_2
<i>Pyroxenite</i> (Phalaborwa)	Pyroxenes	$\text{XY}(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ X=Ca,Na,Fe ⁺² ,Mg,Zn,Mn,Li Y=Cr,Al,Fe ⁺³ ,Mg,Mn,Sc,Ti,V,Fe ⁺²
	Phlogopite	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2$
	Vermiculite	$(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Tableau 1 les principaux minéraux de gangue des gisements de phosphates magmatiques (Kawatra , 2014)

- Les gisements de type Guanos :

On les appelle aussi des gisements insulaires, se trouvent généralement dans les océans pacifique et indien.

Ces gisements sont formés à partir des déjections des oiseaux de mer qui contiennent environ 4 % en P_2O_5 . Ils sont de bonne qualité car ils contiennent des quantités faibles de quartz, argiles et les autres impuretés.

Comme exemples, Nous citons les gisements de l'île Nauru dans l'océan pacifique qui contiennent 90 millions de tonnes de minerai avec 39 % en P_2O_5 et les gisements de l'île Christmas dans l'océan indien qui contient 200 millions de tonnes de minerai avec une teneur de 23 jusqu'à 27 % de P_2O_5 .

- Les gisements de type sédimentaire

Ils sont les plus abondants en quantité et avec des teneurs en P_2O_5 qui dépassent les 28 % sur place.

Parmi les plus grands réserves du monde, la plupart sont de type sédimentaire (exemples : Florida, Maroc et Chine), ces gisements contiennent des minéraux de phosphates de type francolite et collophane prédominants.

Les minéraux de gangue typiques des phosphates sédimentaires incluent les argiles, les carbonates et le silex.

Comme exemples, nous citons les gisements phosphatés marocains. Ils se localisent stratigraphiquement du Crétacé supérieur (Maastrichtien) à l'Éocène inférieur et moyen et se répartissent en quatre principaux bassins dont trois sont localisés au Centre-Nord du pays et constituent une partie importante de la couverture sédimentaire de la Meseta marocaine, il s'agit du bassin des Ouled Abdoun, le bassin des Gantour, le bassin des Meskala et le bassin d'Oued Eddahab.

2. REPARTITION DES PHOSPHATES DANS LE MONDE :

2.1. La répartition géographique dans le monde :

Les phosphates sont répartis partout dans le monde (Voir figure 1).

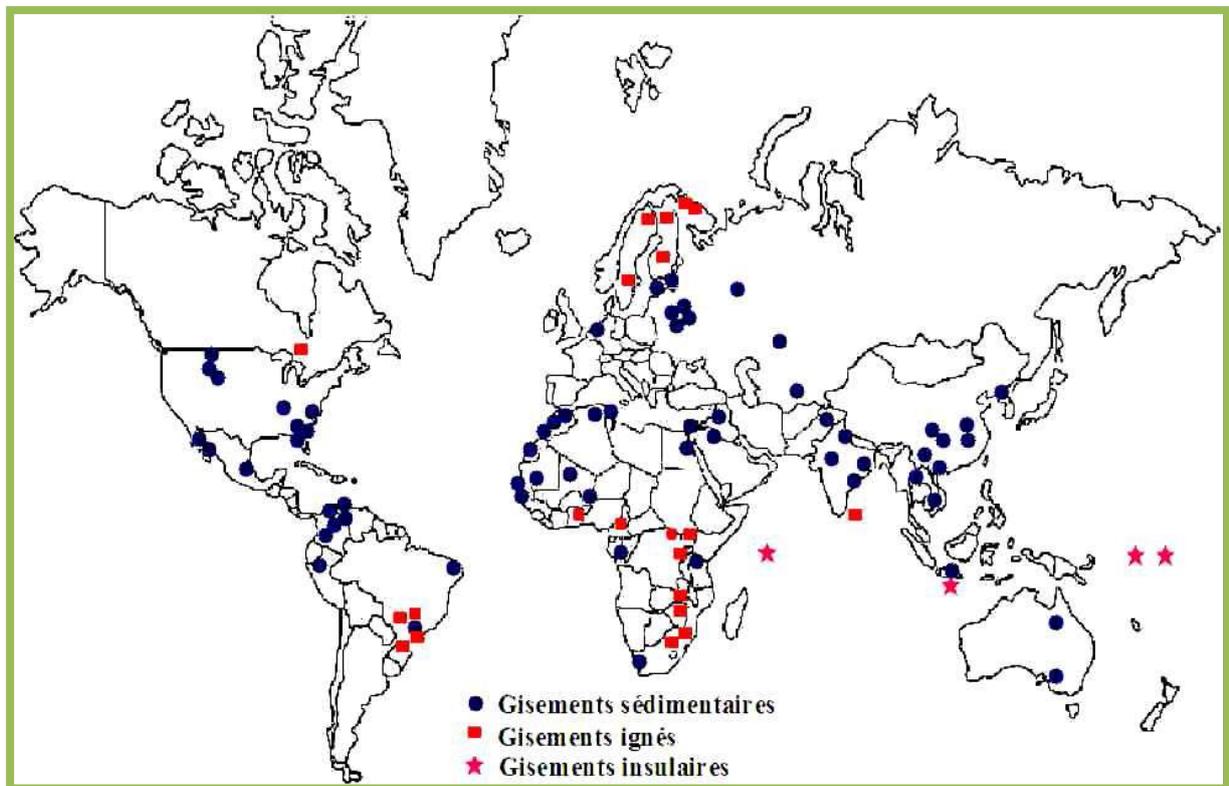


Figure 1: Localisation des principaux types de gisements de phosphates dans le monde (USGS.gov,2015)

2.2. Répartition stratigraphique des dépôts phosphatés :

La répartition stratigraphique des dépôts phosphatés à l'échelle mondiale s'étale du Précambrien — Infracambrien jusqu'à l'actuel (Tableau 2).

Étage	Gisement
Pliocène	Gisement de Floride (formé par remaniement).
Crétacé supérieur—Éocène	Bassin côtier occidental et septentrional d'Afrique, Moyen-Orient, Aktynbinsk (Sud Oural, Russie) Olinda (Brésil).
Jurassique—Crétacé inférieur	Plaine Moscou-Volga Mexique
Permien	Gisement des montagnes Rocheuses Himalaya au nord de Delhi en Inde
Ordovicien	Gisement de Tennessee
Cambrien	Gisement Queensland (Georgia bassin, Australie) Karatan en Sibérie Yunnan en Chine Laokao au Vietnam
Précambrien-infracambrien	Australie, Upper Peninsula dans le Michigan, Rajasthan (Inde), gisements sibériens, Chine.
1800-2200 Ma	Afrique Ouest (Ouest du fleuve Niger), partie orientale du Sénégal.
1200-1600 Ma	
700 – 800 Ma	
620 Ma	

Tableau 2: Répartition chronostratigraphique des gisements phosphatés dans le monde [Cook et Me Elhinny (1979)].

Cette répartition spatio-temporelle dans le monde est concentrée principalement dans l'Amérique du Nord (États-Unis), en Afrique du Nord (Maroc et Tunisie), en Chine, sur certaines îles d'Océanie (Nauru, Banaba et Makatea) et dans des pays comme (Togo et Jordanie...), ainsi le Maroc, les États-Unis et la Chine considérés comme les pays les plus producteurs dans le monde avec une part de marché supérieur à 62 %.

3. GENESE DES PHOSPHATES SEDIMENTAIRES :

La genèse des phosphates sédimentaires d'origine marine est un phénomène très complexe qui a engendré un nombre considérable d'hypothèses et de différentes interprétations qui divergent jusque sur les points essentiels tels que la source du phosphore, les processus de formation des éléments phosphatés et les conditions favorisant cette formation.

3.1. Sources de phosphore :

Les sources possibles du phosphore en solution sont :

-**Source volcanique** : par volcanisme principal ou thermalisme.

-**Source biologique** : par décomposition de la matière organique des différents organismes; comme les algues (ex : *Laminaria* ou *Fucus*) qui concentrent le phosphore ou par fixation par les squelettes des vertébrés et le plancton.

-**Source marine profonde** : la teneur du phosphore augmente avec la profondeur (**Kazakov**) ce qui permet d'envisager un mécanisme d'alimentation de la sédimentation phosphatée à partir des réserves océaniques profonds. Les phosphores sont présents sous forme dissoute ou en suspension.

-**Source continentale** : par l'altération des éléments phosphatés de la croûte terrestre notamment les roches magmatiques qui alimentent directement les sédiments, cette idée est défendue par **Bushinski** en 1964 qui a cité le cas du Volga qui diverse chaque année 6000 tonnes de phosphore sous forme de phosphate minéral dans la mer Caspienne.

3.2. Modèles de phosphatogenèse :

Pour expliquer la genèse des phosphates, plusieurs modèles génétiques ont été abordés :

En 1937, **Kasakov** a proposé le modèle des courants froids ascendants (upwellings) qui amènent le phosphore du fonds marins riches en phosphore vers les bords du plateau continental où il précipite par changement de conditions physico-chimiques (augmentation du pH et diminution de la pression partielle en CO_2 qui amène une précipitation du CaCO_3 puis des phosphates), Kazakov ajoute que le phosphore donc ne peut pas précipiter dans les régions profondes où la pression de CO_2 est faible ni dans la zone de photosynthèse où il est consommé par les organismes. (Voir figure 2)

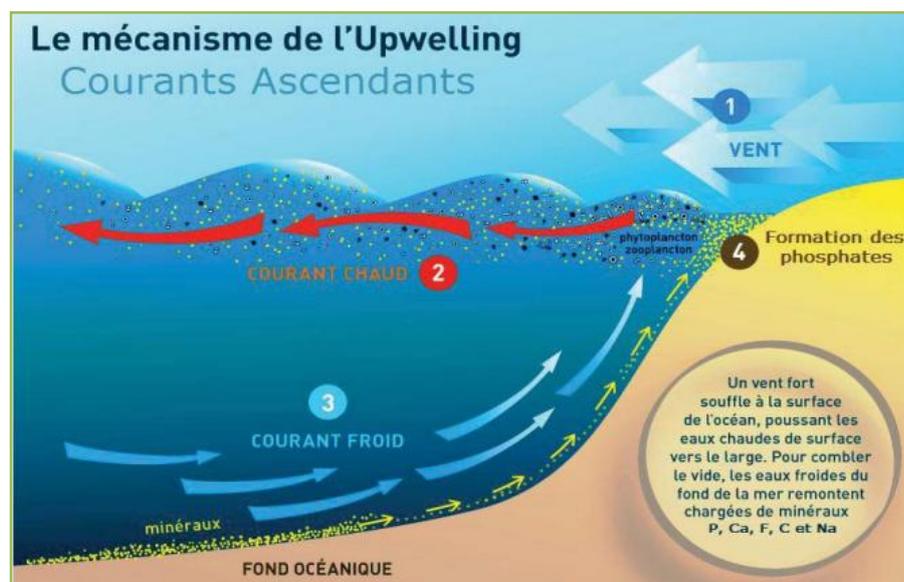


Figure 2 : Mécanisme des courants ascendants Upwelling (Bakun, 1990)

Le modèle du bassin fermé en communication restreinte avec la haute mer (Boujo, 1972, Sassi 1974, Lucas et Prévot 1975), ce modèle prévoit que le phosphore et les autres minéraux des eaux froides profondes, nécessaires à la formation des phosphates, seront distribués par l'intermédiaire des courants de distribution dans des cuvettes peu profondes protégées des courants forts venus du large. Le modèle des zones anticlinales (Keyser et Cook 1972), les phosphates se sont formés et étalés de part et d'autre de ces zones pour donner du côté interne de sédiments riches en phosphate et du côté externe des dépôts pauvres.

3.3. Mode de formation des apatites sédimentaires :

Le minéral principal des dépôts phosphatés est la francolite (ou carbonates-fluorapatite CFA) il a trois modes de formation principaux:

- **La biogénèse :** la francolite est un constituant naturel des tests de certains animaux tels que les brachiopodes, quand ces tests s'accumulent et se fossilisent, ils permettent de donner directement des niveaux riches en phosphates.
- **La précipitation directe:** se déroule à partir des eaux interstitielles au sein des dépôts organique très riches en phosphore, quand le rapport de Ca/Mg est sup à 5,2 la francolite se précipite en dépendance de la présence de Ca (apporté par les organismes (algues, phytoplancton), F (très abondant dans l'eau de mer et dans les eaux interstitielles, et CO_3^{2-} (qui provient de la décomposition de la matière organique).
- **L'épiginie :** C'est le remplacement de coquille ou minéral initialement carbonaté par le phosphore. Ce remplacement se déroule au sein des eaux interstitielles par diffusion ionique du phosphore sur un substratum carbonaté. Ca et CO_3 sont apportés par le carbonate CaCO_3 .

4. LES PHOSPHATES AU MAROC :

4.1. La découverte des phosphates au Maroc :

C'est à Brives, en 1905, qu'est due la découverte de l'Eocène inférieur marin à l'Est d'Essaouira, sur la bordure de la plaine du Haouz. Trois ans après, le même auteur signalait la présence de phosphates dans des calcaires à *Ostrea strictiplicata* situés au flanc du plateau de Guergouri, au sud de Marrakech. Mais cette découverte n'a pas suscité d'attention et des années s'écoulèrent sans en parler.

Ce n'est qu'en 1917 qu'eut lieu la reconnaissance des phosphates exploitables au Maroc. En effet les officiers occupés à l'installation du Poste d'Oued Zem, utilisaient pour la fabrication du mortier destiné aux constructions en cours, un sable de mauvaise qualité extrait sur place. Il fallut le passage à Oued Zem, au début de l'année 1917, de l'éminent ingénieur Bursaux, Directeur des Mines de Metlaoui en Tunisie pour que ce sable soit reconnu par lui comme du phosphate de chaux meuble. Bursaux fut alors chargé par le Général Lyautey, au cours de cette même année, d'organiser la prospection méthodique des gisements dont il avait immédiatement pressenti l'importance. A la fin de l'année le rapport indiquait une extension du gisement à l'ouest de Oued Zem et probablement au sud, alors des recherches ont été poussées dans tout le bassin de Ouled Abdoun, et en 1920, l'office chérifien des phosphates fut créé pour entreprendre l'exploitation. (Armstrong, 1952).

4.2. L'Office Chérifien des Phosphates :

Vu le rôle fertilisant des phosphates, l'augmentation des besoins mondiaux en cette matière et l'approbation des prospecteurs étrangers sur l'existence d'une richesse anormale au Maroc en phosphate (3/4 des réserves connues sur la planète), l'Office Chérifien des Phosphates a pris naissance suite d'un Dahir du 27 Janvier 1920 pour l'exploration et l'exploitation de ce minerai (Boujo, 1972).

L'Office Chérifien des Phosphates a débuté son activité par l'extraction et le traitement des roches dans la région de Khouribga. Il se lance ensuite dans la transformation industrielle du minerai (Jorf Lasfar et Safi).

4.3. L'OCP en quelques dates :

Depuis sa création, l'OCP n'a pas cessé de se développer à travers la création de nouveaux sites de production et de transformation.

1920 : Création de l'office chérifien des phosphates.

1921 : Début de l'extraction souterraine du phosphate dans la zone de Khouribga. Première expédition depuis le port phosphatier de Casablanca.

1932 : Début de l'extraction souterraine du phosphate dans la zone de Youssoufia.

1934 : Descenderie recette I de Youssoufia.

1936 : Premier train de phosphate de Youssoufia vers le port de Safi.

1942 : Séchage des phosphates dans des fours au charbon à Youssoufia et Création d'une unité de calcination.

1954 : Démarrage des premières installations de séchage à Youssoufia.

1965 : Création de la société Maroc-Chimie (première unité de valorisation pour la fabrication d'acide phosphorique et d'engrais de Safi).

Inauguration de l'usine chimique de Safi par Feu SM Le Roi Hassan II.

1973 : Création de Maroc-Phosphate

Création de SOTREG : société des transports régionaux

1975 : Création du groupe OCP intégrant les filiales.

1976 : Lancement du premier centre de Recherche & Développement d'OCP, le CERPHOS.

1980 : Lancement de la mine de Benguerir.

2008 : L'OCP devient une société anonyme (OCP SA).

2014 : Démarrage programme du projet Slurry Pipeline sur l'axe Khouribga-Jorf Lasfar sur une longueur de 235 Km.

4.4. Les sites de production (Figure 4):

-**Sites miniers** : Khouribga, Benguerir, Youssoufia, Boucraâ.

-**Valorisation** : Safi, Jorf Lasfar.

-**Ports d'embarquement** : Safi, Casablanca, Jorf Lasfar, Laâyoune.

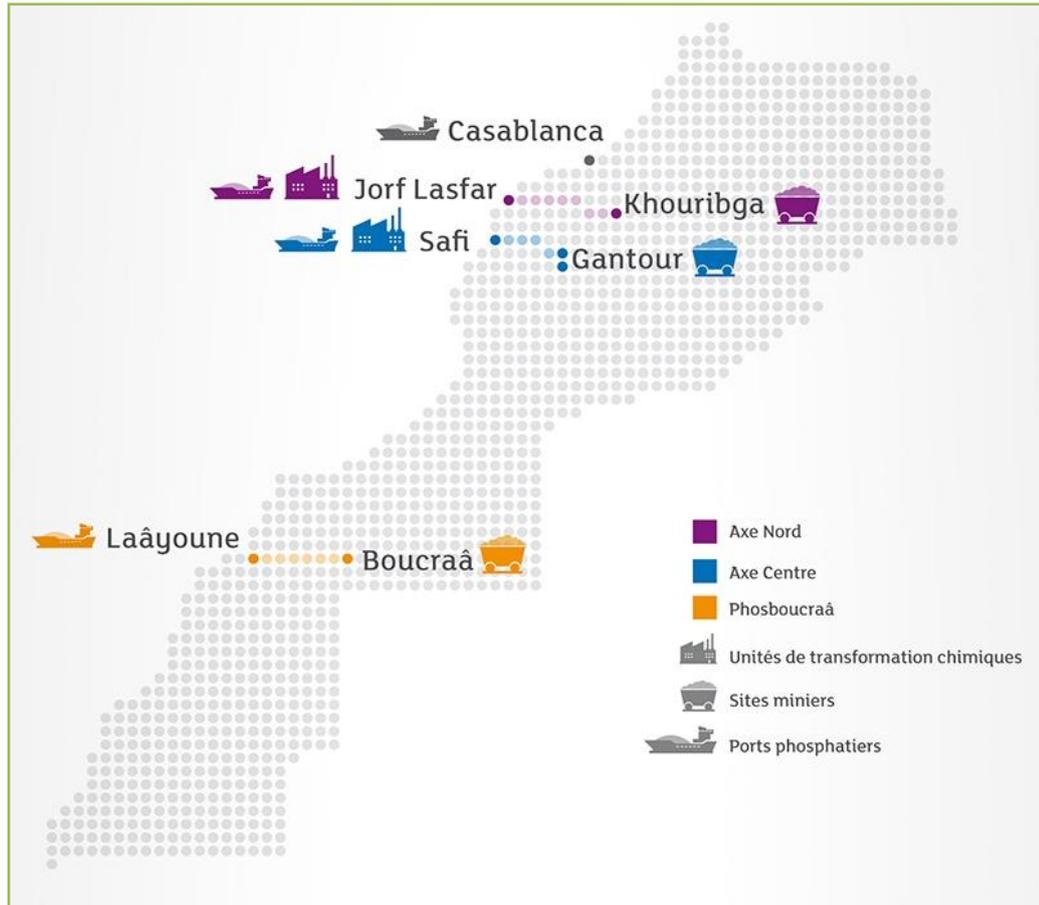


Figure 3 - la répartition des sites de l'OCP avec leurs rôles (ocpgroup.ma, retrouvée 20 avril)

4.5. Activités du groupe OCP :

Extraction : Elle se fait dans les plus importantes mines du royaume telles qu'Ouled Abdoun à Khouribga, Gantour à Youssoufia, Boucraâ près de Laayoune et Meskala dans la région de Chichaoua. L'opération d'extraction s'établit suivant les couches tout en respectant les normes de qualité requises dans ce domaine.

Traitement : une fois extraits, les phosphates subissent un enrichissement dont les étapes sont : classification mécanique, lavage et enrichissement à sec.

Valorisation : vise la transformation du phosphate brut en des acides phosphorique (P_2O_5) et d'engrais.

Commercialisation : Le Maroc est le premier exportateur de phosphates à l'échelle internationale.

4.6. Principaux bassins phosphatés du Maroc :

- **Bassin des Ouled Abdoun :**

Il est situé au nord de la meseta occidentale, à environ 100 km de Casablanca où se fait son embarquement. Le gisement de ce bassin fut découvert en 1921.

C'est le gisement le plus vaste et le plus intensément exploité (près de 12,5 millions de tons en 1971). Seul le niveau Yprésien a été exploité depuis l'origine jusqu'au 1970 (couche I), à cette date était mise en exploitation en découverte de la couche Thanétienne-Danienne, mais avec des tonnages encore relativement modestes (couche II) (Boujo, 1972).

La série phosphatée d'Ouled Abdoun débute du Maastrichtien par des dépôts phosphatés très marneux et se termine au Lutétien par une dalle à thérsite, en passant par le paléocène caractérisé par le calcaire phosphaté et le calcaire marneux, puis l'Yprésien, qui contient des niveaux phosphatés intercalés par des calcaires phosphatés coprolithiques, des argiles et des silexites.

- **Bassin des Gantour :**

Il est situé dans la meseta occidentale, entre les deux massifs primaires de Jbilet et Rhamna, le gisement de phosphate associé fut découvert en 1917 par Brives.

Le bassin des Gantour renferme deux centres miniers, le premier à Youssoufia qui se trouve à l'extrémité occidentale du bassin et le deuxième à Benguerir au centre de celui-ci.

- **Bassin des Meskala :**

Il est situé dans la plaine d'Essaouira-Elhaouz à la jonction du Haut-Atlas et la meseta, et fut découvert en 1905.

Ce bassin est caractérisé par une série phosphatée dont la puissance totale varie entre 110m au Nord-est et 140 m au sud. Il est subdivisé en trois zones : Ouled Bou Sbâa au Nord Est, zone Imin'Tanout au Sud Est et zone de Khémis Meskala à l'Ouest.

- **Bassin d'Oued Eddahab**

Il est situé dans le Sahara marocain à 100 km au Sud-Est de la ville de Laâyoune, entre le Précambrien et le Paléozoïque de la dorsale de Rguibat et l'Océan atlantique. Et fut découvert en 1943.

Les dépôts phosphatés de ce bassin beaucoup plus au Nord que les affleurements actuels et l'érosion réduisent ses extensions.

Une grande partie phosphatée du gisement d'Oued Eddahab est détruite par l'érosion.

Chapitre 2 :

La géologie de la zone d'étude et notions d'échantillonnage

1. GEOLOGIE REGIONALE : BASSIN DES GANTOUR

Nous abordons dans ce chapitre les principales caractéristiques du gisement de Gantour.

1.1. Généralités :

Le bassin des Gantour représente l'un des principaux bassins phosphatés du Maroc, découvert par Brives aux alentours de 1921 et a été mis en exploitation en 1931.

De l'Ouest vers l'Est, le bassin des Gantour est subdivisé en six zones principales :

- Youssoufia
- Recette 6
- Louta
- Benguéirir
- N'Zalat El Hararcha
- Tassaout

A l'exception de la recette 6, les zones ont été déterminées par Boujo en 1971.

1.2. Cadre géographique :

Il recouvre en termes de superficie environ 2500 km² et ses réserves sont estimées à environ 31 milliards de m³, soit 35 % des réserves nationales.

Le plateau de Gantour est bordé au nord par le massif primaire de Rehamna, à l'Est par le cours d'Oued Tassaout, au sud par le massif paléozoïque de Jbilet et à l'Ouest par le massif mésozoïque de Mouisset.

Ce bassin s'inscrit dans un rectangle allongé Est-ouest et limité par les méridiens 7°15 et 8°50, les parallèles 32°20 et 32°.

1.3. Morphologie :

Le bassin des Gantour se présente sous forme de plateau allongé Est-Ouest, Il s'étend sur environ 125 Km d'Est en Ouest et sur 20 à 35 Km du nord au sud. Son relief est relativement modéré avec une altitude moyenne de 430 m, mais relativement accidenté avec des altitudes pouvant dépasser 530 m dans la zone noyée de Youssoufia.

Il est subdivisé en deux bassins géomorphologiques :

- Un domaine occidental situé entre Youssoufia et la route de Marrakech-Casablanca où les affleurements sont orientés Sud-Nord à l'extrémité occidentale entre Chemaia et Youssoufia puis Ouest-Est entre Youssoufia et Benguéirir.
- Un domaine orientale où les affleurements orientés Nord-Sud à l'ouest du gisement de Benguéirir, puis Est-Ouest jusqu'à l'oued de Tassaout pour redevenir Nord-Sud.

1.4. Climat :

Le climat est semi-continentale, aride à faible pluviosité. Il présente une variation saisonnière importante de la pluie, la moyenne des précipitations annuelles reçue par le secteur est de l'ordre de 252 mm/an. La zone aride caractérisée par une moyenne annuelle de température proche de 20°, avec un régime thermique très contrasté hivers rigoureux, étés chauds et secs. (Jourani, 1994 et Boujo, 1972).

1.5. Cadre géologique :

Les travaux récents sur les phosphates marocains en terme de pétrographie, sédimentologie, minéralogie et géochimie ont confirmé les idées d'Arambourg : Les dépôts phosphatés marocains forment un ensemble très homogène. Cette homogénéité nous permet de définir la série phosphatée marocaine.

Cette série s'étale du Crétacé supérieur (Maastrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien), voir figure 4.

Elle se présente sous forme de bancs phosphatés (couches, sillons et faisceaux) et sous forme de niveaux peu phosphatés appelés intercalaires (Jourani, 1994).

1.5.1. Stratigraphie :

Le bassin des Gantour représente une couverture sédimentaire (Trias, Jurassique Crétacé) de la Meseta occidentale (Boujo, 1972). Les dépôts de la série phosphatée sont de type sédimentaire qui se pose directement en discordance majeure sur le socle paléozoïque qui est formé des roches métamorphisées et cristallisées (Jourani, 1994).

La série phosphatée des Gantour est constituée essentiellement des quatre principaux minéraux suivants : l'apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$, les carbonates (calcite et dolomie), les argiles et la silice SiO_2 .

La série phosphatée s'étend du Maastrichtien (72Ma) au Lutétien (48Ma) (Daafi, 2009) (voir figure 5)

- **Maastrichtien :**

Il comprend les niveaux suivants : C6 (couche 6), C5, C4, C3, C2 et le sillon X. Ces couches peuvent être subdivisées en sous-couches suivant les zones.

Cet étage débute par un phosphate bioclastique et micro conglomératique et se termine par un banc de marnes siliceuses dans lequel s'intercale un niveau décimétrique de phosphate.

Cet étage est décomposé en trois entités :

- Une entité inférieure : qui comprend les couches 6 et 5 séparées par des stériles marno-siliceux.
- Une entité médiane : constituée par les couches 4 et 3 coiffées. L'intercalaire couche 3 – couche 2 est formé par un niveau d'argile dites maastrichtiennes.
- Une entité supérieure : constituée par la couche 2 et le sillon X qui représentent une sédimentation sableuse et phosphatée.

On note que les dépôts silico-carbonatés sont rares au niveau de la partie sommitale du maastrichtien. En effet, cette partie est dominée par des formations détritiques phosphatées.

Contrairement à cette partie sommitale, la partie basale de cet étage est caractérisée par l'abondance et le développement des dépôts silico-carbonatés constitués essentiellement de :

- Marnes siliceuses
- Grès
- Silex
- Marnes

- **Danien :**

Généralement, cet étage commence par un banc de calcaire phosphaté et se termine par des marnes et marnes siliceuses.

Il est formé des entités suivantes :

- La couche 1
- La couche 0
- Le danien supérieur phosphaté (DSP)

- **Thanétien :**

Il est dominé par une sédimentation sablo-phosphatée correspondant au faisceau A, ce dernier est subdivisé en trois sous faisceaux A1, A2 et A3.

Les deux niveaux A1 et A3 sont séparées par des argiles dites thanétiennes.

Le sous faisceau A1 repose directement sur A2 et se distingue de ce dernier par ses faibles teneurs en BPL.

Le thanétien se termine par un puissant dépôt de marnes et de marnes sableuses.

- **Yprésien :**

Les niveaux phosphatés de ce niveau sont :

Le niveau AB : qui représente un niveau détritique de phosphate et se continue par un puissant dépôt d'argiles constituant le substratum de la nappe supérieure (argiles yprésiennes).

La couche des 11 m : qui repose sur ces argiles yprésiennes, se présente sous forme d'un puissant niveau de sable fin légèrement phosphaté.

Les sillons supérieurs : il s'agit d'un puissant niveau de marnes, de marnes siliceuses à silex au sein duquel s'intercalent les sillons supérieurs (B, C, D...)

- **Lutézien :**

Cet étage qui marque la fin de la sédimentation phosphatée et caractérisé par le développement d'une dalle calcaire dolomitique renfermant des Thérstées appelée dalle à Thérstées.

Le log suivant (figure 5) donne la lithologie du bassin des Gantour et les différents niveaux phosphatés.

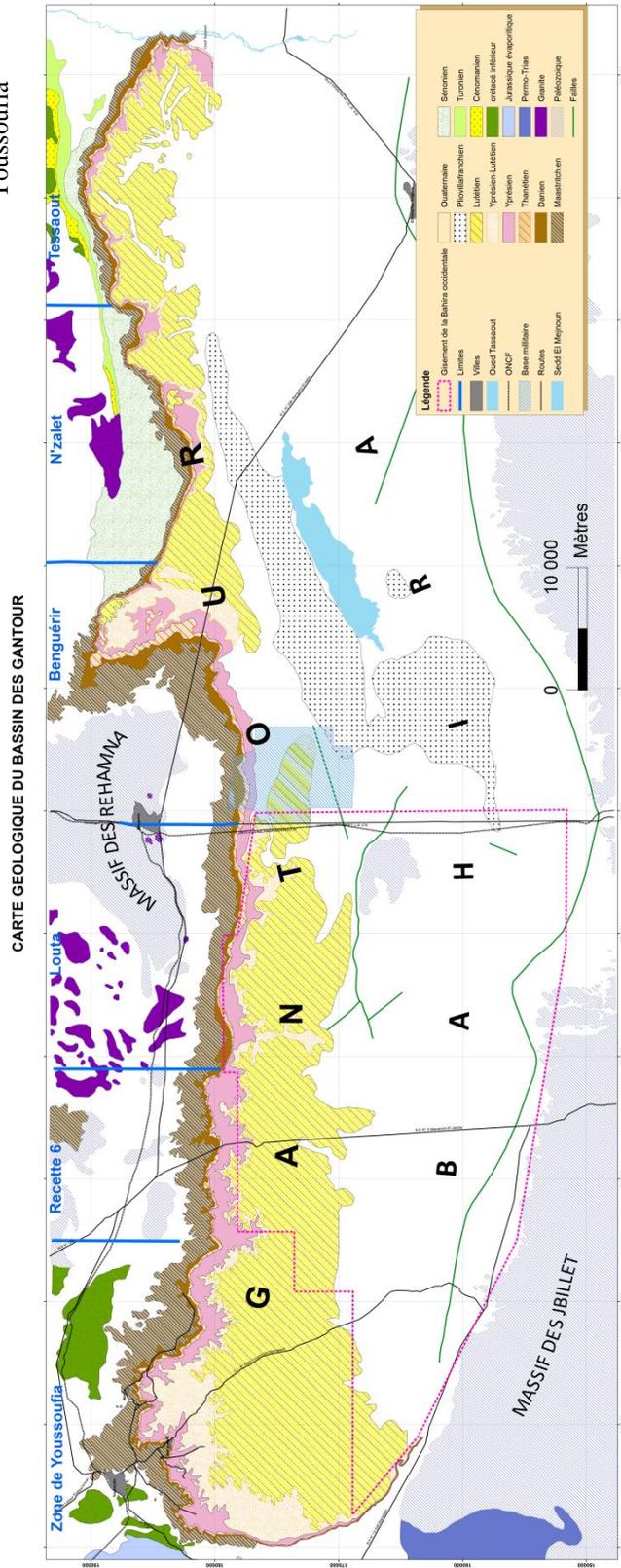


Figure 4 : Carte géologique du bassin des Gantour (Source :OCP Group Yousseoufia, Direction Géologie).

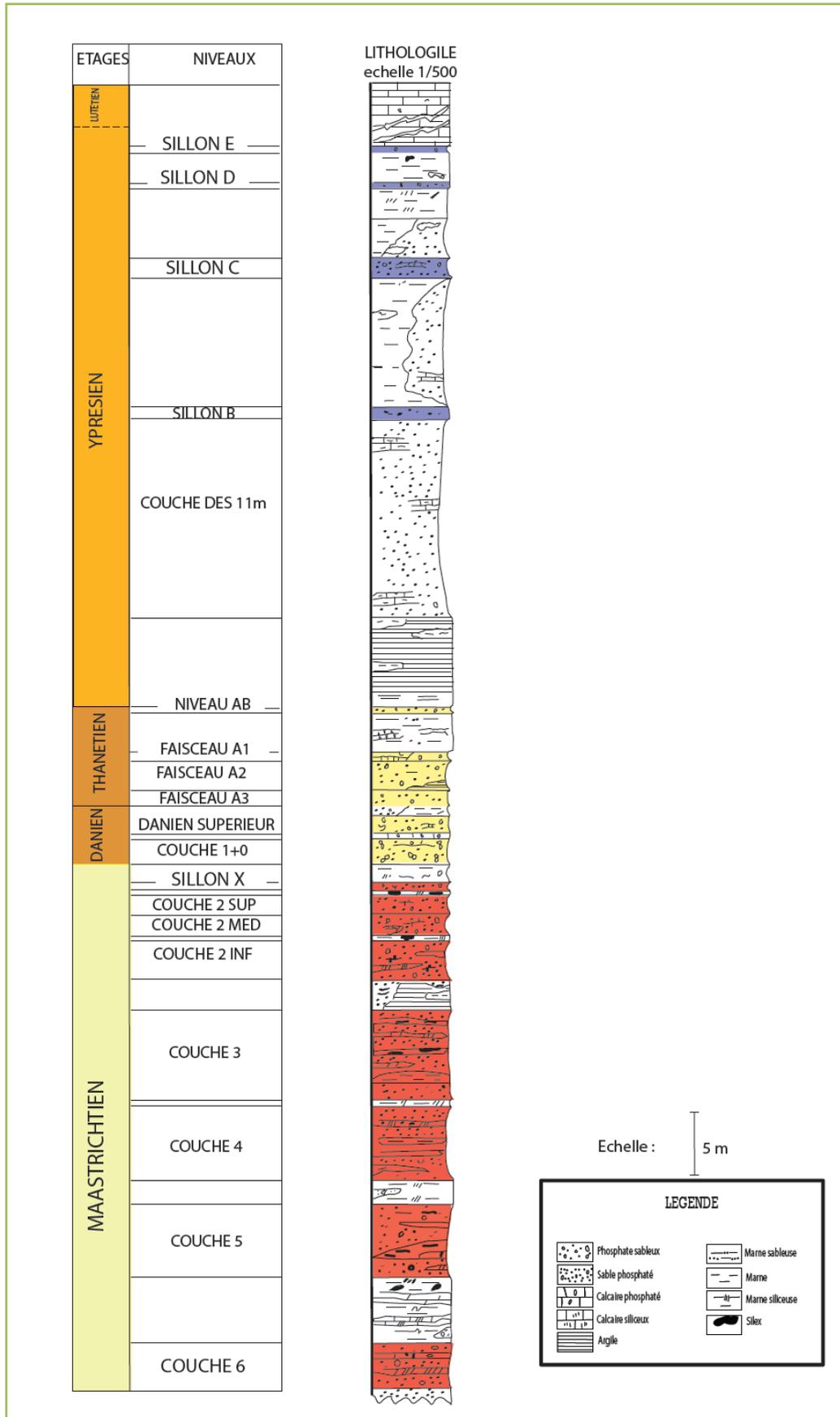


Figure 5: Log lithologique synthétique de bassin des Gantour occidental.

1.6. Cadre structural :

La série phosphatée présente des flexures, des failles et des diaclases qui l'empêchent d'avoir l'allure tabulaire de la surface.

Les flexures déterminent des anticlinaux et des synclinaux à grand rayon de courbe, elles s'accompagnent de nombreux accidents cassants à faible rayon de courbure s'accompagnant de nombreux accidents cassants.

1.7. Hydrogéologie :

Les eaux souterraines du bassin des Gantour se présentent dans des niveaux aquifères ordonnés comme suit :

- aquifère plioquaternaire
- aquifère éocène
- aquifère crétacé

Dans la zone de Youssoufia on note la présence d'un système multicouche comprenant trois nappes qui sont :

Une nappe captive inférieure : comprise entre les argiles Maastrichtiennes et les argiles Ypresiennes (entre la couche 1 et les argiles des murs de la couche 2).

Une nappe intermédiaire : encadrée par la couche 1 et les argiles Ypresiennes.

Une nappe supérieure : localisée dans la couche silteuse de dite couche des 11m, son substratum est constitué par les argiles Ypresiennes.

Les nappes intermédiaires et les nappes inférieures présentent des caractères hydrogéologiques comparables, leur niveau piézométrique est voisin, alors on peut dire qu'il s'agit d'une même nappe.

L'écoulement se fait du sud au nord de la ligne de partage des eaux et en sens inverse au Sud de cette ligne orientée sensiblement Est-Ouest.

1.8. Paléontologie :

Le bassin des Gantour est caractérisé par sa richesse et sa diversité en fossiles, qui peuvent aider à construire l'histoire géologique dans cette région.

La figure suivante montre des exemples des fossiles décrits par des études (exemple : Marie 1935, Boujo et Rhhali 1971) et lors des travaux de l'exploitation :

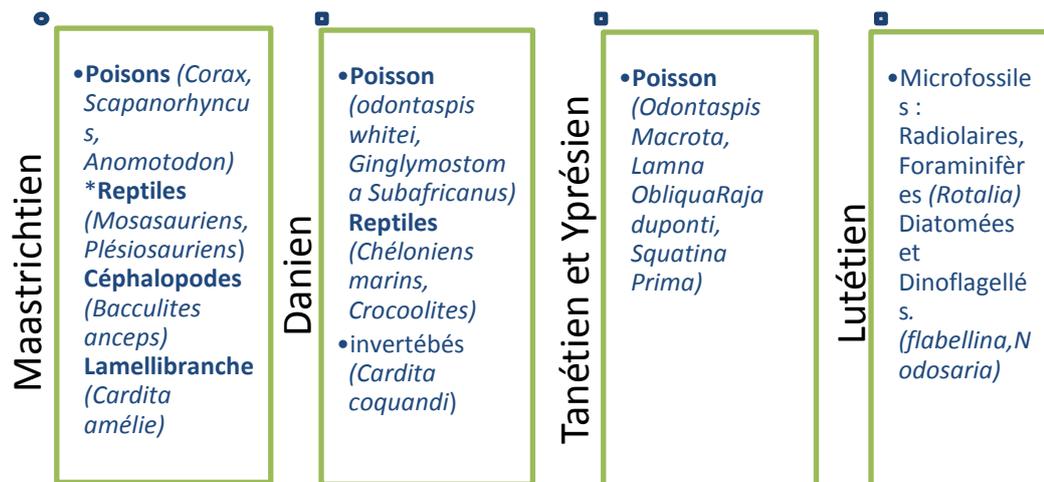


Figure 6: exemples du contenu paléontologique du bassin des Gantour (D'après Jourani 1994)

2. GEOLOGIE LOCALE DU SECTEUR D'ETUDE : RECETTE VI

2.1. Cadre géographique :

Le centre de la zone étudiée est situé à environ 26 km de la ville de Youssoufia. Elle est inscrite dans un rectangle de 14 km de longueur et 5 km de largeur. Elle est traversée par la Route principale N9 reliant Marrakech à El-Jadida.

La recette VI est limitée :

Au **Nord** par les affleurements de la base de la série phosphatée (la couche 6 inférieure du Maastrichtien).

Au **Sud** par la dernière ligne de prospection.

A l'**Ouest** par le méridien de coordonnées Lambert 225 000 qui constitue la limite avec la Recette 4 et le sud de la Recette 4.

A l'**Est** par le méridien de coordonnées Lambert 239 000 qui forme la limite avec la zone de Louta.

La route indiquée subdivise la zone en Recette 6 est et Recette 6 Ouest.

La zone Est, pour faciliter l'exploitation, est découpée en panneaux tandis que celle en Ouest est répartie selon des lots.

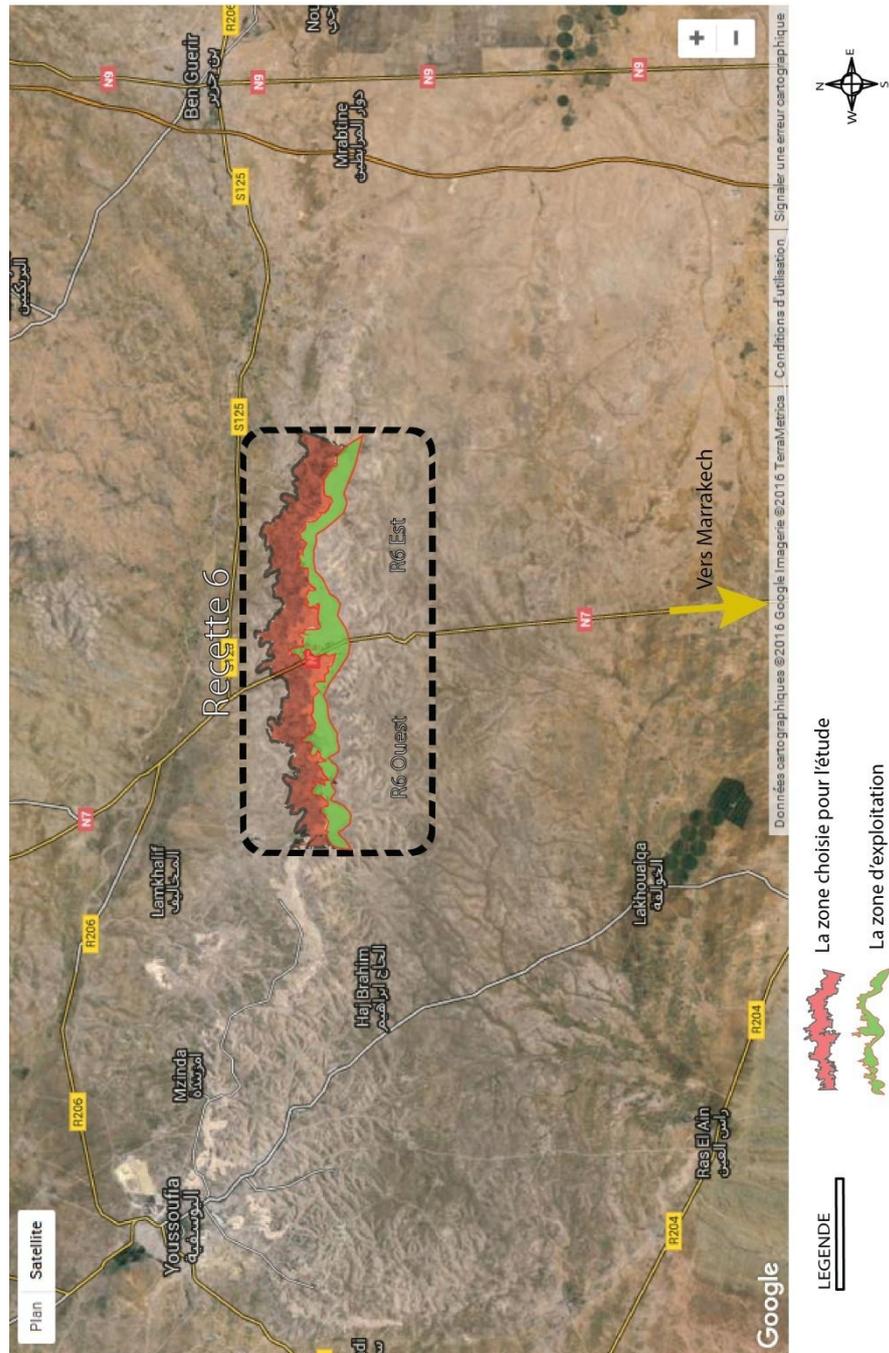


Figure 7: Situation géographique de la recette 6

2.2. Cadre géologique :

La série phosphatée de la zone de la recette 6 (zone d'étude) s'étale du Maastrichtien au Lutétien du nord au sud.

Les couches ne sont pas strictement horizontales, elles représentent une structure monoclinale avec un pendage de 3° à 4° vers le sud.

Carte Géologique de la Recette 6

Groupe OCP
Yousseoufia 2016

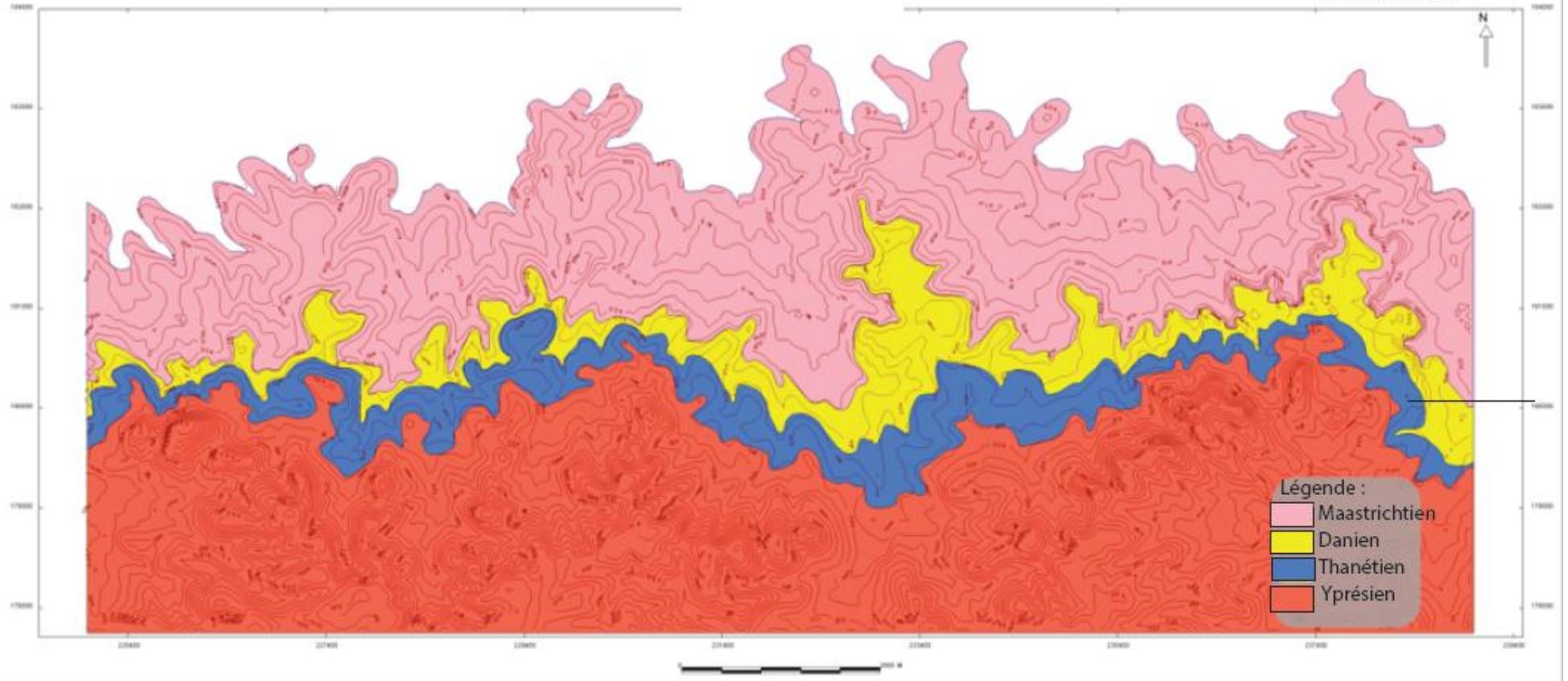


Figure 8: Carte géologique de la recette 6 (OCP Yousseoufia)

2.3. Historique de reconnaissance : (âge et localisation des puits)

La Recette 6 a fait l'objet de plusieurs études géologiques. Ces études ont été menées parallèlement aux travaux de reconnaissance qui ont démarré en 1961. A l'époque, la reconnaissance se fait par le creusement des puits et l'échantillonnage prospectif des différents niveaux.

Le gisement de la recette 6 est reconnu à l'aide d'ouvrages réalisés dans le cadre de 54 campagnes de reconnaissance et 16 études géologiques par :

- Les puits : Ces puits ont été réalisés en deux étapes, au cours de la première étape, la reconnaissance intéressait la zone située au Sud des affleurements de la couche 1 et au cours de la deuxième étape, la reconnaissance s'étalait également vers le Nord pour reconnaître les niveaux inférieurs.
- Les sondages : ils ont pour objectif, la reconnaissance de toute la série phosphatée dans la zone noyée. certains ont été implantés à proximité d'anciens puits pour compléter la reconnaissance jusqu'à la base de la série phosphatée.

- Reconnaissance par les puits :

En premier, l'implantation des puits était aléatoire avec la construction en 1961 de 38 ouvrages ajoutés au puits locaux construits par les particuliers pour l'alimentation en eau potable, mais à partir de 1970 les travaux d'implantations suivent une certaine maille.

Actuellement 839 ouvrages sont implantés dans la Recette 6, ils ont été établis jusqu'à 1990.

Sur l'ensemble de la zone étudiée, Les niveaux Maastrichtiens sont reconnus à la maille de 500 m. Au centre de la zone, les niveaux daniens, thanétiens et yprésiens sont reconnus à la maille de 250 m.

Les niveaux exploités dans cette zone sont : la couche 2 supérieur, le sillon X, la couche 1, la couche 0 et la couche 0' (Danien supérieur phosphaté I).

3. ECHANTILLONNAGE :

3.1. Notions :

Il est possible de diviser le déroulement d'une campagne d'échantillonnage en trois étapes principales, soit le pré-échantillonnage, l'échantillonnage et le post-échantillonnage.

Avant de procéder à l'échantillonnage il faut d'abord connaître les sites favorables, les méthodes et les techniques possibles, les problèmes prévus, le coût... etc.

L'échantillonnage est l'ensemble des pratiques qui permettent d'obtenir une quantité de masse réduite et ayant les mêmes propriétés physico-chimiques que la masse totale du lot.

Dés lors, le but d'avoir un échantillon qu'on appelle aussi échantillon brut, c'est de retrouver toute les particularités de l'ensemble du lot sans avoir inspecter sa totalité.

Echantillon : Portion de minéral, de roche, de fluide prélevé, pour être étudiée.

Echantillon représentatif : qui reflète les caractéristiques de l'ensemble, pour ceci, l'échantillon doit être aléatoire, homogène...

Minéralurgie : Ensemble des techniques permettant, à partir de substances minérales brutes, d'obtenir des produits utilisables industriellement. Adj. minéralurgique ; n. minéralurgiste. (Dictionnaire de géologie, Alain Foucault).

Puits (puits de prospection) : cavité cylindrique artificiel de diamètre d'environ 1,2 m qui d'avoir accès directement à la série phosphaté pour effectuer des coupes lithologiques et prélever des échantillons.



Figure 9: type de puits de prospection.

3.2. Les techniques d'échantillonnage dans les puits :

Echantillonnage de prospection :

Dans le cas des couches puissantes (puissance supérieure à 50 cm) on procède à un rainurage tout autour de la couche. Dans le second cas (puissance inférieure à 50 cm) on prélève un échantillon par un rainurage de toute de la couche de telle façon à assurer un échantillon représentatif. Le produit ainsi prélevé est réduit pour avoir un poids compris entre 1 et 3 kg par le quartage. (Daafi, 2009)

Technique de quartage :

C'est l'opération qui consiste à réduire l'échantillon global en un échantillon réduit.

La masse d'échantillon récupérée sur le terrain est souvent bien supérieure à ce dont le laboratoire a besoin pour réaliser les analyses. Il est alors nécessaire de sous échantillonner, selon la méthode du quartage : les prises élémentaires sont regroupées, mélangées puis divisées en 4 parties. Deux quarts opposés sont éliminés, les 2 quarts restant sont mélangés de nouveau. Ce processus est répété jusqu'à obtenir la quantité de matière appropriée.

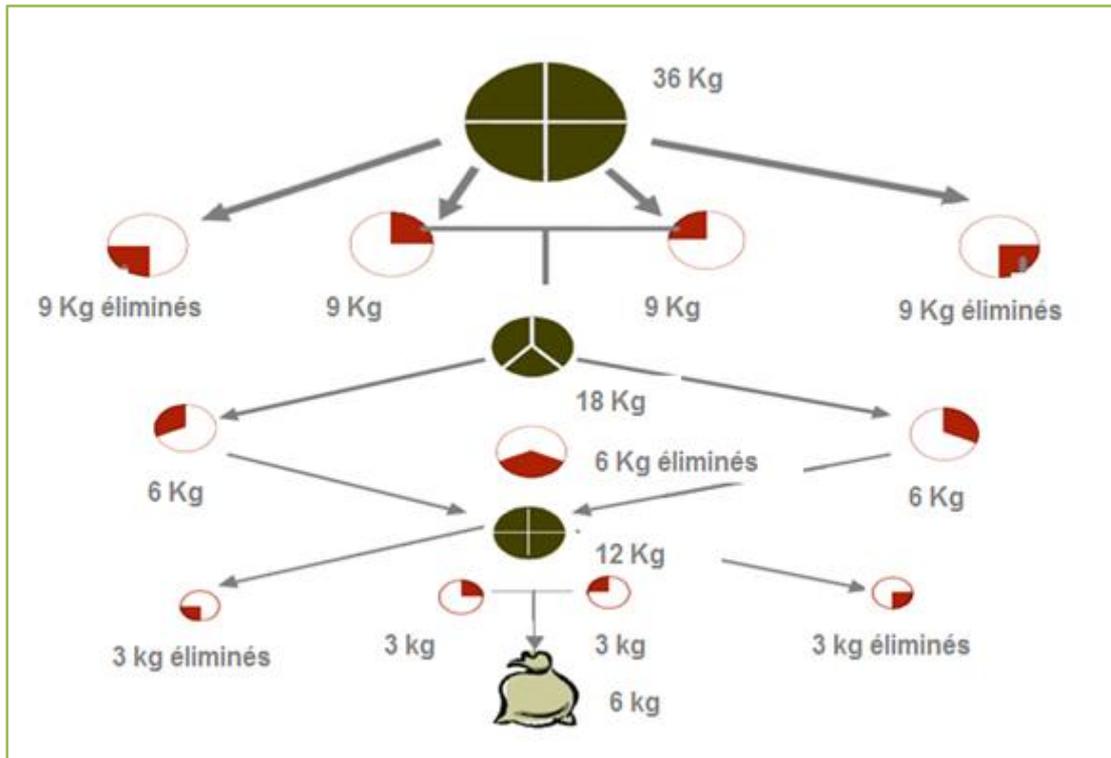


Figure 10: Technique du quartage (USGS.org)

Echantillonnage Minéralurgique :

Prélèvement d'un échantillon par un rainurage le long de toute la couche mais, dans ce cas le poids de l'échantillon doit être supérieur ou égale à 25 kg. Il sert à effectuer tous les analyses (granulométrique, granulochimique, etc.) visant à améliorer la qualité de la reconnaissance physique et chimique du minerai en plus de la réalisation des essais de traitement pour prévoir la qualité du minerai entrant dans les usines de traitement (enrichissement).

Il peut s'effectuer par deux méthodes :

Echantillonnage globale : Dans une carte d'isoteneurs représentant les différents teneurs en BPL d'un niveau dans une zone (dans notre cas : un panneau ou un lot) on retient un seul puits où la teneur du niveau correspond à la moyenne des teneurs de la zone.

Echantillonnage détaillé : sa méthodologie est analogue à celle de l'échantillonnage globale, sauf que dans ce cas, on essaie de prélever des échantillons dispersés et représentatifs des différentes tranchées de teneurs.

3.3. Contrôle qualité de l'échantillonnage :

L'opération de contrôle de qualité des analyses a une grandeur majeure sur la réussite d'un projet minier. Pour se prononcer correctement sur la faisabilité d'un projet minier, elle concerne le contrôle de la teneur d'un gisement minier qui se reflète positivement ou négativement sur le tonnage du minerai de ce gisement.

L'objectif de l'échantillonnage est de prélever une partie représentative d'un ensemble ou d'un lot de minerai pour déterminer avec la plus grande précision possible la teneur moyenne en divers éléments de cet ensemble.

Tout échantillonnage, même le plus simple est sujet à plusieurs causes d'erreur reliées à la structure, la texture, la distribution du minerai; à la technique d'échantillonnage, à la façon d'appliquer cette technique particulière, ou à l'instrument d'échantillonnage utilisé.

Le contrôle de qualité permet de mettre l'accent sur les erreurs et de mettre en relief les biais (anomalie) d'erreurs afin de les soustraire et les éliminer pour garantir un échantillon représentatif pour une telle minéralisation, on pratique :

- Sur le terrain :

- On nettoie bien le niveau phosphaté pour éviter toute sorte de contamination.
- On prélève l'échantillon en faisant un creux vertical de telle sorte de traverser toutes les parties de la couche du mur vers le toit, ceci a pour but de bien homogénéiser le niveau phosphaté.
- On le récupère dans un sac en plastique propre, puis on met une étiquette qui porte toutes les informations sur cet échantillon avant de le fermer, l'étiquette doit comprendre [la qualité et la référence, la date et l'heure de prélèvement, le lieu de prélèvement avec ces coordonnées (X, Y, Z).]
- Il faut veiller à ce que les étiquettes ne soient pas mélangées.
- Il est recommandé de stocker les échantillons en absence des intempéries pour garantir un échantillon non contaminé.

- Au niveau du laboratoire, on vérifie:

- La qualité de l'échantillon primaire.
- La qualité du quartage, broyage et du traitement
- La façon et la qualité de l'analyse.
- L'efficacité des méthodes du traitement
- Le bon fonctionnement des machines de broyage et concassage et les appareils des analyses.

Plusieurs contrôles permettent de vérifier la qualité de l'analyse effectuée sur les échantillons et mesurer l'importance de la contamination dans les outils et les équipements.

- *Le contrôle autre laboratoire:* envoie le même échantillon à plusieurs laboratoires pour comparer les résultats d'analyses.

- *Le contrôle par des duplicatas:* on envoie un même échantillon au même laboratoire avec deux noms différents.

- *Le contrôle à blanc:* on envoie une partie stérile du sol au labo pour mesurer les teneurs en minerai, cela doit donner une faible teneur (voisinage de 0), si c'est différent, il y a des erreurs d'analyses.

- *Le contrôle standard:* consiste à utiliser un échantillon connu mondialement avec des caractéristiques physico-chimiques bien précises que l'on achète pour tester la fiabilité des machines et les analyses.

CHAPITRE 3 :

Travaux Réalisés

Le schéma suivant montre l'organisation des travaux réalisés au bureau et sur le terrain :

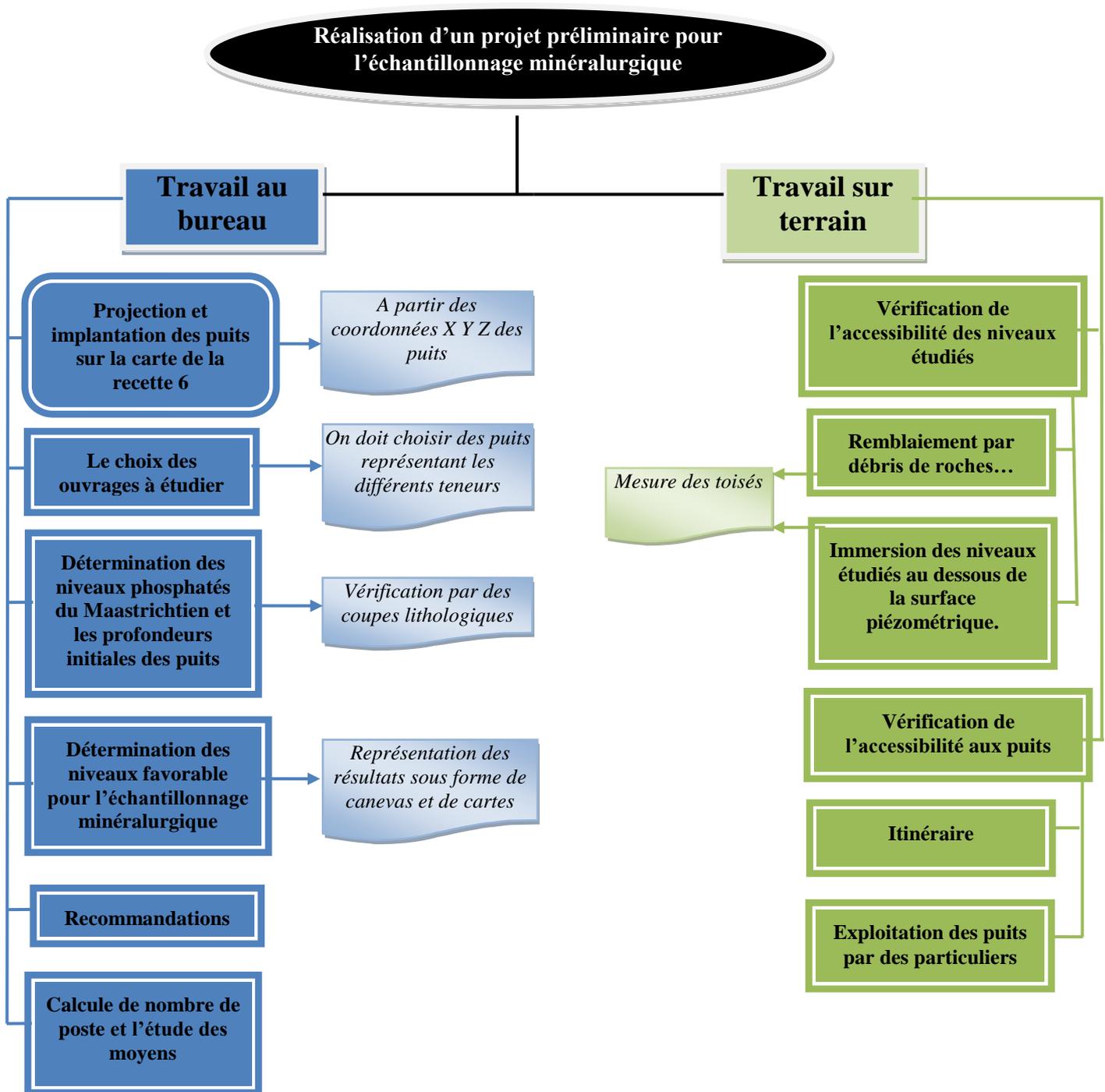


Figure 11 : Schéma de la méthode adoptée pour le traitement du sujet

Le schéma ci-dessous montre le processus du choix des ouvrages à étudier ainsi que le déroulement du projet.

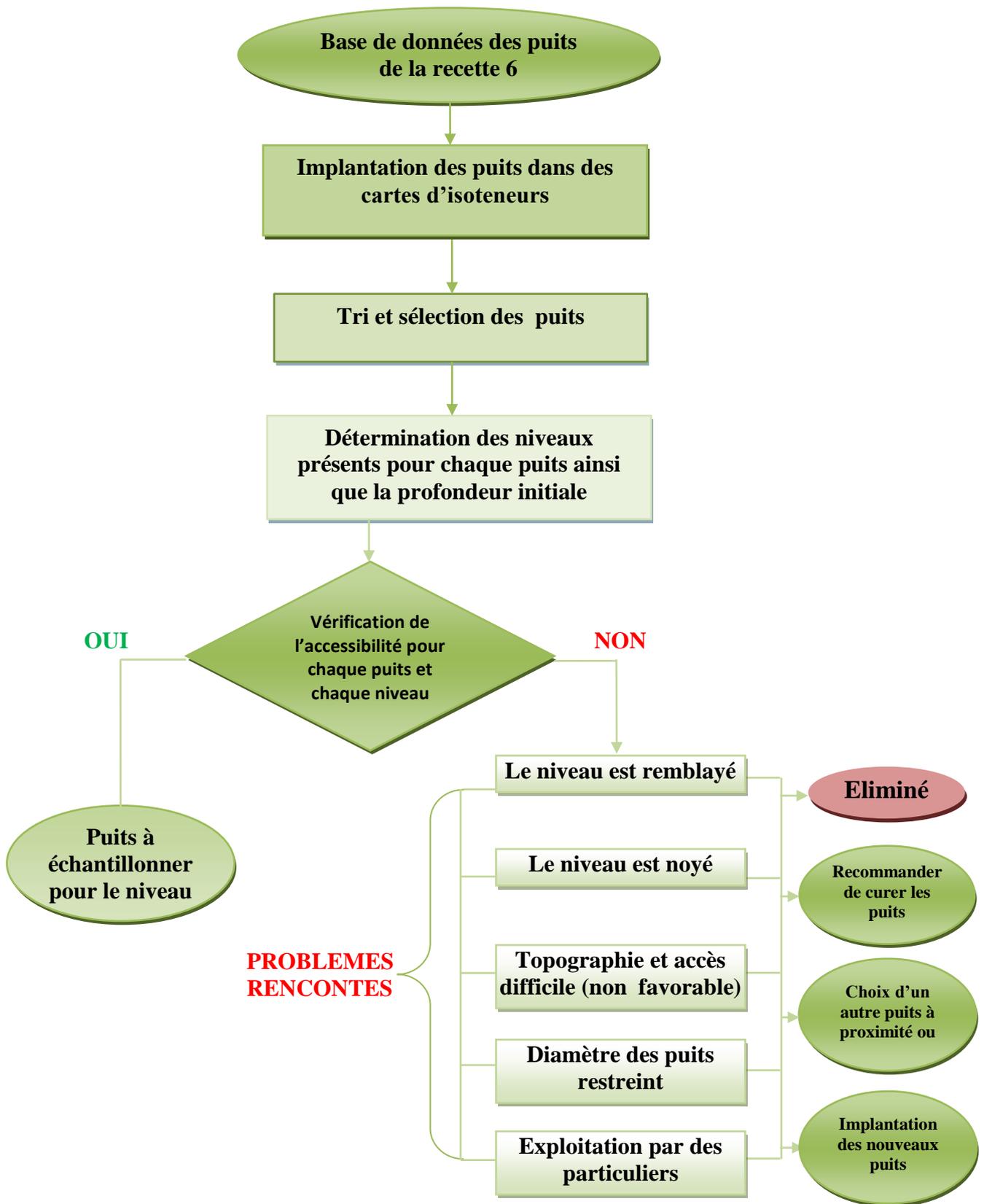


Figure 12 : Schéma des différentes étapes du traitement des données.

1. TRAVAIL AU BUREAU :

1.1. Préparation de la base de données :

- *Projection des puits sur la carte de la Recette 6 (voir carte : Situation des puits pour l'étude, page 38) :*

Tout au long de notre travail, nous nous sommes servis du logiciel de dessin AutoCAD-Covadis pour préparer les cartes de situation, avant de projeter les puits par leurs coordonnées sur les cartes, il a fallu correspondre les coordonnées des puits avec ceux de la carte, cette étape est connue sous le nom de géoréférencement.

Si on connaît précisément les coordonnées de quelques points sur l'image, grâce à un carroyage avec des amorces de coordonnées, on va pouvoir se servir de ces coordonnées pour géoréférencer l'image.

Le géoréférencement d'une image fait correspondre à chaque pixel de cette dernière un couple de coordonnées géographiques (en degrés, en mètres...). Ce processus permet d'afficher l'image dans un contexte spatial (portailsig.org ; 2016).

- *Choix des puits à étudier :*

Le choix des puits peut se faire selon deux méthodes :

- Choix à partir d'une maille fixée au départ (par exemple on choisie un puits sur trois, voir figure 13).
- Choix basé sur les teneurs en BPL et la puissance des couches phosphatées.

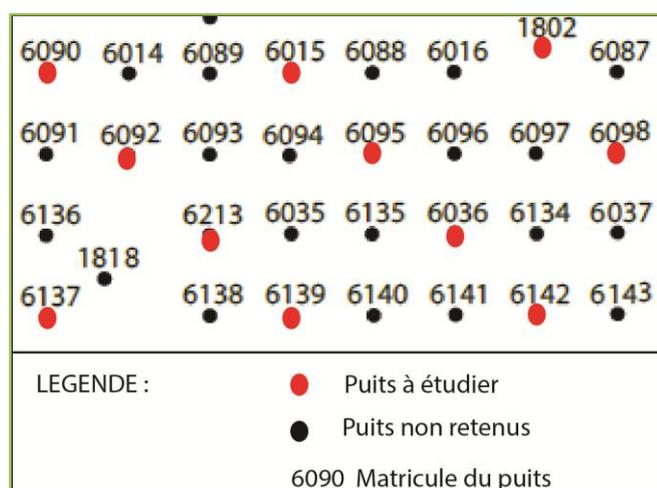


Figure 13 : Exemple de choix des puits selon une maille (un puits sur trois).

Outils, Méthodologie :

Durant cette étude, nous nous sommes basés sur la deuxième méthode et la méthodologie du choix s'effectue comme suit :

Après avoir établi les cartes d'isoteneurs en BPL et les cartes d'isopuissances des différents niveaux (Pour des raisons de confidentialité des données, on nous a pas permis d'exporter ces cartes hors de la direction de la géologie) , on superpose ces cartes pour chaque niveau puis on projette les puits sur ces cartes, ensuite on procède au choix selon la répartition spatiale des teneurs en BPL et respectant les conditions ciblées par la société en terme de seuils minimum des teneurs et des puissances pour l'identification d'un niveau phosphaté (puissance supérieure à 0,3 m).

- *Les niveaux phosphatés :*

Définition, But :

Les zones qui constituent la série phosphatée s'étalent du Maastrichtien au Lutétien. Notre étude a ciblé les niveaux d'âge Maastrichtien qui constituent la future zone de l'exploitation. Ces niveaux sont nommés des plus récents aux plus anciens :

- Sillon X
- La Couche 2 Supérieure : C2 Sup
- La Couche 2 Médiane : C2 Med
- La Couche 2 Inferieure : C2 Inf
- La Couche 3 Supérieure : C3 Sup
- La Couche 3 Inferieure : C3 Inf
- La Couche 4 Supérieure : C4 Sup
- La Couche 4 Inferieure : C4 Inf
- La Couche 5 Supérieure : C5 Sup
- La Couche 5 Inferieure : C5 Inf
- La Couche 6 Supérieure : C6 Sup
- La Couche 6 Médiane : C6 Med
- La Couche 6 Inferieure : C6 Inf

La couche 2 supérieure et le sillon X appartiennent à la zone d'exploitation et par suite ils ne sont pas traités lors de cette étude.

L'identification et le repérage de ces niveaux dans les puits est une étape nécessaire pour le choix des ouvrages (puits) à retenir pour l'échantillonnage minéralurgique.

Outils, Méthodologie :

La première étape est de cibler la zone où il y a l'affleurement du Maastrichtien à partir de la carte géologique de la recette 6. En fait, la zone d'étude est déjà exploitée à partir de la couche 2 (C2 Sup) et on prépare l'exploitation du maastrichtien à partir de la couche 6 (C6).

Après on sélectionne tous les puits de cette zone et on les représente sur une carte (figure 14), chaque puits est caractérisé par une identité (ID) et ses coordonnées (X, Y, Z), on les a mis sous forme d'un classeur Excel.

Le tableau suivant donne les informations des six premiers puits retenus.

Ouvrage	X	Y	Z
P6806	225001,89	181748,36	409,13
P6446	225251,07	180752,46	427,72
P6800	225733,02	181421,5	421,94
P6342	226178,37	180653,89	429,3
P6810	226499,92	181750,77	419,57
P6345	227004,71	181221,49	427,85

Tableau 3 : Les coordonnées et les matricule des puits.

L'annexe A donne la suite de la base de données des puits sélectionnés lors de cette étape.

La carte suivante représente la position des puits de la Recette 6, les puits ciblés pour l'étude ainsi de la délimitation de la zone choisi pour l'étude (l'affleurement du Maastrichtien

SITUATION DES PUISIS SELECTIONNES POUR L'ETUDE

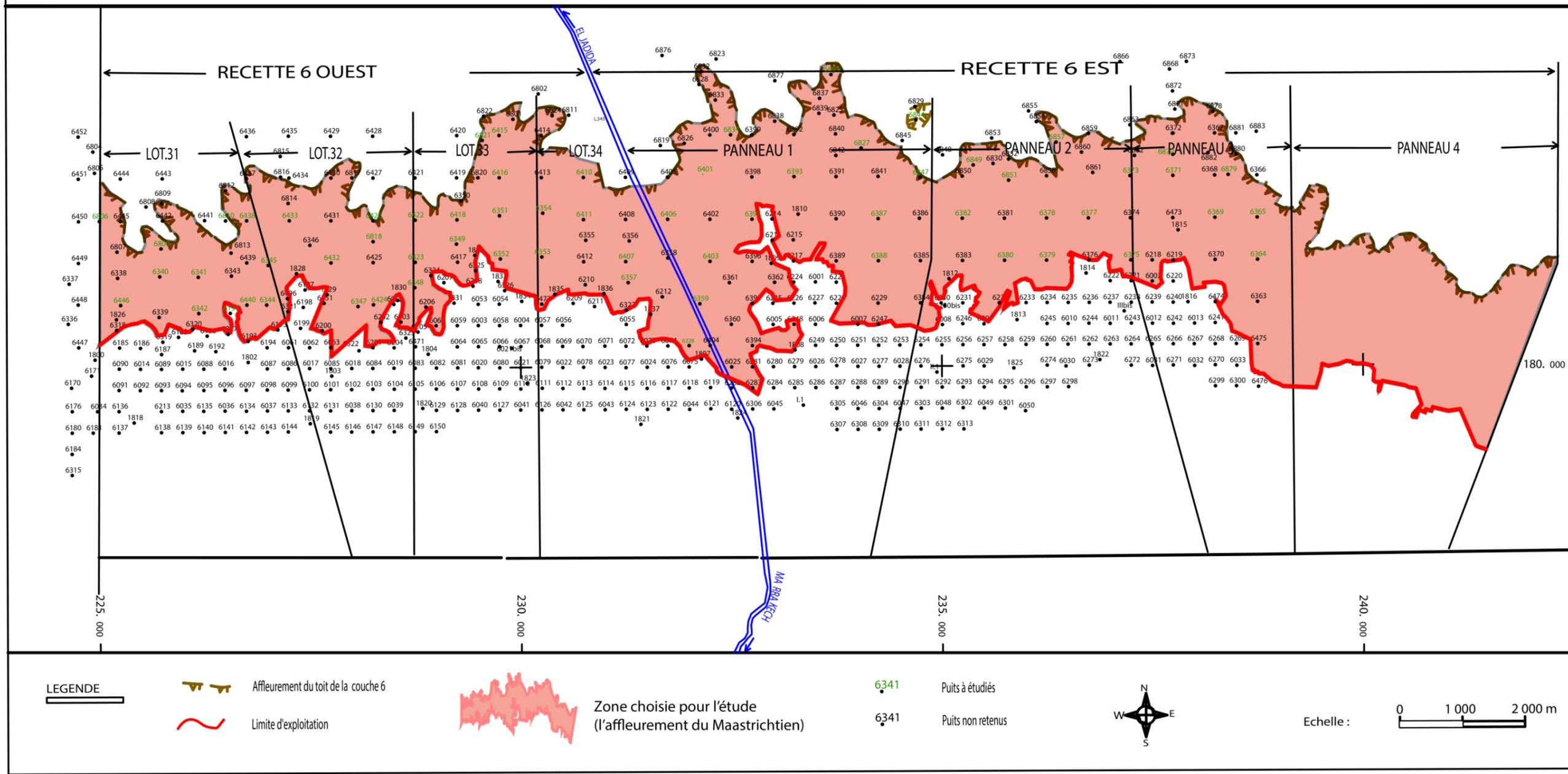


Figure 14 : Carte de situation des puits de la zone d'étude

- *Extraction des informations à partir des coupes lithologiques:*

Pour chaque puits on procède à la consultation sur papier (calque) des coupes déjà réalisées dans la zone d'étude, ces coupes existent aussi sous forme de documents scannés et accessibles numériquement, chaque coupe donne les informations suivantes:

- Matricule de l'ouvrage
- Profondeur du puits
- Log lithologique identifié dans le puits avec les différents niveaux phosphatés et les côtes qui sont les profondeurs des toits et des murs de chaque niveau et les teneurs (BPL/brut, BPL/lavé, MgO, CO₂).

2. TRAITEMENT DES DONNEES :

2.1. Vérification de l'accessibilité des niveaux phosphatés

Définition et but :

L'accessibilité est la possibilité d'atteindre facilement un puits et un niveau phosphaté dans un puits.

On peut trouver des puits qui contiennent les niveaux ciblés, mais ils ne sont plus accessibles, en raison de :

- Le remblaiement : causé par le comblement par des objets divers, des rochers.
- Le niveau piézométrique atteint : le niveau de la nappe phréatique peut monter et rendre inaccessibles certaines couches dans le puits.
- Exploitation des puits par des particuliers : pour l'alimentation en eau potable.
- La topographie et l'accès difficiles : cela peut rendre difficile l'accès du treuil d'échantillonnage (Voir figure 13).

Cette étape consiste à vérifier la possibilité d'atteindre le niveau en comparant le niveau actuel des puits avec les profondeurs décrites par les coupes lors de la deuxième étape. Ceci nous permet de déterminer les puits remblayés et les puits favorables en première phase d'étude. Puis on procède à réaliser des cartes de répartition spatiale pour situer les différents puits vérifiés, on réitère cette étape pour chaque niveau phosphaté ciblé.



Figure 15: Treuil d'échantillonnage (OCP Youssoufia)

Outils, Méthodologie :

En se basant sur les données des coupes lithologiques et des toisés (*voir travail sur terrain, mesure des toisés : page 39*), on détermine les niveaux présents dans chaque puits, le nombre des niveaux inaccessibles et les niveaux à échantillonner.

Pour qu'un niveau soit accessible il faut qu'il vérifie la condition suivante :
La profondeur actuelle du puits (la toisée) est supérieur à celle du mur du niveau, sinon le niveau est remblayé.

PROF (base) Puits > PROF Niveau

Dans le tableau on indique par :

- Un niveau noyé : un niveau qui se trouve sous la nappe phréatique.
Et on note par :

Noyé 22,45

- Un niveau remblayé : un niveau comblée et couvert par des objets, et on note par :

Sec à 01,40

Le tableau suivant montre les résultats de la lecture des coupes lithologiques (les niveaux phosphatés constituants et leurs profondeurs). En comparant les profondeurs des niveaux avec les toisés on déduit le nombre des niveaux remblayés et de ceux qui sont prêts à échantillonner.

Ouvrage	Profondeur du Coupe	Niveaux	Nombre de niveaux	Les toisés	Nombre de niveaux remblayés	Nombre de niveaux à échantillonner
P6806	10,5	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 07,80	2	1
P6446	36	C6 inf - C3 sup	9	Sec à 24,40	4	5
P6800	10	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 02,80	3	0
P6342	27,7	C6 inf - C3 sup	8	Sec à 20,30	3	5
P6810	6,8	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 01,40	3	0
P6345	24,2	C6 inf - C4 sup	7	Sec à 15,00	3	4
P6433	24	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 12,90	3	2
P6432	29,65	C6 inf - C3 sup	9	Sec à 18,30	4	5
P6424	33,3	C6 inf - C3 sup	9	Noyé 22,80	3	6
P6348	30,7	C6 inf - C3 sup	9	Noyé 13,60	5	4
P6422	17,3	C6 inf - C5 inf	4	Sec à 10,20	3	1
P6821	11	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 06,40	3	0
P6416	27,4	C6 inf - C4 sup	7	Sec à 19,60	3	4
P6351	28,9	C6 inf - C4 inf	6	Noyé 22,45	0	6

Ouvrage	Profondeur du Coupe	Niveaux	Nombre de niveaux	Les toisés	Nombre de niveaux remblayés	Nombre de niveaux à échantillonner
P6349	27,9	C6 inf - C3 sup	8	Noyé 13,15 Equipé	3	5
P6352	34,7	C6 inf - C3 sup	9	Noyé 18,60	4	5
P6411	21,6	C6 inf - C4 sup	7	Noyé 14,80	3	4
P6407	25,45	C6 inf - C4 sup	7	Noyé 17,20	3	4
P6406	12,3	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 05,30	3	0
P6403	28,6	C6 inf - C4 sup	7	Noyé 11,20	5	2
P6401	22,1	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 12,80	3	2
P6834	11,4	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 07,25	2	1
P6397	38,3	C6 inf - C3 sup	9	Sec à 28,60	3	6
P6393	27,4	C6 inf - C4 sup	7	Sec à 21,60	3	4
P6884	8	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 04,75	3	0
P6827	19	C6 inf - C5 sup	5	Noyé 16,30	2	3
P6387	21,1	C6 inf - C5 sup	5	Noyé 12,50	3	2
P6844	10,8	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 06,10	3	0
P6847	6,7	C6 inf - C6 m	2	Remblayé	2	0
P6382	18,6	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 12,20	3	2
P6851	10,3	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 07,30	2	1
P6380	33,4	C6 inf - C3 sup	9	Sec à 25,40	4	5
P6857	12,4	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 06,80	2	1
P6377	23	C6 inf - C4 sup	6	Sec à 14,05	2	4
P6373	19,3	C6 inf - C5 inf	4	Sec à 12,60	1	3
P6375	42,3	C6 inf - C2 m	10	Noyé 29,70	3	7
P6870	19,8	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 14,30	3	2
P6879	8,9	C6 inf - C6 sup	3	Sec à 04,30	3	0
P6369	28,6	C6 inf - C3	8	Sec à 20,60	3	5
P6818	15,8	C6 inf - C5 inf	4	Sec à 13,40	2	2
P6353	29,5	C6 inf - C3 sup	9	Noyé 16,70	4	5
P6410	12	C6 inf - C5 inf	4	Sec à 06,40	3	1
P6388	27,75	C6 inf - C4 sup	7	Noyé 17,60	4	3
P6378	24,5	C6 inf - C4 sup	7	Sec à 13,80	4	3
P6359	28,2	C6 inf - C4 sup	7	Noyé 12,70	4	3
P6340	15,8	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 10,55	3	2
P6438	17,9	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 10,35	3	2
P6418	21,3	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 08,70	4	1
P6354	27,3	C6 inf - C3 sup	9	Sec à 19,80	3	6
P6328	7,4	C2 m	1	Remblayé	1	0
P6365	13,9	C5 sup - C4 sup	3	Noyé 18,00 Equipé	0	3
P6341	24,1	C6 inf - C4 sup	7	Sec à 14,35	3	4
P6440	31,3	C6 inf - C3 sup	8	Sec à 21,85	3	5

Ouvrage	Profondeur du Coupe	Niveaux	Nombre de niveaux	Les toisés	Nombre de niveaux remblayés	Nombre de niveaux à échantillonner
P6347	20,55	C5 inf - C4 sup	4	Sec à 15,60	0	4
P6423	20,2	C5 inf - C3	5	Sec à 09,30	3	2
P6415	21,6	C6 inf - C5 sup	5	Sec à 15,40	3	2
P6357	32,2	C6 sup - C3 sup	6	Sec à 16,90	3	3
P6849	16,1	C6 inf - C5 inf	4	Sec à 12,20	2	2
P6379	37,3	C6 inf - C3 sup	9	Sec à 24,00	4	5
P6371	23	C6 inf - C5 Sup	5	Sec à 17,90	0	5

Tableau 4: Les résultats de l'étude de l'accessibilité des puits.

Pour faciliter la lecture et l'étude des résultats nous les avons représentés sous forme de canevas, (Voir l'annexe B). Pour chaque puits on note les niveaux phosphatés présents (les accessibles et les inaccessibles), le nombre d'échantillons par puits et par niveau.

Après la représentation des résultats, on trouve parfois des lacunes de niveau dues essentiellement à deux raisons :

- Le niveau est non identifié par le géologue, généralement un niveau est reconnu soit par sa lithologie (phosphates sableux, calcaires phosphatés, sables phosphatés...) soit par sa teneur en BPL.
- L'absence du niveau due au biseautage (l'aspect lenticulaire).

N.B :

- Pendant l'analyse, on a rencontré un cas particulier de deux puits (P6349 et P6365) qui sont utilisés par des particuliers (équipés), mais ceux-ci ne présentent aucun problème pour l'étude.

Remarque : la figure suivante donne la notation de la lecture du canevas.

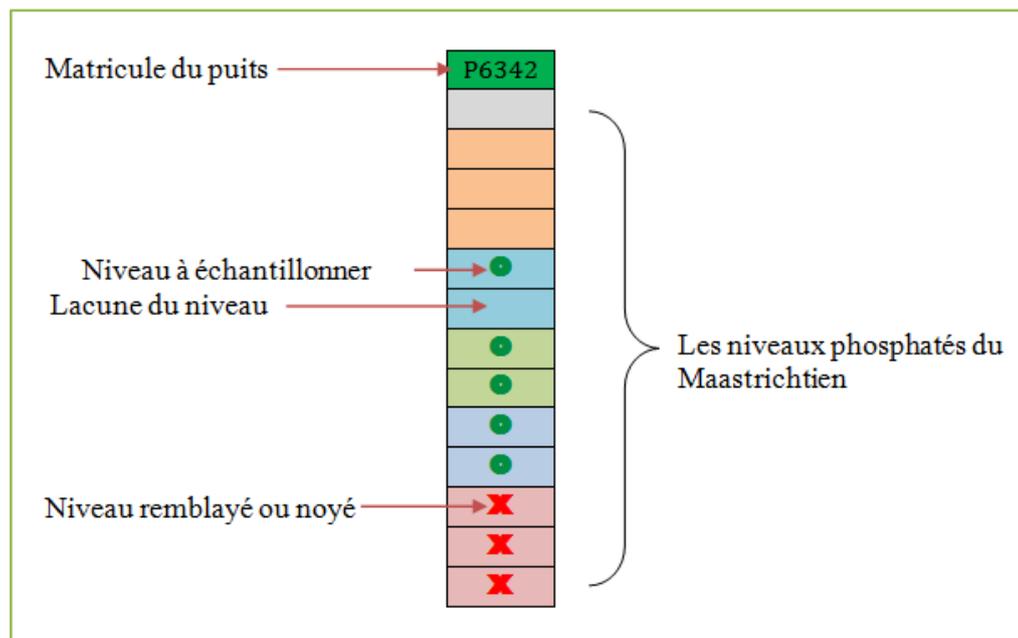


Figure16 : Lecture des résultats du canevas.

3. SUR LE TERRAIN

3.1. Les mesures des toisés :

Définition, But:

Ce sont les mesures des profondeurs actuelles des puits, ces mesures ne sont toujours pas constantes, avec le temps, certains puits peuvent être remblayés (comblés par les roches...) ou noyés par la nappe phréatique.

Outils, méthodologie :

On mesure la profondeur des puits par des sondes, elles sont de deux types :

- **Les sondes piézométriques** : elles déterminent le niveau piézométrique qui correspond à la limite supérieure de la nappe phréatique, elles sont constituées d'une bobine rubanée graduée avec au bout une sonde liée à un circuit ouvert de piles, on jette la sonde dans le puits et au contact de l'eau le circuit se ferme et une lampe s'allume, on peut donc noter la profondeur du niveau piézométrique.
- **Les sondes de remblaiement** : elles déterminent le niveau du remblaiement par les objets, elles sont constituées par une bobine rubanée avec au bout un poids, quand la sonde touche la base du puits, on ressent le poids et on note la profondeur.



Figure 17: Les sondes des toisées, à droite une sonde qui détecte le niveau piézométrique, à gauche une qui détermine la profondeur du remblaiement.

3.2. Topographie et itinéraire:

Lors de la mission de toisée, on indique si les puits sont accessibles par le treuil de l'échantillonnage ou non ainsi le diamètre des puits (voir figure 13).

4. ANALYSE DES RESULTATS ET RECOMMANDATION :

Au terme de cette étude, nous sommes arrivés à déterminer les puits favorables pour faire l'échantillonnage de chaque niveau phosphaté maastrichtien sur lesquels on travaillé, les cartes établies (Voir [Annexe C](#)) donnent la répartition des ouvrages pour chaque niveau.

On remarque que les niveaux constituant les couches 4 et 5 donnent des résultats très fiables, pourtant, pour la couche 6 on trouve que la plupart des niveaux ne sont pas accessibles à cause du remblaiement, ce qui pose des problèmes pour l'échantillonnage.

Pour y remédier, nous recommandons de :

1. Effectuer l'échantillonnage dans d'autres puits à proximité des puits non échantillonnés (colorés en rouge dans les cartes) représentant les mêmes teneurs. En se basant sur les cartes de répartition des isoteneurs, nous avons pu proposer des puits à échantillonner, le tableau suivant donne ces ouvrages :

niveau	lot 31	lot 32	lot 33	Lot 34	panneau 1	panneau 2	panneau 3
C6 inférieure	P6813 P6343 P6439	P6431 P1825 P6425	P1832	P6413 P6408 P6355	P6841 P1810	P6830 P6381	P6368 P6473
C6 médiane	P6343	P1828 P6431	P6350	P6408 P6355	P6841 P1810	P6850 P6861	P6473 P6862
C6 supérieure	P6439 P6343	P1832 P6814	P6417	P6413	P6398 P6386	P6381	P6368
C5 inférieure	P1826	-	-	-	P6361	P6381	P6368
C5 supérieure	P1826	P6425	P6324	P1836	P6441 P6400	P6830	P6368
C4 inférieure	P6445	P6344	P6350	P6404	P6400	P6830	P6368
C4 supérieure	P6445	P1826	P6814	-	P6837 P6400	P6830	P6368
C3 inférieure	-	P1830 P6814	P6801 P6324	P6355	P6400 P6842	P6830	P6368
C3 supérieure	-	P6814	P6350	P1836 P6355	P1836 P6400	P6830	P6368
C2 inférieure	P6320 P6318	P1828 P1830	P1832	P1836	P6360	P6830	P6368
C2 médiane	P6439 6318	-	-	-	-	-	-

Tableau 5 : Puits à proximité suggérés pour l'échantillonnage

2. Curer les puits remblayés à sec.

Le **curage** est l'opération consistant à extraire les objets (débris de roches) qui remblaient les puits afin de les nettoyer. Il y a des niveaux qui sont remblayés (généralement la couche 6 et parfois la couche 5) dont on a besoin de curer pour accéder aux niveaux phosphatés.

La profondeur du curage est déterminée par la relation suivante :

$$\text{Prof} = \text{Profondeur mur du niveau} - \text{Toisée} + 1 \text{ mètre}$$

On ajoute un mètre de profondeur pour le confort du manipulateur du treuil.

Le tableau suivant donne les différents puits à curer ainsi que la profondeur du curage :

Ouvrage	Profondeur de la coupe	Niveau à atteindre	Profondeur du niveau	Profondeur actuelle	Profondeur à curer
P6373	19,3	C6 inf	12,9	12,6	1,3
P6818	15,8	C6 inf	14,5	13,4	2,1
P6806	10,5	C6 inf	9	7,8	2,2
P6884	8	C6 inf	6,4	4,75	2,65
P6851	10,3	C6 inf	9	7,3	2,7
P6834	11,4	C6 inf	9,1	7,25	2,85
P6857	12,4	C6 inf	8,7	6,8	2,9
P6426	5,7	C6 inf	4,8	2,5	3,3
P6844	10,8	C6 inf	8,5	6,1	3,4
P6849	16,1	C6 inf	14,6	12,2	3,4
P6342	27,7	C6 inf	23,2	20,3	3,9
P6340	15,8	C6 inf	13,5	10,55	3,95
P6821	11	C6 inf	9,6	6,4	4,2
P6879	8,9	C6 inf	7,5	4,3	4,2
P6870	19,8	C6 inf	17,7	14,3	4,4
P6810	6,8	C6 inf	4,9	1,4	4,5
P6415	21,6	C6 inf	18,95	15,4	4,55
P6393	27,4	C6 inf	25,5	21,6	4,9
P6345	24,2	C6 inf	19,7	15	5,7
P6422	17,3	C6 inf	15,1	10,2	5,9
P6416	27,4	C6 inf	24,7	19,6	6,1
P6369	28,6	C6 inf	25,8	20,6	6,2
P6410	12	C6 inf	11,6	6,04	6,56
P6401	22,1	C6 inf	18,45	12,8	6,65
P6440	31,3	C6 inf	27,5	21,85	6,65
P6341	24,1	C6 inf	20,1	14,35	6,75
P6438	17,9	C6 inf	16,3	10,35	6,95
P6800	10	C6 inf	9	2,8	7,2
P6382	18,6	C6 inf	18,6	12,2	7,4
P6406	12,3	C6 inf	11,8	5,3	7,5

Ouvrage	Profondeur de la coupe	Niveau à atteindre	Profondeur du niveau	Profondeur actuelle	Profondeur à curer
P6364	23,5	C6 inf	21,9	15,2	7,7
P6377	23	C6 inf	20,8	14,05	7,75
P6380	33,4	C6 inf	32,2	25,4	7,8
P6354	27,3	C6 inf	26,75	19,8	7,95
P6433	24	C6 inf	21,5	12,9	9,6
P6397	38,3	C6 inf	37,75	28,6	10,15
P6378	24,5	C6 inf	23,3	13,8	10,5
P6423	20,2	C5 inf	19,3	9,3	11
P6432	29,65	C6 inf	28,45	18,3	11,15
P6379	37,3	C6 inf	34,95	24	11,95
P6446	36	C6 inf	35,5	24,4	12,1
P6418	21,3	C6 inf	20	8,7	12,3
P6357	32,2	C6 sup	31,7	16,9	15,8

Tableau 6 : Profondeur de curage pour chaque puits remblayé.

3. Implanter, si le curage s'avère économiquement coûteux (par exemple, quand la profondeur du curage est supérieure à 10 m), d'autres puits soit à proximité des puits non représentatifs, soit d'autres sur les mêmes tranches de teneurs en se basant sur les cartes résultantes de la superposition des isoteneurs et les isopuissances.

La carte suivante montre les sites proposés pour l'implantation des nouveaux puits pour remplacer les puits qui requièrent 10 mètres ou plus de curage.

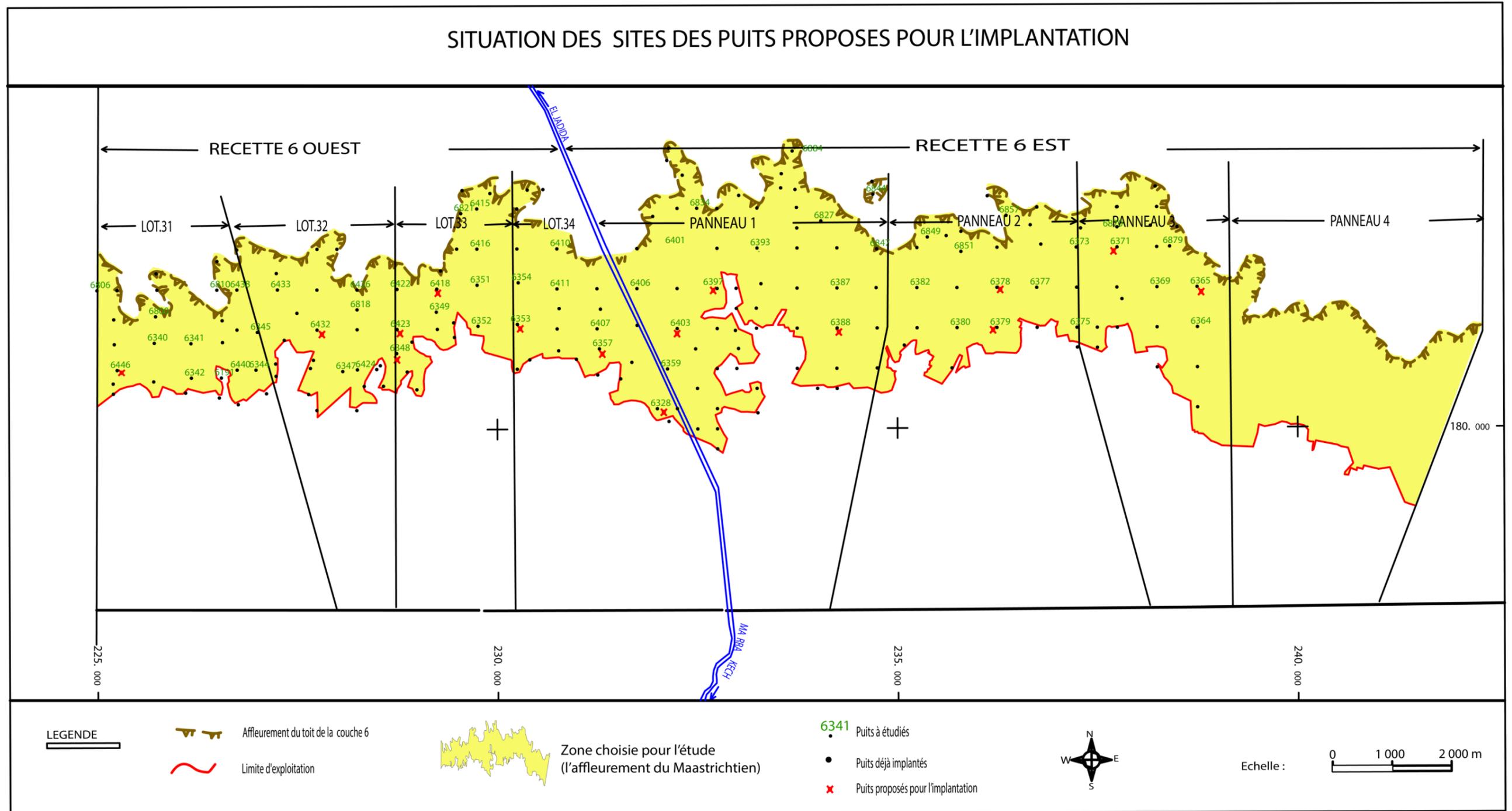


Figure 18 : Carte représentant les sites proposés pour l'implantation des nouveaux puits.

Avant de procéder à l'échantillonnage, on présente dans le tableau suivant (tableau 4) le nombre de postes nécessaires pour tout échantillonner, étant donné qu'on effectue deux échantillonnages par poste et qu'un poste correspond à une journée (8h) d'activité.

Pour réaliser la mission d'échantillonnage pour chaque poste, il faut des moyens :

- Humains : 2 ouvriers + 2 techniciens
- Matériels : 1 treuil + 2 voitures

Ouvrage	Nombre d'échantillons	Nombre de poste	Ouvrage	Nombre d'échantillons	Nombre de poste
P6806	1	0,5	P6377	4	2
P6446	5	2,5	P6373	3	1,5
P6342	5	2,5	P6375	7	3,5
P6345	4	2	P6870	2	1
P6433	2	1	P6369	4	2
P6432	5	2,5	P6364	4	2
P6424	6	3	P6818	2	1
P6348	4	2	P6353	5	2,5
P6422	1	0,5	P6410	1	0,5
P6416	4	2	P6388	3	1,5
P6351	6	3	P6378	3	1,5
P6349	5	2,5	P6359	3	1,5
P6352	5	2,5	P6340	2	1
P6411	4	2	P6438	2	1
P6407	4	2	P6418	1	0,5
P6403	2	1	P6354	6	3
P6401	2	1	P6365	3	1,5
P6834	1	0,5	P6341	4	2
P6397	6	3	P6440	5	2,5
P6393	4	2	P6347	4	2
P6827	3	1,5	P6423	1	0,5
P6387	2	1	P6415	2	1
P6382	2	1	P6849	1	0,5
P6851	1	0,5	P6379	5	2,5
P6380	5	2,5	P6371	5	2,5
P6857	1	0,5	Total	172	86

Tableau 7: Nombre de postes

5. CONCLUSION :

La zone d'étude faisant partie du bassin des Gantour qui est l'un des principaux bassins phosphatés qui constituent la richesse minière du Maroc, fait l'objet d'une préparation à l'exploitation. L'exploration dans la zone s'effectue par l'implantation des ouvrages pour la caractérisation et l'évaluation de la qualité des phosphates dans chaque tranchée objet d'une future exploitation. Durant notre stage, nous avons participé dans cette opération en effectuant une caractérisation minéralurgique préliminaire.

L'OCP Group de Youssoufia, a fixé dans sa stratégie la modernisation de la méthode d'exploration, et nous sommes très fiers d'avoir pu contribuer et participer à cette révolution et l'adaptation de l'entreprise au changement de son environnement.

Au cours de notre stage, nous avons travaillé sur des puits de reconnaissance, ce travail consiste à cibler, à partir d'une base de données des puits disponibles dans la région, des puits favorables pour faire l'échantillonnage.

Pour effectuer cette sélection, nous nous sommes basés sur les teneurs et la puissance des niveaux en fonction des objectifs de production fixés au départ par la société, nous avons pu réaliser la superposition des cartes d'isoteneurs et isopaches par un système de gestion d'information géologique (SIG), nous avons par la suite dégagé des anomalies positives coïncidant avec des puits de reconnaissance bien identifiés.

A partir des 62 puits fixés par la sélection précédente, nous avons choisi des puits représentatifs qui répondent aussi aux critères de sélection choisis. Dans notre cas, l'accessibilité des niveaux minéralisés joue un rôle primordial pour la faisabilité de l'échantillonnage dans les puits sélectionnés. On représente par la suite les résultats obtenus qui concernent le nombre de niveaux accessibles pour chaque entité (puits, niveau), et des cartes de répartition spatiale des puits dans l'espace.

Généralement, les résultats étaient fiables pour tous les niveaux. Pourtant, quelques puits représentent des niveaux non accessibles. Ainsi, nous avons suggéré le curage et l'implantation de nouveaux puits dans les zones qui manquent d'informations.

BIBLIOGRAPHIE :

- Arambourg C. (1952).** *Les vertébrés fossiles des gisements de phosphates*, Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc n ° 92.
- Barodi E. B. (2002).** *Méthodes et techniques d'exploration minière et principaux gisements au Maroc*, Bureau de Recherches et de Participations Minières.
- Boujo A. (1972).** *Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate Crétacé-Eocène des Gantour* (thèse de doctorat).
- Daafi Y.** *Guide des prospecteurs géologues sur le terrain*, Office Chérifien Des Phosphates.
- Daafi Y.** *Les phosphates sédimentaires au Maroc*, Office Chérifien des Phosphates (Rapport).
- Elhaddi H. (2014).** *les silicifications de la série phosphatée des Oued Abdoun (maastrichtien-lutétien, Maroc): sédimentologie, minéralogie, géochimie et contexte génétique*, Faculté des Sciences Ben M'sik, n° d'ordre : CED/101/14.
- Elliott J.C. (1994).** *structure and chemistry of the apatites and other calcium orthophosphates. Studies in inorganic chemistry.* Elsevier, amsterdam london New-York Tokyo.
- Jourani E. (1994).** *Caractères généraux du bassin des Gantour, synthèse bibliographique*, Office Chérifien Des Phosphates (Rapport N 391)
- Kawatra K. (2014).** *Beneficiation of phosphate ore*, Edition électronique.
- Vatan A.** *Manuel de sédimentologie*. Edition électronique par Google.

WEBOGRAPHIE :

- <http://ocpgroup.ma> : Site officiel de l'office chérifien des phosphates.
- <http://usgs.gov> : Site du United States Geological Survey , Organisme gouvernemental des sciences de la terre.
- http://www.adcs.cnrs.fr/tutoqgis/04_01_principe.php
- <http://www.macarte.ca/googleMap.php?mapType=1>
- <http://www.portalsig.org/content/qu-est-ce-qu-un-georeferencement>

Annexes

SOMMAIRE :

Annexe A : Base de données des puits

Annexe B : Représentation des résultats sous forme de canevas

Annexe C : Cartes de situation spatiale des puits pour chaque niveau.

ANNEXE A

Ouvrage	X	Y	Z	Ouvrage	X	Y	Z
P6806	225001,89	181748,36	409,13	P6851	235799,48	182199,67	406,52
P6446	225251,07	180752,46	427,72	P6380	235748,21	181249,94	422,5
P6800	225733,02	181421,5	421,94	P6857	236365,12	182648,04	415,48
P6342	226178,37	180653,89	429,3	P6377	236745,29	181748,77	417
P6810	226499,92	181750,77	419,57	P6373	237240,97	182248,7	417,35
P6345	227004,71	181221,49	427,85	P6375	237246,94	181249,14	431,14
P6433	227256,88	181749,89	431,76	P6870	237750,16	182499,51	428,76
P6432	227750,59	181248,14	428,52	P6879	238406,87	182258,62	420,41
P6426	228251,55	181745,71	407,45	P6369	238247,46	181750,8	429,6
P6424	228252,96	180750,07	423,48	P6364	238751,83	181252,38	418,95
P6348	228744,37	180951,13	413,45	P6818	228251,44	181498,3	414,13
P6422	228751,52	181751,34	407,7	P6353	230254,13	181309,21	413,1
P6821	229550,9	182693,54	407,51	P6410	230750,43	182250,05	399,04
P6416	229751,27	182250,57	418,41	P6388	234249,63	181250,43	414,45
P6351	229752,4	181799,84	417,2	P6378	236248,13	181749,9	416,1
P6349	229241,2	181465,89	410,5	P6359	232128,16	180747,61	412,8
P6352	229761,98	181287,97	417,35	P6340	225716,08	181090,48	416,55
P6411	230750,39	181750,59	405,85	P6438	226750,74	181751,28	427,72
P6407	231249,89	181251,03	411,93	P6418	229248,45	181753,4	406,95
P6406	231749,57	181750,82	400,25	P6354	230266,49	181828,46	418,15
P6403	232251,05	181250,31	409,65	P6328	231999,85	180252,27	420,85
P6401	232250,12	182250,4	412,56	P6365	238749,19	181752,51	415,35
P6834	232500,08	182749,72	406,63	P6341	226174,19	181083,69	431,45
P6397	232751,16	181748,67	425,2	P6440	226750,65	180752,47	433,89
P6393	233251,68	182251,02	417,41	P6347	228069,8	180729,95	420,95
P6884	233695,12	183459,89	414,8	P6423	228750,77	181251,76	408,17
P6827	234050,04	182586,71	413,92	P6415	229751,28	182751,25	417,06
P6387	234249,07	181749,65	408,6	P6357	231278,33	181001,22	416,2
P6844	234700,85	182917,26	412,83	P6849	235380,18	182381,04	412,83
P6847	234746,61	182236,6	399,52	P6379	236246,78	181249,99	422,7
P6382	235247,9	181750,43	409,05	P6371	237750,58	182249,33	425,55

En total 62 puits on été choisis pour l'analyse.

ANNEXE B

Niveau/Puits	P6806	P6446	P6800	P6342	P6810	P6345	P6433	P6432	P6426	P6424	P6348	P6422
C2 MED												
C2 INF												
C3 SUP		O		O				O		O	O	
C3 INF		O						O		O	O	
C4 SUP				O		O		O		O	O	
C4 INF		O		O		O		O		O	O	
C5 SUP		O		O		O	O	O		O	X	
C5 INF		O		O		O	O	X		O	X	O
C6 SUP	O	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
C6 MED	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
C6 INF	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nb éch/puits</i>	1	5	0	5	0	4	2	5	0	6	4	1

Niveau/Puits	P6821	P6416	P6351	P6349	P6352	P6411	P6407	P6406	P6403	P6401	P6834	P6397
C2 MED												
C2 INF												
C3 SUP				O	O							O
C3 INF				O	O							O
C4 SUP		O		O	O	O	O		O			O
C4 INF		O	O	O	O	O	O		O			O
C5 SUP		O	O	O	O	O	O		X	O		O
C5 INF		O	O	X	X	O	O		X	O		O
C6 SUP	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	O	X
C6 MED	X	X	O		X	X	X	X	X	X	X	X
C6 INF	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nb éch/puits</i>	0	4	6	5	5	4	4	0	2	2	1	6

Niveau/Puits	P6393	P6884	P6827	P6387	P6844	P6847	P6382	P6851	P6380	P6857	P6377	P6373
C2 MED												
C2 INF												
C3 SUP									O			
C3 INF									O			
C4 SUP	O								O		O	
C4 INF	O								O		O	
C5 SUP	O		O	O			O		O		O	
C5 INF	O		O	O			O		X		O	O
C6 SUP	X	X	O	X	X		X	O	X	O	X	O
C6 MED	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		O
C6 INF	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nb éch/puits	4	0	3	2	0	0	2	1	5	1	4	3

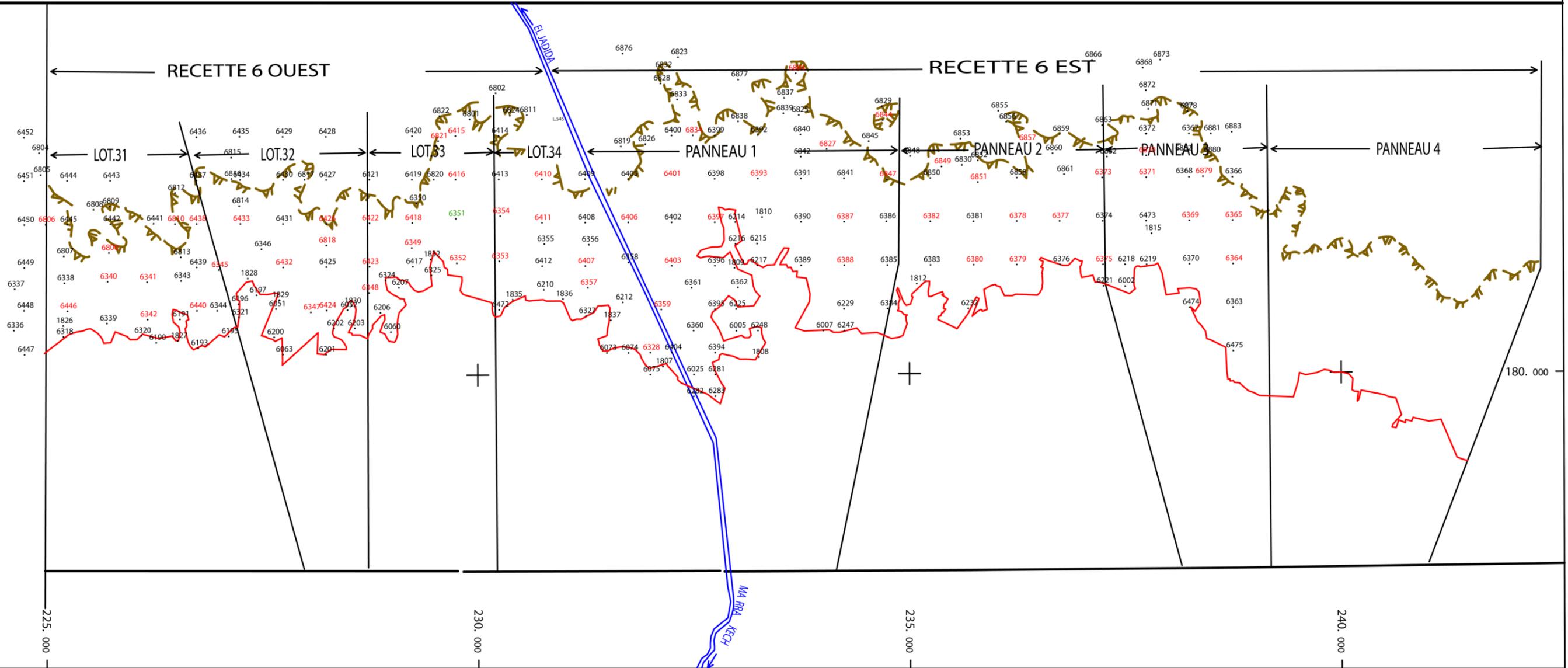
Niveau/Puits	P6375	P6870	P6879	P6369	P6364	P6818	P6353	P6410	P6388	P6378	P6359	P6340
C2 MED	O											
C2 INF	O											
C3 SUP	O						O					
C3 INF	O						O					
C4 SUP	O			O	O		O		O	O	O	
C4 INF	O			O	O		O		O	O	O	
C5 SUP	O	O		O	O		O		O	O	O	O
C5 INF	X	O		O	O	O	X	O	X	X	X	O
C6 SUP	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X
C6 MED		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C6 INF	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nb éch/puits	7	2	0	4	4	2	5	1	3	3	3	2

Niveau/Puits	P6438	P6418	P6354	P6328	P6365	P6341	P6440	P6347	P6423	P6415	P6357	P6849
C2 MED				X								
C2 INF												
C3 SUP			O				O					
C3 INF			O				O					
C4 SUP			O		O	O	O	O	O			
C4 INF			O		O	O		O	X			
C5 SUP	O	O	O			O	O	O	X	O		
C5 INF	O	X	O		O	O	O	O	X	O	X	O
C6 SUP	X	X	X			X	X			X	X	X
C6 MED	X	X	X			X	X			X		X
C6 INF	X	X	X			X	X			X		X
Nb éch/puits	2	1	6	0	3	4	5	4	1	2	0	1

Niveau/Puits	P6379	P6371	Nb éch/niv
C2 MED			1
C2 INF			1
C3 SUP	O	O	15
C3 INF	O	O	14
C4 SUP	O	O	30
C4 INF	O	O	30
C5 SUP	O	O	38
C5 INF	X	X	32
C6 SUP	X	X	8
C6 MED	X	X	2
C6 INF	X	X	1
Nb éch/puits	5	5	172

ANNEXE C

Situation des puits à échantillonner: niveau C6 inférieure

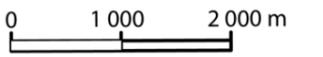


LEGENDE

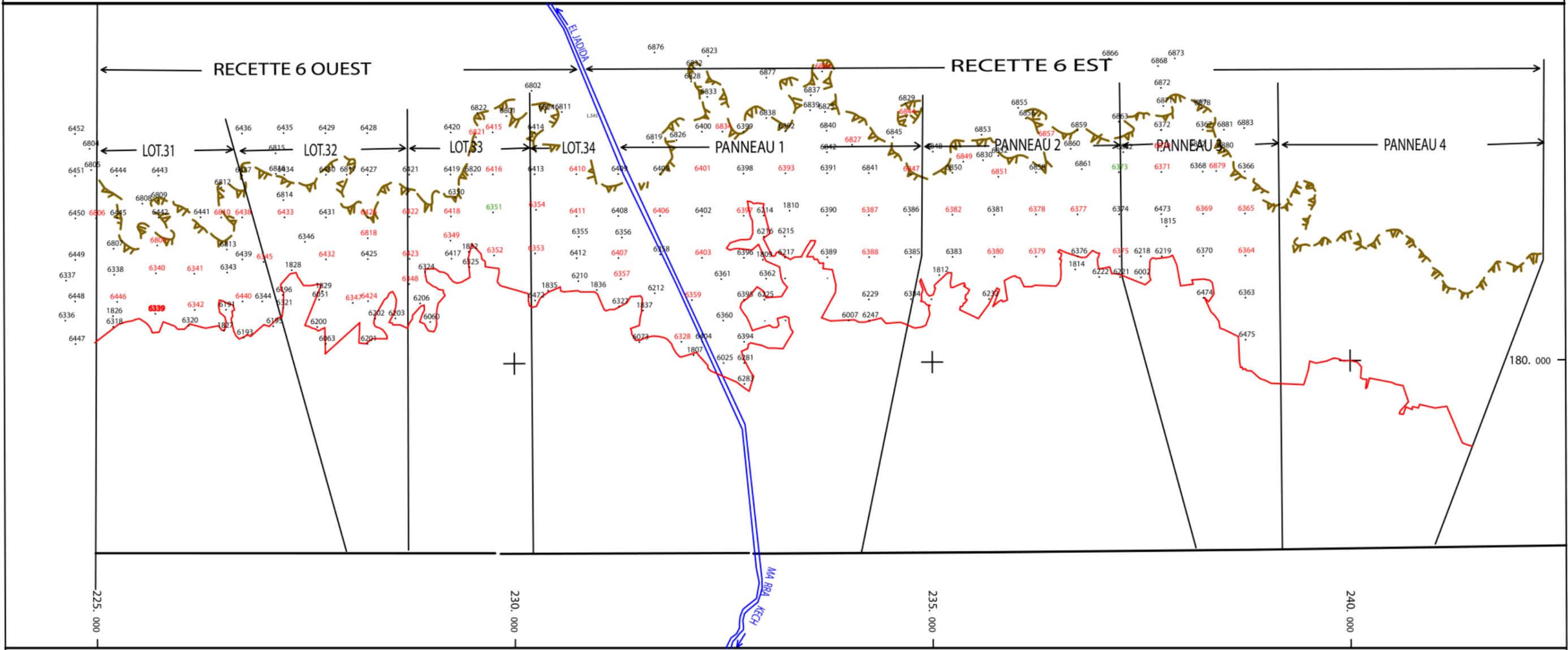
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341** Puits à échantillonner
- 6341** Puits à éliminer
- 6341** Puits non étudiés



Echelle : 

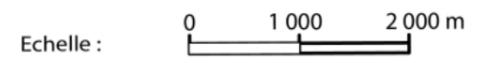
Situation des puits à échantillonner: niveau C6 médiane



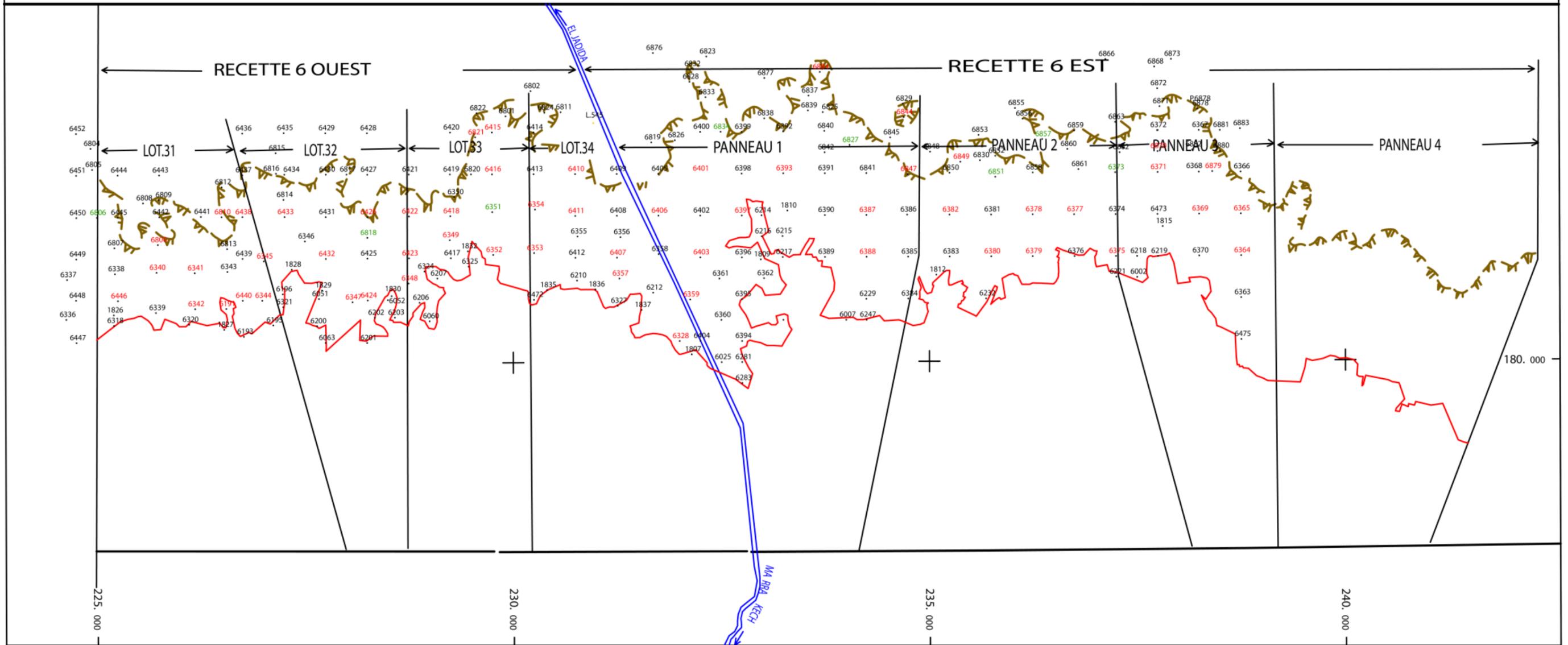
LEGENDE

-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341** Puits à échantillonner
- 6341** Puits à éliminer
- 6341** Puits non étudiés



Situation des puits à échantillonner: niveau C6 supérieure

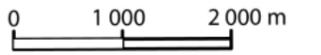


LEGENDE

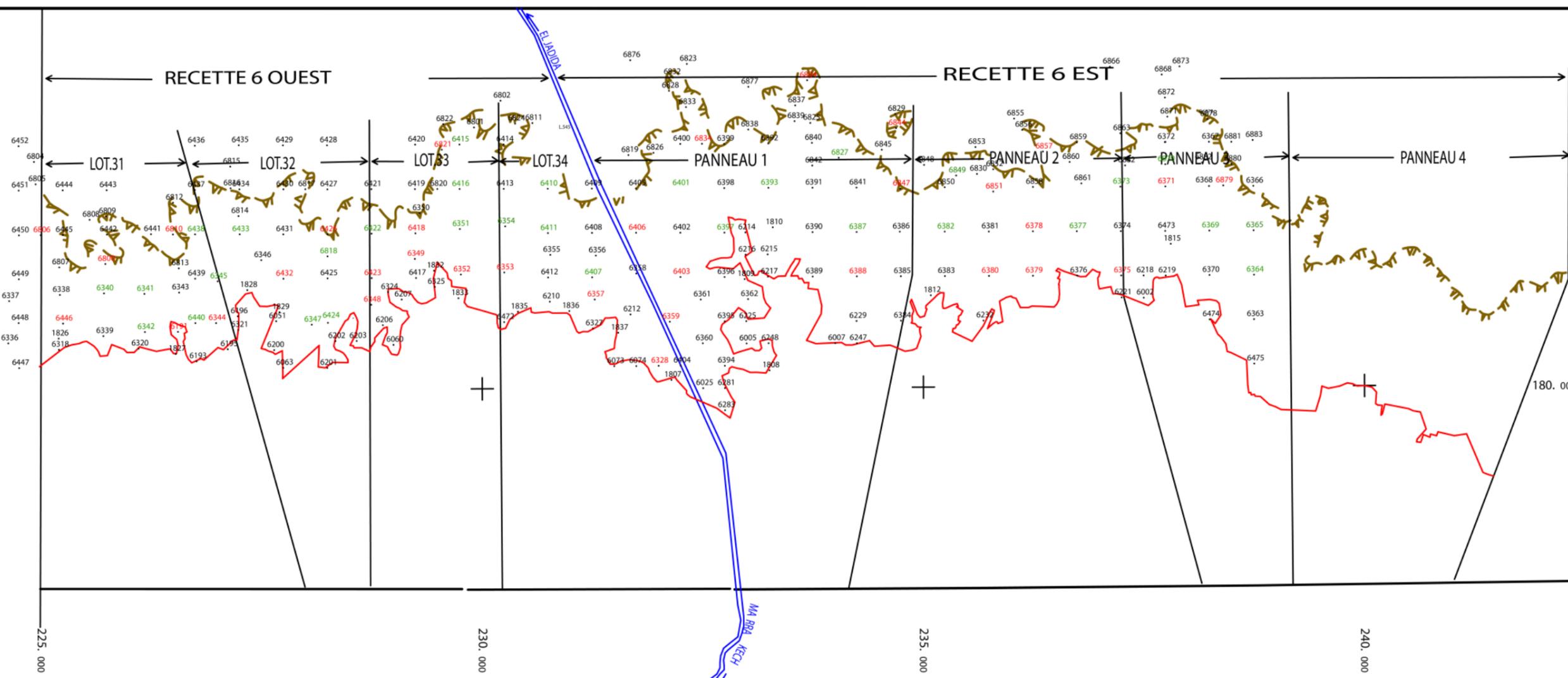
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341** Puits à échantillonner
- 6342** Puits à éliminer
- 6343** Puits non étudiés



Echelle : 

Situation des puits à échantillonner: niveau C5 inférieure

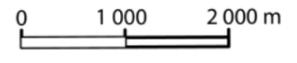


LEGENDE

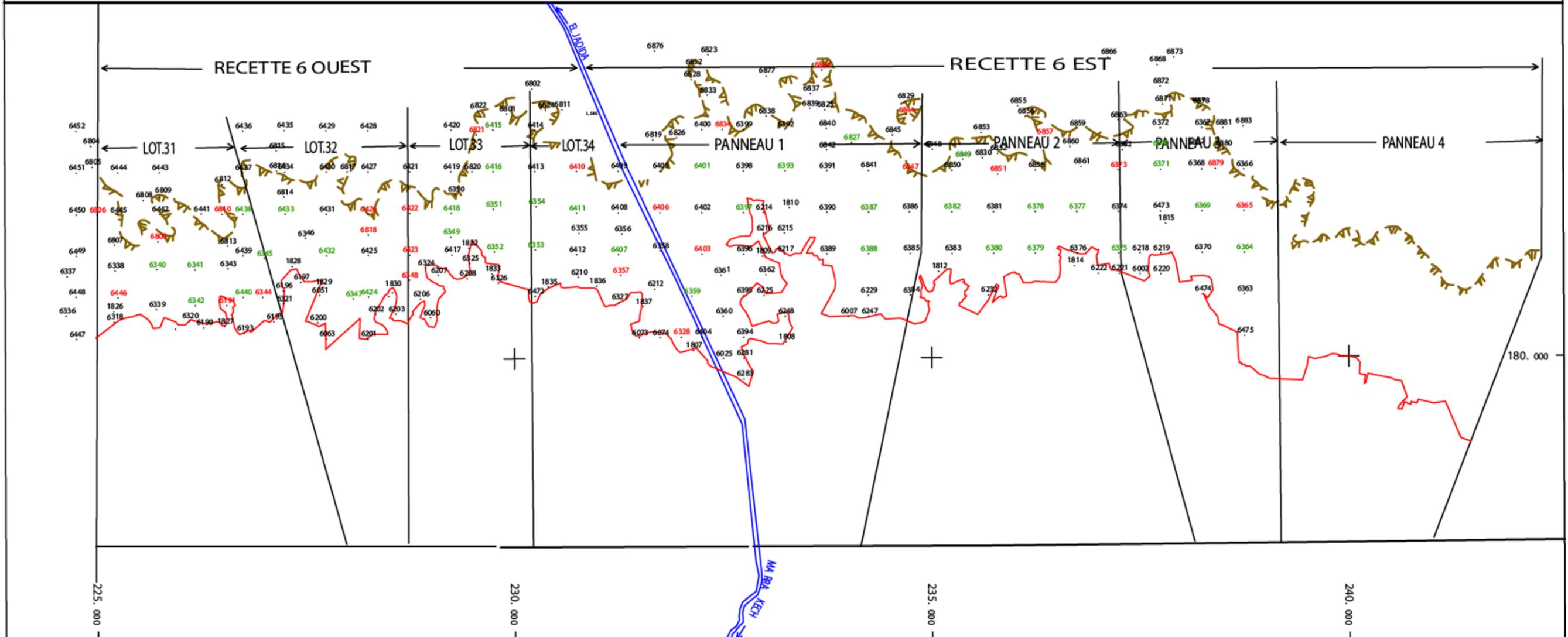
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341 Puits à échantillonner
- 6341 Puits à éliminer
- 6341 Puits non étudiés



Echelle : 

Situation des puits à échantillonner: niveau C5 supérieure

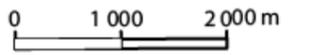


LEGENDE

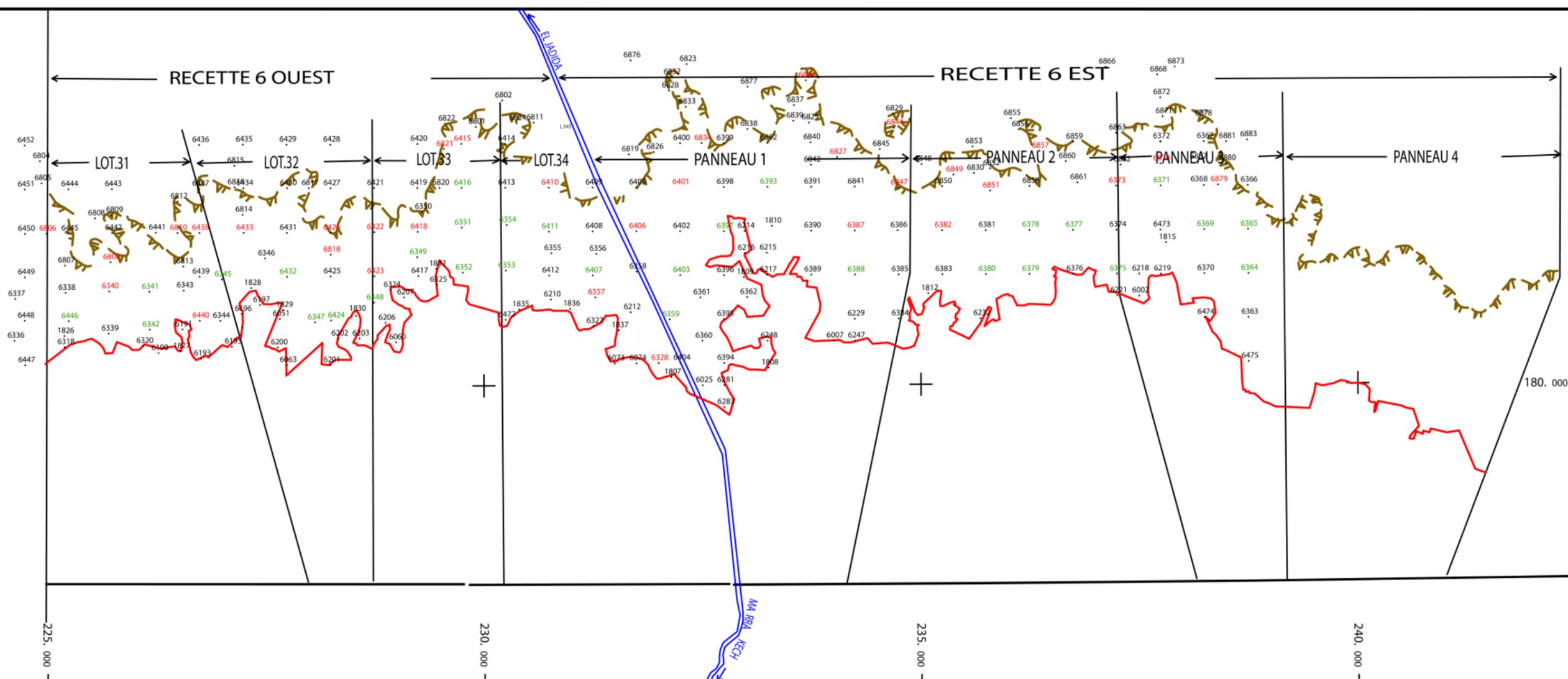
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341 Puits à échantillonner
- 6341 Puits à éliminer
- 6341 Puits non étudiés



Echelle : 

Situation des puits à échantillonner: niveau C4 inférieure



LEGENDE

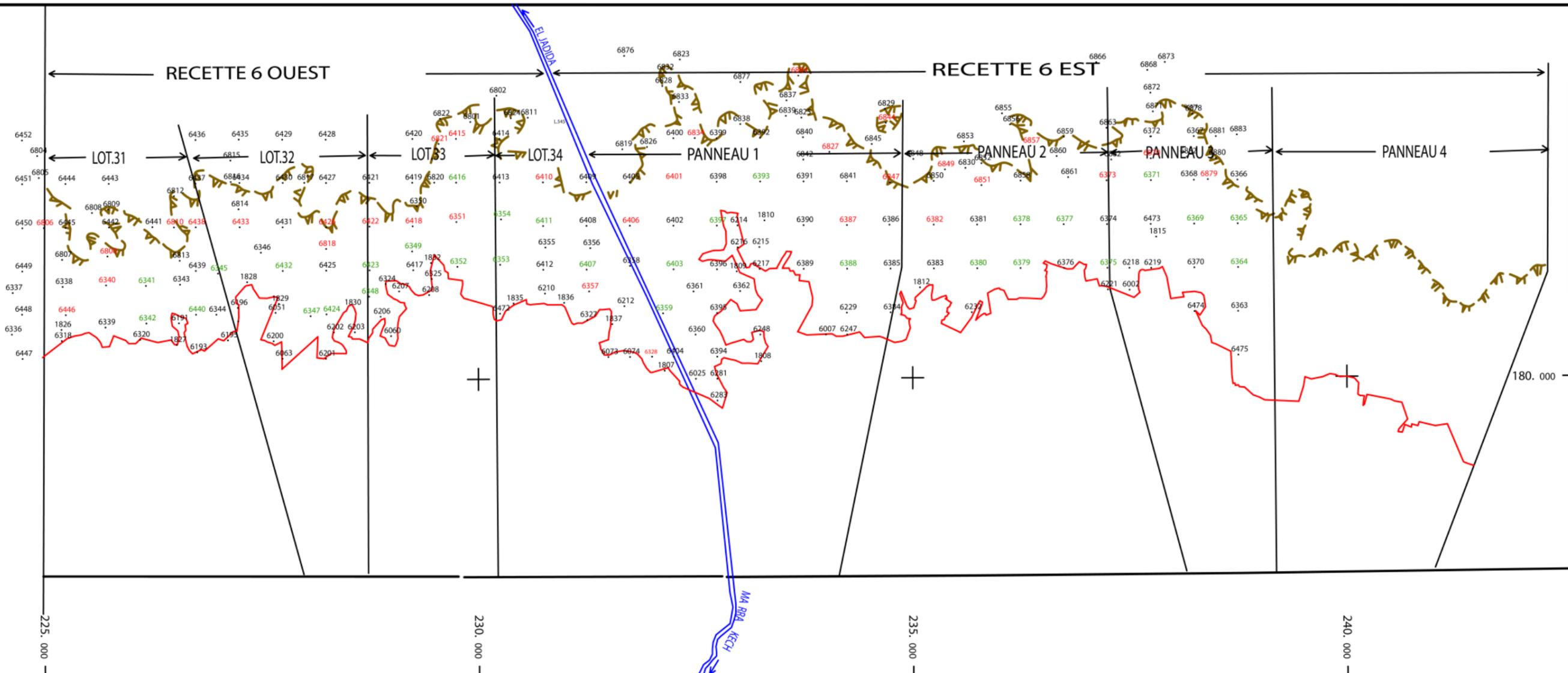
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341 Puits à échantillonner
- 6341 Puits à éliminer
- 6341 Puits non étudiés



Echelle : 0 1 000 2 000 m

Situation des puits à échantillonner: niveau C4 supérieure

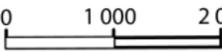


LEGENDE

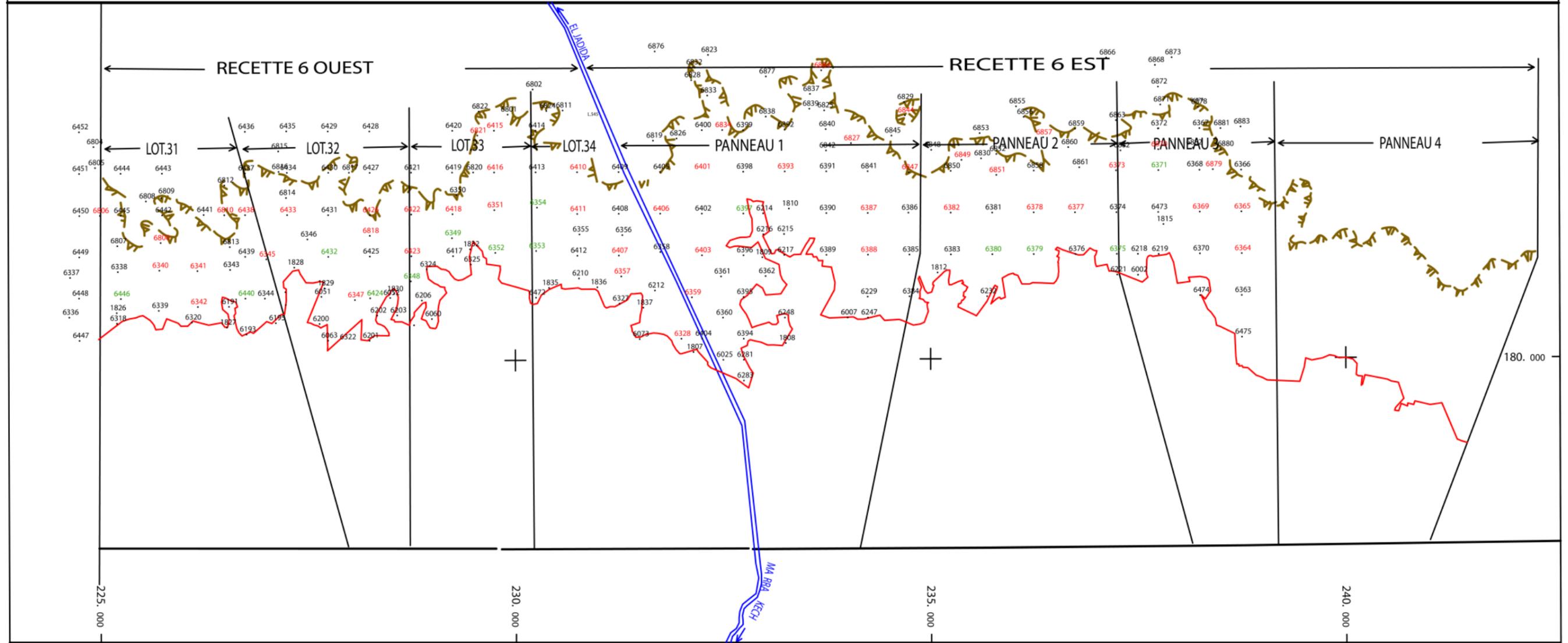
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341 Puits à échantillonner
- 6341 Puits à éliminer
- 6341 Puits non étudiés



Echelle :  0 1 000 2 000 m

Situation des puits à échantillonner: niveau C3 inférieure

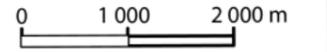


LEGENDE

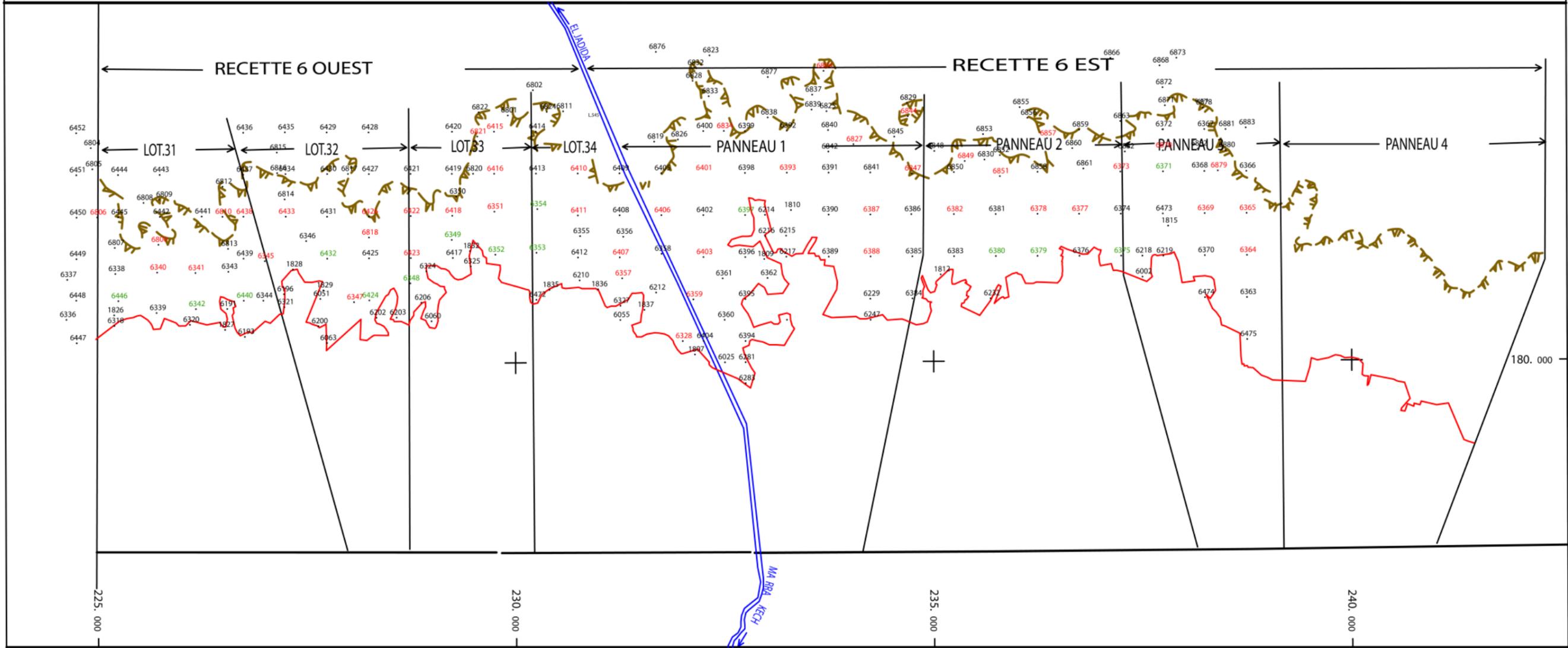
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341 Puits à échantillonner
- 6341 Puits à éliminer
- 6341 Puits non étudiés



Echelle : 

Situation des puits à échantillonner: niveau C3 supérieure

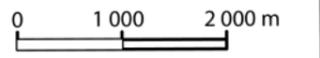


LEGENDE

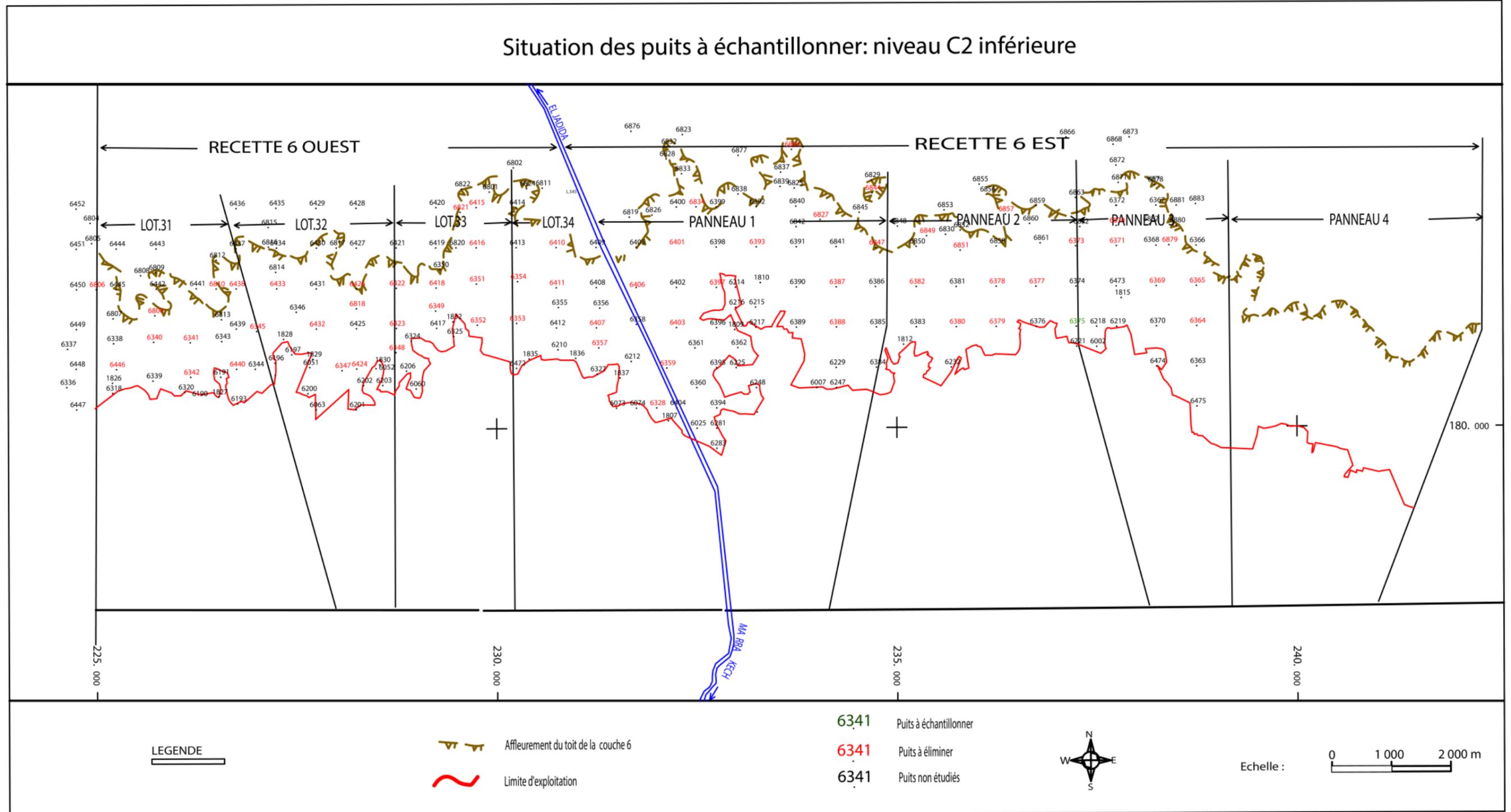
-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341** Puits à échantillonner
- 6341** Puits à éliminer
- 6341** Puits non étudiés

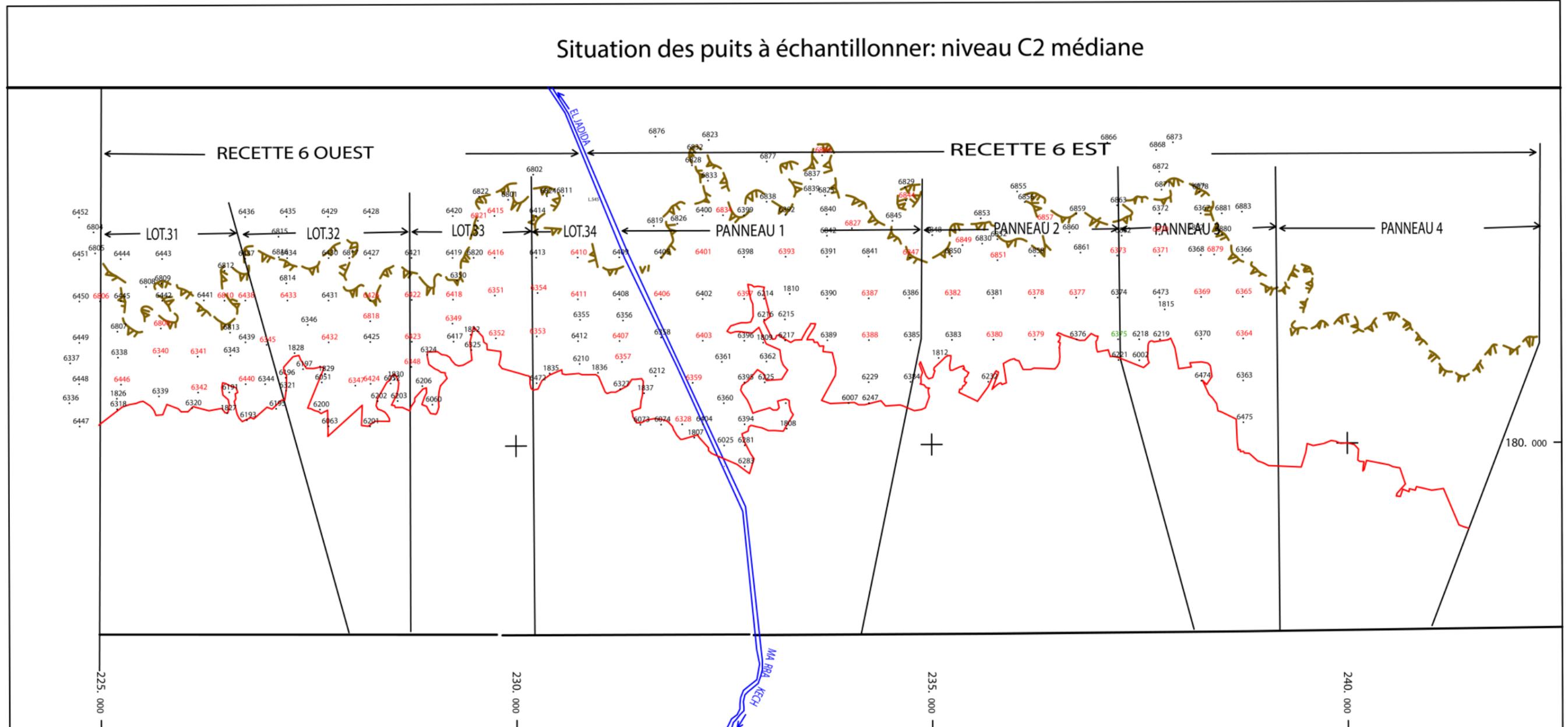


Echelle : 

Situation des puits à échantillonner: niveau C2 inférieure



Situation des puits à échantillonner: niveau C2 médiane

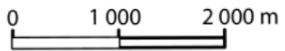


LEGENDE

-  Affleurement du toit de la couche 6
-  Limite d'exploitation

- 6341** Puits à échantillonner
- 6341** Puits à éliminer
- 6341** Puits non étudiés



Echelle :  0 1 000 2 000 m