

ANNEXE 4 : Mémoire technique

***Demande de prolongation de la concession
de PEZARCHES***



TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	4
2	LES LIMITES DU PERIMETRE SOLICITE	5
3	HISTORIQUE DE LA DECOUVERTE ET DU DEVELOPPEMENT	6
3.1	Historique de la découverte	6
3.2	Historique de l'exploitation	10
4	COUPE DU PUIIS	10
5	PROPRIETES DU GISEMENT DE PEZARCHES	12
5.1	Contexte structural	12
5.1.1	<i>Interprétations structurales E.A.P</i>	12
5.1.2	<i>Interprétations structurales Geopetrol S.A.</i>	16
5.2	Propriétés du réservoir	19
5.2.1	<i>Données géologiques et de réservoir</i>	20
5.2.2	<i>Interprétations des diagraphies</i>	25
5.3	Propriétés de l'huile	25
6	ESTIMATION DES RESERVES ET PERSPECTIVES DE PRODUCTION	26
6.1	Données historiques des réserves	26
6.2	Analyse du gisement	26
6.2.1	<i>Historique de la production</i>	26
6.2.2	<i>Analyse des pressions du gisement et indice de productivité</i>	27
6.2.3	<i>Conclusions sur le comportement des puits PZH1</i>	28
6.3	Perspectives de production	28
6.4	Conclusions	32
7	DESCRIPTION DES TRAVAUX D'EXPLOITATION ENVISAGES	33
8	POTENTIEL DE RECONVERSION ET CESSATION D'ACTIVITE	33
9	EQUILIBRE ECONOMIQUE DU PROJET	33

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation de la concession de Pézarches	6
Figure 2 : Carte structurale du toit du Trias (source IFP, 2002).....	7
Figure 3 : Schéma structural du Trias actualisation 2014, limites des concessions en vert	8
Figure 4 : Carte d'épaisseur du Chaunoy et des marnes supérieures avec indication des zones de production d'hydrocarbures (source IFP, 2002).....	9
Figure 5 : Coupe du puits PZH1	11
Figure 6 : Carte structurale du toit du Chaunoy. E.A.P 1993 (avant forage de PZH1).....	13
Figure 7 : Carte structurale du toit du Chaunoy. E.A.P 1994 (après forage de PZH1).....	15
Figure 8 : les différents retraitements sismiques réalisés par Geopetrol S.A. sur la zone Nesles - Pézarches - La Vignotte.....	16
Figure 9 : Carte structurale du Chaunoy - secteur de Nesles – Pézarches – La Vignotte. Geopetrol 2003	17
Figure 10 : Carte structurale du toit du Chaunoy, Geopetrol 2008	19
Figure 11 : Environment type des dépôts du Chaunoy dans le secteur Nesles-Pézarches-La Vignotte	20
Figure 12 : Principaux faciès dans le Chaunoy de Nesles - Pézarches - La Vignotte.....	21
Figure 13 : Corrélations des niveaux réservoirs 1, 2, 3 et 4 aux puits NSL1, NSL2ST et Pézarches	23
Figure 14 : Corrélation détaillée des niveaux réservoirs 1, 2, 3 et 4 aux puits NSL1, NSL2ST et Pézarches	24
Figure 15 : Historique de production du puits PZH1	27
Figure 16 : Historique des mesures de la pression statique - PZH1	28
Figure 17 : Tableau de prévisions de production de PZH1 – profil 1P.....	29
Figure 18 : Graphe de prévisions de production huile et BSW de PZH1 – profil 1P	30
Figure 19 : Tableau de prévisions de production de PZH1 – profil 2P.....	31
Figure 20 : Graphe de prévisions de production huile et BSW de PZH1 – profil 2P	31

1 INTRODUCTION

L'objectif de ce mémoire technique est de présenter les principales étapes des travaux d'exploitation en rapport avec la demande de renouvellement de la concession de Pézarches.

Le puits PZH1 a été foré par la société Elf Aquitaine Production (E.A.P) en février 1994 avec pour objectif les grès du Chaunoy (Trias Supérieur, Norien). Lors de sa mise en production en juin 1994, la production d'huile anhydre à partir des grès du Chaunoy a atteint un pic de 70m³/j avant de se stabiliser jusqu'en 1998 sur un plateau de 25m³/j d'huile et un BSW d'environ 40%. A partir de cette date, la production d'huile a suivi un déclin régulier en raison de l'hydratation de la production.

Les grès du Chaunoy du gisement de Pézarches sont constitués de réservoirs gréseux d'épaisseur métrique, de bonne porosité (15% de porosité en moyenne) et très perméables (plusieurs centaines de milidarcys jusqu'à plusieurs Darcys). Ces niveaux réservoirs bénéficient d'un bon maintien de pression grâce à un aquifère naturel qui se manifeste par un ennoisement progressif des niveaux inférieurs puis des niveaux réservoirs supérieurs en lien avec une bonne communication verticale entre les différents niveaux. Afin de limiter la présence d'eau dans la production, une isolation des perforations inférieurs a donc été réalisée par Geopetrol en 2004. Cette opération a permis de ramener le BSW de 80% à 60% sans baisse du débit liquide du puits.

En 2008, Geopetrol S.A a réalisé la réinterprétation des données sismiques et géologiques des différents niveaux réservoirs sur une vaste zone englobant les concessions de Nesles, Pézarches et La Vignotte. Cette étude a montré que le puits PZH1 avait été positionné au sommet de la structure par l'ancien opérateur et qu'il n'existait pas de possibilité d'implantation d'un nouveau forage de développement. Cependant, le volet pétrophysique de cette étude a permis d'identifier un niveau réservoir qui a fait l'objet d'une perforation lors d'une intervention réalisée en juin 2013. Celle-ci a permis un gain net de production d'huile de +3.6m³/j d'huile par rapport à la production d'avant février 2013.

Depuis l'intervention de février 2013, la production d'huile suit un déclin relativement modeste d'environ 4% par an. Au 31/12/2020, le volume d'huile produit en cumulé par le puits était de 97 126 m³. Pour le mois de mars 2021, la production est en moyenne de 6 m³/j d'huile avec un BSW de 87%.

Nous avons également initié des réflexions préliminaires sur l'éventuel potentiel de reconversion des gisements et des plateformes. Deux études ont notamment été réalisées avec le BRGM et avec le cabinet d'étude Kerdos Energy afin d'analyser l'existence d'un potentiel de valorisation de la chaleur issue de l'eau de gisement de Nesles qui est situé à moins de 5 kms de la concession de Pézarches. La proximité de ces concessions et les conclusions de ces études nous incitent à considérer une gestion mutualisée des eaux de ces gisements et poursuivre l'analyse d'une éventuelle valorisation commune de leurs calories.

Ainsi, les études menées ou en cours de réalisation à partir des données géologiques et des données de gisement ainsi que les opérations réalisées illustrent le potentiel pétrolier persistant ainsi que l'intérêt à poursuivre les analyses pour identifier et caractériser le potentiel de reconversion en capitalisant par exemple sur le potentiel calorifique des eaux du gisement. La modernisation de nos installations de surface réalisée en 2020-2021 a également permis d'optimiser la production notamment lors des week-ends et de faciliter la logistique d'expédition du pétrole brut compte tenu de l'annonce de l'arrêt de la raffinerie de Grandpuits par le groupe Total.

L'ensemble de ces éléments viennent motiver notre demande de renouvellement de la concession.

2 LES LIMITES DU PERIMETRE SOLLICITE

La concession de Pézarches couvre une superficie de 9.3 km² environ et porte sur partie du territoire des communes de Faremoutiers, Hautefeuille, Pézarches, Saints et Touquin, dans le département de la Seine-et-Marne. Elle est constituée par les arcs de méridiens et de parallèles joignant successivement les sommets définis ci-après par leurs coordonnées géographiques, le méridien origine étant celui de Paris :

Sommet	Longitude (grades E)	Latitude (grades N)
A	0,72	54,19
B	0,74	54,19
C	0,74	54,18
D	0,76	54,18
E	0,76	54,17
F	0,78	54,17
G	0,78	54,15
H	0,76	54,15
I	0,76	54,16
J	0,72	54,16

Le territoire de la concession se situe à environ 32 km au nord-est de la ville de Melun, et 8 km au nord de la ville de Rozay-en-Brie. Le champ pétrolier est constitué du puits PZH1 qui se situe sur la commune de Pézarches à environ 1.9km au nord-est du bourg de Pézarches, à la cote altimétrique 114.5 m EPD environ (Figure 1).

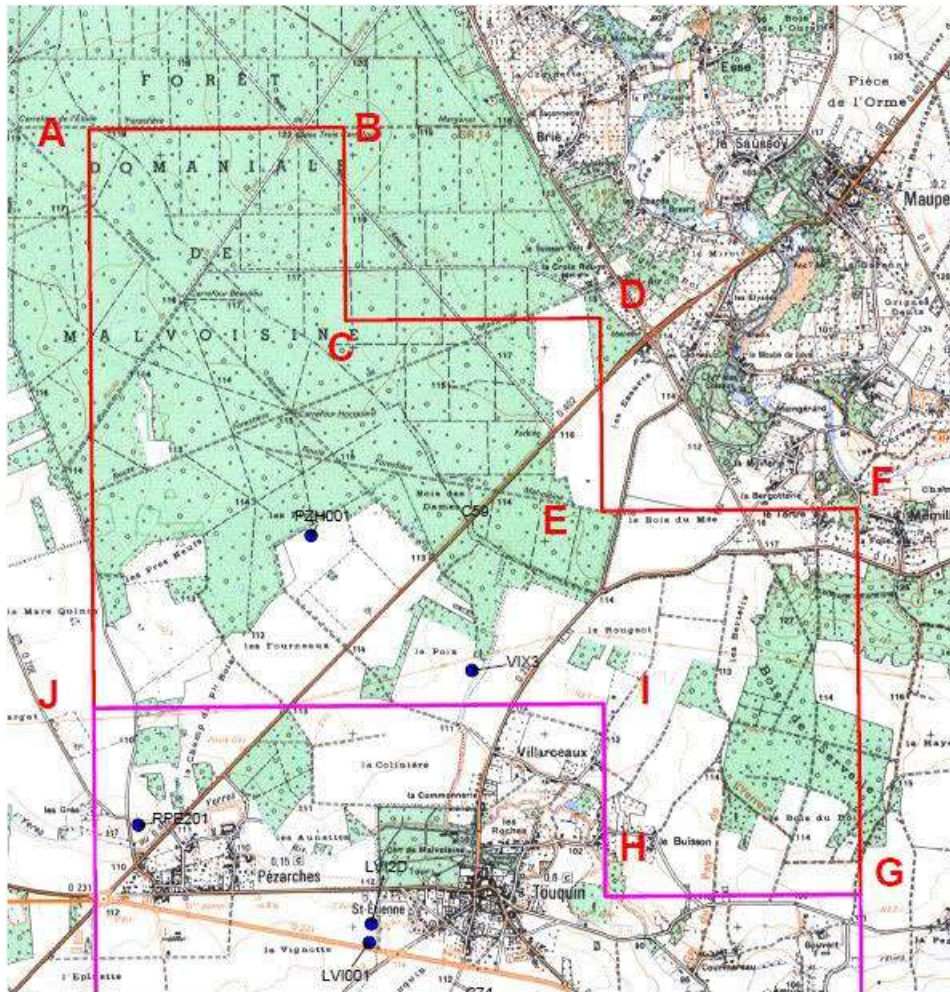


Figure 1 : Localisation de la concession de Pézarches

3 HISTORIQUE DE LA DECOUVERTE ET DU DEVELOPPEMENT

3.1 Historique de la découverte

Le gisement de Pézarches a été découvert par le forage du puits PZH1 en mars 1994 par Elf Aquitaine Production (E.A.P) sur la partie sud-ouest de l'ancien permis d'exploration de Beauthiel. Le gisement de Pézarches est situé dans la partie centrale du Bassin Parisien (Champagne Ouest), dans une zone très profonde puisque le Trias se situe entre -2300m/NM et -2500m/NM, (Figure 2).

C'est dans ce secteur que les roches mère Liassiques (argiles de l'Aalénien et argiles noires – schistes cartons du Toarcien) sont matures et que les hydrocarbures liquides ont migré verticalement jusqu'aux pièges pétroliers.

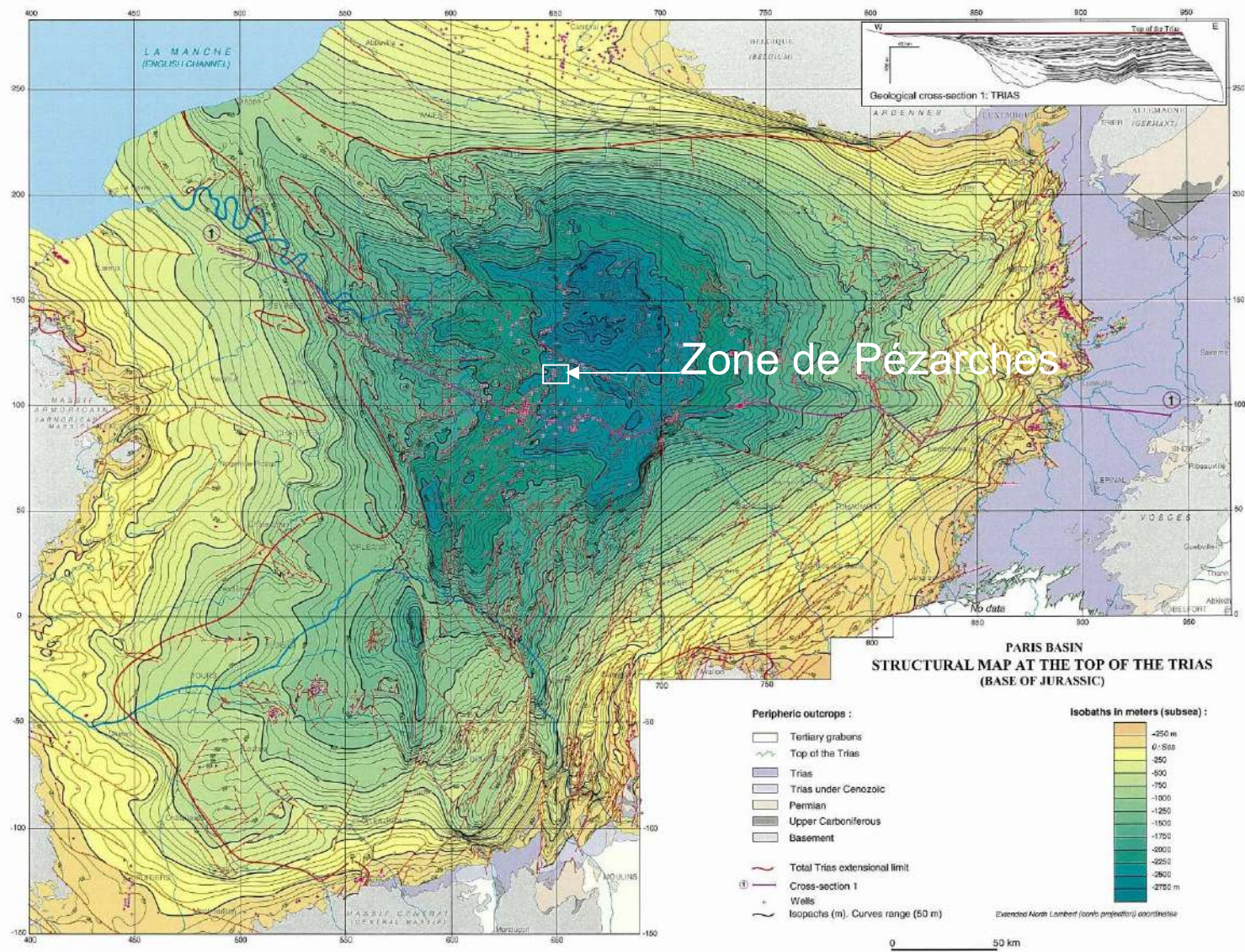


Figure 2 : Carte structurale du toit du Trias (source IFP, 2002)

D'un point de vue structural, la zone de Pézarches se situe au sein d'un ensemble d'accidents régionaux orientés N20E et d'extension pluri-kilométriques ainsi que le montre le schéma structural au Trias issu de l'interprétation de Geopetrol S.A. de 2008 et réactualisé en 2014 (Figure 3). Ces accidents prennent une orientation N70E en se déplaçant vers le sud-ouest au niveau des gisements de Sivry et de Brie-Chartrettes.

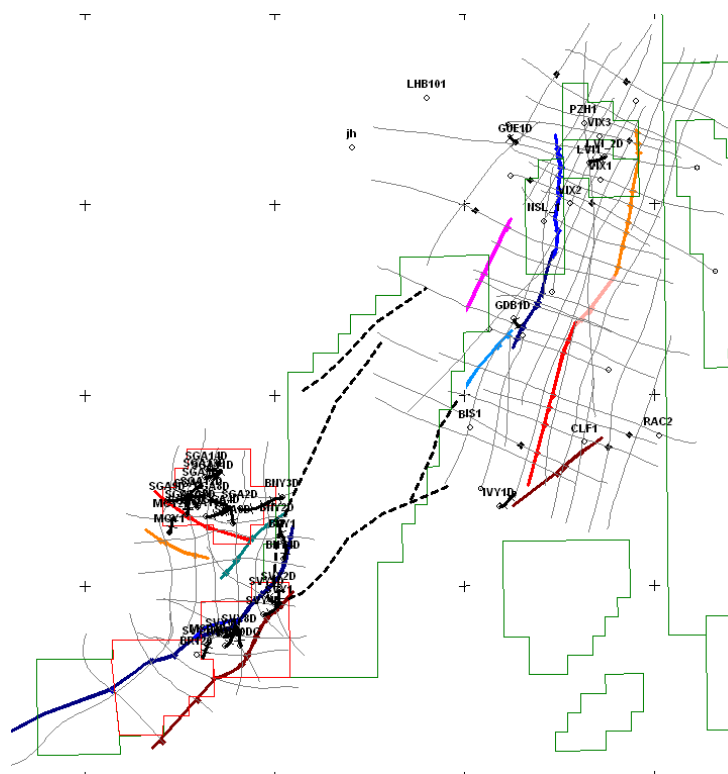


Figure 3 : Schéma structural du Trias actualisation 2014, limites des concessions en vert

De nombreux gisements d'hydrocarbures se trouvent à proximité de la concession de Pézarches avec le gisement majeur de Chaunoy au sud-ouest de la concession, le gisement de la Vignotte directement au sud et le gisement de Champotran à l'est. Tous ces gisements produisent à partir des réservoirs de grès du Chaunoy (Norien / Trias), (Figure 4).

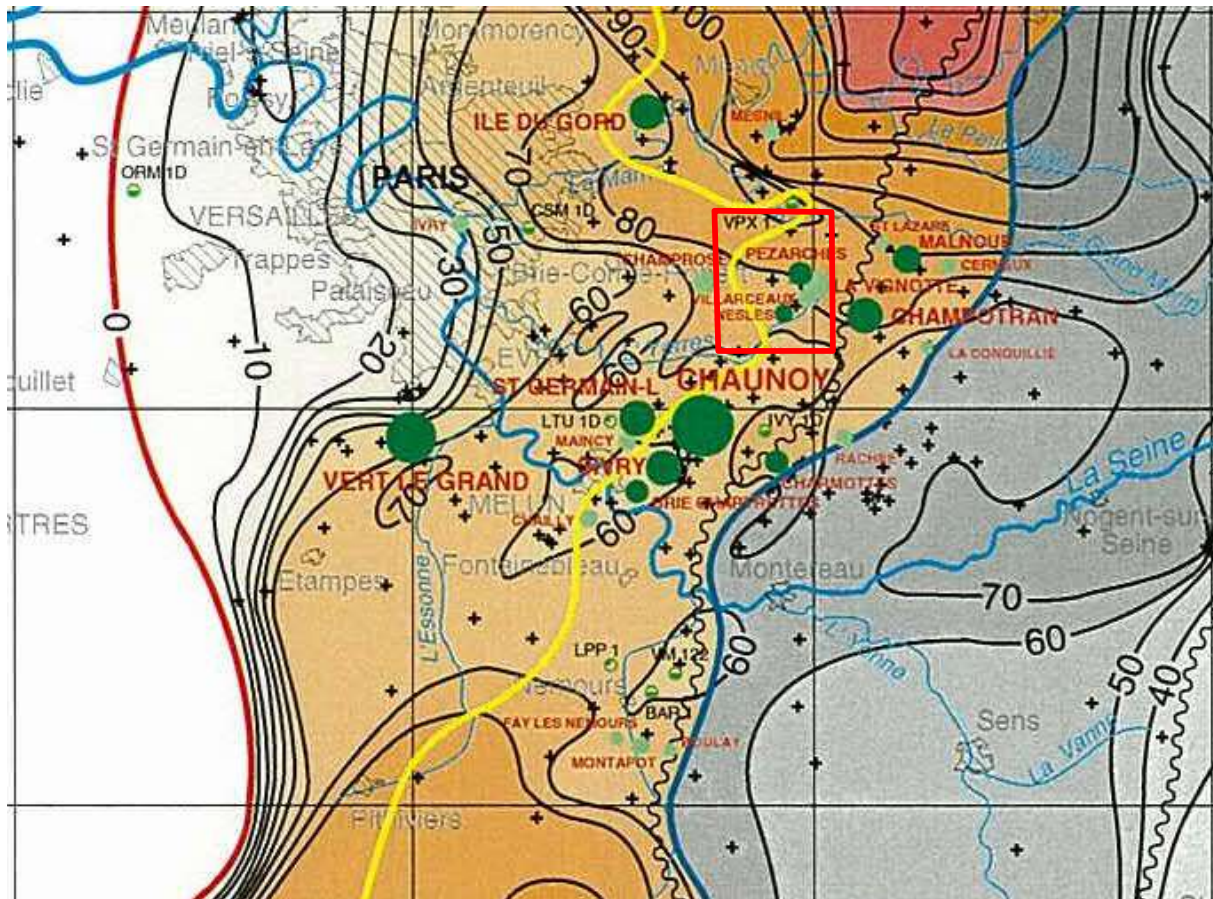


Figure 4 : Carte d'épaisseur du Chaunoy et des marnes supérieures avec indication des zones de production d'hydrocarbures (source IFP, 2002)

La découverte du gisement de Pézarches s'est faite grâce au forage du puits vertical PZH1 en mars 1994 dont l'objectif principal était la reconnaissance du potentiel pétrolier des réservoirs gréseux du Chaunoy (Keuper), au niveau d'un panneau structural, situé dans le même ensemble structural que le gisement de La Vignotte au sud et situé au nord est du gisement de Chaunoy. Le Dogger et le Rhétien étaient des objectifs secondaires et en effet, ils ne présentaient pas d'indices.

Le toit du Chaunoy a été rencontré à la côte 2453m MD (-2333.2m/NM) et la base du Chaunoy à 2546m MD (-2426.2m/NM) soit une épaisseur de 93m pour la formation du Chaunoy. Cette valeur est tout à fait comparable avec les épaisseurs du Chaunoy observées dans les puits voisins. Six niveaux réservoirs ont été identifiés sur carottes et diagraphies. Les quatre principaux niveaux ont été perforés et testés en 1994. Le plan d'eau initial a été identifié à la côte -2364m/NM soit 5.2m sous le niveau basal (niveau 4 des corrélations de Geopetrol). Le puits PZH1 a été mis en production en juillet 1994 par E.A.P puis la concession a été rachetée par Geopetrol S.A. en janvier 1997 qui a ainsi assuré l'essentiel de la production.

Entre 2008 et 2014, une étude intégrée de géosciences (géologie, géophysique et gisement) réalisée par Geopetrol S.A. et portant notamment sur le retraitement et la réinterprétation de l'ensemble des données sismiques 2D de la zone Nesles – Pézarches – La Vignotte a permis de redéfinir la structure des gisements, notamment celui de Nesles. Cependant, le contour de la structure de Pézarches n'a pas été sensiblement modifié et la nouvelle interprétation structurale n'a pas montré de zone haute en dehors du secteur déjà atteint par le puits PZH1.

3.2 Historique de l'exploitation

Le puits PZH1 a été foré en mars 1994 par E.A.P et mis en production dans la foulée en juin 1994 par perforation des cinq principaux intervalles poreux des grès du Chaunoy (Norien, Trias).

E.A.P a poursuivi l'exploitation d'hydrocarbures jusqu'à la fin de l'année 1996 jusqu'à la cession de l'exploitation au profit de Geopetrol qui assure l'exploitation depuis janvier 1997.

En dehors des opérations habituelles de maintenance sur puits, Geopetrol a réalisé deux interventions lourdes en 2008 puis en 2013. La première intervention a permis de limiter l'hydratation de la production par la pose d'un « bridge plug » dans le puits. La deuxième intervention a consisté à perforer un nouveau réservoir situé au sommet du réservoir Chaunoy et permis d'augmenter la production d'huile avec un gain net de 3.6m³/j d'huile stabilisé par rapport à la production d'avant 2013.

Sur la période 2008-2012, une étude intégrée de géosciences portant sur le retraitement des lignes sismiques et la corrélation détaillée des différents niveaux réservoirs a permis de préciser l'extension des niveaux réservoirs et de préciser les contours de la structure du gisement de Pézarches.

La modernisation des installations de surface réalisée en 2020-2021 a également permis d'optimiser la production notamment lors des week-ends et de faciliter la logistique d'expédition du pétrole brut compte tenu de l'annonce de l'arrêt de la raffinerie de Grandpuits par le groupe Total.

4 COUPE DU PUIITS

La coupe du puits de PZH1 est présentée sur les Figure 5 ci-dessous. Le puits est équipé avec une complétion de pompage aux tiges. L'équipement du puits en surface permet un suivi régulier des niveaux liquides dans l'espace annulaire EA0 afin d'optimiser le rendement du pompage.

5 PROPRIETES DU GISEMENT DE PEZARCHES

5.1 Contexte structural

Plusieurs interprétations structurales se sont succédées depuis la phase d'exploration du permis en 1994 jusqu'en 2014 avec les derniers retraitements sismiques. Les modifications de la structure en profondeur proviennent de la prise en compte des corrections statiques intracraie dans les retraitements sismiques. Ce chapitre résume donc l'historique des retraitements effectués par Geopetrol S.A. ainsi que les interprétations successives depuis celles de E.A.P et en détaillant l'interprétation Geopetrol S.A. de janvier 2014 sur laquelle nous nous appuyons pour déposer la demande de renouvellement de la concession de Pézarches.

5.1.1 Interprétations structurales E.A.P

5.1.1.1 Interprétation 1993

La première interprétation de E.A.P a été réalisée en 1993 et sert d'élément d'implantation du forage vertical PZH1. Elle est présentée sur la Figure 6 ci-dessous. Cette interprétation structurale montre une structure fermée par failles et allongée selon un axe ouest – est.

La fermeture structurale de Pézarches est estimée à 25m ce qui est très proche des fermetures structurales des gisements de Nesles et de La Vignotte. On note toutefois que les failles qui ferment les structures sont pour la plupart orientées selon un axe ouest – est au contraire du secteur de Nesles, plus à l'ouest, où les failles sont orientée nord – sud et qui subit l'influence de la structure du gisement de Chaunoy. L'orientation structurale de Pézarches est liée à la proximité de la faille du pays de Bray localisée au nord du gisement de Pézarches et qui est un vaste accident de socle d'orientation N120E.

La structure de Pézarches n'est pas unique dans le secteur puisque les culminations de Villarceaux et de La Vignotte présentent des formes structurales très voisines et apparaissent en continuité avec la structure de Pézarches sur cette carte.

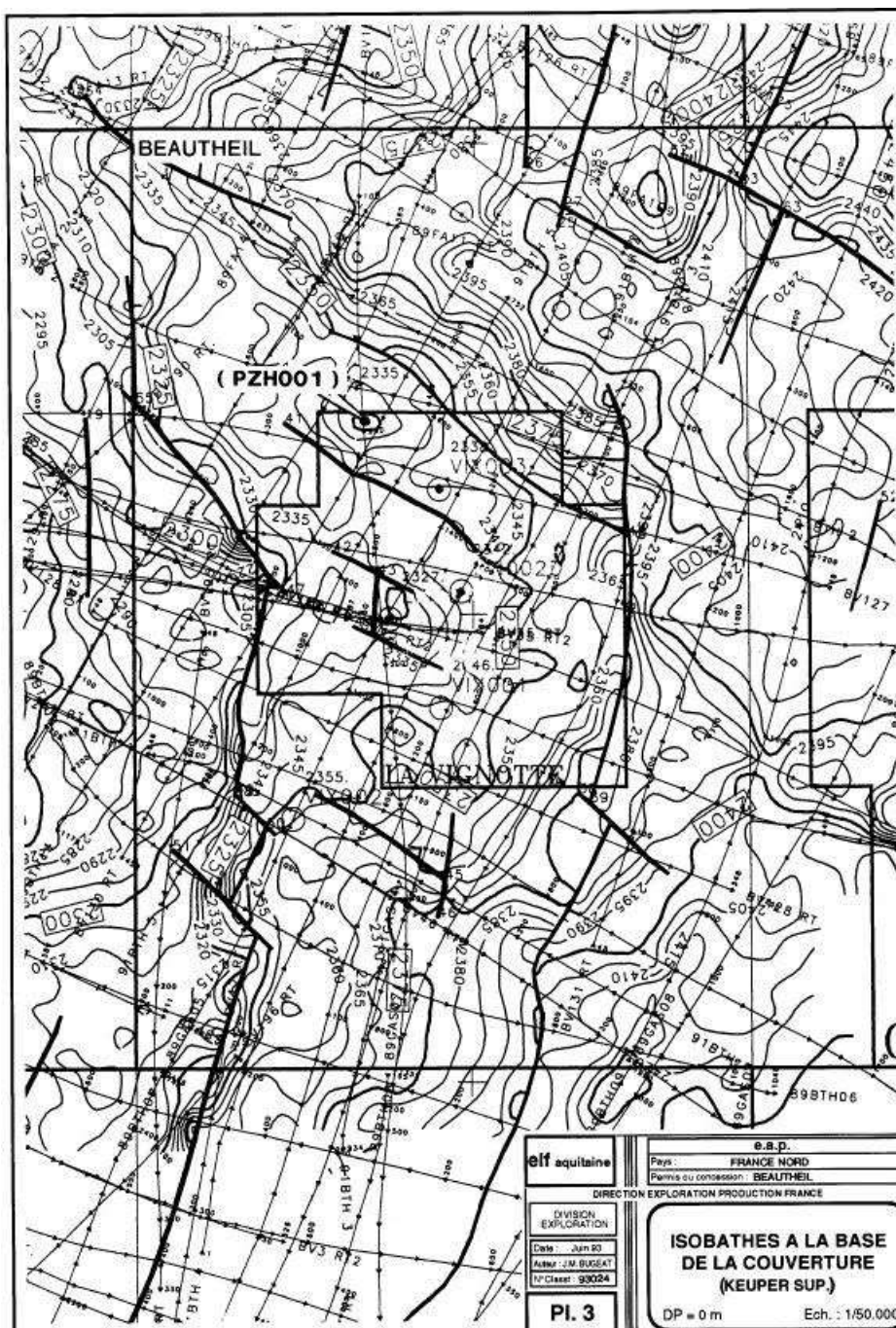


Figure 6 : Carte structurale du toit du Chaunoy. E.A.P 1993 (avant forage de PZH1)

5.1.1.2 Interprétation 1994

La deuxième interprétation de E.A.P fait suite au forage de PZH1 et à l'intégration de la côte réelle du Chaunoy, rencontré 1m plus haut que prévu d'après la carte structurale initiale. Cette carte est présentée ci-dessous sur la Figure 7. La hauteur du piège fermé est d'environ 30m conformément à la carte prévisionnelle. Cette bonne conformité entre prévisions et réalisations est liée à la fiabilité de la carte en isobathes du toit du Domérien, dont est déduite la carte « base de couverture » (Figure 7) par addition des isopaques aux puits voisins

La réinterprétation sismique réalisée après forage (Fig. 5) montre qu'à l'horizon sismique « base Couverture » (équivalent du toit de la formation Chaunoy), le gisement de Pézarches est bien identifié au nord de la carte et présente trois fermetures sur failles représentant une surface fermée d'environ 1.2km². Il est également possible d'envisager un seul piège structural comprenant les 2 gisements de Villarceaux et La Vignotte.

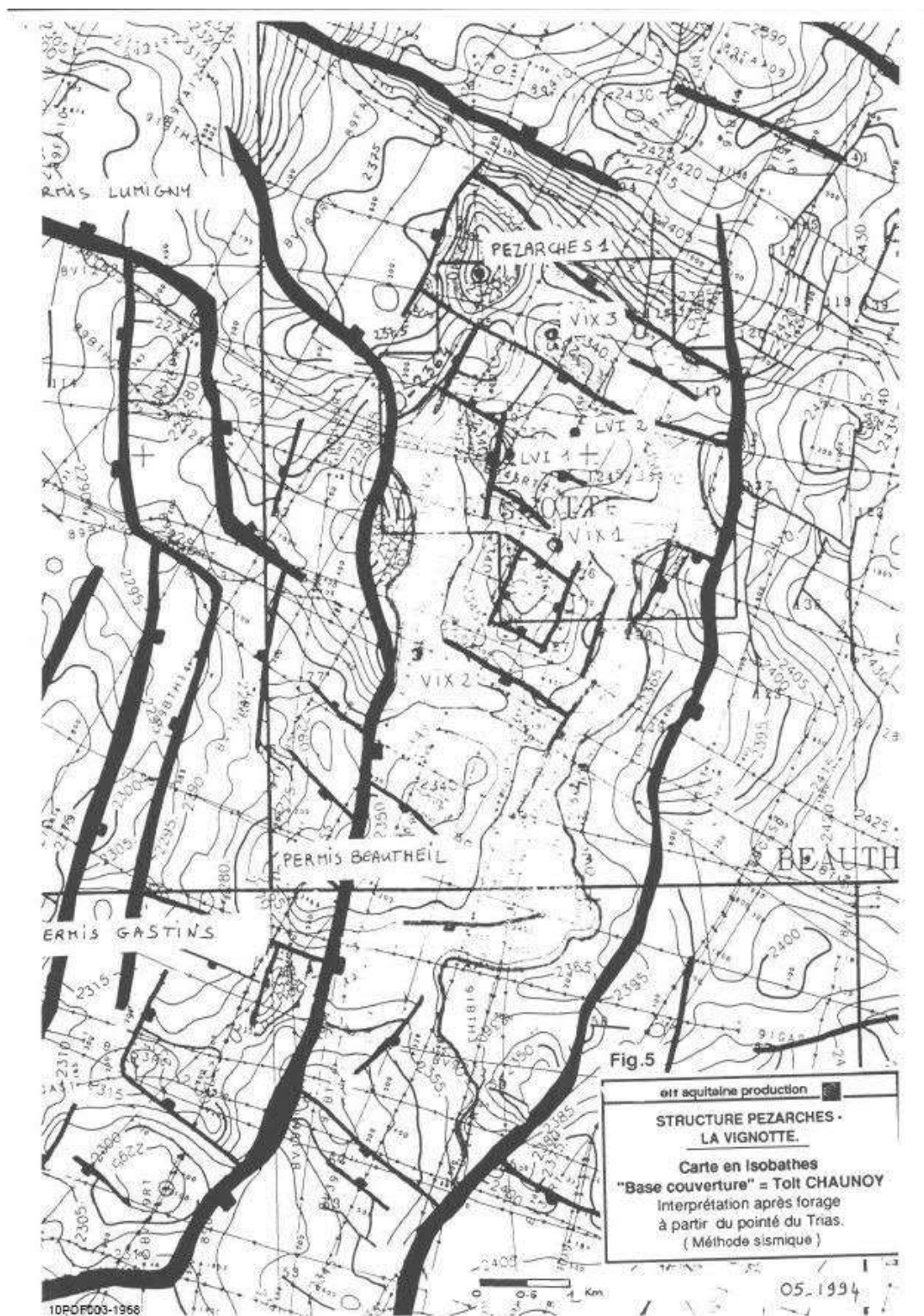


Figure 7 : Carte structurale du toit du Chaunoy. E.A.P 1994 (après forage de PZH1)

5.1.2 Interprétations structurales Geopetrol S.A.

5.1.2.1 Historique des retraitements sismiques Geopetrol S.A.

Les retraitements sismiques des lignes sismiques 2D réalisés par Geopetrol S.A. ont débuté dès 2001 et se sont poursuivis jusqu'en 2013 :

- Une première phase de retraitement de 44 lignes (650 kms) a eu lieu en 2001 par CGG en incluant les corrections statiques intra-craie réalisées à l'aide d'un modèle géologique ;
- Début 2013, un retraitement de 6 lignes (67 kms) et le traitement de 7 nouvelles lignes (150 kms) couvrant les concessions de Nesles – Pézarches – La Vignotte (NPL) ont été réalisés avec pour objectif principal la zone de redéveloppement du gisement de Nesles.

Les différents retraitements sur la zone NPL sont présentés sur la Figure 8 : retraitement « CGG 2001 » en gris, « NPL 2013 complément 6 lignes » en tirets bleus, « NPL 2013 nouvelles lignes » en tirets rouges. Les limites des concessions de Nesles, Pézarches et La Vignotte sont indiquées sur la figure.

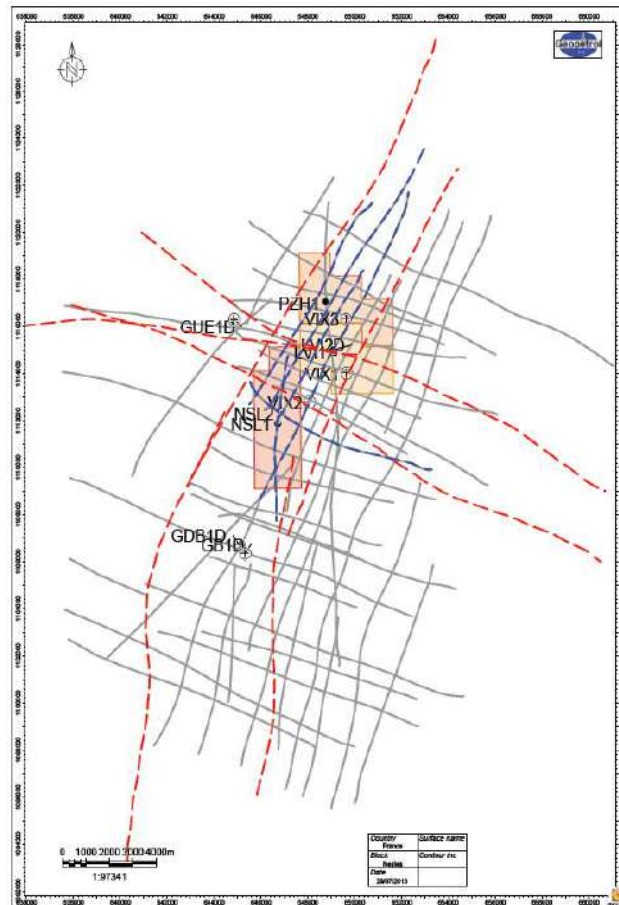


Figure 8 : les différents retraitements sismiques réalisés par Geopetrol S.A. sur la zone Nesles - Pézarches - La Vignotte.

5.1.2.2 Interprétation 2003

Une étape importante dans la mise à jour du modèle structural du gisement de Pézarches a été franchie avec le retraitement sismique de l'ensemble des lignes sismiques 2D de la zone en incorporant les corrections statiques intra-craie dans la séquence de traitement. Cette correction supplémentaire tient compte des variations parfois très importantes des vitesses sismiques dans la Craie du Crétacé Supérieur en relation avec la diagenèse que cette série a subi et qui a affecté les vitesses sismiques.

Ceci a donné lieu à une nouvelle carte structurale réalisée en 2001 puis complétée en 2003 par l'ajout de deux lignes supplémentaires dans le cadre des études sur l'ancien permis exclusif de recherche dit de « Rosay-en-Brie ». La carte structurale mise à jour en 2003 est présentée sur la Figure 9.

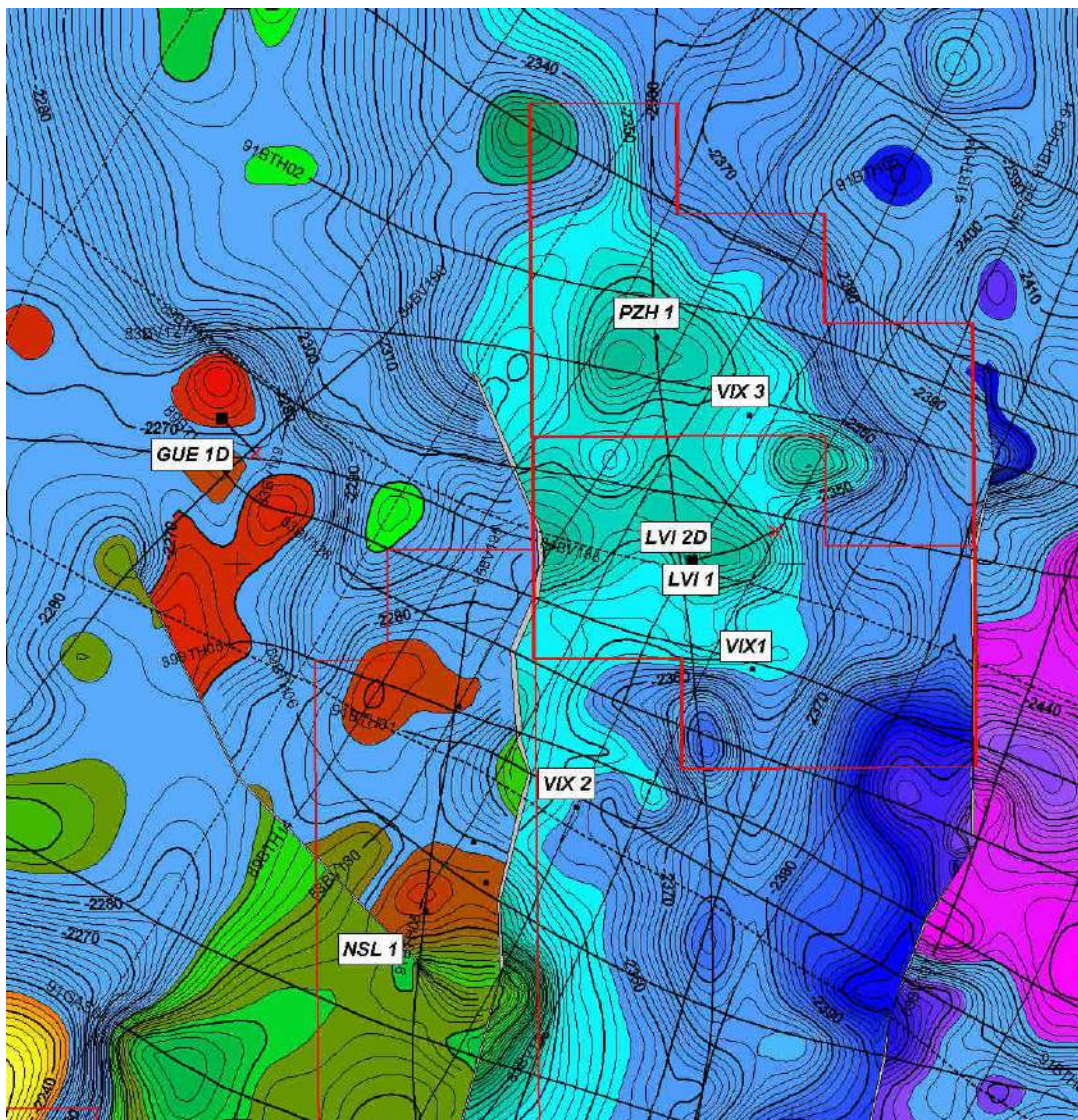


Figure 9 : Carte structurale du Chaunoy - secteur de Nesles – Pézarches – La Vignotte. Geopetrol 2003

La carte structurale 2003 montre que la structure de Pézarches est peu faillée contrairement à l'interprétation de E.A.P de 1993 et de 1994. La structure est fermée à l'ouest sur une faille orientée nord - sud et que les fermetures nord, est et sud se font sur contour. La fermeture structurale est plus réduite qu'auparavant puisque l'on passe de 25m de fermeture à moins de 20m.

5.1.2.3 Interprétation 2008

La réinterprétation systématique des lignes sismiques 2D sur les permis d'exploration et les concessions de Geopetrol S.A. dans le Bassin Parisien a conduit à homogénéiser la convention SEG Y inverse traditionnellement en usage en France ce qui a nécessité une rotation de phase des lignes concernées. En l'absence de cette convention, le pointé de certains horizons dont celui du toit du réservoir Chaunoy et du Trias sur la concession de Nesles avait été pointé trop bas. La nouvelle carte structurale du toit du Chaunoy est présentée sur la Figure 10 et montre une structure fermée commune aux puits Pézarches, Villarceaux et La Vignotte ce qui est conforme aux interprétations précédentes de Geopetrol 2003 et EAP 1993 et EAP 1995.

La structure de Pézarches fait partie d'un bloc structural intermédiaire entre le bloc haut de Nesles – Chaunoy à l'ouest et le bloc structurale bas de Rachée à l'est. Le piège structural de Pézarches conserve son orientation N120E et bien que non visible sur la sismique 2D, la fermeture du flanc nord est se fait très probablement contre faille dont l'orientation est identique à la faille du pays de Bray (N120E).

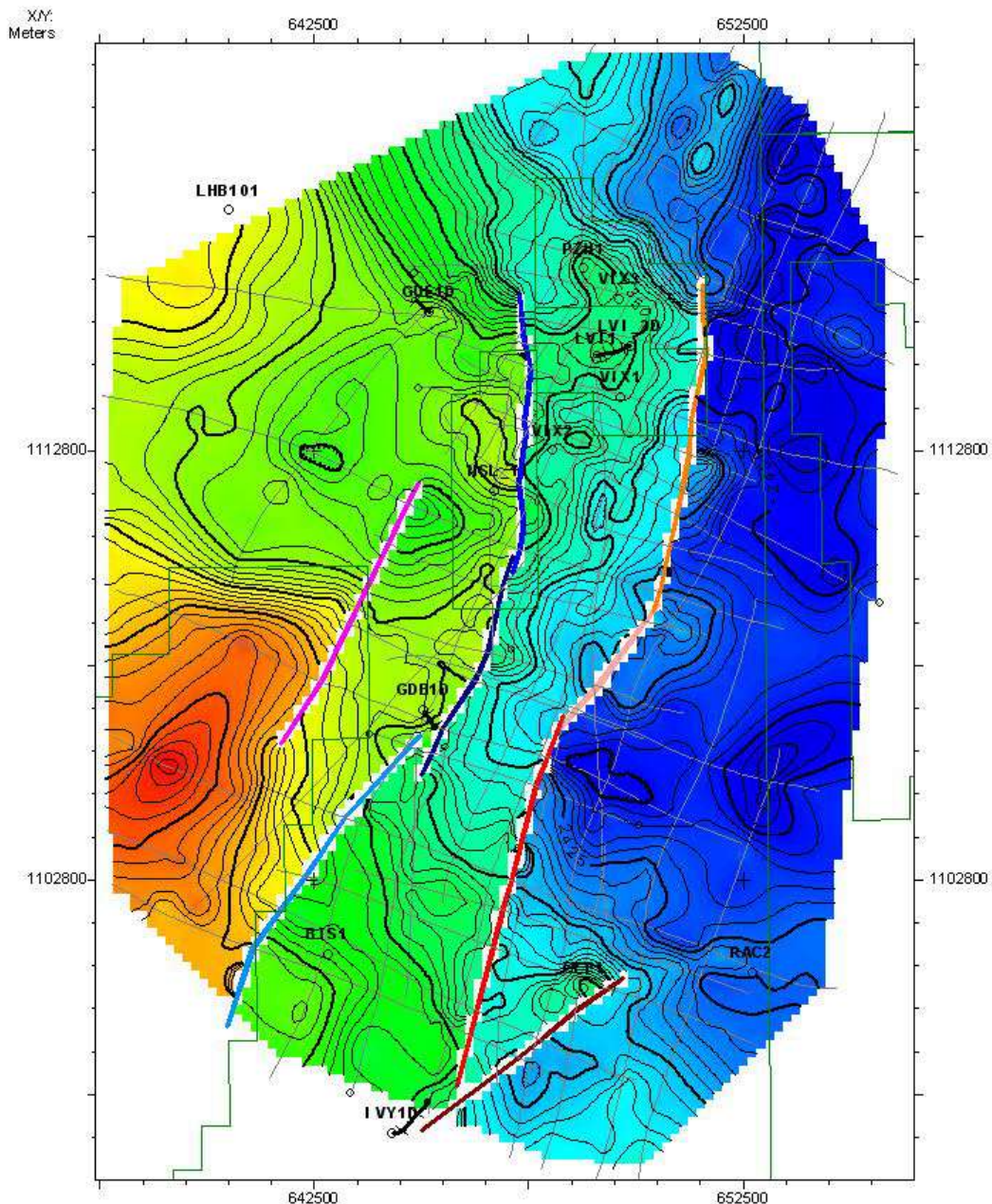


Figure 10 : Carte structurale du toit du Chaunoy, Geopetrol 2008

5.2 Propriétés du réservoir

La synthèse des données géologiques et réservoir de la zone Nesles – Pézarches – La Vignotte entreprise par Geopetrol S.A. depuis 2008 a été complétée par les données du puits NSL2ST foré en 2013, et ce afin de compléter note connaissance de la géologie du secteur (distribution des réservoirs, corrélations, environnement de dépôts, etc.) :

- Pour les données géologiques : mise à jour des marqueurs géologiques, interprétation des diagraphies, mise à jour des corrélations des principaux niveaux réservoirs sur les puits PZH1, NSL1, NSL2ST, La Vignotte1, La Vignotte 2D, Grand Breau1D, Guérlande1D, et les puits Villarceaux 1, 2 et 3 ;
- Pour les données de gisement : analyse des opérations menées sur le puits PZH1 (historiques de production, historiques des complétions), analyse des données de

pression, revue des tests de puits, analyse du contact huile-eau et son évolution, origine des arrivées d'eau ;

- Interprétation des données de production à la suite de l'opération de perforation d'un nouveau niveau réservoir (niveau 2 des corrélations Geopetrol)

Les analyses géologiques et des réservoirs ont montré qu'il est possible d'apporter une image synthétique et cohérente du comportement du gisement de Pézarches (voir chapitre 7).

5.2.1 Données géologiques et de réservoir

5.2.1.1 Environnement de dépôt

Ce chapitre est un rappel des conditions de dépôts régnant dans l'intervalle stratigraphique du Chaunoy mais qui illustre la complexité observée dans la répartition géographique des niveaux réservoirs et la difficulté de corréler les niveaux bancs à bancs entre deux puits proches.

Les dépôts du Chaunoy se sont formés il y a environ 220 Ma dans un environnement continental concomitant de la fin du démantèlement de la chaîne Hercynienne (Figure 11). Il s'agit de conglomérats et de grès de chenaux fluviatiles déposés dans la plaine alluviale d'un bassin sédimentaire dont la partie distale se situe à l'Est (le bassin Germanique).

Les études sédimentologiques réalisées par Geopetrol S.A. sur ses gisements du Bassin Parisien (Nesles, Pézarches, La Vignotte, Brie-Chartrettes, St Germain-Laxis et Sivry) présentent le Chaunoy sous la forme de chenaux en tresses irriguant une plaine alluviale silto-argileuse. Des lacs persistants dans la plaine alluviale permettent les dépôts les plus fins. Néanmoins, l'épaisseur importante de dépôts silto-argileux, le granoclassement des séquences conglomératiques et gréseuses, la présence de stratifications planes dans les dépôts de grès et la persistance des chenaux laissent penser qu'un système fluviatile méandrique a pu localement se mettre en place.

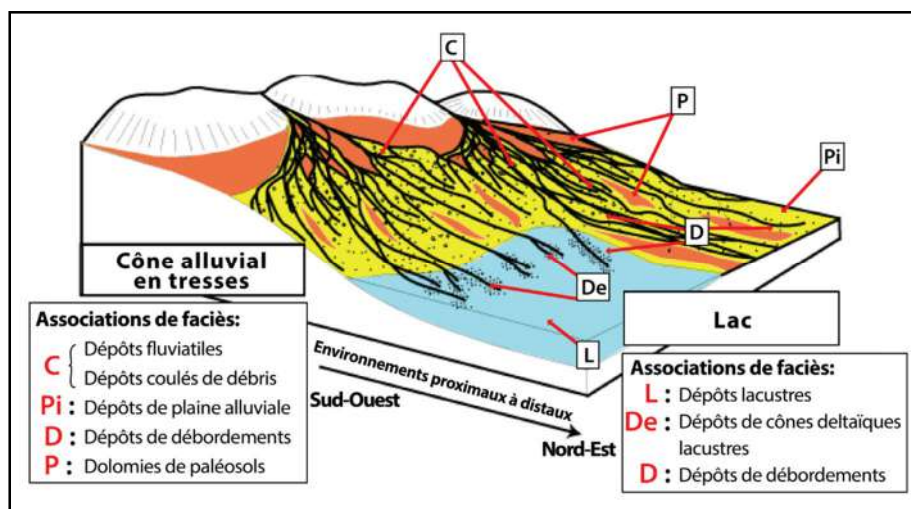


Figure 11 : Environnement type des dépôts du Chaunoy dans le secteur Nesles-Pézarches-La Vignotte

Ce système fluviatile fait de séquences chenalisantes grano-classées est présent sur l'ensemble du Chaunoy. Néanmoins, le sommet du Chaunoy (sur ses derniers 20 mètres) montre la raréfaction progressive des faciès gréseux (moins de matériel gréseux disponible) et le développement de faciès dolomitiques sous la forme d'une cimentation de l'espace poreux inter-cristallin mais également sous la forme de dépôt de dolomies parfois massives.

Un phénomène de dissolution affectant la dolomie et les ciments dolomitiques s'est mis en place, sans doute très rapidement après le dépôt des sédiments, provoquant la formation de grès dolomités vacuolaires et le développement de dolomies vacuolaires microfissurées (micro-karsts). Ces ensembles dolomitiques, initialement compacts, présentent d'excellentes perméabilités en dépit de porosités faibles et d'une grande hétérogénéité dans leur distribution verticale et latérale. Les grès vacuolaires ont à la fois une bonne porosité et d'excellentes perméabilités.

La série inférieure du Chaunoy dont l'épaisseur est d'environ 60m est constitué d'alternances de silts et de grès organisés dans des séries grano-classées. Ces grès sont poreux et très perméables dans les granulométries les plus grossières, les cimentations sont siliceuses. Bien que situés trop bas d'un point de vue structural pour présenter une saturation en hydrocarbure suffisante pour être mis en production, les niveaux de grès de la série inférieure ont souvent des épaisseurs pluri-métriques et présentent donc un intérêt pour la réinjection des eaux de gisement.

La Figure 12 ci-dessous illustre les principaux faciès présents dans l'intervalle du Chaunoy.

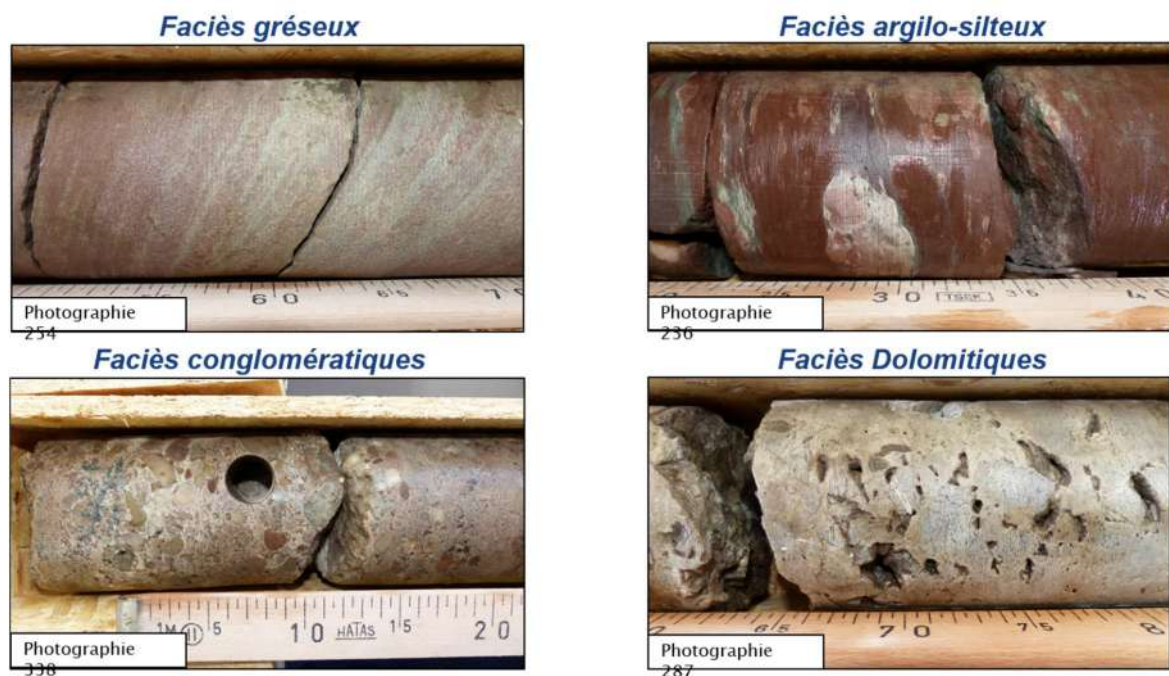


Figure 12 : Principaux faciès dans le Chaunoy de Nesles - Pézarches - La Vignotte

5.2.1.2 Corrélations des réservoirs

Au sein de chaque ensemble, les principaux niveaux réservoirs et les intervalles silto-argileux d'épaisseur suffisante se corrélaient aisément sur le puits PZH1 y compris sur les autres puits de la zone Nesles et La Vignotte tout en présentant un certain nombre de variations en matière d'épaisseur et de granulométrie des faciès gréseux, de richesse en silt/argiles, de changement latéral de faciès, etc. ce qui permet de définir des tendances régionales en matière de distribution et d'accumulation des grès.

La Figure 13 illustre les corrélations des principaux niveaux réservoirs mises à jour avec les données diagaphiques du puits NSL2ST et étendues au puits PZH1. La corrélation est

présentée en position structurale. Le puits Pézarches 1 est situé sur un bloc structural bas à environ 5km au nord des puits de Nesles mais présente une remarquable similitude tant au niveau des faciès que des différents niveaux réservoirs ce qui renforce l'image de niveaux gréseux d'extension décamétriques à kilométriques dans le secteur de Nesles – Pézarches – La Vignotte.

La Figure 14 montre un zoom des corrélations des quatre niveaux réservoirs principaux depuis NSL1 au sud-ouest jusqu'à PZH1 au nord-est. La corrélation est présentée en position stratigraphique au toit du Chaunoy. Sur cette figure, le niveau 1 est affiché en gris, le niveau 2 en orange, le niveau 3 en bleu et le niveau 4 jaune. On peut noter la quasi isopacité des différents niveaux réservoirs à l'exception du niveau 3 qui semble être plus fin au puits NSL2ST. La distribution des niveaux de grès poreux est globalement similaire d'un puits à l'autre indépendamment de la distance entre puits ce qui illustre la grande continuité des faciès dans le secteur Nesles – Pézarches.

On note toutefois l'augmentation du nombre de bancs de grès du Chaunoy et de leur porosité en direction de Pézarches vers nord-est du secteur étudié.

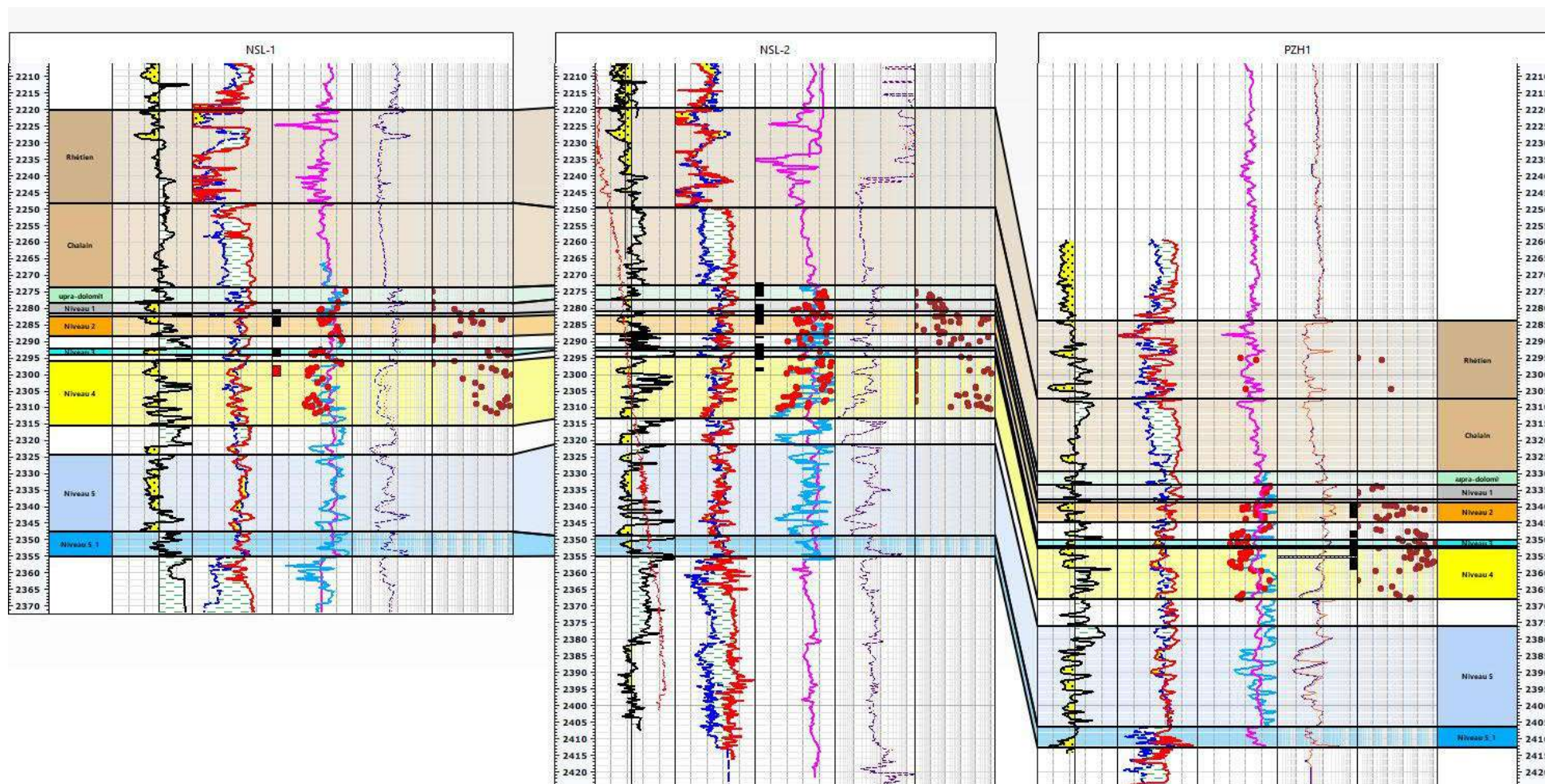


Figure 13 : Correlations des niveaux réservoirs 1, 2, 3 et 4 aux puits NSL1, NSL2ST et Pézarches

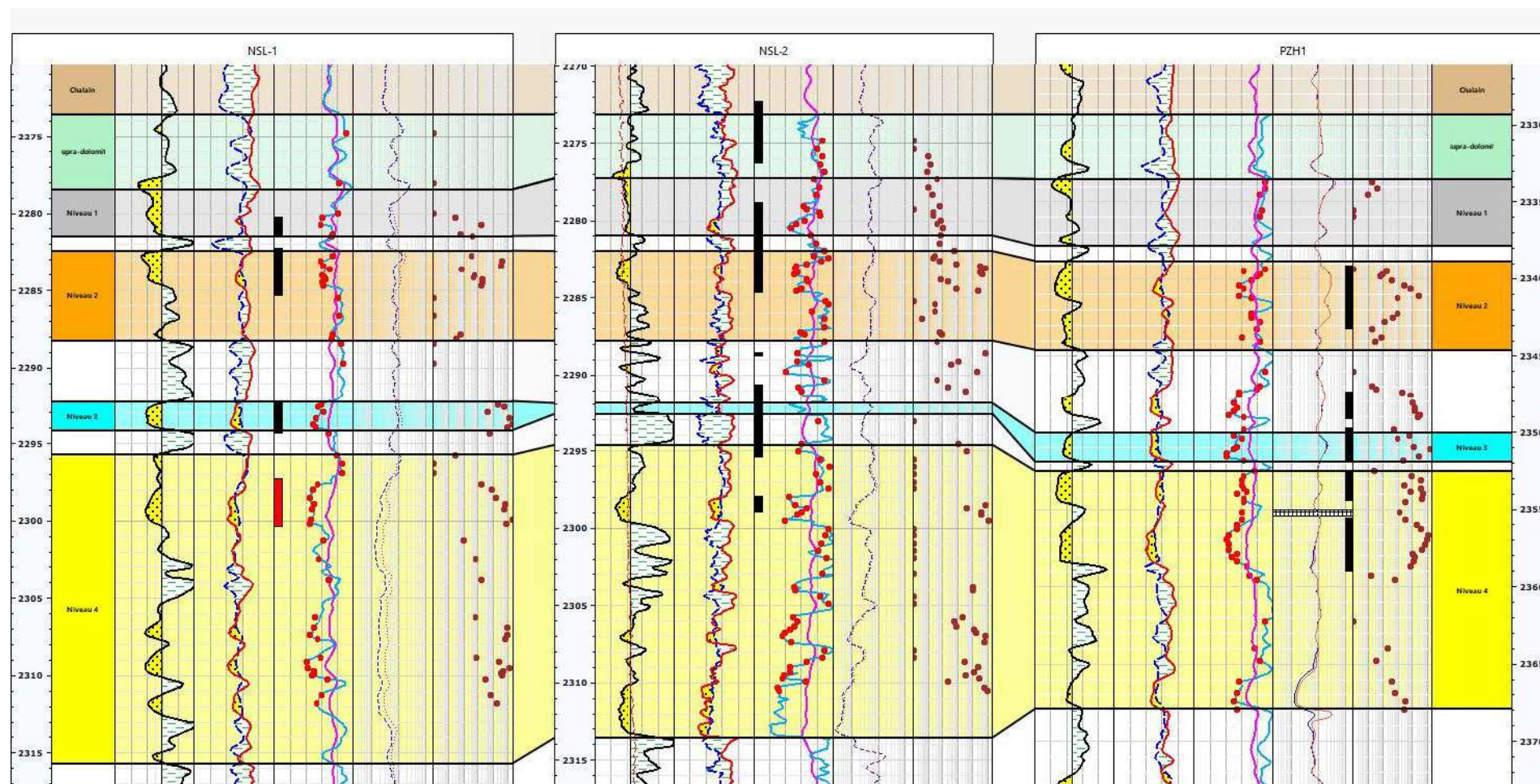


Figure 14 : Corrélation détaillée des niveaux réservoirs 1, 2, 3 et 4 aux puits NSL1, NSL2ST et Pézarches
(position stratigraphique au toit du Chaunoy)

5.2.2 Interprétations des diagraphies

L'interprétation des diagraphies du puits PZH1 et le calage avec les données de carottes a permis de calculer les caractéristiques pétrophysiques moyennes des réservoirs du Chaunoy qui sont présentées ci-dessous.

Le résultat de l'interprétation des diagraphies pour chacun des 4 niveaux réservoir est détaillé dans le tableau suivant. On peut noter que les propriétés pétrophysiques des différents niveaux 2, 3 et 4 du puits PZH1 sont relativement proches (épaisseur, *net to gross* - NTG, porosité effective) à l'exception du niveau 1 qui est majoritairement composé de dolomies et de grès dolomitiques compacts. Les saturations en eau sont similaires bien que la saturation dans le niveau 4 augmente légèrement en raison de la proximité du contact huile – eau initial identifié à -2364m/NM (extrême base du niveau 4) dans le puits PZH1.

	Epaisseur Totale (m)	Epaisseur nette (m)	NTG (%)	Vsh (%)	Porosité effective (Phie) (%)	Saturation initiale en eau (%)
Niveau 1	6.0	0	N/A	0.5	N/A	N/A
Niveau 2	10.4	3.6	34.6	1.6	12.5	27.9
Niveau 3	6.1	3.6	59.0	3.8	12.9	28.0
Niveau 4	20.5	3.5	17.1	3.1	16.2	33.7
Ensemble	43.0	10.7	24.9	2.7	13.8	30.1

5.3 Propriétés de l'huile

Une mesure des propriétés PVT de l'huile a été effectuée à partir d'un échantillon de fond récolté sur le puits voisin de La Vignotte 1 qui est également producteur sur les réservoirs du Chaunoy.

- Conditions de fond :
 - Pression de saturation : 112 bars à 115°C ;
 - Température du réservoir : 112°C ;
- Conditions de stockage :
 - Densité de l'huile : 0.854 g/cm³ @ 15°C ;
 - Densité du gaz : 0.775 g/cm³ @ 15°C ;
 - GOR : 61 m³/m³.
- Bo = 1.24 stb/stb ;
- μo = 0.73 cp @ en condition réservoir ;
- Co = 1.4E-4 bar-1 ;
- Cw = 0.48E-4 Bar-1 ;
- Cf = 0.61E-4 bar-1.

6 ESTIMATION DES RESERVES ET PERSPECTIVES DE PRODUCTION

6.1 Données historiques des réserves

Les données historiques disponibles sont issues des rapports d'études de l'opérateur E.A.P. Ces chiffres, présentés ci-dessous, sont basés principalement sur l'interprétation structurale initiale de 1993 (avant forage), puis de 1995 basée sur l'interprétation structurale qui a suivi le forage du puits PZH1 et sur la mise en production du puits en juin 1995.

Dans la première estimation datant de 1993, les structures de Pézarches, Villarceaux et La Vignotte apparaissaient en continuité ce qui explique un chiffre d'accumulation très important. Lors de la réinterprétation structurale à la suite du forage du puits PZH1, la structure de Pézarches est bien individualisée de celle de La Vignotte réduisant de fait le chiffre de l'accumulation. Par ailleurs, la mise en production du puits a montré la présence d'un aquifère actif ce qui se traduit par un facteur de récupération plus élevé que dans un gisement où l'expansion des fluides est le principal moteur de la production.

Les chiffres d'accumulation E.A.P en 1993 avant forage sont les suivants :

- Accumulation : 1 179 000 m³ ;
- Facteur de récupération estimé : 6.8% ;
- Réserves récupérables : 80 200 m³ ;

Les chiffres d'accumulation E.A.P en 1995 après forage et mise en production sont les suivants :

- Accumulation : 490 000 m³ ;
- Facteur de récupération estimé : 16.2% ;
- Réserves récupérables : 79 700 m³ ;

6.2 Analyse du gisement

6.2.1 Historique de la production

Le puits PZH1 a été mis en production en juin 1994. L'historique de production du puits PZH1 est présenté ci-sur la Figure 15. Cinq intervalles ont été perforés par E.A.P correspondant aux niveaux les plus poreux et les plus perméables : 2467 – 2468,7 m/TR, 2469,4 -2471,5 m/TR, 2472,2 – 2474,1 m/TR et 2475,3 – 2478,6 m/TR. Le pic de production d'huile de 73m³/j d'huile a été atteint en juillet 1994.

Pendant dix ans, la production totale du puits a augmenté passant de 40 m³/j à 60 m³/j en 2004 par augmentation du soutirage. Cependant le débit d'huile a baissé à 30 m³/j en 1995 avant de chuter à 10 m³/j en 2004 en raison de l'hydratation de la production. Afin de diminuer la production d'eau, les perforations les plus basses ont été isolées par Geopetrol en 2004 par la pose d'un bridge plug à 2474.7 m TR. Cette intervention a permis de diminuer le BSW de 80% à 60% et un gain d'huile de 5m³/j.

La poursuite de l'hydratation importante des niveaux inférieurs nous a conduit à perforer et acidifier une nouvelle zone située entre 2458,8m/TR à 2462,8 m/TR (niveau 2). L'intervention a eu lieu en février – mars 2013 et la zone perforée a été mise en production après isolation des perforations inférieures par la pose d'un RBP. Un gain d'huile significatif de 10 m³/j a alors

été constaté avec une baisse importante du BSW avant que la production ne cesse brutalement sur débit nul en mai 2013.

Une seconde intervention réalisée en juin 2013 a permis de remettre le puits en production avec un gain net de 3.6m³/j d'huile stabilisé par rapport à la production d'avant février 2013. A noter que le puits a été remis en production sur les zones nouvelles perforées mais également sur les anciennes perforations (très hydratées) ce qui s'est traduit par un BSW plus élevé lors de la remise en production par rapport à la situation de février – mars 2013.

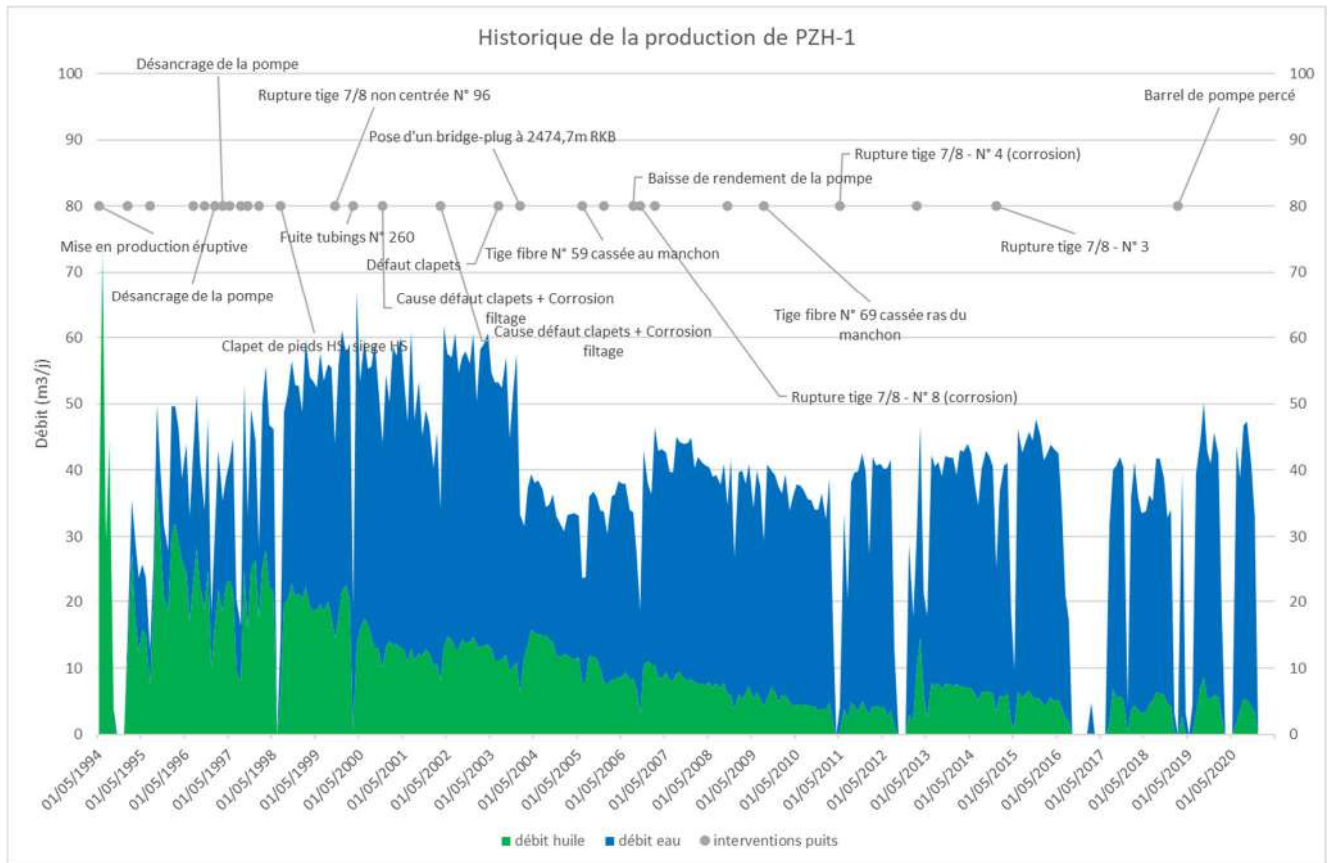


Figure 15 : Historique de production du puits PZH1

Depuis l'intervention de février 2013, la production d'huile suit un déclin relativement modeste d'environ 4% par an. Au 31/12/2020, le volume d'huile produit en cumulé par le puits PZH1 était de 97 126 m³ soit un facteur de récupération de 19.82%. Le puits PZH1 a été arrêté début 2021 pour la réalisation de travaux de modernisation des installations de surface. Depuis le redémarrage des installations en février, la production d'huile est d'environ 6 m³/j avec un BSW moyen de 87%.

6.2.2 Analyse des pressions du gisement et indice de productivité

La pression initiale du gisement a été mesurée en 1994 à 254.5bars à -2350m / NM (sommet du niveau 3). L'indice de productivité du puits a été mesuré lors des tests de production en 1994 avec une valeur de 1.7 m³/j/bar ce qui traduit une excellente perméabilité des réservoirs.

En février 2013, lors de la reprise du puits, la pression statique a été mesurée par jauges à 238.4b à -2350m / NM ce qui indique qu'il y a eu légère déplétion de 6 bars du gisement.

La pression statique est également suivie lors des arrêts de puits par la mesure des remontées de niveau liquide dans l'espace annulaire EA0 (Figure 16). La donnée la plus récente date de juillet 2020 et indique une pression statique de 222 bars à -2350m / NM. La déplétion est donc d'environ 32 bars cohérente ce qui est modeste par rapport à la pression initiale. Cette baisse de pression est cohérente avec la forte production du puits et la présence d'un aquifère actif qui maintient la pression.

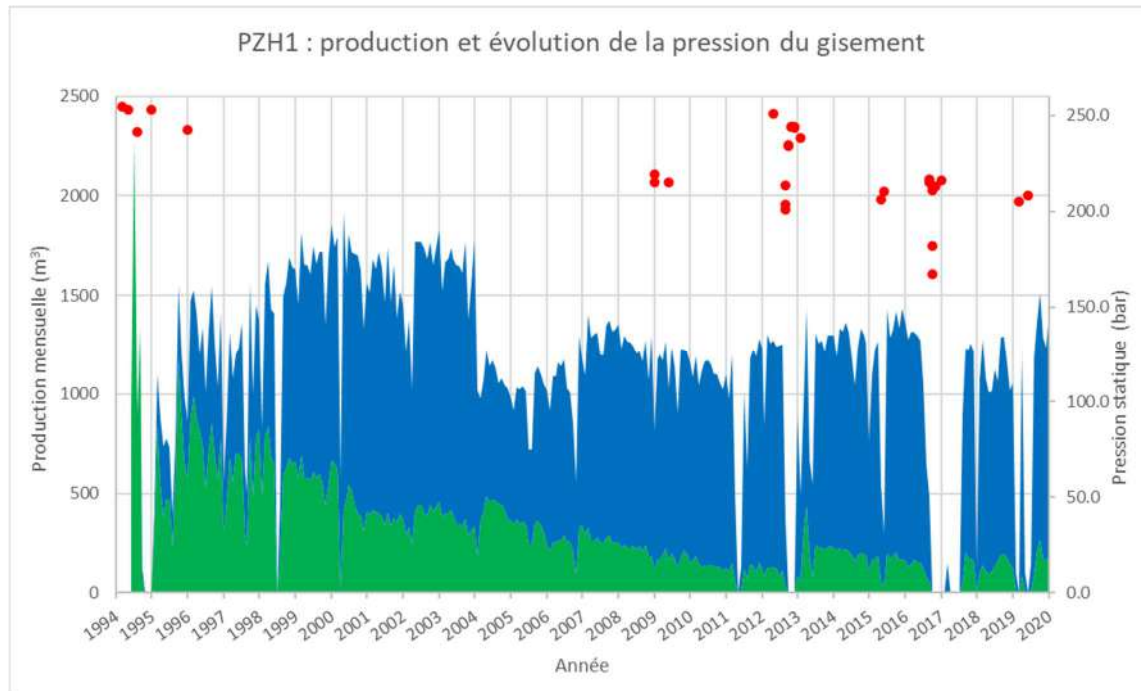


Figure 16 : Historique des mesures de la pression statique - PZH1

6.2.3 Conclusions sur le comportement des puits PZH1

L'analyse de l'historique de production du puits PZH1, le suivi de la pression du réservoir et la réinterprétation des différentes données de géosciences ont montré que les réservoirs poreux et perméables du Chaunoy ont une grande extension latérale et qu'ils bénéficient d'un bon maintien de pression par la présence d'un aquifère actif. Ceci assure un excellent facteur de récupération qui atteint quasiment 20% au 31/12/2020 et un volume cumulé d'huile produit de 97 126 m³.

Par ailleurs, la perforation en 2013 d'un niveau réservoir (niveau 2) a donné de très bons résultats en termes de gains d'huile. Enfin, les arrêts du puits liés à des problèmes mécaniques se sont fortement réduits depuis 2013 avec l'ancrage du tubing de production. Ainsi, les données dont nous disposons indiquent que la production d'huile peut se poursuivre à un rythme proche de la production actuelle.

6.3 Perspectives de production

Les perspectives de production sont issues de l'analyse des déclinés de productions qui est réalisé sur la base de l'historique de production du puits PZH1. Le déclin de production est calé sur trois modèles :

- Déclin exponentiel : $Q(t) = Q_i * e^{(-D*t)}$
- Déclin hyperbolique : $Q(t) = \frac{Q_i}{(1+b*D*t)^{\frac{1}{b}}}$
- Déclin harmonique : $Q(t) = \frac{Q_i}{1+D*t}$

avec :

t : temps [mois]

$Q(t)$: débit d'huile au mois t [m³/j]

Q_i : débit d'huile initial [m³/j]

b : facteur hyperbolique

D : facteur de déclin mensualisé

Ces déclin sont propres au puits PZH1 et chacun d'entre eux peut être assimilé à une catégorie de réserve. Ainsi le modèle exponentiel s'assimile souvent à la catégorie 1P (prouvé), le modèle hyperbolique au 2P (probable) et finalement le modèle harmonique au 3P (possible). Les données de production d'huile annuelles fournies dans les tableaux ci-dessous correspondent aux prévisions de production « prouvé » (1P) et « probable » (2P). Les déclin harmoniques (3P) ne sont pas présentés dans les tableaux de prévisions de production car ils correspondent à la catégorie la moins probables.

Ces prévisions se basent sur un fonctionnement à 100 % de nos installations (puits et surface) et en considérant un débit liquide (soutirage) constant de 49m³/j. De plus, nous estimons que le puits PZH1 pourrait voir sa production d'huile augmenter sur la période 2021 – 2022 grâce à la modernisation des installations de surface qui permettent d'ores et déjà un fonctionnement du puits à pleine capacité y compris les week-ends. On rappelle enfin que dans le cas de PZH1, le profil de déclin de l'huile est directement lié à l'augmentation du BSW dans la production.

Les prévisions de production du puits PZH1 pour la catégorie la plus probable (1P) sont présentées sur la Figure 17 ci-dessous et illustrées sous forme de graphe sur la Figure 18.

Année	Débit huile (m3/an)	Débit huile (m3/jour)	Débit eau (m3/j)	Débit liquide (m3/j)	BSW (%)
2021	1 974	5.4	43.6	49	89.0%
2022	2 071	5.7	43.3	49	88.4%
2023	1 989	5.4	43.6	49	88.9%
2024	1 910	5.2	43.8	49	89.3%
2025	1 834	5.0	44.0	49	89.7%
2026	1 761	4.8	44.2	49	90.2%
2027	1 691	4.6	44.4	49	90.5%
2028	1 624	4.4	44.6	49	90.9%
2029	1 559	4.3	44.7	49	91.3%
2030	1 497	4.1	44.9	49	91.6%
2031	1 438	3.9	45.1	49	92.0%
2032	1 380	3.8	45.2	49	92.3%
2033	1 326	3.6	45.4	49	92.6%
2034	1 273	3.5	45.5	49	92.9%
2035	1 222	3.3	45.7	49	93.2%
2036	1 174	3.2	45.8	49	93.4%
2037	1 127	3.1	45.9	49	93.7%
2038	1 082	3.0	46.0	49	93.9%
2039	1 039	2.8	46.2	49	94.2%
2040	998	2.7	46.3	49	94.4%

Figure 17 : Tableau de prévisions de production de PZH1 – profil 1P

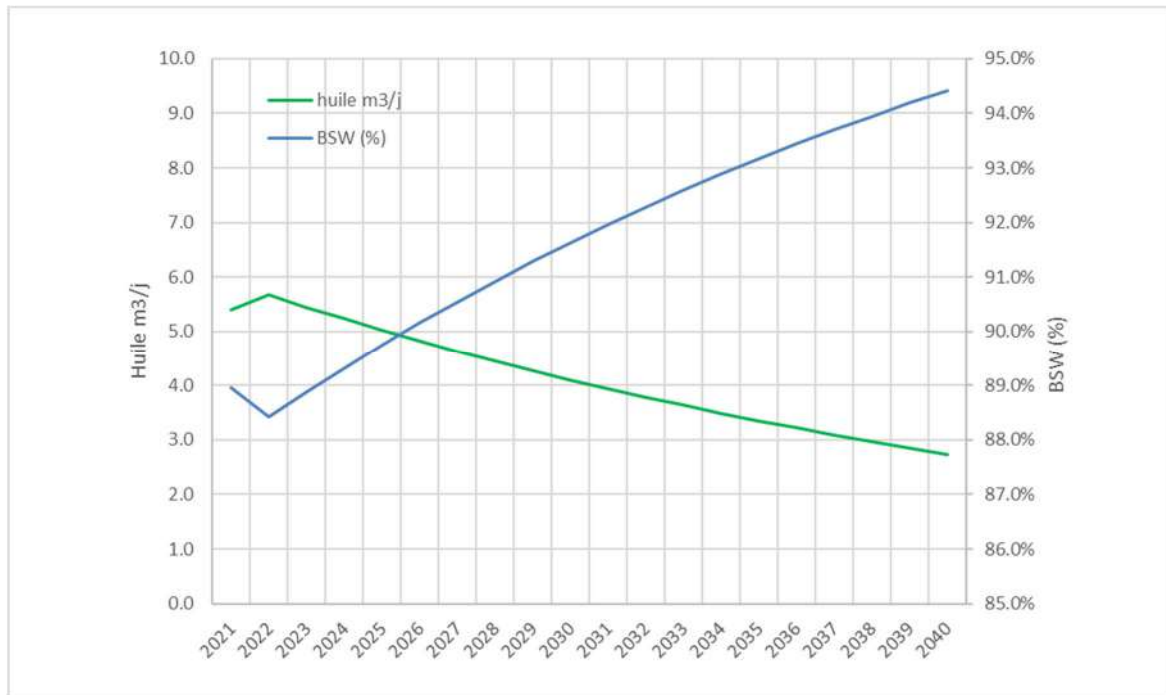


Figure 18 : Graphe de prévisions de production huile et BSW de PZH1 – profil 1P

En 2040, la production d'huile journalière selon le déclin 1P (scénario conservateur) serait de 2.7m3/j avec un BSW de 94.4%. Le déclin moyen du puits sur cette période serait de 4.5% par an. Les réserves techniques récupérables ultimes au 31/12/2020 associées au scénario 1P est de 46 954 m3. Ce chiffre est obtenu en considérant une production sur 50 ans et une limite minimale de production fixée à 1bbl/j.

Les prévisions de production du puits PZH1 pour la catégorie probable (2P) sont présentées ci-dessous.

Année	Débit huile (m3/an)	Débit huile (m3/jour)	Débit eau (m3/j)	Débit liquide (m3/j)	BSW (%)
2021	1 970	5.4	43.6	49	89.0%
2022	2 059	5.6	43.4	49	88.5%
2023	1 971	5.4	43.6	49	89.0%
2024	1 888	5.2	43.8	49	89.4%
2025	1 811	5.0	44.0	49	89.9%
2026	1 739	4.8	44.2	49	90.3%
2027	1 672	4.6	44.4	49	90.7%
2028	1 608	4.4	44.6	49	91.0%
2029	1 549	4.2	44.8	49	91.3%
2030	1 492	4.1	44.9	49	91.7%
2031	1 439	3.9	45.1	49	92.0%
2032	1 389	3.8	45.2	49	92.2%
2033	1 341	3.7	45.3	49	92.5%
2034	1 296	3.6	45.4	49	92.8%
2035	1 254	3.4	45.6	49	93.0%
2036	1 213	3.3	45.7	49	93.2%
2037	1 175	3.2	45.8	49	93.4%
2038	1 139	3.1	45.9	49	93.6%
2039	1 104	3.0	46.0	49	93.8%
2040	1 071	2.9	46.1	49	94.0%

Figure 19 : Tableau de prévisions de production de PZH1 – profil 2P

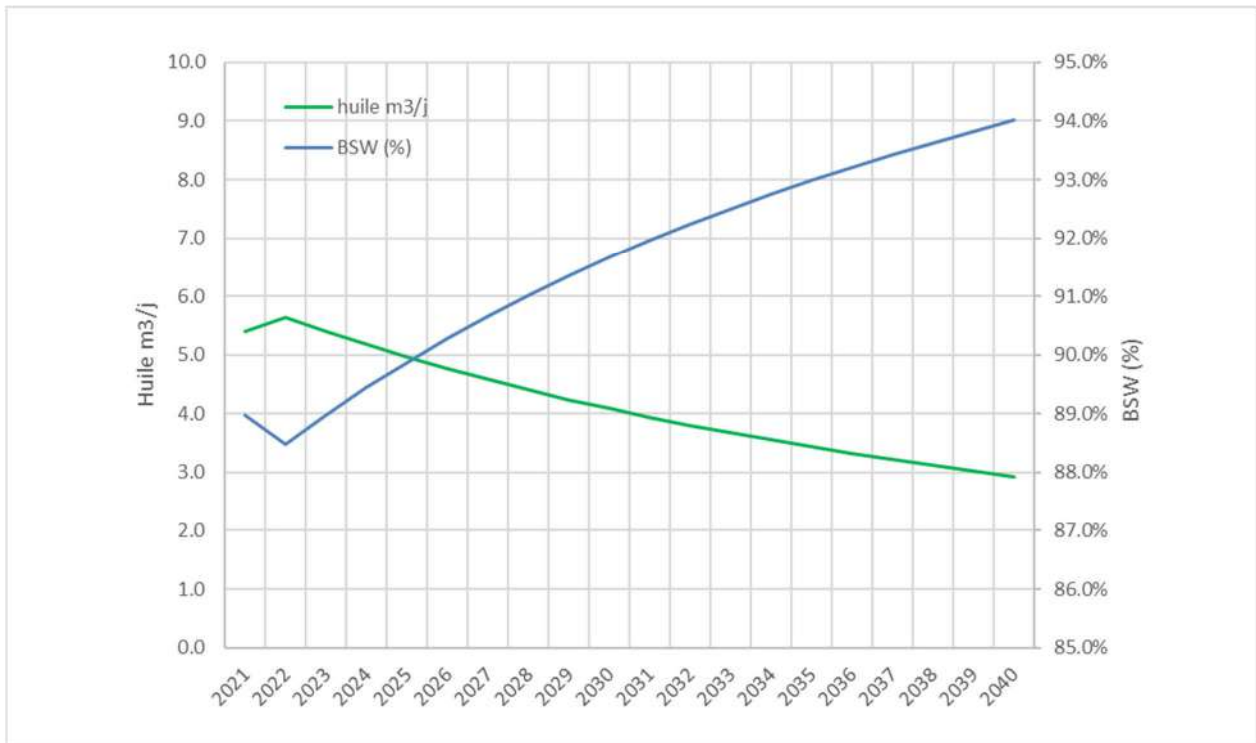


Figure 20 : Graphique de prévisions de production huile et BSW de PZH1 – profil 2P

En 2040, la production d'huile journalière selon le déclin 2P (prévision plus optimiste) serait encore de 2.9 m³/j avec un BSW de 94%. Le déclin moyen du puits serait de 4% par an. Les réserves techniques récupérables ultimes au 31/12/2020 associées au scénario 2P est de 52 220 m³. Ce chiffre est obtenu en considérant une production sur 50 ans et une limite minimale de production fixée à 1 bbl/j.

6.4 Conclusions

- L'historique de la production et des opérations menées sur le gisement de Pézarches, producteur d'huile à partir du puits PZH1, nous permettent d'envisager une poursuite réaliste de la production jusqu'en 2040 :
 - Le puits PZH1 est un producteur d'huile en continu depuis sa mise en production en juin 1994. E.A.P a d'abord été l'opérateur de juin 1994 jusqu'à fin 1996 puis Geopetrol à partir de janvier 1997 assurant ainsi l'essentiel de la production. Au 31/12/2020, le volume cumulé d'huile produit par le puits PZH1 était de 97 126 m³ et le facteur de récupération était proche de 20%. La production d'huile actuelle (mars 2021) est 6m³/j avec un BSW de 87%.
 - Les opérations d'isolation des réservoirs hydratés en 2008 et de perforation d'un nouveau réservoir du Chaunoy en 2013 ont toutes les deux été couronnées de succès en permettant de limiter l'hydratation de la production et d'augmenter durablement la production d'huile.
 - Les prévisions de production sont réalisées en utilisant la méthode des déclin de production basés sur l'historique de production du puits PZH1. Deux scénarios ont été établis : l'un est conservateur (1P), l'autre est un peu plus favorable (2P).
 - Selon le scénario conservateur 1P, la production d'huile du puits PZH1 en 2040 resterait conséquente (2.7m³/j pour un BSW de 94.4% correspondant à un facteur de récupération de 25.9%). Selon le scénario 2P, la production d'huile serait en 2040 de 2.9m³/j avec un BSW de 94% soit un facteur de récupération de 26%.
 - Les deux prévisions sont proches ce qui se reflète également dans le déclin moyen de production qui est très faible pour le puits PZH1 : déclin de 4.5% pour le scénario 1P et déclin de 4% pour le scénario 2P. Au 31/12/2020, les réserves techniques récupérables ultimes 1P sont de 46 954 m³ et de 52 220 m³ dans le scénario 2P.
- En parallèle de ces projets pétroliers, Geopetrol a initié des réflexions préliminaires sur l'éventuel potentiel de reconversion du gisement et de la plateforme. Deux études (projet VALOR du BRGM et calcul de la puissance calorifique par un cabinet d'étude spécialisé) ont analysé le potentiel de valorisation de la chaleur issue de l'eau de gisement sur la concession de Nesles, voisine de la concession de Pézarches (5 kms). Les puits de Nesles sont exploités dans les mêmes réservoirs du Chaunoy que le puits PZH1. La proximité de ces concessions et les conclusions de ces études nous incitent à considérer une gestion mutualisée des eaux de ces gisements et poursuivre l'analyse d'une éventuelle valorisation commune de leurs calories.

7 DESCRIPTION DES TRAVAUX D'EXPLOITATION ENVISAGES

Compte tenu de l'ensemble des éléments présentés précédemment, aucun projet d'investissement lourd n'est programmé sur la concession de Pézarches. De même, aucun nouveau forage (production ou injection) n'est prévu durant la période de prolongation de la concession.

La modernisation de nos installations de surface réalisée en 2020-2021 a permis d'optimiser la production notamment lors des week-ends et de faciliter la logistique d'expédition du pétrole brut compte tenu de l'annonce de l'arrêt de la raffinerie de Grandpuits par le groupe Total.

Les opérations habituelles de maintenance seront entreprises afin de veiller au bon fonctionnement des installations de la plateforme et à la productivité du puits de Pézarches.

8 POTENTIEL DE RECONVERSION ET CESSATION D'ACTIVITE

Dans le cadre de la présente demande de renouvellement, Geopetrol a déjà amorcé une réflexion sur un éventuel potentiel de reconversion du gisement. A ce titre, deux études préliminaires (dont une avec le BRGM) analysé l'existence d'un potentiel de valorisation de la chaleur issue de l'eau de gisement ont été initiées sur la concession de Nesles qui est situées à moins de 5km de la plateforme de Pézarches. La proximité de ces concessions et les conclusions de ces études nous incitent à considérer une gestion mutualisée des eaux de ces gisements et poursuivre l'analyse d'une éventuelle valorisation commune de leurs calories.

A l'issue de l'exploitation du gisement et dans le cas où aucune reconversion du gisement et/ou des puits n'est réaliste, Geopetrol procédera, conformément à la réglementation minière, au bouchage du puit. Le démantèlement des installations associées sera mené en prenant compte les éventuels souhaits des propriétaires des terrains.

Le coût du bouchage du puit et du démantèlement des installations associées est évalué à un montant global de 250 000 €.

9 EQUILIBRE ECONOMIQUE DU PROJET

Compte tenu des de la modernisation et de l'optimisation des installations sur la plateforme de Pézarches ainsi que des mutualisations de coûts avec les champs proches du Bassin Parisien déjà exploités par Geopetrol, le coût d'exploitation moyen est estimé autour de 35€ par baril produit, ce qui permet d'anticiper l'équilibre du projet à partir d'un prix du Brent à 45\$ par baril.