

Bilan de 25 années de prospection des aquifères de socle en Nouvelle-Calédonie

The results of 25 years of Hard-Rock Aquifers explorations in New Caledonia Is.

Lebon David¹; Caze Nicolas¹; Peltier Jean¹; Yves Hmae¹; avec la collaboration de Jean-Jacques
Espirat², Michel Vandenbeusch³ et Jacques Leguéré²

(1) A2EP ; (2) Expert géologue ; (3) Expert hydrogéologue

a2ep@a2ep.nc ; david.lebon@a2ep.nc

I. CONTEXTE DES PROSPECTIONS HYDROGEOLOGIQUES EN NOUVELLE-CALEDONIE

La prospection hydrogéologique des aquifères de socle en Nouvelle Calédonie fait partie des activités historiques du bureau d'étude A2EP (Agence pour l'Eau et l'Environnement du Pacifique), créé en 1987, après la fusion entre GEOCAL (cabinet d'ingénierie privé) et le BRGM.

Cette activité a été initiée par le BRGM dans les années 60 à 80, pour les besoins de travaux de reconnaissance des aquifères calédoniens. Les prospections, avec l'implantation de cibles de forage, se sont ensuite largement généralisées à partir du début des années 90, sous l'impulsion d'A2EP (notamment de l'hydrogéologue Eric Gouachet), pour la recherche d'eau pour les particuliers, les communes et provinces.

La méthode de prospection est basée sur les deux étapes principales suivantes :

- une **analyse bibliographique et recherche de linéaments** par photo-interprétation sur la zone d'étude ;
- la réalisation de reconnaissances géologiques de terrain et réalisation **d'investigations géophysiques par les méthodes électriques**, pour la validation des linéaments et l'implantation ou non d'une cible de forage.

A l'issue de l'étape de prospection, les travaux de forages sont engagés sur la cible retenue. Si les résultats du forage sont positifs, ce dernier est équipé et un court test par pompage (4 heures en moyenne) est alors réalisé pour tester la capacité de l'ouvrage.

Compte tenu de la superficie relativement importante du territoire calédonien et de l'enclavement des parcelles (raccordement impossible au réseau public et absence de point d'eau de surface), le forage constitue souvent la seule ressource en eau accessible et pérenne pour les besoins en eau agricoles et domestiques d'une propriété non urbaine. La prospection hydrogéologique reste encore aujourd'hui un outil indispensable au développement des parcelles et régions agricoles en Nouvelle-Calédonie.

Nous présentons ici un bilan des résultats de plus de 25 années de prospection des aquifères de socle calédonien, qui permet de fournir un certain nombre de traits caractéristiques ainsi que des guides pour la prospection de ces aquifères.

II. PRESENTATION SOMMAIRE DES METHODES GEOPHYSIQUES DE PROSPECTION

La validation d'une cible potentielle de forage préalablement identifiée par l'étude bibliographique et la recherche de linéaments se fait au moyen d'une prospection géophysique par une méthode ou un combiné des méthodes électriques suivantes.

- 1- **Le trainé électrique** : le dispositif adopté dans nos prospections permet de mettre en évidence les discontinuités latérales de résistivité, entre 20 et 30 m de profondeur. Cette méthode permet plus particulièrement de valider ou non l'existence des linéaments préalablement identifiés par la photo-interprétation. Le trainé électrique est donc **systématiquement mis en œuvre** pour la prospection des aquifères de socle.
- 2- **Le sondage électrique vertical** : le dispositif de mesure adopté permet d'atteindre une profondeur d'investigation moyenne de l'ordre de 30 m. Le sondage électrique vertical **n'est pas réalisé systématiquement** lors de la prospection. Il intervient en complément dans des contextes particuliers : sites proches du littoral, pour le contrôle de la position du biseau salé, sites dont la densité de linéaments est faible ou absente.
- 3- La **tomographie de résistivité électrique 2D** : les profondeurs d'investigation habituellement adoptées sont comprises entre 30 et 50 m de profondeur. La tomographie électrique, qui est une méthode plus lourde à mettre en œuvre et donc plus coûteuse, est déployée occasionnellement dans nos prospections pour l'implantation d'ouvrages à forts enjeux : forages AEP, à usage industriel ou de contrôle du biseau salé.

Les méthodes du trainé électrique et du sondage électrique vertical qui sont relativement faciles à déployer correspondent donc aux méthodes habituellement mises en œuvre pour l'implantation et la validation de cibles de forages pour des particuliers (dans la majorité des cas), des industriels ou des collectivités.

III. PRESENTATION ET ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES

III. 1 Contenu de la base de données exploitée

A2EP dispose d'une base de données de 349 ouvrages, implantés dans les aquifères de socle calédoniens (aquifères des formations géologiques altérées) et suivant la méthode de prospection présentée ci-dessus.

Ces données sont issues (i) des retours de prospection du BRGM, entre 1966 et 1987 (80 ouvrages) ; (ii) des archives d'A2EP, qui tient à jour depuis 1987, une base de données des résultats des prospections réalisées (269 ouvrages disponibles). Ces données ont été collectées par A2EP auprès des propriétaires, foreurs, ou des institutions, via les bases de données existantes. Cette base de données n'est pas exhaustive mais peut être considérée comme un échantillon représentatif des forages réalisés dans ce type d'aquifère sur le territoire calédonien depuis plus de 25 ans, puisque c'est l'une des plus importantes disponible.

Les principales données disponibles et exploitées sont les suivantes : (i) la **direction des linéations primaires** et secondaires (quand elles existent) au droit du point de forage ; (ii) les **données sur l'ouvrage** : profondeur et débit maximal de pompage sur l'ouvrage ; (iii) la **transmissivité** de l'aquifère, s'il a été testé par pompage ; (iv) la nature **litho-stratigraphique** de l'aquifère capté (tableau 1). Les graphiques issus de l'analyse des données sont présentés en annexe du document et commentés dans les paragraphes ci-après.

III. 2 Contexte géologique des ouvrages

D'après Espirat (1967), la Nouvelle-Calédonie constitue un ensemble géologique relativement complexe, essentiellement formé de terrains sédimentaires et éruptifs, plus ou moins plissés et métamorphisés, qui restent imperméables à l'état sain. Le territoire calédonien se caractérise donc par l'existence de petites nappes superficielles, peu épaisses, qui se développent principalement dans les formations alluviales, dans les calcaires et **dans les terrains altérés et plus ou moins fracturés des formations géologiques**. Ces dernières se singularisent, en Nouvelle-Calédonie, **par une grande diversité lithologique et stratigraphique**.

Les caractéristiques lithostratigraphiques des unités géologiques prospectées et la répartition de nos forages au sein de ces différents réservoirs géologiques sont présentées de manière synthétique dans le tableau 1 ainsi que sur la carte géologique au 1/500 000^{ème} de la figure 1, d'après Maurizot P. (2009).

	Unité géologique	Lithologie	Stratigraphie	Nbre de forage	Ouvrages positifs	
					Prof. moy. (m)	Débit moyen (m ³ /h)
Ophiolite	1- Nappe des péridotites	Péridotites indifférenciées, Serpentinites	Crétacé supérieur à Eocène	36	32	6.3
	2- Formation volcanique de Poya	Basaltes et dolérites indifférenciés	Crétacé supérieur – Paléocène	61	29	6.8
Couverture sédimentaire	3- Unités sédimentaires du Paléogène	Flysch carbonaté, Flysch volcanoclastique, Wild Flysch	Eocène à Oligocène inférieur	56	37	3.9
	4- Unité sédimentaire du Crétacé-Paléocène	Cherts, calciturbidites, calcaires	Crétacé supérieur terminal au Paléocène	14	36	5.9
	5- Unité sédimentaire du Crétacé supérieur	Conglomérats, grès, charbons, argilites	Crétacé supérieur	19	30	6.0
Unités métamorphiques HP-BT	6a - Unités métamorphiques Haute-Pression/Basse-Température (HP-BT) / Degré faible	Schistes	Crétacé supérieur – Paléocène	56	46	3.5
	6b- Unités métamorphiques HP-BT / Degré fort	Micaschiste, gneiss, Mélange ophiolitique	Crétacé supérieur – Paléocène	14	41	2.9
Unités du socle Mésozoïque	7- Unités Mésozoïques de la chaîne centrale	Grès volcanoclastiques	Jurassique, Trias, Permien supérieur	45	34	5.4
	8- Unité de Teremba	Grès volcanoclastiques	Jurassique moyen à inférieur, Trias, Permien supérieur	38	41	3.2
	9- Unité de la Boghen*	Ensemble polymétamorphique indifférencié	Anté-sénonien	6	36	4.7
	10- Unités ophiolitiques de type Koh*	Gabbros, dolérites, basaltes	Carbonifère supérieur	4	36	5.7

Tableau 1 – Principales données sur les ouvrages et la litho-stratigraphie des aquifères prospectés.

* unités non analysées dans les paragraphes suivants, compte-tenu du faible nombre d'ouvrages.

III. 3 Coupe type des aquifères prospectés

L'analyse des coupes de forage disponibles montre qu'un aquifère-type est généralement constitué de la succession des trois horizons suivants, avec du haut vers le bas :

Horizon 1 : de quelques mètres à une dizaine de mètres d'épaisseur en moyenne. Il s'agit des terrains superficiels qui sont fortement altérés et argilisés et dont la perméabilité qui est relativement faible résulte en partie ou en totalité de l'ouverture par l'altération du réseau serré de mini fissures et diaclases, ou des joints entre strates (phénomènes probables de dissolution / lessivage des matériaux fermant les fissures).

Horizon 2 : de 10 à 30 m d'épaisseur en moyenne. Il correspond à la zone de transition entre les formations altérées superficielles et le substratum géologique sous-jacent. La roche y est globalement saine, mais l'altération se poursuit le long des plans des fractures principales, notamment dans les zones faillées, ce qui confère à ce niveau une perméabilité pouvant être suffisante pour donner des forages positifs. C'est tout particulièrement au sein de cet horizon que le repérage de la fracturation est essentiel pour l'identification d'une cible potentielle de forage.

Horizon 3 : il correspond au substrat géologique sain, de perméabilité faible à nulle.

Cette coupe-type, qui correspond globalement au profil d'altération de l'unité géologique est particulièrement adaptée pour les formations sédimentaires détritiques, les formations basaltiques ainsi que les formations métamorphiques (HP/BT).

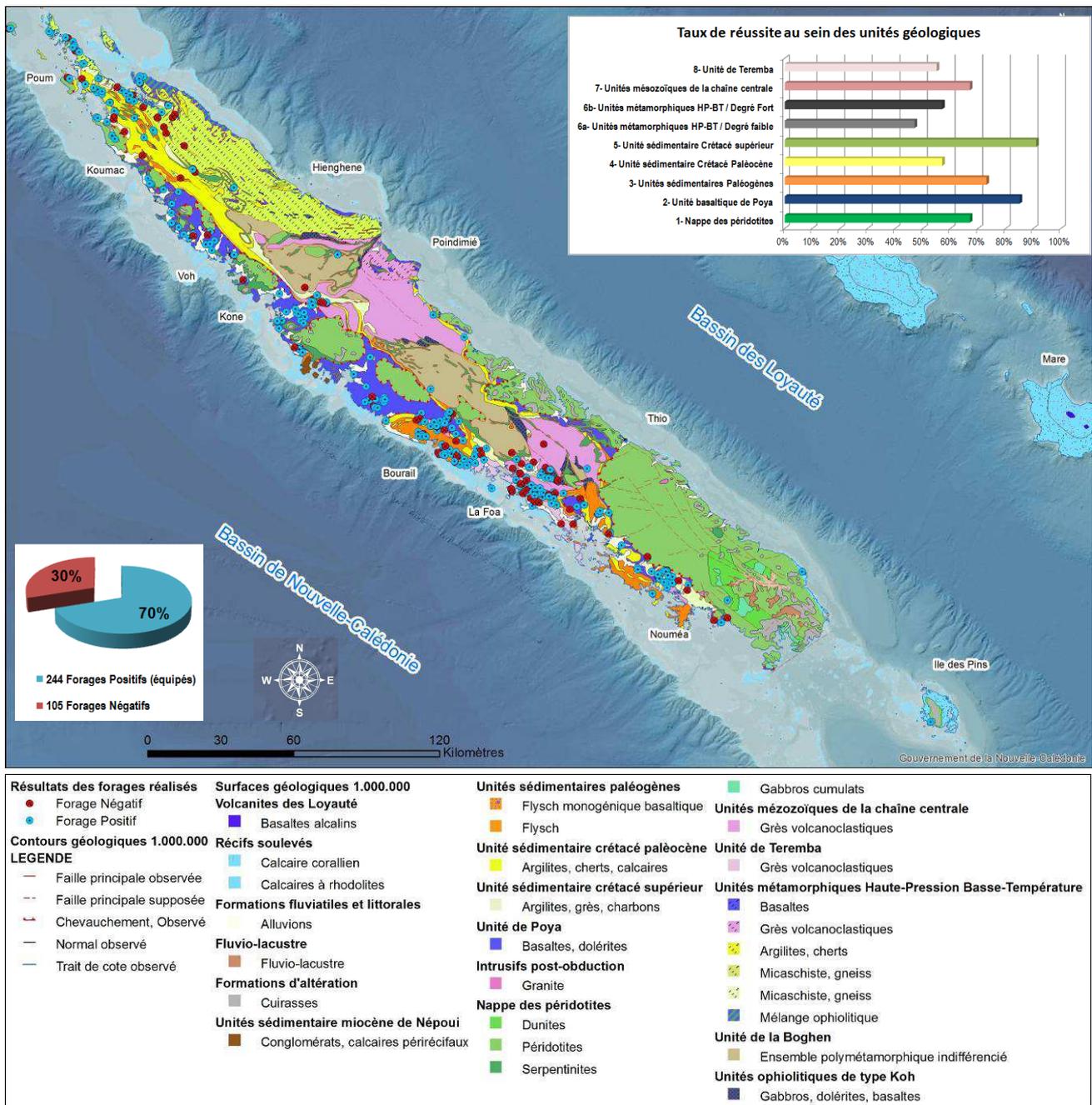


Figure 1 – Localisation des points de forage dans leur contexte géologique (fond de carte géologique au 1/500 000^{ème} de la Nouvelle-Calédonie – SGNC-BRGM, 2009)

III. 4 Analyse du taux de réussite de la prospection

La carte de la figure 1 permet de distinguer (i) les ouvrages négatifs : forages secs ou peu productifs (débits généralement <0,5 m³/h), non équipés ; (ii) les ouvrages positifs, dont les résultats (débits généralement >1 m³/h) ont permis leur équipement pour l'exploitation (figure 2).

Le rapport entre le nombre de forages positifs réalisés sur le nombre total de forages permet de déterminer le **taux de réussite de la méthode de prospection** qui est de **70%** sur ce type d'aquifère. Les principales raisons des échecs sur 30% des forages ont pour origine : l'absence de circulation d'eau (forage sec) ; le colmatage des fissures ou fractures par des remplissages argileux ou des minéralisations secondaires ; l'intercalation de niveaux à charbons au sein de certaines formations sédimentaires (Crétacé).

Une analyse plus approfondie du taux de réussite permet de constater une certaine hétérogénéité de cet indicateur selon la nature géologique de l'aquifère reconnu (figure 1). En effet, le taux de réussite s'avère significativement plus important au sein des formations volcaniques de l'Unité de Poya (2) et des formations sédimentaires de couverture n° (5) et (3), que dans les formations du socle du Mésozoïque (8) et (7) et celles des unités métamorphiques HP-BT (6a et 6b).

III. 5 Analyse des débits des forages équipés

L'analyse statistique des données de débit sur les forages positifs (graphe 1 et figure 2) montre que :

- le débit moyen des forages des aquifères de socle calédoniens se situe à $5 \text{ m}^3/\text{h}$;
- près de la moitié des ouvrages (49%) est caractérisée par un débit compris entre 1 et $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Les débits supérieurs à $10 \text{ m}^3/\text{h}$ restent relativement exceptionnels (15% des ouvrages).
- 5 unités géologiques se distinguent par des débits de forage supérieurs à la moyenne calédonienne : les formations de l'unité ophiolitique (1) et (2), les unités (4) et (5) de la couverture sédimentaire, les unités du Mésozoïque de la chaîne centrale (7).

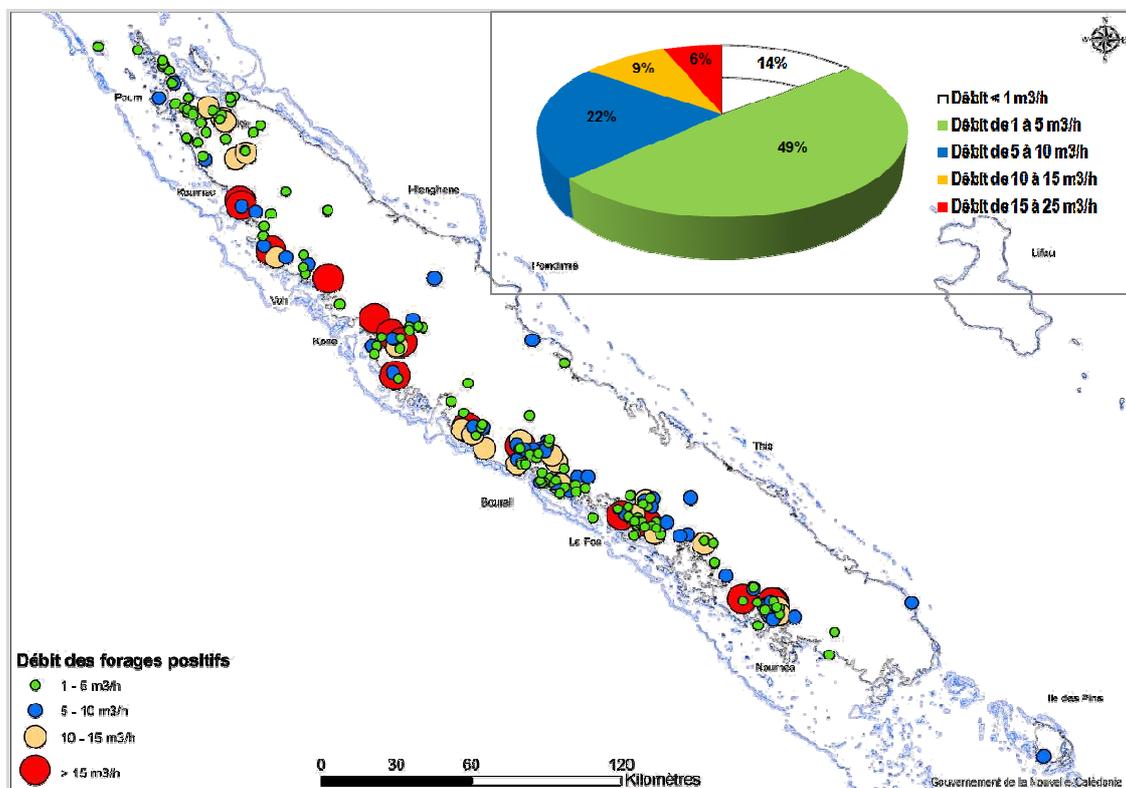


Figure 2 – Répartition spatiale et statistique des débits des forages positifs

III. 6 Analyse de la profondeur des forages réalisés

L'analyse statistique de la profondeur de l'ensemble des forages réalisés de notre étude (349 points) montre que la profondeur moyenne d'un forage en aquifère de socle est de **36 m**. Une analyse plus fine permet de mettre en évidence trois familles d'ouvrages (graphe 2) :

- les ouvrages dont les profondeurs sont significativement supérieures à la profondeur moyenne de 36 m : les unités du Métamorphique HP-BP (6a et 6b), l'unité de Teremba (8) ;
- les ouvrages dont les profondeurs sont proches de la moyenne : les unités sédimentaires (3) et (4), les unités du Mésozoïque de la chaîne centrale (7) ;
- les ouvrages dont les profondeurs sont nettement inférieures à la moyenne calédonienne : unité de Poya (2), nappe des Péridotites (1), unité du Crétacé supérieur (4).

La profondeur moyenne des ouvrages peut être considérée comme un indicateur de la profondeur moyenne des zones fracturées productives (et donc du bedrock sain), au sein des différentes unités géologiques. En effet, en cours de travaux, la cote d'arrêt de l'ouvrage est définie lorsque l'on a passé la zone fracturée productive (qui est généralement de quelques mètres seulement). Si aucune zone productive n'est rencontrée en-deçà d'une profondeur de 40-45 m, l'ouvrage est alors déclaré infructueux.

III. 7 Relation entre débit et profondeur des ouvrages

L'analyse des données de débit et de profondeur des ouvrages permet de constater une évolution opposée entre ces deux paramètres au sein d'une même unité géologique : plus le débit est important, plus la profondeur de l'ouvrage est faible et inversement.

Nous pouvons alors définir un indicateur : l'**Indice de productivité** d'un ouvrage, noté **Ip** en **m³/h /m de forage** qui correspond au rapport entre le débit d'un forage et sa profondeur totale. Les valeurs moyennes de cet indicateur en fonction de la nature géologique des aquifères sont présentées dans le graphe 3.

III. 8 Analyse des données des linéaments identifiés

III. 8.1 Distribution azimutale des linéaments

La distribution azimutale des linéaments primaires et secondaires identifiés lors de la prospection est présentée sur la figure 3 (A). Les résultats mettent en évidence :

- une direction préférentielle majoritaire **N30 à N50** pour les **linéations primaires**. Les cibles de forages sont implantées au droit de ces linéaments, avec un taux de réussite à 70%.
- des directions préférentielles **N110 à N170** pour les linéations secondaires, qui sont identifiées uniquement dans environ 50% des cas. Notons que ces dernières sont quasiment perpendiculaires aux précédentes.

Nous pouvons donc admettre que les directions structurales comprises entre N20 et N70 et, dans une moindre mesure, entre N00 et N20 sont les plus favorables à l'implantation de cibles de forages. La probabilité d'existence de fractures ouvertes, productives au droit de ce type de linéament, serait donc la plus importante.

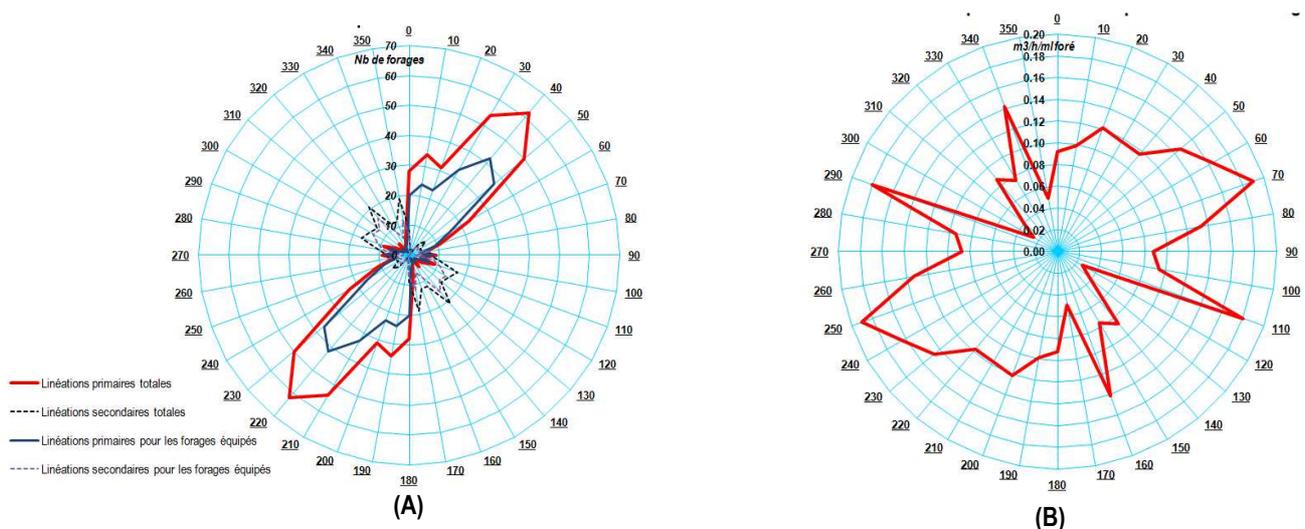


Figure 3 – Distribution azimutale des linéations primaires et secondaires identifiées (A) et relation indice de productivité / distribution azimutale (B)

III. 8.2 Relation Indice de productivité et Distribution azimutale

La figure 3 (B) met en évidence deux informations principales quant aux caractéristiques des aquifères de socle calédoniens :

- les forages les plus productifs sont implantés sur des linéaments dont les directions s'inscrivent dans la plage N20-N80 ;
- la zone comprise entre N110 et N140 serait la plus défavorable en terme de productivité.

Ce résultat confirme que la direction moyenne N130, qui correspond à l'allongement de la Nouvelle-Calédonie et à un axe de compression majeur, n'est pas propice à l'implantation de cibles de forages.

III. 9 Analyse du paramètre Transmissivité

La transmissivité moyenne des aquifères de socle calédoniens est de l'ordre de $2.7.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. On observe toutefois, dans le détail, une certaine hétérogénéité de ce paramètre en cohérence avec la nature géologique des aquifères captés (graphe 4) : les aquifères les moins transmissifs sont situés au sein des unités géologiques les plus anciennes ou métamorphisées. On distingue ainsi trois groupes principaux :

- les aquifères de transmissivités les plus élevées entre 1.10^{-2} et $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$: unité de Poya (1) ; les unités sédimentaires (5) et (4) ;
- les aquifères de transmissivité intermédiaire, avec des valeurs autour de $7.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$: unité sédimentaire du Paléogène (3) et nappe des péridotites (1) ;
- les aquifères de faible transmissivité ($<5.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) : ils sont rencontrés dans les unités métamorphiques (6a et 6b) et les unités du socle Mésozoïque (7) et (8).

IV. SYNTHÈSE ET GUIDES POUR LA PROSPECTION DES AQUIFERES CALEDONIENS

D'après les résultats de l'analyse statistique des données disponibles, nous pouvons proposer une hiérarchisation des aquifères de socle calédonien, selon le classement suivant :

- 1- Les formations ophiolitiques : l'unité de Poya, qui se détachent nettement des autres aquifères, avec les débits et les transmissivités moyennes les plus élevées ; la nappe des péridotites (débits élevés / transmissivités moyennes) ;
- 2- Les formations de la couverture sédimentaire : unités du Crétacé supérieur, du Crétacé-Paléocène et du Paléogène ;
- 3- Les unités métamorphiques HP-BT et celles du socle Mésozoïque n° (7) et (8), qui sont caractérisées par les transmissivités les plus médiocres et les débits les plus faibles (à l'exception des ouvrages de l'unité Mésozoïque de la chaîne centrale, dont les débits moyens sont proches de ceux de la couverture sédimentaire).

Ce bilan a permis de définir et de proposer plusieurs indicateurs qui sont actuellement utilisés par A2EP lors des phases d'évaluation de la faisabilité d'implantation d'un ouvrage : évaluation des chances de succès, estimation de la profondeur prévisionnelle. Il s'agit :

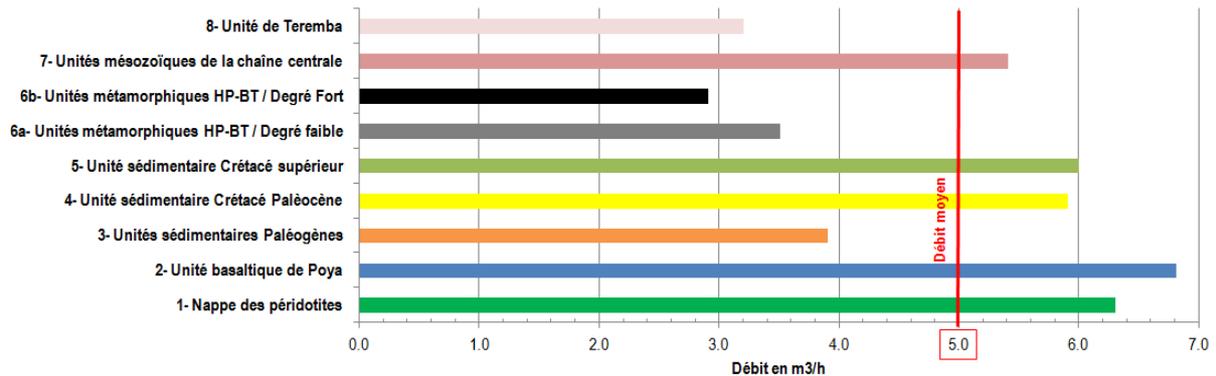
- de la répartition du taux de réussite en fonction des unités géologiques prospectées ;
- de l'Indice de productivité, en fonction de la nature géologique de l'aquifère-cible ;
- de l'Indice de productivité, en fonction de la distribution azimutale des linéaments identifiés.

Références bibliographiques :

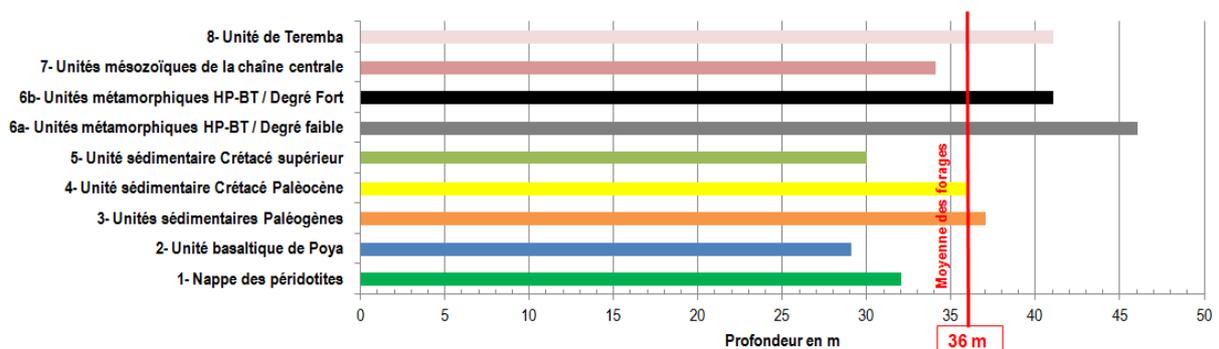
Espirat (1967), Etude hydrogéologique de la Côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie - Rapport d'ensemble des travaux effectués de 1962 à 1967.

Maurizot P., Vendée-Leclerc M., (2009) – Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie au 1/500 000, Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie – Service de la Géologie de Nouvelle-Calédonie (SGNC), Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Notice explicative par Maurizot P., Collot J., 2009.

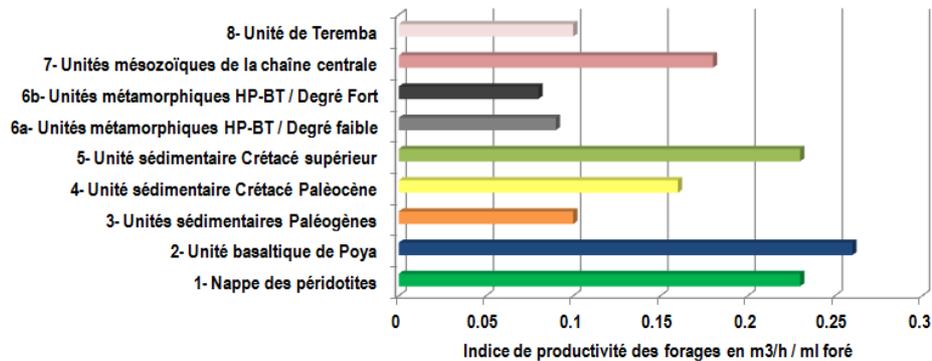
ANNEXE GRAPHIQUE :



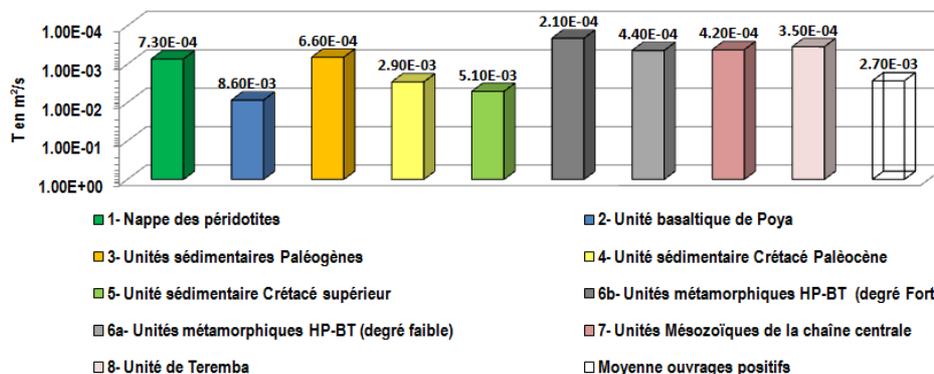
Graph 1 – Débit moyen des forages positifs, selon la nature géologique des aquifères



Graph 2 – Profondeur moyenne des forages positifs, selon la nature géologique des aquifères



Graph 3 – Indice de productivité (Ip) des forages, selon les unités géologiques prospectées



Graph 4 – Valeurs moyennes de transmissivité des aquifères des principales unités géologiques