

## Structuration karstique des aquifères dans les massifs ophiolitiques de Nouvelle-Calédonie

H. Camus <sup>(1)</sup> ; D. Leveneur <sup>(2)</sup> ; F. Bart <sup>(3)</sup>.

1) CENOTE ; 2) MICA environnement ; 3) LE-NICKEL-SLN

[camus.hubert@cenote.fr](mailto:camus.hubert@cenote.fr) ; [d.leveneur@mica-environnement.com](mailto:d.leveneur@mica-environnement.com), [f.bart@eramet-sln.nc](mailto:f.bart@eramet-sln.nc)

### I. Contexte hydrogéologique des karsts des péridotites de Nouvelle-Calédonie

La Grande Terre de Nouvelle-Calédonie présente les vestiges d'une nappe d'ophiolites, mise en place par obduction à la fin de l'Eocène et reposant sur une semelle de serpentinite en contact anormal avec le socle. La nappe principale recouvre le Sud (massif du Sud) tandis que sur la côte Ouest s'alignent des klippes le long de l'accident Ouest-Calédonien (WCFZ – figure 1). Le contexte tectonique a conduit à une forte fracturation des ophiolites et a mis en relief des massifs par un mouvement majeur d'uplift, datée de 19 à 22 Ma (B. Sevin, 2014), conduisant aux grandes lignes du relief actuel (Y. Lagabriel, 2008). Depuis leurs émergences à l'Oligocène, ces ophiolites sont soumises à une altération supergène, à l'origine de gisements de nickel et de cobalt d'importance mondiale au sein de profils de latérites (B. Pelletier, 2003).

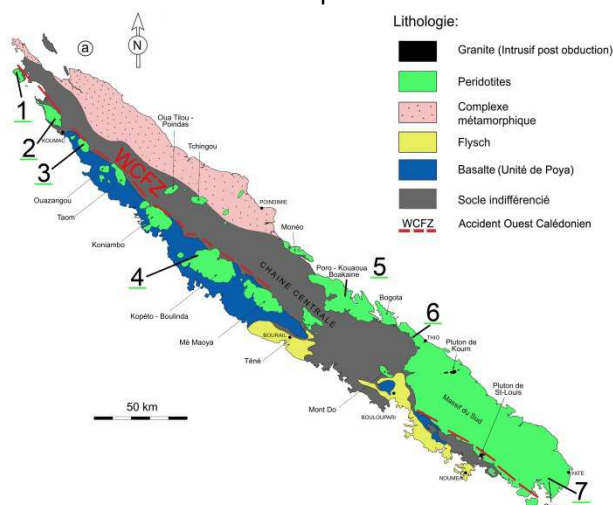


Figure 1 : Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie d'après V. Chevillotte (2005) - Massifs observés : (1) Poum, (2) Tiébaghi, (3) Kaala, (4) Kopéto, (5) Méa et Kiel, (6) Thio Plateau, (7) Plaine des lacs.

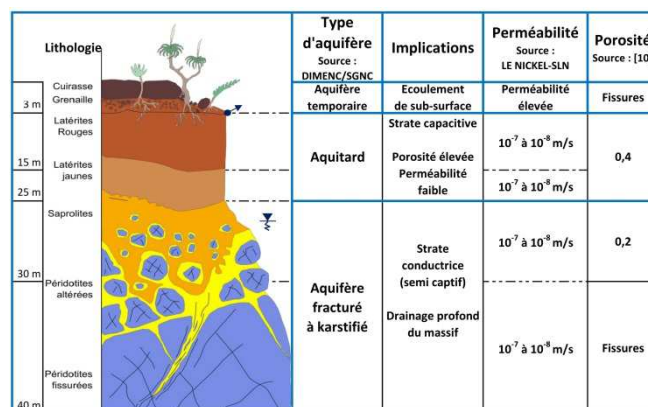


Figure 2 : Profil d'altération sur péridotites d'après B. Pelletier (2003) et contexte hydrogéologique (SGNC)

A l'échelle du profil d'altération de référence, un aquifère de type multicouche, siège dans les altérites jusqu'au socle fracturé (Figure 2). Il comprend sous la cuirasse une strate à écoulement temporaire, puis un aquitard dans les latérites surmontant des strates conductrices au sein des sapolites et des péridotites fracturées, qui assurent l'alimentation de sources de versants et le drainage profond des massifs. Ces strates sont en continuité hydraulique, comme montré sur le massif de Tiébaghi (J-L Joins, 2005).

A plus grande échelle, celle des massifs, ce modèle multicouche est fortement perturbé par des structures karstiques verticalisées et ne permet pas d'expliquer les modalités de circulations hydrogéologiques, notamment les phénomènes d'infiltrations concentrées dans des bassins versants endoréiques. A cette échelle, les systèmes de drainage dépassent parfois les limites des bassins versants topographiques et

alimentent un nombre limité d'émergences, ce qui est le propre d'un aquifère karstique. Ainsi partout où les phénomènes karstiques sont avérés, ils dépassent par la taille des objets et/ou par l'extension des systèmes de drainage, les dimensions ou les limites des différentes couches aquifères. Ce fonctionnement karstique des massifs ophiolitiques se traduit également dans leurs reliefs singuliers qui rappellent intuitivement les paysages des pays calcaires, avec des dépressions fermées (dolines) à drainage souterrain, parfois de grande taille (poljés de la Plaine des Lacs) et délimitées par des buttes rocheuses à versant lapiazée : karst à buttes (Figure 3).



Figure 3 :

Photo du chantier de la doline Aubin—  
Illustration d'un relief de karst à buttes  
(Mine de Kopéto B2).

## II. CARACTERISATION DES PHENOMENES KARSTIQUES

### II.1 - Organisation en cellules de résorption – Modèles conceptuels.

Les sondages miniers montrent que le toit de la roche saine a une topographie ondulée, en « boîte à œufs », qui s'explique selon L.Guillou-Frottier (2014-[8]) par une genèse sous couverture latéritique par convection hydrothermale (Figure 4). Cette hypothèse n'explique pas l'évolution en relief de buttes, ni le fonctionnement hydrogéologique qui en découle. L'évolution de ces crypto-dépressions a été abordée par A. Genna (2004) qui définit la notion de « cellules de résorption » (Figure 5). Il invoque des processus d'altération isovolumique de type « fantômisation » (Quinif, 2014) à l'origine d'un karst supérieur dans les cellules de résorption et un karst inférieur sous-jacent dans les péridotites saines. Il explique les discontinuités et les mouvements hydrosédimentaires qui en découlent au sein de la cellule de résorption et le drainage de celle-ci par le karst inférieur comme des processus contemporains de la fantômisation par diffusion, ce qui est antinomique.

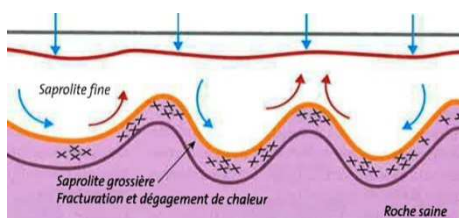


Figure 4 : Hypothèse d'après L.Guillou-Frottier (2014) de formation des « boîtes à œufs » par convection hydrothermale dans un milieu latéritique ; la production de chaleur générée au sein des sapolites favorise la convection et maintien une perméabilité élevée.

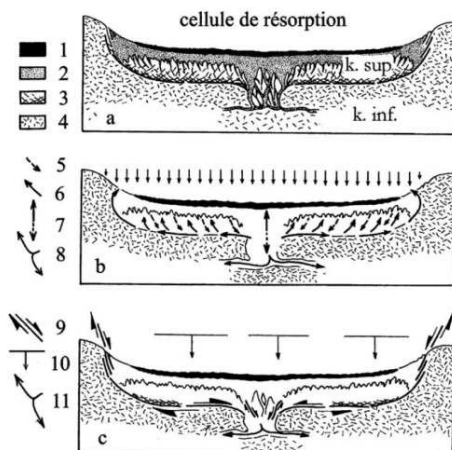


Figure 5 : Modèle d'évolution d'une cellule de résorption d'après A. Genna, 2004.

- (a) Coupe interprétative d'une cellule de résorption : (1) cuirasse, (2) latérites, (3) sapolites, (4) péridotite.
- (b) Dynamique des fluides : (5) mouvement per descensum, (6) mouvement per ascensum, (7) battement de nappe, (8) évacuation des fluides par le karst inférieur, souterrain.
- (c) Cinématique des matériaux : (9) faille normale listrique, (10) résorption globale des péridotites, (11) évacuation des matériaux par le karst inférieur.

## II.2 – Structuration karstique de l'aquifère en trois phases.

Les travaux réalisés depuis 2010 (MICA environnement-CENOTE) sur 7 sites miniers de la société LE NICKEL-SLN, ont montré que la structuration karstique des massifs, s'effectue selon trois phases communes.

### II.2.1 - Phase initiale de structuration d'un aquifère karstique de type fantômisé

La « fantômisation » de la roche mère se propage par diffusion à partir des fractures. La forme en bol plus ou moins régulier ou en gouttière oblongue des cellules de résorption dépend du temps de confinement et d'exposition du substratum à l'altération isovolumique. Plus les processus de diffusion sont longs, plus la cinétique d'altération est isotropique et tend à la formation d'une demi-sphère. Quand ce temps est moins long ou que la cinétique d'altération est contrôlée par une faible vitesse de drainage dans le réservoir, les cellules tendent à épouser le maillage de la fracturation. Une zonéographie de la taille de cellules apparaît ainsi entre les parties centrales des massifs et leur périphérie de moins en moins confinées (Figure 6).

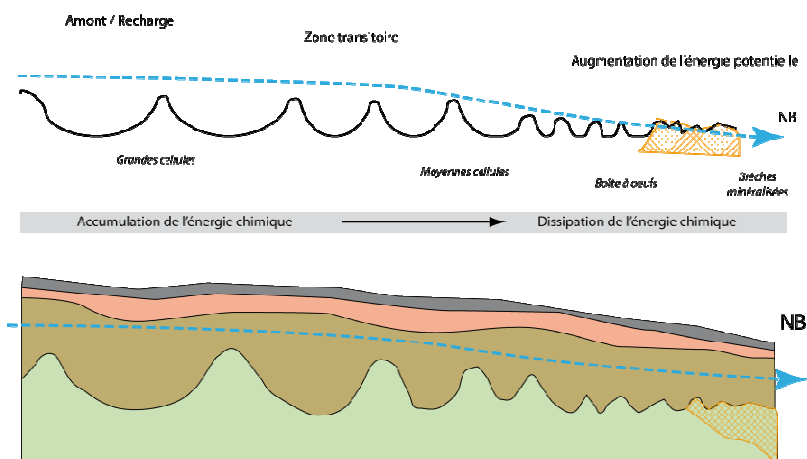


Figure 6 :

*Principe de la zonéographie de la taille des cellules de résorption saprolitiques*

NB : Niveau de base

Les bordures et les discontinuités majeures sont matérialisées par des masses de brèches minéralisées traduisant l'aval drainage de ces réservoirs de type fantômisés dont la structuration est héritée d'une longue évolution, sous le contrôle d'un niveau de base proche, à gradient hydraulique faible.

### II.2.2 Phase 2 - Structuration d'un système cryptokarstique

Le réservoir fantômisé est ensuite démantelé par des structures de soutirage verticalisées, induites par des mouvements de surrection s'accompagnant d'un abaissement rapide du niveau de base et du front d'altération latéritique, avec apparition d'un gradient et augmentation des vitesses d'écoulements. Ces structures qui poinçonnent les saprolites jusqu'aux péridotites saines, traduisent le rôle dominant de dynamiques de crypto-altération avec des déplacements importants de matières depuis la surface (Figure 7), jusqu'au mur des saprolites, où elles se raccordent à des couloirs de brèches, zone de transfert préférentiel, qui présentent des vides et alimentent des conduits en aval.

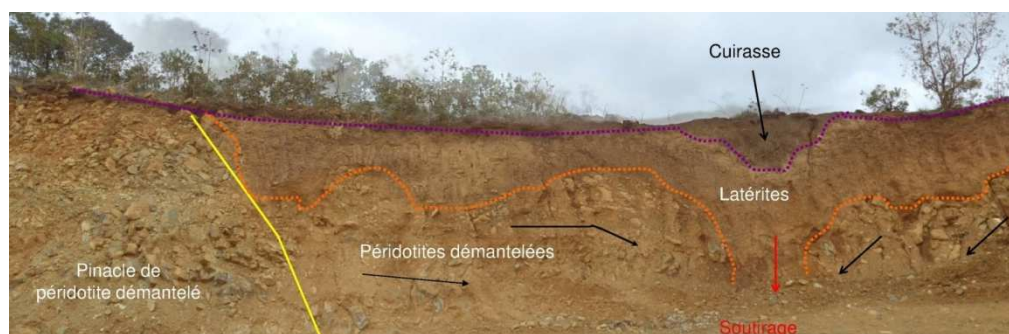


Figure 7 :  
Photo d'une structure de soutirage – démantèlement des altérites.  
Chantier Pionnier sur la mine de Méa (Le Nickel-SLN)

Ces systèmes cryptokarstiques s'inscrivent dans un temps plus court que celui de l'évolution des systèmes fantômisés, en exploitant des couloirs de brèches par verticalisation des circulations (Figure 8).

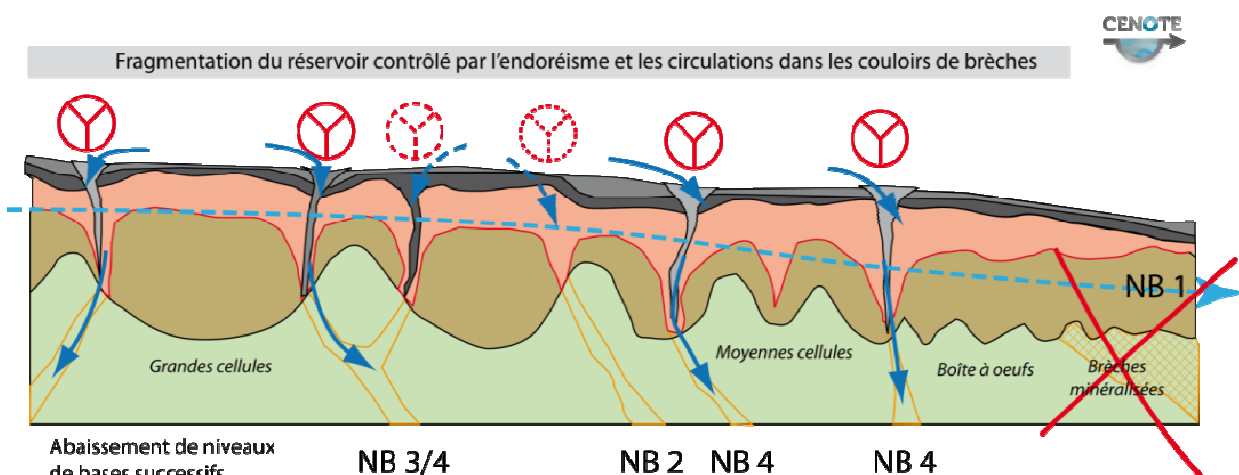


Figure 8 : Schéma de principe de la fragmentation du réservoir aquifère initial - Répartition des structures de soutirage cryptokarstiques dans les cellules de résorption et circulations dans les couloirs de brèches

L'ancienne doline Picot située sur la mine de Tiébaghi, illustre le rôle structurant majeur des couloirs de brèches au sein des aquifères fantômisés hérités. Les observations faites dans cette méga-doline à forme complexe (500 m d'extension), recoupés par l'exploitation, permettent d'illustrer l'ampleur des processus hydrosédimentaires consécutifs aux phases de soutirage récurrentes. L'appendice principal de la méga-doline, présente une vaste cuvette de dépôts d'argile sédimentaire. Ces dépôts ont enregistré des cycles de fonctionnements hydro-sédimentaires d'une mégastructure de soutirage associée à la doline (Figure 9). Ces cycles comprennent de longues phases d'inondation de la doline et des phases de fonctionnement de la structure de soutirage enregistrées par les déformations et failles syn-sédimentaires des argiles. La dynamique de soutirage de Picot s'accompagne de déformations et de paléo-glissements au sein des différents termes des argiles et des altérites, consécutifs au fonctionnement hydrodynamique récurrent de couloirs de brèches qui guide l'importance et la position des pertes. Le couloir de brèches mis au jour par l'exploitation, près de 80 m sous la surface naturelle topographique, présentait des vides absorbant fonctionnels.

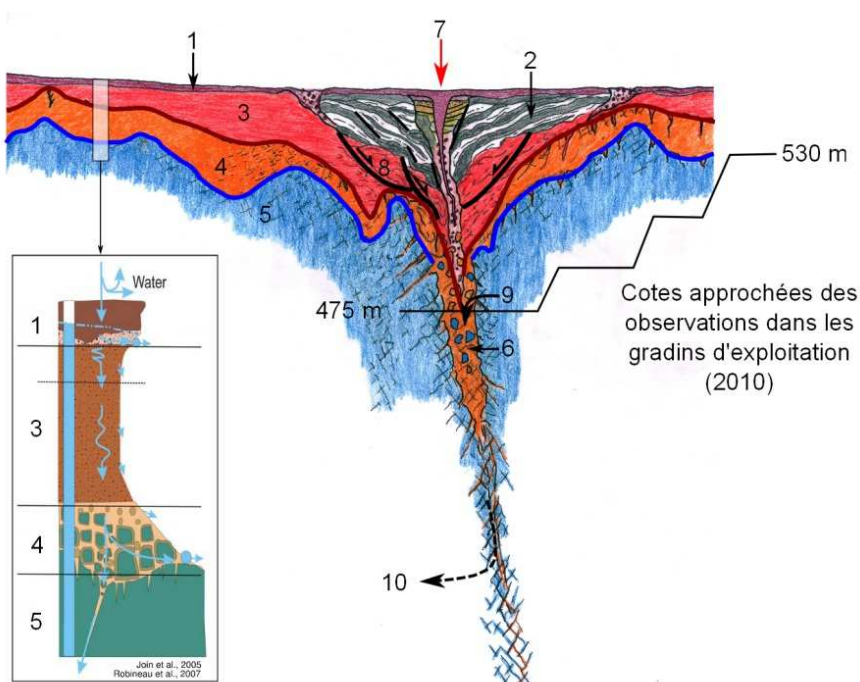


Figure 9 : Coupe de principe de la doline Picot (Mine de Tiébaghi)

- 1 : Cuirasse, grenaille
- 2 : Remplissages d'argile déformés avec plusieurs failles scellées entre les séquences
- 3 : Latérites
- 4 : Saprolites
- 5 : Péridotites saines
- 6 : Couloir de brèches présentant des vides ouverts
- 7 : Perte
- 8 : Paléo-glissements
- 9 : Perte totale en fond de carreau
- 10 : Drainage vers des brèches effondrées à mi versant (cote 350 ?)



### II.2.3. Phase 3 – Structuration des circulations « actuelles » par recul des vallées : Indices karstiques de la recharge et de la restitution des eaux :

Une phase de recul des versants par érosion régressive provoque ensuite l'isolement ou le cloisonnement des massifs et le déchaussement des structures géologiques. Ce recul des versants permet de recouper les drains hérités et de fixer des points émissifs au contact entre les péridotites fracturées et les péridotites saines ou dans les masses de brèches d'altération. Dans certains cas, ces produits de décolmatage sont évacués par un réseau endokarstique dont le rôle devient dominant. Les points de sortie de ces systèmes correspondent à des conduits alimentés par les vides interconnectés des couloirs de brèches.



Figure 10 : Perte dans conduit ouvert  
– Creek Salé Massif de Kopéto B2



Figure 11 : Doline dit du Trou du Tahitien dont l'inondation (photo CNRT) peut durer plusieurs mois avec des mises en charges pouvant atteindre 16 m et se vidange par une perte unique (flèche)

L'enchaînement des phases de structuration karstiques et son expression actuelle dans les massifs, induit une distribution singulière des pertes dans la zone de recharge. En zone naturelle, les pertes à infiltration concentrée situées dans les altérites et les péridotites karstifiées, sont de 3 types :

- Conduits creusés par corrosion sur la roche nue sous les latérites et formant les lapiés (Figure 12) ;
- Pertes situées au cœur ou en périphérie des dolines, selon la taille de la cellule de résorption. Ces pertes drainent des bassins versants endoréiques, branchées sur les vides des couloirs de brèches et permettent parfois de changer de bassin versant, comme illustré par le Trou du Tahitien (Figure 11) qui se vidange par une perte unique à fonctionnement récurrent alternant entre phase d'inondation et vidange rapide ;
- Pertes dans les thalwegs sous le mur des altérites situées sur des failles karstifiées ou des couloirs de brèches, décolmatés par les écoulements (Figure 10).

Les exploitations minières permettent d'observer la zone de transfert horizontal et vertical, en recoupant des failles karstifiées à conduits ouverts (Figure 13) et/ou les structures de soutirage verticalisées, remaniant le profil d'altération de référence, branchées sur des couloirs de brèches infiltrant (Figure 14).



Figure 12 : Photo de cavités sous couverture latéritique - Chantier Belvédère Est à Thio Plateau (Le Nickel-SLN)

De nombreuses cavités et conduits sous couverture latéritique sont observés à la faveur de l'exploitation des chantiers. Ces objets correspondent à un lapiaz sous couverture présentant des cavités et des fentes largement ouvertes.



Figure 13 : Photo (à gauche) d'un conduit ouvert sur faille N150° - Massif de Thio Plateau (Belvédère Est)



Figure 14 : (à droite) Couloir de brèches à Kopéto B2 capable d'absorber plusieurs dizaines de L/s)

Les exutoires des unités de drainage des massifs de péridotites présentent des indices karstiques comme des conduits dans les péridotites saines (Figure 15), des cavités dans les couloirs de brèches minéralisés (Figure 16), et des écoulements concentrés au contact entre les péridotites saines et les péridotites karstifiées.

Il existe aussi des sources de contact au toit des latérites. Elles sont liées à la mise en charge des cuirasses. Les conditions d'observation étant parfois difficiles, on note également un grand nombre de sorties d'eau dans les alluvions constituant néanmoins des points émissifs ponctuels. La semelle de serpentinite constitue un écran étanche aux drainages profonds des massifs et donc une zone d'émergence dans les brèches de contact de la semelle.

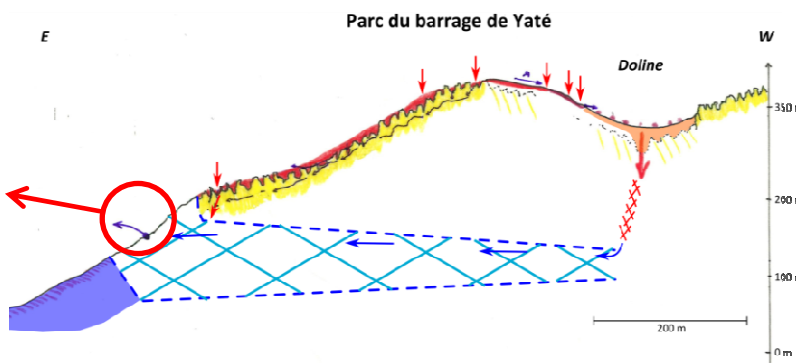


Figure 15 : Photo d'une émergence dans un conduit karstique (Parc du barrage de Yaté - à Yaté) – Légende de la coupe dans la Figure 16.



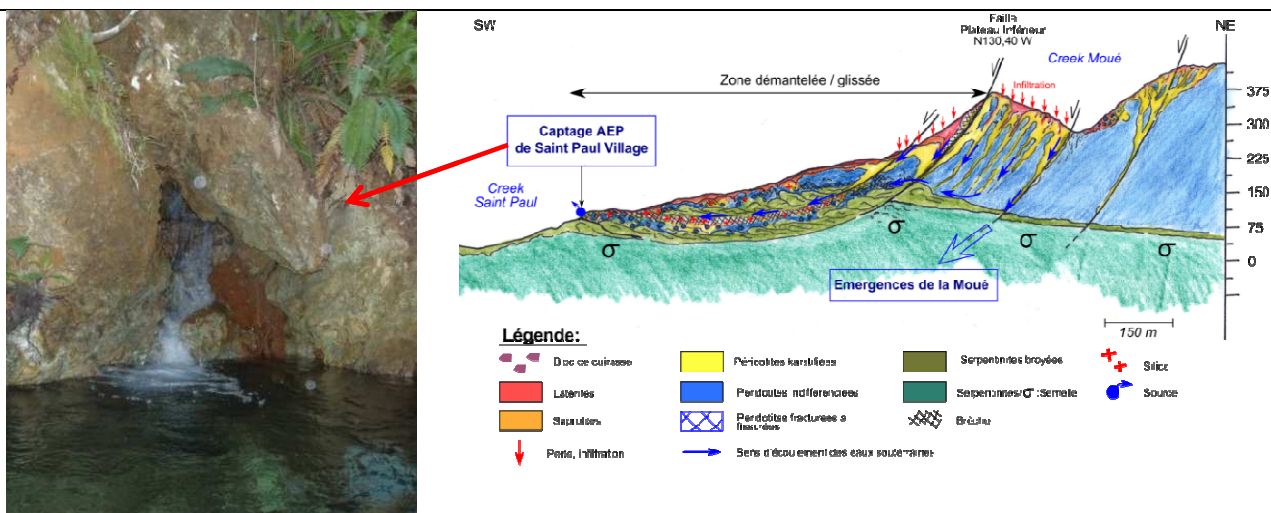


Figure 16 : Emergence dans brèches de silice caverneuse à Thio Plateau –Captage St Paul Village

L'exemple du massif minier de Thio Plateau, permet de retrouver tous les éléments de diagnostic d'un système karstique, tant dans le paysage que dans son fonctionnement hydrogéologique où les termes des unités de drainage présentent des indices de karstification : zone de recharge par perte à débits concentrés, présence de vides dans les zones de transferts vertical et horizontal mis au jour par l'exploitation et émergences à débit concentré dont les aires d'alimentation dépassent les limites des bassins versants topographiques (Figure 17). Certaines des émergences principales du Plateau, ne sont pas situées dans l'axe des creeks mais dans les versants, dont le recul par érosion régressive a recoupé des structures géologiques anciennes.

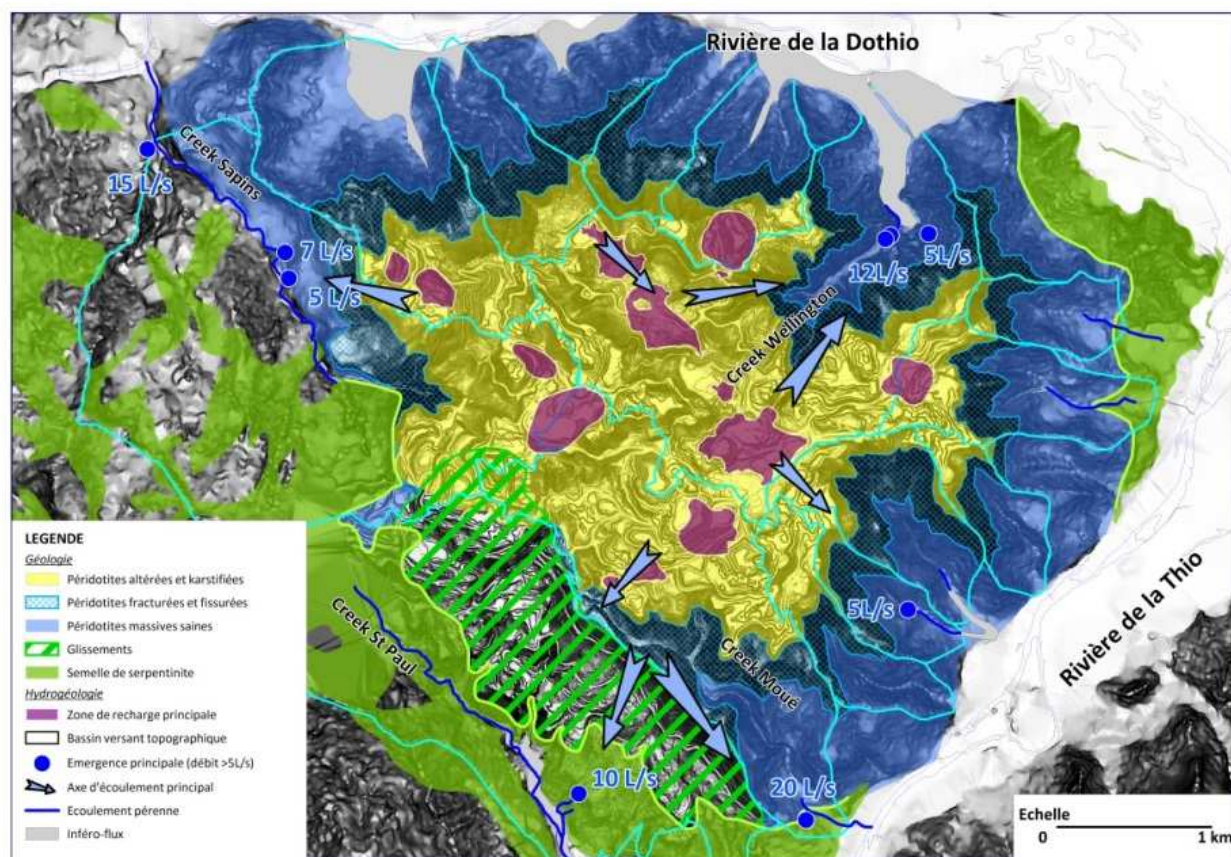


Figure 17 : Position et débits des sources principales du massif de Thio Plateau (juillet 2014)

### III. SCHEMA D'ORGANISATION KARSTIQUE DES RESERVOIRS ET APPLICATIONS DANS LES AMENAGEMENTS

Le travail réalisé sur 7 massifs exploités par la société LE NICKEL-SLN a permis de confirmer les critères de diagnostic d'un karst retrouvés sur tous les massifs de péridotites observés, tant du point de vue du paysage, que du fonctionnement hydrogéologique. L'expression du karst diffère d'un massif à un autre et les modèles de fonctionnement sont variés et non reproductibles, mais ils ont en commun un même schéma d'organisation polyphasé avec des processus karstiques qui s'enchainent dans le temps, où les limites des unités de drainage s'étendent au-delà de celles de la cellule de résorption, sous le mur des saprolites. Le réservoir fantômisé initial, est démantelé par une évolution hydrosédimentaire et la verticalisation des circulations souterraines, initié par la mise en relief des massifs sous l'effet de l'uplift néogène. Il entraîne la formation de structures de soutirage latéritiques correspondant au fonctionnement d'un système de drainage cryptokarstique. Ces structures de soutirage poinçonnent les saprolites jusqu'aux péridotites saines et se raccordent à des couloirs de brèches. Elles alimentent un nouveau système de drainage capable de remanier la grenaille ferrugineuse et des masses de latérites vers les vides que présentent ces couloirs de brèches, puis des conduits karstiques jusqu'aux sources en aval. L'exploitation de ces couloirs de brèches par les systèmes cryptokarstiques conduit à la fragmentation des aquifères fantômisés hérités, mais évolue à son tour par débouillage au cours de l'incision des vallées. Cette dynamique polyphasée triple contraint la distribution et le fonctionnement de pertes et zone d'infiltration concentrée en périphérie ou au droit des cellules de résorption, en fonction de leur taille.

Ce travail a permis de disposer d'une méthodologie de diagnostic du contexte hydrokarstique des fosses et des aménagements miniers qui s'insèrent donc généralement dans une unité de drainage de plus grande extension. Cette méthode, basée essentiellement sur des observations de terrain, permet de définir les unités hydrogéologiques et de situer rapidement les pertes au sein de la cellule de résorption ainsi que les connectivités avec les exutoires souterrains du massif. Le diagnostic karstologique de ces massifs est un outil d'aide à la décision pour le choix des stratégies de gestion des eaux des exploitations minières, en appréhendant les conséquences possibles des aménagements sur les circulations des eaux. Ce travail fournit également de nouveaux arguments et critères pour les expertises de stabilité, tant pour les fosses et les ouvrages miniers de longue durée de vie, que pour les versants périphériques des massifs miniers.

#### Références bibliographiques :

- [1] PELLETIER B., 2003 – Les minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie, *Bulletin de l'Union Française des Géologues*.
- [2] TRESCASES J-J., 1973 – L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale et la formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie, *Thèse Université Louis Pasteur de Strasbourg, 1973*.
- [3] LATHAM M., 1986 – Altération et pédogénèse sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie, Genèse et évolution des accumulations de fer et de silice en relation avec la formation du modelé, *ORSTOM*,
- [4] GENNA A., MAURIZOT P., LAFOY Y., AUGÉ T., 2005 – Contrôle karstique des minéralisations nickélifères de Nouvelle-Calédonie, *C.R Géosciences 337 (2005), 367-374*.
- [5] CHEVILLOTTE V., 2005 – Morphogénèse tropicale en contexte épirogénique modéré – Exemple de la Nouvelle-Calédonie, *Thèse de l'Université de la Nouvelle-Calédonie*.
- [6] QUINIF Y., BAELE J-M., DUBOIS C., HAVRON C., VERGARI A., 2014 – Fantômisation : un nouveau paradigme entre la théorie des deux phases de Davis et la théorie de la biorhexistase d'Erhart, *Géologica Belgica (2014)17/1 : 66-74*.
- [7] SEVIN B., 2014 – Cartographie du régithe sur massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie : distribution dans l'espace et le temps des gisements nickélifères. *Thèse de l'Université de la Nouvelle-Calédonie, 2014*.
- [8] MAURIZOT P., SEVIN B., QUESNEL F., WYNS R., 2014 – Les sols et les altérites comme ressources minérales. *Revue Géosciences de juillet 2014*.
- [9] LAGABRIELLE Y., CHAUVET A., 2008 – The role of extensional tectonics in shaping Cenozoic New-Caledonia, *Bull. Soc. géol. Fr. 2008, t.179, n°3 pp 315-329*.
- [10] JOINS J-L., ROBINEAU B., AMBROISI J-P., COSTIS C., COLIN F., 2005 – Système hydrogéologique d'un massif minier ultrabasique de Nouvelle-Calédonie. *C.R Geoscience*.