

BDLISA-NC : construction du référentiel hydrogéologique à partir de modèles de données géologiques adaptés et d'outils cartographiques dédiés

Rapport final

RP-70134-FR
DIMENC SGNC-2020(09)

Juillet 2020

MARDHEL V., JEANPERT J.

BDLISA-NC : Construction du référentiel hydrogéologique à partir de modèles de données géologiques adaptés et d'outils cartographiques dédiés

Rapport final

BRGM/RP-70134-FR / DIMENC SGNC-2020(09)
Juillet 2020

Étude réalisée dans le cadre des opérations d'appui aux politiques publiques du BRGM 2018-2020

V.Mardhel - BRGM

J. Jeanpert - DIMENC/SGNC

Vérificateur :

Nom : D. ALLIER

Fonction : Expert Référentiels hydrogéologiques des bassins hydrographiques

Date : 13/08/2020



Approbateur :

Nom : C. Carnec

Fonction : Directrice adjointe Actions Territoriales, en charge Outre Mer

Date : 07/09/2020



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : Référentiel hydrogéologique, système aquifère, Nouvelle-Calédonie, modèle de données géologiques 3D, outils cartographiques, BDLISA-NC

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Mardhel V., Jeanpert J. (2020) – BDLISA-NC : construction du référentiel hydrogéologique à partir de modèles de données géologiques adaptés et d'outils cartographiques dédiés. Rapport BRGM/RP-70134-FR DIMENC-SGNC-2020(09), 42 p.,31 fig.

Synthèse

La BDLISA-NC (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères de Nouvelle-Calédonie) est le nouveau référentiel hydrogéologique de Nouvelle-Calédonie, couvrant le territoire de l'archipel et ses trois provinces. Les caractéristiques du référentiel BDLISA sont décrites dans le rapport de 2013 (Seguin J.J. et al, [rapport BRGM/RP-62261](#)) et les spécificités pour l'adapter au contexte hydrogéologique calédonien sont détaillées dans le rapport [RP-68516-FR](#) (Mardhel, Jeanpert et al. 2019).

Les travaux initiés en 2017 par le Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie et le BRGM au travers d'une première convention « BDLISA-NC Phase 1 » ont permis d'organiser la construction du référentiel BDLISA-NC (audit des données disponibles, séminaire à destination des acteurs de l'eau et mise en place de groupes de travail pour cartographier les formations aquifères). La seconde phase de projet établie sur 2 ans, a abouti d'abord à la définition du tableau multi-échelles des entités hydrogéologiques de la BDLISA-NC (Rapport RP-685416-FR ; Mardhel, Jeanpert et al. 2019), et a pour objectif d'établir les règles de construction cartographique du référentiel. Ce rapport technique a pour objectif de présenter cette partie du travail de la 2^{ème} phase du programme BDLISA- NC.

En 2019, le travail de complétion des unités géologiques nécessaire à la création des unités BDLISA-NC a été entrepris en Nouvelle-Calédonie sur la base de la carte géologique 2D au 1/50 000 produite par le Service Géologique de la Nouvelle-Calédonie (SGNC) et dénommée SIGEOL (version 31/12/2018). Dans cette base, hormis sur les massifs de péridotites où le régolithe est précisément décrit, et les différents niveaux d'altération identifiés, pour les autres formations géologiques, seul le substrat et les alluvions sont identifiés.

L'actualisation de la base SIGEOL présentée dans ce rapport a pour objectif de distinguer le substratum géologique des formations superficielles qui le recouvrent (régolithe minier, alluvions, etc.). Cette organisation facilite la compréhension de la carte géologique, en explicitant des règles de superposition ou de voisinage des différentes unités. Pour cela, au-delà de la représentation « 2D », il s'agit de définir, après interprétation par le géologue, quel est le substratum ou les différentes unités attendues sous les formations superficielles.

Dans le cadre de la BDLISA-NC, la cartographie géologique doit intégrer les notions de superposition ; une base de données appelée GEOL3D a été construite pour permettre la construction des entités hydrogéologiques. Il s'agit d'un pseudo « modèle 3D » (notion d'empilement mais pas d'épaisseur). Le modèle de données du référentiel géologique comporte en plus des spécificités liées à l'organisation des formations géologiques en Séquence/Groupe/Formations et Membre issues des derniers travaux de la synthèse géologique de Nouvelle-Calédonie (Maurizot et Mortimer, 2020).

Au terme de ces travaux, la mise à jour des bases de données permet de maintenir une cohérence et une harmonisation facilitée entre les unités géologiques issues de la base SIGEOL et le référentiel BDLISA-NC. Avec la mise en place des outils simples de composition des entités BDLISA-NC en début 2019, environ 20% des entités attendues dans le tableau multi-échelle présenté lors de la première phase du projet ont été définies spatialement.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Modèle conceptuel de la base de données géologiques exploitée pour BDLISA-NC	13
2.1. MODÈLE PHYSIQUE DE DONNÉES.....	14
2.2. CONSTRUCTION DU MODELE GÉOLOGIQUE 3D	16
3. Initialisation du système et première intégration des données au Modèle_Source	17
4. Utilisation des données et flux de travail	21
4.1. LA MISE À JOUR DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES	22
4.1.1.La gestion du modèle	23
4.1.2.Outils de gestion des bases de données géologiques	24
4.2. L'EXPLOITATION DU MODÈLE GEOL3D POUR LA BDLISA-NC	26
4.3. EXEMPLE D'ASSEMBLAGE BDLISA-NC, TRAITEMENT DU MASSIF DE POUM 28	
4.4. PROCÉDURE DE COMPOSITION DU MODÈLE BDLISA-NC	32
4.4.1.Etape 1 : Composition d'un ensemble unique de données qui regroupe l'ensemble des polygones d'emprise de chaque entité BDLISA-NC : BDLISA-NC_Niveaux_3 32	
4.4.2.Etape 2 : Composition d'une couche de polygones en deux dimensions qui résulte de l'intersection de chaque entité de l'ensemble précédent : MATRICE. Création d'une couche de points représentant les centroïdes de ces polygones (MATRICE PTS).....	32
4.4.3.Etape 3 : Intersection de ces points avec les polygones d'entités MATRICE PTS Intersecte BDLISA-NC_Niveaux_3 : MATRICE PTS_Niveaux3.....	32
4.4.4.Etape 4 : Mise en place de l'ordre relatif pour MATRICE PTS_Niveaux3	32
4.4.5.Genèse du modèle BDLISA-NC	34
4.4.6.Exemple de Poum	34
Conclusion	39
Bibliographie.....	40

Liste des figures

Figure 1 : Tableau de nomenclature des unités géologiques de Nouvelle-Calédonie (Formal nomenclature of geological units of New Caledonia. Excludes the Hunter-Matthew and Chesterfield island groups. Numerical ages after the International Chronostratigraphic Chart v2018/08 (Cohen et al. 2013; updated)). (Maurizot et Mortimer, 2020).....	9
Figure 2 : Carte géologique de la commune du Mont Dore avant actualisation de 2019	10
Figure 3 : Carte géologique de la commune du Mont Dore actualisée en 2019	11
Figure 4 : Extrait de la carte géologique (SIGEOL 50 000) où la cartographie du régolite est hétérogène : en rouge, les surfaces où le régolite est sous-représenté et à droite la mise à jour en 2019.....	12
<i>Figure 5 : Modèle conceptuel du SIGEOL3D utilisé pour la cartographie des entités hydrogéologiques BDLISA-NC.</i>	13
Figure 6 : Exemple d'empilement géologique à partir des Unités indépendantes extraites du SIGEOL	15
Figure 7 : Tableau d'assemblage d'un empilement des membres du tableau d'assemblage de la carte géologique	16
Figure 8 : Composants du modèle source et du modèle GEOL 3D	17
Figure 9 : table attributaire des polygones du SIGEOL 032019	18
Figure 10 : Table attributaire du TABLEAU_ENTITE dans le modèle source.....	19
Figure 11 : Extrait de la carte des formations affleurantes avec formations superficielles.	20
Figure 12 : Extrait de la carte des formations « affleurantes », hors formations superficielles.....	20
Figure 13 : schéma conceptuel des liens entre les modèles et les différentes étapes de construction du référentiel BDLISA-NC.....	21
Figure 14 : Règles de superposition des unités géologiques utilisées pour le SIGEOL 3D de la Nouvelle-Calédonie.....	23
Figure 15 : Exemple de règles utiles à la gestion du modèles	24
<i>Figure 16 : Exemple d'édition d'un journal des observations</i>	24
Figure 17 : Outils de création de la base SIGEOL 3D.....	24
Figure 18 : Automate de gestion de base de données Geol3D.....	25
Figure 19 : Extrait du journal de contrôle de l'automate de gestion du modèle Geol3D	26
Figure 20 : Boite à outil pour l'hydrogéologue, en charge de la BDLISA-NC	26
Figure 21 : Représentation des formations alluviales seules pour une sélection des entités BDLISA-NC affiliées.	27
Figure 22 : Représentation des formations composant l'unité de Poya, sous couverture à gauche et affleurantes à droite.	27
Figure 23 : Liens entre les unités géologiques et les entités BDLISA-NC créées	31

Figure 24 : Etapes initiales de composition du référentiel BDLISA-NC.....	33
Figure 25 : Entités BDLISA-NC du massif de Poum (les plus superficielles ou plus jeunes)	34
Figure 26 : Entités BDLISA-NC du massif de Poum (les plus profondes ou plus anciennes)	35
Figure 27 : Représentation de la presqu'ile de Poum par ordre d'empilement des entités BDLISA, cet ordonnancement est conforme à l'organisation en âges absolus.....	36
Figure 28 : Coupe Est-Ouest du modèle BDLISA-NC représenté par ordre absolu.....	36
Figure 29: Représentation par l'ordre relatif, cet ordonnancement est conforme à l'ordre d'apparition des entités BDLISA-NC depuis la surface vers les niveaux les plus profonds.	37
Figure 30: Coupe Est-Ouest du modèle BDLISA-NC représenté par ordre relatif.....	37
Figure 31: Extension géographiques des entités BDLISA-NC affleurantes définies (état en juillet 2020).....	38

1. Introduction

La BDLISA-NC se fonde sur les limites des entités géologiques qui, uniques ou assemblées entre elles, forment les réservoirs aquifères identifiés par les hydrogéologues. Cette organisation a été présentée dans le rapport RP-68516-FR pour la version v0 de la BDLISA-NC.

Pour réaliser l'assemblage des données sources géologiques il a été développé une base de données géographique spécifique à ces objets pour accompagner les thématiciens (hydrogéologues et géomaticiens) en charge de définir l'extension des unités hydrogéologiques de BDLISA-NC. Cette base permet la sélection des polygones élémentaires des entités géologiques, d'assurer la complétion géométrique des entités sous couverture et d'assembler les unités hydrogéologiques du référentiel.

Elle s'appuie sur les éléments géométriques de la carte géologique issue de l'harmonisation des fonds au 1 / 50 000 réalisée en 2004 puis mise à jour régulièrement suite aux avancées de la cartographie, et complétée de la nouvelle nomenclature des unités géologiques (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) telle que définie par la synthèse géologique de Nouvelle-Calédonie en cours de publication en 2019 (Maurizot et Mortimer, 2020). Elle intègre également les travaux en cours de mise à jour des formations superficielles dans le cadre de l'étude des aléas mouvements de terrain.

De plus la structure de cette base d'information de la géologie des aquifères intègre par anticipation une part des principes de construction de la BDLISA-NC avec :

- la notion d'ordre absolu ou âge de mise en place des formations ; cette information est associée à la nomenclature des entités définie dans le tableau multi-échelle ;
- la notion d'ordre relatif permettant de prendre en compte les empilements d'entité géologiques comme celles des formations superficielles ou celles du régolite minier. Il n'existe au départ que l'ordre relatif égal à 1 puisque la carte géologique harmonisée utilisée ne distinguait pas de formations sous couverture des formations superficielles ou du régolite par exemple. Une part importante de ces formations sous couverture va être restituée par l'interprétation des systèmes aquifères. Un travail de complétion des unités géologiques principale a donc été initié lors de la première étape de constitution du modèle géologique utilisé par BDLISA-NC.

Cette organisation des données a vocation à permettre un gain de productivité remarquable sur l'élaboration de la BDLISA-NC au travers d'outils spécifiques au SIG qui seront décrits par la suite.

Elle permet également de conserver le lien étroit entre les unités de la BDLISA-NC et l'état des connaissances de la carte géologique dont elle est issue et permet de mutualiser le cas échéant les mises à jour des entités issues des formations géologiques à l'échelle du 1/50000.

L'exemple concret de cette relation étroite entre les deux modèles de données et l'impératif d'association des deux référentiels est celui du régolite minier. Le régolite des massifs miniers est le lieu principal du stockage des eaux souterraines au sein d'une matrice poreuse mais peu perméable.

L'aquifère au sens productif est souvent à l'interface entre le régolite et la roche saine, au sein du saprock qui présente souvent un faciès de type karstique (Massif du Sud notamment), (Jeanpert, 2017). Le régolite joue un rôle majeur dans l'alimentation des aquifères alluviaux en pied de massif. La cartographie du régolite sur péridotites a fortement progressé jusqu'en 2014 (Sevin, 2014) et est à nouveau en cours d'amélioration suite au programme actuel de Cartographie de l'Aléa Mouvement de Terrain (cf. Figure 2, Figure 4 et Figure 4).

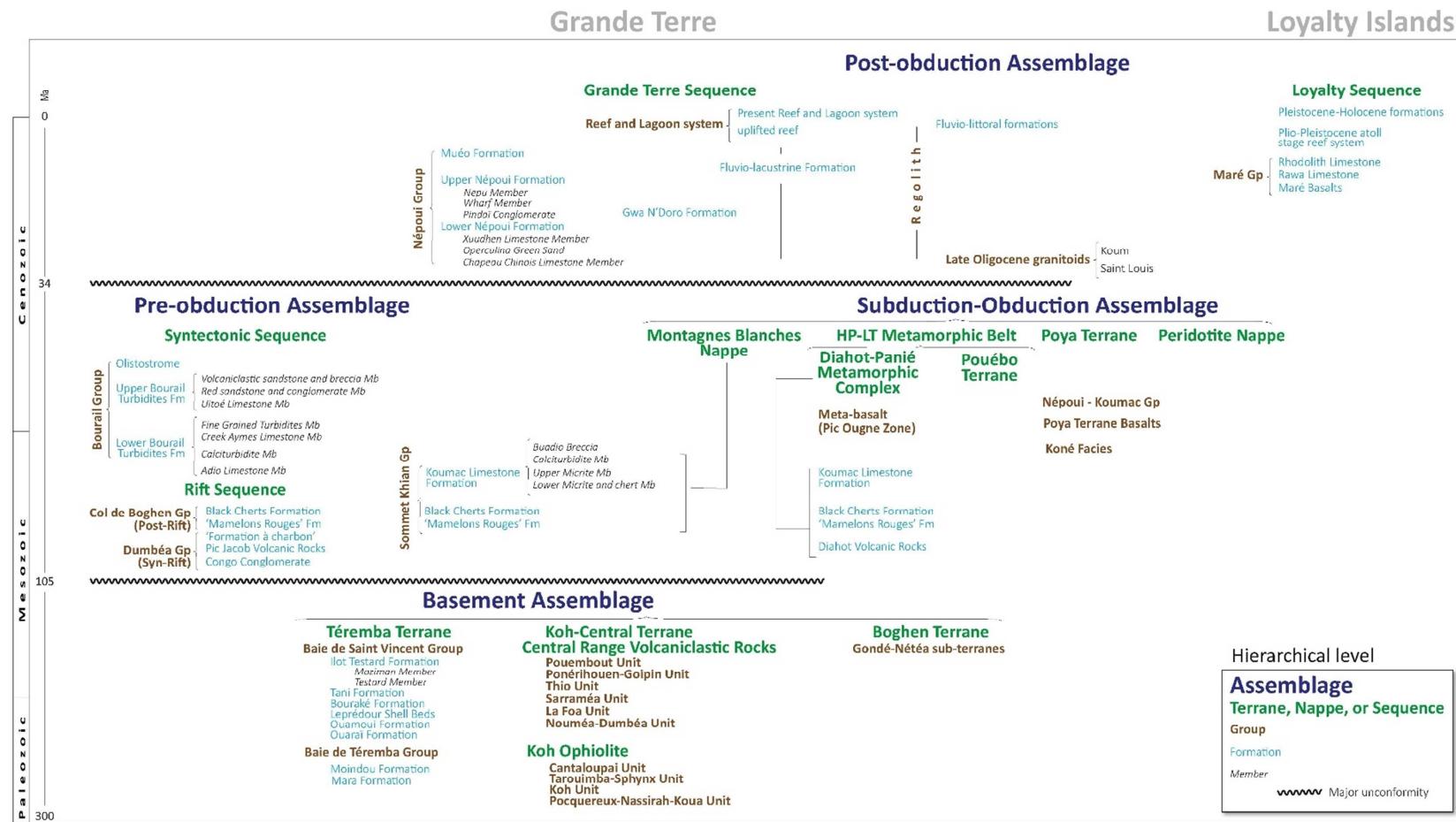


Figure 1 : Tableau de nomenclature des unités géologiques de Nouvelle-Calédonie (Formal nomenclature of geological units of New Caledonia. Excludes the Hunter-Matthew and Chesterfield island groups. Numerical ages after the International Chronostratigraphic Chart v2018/08 (Cohen et al. 2013; updated)). (Maurizot et Mortimer, 2020).

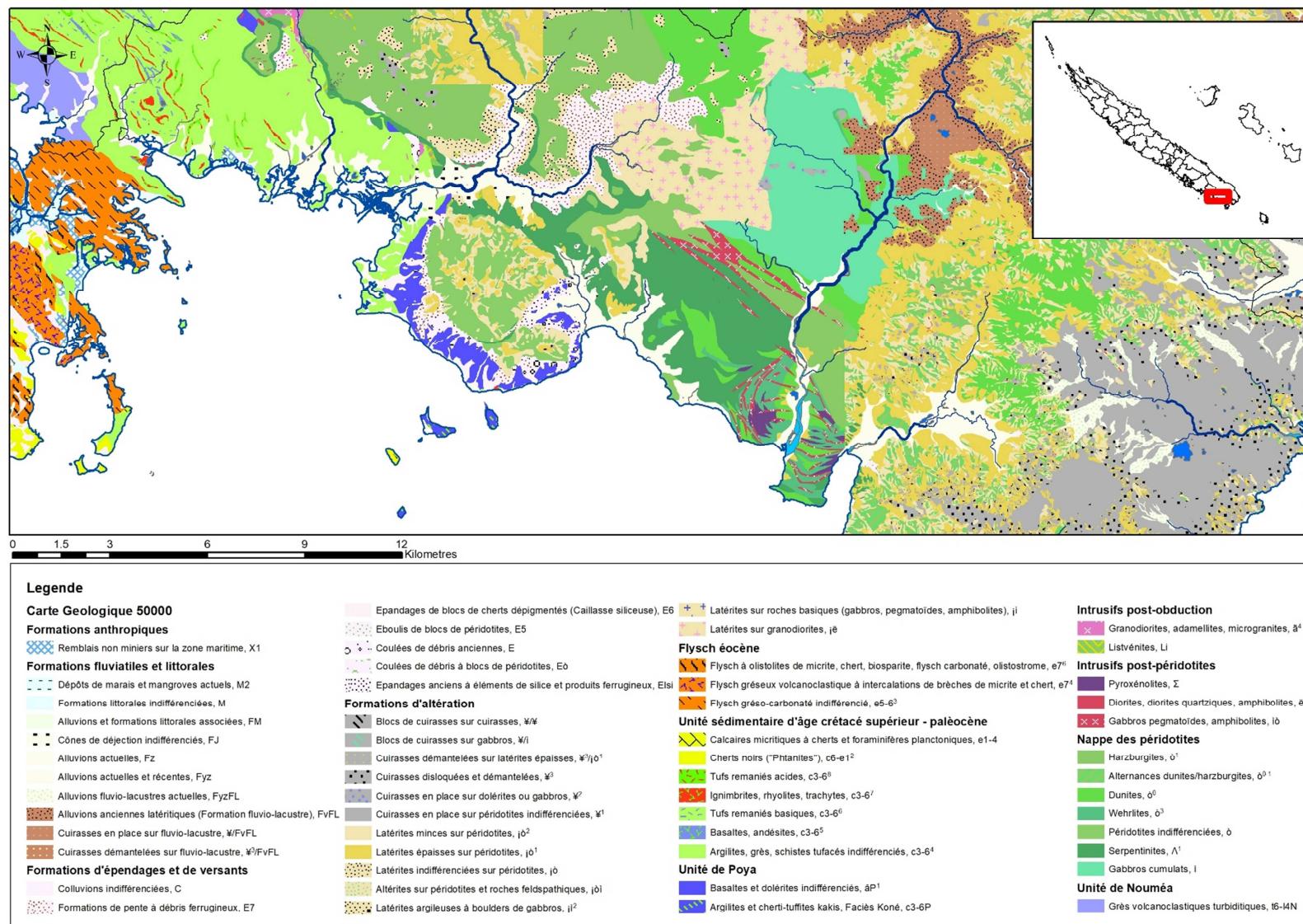


Figure 2 : Carte géologique de la commune du Mont Dore avant actualisation de 2019

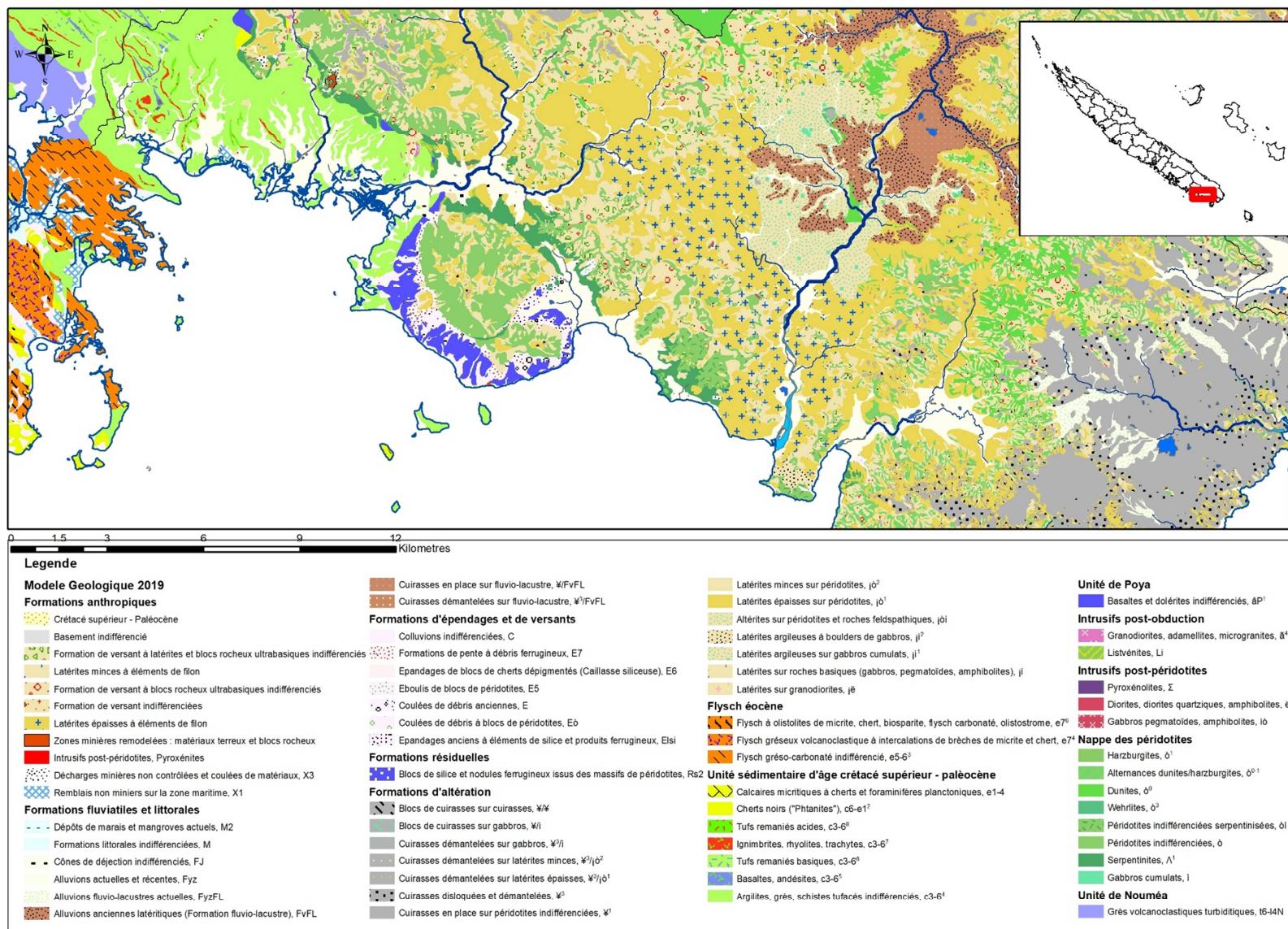


Figure 3 : Carte géologique de la commune du Mont Dore actualisée en 2019

L'illustration suivante présente un détail de la carte géologique de la commune du Mont Dore avant et après actualisation en 2019.

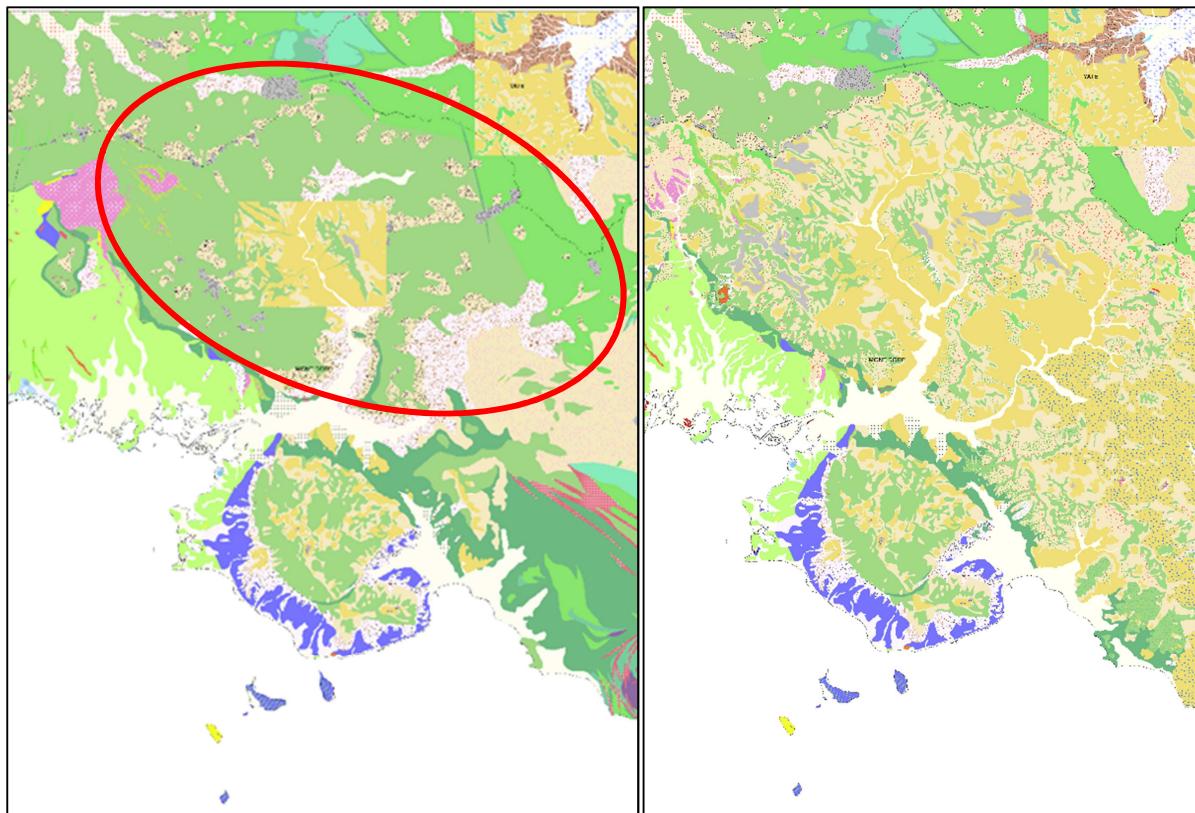


Figure 4 : Extrait de la carte géologique (SIGEOL 50 000) où la cartographie du régolite est hétérogène : en rouge, les surfaces où le régolite est sous-représenté et à droite la mise à jour en 2019.

Compte tenu de l'importance de ces travaux, la proposition d'adosser la carte géologique sous sa forme mise à jour notamment dans le cadre des travaux récents liés aux aléas, à la BDLISA-NC a permis d'hériter des travaux des géologues pour les hydrogéologues tout en conservant la cohérence entre des deux référentiels amenés à évoluer de manière importante dans les cinq prochaines années.

2. Modèle conceptuel de la base de données géologiques exploitée pour BDLISA-NC

Le modèle conceptuel du système d'information géographique qui réunit l'ensemble des données géologiques se compose de quatre tables distinctes (*Figure 5*) : trois tables spatialisées (Unités indépendantes, Matrice et Limites) et trois tables attributaires (Tableau unité, Tableau assemblage et Règle assemblage). Seules les Unités indépendantes, le Tableau des unités et les Règles d'assemblages sont extraits du SIGEOL et donc mis à jour par les géologues, le reste des données est généré automatiquement par le système d'information qui gère cette base de données (ArcGis). Le contenu des tables est détaillé dans le paragraphe suivant.

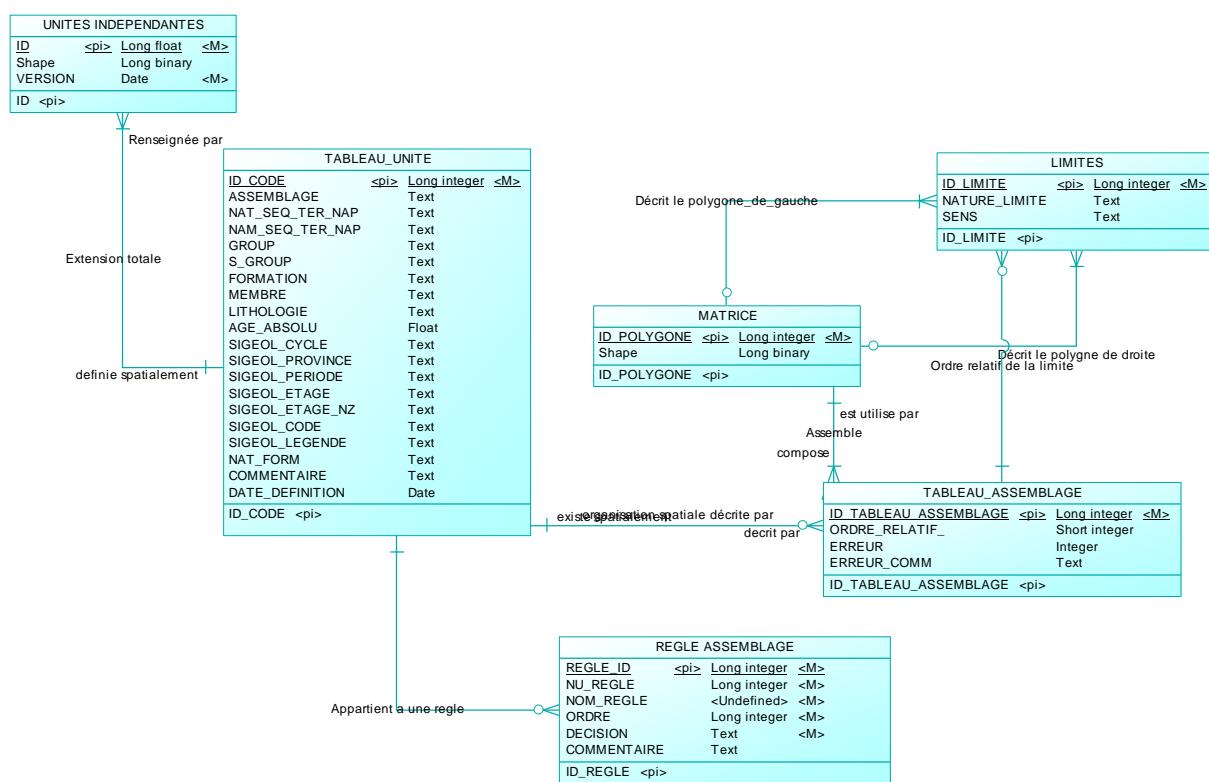


Figure 5 : Modèle conceptuel du SIGEOL3D utilisé pour la cartographie des entités hydrogéologiques BDLISA-NC.

Ce modèle conceptuel de données s'implémente sous la forme d'un modèle physique de données qui permet l'archivage des informations et l'exploitation des relations spatiales entre les objets qui vont conduire à l'élaboration du référentiel BDLISA-NC. Il permet la genèse d'un modèle physique implémenté dans une géodatabase fichier (système propriétaire sous ArcGis) ou bien sous PostGre.

2.1. MODÈLE PHYSIQUE DE DONNÉES

La Figure 6 présente le modèle physique de données.

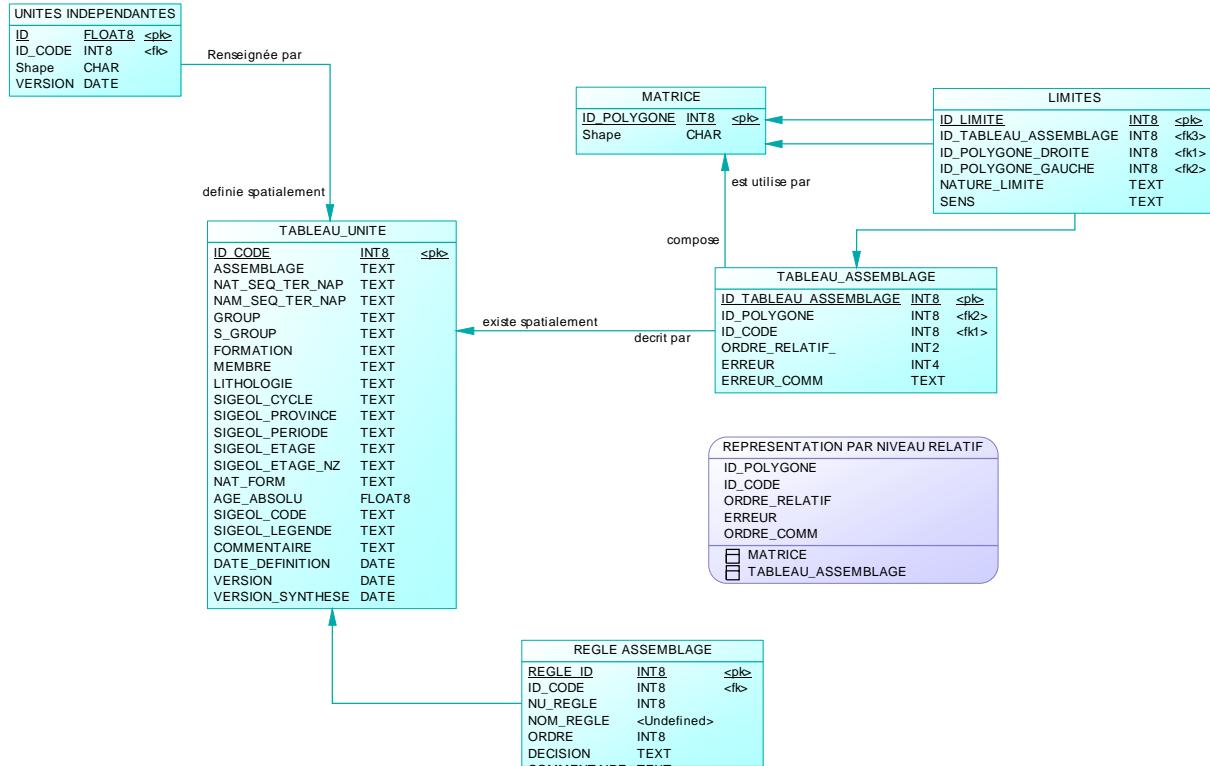


Figure 6 : Modèle physique de données géologiques utilisé pour la construction de la BDLISA-NC.

Les entités du modèle sont :

UNITES_INDEPENDANTES : Les unités indépendantes sont composées des polygones qui décrivent chaque unité élémentaire de la carte géologique (les membres). Au sein d'une unité, les polygones ne se superposent pas. Une unité peut être composée de plusieurs polygones joints ou disjoints. Les unités sont extraites de la carte géologique au 50 000 telles que définies en mars 2019. Pour la version 0 du référentiel hydrogéologique, un tri sur la taille des polygones n'a été réalisé que sur les formations alluviales. Pour les autres unités, tous les polygones indépendants ont été pris en compte pour la définition des entités hydrogéologiques indépendamment de leur extension. Ce point sera considéré et la cartographie améliorée dans la version 1 de la BDLISA-NC.

TABLEAU_UNITE : Le tableau des unités reprend l'essentiel des attributs de définition des entités géologiques et notamment le **ID_CODE** de l'entité qui est unique et l'**AGE_ABSOLU** de l'entité dont est extrait la définition de l'**AGE_ABSOLU** du modèle BDLISA-NC qui détermine la position de celle-ci par rapport à ses éventuelles épontes.

REGLE_ASSEMBLAGE : le tableau des règles d'assemblage contient un ensemble d'empilements potentiels des unités géologiques pour lesquelles une stratégie particulière de gestion peut être employée. Il a été notamment décidé plusieurs règles d'empilement concernant le régolite sur péridotite (cf. Figure 7), l'absence de recouvrement de différents types de faciès dans les péridotites, l'existence systématique de la semelle de serpentinite et de l'unité de Poya sous les massifs de péridotites, l'existence d'un régolite hors recouvrement sur l'unité de Poya et l'unité de la Boghen.

<i>Par exemple l'empilement :</i>	<i>[Cuirasse en place (id_code=104)]</i> <i>sur</i> <i>[Péridotite indifférenciées (id_code=178)]</i>
<i>Ne peut exister sans l'intercalation des latérites épaisses</i>	<i>[Cuirasse en place (id_code=104)]</i> <i>sur</i> <i>[Latérites épaisses sur Péridotites indifférenciées (id_Code=4)]</i> <i>sur</i> <i>[Péridotite indifférenciées (id_code=178)]</i>

Figure 7 : Exemple d'empilement géologique à partir des Unités indépendantes extraites du SIGEOL.

MATRICE : l'unité matrice est générée par le système d'information, elle contient les polygones élémentaires uniques (2D) qui vont former les « briques » avec lesquelles les couches 3D vont être représentées. Elle contient l'ensemble des polygones élémentaires composant chaque unité indépendante.

LIMITES : l'unité des limites est générée par le système d'information, elle contient les contours qui délimitent chaque unité de la carte géologique. Ces limites ou contacts sont orientés (notion de droite et de gauche) et distinguées selon leur position dans l'ordre relatif d'apparition ce qui permet de leur attribuer quelques règles de représentation.

Par exemple le contact entre la semelle serpentineuse des massifs miniers (id_Code=157) et les formations du Poya indifférencié (Id_CODE=20) sont représentées par un symbole de chevauchement orienté vers le Poya indifférencié.

TABLEAU_ASSEMBLAGE : Le tableau d'assemblage définit pour chaque polygone de l'entité MATRICE, la séquence d'organisation verticale des unités dans le modèle géologique 3D. Par exemple le polygone ID_POLYGONE=5879 est représenté à l'affleurement (ORDRE_RELATIF=1) par une unité géologique de la Cuirasse (ID_CODE=104), puis une unité géologique des latérites épaisses (ORDRE_RELATIF=2), etc. (cf. Figure 8)

Ordre relatif	ID_CODE	MEMBRE
1	104	Cuirasse en place
2	4	Latérites épaisses
3	178	Péridotites indifférenciées

4	157	Semelle serpentineuse
5	20	Poya indifférencié

Figure 8 : Tableau d'assemblage d'un empilement des membres du tableau d'assemblage de la carte géologique

REPRESENTATION_PAR_NIVEAU_RELATIF : Il s'agit d'une requête qui permet la composition de la carte géologique 3D utilisée pour la BDLISA-NC. La représentation de la carte de niveau relatif égale à 1 compose l'image de la carte géologique des formations qui affleurent.

2.2. CONSTRUCTION DU MODELE GÉOLOGIQUE 3D

Par convention, on définit le **Modèle_Source** comme celui qui contient les unités indépendantes (UNITES_INDEPENDANTES) et le tableau des unités (TABLEAU_UNITE). C'est au sein de ce modèle que sont mises à jour les unités et leurs contours géologiques par les géologues. Les unités géoréférencées étant indépendantes les unes des autres, la cohérence des superpositions éventuelles entre objets géologiques de codes distincts sera assurée par les outils mis en place pour la genèse du modèle physique associé : Modele_Geol_3D. Les composantes des deux modèles sont présentées dans la Figure 7.

Le passage du modèle **Modèle_Source** au modèle hiérarchisé (**Modele_Geol3D**) avec création du tableau d'assemblage des ordres relatifs et des limites, est assuré par des procédures automatiques.

Au terme des traitements topologiques mis en œuvre par le modèle de gestion, la table TABLEAU ASSEMBLAGE et les entités spatiales LIMITES et MATRICE sont générées à partir des UNITES INDEPENDANTES et du TABLEAU_UNITE. Ces tables permettent de produire une couverture géographique où les superpositions d'entités géologiques sont organisées selon l'ordre stratigraphique ou structural défini par le tableau de nomenclature (TABLEAU_ENTITE). La carte des formations à l'affleurement est composée des entités d'ordre relatif égal à 1. Elle est conforme en tout point à la carte géologique dite en 2D.

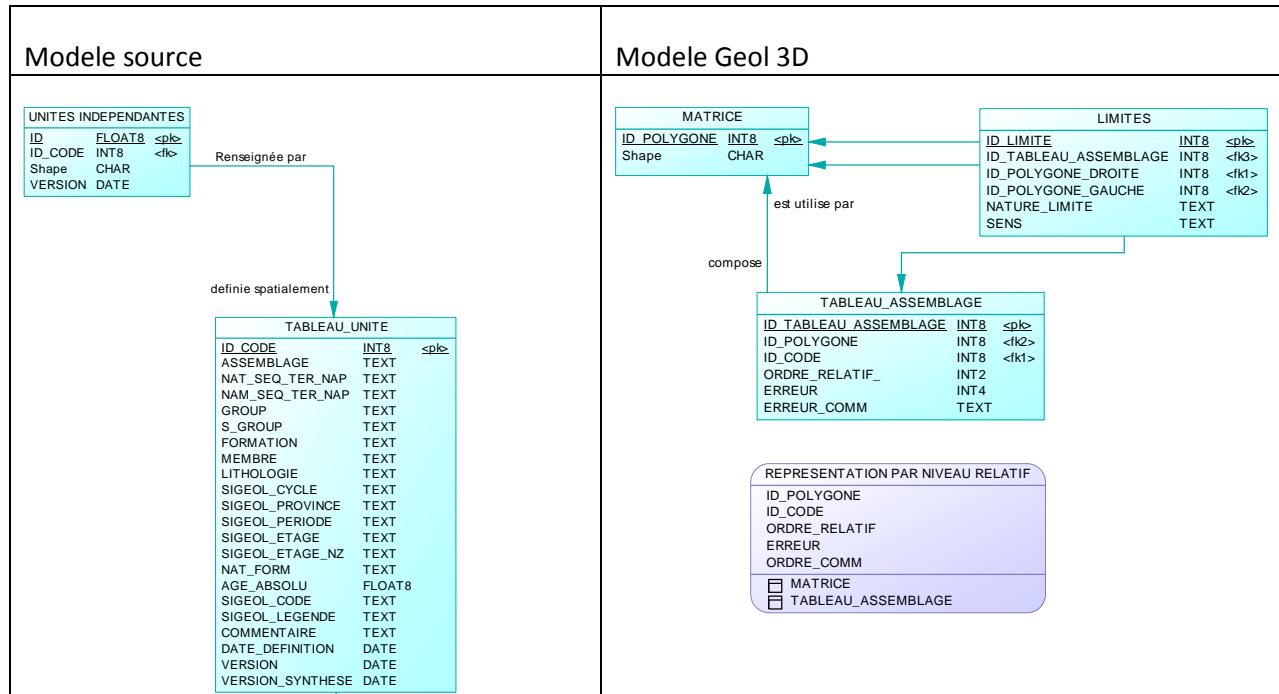


Figure 9 : Composants du modèle source et du modèle GEOL 3D

Le passage du **Modele_Source** au **Modele_Geol3D** s'accompagne d'une analyse des relations verticales entre les unités géologiques. Un ensemble de règles de superposition peuvent être établies et mises en œuvre de manière automatique. Par exemple, si deux unités géologiques d'âge absolu identique se chevauchent, un message d'information est automatiquement généré et associé au tableau synthétique.

Notons que par souci de simplification de gestion des UNITES_INDEPENDANTES, les entités géologiques sont gérées (dans le modèle physique de données) comme des couches géographiques indépendantes identifiées par le préfixe "UNITE_" auxquelles est associé le code unique ID_CODE d'indentification de l'entité.

3. Initialisation du système et première intégration des données au Modèle_Source

La première intégration des données au modèle source s'est appuyée sur la carte géologique harmonisée existante au terme du premier trimestre 2019 (SIGEOL 032019). Les premières entités BDLISA élaborées en 2019 se sont basées sur cette version de la carte géologique.

La carte géologique issue de l'harmonisation en 2006 des feuilles à l'échelle du 1/50000 et mise à jour régulièrement selon l'avancée de la cartographie de terrain (SIGEOL 032019) possède 261 unités géologiques distinctes. Les entités sont décrites au sein d'une table attributaire dont les champs sont décrits dans le tableau suivant (cf. Figure 8).

NOM DU CHAMP	DÉFINITION	EXAMPLE
OBJECTID	Numéro d'ordre généré automatiquement par le logiciel SIG, non signifiant et non invariant	1
SHAPE	Géométrie de l'entité (polygones)	
UNITE	Unité lithostratigraphique de base ou formations	<i>Unité de Téremba</i>
LITHOLOGIE	Lithologie	<i>Grès volcanoclastiques et lumachelles à Monotis, Formation des lumachelles de l'îlot Leprédour</i>
CODE	Code de l'unité (nomenclature SGNC)	<i>t6cT</i>
PROVINCE	Une province géologique est une grande région continentale qui correspond à un ensemble morphostructural du globe terrestre.	<i>Ride de Norfolk</i>
CYCLE	ou ères Subdivisions de l'échelle des temps géologiques associées à des conditions paléo-environnementales, paléontologiques, géodynamiques ou sédimentologiques similaires et homogènes.	<i>Anté-sénonien</i>
PERIODE	ou systèmes, subdivisions de l'échelle des temps géologiques, se réfèrent à des formations géologiques et des ensembles de fossiles	<i>Trias supérieur, Norien supérieur, Warepan</i>
ETAGE	Etage stratigraphique, subdivision des séries géologiques basée sur la chronostratigraphie, nomenclature internationale	
ETAGE_NZ	Etage dans la nomenclature néozélandaise	
CODE_BRGM	Code de l'unité (nomenclature BRGM)	<i>t6cT</i>
LEGENDE	Champ composite résultant de l'association de l'Unité, la lithologie et le code	<i>Unité de Téremba, Grès volcanoclastiques et lumachelles à Monotis, Formation des lumachelles de l'îlot Leprédour, t6cT</i>

Figure 10 : table attributaire des polygones du SIGEOL 032019

Ces données ont été extraites et individualisées en UNITES INDEPENDANTES identifiées par un ID_CODE non signifiant. Ce travail a permis de composer le tableau (TABLEAU_ENTITE) contenant de la liste des entités existantes et identifiées de manière univoque (ID_CODE est unique) dans le nouveau modèle. Le tableau des champs du Tableau_Entite du modèle_Source

utilisé dans le cadre de la BDLISA-NC est extrait de cette table attributaire et a été complété des attributs d'identification de la synthèse géologique (Maurizot et Mortimer, 2020 ; Maurizot, Robineau et al, 2020). La figure suivante présente le contenu de cette table.

NOUVEAU CHAMP CRÉÉ	NOM DU CHAMP	HÉRITÉ D'UN CHAMP EXISTANT	EXEMPLE	89
OUI	ID_CODE			
NON	CODE_SIGEOL_2D	CODE_BRGM	e7(4)	
	ASSEMBLAGE*		SUBDUCTION OBDUCTION	
NON	LEGENDE		Flysch éocène, Flysch gréseux à zéolites (Flysch de Pandop et de Népoui), e7(7b)	
NON	LITHOLOGIE	LITHOLOGIE	Flysch gréseux volcanoclastique à intercalations de brèches de micrite et chert	
	NAT_SEQ_TER_NAP*		TERRANE	
	NAM_SEQ_TER_NAP*		POYA	
	GROUPE_NAME*			
	GROUP_		NEPOUI-KOUMAC GP	
	S_GROUP		Flysch éocène	
	FORMATION*		Flysch	
OUI	MEMBRE	LITHOLOGIE	Flysch gréseux à zéolites (Flysch de Pandop et de Népoui)	
OUI	FORMSUP**		Est une formation superficielle	
OUI	AGE_ABSOLU			40000000
OUI	COMMENTAIRES			
OUI	REGOLITHE**		Est une formation associée au régolithe	
NON	SIGEOL_PROVINCE	PROVINCE	Ride de Norfolk	
NON	SIGEOL_CYCLE	CYCLE	Crétacé supérieur - Oligocène	
NON	SIGEOL_PERIODE	PERIODE	Paléocène - Eocène	
NON	SIGEOL_ETAGE	ETAGE	Bartonien - Priabonien	
NON	SIGEOL_ETAGE_NZ	ETAGE_NZ		

Les champs suivis d'une * sont soumis à une liste de valeurs pré-établies

Les champs suivis de ** sont définis par Oui ou par Non.

Figure 11 : Table attributaire du TABLEAU_ENTITE dans le modèle source

Un premier travail important de complémentation des entités sous couverture a été réalisé à partir des cas simples associés aux formations superficielles. Par exemple les formations superficielles formant un îlot sur une formation unique ont été dupliquées afin d'assurer la continuité des formations sous-jacentes. Ce travail a permis la composition des premières entités BDLISA-NC en 2019.

Les illustrations suivantes présentent les premiers travaux de mise en place des continuités sous recouvrement sur la commune du Mont Dore (cf. Figure 12 et Figure 13).

Référentiel BDLISA-NC : construction à partir des modèles de données géologiques

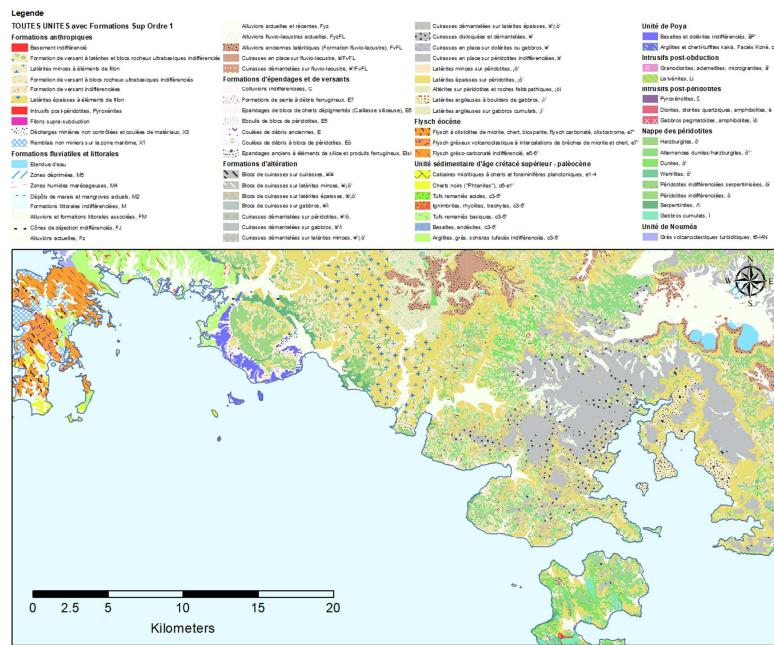


Figure 12 : Extrait de la carte des formations affleurantes avec formations superficielles.

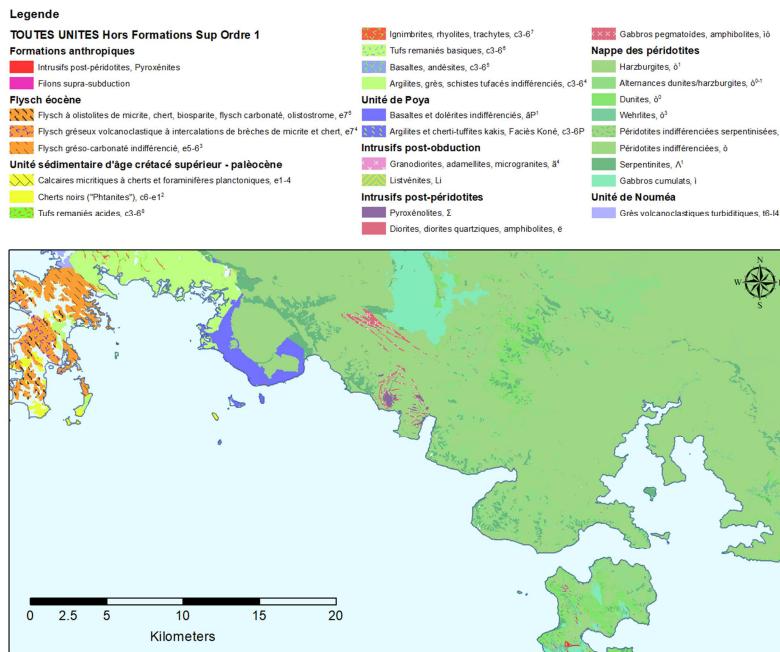


Figure 13 : Extrait de la carte des formations « affleurantes », hors formations superficielles.

4. Utilisation des données et flux de travail

Le flux de données décrit les étapes du cycle de vie des données de la base des données géologiques à son utilisation par les hydrogéologues en charge de la composition des entités BDLISA-NC, il est résumé dans l'illustration suivante.

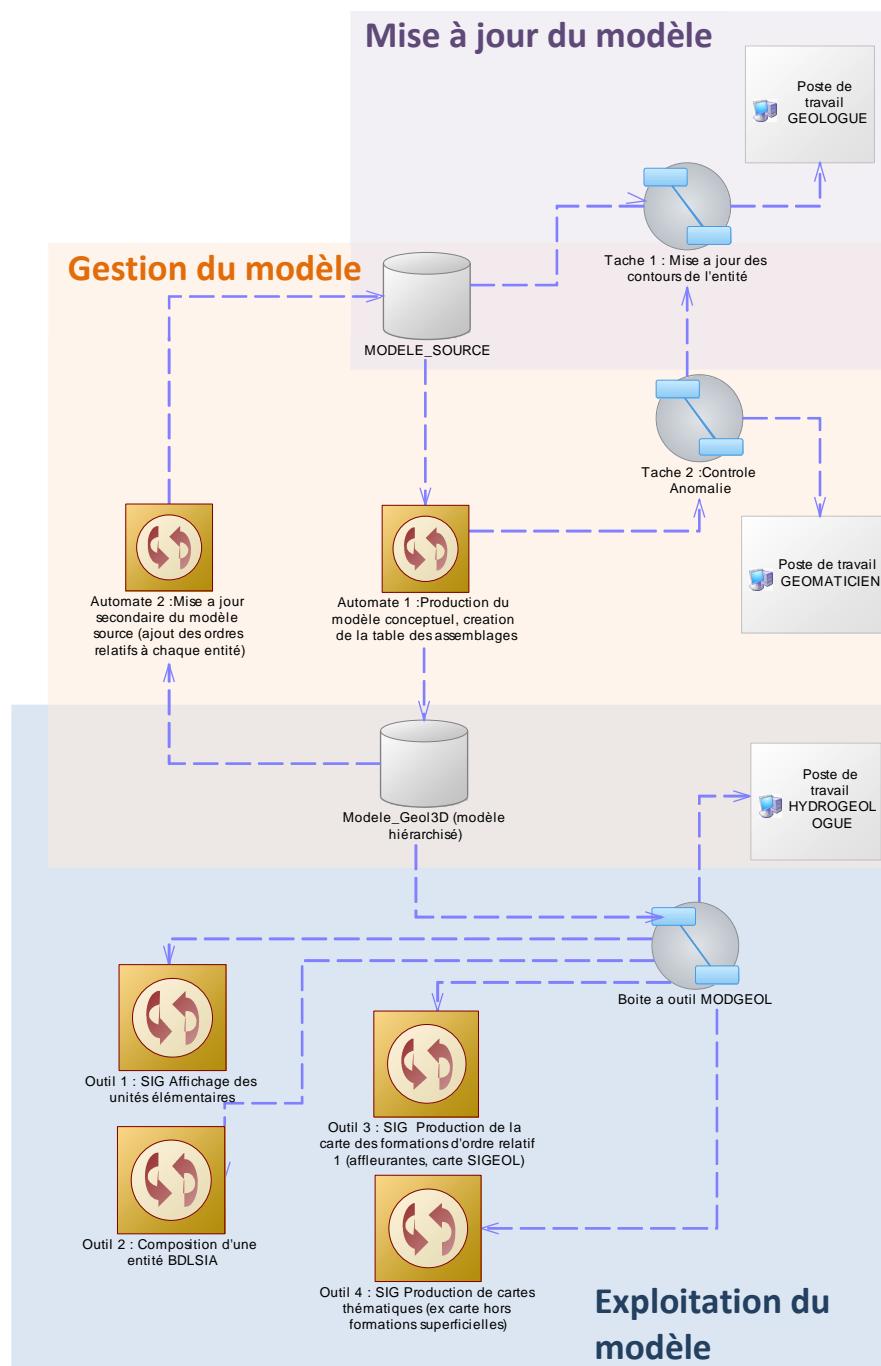


Figure 14 : schéma conceptuel des liens entre les modèles et les différentes étapes de construction du référentiel BDLISA-NC

Il se compose de trois groupes de tâches présentées ci-après.

4.1. LA MISE À JOUR DES ENTITES GÉOLOGIQUES

Cette tâche consiste à mettre à jour les contours des différentes entités géologiques qui composent le territoire et servent à la définition des entités BDLISA-NC. Elle s'applique à la base de données du Modele_Source, c'est-à-dire que chaque membre ou formation géologique est traitée de manière indépendante. Elle s'accompagne, si nécessaire, de la mise à jour de leurs attributs thématiques (TABLEAU_ENTITE). Elle est supervisée par le géologue et consiste à définir les contours des unités de manière indépendante (*a priori*).

- Premier exemple, la modification d'entités qui se superposent. Ainsi l'ajout ou le retrait de formations alluviales sur des formations des basaltes de Poya n'impose pas de modification des contours du Poya considérée comme, le cas échéant, sous couverture des formations superficielles (ID_CODE 1 et 20).
- Second exemple, modification des limites du contact observé entre deux entités qui ne devraient pas être juxtaposées. Dans ce cas, deux approches peuvent être conduites :
 - a. La modification successive des limites des deux entités ;
 - b. La modification d'une seule limite et la correction, a posteriori, après le passage du contrôle de gestion du modèle. Les anomalies détectées par les règles associées dans le tableau d'assemblage sont identifiées lors des traitements d'analyse de cohérence du modèle qui parcourront les superpositions locales de polygones d'entités distinctes et les analysent en regard des règles définies par la Figure 15.

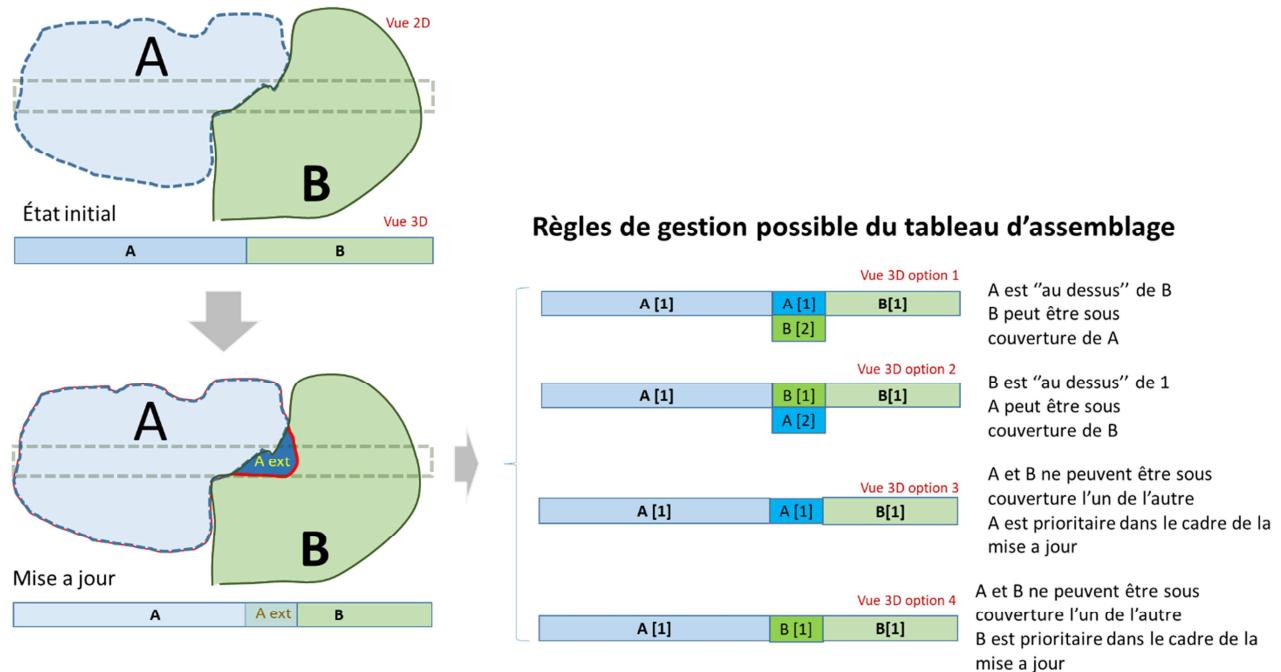


Figure 15 : Règles de superposition des unités géologiques utilisées pour le SIGEOL 3D de la Nouvelle-Calédonie.

- T

4.1.1. La gestion du modèle

Elle est supervisée par le géométrien en application des règles de construction associées à l'ordre absolu d'apparition des entités. Ces règles sont déduites du tableau des entités (par la définition des ordres absolus associés). L'analyse des règles de construction (cf. Figure 16) produit un premier rapport d'état de la base de données où sont consignées les alertes ou les corrections générées automatiquement par le modèle de gestion.

Un second rapport d'état peut être généré depuis un ensemble complémentaire de règles. Elles sont définies par la séquence des ID_CODE recherchés dans un ordre spécifique. Un journal des observations est produit à l'application de ces règles (cf. Figure 17).

COMMENTAIRE	ID_CODE (code de l'entité recherchée)	position Ordre Relatif	Sequence
Il ne devrait pas y avoir de Poya directement sous des peridotites	2 Pile 178-20	1	178
Il ne devrait pas y avoir de cuirasse en place sur des peridotites indif sans lat épaisse...	3 Cuirasse 1	1	104
	3	2	178

Figure 16 : Exemple de règles utiles à la gestion du modèle

Regle_Num	Nom	commentaire	decision	position Ordre Relatif	Sequence
3	Cuirasse 1	Il ne devrait pas y avoir de cuirasse en place sur des peridotites indif sans lat épaisse...	Alerter	539	Toit 1 104-178-157-20
3	Cuirasse 1	Il ne devrait pas y avoir de cuirasse en place sur des peridotites indif sans lat épaisse...	Alerter	623	Toit 1 104-178-157-20
3	Cuirasse 1	Il ne devrait pas y avoir de cuirasse en place sur des peridotites indif sans lat épaisse...	Alerter	663	Toit 1 104-178-157-20
3	Cuirasse 1	Il ne devrait pas y avoir de cuirasse en place sur des peridotites indif sans lat épaisse...	Alerter	674	Toit 1 104-178-157-20
3	Cuirasse 1	Il ne devrait pas y avoir de cuirasse en place sur des peridotites indif sans lat épaisse...	Alerter	12582	In 2 131-104-178-157
...					

Figure 17 : Exemple d'édition d'un journal des observations

4.1.2. Outils de gestion des bases de données géologiques

Deux outils spécifiques ont été élaborés pour la gestion des entités géologiques :

- 1 : Le générateur de la base SIGEOL3D
- 2 : L'application des règles de suivi.

Ces deux outils se présentent sous la forme de scripts Python intégrés à une boîte à outils nommée Genese de SIGEOL 3D (toolbox ESRI®), cf. Figure 18.

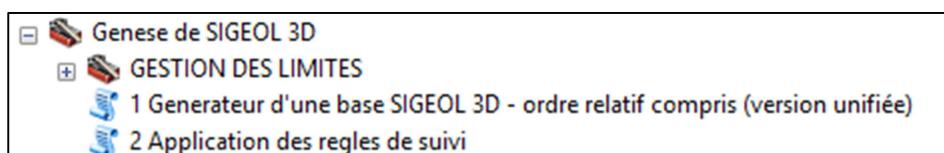


Figure 18 : Outils de création de la base SIGEOL 3D

1 Générateur d'une base des entités géologiques

Le premier outil génère une base de données Geol3D à partir des unités élémentaires présentes dans la SIGEOL (**Base de travail actuelle**). Elle compose une nouvelle base de travail à l'issue des traitements qui contiennent l'ensemble des tables et entités décrites dans le modèle de données (cf. Figure 19).

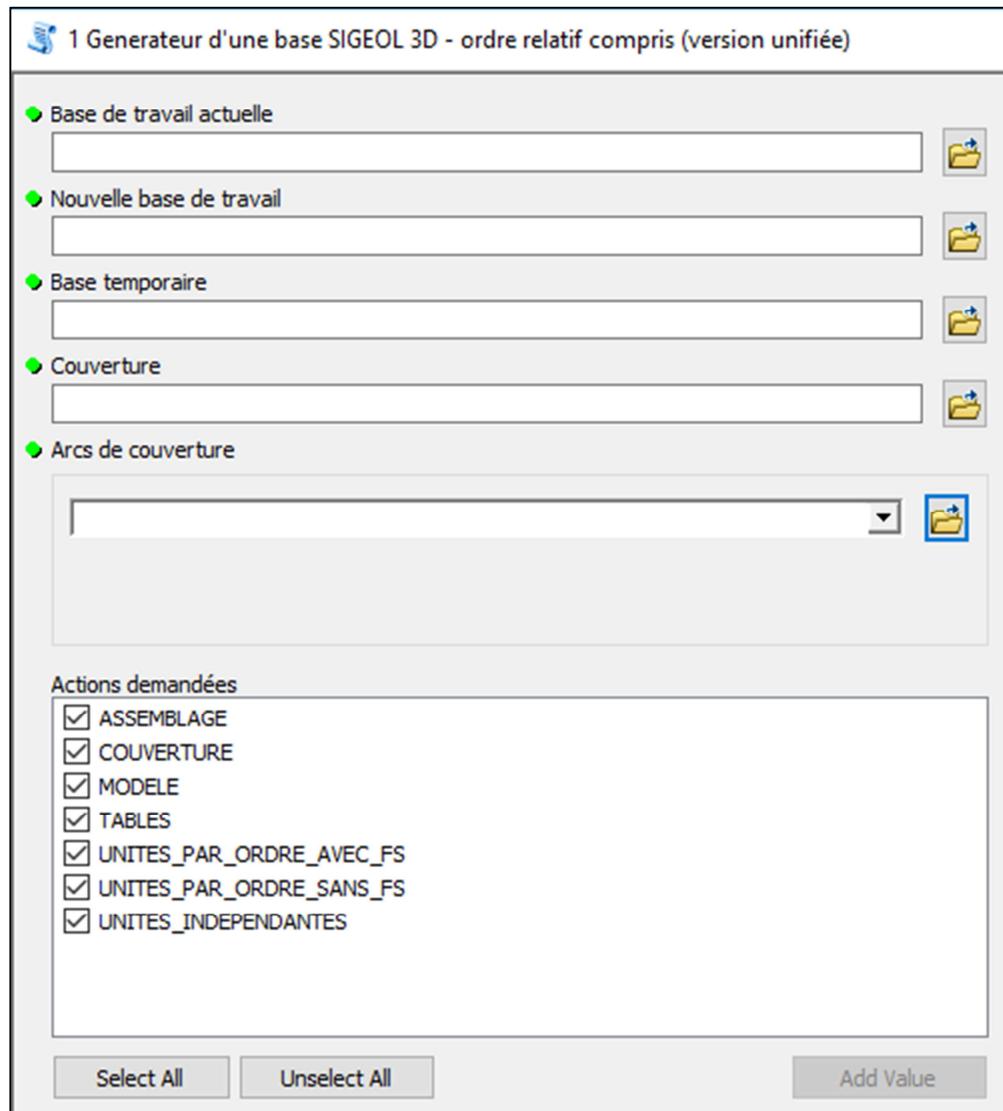


Figure 19 : Automate de gestion de base de données Geol3D.

Bases temporaire, **Couverture** et **Arcs de couverture** sont des tables intermédiaires qui sont définies par défaut.

Les **actions demandées** représentent les différentes étapes du traitement, elles peuvent être réalisées de manière séquentielle mais par défaut sont enchaînées afin de produire systématiquement une version complète du référentiel à chaque sollicitation de l'outil.

Un journal de contrôle des traitements est produit systématiquement. Il est nommé *dataGen_annee_mois_jour.txt* et reprend les messages associés à chaque phase du traitement automatisé (cf. Figure 20).

Figure 20 : Extrait du journal de contrôle de l'automate de gestion du modèle Geol3D

2 Application des règles de suivi

Cet outil déclenche l'analyse des empilements selon les règles définies, il produit des états de traitement sous formes de fichiers textes nommés selon le numéro de la règle appliquée et la date du traitement (par exemple : Regle_4_2019_10_20.txt, journal de contrôle de la règle n°4 réalisé le 20 octobre 2019).

4.2. L'EXPLOITATION DU MODÈLE GEOL3D POUR LA BDLISA-NC

Elle est supervisée par l'hydrogéologue qui associe les polygones des différentes entités retenues au sein d'unités BDLISA-NC définies dans le tableau TME.

Les outils mis à disposition de l'hydrogéologue sont simplifiés autour de deux tâches (cf. Figure 25).

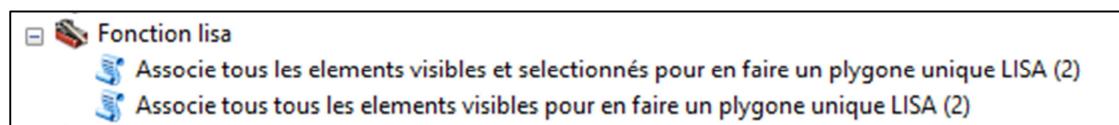


Figure 21 : Boîte à outil pour l'hydrogéologue, en charge de la BDLISA-NC

Le 1^{er} outil permet la composition d'une entité BDLISA-NC par agrégation des polygones sélectionnés dans le modèle géologique. Cela suppose une sélection initiale depuis l'interface SIG des polygones de la géologie. Ils peuvent être sélectionnés dans le *modèle source* (unités individualisées) ou bien dans le *modèle de gestion* (organisé verticalement).

Un second outil permet la composition d'une entité BDLISA-NC par agrégation des polygones visibles dans le modèle géologique. Cela suppose d'activer ou non l'affichage des polygones de la géologie depuis les unités indépendantes du *modèle source* ou bien du *modèle de gestion* (organisé verticalement).

Des exemples d'utilisation de la base de données des entités géologiques pour sélectionner ou représenter les éléments constitutifs de la BDLISA-NC sont présentés Figure 22.



Figure 22 : Représentation des formations alluviales seules pour une sélection des entités BDLISA-NC affiliées.

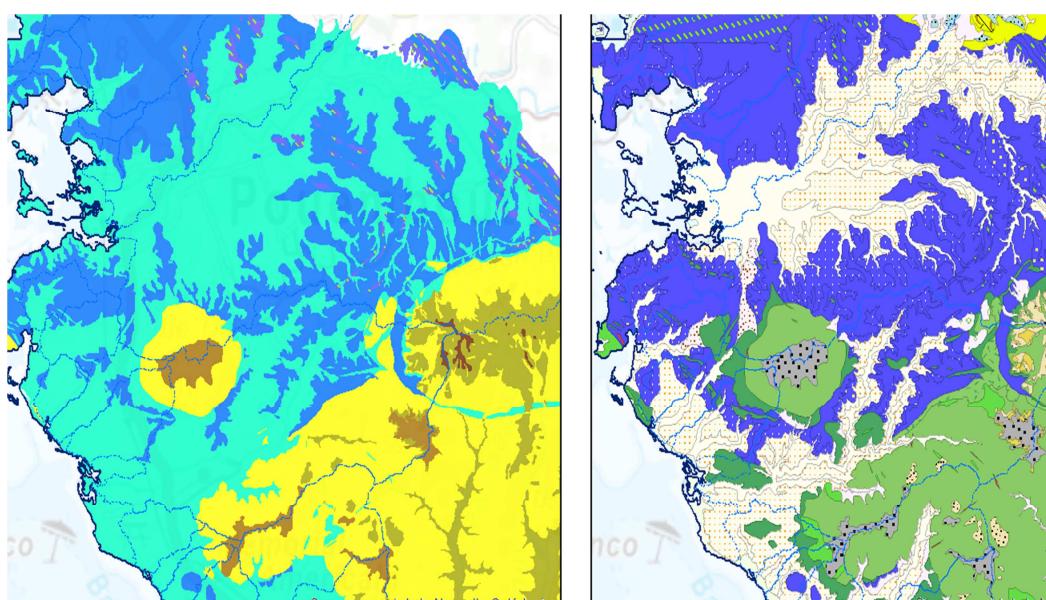


Figure 23 : Représentation des formations composant l'unité de Poya, sous couverture à gauche et affleurantes à droite.

4.3. EXEMPLE D'ASSEMBLAGE BDLISA-NC, TRAITEMENT DU MASSIF DE POUM

L'exemple ci-dessous présente comment cartographier les entités BDLISA-NC, listées dans le tableau multi-échelle, à partir des bases de données géologiques et des outils décrits ci-dessus et l'ensemble des unités géologiques concernées est présenté sur la Figure 24.

Le massif de Poum est inclus dans l'unité de dénomination territoriale n° 330, le **Grand système aquifère des klippes de péridotite du Nord**. Il est représenté par trois unités de dénomination régionale (niveau 2 de BDLISA-NC) présentées dans le tableau suivant :

330CA	Roche altérée des péridotites et roches associées du massif de Poum des klippes du Nord
330CS	Roche saine des péridotites et roches associées du massif de Poum des klippes du Nord
330CV	Semelle des péridotites (serpentinite) du massif de Poum des klippes du Nord

Ces unités régionales se déclinent en 6 unités de dénomination locale (niveau 3 de BDLISA-NC) présentées dans le tableau suivant :

330CA10	Cuirasse des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord
330CA30	Allotérite des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord
330CA50	Isaltérite des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord
330CS60	Faciès harzburgitique dominant des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord
330CS70	Faciès lherzolitique des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord
330CV90	Semelle des péridotites (serpentinite) du massif de Poum des klippes du Nord

La création de ces 6 unités à partir des polygones de la base de données géologique procède de la sélection des éléments de la base géologique.

Polygones retenus pour composer l'entité
BDLISA-NC n° 330CA10, Cuirasse des
péridotites du massif de Poum des klippes du
Nord

Unite_104 - Cuirasses en place sur péridotites indifférenciées (10000000.0)

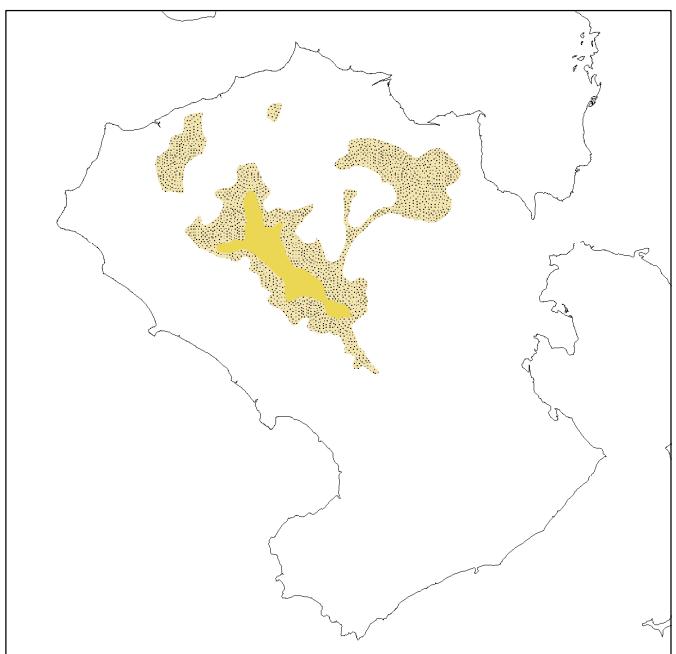


Polygones retenus pour composer l'entité
BDLISA-NC n° 330CA50 Isaltérite des
péridotites du massif de Poum des klippes du
Nord

Polygones retenus

Unite_4 - Latérites épaisses sur péridotites (23800000.0)

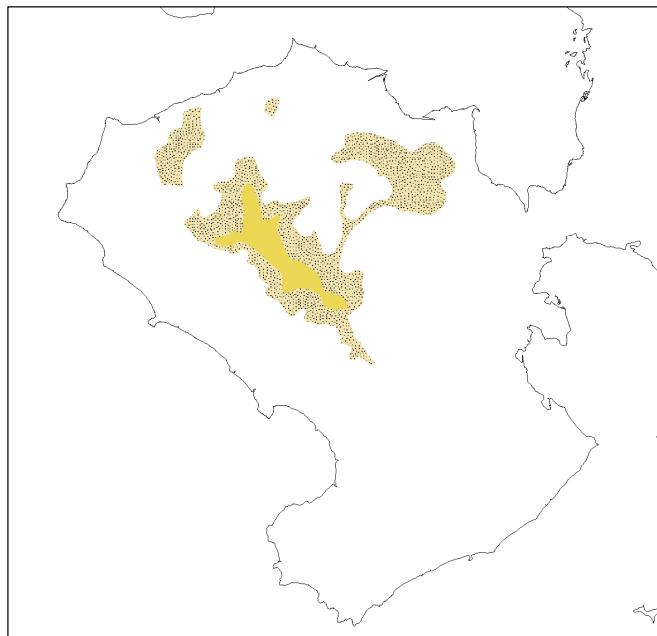
Unite_3 - Latérites indifférenciées sur péridotites (23800000.0)



Polygones retenus pour composer l'entité BDLISA-NC n° 330CA30, Allotérite des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord

Polygones retenus

- Unite_4 - Latérites épaisses sur péridotites (23800000.0)
- Unite_3 - Latérites indifférenciées sur péridotites (23800000.0)

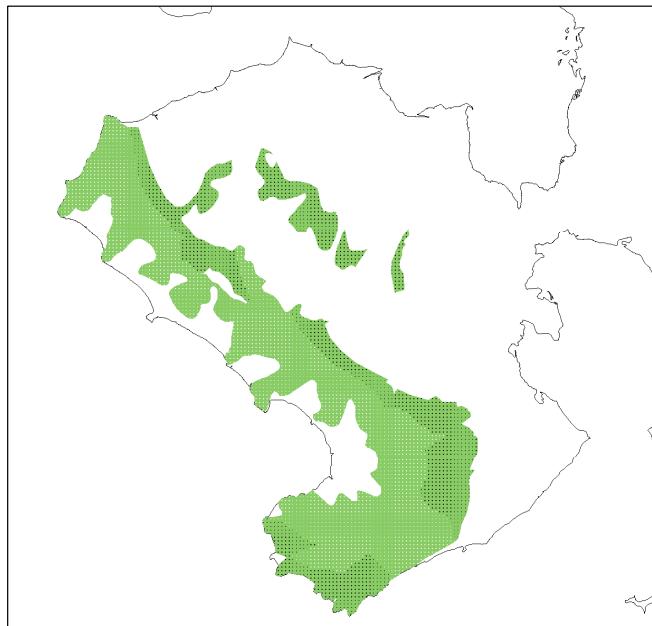
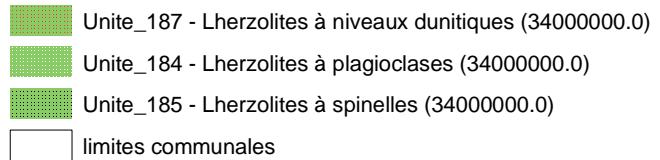


Polygones retenus pour composer l'entité BDLISA-NC n° 330CS60, Faciès harzburgitique dominant des péridotites du massif de Poum des klippes du Nord

- Unite_179 - Dunites (34000000.0)
- Unite_186 - Wehrellites (34000000.0)
- Unite_182 - Harzburgites (34000001.0)
- Unite_181 - Alternances dunites harzburgites (34000000.0)
- Unite_178 - Péridotites indifférenciées (34000002.0)



Polygones retenus pour composer l'entité BDLISA-NC n° 330CS70 - Faciès Iherzolitique des périclases du massif de Poum des klippes du Nord



Polygones retenus pour composer l'entité BDLISA-NC n° 330CV90- Semelle des périclases (serpentinite) du massif de Poum des klippes du Nord

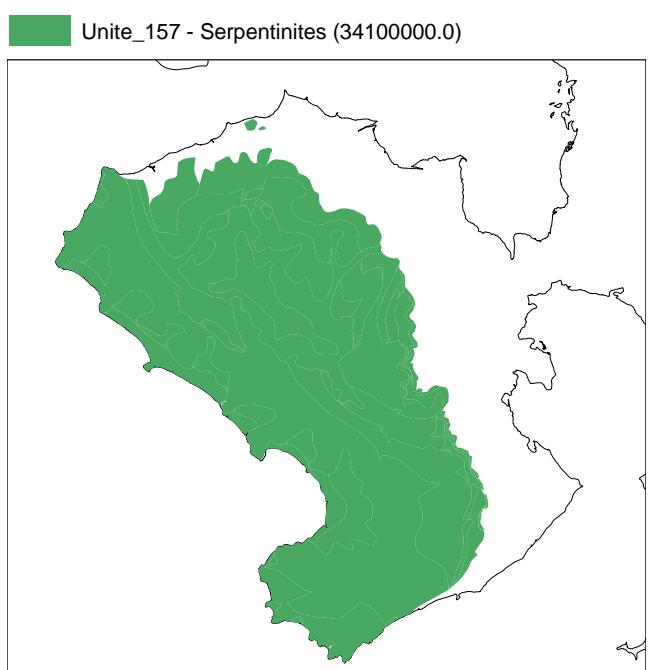


Figure 24 : Liens entre les unités géologiques et les entités BDLISA-NC créées

Au total pour la presqu'île de Poum, 12 entités BDLISA-NC ont été définies dans le tableau multi-échelle, elles sont décrites en 4.4.6.

4.4. PROCÉDURE DE COMPOSITION DU MODÈLE BDLISA-NC

À partir des entités élémentaires de BDLISA-NC, la procédure de composition du modèle géométrique procède à une automatisation de traitement en 5 étapes. Ces traitements ne nécessitent pas de fonctionnalités particulières et peuvent être conduits au travers des logiciels usuels de traitement géomatique (MAPINFO, ARCGIS, QGis,...).

4.4.1. Etape 1 : Composition d'un ensemble unique de données qui regroupe l'ensemble des polygones d'emprise de chaque entité BDLISA-NC : BDLISA-NC_Niveaux_3

Cet ensemble contient, sans les modifier, l'ensemble des polygones qui composent chacune des entités BDLISA-NC numérisée.

- Il comporte des superpositions non ordonnées de polygones ;
- Chaque polygone est décrit par son code BDLISA-NC de niveau 3 et son âge absolu.

4.4.2. Etape 2 : Composition d'une couche de polygones en deux dimensions qui résulte de l'intersection de chaque entité de l'ensemble précédent : MATRICE. Création d'une couche de points représentant les centroïdes de ces polygones (MATRICE PTS)

Cet ensemble contient l'ensemble des polygones décrits précédemment qui vont être « aplatis », réduits à des polygones non superposés. Cette étape est produite par l'intersection de toutes les entités BDLISA-NC élémentaires.

La couche de polygones obtenus ne comporte aucune superposition.

Chaque polygone est décrit par un numéro unique (MATRICE_ID).

À partir de cet ensemble de polygone est créé l'ensemble des points correspondant à leurs centroïdes.

Chaque point est renseigné par le numéro unique du polygone dont il est issu (MATRICE_ID).

4.4.3. Etape 3 : Intersection de ces points avec les polygones d'entités MATRICE PTS Intersecte BDLISA-NC_Niveaux_3 : MATRICE PTS_Niveaux3

L'ensemble des points vont intersecer toutes les entités BDLISA-NC élémentaires (étape 1) et produit la couche des MATRICE PTS_Niveaux3.

Un point qui intersecte 2 (ou n) entités BDLISA-NC produit 2 (ou n) points en sortie. Ces points disposent du numéro de polygone élémentaire de MATRICE et de l'identifiant BDLISA-NC de l'entité recoupée ainsi que de l'âge absolu de celle-ci.

4.4.4. Etape 4 : Mise en place de l'ordre relatif pour MATRICE PTS_Niveaux3

L'ensemble MATRICE PTS_Niveaux3 est complété d'un attribut spécifique à l'ordre relatif d'apparition des entités BDLISA-NC. Cet attribut est initié à 1 pour l'entité d'âge le plus récent. Il

est incrémenté de 1 pour chaque entité suivante selon l'ordre d'âge absolu croissant. Cet attribut compose l'ordre relatif. Le schéma suivant résume ces 4 étapes.

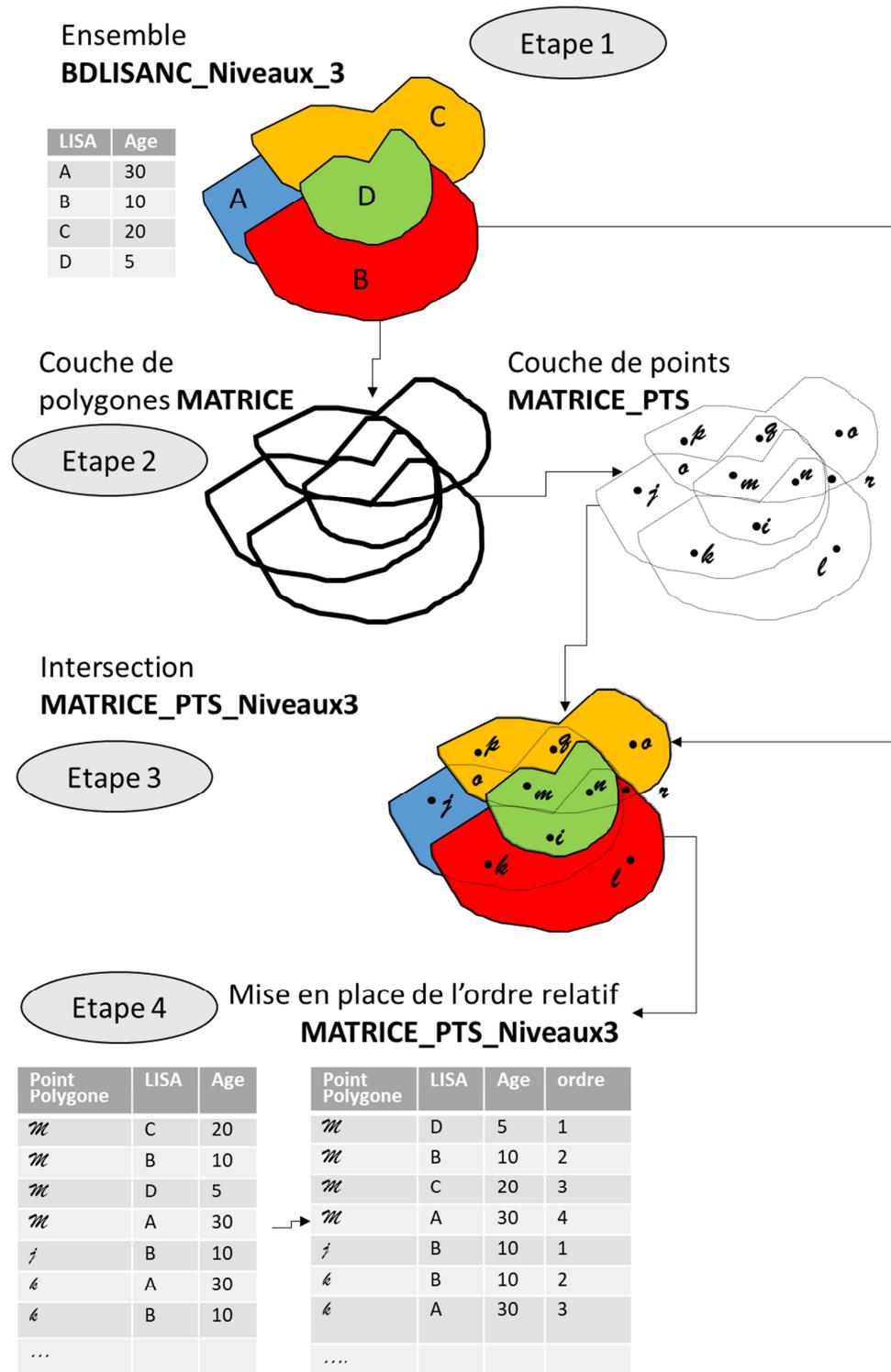


Figure 25 : Etapes initiales de composition du référentiel BDLISA-NC.

4.4.5. Genèse du modèle BDLISA-NC

La matrice des polygones décrite dans le couche **MATRICE PTS_Niveaux3** est utilisée en jointure avec la couche **Matrice** pour produire les différentes entités BDLISA-NC ordonnancées selon l'ordre de superposition (ou d'âge absolu/empilement).

4.4.6. Exemple de Poum

Le cas de la presqu'île de Poum est décrit à la suite, la BDLISA-NC comprend 12 entités présentées dans les deux figures suivantes et classées selon leur âge absolu, les alluvions récentes sont les plus ‘jeunes’ et l’unité 95GB40 représente l’unité BDLISA-NC composée du ‘basement’ le plus ancien.

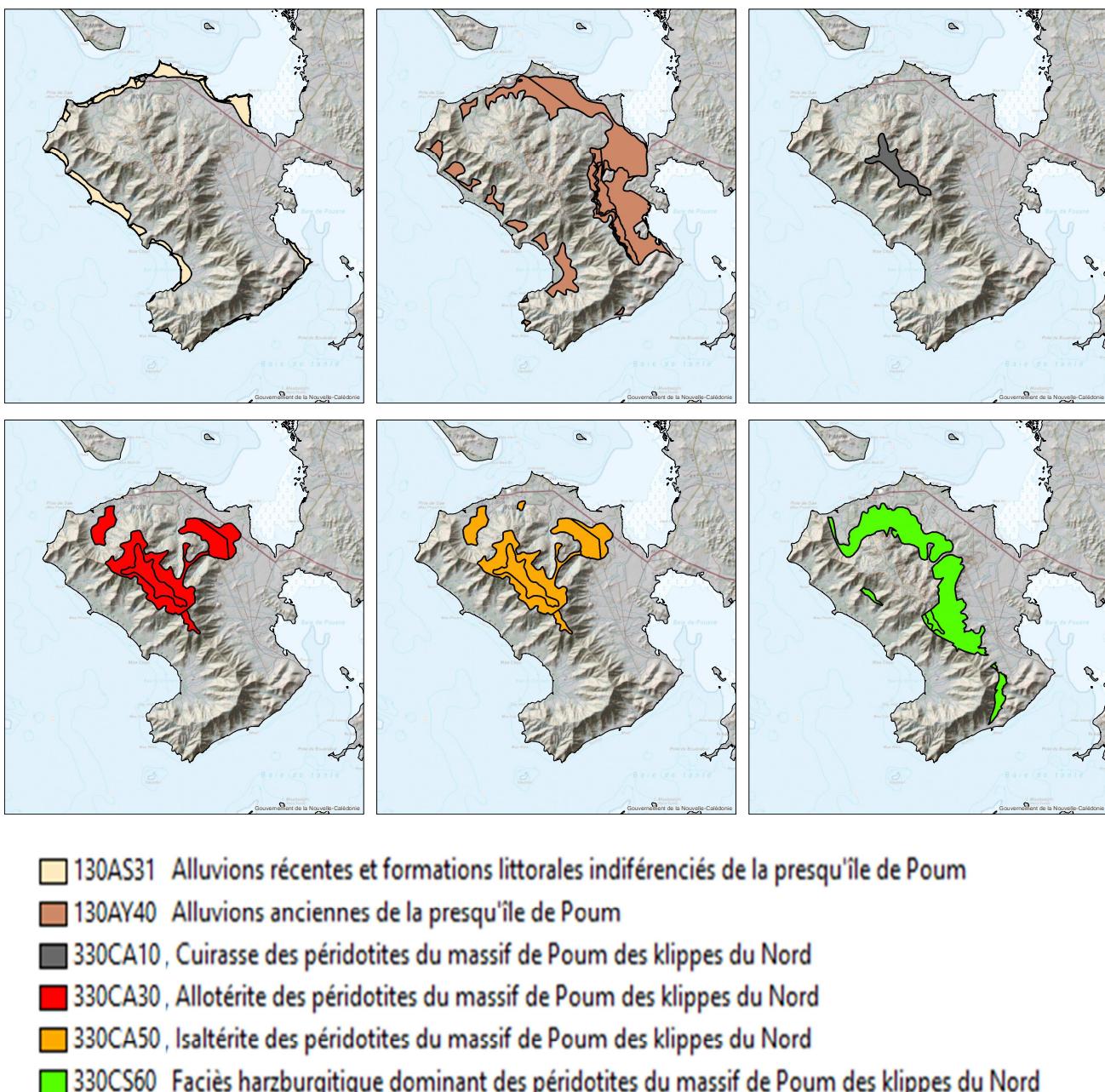


Figure 26 : Entités BDLISA-NC du massif de Poum (les plus superficielles ou plus jeunes)

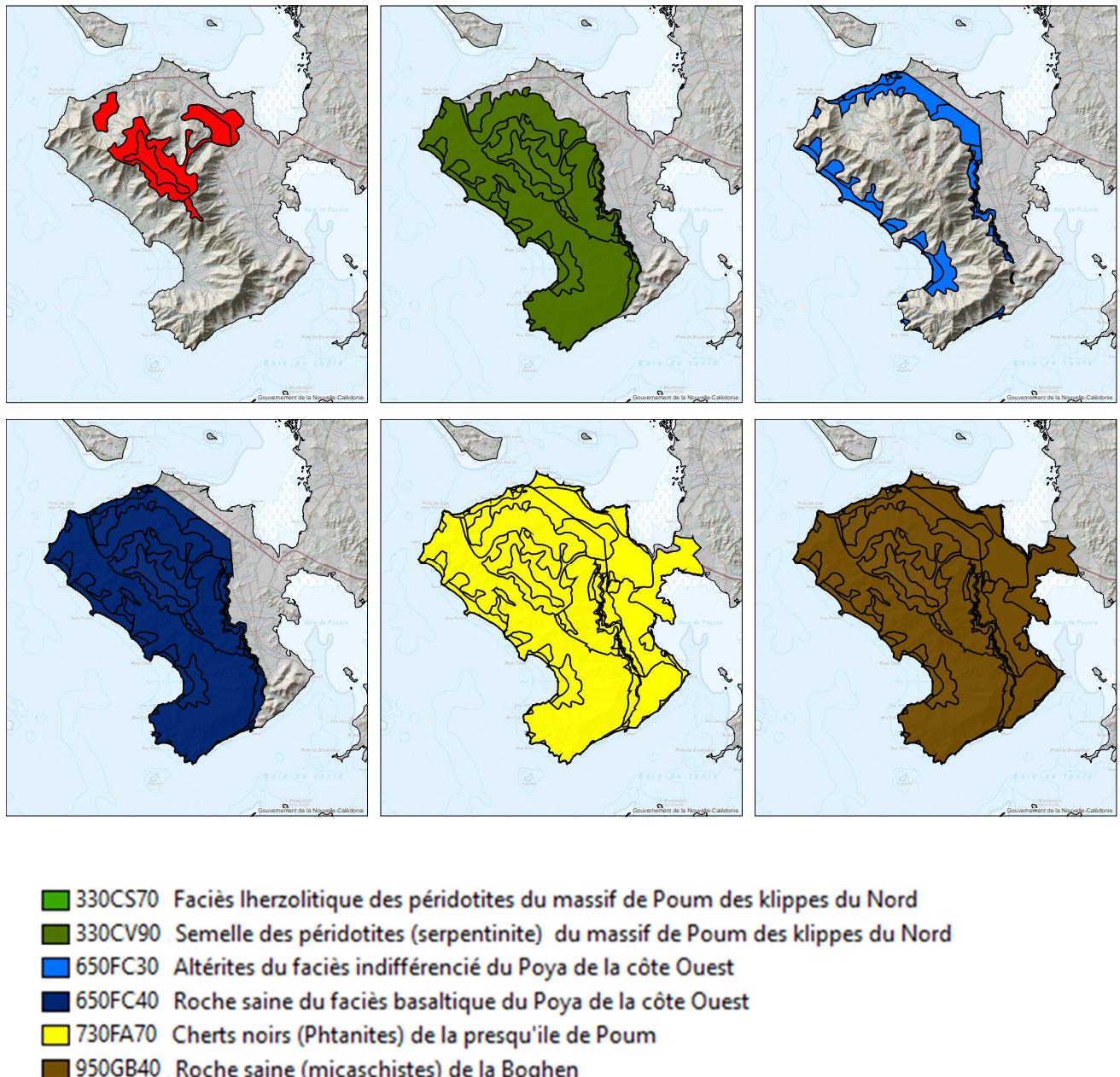


Figure 27 : Entités BDLISA-NC du massif de Poum (les plus profondes ou plus anciennes)

Ces unités BDLISA-NC ont été soumises aux procédures de composition du modèle. Le résultat est présenté dans les illustrations suivantes selon l'ordre absolu ou relatif.

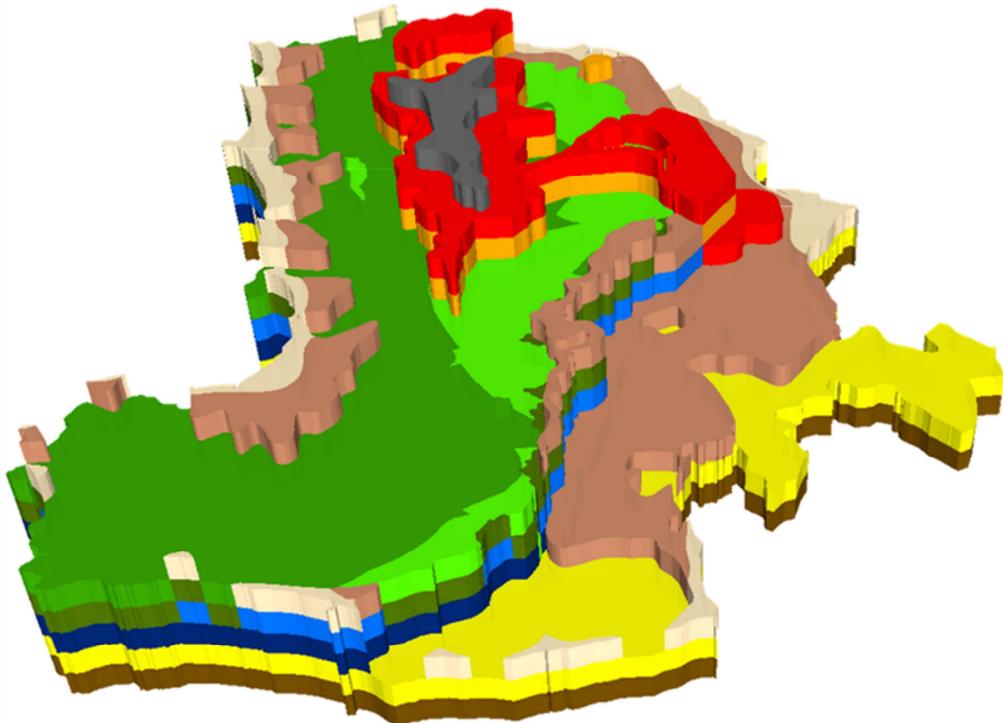


Figure 28 : Représentation de la presqu'île de Poum par ordre d'empilement des entités BDLISA, cet ordonnancement est conforme à l'organisation en âges absolus.

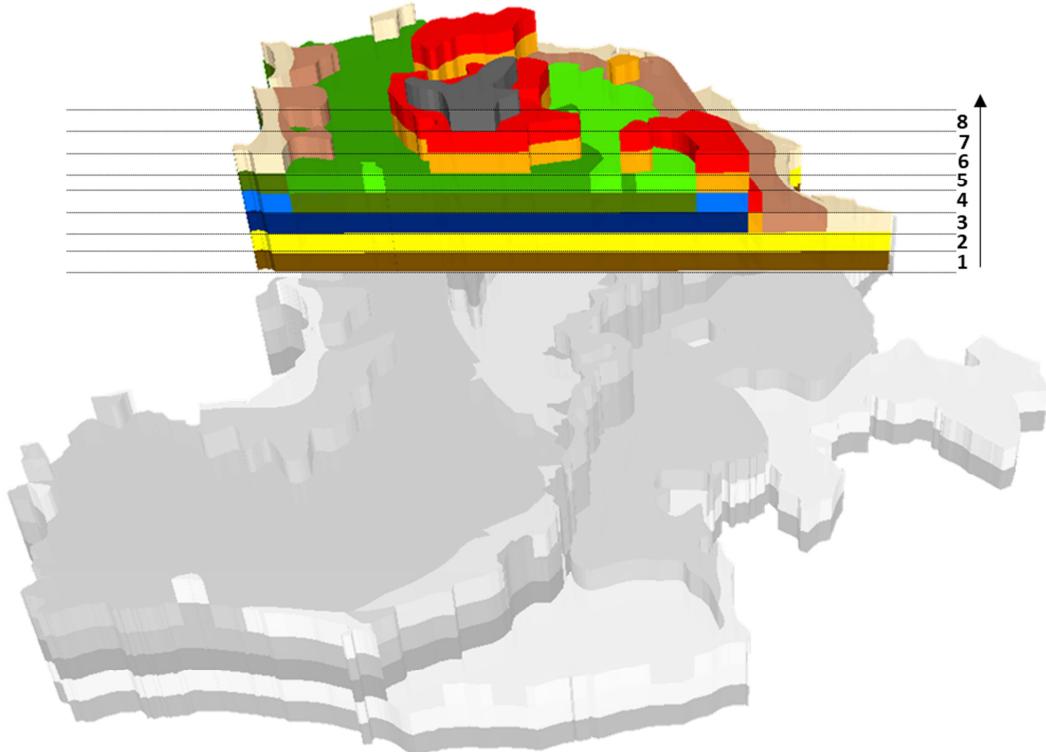


Figure 29 : Coupe Est-Ouest du modèle BDLISA-NC représenté par ordre absolu.

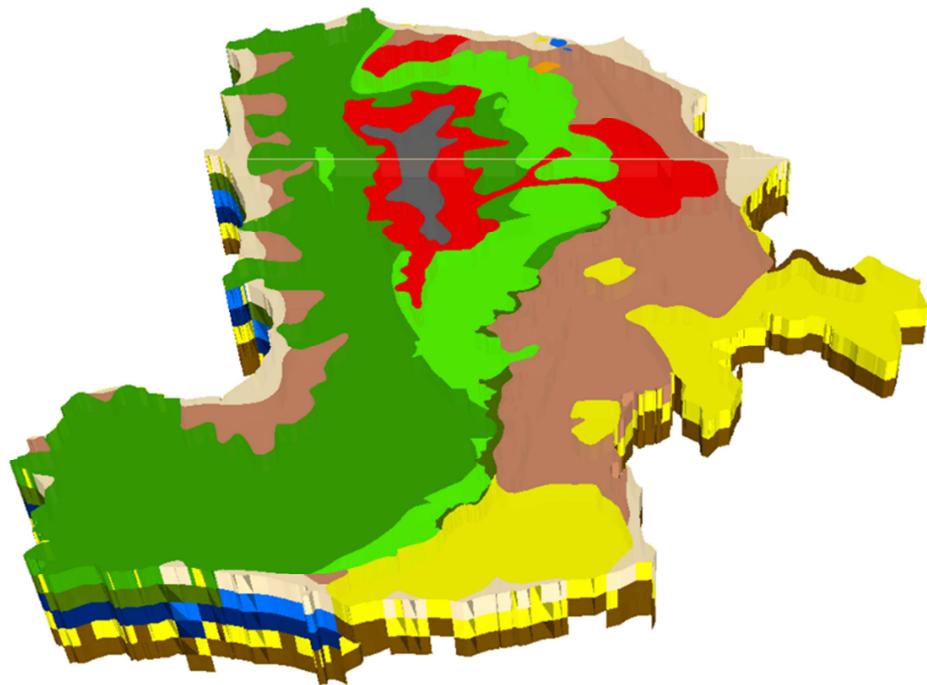


Figure 30: Représentation par l'ordre relatif, cet ordonnancement est conforme à l'ordre d'apparition des entités BDLISA-NC depuis la surface vers les niveaux les plus profonds.

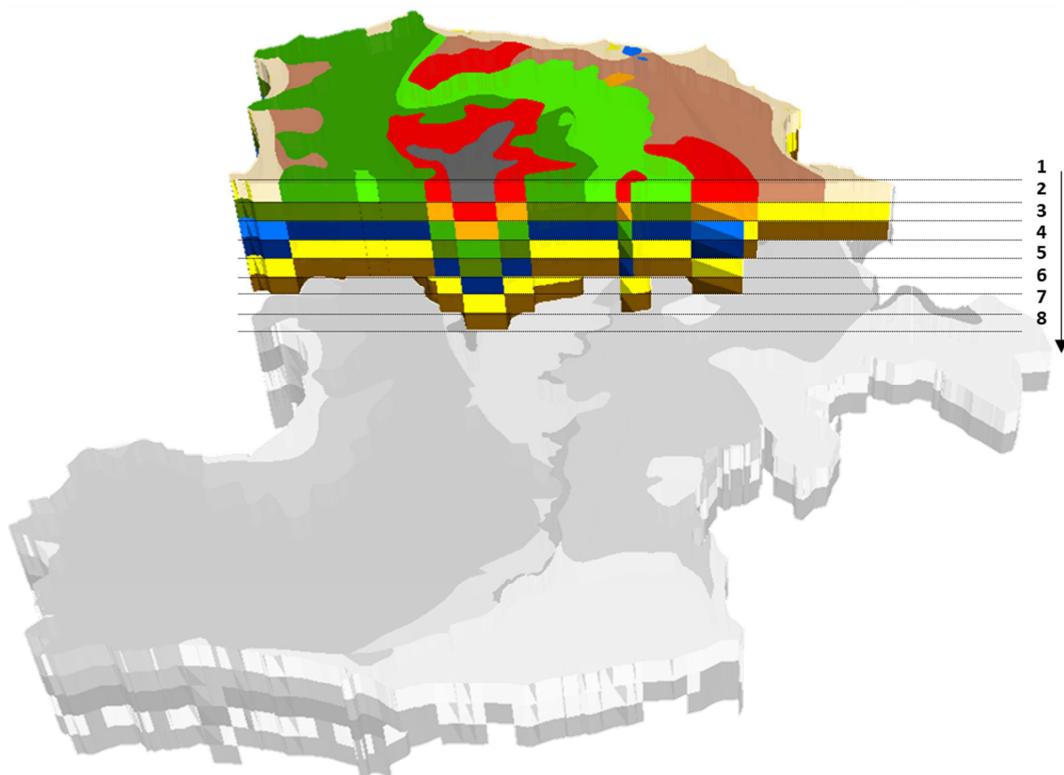


Figure 31: Coupe Est-Ouest du modèle BDLISA-NC représenté par ordre relatif.

En juin 2020, 85 unités BDLISA-NC ont été définies (figure suivante) par leur emprise géographique à l'aide de la base de données géologiques 3D et des outils développés à l'intention des hydrogéologues. Ces outils ont été produits afin de permettre l'automatisation de tâches simples, par exemple sélectionner les polygones visibles et les assembler en un polygone unique.

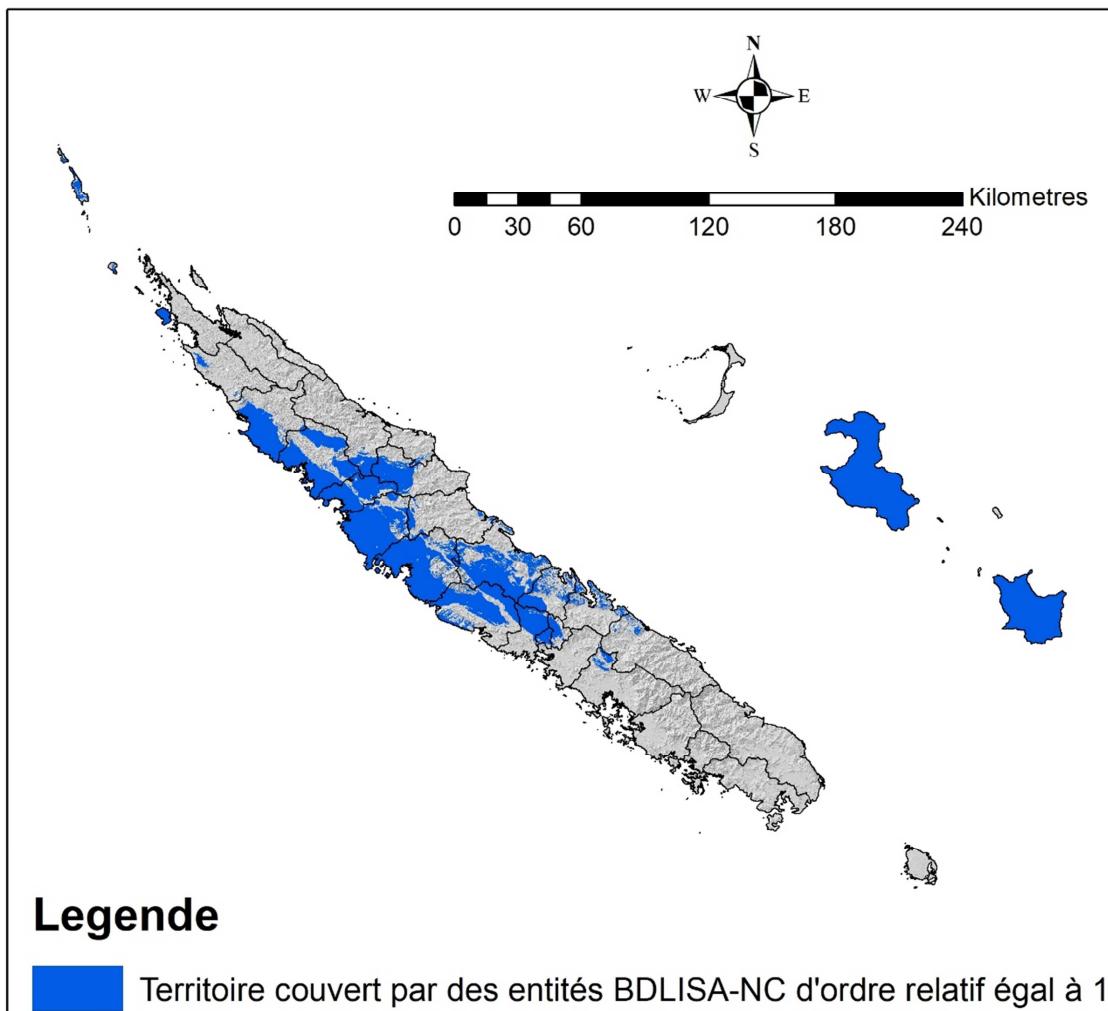


Figure 32: Extension géographiques des entités BDLISA-NC affleurantes définies (état en juillet 2020)

Conclusion

La mise à jour des modèles conceptuels géologiques de données, présentée dans cette étude, a permis de mettre en place une filiation du modèle de données des unités géologiques pour la mise en place de la BDLISA-NC 2D^{1/2} (notion d'empilement sans valeur d'épaisseur). L'adaptation de ce modèle à la définition des entités hydrogéologiques pour la mise en œuvre de BDLISA-NC ainsi que la mise en place des outils simples de composition des entités hydrogéologiques a été développé et exploité en 2019 pour la production de plus de 80 entités BDLISA-NC, soit environ 20% des entités attendues dans le tableau multi-échelle (liste des entités hydrogéologiques à cartographier).

La BDLISA-NC est structurée pour être utilisée à différentes échelles : Niveau 1 (échelle territoriale), Niveau 2 (échelle régionale) et Niveau 3 (échelle locale). Cette organisation avec des emboitements (une ou plusieurs entités de Niveau 3 correspondent à une entité de Niveau 2 et une ou plusieurs entités de Niveau 2 correspondent à une entité de Niveau 1) diffère du référentiel géologique. Celui-ci comporte en revanche des spécificités liées à l'organisation des formations géologiques en Séquence/Groupe/Formations et Membre issues des derniers travaux de la synthèse géologique de Nouvelle Calédonie (Maurizot et Mortimer, 2020 ; Maurizot, Robineau et al., 2020).

Le travail de complétion des unités géologiques sous couverture, qui avait été réalisé en métropole par les hydrogéologues impliqués dans la BDLISA (envisageable au regard du nombre d'acteurs à l'œuvre et de la présence de nombreux modèles géologiques tridimensionnels comme le modèle du tertiaire du Bassin Parisien ou le modèle Mona en Nouvelle-Aquitaine), était difficilement réalisable à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie. La communauté des acteurs de la géologie et de l'hydrogéologie est réduite et la mutualisation des travaux était à privilégier. Avec ce nouveau modèle géologique Geol3D, les travaux de BDLISA-NC bénéficient non seulement d'une cartographie géologique compatible (structurée en 2D^{1/2}) mais aussi des mises à jour réalisées sur le régolite dans le cadre de la cartographie des aléas mouvements de terrain en cours.

L'ensemble de ces travaux permettra également une mise à disposition de cartes géologiques de thématiques spécifiques, par exemple la carte des formations sous couverture des formations superficielles, la carte du régolite minier, etc....

Compte-tenu des outils mis à disposition, la mise en œuvre de la BDLISA-NC peut être poursuivie et la cartographie complète pourra être finalisée pour aboutir à une première version de ce référentiel hydrogéologique. Celui-ci constituera une base de connaissance précieuse pour les gestionnaires et décideurs dans le domaine de la ressource en eau en Nouvelle-Calédonie.

Bibliographie

Cohen, K., S. Finney, P. Gibbard and J. Fan (2013). "Updated, the ICS international chronostratigraphic chart: Episodes, v. 36." Website accessed January 16(2016): 199-204.

Jeanpert, J. (2017). Structure et fonctionnement hydrogéologiques des massifs de péridotites de Nouvelle-Calédonie. PhD, Université de la Réunion.

Mardhel, V., J. Jeanpert and S. Balayre (2019). Référentiel hydrogéologique de Nouvelle-Calédonie BDLISA-NC - Version 0. Rapport final. SGNC/DIMENC - BRGM. RP-68516-FR: 57 p

Maurizot, P. et N. Mortimer (2020). "About this title-New Caledonia: Geology, Geodynamic Evolution and Mineral Resources." Geological Society, London, Memoirs **51**(1): NP-NP.

Maurizot, P., B. Robineau, M. Vendé-Leclerc et D. Cluzel (2020). Introduction to New Caledonia: geology, geodynamic evolution and mineral resources, Geological Society of London.

Seguin J.J., Mardhel V., Schomburgk S., Allier D. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA (version V0) Présentation du référentiel. Principe de construction et mise en œuvre. Rapport final BRGM/RP-62261-FR.

Sevin, B. (2014). Cartographie du régolithe sur formation ultrabasique de Nouvelle-Calédonie : localisation dans l'espace et le temps des gisements nickélières., Université de Nouvelle-Calédonie.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Nouvelle-Calédonie
1 ter, rue E. Unger
Vallée du Tir – BP 56
98845 – Nouméa Cedex – France
Tél. : 06 87 27 03 65