

Les géotypes : un nouveau concept optimisant l'information géologique dans la gestion du territoire

A. Parriaux¹, P. Turberg¹, J.-M. Lance², D. Giorgis³

¹ *GEOLEP - Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Ecublens, CH-1015 Lausanne*

² *ECA - Etablissement d'assurance contre l'incendie et les éléments naturels du Canton de Vaud, Avenue Général Guisan 56, CH-1009 Pully*

³ *OIT – Office de l'information sur le territoire, Etat de Vaud, Département des infrastructures, Av. de l'Université 3, CH-1014 Lausanne*

1. Motivation

La cartographie géologique est une base indispensable de toute entité géographique. En effet, elle constitue le document scientifique fondamental qui décrit la « géodiversité » du territoire. Ceci comprend de manière directe :

- la composition du sous-sol (terrains meubles et roches) ;
- la géométrie de ses corps géologiques.

De manière indirecte, on peut en déduire :

- l'histoire de l'évolution d'un pays depuis des temps reculés jusqu'à ce jour ;
- ses paléogéographies et ses paléopaysages ;
- les processus qui transforment présentement la géosphère (érosions, dépôts etc.).

Cette connaissance scientifique fondamentale est nécessaire pour toute une série de questions pratiques liées à la vie de l'homme sur terre, à son intégration la plus harmonieuse possible dans l'environnement. Ce sont par exemple :

- la conception des fondations d'ouvrages du génie civil ;
- la gestion des ressources (eau, hydrocarbures, minerais, géomatériaux) ;
- la gestion des risques géologiques (sismologiques, volcaniques, glissements de terrain etc.) ;
- la protection de l'environnement (eaux de boisson, sites contaminés).

Toutefois, la transition de l'information scientifique pure vers les domaines d'application n'est pas toujours facile, chacun de ces domaines possédant ses besoins spécifiques et nécessitant une conversion de l'information géologique de base. La création de la méthode des géotypes a pour but de codifier ce processus de conversion.

Elle résulte en particulier de deux types de difficultés rencontrés lors de l'usage de l'information géologique, issue notamment des cartes de l'Atlas géologique suisse ou de cartes similaires dans d'autres pays :

- les cartes géologiques ont décrit pendant longtemps les formations du sous-sol sur la base de critères principalement stratigraphiques (par exemple Hauterivien supérieur). Même si ce système a été abandonné au profit d'une cartographie en noms de formations, de nombreuses cartes n'existent que dans l'ancien système. Les auteurs des cartes procèdent à des distinctions entre des formations génétiquement semblables selon qu'elles appartiennent à telle ou telle époque (par exemple moraine würmienne et moraine rissienne), ou qu'elles sont de nature un peu différente (par exemple moraine de fond rhodanienne et moraine de fond jurassienne). Cette

conception cartographique n'est pas du tout à remettre en cause sur le plan fondamental. Mais, selon les besoins touchant à la gestion territoriale, seule une partie de cette description est absolument nécessaire.

- les cartes géologiques ont été établies à des époques très différentes et par des auteurs ayant leur propre vision des processus géologiques, une sensibilité différente dans la manière de lever et des modes d'appellation très variables pour les formations (par exemple moraine de fond et argile à blocs alors que, dans ce cas, il s'agit de la même formation).

Dans le cadre d'un mandat de recherche méthodologique pour la cartographie des dangers dans le canton de Vaud (CADANAV 2002), le laboratoire de géologie de l'EPFL (GEOLEP) a réfléchi aux moyens de gérer une telle diversité et une telle complexité à l'échelle d'un grand canton – le canton de Vaud s'étend sur 25 feuilles au 1/25'000 avec des formations allant du mésozoïque du Jura au Cristallin alpin en passant par les dépôts quaternaires du Plateau – sachant que la difficulté pourrait conduire un bureau d'études à renoncer à utiliser l'information géologique pour privilégier des approches purement morphologiques. Ces réflexions nous ont conduits à créer une classification géologique simplifiée qui permette de caractériser de manière homogène et cohérente l'entier de la superficie du Canton. Nous avons nommé les termes de cette classification « géotypes ».

2. Les descripteurs existants sur la nature du sous-sol

Les descripteurs du sous-sol appartiennent soit à la géologie (pétrographie, sédimentologie, chronostratigraphie, tectonique) soit à la géotechnique (paramètres granulométriques et de comportement mécanique). Ils peuvent caractériser différents volumes :

- un échantillon ;
- une couche (pour les sédiments) ;
- une formation géologique.

La caractérisation de l'échantillon est déterminée par des observations et mesures en laboratoire. Celle d'une couche intègre les données des échantillons et prend la forme d'une statistique (domaine de variation, moyenne, écart-type etc.). La caractérisation à l'échelle de la formation entière intègre les données des couches ; le mot « formation » correspond ici à la définition du dictionnaire géologique de Foucault et Raoult (1984) : « Terrains possédant des caractères communs, et constituant un ensemble que l'on juge utile de distinguer ». Ce sont par exemple pour les terrains meubles les sédiments fluvioglaciaires, pour les roches les calcaires. Dans le cas des géotypes, les terrains appartenant à une formation donnée présentent donc soit une parenté génétique (terrains quaternaires) soit de composition (roches).

Pour les problèmes de la gestion du territoire, les besoins correspondent en général aux données de synthèse sur les formations. Ceci peut s'opérer à différentes échelles :

- à l'échelle de tout un pays pour décrire les grands ensembles lithologiques (par exemple pour la représentation du risque d'effondrement karstique ou les grands aquifères producteurs d'eau potable)
- à l'échelle régionale ou locale (tous les besoins de gestion de ressources et de risques géologiques).

En revanche, les caractéristiques issues des essais géotechniques (fractions granulométriques, limites d'Atterberg, etc.) sont strictement liées aux échantillons analysés et sont difficilement utilisables à cette échelle. De même les descriptions géologiques détaillées des terrains meubles, comme par exemple celle des codes de lithofaciès (Keller, 1996), se rapportent aux échantillons qui ont servi à la caractérisation. Si une telle analyse est indispensable pour concevoir et dimensionner la fondation d'un immeuble donné, l'information synthétique dont nous avons besoin pour des décisions liées à l'aménagement du territoire correspond plutôt à l'identification des diverses formations qui constituent le sous-sol.

3. Principe et définition des géotypes

Les géotypes ont été créés pour répondre à ce besoin. Il s'agit d'un nombre restreint de grandes formations typiques auxquelles peuvent se rapporter les différents terrains particuliers rencontrés dans la nature et sur les cartes géologiques. Il y a lieu ici de distinguer deux grands ensembles de géotypes, ceux des terrains rocheux et ceux de la couverture meuble.

3.1. Géotypes des terrains rocheux

C'est naturellement le descriptif pétrographique qui est déterminant en priorité. En effet, la nature des minéraux constitutifs contrôlent la plupart des propriétés mécaniques de la matrice rocheuse (par exemple la silice d'un calcaire siliceux), le type de phénomènes d'altération qui agit de manière déterminante (par exemple la karstification). Etant donné une composition pétrographique, le géologue peut en déduire un grand nombre de qualités ou défauts pour différents usages potentiels de la roche (géomatériaux, fondations, hydrogéologie etc.).

Pour le canton de Vaud, nous avons défini 20 géotypes rocheux (Tab. 1). Peu de place est donnée au Cristallin compte tenu de sa faible présence (Massif des Aiguilles rouges à Lavey) mais la liste peut être complétée pour être adaptée à un autre canton ou une autre région.

3.2. Géotypes des terrains meubles

L'exercice s'est révélé plus difficile vu l'extrême diversité des dépôts quaternaires dans nos régions. En effet, il est tentant a priori, de se limiter à une représentation du territoire sur la base de caractéristiques de composition (par exemple, les régions graveleuses, ou argileuses) ou de cartographier directement un critère géotechnique tel le code USCS (par exemple régions à sols ML, régions à sols CL etc.). Même si elle paraît à première vue séduisante pour un usage lié à l'aménagement du territoire, une telle démarche conduit à l'échec car elle n'intègre aucune information sédimentologique ; cette difficulté se présente concrètement lorsqu'il est question de représenter le type de structure interne du dépôt. Par exemple, un gravier bien trié de code GW n'aura pas du tout la même structure s'il correspond aux « foresets beds » d'un delta (stratifications fortement obliques) ou à un dépôt fluviatile avec ses sédiments chenalisés. De même, les relations géométriques entre deux ensembles dépendent beaucoup plus de leur origine sédimentologique que de leurs propriétés géotechniques. Ces deux cas problématiques se rencontrent de manière courante en géologie de l'ingénieur, notamment lorsque l'on veut interpoler entre des profils de sondages.

La solution choisie est une typologie basée sur les conditions génétiques de la formation. Même si elle ne donne pas d'information directe sur la nature du terrain, elle donne beaucoup d'indications indirectes sur sa composition, sa texture, sa structure, sur la continuité des dépôts etc. Par exemple, le géotype « fluvioglaciale » décrit des terrains faits de sables et graviers, dont la stratification est irrégulière et dont les éléments sont peu arrondis. Ce choix génétique est le même que celui que nous avons fait pour la classification géologique simplifiée pour les ingénieurs (Dysli et al, 1990), classification reprise en partie par l'Union des professionnels suisse de la route dans la norme 670009 (VSS 1995) traitant des terrains meubles.

Ainsi, les terrains meubles du Canton de Vaud peuvent se répartir en 21 géotypes (Tab. 2).

Ensemble	Groupe	Géotype	Code	Définition
Roches	R. détritiques	Conglomérats avec quelques marnes	COM	Présence importante de bancs conglomératiques dans les cyclothèmes deltaïques. Correspond principalement à la molasse dite helvétique (OMM supérieur) ou à certaines écaïlles de la molasse subalpine.
		Grès	GR	Séries essentiellement gréseuses. Correspond souvent à la molasse dite burdigalienne (OMM inférieure).
		Grès avec quelques marnes	GRM	Séries à dominante gréseuse avec encore des séquences marneuses importantes. Correspond souvent à la molasse dite aquitanienne (USM supérieure)
		Marnes avec quelques grès	MGR	Séries à dominante marneuse. Correspond souvent à la molasse dite chattienne (USM inférieure) et peut contenir du gypse.
		Alternance grès – schistes argileux	GS	Principalement faciès schisto-gréseux du flysch
		Argilite	A	Séries à dominante argileuse. Comprend principalement les argiles à Opalinus du Jura et l’Aalénien de l’Helvétique
	R. marno-calcaires	Marnes	M	Séries à dominante marneuse pratiquement dépourvue de calcaires. Comprend les marnes de Hauterive du Jura et diverses séries marneuses des Alpes
		Alternance marnes – calcaires	MC	Comprend les couches d’Effingen dans l’Argovien du Jura et de nombreuses séries de l’Helvétique
	R. carbonatées	Calcaires	C	Séries calcaires pratiquement dépourvues de marnes. Comprend le Jurassique supérieur du Jura et les calcaires massifs de l’Helvétique
		Calcaire siliceux	CS	Calcaires à imprégnation diffuse de silice ou à silex. Comprend le Lias de la Nappe des Préalpes médianes plastique
		Calcaire argileux	CA	Série à dominante calcaire contenant une part importante d’argile. Comprend les couches de Birmensdorf du Jura.
		Calcaire dolomitique	CD	Séries à dominante de calcaires dolomitiques. Essentiellement Trias alpin
		Dolomie	D	Séries à dominante de dolomies. Essentiellement Trias alpin
	R. évaporitiques	Gypse	G	Séries à dominante de gypse. Essentiellement Trias alpin, à des profondeurs inférieures à 100 m.
		Cornieule	CO	Brèche vacuolaire dans le Trias alpin, souvent dans les zones de contacts tectoniques
		Anhydrite	AN	Séries à dominante d’anhydrite. Essentiellement Trias alpin, à des profondeurs supérieures à quelques décimètres.
		Roche salifère	RS	Roche à halite du Trias ultra-helvétique de la région de Bex
	R. métamorphique	Quartzite	Q	Roche holoquartziteuse très dure, parfois arénisée, du Trias alpin
		Gneiss	GN	Roche quartzofelspathique à micas, fortement anisotrope. Présente dans les massifs cristallins alpins
	R. magmatique	Granite	GRA	Roche quartzofelspathique à micas, isotrope. Présente dans les massifs cristallins alpins

Tableau 1. Catégorisation et définition des 20 géotypes rocheux considérés pour la cartographie du territoire vaudois.

Ensemble	Groupe	Géotype	Code	Définition
Anthropique		Remblai artificiel	R	Débris mis en place par l'homme. Nature très variable allant de matériel d'excavation aux ordures ménagères. Propriétés techniques généralement très mauvaises. Les remblais peuvent contenir des substances dangereuses.
Dépôts de versants		Colluvions / éluvions	CE	Débris de pente emportés par le ruissellement diffus sur les talus (colluvions) ou formations résiduelles dérivées d'autres terrains complètement altérés (éluvions). Terrains de couverture peu structurés, meubles, à dominante granulométrique sable et limon. Présence de matière organique.
		Eboulis, éboulements, écroulements	E	Amas de blocs de taille décimétrique à métrique accumulés en voiles ou en cônes au pied des falaises de roche cohérente. Taille supérieures pour éboulements et écroulements.
		Terrain glissé ou affaissé	GT	Terrain se déplaçant en masse ou s'étant déplacé sous l'effet de la gravité. Selon les applications, ce géotype est remplacé par celui du terrain qui est affecté par le glissement.
		Tuf	T	Précipité de carbonate de calcium au droit des sources à eau bicarbonatée calcique. Géotype à n'utiliser qu'au droit des sources et non sur les encroûtements rencontrés dans les cours d'eau en aval de la source.
Dépôts alluviaux s.l.	Alluvions de plaines	actuelles	APA	Dépôts fluviatiles généralement grossiers, chenalisés, créés par la divagation d'une rivière. Graviers bien roulés
		en terrasses	APT	Idem mais se trouve perché en terrasses suite à l'érosion par la rivière.
	Alluvions en cônes	actuelles	ACA	Dépôt de matériel grossier mais très hétérométrique, stratification plus erratique, faible arrondi. En général en cônes de déjection. Comprend les sédiments des laves torrentielles.
		en terrasses	ACT	Idem mais se trouve perché en terrasse suite à l'érosion par la rivière.
Dépôts lacustres	Delta	Delta	LD	Sédiments correspondant aux dépôts grossiers d'embouchure, groupant les topset et foreset beds. Comprend les deltas actuels et les deltas anciens aujourd'hui souvent perchés.
		de fond	LF	Sédiments de fosse lacustre de granulométrie limon – argile – sable fin en fines laminations qui correspondent au bottomset beds. Faiblement à moyennement consolidés.
	Craie lacustre	CRL	Dépôt très meuble de fines particules de carbonate de calcium d'origine principalement biogénique	
	Dépôts palustres	P	Formations de marais riches en matière organique : tourbes, gyttja.	
Dépôts glaciaires s.l.	Moraines	Superficielles	MS	Débris anciennement à la surface du glacier, déposés au toit de la moraine. Blocs épars en horizon très discontinu.
		Frontales	MFR	Croissant de débris formé au front de la langue glaciaire, soumis à un fort délavage par les eaux du torrent. Gravier à blocs avec sédimentation fortement perturbée par la tectonique glaciaire..
		Latérales	MLAT	Crête de débris, moins fortement lavés que ceux de la moraine frontale
	De fond	MF	Coussin de débris à la base du glacier. Terrain très hétérogranulaire, non stratifié, fortement surconsolidé. Les éléments grossiers sont imbriqués dans la matrice fine (matrix supported textures).	
	aquatique	MA	Dépôt de granulométrie fine, riche en argile, sans stratification, peu consolidé. Les galets morainiques sont rares	
	Périglacière	Fluvioglaciaire	FG	Alluvions grossières à stratification parfois perturbée par des affaissements dus à la glace morte. Eléments moins arrondis et moins ségrégués au point de vue de leur résistance à l'usure que dans les dépôts fluviatiles.
		Glaciolacustre	GL	Alternance de limons et d'argiles en fines laminations similaires au lacustre de fond mais avec présence de galets épars (dropstones). Peuvent être parfois fortement surconsolidés.
		Loess	LO	Limons et sables fins quartzeux d'origine éolienne

Tableau 2. Catégorisation et définition des 21 géotypes de terrain meuble considérés pour la cartographie du territoire vaudois.

4. Applications pratiques réalisées avec l'aide des géotypes

4.1 Cartographie des dangers naturels

Dans le projet CADANAV, les géotypes ont été définis à différentes échelles :

- géotypes généraux (liste réduite à 12 géotypes cartographiés au 1/500'000^e). Ils représentent les grandes régions géologiques du canton et permettent de prendre conscience immédiatement des principaux dangers géologiques rencontrés dans ces régions (p ex régions à éboulements, régions à glissements) ainsi que des ressources (p ex ressources en eau dans les terrains karstiques) ;
- géotypes de détail (cartographiés au 1/25'000^e). Ils sont la véritable base de gestion du territoire telle que décrite sous §3. Ces mêmes géotypes de détail peuvent ensuite s'appliquer à des échelles plus locales (par exemple au 1/5000^e) et permettent finalement de décrire les conditions du sous-sol d'une parcelle.

4.2 Cartographie des sols de fondation

A la demande de l'Etablissement d'assurance contre l'incendie et les éléments naturels du canton de Vaud (ECA-Vaud), maître d'ouvrage pour un projet de cartographie des types de sols de fondation en vue du microzonage sismique du canton de Vaud, une méthodologie spécifique a été développée afin de permettre d'établir en un temps très court la carte indicative du danger sismique pour les 25 feuilles du canton.

La démarche a été axée sur la traçabilité, c'est-à-dire que l'affiliation d'une formation à une classe de sol se fait toujours à partir de critères prédéfinis. Le travail de rédaction des feuilles peut alors être effectué par différents bureaux privés de géologues-conseils sans crainte d'être biaisé par des éléments subjectifs.

Il s'agit de la première application vraiment opérationnelle permettant de passer de l'échelle régionale à l'échelle locale. Rappelons que l'établissement de la carte des sols de fondation pour le microzonage consiste à attribuer aux terrains servant de fondation aux constructions une des 6 classes de sol (Tab.3) définies par la norme SIA 261 (2003), classes fixant ensuite leur vulnérabilité aux effets de site.

Au contraire des directives fédérales en la matière qui procèdent en une seule étape, une première carte dite conservative, de niveau indicatif, est dressée sur l'entier du territoire au 1/25'000. Dans une seconde étape, les cartes de danger au 1/5000 sont établies sur les régions d'intérêt en fonction de l'occupation du territoire.

La carte conservative a été établie sur la base d'un investissement financier réduit. Il s'agissait davantage de mettre l'accent sur les zones à risques au cours de la seconde étape. En d'autres termes, il s'agissait de pouvoir traduire l'information des cartes géologiques en classes de sol le plus simplement possible, en limitant fortement les investigations complémentaires à la carte (sondages, géophysique etc.). Les bureaux ont été choisis en fonction de leur connaissance de la région afin de bénéficier de leur expérience.

Le canton de Vaud a la chance d'avoir pratiquement la totalité de son territoire cartographié (Atlas géologique de la Suisse au 1/25'000^e). Cependant, ces cartes sont d'époques et de précision très différente. Les appellations géologiques d'une formation donnée varient souvent d'une carte à l'autre. L'assemblage de deux cartes voisines fait ressortir de nombreuses incohérences. Ces incohérences ne traduisent pas un défaut de qualité du travail de cartographie. Elles proviennent de différences

d'interprétation des auteurs des cartes, de méthodes d'investigations qui n'étaient pas les mêmes au gré des époques, de conceptions scientifiques qui ont également varié selon les progrès de la science.

La plupart des cartes n'étaient disponibles que sous forme papier et leur vectorisation préalable a été nécessaire. Cette opération a été faite par l'Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque (IGAR) de la Faculté des géosciences et de l'environnement de l'Université de Lausanne sur mandat et sous la responsabilité du Service géologique national (Office fédéral de la topographie Swisstopo). Le résultat est une surface vectorisée de plus de 2800 km² découpée en plusieurs dizaines de milliers de polygones aux appellations très diverses, qui correspondent au contenu d'une vingtaine de feuilles d'Atlas, publiées entre 1935 et 2006. Comment traduire ces polygones en classes de sols de fondation de manière optimale ?

C'est pour faciliter cette traduction que les géotypes ont été introduits. Avec cette méthode, la traduction est décomposée en deux opérations principales (Fig. 1) dans le cadre de la démarche d'établissement de la carte conservative des sols de fondation.

Deux exemples d'application de cette démarche sont également présentés. Le premier (Fig. 2) montre l'intérêt des géotypes pour la mise en cohérence rapide et simplifiée des formations géologiques aux contacts de deux cartes différentes. Le second (Fig. 3) montre l'agrégation apportée par les géotypes dans le cas d'une zone à géologie complexe.

Classe de sols de fondation	Description
A	Roches dures (p.ex. granite, gneiss, quartzite, calcaire siliceux, calcaire) ou roches tendres (p.ex. grès, conglomérats, marne du Jura) sous une couverture maximale de 5 m de sol lâche.
B	Dépôts de graviers grossiers et sables cimentés et/ou roches meubles surconsolidées d'une épaisseur de plus de 30 m.
C	Dépôts de graviers et sables normalement consolidés et non cimentés et/ou matériau morainique, d'une épaisseur de plus de 30 m.
D	Dépôts de sables fins, silts ou argiles non consolidés, d'une épaisseur de plus de 30 m.
E	Couche alluviale superficielle des classes de sols de fondation C ou D d'une épaisseur comprise entre 5 et 30 m, surmontant une couche plus rigide des classes de sols de fondation A ou B.
F1	Structures sensibles et dépôts organiques (p.ex. : tourbes, craie lacustre) d'une épaisseur supérieure à 10 m.
F2	Glissements de terrain actifs ou susceptibles d'être réactivés.

Tab.3. Extrait du tableau des différentes classes de sols de fondation selon la norme suisse SIA 261 (SIA 2003), modifié par l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (OFEG 2004). La vulnérabilité sismique de ces classes va en augmentant de A à E. A noter que la classe E ne correspond pas un type de terrain mais indique le fait que le terrain considéré a moins de 30 m d'épaisseur et repose sur une formation de classe A ou B.

Traduction des formations géologiques en géotypes

Chaque polygone, caractérisé par son appellation propre à la carte dont il fait partie, reçoit une appellation géotype de manière automatique grâce à une matrice de correspondance établie pour chaque feuille en fonction de la légende, de la notice explicative, de la littérature régionale et de la connaissance du canton. Cette traduction a priori doit ensuite être vérifiée par le bureau de géologie en charge de la feuille en question. Ce dernier teste la cohérence de la traduction automatique et la corrige si nécessaire en fonction de son expérience. Le résultat est une carte géologique simplifiée et homogénéisée sur l'entier du territoire, appelée « carte des géotypes ».

Traduction des géotypes en classes de sols de fondation

Une deuxième matrice de correspondance a été établie entre les géotypes et les sols de fondation, également sur la base de la connaissance des terrains du canton. Il s'agit cette fois d'une seule matrice pour tout le canton puisque les différences entre cartes ont été gommées par le passage par les géotypes. Cette matrice permet une cartographie automatique des classes de sol (la classe E mise à part). Là également, le bureau de géologie doit contrôler la cohérence de cette carte et corriger tel ou tel polygone s'il le juge nécessaire. En cas de doute, le géologue choisit la classe la plus prudente. En introduisant ensuite la notion d'épaisseur des formations, il réaffecte certains polygones des classes C et D en classe E. La carte indicative finale est ainsi obtenue.

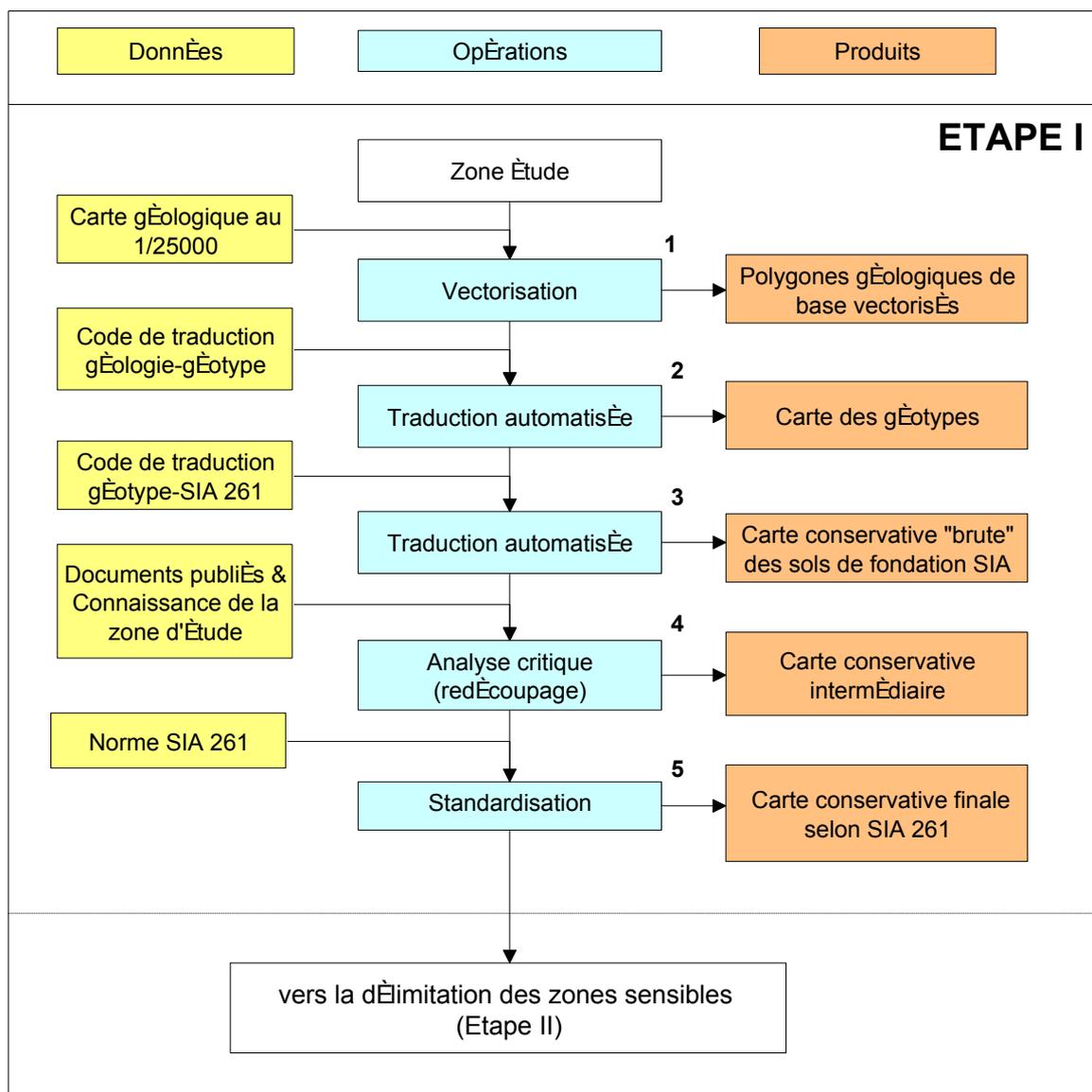


Fig. 1. Démarche d'établissement de la carte conservative des sols de fondation (Etape I) comprenant en particulier l'utilisation des géotypes. Cette démarche comprend 5 opérations successives qui peuvent se résumer à la traduction de la carte géologique vectorielle (données SIG) en carte des géotypes (opérations 1 à 2) et à celle de la carte des géotypes en carte des sols de fondation (opérations 3 à 5). Cette suite d'opérations clairement différenciées a comme effet d'apporter une grande transparence dans le processus de traitement des données et

comme objectif de pouvoir, par la suite, réactualiser les cartes en toute connaissance de cause. NB : le mot traduction est pris dans son sens de transposition ; il n'implique pas que la transposition soit possible de manière réversible ; les données géologiques sont traduisibles en géotypes mais l'inverse n'est pas vrai ; les géotypes sont traduisibles en sols de fondation mais l'inverse n'est également pas vrai. Dans le cadre du mandat de microzonage sismique du canton de Vaud, les cartes géologiques vectorielles (Atlas géologique, données SIG) ont été directement mises à la disposition des mandataires par Swisstopo.

Le test de la méthode sur la feuille pilote 1242 « Morges » puis le suivi des travaux des bureaux mandatés ont montré que la rédaction de la carte conservative des classes de sols de fondation était parfaitement opérationnelle. Il y eu passablement de travail à réaliser une jointure cohérente des cartes géologiques aux limites. Cette harmonisation a été faite au stade de la carte des géotypes, évitant ainsi que ces difficultés ne soient répercutées plus en aval (voir Fig. 2 et 3).

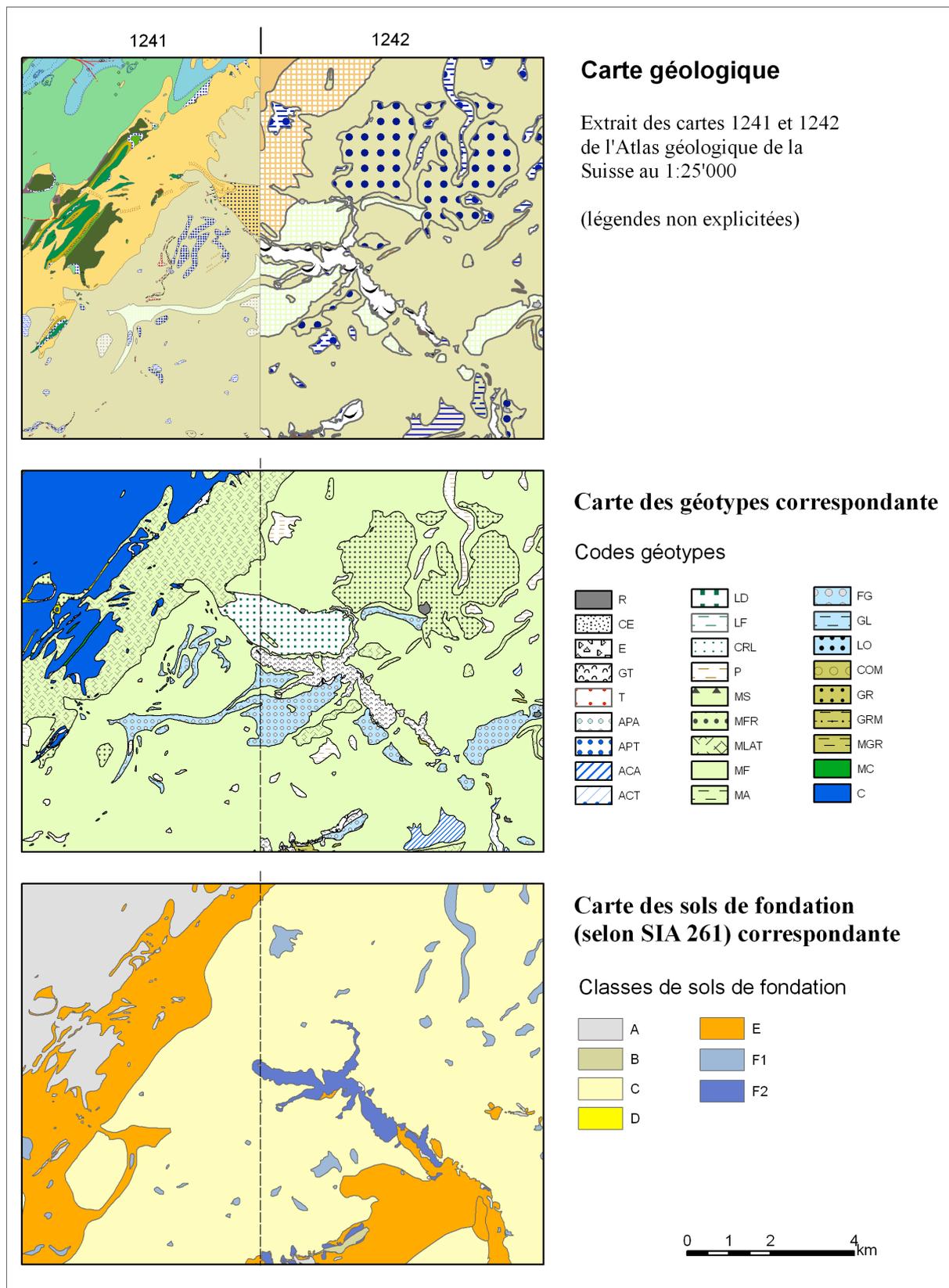
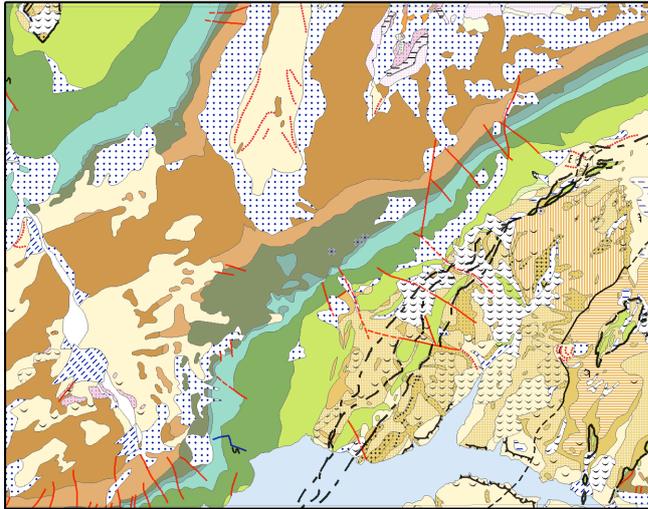


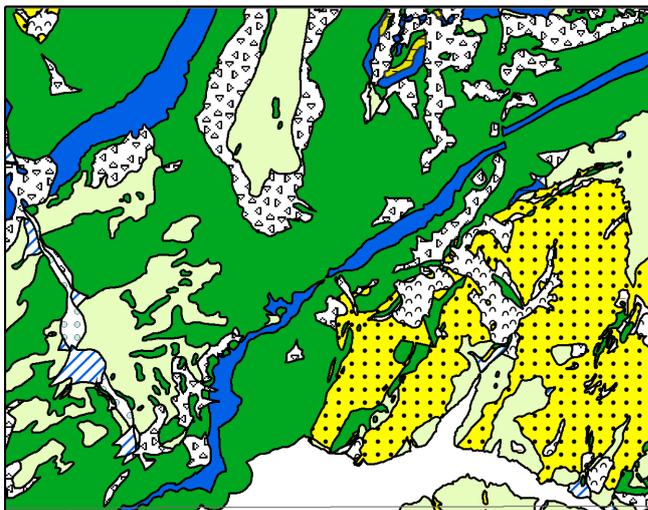
Fig. 2. De la carte géologique à la carte des sols de fondation en passant par les géotypes. Haut : Extrait de l'Atlas géologique de la Suisse au 1 :25'000 montrant le traitement d'une zone de contact entre les cartes 1241 du Marchairuz (haut, partie gauche) et 1242 de Morges (haut, partie droite). Milieu : Traduction en géotypes à partir de la géologie avec résolution des incohérences aux limites. Bas : Traduction en carte des sols de fondation à partir de la carte des géotypes. Le fond topographique n'est pas représenté pour des raisons de lisibilité. Copyright AG25-SIG©swisstopo.



Carte géologique

Extrait de la carte 1265 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000

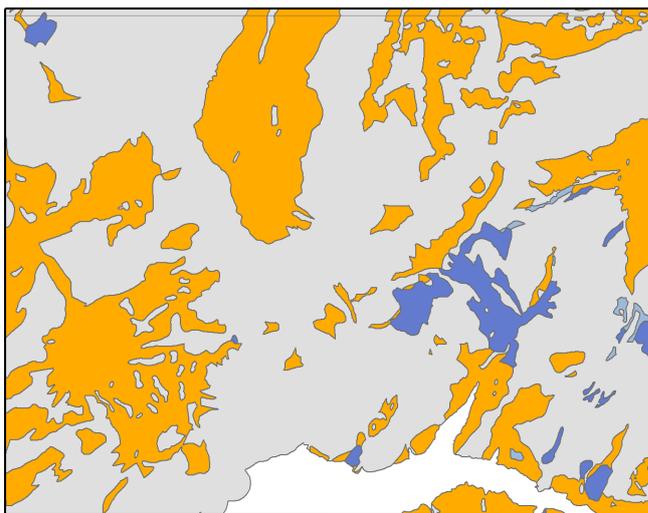
(légendes non explicitées)



Carte des géotypes correspondante

Codes géotypes

R	ACA
CE	ACT
E	MF
GT	GS
T	M
APA	MC
APT	C



Carte des sols de fondation (selon SIA 261) correspondante

Classes de sols de fondation

A	E
B	F1
C	F2
D	LAC



Fig. 3. De la carte géologique à la carte des sols de fondation en passant par les géotypes. Haut : Extrait de l'Atlas géologique de la Suisse au 1 :25'000 montrant le traitement d'une zone complexe des Préalpes sur la carte 1265 des Mosses. Milieu : Traduction en géotypes à partir de la géologie avec réduction du nombre de formations. Bas : Traduction en carte des sols de fondation à partir de la carte des géotypes. Le fond topographique n'est pas représenté pour des raisons de lisibilité. Copyright AG25-SIG©swisstopo.

5. Autres applications

Trois autres applications des géotypes au territoire peuvent être citées.

5.1 Géotypes et secteurs de protection des eaux

Le canton de Vaud possède des cartes de secteurs de protection des eaux datant des années 1970. Elles ont été établies, comme cela se faisait normalement à l'époque, sans aucune traçabilité des raisons d'attribution d'un polygone à tel ou tel type de secteur. Elles nécessitent aujourd'hui d'être révisées en fonction de la nouvelle ordonnance sur la protection des eaux (OPE) et des nouvelles connaissances acquises sur l'hydrogéologie du canton. Les conditions aux limites sont semblables à celles du microzonage sismique, notamment des moyens financiers réduits.

La carte des géotypes établie à l'occasion du microzonage sismique étant disponible, une méthodologie de révision des secteurs de protection des eaux a été développée partant de cette information homogène et cohérente au niveau de toute sa superficie. En incluant aux géotypes quelques critères supplémentaires, en bonne partie déjà sous forme SIG (la topographie, la résistivité électrique, la carte des sources, le voisinage du polygone etc), il est possible de traduire la carte des géotypes en secteurs de protection, traduction pouvant être opérée automatiquement. Là encore, le contrôle du géologue est indispensable en ayant recours à la carte géologique de l'Atlas et à sa connaissance personnelle du terrain ; des corrections manuelles sont apportées ainsi en cas de besoin. Dans cette même opération, une carte des ressources en eaux souterraines est établie.

5.2 Géotypes et risques d'instabilité de versant

Comme mentionné plus haut, c'est ce type de problèmes qui est à l'origine des géotypes. La situation est toutefois différente puisque la cartographie intégrale du canton en géotypes est maintenant disponible. Cette base est un point de départ appréciable pour la cartographie de la sensibilité des terrains aux glissements et autres phénomènes associés. Complétée par une analyse détaillée des caractéristiques géologiques des terrains, la carte des géotypes permet de mieux prendre en compte les propriétés du matériel, donc leurs effets spécifiques sur les instabilités potentielles.

Cette caractérisation de terrain des affleurements a nécessité cependant des recherches intensives depuis le dépôt du rapport CADANAV (Schneider 2001, Pouyt 2003, Pantet 2005), le but étant toujours d'utiliser une démarche la plus objective possible à moindres coûts.

Les géotypes ont également été appliqués dans le contexte géologique complètement différent du Nicaragua (Haerberlin & al. 2004), prouvant ainsi sa souplesse et sa robustesse face à des conditions autres que celles du canton de Vaud.

5.3 Géotypes et risques d'effondrement de cavités karstiques

L'étude de faisabilité d'une cartographie graduée du risque d'effondrement karstique, effectuée pour le compte de l'ECA-Vaud (Geolep 2003), confirme la potentialité d'utilisation des géotypes pour cette problématique puisque les terrains sensibles à la karstification s'identifient facilement dans la liste des géotypes rocheux.

6. Remarques sur la carte des géotypes, ce qu'elle est, ce qu'elle n'est pas.

Il est important de spécifier que la classification en géotypes ne remplace pas la classification complète et détaillée des formations géologiques, notamment celles de l'Atlas géologique de la Suisse. De même, les cartes de géotypes ne remplacent pas les cartes géologiques. Ces dernières restent la base scientifique fondamentale de référence. Il est donc fondamental de poursuivre et même d'intensifier l'effort de levé de telles cartes. Sans cette couverture, il sera difficile d'intégrer la connaissance géologique dans l'aménagement du territoire. La carte des géotypes permet de traduire cette information scientifique sous une forme plus simple et répondant plus directement à des besoins ciblés de la géologie appliquée.

7. Conclusion

La méthode des géotypes a démontré concrètement qu'elle permettait d'homogénéiser, en le simplifiant, le mode de description géologique du territoire et, par conséquent, de faciliter la valorisation de cette information dans différents usages de géologie appliquée au territoire. Elle se prête, de plus, à une utilisation optimale des fonctionnalités de requêtes des systèmes d'information géographique et garantit la traçabilité de la démarche, garantissant ainsi les révisions ultérieures. Enfin, son introduction n'a pas donné lieu à des coûts supplémentaires par rapport à d'autres démarches pour des besoins identiques, par exemple le microzonage sismique. La grande diversité géologique du canton de Vaud a validé la capacité d'adaptation de cette méthode à d'autres régions, quel que soit leur contexte géologique.

Au-delà de la cartographie des risques géologiques, des ressources en eau souterraine, la méthode des géotypes présente un potentiel d'application à d'autres représentations du territoire où le sous-sol joue un rôle important.

Notons enfin que les recherches en cours sur le potentiel ressource du sous-sol urbain (Blunier & al. 2006) confirment la capacité de cette méthode à faciliter la représentation tridimensionnelle du sous-sol, enjeu des années à venir.

Références

- BLUNIER P., MAIRE P., PARRIAUX A., TACHER L. (2006) Deep City: ressources du sous-sol urbain. *Tracés*, **05**, 15 mars 2006, pp. 6-9.
- CADANAV (2002) Projet CADANAV. Etablissement d'une méthodologie de mise en œuvre des Cartes de Dangers Naturels du Canton de Vaud. Collectif EPFL : HYDRAM, LMS, LMR, GEOLEP, LASIG, SLF, WSL. Rapport final, 31 Octobre 2002. Non publié.
- DYSLI, M., FONTANA, A., PARRIAUX, A., SCHLÜCHTER, CH. (1990) Une classification géologique des sols suisses. *Route et trafic*, 1/90.
- FOUCAULT, A., RAOULT, J.-F. (1984) Dictionnaire de géologie. 2ème édition. Ed. Masson, Paris.
- GEOLEP (2003) Expertise géologique des phénomènes d'effondrement et de subsidence karstiques dans le cadre de permis de construire. GEOLEP Rapport final, non publié, janvier 2003.
- GEOLEP (2004) : Microzonage sismique du canton de Vaud. Etablissement de la carte des sols de fondation selon SIA 261. Etude préliminaire. GEOLEP. Rapport final. Janvier 2004.
- HAEBERLIN, Y., TURBERG, P., RETIERE, A., SENEGAS, O., PARRIAUX, A. (2003) Validation of SPOT-5 satellite imagery for geological hazard identification and risk assessment for landslides, MUD- and debris flows in Matagalpa, Nicaragua. Actes de Congrès ISPRS 2004, Istanbul.
- KELLER B. (1996) Lithofacies-Codes für die Klassifikation von Lockergesteinen, Publications de la Société suisse de mécanique des sols et des roches, Réunion de printemps, 12 avril 1996, no 132.
- OFEG (2004) Principe pour l'établissement et l'utilisation d'études de microzonage en Suisse. Directives de l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Berne 2004.
- PANTET, A. (2005) Valorisation des facteurs lithologiques et hydrogéologiques dans l'élaboration des cartes de dangers naturels. GEOLEP, rapport interne de stage, non publié.
- PHILIPPE, E. (2003) Méthode et réalisation de cartes indicatives de microzonage sismique du canton de Vaud (Suisse). Mémoire de diplôme postgrade en géologie de l'ingénieur. GEOLEP, Non publié.
- POUYT, M. (2004) Développement et test d'identification de terrain, dans le domaine des instabilités de versant. GEOLEP. Travail de diplôme UNIL-EPFL, non publié.

- SCHNEIDER, TH. (2001) Caractérisation multicritère des formations géologiques du canton de Vaud et de leurs prédispositions face aux dangers naturels. Mémoire de diplôme postgrade en géologie de l'ingénieur. GEOLEP, Non publié.
- SIA 261 (2003) Norme suisse SN 505 261, Actions sur les structures porteuses. Ed. Société suisse des ingénieurs et architectes, Zürich.
- VSS (1995) Norme Suisse SN 670 009. Terminologie géologique des terrains meubles. Union des professionnels suisses de la route (VSS). 30 mars 1995