

Pourquoi il nous faut un cadastre géologique vaudois

GÉOLOGIE

Les infrastructures sont de plus en plus souvent enterrées, que ce soit par manque d'espace au sol, mais aussi pour réduire leur impact environnemental. Cette augmentation de l'occupation du sous-sol pose la question de la gestion de l'espace souterrain et, en particulier, celle de l'interaction entre les ouvrages et les ressources – eau souterraine, géothermie et géomatériaux – qui cohabitent dans le sous-sol, notamment en milieu urbain [1]¹. Dans le canton de Vaud, la réponse technique à cette problématique a pris la forme d'un cadastre géologique.

Lorsqu'on souhaite réaliser des ouvrages tout en minimisant les coûts et les risques lors de la construction ainsi que les impacts environnementaux ultérieurs, il est aujourd'hui de plus en plus nécessaire de connaître les formations géologiques du sous-sol, leurs propriétés et leur distribution dans l'espace souterrain.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

Le cadastre géologique du canton de Vaud

Si le besoin de disposer d'un cadastre centralisé contenant toutes les informations sur le sous-sol n'était pas nouveau pour le canton de Vaud, il est brusquement redevenu d'actualité après l'accident survenu en février 2005 à Saint-Laurent lors des travaux de percement du m2. Cet accident a mis en évidence le besoin de sauvegarde systématique des données géologiques, aboutissant à la rédaction d'une loi sur le cadastre géologique qui est entrée en vigueur en juillet 2008. Cette loi garantit la récupération systématique des informations issues de toute opération de sondage et la diffusion publique de ces résultats (à l'exception des données liées à des enjeux économiques ou commerciaux).

Parallèlement à l'élaboration de la loi, un outil informatique – le cadastre géologique – doit permettre de récupérer, pérenniser et publier ces informations via Internet. Cette plateforme permet entre autres aux bureaux spécialisés d'annoncer et de transmettre de manière standardisée les relevés de nouveaux sondages (fig. 1).

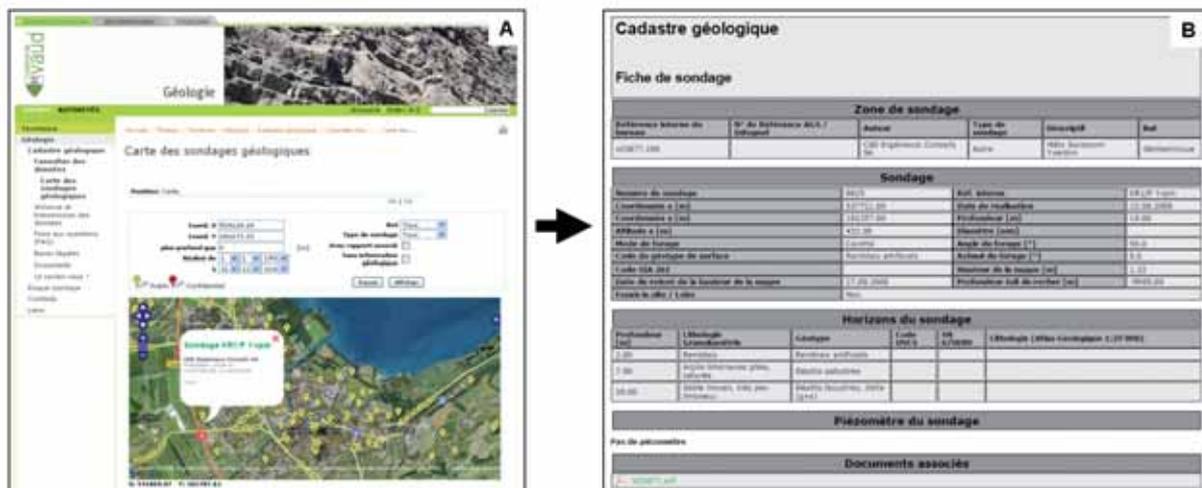
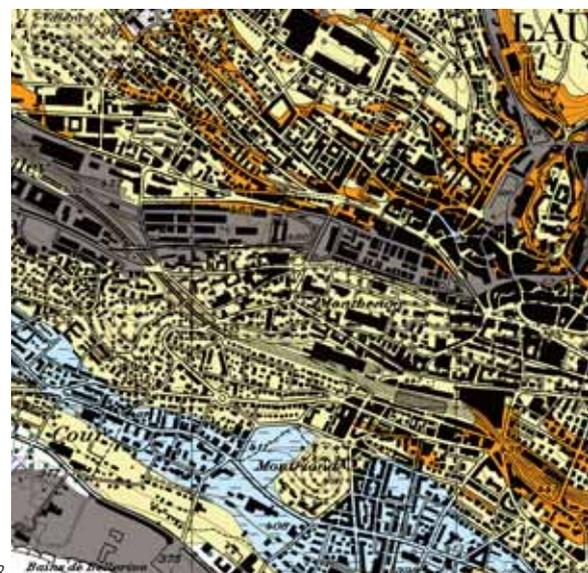
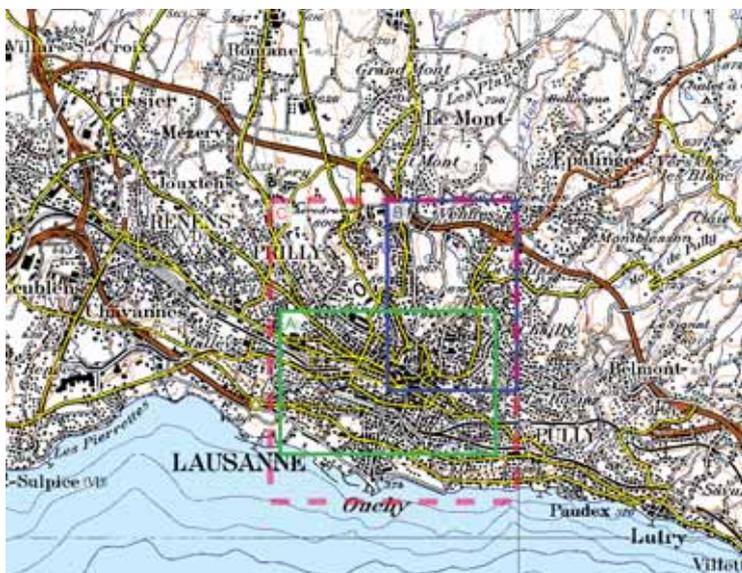


Fig. 1 : A) Interface publique du cadastre géologique du canton de Vaud pour consulter des données de sondages ; B) extrait type d'un sondage carotté présentant de manière structurée et homogène les informations de la base de donnée

Fig. 2 : Plan de situation du domaine d'étude. (A) Situation des cartes des figures 3 et 4 ; (B) limites du modèle géologique 3D de la figure 5 ; (C) extension totale du modèle géologique 3D (CP25 2009 © swisstopo DV335.2)



Documenté de manière hétérogène, le cadastre géologique est actuellement riche de plus de 8400 sondages issus essentiellement de travaux effectués avant l'entrée en vigueur de la loi. Collectés en interne à l'administration cantonale ou grâce à la collaboration de bureaux privés, il s'agit de fouilles ou forages liés à des travaux de natures diverses allant de l'implantation de pompes à chaleur à l'exploration pétrolière, en passant par des forages de reconnaissance géotechnique ou hydrogéologique. Sauf exception, ces relevés sont publics et la base de données peut être consultée soit depuis le site Internet consacré au cadastre géologique (www.geocad1.vd.ch), soit à partir du guichet cartographique cantonal (www.geoplanet.vd.ch > Thèmes > Géologie). La base de données fournit des informations liées à la profondeur, l'épaisseur ou la nature des terrains du sous-sol. Selon l'existence de sondages à tel ou tel endroit, il est par exemple possible de connaître la profondeur du toit du rocher, la profondeur éventuelle de la nappe phréatique, ou encore la présence et l'épaisseur de remblais. L'accès aux relevés originaux, dont la structure dépend du bureau qui les a établis, est également possible en format PDF. On peut ainsi connaître certains paramètres géotechniques (compacité, résistance à la pression ou au cisaillement, etc.) si des essais ont été effectués in-situ ou en laboratoire, à partir d'échantillons.

Le sous-sol 3D de la ville de Lausanne

Afin d'illustrer l'intérêt de disposer d'informations géolo-

giques structurées et facilement accessibles, un modèle tridimensionnel du sous-sol de la ville de Lausanne a été réalisé à partir des données du cadastre géologique. Le domaine d'étude (fig. 2) s'étend des quartiers de Malley (ouest), de Chailly (est), d'Ouchy (sud) et de la Clochette (nord). Afin de présenter un résultat montrant bien les variations géologiques, seul le quartier du Flon a été inclus dans un modèle simplifié, qui ne représente que les terrains meubles de la couverture quaternaire (en une seule couche et sans distinction) et le toit de la Molasse grise de Lausanne sur laquelle ils reposent. Le modèle a aussi été construit avec des données issues de deux autres sources :

- des données de la carte géologique au 1:25 000 de Lausanne [5], traduites en termes de géotypes [2] notamment pour la délimitation des zones d'affleurement de la molasse (fig. 3) ;
- des données ajoutées manuellement pour améliorer l'interpolation de l'altitude du toit du rocher dans les zones les plus pauvres en information, basées sur des modèles préexistants [3] ou des déductions géologiques à faible incertitude (fig. 4).

Construction du modèle 3D

La construction du modèle, réalisé à l'aide d'un logiciel de visualisation géologique 3D « GeoleP3d » développé au GEOLEP, a passé par la création et l'intersection de deux surfaces : la surface topographique obtenue à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT), et la surface du rocher

Fig. 4 : Points verts : distribution spatiale des sondages atteignant le rocher.
Lignes violettes : situation des données complémentaires (isohypses du toit du rocher).
Points roses : situation de données obtenues par extrapolation ou par des sources externes.
Fond cartographique : carte des géotypes du canton de Vaud, 2008

Fig. 3 : Carte des géotypes (géologie simplifiée) avec la distribution en surface du substratum molassique (orange), des formations morainiques (jaune), des dépôts glaciolacustres (bleu) et des remblais artificiels (gris)



molassique déduite des données géologiques précitées. Ce modèle tridimensionnel (fig. 5) permet de visualiser de manière synthétique les relations entre la surface topographique du terrain et l'interface située entre les formations quaternaires et le rocher molassique.

Plus pratiquement, il permet de déterminer la profondeur à laquelle se situe la molasse et d'en déduire l'épaisseur des formations quaternaires meubles la recouvrant. La figure 5 montre que cette épaisseur peut varier entre 0 et environ 30m et que ces variations ne sont pas aléatoires sur la zone d'étude. On y voit par exemple que le secteur de Montbenon présente une forte couverture quaternaire (plusieurs dizaines de mètres), alors que celle de la zone vers Bellevaux-le Mont est moins importante (quelques mètres) et bien plus discontinue.

On peut aussi tirer de ce modèle des renseignements concernant la régularité de l'épaisseur des formations géologiques du sous-sol. On remarque que cette épaisseur peut présenter des variations relativement douces, par exemple de Montbenon vers St-François où le toit de la molasse remonte progressivement vers la surface du terrain, ou bien plus brutales, à l'exemple de la rive droite de la vallée du Flon où le toit de la molasse remonte très rapidement en surface conduisant à une diminution rapide de la couverture quaternaire. Cette situation a été récemment rencontrée dans le cadre du tunnel de Langallerie pour le m2 qui a été creusé à faible profondeur dans les terrains meubles de la paléovallée du Flon.

Même peu détaillé, on voit que le modèle permet de saisir l'organisation générale des formations géologiques du sous-sol et d'identifier les zones où l'information reste insuffisante. D'un point de vue pratique, ce type de modèle permet, par exemple, de concevoir une infrastructure souterraine en tenant compte, dès les premières ébauches, des conditions géologiques générales du sous-sol et de leurs impacts possibles sur l'ouvrage.

Affinement du modèle

Le modèle tridimensionnel de la figure 5 reste toutefois, d'un point de vue géologique, trop sommaire pour une étude d'avant-projet. En effet, les variations géologiques au sein de la formation quaternaire indifférenciée telle qu'elle est présentée sur la figure 5 peuvent se révéler importantes et avoir un impact considérable sur la construction d'un ouvrage.

Le cadastre géologique comprend toutefois une information géologique bien plus détaillée que celle utilisée ici. Ces détails supplémentaires doivent permettre, à terme, de construire un modèle dans lequel les formations géologiques d'intérêt de la couche de couverture quaternaire pourront être représentées individuellement. Il sera dès lors envisageable de proposer par exemple des figures de la distribution spatiale de toutes les formations du quaternaire que l'on peut considérer comme aquifères et de localiser ainsi les zones d'interaction avec un ouvrage souterrain donné ou projeté.

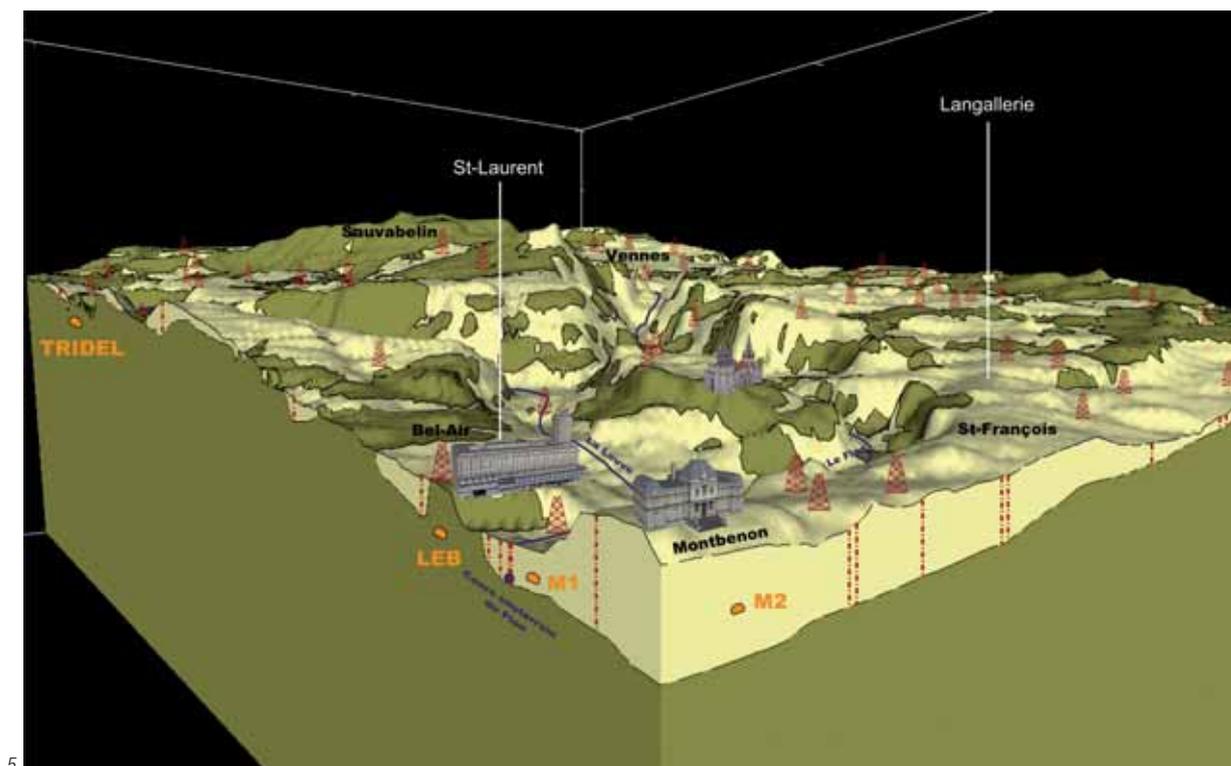
Fig. 5 : Modèle géologique 3D (Lausanne, quartier du Flon, déformation verticale 2,5x) distinguant la roche molassique (vert olive) et les formations quaternaires de couverture (beige). Les sondages utilisés pour construire ce modèle figurent en rouge. Des ouvrages souterrains de référence (m1, m2, LEB et TRIDEL) sont visibles sur les faces apparentes (« Géodonnée@Etat »).

L'intérêt de pouvoir établir un modèle 3D plus détaillé apparaît sur la figure 6 où la surface topographique du terrain est visualisée par le biais d'un treillis. Sous cette surface, le tracé d'une infrastructure ferroviaire calquée sur celle du m2. Le sous-sol n'est alors représenté que par les 18 sondages extraits du cadastre géologique, situés au droit à la proximité immédiate du tracé. Ces 18 points d'information géologique rendent alors possible de détailler les différentes sous-unités géologiques de la formation quaternaire (traitée en un seul bloc dans le modèle de la figure 5). Dans les sondages, trois sous-unités quaternaires sont différenciées du fait de leurs caractéristiques spécifiques: la moraine de fond, les dépôts glaciolacustres de composition limono-argileuse et les remblais artificiels. Le substratum rocheux se retrouve ici sous le terme de « grès avec quelques marnes » (Molasse grise de Lausanne).

La figure 6 montre que, même à cette échelle très locale, l'information géologique est cohérente. On peut d'abord identifier les zones où la moraine de fond est présente sur le toit du substratum molassique de celles où elle est absente ou quasi-absente (secteur de la Riponne). On repère aussi la présence très locale des dépôts glaciolacustres qui furent à

la source de l'accident de St-Laurent. Enfin, on peut repérer les épaisseurs des remblais particulièrement conséquents du secteur de la Riponne (remblaiement de la Louve et du Flon au 19^e siècle suite à une épidémie de choléra). La figure 6 montre en outre que la quasi-totalité du tronçon se développe dans un secteur où la molasse n'affleure pas en surface et où le recours à des sondages est par conséquent particulièrement important pour déterminer la distance entre le toit du rocher et l'ouvrage.

On remarque aussi que l'ouvrage traverse, sur le tronçon d'environ 600m représenté à la figure 6, un ensemble géologique très hétérogène. Cet ensemble débute (tout à gauche sur la fig. 6) dans les remblais de la vallée du Flon (non représentés ici), se poursuit dans le substratum molassique sous le secteur de la Place de l'Europe (au Sud de Bel-air), atteint l'interface entre rocher et couverture quaternaire (ici moraine de fond) sous St-Laurent, recoupe les remblais artificiels sous la place de la Riponne et retourne dans la molasse sous Pierre Viret. Cet exemple met en évidence la variabilité locale du sous-sol et démontre la complexité de la géologie dont les ingénieurs doivent tenir compte lors de la conception d'un projet souterrain.



5

Fig. 6 : Modèle 3D (déformation verticale 1,5x) d'un tronçon du m2 avec représentation des sondages d'intérêt. Les formations du quaternaire (remblai artificiel, moraine de fond, glaciolacustre) et leurs épaisseurs respectives ne sont visibles qu'au droit des sondages. La surface topographique est indiquée par un maillage transparent (vert-olive).

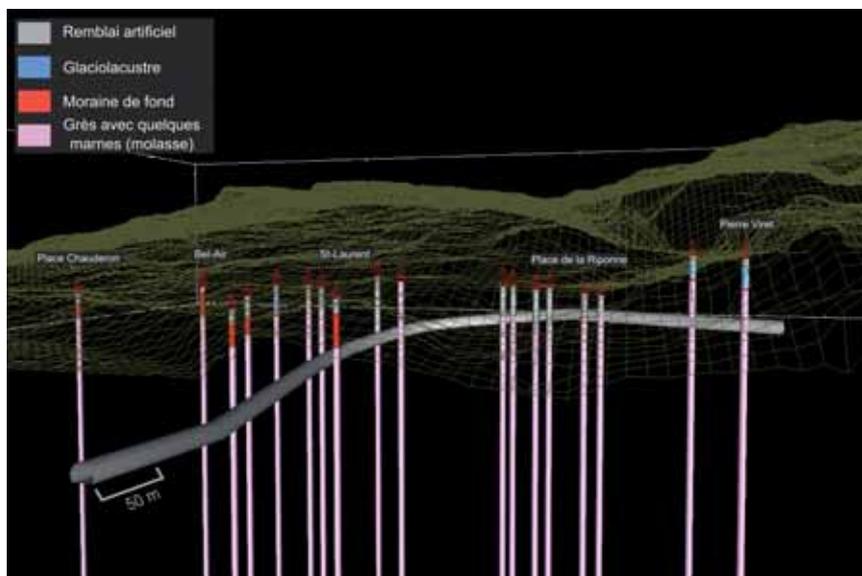
(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)

Utilité d'un cadastre géologique

Un cadastre géologique permet d'enregistrer les diverses opérations de reconnaissance du sous-sol et d'utiliser leurs résultats dans l'élaboration de projets en contact avec le milieu souterrain. En Suisse, comme le montre l'exemple de la ville de Lausanne, ce cadastre se justifie particulièrement du fait de la forte hétérogénéité géologique du sous-sol. Un tel cadastre géologique peut notamment être utilisé dans trois domaines: les études géologiques, la gestion du territoire et l'accès à la connaissance générale de l'espace souterrain.

L'utilité d'un cadastre en cas de travaux requérant une étude géologique du sous-sol est évidente. Pratiquement, elle présente le double avantage de pouvoir disposer d'une base de données géologique aussi complète et actualisée que possible et de pouvoir en extraire rapidement une information. Le premier avantage repose sur le principe qu'une donnée de sondage, obtenue à coût élevé et dont la valeur ne s'altère pas avec le temps, ne doit pas être perdue, ceci d'autant plus qu'il est souvent impossible de la réacquérir au même endroit. Il arrive encore trop souvent qu'une donnée géologique existante ne soit pas prise en compte pour la seule raison qu'on ignore son existence. Un cadastre géologique résout efficacement ce genre de problème en conservant la trace des informations antérieures. De plus, comme le montre notre modèle lausannois, la densité d'information est un critère majeur pour garantir une interprétation géologique de qualité, notamment dans le cas de formations particulièrement hétérogènes. Le second avantage tient à la capacité du cadastre géologique à fournir rapidement des informations structurées, cohérentes et actualisées, ce qui permet de diminuer significativement le temps nécessaire à la recherche et à la mise en forme d'information géologique.

En matière de gestion du territoire, le cadastre géologique contient les données de base nécessaires à l'exploitation durable des ressources souterraines en matière d'eau, de chaleur, de matériaux ou d'espace. Avec le développement des infrastructures enterrées (infrastructures routières, canalisations, sondes géothermiques, stations de pompage, décharges, etc.), les conflits au sein du milieu souterrain vont s'accroître et poser à la gestion du territoire des questions nouvelles dont la résolution passera certainement par une connaissance tridimensionnelle du sous-sol. Un exemple actuel de ce genre de problématiques est la modélisation tridimensionnelle des formations géologiques aquifères visant à identifier les effets de concurrence à long terme entre l'exploitation des ressources géothermiques et des ressources en eau souterraine [4].



Finalement, le cadastre géologique doit aussi être perçu comme un moyen de connaissance global du sous-sol qui permette à un public toujours plus large de s'informer sur les formations géologiques et les ressources de son environnement souterrain.

Julien Zigliani, Pascal Turberg et Aurèle Parriaux
Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement de l'EPFL
(GEOLEP)
EPFL ENAC IIC GEOLEP, GC B1 383 (Bâtiment GC)
Station 18, CH – 1015 Lausanne

David Giorgis
Etat de Vaud, Dépt. des infrastructures (DINF-SG), Office de l'information sur le territoire
Avenue de l'Université 5, CH – 1014 Lausanne

Remerciements

Nous remercions le Dr Laurent Tacher (EPFL GEOLEP) pour le développement du logiciel qui a été utilisé ici pour la construction du modèle 3D.

Références

- [1] BLUNIER, P., MAIRE, P., PARRIAUX, A., TACHER, L. (2006): « Deep City: ressources du sous-sol urbain », in *TRACÉS* n°5/2006, p. 6-9
- [2] PARRIAUX A., TURBERG P. (2007): « Les géotypes pour une représentation géologique du territoire », in *TRACÉS* n°15-16/2007, p.11-17
- [3] FIORE J. (2007): *Quaternary subglacial processes in Switzerland - Geomorphology of the Plateau and seismic stratigraphy of Western Lake Geneva*, Université de Genève, thesis Sc. 3815
- [4] SCHALLER F., BRÉTHAUT D. (2009): « Cadastre géothermique de basse énergie », in *Géothermie.CH*, bulletin de la Société Suisse pour la Géothermie SSG, n°46, mars 2009, pp. 15-17
- [5] WEIDMANN, M. (1988): Feuille 1243, Lausanne, de l'*Atlas géologique de la Suisse* au 1:25 000, avec notice explicative. Service géologique national, Wabern