

## Le projet Deep City : vers un urbanisme tridimensionnel

■ Aurèle PARRIAUX

Actuellement, l'urbanisme ignore de quoi est fait le sous-sol, et de fait ignore en quoi il peut être utile au développement d'une ville durable. Le projet "Deep City" montre comment utiliser de manière optimale la richesse du sous-sol au service de la ville en surface, comment développer les synergies entre les quatre ressources principales (espace pour construire, les géomatériaux extraits, la géothermie et les eaux potables) et comment minimiser les conflits d'usage. La mise en place de cette gestion implique le passage d'un aménagement du territoire essentiellement surfacique à un aménagement 3D où l'on traduit les volumes géologiques en ressources potentielles multi-usages.

### ■ MOTS-CLÉS

Urbanisme - Sous-sol  
Ressources - Aménagement  
du territoire 3D -  
Développement durable

donné à un moment donné sans prendre en compte les autres usages possibles à long terme de ce sous-sol. La figure 1 donne un exemple parlant d'un cas où la construction souterraine a prohibé un usage eau potable pour la population. Les ingrédients de l'approche sectorielle sont le manque d'intérêt pour ce milieu perçu souvent comme occulte, le cloisonnement des disciplines scientifiques et techniques, entre les services administratifs de l'état, et le manque de vision à long terme.

*Etablissement d'une nouvelle méthodologie*

Comme la géologie des villes est une donne issue de la nature et que l'on ne peut pas modifier, le projet Deep City est parti d'une motivation de géologue

### Pourquoi la ville s'arrêterait-elle au niveau du sol ?

En 2005, le Fonds national suisse pour la recherche scientifique a lancé un programme prioritaire sur la thématique "Développement durable de l'environnement construit" (PNR 54, ref). Parmi les 220 propositions de recherche traitant de l'évolution de la ville, une seule s'intéressait à ses dessous et à ce que l'on pouvait en faire. L'idée a été retenue et le projet a donné lieu à une méthodologie permettant d'intégrer la dimension souterraine, que l'on a baptisée Méthodologie Deep City.

### Concepts principaux de la méthodologie Deep City

La thèse au départ du projet prétendait que le sous-sol de la ville est une richesse méconnue par les urbanistes et que cette richesse était donc gaspillée par ignorance. Or, si l'on veut optimiser l'usage des ressources du sous-sol urbain, cela nécessite d'intégrer la dimension souterraine dans l'aménagement du territoire. Ceci d'autant plus que les erreurs dans le sous-sol sont plus difficiles à réparer que celles que l'on fait en surface. Cette thèse a été démontrée en deux volets :

#### Analyse des leçons du passé

L'étude critique de l'histoire de l'usage du sous-sol de plusieurs villes (en parti-

culier Paris et Mexico) a permis d'identifier la raison majeure des dégâts issus d'un usage non durable du sous-sol urbain : l'approche sectorielle. Nous entendons par là l'usage du sous-sol pour un domaine socio-économique

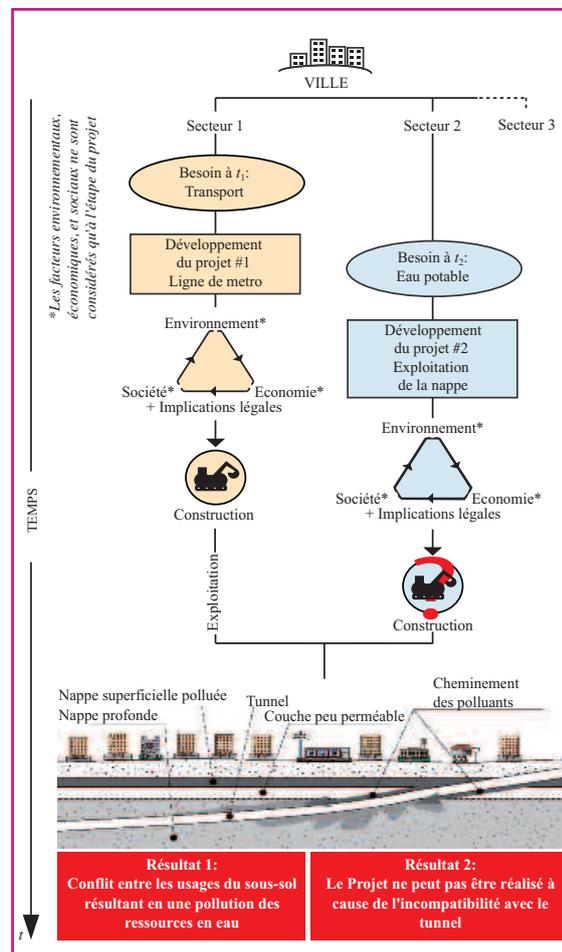


Figure 1. Exemple d'utilisation du sous-sol urbain selon l'approche sectorielle. Au temps t1, la ville a besoin d'une infrastructure de transport. Elle crée un réseau de métro en optimisant les conditions propres à ce besoin. Au temps t2, elle a besoin d'augmenter son alimentation en eau potable. Un aquifère présent en profondeur sous la ville permettrait a priori de répondre à ce besoin. Cependant, on constate que cette réserve en eau a été péjorée par la construction du métro. Le rôle de by-pass des tunnels entre un aquifère superficiel pollué et des ressources profondes constitue un cas typique (schéma au bas de la figure). L'usage de ce réservoir naturel devient difficile, voire impossible. Un usage du sous-sol a dans un tel cas préterité d'autres usages possibles de ce volume géologique. Tiré de Parriaux 2009.



voulant faire connaître aux urbanistes ce que l'on peut faire d'intelligent avec ces volumes sous la ville au service de celle-ci. La méthodologie vise une optimisation des quatre ressources principales contenues dans le sous-sol urbain : la ressource en espace pour construire en souterrain, les géomatériaux qui sont extraits lors de ces travaux, l'énergie géothermique et les eaux potables (figure 2). La démarche consiste à considérer le milieu d'abord comme ressource sectorielle pour chacun des quatre domaines en traduisant l'information géologique en paramètres techniques spécifiques. L'innovation est ensuite dans l'étude des interactions, positives ou négatives, entre les usages sectoriels élaborés dans la première phase (figure 3). Selon la géométrie des corps géologiques et leurs propriétés spécifiques, on est capable d'évaluer le degré de compatibilité des différents usages sectoriels. On est ainsi en mesure de planifier pour des volumes de sous-sol des synergies permettant des usages multiples, pour d'autres au contraire des règles d'exclusion lorsque les interactions entre usages possibles sont trop négatives. Le résultat est une matrice d'interaction qui identifie pour chaque relation intersectorielle les synergies et les conflits potentiels (figure 4). Elle permet ainsi de planifier une véritable gestion du sous-sol à long terme. Bien qu'une telle planification entre parfaitement dans la philosophie fondamentale de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, elle n'est pas entreprise et les agglomérations continuent à gérer leur devenir en ignorant la richesse qu'elles ont sous les pieds. La méthodologie a donné lieu à de nombreuses publications, d'abord à l'occasion d'un premier doctorat sur la partie sciences dures (Blunier, 2009), un second doctorat sur la perception du sous-sol par les usagers (Maire, 2011), et le rapport final du projet (Parriaux et al., 2010).

### Comment représenter l'invisible ?

Pour les spécialistes du traitement des données spatiales, la confection du modèle géologique tridimensionnel et de son intersection avec la topographie est une opération de haut niveau.

Figure 2. Les quatre ressources principales du sous-sol urbain, selon le projet "Deep City". Tiré de Parriaux 2009.

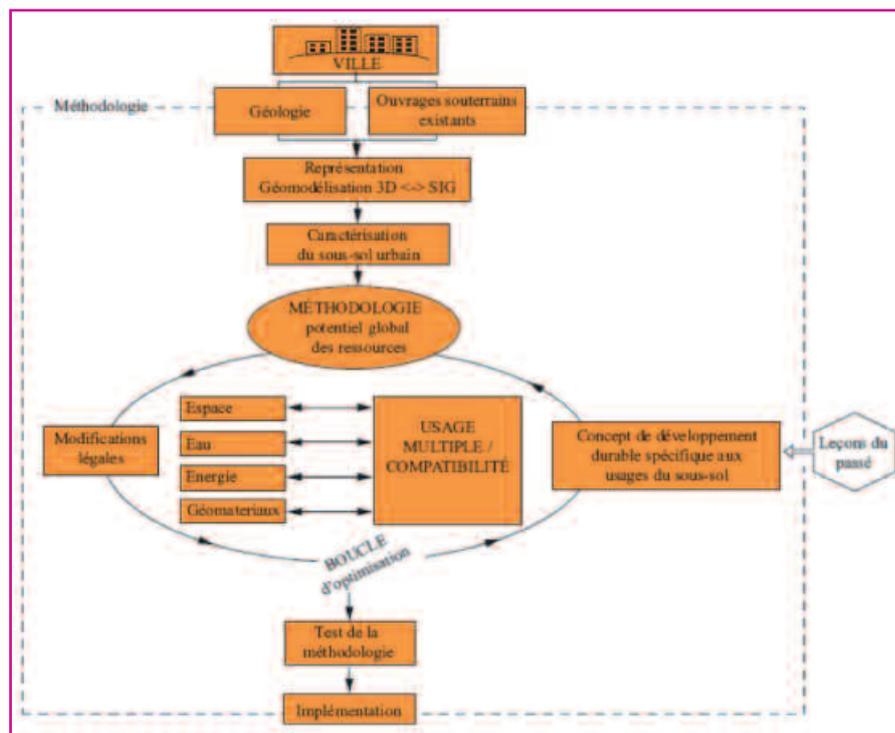
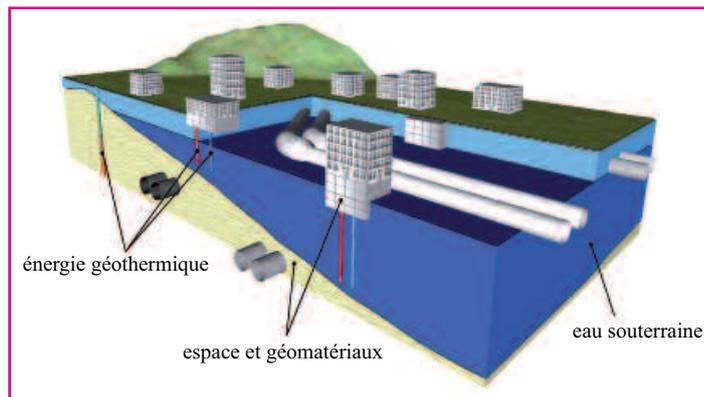


Figure 3. Approche multi-usages préconisée par le projet "Deep City". Au contraire de l'approche sectorielle, elle définit le potentiel global du sous-sol de la ville compte tenu des quatre ressources disponibles. Auparavant, elle nécessite de construire un modèle géologique tridimensionnel du sous-sol urbain contenant les infrastructures existantes. Puis, il s'agit de planifier à long terme l'espace souterrain en fonction de son potentiel global, en optimisant les synergies de ressources (multi-usage construction-géothermie par exemple) et en posant des règles d'incompatibilité (par exemple construction-eau potable). Tiré de Parriaux 2009.

Beaucoup de villes se situent sur des structures géologiques complexes qu'il n'est pas simple à modéliser en 3D. De nombreuses informations géologiques existent (cartes, profils, sondages, etc.) qui permettent de donner au modèle un bon niveau de crédibilité. Les logiciels d'édition de modèles géologiques sont là pour remplir cette mission qui est devenue courante dans la boîte à outils des géologues (figure 5). Cette base topologique peut être utilisée comme donnée d'entrée pour des logiciels de

calculs également tridimensionnels comme le champ des températures en vue d'une exploitation géothermique ou l'écoulement des eaux souterraines pour l'implantation de captages d'eau potable. Elle peut être aussi exportée dans des systèmes d'information géographique pour des traitements surfaciques plus simples qui facilitent la communication aux utilisateurs, par exemple une carte des conductivités thermiques pour les sondes géothermiques (figure 6) (Jolimet et al., 2010). La géométrie des



		AGENT IMPACTÉ			
		Espace	Eau Souterraine	Géothermie	Géomatériaux
AGENT IMPACTANT	Espace	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coût d'espace</li> <li>-Subsidence</li> <li>-Mise en réseau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concurrence hydrogéologique</li> <li>-Effet barrage</li> <li>-Pollution des eaux<sup>1</sup></li> <li>-Coût-circuits extra-soufflées</li> <li>-Captages dans les ouvrages souterrains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Géostructures énergétiques</li> <li>+Valorisation thermique des flux techniques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Génération des matériaux</li> <li>-Pollution</li> <li>+Valorisation des géomatériaux</li> </ul>
	Eau Souterraine	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Infiltration dans les ouvrages</li> <li>-Poussée d'entretien</li> <li>-Subsidence et déformations</li> <li>-Corrosion et altération des ouvrages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concurrence hydrogéologique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dessalination des terrains</li> </ul>	
	Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coût d'espace</li> <li>-Modifications thermoclimatiques</li> <li>-Coût de forage</li> <li>-Impact des prélèvements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concurrence hydrogéologique</li> <li>-Effet barrage</li> <li>-Pollution des eaux<sup>1</sup></li> <li>-Modifications de l'activité biologique</li> <li>-Modification des paramètres physico-chimiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Infiltration des plumes de terres de charge</li> <li>-Auto-protection de flux thermique</li> </ul>	
	Géomatériaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>+Coordination extractions-constructions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modifications du bilan hydrogéologique</li> <li>-Effet barrage</li> <li>-Coût-circuits extra-soufflées</li> <li>-Pollution des eaux<sup>1</sup></li> </ul>		

<sup>1</sup>Pollution des eaux = infiltration d'eau de ruissellement, pollution par les matériaux d'injection, mobilisation de polluants, fuite de liquide caloporteur

Figure 4. Matrice des interactions entre les quatre ressources du sous-sol urbain. En vert, interactions positives (synergies), en rouge interactions négatives, sources de conflit. Tiré de Blunier 2009.

formations géologiques s'accroche à la surface complexe de la topographie urbaine qui nécessite les compétences des spécialistes de géomatique.

### Mise en pratique de la méthodologie

Sur le plan scientifique et technique, l'application de la méthodologie Deep City ne pose pas de problème fondamental. Des bureaux de conseil très pluridisciplinaires s'alliant notamment la compétence de géologues, d'ingénieurs civils et d'urbanistes, peuvent établir ce concept d'exploitation des ressources à long terme pour une ville donnée. Ce "rattrapage sous-sol" des plans d'aménagement du territoire est une opération nouvelle mais qui constitue un investissement pour la collectivité, investissement rapidement amorti par le gain de connaissance et de temps lors de la conception des projets d'aménagement. Sur le plan légal, si l'on veut s'assurer que cette approche plus complète du territoire urbain soit réellement effectuée, les auteurs de la méthode ont considéré qu'il était nécessaire d'en introduire le principe dans une loi. Ils ont approché l'Office fédéral du développement territorial qui a reconnu éga-

lement cette nécessité. Actuellement, des articles dans ce sens sont proposés dans le projet de nouvelle loi fédérale sur l'aménagement du territoire. L'avenir dira si ce concept sera admis par les chambres qui doivent évaluer la pertinence de la nouvelle loi.

### Nouveaux développements

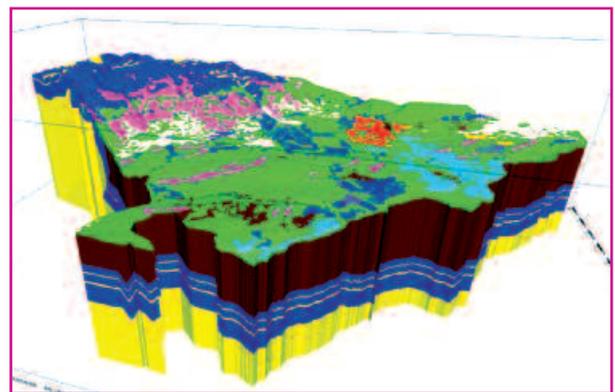
La méthodologie a été validée principalement sur la ville de Genève, ville particulièrement intéressante car possédant d'importantes ressources en eau potable sous ses pieds. Dès 2009, grâce à un projet de coopération scientifique sino-helvétique, la méthodologie a été appliquée en Chine

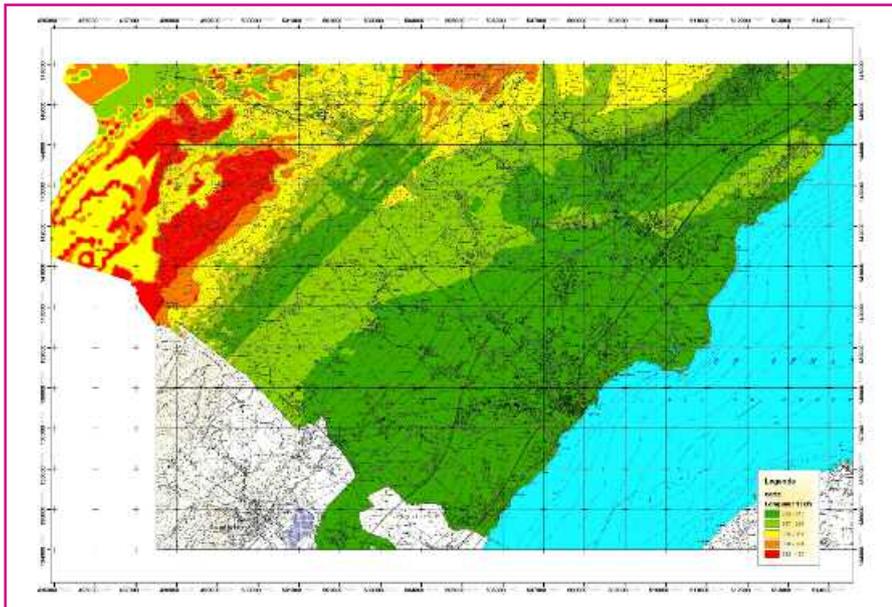
par une collaboration avec l'université de Nankin. La ville de Suzhou dans le delta du Yantse a été testée dans des conditions géologiques et de gouvernance très différente de Genève (figure 7). Une nouvelle thèse va commencer sur l'application du concept à une série de mégapoles de la Planète, afin d'évaluer le degré de généralisation de la méthode dans des contextes très divers.

### Conclusion

La méthodologie Deep City offre une large ouverture sur l'aménagement futur de la ville. De plus en plus, elle devra avoir recours à cette troisième dimension pour résoudre les problèmes de ressources à long terme.

Figure 5. Modèle géologique 3D de la région de Nyon (canton de Vaud, Suisse) servant de base à la détermination du potentiel géothermique à basse enthalpie (projet APOGEE). Tiré de Jolimet et al., 2010.

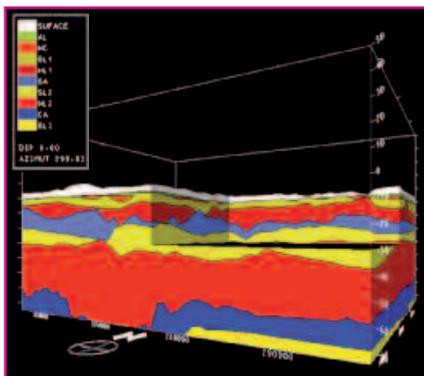




**Figure 6.** Carte des longueurs de sondes géothermiques nécessaires pour obtenir une puissance donnée de la pompe à chaleur (région de Nyon). Les longueurs nécessaires sont calculées sur la base du modèle géologique 3D où chaque formation géologique (géotype) est affectée d'une conductivité thermique. *Projet APOGEE. Tiré de Jolimet et al., 2010.*



C'est aussi une opportunité pour tous ceux qui ont une vision holistique du territoire de développer des méthodes de représentation tridimensionnelle de milieux complexes. C'est un défi pour la recherche qui donne lieu à des valorisations socio-économiques de première importance. ●



**Figure 7.** Modèle géologique 3D de la région de Suzhou dans le delta du Yantsé (Chine). Etabli en collaboration avec l'Université de Nankin. *Tiré de Cao et al., 2011.*

## Contact

Aurèle PARRIAUX - professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, géologue et hydrogéologue conseil aurele.parriaux@epfl.ch

## Bibliographie

Bilgot S., Parriaux A., *Utilisation des géotypes pour la modélisation 3D appliquée à la gestion des ressources du sous-sol vaudois.* Journée Géoperspectives, Workshop Géologie 3D et cartographie du territoire, Lausanne, June 4th 2009, 2009

Blunier M., *Méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain.* Thèse No 4404 (2009), EPF Lausanne (Suisse). Accessible en pdf sur le site [http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2009/4404/EPFL\\_TH4404.pdf](http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2009/4404/EPFL_TH4404.pdf)

Jolimet Th., Tacher L., Parriaux A., Weidmann M., Giorgis D., *Première étape de la modélisation géologique 3D du canton de Vaud : la feuille de Nyon.* 8th Swiss Geoscience Meeting, Fribourg, Switzerland, November 19-20, 2010.

In: *Abstract Volume 8th Swiss Geoscience Meeting, vol. 14, Geoscience and Geoinformation - From data acquisition to modelling and visualisation, 2010, p. 290* Swiss Academy of Sciences, 2010

Liang Cao, Xiaozhao LI, Yang YANG, Wenbo WU, Huanqing LI (2011). *Geological modeling research of Suzhou City based on the identification of urban underground resources [C].* Proceedings of the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 2011 (3):3171-3174, June 24th to 26th, 2011. Nanjing, China. (EI & IEEE Indexed)

Maire P., *Étude multidisciplinaire d'un développement durable du sous-sol urbain : aspects socio-économiques, juridiques et de politique urbaine.* Thèse No 4987 (2011), EPF Lausanne (Suisse). DOI: 10.5075/epfl-thesis-4987, accessible en pdf à l'adresse [http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2011/4987/EPFL\\_TH4987.pdf](http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2011/4987/EPFL_TH4987.pdf)

Parriaux A., Blunier P., Tacher L., Bilgot S., Bréthaut D., *La ville par en-dessous : modélisation et gestion des ressources du sous-sol urbain.* Congrès SIG 2009, Versailles, 29/09 - 01/10 2009, 2009

Parriaux A., *Géologie : Bases pour l'ingénieur.* 2<sup>e</sup> édition revue et augmentée. PPUR Lausanne, ISBN 978-2-88074-810-4, 2009

Parriaux A., Blunier P., Maire P., Dekkil G., Tacher L., *Projet Deep City - Ressources du sous-sol et développement durable des espaces urbains.* Rapport de recherche PNR 54, Fonds national suisse FNS/ vdf ETHZ, 2010.

Huanqing LI, Aurèle Parriaux, Xiao-Zhao LI (2011). *The way to plan a viable "Deep City": from economic and institutional aspects.* The Hong Kong Institution of Engineers & The Hong Kong Institute of Planners: Joint Conference on "Planning and Development of Underground Space", Proceedings ISBN: 978-962-7619-49-9. Hong Kong, September 23rd to 24th, 2011.

## ABSTRACT

**Key words:** Urbanism - Underground Resources - 3D land planning Sustainable development

*Presently the urbanism is ignoring the nature of underground and then what it could bring to a sustainable development of the city. The "Deep City" Project is demonstrating how we can optimally use the richness of this underground to serve the city at the surface, how we can develop synergies between the four main resources (space for building, extracted geomaterials, geothermics and drinking water) and how to minimize the conflicts between the possible uses. The implementation of this management needs to move from a superficial land planning to a 3D planning where geological volumes are translated in terms of multi-uses potential resources.*