

# SIA Vaud – Urbanités

Manger ou bâtir, faudra-t-il choisir ?

## Le sous-sol au secours du sol

Prof. Aurèle Parriaux

Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

# Problème du développement urbain dans le monde

- La migration de la campagne à la ville implique des conséquences désordonnées :
  - Croissance des villes sur la campagne
  - Congestion par le trafic
  - Pollution
  - Manque d'espaces verts
  - Ressources en eau insuffisantes

⇒ incompatible avec le développement durable

- Pour contribuer à minimiser ces effets pervers:

Méthodologie « DEEP  
CITY »

# Notre thèse

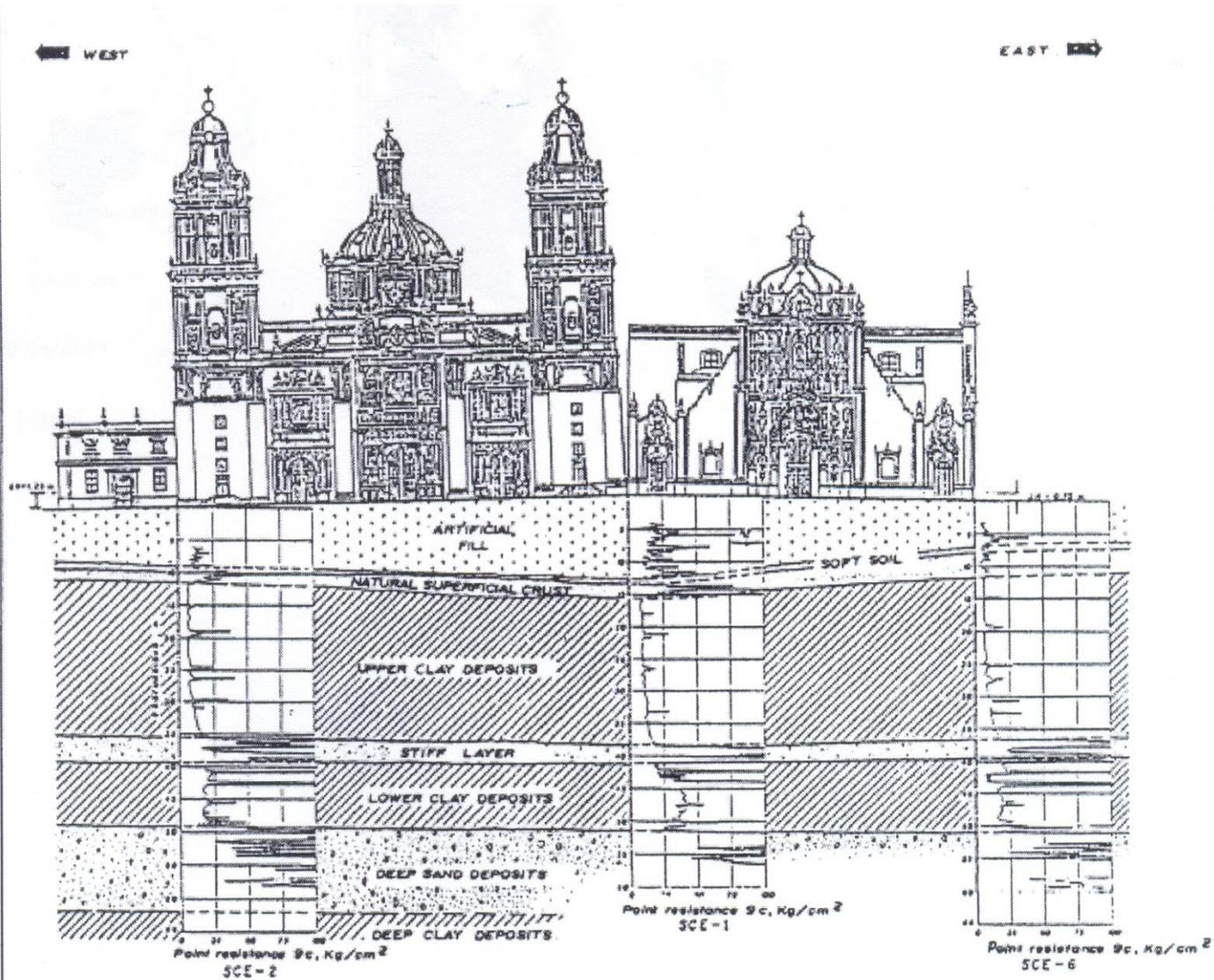
“Le développement durable des villes ne pourra être atteint sans avoir recours de plus en plus à la 3e dimension en profondeur”

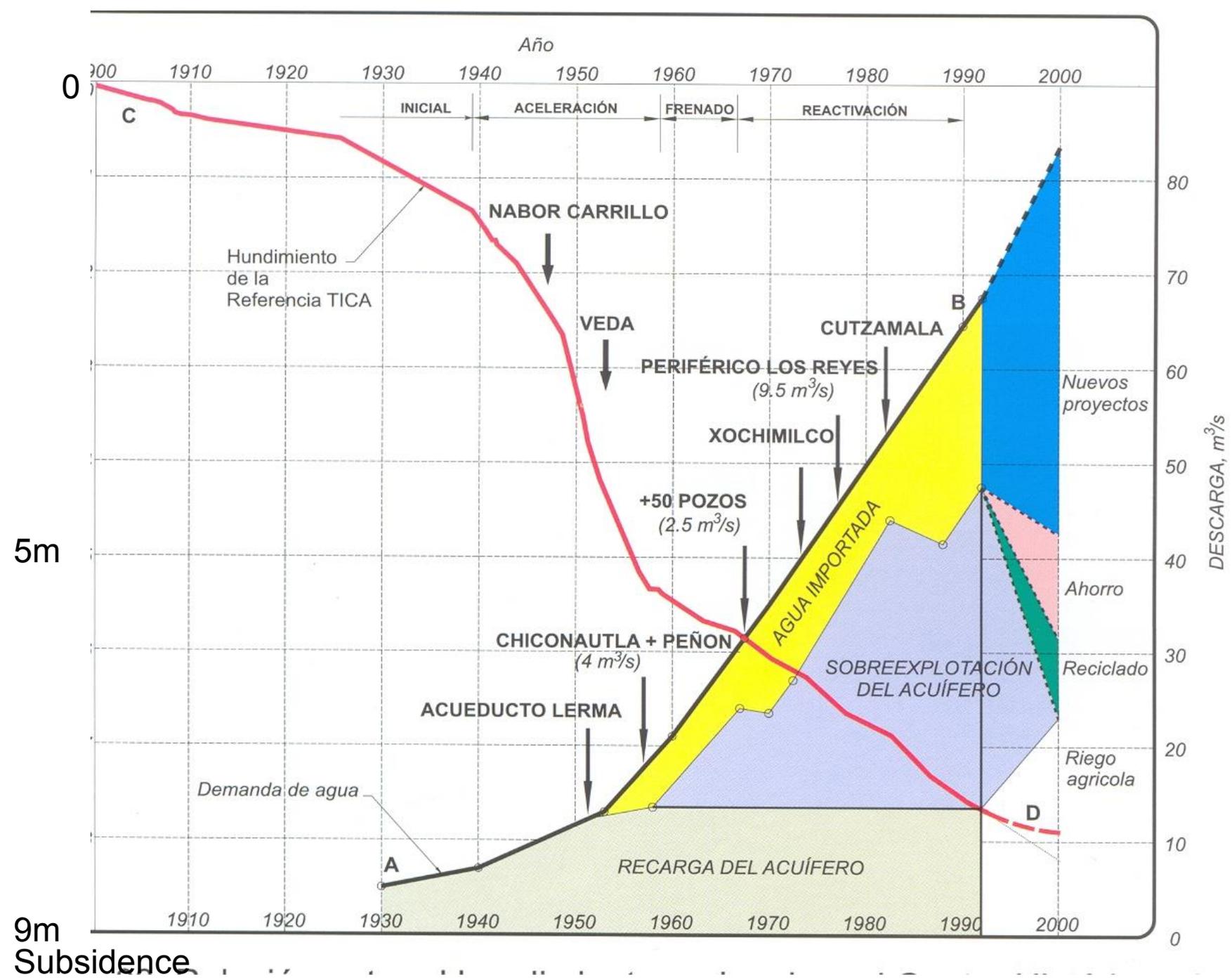
# Leçons du passé

- Exemple de Mexico-City



# Affaissement de la ville

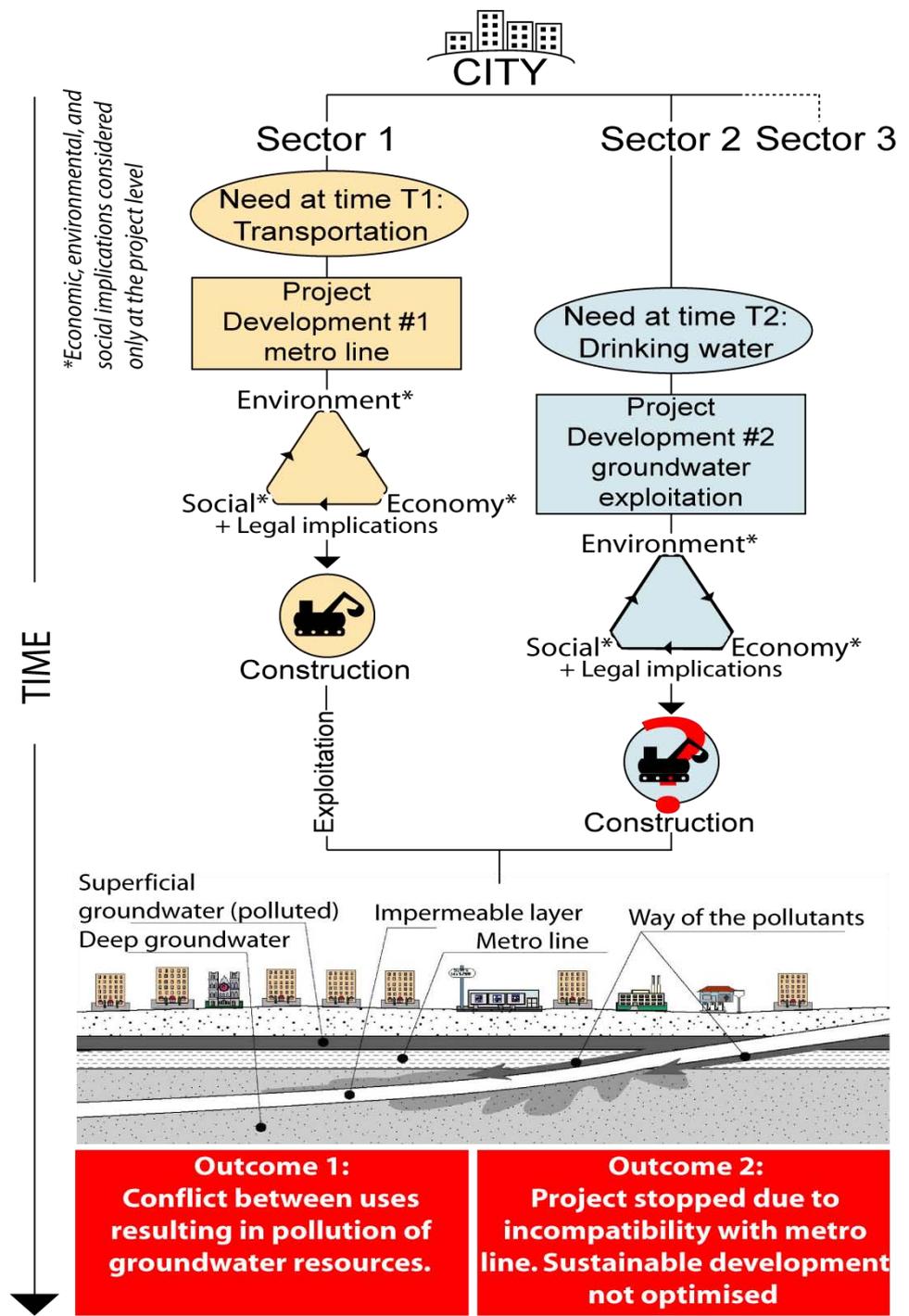




# Conclusion principale du volet “Leçons du passé”

- “L’approche sectorielle” est la principale raison de la non-conformité avec les principes du développement durable.

# Approche sectorielle dans l'usage du sous-sol : Exemple d'un cas typique



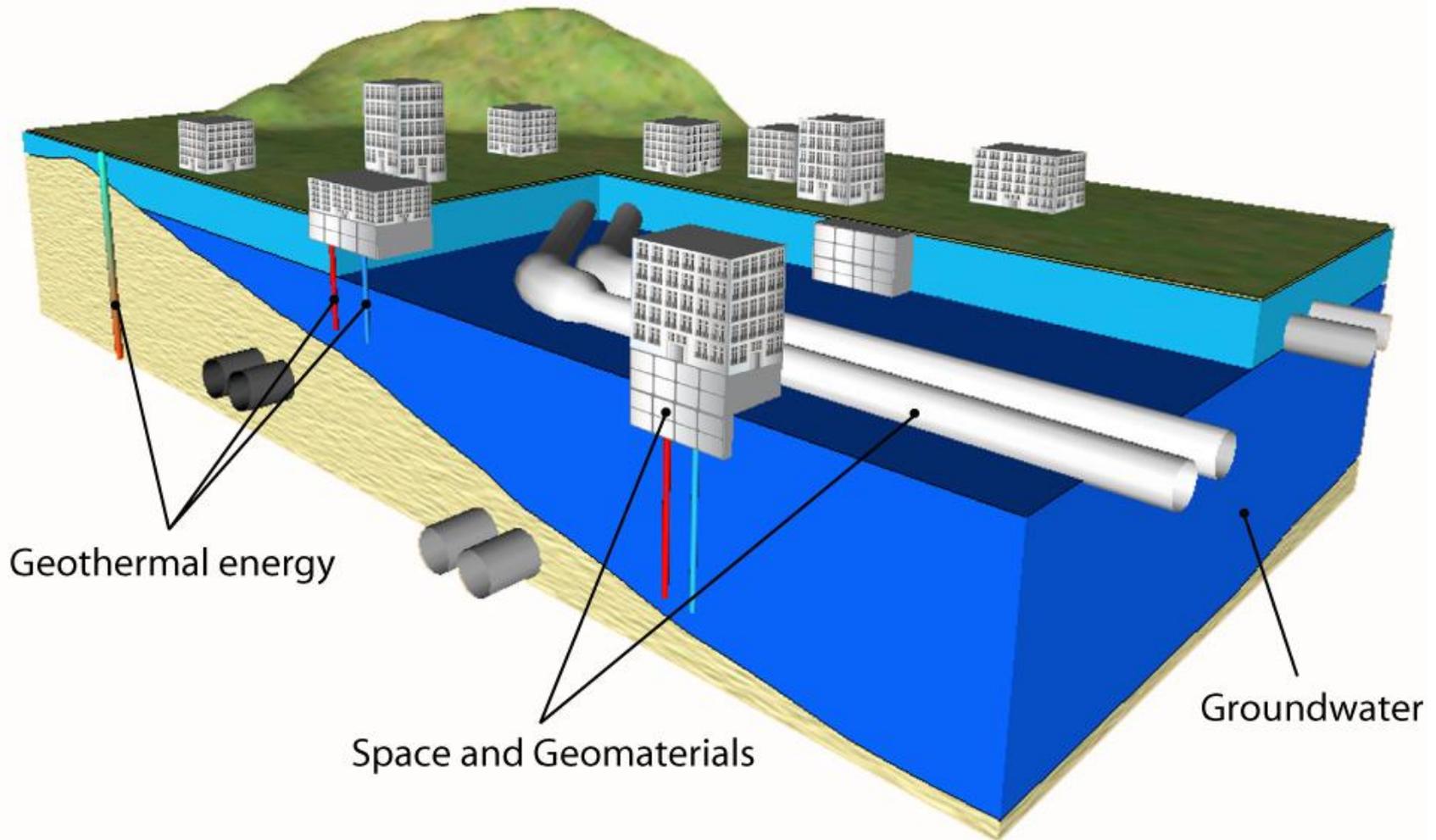
# Caractéristiques de l'approche sectorielle :

- Les **critères de décision** sont généralement **à court terme**, privilégiant les facteurs techniques et économiques
- Les **professionnels** des différents secteurs socio-économiques ont peu de contacts entre eux
- Leur **compréhension** des autres domaines concernés est souvent pauvre

# Principe du projet DEEP CITY

“Seule une **approche planifiées multi-usage** permet d’exploiter l’entier du potentiel de ressources du sous-sol de manière durable”

# Les quatre ressources principales du sous-sol urbain

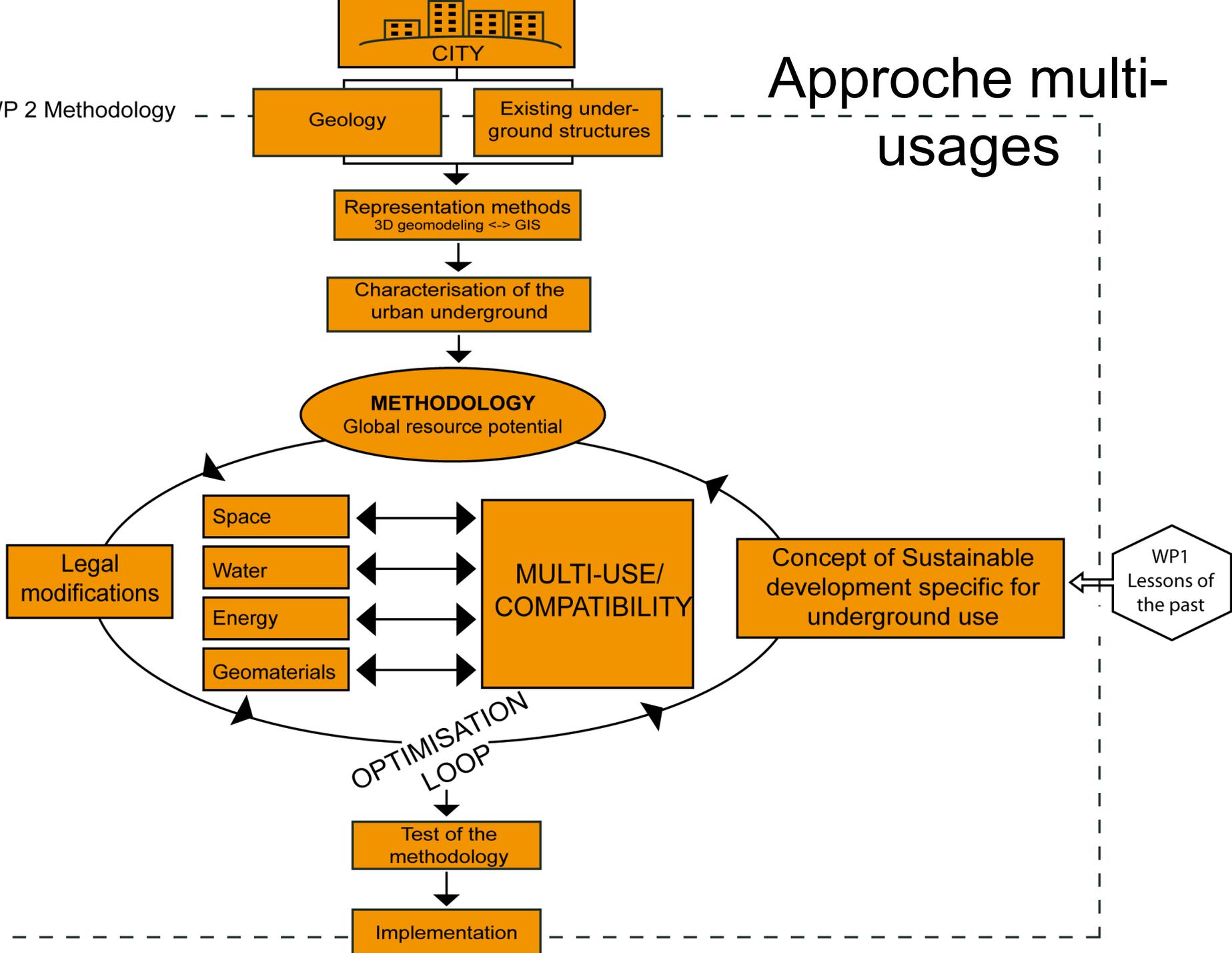


# « Deep City »

De l'approche  
sectorielle à  
l'approche multi-  
usages

# Approche multi-usages

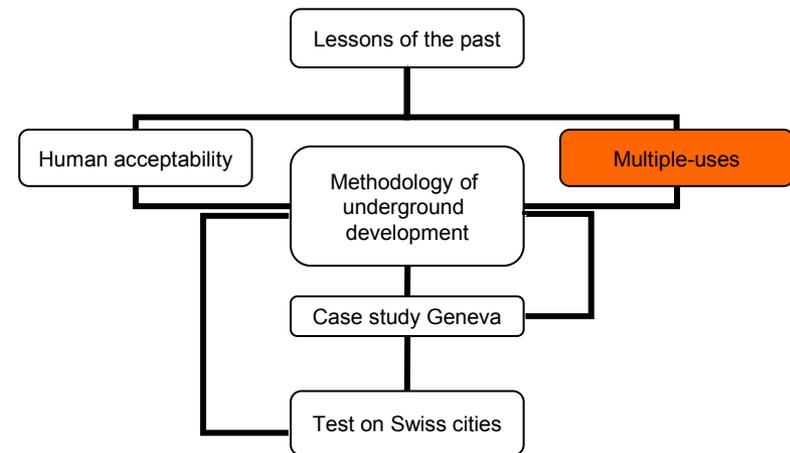
WP 2 Methodology



# Concept multi-usages

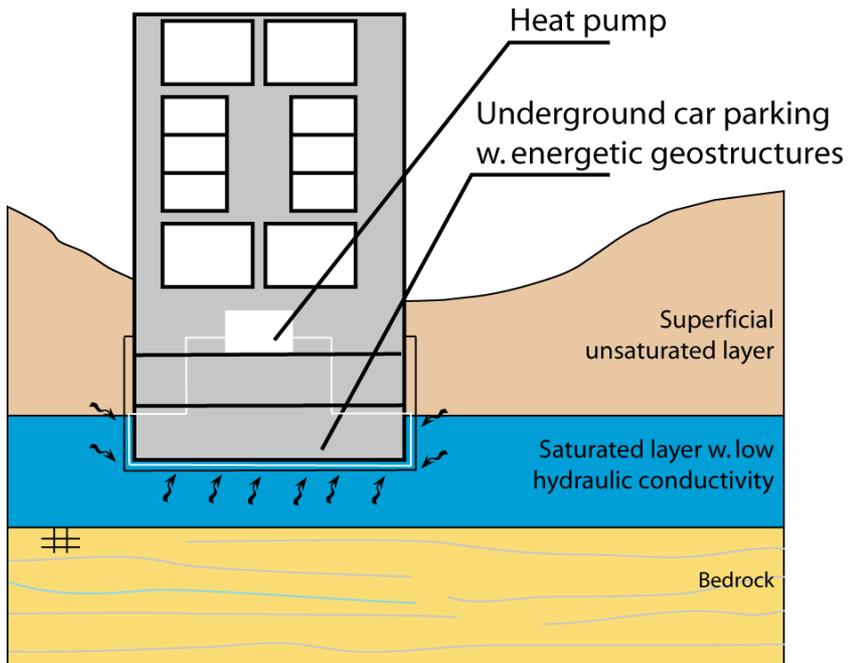
Analyses des interactions à long terme selon le concept multi-usage des ressources (interactions positives ou négatives) =>

*Qu'est ce qui est compatible avec quoi et ceci selon quelles conditions aux limites*  
**=> Règles générales**

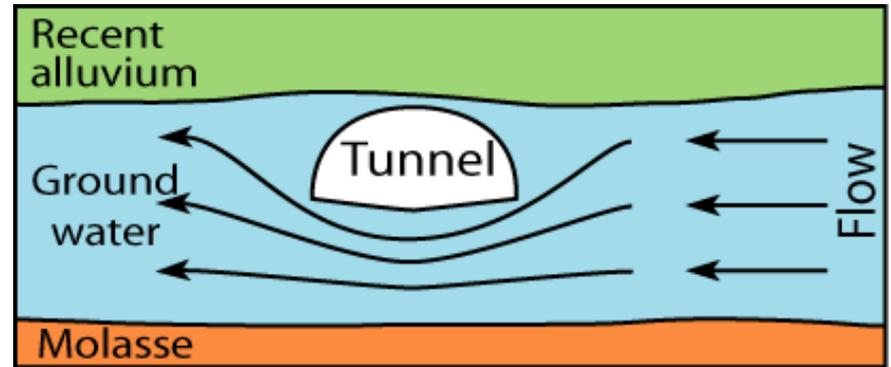


# Synergies et conflits

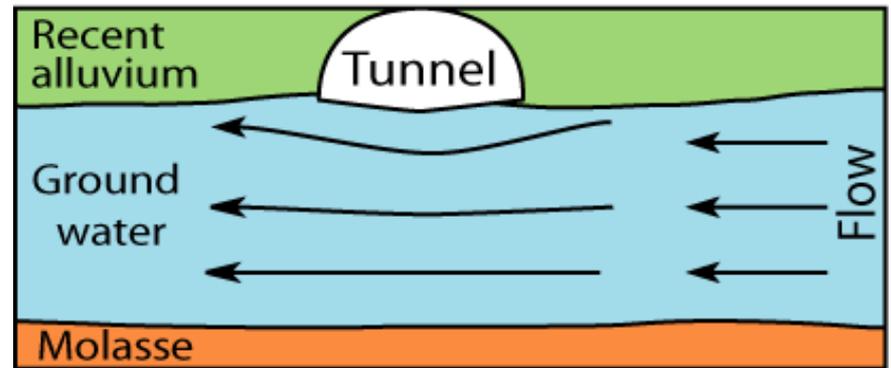
## Espace et géothermie



## Espace et ressource en eau 2 variantes pour le RER CEVA (Genève)



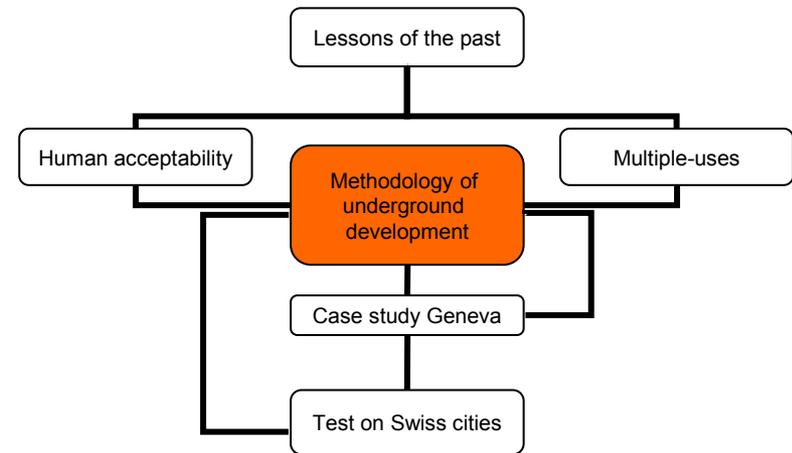
a) Tunnel is below the groundwater table



b) Tunnel is above the groundwater table

# Méthodologie de développement du sous-sol

- Scénarios de développement du sous-sol selon le concept multi-usages pour les principales conditions géologiques (incluant la modélisation et l'analyse des scénarios)



# Matrice des interactions

		AGENT IMPACTÉ			
		Espace	Eau Souterraine	Géothermie	Géomatériaux
AGENT IMPACTANT	Espace	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Conflit 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>-Court-circuits entre aquifères</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>-Élimination des matériaux d'excavation</li> <li>+Valorisation des géomatériaux</li> </ul>
	Eau Souterraine	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Infiltration dans les ouvrages</li> <li>-Poussée d'archimède</li> <li>-Subsidence et soulèvement</li> <li>-Corrosion et détérioration des ouvrages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Concurrence hydrogéologique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dessaturation des terrains</li> </ul>	
	Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Conflit d'espace</li> <li>-Modifications thermo-mécaniques</li> <li>-Gel du terrain</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>-Interaction des plumes de froid ou de chaud</li> <li>-Surexploitation du 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>-Court-circuits entre aquifères</li> <li>-Pollution des eaux<sup>1</sup></li> </ul>		

D'après Blunier

# Exemple d'un aménagement du territoire 3D

## Potentiel multi-usages du Volume Géologique no...

- GV1 : construction et géostructures énergétiques (pas de sondes géothermiques)
- GV2 : construction, aquifère superficiel utilisable pour des doublets géothermiques
- GV3 : corridor pour des tunnels, sans sondes géothermiques
- GV4 : sondes géothermiques
- GV5 : protection des eaux souterraines et exploitation des eaux de boisson (seulement les ouvrages de captage)
- GV6 : systèmes géothermiques profonds

Ces affectations sont projetées en surface sous forme de zones dans le plan d'aménagement du territoire

# Mutation dans la gestion

Passer d'une approche

« du besoin aux ressources »

à une approche

« des ressources aux besoins »

# Une opportunité pour la densification urbaine

« *Du dessus vers le dessous* »

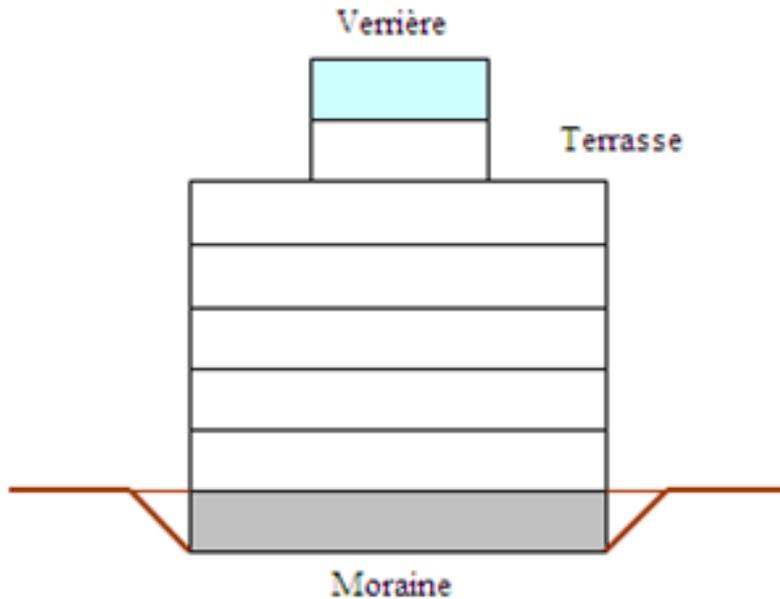
- Que déplacer de la surface en souterrain ?
- Implication au niveau des coûts d'investissement et d'exploitation ?
- Implication sur le bilan énergétique sur le cycle de vie ?

# Volumes déplaçables en souterrain

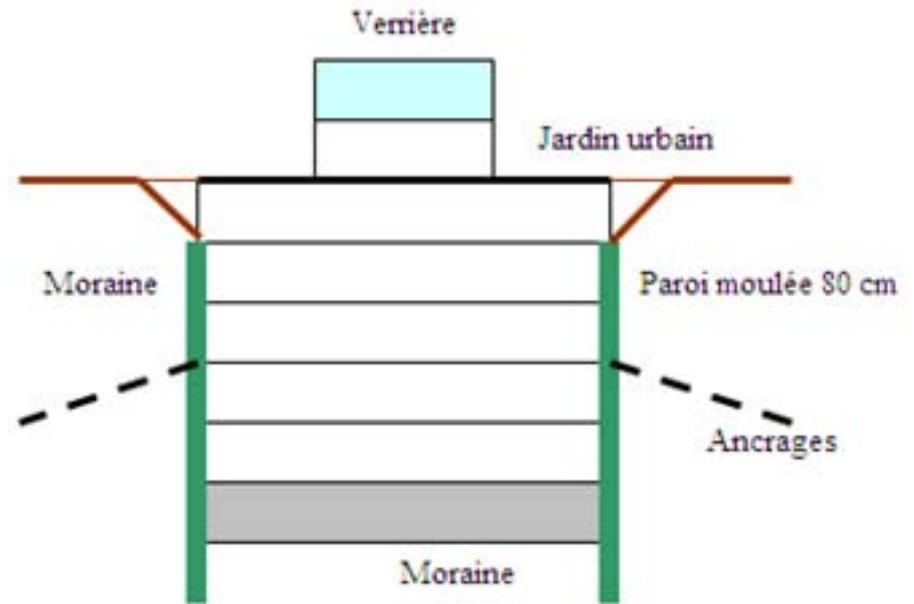
- Espace borgnes en surface :
  - - parkings
  - - grands magasins
  - - salles de spectacle, cinémas
  - - dépôts
  - - infrastructures de transport
- => se donner de la place pour vivre mieux à la surface (Homme, biodiversité urbaine)

# Simulation technique, financière et énergétique pour un grand magasin urbain

Variante 1 (en surface)

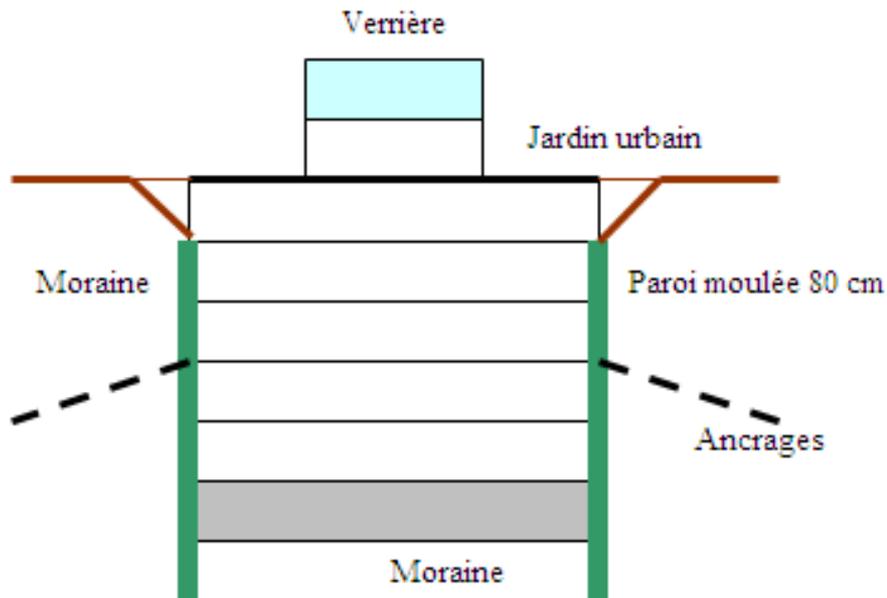


Variante 2 et 3 (en souterrain)

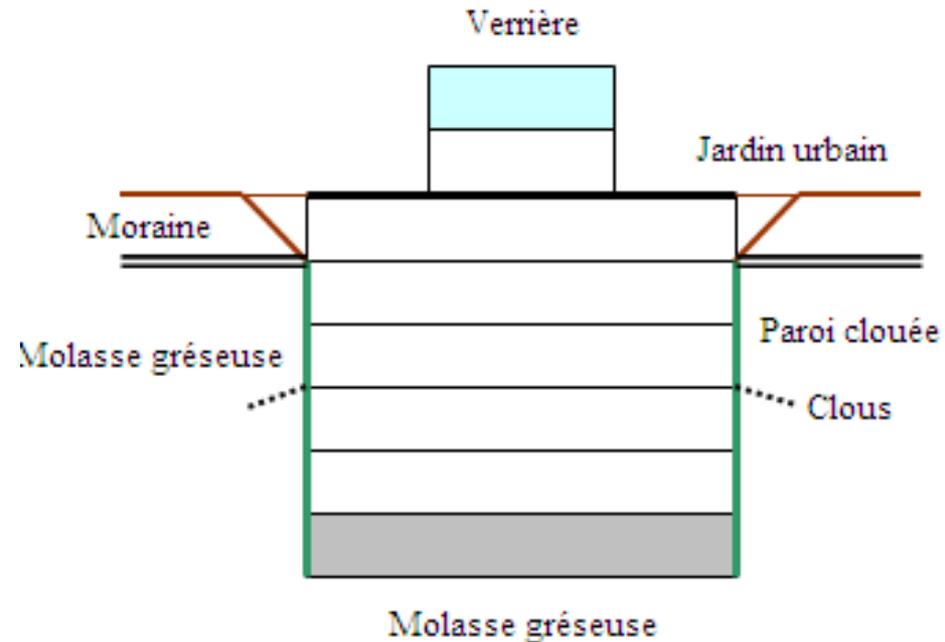


# Conditions géologiques

Variante 2 : Géologie difficile  
(moraine aquifère) :  
=> Parois moulées



Variante 3 : Géologie facile  
(molasse gréseuse horizontale) :  
=> Parois clouées

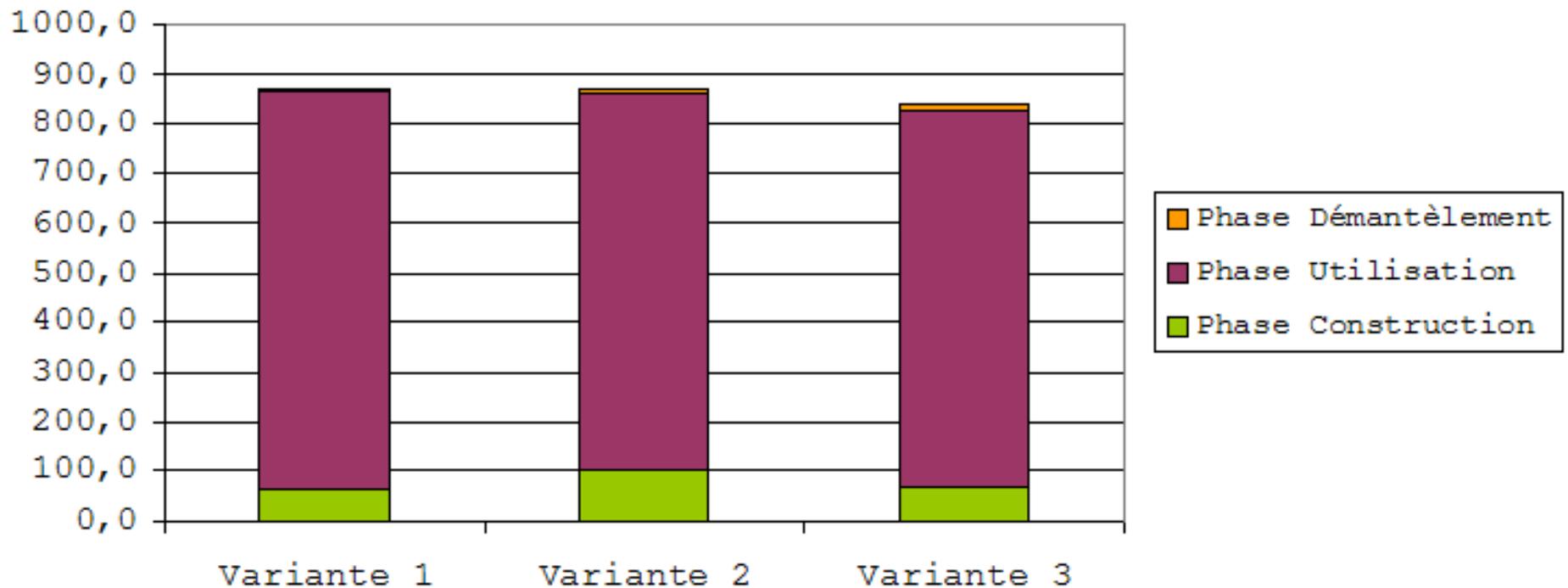


# Coûts de construction en souterrain / en surface

- $V2/V1=1.23$  (surcoût 23%)
  - $V3/V1= 1.10$  (surcoût 10%)
  - (sans compter le prix du terrain)
- 
- D'après Emch & Berger + P. Maire

# Comparaison énergétique

Bilan sur tout le cycle de vie du bâtiment  
Energie primaire en MJ/m<sup>2</sup>/an



D'après A. Poux

# Densifier ? Pas si facile !

- Deep City = opportunité pour :
  - - faire un peu de place en surface
  - - réduire le grignotage de la campagne en périphérie
- => pas LA solution, mais une des contributions à ne pas négliger

# De la théorie à la pratique

- **Plan technique** : recommandations pour différentes associations professionnelles (urbanistes, architectes, ingénieurs civils, géologues, spécialistes en géothermie, en alimentation en eau etc...)
- **Plan légal** : contacts avec l'Office fédéral du développement territorial afin d'introduire la 3e dimension souterraine dans l'aménagement du territoire

# Nouvelle mission pour l'Aménagement du territoire

*A l'échelle du pays :*

Principes dans une loi

*A l'échelle des agglomérations :*

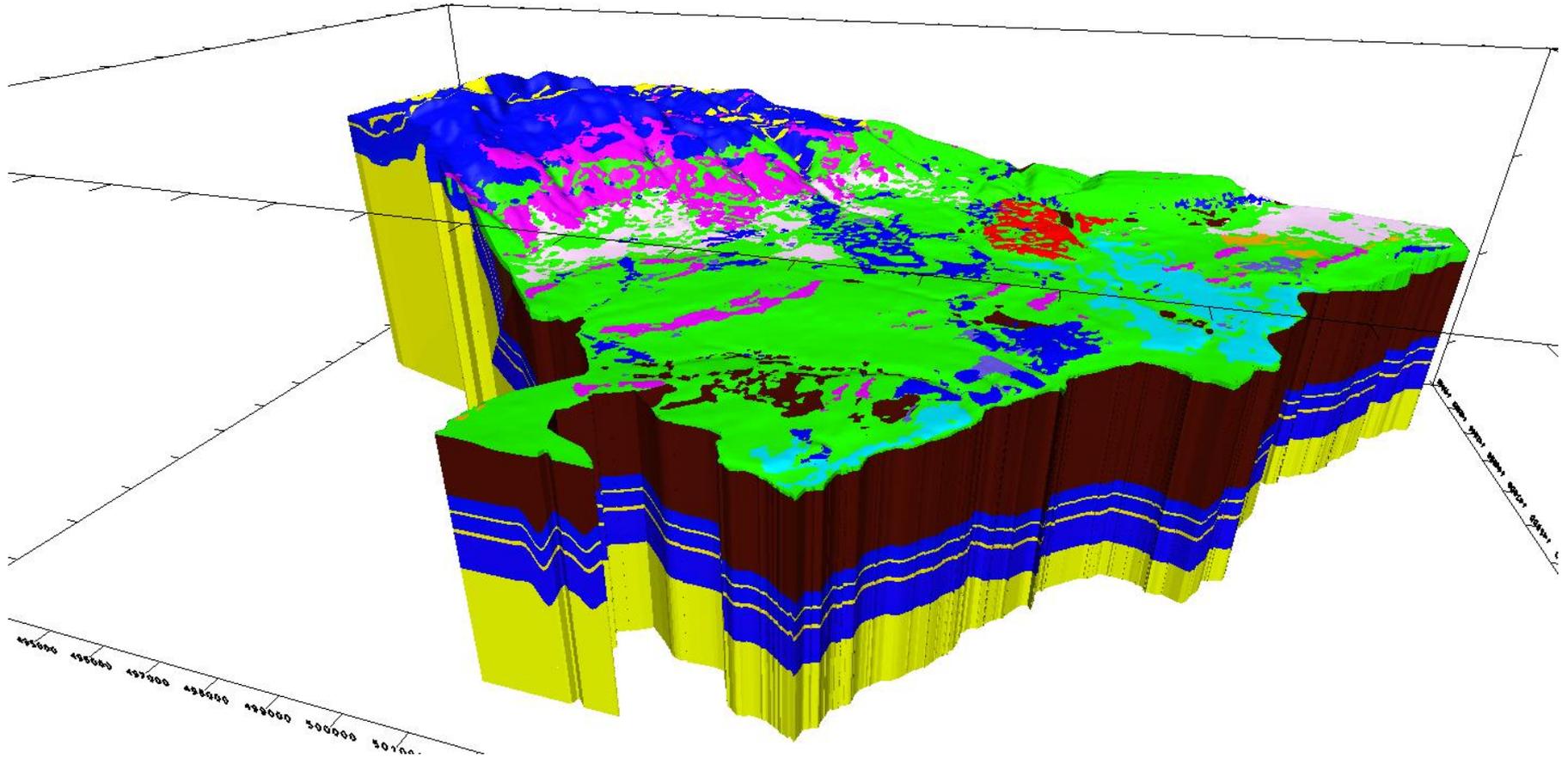
L'introduction de la 3e dimension  
implique de nouvelles tâches pour les  
professionnels de l'aménagement

4 étapes principales

# Etape 1 : le modèle 3D

- Collection des données géologiques
- Collection des infrastructures souterraines existantes
- Stockage sous une forme utilisable
- Etablissement du **modèle 3D du sous-sol**

## I. 4 Modèle Géologique



# Etape 2 : management à long terme des ressources

- Potentiel propre de chaque ressource possible prise isolément (espace, géomatériaux, géothermie, eau de boisson)
- Potentiel intégral multi-usages par optimisation des synergies et minimisation des conflits (selon la méthodologie Deep City)

*C'est l'étape principale!*

# Etape 3 : Evaluation des ouvrages existants

- Les ouvrages existants sont-ils compatibles avec le développement durable ?
- **Si non**, planification de leur abandon ou leur adaptation (on ne peut pas simplement détruire comme en surface)

# Etape 4 : Evolution dynamique

- Evolution dynamique de l'aménagement du sous-sol selon :
  - - de nouvelles données
  - - de nouveaux besoins
  - - de nouvelles technologies
  - - de nouvelles conditions socio-économiques etc.

# Remarques importantes

- Le sous-sol est au service de la ville
- Le management du sous-sol n'est pas indépendant de l'aménagement en surface
- Le sous-sol doit être intégré dans l'opération courante de l'aménagement du territoire après une phase de rattrapage du temps perdu

# Applications pratiques récentes

## • Deep City Lausanne

- SFR 130'000 du Canton de Vaud et la Ville de Lausanne
- Contractor : CSD Lausanne
- En parallèle avec la révision du « Plan directeur de la ville »

# DEEP CITY CHINA

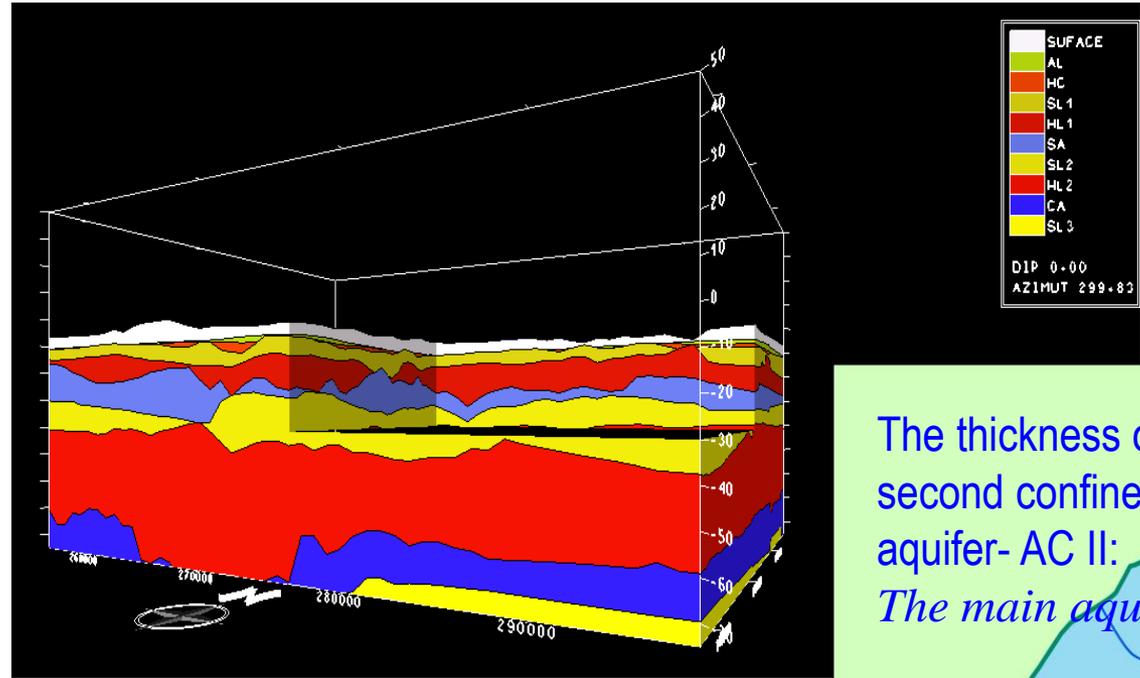
Research for an universal  
management methodology on  
urban underground resources  
exploitation!

Doctoral Assistant: Huan-qing LI

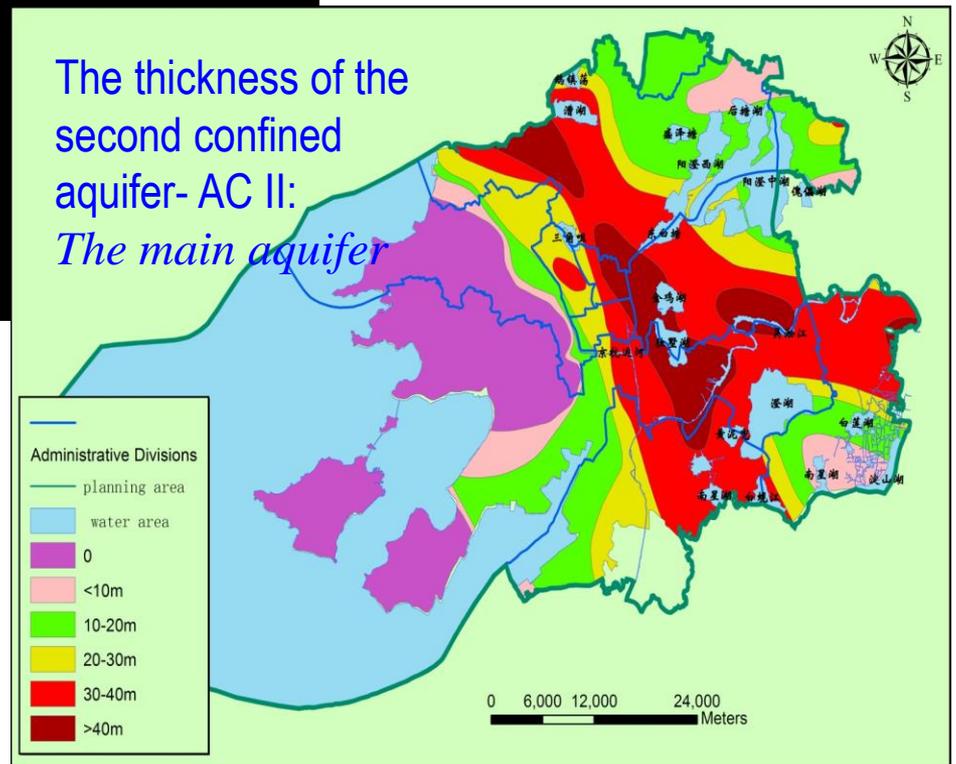
# 1. Suzhou city case study:

## 1.2 Potential evaluation for resources management

# Groundwater



AL: artificial layer  
 SL: soft layer  
 HL: hard layer  
 SA: shallow aquifer  
 CA: confined aquifer



Source: Prof. Li Xiao-zhao (Nanjing U.)

# Research program

- PhD Michael Doyle (2012-2016) on the application of the Deep City methodology on some typical megacities around the World
  - - San Antonio Texas
  - - Montreal
  - - Hongkong
  - - Dakar ?
  - - Hanoi ?

# Action bottom up au travers des cantons

- Initiative EPFL - Canton de Vaud
- Promotion of DEEP CITY Methodology in the practice of the land planning strategies of the cantons
- Workshop June 5<sup>th</sup> 2015

# Leçons du projet Deep City (1)

- Le sous-sol doit être considéré comme un **tout** : un volume contenant des **ressources fondamentales** pour le développement durable de la ville, pour la construction, mais pas seulement.

# Leçon du projet Deep City (2)

- Ce volume géologique peut offrir un **usage multiple** de ses ressources s'il est planifié en définissant des **synergies et des incompatibilités** (selon la méthodologie du projet Deep City)

# Leçons du projet Deep City (3)

- Si le développement du sous-sol n'est pas planifié, continuant ainsi selon l' "approche sectorielle", la ville va perdre un de ses derniers degrés de liberté (la réparation des erreurs dans le sous-sol est plus difficile qu'en surface).

# Conclusion

Cette manière plus holistique de considérer le sous-sol sous la ville devrait être adoptée sans délai par les urbanistes et tous les acteurs de son futur.

C'est urgent !

Tard risque d'être trop tard !

# Le concept « Deep City » et la question plus générale de la gestion du sous-sol

- « Deep City » se focalise sur l'environnement urbain car c'est là que l'urgence est maximale. De plus, le concept Deep City ne remet pas en cause d'autres textes de loi ni le droit de propriété. Il est donc facilement implémentable juridiquement.

# La question plus générale de la gestion du sous-sol

- Le rapport du groupe de travail de l'ARE intègre aussi des problèmes concernant des usages plus profonds du sous-sol (pétrole, gaz, géothermie profonde, stockage de déchets nucléaires, stockage CO<sub>2</sub> etc.) qui sont plus délicats à mettre en place.

# Sol ↔ sous-sol

- Optimiser l'usage du sous-sol dans les villes, c'est recréer des sols en milieu urbain et préserver les sols de la périphérie
- => le sous-sol au service du sol !

La gestion du  
sous-sol a  
besoin de la  
Géologie.

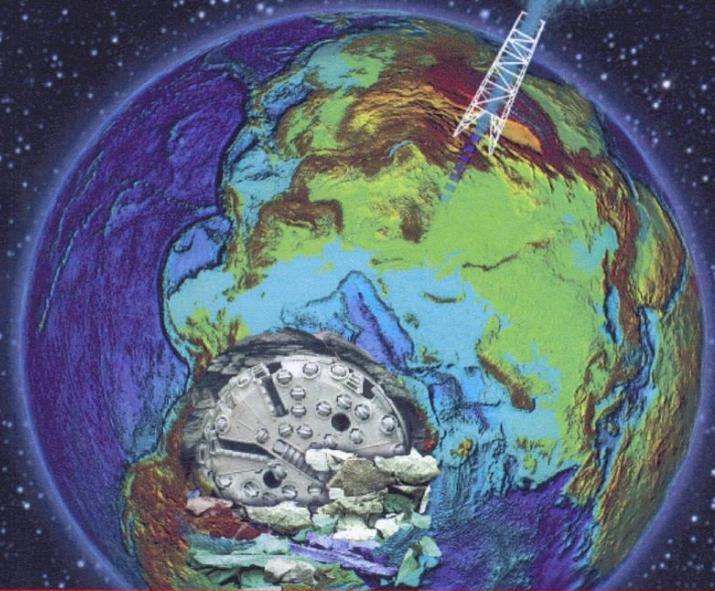
Peut être vous  
aussi ...

Nouvelle édition  
<http://ppur.epfl.ch/>

# GÉOLOGIE

## BASES POUR L'INGÉNIEUR

Aurèle Parriaux



Prix Roberval 2007

PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES