



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

ADCT

appliquées aux

Risques sur les coûts et délais de construction de tunnels

Jean-Paul Dudt - LMR-EPFL

(jean-paul.dudt@epfl.ch)

LMR

LABORATOIRE DE
MÉCANIQUE DES ROCHES

Risques sur les coûts et délais de construction de tunnels

EPFL - LMR

ADCT = **Aides à la Décision pour la Construction de Tunnels**

DAT = **Decision Aids for Tunnelling**

Conceptualisées par H. Einstein au MIT (années '70)
LMR-EPFL participe au développement depuis 1990

ADCT = méthodologie & programme informatique

ADCT: Aides à la Décision pour la Construction de Tunnels

EPFL - LMR

AIDES: le décideur prend décision, et non les ADCT

DECISION: choix entre plusieurs options, p.ex. :

- tracés / méthodes de creusement (projet)
- entreprises, yc variantes d'entreprises (adjudication)
- moyens pour traverser un accident géologique (construction)

CONSTRUCTION de TUNNELS: incertitudes

- liées à la géologie
- liées à la méthode de construction

ADCT: Aides à la Décision pour la Construction de Tunnels

EPFL - LMR

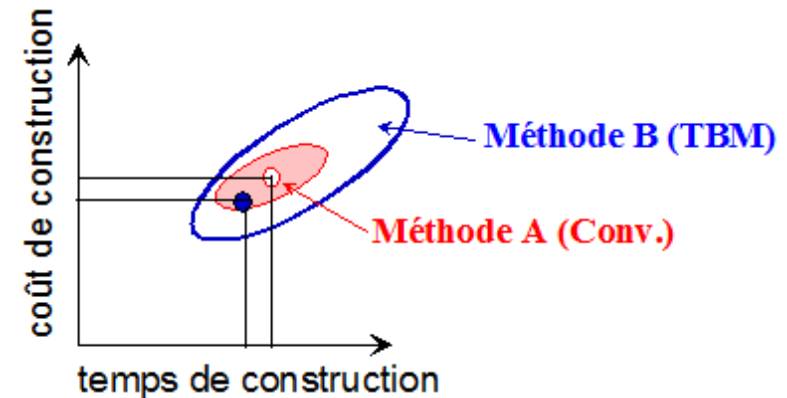
But des ADCT: aider le décideur à choisir entre plusieurs options dans un contexte incertain

Moyen: on part des incertitudes

- Liées à la géologie
- Liées à la méthode de construction

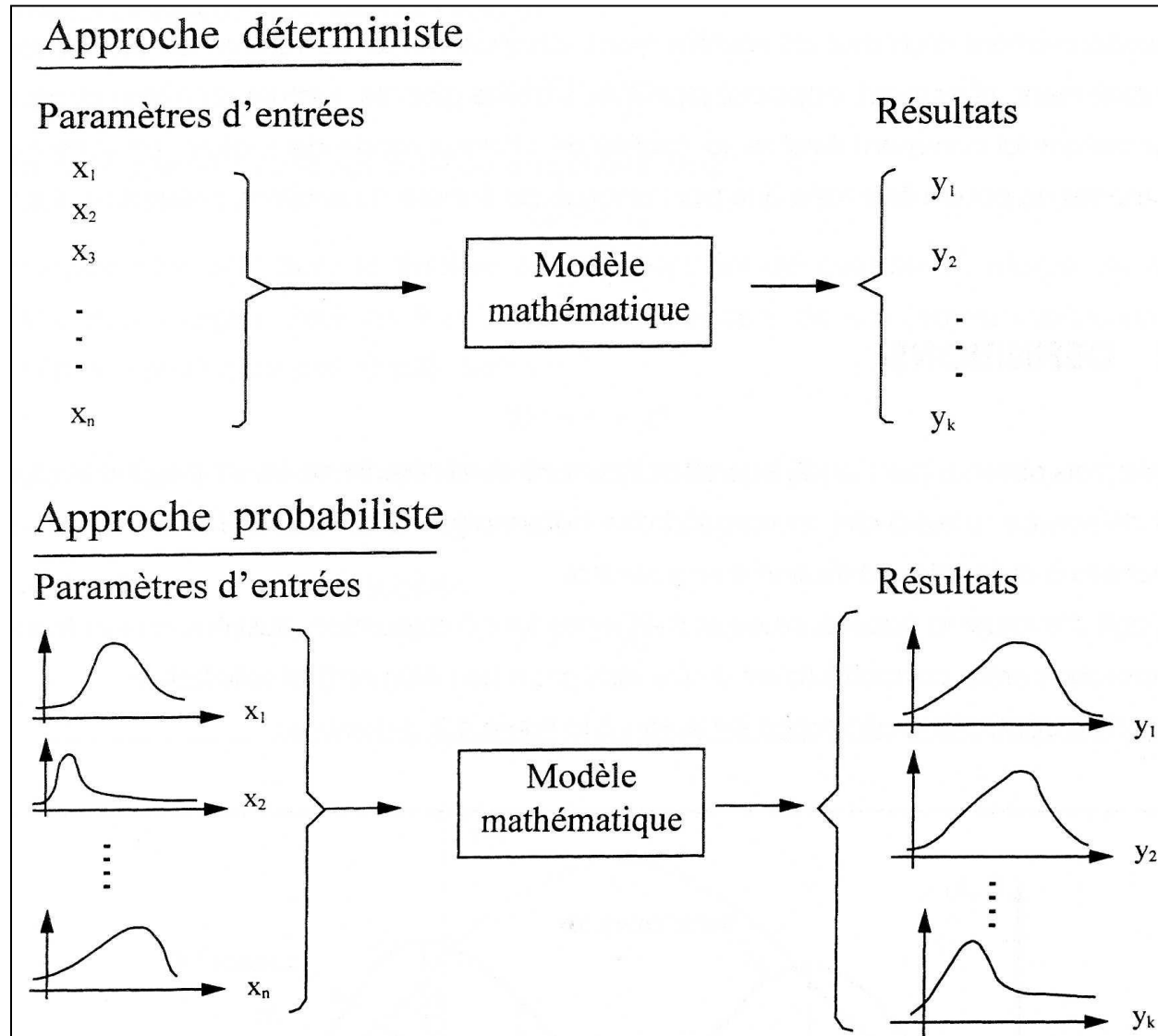
ADCT déduisent la distribution des:

- Temps & coûts de construction
- Ressources utilisées ou produites, etc.



Méthode: de Monte Carlo

Approche probabiliste vs. approche déterministe

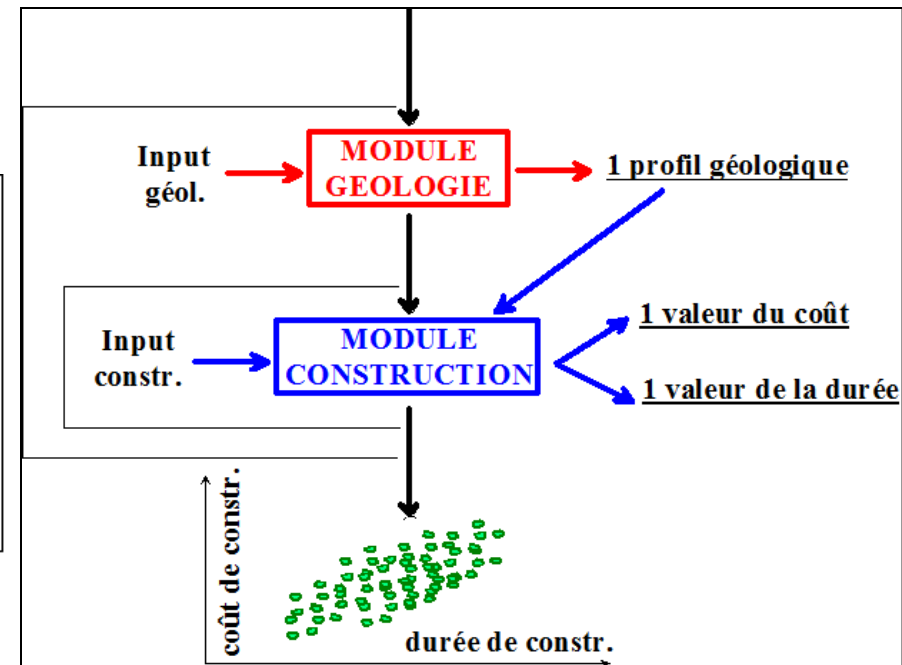
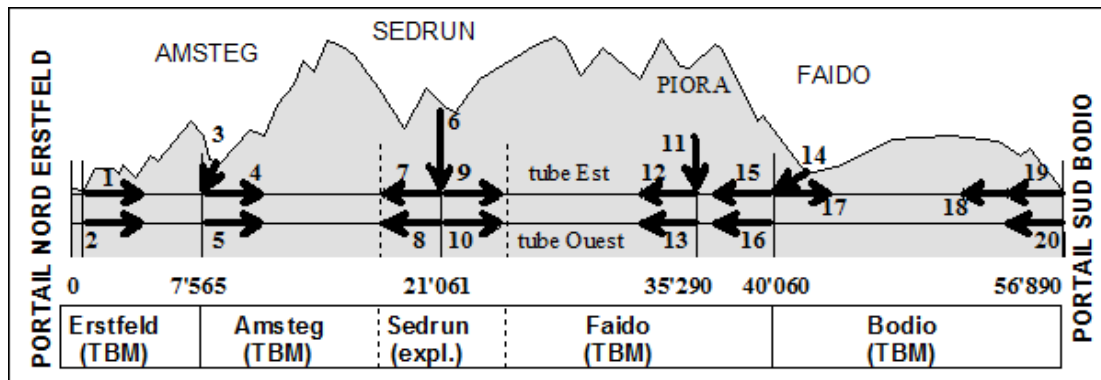


ADCT: Aides à la Décision pour la Construction de Tunnels

EPFL - LMR

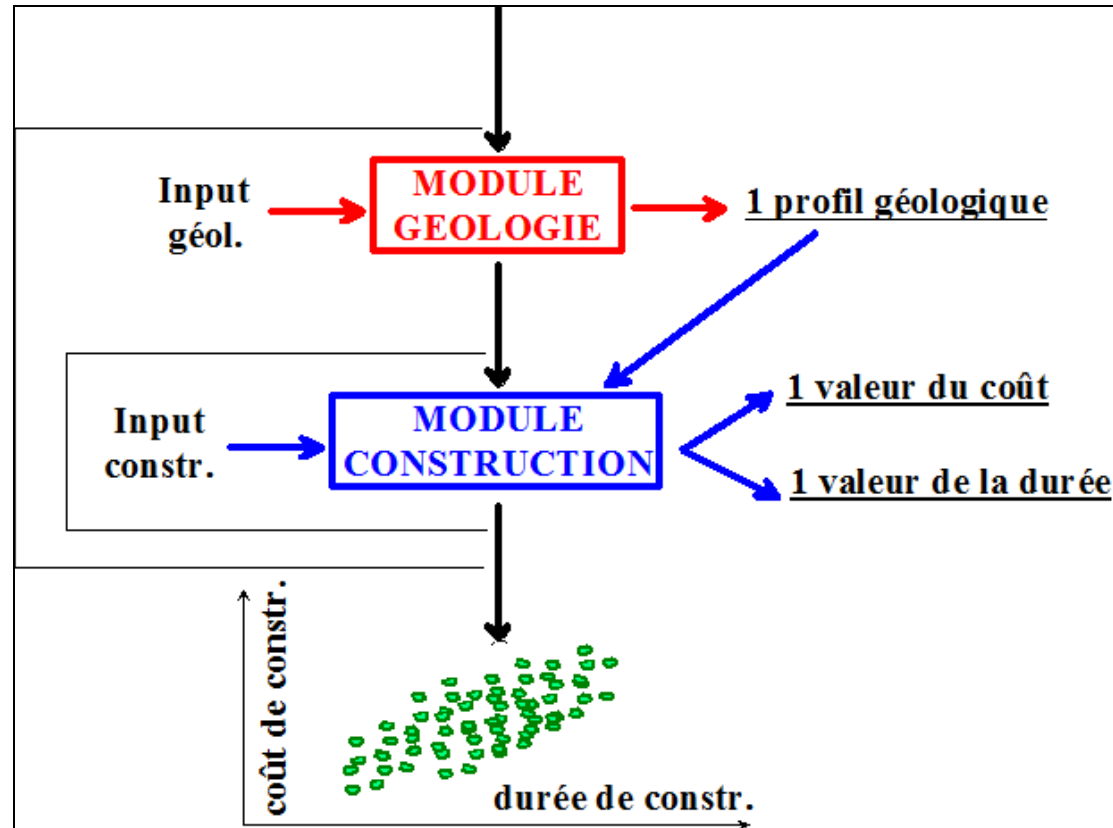
Fonctionnement des ADCT:

- Module **GEOLOGIE** simule des profils géologiques possibles
- Module **CONSTRUCTION** simule l'avancement des différentes attaques le long des profils géologiques



Données & incertitudes liées à la géologie

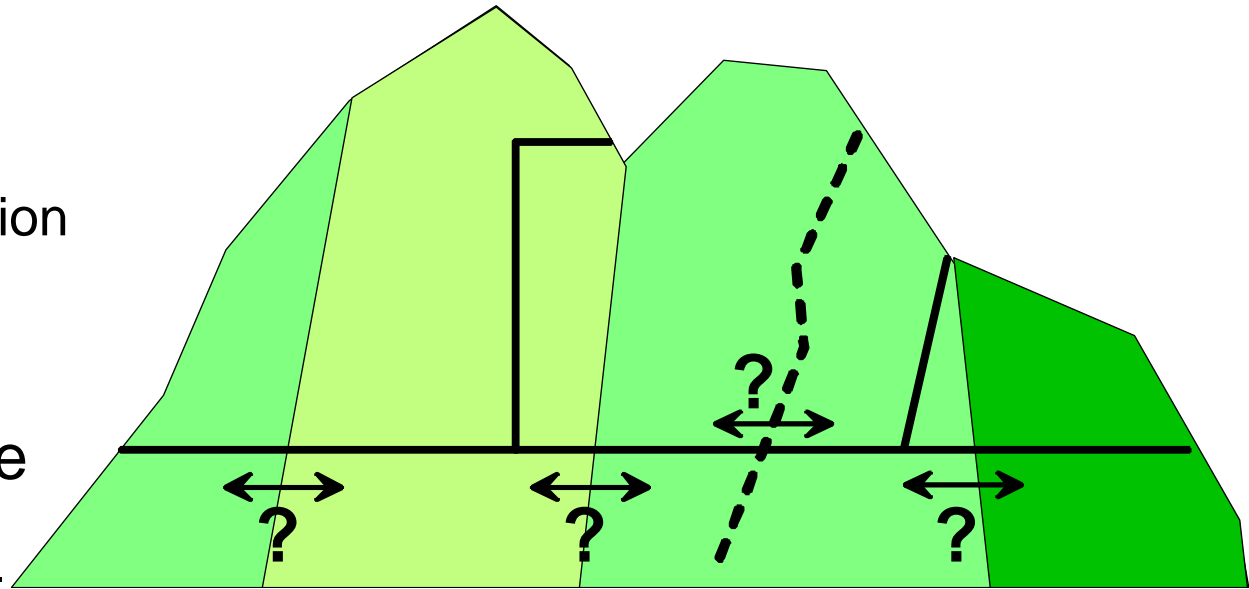
EPFL - LMR



Données & incertitudes géologiques

EPFL - LMR

- Longueurs des unités géologiques traversées
- Dans chaque unité géologique, variabilité de tous les géo-paramètres pertinents, tels:
 - Lithologie
 - Degré de fracturation
 - Hauteur de couverture
 - Résistance à la compression
 - Venues d'eau
 - Etc.
- Localisation et magnitude des principaux accidents



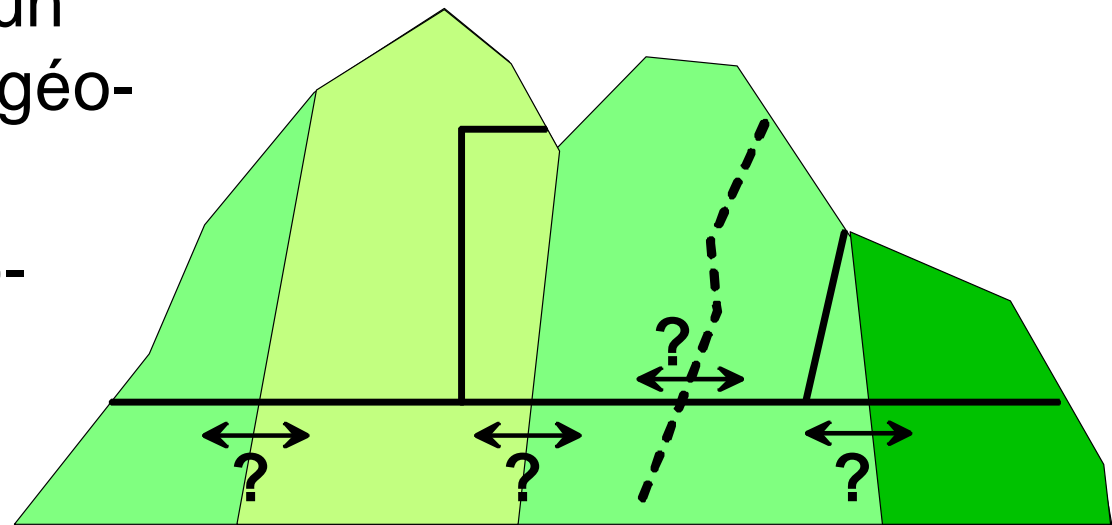
L'utilisateur décide des paramètres pertinentes pour son projet !

Fonctionnement du module GEOLOGIE

EPFL - LMR

A chaque run, le module GEOLOGIE simule – avec Monte Carlo – un profil de classes de terrain possible:

- Construit une séquence de zones possible
- Dans chaque zone, réalise un profil possible pour chaque géo-paramètre
- Combine les profils des géo-paramètres en un profil de classes de terrain
- Simule les accidents

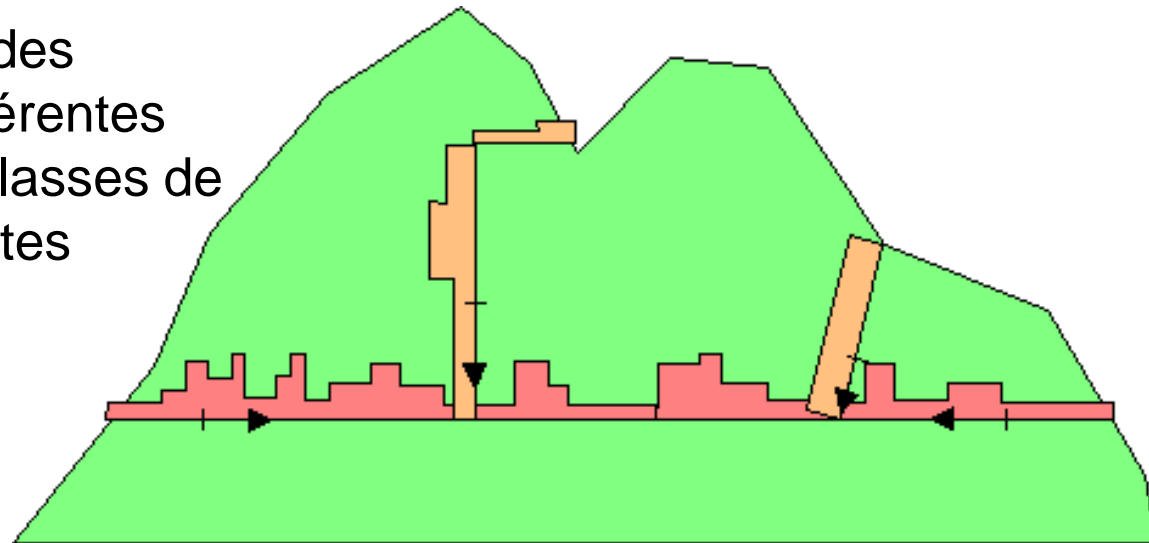


Résultat du module GEOLOGIE

EPFL - LMR

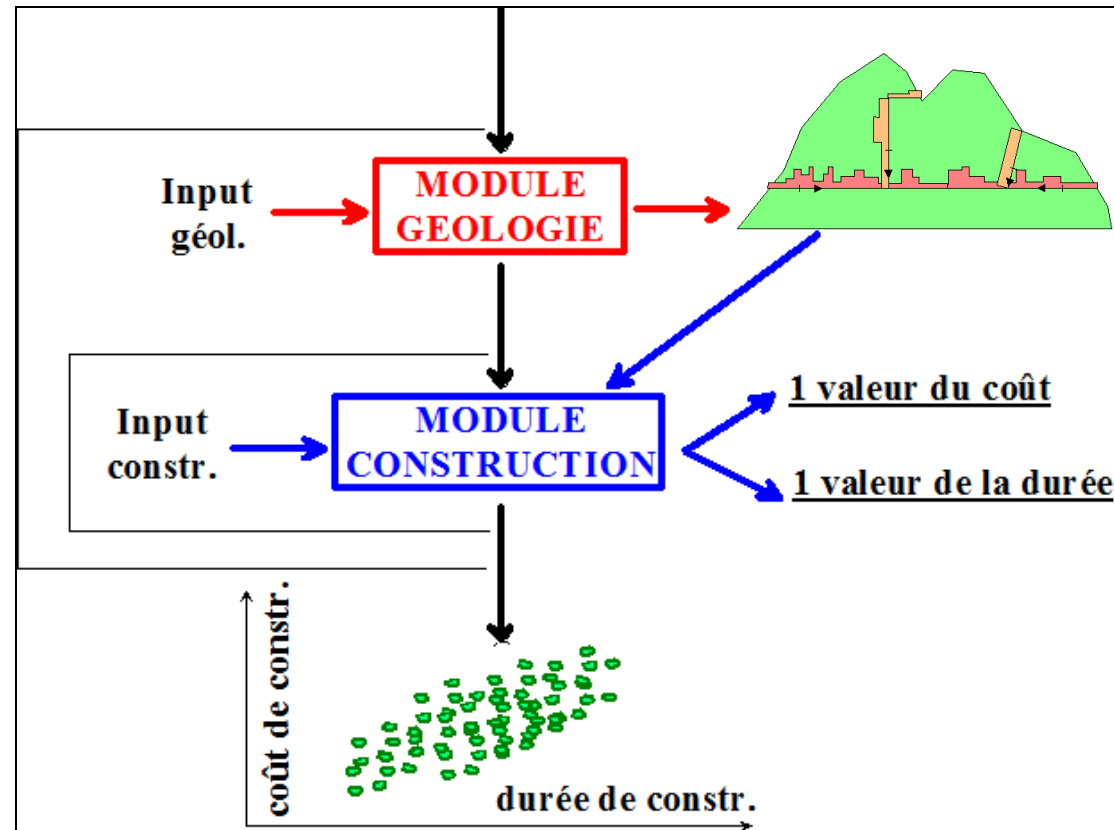
Résultat = un profil de classes de terrain possible le long du réseau de tunnels

Des hauteurs des rectangles différentes indiquent les classes de terrain différentes



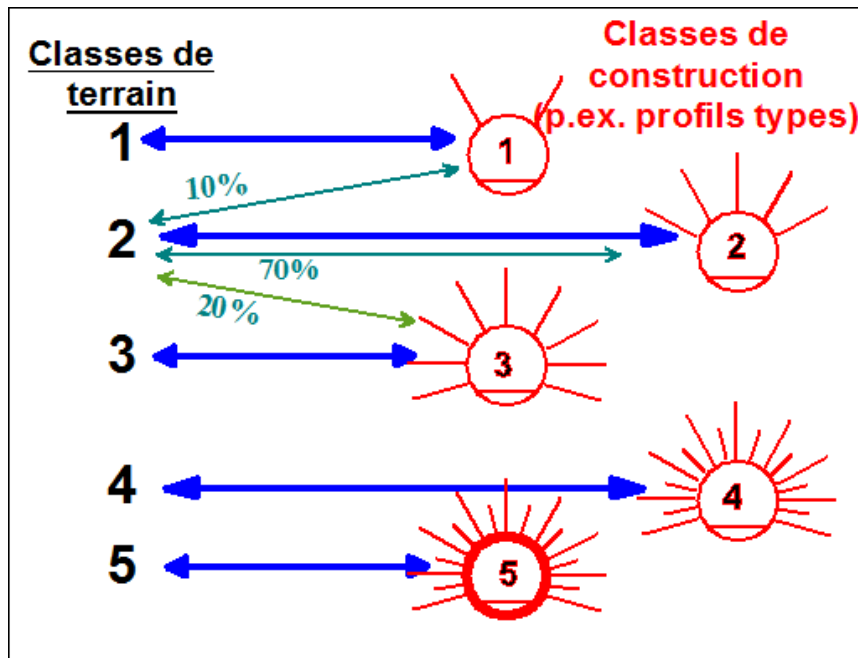
Données & incertitudes liées à la méthode de construction

EPFL - LMR



Données & incertitudes liées à la méthode de construction

EPFL - LMR

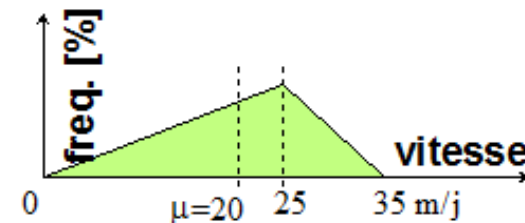


profil type (ex. TBM)



- vit. d'avancement [m/j]
- coût / mètre
- coût / jour
- investissement
- volume excavé
- longueurs boulons
- etc.

Tous les paramètres sont probabilistes
Ex: distrib. vitesses journalières



Exemple de données & incertitudes sur les vitesses et les coûts au mètre

EPFL - LMR

Classe de construct.	Vitesse [m/jour]			Coût [k€/m]		
	min	mode	max	min	mode	max
1	15	20	25	8	10	12
2	10	15	20	12	15	18
3	7	10	13	17	20	25
4	3	5	8	25	30	40
5	0.5	2	4	40	50	70

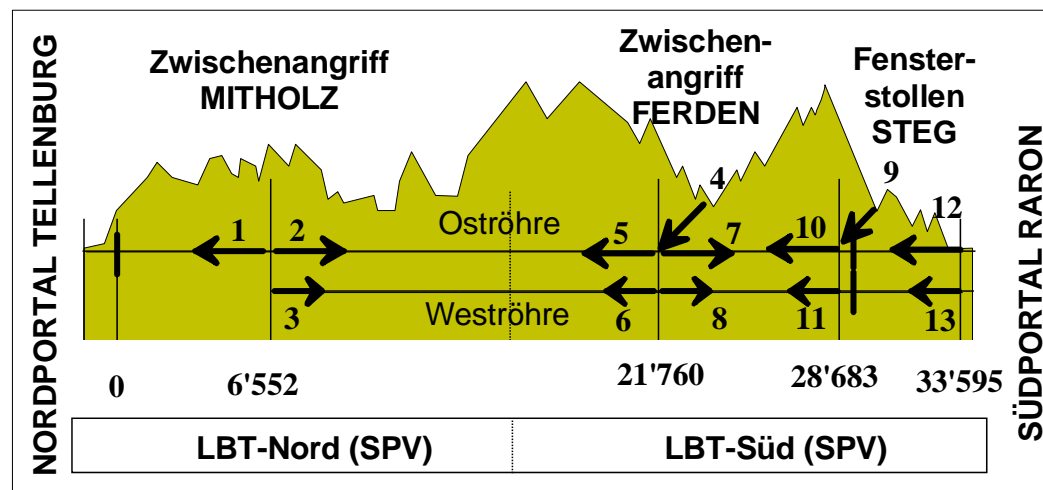
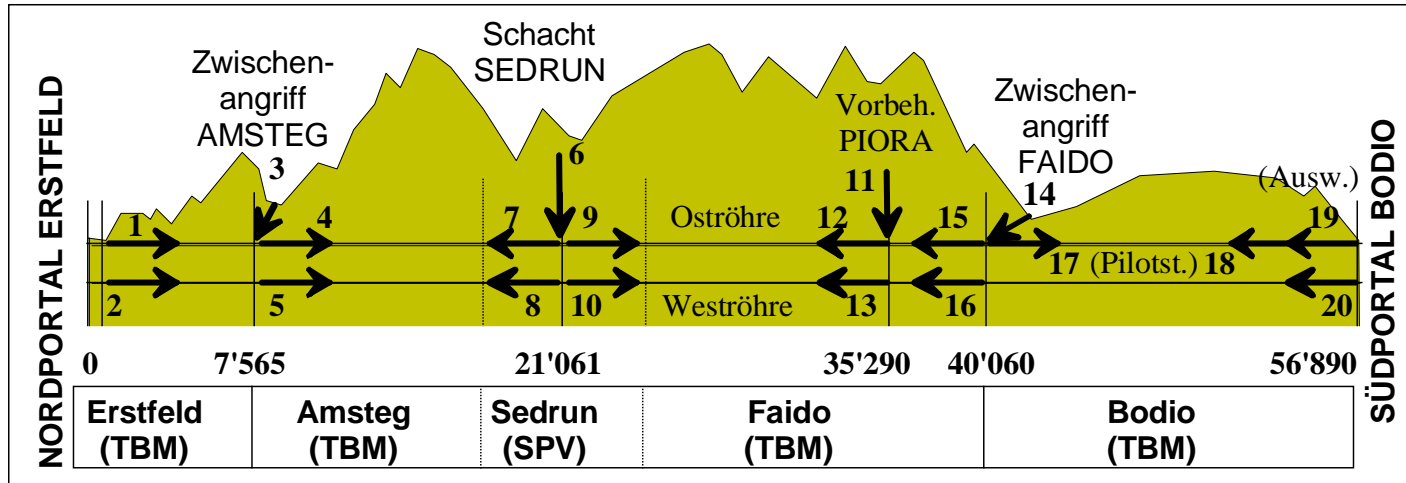
Autres données liées à la méthode de construction

EPFL - LMR

- Courbes d'apprentissage
- Délais probabilistes pour installations, montage TBM, etc.
- Différentiation des vitesses et coûts en attaque montante et descendante
- Production/consommation de ressources (resource management)
- Différenciation entre l'incertitude sur les performances moyennes et l'aléa journalier autour de ces moyennes
- Chaque cycle peut être explicitement décomposé en activités élémentaires, chacune ayant ses variables (t, c, r, ...)

Le réseau des tunnels peut être très complexe (e.g. GBT & LBT)

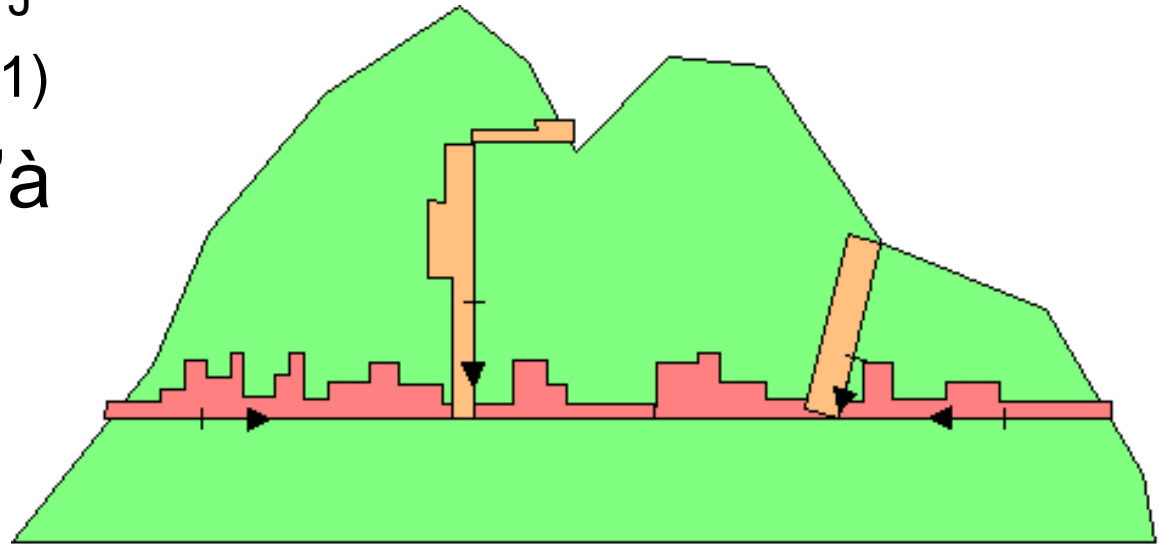
EPFL - LMR



Fonctionnement du module CONSTRUCTION

EPFL - LMR

- Le réseau des tunnels est simulé comme un tout
- Au jour J: la localisation de chaque tunnel donne:
 - Sa classe de construction
 - Sa distribution coût/m & vitesse
 - > avance & coût de jour J
 - Sa position au jour (J + 1)
- Et ainsi de suite jusqu'à la fin de toutes les excavations



Résultat du module CONSTRUCTION

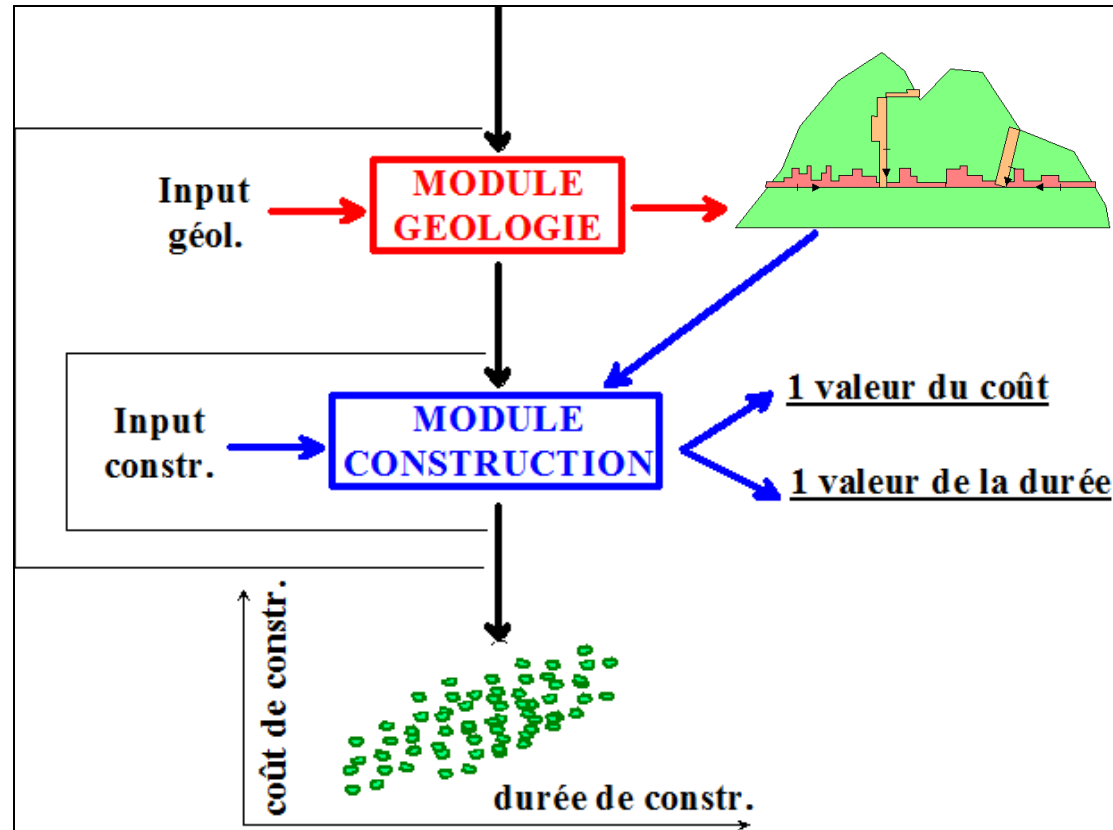
EPFL - LMR

Une simulation de la construction donne:

- Une valeur du temps et du coût de construction
- Un “diagramme chemin de fer” (programme des travaux)
- Des valeurs détaillées pour chaque attaque
- Des courbes de production et consommation de ressources à chaque dépôt

ADCT: couplage des modules GEOLOGIE et CONSTRUCTION

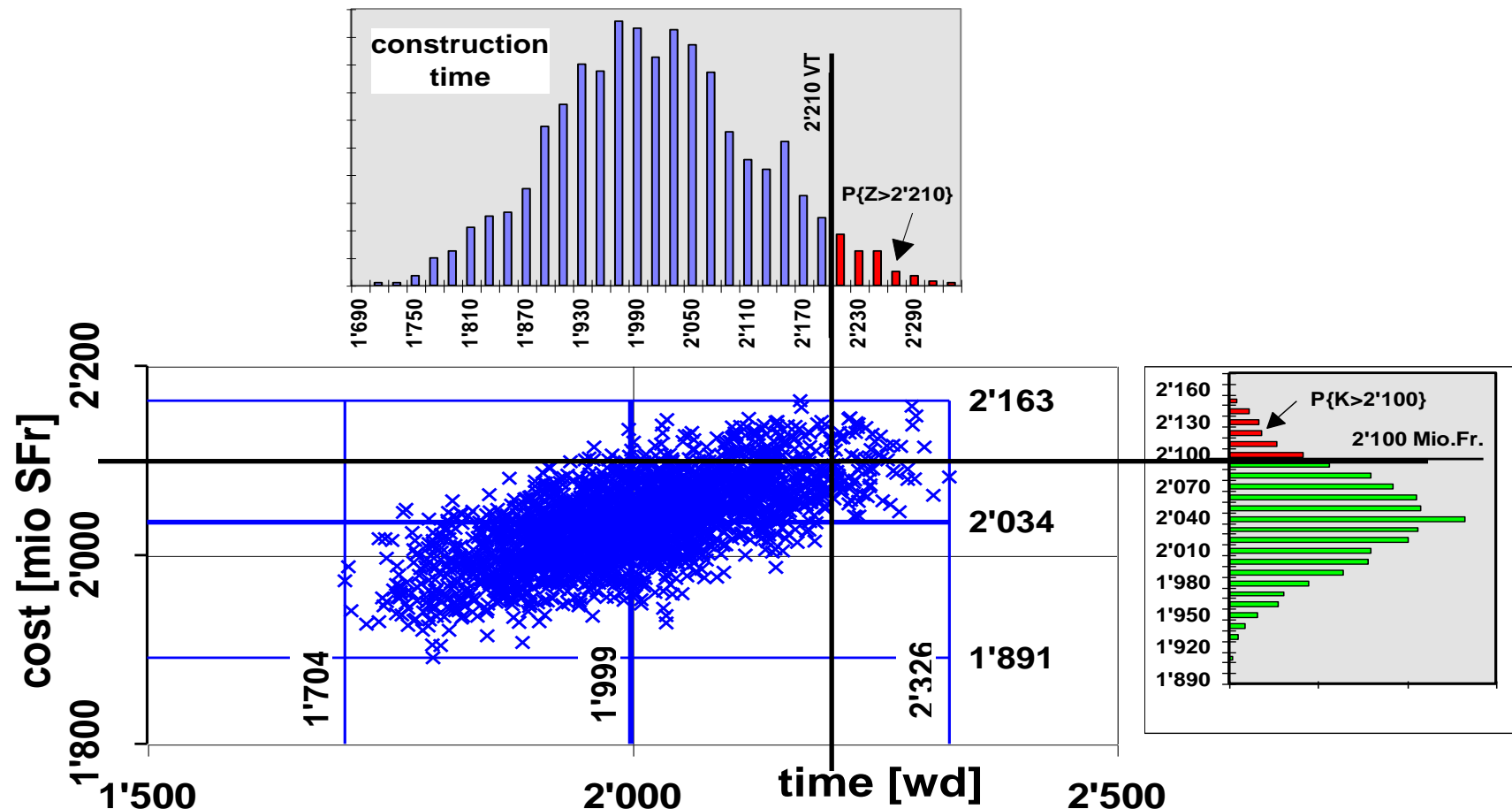
EPFL - LMR



Résultat typique de N simulations de la géologie couplées avec M simulations de la construction

EPFL - LMR

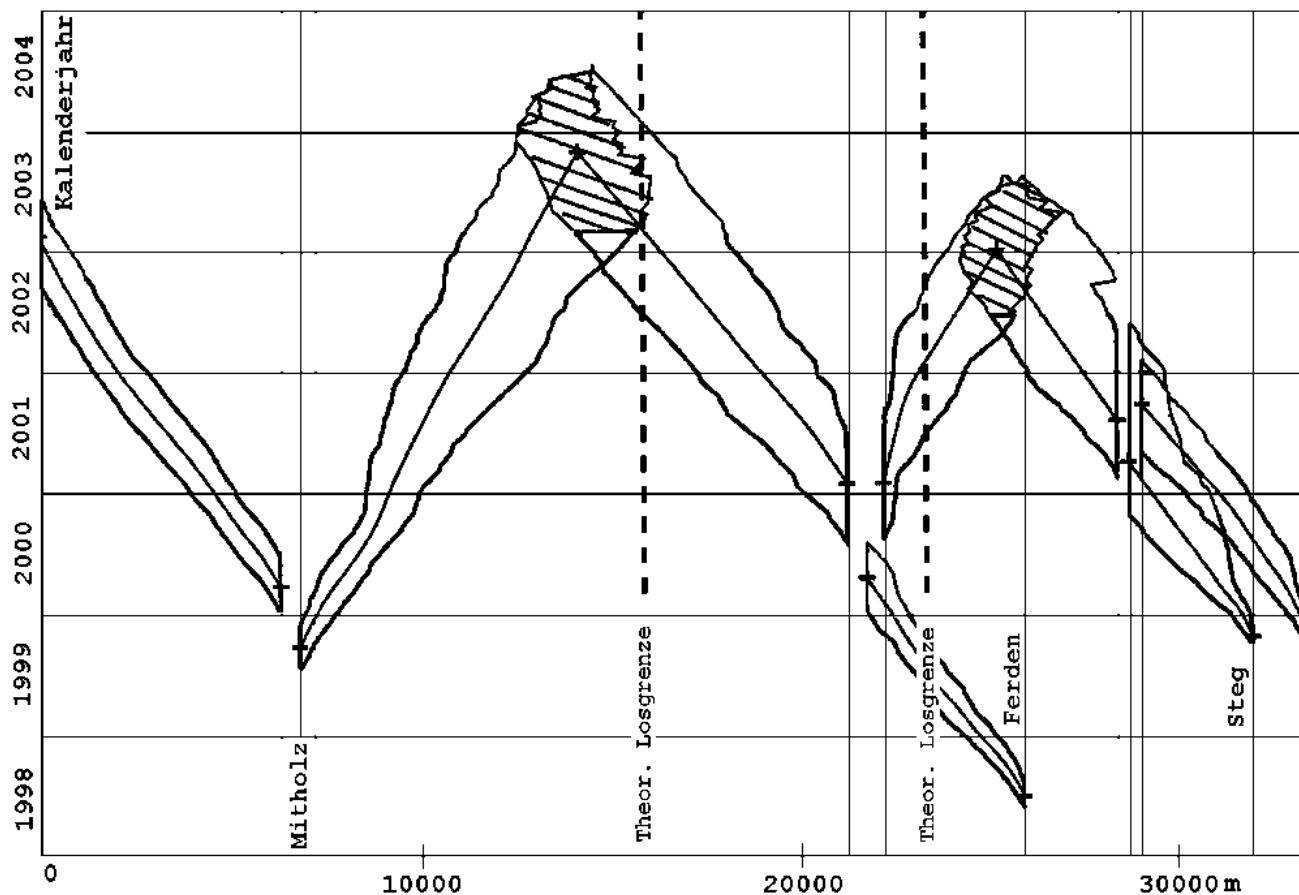
Nuage de points temps-coût → analyses de risque, comparaison de variantes



Résultat typique de N simulations de la géologie couplées avec M simulations de la construction

EPFL - LMR

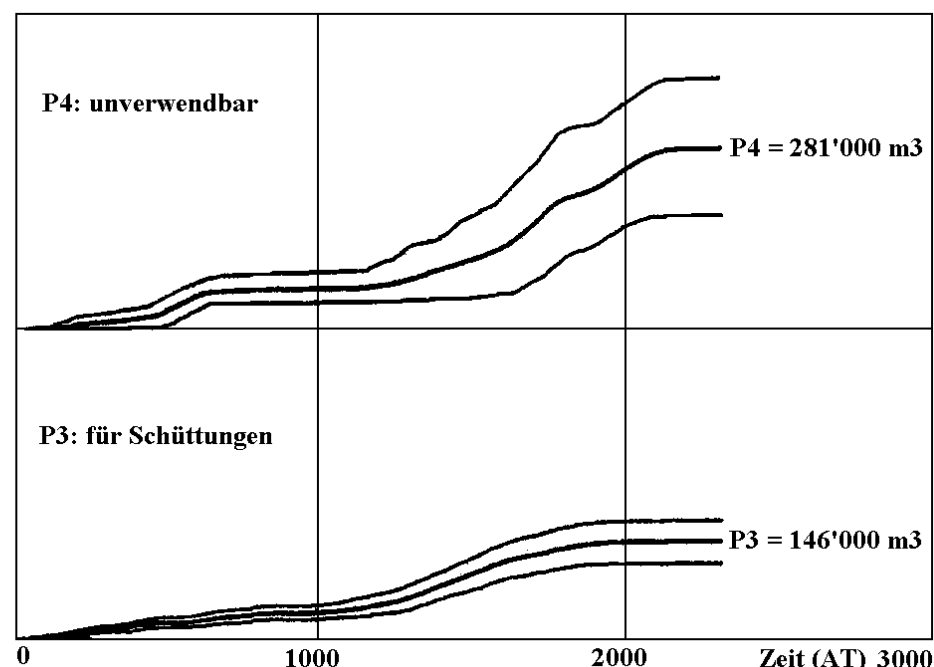
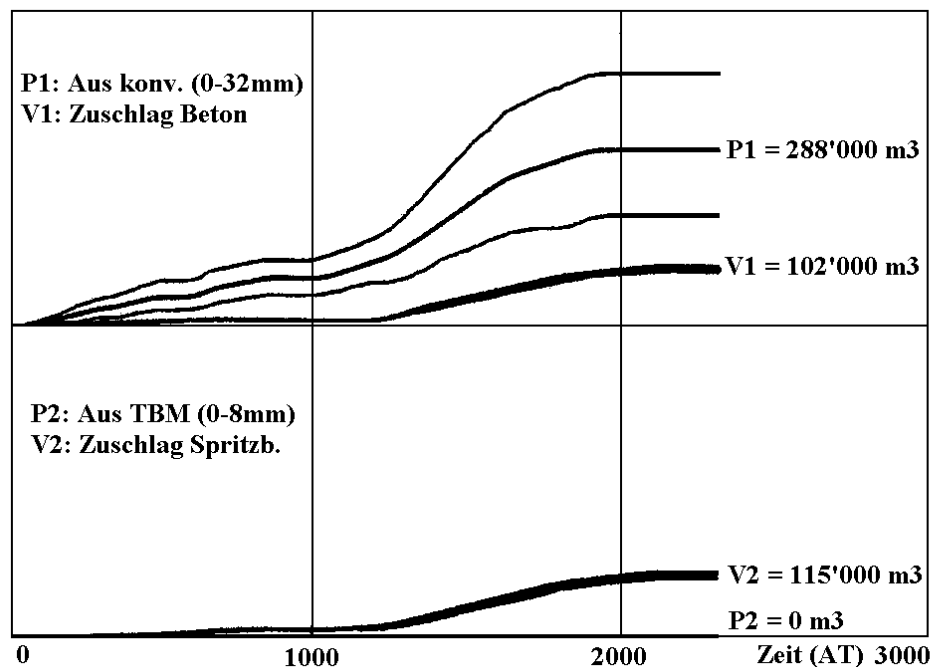
Fourchette des “diagrammes chemin de fer”



Résultat typique de N simulations de la géologie couplées avec M simulations de la construction

EPFL - LMR

Production et consommation de matériaux → dimensionnement dépôts



Conclusion

EPFL - LMR

- Les ADCT permettent (forcent à) la prise en compte de toutes les incertitudes
- Elles sont capables de simuler des réseaux de tunnels complexes dans des géologies compliquées
- Elles peuvent être utilisées par tous les participants d'un projet de tunnel : maître d'ouvrage, ingénieurs, entreprises
- Elles peuvent être utilisées à différentes étapes: phase préliminaire, projet et construction
- En quantifiant les incertitudes, elles permettent la comparaison de variantes et l'analyse de risques

Conclusion

EPFL - LMR

- Mais attention: la qualité des résultats dépend de la qualité des données !
- Or on a toujours tendance à sous-estimer les incertitudes. Surtout si on est en charge du projet!
- Et, grande question: comment prévoir l'imprévu ??

Il y a encore matière à réflexion...

Merci de votre attention !

Si vous avez des questions, remarques ou autres:

jean-paul.dudt@epfl.ch

<http://lmr.epfl.ch>