

PLATYPUS

CFMS – 8 juin 2012 – Pierre Vezole

Quel honneur de se voir confier la conférence
Coulomb ! Mais quels sujets aborder ?

Anecdotes, réflexions, thèmes à approfondir ...
... à partir de mon vécu

Pourquoi le titre PLATYPUS ?



Album du Père Castor :

« le jamais-content »

qui décrit comment un poussin particulièrement râleur devient un poulet qui voudrait bien disposer des facultés de tous les animaux qu'il croise ... rencontre enfin la NATURE, lui réclame successivement :

- des palmes,
- un bec de canard,
- une toison de loutre,
- deux pattes palmées supplémentaires,
- une queue de castor,
- des griffes pour pouvoir creuser un terrier ...

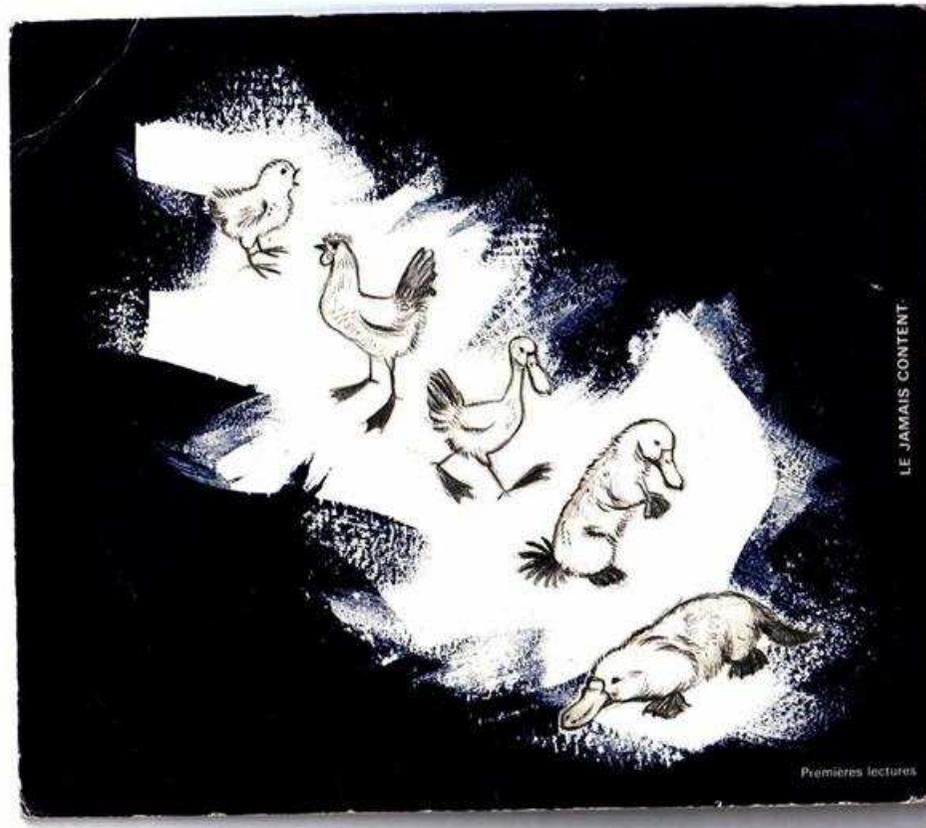
Nature lui dit que ça suffit comme ça !

Comme il s'ennuie beaucoup, Nature se laisse fléchir et crée pour lui une compagne *qui pondra des œufs et nourrira ses petits de son lait ...*

le jamais-content



ALBUMS DU PÈRE CASTOR • F. L. IMALIRION



LE JAMAIS CONTENT

Premières lectures

Gamin, chez les Eclaireurs de France, « Okapi râleur », premier point commun avec le poulet.

Quand pour répondre à un appel d'offres à l'étranger il a fallu fournir une copie de mon diplôme, mon épouse a pratiqué la spéléo dans les tiroirs, et a exhumé en même temps le relevé de mes notes de dernière année :

RdM 20 ... Mécanique des Sols 0.



J'ai sans aucun doute suivi un parcours analogue à celui de l'ornithorynque pour avoir l'honneur 20 ans plus tard d'enseigner la géotechnique à l'ENPC dans l'équipe de Roger FRANK ...

Mais avant tout :

J'ai bénéficié d'une chance extraordinaire dans mes activités professionnelles (par exemple cas des poutres préfabriquées du stade Geoffroy Guichard).

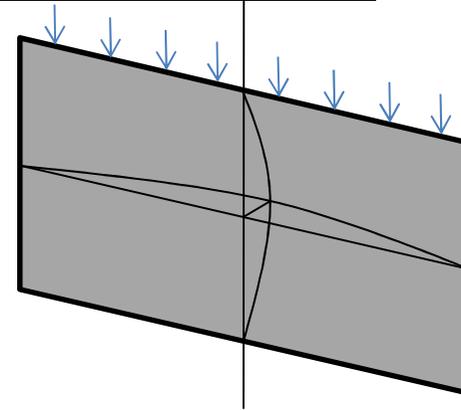
J'ai eu la chance d'avoir eu deux patrons d'exception :

- André COIN - BE (BA bâtiments) 74 à 76
- Marcel AUPEIX - Forézienne 80 à 92

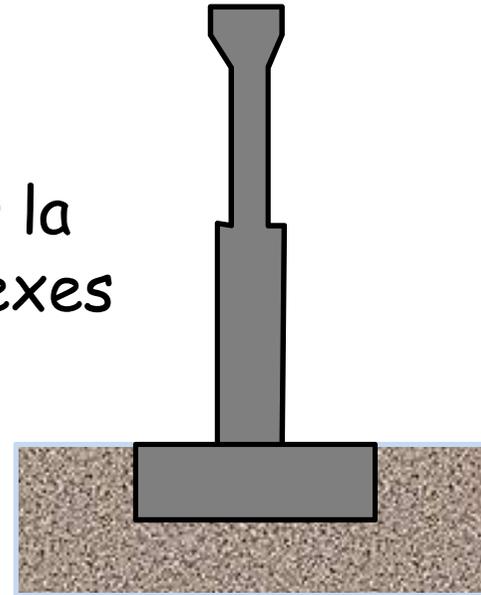
L'un Ingénieur hors pair, l'autre Compagnon Tailleur de Pierres. L'un comme l'autre avaient le souci de voir leurs collaborateurs progresser → variété des tâches, temps pour revenir sur ce qu'on a fait, formation, etc.

1^{ère} spécialité : EFFETS DU SECOND ORDRE

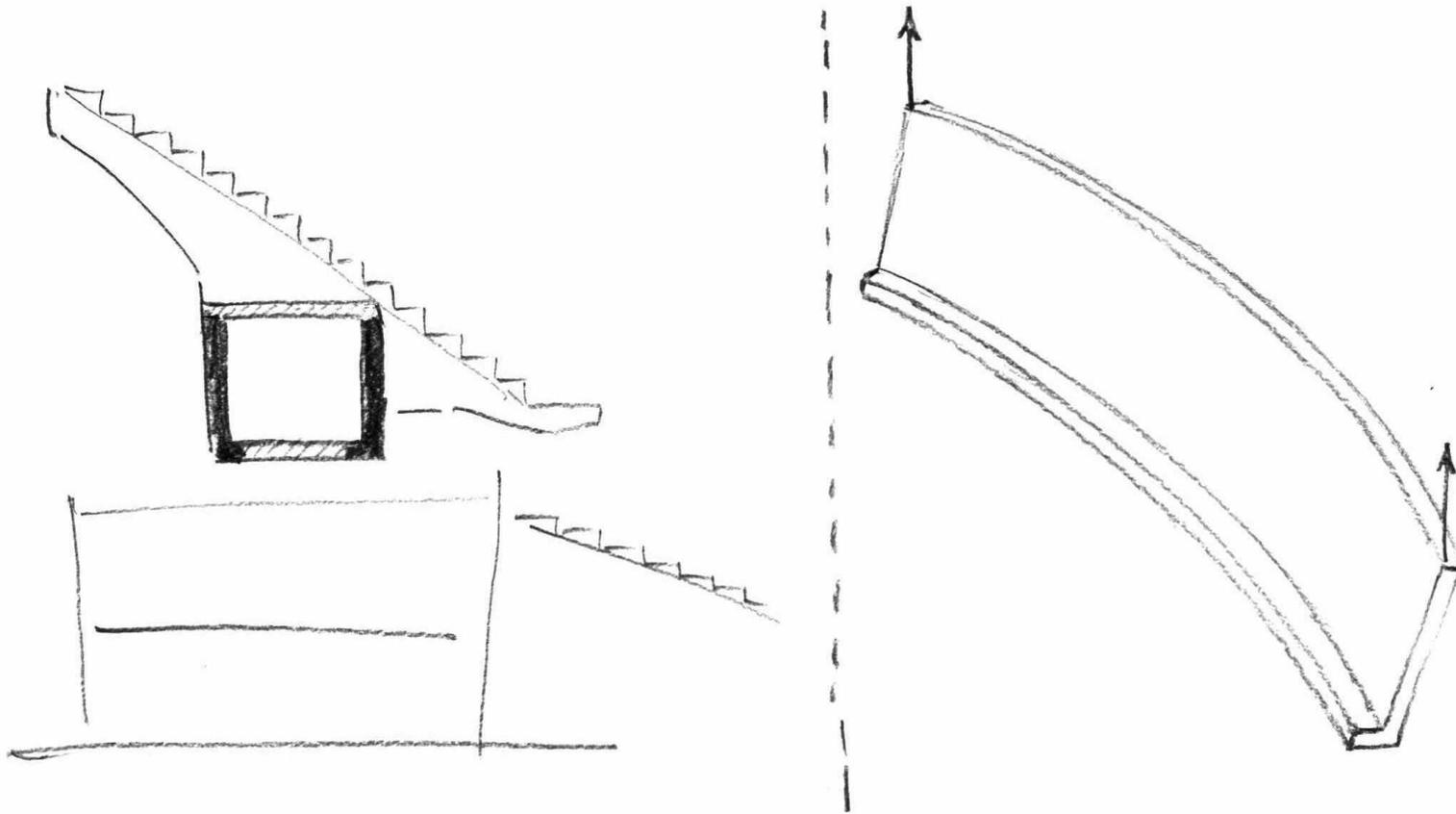
TFE : stabilité de forme de voiles porteurs en béton armé raidis latéralement.



Ing. BA : méthode manuelle pour la justification de colonnes complexes (contrôleur Alain CAPRA)



DT Forézienne d'Entreprises : poutres préfabriquées $L=36\text{m}$, poids 135t , vérifications attentives $\rightarrow F_s=10$ p/r déversement pendant la phase levage.



Constat de comportement au levage angoissant ...
Explication : formule relative au déversement pour appuis simples en flexion comme en torsion ; au levage on est sur appui élastique en torsion ; ça change tout ; le coefficient de sécurité réel était 1,2 ; c'est très peu !
Ce fut l'objet de ma première publication ...

C'est en me rappelant ce que j'avais appris dans le domaine des structures que j'ai proposé de revoir le mode usuel de justification de la stabilité de forme des micropieux, notamment en introduisant la notion de défaut géométrique initial. Ce fut d'abord l'objet d'un article, et plus tard la méthode de calcul (qui se pratique manuellement) a été affinée à l'occasion de l'établissement des recommandations FOREVER.

J'aurai bien d'autres occasions de constater le bénéfice d'apports de transferts d'une discipline vers une autre ...

Mais les effets du second ordre ne sont pas nécessairement défavorables !

Dallage : essai de chargement localisé monotone

Buse béton armé 135A sous remblai $h = 17\text{m}$

Parements de soutènements par clouage,
berlinoise, tranchée blindée, etc.

La méthode des Etats Limites, telle qu'elle est aujourd'hui formalisée dans les Eurocodes, ignore l'existence d'effets du second ordre favorables. On est ainsi conduit à rédiger des normes où des ELS sont déguisés en ELU, c'est pour le moins regrettable.

Ces effets du second ordre favorables sauvent une proportion non négligeable d'ouvrages (voir bassins et coefficients de réaction).

Un coup de griffe du PLATYPUS :

Les cadors des structures affichent des certitudes, pendant que ceux de la géotechnique sont conscients de se tromper souvent. Pour ce qui est des cas favorables d'effets du second ordre, je n'ai jamais pu me faire entendre côté EC0 et 1 ... alors que côté EC7, oui.

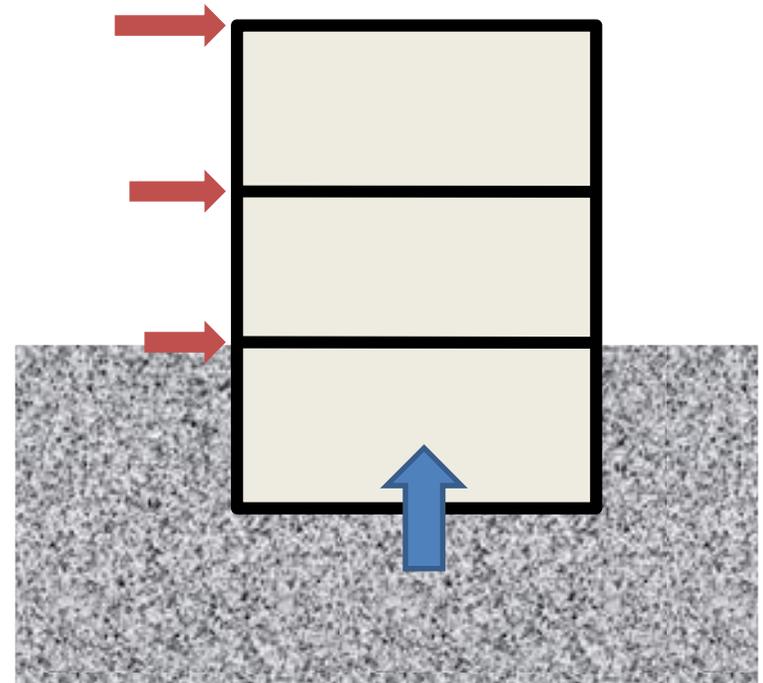
Et pourtant, on le verra tout à l'heure, pour la plupart ils ignorent que la résistance du béton dépend de l'humidité atmosphérique...

Conception parasismique des ouvrages.

1975 : premières questions « ennuyeuses » posées par le « jamais-content ».

Radier avec sous-pression : est il justifié de prendre en compte simultanément, pour vérifier l'équilibre au renversement (statique équivalent), les forces sismiques et la sous-pression ?

En effet, on voit mal comment le débit peut être suffisant, même dans des graviers, pour que la pression « accompagne » le renversement.



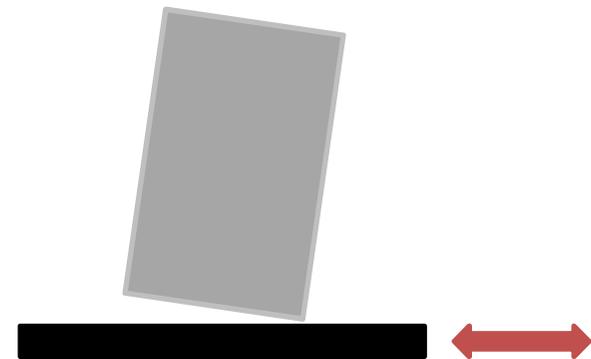
Projets de recherche CASSBA et CAMUS

Maquettes éch. 1/3 sur table vibrante CEA

Recherches expérimentales typiquement structures, pour des bâtiments à murs.

J'ai eu la chance d'élucider un paradoxe : la réaction d'appui globale a des éléments de réduction H , M et V . Quand on quitte le domaine élastique (culbuto sur la base ou par fissuration), l'effort normal varie. Mais on constate, aussi bien sur les essais que sur les modèles numériques, que l'effort normal atteint son maximum $V > G$ quand le moment est maximal.

$V > G$ devrait se traduire par une accélération vers le haut et non vers le bas ... ☹ ☹ ☹



C'est un modèle simpliste qui a permis de comprendre, celui d'une « pierre tombale » indéformable reposant sur deux ressorts verticaux décollables, excitée par un ressort horizontal.

Analyse temporelle pas à pas. Accélérogramme selon x , très simple avec coefficient multiplicateur. Représentation graphique point par point du couple $\{V, M\}$.

Faible niveau \rightarrow comportement élastique, V constant.

Niveau suffisant \rightarrow décollements, d'où excitation de vibrations verticales ; V varie selon une fréquence nettement plus grande que celle des oscillations autour de la verticale ...

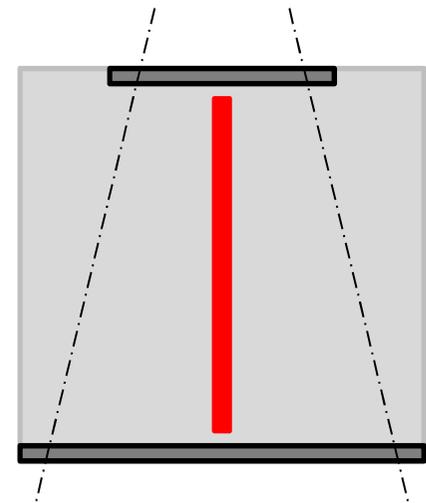
Autre constat instructif : les efforts maximaux évoluent de manière très irrégulière avec le coefficient multiplicateur de l'accélérogramme.

Nota : culbuto \rightarrow période fonction de la fréquence ...

D'une manière générale, les maquettes ont subi sans effondrement des séismes notablement plus énergiques que ceux pour lesquelles elles avaient été dimensionnées selon les démarches réglementaires.

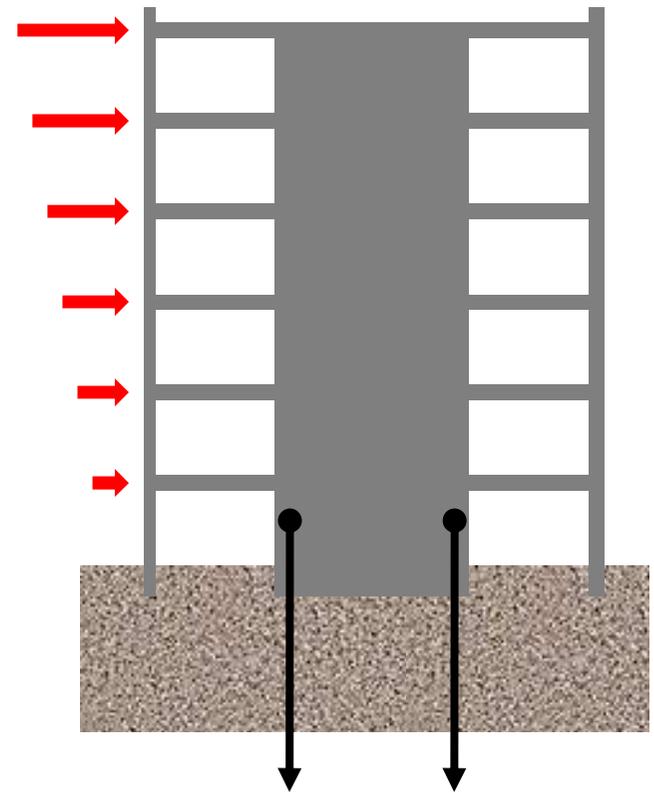
Voir clips, 0,8g puis 1,12g ; à 0,8g, ELU outrepassé dans la hauteur du 1^{er} étage ; à 1,12g (+40%), c'est à la base que se localisent les élongations ...

Mais aussi cas d'une maquette dédiée à l'étude des efforts de torsion, sollicitée en x ... avec réponse sous sollicitation « forte » en z, mais aussi en y (autant qu'en x) ...



On peut rejoindre ici la conférence (jubilaire de mon point de vue) prononcée par le Professeur GAZETTAS.

Divers bâtiments ont été équipés de tirants verticaux jugés « indispensables » pour justifier l'équilibre au renversement sous séisme (statique équivalent, moment des forces d'inertie supérieur au moment stabilisateur de la pesanteur) ; si on raisonne en énergie cinétique au lieu de forces, le plus souvent, on reste fort loin de la perte d'équilibre, et les décollements sont en fait très avantageux car ils plafonnent les efforts aussi bien dans la structure que dans les équipements et leurs fixations.



Le Platypus pose une patte palmée griffue dans le monde de la géotechnique

Ça se passe à Agadir en 78. Après 1an de conduite de travaux, fonction de référent technique.

Question posée par un patron de chantier : « *j'ai 2 murs de soutènement à réaliser ; même sol, même remblai, sur la plage ; même dénivellation ; l'un est vertical, l'autre basculé à 30° sur la verticale ; le BE m'a prévu les mêmes sections d'armatures, alors qu'en penchant encore un peu plus, c'est le sable qui tiendrait le mur ...* »

Comment répondre quand on ne connaît que la formule $\text{tg}^2(\pi/4-\varphi/2)$?

Direction la librairie technique de Rabat, acquisition du tome 2 du COSTET & SANGLERAT ; réponse = coin de Coulomb. Et si le tome 1 facilitait la compréhension du 2 ?

Retour en France. 79-80, CT en TP. Pont avec SNCF sur la A86. J'ai initié quelques aménagements de l'ouvrage, portant notamment sur une culée ; un mur poids classique posant des problèmes délicats de stabilité de l'excavation a été remplacé par une paroi moulée autostable PALSIF® (BACHY), hauteur libre 10m.

C'est à cette occasion que j'ai eu le plaisir de faire la connaissance de Léon MASTIKIAN, dont j'ai croisé la route d'autres fois avec plaisir ...

Mais avec ça, j'étais devenu non nul en géotechnique ; comme au royaume des aveugles, les borgnes sont rois, je me suis retrouvé dans la situation de Roger GICQUEL, sur les pompes de qui tous les avions se cassaient la figure d'après COLLUCHE ...

FOREZIENNE D'ENTREPRISE 80-94

Activités d'une part de Génie Civil et d'autre part de terrassements. Quelques problèmes de barrages et de glissements m'ont conduit à côtoyer Guy SANGLERAT qui m'a appris beaucoup de choses. Mais comment en est on venu à réaliser des travaux spéciaux géotechniques ?

Soutènement « Croix de l'Orme » :

- calculs de stabilité selon cercles, Fellenius, à la main ; pour le moins laborieux ... et raisonnement pas très convaincant pour le « jamais content » ;
- nécessité de bloquer des mouvements ; urgent ! Nous réalisons des forages pour drains subhorizontaux (gag de la consigne de constat de débit), et pour ancrages passifs (scellés par Clavex® ...)

Annales de l'ITBTP ; article de Jean SALENÇON traitant des sols anisotropes

On y trouve un bref paragraphe qui indique que pour un sol isotrope, la géométrie d'une directrice de surface de rupture cylindrique est un arc de spirale logarithmique.

Je viens de m'offrir un micro-ordinateur LASER, doté d'une mémoire vive de 4k, une mémoire de masse sous forme d'un lecteur de cassettes audio, la télé servant de moniteur ... et que j'ai dopé au moyen d'une extension de mémoire de 16k ... Programmation en BASIC.

Mise en œuvre de la méthode cinématique pour abaque stabilité talus (référence à TAYLOR-BIARREZ) ; écarts constatés dans une fourchette de $\pm 5\%$. Cette solution, mécaniquement satisfaisante, me séduit ...

Pour un projet de soutènement longeant une voie ferrée, proposition d'une variante « Da Costa Nunes », telle que décrite dans le COSTET & SANGLERAT.

Solution retenue.

Justifications de stabilité par méthode cinématique.

Pas envie de sous-traiter une fois encore des prestations qui semblent faisables (nous avions des foreuses). Or, la qualification professionnelle auprès de SNCF était commune pour le béton précontraint et pour les tirants précontraints ... (le vocabulaire n'est pas neutre)

C'est parti ! Avec cette référence, qualification départementale provisoire, suivie d'autres références, etc.

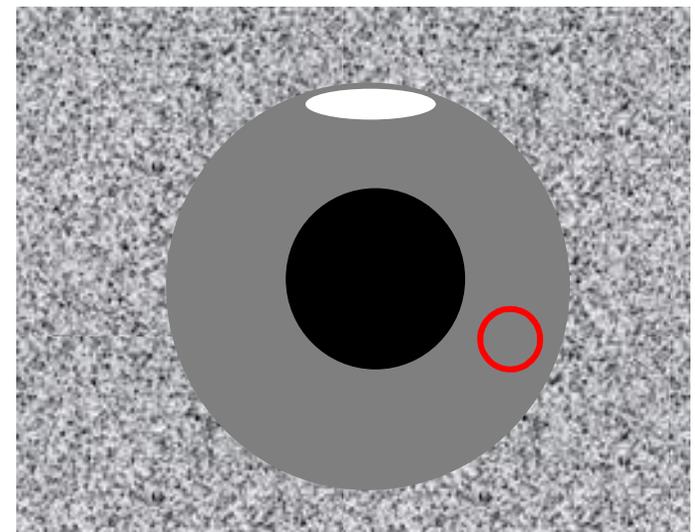
Le tout sans la moindre connaissance initiale du domaine par les collaborateurs venant du GC ou des terrassements.

Nous pensions faire comme les copains ..., et appliquer les mêmes procédures avec les différentes équipes ...

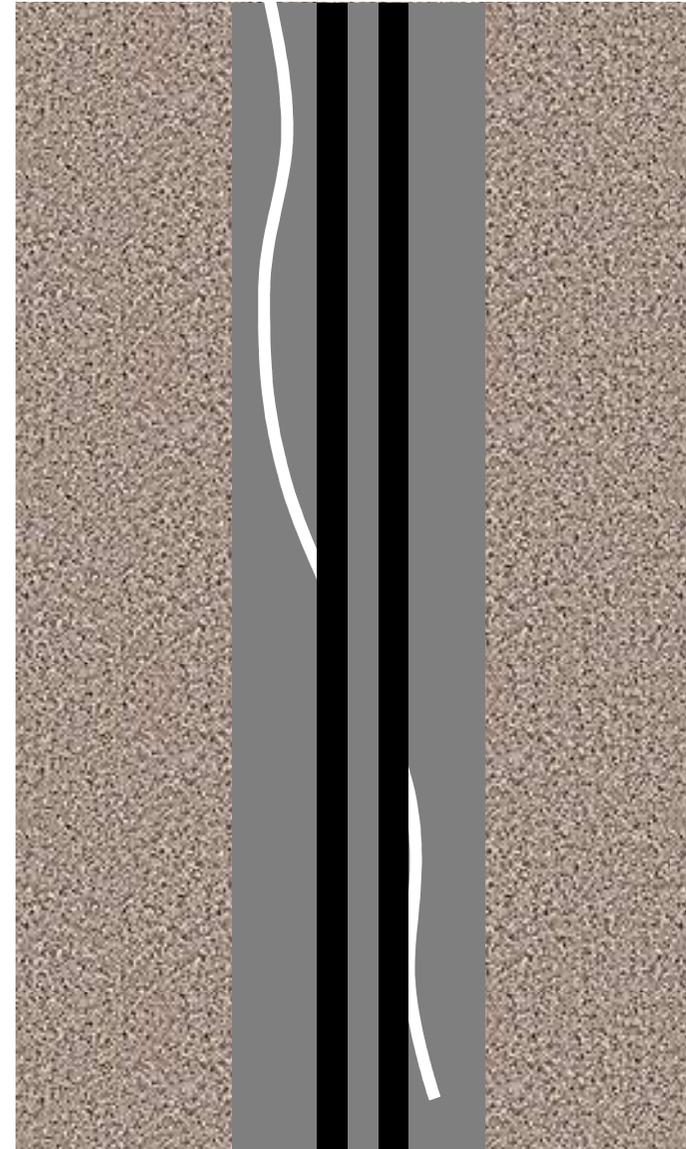
Découverte un jour des écarts de performances des scellements entre ce que faisait Jacques FREYCENON et ce qu'obtenaient les autres chefs ; rapport au moins égal à 2 !

En pratique, la différence était que Jacques rajoutait systématiquement une « giclée » complémentaire de coulis 15 à 20' après l'injection du forage, par le même tube atteignant le fond du forage. Mais pourquoi ce détail avait-il autant de conséquences sur les performances ?

C'est en déposant un clou d'essai à Montpellier qu'on a compris :



Mais pour les micropieux, le vide est bien plus petit, et, en forme de tire-bouchon, n'est pas situé sur l'interface sol/coulis ... et l'écart persiste !



Toujours dans le domaine des technologies, micropieux de Brides-les Bains.

Charge unitaire service 2MN ; ravin avec ruisseau très pentu ; zone de quartzites broyées ; le marché prévoyait des scellements IRS.

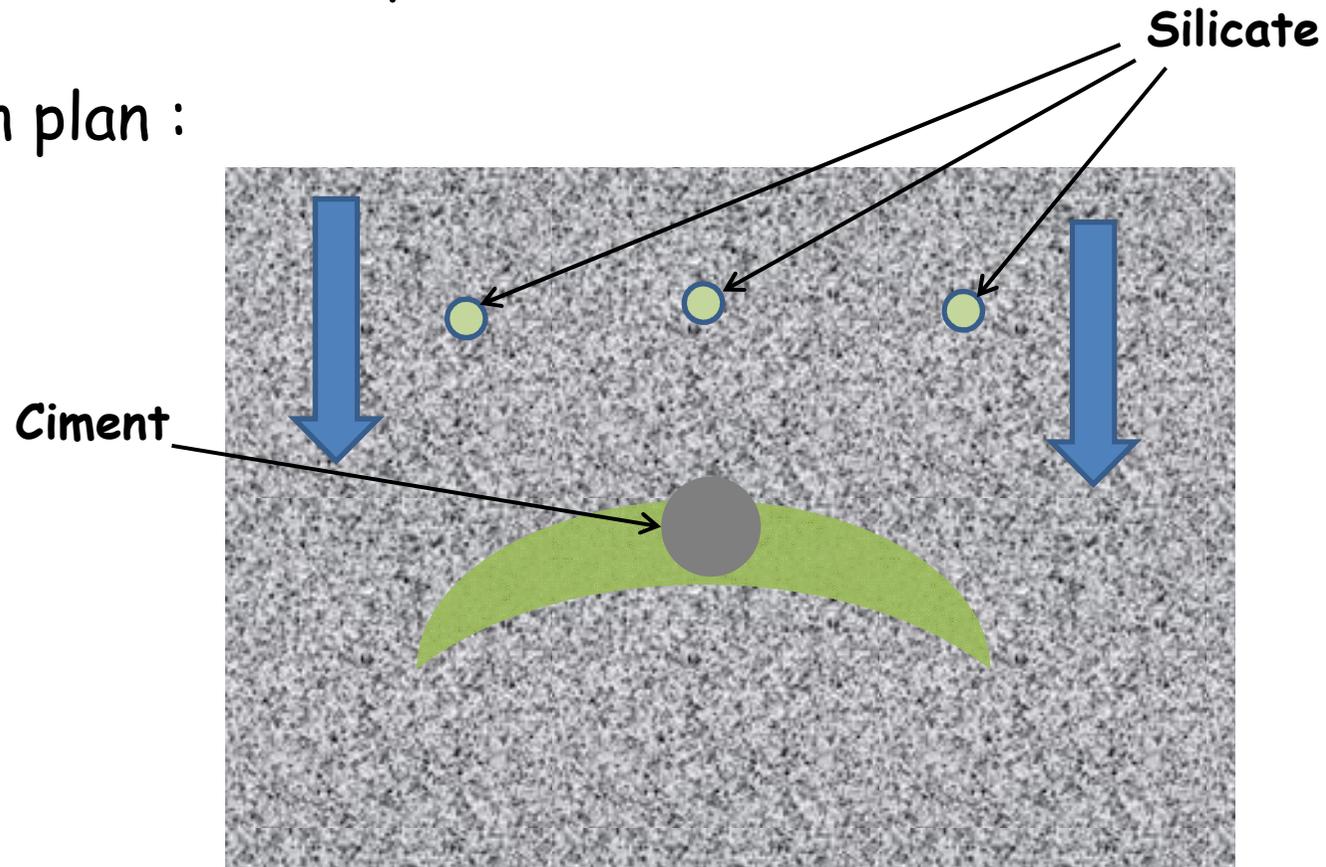
Claquages infaisables ! Proposition forages, injection avec obturateur simple en tête, reprise forage, scellement gravitaire à compensation essorage et décantation. Jacques MARCHAL appuie notre proposition.

Mais la pression d'injection « ne monte pas » ; le lendemain, le forage est vide sauf sur 1,5m en tête ... On recommence, et on obtient le même résultat. Il est vrai que la pente de la nappe est de l'ordre de 10%.

Comment faire ? Dans la littérature (Cambefort notamment), rien pour un tel contexte.

Solution évidente après une nuit blanche :

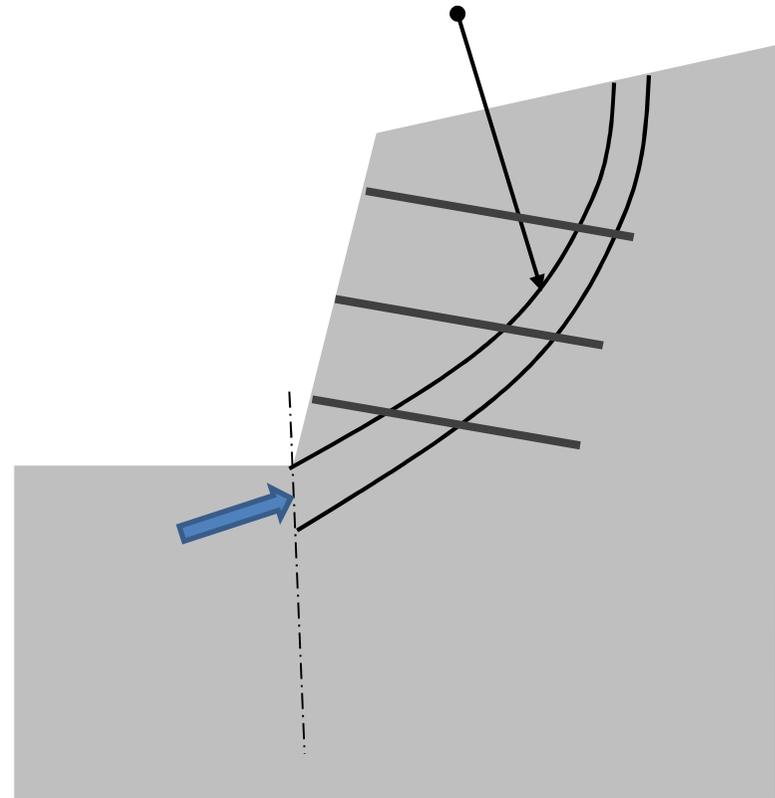
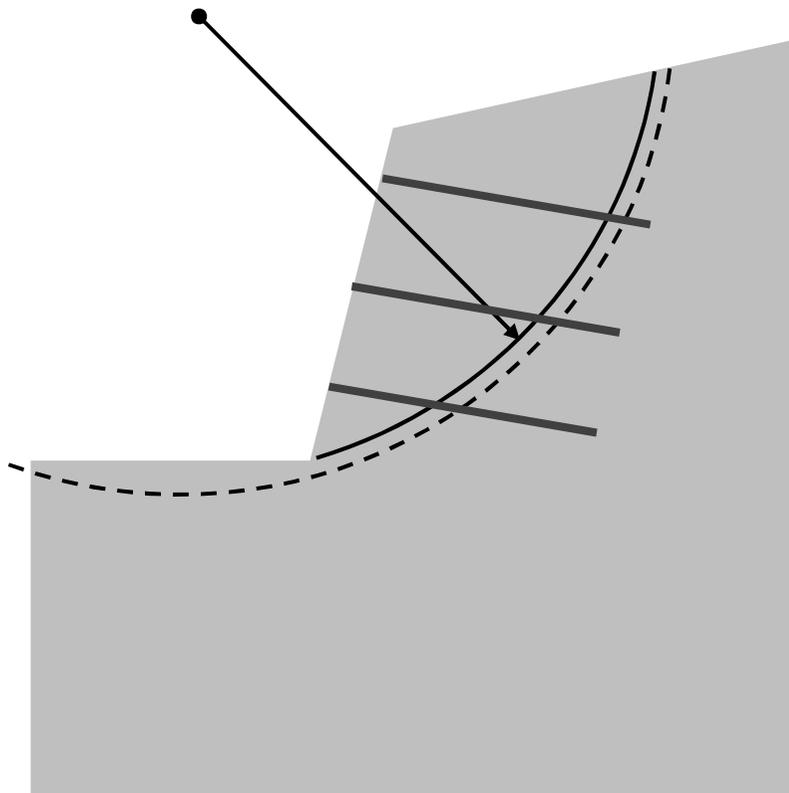
Vue en plan :



La FOREZIENNE rejoint le PN CLOUTERRE.

Le PN fonctionnait depuis au moins 2 ans, quand François SCHLOSSER a convaincu Christian BOUVIER, PDG de BORIE-SAE, que sa filiale Forézienne devait être membre du PN ... Première réunion à laquelle je me rends, rue de l'égalité prolongée, au Bourget. Me voilà dans le rôle du chien dans un jeu de quilles ...

- désaccord sur les mécanismes à étudier pour justifier la stabilité ;
- désaccord sur les effets que peuvent avoir les drains subhorizontaux sur les pressions interstitielles ;
- désaccord sur les justifications de résistance du parement ;
- etc.

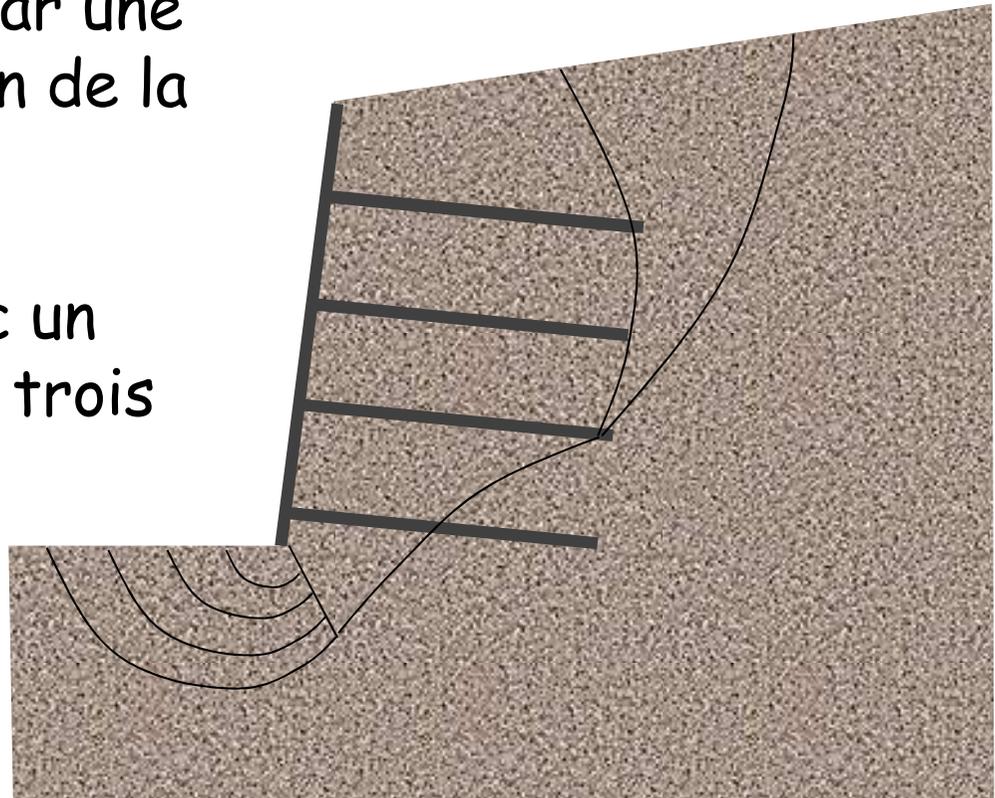


Les ruptures « de pied » ne sont généralement pas les plus défavorables.

Plus tard, l'écran fictif vertical de butée (table CKA) sera remplacé par une formulation établie au moyen de la méthode cinématique.

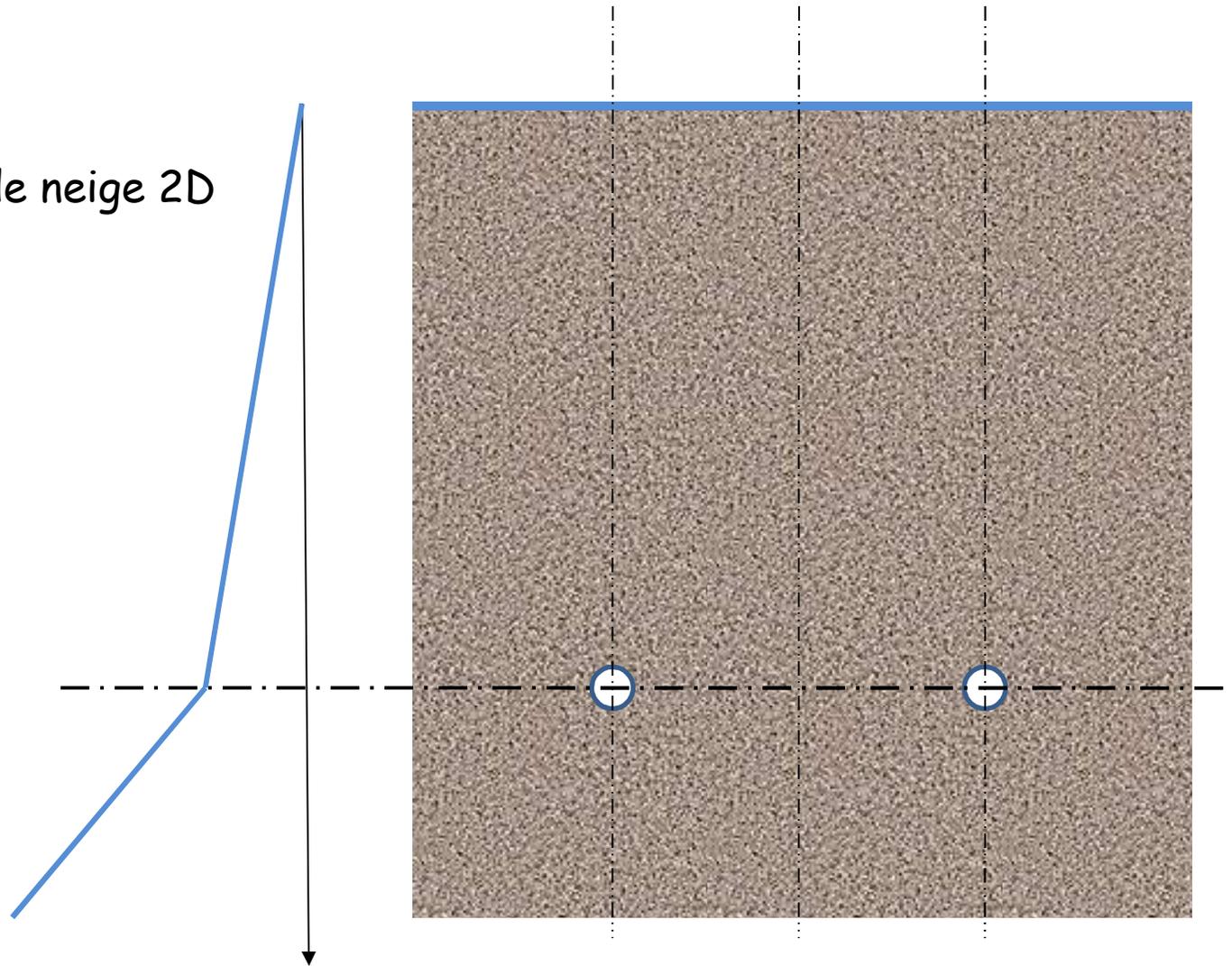
Plus tard encore, étude avec un stagiaire d'un mécanisme de trois blocs dont la géométrie correspond à 7 paramètres soit un « algorithme de descente » difficile à fiabiliser même en sol homogène et sans eau.

Un constat de coïncidence avec les résultats obtenus au moyen du code PLAXIS® a été une grande satisfaction ... et un vrai soulagement pour la pratique ultérieure ... et une motivation en vue d'une ouverture des normes à l'utilisation de la MEF ...



Cas des drains subhorizontaux ? résultats de calculs d'écoulement par MDF (2D et 3D)

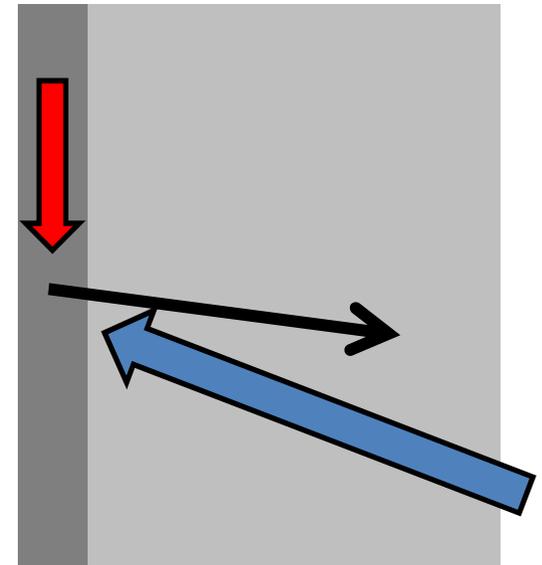
Schéma fonte de neige 2D



Constats relatifs aux parements :

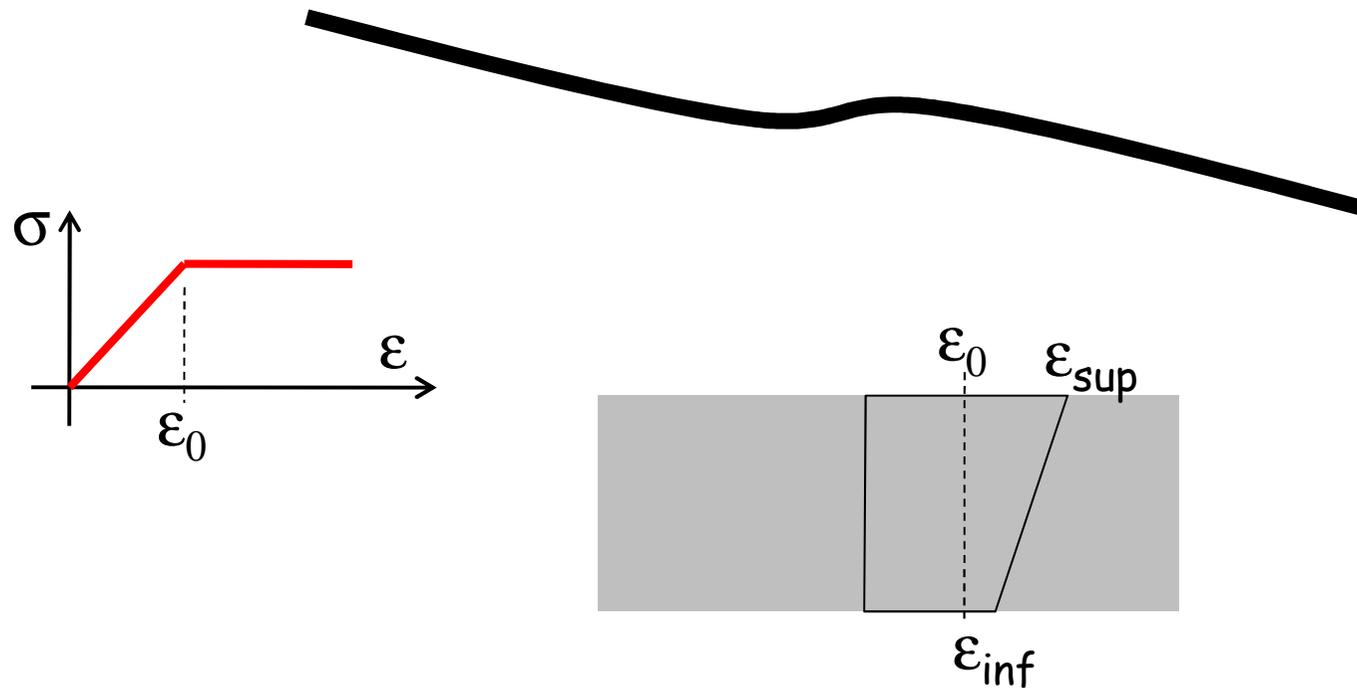
- le plus souvent définis par le géotechnicien, dont les connaissances du BA sont souvent « light » ; piste de bob : « sur 6m, épaisseur 8cm, avec 1 treillis soudé, sur la suite on passera à 14cm avec 2 treillis ... » ;
- des épais et des minces, plus ou moins ferraillés (au pif) avec des déboires dépendant surtout de l'inclinaison relative des clous ;
- un parement contre des limons explosé par le gel ...

Là encore, la méthode cinématique permet d'avancer et de déterminer une distribution de la pression du sol contre l'écran ... tandis qu'un raisonnement simple selon lequel on ne devrait solliciter les clous qu'en traction permet une analyse aisée des conditions de stabilité du parement.



Un point important pour analyser les constats :

Une barre (clou) peut avoir adopté une géométrie de « manivelle » sans avoir subi d'efforts de flexion et cisaillement significatifs.



Réflexions autour des conditions de stabilité lors des phases de construction (voir additif CLOUTERRE) ...

Constat que l'ordre de grandeur de la hauteur limite d'une passe d'excavation est comparable au cas d'un talus ???
Ça signifie tout simplement que σ_v est bien plus petit que $\gamma.z$

Il en est de même dans le cas d'une paroi berlinoise ...

Les modèles MEF fournissent d'ailleurs une description des contraintes principales avec arcs de report du poids à quelque distance du parement ; la notion de coefficient de poussée active n'est pas contestable, mais la référence à $\sigma_v = \gamma.z$ est battue en brèche (il est important de préciser aux étudiants qu'on utilise le plus souvent une hypothèse forte mais pas nécessairement réaliste, même si elle est incontournable pour les codes aux coefficients de réaction).

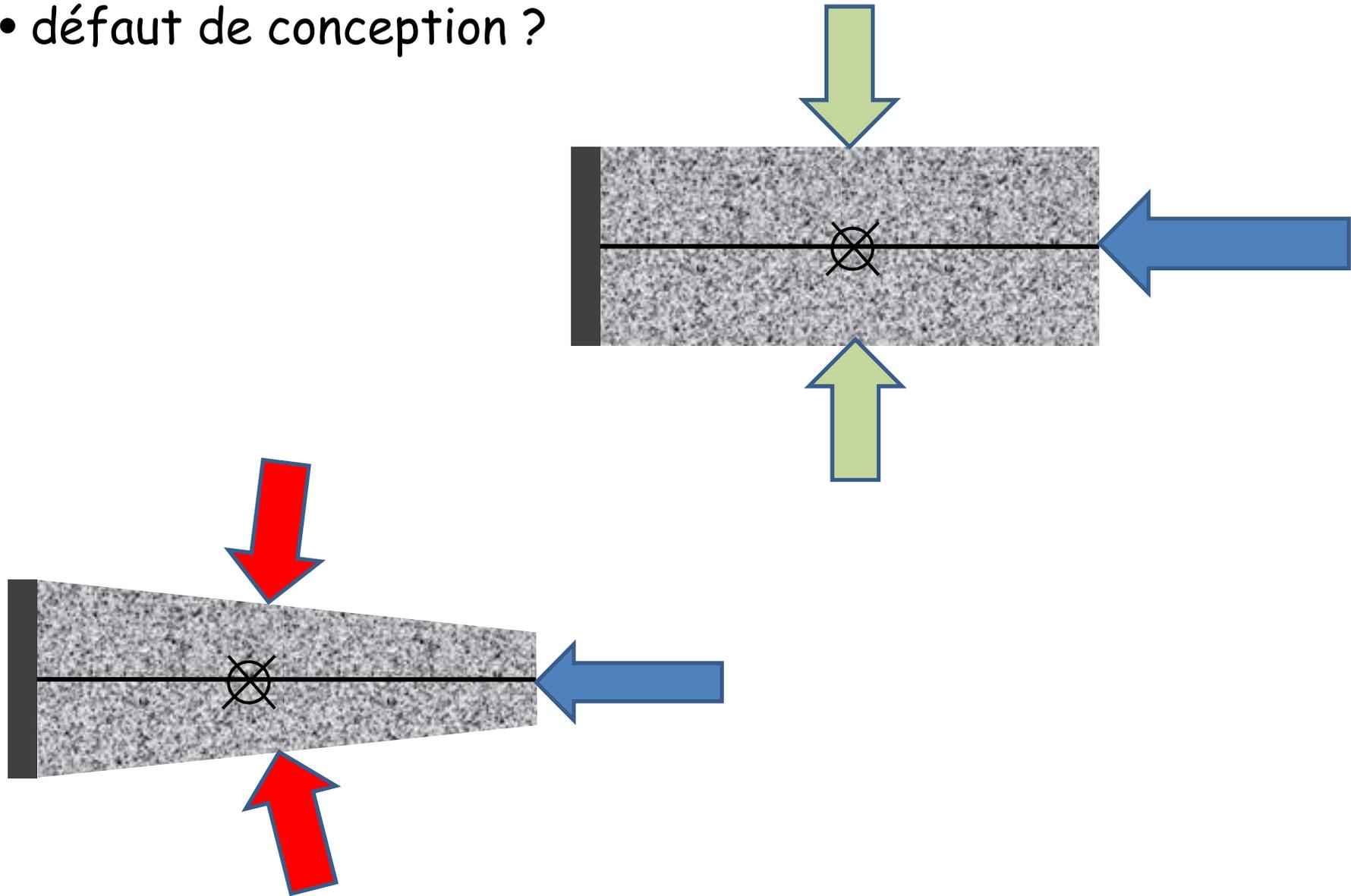
Soutènements en sols renforcés, parements courbes

Suite à déboire déploré sur A43 :



Explications avancées :

- défaut de mise en œuvre ?
- défaut de conception ?



Etude manuelle en contraintes, pas a priori rigoureuse :
pour un ouvrage axisymétrique dont les armatures rayonnantes horizontales sont interrompues juste avant l'axe du cylindre, armatures non limitées en résistance ni en interaction avec le sol, la limite de hauteur stable est à peu près deux fois plus petite que pour un mur rectiligne présentant la même coupe !

Complément méthode cinématique, avec la collaboration de deux étudiants remarquables, Fabrizio PERUZZO puis Antoine GOSSET, avec l'appui de Patrick de BUHAN. Deux mécanismes de rupture conditionnent la stabilité selon approche en contraintes : glissement (si φ modeste), résultante hors surface d'appui (si φ élevé).

Nous avons déterminé un champ de vitesses virtuelles qui conduit à des résultats quasi-identiques au cas du glissement ; nous n'avons pas réussi à identifier le deuxième champ de vitesses ...

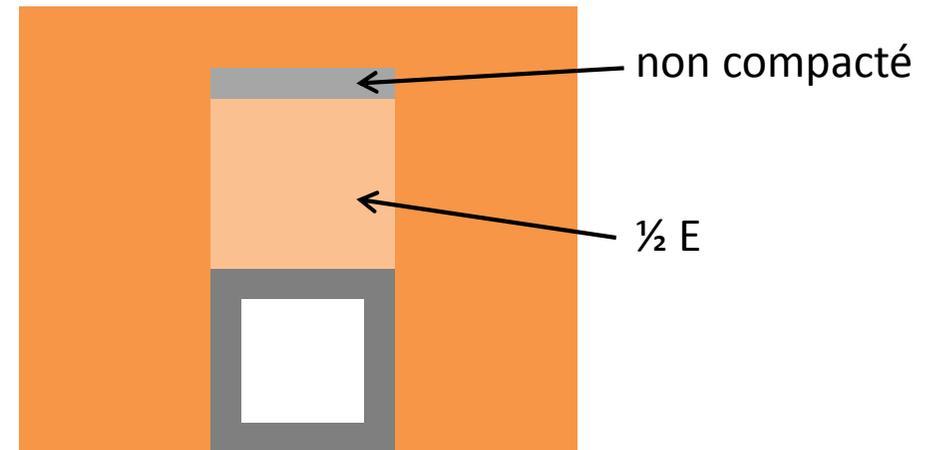
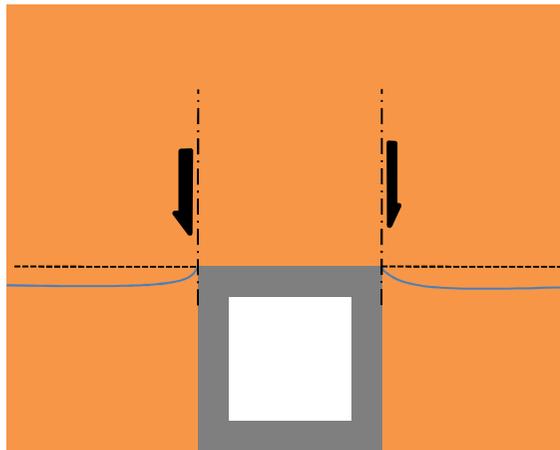
Il est vrai que le problème est difficile à traiter ; nous avons sollicité des « pros » pour une étude MEF ... qui, en 3D, n'a jamais abouti ...

Dans le cas de la méthode cinématique, on n'est plus dans un schéma simple de blocs, car la composante radiale de la vitesse induit une extension ortho-radiale, laquelle autorise un raccourcissement vertical ... et la détermination d'un champ de vitesse passe par la résolution d'une équation différentielle aux dérivées partielles (r et z) ... que nous avons soumise en vain à quelques agrégés de maths, pour finalement aboutir à une solution à partir d'intuitions physiques ...

Avec NGUYEN THANH LONG les aventures du PNEUSOL

Ça commence à Monistrol sur Loire, en 85. Projet d'ouvrage autour de la conduite forcée du Lignon, car projet routier avec remblais importants.

Débarque un dénommé LONG, du LCPC, qui nous propose de recourir au PNEUSOL pour maîtriser le coefficient de Marston ...



Les « Anciens » mettaient en place en extradados de la paille ou des fagots pour créer un volume compressible compensant les effets du tassement des remblais latéraux. L'appréciation de l'épaisseur était au jugé, ou à l'identique. Mais avec les progrès des calculs ...

Imaginer la tête du terrassier qui reçoit la consigne d'obtenir, avec le même matériau de remblai, un module réduit de moitié !

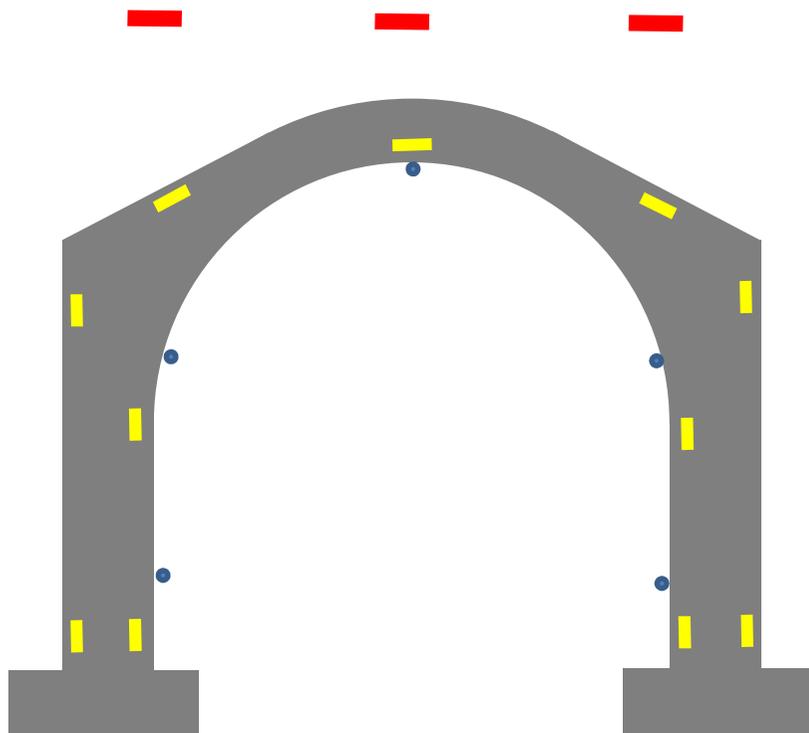
Idée de N T LONG : le module du PNEUSOL est compris entre 20 et 25% de celui du remblai de base ; il faut donc une épaisseur de PNEUSOL comprise entre $1/3$ et $1/4$ de la hauteur de l'ouvrage pour que la compressibilité soit homogène ...

La seule erreur a été d'ajouter « par sécurité » un lit de pneus en plus (→ coef. Marston < 1 ...)

Par la suite, mise au point d'une méthode d'évaluation du coefficient en fonction de l'épaisseur de PNEUSOL.

Instrumentation de l'ouvrage de Saint Chély d'Apcher (A75)

Moyennement confiant dans la représentativité des calculs du coefficient de Marston, le Maître d'Ouvrage a décidé d'instrumenter l'ouvrage : jauges d'élongation sur armatures, capteurs de contraintes dans les remblais, mesures de convergence.



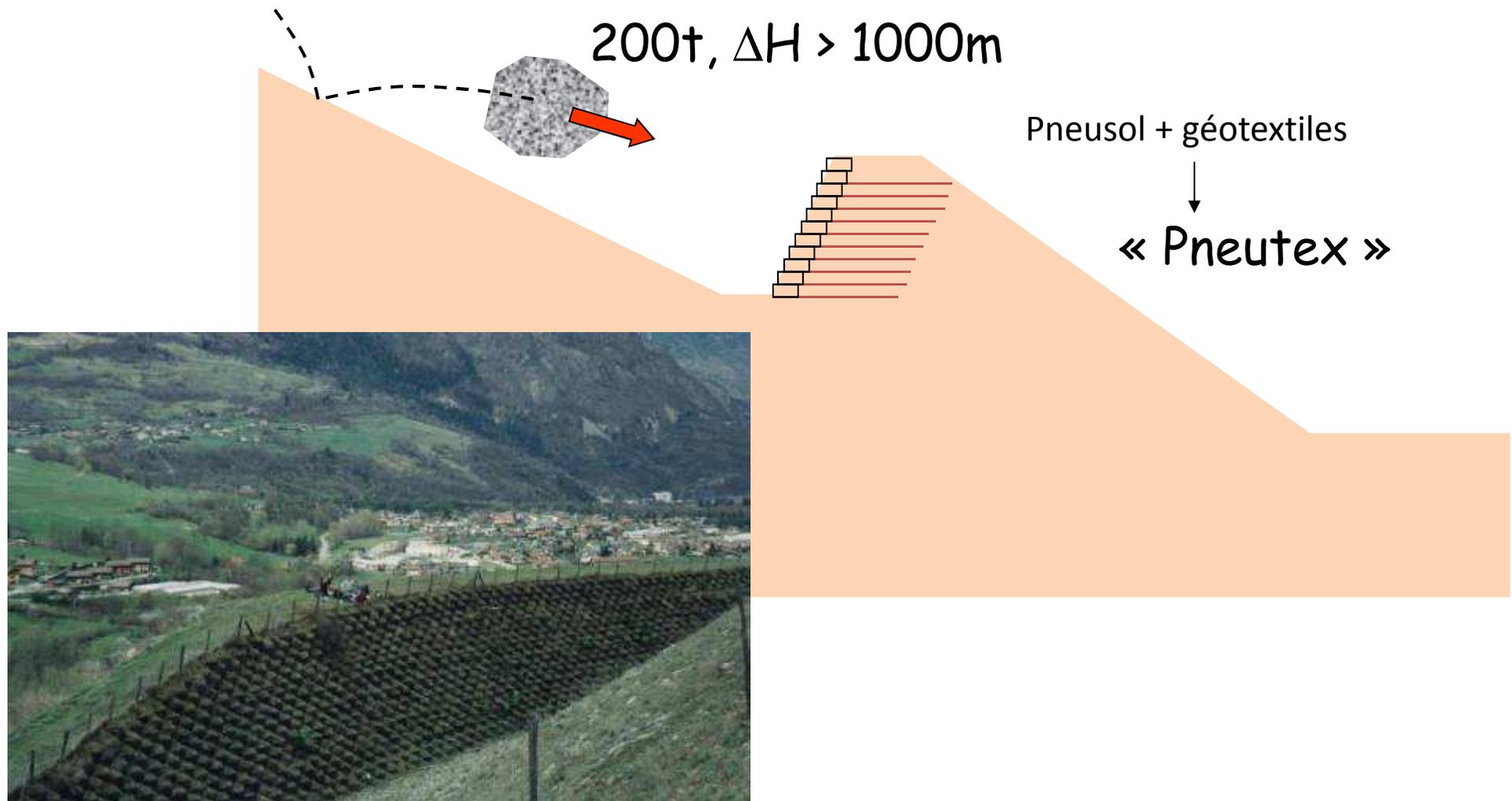
Etalonnage des capteurs ?

Tous aciers comprimés, alors que les calculs avaient conduit à des tractions non négligeables

Impossibilité de caler un modèle aux coefs de réactions sur les résultats expérimentaux.

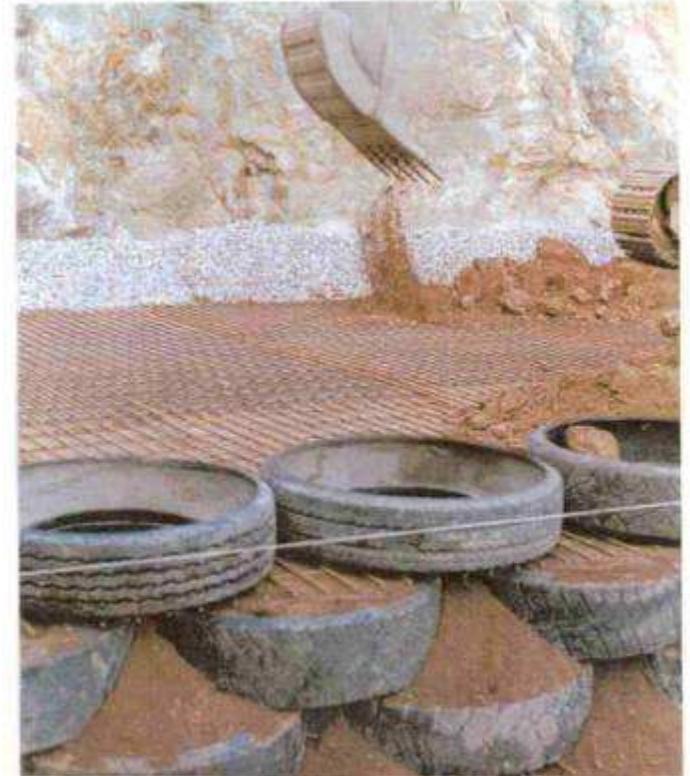
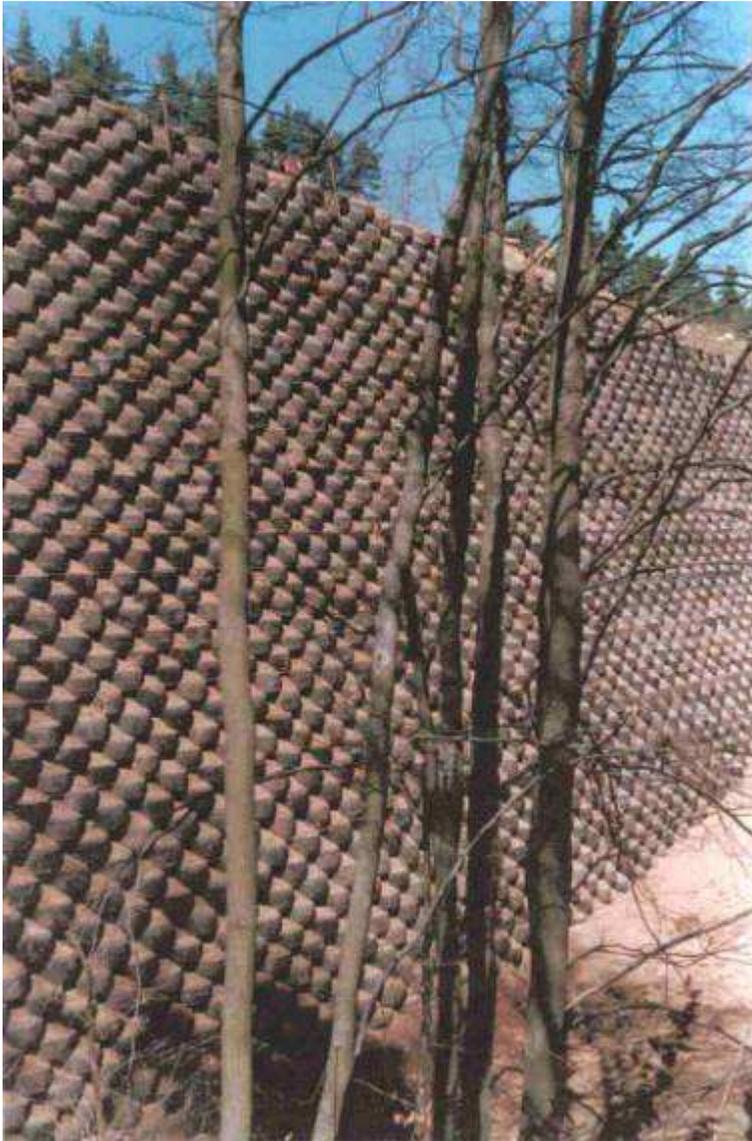
PLAXIS® → 1 modèle, puis 1 retouche (volume remblai contre les pénédroits) → bonne coïncidence avec mesures.

1990, merlon d'Aigueblanche



Les ouvrages de terrassement ne sont pas perçus comme particulièrement high-tech, mais dans ce cas, essais préalables en modèle réduit sur centrifugeuse ...

Pneusol + treillis soudés acier = Armapneusol
Saint Maurice de Lignon
H = 20m, parement 1h/4v, édifié en 5 semaines



Les connaissances acquises dans un domaine rendent de précieux services dans d'autres.

Recherche FNTP et FFB sur durabilité bétons B25 et B40 formulés avec additions.

L'un des sujets : cure humide arrêtée après 1j, 7j, 28j, 90j et 180j ; essais d'écrasement à 180j ; résultats attendus = résistance augmentant avec la durée de la cure humide. Consternation : pas d'amélioration entre maintiens 28 et 90j, et baisse dans le cas de la cure de 180j !!!

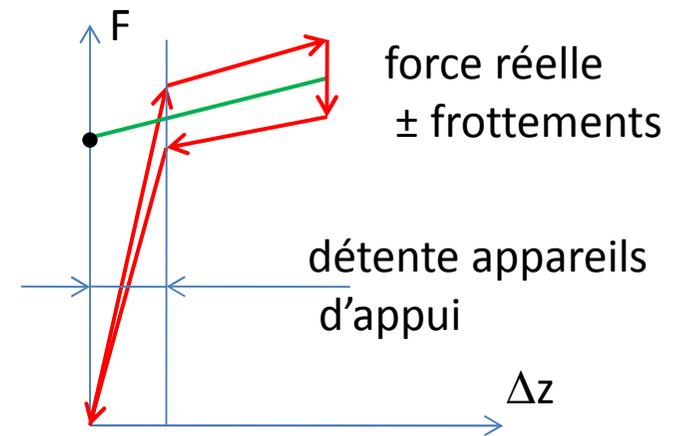
La raison ? Tout simplement le développement de la succion interstitielle, plus elle est importante et plus elle contribue à augmenter R_c .

Commentaire de Guy COQUILLAT ...

Les TA95 indiquent comment on évalue, à partir de la pression dans le vérin, la tension d'un tirant. La procédure prend en compte les frottements internes ...

Dans un cas de tablier de pont en béton précontraint construit pour SNCF, il était demandé de mesurer les réactions d'appui du tablier, pour vérifier la conformité avec la conception. Le BE, habitué à ça, avait défini une procédure complexe et malaisée de soulèvement simultané de tous les appuis ...

Remplacement par une solution simple, de soulèvement d'un appui, de repos, de soulèvement du suivant ...



Une chose pour moi incompréhensible :
l'attachement de nombreux professionnels aux modèles
basés sur les coefficients de réaction (sauf pieux).

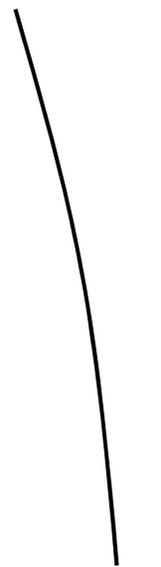
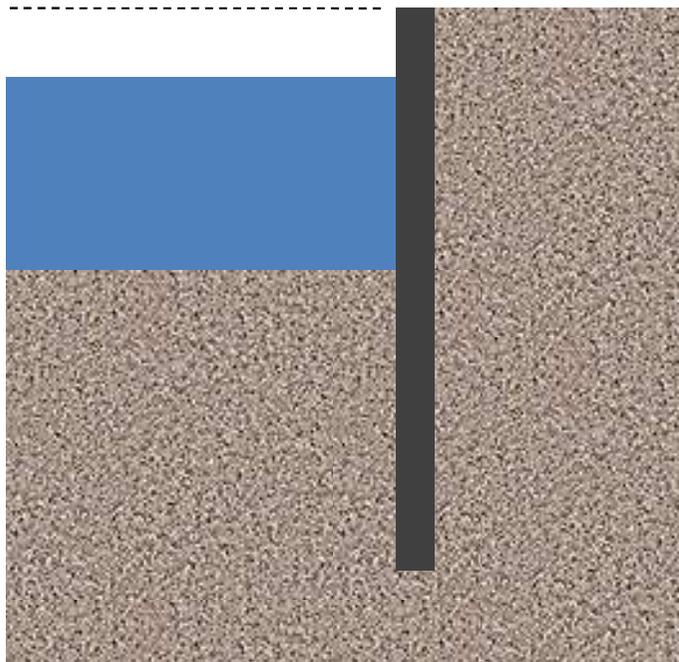
Terzaghi lui-même avait préconisé ce type d'approche, « *faute de savoir faire mieux* ».

Démarche perso, dans les cas de radiers (suivie dans d'autres domaines, mais particulièrement « productive » dans celui-ci) :

- répartition uniforme de la réaction → efforts → armatures ; doutes intuitifs sur pertinence ;
- observation de la pratique de ceux qui font mieux → coefficients de réaction, splendides équations avec trigonométrie et trigonométrie hyperbolique ... ; adoption ; puis réflexions sur pertinence (sol = liquide dense !!!) ; platypus ...
- assimilation du sol à un massif semi-infini élastique ; résultats bien différents, qualitativement plus satisfaisants, mais comment prendre en compte l'hétérogénéité ?
- sauvé par la commercialisation d'un code MEF géotechnique !

A l'occasion d'une demi-journée CFMS dédiée à la pratique des coefficients de réaction, j'avais exprimé une position contestataire (*jamais-content*), et cité quelques exemples de comparaison avec l'élasticité, dont celui d'un écran auto-stable.

J'ai eu depuis connaissance d'un retour expérimental intéressant, qui cadre bien avec les tendances obtenues par la MEF, mais non accessibles avec les coefficients de réaction :

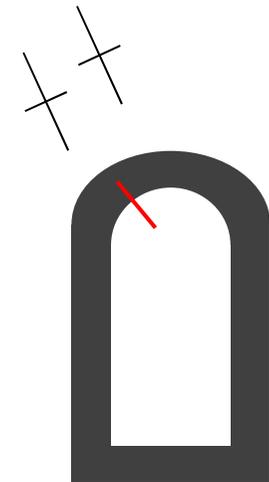


Selon inclinomètre, lors de l'excavation à l'aval, le pied se déplace très nettement dans le même sens que la tête ...
Contrebutée ? $K < 0$?

Anecdote bassin de STEP

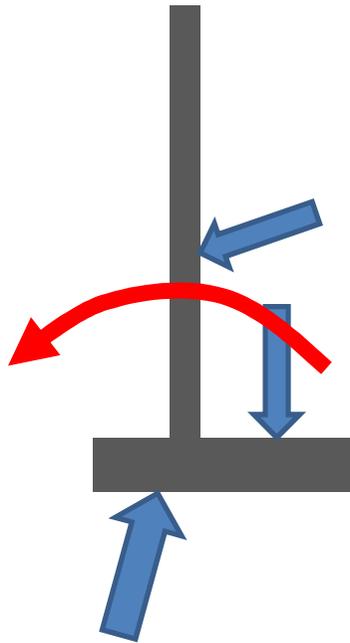
Radier réalisé ; pour diverses raisons, recours par mes soins à modèle MEF (code géotechnique). Le BE me contacte (de son côté MEF structure, soit sol = ressorts).
« même valeur de moment au centre, mais de signe opposé, la vérité serait-elle entre les deux ? »

Ouvrage sous remblai dans le Cantal : malgré les constats de Saint Chély, interdiction de justifier les ouvrages autrement que par des modèles aux coefficients de réaction.

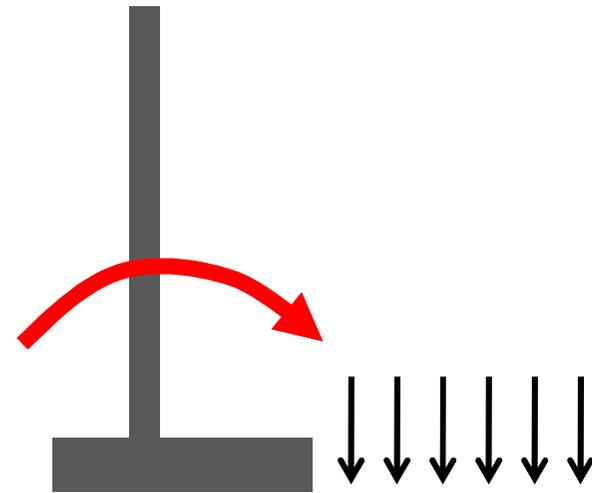


Les rotations des contraintes principales étaient évidentes avec la MEF ...
a posteriori malheureusement ...

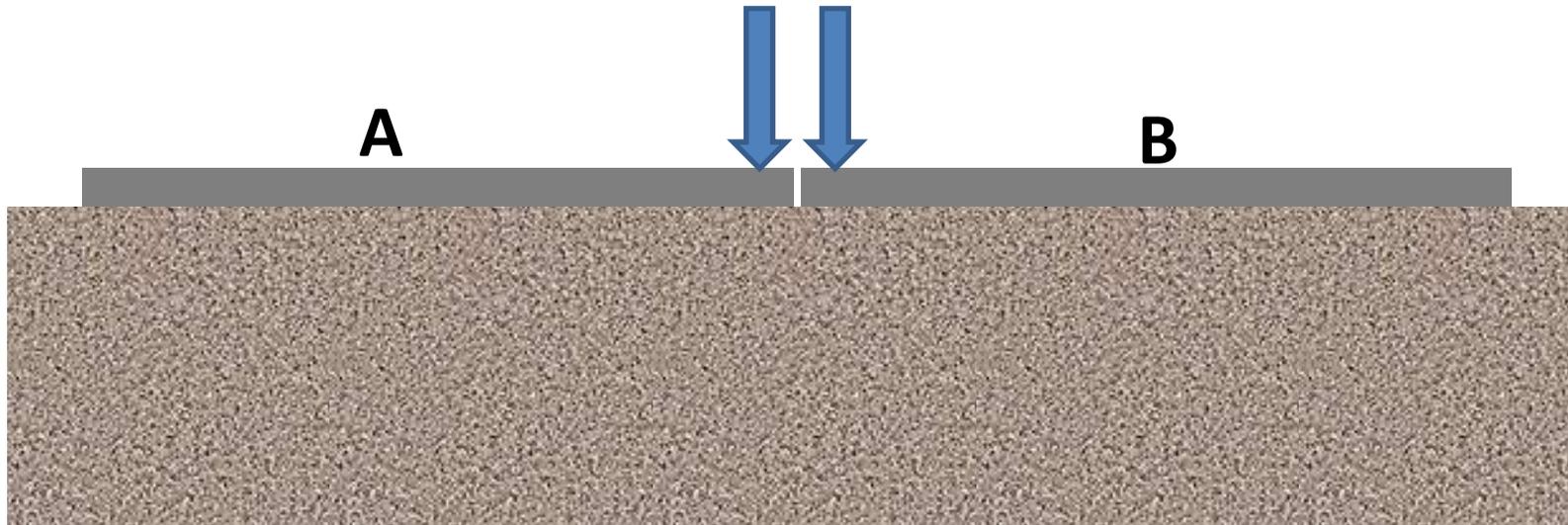
Dans quel sens bascule la semelle d'un mur cantilever lors du remblaiement ?



Attention, les coefficients calés sur les tassements sous charge centrée ne conviennent pas pour la prévision de rotation ...



Il convient de sommer deux termes, pas d'ignorer le deuxième que les coefficients de réaction ne peuvent pas fournir.



Cas de deux panneaux de dallage voisins :

La charge appliquée au panneau A induit efforts et déformations sur B, et la charge appliquée au panneau B induit efforts et déformations sur A. Par quel artifice pourrait on rendre compte de cela avec des coefficients de réaction ? Est-il utile de mettre au point ce type d'artifice ? (obstination peu justifiable)

Retour sur le mot « précontrainte » :

Qualifications attachées à la notion de précontrainte = ma chance de mettre un premier doigt dans les TS géotechniques.

Béton précontraint : nécessité impérieuse d'allongement important des câbles ou barres → haute limite élastique ; mais alors risque de corrosion fissurante ...

Tirant précontraint : seul intérêt d'une limite élastique élevée = moindre poids de l'armature ...

Poitiers, Les Cordeliers : application, tirants précontraints équipés de barres GEWI ; quelques difficultés pour convaincre (la force de l'habitude ?) ; bons résultats.

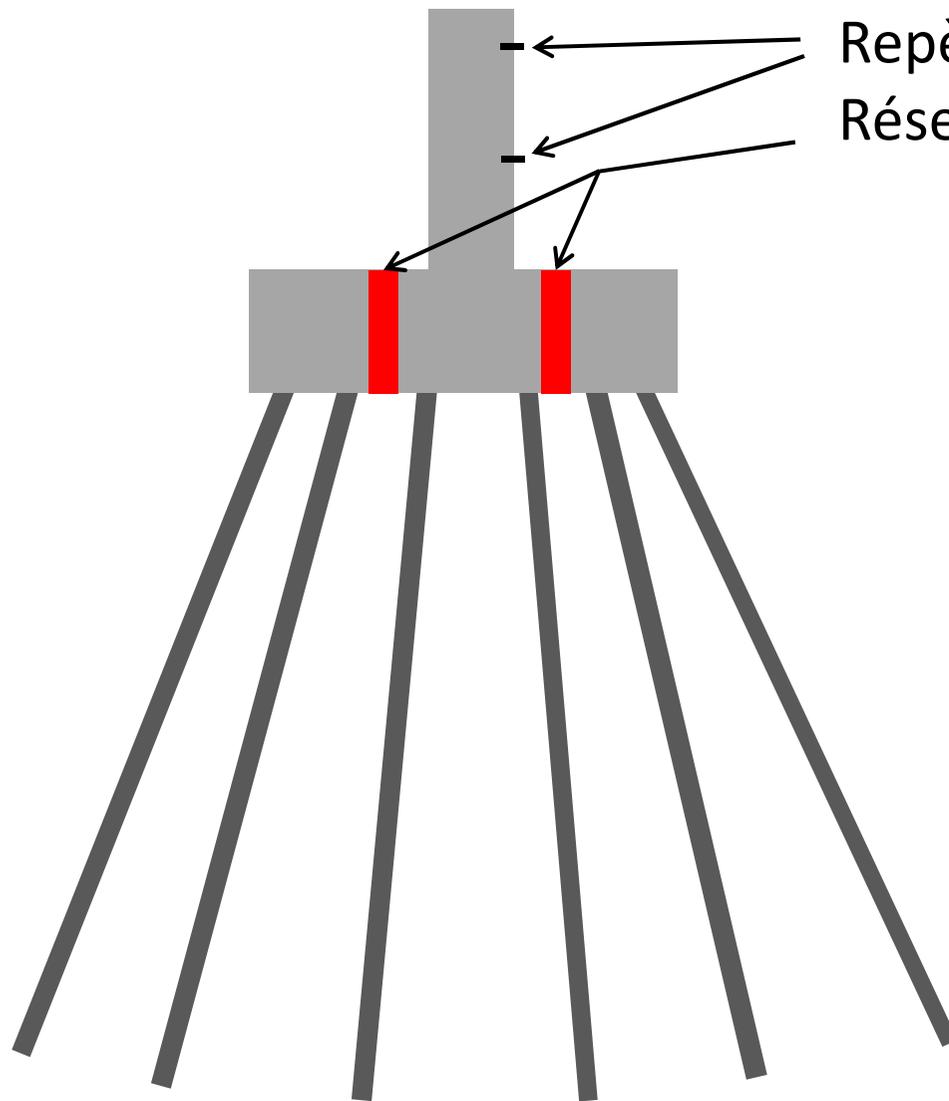
Même chantier, problème de karts argileux dans calcaire. Investigations prévues 1f/1MN avec min 4f/appui ... Mais solution si anomalies ?

En pratique, base = suggestion P. Berthelot :

- forages de reconnaissance $\Phi = 300\text{mm}$ avec $L = 6\text{m}$;
- géométrie prédéfinie « en éventail » ;
- remplissage béton ;
- si anomalie, forages complémentaires de même type, au total 1/0,33MN.

Base justification = modèles numériques (axisymétrie, « jupes » sans résist en tract) laissant attendre résistance correcte et tassement modeste dans le remplissage argileux seul ...

Mais faute d'expérience comparable, recours à la méthode observationnelle.



Repères topo à 1m et 2m
Réservations et frettages
pour μ pieux éventuels

Critère = tassement < 10mm
pour 10 planchers
Constat : max = 7mm

Effondrement sous imbibition :

Marseille, Grand Littoral
un Palais en Arabie Saoudite
remblais de tranchées ...

Mais de quoi s'agit-il ?

Un assemblage granulaire est plus ou moins dense

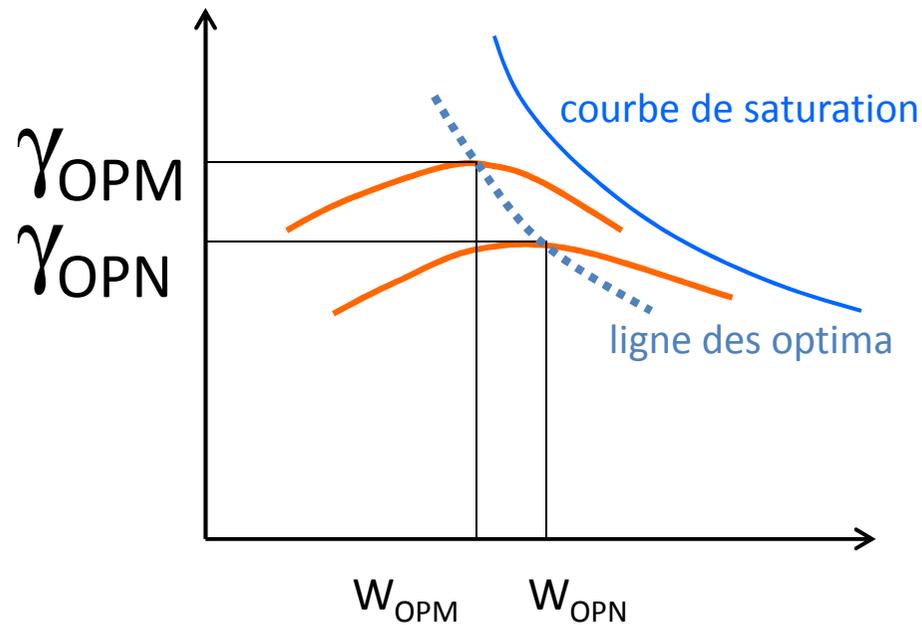
Compactage d'un remblai (grains + eau + air) :

→ le serrage n'est possible qu'en expulsant des fluides

→ si peu perméable et trop d'eau ...

→ mais inversement, si pas assez d'eau, collage des grains ...

Essais Proctor

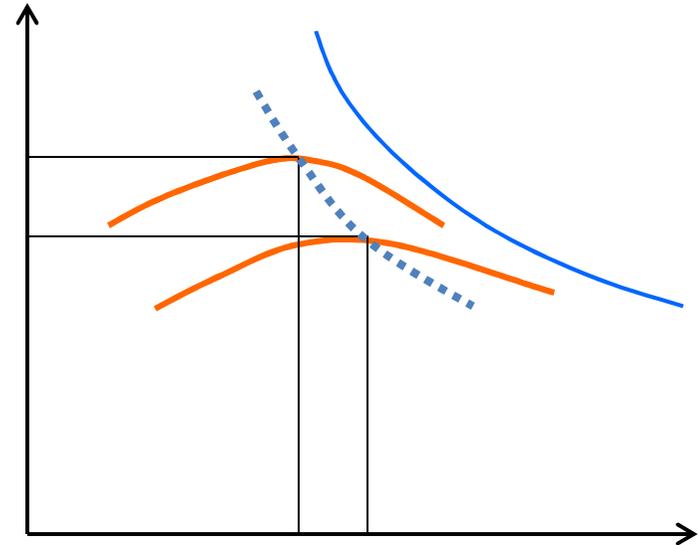


à gauche de la ligne des optima, « côté sec »

→ effondrable sous imbibition

à droite, « côté humide »

→ matelassage



d'où l'intérêt de maîtriser la teneur en eau !

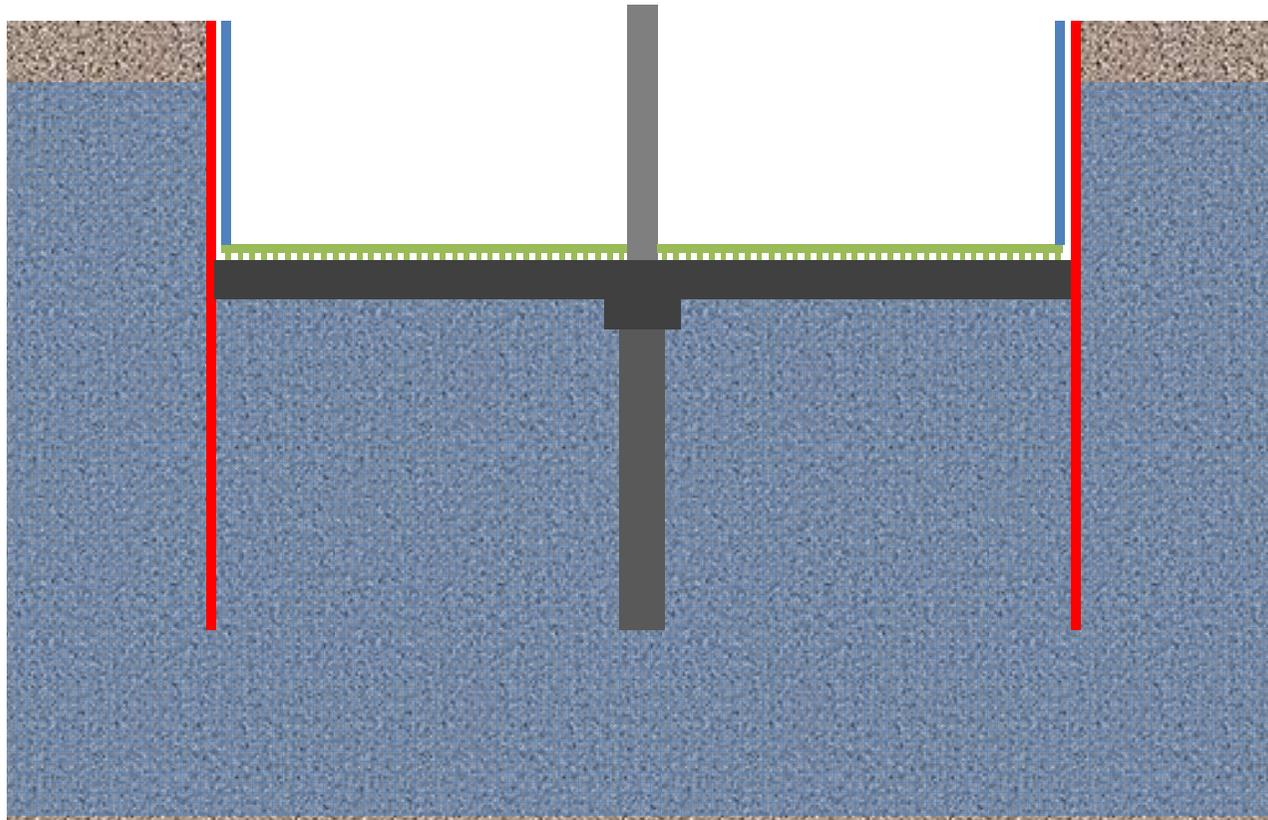
Marseille, Grand Littoral
un Palais en Arabie Saoudite
remblais de tranchées ...

Etonnement, consternation ?

D'un côté, pour une technologie \pm innovante, la procédure type cahier des charges ne nécessite qu'un avis d'Expert, sans consensus de la Profession ...

... et d'un autre, on rencontre les pires obstacles quand on veut justifier un ouvrage au moyen de la MEF ou de la méthode cinématique (*OK si confirmation par modèle coefficients de réaction*), ou bien remplacer un cuvelage étanche par une étanchéité relative avec collecte de fuites résiduelles,

Deux projets de bibliothèques sous le niveau de la nappe



Normes et catégorie géotechnique 3

En principe, les normes ne traitent que des ouvrages courants. Le hic, c'est le cas du contexte géotechnique difficile ... mais malgré tout assez courant, tel que celui des karts (à Orléans, par exemple, tout ouvrage est en catégorie géotechnique 3 !).

Les solutions utilisables sont nombreuses, mais on retrouve le plus souvent des préconisations discutables ... non discutées parce que force de l'habitude ...

PUBLICATIONS :

L'évolution de la carrière des chercheurs est liée à leurs publications dans des revues de rang A.

Fâcheuse habitude de ne pas publier la même chose en français ... les résultats de travaux financés par la France servent ainsi avant tout aux anglophones ... Mais on peut retenir qu'avec la RFG et le Bulletin de liaison, la géotechnique est le domaine qui se défend le mieux ...

Il faut peut-être organiser un « Courrier International© » du BTP ...

Rêvons un peu :

La Profession manque cruellement de retours sur le comportement d'ouvrages « réels ».

Qu'il s'agisse de fondations profondes ou de fondations superficielles, pour ne citer que ces cas ordinaires, les banques de données à la disposition des rédacteurs de normes ont cessé de s'enrichir ... Il est fondamental que les MOuv., les BE, les Entreprises, les Contrôleurs ... associent leurs efforts et que soit structurée la collecte et l'interprétation des informations ...

La méthode cinématique du Calcul à la Rupture, qui s'applique aussi à des problèmes structurels et pas seulement à la géotechnique, est puissante et présente aussi quelques avantages pédagogiques. Un recours plus courant, et son enseignement à des étudiants qui pratiqueront effectivement la technique ne peuvent qu'être bénéfiques (enseignement associant théorie rigoureuse et applications pratiques efficaces).
Merci d'avance à ceux qui compléteront le cas des murs courbes convexes en sol renforcé ...

Même si notre métier de constructeur est le plus vieux du monde (*il a bien fallu construire une route avant de faire le trottoir*, extrait du cours de Jean-Marie COGNON à Centrale), force est de constater que de nombreux progrès sont possibles, et nécessaires ; il y a de quoi occuper beaucoup de jeunes ingénieurs inventifs qui voudront bien faire aux modèles la place qu'ils méritent ...

Au revoir, et MERCI à tous ...