

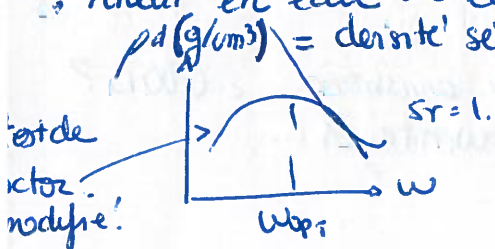
FOCUS SUR LES MATÉRIAUX « TERRE » ET « PÉTON VÉGÉTAL »

- Habitat: 40% consommation d'é.
- Énergie grise: tout sauf service (extract, transport, transformation, mise en œuvre).

TERRE CRUE

- Pblm prix de la TO des pays industrialisés
- Terre extraite sur place: + dégresser avec sable si besoin.

Teneur en eau de référence: $e = \frac{V_v}{V_s}$ $\eta = \frac{V_v}{V}$ $sr = \frac{V_k}{V_v}$



$\theta = \text{teneur en eau volumique} = \frac{V_L}{V}$

$\rho_s = 2,7 g/cm^3$

$w = \frac{m_L}{m_s}$

Teneur optimale: faule à compacter sans l'effet de chapeau de sable et assez d'effet capillaire.

Limite d'Atterberg: solide plastique liquide w

w_p w_L

teneur en eau optimale pour travailler le sol.

1. Techniques sèches

- Pisé, BTC
 - domes pierre
 - muralithique massive
- $w_f \approx w_{op}$

2. Technique humide

- Bauge, Adobe
 - moins massive
- $w_p < w_f < w_L$

3. Non porteurs

- Torchis
- Enduits

4. Argile

gypse + en - avec l'eau
Kaolinite

- Quelle terre choisir?
 - Indice de plasticité?
 - Fct taille des argiles et limons?
 - Fct de l'activité des argiles (tot au bleu)?
 - Fct de la granulométrie?
 - Beaucoup d'argile (prix et tenir / mais peu active (gypse + en) (VBS))
- ou
- Méthode performantes: drop test au labo

BETON VÉGÉTAL

- Pas d'éléments porteurs.
- Futur RT 2020.
- Utilisation : isolation rapportée, remplissage, composite plastique.
- Ex : Ouate de cellulose, chanvre, meule de tournesol, balle de riz.
- Béton de chanvre : isolant + structurel.
- liant : chaux + granulats
- Influence de la granulométrie = dépendance de la densité du chanvre.

BILAN ENVIRONNEMENTAL

- Ciment : 50% de ce qu'on produit pour 15% de CO₂ émis = GOOD?
- Alternatives difficiles à trouver et à prouver leurs avantages.
- Nombreux indicateurs.

ACV

- Evaluer les impacts environnementaux d'un produit, service ou procédé.
- Selon la norme : frontière, données et quantifier l'impact sur l'environnement.
- Emissions directes et indirectes.
- 'au choix de l'unité fonctionnelle (UF) et de la base de données
- Unité de l'ACV pour le changement climatique : kg CO₂ eq.
- L'ICV : liste des matières et polluants (inventaire cycle vie)
- Catégories d'impact : social, enviro, éco.

ACV Terre et biosourcés

- Unité fonctionnelle : mur avec m² capacités ?
- Frontière ?

SUSTIBILITÉS

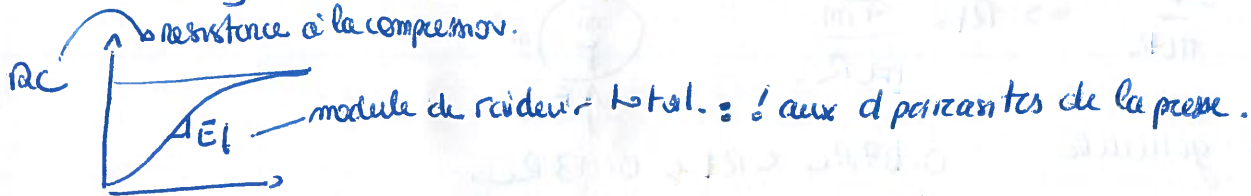
- Fin de vie.
- Partage du coût et des bénéfices entre les systèmes : ex recyclage
- Stockage CO₂ court et long terme : ex paille.
- Biosourcés : permet de faire du carbone négatif maintenant.

COMPORTEMENT HYDROÉLASTIQUE

1. Essai de compression simple

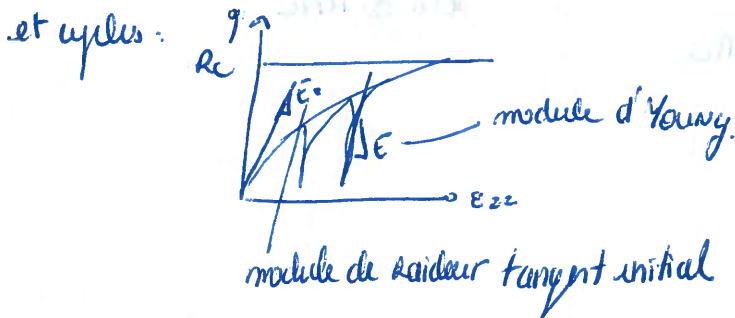
Invention | $\sigma_{nn} > 0$. On pilote en force et mesure en déplacement (ou inverse).
 $\epsilon_{nn} > 0$

$q = \tau_{zz} = \frac{F}{S}$ contrainte axiale. et $\epsilon_{zz} = \frac{\Delta h}{h_0}$ = def. axiale.

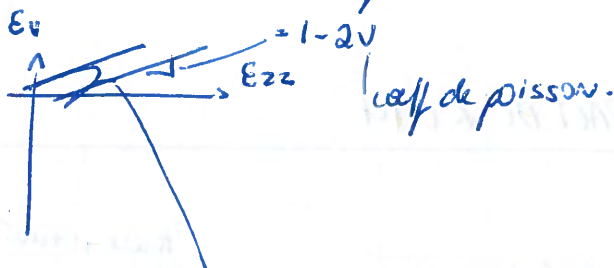


ou Essai avec capteurs deux dans le $\frac{1}{3}$ central.

$$\epsilon_{zz} = \frac{1}{3h} \times \left(\frac{\Delta d_{s1} + \Delta d_{s2}}{2} - \left(\frac{\Delta d_{a1} + \Delta d_{a2}}{2} \right) \right)$$
 et $\epsilon_{rr} = \frac{1}{\sqrt{6}} \times \left(\frac{\sum \Delta d_{ci}}{2l} \right)$



$\nu = \text{tr}(\epsilon)$ = def. volumique
 = $2\epsilon_{rr} + \epsilon_{zz}$ en comp. simple.



Capacité portante (fct de la géométrie) \neq résistance à la compression (intrinsèque)

→ comment tester RTC et abobe

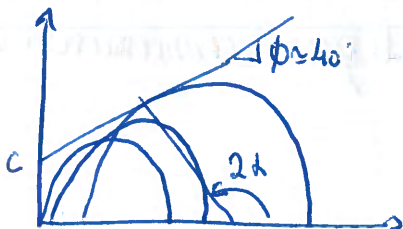
2. Essai triaxial de révolution

$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{pmatrix} p & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & p+q \end{pmatrix} \rightarrow \vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z$$

p = pression de confinement
 $q = \tau_{zz} - \tau_{rr}$ = déviateur des contraintes
 $\epsilon_r = \text{tr}(\epsilon) = \epsilon_{zz} + 2\epsilon_{rr}$

- Pour le cas de la terre compactée, le déviateur max q_m augmente avec la pression de confinement.
- la déformation axiale à $q = q_m$, augmente également avec p .
- Pas $\bar{\epsilon}$ ni ν .

• Représentation de Mohr dans le plan (σ_{nn}, τ_n)



$\tau_n \leq c + \sigma_{nn} \tan \phi$



• Cambridge ds le plan (σ_m, q)

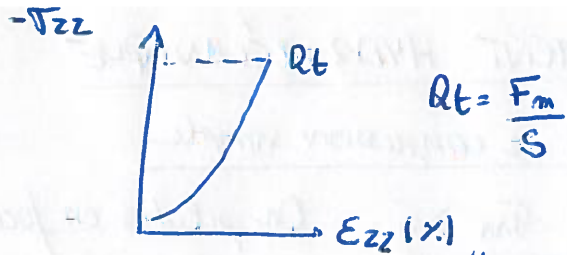
$$\sigma_m = \frac{1}{3} \text{tr}(\sigma)$$

$$= \frac{p+q}{3}$$

$q \leq c + \sqrt{3} \sigma_m$

3. Essai de traction

- A. Chanfrin pour réduire la section
 • ! aux décallements de surface



↳ Traction directe : OK si rupture non horizontale
 (si en biais : cisaillement)

- B. Traction indirecte : fendage / brenil

$$\sigma_{xx}(x) = -\frac{F}{\pi LR} \Rightarrow R_t = \frac{F_m}{\pi LR}$$



→ de manière générale $0.07 R_c < R_t < 0.13 R_c$.

4. Ordres de grandeurs

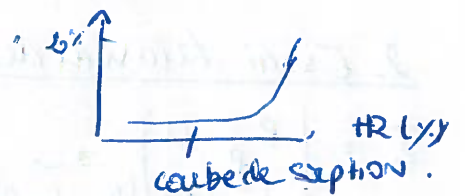
R_c (MPa)	Pisè/Bauges	BT	BETON
	0.5 à 1.5	1 à 4	20 à 30 MPa
E	0.4 GPa	1 à 4 GPa	
R_t		$\approx R_c / 10$	
Cohesion	50 à 500 kPa		
ϕ	30 à 50°		

IMPACT DE L'EAU

1. Compression Simple

- R_c / S de 2% à 8% = teneur à la fabrication.
- Teneur en eau pathologique > 5%
- Pas de pbl vis à vis de HR si < 80%
- Différence avec la géotechnique : on utilise la mds non saturés.
- Impact lié à la nature de la terre : + ou - active.

Teneur en eau (%)



2. Comportement triaxial

- $R_c / 4$ entre 30 et 90% de HR en compression simple. et peut impacter la pression de confinement.

• Cohesion / 2

- Angle de frottement interne \approx stable, léger diminsuer.

3. Comportement en traction

- Teneur en eau de 1 à 5% → $R_t / 4$.

4. Retrait / gonflement

- Retrait ou séchage = + teneur en eau de fabrication élevée, plus le retrait est important
pour W_{opt} , retrait 1 cm pour 2m de mur

- Retrait en exploitation (BTC) = valeurs faibles mais non négligeables.
dilatation pour 1% de HR = dilatation pour 1°C

5. Conclusion

- Tout n'est pas élastique linéaire.
 - existe du module de raideur avec la contrainte (endommagement)
 - contraction / dilatation.
 - $\sigma_{zz} - E_{zz}$ non linéaire.
- dépend de la teneur en eau du matériau et de l'HR.

NOTION DE SUCCION

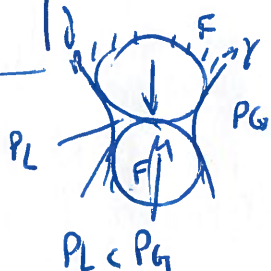
Phénomen: tension de surface vont tirer l'eau vers le haut.
Expérience tube capillaire $P_L^c = P_G - \frac{2\gamma \cos \theta}{r_c} \rightarrow 0$ absolu $P_L < 0$ TRACTION.

HR, dans les matériaux saturés, les a sont gros = efficacement car plus cette traction dans les molécules d'eau.
(P_L augmente avec la teneur en eau).

Loi de Kelvin:
$$P_G - P_L = - \frac{\rho_w R T}{r_{H_2O}} \ln |\psi|$$

$$\underline{\underline{\sigma'}} = \underline{\underline{\sigma}} - \underbrace{(P_L - P_G)}_{u < 0} \Rightarrow \underline{\underline{\sigma'}} > \underline{\underline{\sigma}}$$

Pour sol saturés



Pour l'oxygène: + la qte' d'eau interfaciale est faible, plus la succion matricielle est importante.

Pour sol non saturés

$$\underline{\underline{\sigma'}} = X(S_u) (P_G^s - P_L) \underline{\underline{S}}$$

Loi de Hooke: $E_v = \frac{3(1-2\nu)}{E} \sigma'_{vm}$

Stabilisation? Pour la résistance à l'eau et non mécanique car beaucoup de fines dans la terre + friction sur chantier

COMPORTEMENT HYGROSCOPIQUE ET HYGROTHERMIQUE

1. COMPORTEMENT HYGROSCOPIQUE

• Poreux et perméable : échange entre molécules d'eau interstitielle et vapeur d'eau.

• + surface hydrophile = macropores.

• Air : Air sec + vapeur d'eau.

• L'air (vapeur) + le sol (vap + eau + air sec) + poreux (somme de milieux continus).

• $m_L = m S_r$ $m_G = m(1 - S_r)$

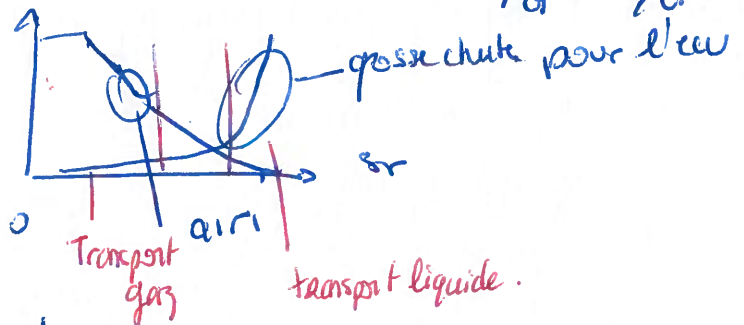
• Conservation masse d'eau liquide : $\frac{\partial m_L}{\partial t} = - \text{div} \left(\rho_L m_L (u_L - v) \right)$
conduction hydraulique

• — vapeur d'eau : $\frac{\partial m_G}{\partial t} = - \text{div} \left(\rho_v m_G (u_v - v) \right)$
(sans écoulement d'air) Darcy

• Gaz parfait : $\frac{\rho_v}{\rho} = \frac{p_v}{p_{H_2O}}$
diffusion (FICK)

• — avec écoulement d'air : $j_v = -S_p P_{G1} \text{grad} \left(\frac{\rho_v}{\rho_G} \right) - \frac{\rho_v}{\rho_G} \vec{S}_{G1}$

• Coef de transport de matrice :



• S_p : coefficient de diffusion effective.

• $Hd = \frac{p_v}{p_{sat}} \times 100$ dépend de la température.

• Pour eau interstitielle : évaporation si $p_v < p_v^{eq}$ (p_v^{sat})
car matériau a baissé le pouvoir chimique de l'eau

• $\psi \downarrow \Rightarrow w \downarrow$ ⊕ phénomène d'hystérésis : pas même w pour Hd idem en sorption ou desorption.

2. Comportement hygrothermique

= couplage entre transferts de masses liquides et chaleur

$$p_v^e = f(T)$$

• Lissage des températures ambiantes.

• Sécher : réduction du flux de chaleur entrant dans le mur en surface chaude

• Absorption : ——— surface froide.

• L'atmosphère en RAO a une humidité relative donnée tend à diminuer avec la température.

• Règle générale : $p_v^{sat} \uparrow$ avec T et H_2O .

STRUCTURE

A. Construction de bâtiment en France

- Domaine traditionnelle (conventionnel) : Normes ou R.P. Professionnelles, ou DTU
- — NON — : Atec (sans techniques), document technique d'application DTU avec CSTB
- Atec. pour non conventionnel.

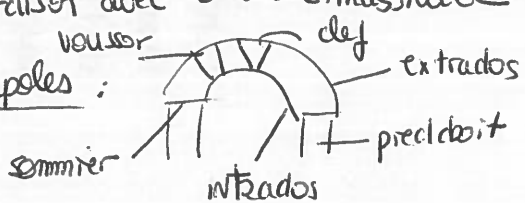
B. Fiabilité des structures : démarche EUROCODES

• ELS / ELU / ELA

- Vérification ELU :
 - * approche probabiliste avec coeff de sécurité $\times 1.35 (G) \times 1.5 (Q)$
 - * valeur caractéristique minimale garantie sur les matériaux : facile plus importante pour les matériaux ac. grande dispersion de valeurs.
- Pour les matériaux normés : coeff de $\frac{1}{1.5}$ (beton insitu) Pour non normés, l'EUROCODE laisse place à une démarche de dimensionnement assistée par l'expérimentation. (autre D, autre code).
- Paramètres influençant la performance de l'ouvrage :
 - Type de terre
 - Teneur en eau d'fabrication
 - Épaisseur des lits
 - essai de compactage
 - densité sèche
 - in situ

→ pbm de coût des essais et temps.
- Pour éviter les tests, pour les ouvrages proches du tradi on utilise la valeur de résistance d'essai + gros coeff de séc (1.5) et donc $R_k = 0.2 \text{ kg/cm}^2$
→ TRÈS FAIBLE
- Sinon les essais à réaliser sont :
 - * Protoc (teneur en eau optimum)
 - * Compaction simple à Wpr et sec et avec cycles
 - * Un échantillon de grande dimension par artisan (retrait)

C. Méthode de dimensionnement

1. Connaissance du matériaux et de la technique constructive.
 2. Effort sollicitant un BAT : G, Q, E, W, A
 3. Usage courant : mur porteur, poteaux, pilers, poteaux, voûtes, arches.
 4. Conception : utiliser le matériaux pour son usage. Ne pas ajouter de technologies.
 5. Dimensionnement :
 - Mur ou poteau : $N + T \rightarrow N + excentrement e = T/N$
 - ↳ en service : absence de traction si $e \leq B/6$
 - ↳ ELU : vérifier la stabilité = $e < B/2$
 - Reprise au cisaillement : $T + N \rightarrow$ Poutrement statique qui transmet l'effet de cisaillement
 - ↳ comparaison avec EUROCODE MASSIF $f_{td} = 0.425 \sigma_{cd}$
- Arç, voûtes et cupoles :
- 

TAM / LE TALK
DU MERCREDI

**DÉFIS DE LA JEUNESSE
DANS L'ENTREPRENARIAT
ET LA DÉFENSE DU PATRIMOINE BÂTI**

-> **TOM BARNIER**

tailleur de pierre

DAMIEN BARET

maçon du bâti ancien

SAS Bâti Ancien Bordeaux

L'entreprise Bâti Ancien Bordeaux décrira
le schéma évolutif de leur société et leur vision
de l'entrepreneuriat, ainsi que leur rapport
au patrimoine bâti et à sa sauvegarde
dans le cadre de leur métier.

ENTPE



Amphi Prunier



13h15 à 14h15



20/03/2019

→ Principe de la charrette inversée. sans poids propre seul ou complet de rails

◦ Méthode à la rupture (ELU) : tracer le funiculaire des efforts (2 hypothèses sur le point de centre de pression)

→ aput d'axes de décharge, de l'axe de la queue sur crosse

→ limites : 1^{er} ordre (déformations) et hypothèses



TAM / LE TALK
DU MERCREDI

**DÉFIS DE LA JEUNESSE
DANS L'ENTREPRENARIAT
ET LA DÉFENSE DU PATRIMOINE BÂTI**

-> **TOM BARNIER**
tailleur de pierre

DAMIEN BARET
maçon du bâti ancien

SAS Bâti Ancien Bordeaux

L'entreprise Bâti Ancien Bordeaux décrira
le schéma évolutif de leur société et leur vision
de l'entrepreneuriat, ainsi que leur rapport
au patrimoine bâti et à sa sauvegarde
dans le cadre de leur métier.

MENTPE

20/03/2019



13h15 à 14h15



Amphi Prunier



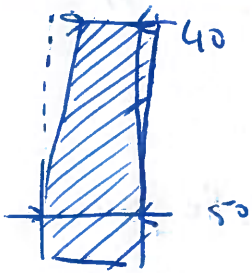
Δ / Pathologies

- Singularité (souvent tenu) ≠ généralités
- Pathologie majeure du pisé: soubassement et gel. ← humidité capillaire.
- Les maisons en pisé tombent au printemps.

• Délai d'humidification à effondrement : 5 à 10 ans.

• Salpêtre.

- Conjonction de causes : trax en cours, exhausse terrain au voisin, dégel, fortes pluies, avir et mur du son, vibration avec passage de véhicules.



- Si fissures: sûrement un tassement différentiel, vibrations.

- lors de nouvelles ouvertures, attention à la modification des distances de charges qui vont également créer des fissures au dessus de l'ouverture.
- Bien mettre en place un jambage lors de la création d'une nouvelle ouverture.
- sdB côté Nord: ++ humidité!
- Interventions inadéquates. (Réprises de murs tombés, toitures, fenêtres).
- Enduits cimentés: à éviter, trop rigide (craquelés)
- Enduits chaux: plus tendre
- Distorsions: 70% par humidité capillaire.

2/ Diagnostic

Pompays, Evue.

- Mise en œuvre + chapeau toit + peau (enduit) + dache (par éléments saillants + protection Base

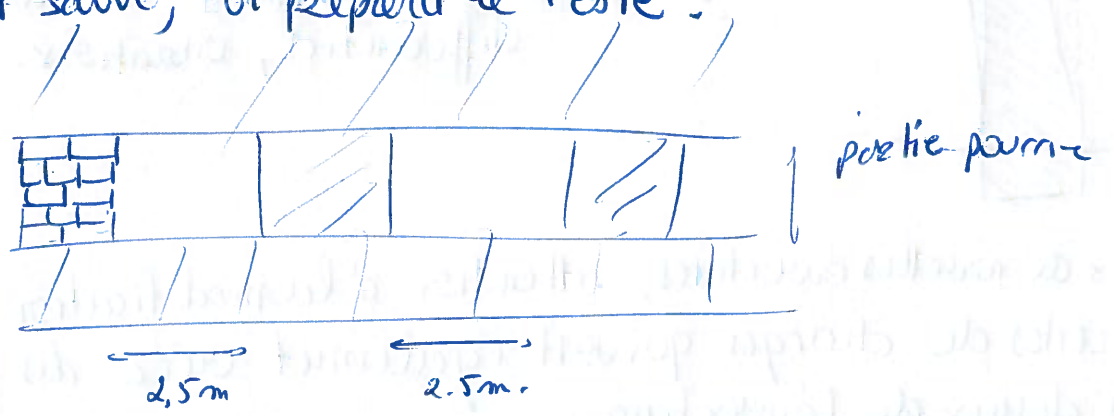
= système global de construction et de protection du bâti existant

- Attention aux interventions inadaptées à risques.

- Fissures horizontales : mur se brase et l'enduit s'écarte.

3/ Solutions

- Repases de mur avec des pilors de brique tout les 2m50, puis une fois de mur sauvé, on reprend le reste.



- Enduit saoupe ou à l'angle sur du saubissement avec salpêtre.
- Pisé avec salpêtre : faitu.
- Briche avec effet de serre + ventilation pour sécher