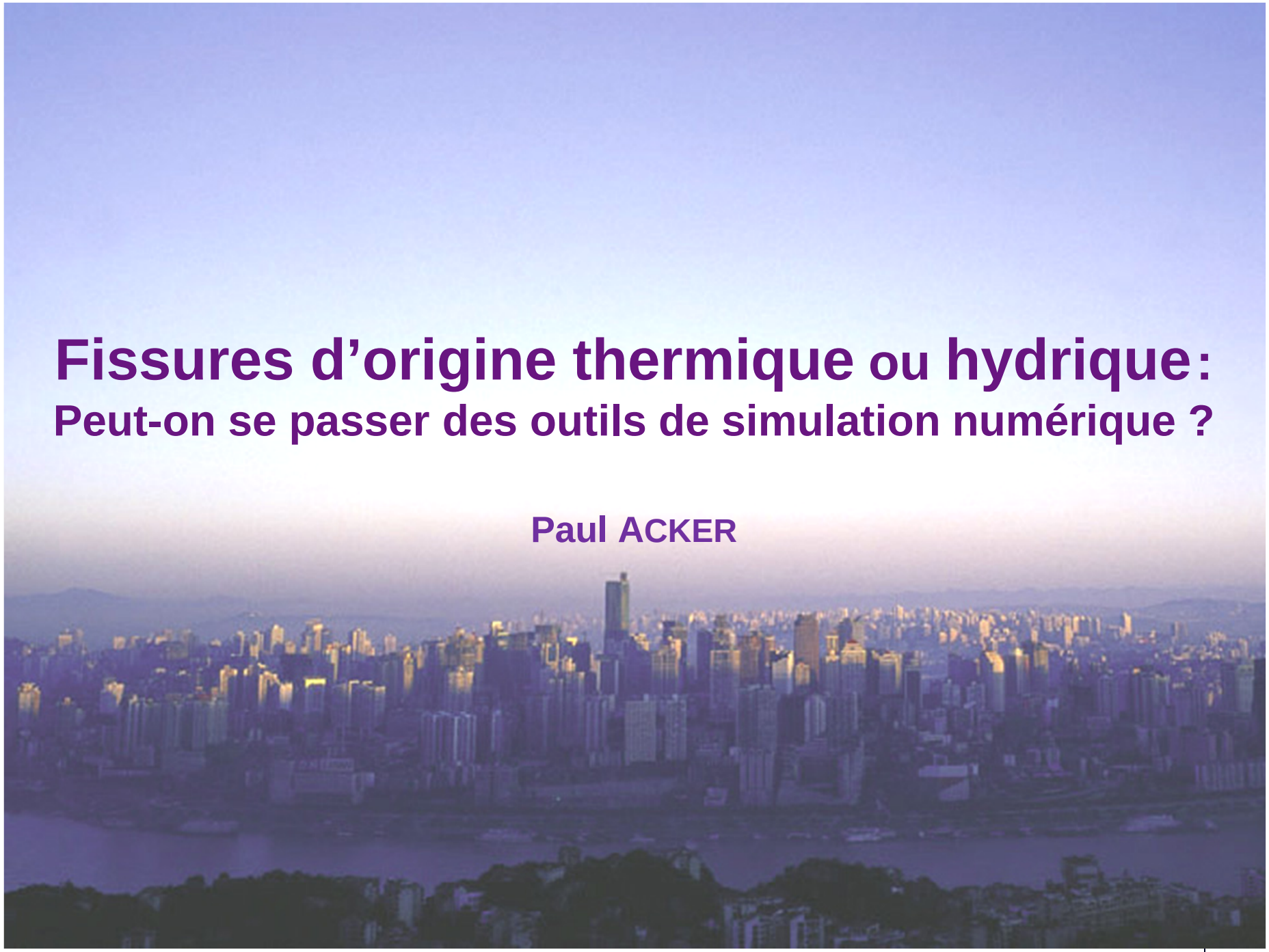


# Fissures d'origine thermique ou hydrique :
## Peut-on se passer des outils de simulation numérique ?

**Paul ACKER**

# *Sommaire*

- **Qui est responsable des (grosses) fissures ?**
  - Pas de formation des ingénieurs aux outils *ad'hoc*,
  - Une réglementation imprécise

# *Sommaire*

- **Qui est responsable des (grosses) fissures ?**
  - Pas de formation des ingénieurs aux outils *ad'hoc*,
  - Une réglementation imprécise.
- **Refroidissement et séchage : analogies et différences**
  - Un déroulement analogue en deux périodes : surface / cœur,
  - Mais sur des échelles de temps très, très différentes.
- **Des champs de contrainte qui échappent à la RdM**
  - Au jeune âge : une fissuration de peau qui se voit peu,
  - Un rôle différent des conditions aux limites.

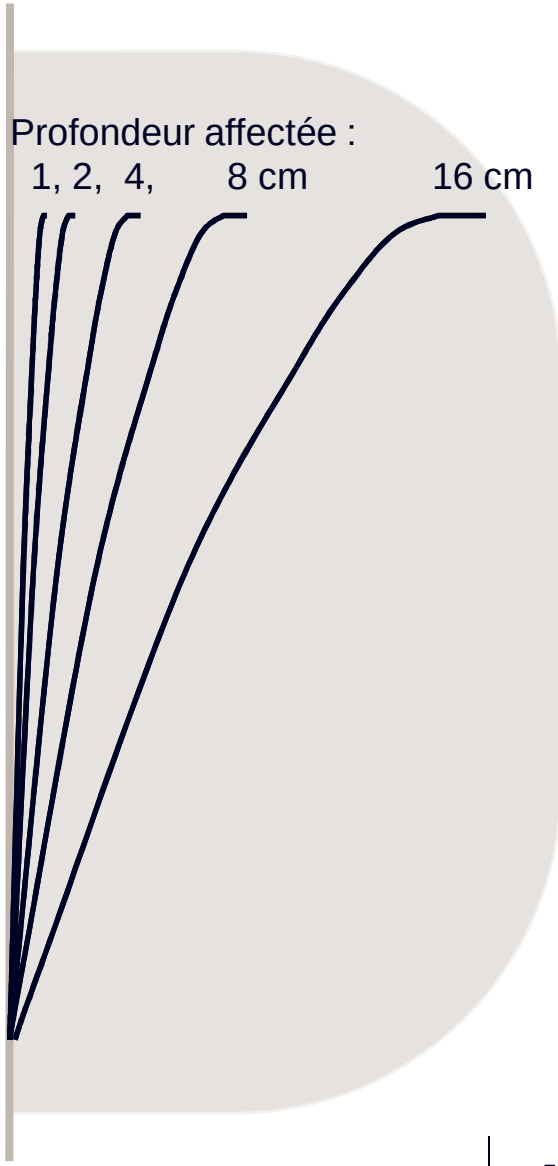
# *Sommaire*

- **Qui est responsable des (grosses) fissures ?**
  - Pas de formation des ingénieurs aux outils *ad'hoc*,
  - Une réglementation imprécise.
- **Refroidissement et séchage : analogies et différences**
  - Un déroulement analogue en deux périodes : surface / cœur,
  - Mais sur des échelles de temps très, très différentes.
- **Des champs de contrainte qui échappent à la RdM**
  - Au jeune âge : une fissuration de peau qui se voit peu,
  - Un rôle différent des conditions aux limites.
- **Créer un lieu d'échange entre utilisateurs**
  - Capitaliser sur les cas d'école,
  - Construire une base de données.

# *La phase effet de surface :*
## *Le cas du demi-espace semi-infini*

| Courbe | Profondeur affectée | Durée du refroidissmt | Durée du séchage |
|---|---|---|---|
| A | 1 cm | 15 secondes | 30 h |
| B | 2 cm | 1 minute | 5 jours |
| C | 4 cm | 4 minutes | 3 semaines |
| D | 8 cm | 15 min | 3 mois |
| E | 16 cm | 1h | 1 ans |

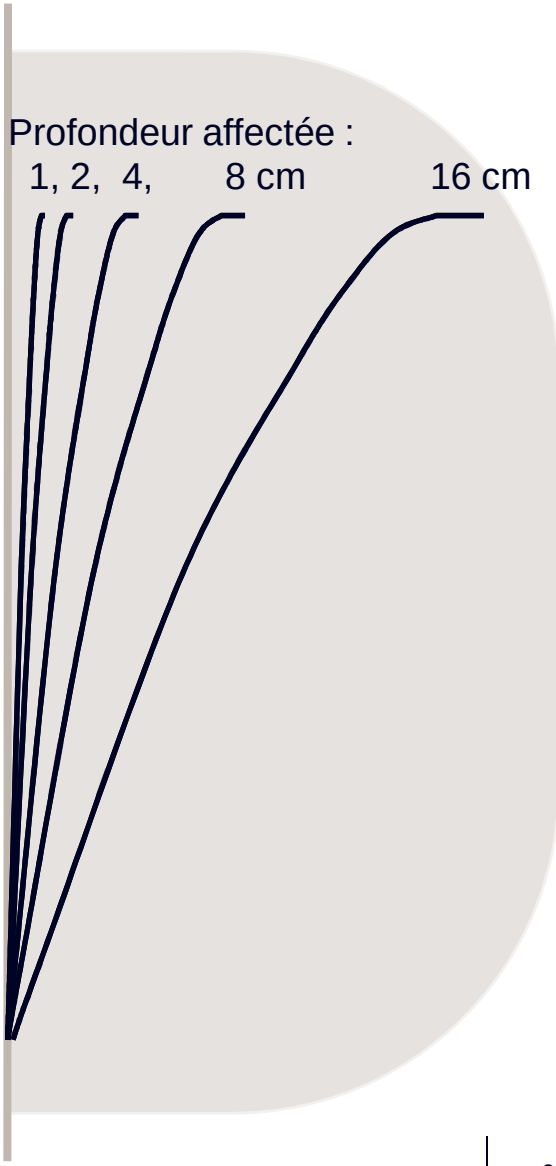
- Processus invariant en $T/L^2$ :
  profondeur × K ⇨ temps × $K^2$



# *La phase effet de surface :*
## *Le cas du demi-espace semi-infini*

| Courbe | Profondeur affectée | Durée du refroidissmt | Durée du séchage |
|---|---|---|---|
| A | 1 cm | 15 secondes | 30 h |
| B | 2 cm | 1 minute | 5 jours |
| C | 4 cm | 4 minutes | 3 semaines |
| D | 8 cm | 15 min | 3 mois |
| E | 16 cm | 1h | 1 ans |

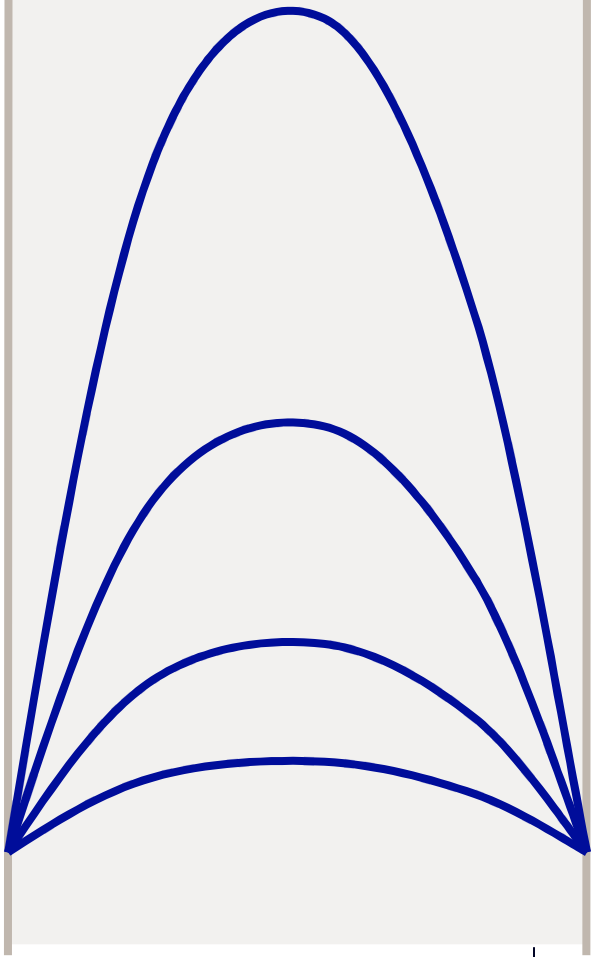
- Processus invariant en $T/L^2$ :
  profondeur × K ⇨ temps × $K^2$
- En-dessous de 30 cm d'épaisseur, peu d'échauffement en cours de prise
- Au dessus de 60 cm : toute la chaleur d'hydratation s'accumule à cœur
- Pendant cette phase : peu de retrait apparent, mais des fissures de peau, de type faïençage.



# *La phase effet de structure :*
## *Le cas du voile d'épaisseur constante*

| Epaisseur du voile | Cas du refroidissement | | Cas du séchage | |
|---|---|---|---|---|
| en cm | Début phase 2 | Fin phase 2 | Début phase 2 | Fin phase 2 |
| 16 | 15' | 4 h | 3 mois | 4 ans |
| 30 | 1 h | 16 h | 1 ans | 15 ans |
| 60 | 4 h | 3 j | 4 ans | 60 ans |
| 120 | 16 h | 11 j | 16 ans | 240 ans |
| 240 | 3 jours | 1,5 mois | 60 ans | ? |

Distribution des températures ou des teneurs en eau aux temps Ti :

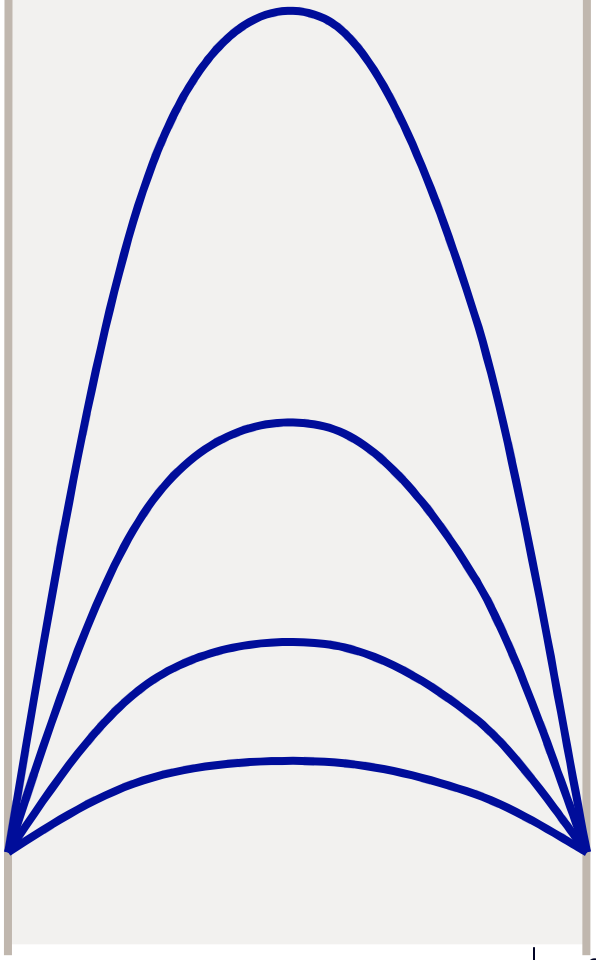


# *La phase effet de structure :*
## *Le cas du voile d'épaisseur constante*

| Epaisseur du voile | Cas du refroidissement | | Cas du séchage | |
|---|---|---|---|---|
| en cm | Début phase 2 | Fin phase 2 | Début phase 2 | Fin phase 2 |
| 16 | 15' | 4 h | 3 mois | 4 ans |
| 30 | 1 h | 16 h | 1 ans | 15 ans |
| 60 | 4 h | 3 j | 4 ans | 60 ans |
| 120 | 16 h | 11 j | 16 ans | 240 ans |
| 240 | 3 jours | 1,5 mois | 60 ans | ? |

- Durant cette phase :
  - ⇨ le retrait macroscopique se développe, mais
  - ⇨ les autocontraintes cœur/peau diminuent, et
  - ⇨ les fissures se referment (partiellement)

Distribution des températures ou des teneurs en eau aux temps Ti :

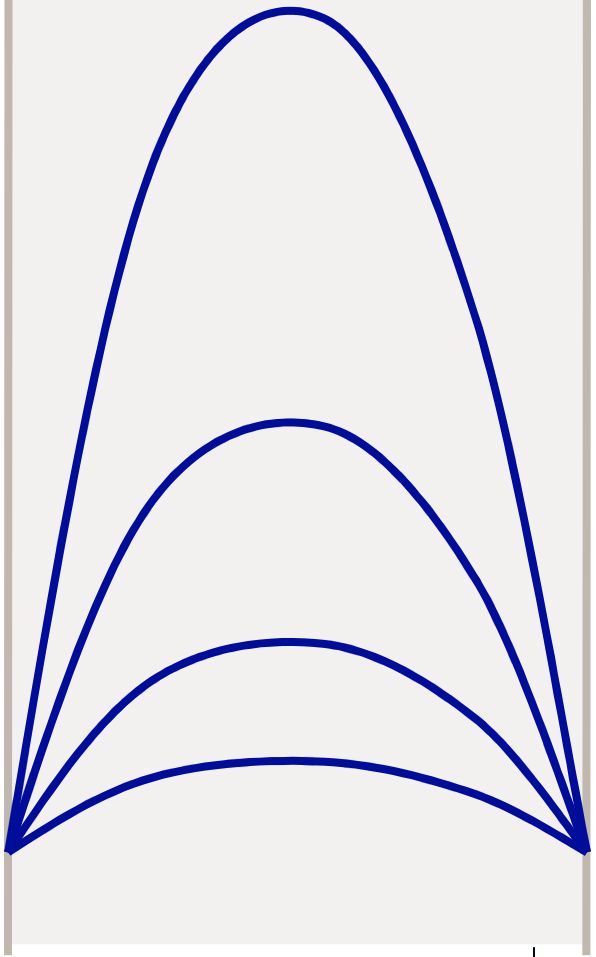


# *La phase effet de structure :*
## *Le cas du voile d'épaisseur constante*

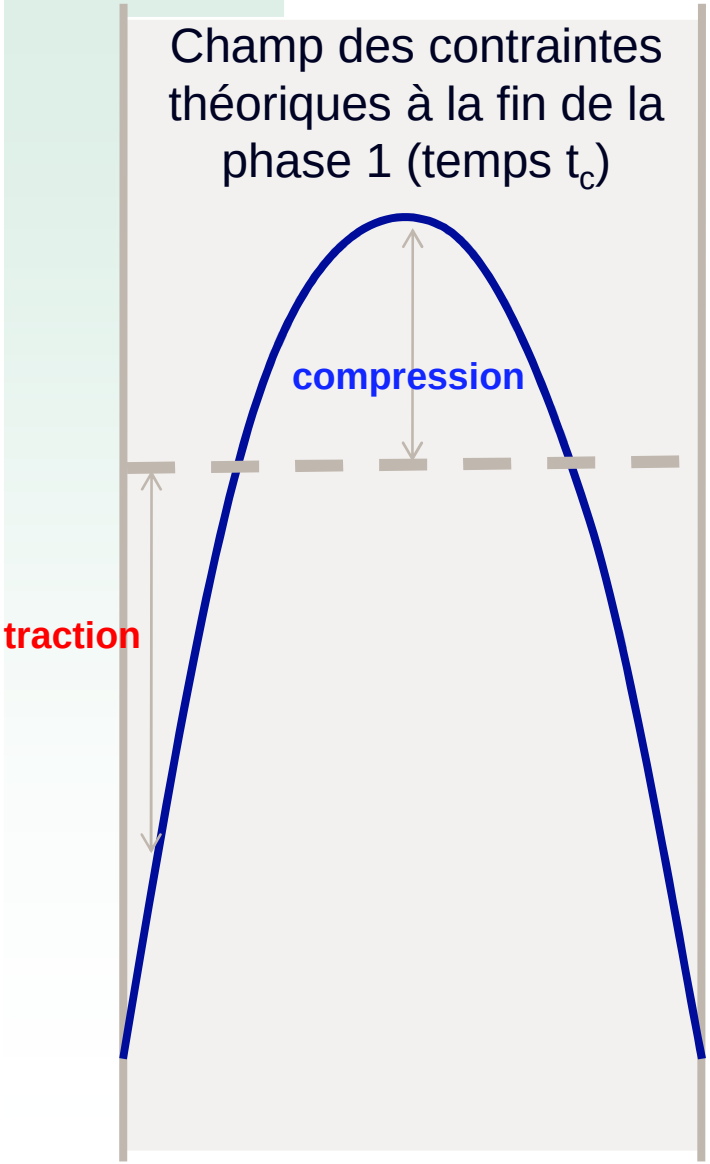
| Epaisseur du voile | Cas du refroidissement | | Cas du séchage | |
|---|---|---|---|---|
| en cm | Début phase 2 | Fin phase 2 | Début phase 2 | Fin phase 2 |
| 16 | 15' | 4 h | 3 mois | 4 ans |
| 30 | 1 h | 16 h | 1 ans | 15 ans |
| 60 | 4 h | 3 j | 4 ans | 60 ans |
| 120 | 16 h | 11 j | 16 ans | 240 ans |
| 240 | 3 jours | 1,5 mois | 60 ans | ? |

- Durant cette phase :
  - ⇨ le retrait macroscopique se développe, mais
  - ⇨ les autocontraintes cœur/peau diminuent, et
  - ⇨ les fissures se referment (partiellement)
- 10 % du retrait macro pendant la phase 1 (durée $t_c$)
- 50 % de ce retrait entre $t_c$ et $4.t_c$.

Distribution des températures ou des teneurs en eau aux temps Ti :

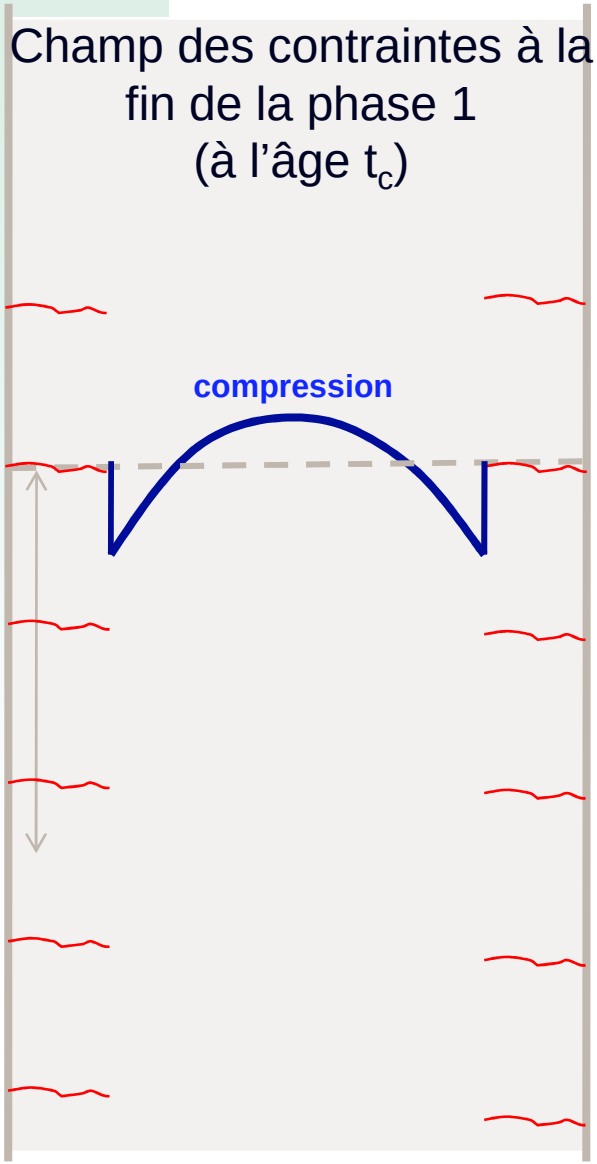


# *Le faïençage :*
## *Un moyen d'évaluer le retrait final*




- Pendant toute la phase 1 :
  - ⇨ le retrait génère des **autocontraintes** (cœur en compression, peau en traction)
  - ⇨ les tractions dépassent $2.10^{-4}$
  - ⇨ la peau est **toujours** fissurée

# *Le faïençage :*
## *Un moyen d'évaluer le retrait final*

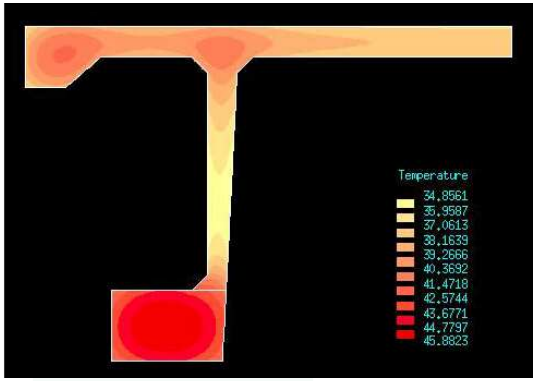



- Pendant toute la phase 1 :
  - ⇨ le retrait génère des **autocontraintes** (cœur en compression, peau en traction)
  - ⇨ les tractions dépassent $2.10^{-4}$
  - ⇨ la peau est **toujours** fissurée
  - ⇨ la **distance** entre fissures < e/4
  - ⇨ l'**ouverture** entre fissures est : $R_f \times e/4$

| Epaisseur du voile | Maille du faïençage | Avec un retrait de $500.10^{-6}$ | Avec un retrait de $1000.10^{-6}$ |
|---|---|---|---|
| en cm | en cm | en µm | en µm |
| 20 | 3 | *15* | *30* |
| 40 | 6 | *30* | 60 |
| 100 | 15 | 75 | 150 |
| 200 | 30 | 150 | **300** |

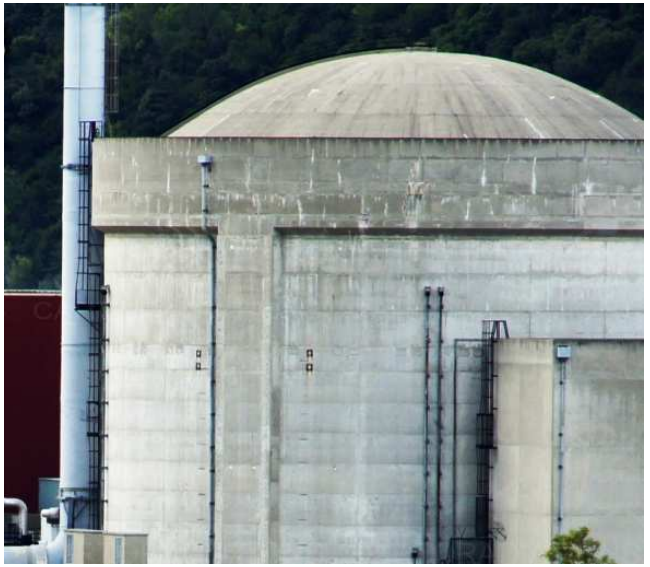
## Ok, on sait à peu près tout sur la plaque isostatique …

***mais comment traiter les géométries moins simples ?!?***

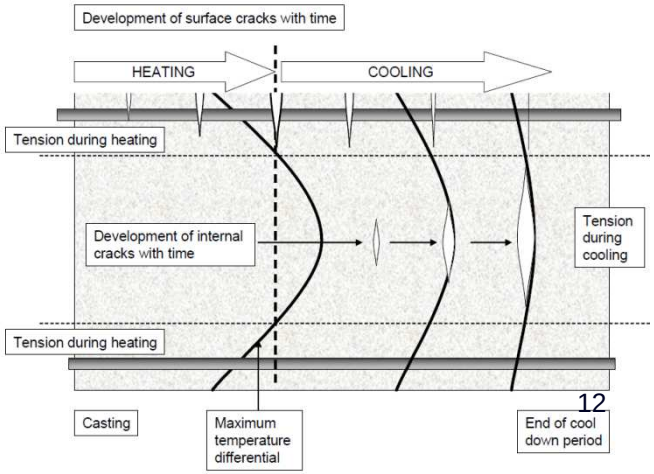



**La poutre à talon ?**

**Les dallages et radiers ?**



**Les réservoirs ?**

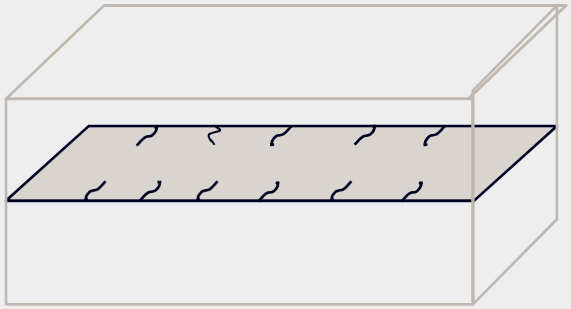


# La fissuration des bétons : une large palette de configurations !

- **Dallages, chaussées, murs, réservoirs, ...**
- **La peau du béton non immergé est toujours fissurée** (le seuil de résolution de l'œil humain est de l'ordre de 30 microns)**.**
- **A retrait égal, l'ouverture des fissures est inversement proportionnelle à l'espace entre fissures** (distance moyenne entre deux fissures successives)
- **Le ferraillage ne peut pas lutter contre le retrait !**

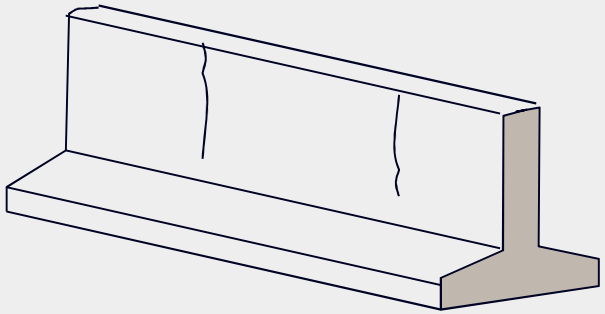
# Distance entre deux fissures : une grandeur très variable !

**Faïençage : d ≅ 0,3 x ép**

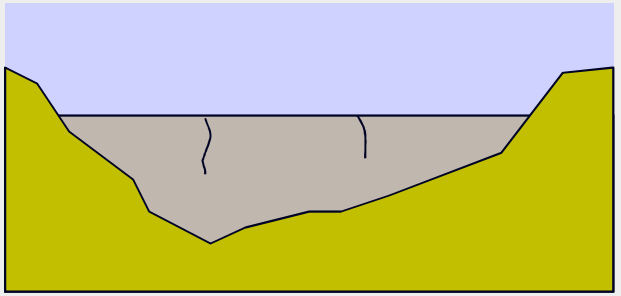


**1 à 10 cm**

**Mur, barrages : d ≅ 1,5 x h**

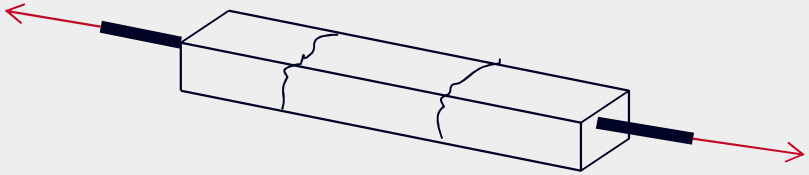


**1 à 10 m**



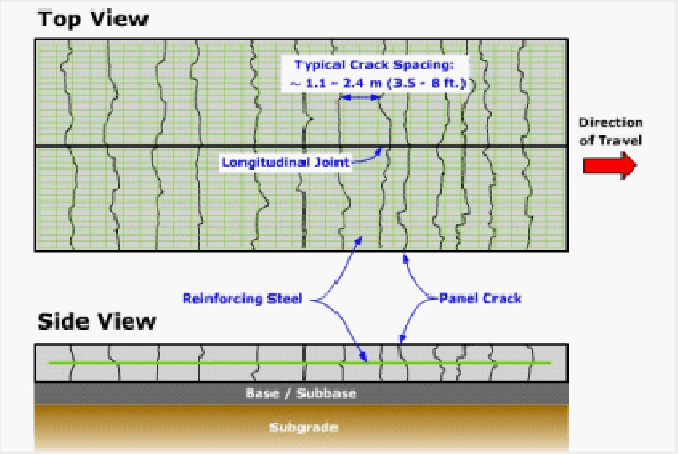
**10 à 90 m**

**Tirant BA en traction : 1,6 x $L_{anc}$**



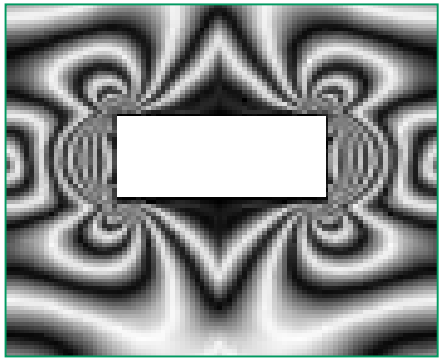
**d = 10 à 50 cm**

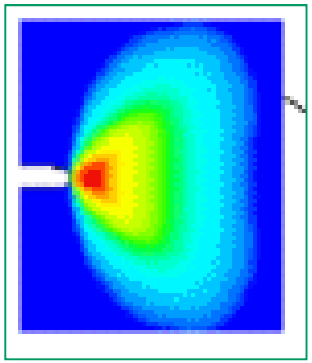
**Route en béton : 2 x $L_{fr}$**

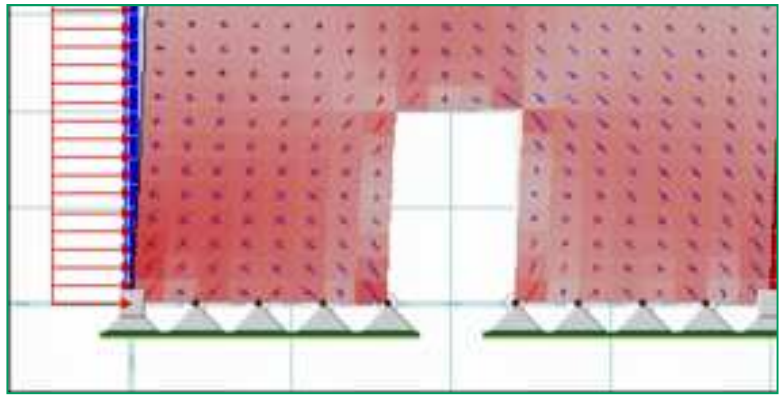


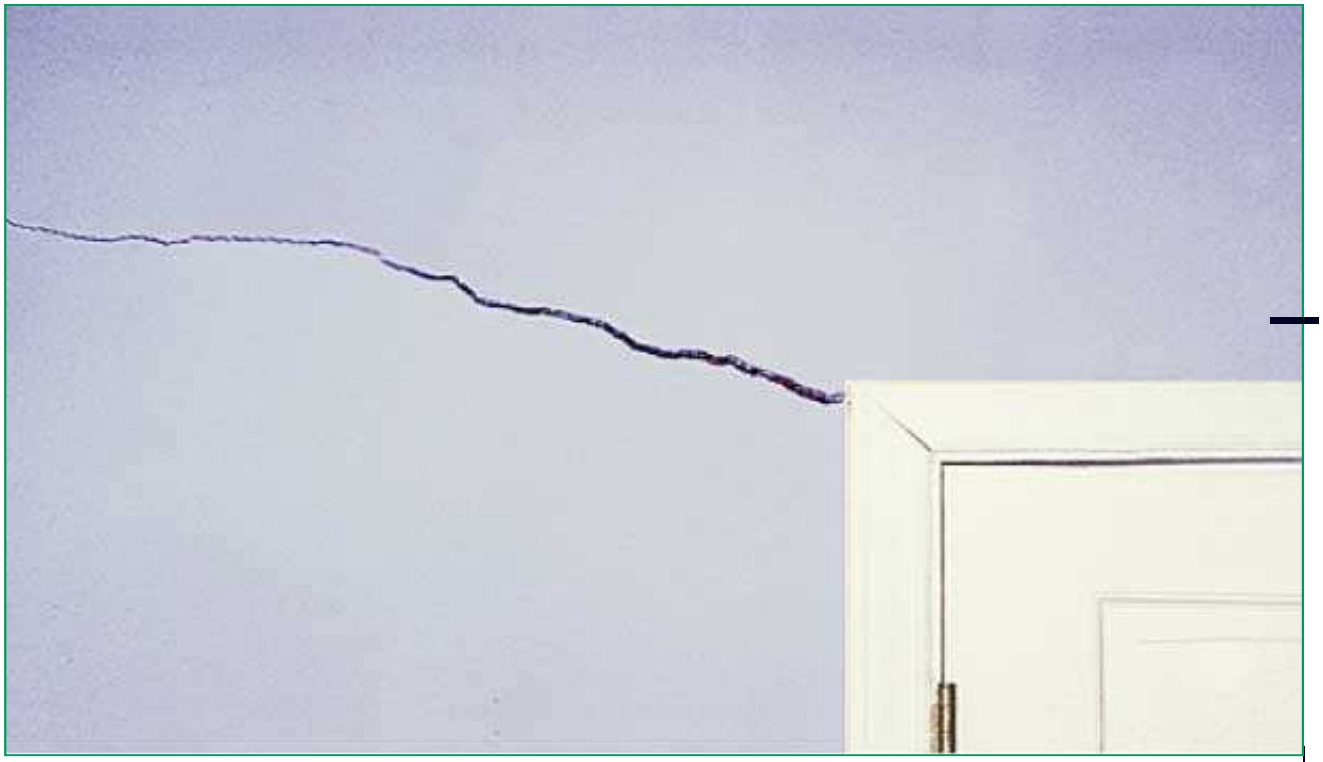

**d = 1 à 60 m**

# A tout angle rentrant : concentration de contrainte !

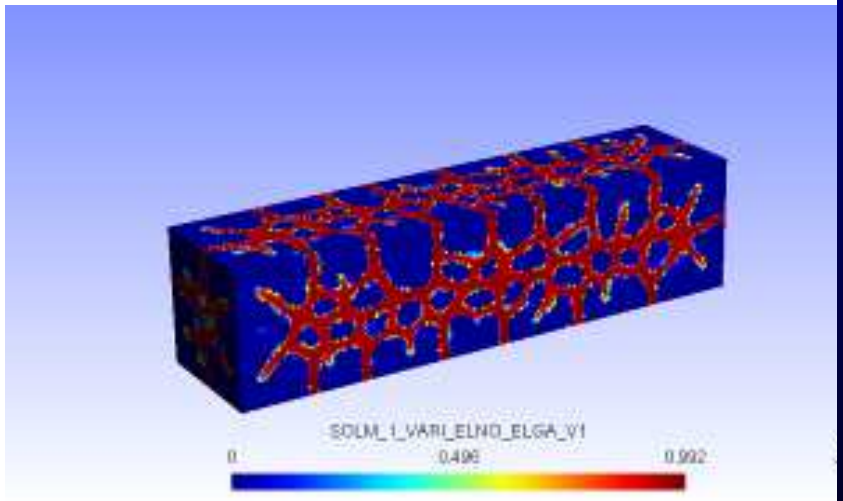




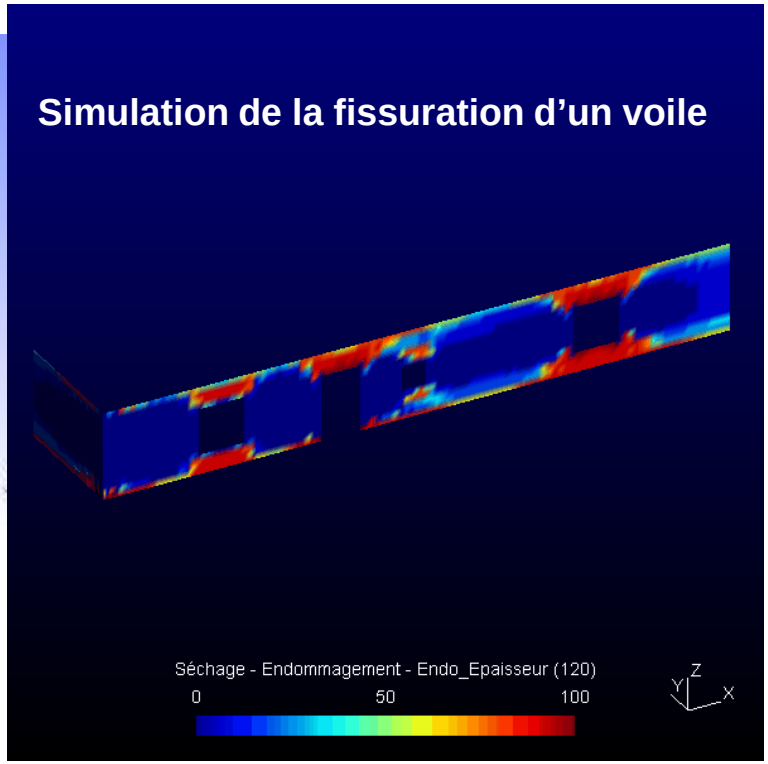


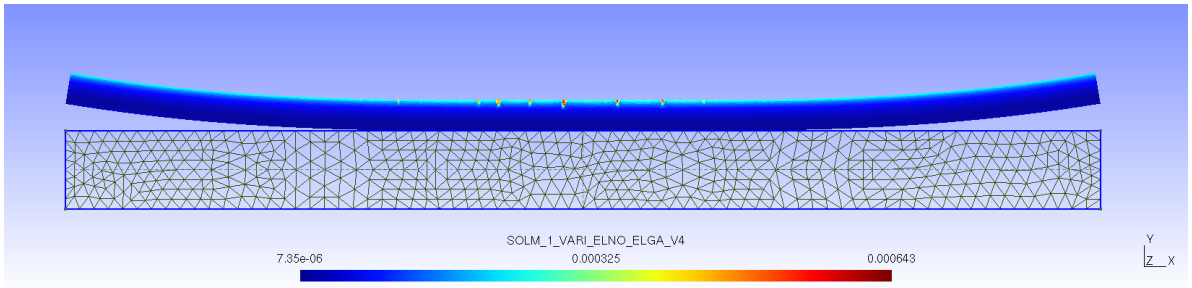


# La fissuration due aux retraits




**Calcul de la fissuration due au retrait de séchage**




**Calcul du tuilage d'un dallage ou d'une chape**

# *Conclusions*

Les effets mécaniques des retraits, thermiques et hydriques, sont difficiles à calculer « à la main », pour plusieurs raisons :

- parce que les champs de contraintes sont fortement non linéaires (non plans),
- ce sont « des déformations imposées », pas des forces appliquées,
- dont la résultante sollicite les conditions d'appui de manière différente,
- les champs ont très vite des configurations complexes.

On dispose aujourd'hui de tous les outils et données pour localiser les fissures et évaluer l'ordre de grandeur de leurs ouvertures.

Il faudrait capitaliser ce savoir faire (*club d'utilisateur ?*) et bâtir une base de données (paramètres clés et cas *types* ?).