Organisme(s) : EDF-R&D/AMA

**Manuel de Référence**
**Fascicule R7.01 : Modélisations pour le Génie Civil et les géomatériaux**
**Document R7.01.05**

# Relation de comportement de Bazant pour le fluage de dessiccation intrinsèque du béton

**Résumé :**

Contrairement au fluage propre qui est la part du fluage mesuré sur une éprouvette protégée contre la dessiccation externe, le fluage de dessiccation est calculé sur une éprouvette chargée mécaniquement et soumise au séchage simultanément.
Ce document présente le modèle de fluage de dessiccation intrinsèque de Bazant (1985). On y détaille également l'écriture et le traitement numérique du modèle.

# Table des matières

# 1 Introduction

On rappelle les déformations différées d'une structure en béton pour situer la part de la déformation calculée dans ce document :

- au jeune âge :
  - le retrait endogène (1j - 1 an),
  - le retrait thermique (1h – 1j).

  provoquées par une réaction de thermo-hydratation

- à moyen terme sans charge : le retrait de dessiccation (qq m – qq an) selon les dimensions de la structure provoqué par le séchage qui se traduit par une évaporation d'une partie de l'eau non utilisée dans le processus d'hydratation.

- à long terme sous charge **:**
  - le fluage propre (sans échange d'humidité avec l'extérieur donc sans séchage),
  - le fluage de dessiccation (avec séchage qui affecte le comportement du béton à l'échelle microscopique, ce qui se traduit l'échelle macroscopique par fluage de dessiccation).

Les déformations différées constituent une part importante des déformations qui apparaissent dans le béton au cours de sa vie. Parmi ses déformations différées, les retraits endogène et thermique à court terme, le retrait de dessiccation provoqué par le séchage à moyen terme. On cite aussi les déformations différées sous charge à long terme comme le fluage propre et le fluage de dessiccation.

Le modèle présenté ici concerne la modélisation de la déformation différée associée au fluage de dessiccation intrinsèque. Le fluage de dessiccation en complément au fluage propre est la part du fluage total directement liée au départ d'eau affectant le béton qui subit un chargement mécanique d'une part et le séchage d'autre part. En d'autres termes, la déformation qu'on mesure dans une éprouvette qui sèche est directement liée au séchage sous contraintes qui porte le non de fluage de dessiccation.

Le modèle proposé ici est celui de Bazant (1985) et adopté par L. Granger dans sa thèse (1995). C'est une loi de type viscoélastique linéaire qui tient en compte de l'effet de la variation de l'hygrométrie. On présente les détails de l'intégration numérique de cette loi dans le *Code_Aster*.

Dans le *Code_Aster*, ce modèle est utilisé sous le nom de BAZANT_FD.

# 2 Partition des déformation

En petites déformations, l'incrément de la déformation totale est décomposé en plusieurs termes relatifs aux mécanismes considérés. Si on tient compte dans la partition des incréments de déformations, thermique, associées au retrait thermique, endogène et au retrait de dessiccation, alors :

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon^{e} + \Delta\varepsilon^{th} + \Delta\varepsilon^{re}_{end} + \Delta\varepsilon^{re}_{dess} + \Delta\varepsilon^{fl} \qquad \textbf{éq 2-1}$$

L'incrément de la déformation de fluage $\Delta\varepsilon^{fl}$ se décompose en deux composantes, correspondantes au fluage propre et au fluage de dessiccation :

$$\Delta\varepsilon^{fl} = \Delta\varepsilon^{fl}_{pr} + \Delta\varepsilon^{fl}_{dess} \qquad \textbf{éq 2-2}$$

Le fluage de dessiccation $\Delta\varepsilon^{fl}_{dess}$ quant à lui, se décompose en deux partie intrinsèque et structurale :

$$\Delta\varepsilon^{fl}_{dess} = \Delta\varepsilon^{fl}_{dess\_\mathrm{int}} + \Delta\varepsilon^{fl}_{dess\_struc}$$

Il est convenu que la déformation structurale n'est pas une composante de déformation en soi, donc dans ce document la seule composante du fluage de dessiccation concerne la partie intrinsèque :

$$\Delta\varepsilon^{fl}_{dess} = \Delta\varepsilon^{fl}_{dess\_\mathrm{int}} \qquad \textbf{éq 2-3}$$

avec :

$\varepsilon^{e} = H\sigma$

$\varepsilon^{th} = \alpha\left(T - T_{ref}\right)I$

$\varepsilon^{re}_{end} = -\beta\xi I$ $\xi$ : hydratation

$\varepsilon^{re}_{dess} = -\kappa C I$ $C$ : concentration en eau

$H, \alpha, \beta, \kappa$ : matrice élastique, dilatation thermique, coefficients liés aux retraits endogène et au retrait de dessiccation sont des données matériau.

Ici, on veut modéliser $\Delta\varepsilon^{fl}_{dess}$.

**Remarque :**

*Cette partition des déformations est purement numériques. Pour le calcul de chacune de ces composantes, les expérimentateurs considèrent une combinaison différente des composantes de déformation (Voir [bib1] et [bib2]).*

# 3 Loi constitutive

Bazant et al (1985) suggèrent que le séchage et l'application d'un chargement en compression simultanément sont responsables de la micro-diffusion des molécules entre les macro-pores et les micro-pores. La micro-diffusion des molécules d'eau favoriserait la rupture des liaisons entre les particules de gel induisant la déformation de fluage de dessiccation. C'est un des phénomènes physico-chimiques les plus compliqués à modéliser résultant d'un couplage entre la contrainte, le fluage propre et le séchage. Ils proposent l'équation suivante pour prendre en compte **le fluage de dessiccation intrinsèque** au niveau élémentaire :

$$\dot{\varepsilon}_{dess}^{fl} = \lambda\left|\dot{h}\right|\sigma \qquad \textbf{éq 3-1}$$

avec :

$\varepsilon_{dess}^{fl}$, la déformation du fluage intrinsèque qui évolue dans le temps,

$\lambda$, un paramètre matériau $\left[Pa^{-1}\right]$,

$h$, l'humidité relative qui évolue dans le temps, donnée du problème d'évolution.

Cette expression est similaire au modèle rhéologique de l'amortisseur :

$$\eta\dot{\varepsilon}_{dess}^{fl} = \sigma \qquad \textbf{éq 3-2}$$

**Remarque :**

*Par souci d'allègement de notations, on utilise $\varepsilon^{fl}$ pour remplacer $\varepsilon_{dess}^{fl}$ dans la suite du document.*

# 4 Discrétisation

L'évolution de l'humidité relative est approchée par une fonction affine par morceaux (Benboudjema et al , 2001d). Cette discrétisation d'après (Bazant, 1982) permet d'augmenter la précision des calculs numériques de façon non négligeable par rapport à une approximation par palier (fonction Heaviside) surtout dans le cas où la taille du pas de temps est importante :

$$h(t) = h_n + \frac{(t-t_n)}{\Delta t_n}\left|\Delta h_n\right| \quad \text{avec} \quad \begin{cases} t \in \left[t_n, t_{n+1}\right] \\ \Delta h_n = h_{n+1} - h_n \end{cases} \qquad \textbf{éq 4-1}$$

d'après l'équation [éq 3-1], on peut écrire :

$$\varepsilon_{n+1}^{fl} = \varepsilon_n^{fl} + \lambda\left|h_{n+1} - h_n\right|.\sigma(t_n + \theta\Delta t) \quad \text{avec} \quad \theta \in [0,1] \qquad \textbf{éq 4-2}$$

Pour $\theta = 1/2$ , schéma semi-implicite qui permet d'avoir une meilleure convergence quadratique de la solution, on obtient :

$$\varepsilon_{n+1}^{fl} = \varepsilon_n^{fl} + \lambda\left|h_{n+1} - h_n\right|.\left(\sigma_n + \frac{\Delta\sigma}{2}\right) \quad \text{ou} \quad \varepsilon_{n+1}^{fl} = \varepsilon_n^{fl} + \lambda\left|h_{n+1} - h_n\right|.\frac{(\sigma_n + \sigma_{n+1})}{2} \qquad \textbf{éq 4-3}$$

# 5 Intégration de la loi de comportement

Comme dans ce document on s'intéresse à l'intégration du fluage de dessiccation intrinsèque, on va considérer pour le fluage la seule composante $\Delta\varepsilon^{fl}_{dess\_\mathrm{int}}$ mais pour simplifier l'écriture on va l'appeler $\Delta\varepsilon^{fl}$. On pose de même :

$$\Delta\varepsilon^{A} = \Delta\varepsilon^{th} + \Delta\varepsilon^{re}_{end} + \Delta\varepsilon^{re}_{dess} \qquad \textbf{éq 5-1}$$

En employant les notations suivantes : $A^{-}, A, \Delta A$ pour la quantité $A$ évaluée à l'instant connu $t_n$, à l'instant $t_{n+1}$ et son incrément $\Delta t$, respectivement.

Il s'agit d'exprimer la contrainte au temps + en fonction de la contrainte au temps – et de l'incrément de déformation au temps -. On cherche d'abord l'expression de la composante déviatorique et ensuite l'expression de la composante hydrostatique de la contrainte.

### 5.1.1 Partie déviatorique

On cherche une relation entre la contrainte déviatorique $\tilde{\sigma}$ et la variation de la déformation déviatorique $\Delta\tilde{\varepsilon}$ au temps + :

La contrainte au temps + s'écrit :

$$\tilde{\sigma} = 2\mu\tilde{\varepsilon}^{e} = \frac{2\mu}{2\mu^{-}}\tilde{\sigma}^{-} + 2\mu\Delta\tilde{\varepsilon}^{e} \qquad \textbf{éq 5.1.1-1}$$

La prédiction élastique de la contrainte déviatorique s'écrit :

$$\tilde{\sigma}^{e} = \frac{2\mu}{2\mu^{-}}\tilde{\sigma}^{-} + 2\mu\Delta\tilde{\varepsilon} \qquad \textbf{éq 5.1.1-2}$$

Comme la composante $\Delta\varepsilon^{A}$ ne possède pas de partie déviatorique, on peut écrire :

$$\tilde{\sigma} = \frac{2\mu}{2\mu^{-}}\tilde{\sigma}^{-} + 2\mu\Delta\tilde{\varepsilon} - 2\mu\Delta\tilde{\varepsilon}^{fl} \qquad \textbf{éq 5.1.1-3}$$

En utilisant [éq 4-3], on obtient :

$$\tilde{\sigma} = \underbrace{\frac{2\mu}{2\mu^{-}}\tilde{\sigma}^{-} + 2\mu\Delta\tilde{\varepsilon}}_{\tilde{\sigma}^{e}} - 2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\tilde{\sigma}^{-} - 2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\tilde{\sigma} \qquad \textbf{éq 5.1.1-4}$$

d'où,

$$\tilde{\sigma}=\frac{\frac{2\mu}{2\mu^-}\tilde{\sigma}^- +2\mu\Delta\tilde{\varepsilon}-2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\tilde{\sigma}^-}{\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)}=\frac{\tilde{\sigma}^e-2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\tilde{\sigma}^-}{\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} \quad \textbf{éq 5.1.1-5}$$

### 5.1.2 Partie hydrostatique

On cherche une relation entre $tr(\sigma)$ et $tr(\Delta\varepsilon)$ au temps + :

La contrainte au temps + s'écrit :

$$tr(\sigma)=3Ktr\left(\varepsilon^e\right)=\frac{3K}{3K^-}tr\left(\sigma^-\right)+3Ktr\left(\Delta\varepsilon^e\right) \quad \textbf{éq 5.1.2-1}$$

La prédiction élastique de la contrainte hydrostatique est :

$$tr\left(\sigma^e\right)=\frac{3K}{3K^-}tr\left(\sigma^-\right)+3Ktr(\Delta\varepsilon) \quad \textbf{éq 5.1.2-2}$$

d'où,

$$tr(\sigma)=3Ktr\left(\varepsilon^e\right)=\frac{3K}{3K^-}tr\left(\sigma^-\right)+3Ktr(\Delta\varepsilon)-3Ktr\left(\Delta\varepsilon^{fl}\right)-3Ktr\left(\Delta\varepsilon^{A}\right) \quad \textbf{éq 5.1.2-3}$$

D'après [éq 4-3], on peut exprimer la partie hydrostatique de $\Delta\varepsilon^{fl}$ :

$$tr(\sigma)=\frac{3K}{3K^-}tr\left(\sigma^-\right)+3Ktr(\Delta\varepsilon)-3Ktr\left(\Delta\varepsilon^{A}\right)-3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}tr\left(\sigma^-\right)-3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}tr(\sigma) \quad \textbf{éq 5.1.2-4}$$

d'où,

$$tr(\sigma)=\frac{\frac{3K}{3K^-}tr\left(\sigma^-\right)+3Ktr(\Delta\varepsilon)-3Ktr\left(\Delta\varepsilon^{A}\right)-3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}tr\left(\sigma^-\right)}{\left(1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)}=\frac{tr\left(\sigma^e\right)-3Ktr\left(\Delta\varepsilon^{A}\right)-3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}tr\left(\sigma^-\right)}{\left(1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} \quad \textbf{éq 5.1.2-5}$$

On en déduit ainsi la contrainte totale en combinant les deux composantes déviatorique et hydrostatique au temps + :

$$\sigma=\tilde{\sigma}_{ij}+\frac{tr(\sigma)}{3}\delta_{ij} \quad \textbf{éq 5.1.2-6}$$

# 6 Matrice tangente

## 6.1 Phase de prédiction

L'option utilisée est RIGI_MECA_TANG, l'opérateur tangent calculé en chaque point de Gauss est dit en vitesse :

$$\dot{\sigma}_{ij} = D_{ijkl}\dot{\varepsilon}_{kl},$$

dans ce cas, $D_{ijkl}$ est un opérateur viscoélastique calculé à partir des équations non discrétisées.

## 6.2 Réactualisation de la matrice tangente

L'option utilisée est FULL_MECA, quand on réactualise la matrice tangente à chaque itération en mettant à jour les contraintes et variables internes :

$$d\sigma_{ij} = A_{ijkl}d\varepsilon_{kl},$$

dans ce cas, $A_{ijkl}$ est un opérateur viscoélastique calculé à partir des équations discrétisées implicitement.

$$\frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon} = \frac{\partial\tilde{\sigma}}{\partial\varepsilon} + \frac{1}{3}\frac{\partial tr(\sigma)}{\partial\varepsilon} I^{d} \qquad \textbf{éq 6.2-1}$$

$$\frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon} = \frac{\partial\tilde{\sigma}}{\partial\tilde{\varepsilon}}\frac{\partial\tilde{\varepsilon}}{\partial\varepsilon} + \frac{1}{3}\frac{\partial tr(\sigma)}{\partial tr(\varepsilon)}\frac{\partial tr(\varepsilon)}{\partial\varepsilon} I^{d} \qquad \textbf{éq 6.2-2}$$

$$\frac{\partial\tilde{\varepsilon}_{ij}}{\partial\varepsilon_{kl}} = \frac{\partial\varepsilon_{ij}}{\partial\varepsilon_{kl}} - \frac{1}{3}\frac{\partial tr(\varepsilon_{ij})}{\partial\varepsilon_{kl}} = \delta_{ik}\delta_{jl} - \frac{1}{3}\delta_{ij}\delta_{kl}$$

$$\frac{\partial tr(\varepsilon_{ij})}{\partial\varepsilon_{kl}} = \delta_{ij}\delta_{kl}$$

D'après [éq 5.1.1-5] :

$$\frac{\partial\tilde{\sigma}}{\partial\tilde{\varepsilon}}\left[1 + 2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right] = 2\mu \qquad \textbf{éq 6.2-3}$$

D'après [éq 5.1.2-5] :

$$\frac{\partial tr(\sigma)}{\partial tr(\varepsilon)}\left[1 + 3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right] = 3K \qquad \textbf{éq 6.2-4}$$

Ecriture en vitesse :

$$\frac{\partial\tilde{\sigma}}{\partial t}\left[1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right]=2\mu.\frac{\partial\tilde{\varepsilon}}{\partial t} \qquad \textbf{éq 6.2-5}$$

$$\frac{\partial tr(\sigma)}{\partial t}\left[1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right]=3K.\frac{\partial tr(\varepsilon)}{\partial t} \qquad \textbf{éq 6.2-6}$$

Ainsi en revenant à [éq 6.2-2], on peut déduire l'écriture en vitesse :

$$\frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon}=\frac{2\mu}{\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)}\left(I_4^d-\frac{1}{3}I^d\otimes I^d\right)+\frac{1}{3}\frac{3K}{\left(1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)}\left(I^d\otimes I^d\right) \qquad \textbf{éq 6.2-7}$$

Linéarisation :

$$\Delta\tilde{\sigma}\left[1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right]=2\mu.\Delta\tilde{\varepsilon} \qquad \textbf{éq 6.2-8}$$

$$\Delta tr(\sigma)\left[1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right]=3K.\Delta tr(\varepsilon) \qquad \textbf{éq 6.2-9}$$

Comme $\Delta h$ est indépendante de la contrainte, c'est la même écriture qu'on retrouve après linéarisation d'où l'expression de la matrice tangente :

$$\begin{Bmatrix}\Delta\sigma_{11}\\ \Delta\sigma_{22}\\ \Delta\sigma_{33}\\ \sqrt{2}\sigma_{12}\\ \sqrt{2}\sigma_{23}\\ \sqrt{2}\sigma_{31}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}
\frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}+\frac{4\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & \frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}-\frac{2\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & \frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}-\frac{2\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & 0 & 0 & 0\\
\frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}-\frac{2\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & \frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}+\frac{4\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & \frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}-\frac{2\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & 0 & 0 & 0\\
\frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}-\frac{2\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & \frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}-\frac{2\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & \frac{K}{1+3K\lambda\frac{|\Delta h|}{2}}+\frac{4\mu}{3\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & \frac{2\mu}{\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2\mu}{\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)} & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2\mu}{\left(1+2\mu\lambda\frac{|\Delta h|}{2}\right)}
\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\Delta\varepsilon_{11}\\ \Delta\varepsilon_{22}\\ \Delta\varepsilon_{33}\\ \sqrt{2}\varepsilon_{12}\\ \sqrt{2}\varepsilon_{23}\\ \sqrt{2}\varepsilon_{31}\end{Bmatrix}$$

Dans ce cas, l'opérateur tangent est le même pour `RIGI_MECA_TANG` et pour `FULL_MECA` : $A_{ijkl}=D_{ijkl}$. Il possède une écriture similaire à la matrice élastique avec des coefficients dépendants de $\Delta h$ et de $\lambda$.

## 6.3 Variables d'état

Les variables d'état sont :

- $\sigma$ : tenseur des contraintes,
- $\varepsilon$ : tenseur des déformations,
- $C$ : concentration en eau.

Les variables internes de cette loi de comportement est la valeur de l'hygrométrie à l'instant courant.

# 7 Mise en œuvre d'un calcul de fluage de dessiccation

D'une façon similaire au modèle de fluage propre de Granger, GRANGER_FP, implanté déjà dans le *Code_Aster*, cette loi constitutive dépend de $h$, l'humidité relative, qui évolue dans le temps.

1) Pour faire un calcul mécanique de fluage de dessiccation avec cette loi, il faut avoir de l'humidité relative. L'utilisateur peut se confronter à deux situations :

A- L'utilisateur connaît l'humidité $h$ ou la teneur en eau $C$ de la structure à différents instants, initial et final dans la majorité des cas.

Dans ce cas, il peut avec CREA_CHAM et le mot clé AFFE affecter le champ de température 'TEMP' à la structure. Il doit répéter la commande CREA_CHAM à chaque instant souhaité. Ensuite, avec la commande CREA_RESU, crée une structure de données résultat à partir des champs déjà définis aux instants correspondants.

B- L'utilisateur ne connaît pas la distribution du champ d'humidité de la structure.

Dans ce cas, il doit effectuer un calcul de séchage. Le champ de séchage est déterminé grâce à la commande THER_NON_LINE, mais qui est assimilée en terme de variable à une température (type TEMP)du champ NOEU_TEMP_R.

Une fois défini (A) ou calculé (B) un champ de température « assimilé à un champ de séchage », il faut commencer le calcul mécanique :

2) D'abord en créant le chargement correspondant sous AFFE_CHAR_MECA et le mot clé SECH_CALCULEE. Au niveau de STAT_NON_LINE, ce qu'on a mis dans SECH_CALCULEE est considéré désormais comme un champ de séchage avec la variable 'SECH'.

Or la loi est écrite en fonction de l'hygrométrie $h$ et non pas en fonction de la teneur en eau $C$, C'est de même le cas de la loi de fluage propre de Granger. On procède de la même manière, il faut :

3) Définir la courbe sorption-désorption qui permet le passage de la teneur en eau $C$ à l'hygrométrie $h$. Cette courbe doit être renseignée par l'utilisateur avec DEFI_FONCTION et NOM_PARA = SECH.

4) Définir sous DEFI_MATERIAU, le mot clé BAZANT_FD dans lequel il faut donner comme mots clés obligatoires : LAM_VISC qui est un paramètre matériau et FONC_DESORP qui est une fonction définie auparavant et qui relie $h$ l'hygrométrie à $C$ la teneur en eau.

5) Le calcul mécanique s'effectue grâce à la commande STAT_NON_LINE avec comme relation dans le mot clé COMP_INCR = _F(RELATION = 'BAZANT_FD').

Une des évolutions à prévoir est l'utilisation en RELATION_KIT des deux lois de fluage de Granger :
GRANGER_FP et BAZANT_FD.

# 8 Bibliographie


[1] L. GRANGER : Comportement différé du béton dans les enceintes de centrales nucléaires : analyse et modélisation. Thèse de Doctorat de l'ENPC (1995).

[2] F. BENBOUDJEMA, F. MEFTAH, J.M. TORRENTI, Y. LE-PAPE : Prise en compte des effets du séchage sur les déformations du béton non chargé et chargé. Note HS-DG/AA/NNN/A (2002).

[3] A. RAZAKANAIVO : Modélisation du comportement de Granger pour le fluage propre du béton. Doc [R7.01.01], *Code_Aster* (2001).

[4] G. DEBRUYNE, B. CIREE : Modélisation de la thermo-hydratation, du séchage et du retrait du béton. Doc [R7.01.12], *Code_Aster* (2001).

[5] J. EL GHARIB : Comparaison du traitement des déformations différées entre le modèle de Granger et le modèle LGCU. CR-AMA-02.125.

Page laissée intentionnellement blanche.