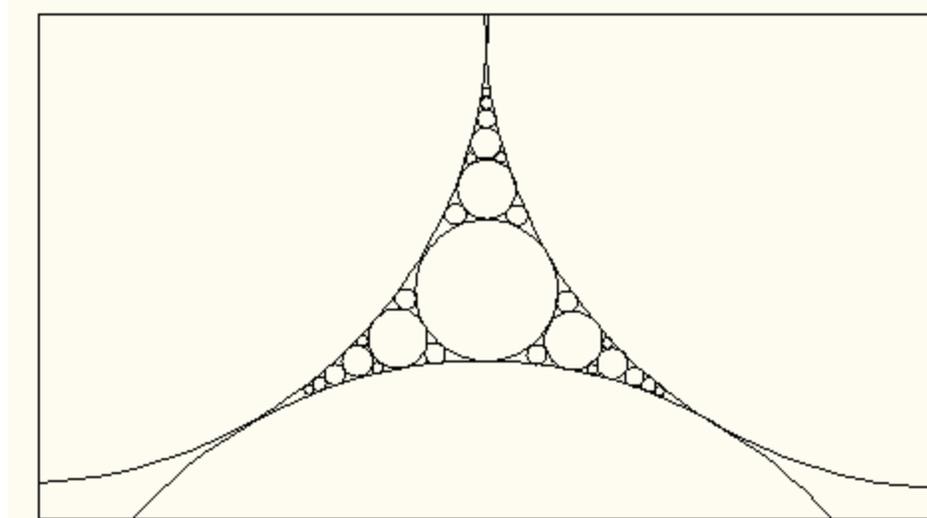


INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT



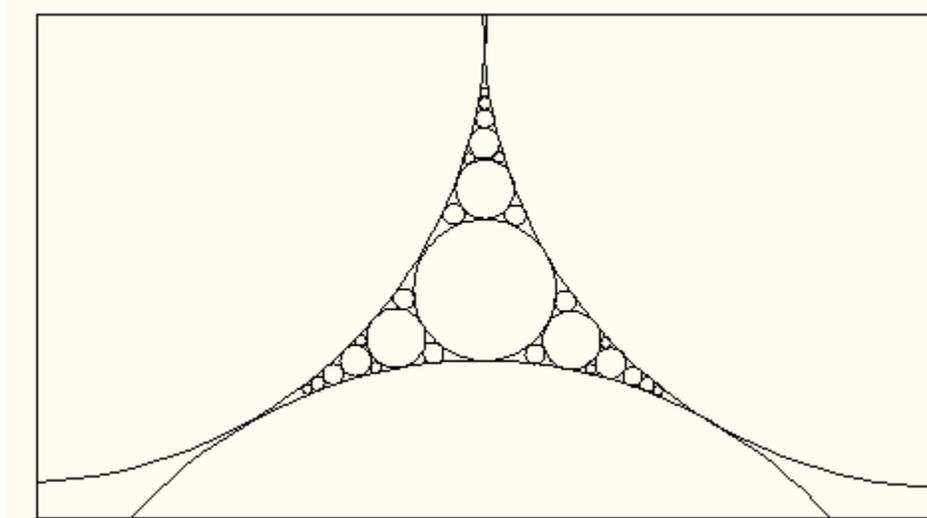
INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

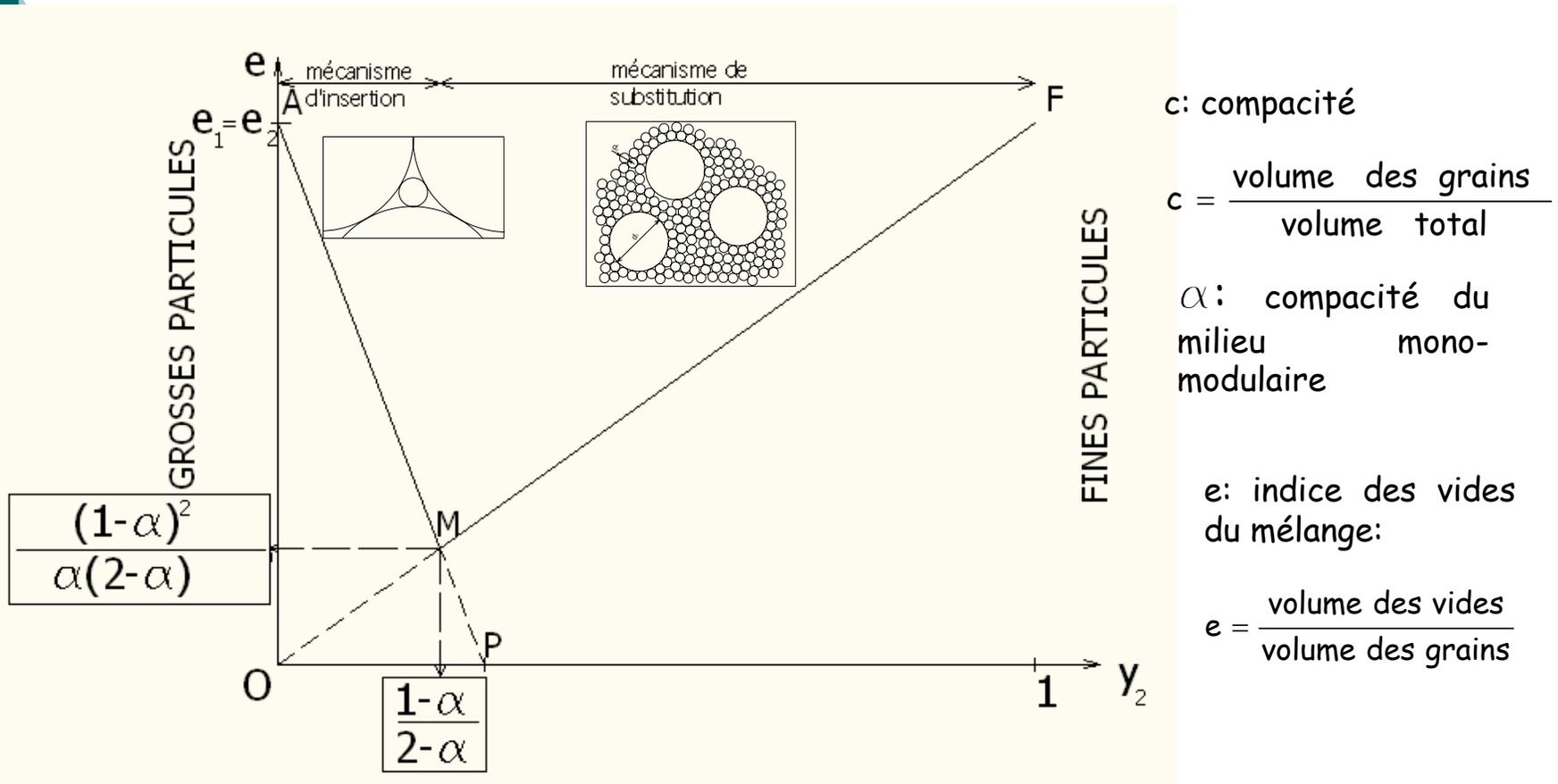
- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

1. Définition des effets de paroi et de desserrement.



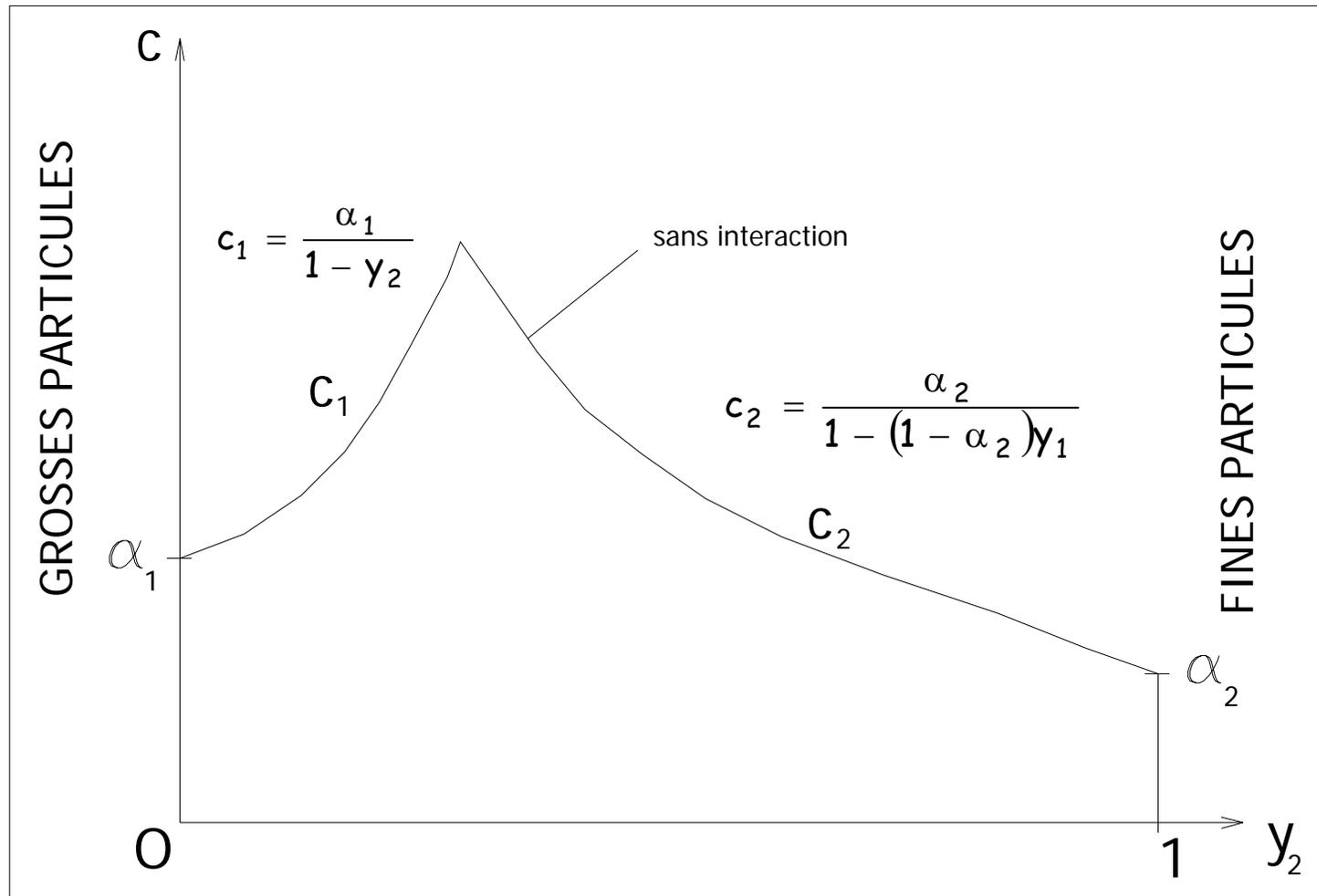
Modèle apollonien: pas d'interaction granulaire

1. Définition des effets de paroi et de desserrement.

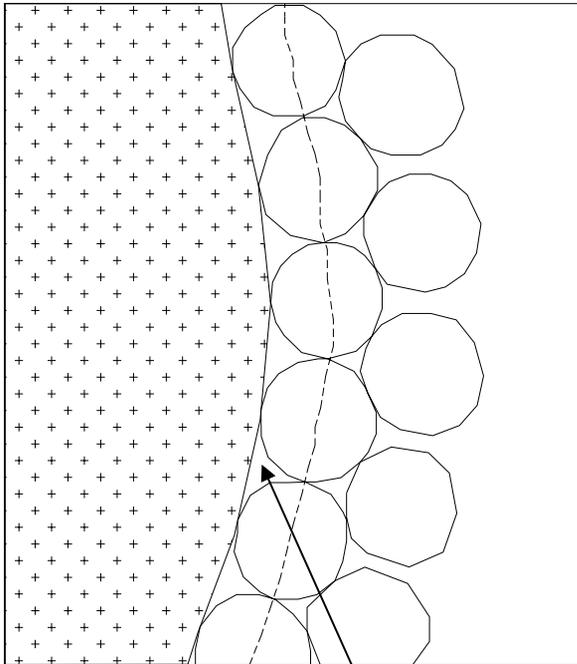


Evolution idéalisée de l'indice des vides dans un milieu bi-disperse en fonction du titre volumique des petites particules en l'absence d'interactions.

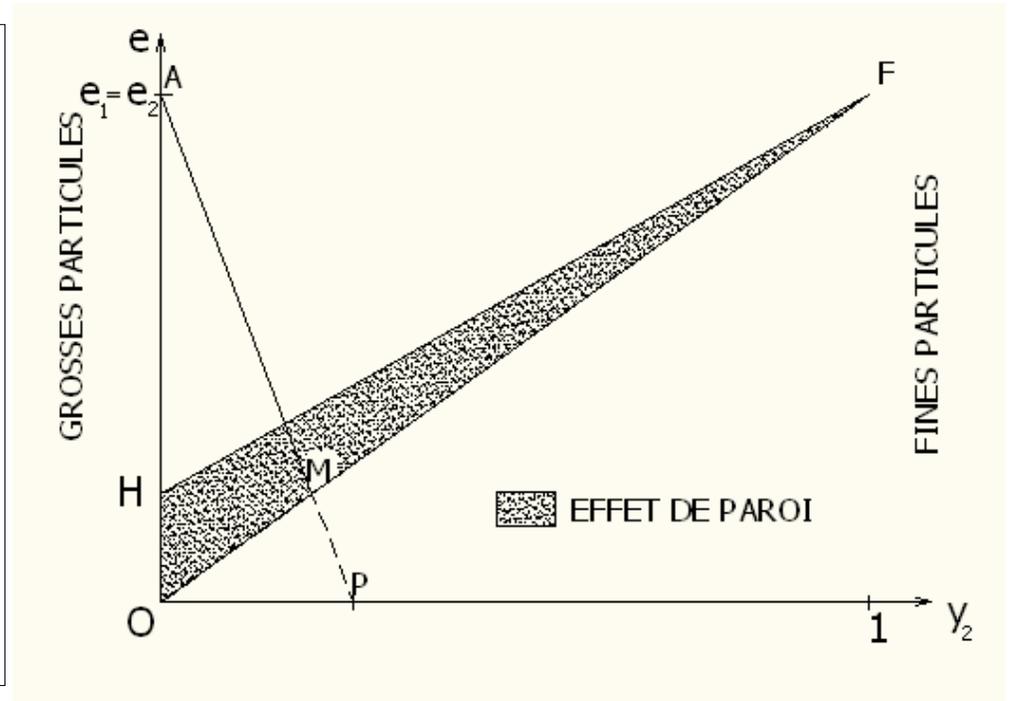
1. Définition des effets de paroi et de desserrement.



1. Définition des effets de paroi et de desserrement.



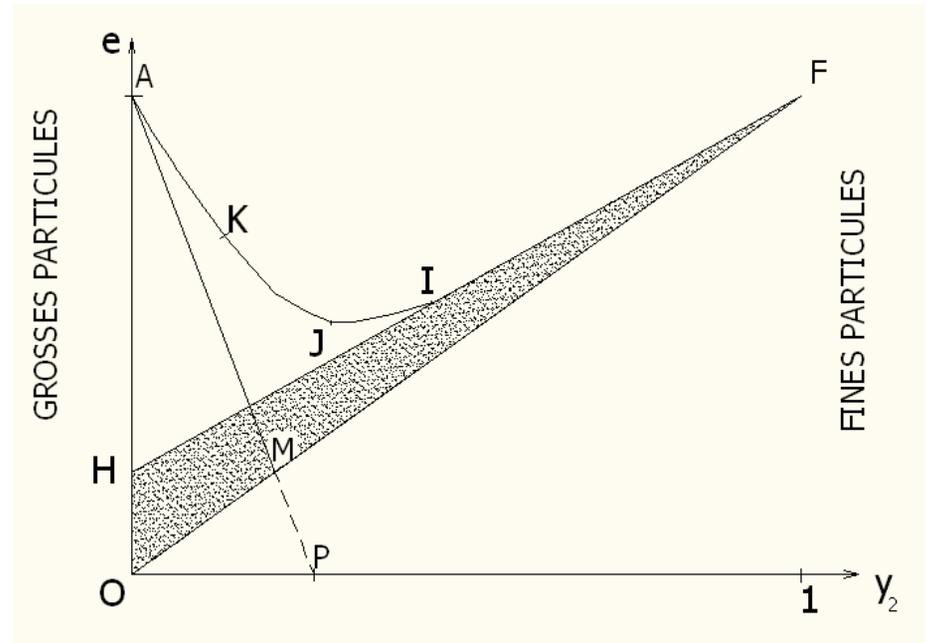
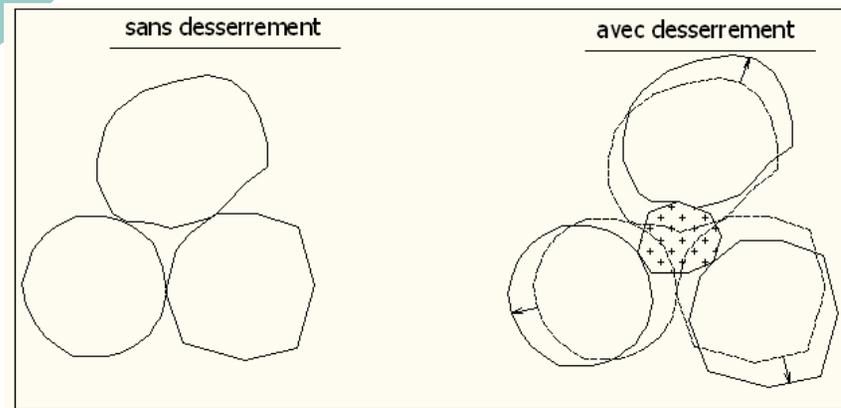
Effet de paroi



Influence de l'effet de paroi sur l'indice des vides.

1. Définition des effets de paroi et de desserrement.

Effet de desserrement



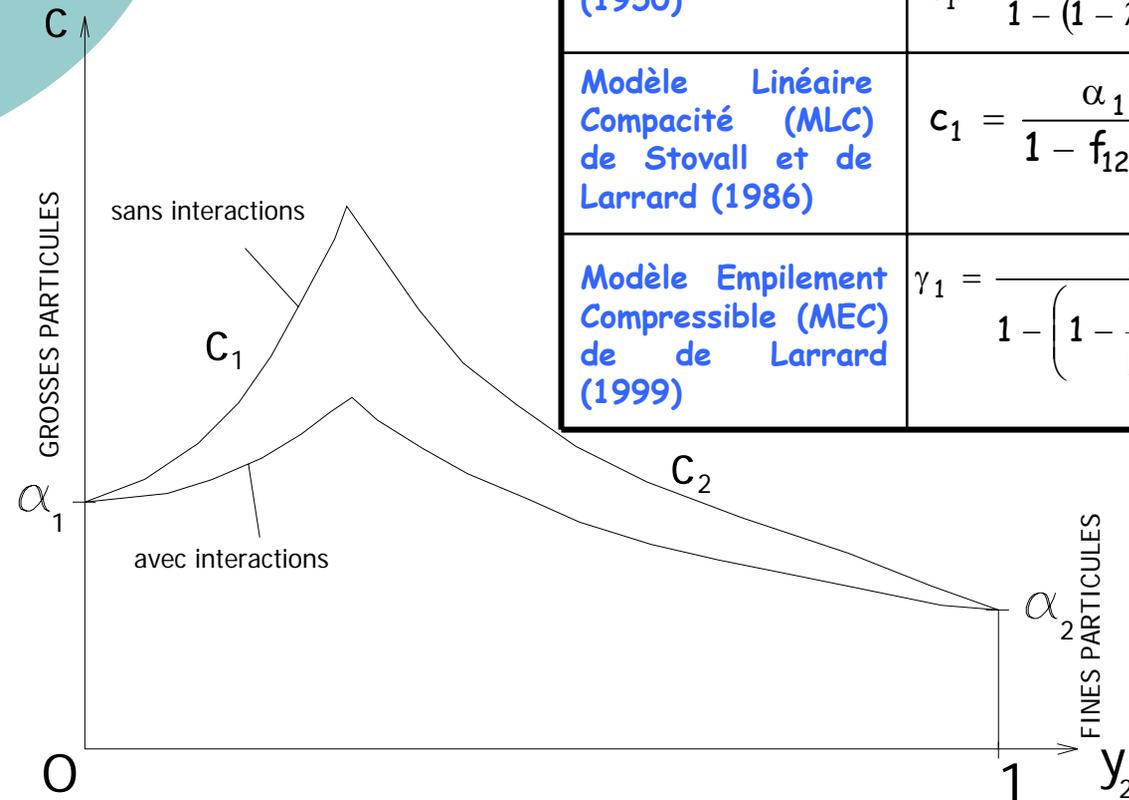
Influence de l'effet de desserrement sur l'indice des vides.

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement.

Modèle	gros dominants:	fins dominants:
Sans interactions	$c_1 = \frac{\alpha_1}{1 - \gamma_2}$	$c_2 = \frac{\alpha_2}{1 - (1 - \alpha_2)\gamma_1}$
Mooney (1950)	$c_1 = \frac{\alpha}{1 - (1 - \lambda_{12}\alpha)\gamma_2}$	$c_2 = \frac{\alpha}{1 - (1 - \lambda_{21}\alpha)\gamma_1}$
Modèle Linéaire Compacité (MLC) de Stovall et de Larrard (1986)	$c_1 = \frac{\alpha_1}{1 - f_{12}\gamma_2}$	$c_2 = \frac{\alpha_2}{1 - (1 - \alpha_2)g_{21}\gamma_1}$
Modèle Empilement Compressible (MEC) de de Larrard (1999)	$\gamma_1 = \frac{\beta_1}{1 - \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2} a_{12}\right)\gamma_2}$	$\gamma_2 = \frac{\beta_2}{1 - \left(1 - \beta_2 + b_{21}\beta_2\left(1 - \frac{1}{\beta_1}\right)\right)\gamma_1}$



Coefficient d'effet de desserrement

Coefficient d'effet de paroi

2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement.

Évolution du modèle d'empilement compressible (MEC) par rapport au modèle linéaire de compacité (MLC):

- possibilité de traiter le cas d'un mélange de matériaux de même taille mais de compacités mono-modulaires différentes;

- calcul de la compacité réelle à partir d'une compacité virtuelle obtenue en plaçant les grains un par un à leur emplacement idéal;

$$C \rightarrow \gamma$$

$$\alpha \rightarrow \beta$$

- passage du virtuel au réel par l'intermédiaire d'un indice de serrage K .

Le modèle d'empilement compressible (MEC) constitue donc une évolution du modèle linéaire de compacité (MLC) qui prend en compte la possibilité d'étudier un mélange de constituants de même taille mais de compacités propres différentes. Il fait appel à des compacités virtuelles et non réelles, le passage du virtuel au réel s'effectuant ensuite grâce à un indice de serrage qui n'est pas présenté ici.

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

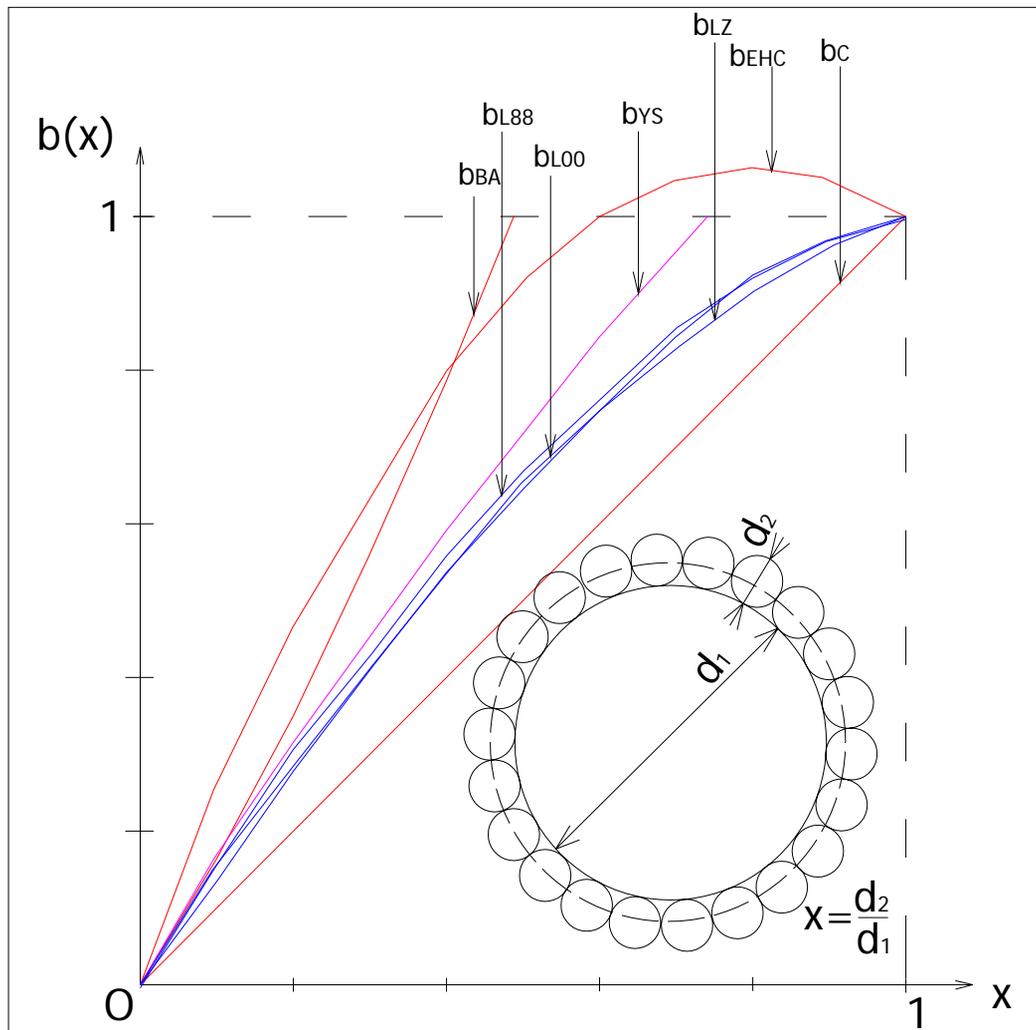
INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

3.1.1. Modèles existants pour l'effet de paroi.



Conditions à respecter:

$$b(0) = 0$$

$$b(1) = 1$$

Modèles théoriques

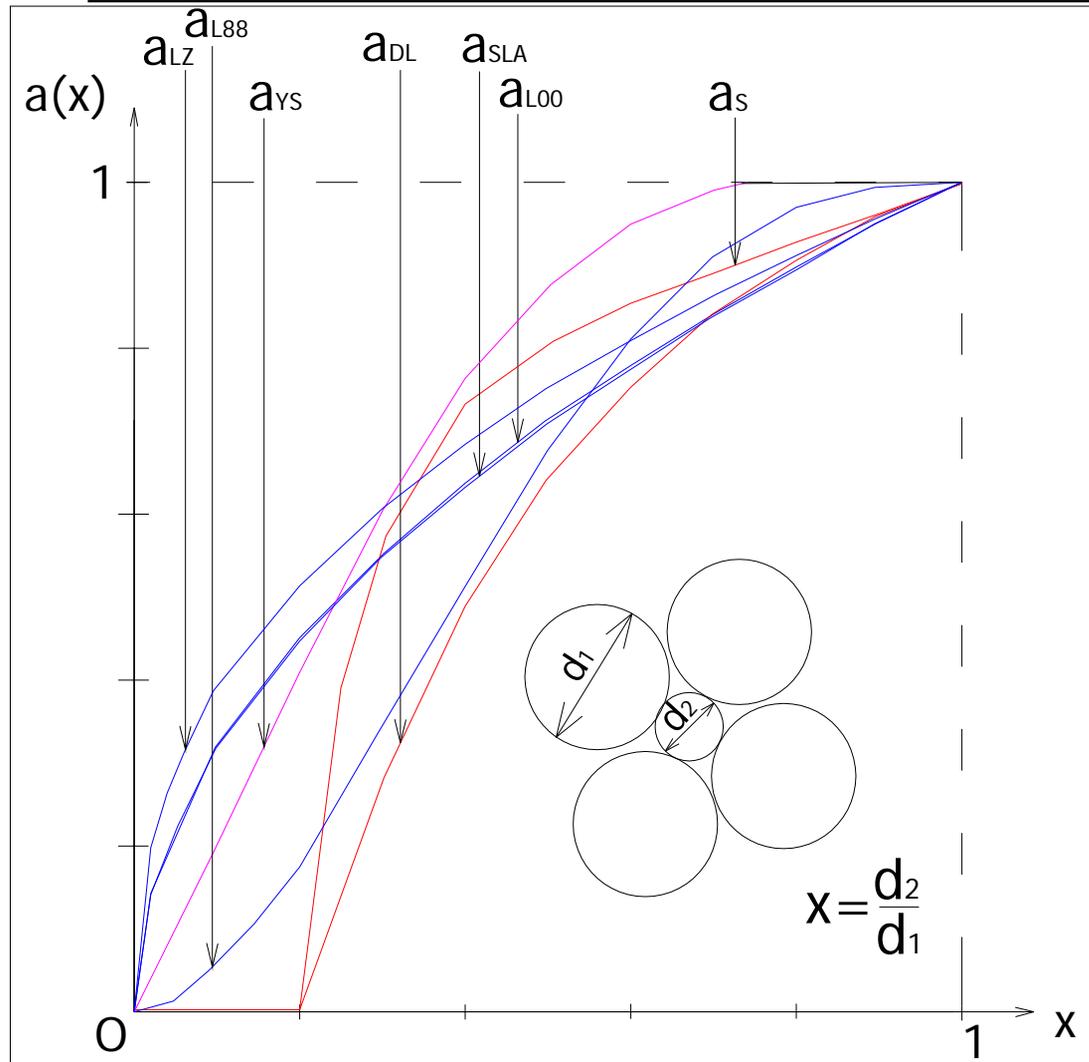
Modèle semi
empirique

Modèles empiriques

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

3.1.2. Modèles existants pour l'effet de desserrement.



Conditions à respecter:

$$a(0) = 0$$

$$a(1) = 1$$

Modèles théoriques

Modèle semi empirique

Modèles empiriques

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

Conclusion:

Dans le modèle d'empilement compressible, il n'existe aucune théorie aboutie concernant les coefficients d'interaction granulaire liés à l'effet de paroi et à l'effet de desserrement. Comment combler ce chaînon manquant?

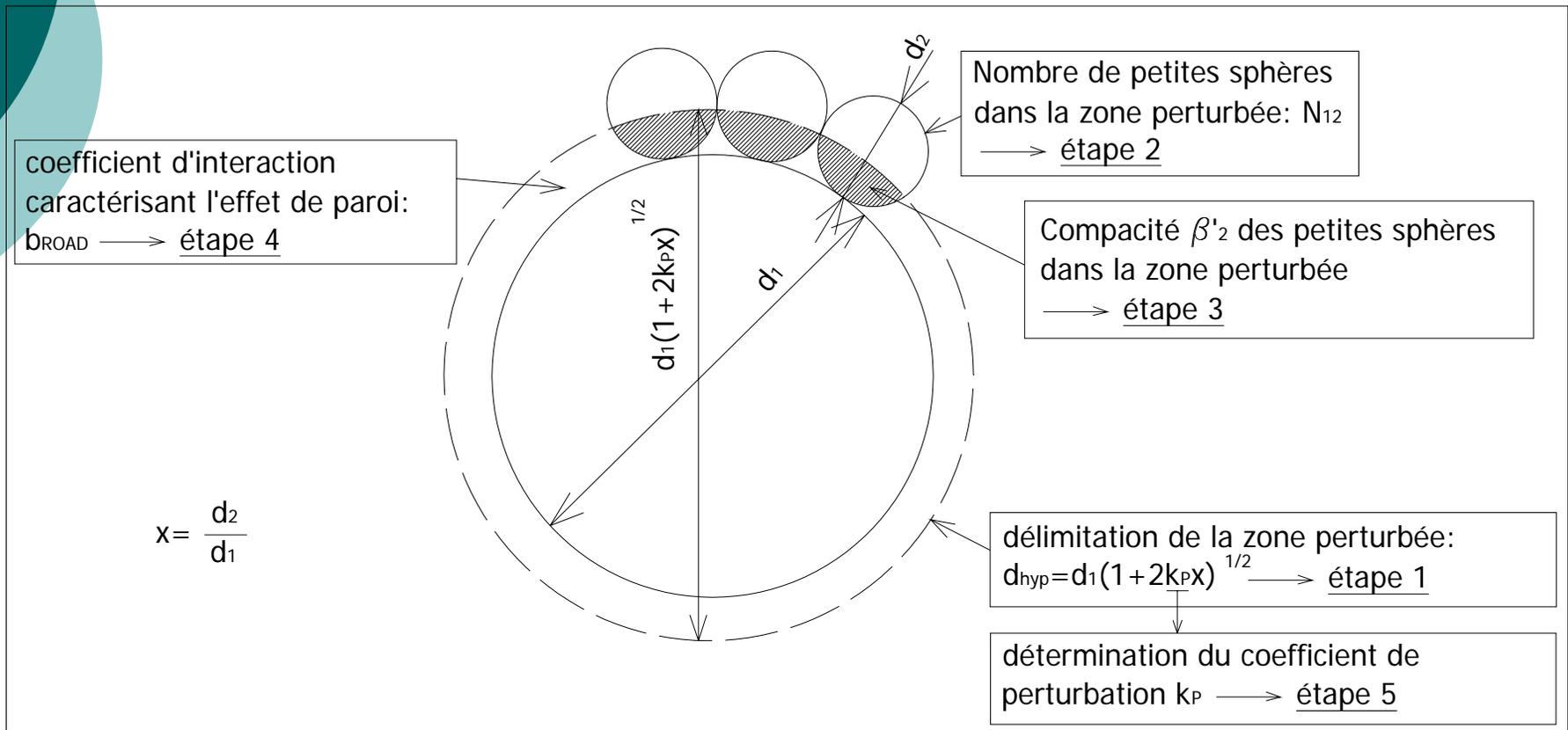
INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

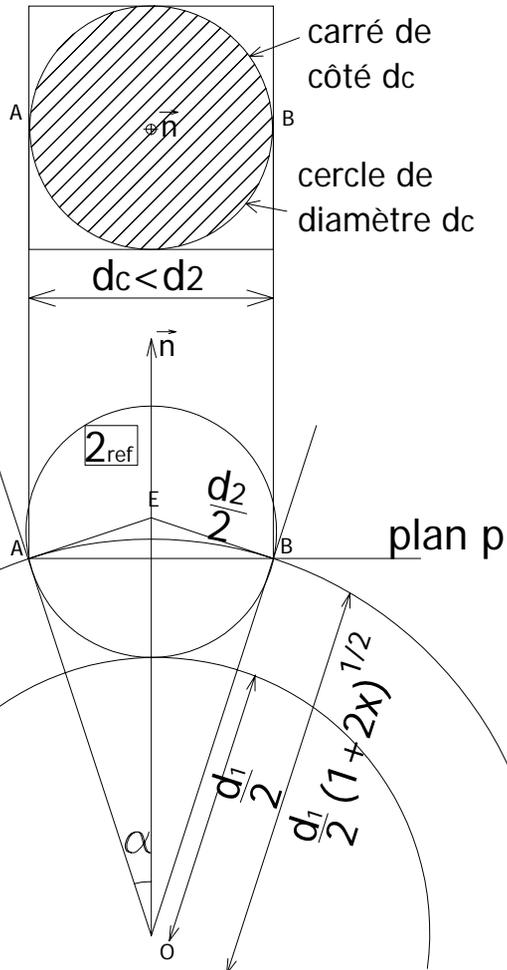
- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi.



3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi: étape 2.

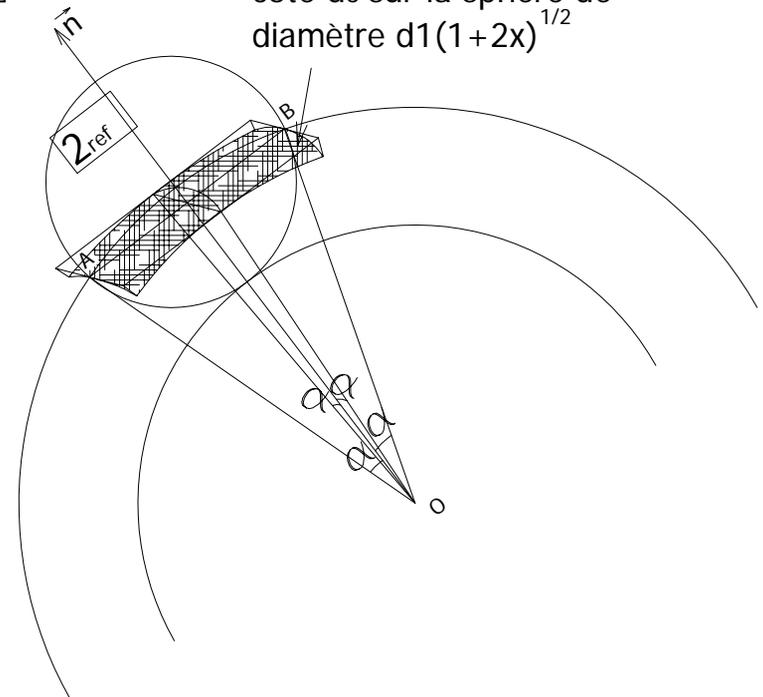
coupe
horizontale
passant par
le plan p



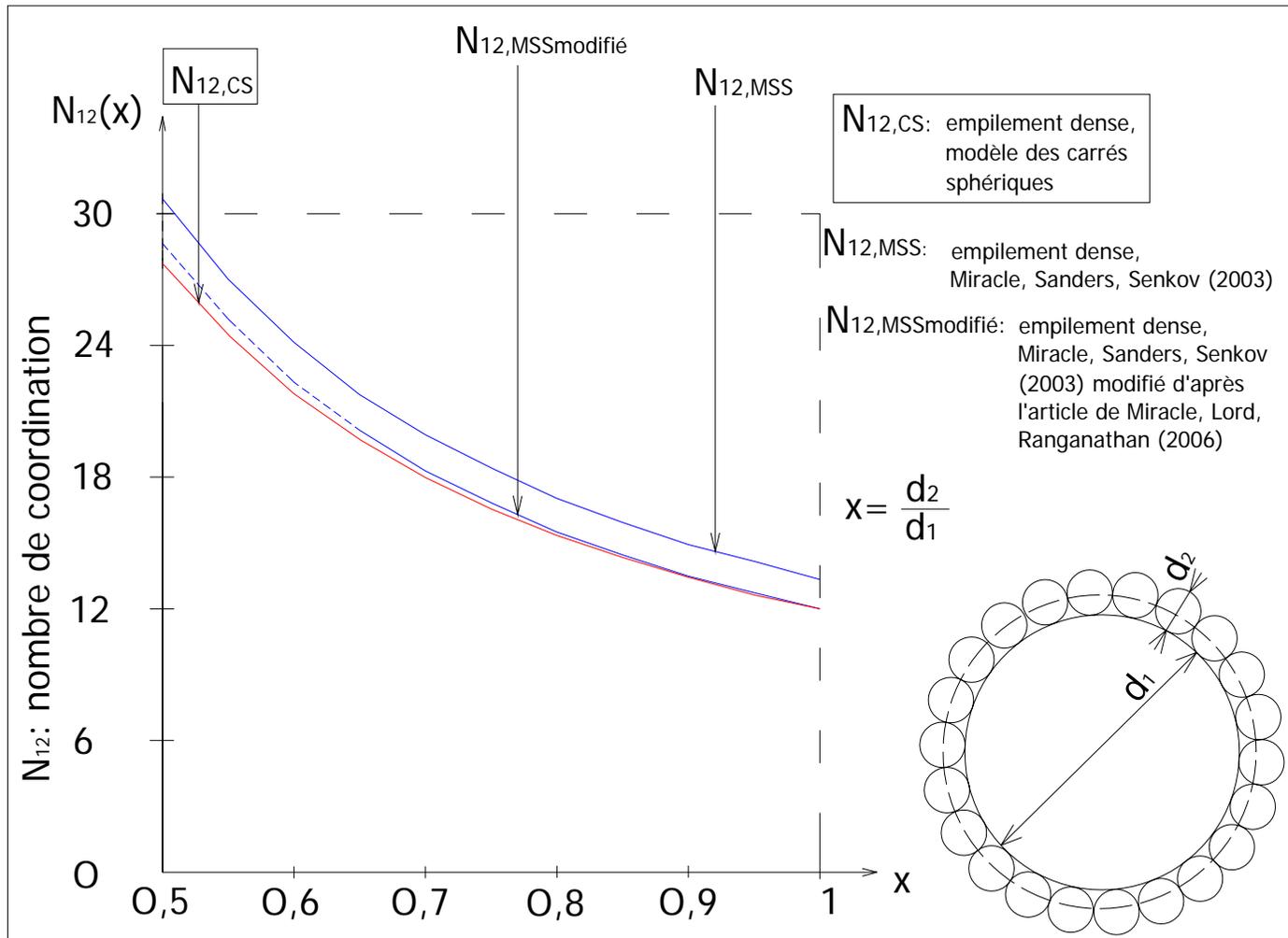
$$N_{12,CS}^{\text{dense}}(x) = \frac{\pi}{\frac{x}{1+x} \arcsin\left(\frac{x}{1+x}\right)} = \frac{\pi(1+x)}{x \cdot \arcsin\left(\frac{x}{1+x}\right)}$$

$$N_{12,CS}^{\text{dense}}(1) = 12$$

projection du carré de
côté d_c sur la sphère de
diamètre $d_1(1+2x)^{1/2}$



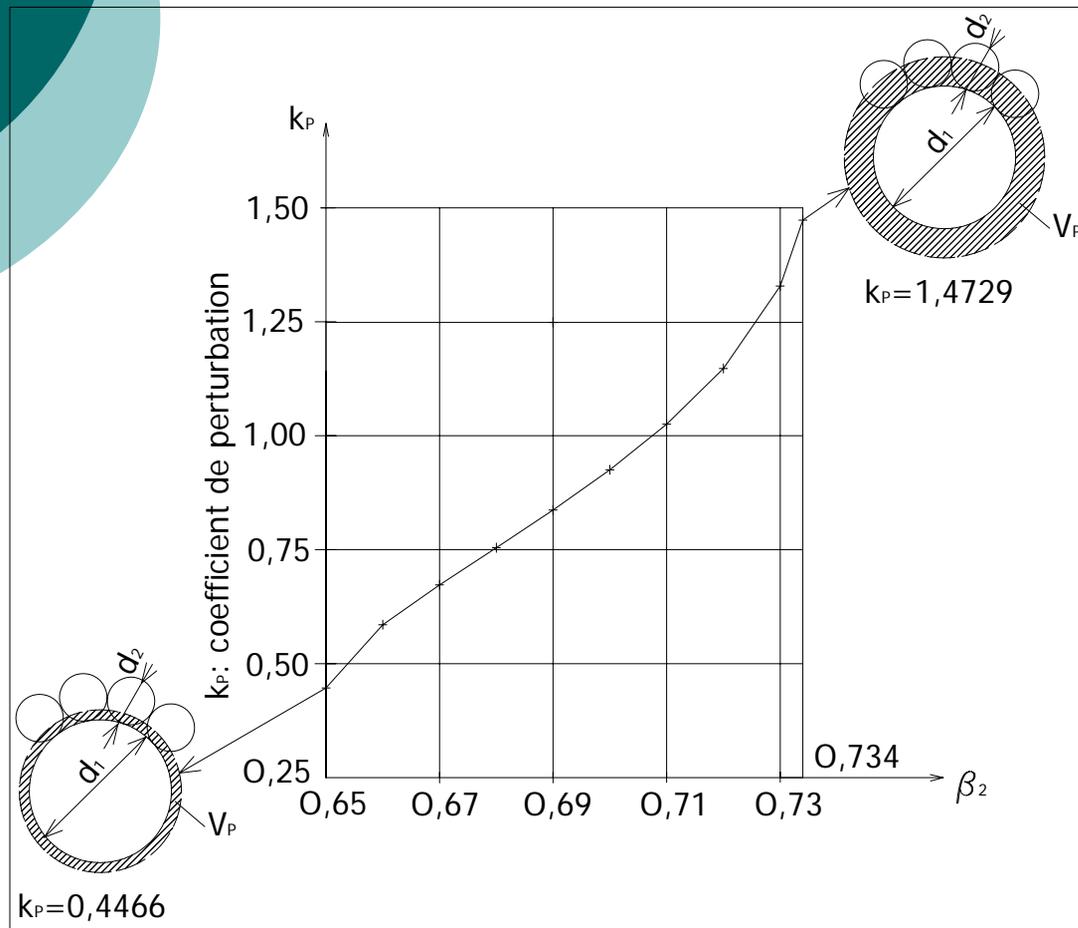
3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi: étape 2.



3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi: étapes 4 et 5.

Coefficient d'effet de paroi à partir de la théorie ROAD:

$$b_{\text{ROAD}}(x) = \frac{\beta_2 - \beta'_2(x)}{1 - \beta_2} \left[(1 + 2k_p x)^{\frac{3}{2}} - 1 \right]$$

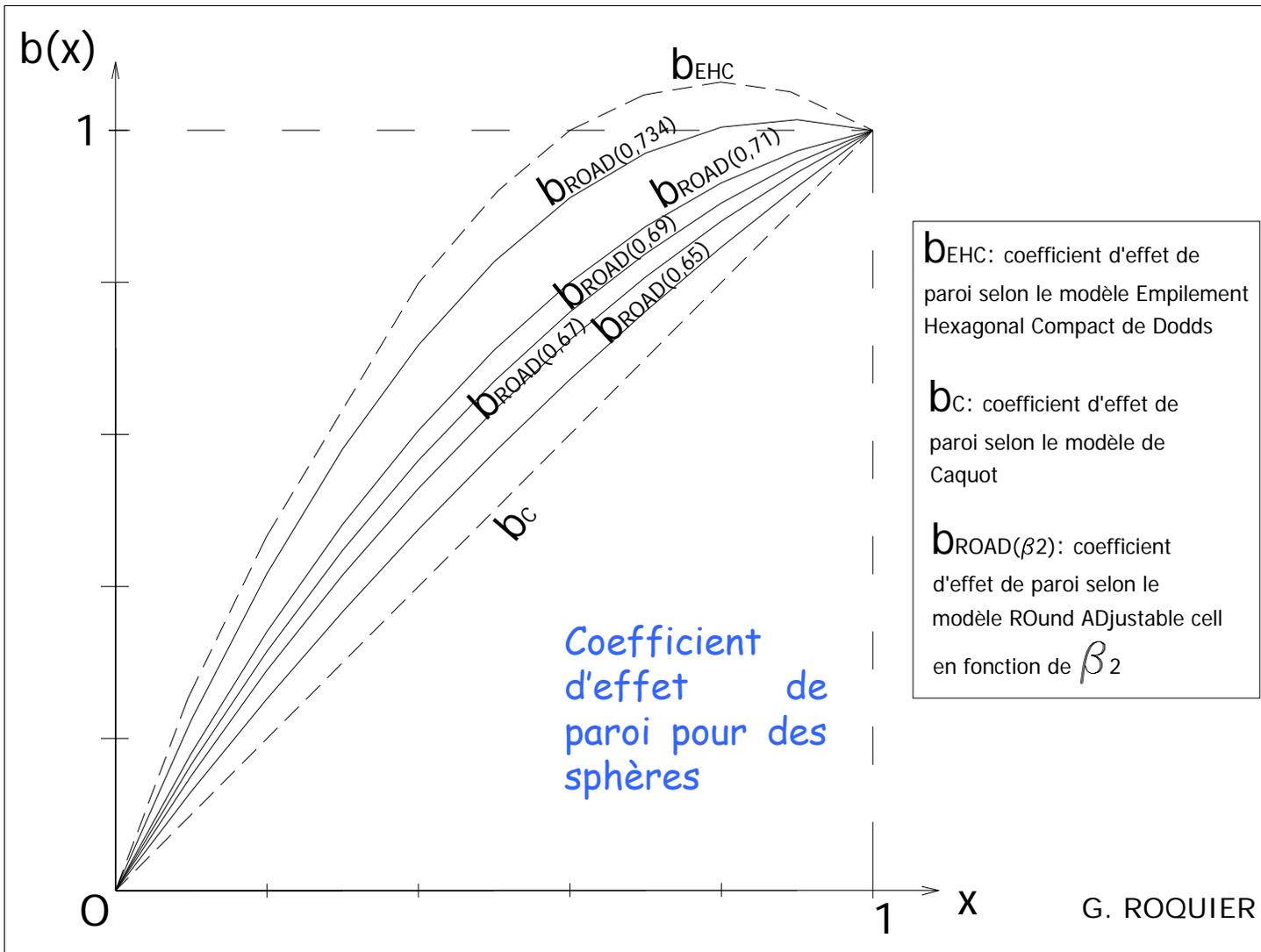


Détermination du coefficient de perturbation k_p :

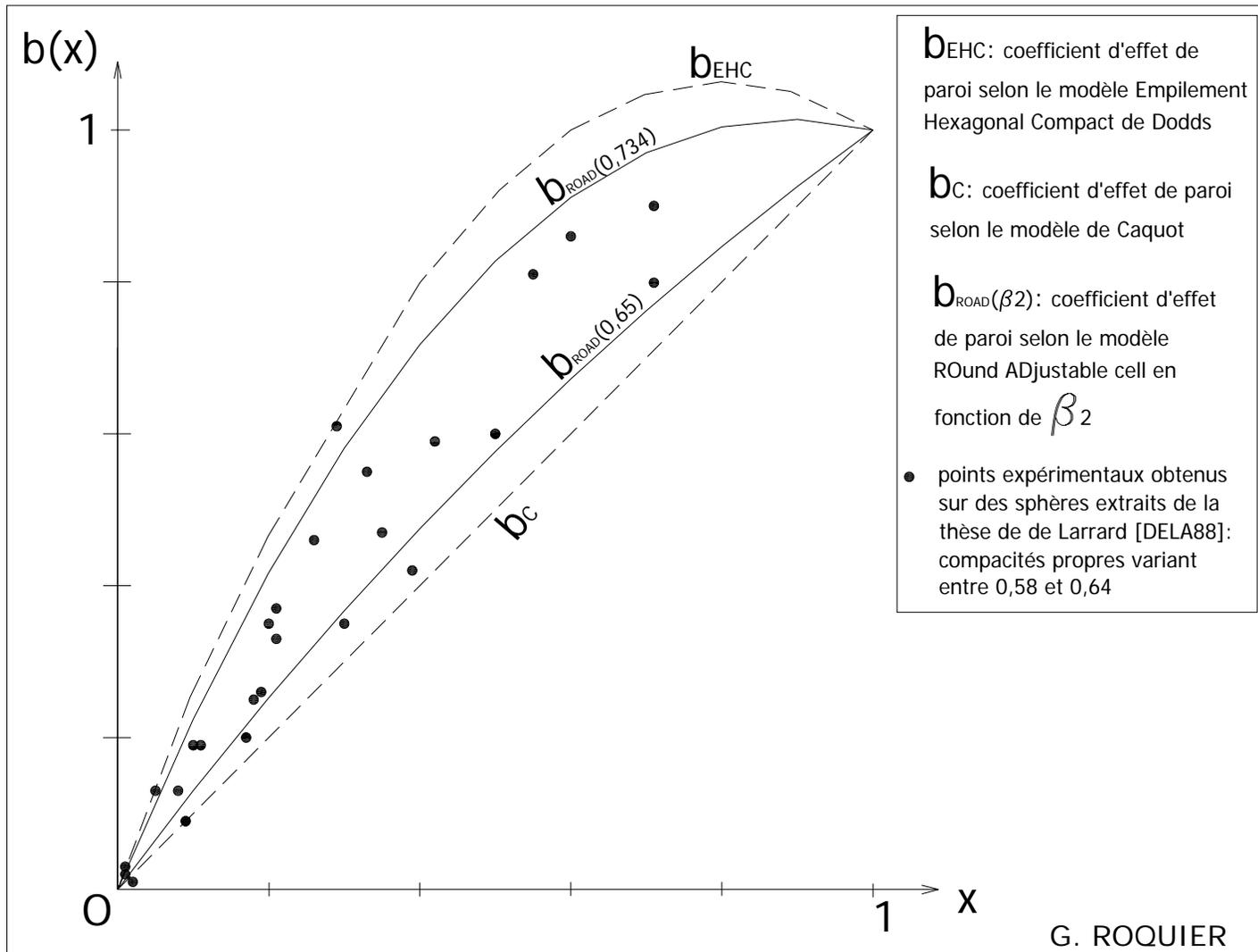
$$b_{\text{ROAD}}(1) = 1$$

$$(\beta_2 - 6)(1 + 2k_p)^{\frac{3}{2}} + \frac{9}{2}k_p^2 + 18k_p + 5 = 0$$

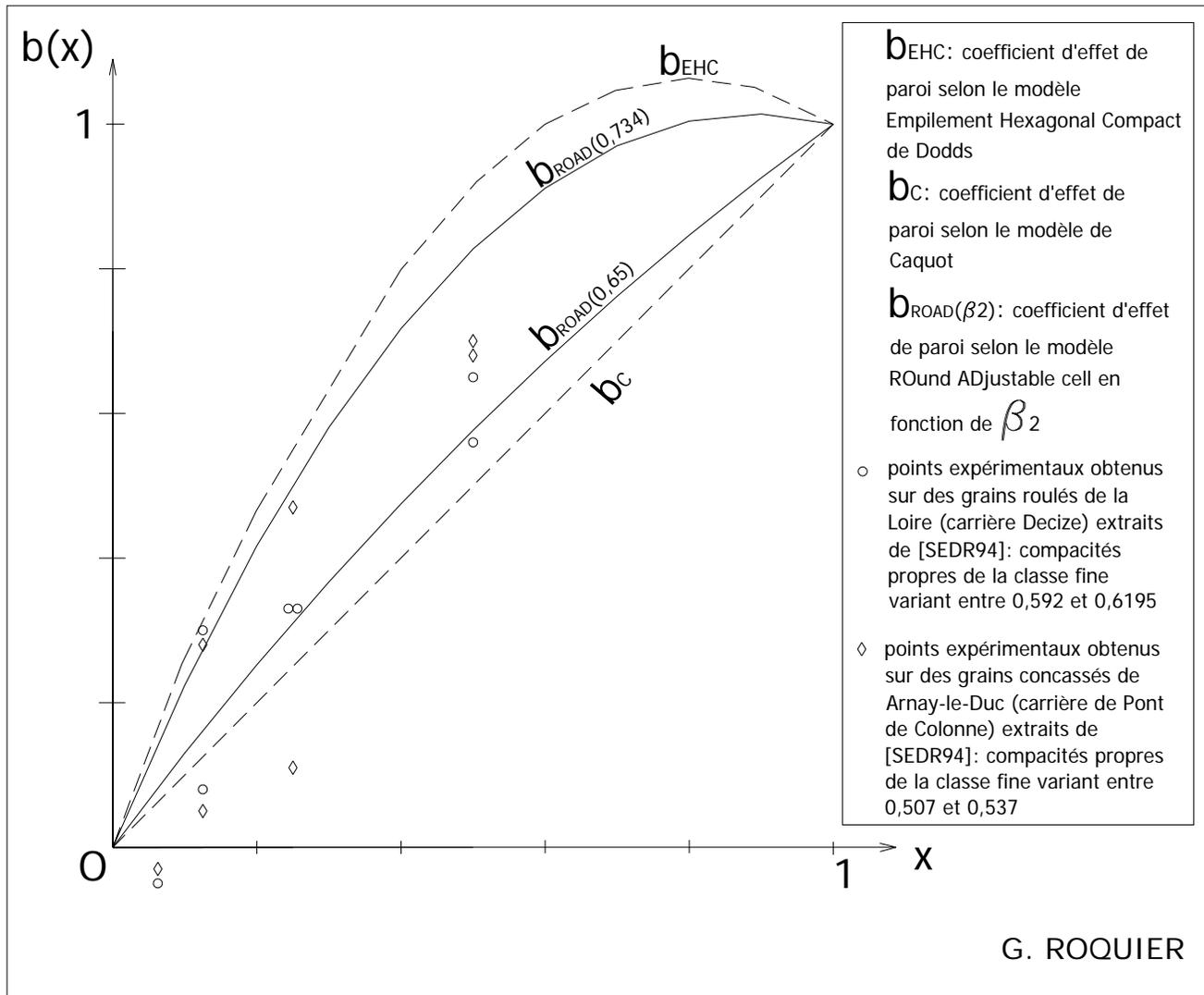
3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi.



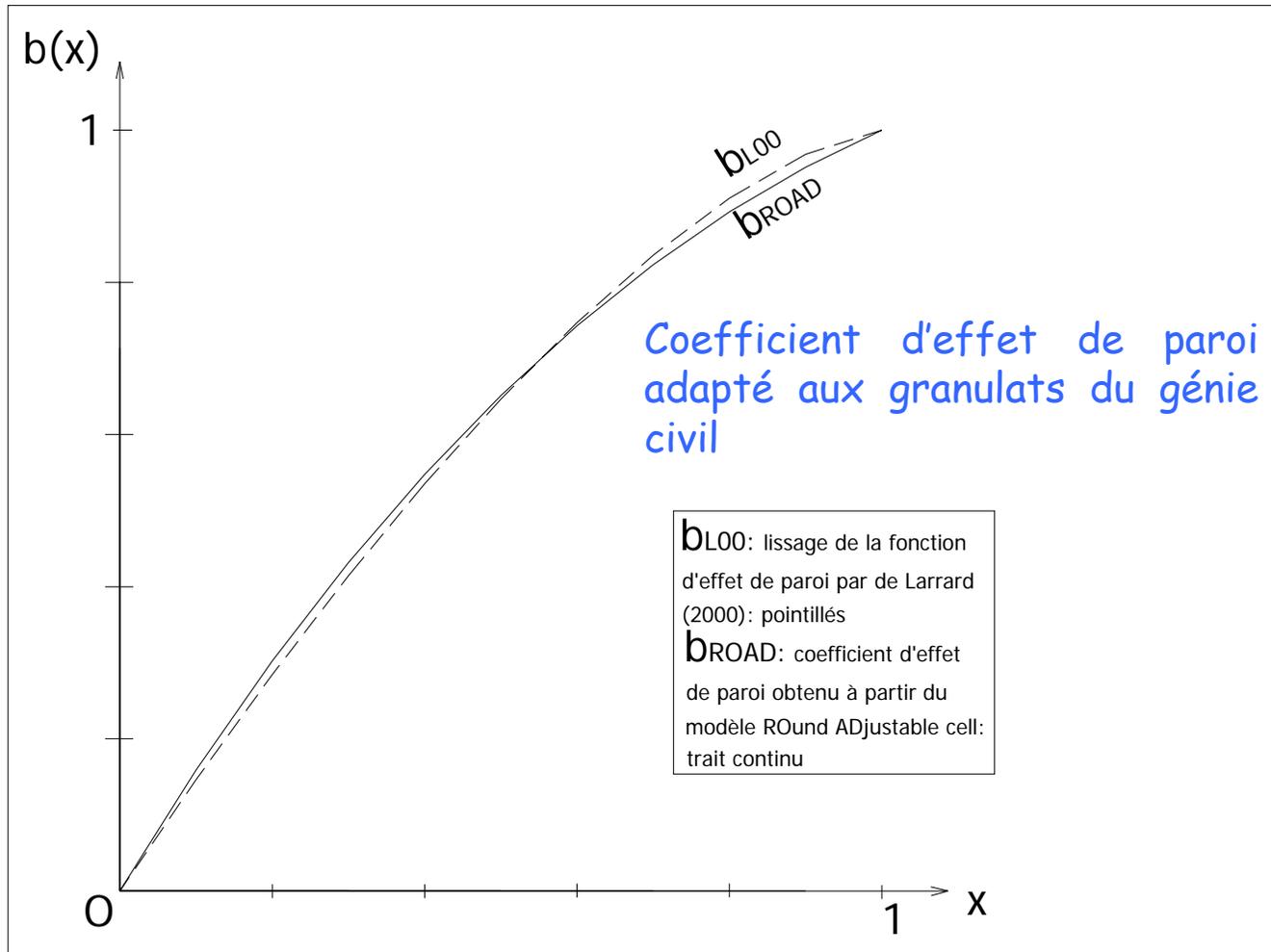
3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi.



3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi.

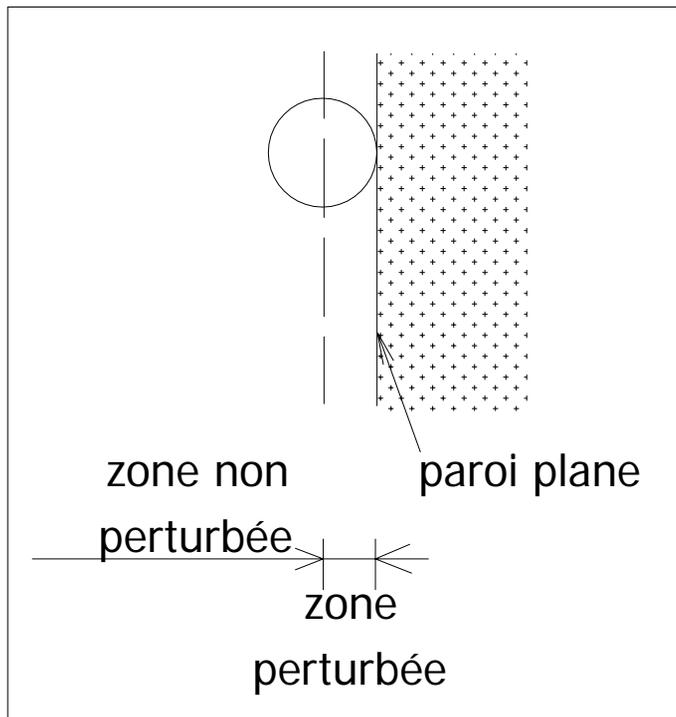


3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi.



3.2.1. Théorie ROAD pour l'effet de paroi.

Effet de paroi contre une paroi plane:



$$k_w = \frac{\beta'_2}{\beta_2}$$

$$k_w \approx 0,738 \quad \text{pour } \beta_2 = 0,68$$

Pour Ben-Aïm:

$$k_w = \frac{11}{16} = 0,6875$$

Essais réalisés au LRPC de Blois:

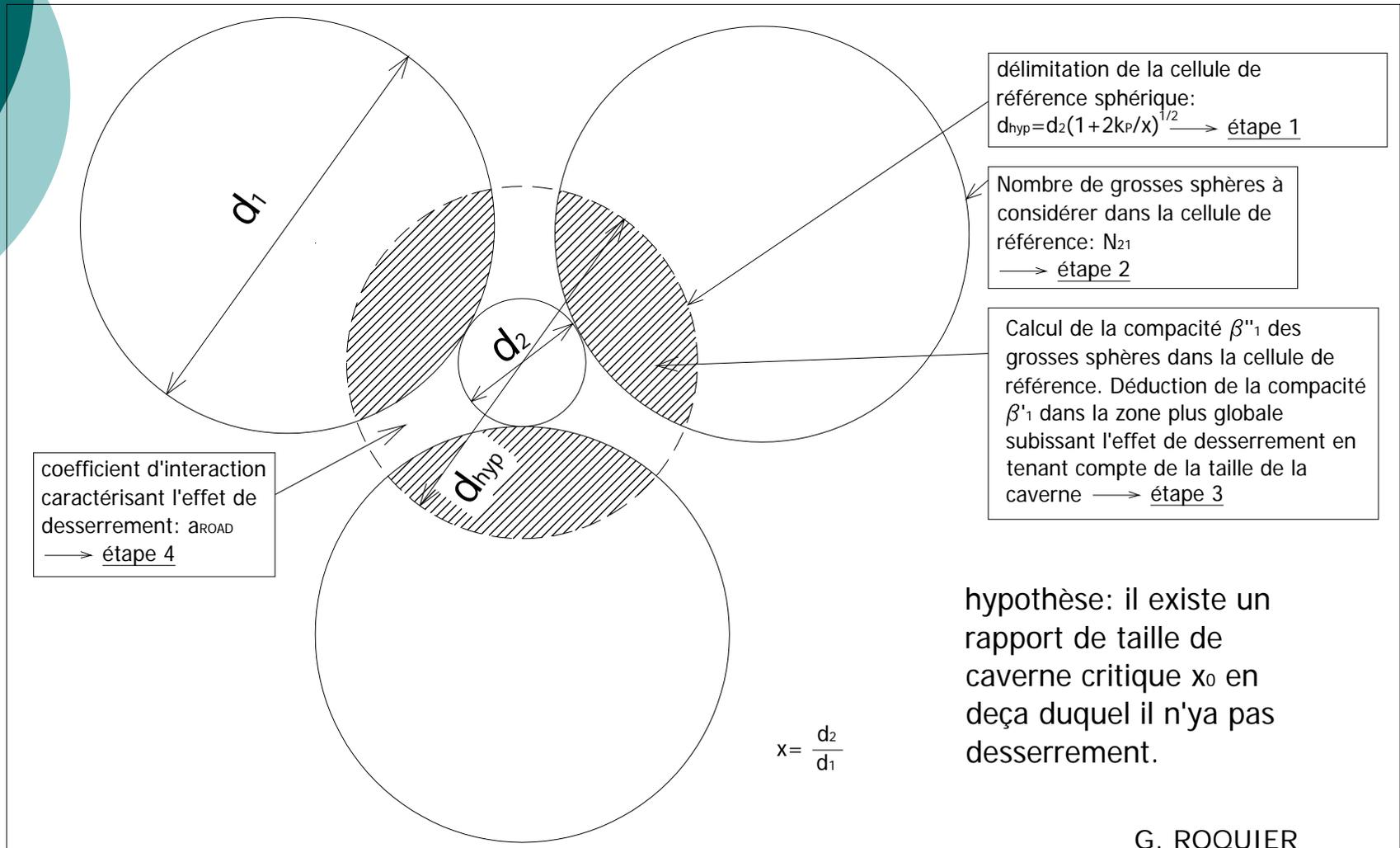
0,73 pour des concassés

0,88 pour des roulés

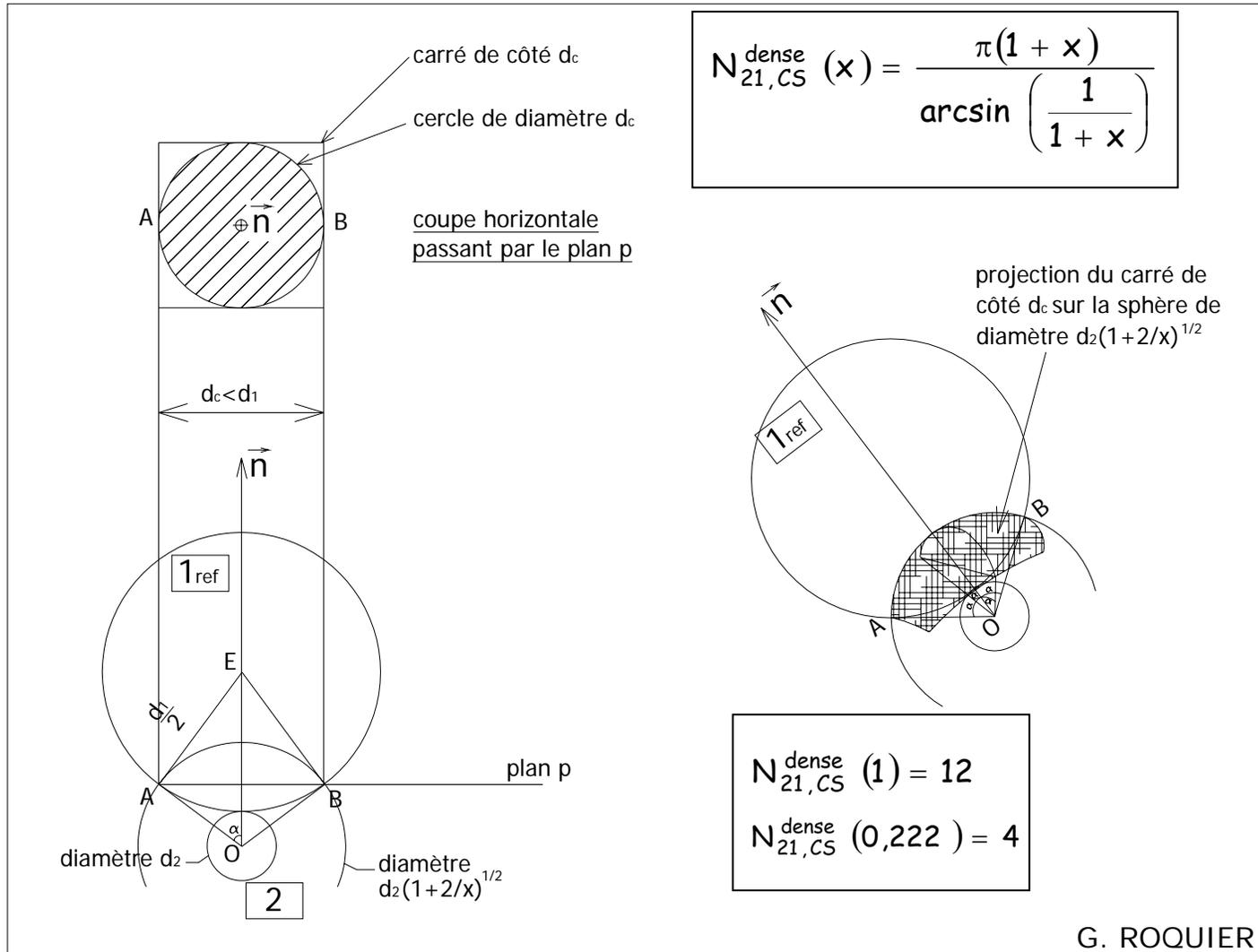
INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

- 1. Définition des effets de paroi et de desserrement.
- 2. Prise en compte des interactions granulaires dans quelques modèles d'empilement: Mooney (1950), modèle linéaire de compacité de Stovall et de Larrard (1986), modèle d'empilement compressible de de Larrard (1999).
- 3. Les fonctions d'interaction de l'effet de paroi et de l'effet de desserrement.
 - 3.1. Modèles existants.
 - 3.1.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.1.2. pour l'effet de desserrement.
 - 3.2. Théorie ROAD: ROund ADjustable cell.
 - 3.2.1. pour l'effet de paroi.
 - 3.2.2. pour l'effet de desserrement

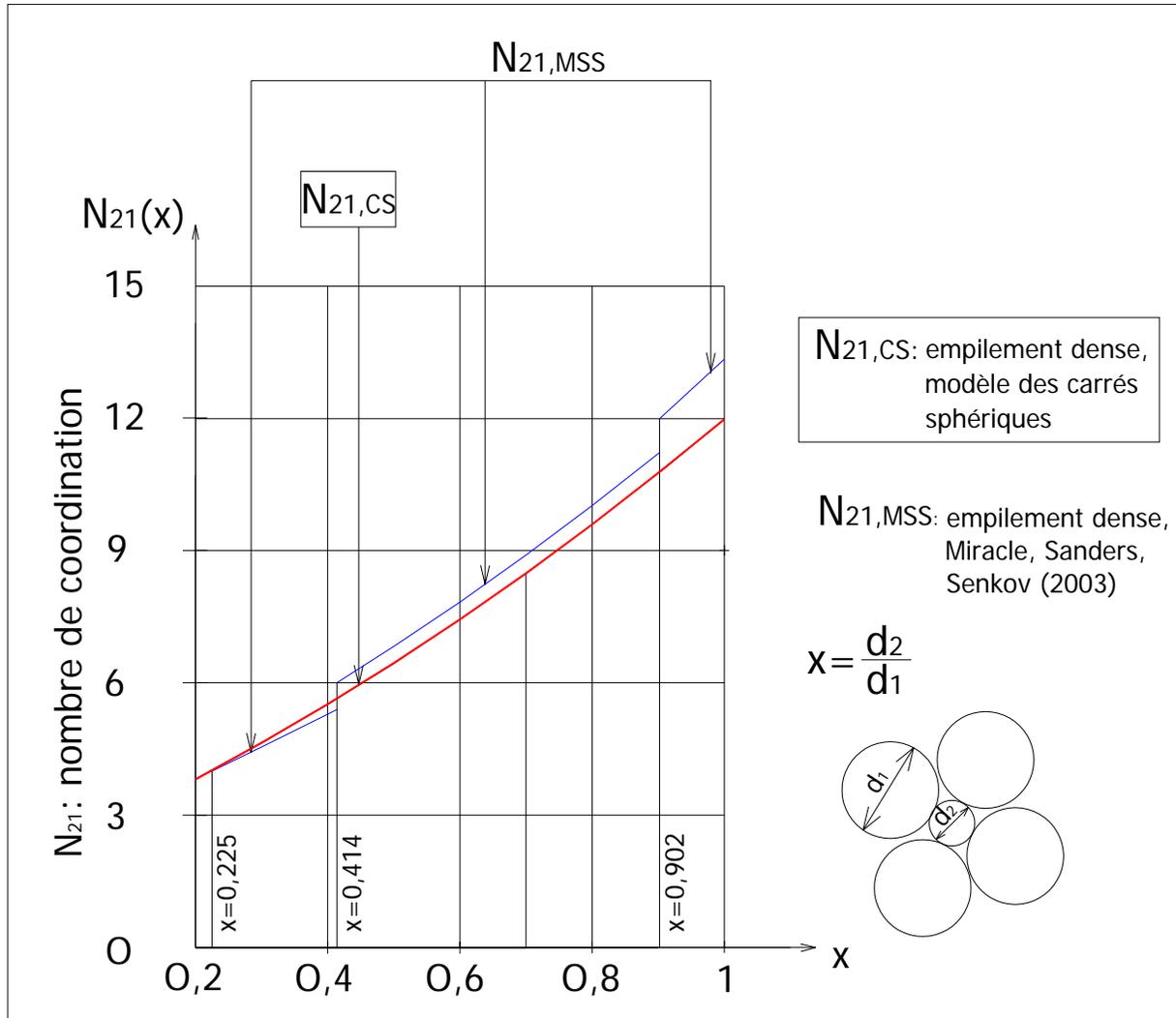
3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement.



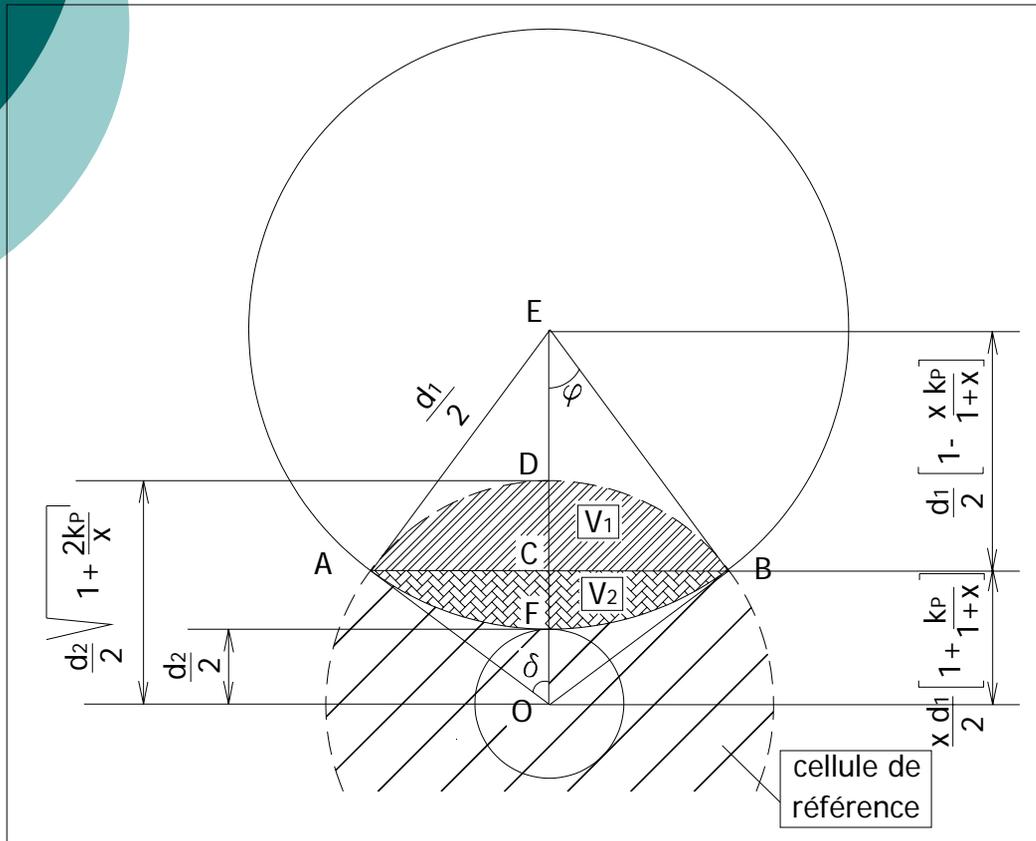
3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement: étape 2.



3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement: étape 2.



3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement: étape 3.



Compacité des grosses sphères dans la cellule de référence:

$$\beta''_1(x)$$

Compacité des grosses sphères dans la zone plus globale subissant l'effet de desserrement:

$$\beta'_1(x) = \frac{\beta''_1(x)}{\beta''_1(x_0)} \beta_1$$

3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement: étape 4.

Coefficient d'effet de desserrement à partir du modèle de décompaction locale présenté dans la thèse de François de Larrard (1988) et de la théorie ROAD:

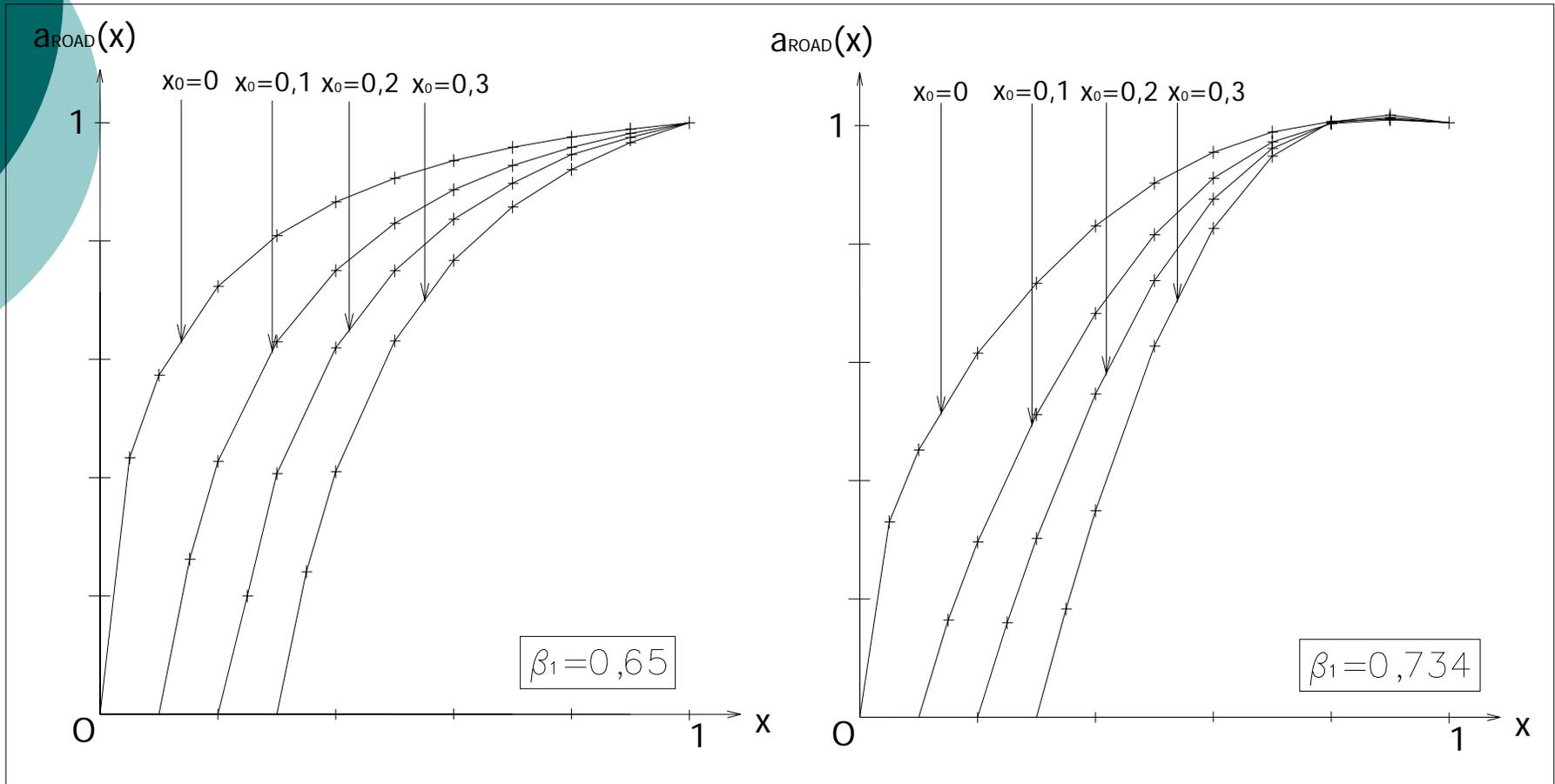
Pour: $\beta_1 = \beta_2 = \beta$

$$a_{\text{ROAD}}(x) = 0 \text{ pour } x \leq x_0$$

$$a_{\text{ROAD}}(x) = \frac{1}{1 + (1 - b_{\text{ROAD}}(x))(1 - \beta) \frac{k_{\text{LROAD}}}{1 - k_{\text{LROAD}}}} \quad \text{pour } x \geq x_0$$

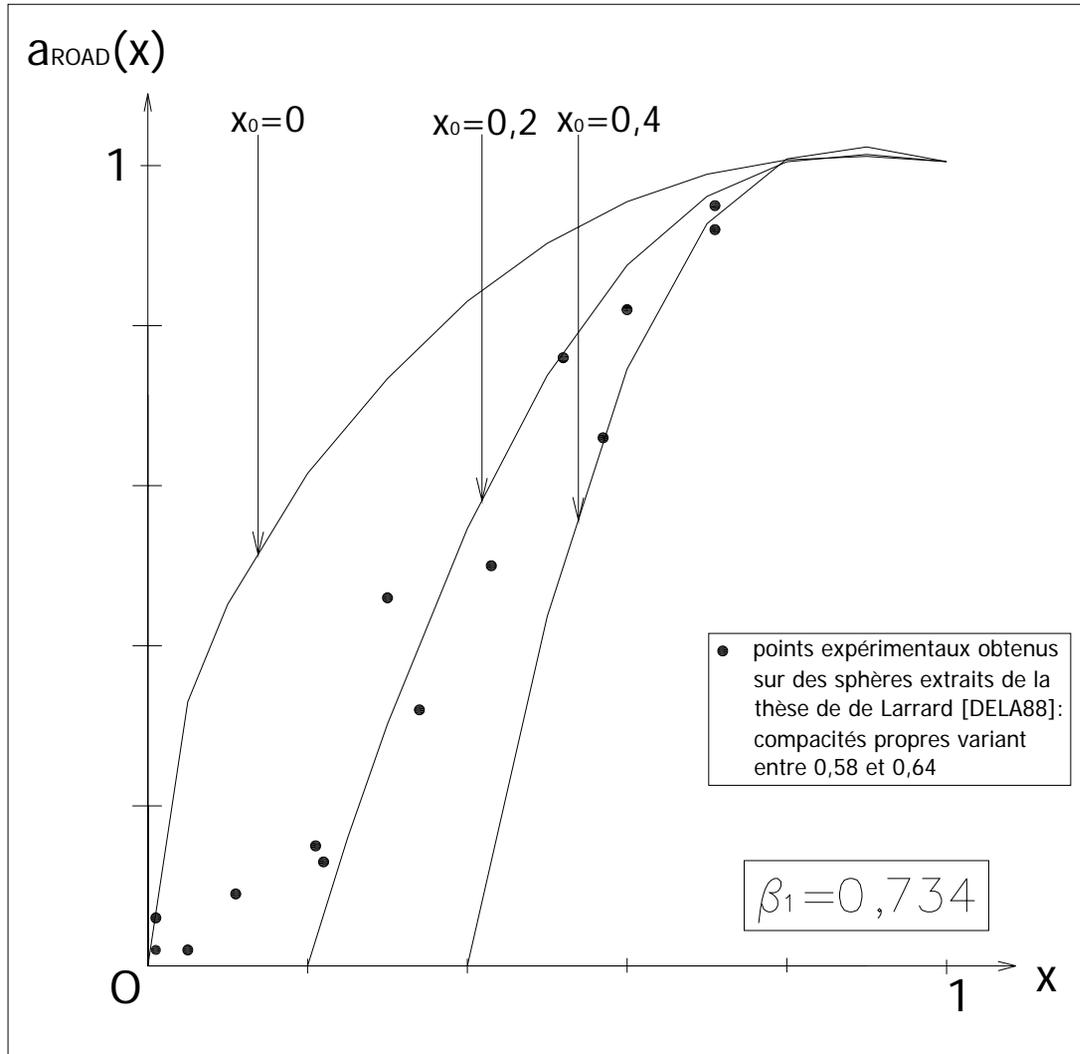
$$k_{\text{LROAD}} = \frac{\beta_1'}{\beta_1}$$

3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement.

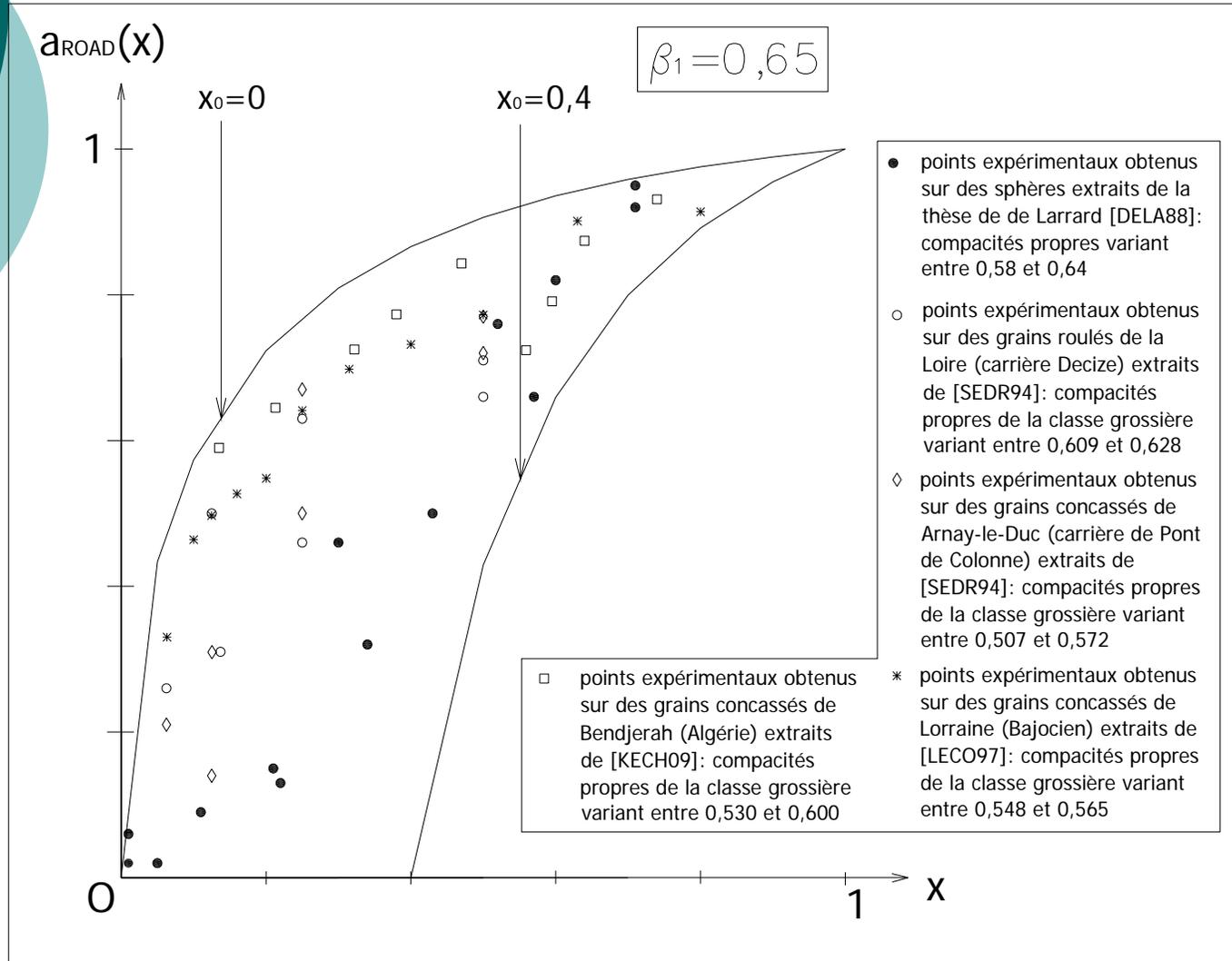


Coefficient d'effet de desserrement pour des sphères

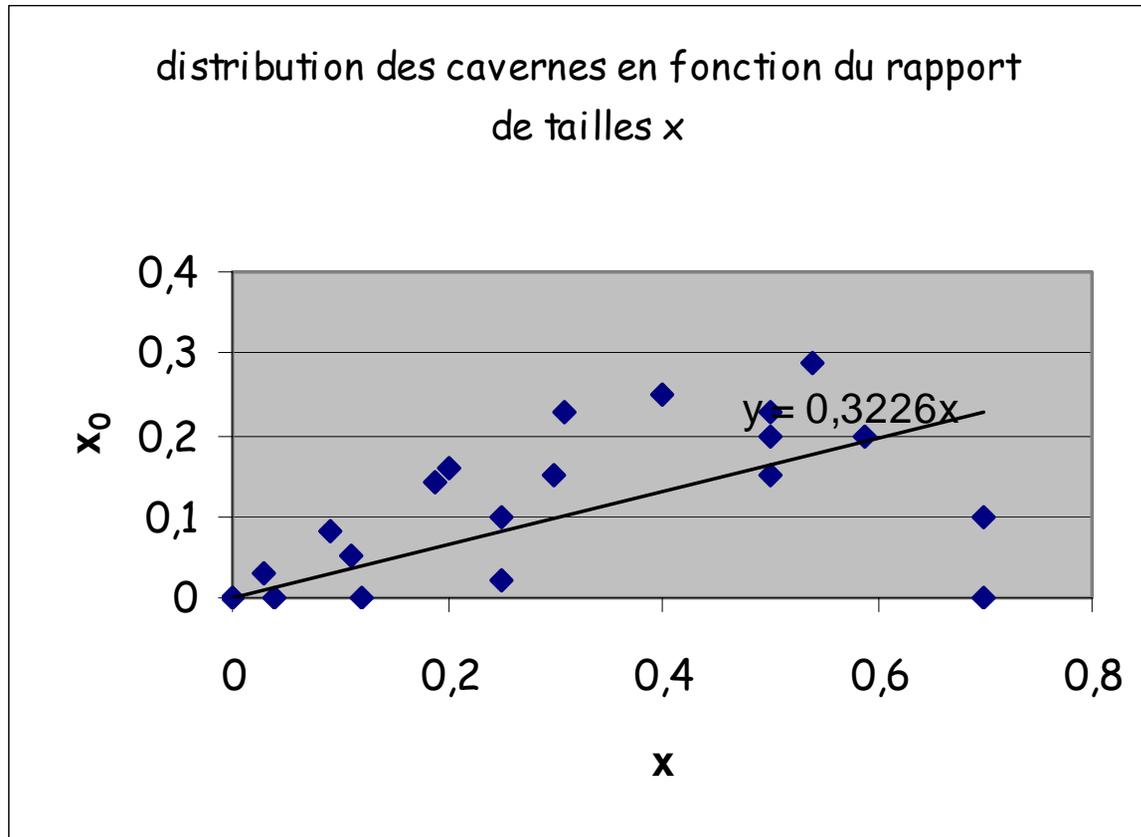
3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement.



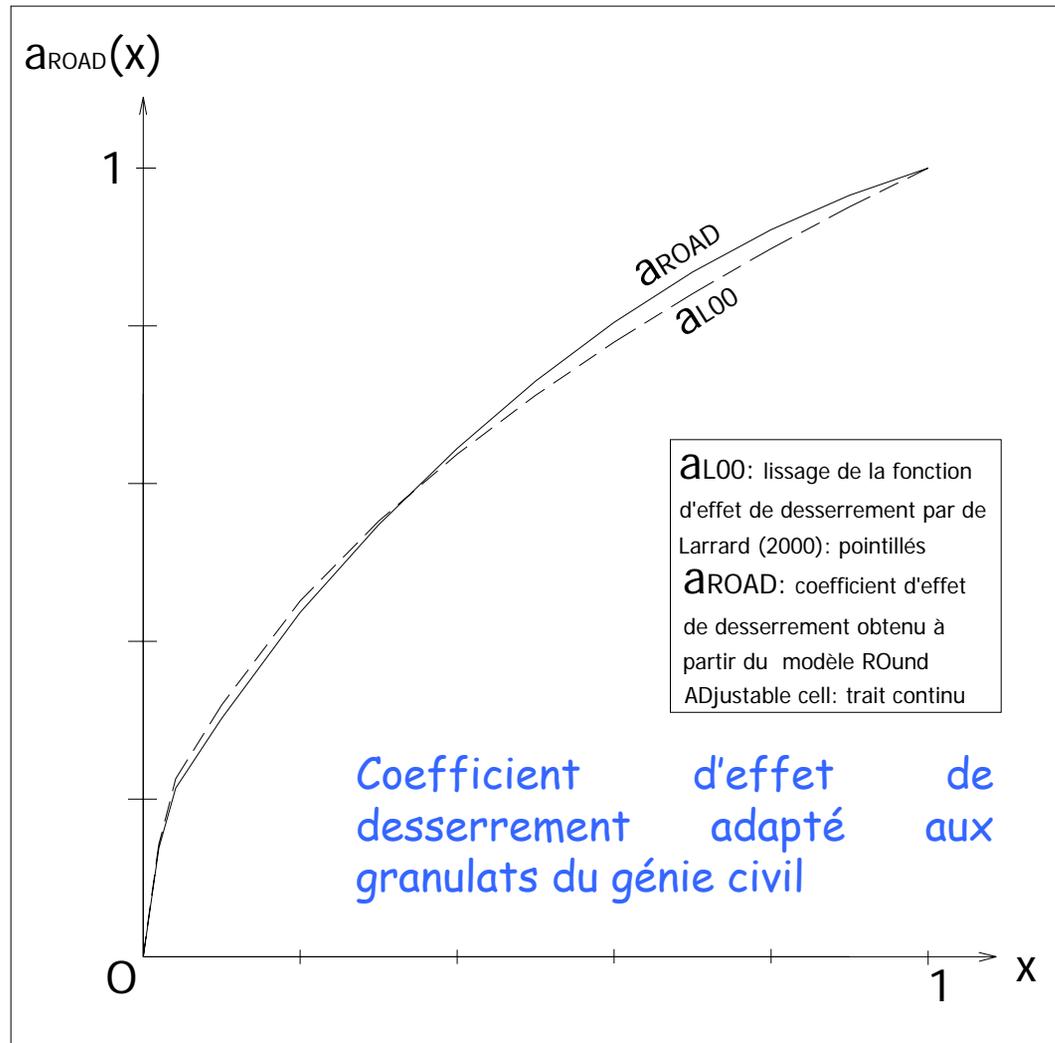
3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement.



3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement.



3.2.2. Théorie ROAD pour l'effet de desserrement.



INTERACTIONS GRANULAIRES DANS LES MODELES D'EMPILEMENT

« Le but de l'instruction est la fin de l'instruction, c'est-à-dire l'invention. L'invention est le seul acte intellectuel vrai, la seule action d'intelligence.... Je pense donc j'invente, j'invente donc je pense ». Michel Serres



Pont de Rion – Antirion
en Grèce

Je vous remercie pour
votre attention.