

STRATÉGIE MULTI-ÉCHELLES DE MODÉLISATION PROBABILISTE DE LA FISSURATION DES STRUCTURES EN BÉTON

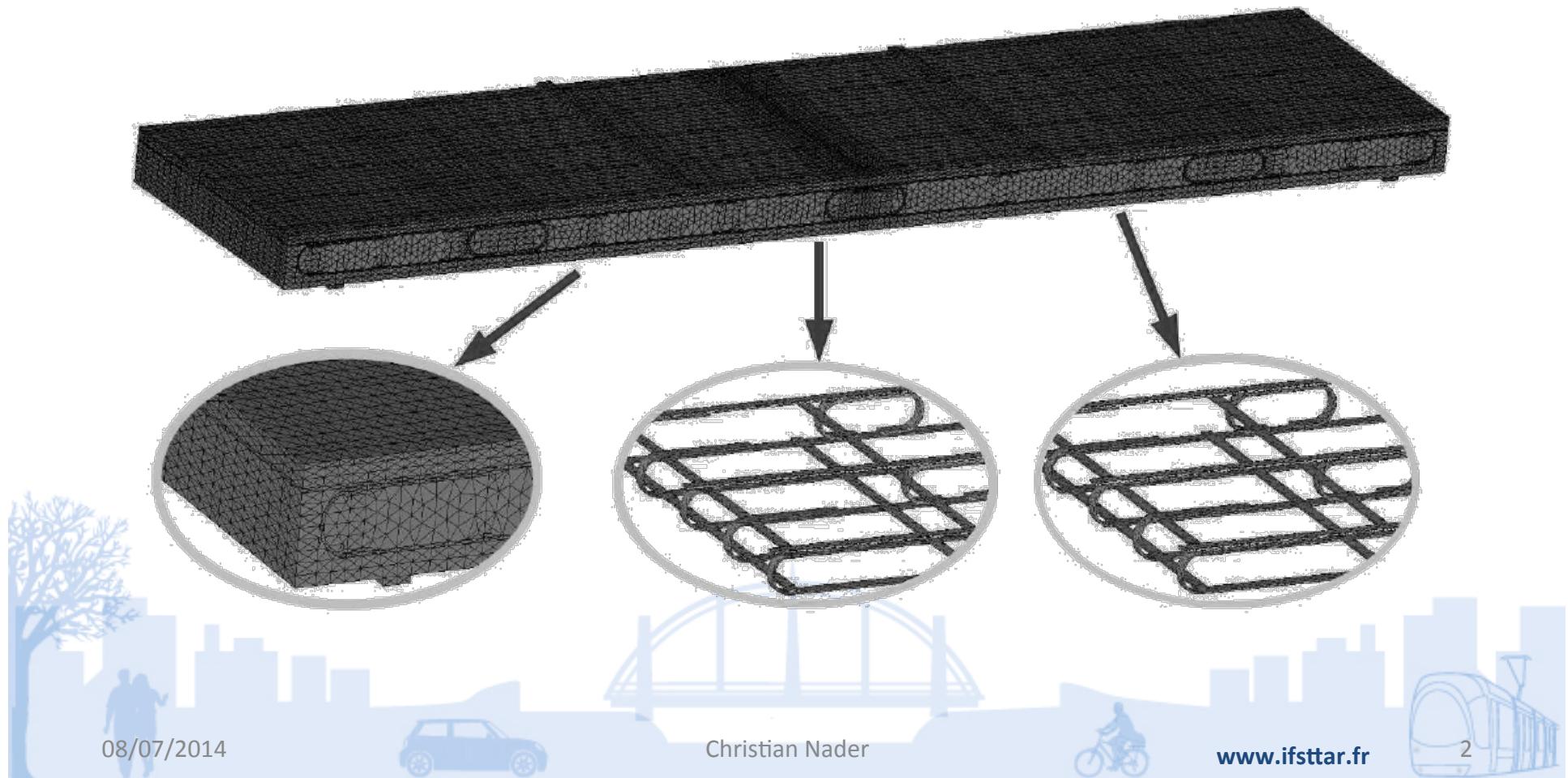
Dépouillement des résultats

Christian Nader
08/08/2014



Objectif

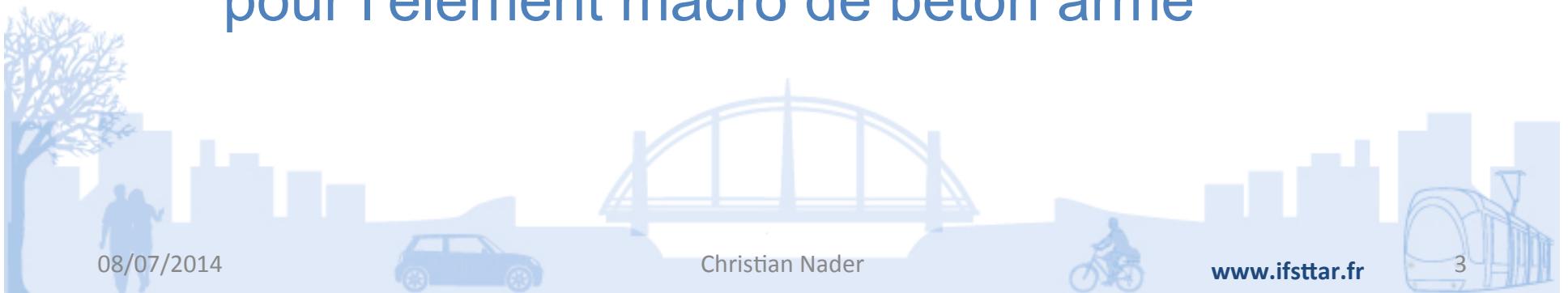
- Développement d'un modèle 2D pour l' élément macro béton armé dans la poutre dalle de song



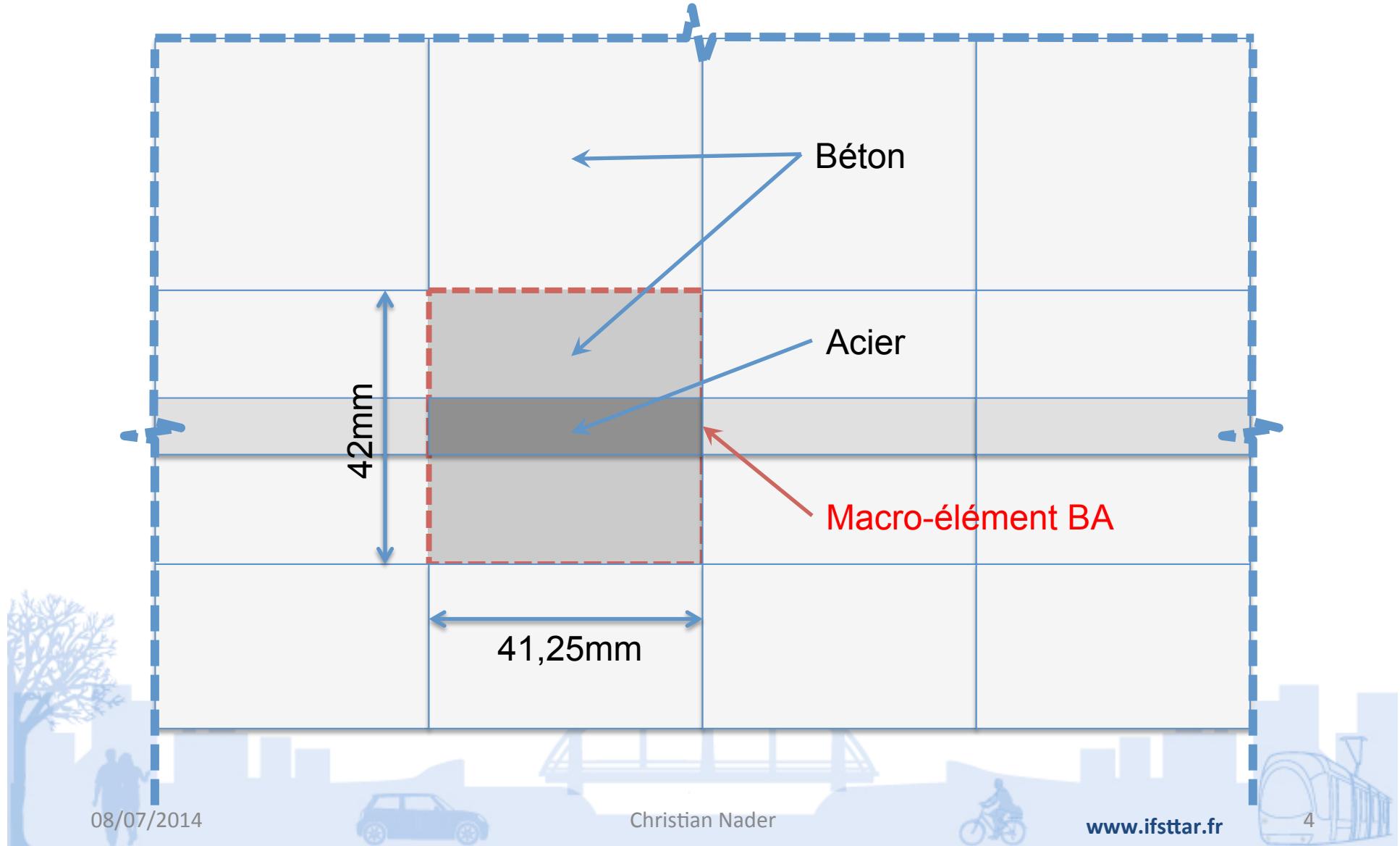
Principe

Modélisation de la poutre BA à l'aide d'éléments macro de béton armé.

- Le calcul doit donner :
 - Le comportement global de la poutre
 - La macro fissuration structurelle
- On cherche (pour ce cas précis):
 - À identifier un comportement uniaxial simple pour l'élément macro de béton armé

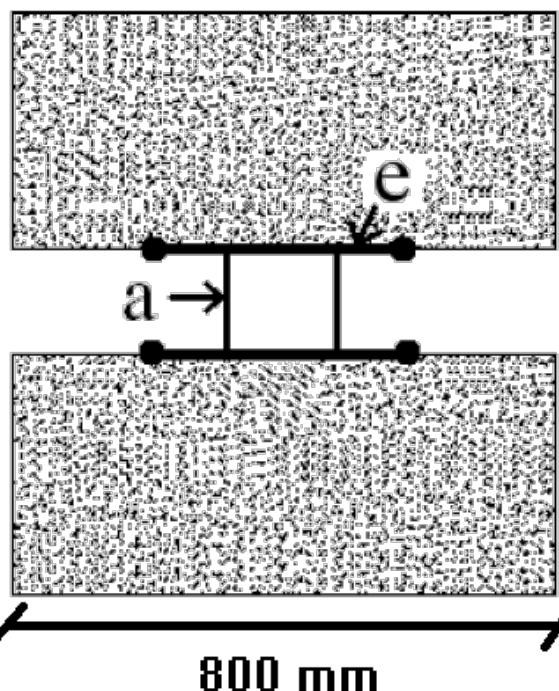


Maillage macro de la poutre (zoom en partie inférieure)

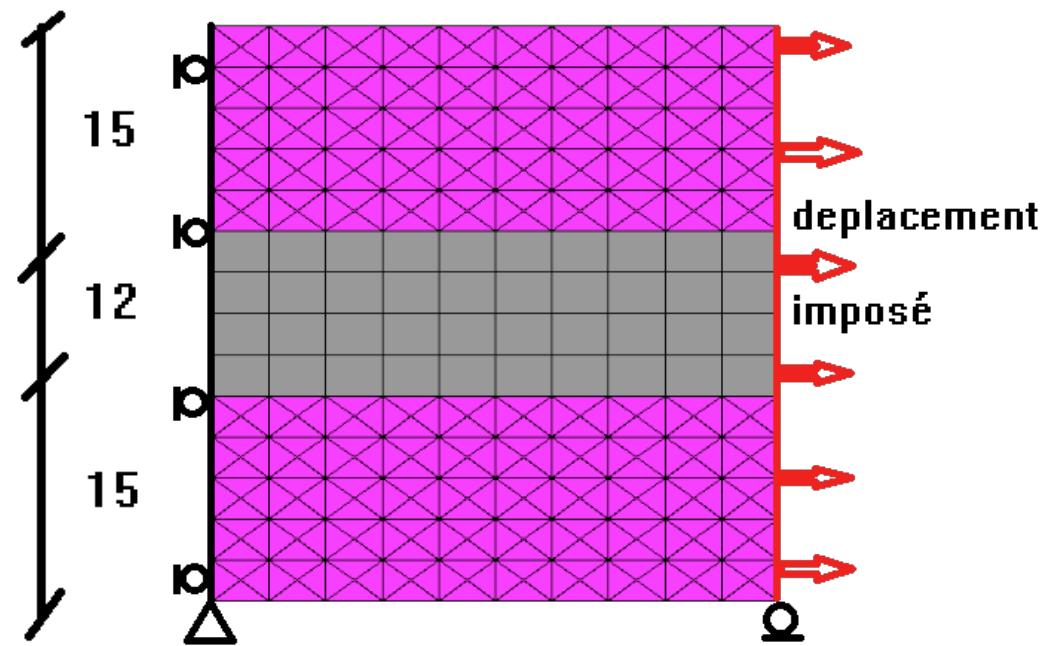


1^{ère} tentative d'identification (à l'échelle d'un élément macro)

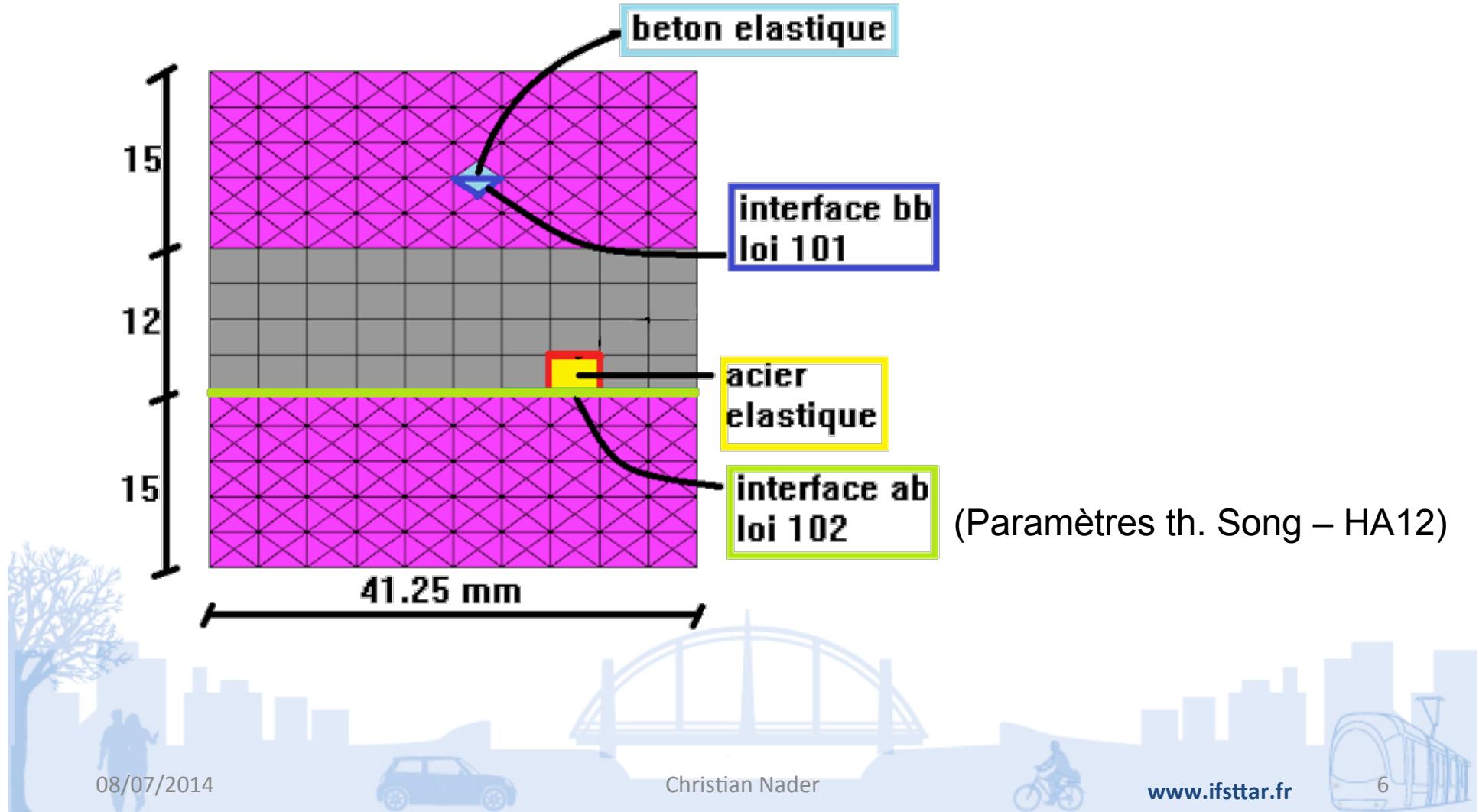
Coupe transversale



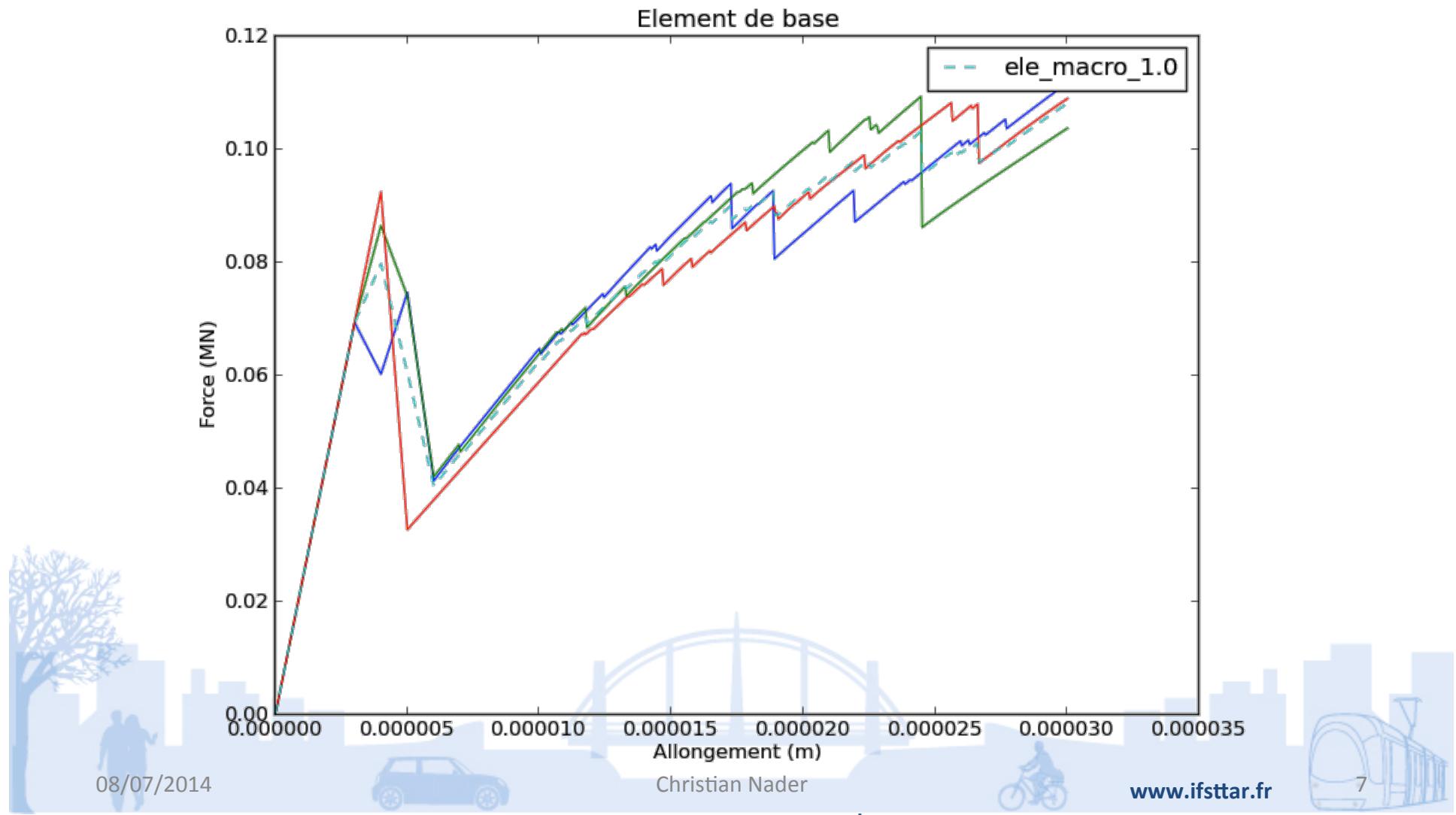
Vue en plan



1ère tentative d'identification (à l'échelle d'un élément macro)

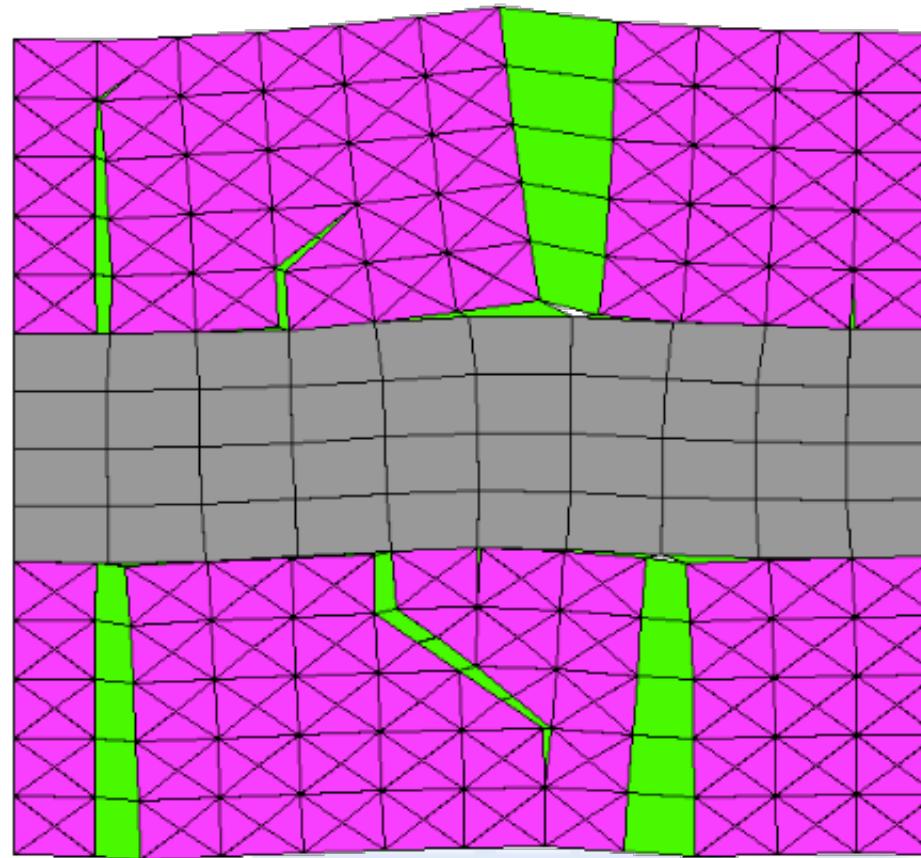


1^{ère} tentative d'identification (à l'échelle d'un élément macro)



1^{ère} tentative d'identification (à l'échelle d'un élément macro)

Ouverture de fissure de **31 µm**
Correspondent à: 0.14 MN force
30 µ déplacement



08/07/2014

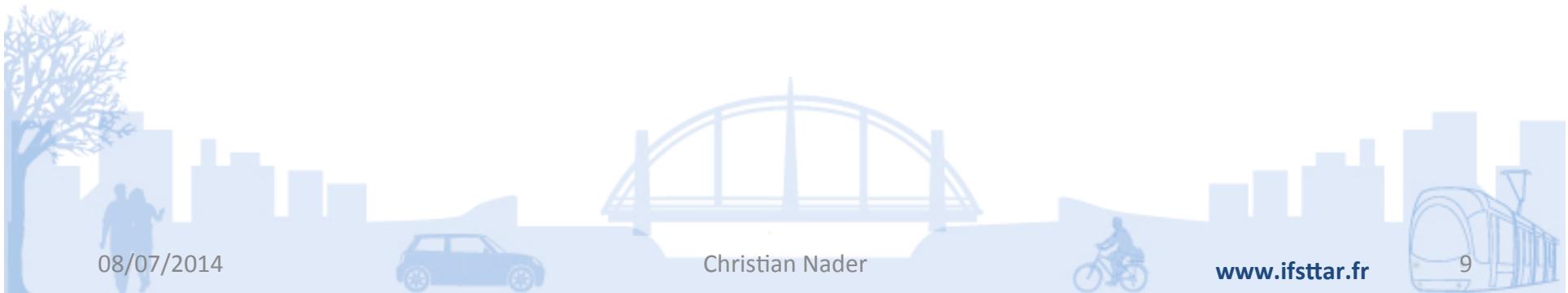
Christian Nader

www.ifsttar.fr

8

1^{ère} tentative d'identification (à l'échelle d'un élément macro)

- Le résultat est fortement impacté par les conditions aux limites et donc non représentatif d'un comportement uniaxial pur
 - Le faciès de fissuration n'est pas réaliste (fissure longitudinale acier/béton ? => voir avec C. Nader car pas clair !)



2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

Idée:

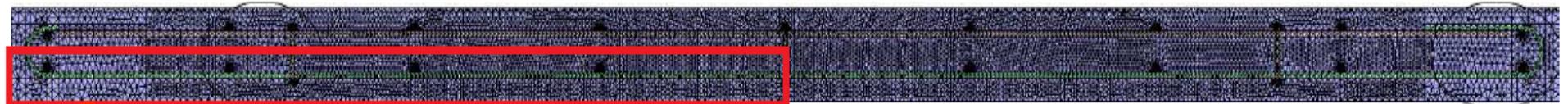
- On choisit un tirant dont l'épaisseur correspond à la hauteur du macro-élément (càd 42mm) cf. figure ci-dessous et dont la section d'acier correspond à celle de la poutre (5HA12)
- Macro-fissures étudiées: 100µm et 300µm
- Prendre une longueur de tirant suffisante pour laisser le processus de macro-fissuration s'installer (choix = $\frac{1}{2}$ longueur de poutre)
- Post-traiter les résultats en termes: de courbes globales, de nombre de fissures et d'ouvertures de fissures
- En déduire un pas de fissuration moyen (pour les macro-fissures), ie un espacement moyen entre macro-fissures
- Identifier le comportement d'une cellule de longueur correspondant à l'espacement moyen et ne comportant qu'une macro fissure



2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

1. Dimensions du tirant

Poutre Song: 330 x 16 x 80 cm



tirant_macro_3.0 (175 x 4,2 x 80 cm / 1,7% d'acier) [Réf.]

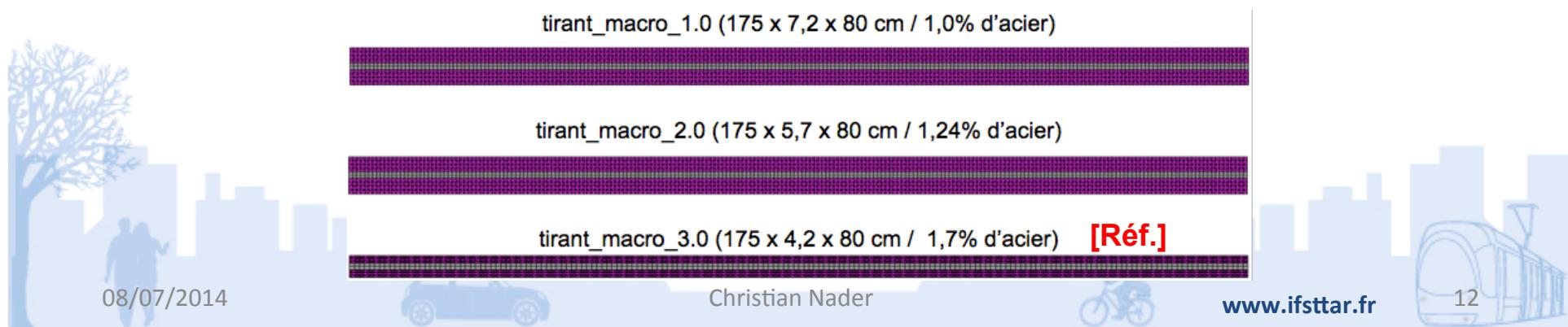
Hauteur = hauteur élément macro (42mm)



2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

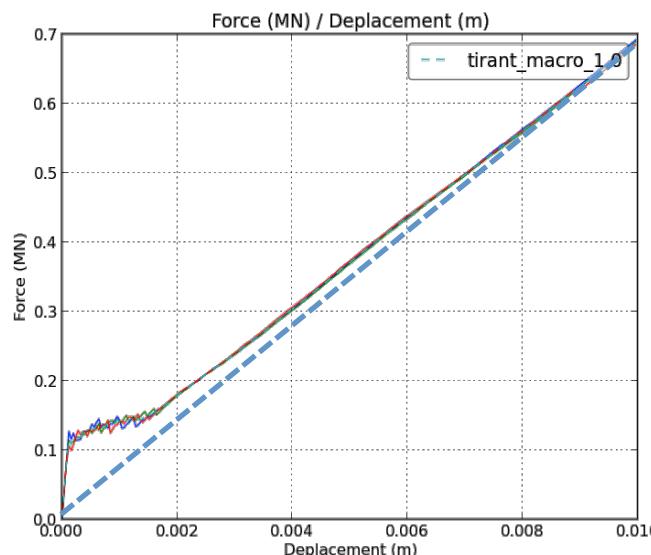
Travail réalisé par Christian:

- Programmation (en Python) d'un outil de post traitement des résultats de FIDES pour: tracé des courbes globales, comptage des macro-fissures et récupération de leurs ouvertures.
- Calculs/post-traitement des résultats sur le tirant cité ci-dessus
- En annexe petite étude paramétrique sur:
 - La hauteur d'enrobage de l'acier dans le tirant (ie on a joué sur la largeur du tirant)
 - Pour un enrobage donné, augmentation de la quantité d'acier

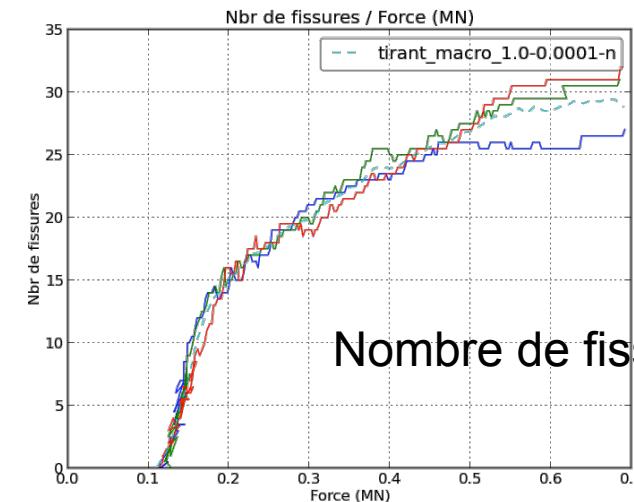


2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

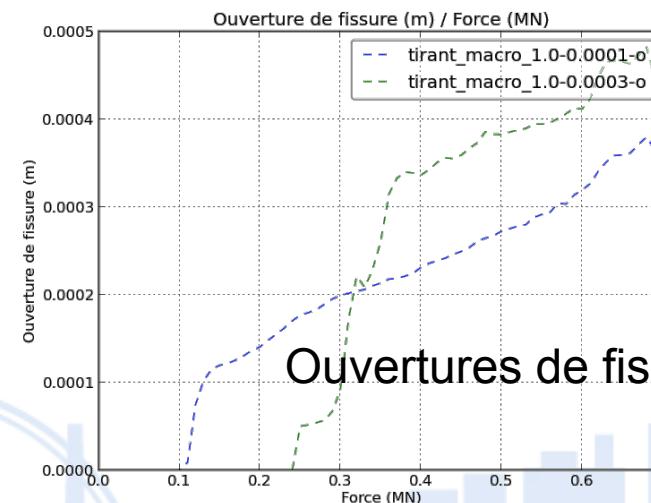
Résultats types obtenus



Comportement global



Nombre de fissures



Ouvertures de fissures

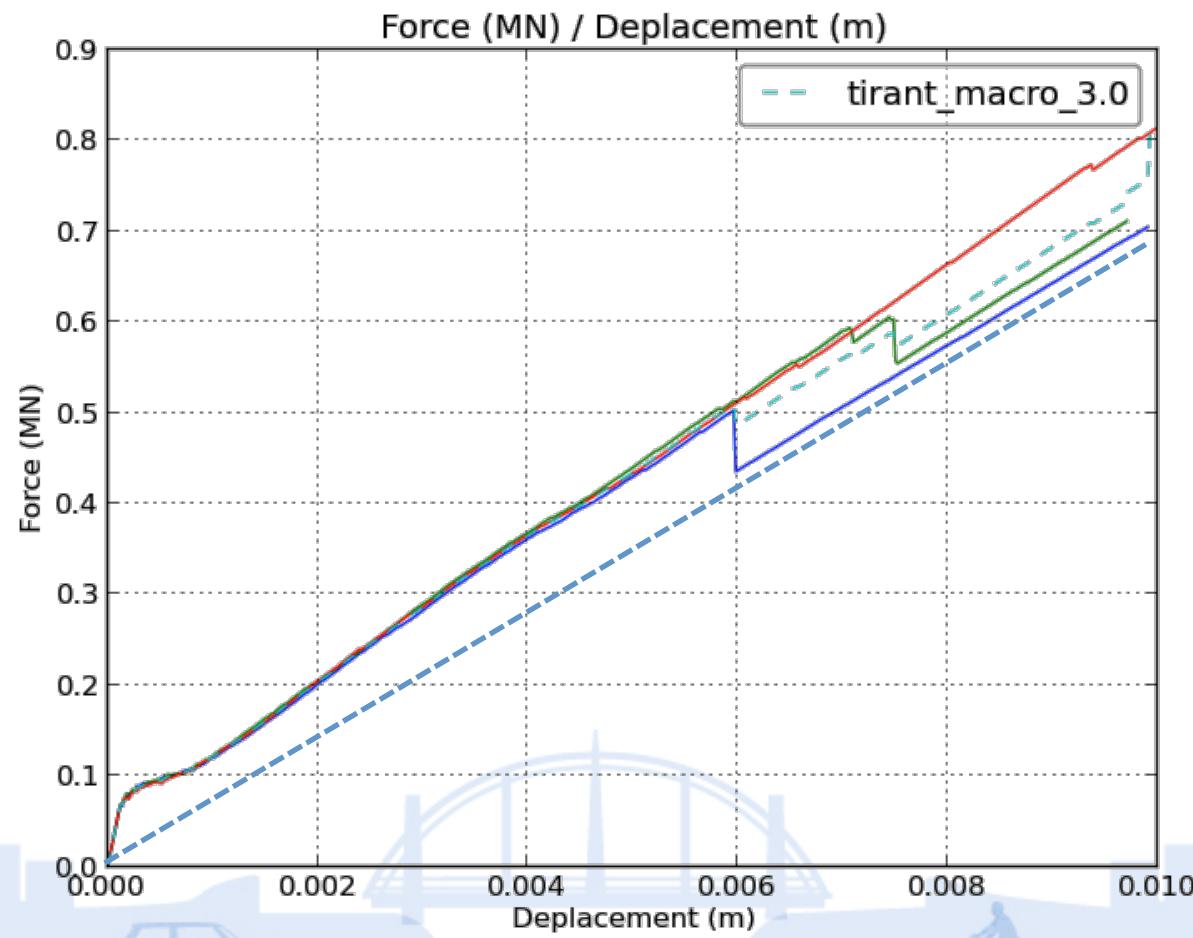
2ème tentative d'identification

(à l'échelle d'un tirant)

Courbes globales

tirant_macro_3.0
($175 \times 4,2 \times 80$ cm /
1,7% d'acier)

[Réf.]



08/07/2014

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

Christian Nader

www.ifsttar.fr

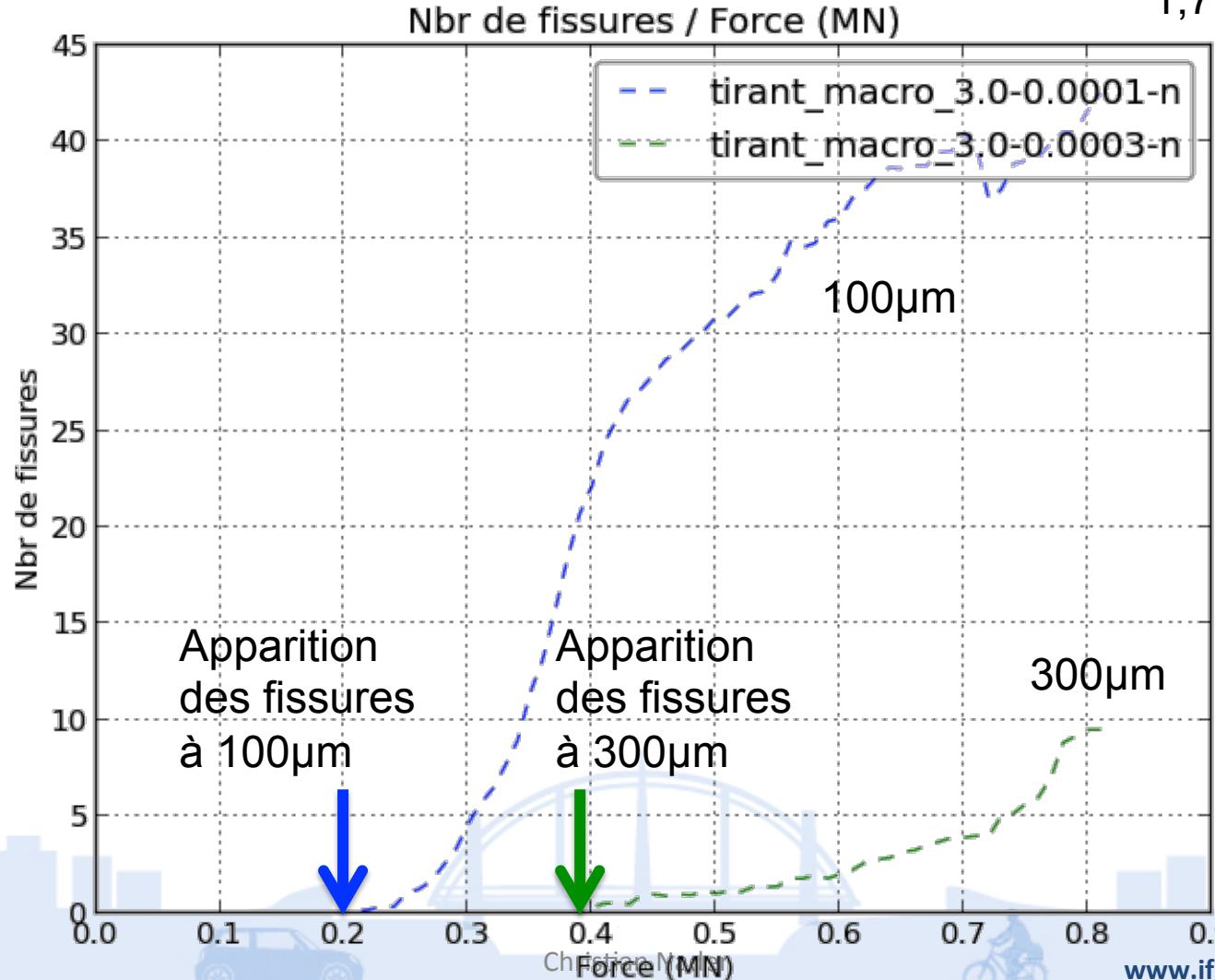
14

2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

Nombre de fissures (courbes moy)

tirant_macro_3.0
($175 \times 4,2 \times 80$ cm /
1,7% d'acier)

[Réf.]



08/07/2014

www.ifsttar.fr

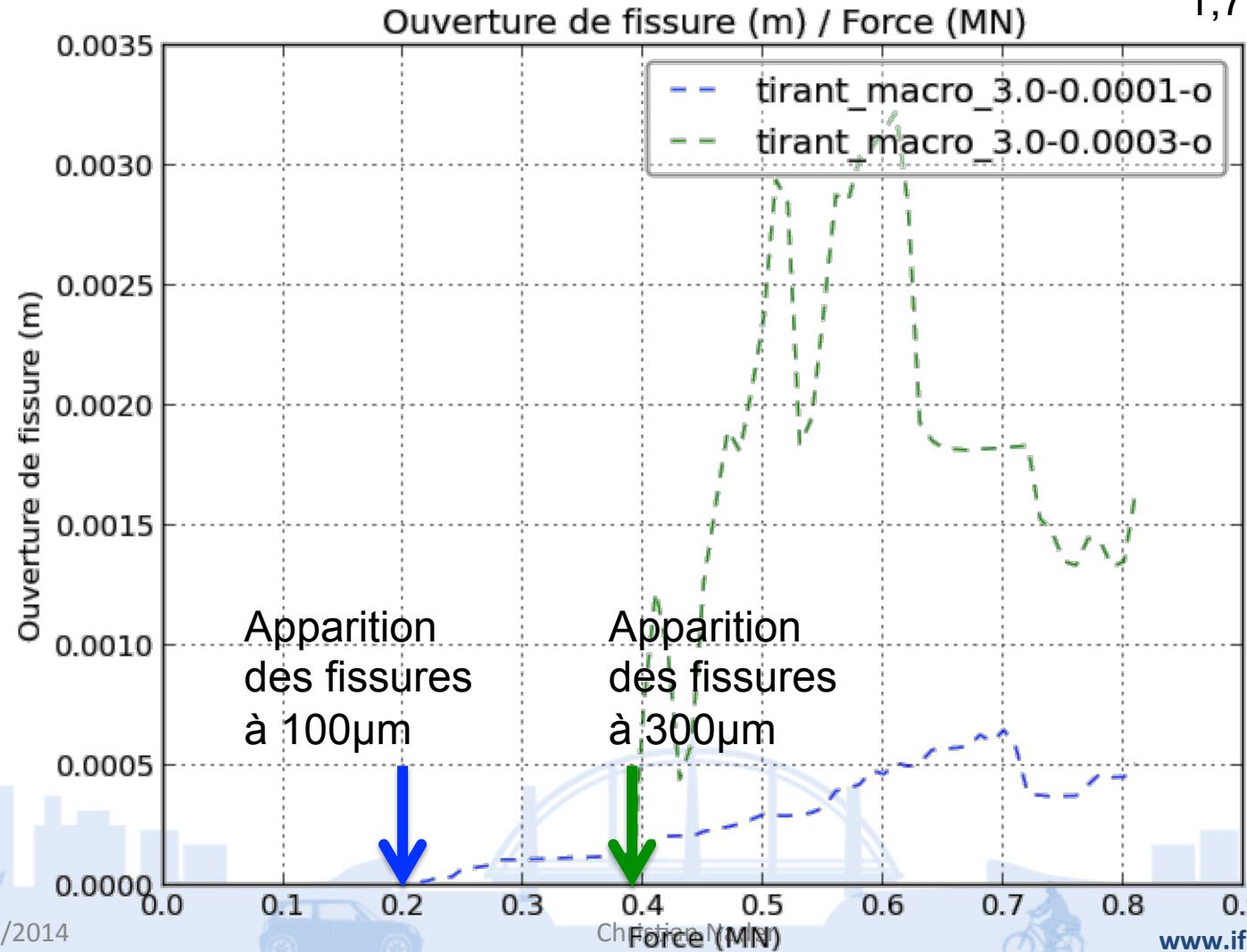
2ème tentative d'identification

(à l'échelle d'un tirant)

Ouvertures de fissures (courbes moy)

tirant_macro_3.0
(175 x 4,2 x 80 cm /
1,7% d'acier)

[Réf.]



2ème tentative d'identification

(à l'échelle d'un tirant)

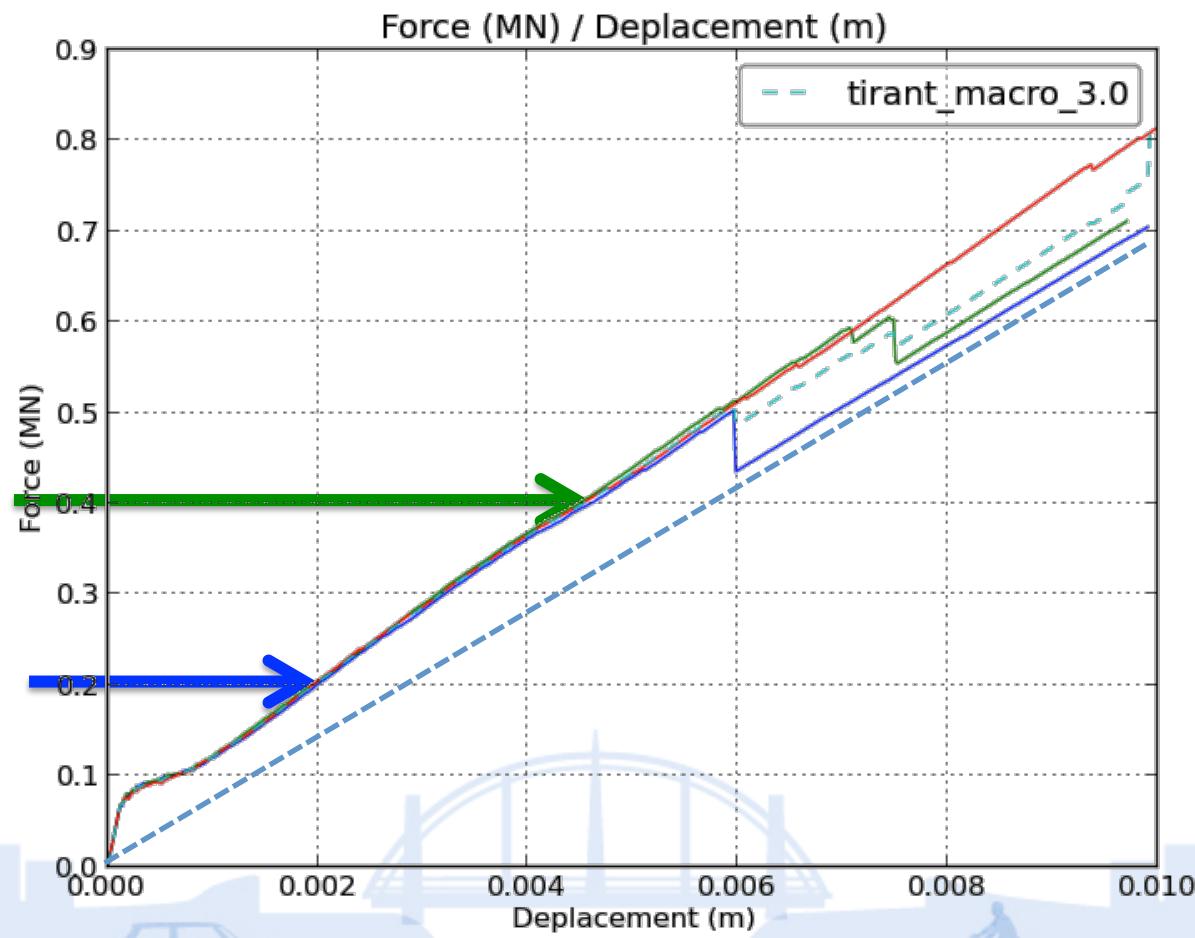
Courbes globales

tirant_macro_3.0
(175 x 4,2 x 80 cm /
1,7% d'acier)

[Réf.]

Apparition
des fissures
à 300µm

Apparition
des fissures
à 100µm



08/07/2014

Christian Nader

www.ifsttar.fr

17

2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

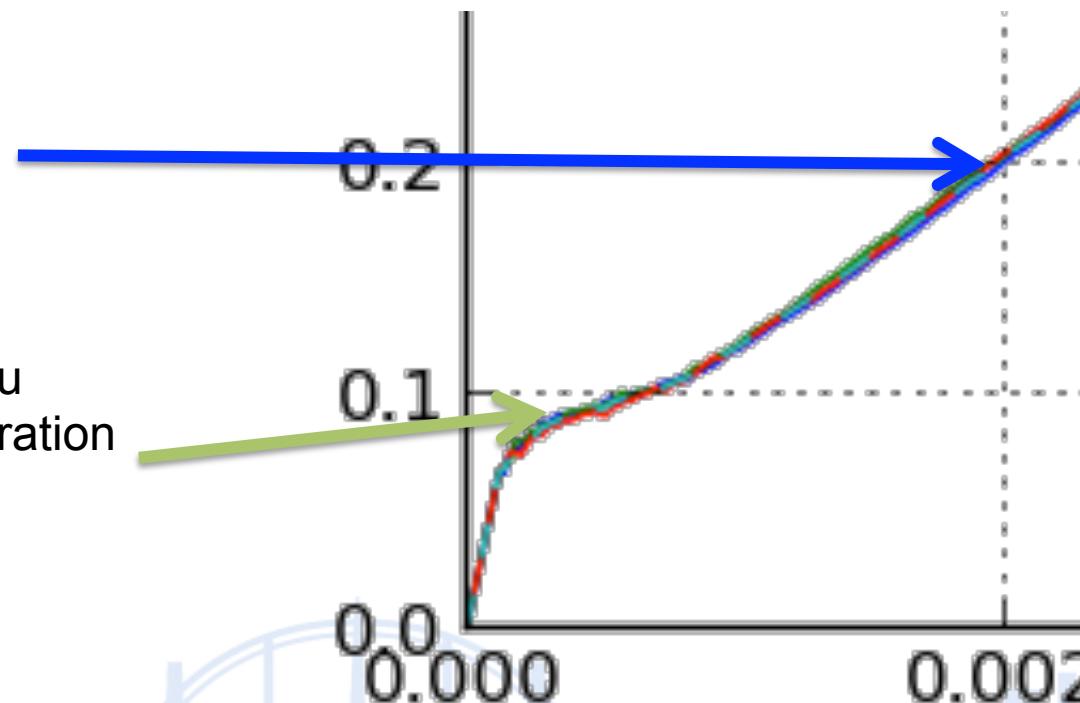
Courbes globales (zoom)

tirant_macro_3.0
(175 x 4,2 x 80 cm /
1,7% d'acier)

[Réf.]

Apparition
des fissures
à 100µm

Non linéarité liée au
processus de fissuration
situé à une échelle
inférieure à 100µm



08/07/2014



Christian Nader

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux



www.ifsttar.fr

18

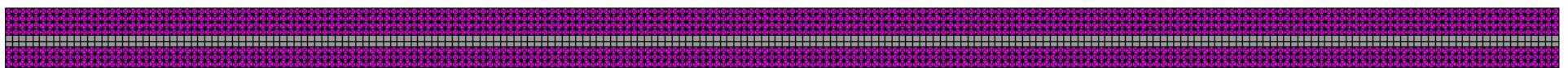
Calculs annexes

Différentes épaisseurs (différents % d'acier dans la section) pour acier HA12:

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)



tirant_macro_2.0 (175 x 5,7 x 80 cm / 1,24% d'acier)



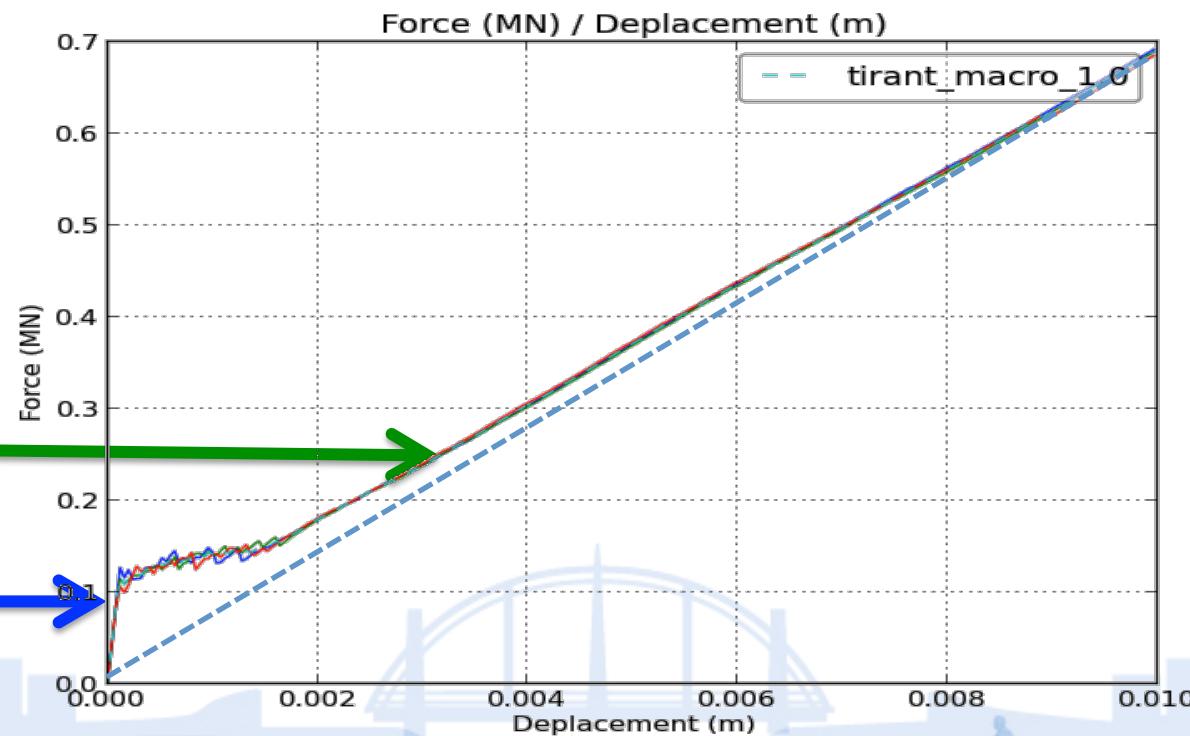
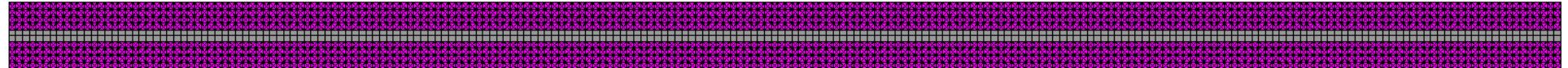
tirant_macro_3.0 (175 x 4,2 x 80 cm / 1,7% d'acier)

[Réf.]



Courbes globales:

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)



Apparition
des fissures
à 300µm

Apparition
des fissures
à 100µm

08/07/2014

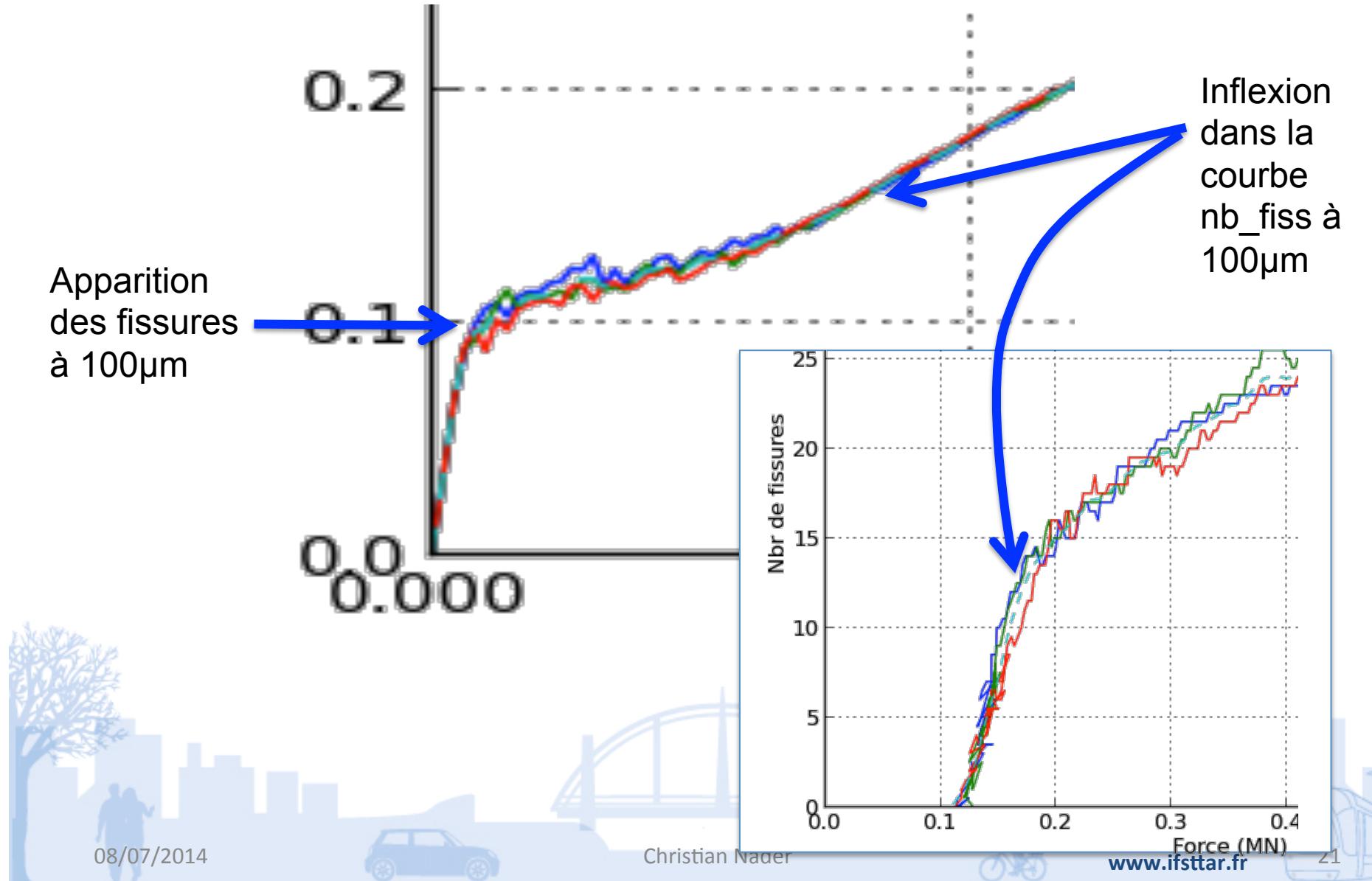
Christian Nader

www.ifsttar.fr

20

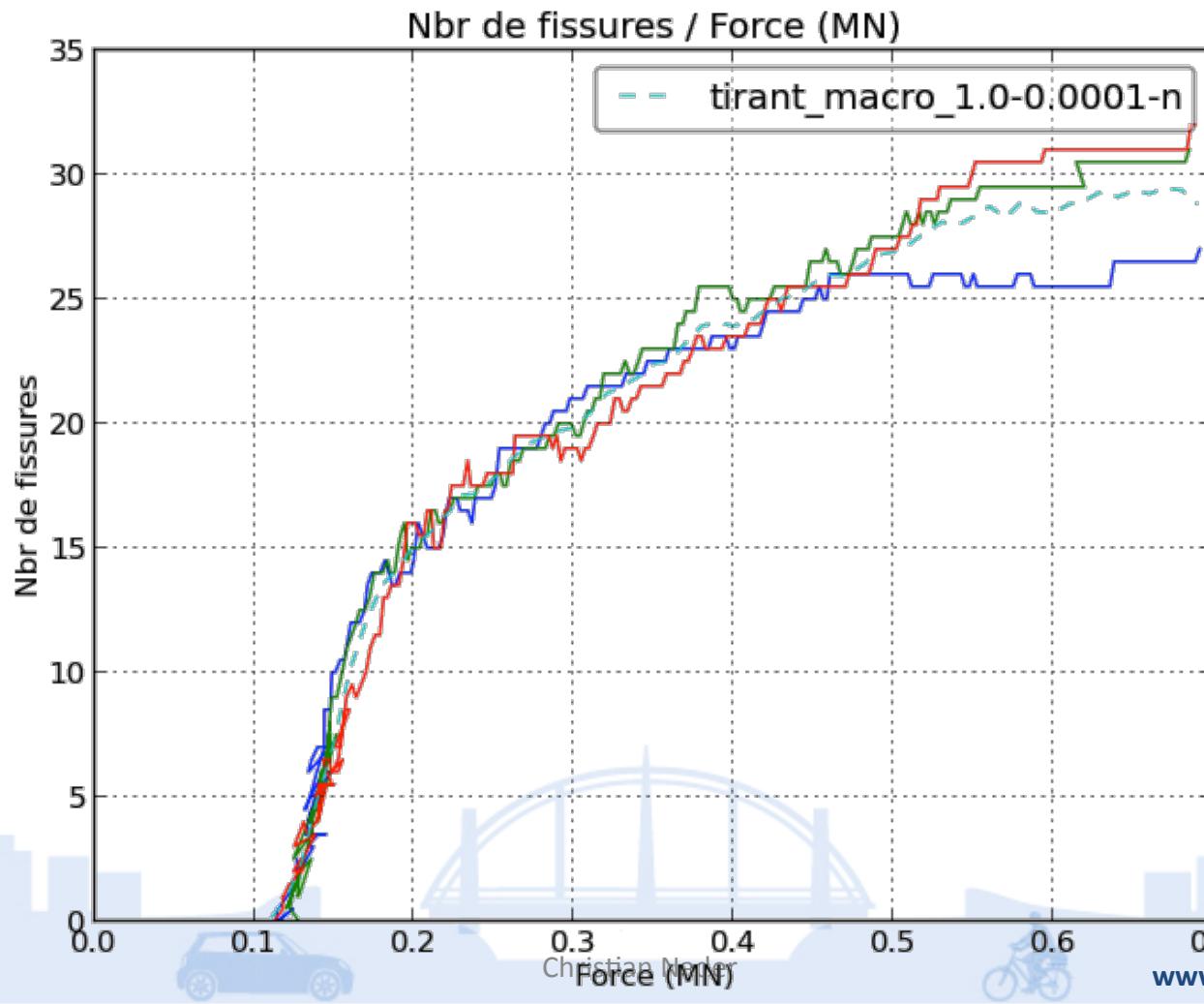
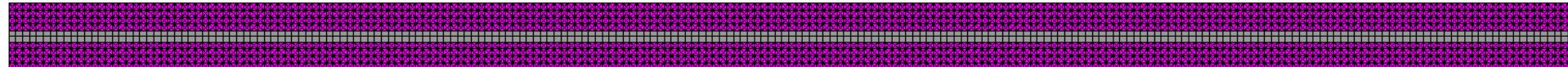
2. Courbes globales:

tirant_macro_2.0 (175 x 5,7 x 80 cm / 1,24% d'acier)



Nombre de fissures

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)

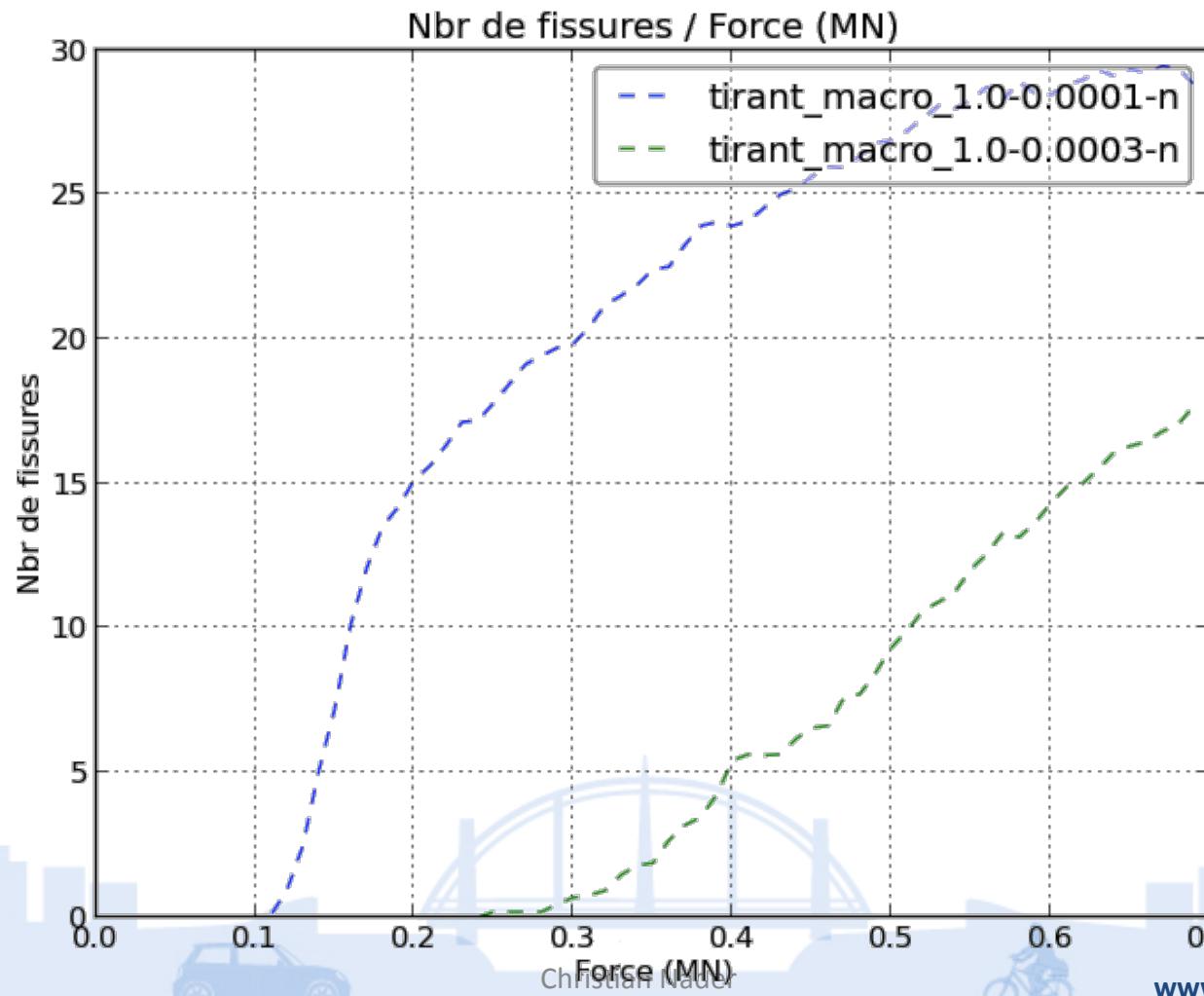
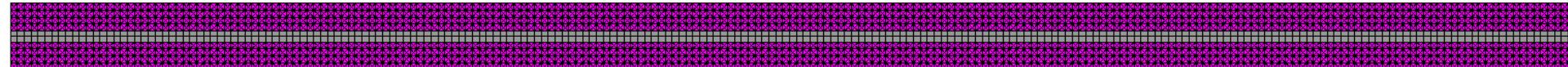


08/07/2014



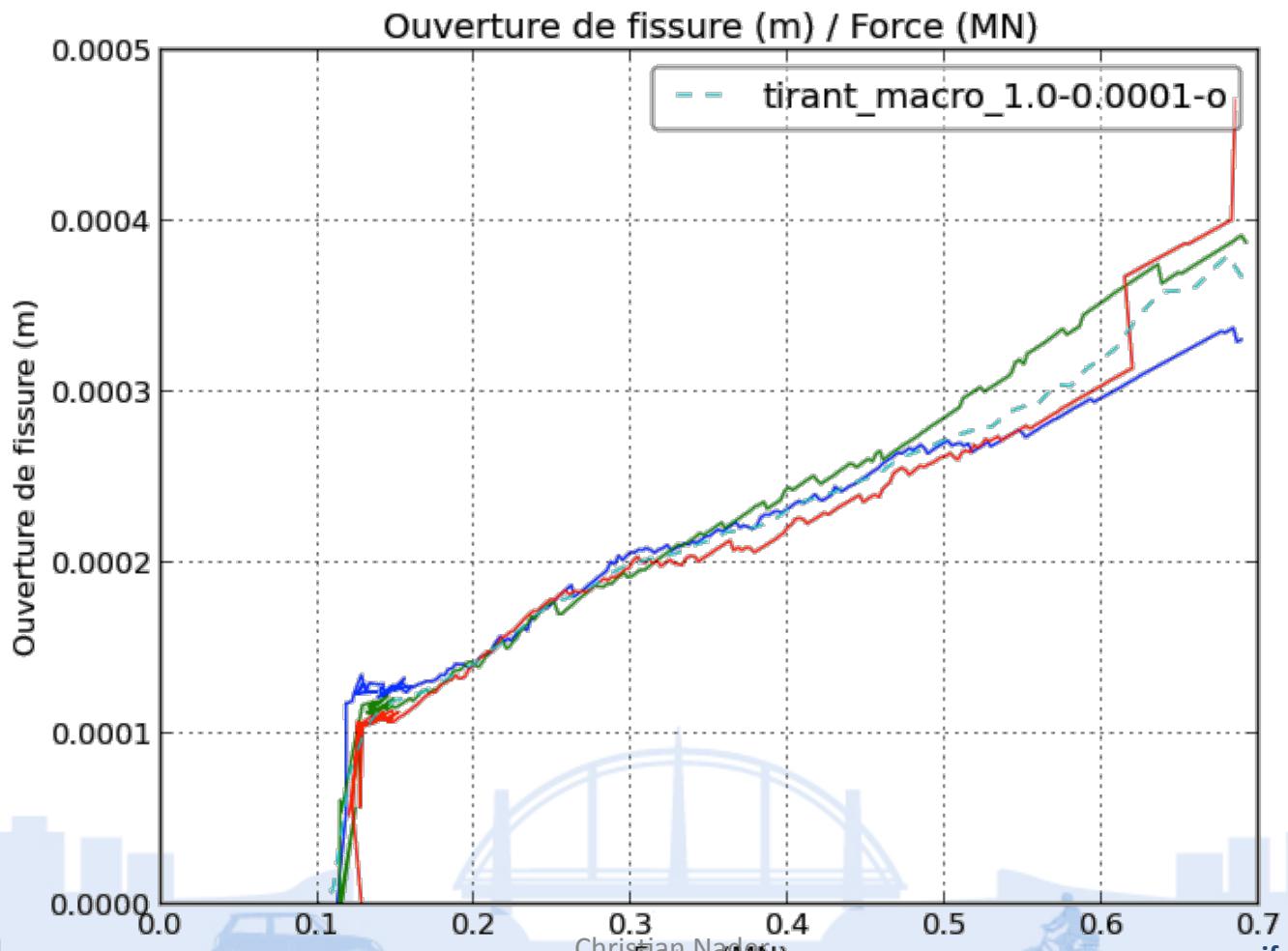
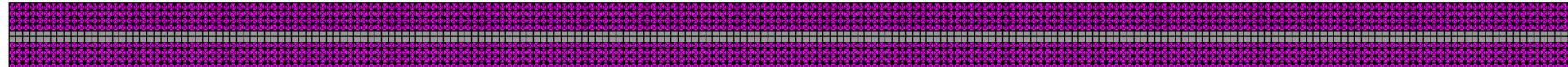
Nombre de fissures

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)



Ouvertures de fissures

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)



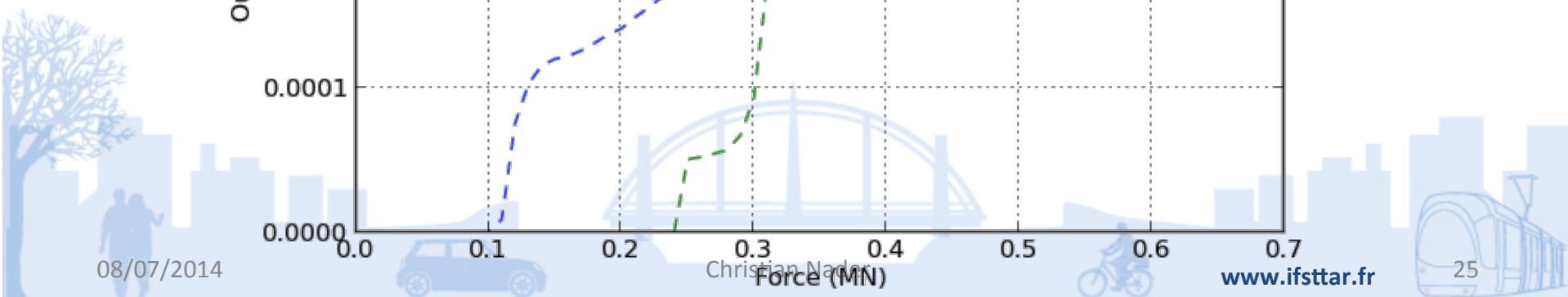
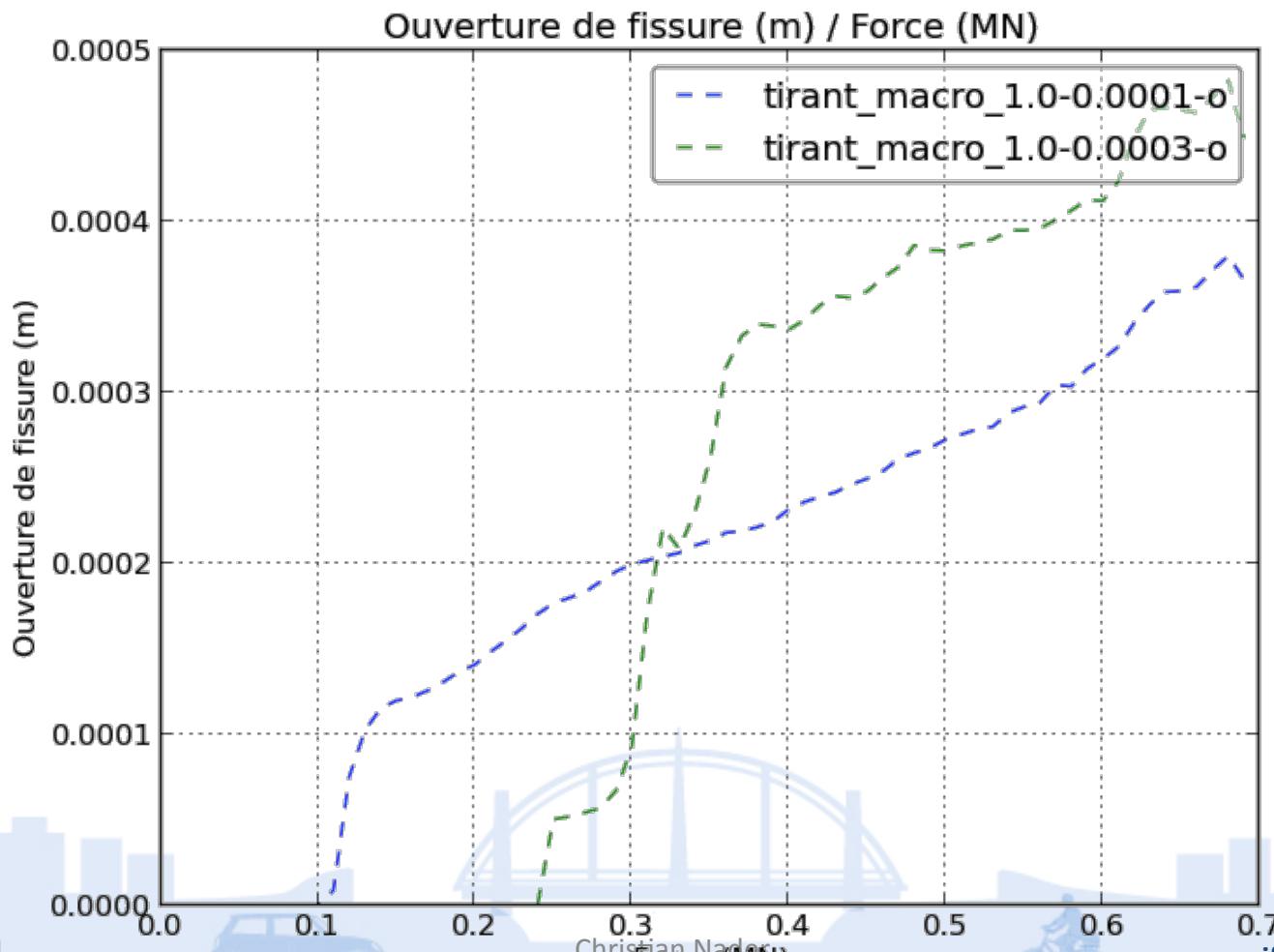
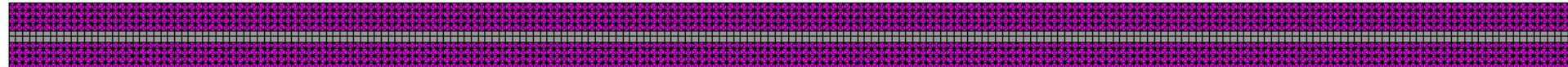
08/07/2014

Christian Nader

24

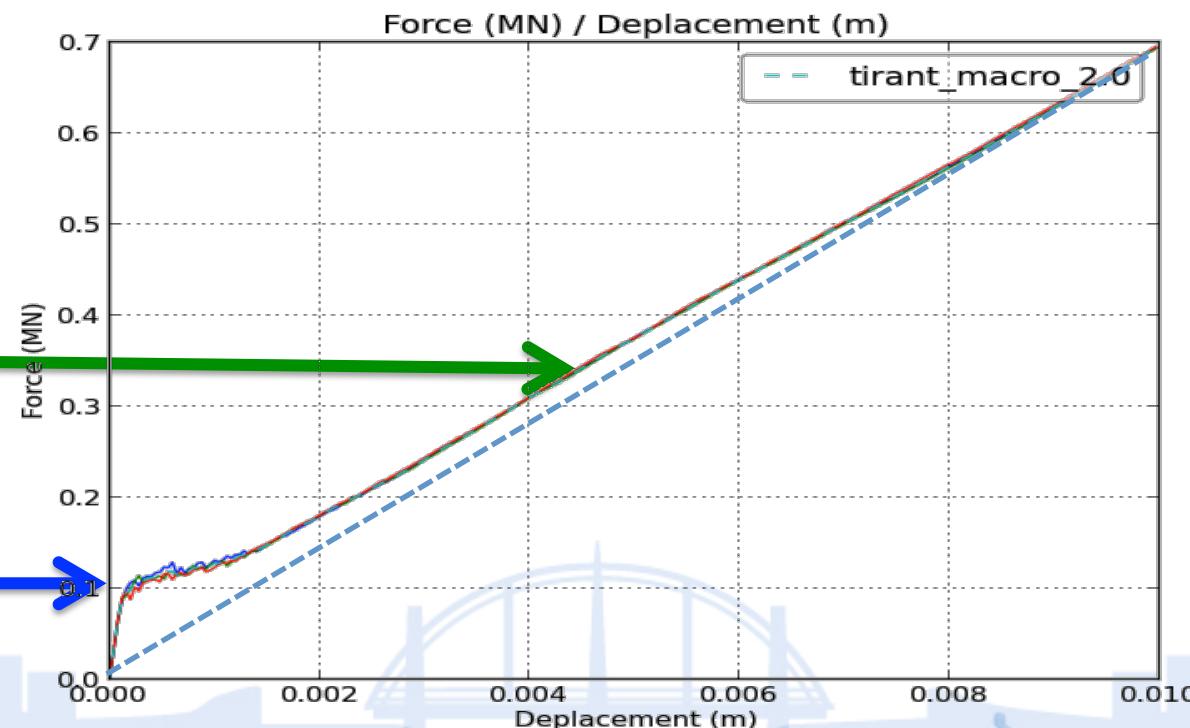
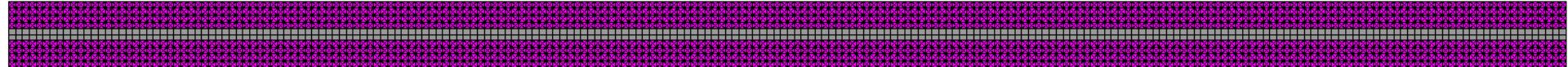
Ouvertures de fissures

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)



Courbes globales

tirant_macro_2.0 (175 x 5,7 x 80 cm / 1,24% d'acier)

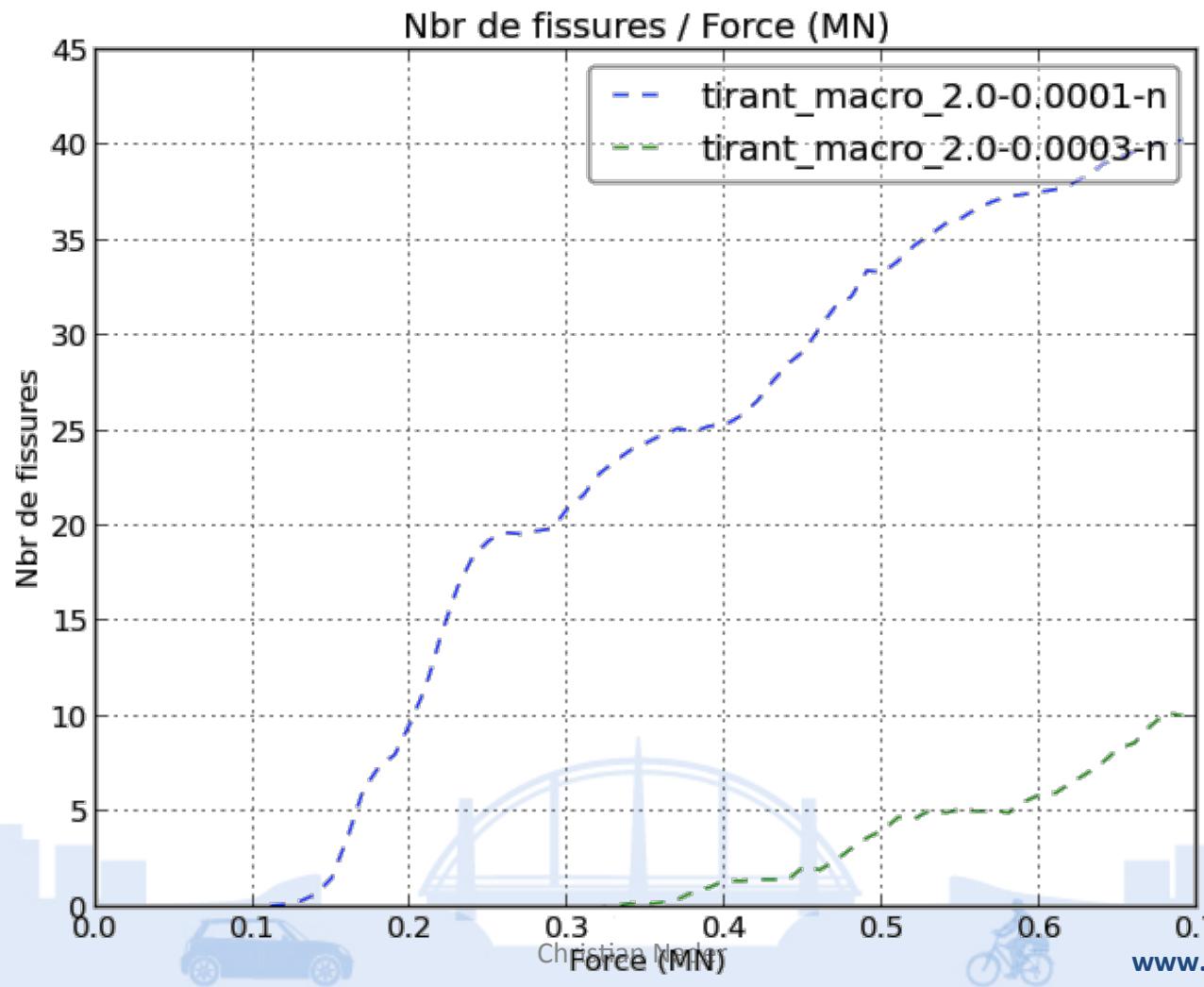
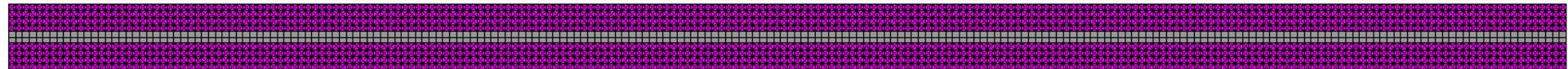


Apparition
des fissures
à 300µm

Apparition
des fissures
à 100µm

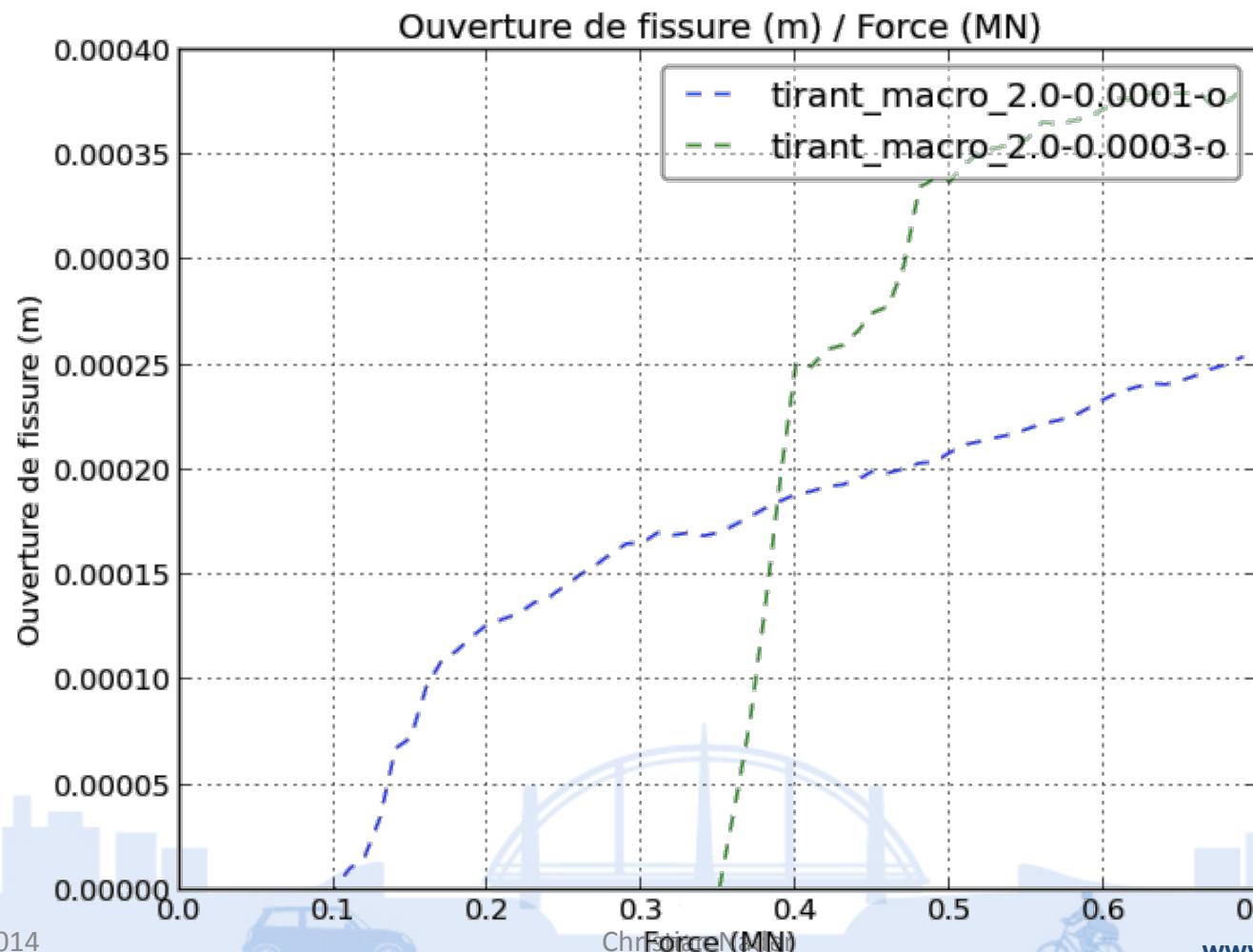
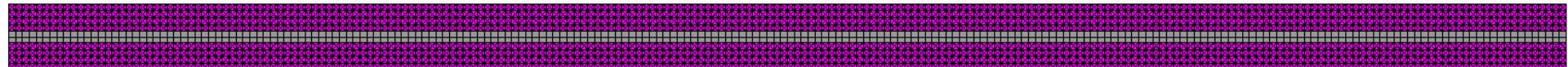
Nombre de fissures

tirant_macro_2.0 (175 x 5,7 x 80 cm / 1,24% d'acier)



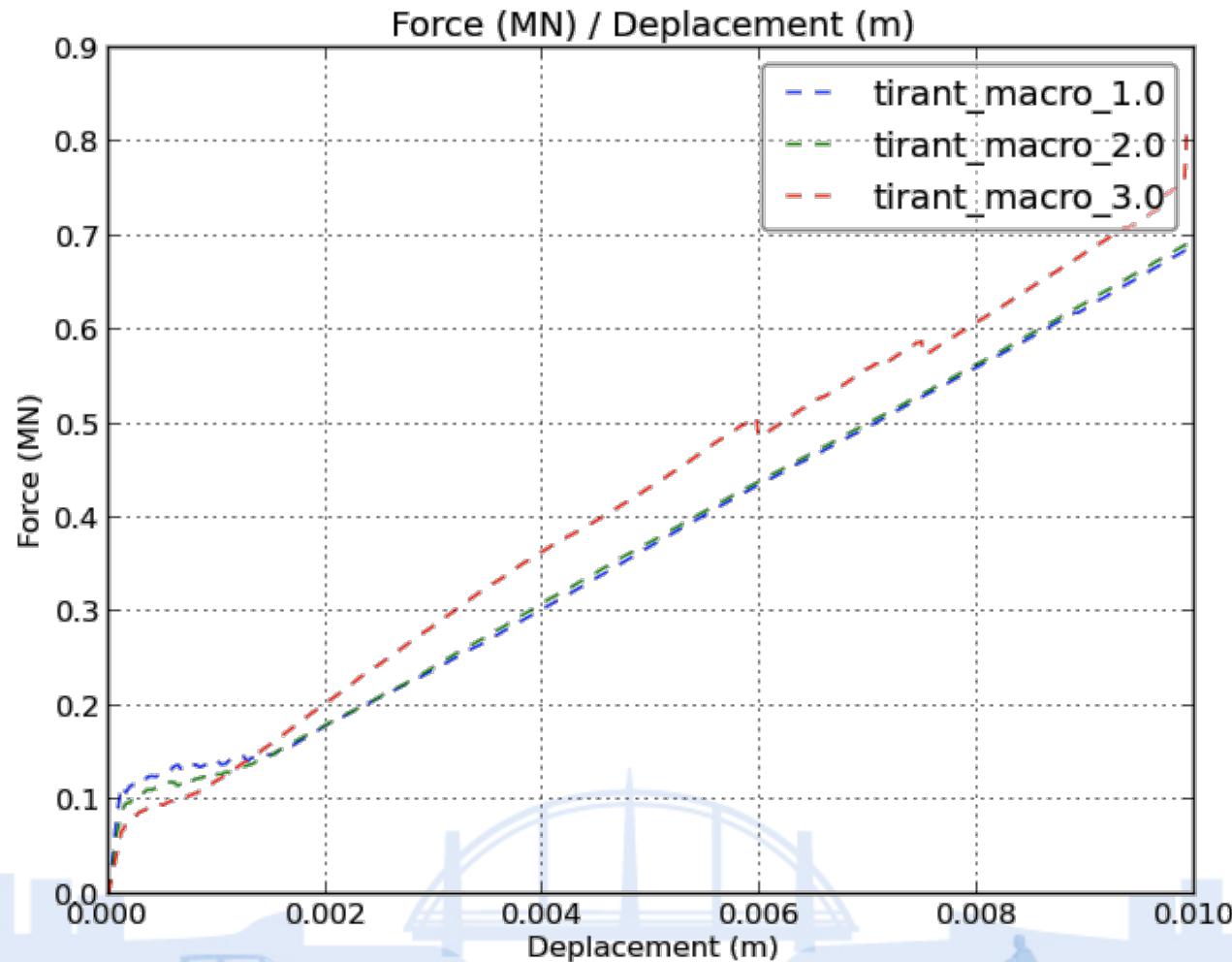
Ouvertures de fissures

tirant_macro_2.0 (175 x 5,7 x 80 cm / 1,24% d'acier)

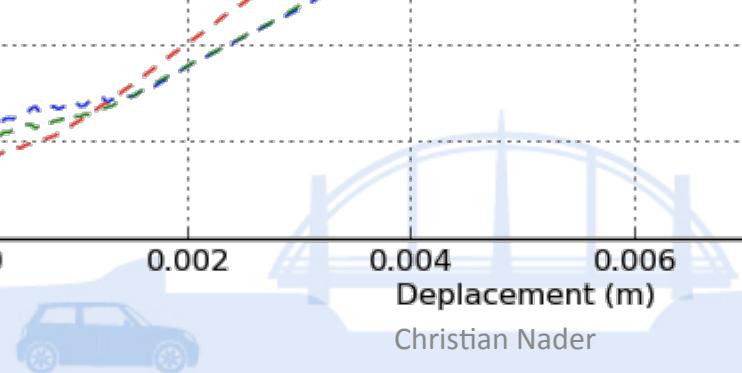


Comparaison

Courbes globales (zoom)



08/07/2014



Christian Nader

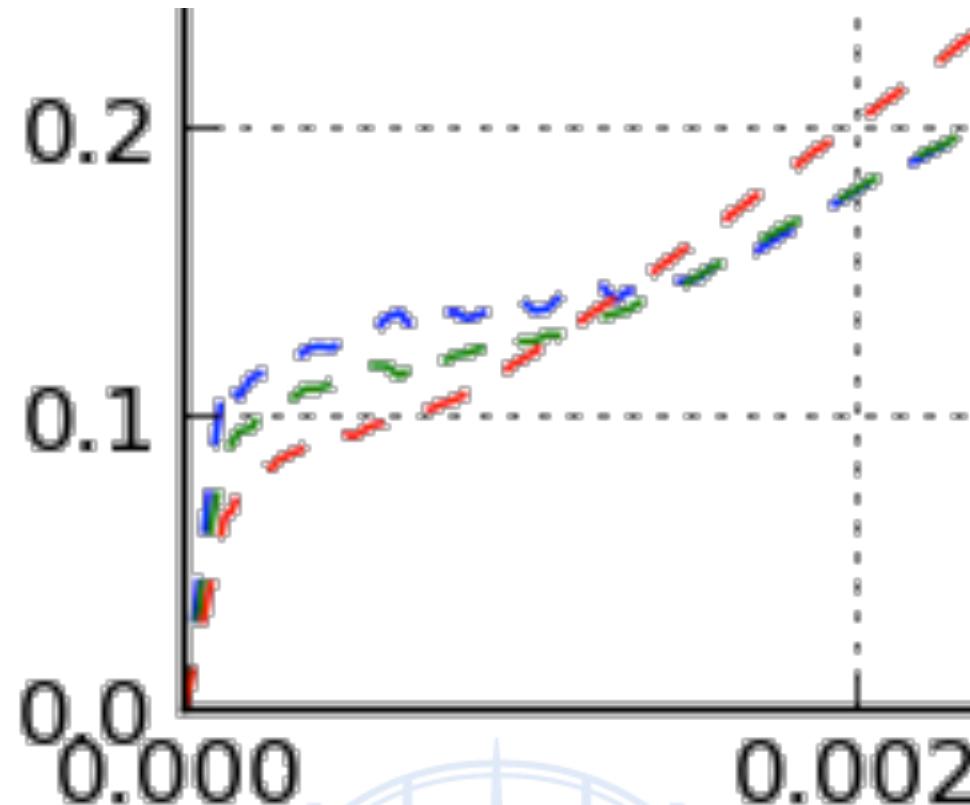
www.ifsttar.fr



29

Comparaison

Courbes globales (zoom)



08/07/2014

0.000

0.002

Christian Nader

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

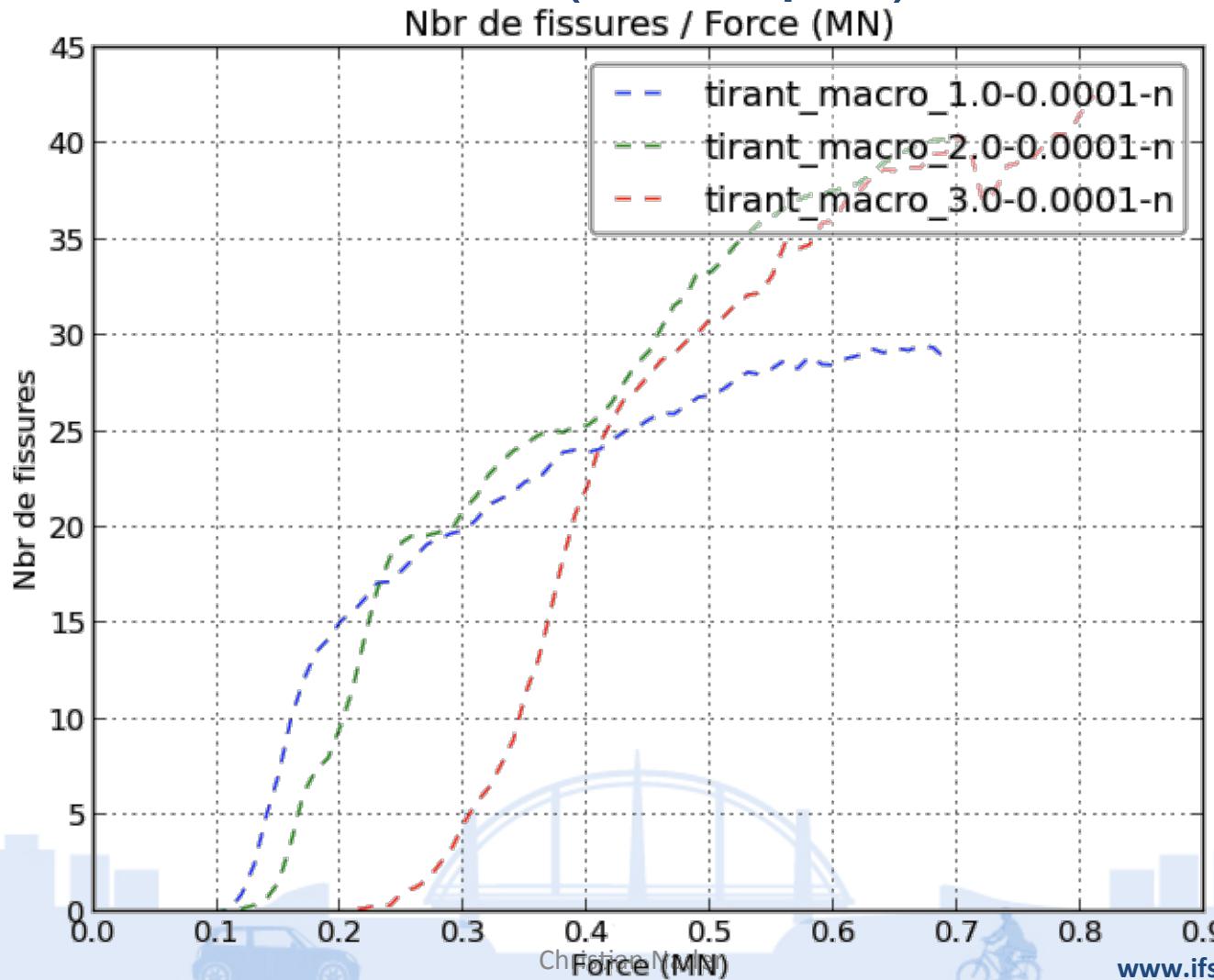
www.ifsttar.fr



30

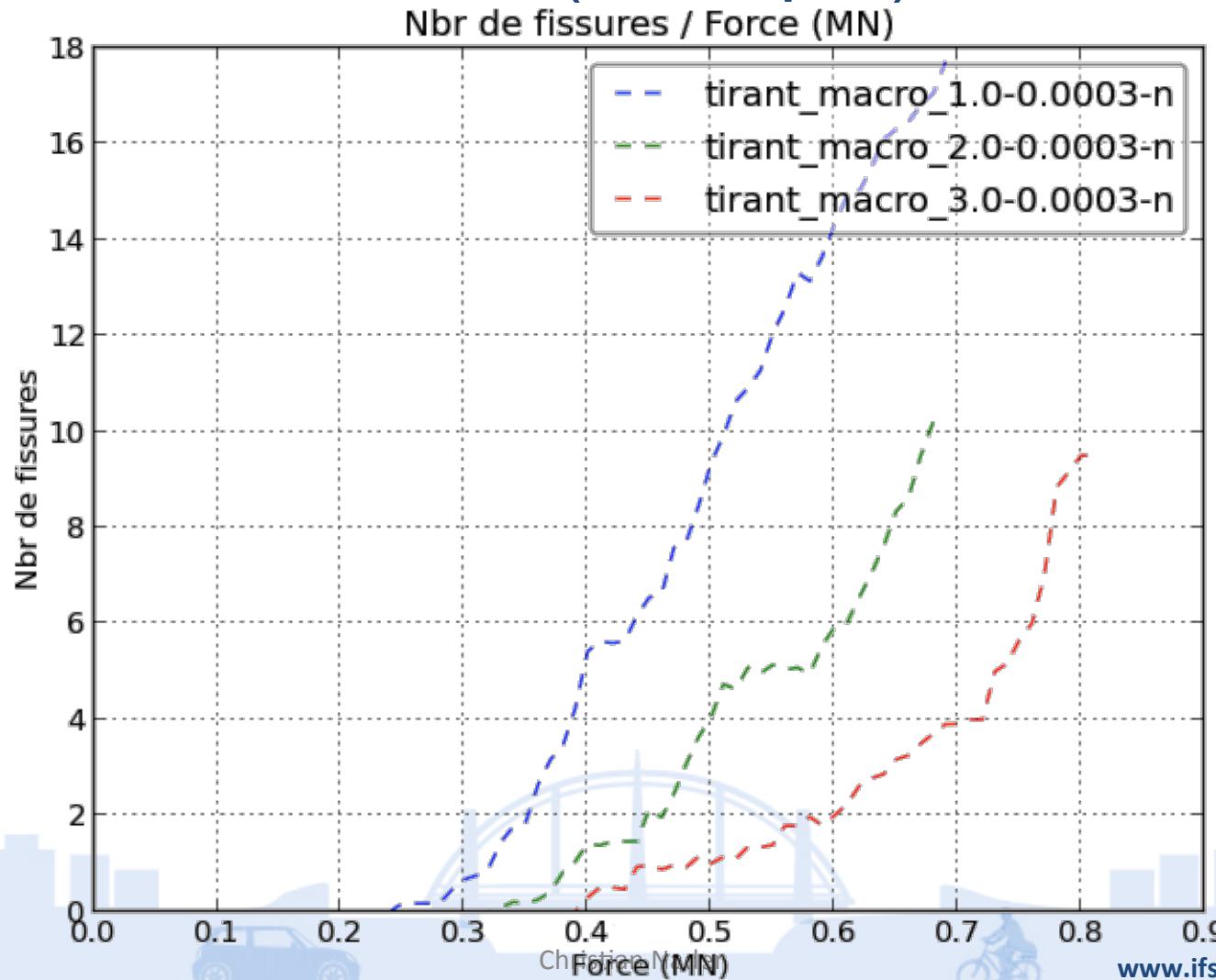
Comparaison

Nombre de fissures (à 100µm)



Comparaison

Nombre de fissures (à 300µm)



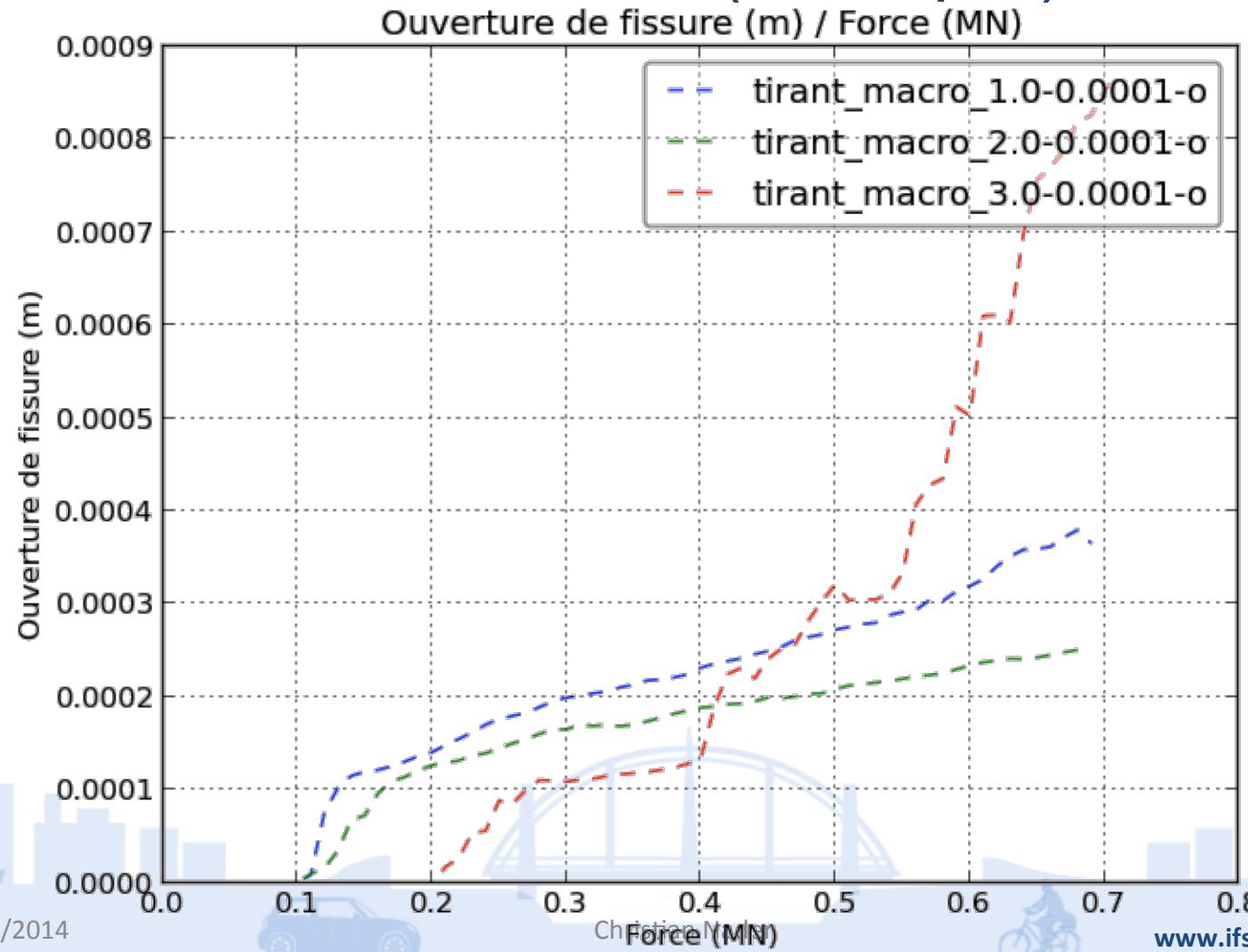
08/07/2014

www.ifsttar.fr

32

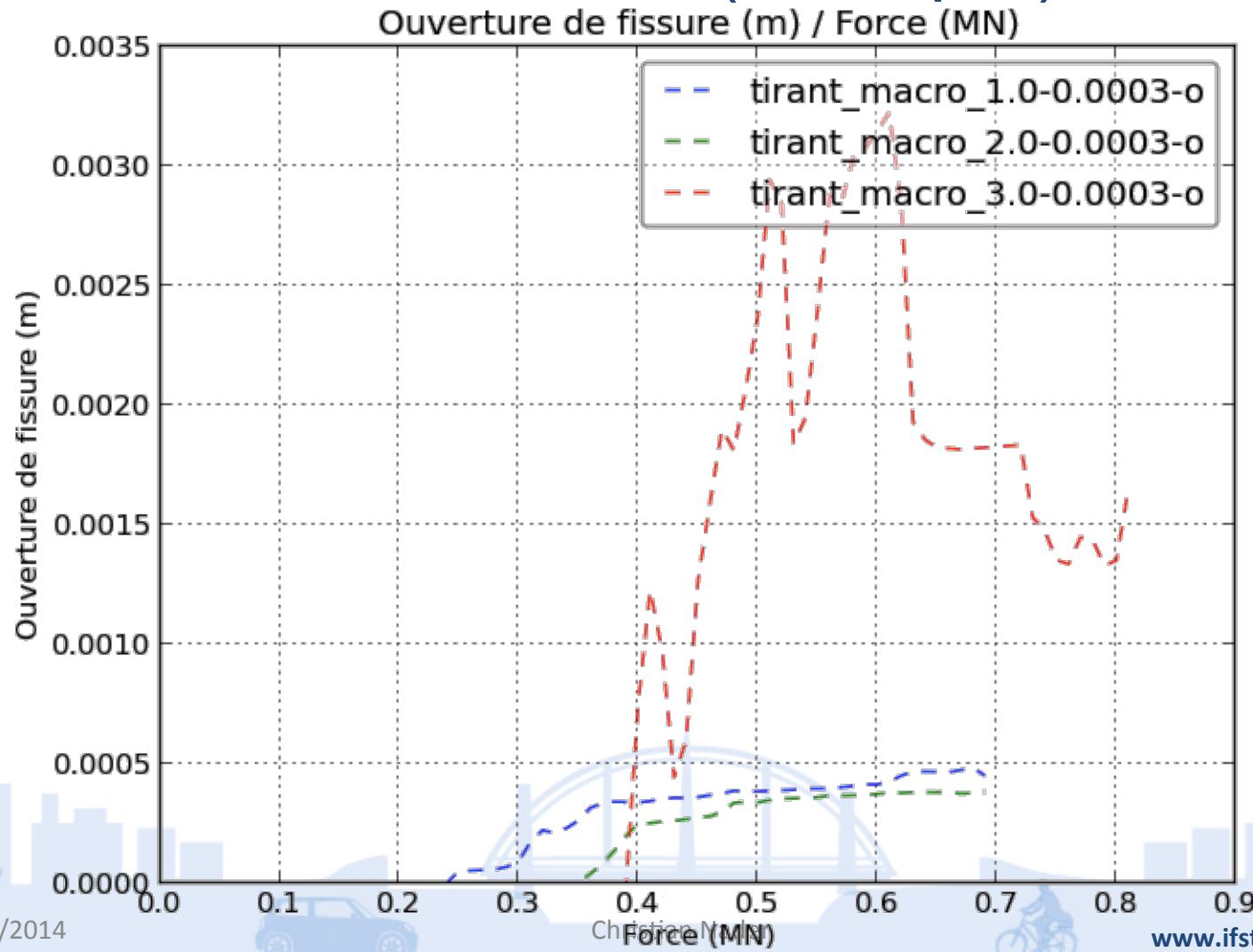
Comparaison

Ouvertures de fissures (à 100µm)



Comparaison

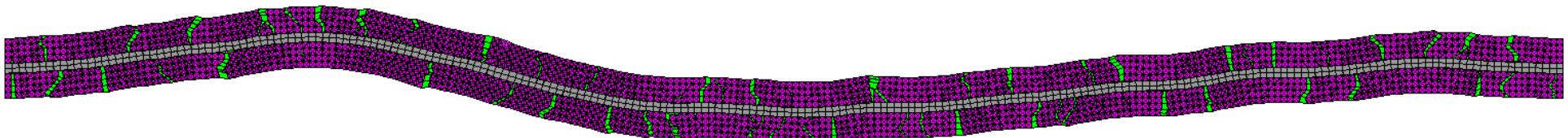
Ouvertures de fissures (à 300µm)



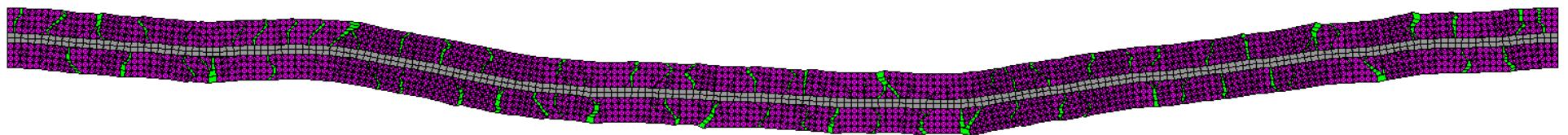
Comparaison

1. Visualisation GID:

tirant_macro_1.0 (175 x 7,2 x 80 cm / 1,0% d'acier)

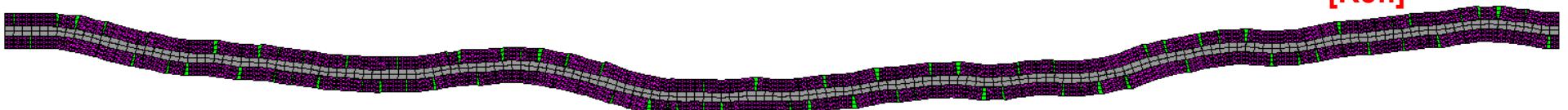


tirant_macro_2.0 (175 x 5,7 x 80 cm / 1,24% d'acier)



tirant_macro_3.0 (175 x 4,2 x 80 cm / 1,7% d'acier)

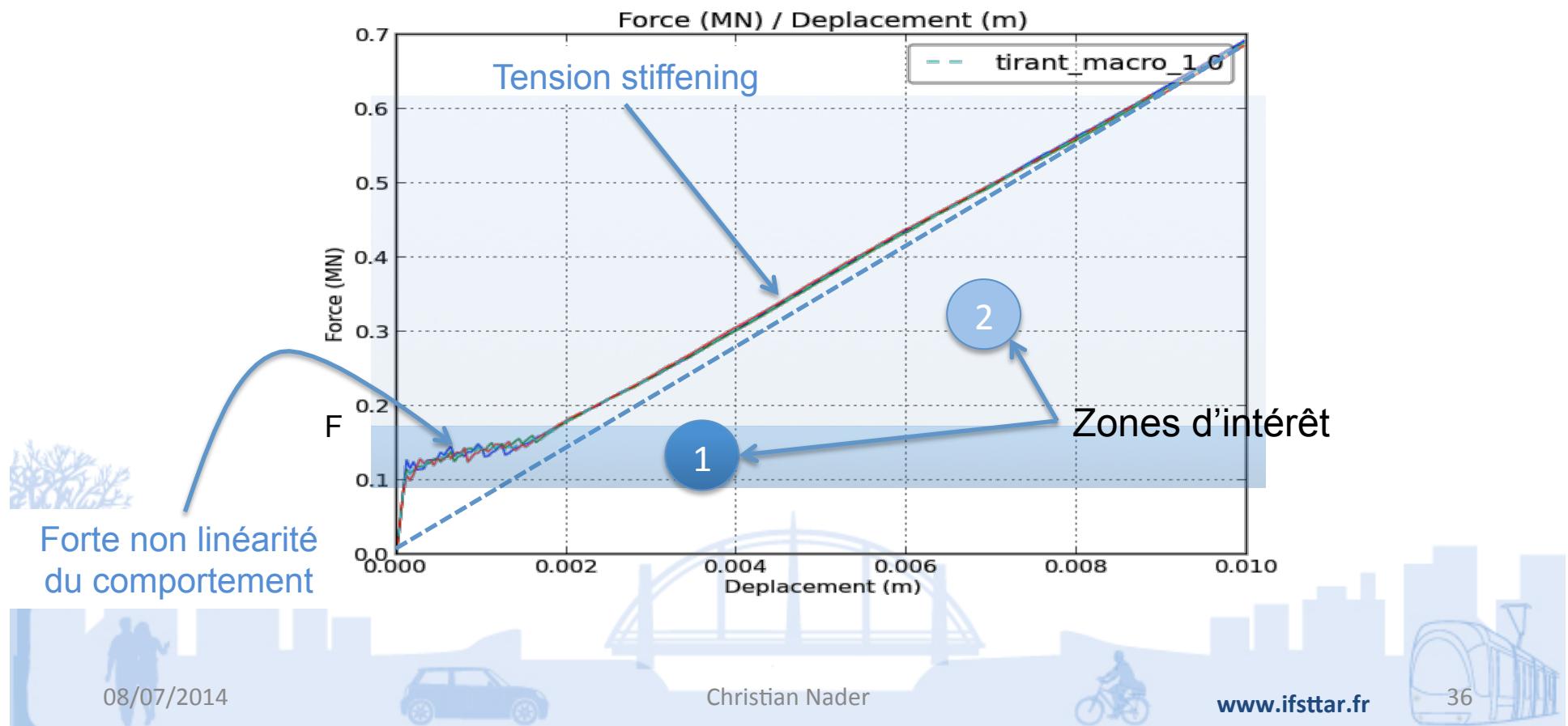
[Réf.]



2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

Résultats types obtenus

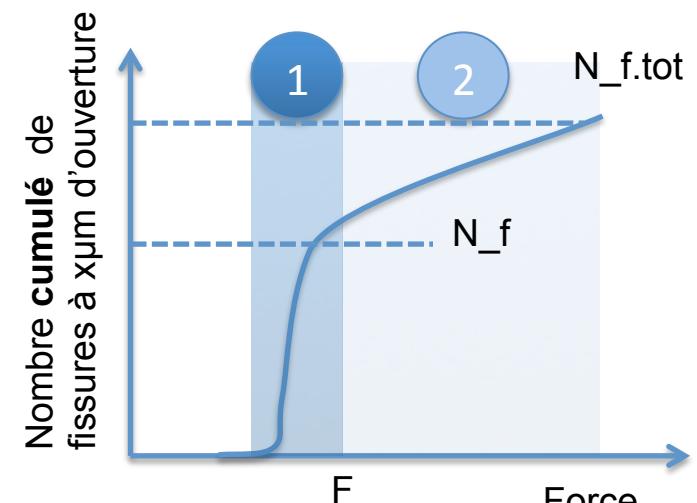
- Comportement global



2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

Résultats types obtenus

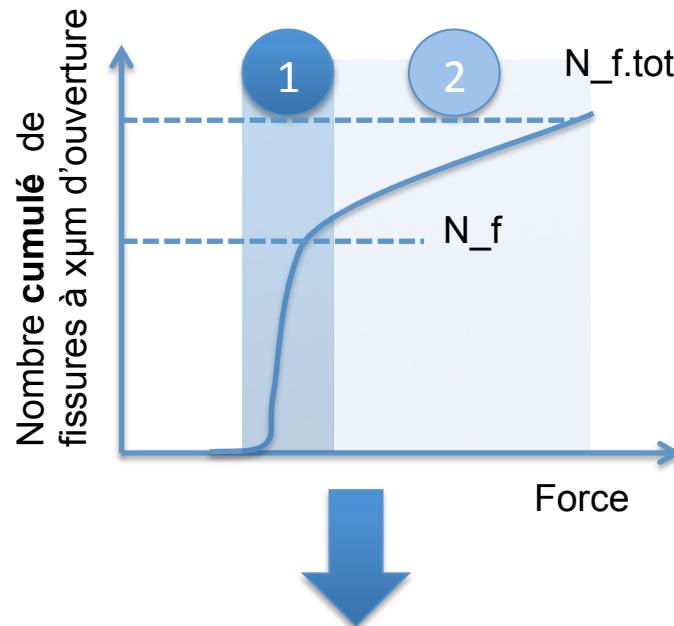
Zone 1 Création d'une typologie de fissures avec une augmentation rapide du nombre de ces fissures. Cependant seul un nombre restreint, N_f , de ces fissures est responsable de la forte non linéarité du comportement global



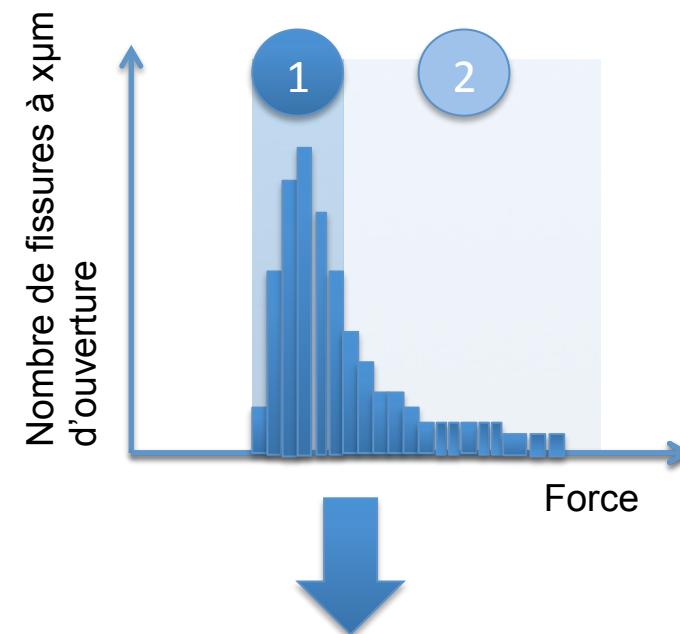
Zone 2 Augmentation plus faible du nombre de fissures de la typologie apparue dans la zone 1. Apparition de fissures plus importantes. Mais ces fissures ne sont que celles qui ont été créées précédemment et qui s'ouvrent plus. Le comportement global (force vs. dépl) est quasi-linéaire

2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

Utilisation des résultats pour modélisation



Densité de fissures
(nbr de fiss par m
linéaire d'acier =
 $N_f.tot/L$)



Densité de
probabilité de
résistance



08/07/2014

Christian Nader

www.ifsttar.fr

2ème tentative d'identification (à l'échelle d'un tirant)

Utilisation des résultats pour modélisation

Nbre de fissures par m linéaire d'acier
=> probabilité qu'un élément fissure (p)

Densité de
probabilité de
résistances

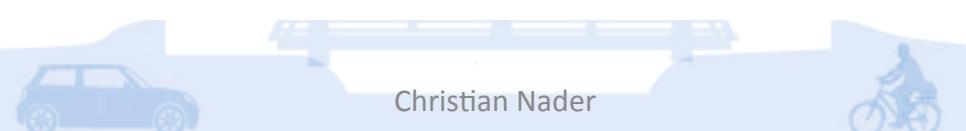
Nombre d'éléments capables de fissurer
(obtenu par tirage aléatoire sur la base
d'une loi de Bernoulli de probabilité p)

Population de résistance sur les
éléments du maillage
(tirage aléatoire sur la base d'une loi de
proba valide % expérience)

Doit permettre d'en déduire les propriétés de
rupture des éléments qui doivent fissurer:
Nombre d'éléments et leurs résistances



08/07/2014



Christian Nader

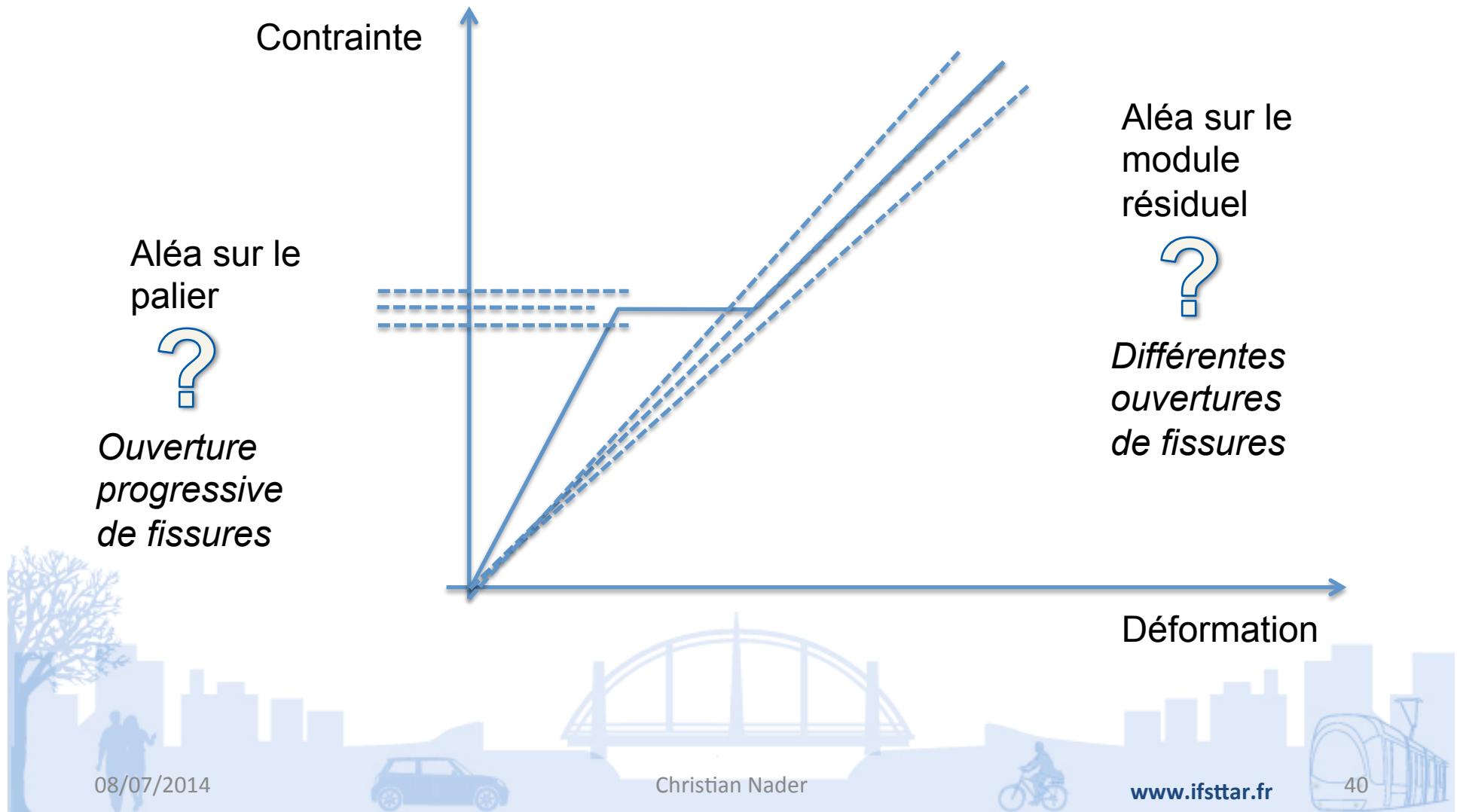
Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux



www.ifsttar.fr

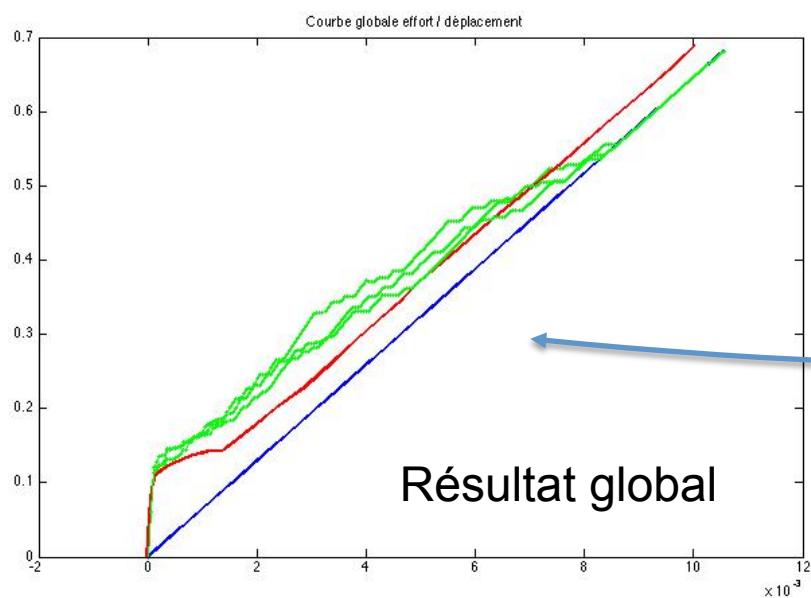
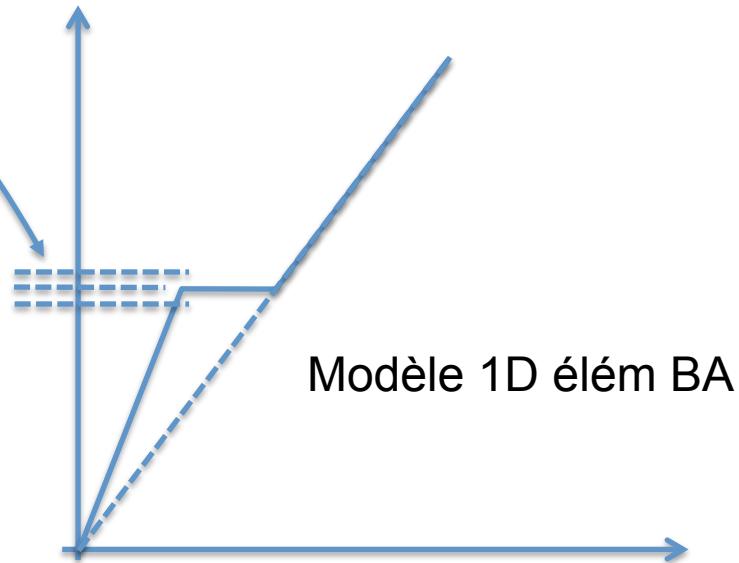
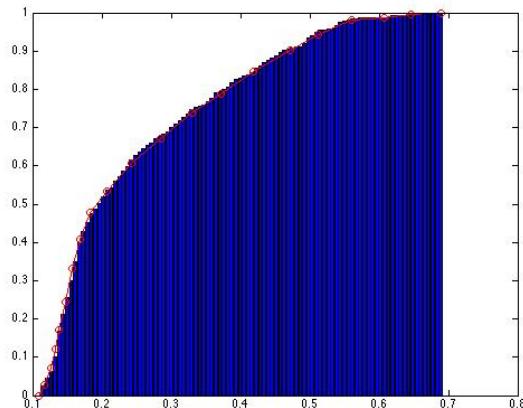
39

Modèle de comportement (à l'échelle d'un macro élément)

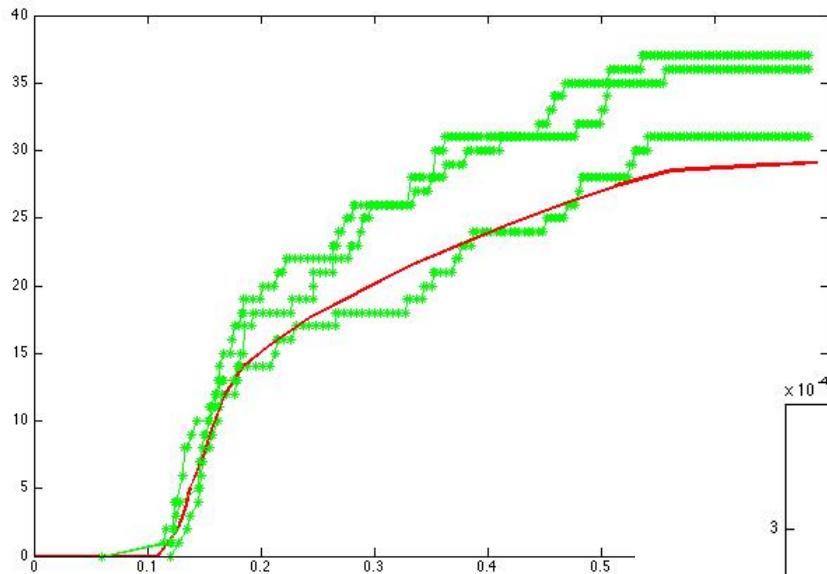


Calcul 1D du tirant

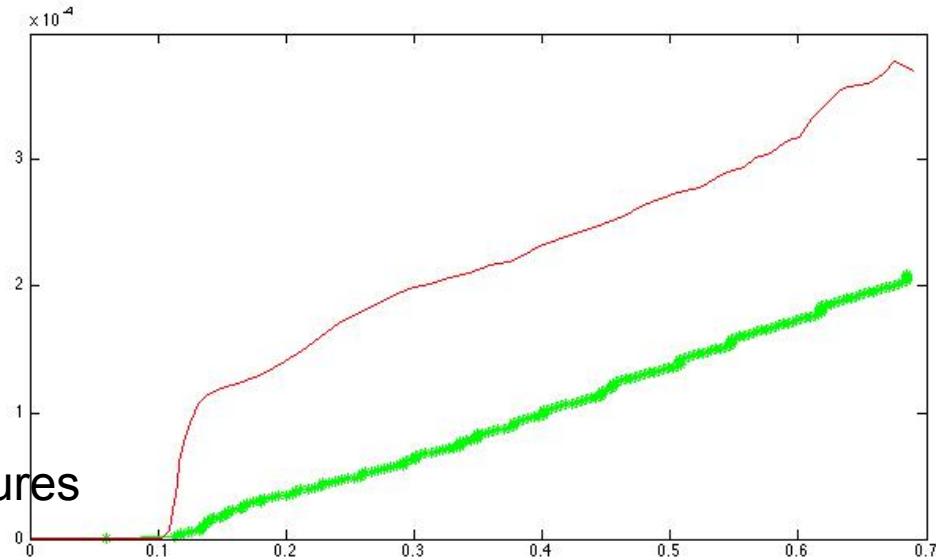
Distribution de résistance



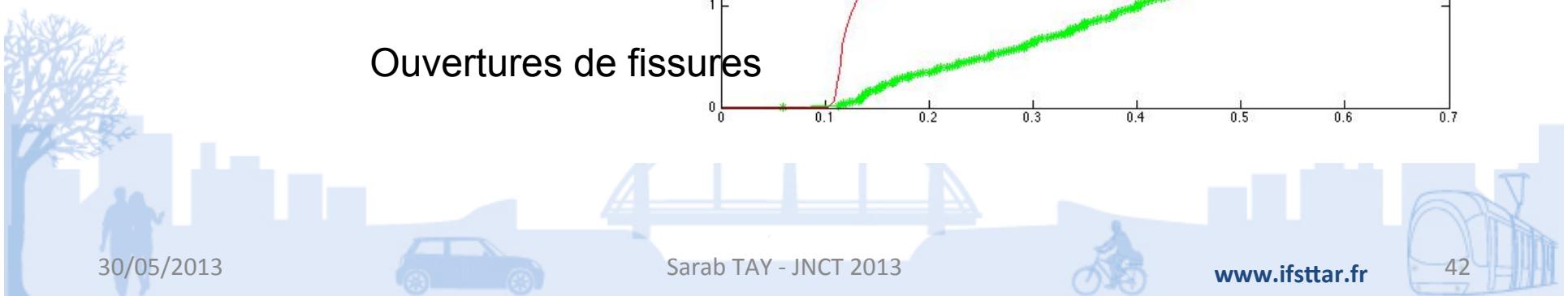
Calcul 1D du tirant



Nombre de fissures

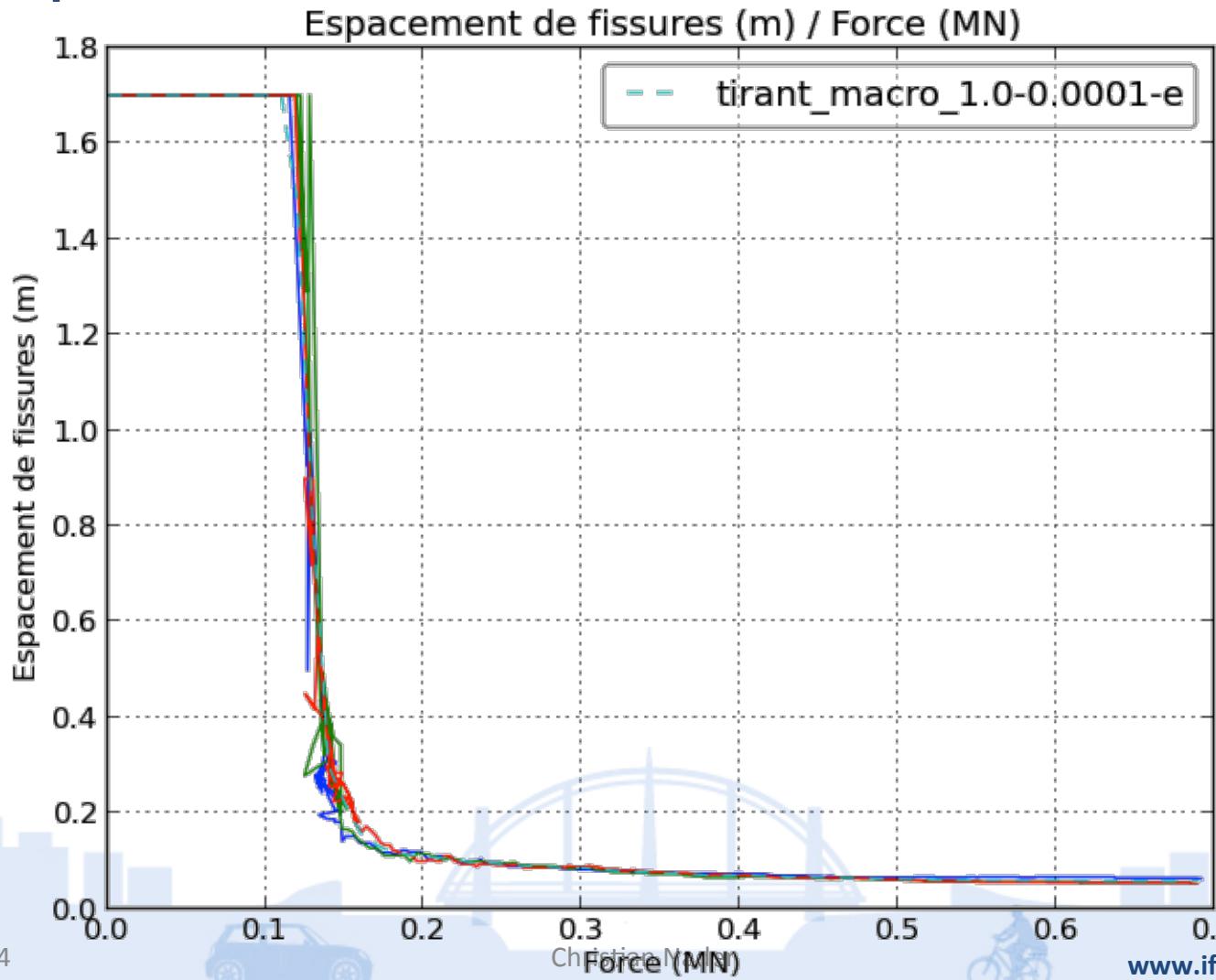


Ouvertures de fissures



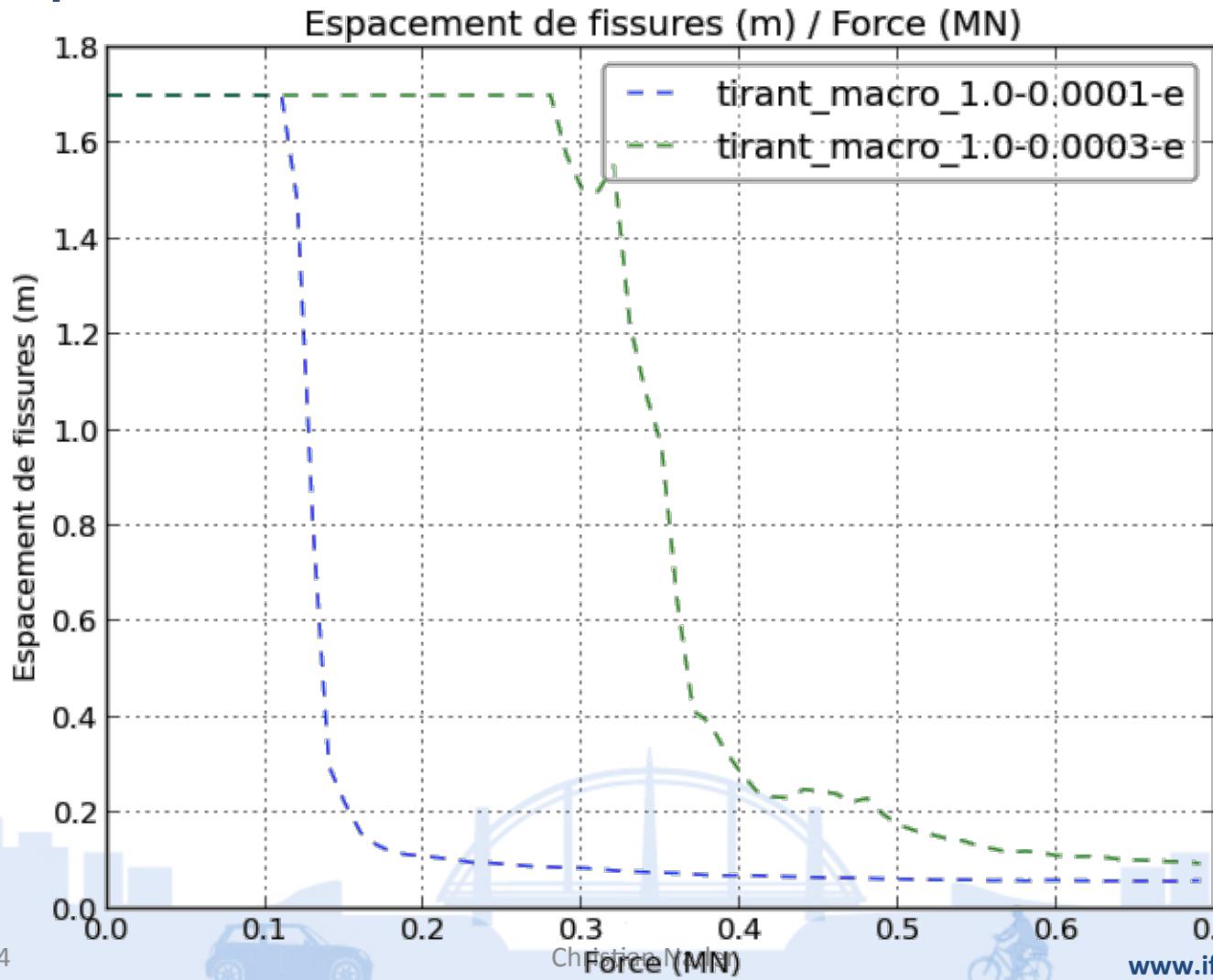
Dépouillement

5. Espacement de fissures:



Dépouillement

5. Espacement de fissures:



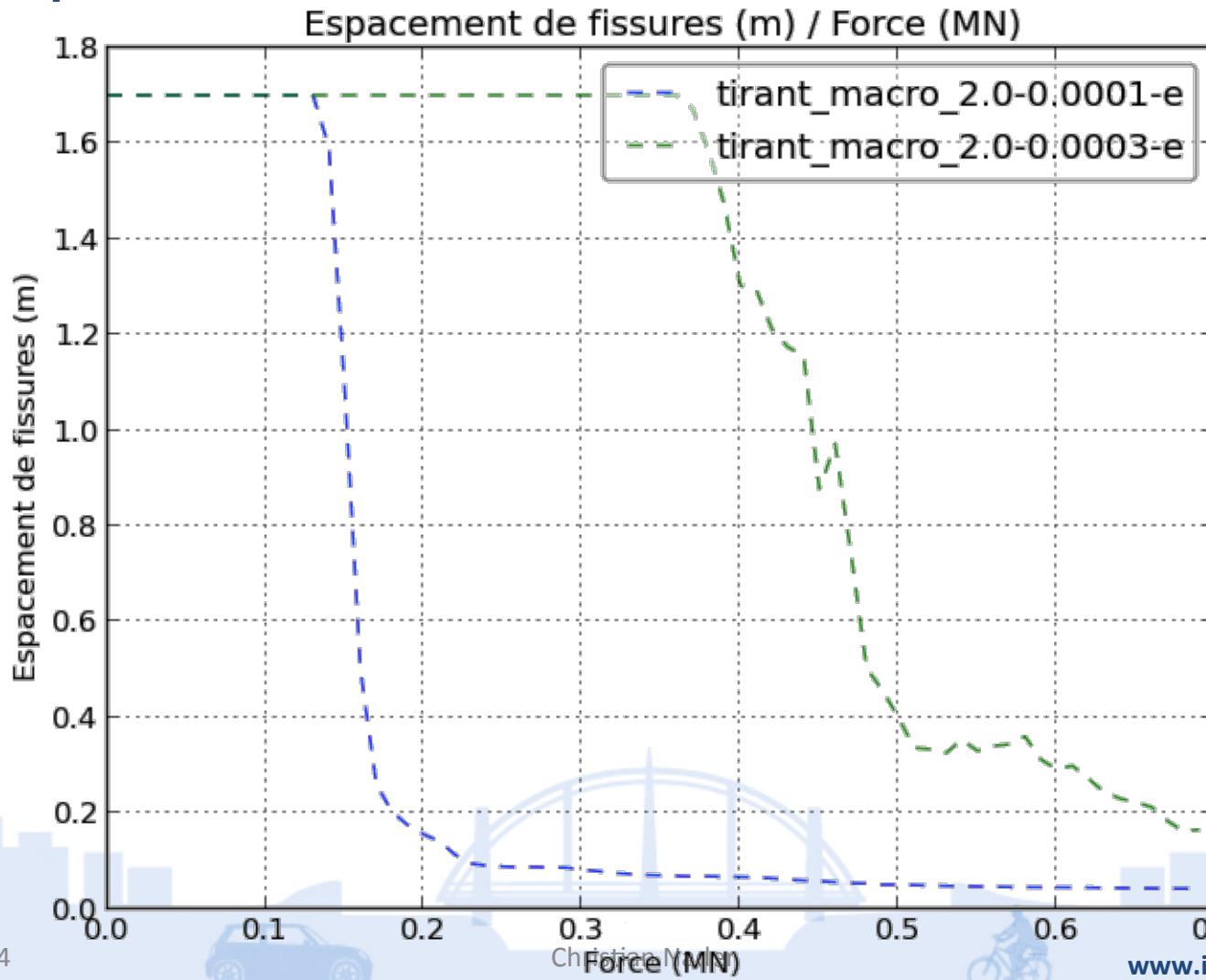
08/07/2014

www.ifsttar.fr

44

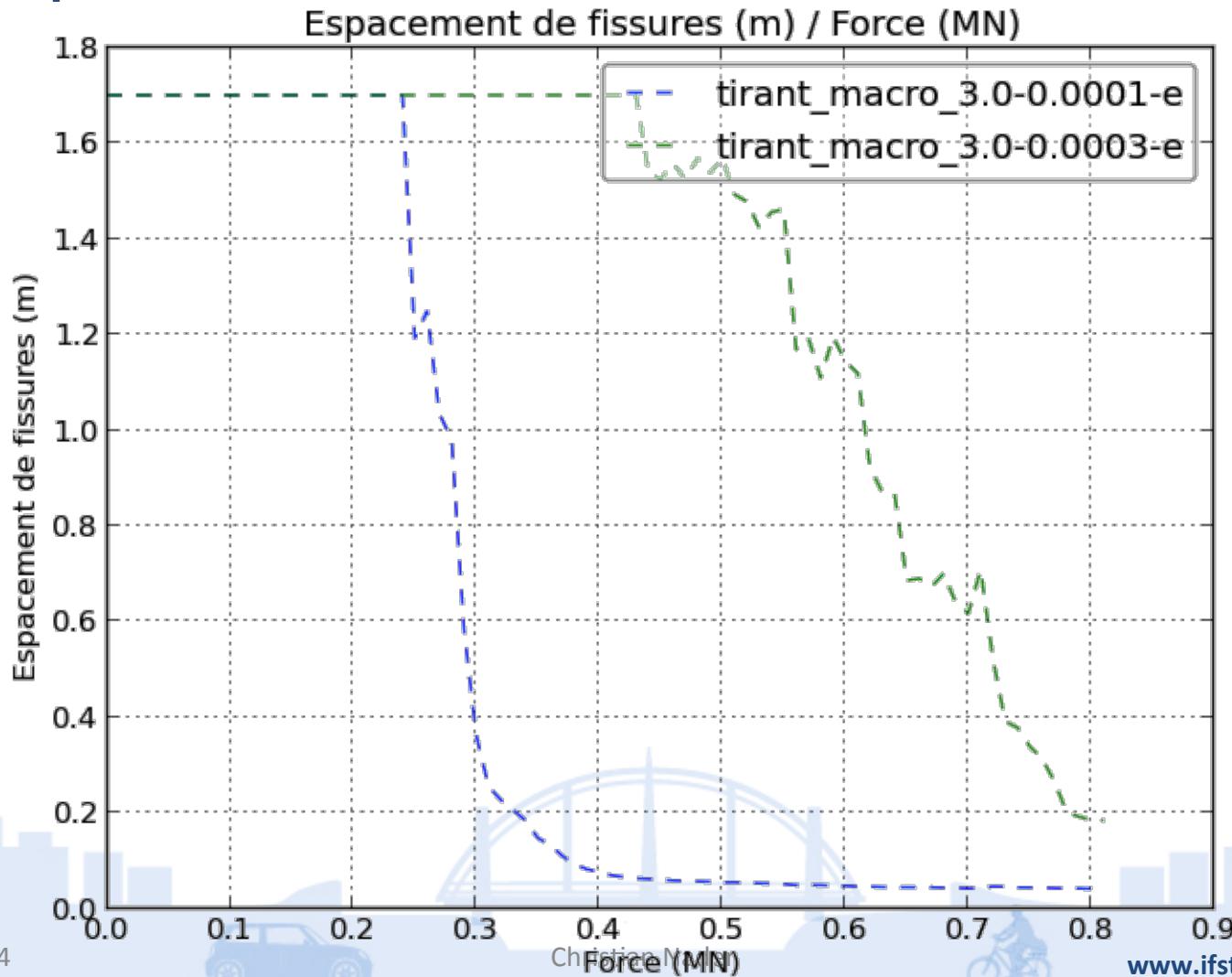
Dépouillement

5. Espacement de fissures:



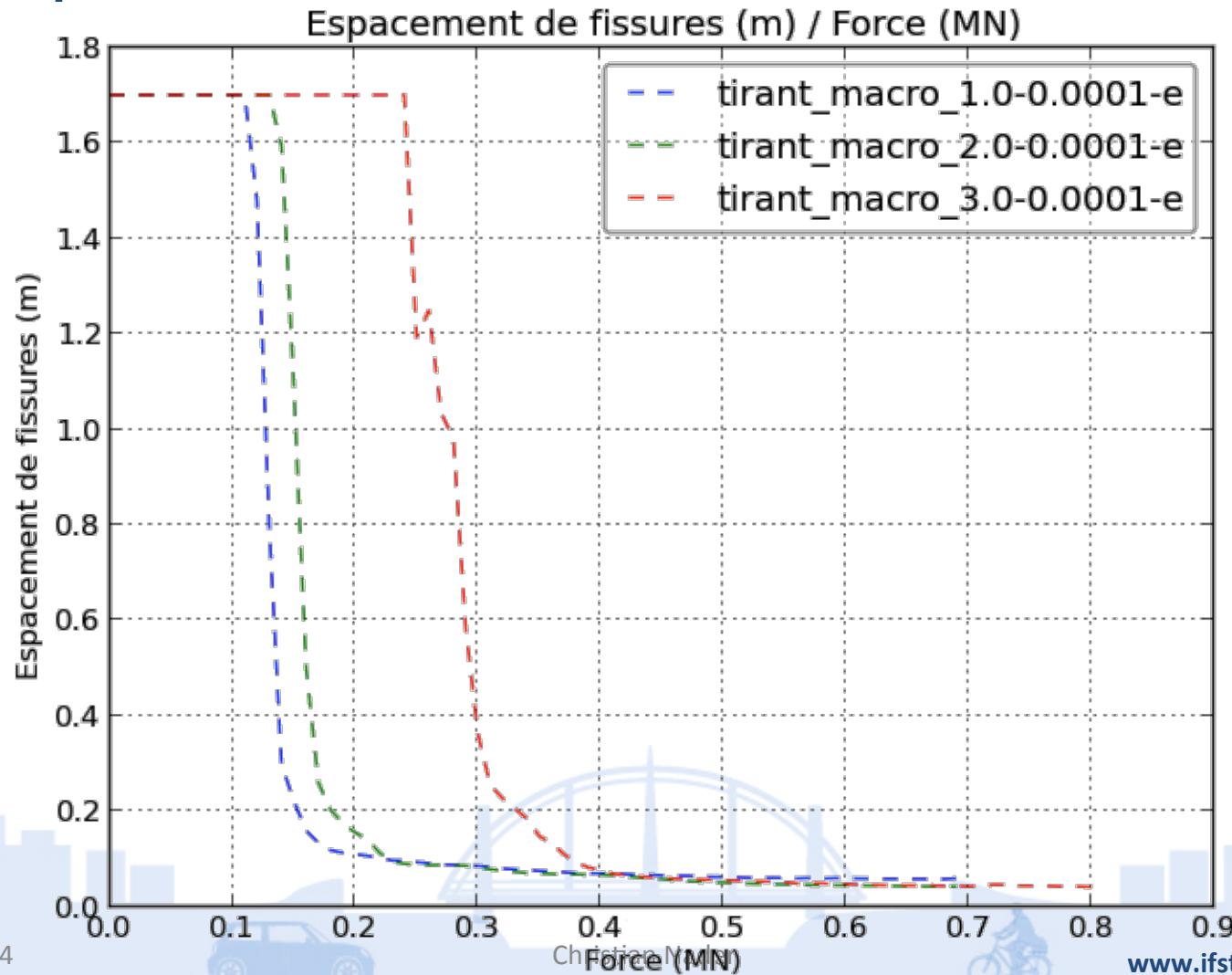
Dépouillement

5. Espacement de fissures:



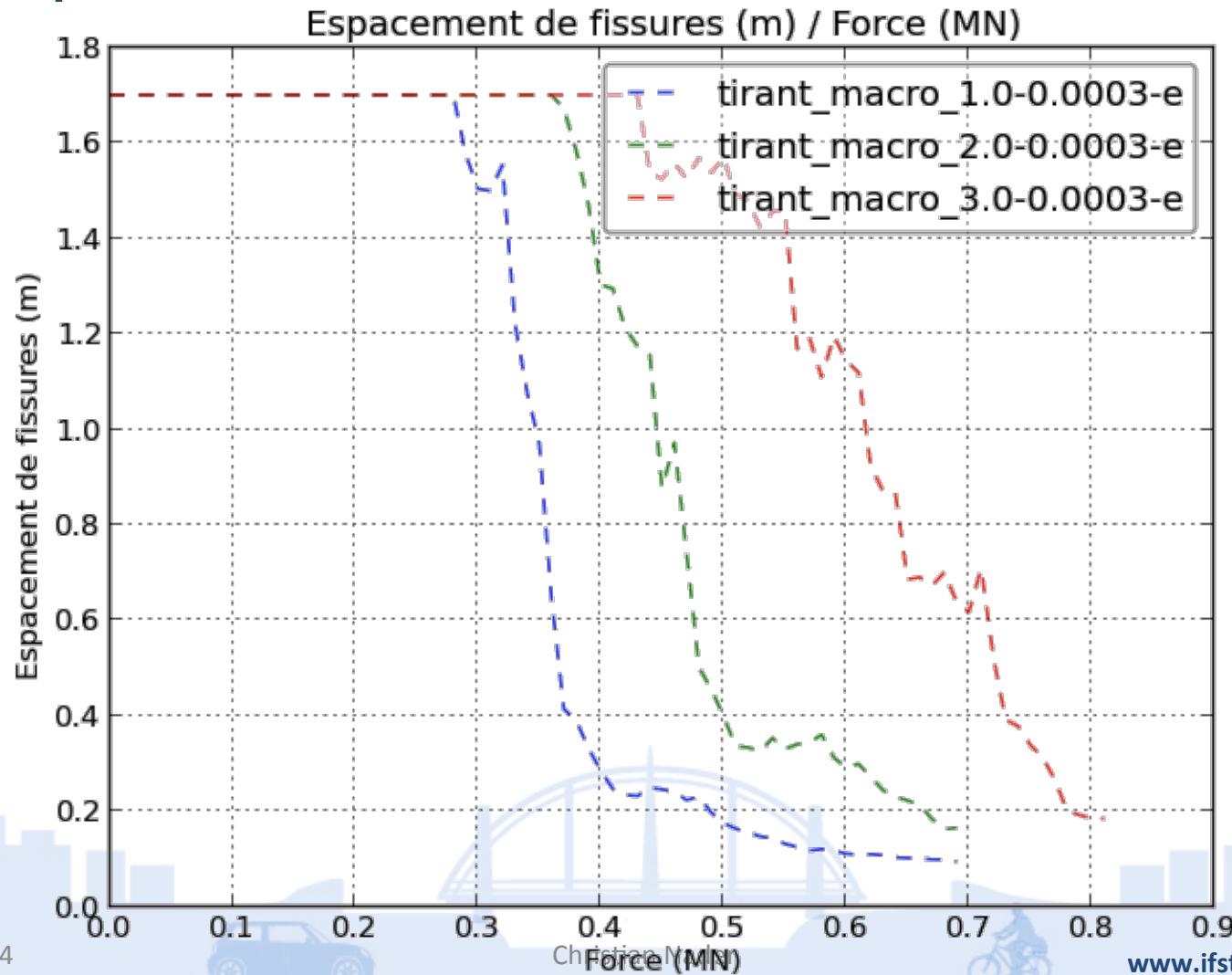
Dépouillement

5. Espacement de fissures:



Dépouillement

5. Espacement de fissures:

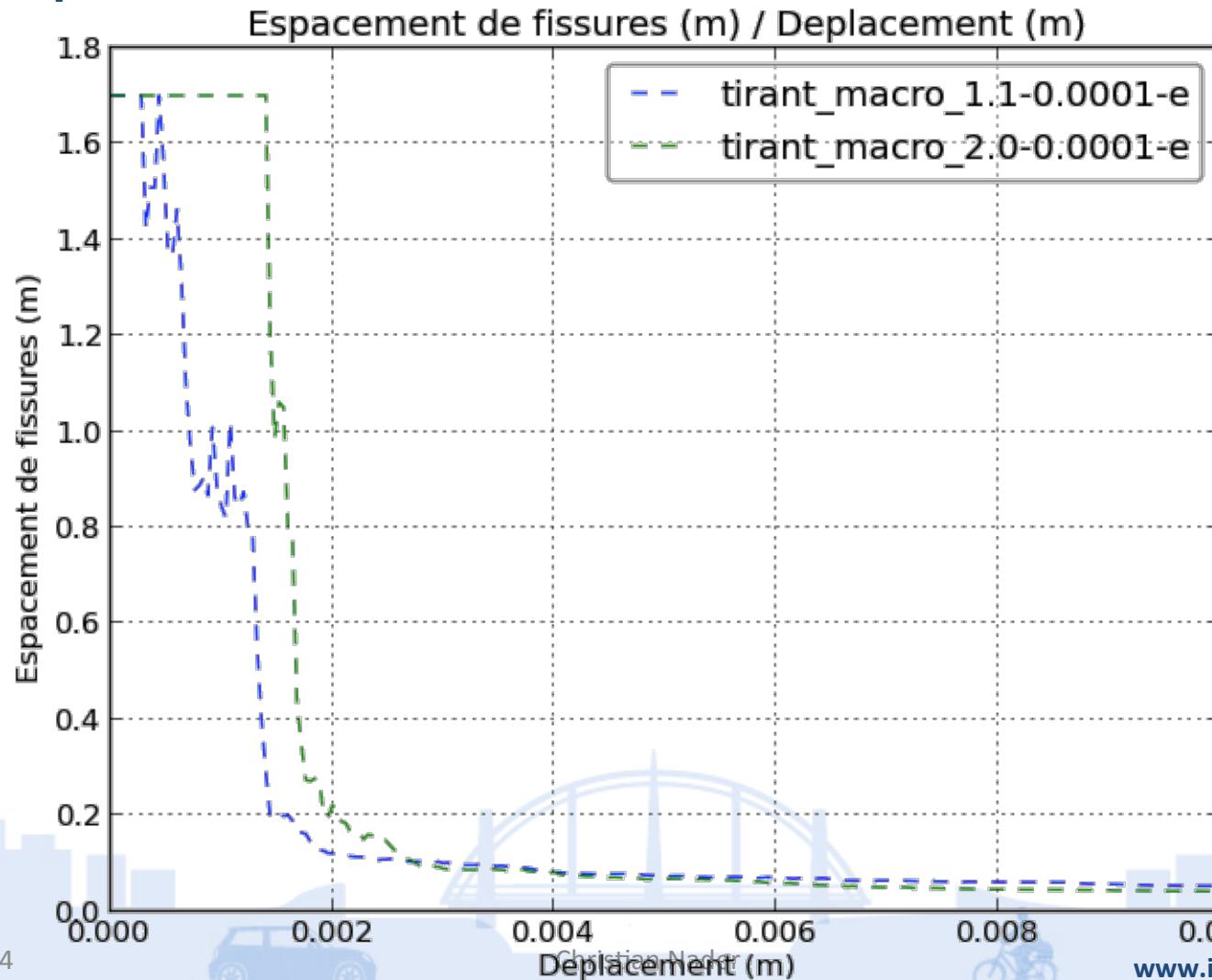


08/07/2014

48

Dépouillement

5. Espacement de fissures:



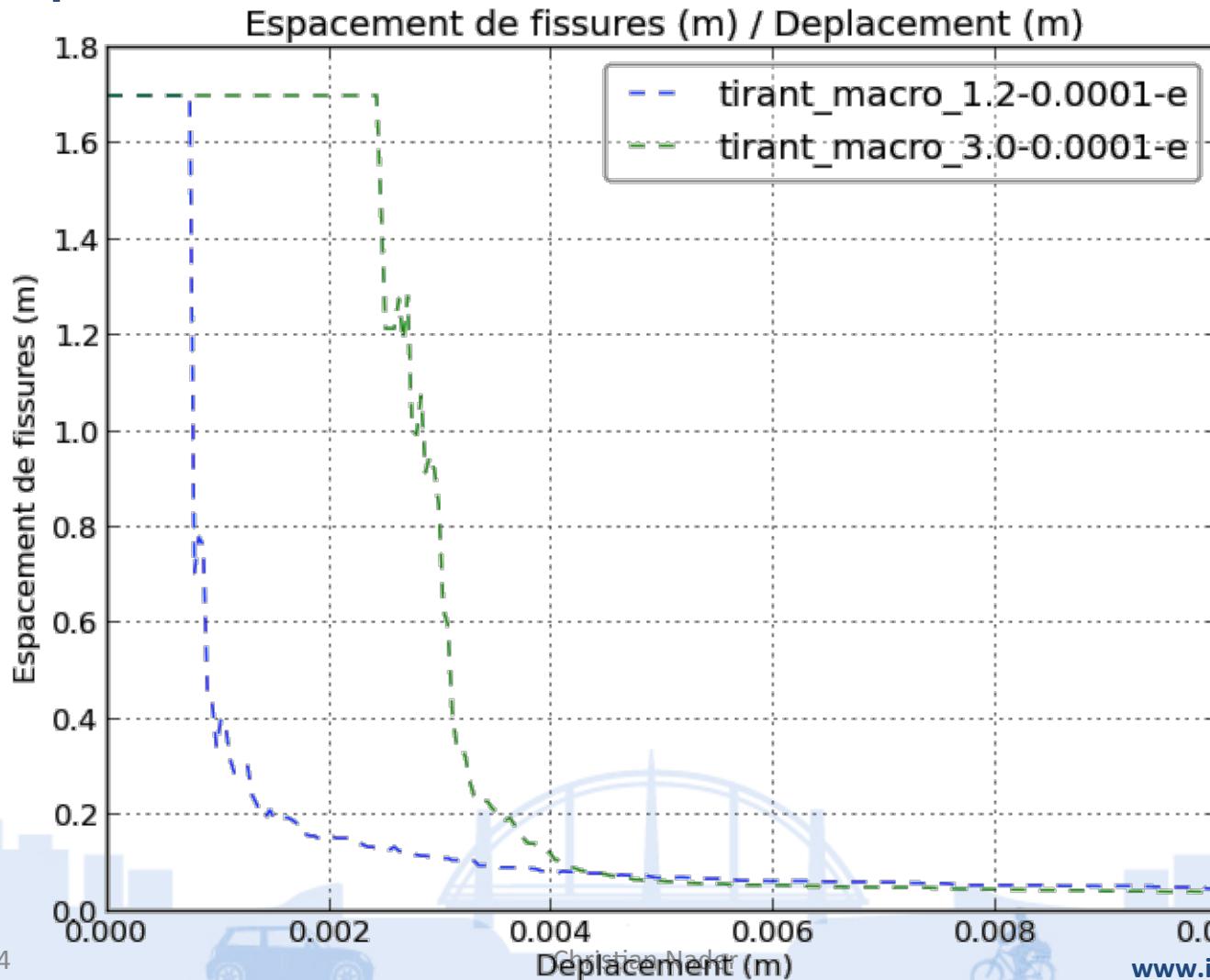
08/07/2014

www.ifsttar.fr

49

Dépouillement

5. Espacement de fissures:



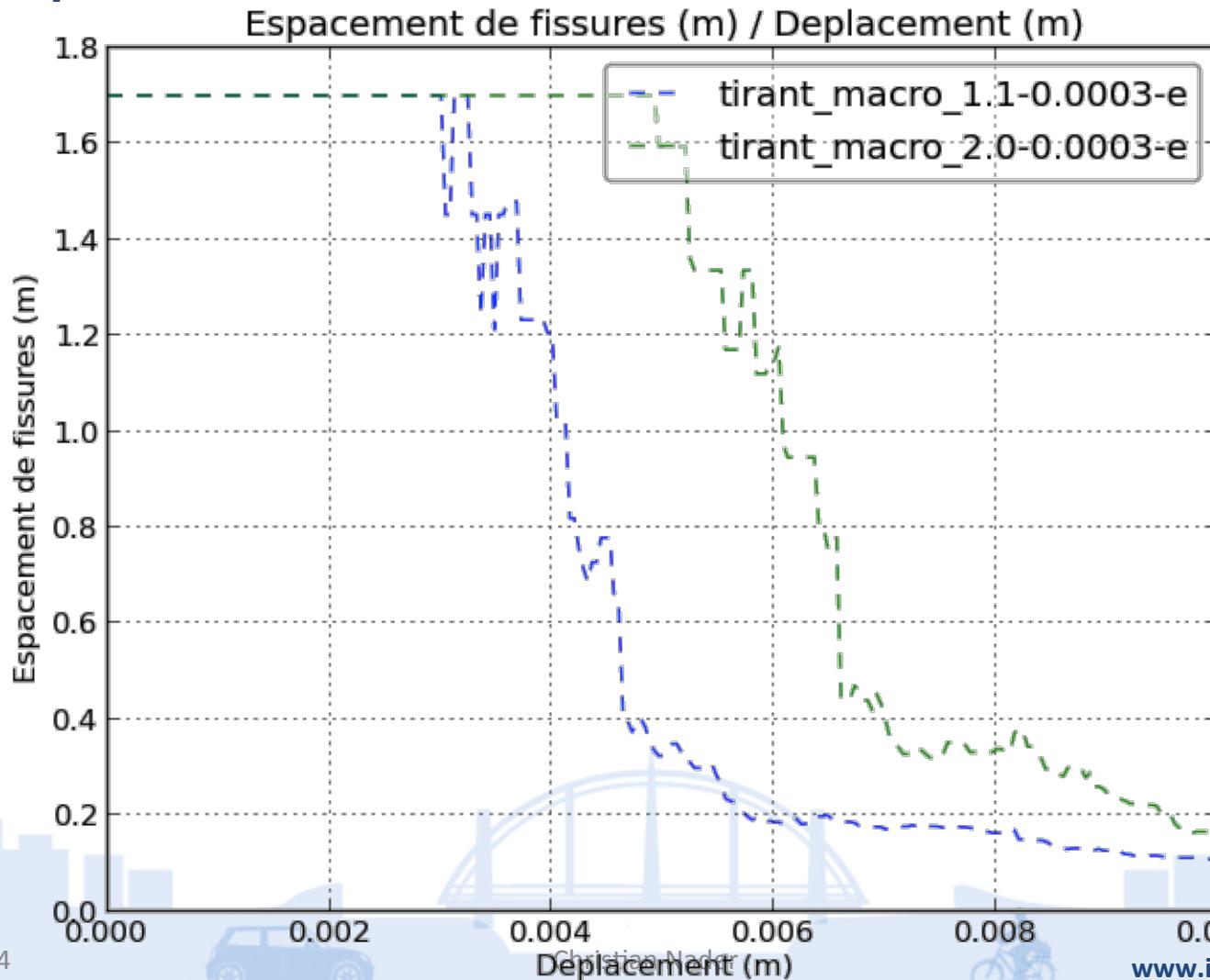
08/07/2014

www.ifsttar.fr

50

Dépouillement

5. Espacement de fissures:



Dépouillement

5. Espacement de fissures:

