



Modélisation multi-échelle de mouvements de foules.

Etienne Pinsard

**Laboratoire Central de la préfecture de Police,
et Jean-Luc Paillat (LCPP), Sylvain Faure et Bertrand Maury (Laboratoire de
Mathématiques d'Orsay)**



Introduction

Les modèles utilisés

Le couplage de modèles micro et macro

Cas d'application

Conclusion



Faciliter l'évacuation

- Comment anticiper pour prévoir une meilleure évacuation ?
- Comment aider les premiers intervenants en cas d'incidents



PARIS 2024



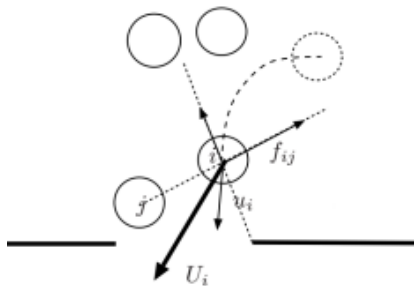
Simulations pour comparer différents scénarios





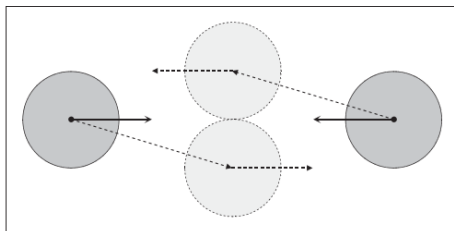
Simulation de mouvements de foules

Modèles microscopiques



Forces sociales

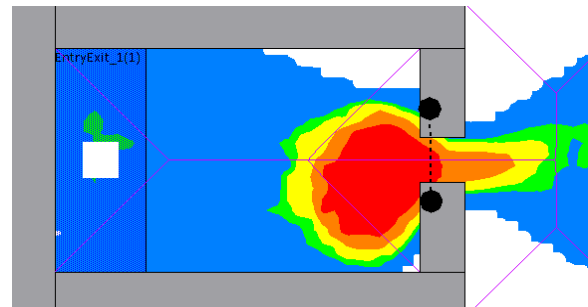
[Helbing, Molnár, 1995]



Anticipation de collision

RVO [van den Berg, Lin, Manocha, 2008]

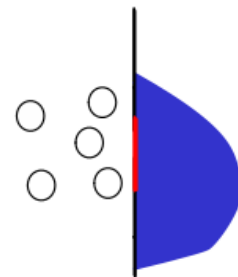
Modèles macroscopiques



Ralentissements

[Hughes, 2002]

**Utilité de plusieurs types de modèles :
comment en utiliser plusieurs pour un
même scénarios ?**





Introduction

Les modèles utilisés

Le couplage de modèles micro et macro

Cas d'application

Conclusion



Modèle de Hughes (Hughes,2002)

$$\partial_t \rho + \nabla \cdot (\rho v(\rho) \mu) = 0,$$

$$\mu = \frac{-\nabla T(x)}{|\nabla T(x)|},$$

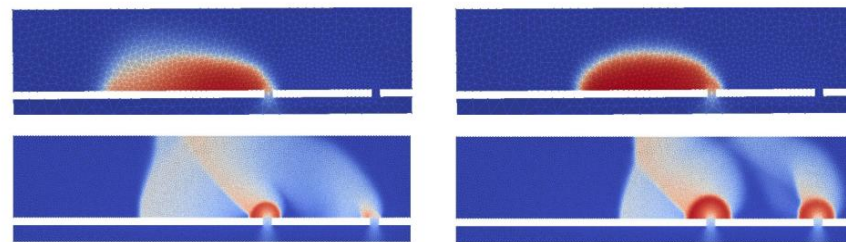
$$|\nabla T(x)| = \frac{1}{v(\rho(x))}.$$

- Equation de conservation
- Vitesse dépendant de la densité
- Trajectoire donnée par une équation eikonale



Modèle de Hughes (Hughes, 2002)

- Pour des grands espaces
- Equation eikonale : prise en compte des zones de hautes densités, qui sont évitées
- Meilleur temps de calcul pour des grandes foules



Twarogowska, Goatin, Duvigneau, 2014

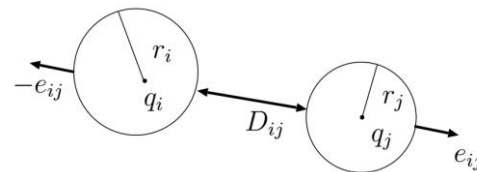


Modèle « granulaire »

(Maury, Venel, 2011)

Disques se déplaçant à vitesse fixe et soumis à une contrainte de non recouvrement :

$$K = \{q \in \mathbb{R}^{2N}, D_{ij} \geq 0\}$$



Les vitesses des disques ne doivent pas les faire se pénétrer => vitesses admissibles respectent cette contrainte

$$\mathcal{C}_q = \{v \in \mathbb{R}^{2N}, D_{ij} = 0 \implies e_{ij} \cdot (v_j - v_i) \geq 0\}$$

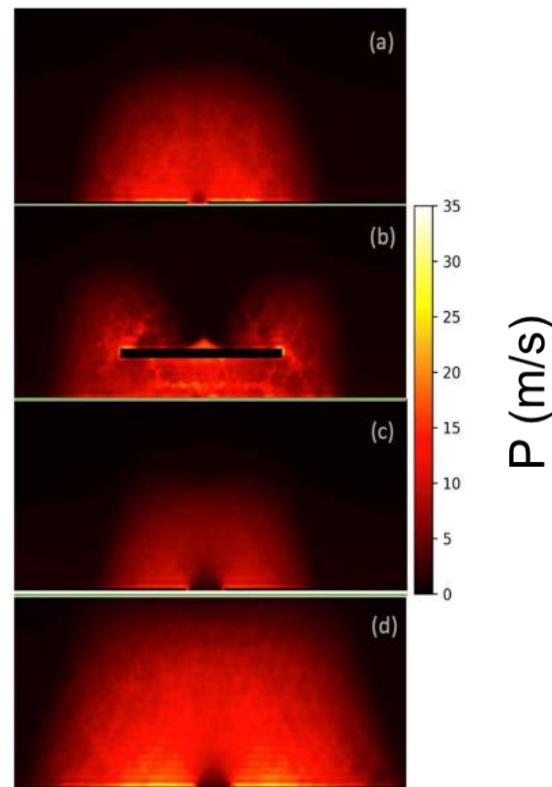
$$\dot{q} = P_{\mathcal{C}_q} U$$



Intérêt du modèle granulaire

Reproduit effets d'engorgements aux portes en cas de comportement compétitif extrême.

Calcule une correction de vitesse entre individus : assimilé à une « force de pression »





Introduction

Les modèles utilisés

Le couplage de modèles micro et macro

Cas d'application

Conclusion

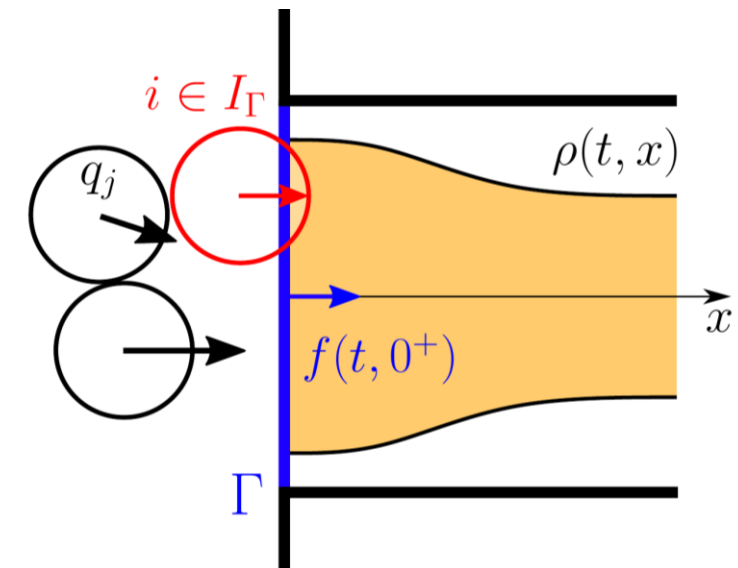


Coupler différents modèles

Information et matière peuvent se propager vers amont et aval

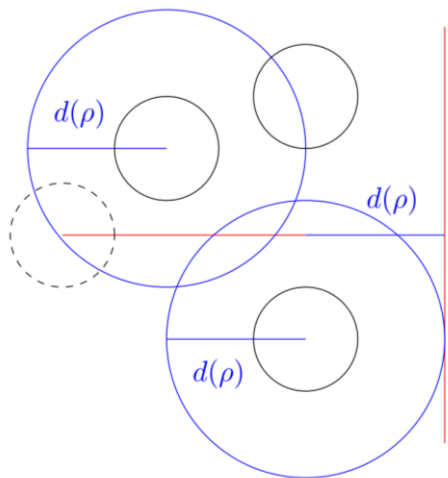
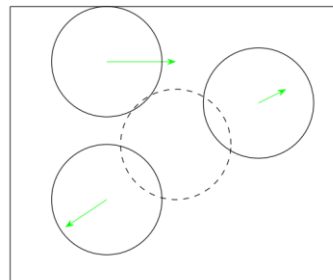
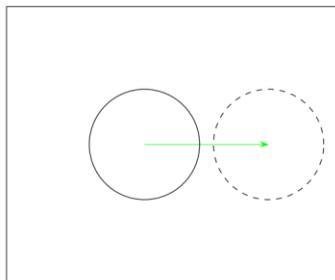
Nécessité d'attribuer une vitesse en fonction de la densité, tout en contrôlant les effets de poussée qui peuvent remonter depuis le modèle microscopique.

Pour le modèle macro, traduire l'arrivée de chaque individus en un flux





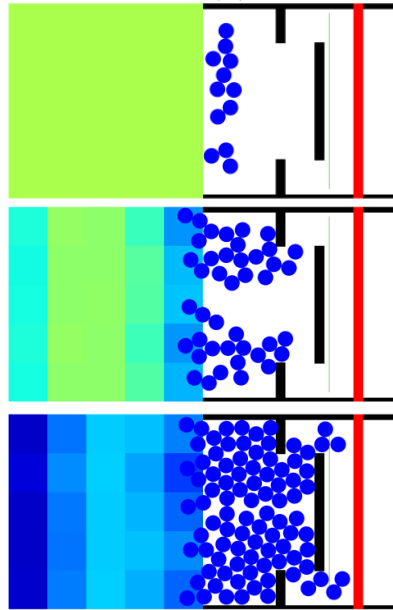
Génération d'individus en microscopique



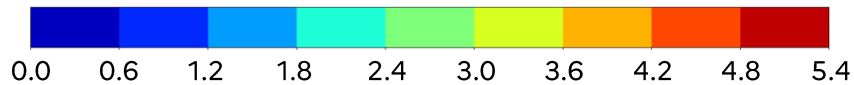
- Tirage aléatoire uniforme de la coordonnée tangentielle
- Coordonnée normale : distance fixe de l'interface ou du plus proche voisin



Resultats



Density – pers/m²



- Flot continu de piétons en microscopique
- Contact avec les murs au niveau du modèle micro



Introduction

Les modèles utilisés

Le couplage de modèles micro et macro

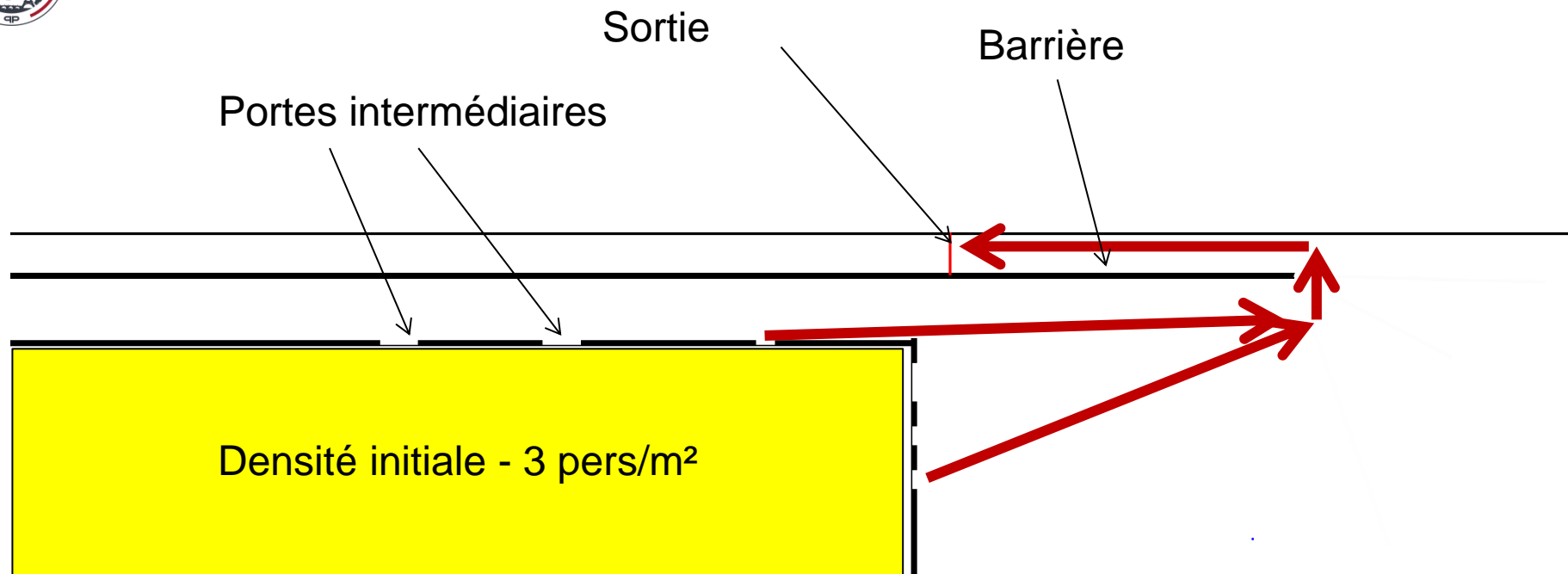
Cas d'application

Conclusion





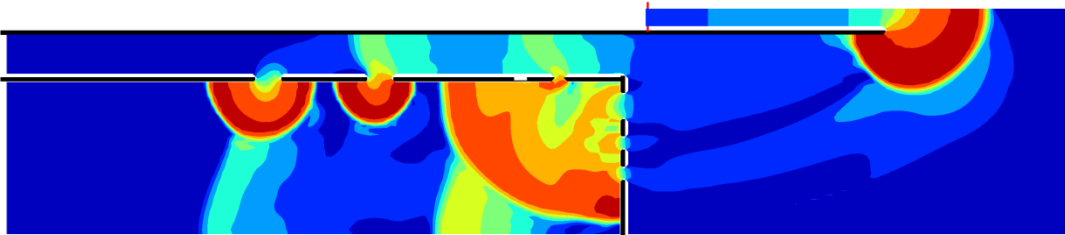
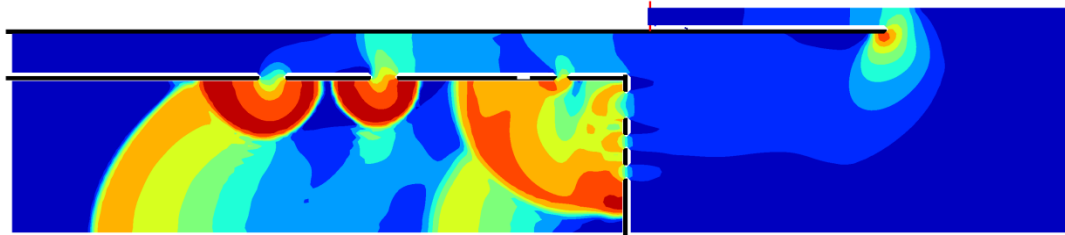
Cas d'application



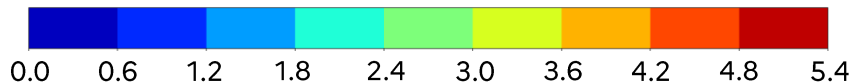
Première simulation avec le modèle de Hughes



Simulation macroscopique



Density – pers/m²



Zones de congestion :

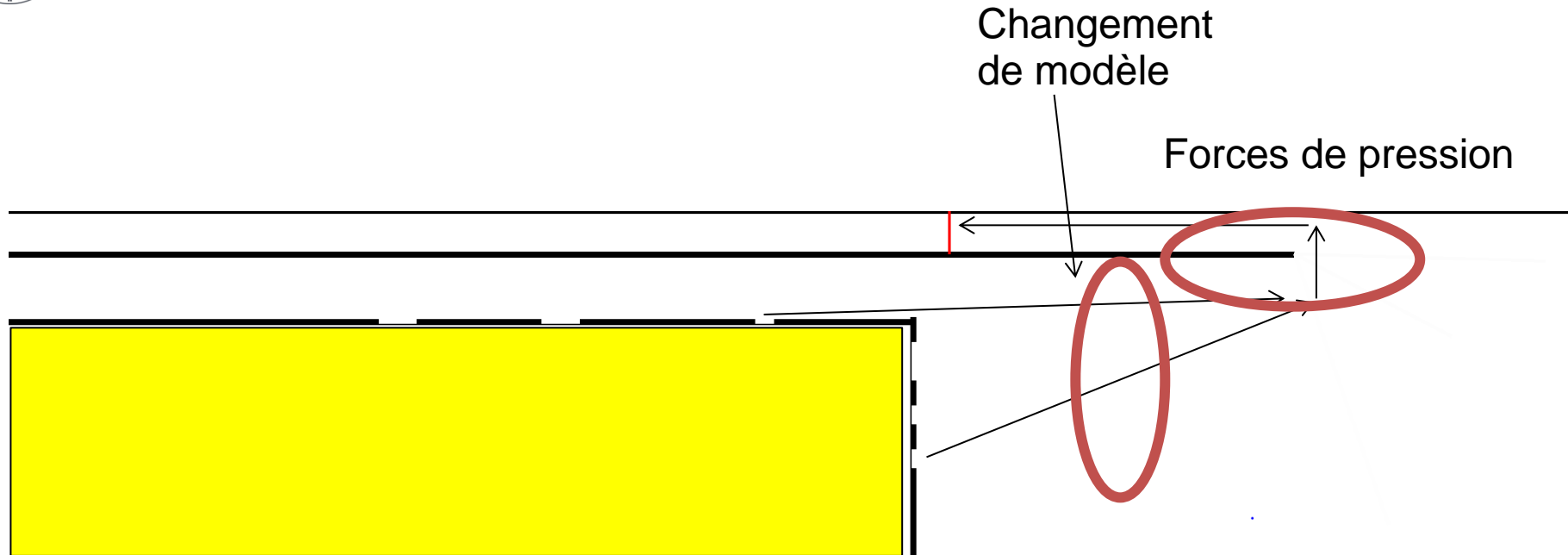
- Autour des sorties
- Contres les barrières

Basses densités ailleurs

On veut étudier la congestion autour de cette barrière

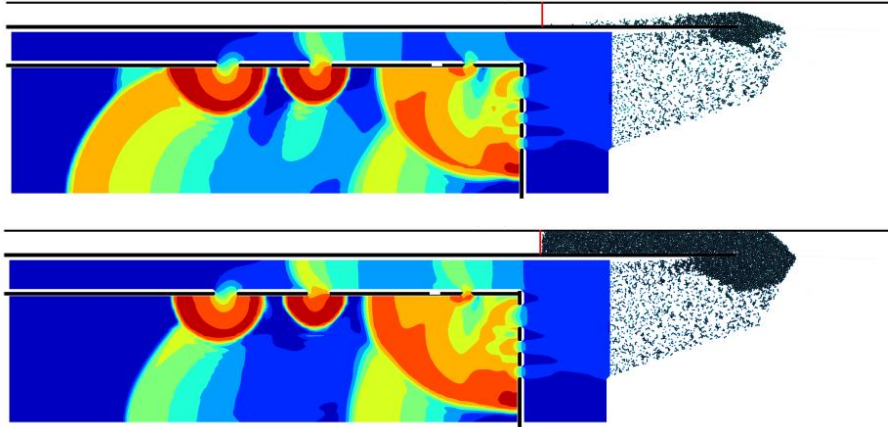


Cas d'application

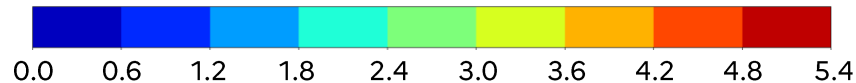




Simulation couplée



Densité – pers/m²

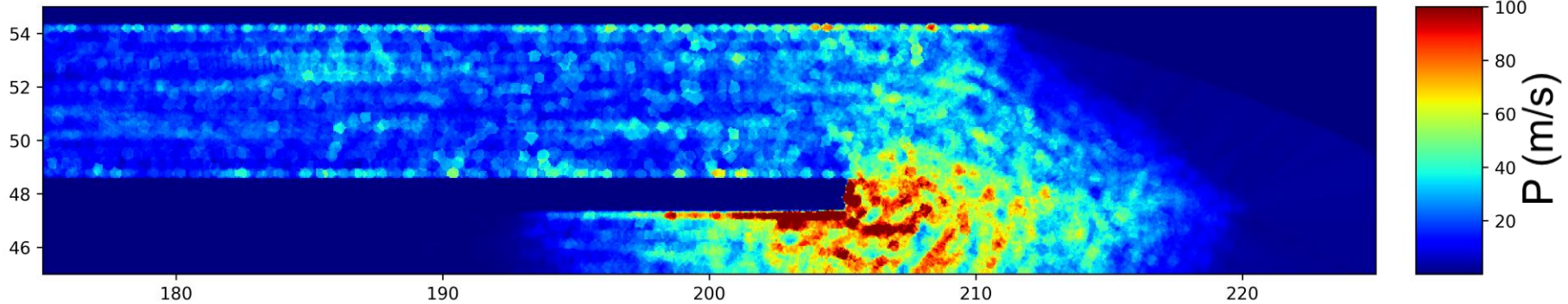


Congestions à des niveaux différents :

Modèle granulaire très compétitif : comportement très différent



Forces de pression moyennées



Forces de pression moyennées sur 20 secondes

- La pression s'accumule contre le coin de la rampe
- Pression plus faible dans le couloir après la barrière



Conclusions

Couplage sur des modèles de nature différente : permet une flexibilité sur l'étude menée

⇒ Ouvre des possibilités pour le modélisateur

Oscillations dans le flux, améliorer la méthode de couplage

Comparaison des pressions à des données réelles

Validation des effets multi-échelle complexe à obtenir : besoin de nouvelles données difficiles à obtenir