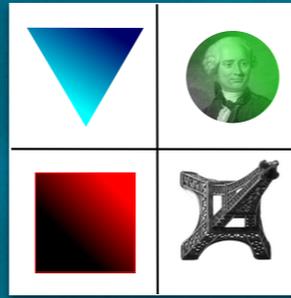




AXA
Research Fund



Modeling flash floods with Basilisk

Geoffroy Kirstetter

S. Popinet, J.M. Fullana, P-Y. Lagrée & C. Josserand
EGRIN, Mai 2016

Sommaire

1. Introduction et contexte
2. Modèle physique, code et modèle numérique
3. Validation sur le cas de la vallée du Toce
4. Cas réel : Cannes octobre 2015
5. Conclusion et perspectives

Introduction

Flash flood (Crue éclair ???) : Inondation causée par une chute de pluie très intense en un court laps de temps, généralement inférieur à 6h. Les « Flash floods » sont caractérisées par la naissance de violents torrents traversant les rues en milieu urbain ou les canyons/vallées en milieu rural, balayant tout sur leur passage. Ils peuvent se produire après quelques minutes ou quelques heures de pluies intenses. Ils peuvent également se produire sans aucune chute de pluie, par exemple lorsqu'une digue ou un barrage rompt en amont.

Site web : National Oceanic and Atmospheric Administration



Centre ville de Cannes dans la nuit du 3 Octobre 2015

Contexte

- Le risque Inondation, des enjeux humains et matériels majeurs : « 15 % de la population française (neuf millions de personnes) » vit « dans des secteurs qui, à plus ou moins long terme, seront touchés par une inondation d'intensité remarquable ».

Paris : Cour des comptes, rapport interne (2008), p. 646-685.

- Directives européennes, loi française, PPRI, etc, imposent de prédire le risque d'inondation 200 ans.
- Dérèglement climatique : intensification et augmentation de la fréquence des événements rares et extrêmes, donc des « flash floods ».
- Fond Axa pour la recherche : Collaboration R&D Axa.

Eq. de Saint-venant

- Hypothèse simplificatrice : longueur caractéristique horizontale largement supérieur à la hauteur caractéristique de l'écoulement.
- Intégrer les équations de Navier-Stokes sur la hauteur : 3D  2D

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t h + \partial_x(hu) + \partial_y(hv) = S_m \\ \partial_t(hu) + \partial_x(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2) + \partial_y(huv) = -gh\partial_x Z_b - S_x \\ \partial_t(hv) + \partial_x(huv) + \partial_y(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2) = -gh\partial_y Z_b - S_y \end{array} \right.$$

Termes sources

- Les termes source de l'équation de conservation de la masse :

$$S_m = R - I \quad (\text{Pluie et Infiltration en m.s}^{-1})$$

- Le terme de frottement :
Terme de friction empirique à paramètre libre
Frottement de Manning

$$S_{man} = n^2 g \frac{|q|q}{h^{7/3}}$$

Modèles

- Saint - Venant 1D :

$$\begin{aligned}\partial_t h + \partial_x hu &= S_m \\ \partial_t(hu) + \partial_x(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2) &= -gh\partial_x Z_b - S_x\end{aligned}$$

- Adimensionnalisation pour ordre de grandeur :

$$\begin{aligned}\frac{H_0 U_0}{\tau} \partial_t(hu) + \frac{H_0 U_0^2}{L_0} \partial_x(hu^2) + \frac{1}{2} \frac{GH_0^2}{L_0} \partial_x(h^2) &= -\frac{GH_0^2}{L_0} h \partial_x Z_b - S_x \\ U_0 = \frac{L_0}{\tau} \quad Fr = \frac{U_0}{\sqrt{GH_0}}\end{aligned}$$

$$Fr^2 (\partial_t(hu) + \partial_x(hu^2)) + \frac{1}{2} \partial_x(h^2) = -h \partial_x Z_b - S_x$$

Modèles

- Momentum equation :

$$Fr^2 \left(\partial_t(hu) + \partial_x(hu^2) \right) + \frac{1}{2} \partial_x(h^2) = -h \partial_x Z_b - S_x$$

- **Onde cinématique** : Friction = - Gravité
 - Simple
 - très rapide
 - solutions analytiques
- **Onde diffusive** : Terme de pression
 - Moins simple
 - Plus physique
 - solutions analytiques dans de rares cas
- Saint Venant 1D
- Projection



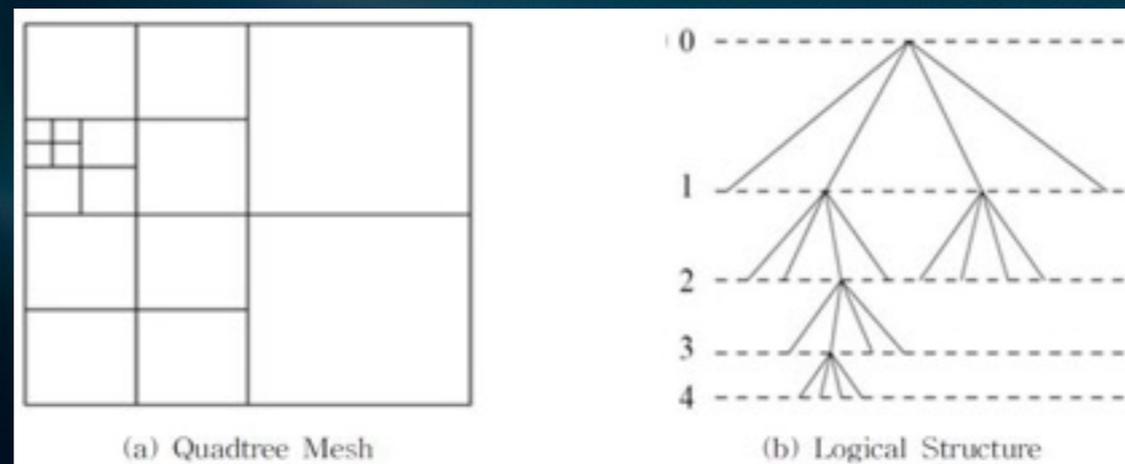
Basilisk



- Basilisk est un logiciel libre créé par S. Popinet permettant de résoudre des équations aux dérivées partielles sur un maillage cartésien adaptatif. Il est destiné à être le successeur de Gerris.

www.basilisk.fr

- Equations de Saint-Venant (Shallow water equations).
- Méthode Volumes Finis.
- Code parallélisable (OpenMP & MPI).
- Grille cartésienne adaptative en quad-tree :



Validation du modèle

La vallée du Toce

- Modèle réduit de 50 mètres de long, reproduisant la vallée italienne du Toce.
- 33 stations de mesures + hydrographes de Dam Break.
- MNT à la résolution de 5 cm.
- 174 Maisonnettes (MNE).
- Pas de pluie ni d'infiltration.



The Concerted Action on Dam-break Modelling workgroup (CADAM)

Caleffi, V., Valiani, A., & Zanni, A. (2003). Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels. *Journal of Hydraulic Research*, 41(2), 167-177.

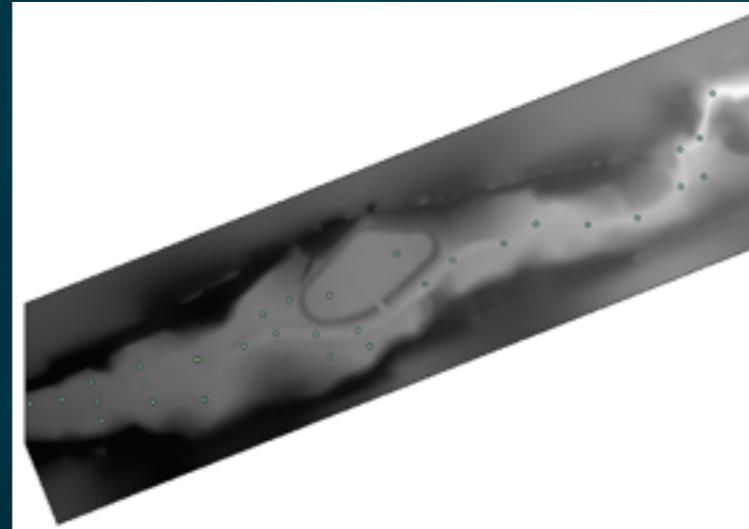
Testa, G., Zuccala, D., Alcrudo, F., Mulet, J., & Soares-Frazão, S. (2007). Flash flood flow experiment in a simplified urban district. *Journal of Hydraulic Research*, 45(sup1), 37-44

La vallée du Toce

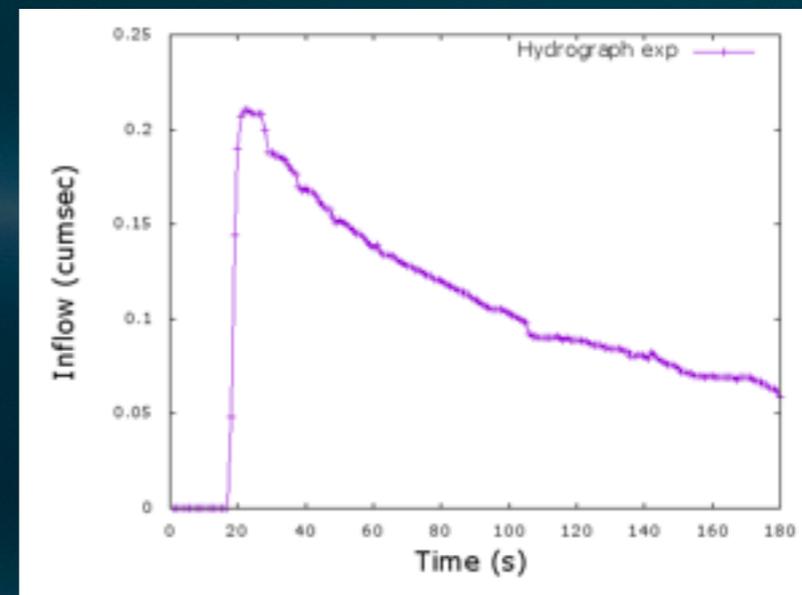
- 33 stations de mesures (résolution temporelle : 1 s).
- Comparaison de Basilisk et de Mike 21 avec les résultats expérimentaux.
- Elodie Zavattero, Mingxuan Du et Olivier Delestre. Polytech'Sophia, LJAD Nice



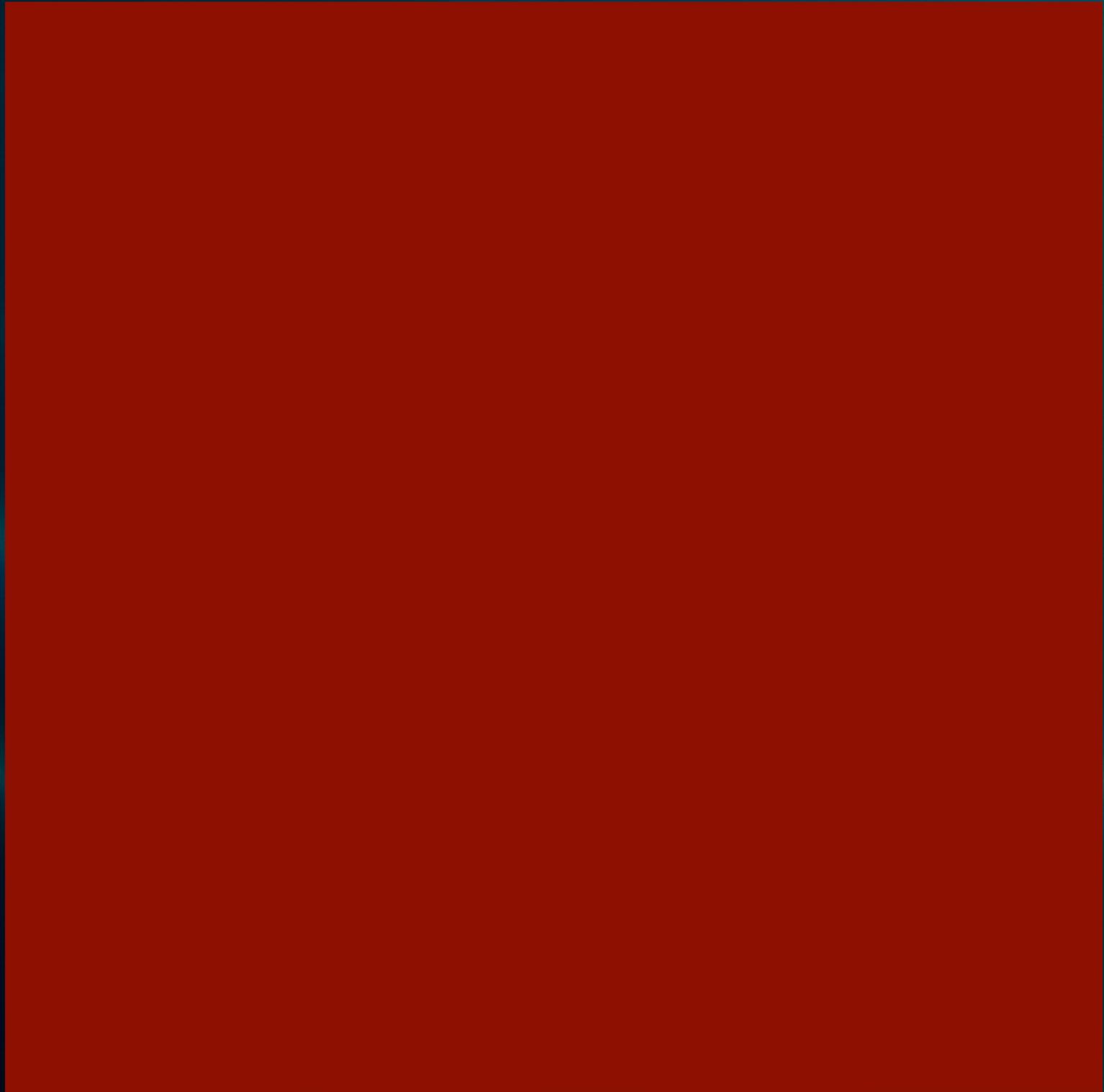
Amont

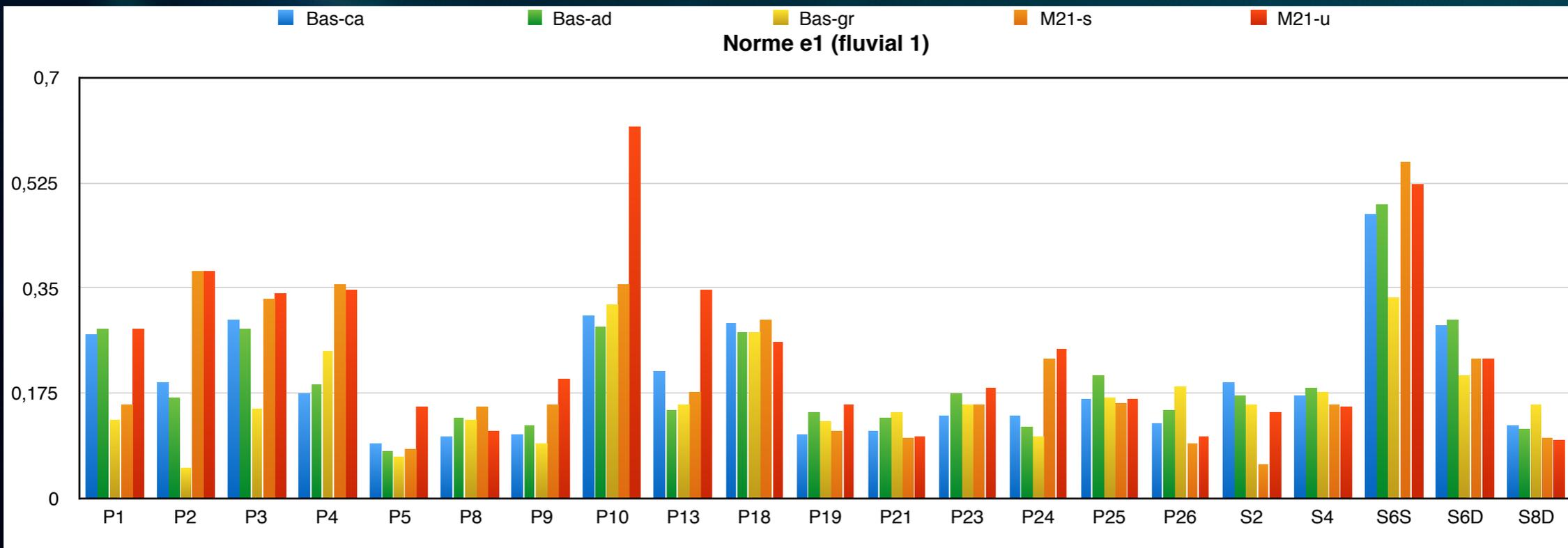
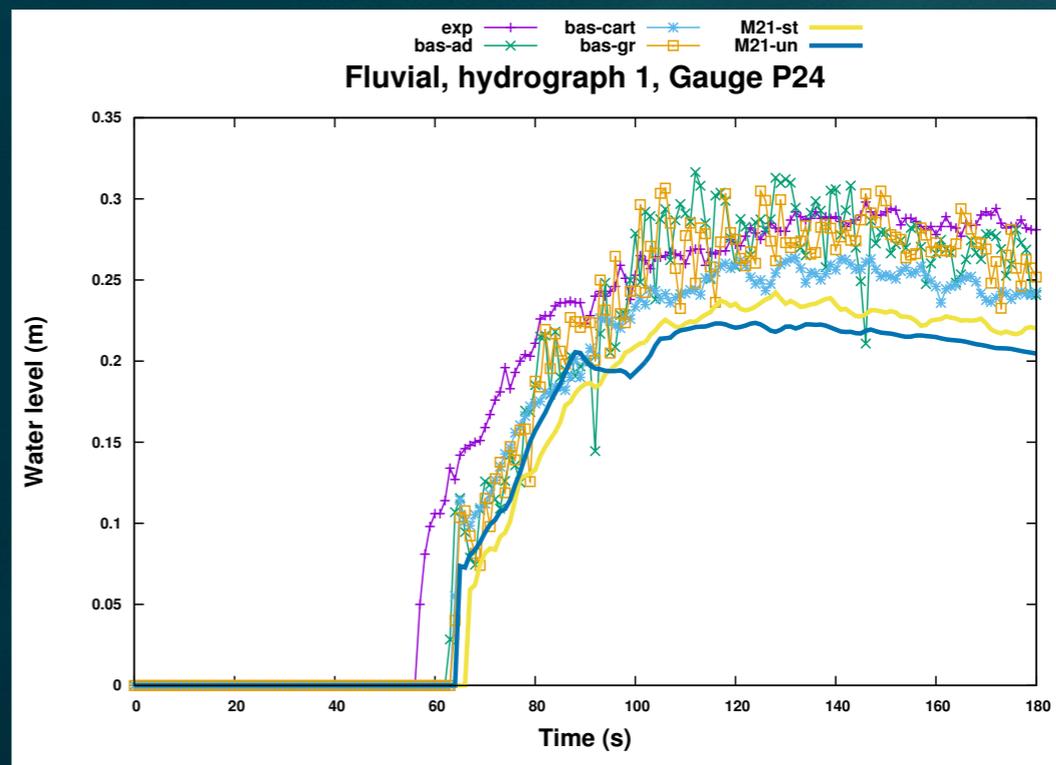
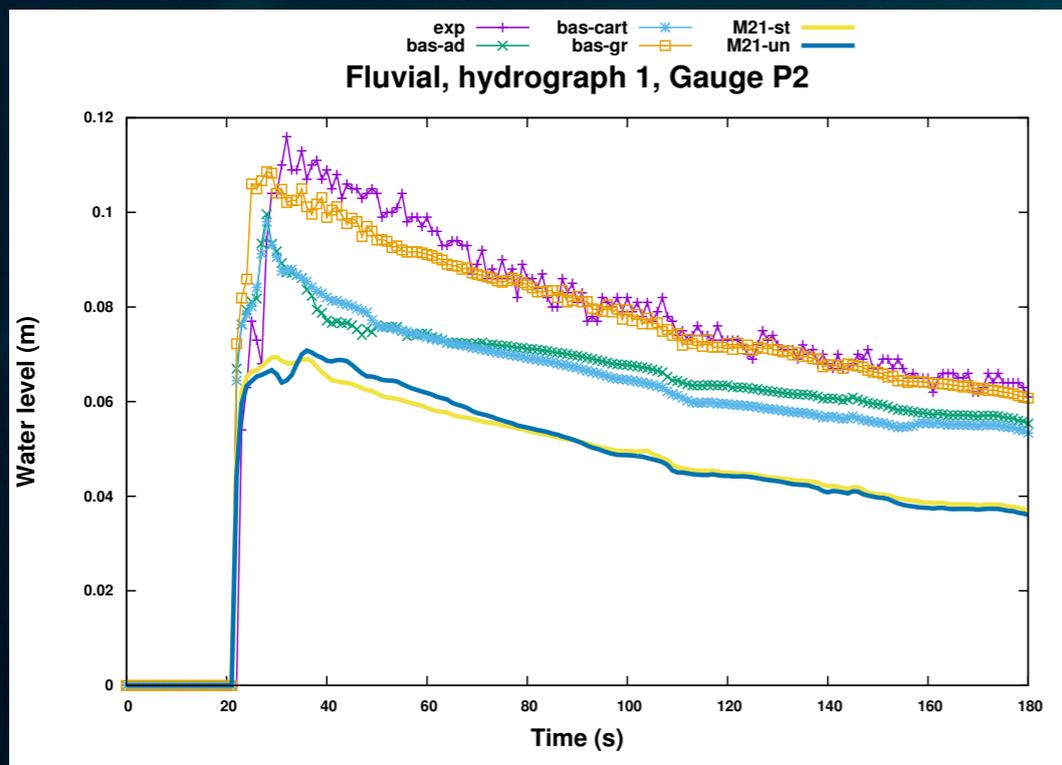


Aval





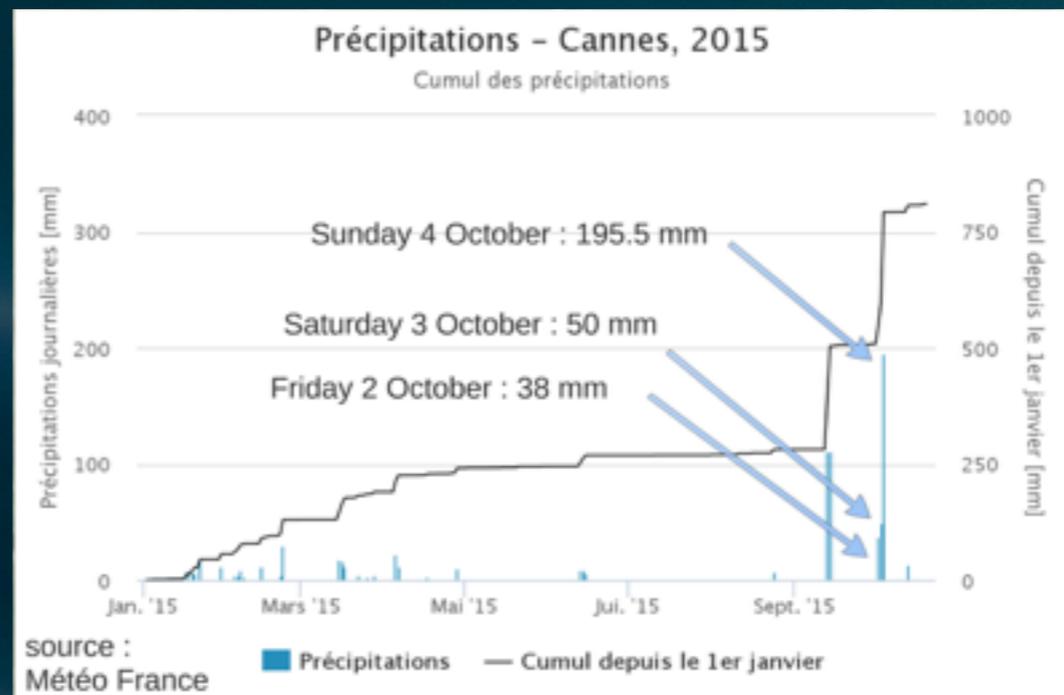




Inondation de Cannes

- Samedi 3 Octobre 2015, entre 18h00 et 23H00, les Alpes Maritimes ont connu un épisode pluvieux exceptionnel : jusqu'à 200 mm de pluie sont tombés en moins de 3h. La violente inondation qui en résulta tua 20 personnes, principalement à Mandelieu et à Cannes. Quant aux dégâts matériels, la CCR les estime, pour l'instant, entre 500 et 650 M€ dans l'ensemble du département.

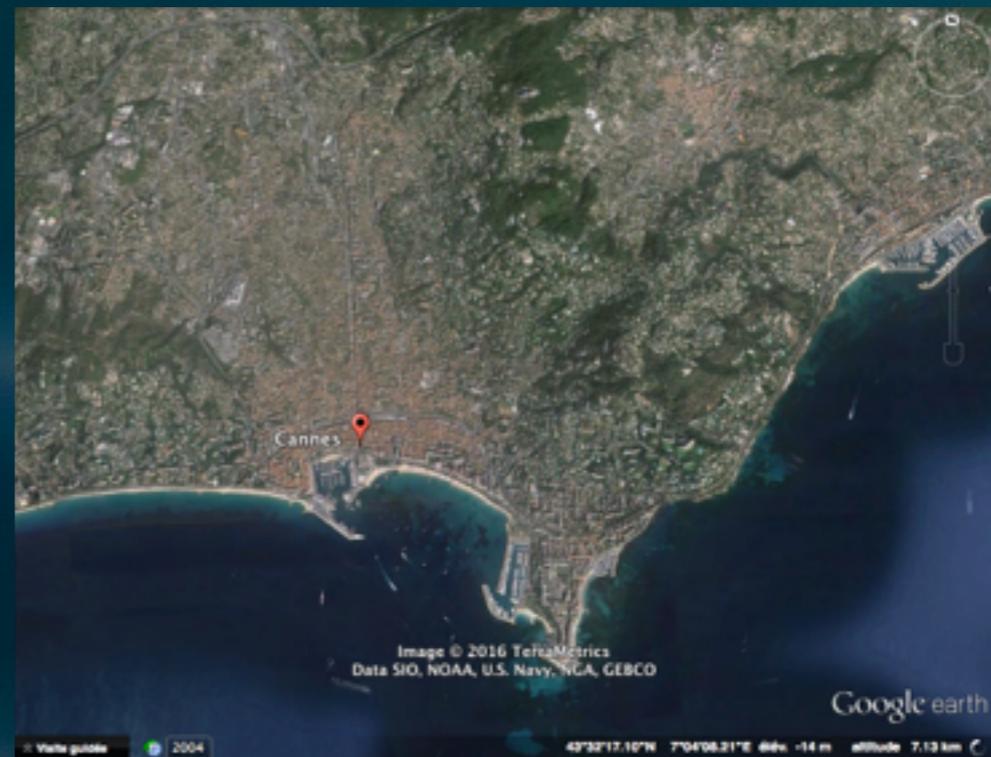
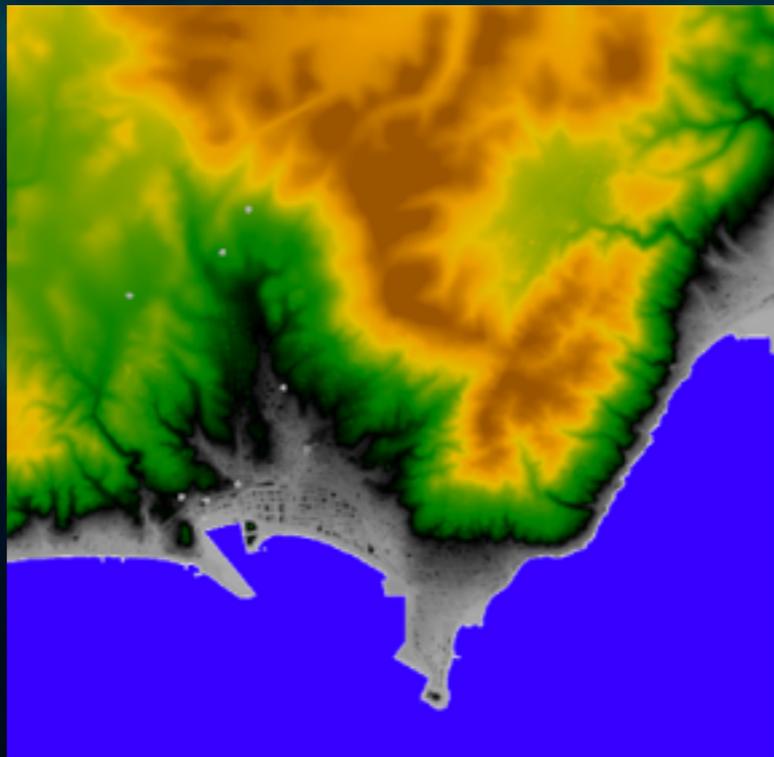
- Cumul des pluies de 2015 : 30% de la pluie annuelle est tombé en une nuit.
- Moyenne nationale annuelle = 690 mm
- Événement Cévenol



Inondation de Cannes

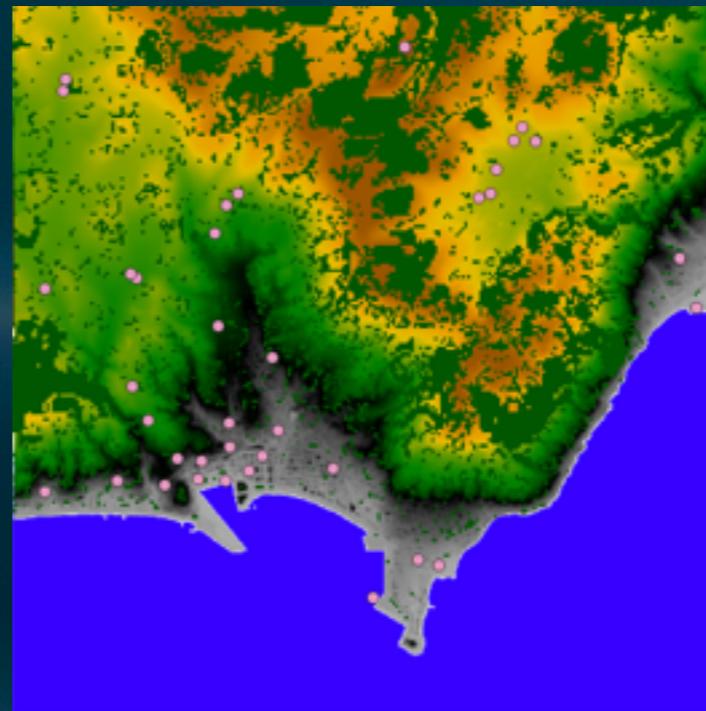
- Pas de lit de rivière à Cannes : Nécessité d'utiliser un modèle 2D ! (Comme dans 99% des cas pour les flash floods).
- Modèle Numérique de Terrain au pas de 5m + Modèle Numérique d'Élévation (IGN)

L = 7 km



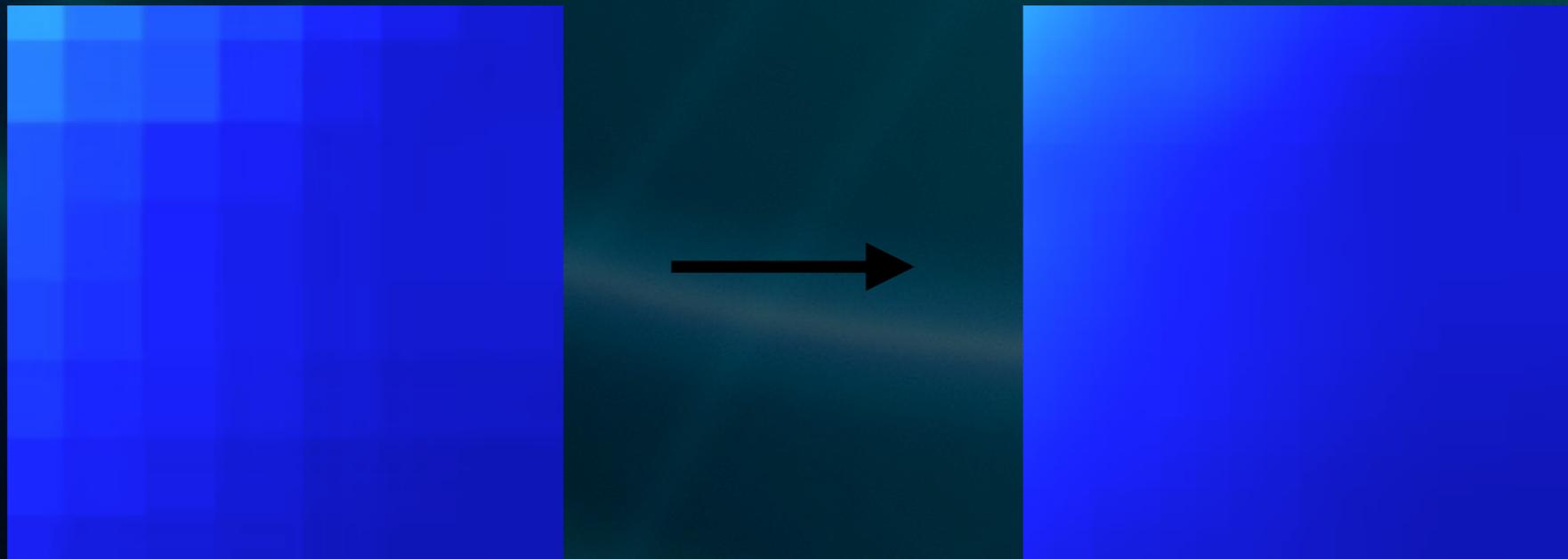
Inondation de Cannes

- IGN : Zones de végétation intense et les casernes de pompiers, commissariats et mairies.
- 3 zones différentes : zone de végétation intense (friction et infiltration très forte), zone urbaine (friction très faible et pas d'infiltration) et zone moyenne
- Zones de premier intérêts à la résolution de 6m, le reste à une résolution max de 12 m



Inondation de Cannes

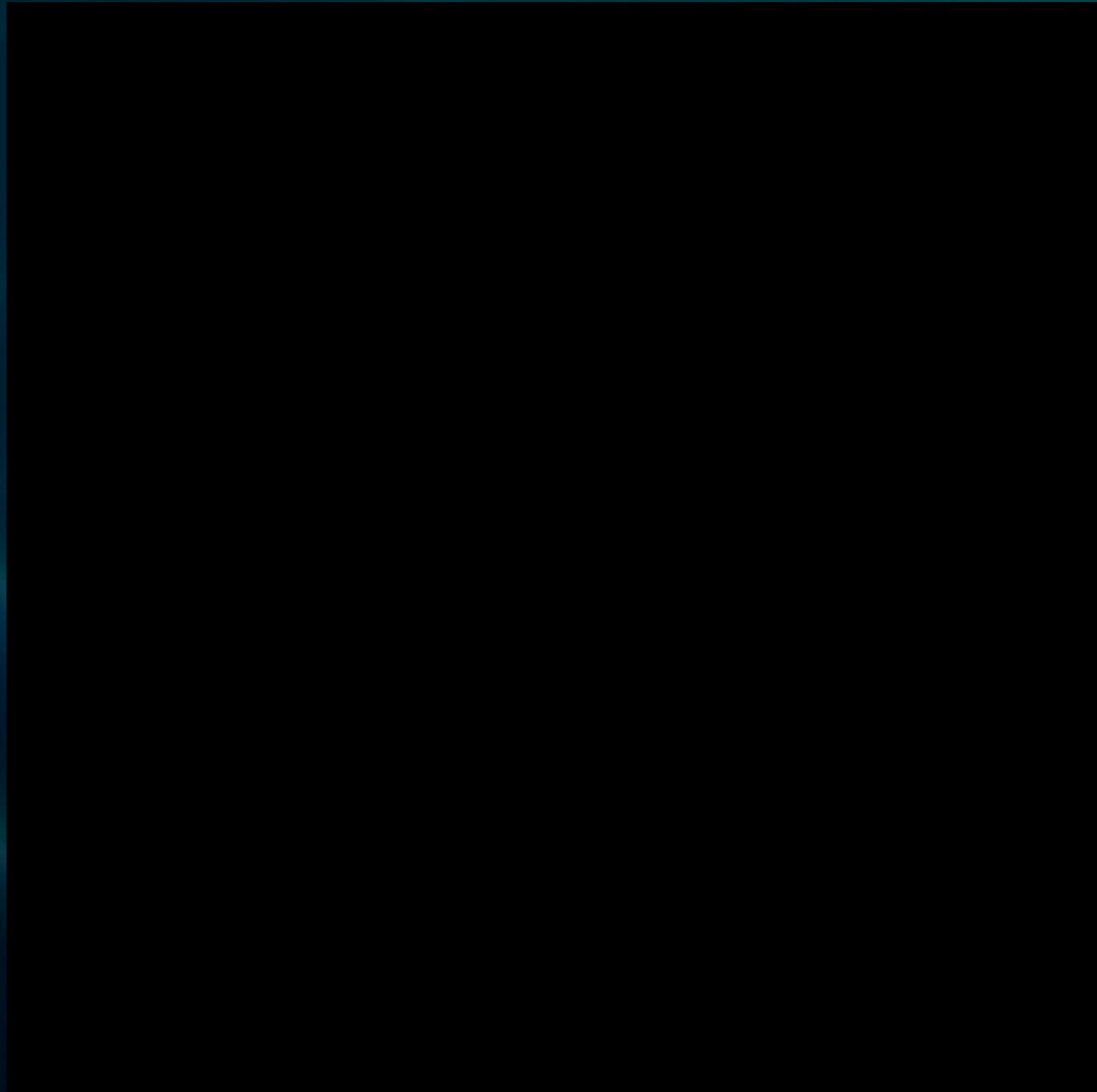
- Météo :
- Image radar « Lame d'eau » fournies par MétéoFrance
- 1km * 1km toutes les 5 minutes
- Interpolation bilinéaire en espace et linéaire en temps :



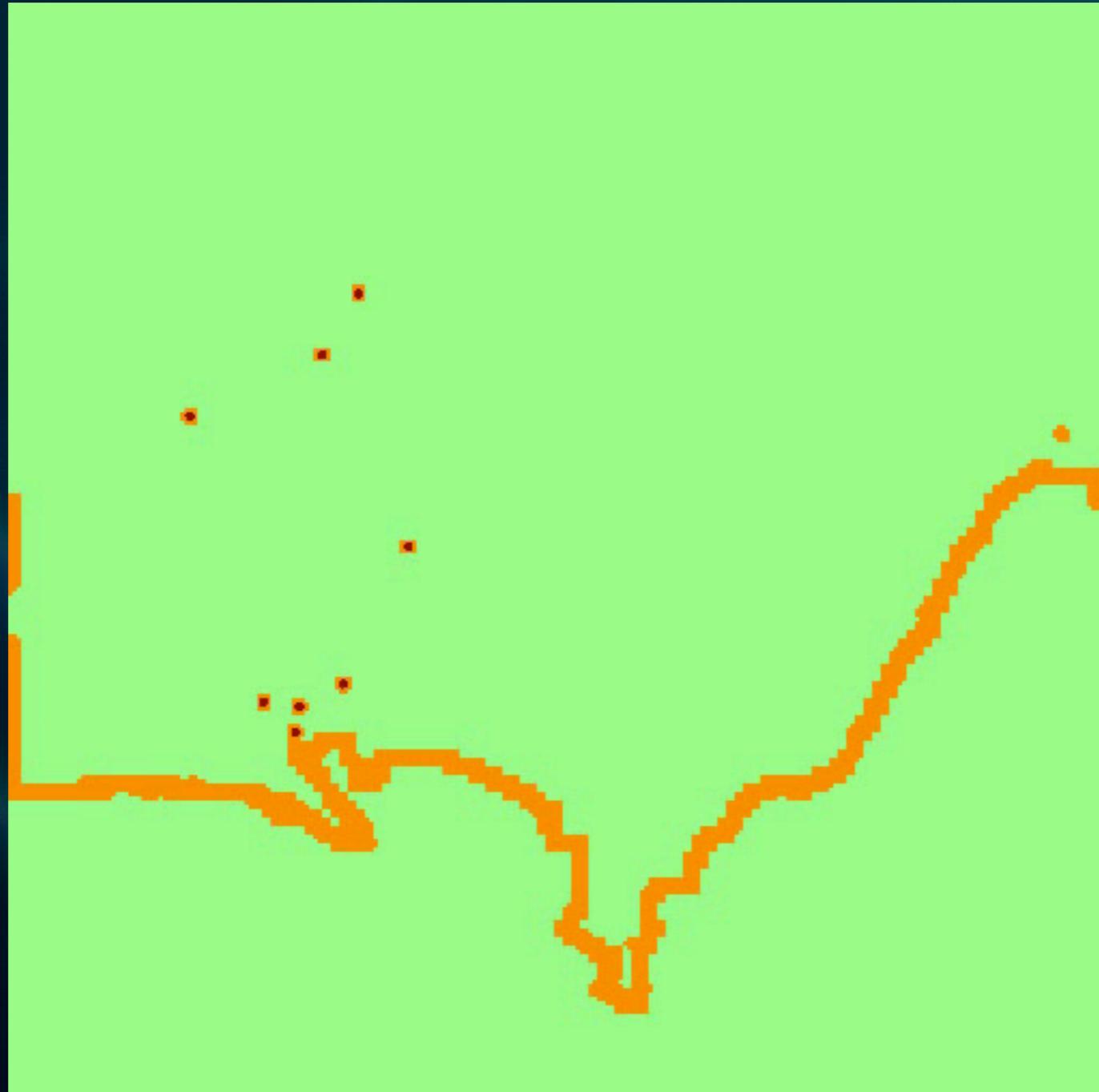
Intensité de pluie instantanée en échelle couleur : rouge = 120 mm/h

Inondation de Cannes

- Seuil d'erreur admissible entre deux « niveaux » de quad-tree : 5 cm (ondelettes).
- Ordinateur de salon en parallèle sur 12 processeurs.
- Résolution maximale de 12m et Résolution Exceptionnelle de 6 m sur les zones « sensibles »
- Temps de calcul pour 5h simulées = 2h

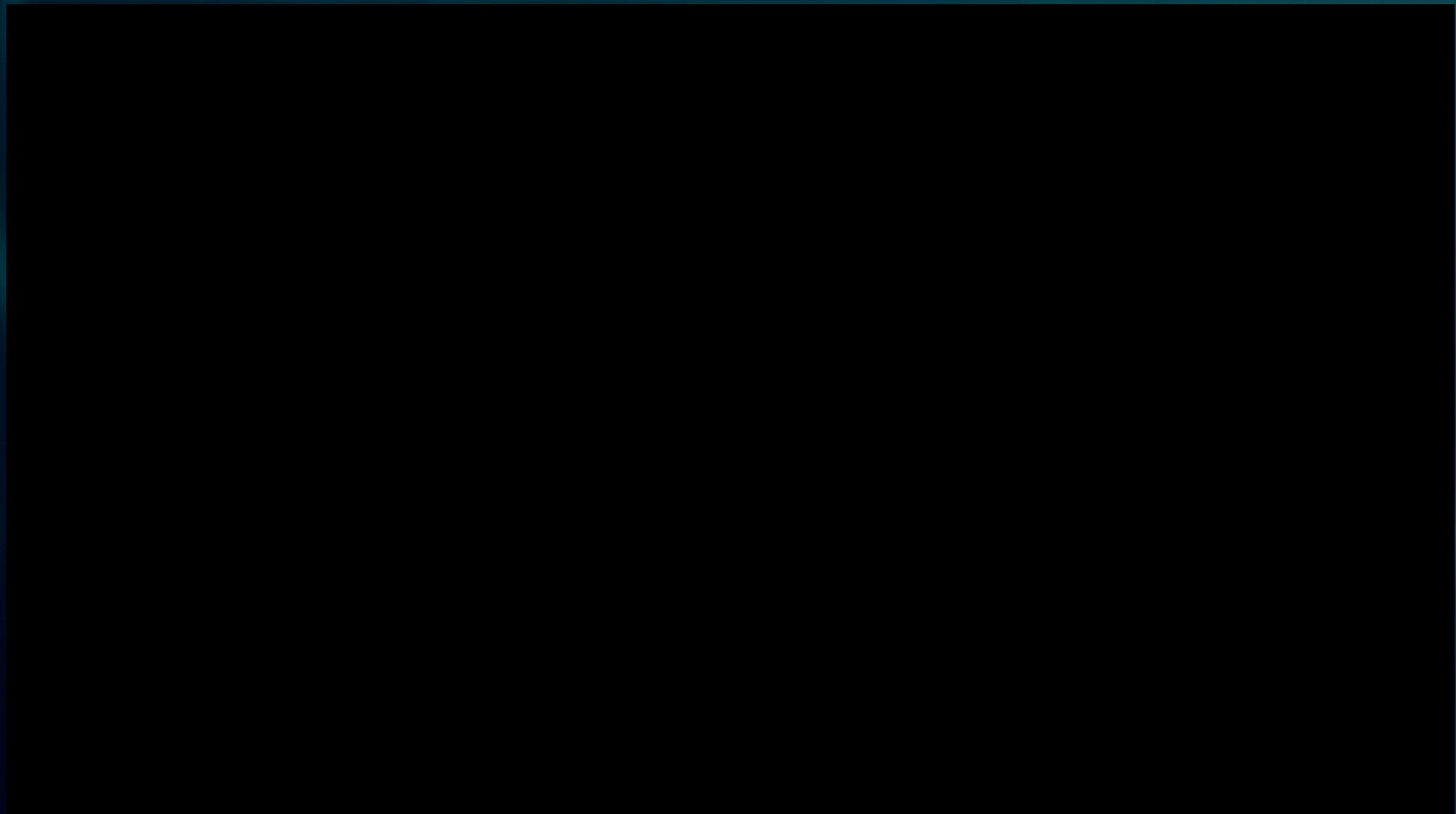


Hauteur d'eau en échelle couleur : bleu = 1 mm, rouge = 2 m



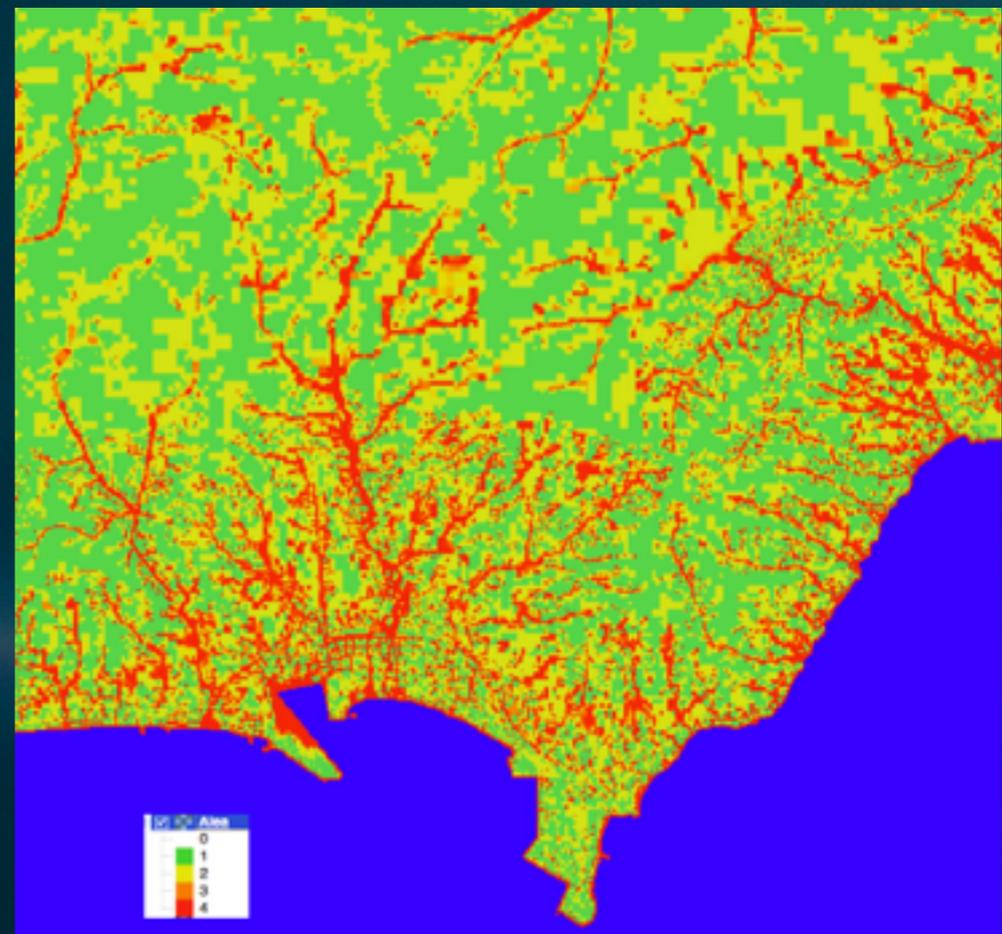
Taille des cellules en échelle couleur : bleu = 240 m, rouge = 6 m

Inondation de Cannes



Inondation de Cannes

- Carte d'aléa au sens du PPRI, calculé en fonction de la hauteur d'eau et/ou de la vitesse de l'écoulement.
- Le PPRI prévoit 0% sur Cannes pour un risque moyen (absence de cours d'eau).

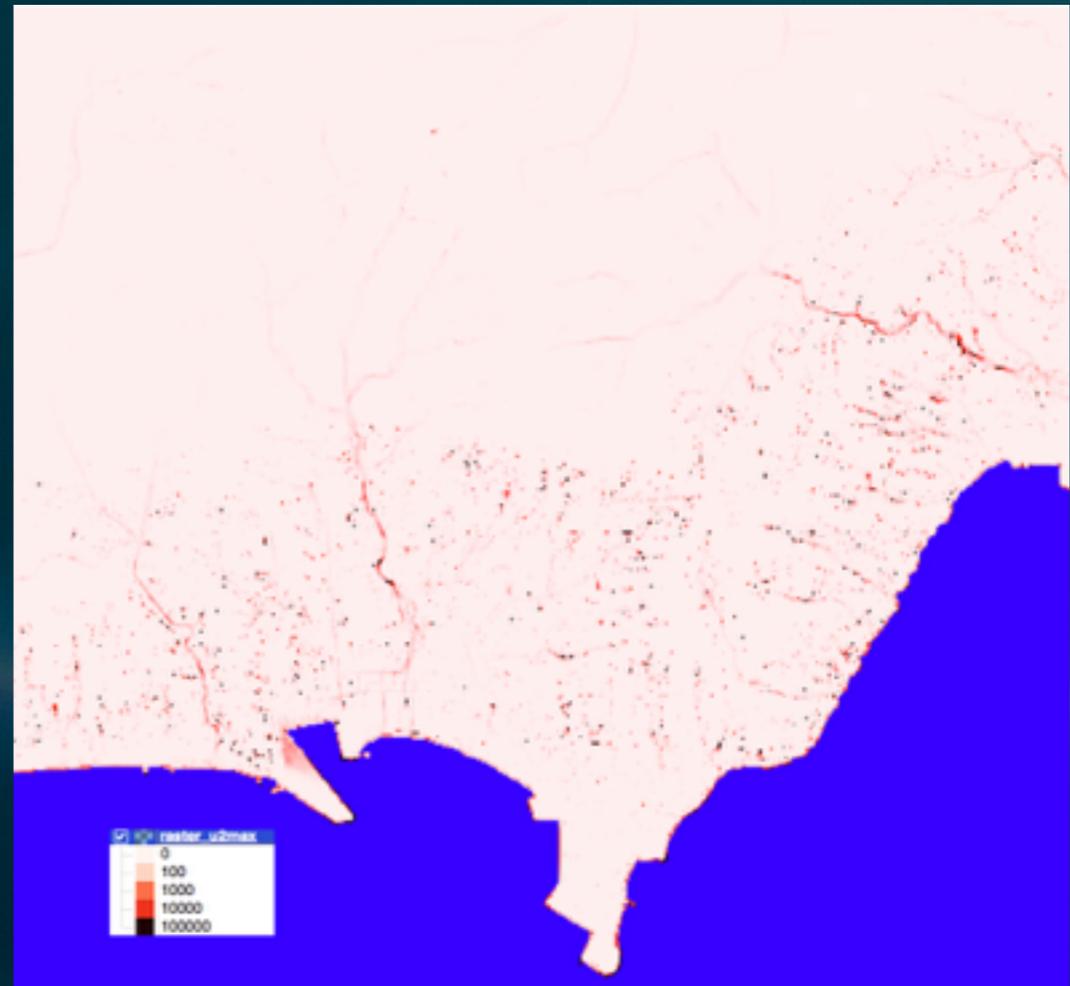


Inondation de Cannes

- Utilisation de la dynamique pour créer une nouvelle carte de risque.

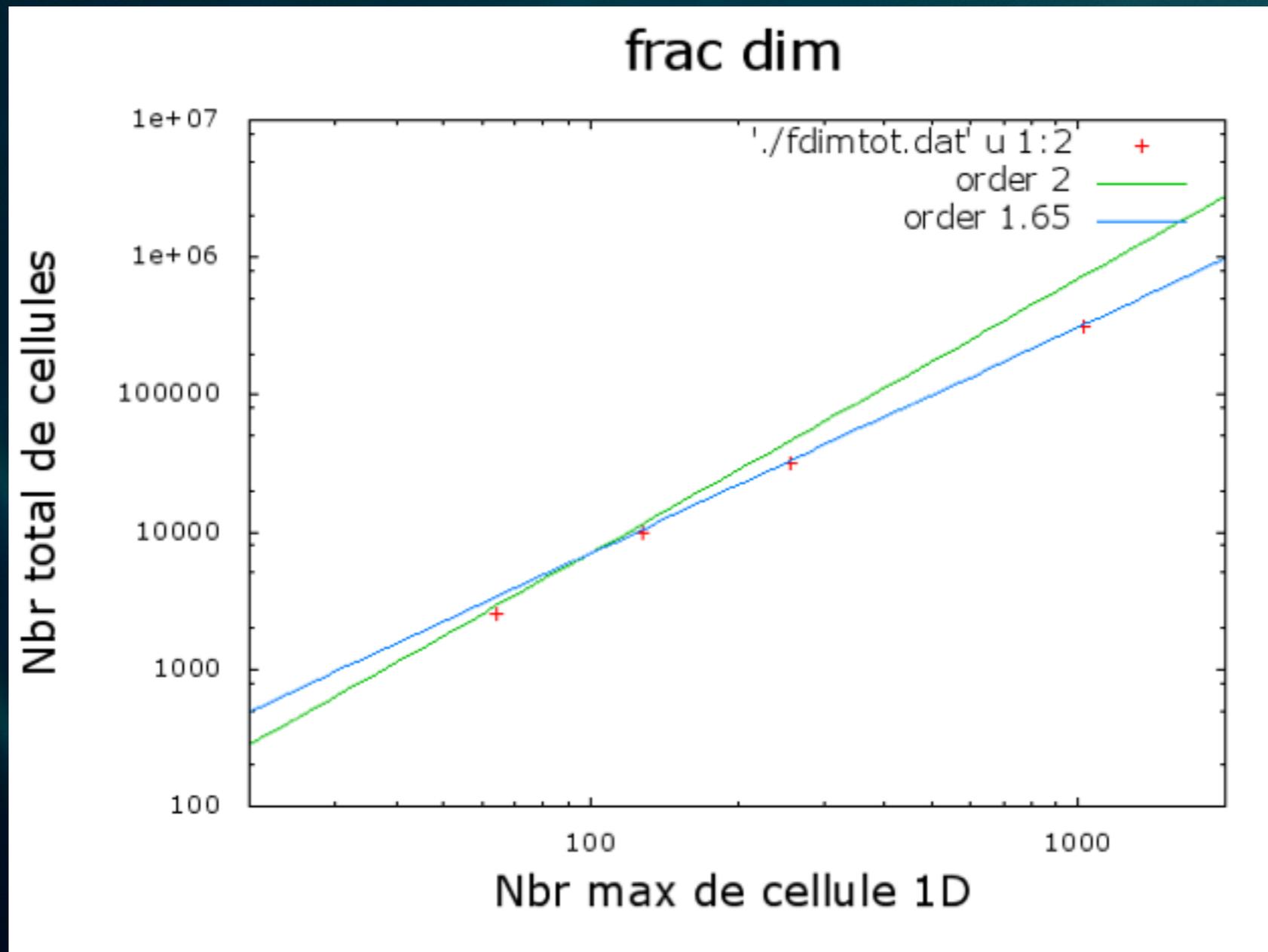
$$F/L_{max} = \rho h u^2$$

- Echelle couleur logarithmique.



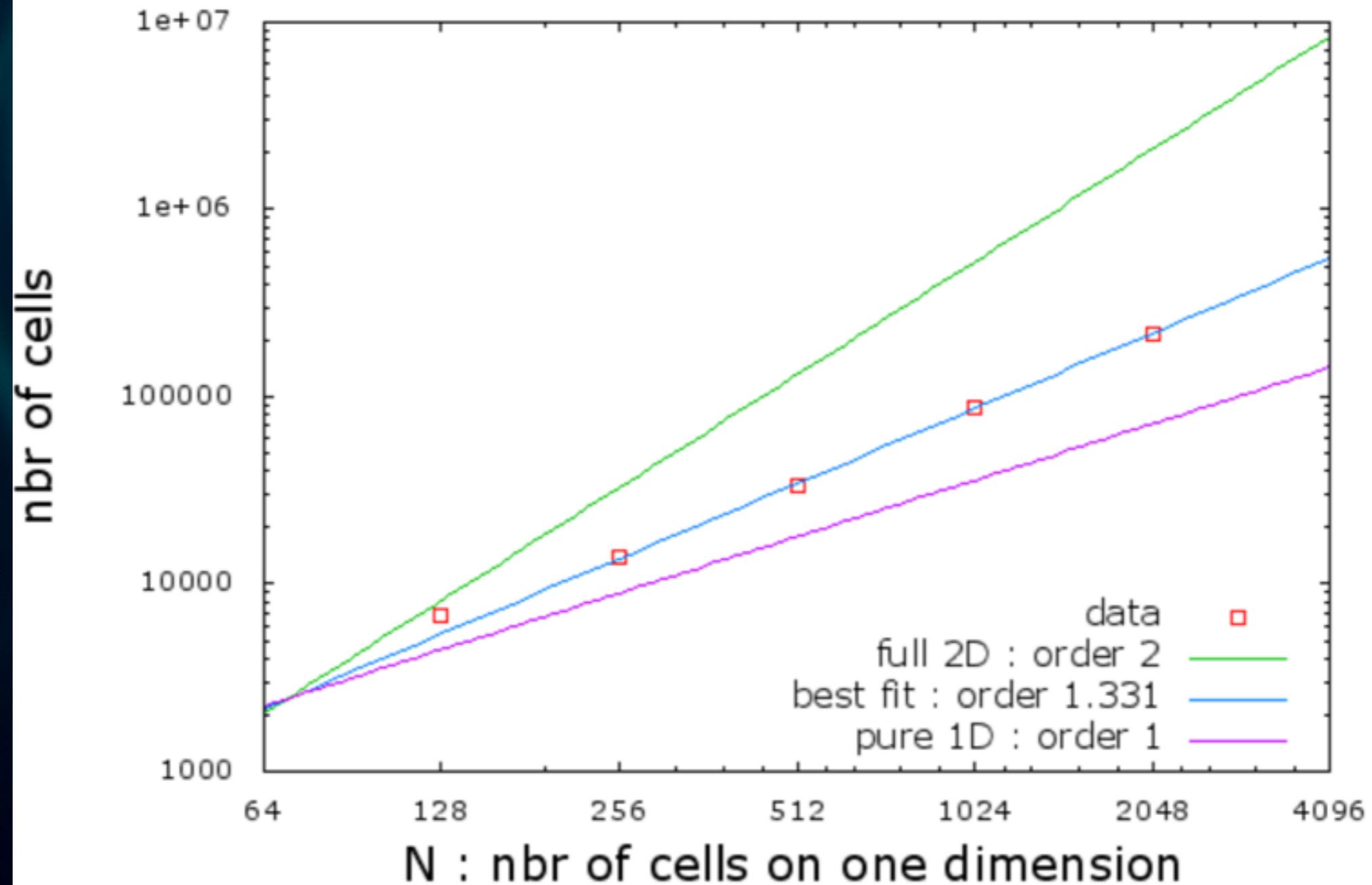
Conclusions

- Code et routines validés quantitativement sur le cas de la vallée du Toce.
- Code testé sur le cas réel de l'inondation de Cannes. Validation qualitative satisfaisante.
- L'utilisation du raffinement adaptatif de Basilisk et du calcul parallèle permet d'avoir un temps de simulation inférieur au temps de l'événement sur un ordinateur de salon.



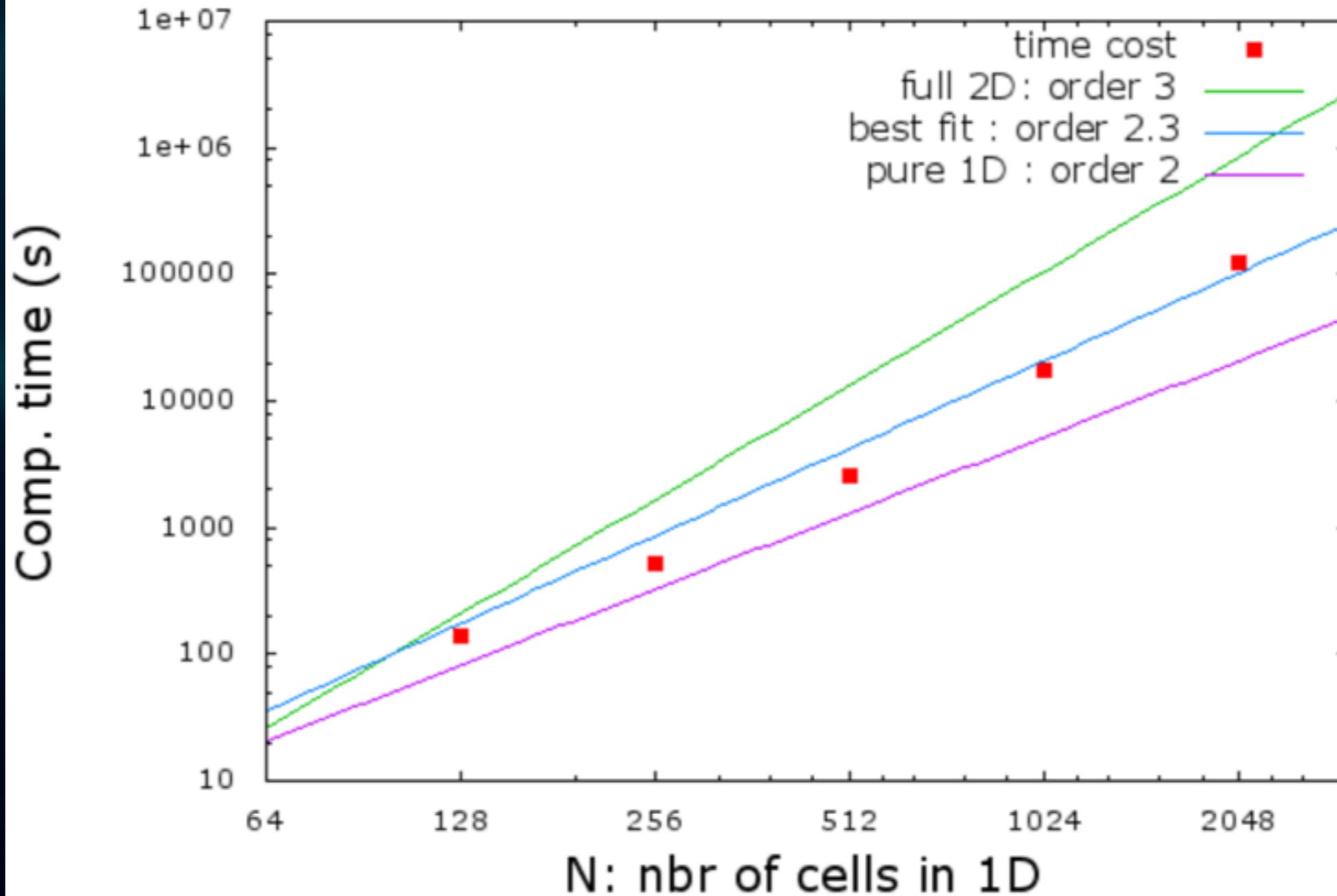
Dimension fractale de Carlisle
=
1.65

Fractal dimension of a fluvial flood



Dimension fractale de Tewkesbury = 1.3

Computational time with Fractal Dim.



Dimension fractale de Tewkesbury = 1.3