

## Modélisation du ruissellement, application de la méthode Exzeco sur 8 départements de l'Arc méditerranéen

Frédéric PONS<sup>1</sup>, Bruno BADER<sup>2</sup>, Christophe MOULIN<sup>1</sup>, Blandine PANAFIEU<sup>3</sup>, Laurent CHABAUD<sup>3</sup>, Ghislaine VERRHIEST-LEBLANC<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Cerema, Pôle d'activités Les Milles CS 70499 13593 Aix en Provence Cedex 3, France, [frederic.pons@cerema.fr](mailto:frederic.pons@cerema.fr)

<sup>2</sup> Cerema, 134 rue de Beauvais CS 60039 60280 Margny Les Compiègne,

<sup>3</sup> Commune de Sainte-Anastasia, 110 rue de l'Hôtel de Ville 30190 Sainte-Anastasia, France

<sup>4</sup> DREAL Provence Alpes Côte d'Azur, 36 Boulevard des Dames - 13002 Marseille, France, [ghislaine.verrhiest@developpement-durable.gouv.fr](mailto:ghislaine.verrhiest@developpement-durable.gouv.fr)

*L'application de la méthode ExZEco pour "Extraction des Zones d'Écoulement" sur l'arc méditerranéen optimisée en 2019 a permis de cartographier les espaces potentiellement inondables de nombreux bassins versants de l'arc méditerranéen.*

*La mission interrégionale « Inondation Arc Méditerranéen » (MIAM) et le Cerema ont ainsi mis à disposition en accès libre sur internet à l'attention des utilisateurs finaux (collectivités, services de l'État, bureaux d'études) ces éléments d'aide à la décision pour la gestion du risque du ruissellement. Les résultats de ces productions sont accompagnés de recommandations zonales quant à l'utilisation, l'interprétation, les limites et les avertissements liés à ces résultats. Des retours d'expérience et des orientations quant à l'utilisation de ces données sont mis à des dispositions des acteurs locaux, accompagnés également par une animation périodique et des réunions d'échanges techniques organisés par la MIAM et le Cerema.*

*Les utilisations concrètes sur le territoire sont nombreuses surtout de pré-identifications de zones allant parfois jusqu'à une identification « administrative ». L'aide concerne les schémas directeurs d'assainissement, les PPRi, les PLU/i, les PAC, la gestion de crise ou la connaissance des coulées de boue agricole. Ces cartographies sont considérées comme un socle solide de réflexion pour asseoir une stratégie d'amélioration de la connaissance et de limitation des risques de ruissellement.*

*L'utilisation des données par la Commune de Sainte-Anastasia montre une corrélation très forte des modélisations mises à disposition avec les cartographies issues des retours d'expérience événementiels. Cette collectivité rurale a utilisé les données Exzeco afin de prendre en compte les risques de ruissellement pluvial dans l'élaboration de son Plan Local d'Urbanisme (PLU) approuvé en février 2020. Dans le plan de zonage et le règlement associé, les axes de ruissellement Exzeco ont permis de définir des zones d'interdiction de construire ou d'imperméabiliser.*

*Mots-clefs : Ruissellement, Exzeco, Cartographie, Arc méditerranéen*

## Modelling of runoff, application of the Exzeco method on 8 departments of the Mediterranean Arc

*The application of the ExZEco method for "Extraction of Runoff Zones" on the Mediterranean arc optimized in 2019 has made it possible to map the potentially floodable areas of many watersheds of the Mediterranean arc. The interregional mission "Flooding Mediterranean Arc" (MIAM) and Cerema have thus made these decision-support tools for runoff risk management freely available on the Internet for end users (local authorities, State services, design offices, insurance companies). The results of these productions are accompanied by zonal recommendations on the use, interpretation, limits and warnings related to these results. Feedback and guidance on the use of these data are made available to local stakeholders, also accompanied by periodic animation and technical exchange meetings organized by the MIAM and Cerema.*

*There are many concrete uses on the territory mainly based on a first assessment for run-off mapping used. It concerns different types of French planning or crisis documents (SDA, PPRi, PAC) and also detection of mudflows. These maps can be considered as a solid basis for reflection in order to establish a strategy to improve knowledge and limit runoff risks.*

*The use of the data by the town of Sainte-Anastasia shows a very strong correlation between the models made and the maps resulting from feedback from events. This rural municipality used Exzeco data to take into account the risks of rain runoff in the development of its Local Urban Plan (PLU) approved in February 2020. In the zoning plan and associated rules, Exzeco runoff axes have been used to define zones where construction or soil sealing is prohibited.*

*Key words : Runoff, Exzeco, Mapping, French Mediterranean Areas*

## INTRODUCTION

Le Cerema développe une méthode appelée ExZEco pour "Extraction des Zones d'Écoulement", afin de cartographier les espaces potentiellement inondables sur de petits bassins versants. La méthode a dernièrement été améliorée et des résultats diffusés en 2019, dans le cadre d'une étude interrégionale sur la gestion du risque de ruissellement sur le territoire de l'arc méditerranéen.

Le concept d'Exzeco s'appuie sur les outils SIG classiques de calcul de surface drainée. En travaillant sur la sensibilité en bruitant le MNT, une emprise potentiellement inondable apparaît. Les dernières améliorations concernent en particulier la détection des endoréismes et la gestion du bruitage.

La mission interrégionale « Inondation Arc Méditerranéen » (MIIAM) de la DREAL de zone de défense et de sécurité sud et le Cerema ont travaillé à l'application de cette méthode aux territoires du sud-est de la France pour aider à la gestion du risque du ruissellement. Les résultats de ces productions sont fournis sur la plateforme CData du Cerema. Une note d'information indiquant l'utilisation, l'interprétation, les limites et les avertissements liés à ces résultats est en ligne.

Les avancées sur l'arc Méditerranéen ont été présentées à l'ensemble des utilisateurs (état, assureurs, collectivités, bureaux d'études) lors de deux journées techniques co-organisées en 2019 par la MIIAM et le Cerema à Aix-en-Provence et à Carcassonne. Ces deux journées ayant rassemblées 70 personnes ont permis d'échanger sur la méthode, ses utilisations, ses limites.

Un bilan des utilisations de ces données en particulier par les divers intervenants et la formulation de recommandations zonales sont proposés. Les utilisations de ces données sont très diverses, utilisation en gestion de crise par la société PREDICT, par les bureaux d'études CEREG, SUEZ, par des directions départementales des territoires et de la mer, par le SMMAR pour l'analyse des coulées de boues en milieu agricole. Un focus sera présenté sur l'intégration des données Exzeco par la commune de Sainte-Anastasie (Département du Gard) dans son PLU.

## AVANCEES DE LA METHODE EXZECO

La méthode nécessite un modèle numérique de terrain (MNT) et le principe est décrit Figure 1.

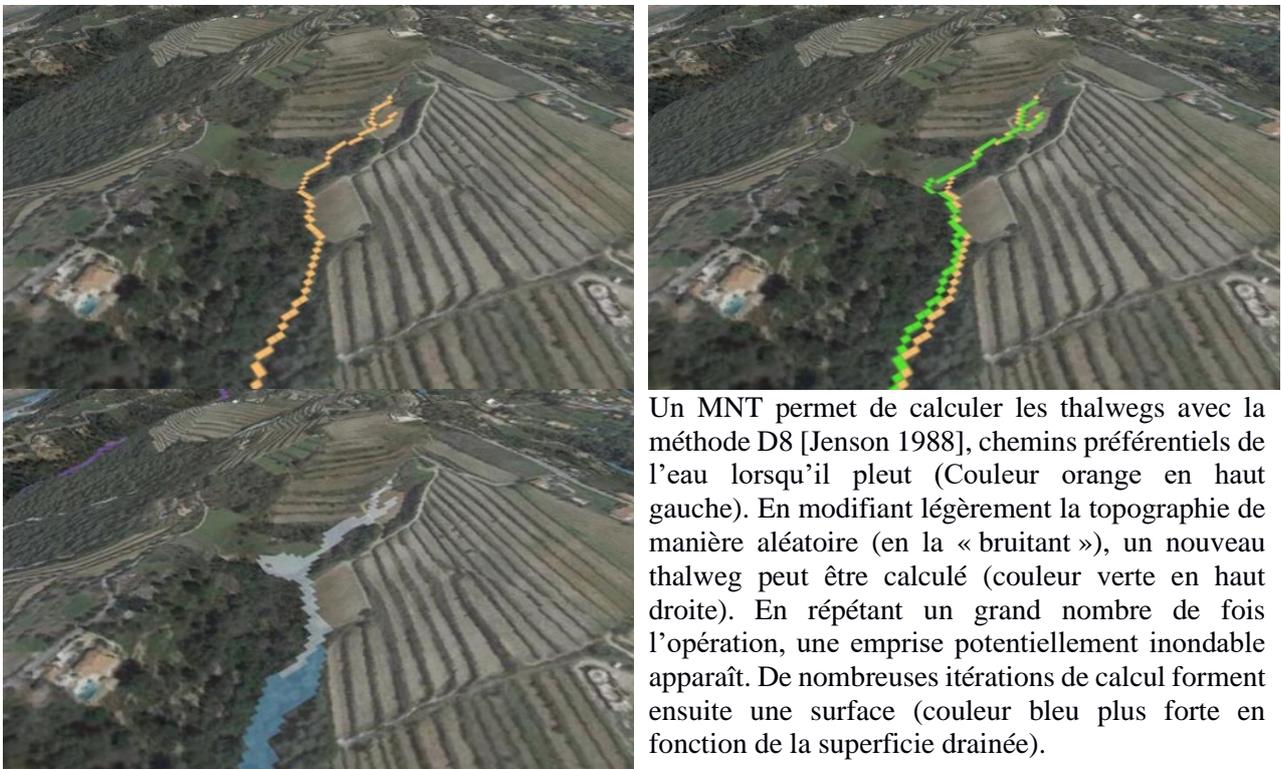


Figure 1 : Résultat d'un calcul de thalweg (haut-gauche) et avec un MNT légèrement modifié (haut-droite) et emprise (bas gauche)

Dans le détail, bruite le MNT consiste à ajouter aléatoirement une valeur à certains points de ce MNT. Pour Exzeco 5 m, la valeur arbitraire choisie est au départ de 20 cm. A chaque itération, une matrice de surface drainée est calculée. Lorsque toutes les itérations sont terminées, le maximum de toutes ces matrices MNT

bruitées est compilé. La couche Exzeco020 est alors produite comprenant pour chaque pixel la valeur de la surface drainée maximale atteinte de toutes les itérations.

Même si, l'objectif de cette méthode est de répondre aux phénomènes dits d'inondations par ruissellement, bruiteur de 20 cm limite parfois l'extension latérale des emprises. Il apparaît intéressant de pouvoir bruiteur avec des valeurs plus importantes. Cependant, bruiteur directement avec des valeurs à 1m cause deux problèmes, le premier est un temps de convergence plus important (5000 itérations sont réalisées) et aussi semble surestimer les emprises touchées.

Pour pallier cela, le MNT de base est modifié en augmentant de 20 cm tous les pixels qui drainent une superficie supérieure à 0,1 km<sup>2</sup>. Le principe arbitraire est en effet de supposer qu'en suivant les écoulements vers l'aval, les hauteurs potentielles d'eau augmentent. La méthode est alors appliquée à nouveau sur ce MNT modifié. Le résultat correspond à une couche 40 cm.

Tableau 1 Modifications successives du MNT en rapport avec la surface drainée

MNT		initial	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm
Nombre de Bruitage 20 cm		5000	5000	5000	5000	5000
Exzeco		020 cm	040 cm	060 cm	080 cm	100 cm
Surface drainée		> 0.1km <sup>2</sup>	> 0.5 km <sup>2</sup>	> 1 km <sup>2</sup>	>5 km <sup>2</sup>	
Endoréisme	Lame eau	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	500 mm
	Surface drainée	0.01 km <sup>2</sup>	0.05 km <sup>2</sup>	0.1 km <sup>2</sup>	0.5 km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup>
	Volume dépression	0.001 Mm <sup>3</sup>	0.01 Mm <sup>3</sup>	0.03 Mm <sup>3</sup>	0.2 Mm <sup>3</sup>	0.5 Mm <sup>3</sup>

Le principe est répété jusqu'à 1 m, en modifiant le MNT selon les valeurs décrites dans le Tableau 1.

A ce principe vient s'ajouter à chaque étape un calcul d'endoréisme différent impactant le calcul Exzeco. L'endoréisme d'un bassin versant est le fait qu'il ne se déverse pas dans un cours d'eau ou une mer, mais est au contraire clos, retenant ses eaux dans une cuvette fermée. Il peut provenir de cuvettes naturelles karstiques (Plaine de Cuges, Larzac...), de cuvettes anthropiques (carrières, bassins de rétention) mais aussi et parfois de défauts liés au MNT.

Le principe original du calcul des endoréismes dans le produit Exzeco est de comparer le volume des dépressions présentes sur le MNT avec un volume « capable », étant calculé comme la surface drainée à l'endroit de la cuvette multipliée par une lame d'eau ruisselée. Par exemple, les endoréismes associés à la couche Exzeco020 (Tableau 1) sont établies avec plusieurs conditions

- la surface drainée associée à la cuvette doit être supérieure à 0.01km<sup>2</sup>,
- les cuvettes doivent avoir un volume supérieur à 1000m<sup>3</sup>,
- dans chacune des cuvettes, le volume de la cuvette doit être supérieur à la surface drainée arrivant dans la cuvette multipliée par une lame d'eau ruisselée ici de 100mm.

La première condition est liée au temps de calcul, il n'est pas raisonnable de tester toutes les micro-cuvettes.

Plusieurs valeurs de lames d'eau, de surface drainée minimale de calcul et de volume minimal de dépression sont testées pour faire ressortir une susceptibilité plus ou moins importante d'être en présence d'un endoréisme.

Les valeurs sont assez arbitraires et fortes (500mm ruisselé !) mais sont nécessaires pour ne pas « oublier » des zones. Le calcul nécessite un MNT hydrologiquement correct, c'est-à-dire que les superstructures comme les ponts soient représentées ouverts. Certaines cuvettes sont détectées à tort car certains passages inférieurs routiers ou hydrauliques (buses...) ne sont pas représentés dans le MNT 1m ou 5m. Des erreurs peuvent aussi être produites par le ré-échantillonnage du MNT 1m en MNT 5m opéré par le Cerema sur certains secteurs (un passage inférieur de 2 m de large disparaîtra).

Vu le poids des données, une application interne est dédiée aux calculs sur le cluster du Cerema à Compiègne.

## FOURNITURE ET INTERPRETATION EXZECO MIAM

Les données et de nombreuses informations sont disponibles et diffusés par l'intermédiaire de ces liens, en particulier une fiche de prise en main de quatre pages :

- <https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode>
- <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/ruissellement-sur-l-arc-mediterraneen-application-a-1973.html> .

Un serveur cartographique par région ([https://carto.cdata.cerema.fr/1/EXZECO\\_PACA\\_DPTS.map](https://carto.cdata.cerema.fr/1/EXZECO_PACA_DPTS.map) et [https://carto.cdata.cerema.fr/1/exzeco\\_occitanie.map](https://carto.cdata.cerema.fr/1/exzeco_occitanie.map)) est disponible

Les données sont fournies en format SIG universel et sont librement utilisables (Départements 66,11,34,30,48,13,83, 84 et 04 en partie). Les tables SIG fournies pour les zones traitées après une vectorisation et un nettoyage des formes (décrénelage, suppression des zones <400m<sup>2</sup>) avec le pas de 5 m sont les suivantes :

- Cuvette (avec les classes de hauteurs) ;

Le calcul des dépressions, nécessaire à la méthode, permet de fournir ces cuvettes comme un résultat d'Exzeco. Ces cuvettes ne sont pas nécessairement inondables, car le bassin versant peut être faible. L'expérience montre cependant que de nombreuses observations historiques d'inondations sont situées dans les cuvettes traversées par des axes d'écoulement ;

- Endoréisme

Exzeco permet de les identifier en comparant le volume des cuvettes avec le volume théoriquement ruisselé comme décrit précédemment (lame d'eau forfaitaire x surface drainée) ;

- Exzeco 100cm

C'est le produit principal pour les services mais également 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm (avec les classes de superficies drainés 0,01 / 0,05 / 0,1 / 0,5 / 1 / 5 / 10 / 50 km<sup>2</sup>) pour des usages plus spécifiques.

Carte Ruissellement sur l'Arc Méditerranéen: Résultats Exzeco en Région Provence Alpes Côte d'Azur par départements

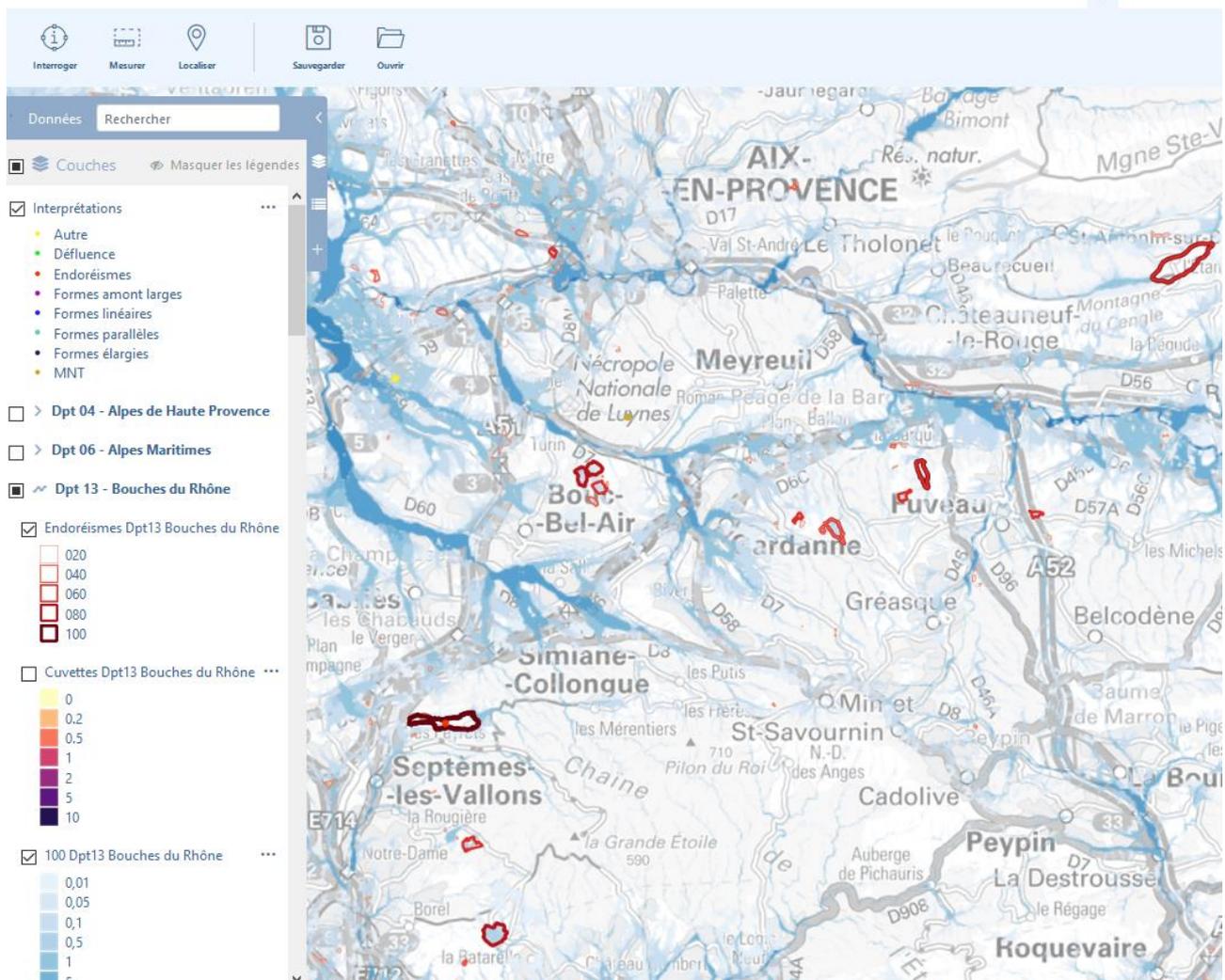


Figure 2 : Exemples de résultats sur le secteur d'Aix en Provence disponible sur l'interface CDATA WEB publique

Il est souvent utile de n'afficher que certaines classes de superficies drainées en fonction des besoins : pour le ruissellement par exemple, des bassins drainés compris entre 0,01 et 1 km<sup>2</sup> (ou quelques km<sup>2</sup>) seront souvent pertinents.

Les formes géographiques produites par Exzeco peuvent être de plusieurs types. Des exemples figurent dans les cartographies en ligne citées précédemment. Les interprétations sont mises à disposition dans l'interface pour que chacun puisse faire son analyse (Figure 2) avec les explications fournies dans la notice.

Selon les hypothèses de remplissage (20 cm et 1 m par exemple), les surfaces drainées peuvent être très différentes. Par exemple, un secteur peut n'être touché que par des surfaces drainées faibles pour des faibles hauteurs de remplissage car pour un évènement « faible », un petit bassin versant sera sollicité. Ce même secteur sera touché par une bien plus grande superficie pour une hauteur de bruitage plus grande car un bassin versant plus important sera sollicité. Cela correspond peu ou prou à de l'écoulement lié à de l'impluvium local dans un lit majeur et ensuite un écoulement dans le lit majeur du cours d'eau principal.

Les résultats d'Exzeco dans les lits majeurs peuvent permettre d'identifier des zones d'écoulements dans ces lits correspondant par exemple à du ruissellement local ou des lits secondaires.

Si la couverture actuelle des secteurs modélisés est entendue, des développements sont en cours afin de répondre au mieux aux attentes et aux besoins formulés par les acteurs locaux (services de l'Etat et collectivités). C'est sur demandes d'acteurs locaux par exemple, que des calculs sur la Corse ou sur le secteur du Tarn sont en cours en 2020 (Figure 3).

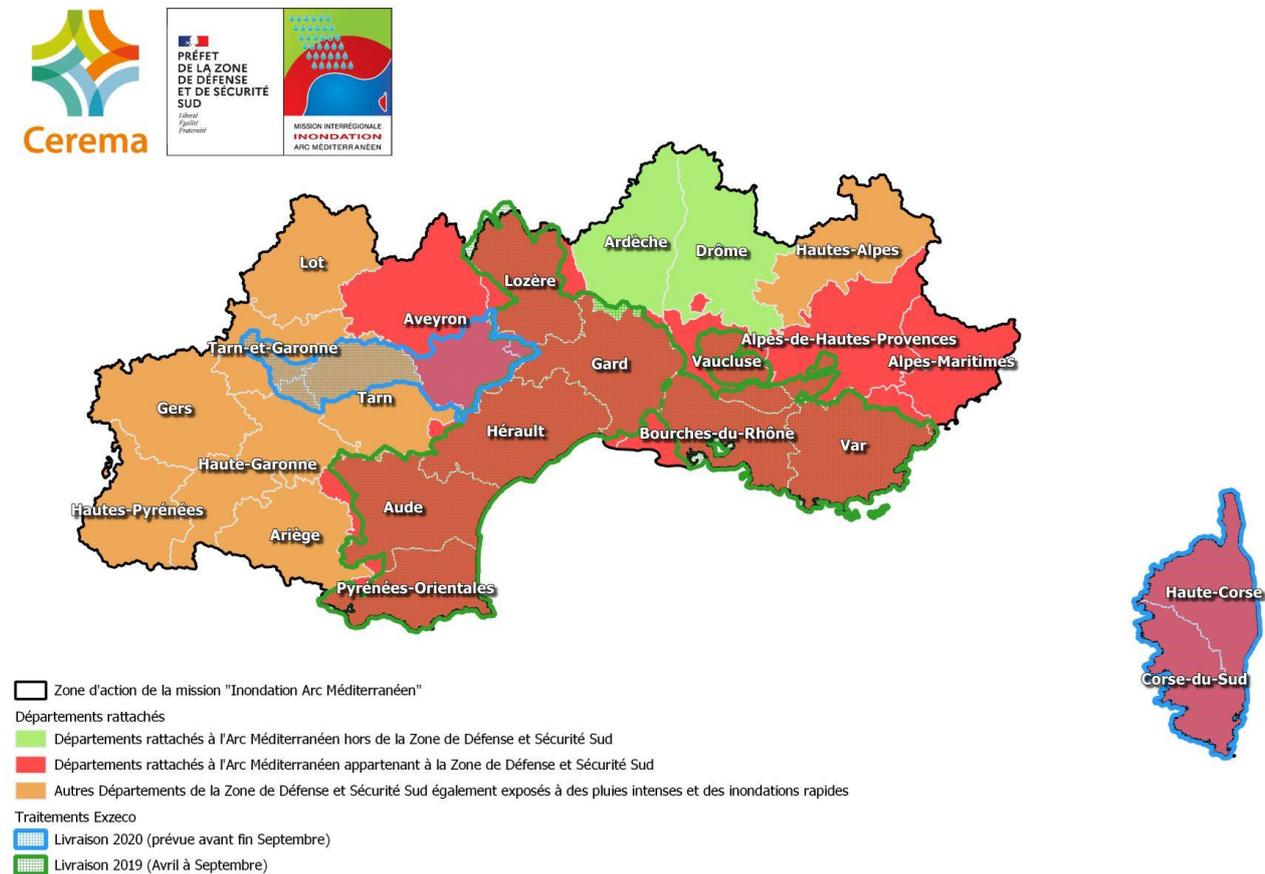


Figure 3 : Secteurs couverts par le produit EXZECO MIAM

## UTILISATIONS ET LIMITES D'EXZECO MIAM

L'objectif de la production Exzeco MIAM était de combler les lacunes de connaissance des zones inondables sur les parties amont des bassins versants. Plus en aval, la connaissance est généralement disponible, notamment avec les modélisations et les atlas de zones inondables existants, Exzeco 100 n'est pas suffisant.

La méthode utilise le relief, résultant en partie du modelage du terrain par les écoulements mais aucune donnée sur l'hydrologie (pluie, débits). Les résultats sont donc issus exclusivement d'un traitement topographique qui consiste à obtenir des superficies drainées maximales. Ainsi, le résultat représente une emprise

susceptible d'être inondable, sans notion de période de retour, de hauteur, de vitesse. Il n'y a pas d'informations directes pour quantifier l'aléa (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, débits, période de retour).

Sur les parties amont, la confrontation des résultats avec des données issues de retours d'expérience montre que les dégâts sont la plupart du temps dans la zone couverte avec la couche Exzeco 100 cm. Pour autant, il ne s'agit pas d'une zone inondable à proprement parler : les zones identifiées par la méthode peuvent être supposées inondables dans l'attente d'éléments plus précis (modélisations), mais cela ne peut être affirmé.

De nombreuses précautions sont en lien avec le MNT. Des anomalies de MNT entraînent des incohérences dans les résultats Exzeco comme des emprises Exzeco sur des cuvettes surdimensionnées avant un obstacle « numérique », des débordements sur voiries anormaux engendrant des modifications des directions d'écoulements à l'aval et des identifications d'endoréismes qui n'ont pas lieu d'être.

Sur certains secteurs, les calculs d'endoréismes peuvent ne pas être conduits du fait de la qualité du MNT.

Au-delà du MNT, la méthode a bien sûr des limites. Les valeurs prises sont subjectives : 20 cm de bruitage (Le Lidar a un Ecart-Moyen Quadratique de 20 cm et un trottoir fait 20 cm), classes des surfaces drainées... Il n'y a pas de prise en compte des réseaux d'assainissement, des ouvrages hydrauliques et de tous les éléments de taille inférieure à la taille de la grille du MNT (mobiliers urbains, trottoirs, mur de clôture, mur digue...). Autre point assez déstabilisant, en lançant 2 fois Exzeco sur le même territoire, le résultat ne sera pas exactement le même, le bruitage étant aléatoire.

À ce stade, les résultats Exzeco sont calculés sur la base du MNT (en enlevant les superstructures comme les bâtiments) et n'ont pas été réalisés avec des MNE (Modèles Numériques d'Élévation, qui eux prennent en compte les superstructures).

Ces limites peuvent par exemple conduire à très mal représenter des écoulements en milieu urbain suivant certaines voiries routières, ou bâtiments.

## **PARTAGE D'UTILISATION D'EXZECO**

Les avancées sur l'arc Méditerranéen ont été présentées à l'ensemble des utilisateurs (état, assureurs, collectivités, bureaux d'études) lors de deux journées techniques co-organisées en 2019 par la MIAM et le Cerema à Aix-en-Provence et à Carcassonne. Ces deux journées ayant rassemblées 70 personnes ont permis d'échanger sur la méthode.

Exzeco étant une méthode, il existe maintenant plusieurs résultats Exzeco, deux principaux réalisés par le Cerema, Exzeco25m Directive Inondation datant de 2011 [Pons, 2014] et ceux produit pour la MIAM, objet principal de cet article. Des bureaux d'études se sont aussi emparés de la méthode (avec des adaptations donc d'autres Exzeco) pour utiliser ces résultats, leurs utilisations et interprétations sont synthétisés ci-dessous.

SUEZ Consulting utilise la méthodologie Exzeco depuis 2012 après une adaptation de la chaîne de traitement. La méthodologie est utilisée dans le cadre des études de cartographie du risque (débordement / ruissellement) pour des Schémas directeurs des eaux pluviales avec l'identification du risque d'aléa ruissellement ou débordement (1), les PPRi pour l'identification de secteurs « potentiellement inondables » (2) et l'Etude de caractérisation des ruissellements (3). Les points positifs sont le traitement relativement rapide (1), l'unique besoin d'une donnée topographique (2), l'identification exhaustive des axes d'écoulements (3) et l'identification des cônes de déjection (4). En synthèse sur sa pertinence, la méthode fonctionne bien dans les vallons et fournit des résultats moins fiables dans les grandes plaines où la méthode hydrogéomorphologique (HGM) est plus adaptée (Masson, 1996). Pour SUEZ, c'est une méthode rapide pour identifier les secteurs à enjeux susceptibles d'être inondés et où une modélisation hydraulique est nécessaire pour qualifier finement le risque.

CEREG relève le besoin de connaissance de ruissellement sur la zone de l'Arc Méditerranéen en particulier pour des PLU. Exzeco est un produit intermédiaire sur lequel les équipes de CEREG s'appuient pour améliorer les études HGM (Exzeco ne remplace pas la méthode mais la complète) ou mieux cerner les secteurs à traiter en modélisation 2D. Au-delà des limites partagées communément sur la méthode et de ses avantages (outil puissant pour disposer d'une vision globale des écoulements), CEREG met en avant une limite majeure. Il y a besoin de comprendre le fonctionnement d'Exzeco pour pouvoir l'interpréter et il est très difficile de communiquer sur la donnée auprès d'un public non averti. La méthode est moins compréhensible qu'une modélisation hydraulique ou une carte HGM, Exzeco ne peut pas être directement une zone inondable sans expertise. Enfin le terme Exzeco est utilisé pour la(es) méthode(s) et le(s) produit(s), sauf qu'en fonction du MNT (25m IGN de 2011 ou Lidar IGN actuel), et de qui produit le calcul, le résultat est différent !

Concernant les utilisations par les Directions Départementales des Territoires et de la Mer, nous avons eu le retour d'expérience des DDTM13 et DDTM30.

Dans les Bouches du Rhône, la DDTM13 utilise Exzeco dans les « Porter à Connaissance » pour les Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi). Les enveloppes Exzeco (Exzeco 25m DI 2011) sont considérées comme des zones susceptibles d'être inondables transmises dans les PAC PLU/i pour positionner des besoins d'acquisition de connaissance sur les secteurs urbanisés ou à urbaniser. Si la zone est confirmée par une analyse HGM, la règle est l'inconstructibilité, si une étude hydraulique locale est utilisée au vu des enjeux locaux, les principes de prévention par croisement aléa/enjeux sont appliqués. Exzeco permet de rapidement identifier les zones avec des manques et peut servir d'outil de vérification d'études locales HGM ou modélisation hydraulique. En conclusion pour la DDTM, Exzeco est utile mais délicat à utiliser, les paramètres Exzeco (bruitage) n'ont pas de sens physique et de lien avec l'hydrologie. Il est donc délicat de traduire directement ces données en droit de l'urbanisme, à cause des choix de paramètres pouvant être fragile en cas de contentieux.

Dans le Gard, la DDTM30 a défini une limite entre débordement de cours d'eau et ruissellement. Le débordement de cours d'eau commence à partir d'une superficie drainée de 1km<sup>2</sup> et aussi dans les écoulements organisés pour des superficies plus faibles (thalwegs). Les autres parties du réseau hydrographique sont à l'origine de l'aléa inondation par ruissellement pluvial. Leur définition est la suivante : écoulements diffus, sans axe préférentiel, engendrés par des pluies qui drainent une surface de bassin versant inférieur à 1km<sup>2</sup>. La connaissance du risque ruissellement se base sur les « Porter à Connaissance » de l'Etat (PPRi débordement et parfois ruissellement et les Atlas de Zones Inondables), les études communales (modélisation hydraulique type PPRi ou Zonages Pluviaux HGM). L'étude EXZECO Gard (<http://www.gard.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-et-protection-de-la-population/Risques/Gestion-du-risque-inondation/La-connaissance-du-risque/L-etude-Exzeco>) a été intégrée dans la doctrine départementale du risque d'inondation mise à jour en 2018 et transmise à tous les maires. Cette étude, basée sur Exzeco 25m DI 2011, est dans la grande majorité des communes la seule source de connaissance des zones potentiellement inondables par ruissellement. Dans le même esprit que la DDTM13, pour urbaniser une zone « ruissellement », il faut réaliser une étude hydraulique locale qui définira l'aléa et les règles. Un logigramme « Ruissellement » décrit les diverses étapes pour tout projet de construction ou de nouvelle zone d'urbanisation. Enfin, un cahier des charges type de zonage pluvial élaboré par le Conseil Départemental, le Conseil Régional, la DDTM et l'Agence de l'Eau est fourni aux communes demandant de s'appuyer sur la méthode hydrogéomorphologique.

La société PREDICT, spécialisée dans la prévention des risques hydrométéorologique, a présenté son activité. Elle s'appuie sur la gestion du risque avant la crise, pendant et après. Dans l'ensemble de ces étapes, elle utilise une zone inondable. Exzeco est un produit qui l'intéresse pour compléter sa connaissance des zones inondables et fournir plus d'informations à ses abonnés à la fois en France et à l'étranger (Projet Cosparin). La difficulté d'utilisation d'Exzeco, en particulier sur les têtes de bassin versant rejoint la difficulté de communiquer cette donnée (Exzeco25 DI 2011 ou Exzeco 5m MIAM auprès de public non averti comme CEREG). Cette donnée est considérée comme une donnée brute sur laquelle s'appuyer mais sans forcément la montrer aux bénéficiaires.

Suite à ces journées, le syndicat de bassin du Fresquel (SIAH) membre du SMMAR (Syndicat Mixte des Milieux Aquatiques et des Rivières – EPTB Aude) a imaginé l'intérêt d'utiliser Exzeco dans le cadre du projet Fresqu'Haie financé par l'Agence de l'Eau. Le but du projet est de ralentir l'eau avant qu'elle érode les sols qu'elle touche des enjeux en plantant des haies bien positionnées sur des secteurs agricoles. Suite aux divers épisodes pluvieux sur l'Aude fin 2019, de nombreuses zones de coulées de boue sont apparues, causant des dommages et de coût de remise en état de la voirie. Le SIAH a demandé au Cerema de lui présenter ces éléments pour voir s'il y avait cohérence entre les très nombreux sites touchés et les emprises Exzeco. Nous sommes allés sur site avec la chambre d'agriculture et en disposant des éléments sur l'application smartphone Qfield disponible sur le système Android (Figure 4).

La pré-identification des zones avec Exzeco semble tout à fait pertinente. Bien sûr, il faut veiller à regarder le contexte local (fossé, route, chemin). Les zones détectées sur des faibles superficies (de 0.01 à 0.05 km<sup>2</sup>) semblent des secteurs susceptibles de pouvoir retenir de manière douce des écoulements avec des haies. Des érosions sont aussi apparues en lien avec une trop faible cohésion des sols au regard de la pente des talus (Etoiles vertes sans flèches d'explication Figure 4). Ces secteurs peuvent souvent s'assimiler à des érosions de berge liés aux fossés du bord des routes. Cette analyse a été reproductible sur le linéaire visité.



Retour terrain comparant Exzeco MIAM avec des relevés locaux.  
2 images à gauche, thalweg marqué de superficies entre 0.01 et 0.05km<sup>2</sup> (vu amont/aval)  
Image milieu droit : Erosion des sols liés aux ruissellements amont, le fossé de la route a décalé la continuité du thalweg précédent vers le sud.  
Image bas droit : Erosion des sols liés aux ruissellements amont, le chemin a intercepté les écoulements à l'Est de la forme Exzeco

Figure 4 : Secteur des coulées de boue hiver 2019-2020 Montclar (Département de l'Aude)

## PLU SAINTE-ANASTASIE

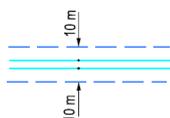
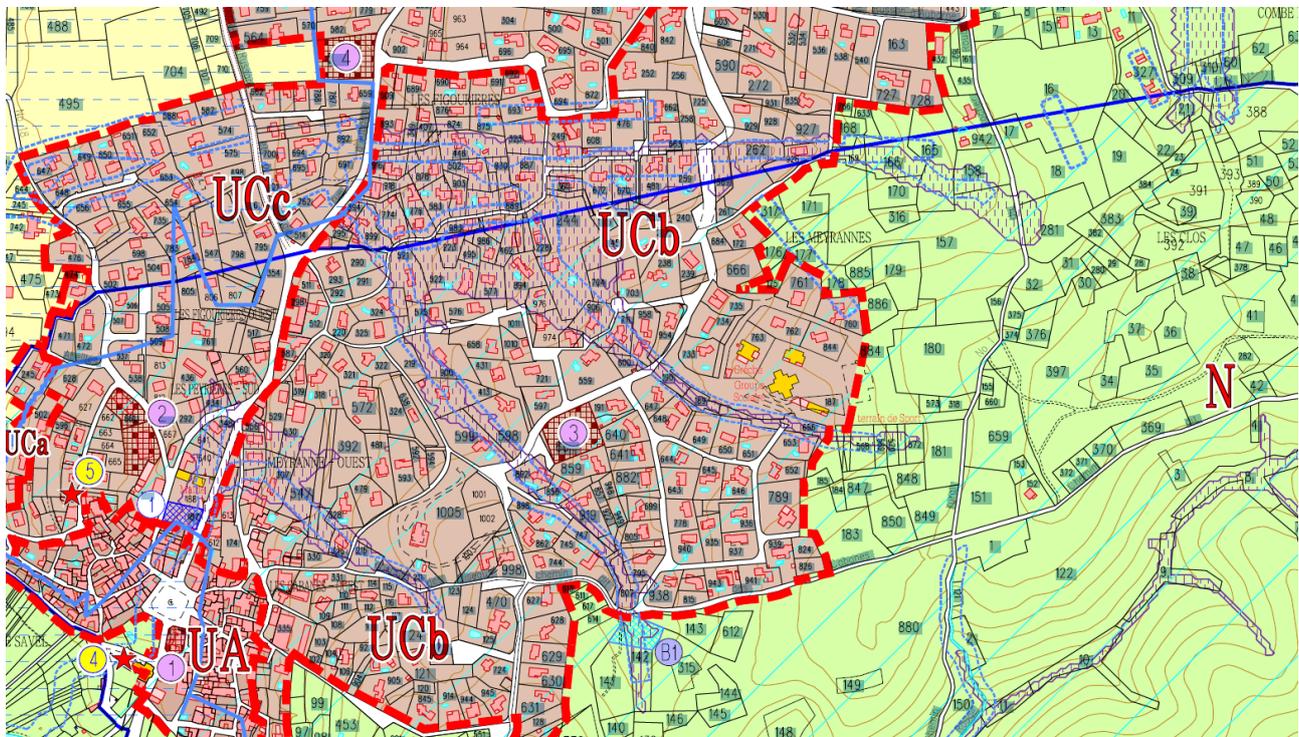
Les 9 et 10 octobre 2014, la Commune de Sainte-Anastasia subissait un orage stationnaire très localisé sur le plateau des Garrigues de Nîmes. En 12 heures, 370 à 450 mm d'eau selon les points de la commune se sont abattus sur le territoire dont 140 mm en 2 heures. De très nombreux axes de ruissellements sont alors apparus en surface le long de talwegs naturels dans la zone urbanisée ou dans sa proximité immédiate et ont convergé vers les points bas de la commune. Parmi ces zones, des secteurs urbanisés dans les années 90, ont été inondés très rapidement mettant en danger la vie des populations en pleine nuit et coupant des axes de communication essentiels sur la commune.

La Commune de Sainte-Anastasia, en cours de réflexion sur l'élaboration de son Plan Local d'Urbanisme (PLU), a participé à l'étude pilote « gestion des risques de ruissellements » de la MIAM pour mieux appréhender et caractériser ces phénomènes de ruissellements et leur emprise. Les résultats de la modélisation EXZECO (résolution 5 m) ont été comparés à la cartographie des retours d'expérience de l'inondation par ruissellements de 2014 avec une très forte corrélation.

Dès l'élaboration du Projet d'Aménagement et de Développement Durable, les élus conscients des risques et des enjeux pour la protection des populations, ont décidé d'intégrer la prise en compte du ruissellement pluvial au même titre que le PPRI du bassin versant aval du Gardon ou le risque incendies de forêt comme ils l'avaient fait dans le cadre de la mise en place du Plan Communal de Sauvegarde en 2017.

Dans le cadre du zonage et du règlement du PLU, les zones inondables par ruissellement pluvial « indifférencié » de l'étude EXZECO sont repérées à part entière sur le plan de zonage. Au-delà des règles mises en œuvre dans le cadre de l'aléa modéré du PPRI, plusieurs points du plan d'actions discutés entre élus et les ingénieurs de l'étude CEREMA, ont été intégrés au règlement du PLU [Sainte-Anastasia, 2020]. Citons en premier lieu, l'instauration de bandes de 10 mètres de part et d'autre des berges des cours d'eau, fossés et axes de ruissellements de l'étude EXZECO. Toute nouvelle construction ou imperméabilisation sont interdites. Toute clôture doit y assurer une transparence hydraulique totale. Y sont également inscrites des mesures de réduction de l'imperméabilisation des sols différenciés selon la vulnérabilité du terrain de la zone UC allant d'une emprise au sol maximale de 20 % sur les hauteurs du village (correspondant aux zones dites de production) à 40 % pour les secteurs densifiables. L'avis favorable du SCOT Sud Gard de septembre 2019 sur le PLU de Sainte-Anastasia, a d'ailleurs souligné « un projet soucieux d'intégrer les risques liés au ruissellement pluvial dans les règles de constructibilité ».

Le PLU a été approuvé le 4 février 2020 (<https://www.sainte-anastasia.fr/fr/urbanisme>).



Bandes de 10 mètres de part et d'autre des cours d'eau, fossés et axes de ruissellement

## DISPOSITIONS REPORTÉES SUR LE PLU

Risque inondation Report indicatif



Enveloppe des zones inondables du PPRI du Bassin aval du Gardon - Commune de Sainte Anastasia (reportée de manière indicative sur les plans de zonage)  
 Se référer au Plan de Prévention des Risques naturels d'Inondation approuvé par arrêté préfectoral du 16 septembre 2016 - Voir détails en annexe du PLU



Enveloppe des zones de ruissellement pluvial indifférencié  
 Se reporter aux règles édictées en Titre 1 du règlement écrit du PLU  
 Source : Etudes sur le ruissellement dans l'arc méditerranéen - Cartographie EXZECO

Figure 5: Extrait d'un secteur du PLU de Sainte-Anastasia

## CONCLUSION

Le retour d'expérience des utilisateurs confirme aujourd'hui l'intérêt de la modélisation du ruissellement par l'application de la méthode Exzeco sur l'arc méditerranéen mise en œuvre dans le cadre de la collaboration MIIAM-Cerema depuis 3 ans. Les travaux de déploiement se poursuivent actuellement sur la base des besoins exprimés par les acteurs locaux. Cette mise à disposition de données est aussi l'occasion d'une animation interrégionale, de partages d'expériences et d'échanges inter-acteurs d'horizons divers. Ces échanges territoriaux contribuent à l'amélioration de la connaissance et de la gestion du risque de ruissellement mais aussi à la consolidation d'un réseau et à la montée en compétences des acteurs. L'état des lieux des pratiques et des usages de ces données permettent aujourd'hui de formuler des recommandations zonales pour une utilisation et un prolongement optimisés de ces données pour construire une stratégie locale de gestion du risque de ruissellement.

## REMERCIEMENTS

Le produit Exzeco MIIAM 5m est un produit du Cerema et de la mission interrégionale pour la coordination de la prévention des risques d'inondation sur l'arc méditerranéen créée par le Préfet de Zone de Défense et de Sécurité Sud. Il est financé par le ministère de la Transition écologique.

Les auteurs remercient les DDTM13 et 30, les sociétés CEREG, PREDICT et SUEZ. Leurs propos lors des journées techniques co-organisées en 2019 par la MIIAM et le Cerema à Aix-en-Provence et à Carcassonne ont été synthétisés dans cet article. Les auteurs remercient aussi le SMMAR et la chambre d'Agriculture de l'Aude.

Les données MNT ont été fournies par l'IGN. Il faut souligner que l'amélioration de la méthode Exzeco et de ses résultats MIAM vient en grande partie de l'amélioration de la qualité topographique du RGE Alti IGN en particulier avec les données Lidar.

## REFERENCES

- Commune de Sainte-Anatasie, Département du Gard (2020), Plan Local d'Urbanisme – 4. Règlement écrit – Approbation 04/02/2020 [https://root.argweb.fr/documents/users/445/editor/pics/mairie/urbanisme/plu\\_approuve/4-reglement-ecrit.pdf](https://root.argweb.fr/documents/users/445/editor/pics/mairie/urbanisme/plu_approuve/4-reglement-ecrit.pdf)
- Jenson, S. K. et J. O. Domingue. (1988). *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11): 1593-1600.
- Masson M., Garry G., Ballais J-L. *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique*. Marcel Masson, Gérard Garry, Jean-Louis Ballais. Les Editions Villes et Territoires, 100 p., 1996, 2-11-082148-5. (hal-01565209)
- Pons F., Delgado J-L., Guero P., Berthier E. (2010), *Exzeco: a GIS and DEM based method for pre-determination of flood risk related to direct runoff and flash floods*, 9th International Conference on Hydroinformatics HIC 2010 Tianjin.
- Pons F., (2014), *Bilan tiré de l'utilisation d'EXZEKO 1m pour l'EPRI*, Présentation aux Journées « Gestion des risques hydrologiques et des ouvrages fluviaux » Aix en Provence