

# Ruissellement sur l'Arc Méditerranéen

## Application de la méthode **ExZEco**

### « Extraction des Zones d'Écoulement »

Exzeeco est une méthode simple, qui permet, à partir de la topographie, d'obtenir des emprises potentiellement inondables sur de petits bassins versants. L'application d'Exzeeco au territoire de l'arc méditerranéen a été réalisée dans le cadre d'une étude interrégionale relative à la gestion des risques de ruissellement.



### Principe de la méthode

Un modèle numérique de terrain est nécessaire pour appliquer la méthode. Cette représentation de la topographie permet de calculer les thalwegs (chemins préférentiels de l'eau lorsqu'il pleut).



Figure 1: Résultat d'un calcul de thalweg

En modifiant légèrement la topographie de manière aléatoire (en la « bruitant »), un nouveau thalweg peut être calculé.



Figure 2: Le calcul de thalweg est un peu différent car le MNT a été modifié

En répétant un grand nombre de fois l'opération, une emprise potentiellement inondable apparaît.



Figure 3: De nombreuses itérations forment une surface

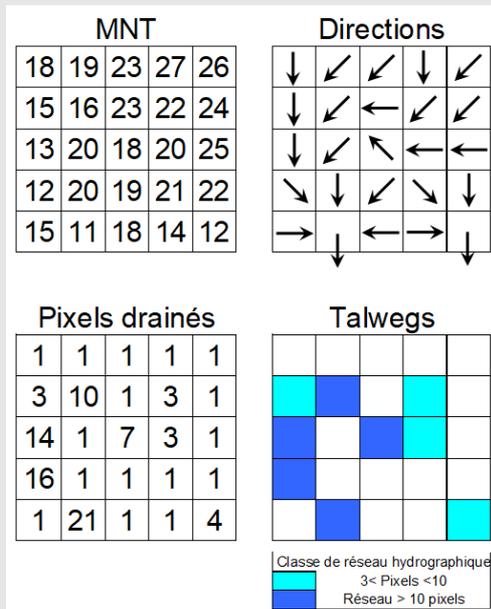
#### Le modèle numérique de terrain (MNT)

Il représente les altitudes d'une zone géographique par des valeurs à intervalle régulier. Un MNT 5 mètres comporte des points d'altitude sur une grille de carrés (pixels) tous les 5 mètres dans la direction Est-Ouest et tous les 5 mètres dans la direction Nord-Sud.

	233	233	234	235	236	238	239	240
5 m	231	232	233	234	236	237	238	240
	230	231	233	234	236	237	238	239
	229	230	232	234	235	236	237	239
	228	230	231	233	234	236	237	239
	228	229	230	232	234	236	237	239
	227	228	230	232	234	236	238	240
	227	228	230	233	235	237	239	240

Pour que la méthode fonctionne, à chaque nouveau calcul les valeurs du MNT « de base » sont modifiées en ajoutant 20 cm à certains pixels choisis au hasard (bruitage).

## Un algorithme : le D8



Le D8<sup>1</sup> permet de trouver les fonds de vallée ou les dépressions (les thalwegs) en identifiant les pixels « bas » du MNT. L'algorithme compare l'altitude de chaque pixel et calcule le sens de circulation de l'eau de ruissellement entre chaque pixel puis identifie les pixels qui drainent la plus grande surface, qui sont les pixels « bas ».

<sup>1</sup> 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.

## Données fournies

Les données sont fournies au format universel « shape » compatible Arcgis / Qgis et sont librement utilisables.

Les tables fournies pour les zones traitées avec le pas de 5 m sont les suivantes :

- **Emprise** (zone de calcul) ;
- **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**

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 ;

- Exzeco permet de les identifier en comparant le volume des cuvettes avec le volume théoriquement ruisselé (lame d'eau forfaitaire x surface drainée) ;
- **exzeco 100cm**, 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.

## Utilisation

**La couche Exzeco 100 cm vient combler les lacunes de connaissance des zones inondables sur les parties amont des bassins versants.** Sur des parties plus en aval, la connaissance est généralement disponible, notamment avec les modélisations et les atlas de zones inondables existants.

La méthode utilise le relief, résultant en partie du modelage du terrain par les écoulements, mais aucune donnée sur l'hydrologie (pluie, débits). Ainsi, **le résultat représente une emprise potentiellement inondable, sans notion de période de retour, de hauteur, de vitesse.**

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.

## Interprétation

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) :

- Des **formes assez linéaires suivant les thalwegs** ; dans ces secteurs à fortes pentes, les formes dépendent de la hauteur de bruitage avec un lien fort en rapport à la qualité du MNT ;
- Des **formes qui s'élargissent** brutalement sur de grandes surfaces ; ces formes correspondent souvent à des cônes de déjection ou l'arrivée dans de grandes plaines fluviales ou littorales, rupture entre reliefs à fortes pentes et plus plats ;
- Des formes de **défluence** ; la méthode Exzeco étant basée sur des traitements aléatoires, il peut y avoir un grand changement de direction sur des secteurs. Un exemple peut être un écoulement naturel dans un

thalweg et une interception par une voirie qui partage les résultats d'Exzeco en deux parties ;

- Des **formes** sur des parties **amont** relativement **larges** ; ces formes sont parfois ressenties comme l'application d'une méthode empirique donnant des résultats trop larges sur ces reliefs plutôt plans. Il convient souvent de prendre des valeurs de bruitage basses sur ces secteurs. Certains résultats montrent des limites de bassins versants « floues » laissant les écoulements « choisir » d'aller vers un bassin versant ou un autre ;
- Des **formes parallèles** ; certains secteurs montrent un écoulement dans le lit mineur d'un cours d'eau et un autre écoulement dans le lit majeur. Ces deux écoulements ne sont parfois pas connectés en amont (défluence). La superficie drainée est souvent importante dans le lit mineur (ensemble du bassin versant) et moins importante en lit majeur car correspondant à un bassin versant réduit.

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 événement « faible », un petit bassin versant sera sollicité. Ce même secteur sera touché par une bien plus grande superficie pour une hauteur 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.

## Limites, problèmes rencontrés

Absence d'information de hauteur, vitesse, débits

Les résultats sont issus exclusivement d'un traitement topographique qui consiste à obtenir des surfaces drainées maximales.

Aucune information pour quantifier l'aléa (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, débits, période de retour) n'est fournie.

### Incohérences liées au MNT

La méthode D8 nécessite au préalable le remplissage des cuvettes pour permettre de calculer des surfaces drainées.

Ce calcul nécessite un MNT hydrologiquement correct, c'est-à-dire que les superstructures comme les ponts sont 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).

Des exemples d'anomalies figurent sur les cartographies en ligne.

Ces anomalies 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.

### Autres limites de l'approche

Les valeurs prises sont subjectives : 20 cm de bruitage, 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...).

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.

Le découpage des calculs nécessite d'être interprété sur l'arrivée de bassins versants dans des lits majeurs.

## Exemples d'utilisation de la méthode Exzeco

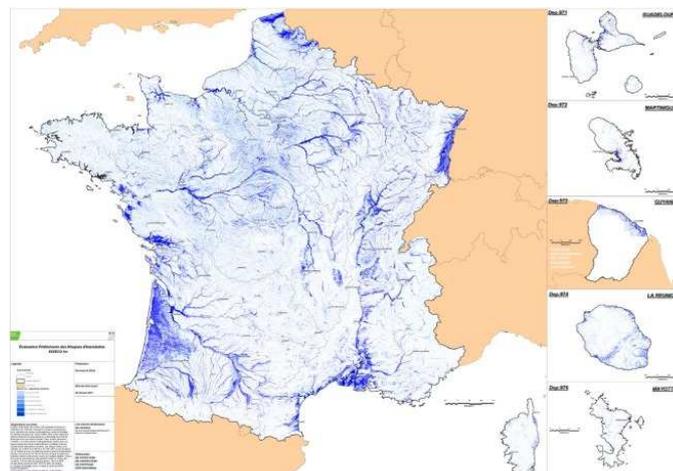


Figure 4: l'enveloppe approchée des inondations potentielles utilisée la méthode Exzeco pour les têtes de bassin versant

Les données Exzeco produites par le Cerema ont été utilisées pour :

- La réalisation de l'EAIP (enveloppes approchées des inondations potentielles), base de calcul pour l'EPRI (évaluation préliminaire des risques d'inondations) de la directive inondation. Le traitement Exzeco a été réalisé sur le MNT 25 m de la BDTopo IGN avec un bruitage de 1 m au 1<sup>er</sup> trimestre 2011 sur la France entière ;
- Certaines zones de PPRi, à partir des données Exzeco 25 m ou 5 m ;
- Aider à la réalisation de retours d'expérience post-crise ;
- Des diagnostics territoriaux ;
- Des diagnostics de zones inondables à l'international sur des MNT mondiaux.

La méthode Exzeco a fait l'objet d'appropriation de la part de certains bureaux d'études pour la réalisation, en particulier, de schémas d'assainissement.

## Pour aller plus loin

### Précisions sur le bruitage du MNT

Bruiter le MNT consiste à ajouter aléatoirement une valeur à certains points de ce MNT. Pour Exzeco 5 m, la valeur choisie est 20 cm.

Lorsque toutes les itérations sont terminées, 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 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.

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

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>

A ce principe vient s'ajouter à chaque étape un calcul d'endoréisme différent impactant le calcul Exzeco. Le principe 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 multiplié par une lame d'eau ruisselée.

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.

### Avertissement :

Les couches Exzeco ont été produites à l'aide d'une méthode scientifique et uniformisée, mais n'ont pas fait l'objet d'un contrôle de plausibilité systématique sur le terrain. Les résultats offrent un aperçu des emprises potentiellement concernées par des inondations sur les parties amont des bassins versants. Cependant, des inondations peuvent survenir sur des zones non couvertes par les couches Exzeco, en particulier pour les lits majeurs des cours d'eau.

Selon l'utilisation envisagée, les résultats de la méthode Exzeco peuvent nécessiter une expertise ou des contrôles de terrain.

### Accès aux données

Cartographie en ligne - Secteur PACA : <https://carto.cdata.cerema.fr/1/ExzecoPACA.map>

Fiche Cdata : <https://www.cdata.cerema.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/de97a313-4a7a-43c7-a2b6-82fe4a0aab0d>

Cartographie en ligne - Secteur Occitanie : <https://carto.cdata.cerema.fr/1/ExzecoOccitanie.map>

Fiche Cdata : <https://www.cdata.cerema.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/91e94433-e0d7-4f3b-a2da-e505e886302e>

Les utilisateurs sont invités à communiquer au Cerema si possible au format SIG des éléments d'analyse de ces données, en s'inspirant de la couche intitulée « InterpretationExzeco » (Contact : [exzeco@cerema.fr](mailto:exzeco@cerema.fr))

### Etude interrégionale relative à la gestion des risques de ruissellement

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/etude-sur-la-gestion-du-ruissellement-sur-l-arc-r2244.html>