

RÉSILIENCE ET ADAPTATION DES TERRITOIRES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES EXEMPLE DE LA GESTION DU RUISSELLEMENT EN ESPACE RURAL DANS L'AUDE

Sébastien LE CORRE¹, Gwendoline BLANCHET², Pauline GUNTZBURGER², Hélène DE BOISSEZON², Nancy OLIVETO ERVITI³, Adrien SOLACROUP³, Fabien DALLOCCHIO⁴, Nathalie CLARENC⁴

¹ Université de Toulouse 2 LABORATOIRE LISST CIEU, 5 Allée Antonio Machado 31058 Toulouse FRANCE, sebastien.le-corre@univ-tlse2.fr

² CNES Laboratoire OT, 18 Av. Edouard Belin, 31400 Toulouse FRANCE, Gwendoline.Blanchet@cnes.fr, Pauline.Guntzburger@thalesgroup.com, Helene.DeBoissezon@cnes.fr

³ SGEvT, 9 rue de Grenelle 75007 Paris FRANCE, nancy.oliveto@sgevt.com, adrien.solacroup@sgevt.com

⁴ DDTM 11, 105 boulevard Barbès 11838 Carcassonne, FRANCE fabien.dalocchio@aude.gouv.fr, nathalie.clarenc@aude.gouv.fr

Résumé : Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet FLAude, labellisé par le Space Climate Observatory (SCO) qui vise, grâce à l'utilisation de données spatiales et climatiques, à mieux comprendre les phénomènes hydrométéorologiques extrêmes ainsi que leurs impacts, et à élaborer des indicateurs de prévention et de réduction des risques à destination des décideurs locaux. Le travail présenté ici consiste à produire des descripteurs sur les pratiques culturales et les haies, deux leviers d'actions possibles pour limiter le ruissellement de surface lors d'épisodes pluvieux intenses, œuvrant ainsi pour la résilience des territoires au changement climatique.

Mots-Clés : Ruissellement, Imagerie spatiale, SIG, Adaptation territoriale

Abstract: This study is part of the FLAude project, supported by the Space Climate Observatory (SCO), which aims, by using spatial and climatic data, to gain a better understanding of extreme hydrometeorological phenomena and their impacts, and to develop risk prevention and reduction indicators for local decision-makers. The work presented here consists of producing descriptors on cultivation practices and hedges, two possible action levers for limiting surface runoff during intense rainfall events, thus working towards the resilience of territories to climate change.

Keywords : Runoff, Spatial imagery, GIS, Territorial adaptation

Introduction

Sous prédominance de l'influence méditerranéenne, l'Aude est un département fortement exposé aux événements pluvieux extrêmes, ayant généré régulièrement sur les 20 dernières années des cumuls supérieurs à 200 mm en 24 h (site pluies extrêmes¹). Comme sur les autres zones de l'Arc Méditerranéen, le cumul annuel des précipitations se réalise sur un nombre limité d'épisodes souvent très intenses dont le cumul en 24h a augmenté de près de 20 % entre 1960 et 2015 (Ribes et al, 2019), cette augmentation concerne aussi la surface des événements à l'origine des inondations.

Ces épisodes climatiques génèrent des victimes et des dégâts importants sur le territoire Audois (site pluies extrêmes). En climat futur, les projections climatiques issues du jeu de référence DRIAS-2020 montrent une poursuite du réchauffement annuel, ainsi qu'une évolution relative du maximum annuel de précipitation quotidienne dans des ordres de grandeur de 8 à 10 % à l'horizon 2050 mais jusqu'à +20% pour les scénarios les plus sévères (Soubeyroux et al, 2021).

Les épisodes de pluies extrêmes rendus plus intenses par le changement climatique contribuent, avec l'imperméabilisation des sols, à augmenter le ruissellement. Ce dernier est alors un composant notable du risque inondation du département de l'Aude. Dans ces conditions les questions relatives à l'adaptation au

1 <http://pluiesextremes.meteo.fr/>

changement climatique et à la résilience territoriale sont au cœur des préoccupations des décideurs notamment pour des espaces à dominante rurale.

Le travail proposé ici sollicite dans un premier temps une méthode de spatialisation du ruissellement pour identifier les zones à enjeux. Une base de connaissance est ensuite constituée, et son analyse fait émerger des leviers d'actions possibles. La troisième phase du travail consiste à produire des descripteurs pouvant alimenter ces leviers en mobilisant des images satellites et des bases de données spatiales.

1. Identifier le ruissellement potentiel

1.1 Production des descripteurs de base

A partir du Référentiel à Grande Echelle Altimétrique et Hydrographique de l'Institut Géographique National, plusieurs plans dérivés topographiques et hydrologiques ont été calculés sous SIG. En intégrant des valeurs de seuillage faibles il est possible à cette résolution de déterminer des chenaux d'écoulement de surface concentrés temporaires qui entrent en bonne adéquation avec les observations terrain comme le montre la figure 1. Les chenaux calculés en bleu coïncident avec les zones vertes dans le champ

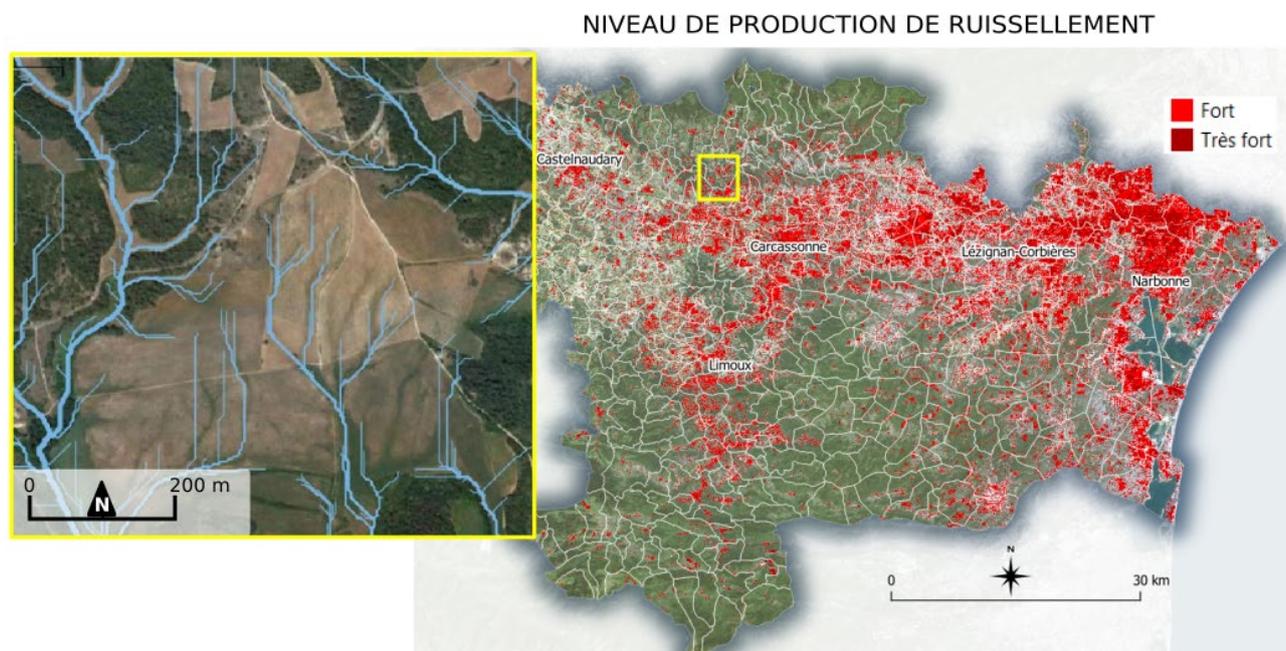


figure 1 : Correspondance entre le réseau hydrographique construit et la réalité terrain (à gauche) et Répartition des zones de productions de ruissellement dans l'Aude (à droite)

1.2 Choix de la méthode de spatialisation

Il existe différentes méthodes de prise en compte de l'aléa ruissellement et des travaux comparatifs sont disponibles (Arnaud et Breil, 2019). La méthode Indicateur Ruissellement Intense Pluvial (IRIP) a été retenue ici notamment car les résultats montrent que « *les cartes IRIP peuvent être un bon outil d'aide à la réalisation de zonages réglementaires, à la fois rapide, simple (peu de données d'entrée et facile à appréhender) et robuste* » (Lagadec, 2017). La méthode IRIP a donc été appliquée sur l'ensemble du département de l'Aude et permet de distinguer, le niveau de sensibilité à la production, au transfert et à l'accumulation de ruissellement (cf Figure 1 droite).

Si l'on considère l'analyse des zones de production classées avec un seuil fort ou très fort, c'est un peu plus de 17 % de la superficie départementale qui est concernée, avec une répartition spatiale large touchant l'ensemble des communes du département. Cet élément est à mettre en relation avec les événements climatiques majeurs qui touchent également une très large part du département.

1.3 Occupation du sol et potentiel de production

L'analyse de cette répartition permet de prioriser les zones d'action de lutte contre la production et le transfert du ruissellement. En intégrant les données issues de l'Occupation Du Sol (OSO) du Registre Parcellaire Graphique (RPG), on constate qu'une part significative des zones sont situées sur des espaces agricoles. On note sur le tableau 1 que le niveau fort recoupe 8,2% du nombre de parcelles et 3,5% des surfaces du parcellaire.

Tableau 1. Répartition par nombre et surface des parcelles de l'Aude selon le niveau minimum IRIP

Niveau de production IRIP	Aucun	Très Faible	Faible	Moyen	Fort	Très Fort
Pourcentage du nombre de parcelles	11,2	20,1	29,2	30,8	8,2	0,4
Pourcentage de la surface	28	23,9	27,3	17,1	3,5	0,1

Les modélisations climatiques proposées par Météo France, notamment sur le registre des pluies intenses dans l'Aude laissant apparaître une hausse notable des phénomènes, et par conséquent des dégâts pouvant être occasionnés par ce ruissellement, la seconde étape permet à identifier les leviers d'actions possibles sur ces espaces.

2 Face au changement climatique, inventorier le cadre existant et identifier les leviers d'action

En zone agricole, le ruissellement lié aux précipitations érode les sols en creusant des ravines ; au-delà des dégâts sur les terres arables où sur des cultures pérennes, il peut également entraîner une dégradation de la qualité des eaux par transfert et accentuer les risques d'inondation en aval des parcelles agricoles.

Afin de lutter contre ces phénomènes, des actions multiples sont déployées, relevant des pratiques agricoles et/ou de l'aménagement, le programme FLAude a mis en place une base de connaissance dans un outil dédié nommé FORO (Flood Observatory for Resilient Occitanie). Un moteur de recherche dédié permet d'optimiser la phase d'inventaire initiale et d'identifier les analyses mais aussi les actions et préconisations mises en place par des territoires comparables.

Une première série de leviers a donc été identifiée, et parmi eux, deux aspects sont mis en exergue ici :

- l'aspect agronomique qui recoupe notamment le type et l'orientation des cultures
- l'aspect hydraulique sur lequel nous avons dans un premier temps identifié prioritairement le rôle des haies.

Sur le premier aspect, les informations relatives aux types de cultures et aux rotations possibles qui sont un point de modulation important, (Papy et al 1988) et (Herve 1989) sont accessibles par le biais de données du RPG et de l'OSO. Dans la littérature [Laveuf et Poireau 2019], l'orientation des cultures en fonction de la pente est également mentionnée comme pouvant avoir un impact conséquent sur le ruissellement de l'eau. C'est à ce titre que des traitements ont été mobilisés sur les images spatiales Pléiades.

Sur le second aspect, les haies sont un levier important pour les aménagements hydrauliques sur des zones de production et ou de transfert de ruissellement [Viaud et Thomas, 2019]. Selon la position dans la pente, l'orientation, la proximité aux chenaux d'écoulement, le rôle joué par ces dispositifs linéaires peut être variable. Les calculs issus des descripteurs de base sont mis en relation avec les haies pour tenter une typologie fonctionnelle des haies au regard du ruissellement.

3. Fournir des descripteurs aux leviers d'action

3.1 L'orientation des cultures

L'imagerie satellitaire à haute résolution spatiale permet d'accéder à des informations à large échelle et avec une mise à jour régulière. Les satellites d'observation de la Terre Pléiades, ayant une résolution native de 70 cm et ré-échantillonné à 50 cm, ont une résolution suffisante pour accéder à ce type d'information. Les données peuvent également être complétées grâce à l'imagerie aérienne selon les sites.

La méthodologie développée repose sur un enchaînement de deux étapes. La première consiste à détecter les lignes présentes dans l'image en utilisant des calculs de gradients au niveau des pixels. L'idée sous-jacente est d'identifier les alignements de plantations, les traces de passage du tracteur et les sillons qui en découlent.

Nous nous appuyons sur l'algorithme LSD, Line Segment Detector (Grompone et al,2012) qui détecte les segments de lignes dans une image. La deuxième étape consiste à filtrer ce résultat pour ne garder que les lignes les plus pertinentes par parcelle pour le calcul de l'orientation des cultures. Ce filtrage au sein de chaque parcelle se base sur plusieurs critères : le nombre de lignes prises en compte dans le calcul de l'orientation, la longueur moyenne des lignes et enfin sur l'écart-type des orientations.

Eprouvée initialement sur des vignes, la méthodologie a ensuite été transposée sur tout type de culture. La Figure 2 montre un exemple de détection d'orientation. Les parcelles de vignes sont en bleu cyan et les autres cultures en jaune. Les résultats sont de bonne qualité même sur des cultures avec des rangées moins marquées et dans un état végétatif plus bas (sur des images d'hiver par exemple).

L'orientation du travail du sol relève des premiers leviers possibles au niveau des pratiques agricoles pour limiter le ruissellement. Dans un contexte climatique évolutif potentiellement défavorable sur le plan des précipitations intenses dans le bassin Méditerranéen, la mise en place d'un descripteur de cet ordre pouvant être obtenu automatiquement et à de grandes échelles est un apport significatif. En effet, il permet déjà d'affiner les critères de vulnérabilité des parcelles, couplé aux arrêtés de catastrophe naturel, il intervient comme un facteur différenciant, favorisant ainsi la compréhension des gains liés à une culture perpendiculaire à la pente.

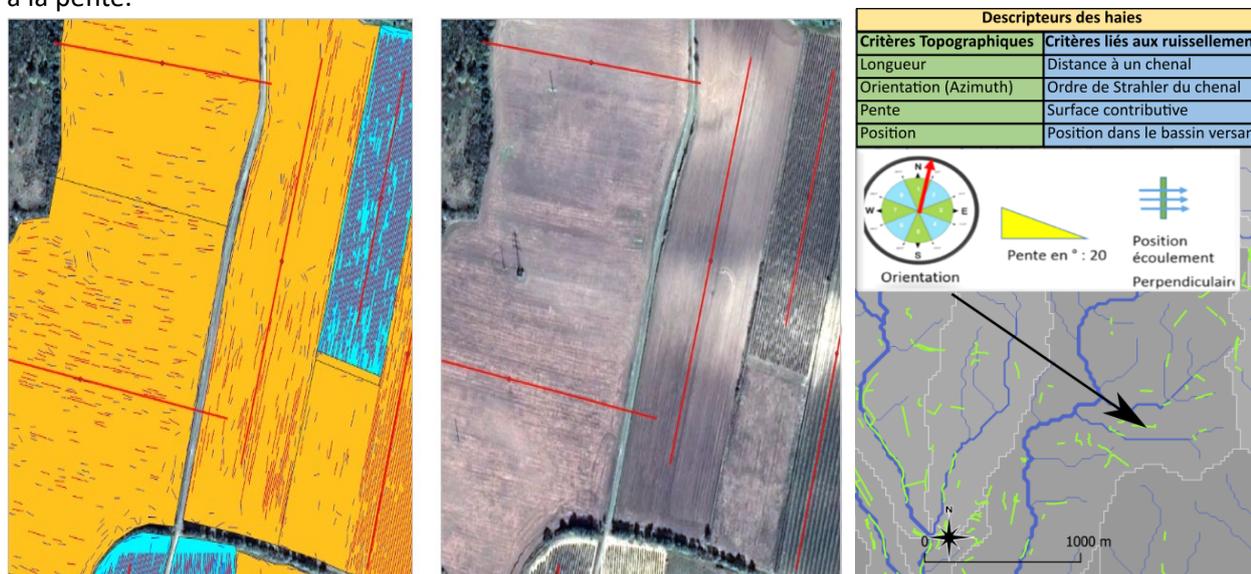


figure 2. A gauche : Résultats intermédiaires de détection de lignes traits fins rouges, bleus et gris, les gris sont les segments rejetés lors de l'étape de filtrage) par parcelle (en jaune et bleu) à partir d'une image Pléiades, Octobre 2020. Les orientations des cultures en sont déduites (traits épais rouges). A droite : Résultats de l'orientation des cultures plaquée sur l'image Pléiades (à gauche), Les haies (en vert) sont croisées avec les bassins versants (en gris), les chenaux de ruissellement (en bleu) et d'autres facteurs topographiques afin de déterminer plusieurs descripteurs et d'aboutir à une classification (à droite)

3.2 La qualification des haies.

Les haies offrent de multiples rôles (abris pour des espèces, brise-vent, continuité écologique) parmi lesquelles le rôle hydraulique est un axe important au regard de la gestion du ruissellement. Bien que non exhaustive la base du Dispositif National de Suivi des Bocages (DNSB) permet de mettre au point une approche spatiale et fonctionnelle, qui pourra à terme s'appuyer sur d'autres sources notamment issue des images spatiales.

Dans un premier temps nous avons produit à partir du DNSB des descripteurs de densité bocagère sur l'ensemble du département de l'Aude. Cet indicateur quantitatif est basé sur une maille scalable entre 1km et 100 m de résolution qui est aussi compatible avec les futures données maillées européennes et qui permet d'agréger la donnée selon différents périmètres administratifs ou fonctionnels comme les bassins versants. En parallèle de cette approche spatiale, nous avons mis en place pour chaque tronçon de haie une série de descripteurs comme la pente, l'exposition, la position au regard du terrain, la position au sein du bassin versant et la distance aux chenaux de ruissellement par exemple (Figure 2).

L'ensemble de ces critères alimente un dispositif d'évaluation de l'efficacité fonctionnelle des haies au regard du ruissellement qui permet une approche synthétique sur les actions à conduire. La démarche étant récursive, il est possible à l'aide de cet arbre décisionnel d'identifier des espaces ou des haies seraient utiles pour lutter efficacement contre le ruissellement.

4. Accompagner les espaces dans leur adaptation au changement climatique

La combinaison dans un arbre décisionnel entre les différents descripteurs produits précédemment permet de proposer différents indicateurs comme le niveau d'efficacité des haies contre le ruissellement ou la vulnérabilité des parcelles agricoles au ruissellement. Par exemple des parcelles travaillées perpendiculairement à la pente ; bénéficiant de l'implantation de haies « utiles » avec des espaces d'inter cultures apparaissent comme un modèle vertueux qu'il faut étendre et qui permet une meilleure résilience au changement climatique (Figure 3 gauche). A l'inverse, des parcelles potentiellement vulnérables sont identifiées et la méthode proposée permet de localiser ces zones d'actions prioritaires ainsi que les leviers qui peuvent y être associés au sein d'une fiche synthétique (Figure 3 droite).

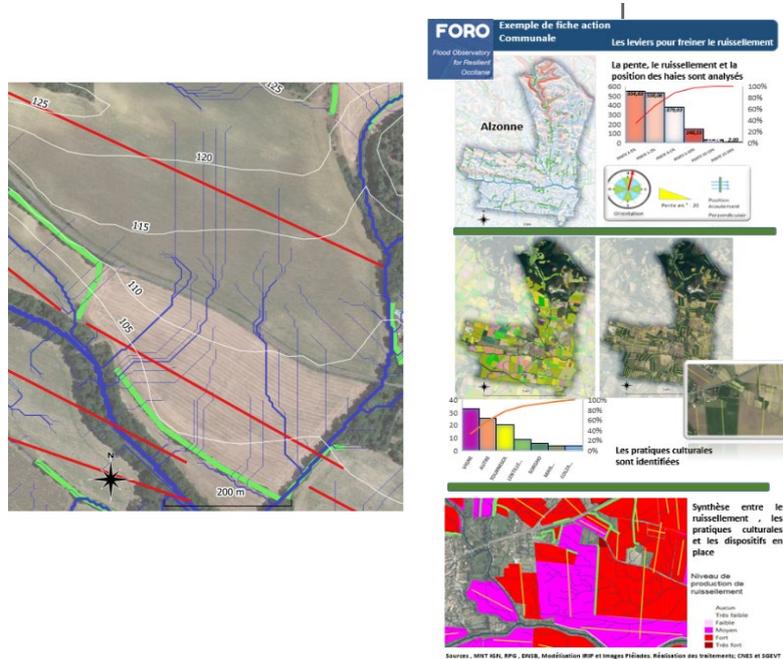


figure 3:

À gauche : Exemple d'une parcelle travaillée (trait rouge) perpendiculairement à la pente qui freine le risque érosif des écoulements (traits bleus) et qui bénéficie de haies (traits verts) en bas de parcelle.

À droite, exemple de fiche synthétique intégrant les niveaux de production de ruissellement, le type de culture ainsi que les orientations.

Conclusion

Les projections des modèles climatiques font apparaître pour l'arc Méditerranéen une augmentation prévue des épisodes de pluies extrêmes et donc des phénomènes de ruissellement qui interrogent nécessairement les espaces et les pratiques agricoles.

Sur le plan hydraulique, la détermination de zones à enjeux pour la production, le transfert et l'accumulation de ruissellement couplée à des dispositifs pouvant ralentir et disperser les écoulements comme les haies, peut être extraite de l'imagerie spatiale aujourd'hui disponible. Les descripteurs proposés permettent d'identifier des zones où l'action de plantation peut s'avérer utile. Les travaux actuels portent sur une évaluation précise du rôle de la haie au regard des paramètres calculés (Reulier et Delahaye 2016) mais aussi sur une typologie d'identification des actions à conduire par le biais d'un arbre décisionnel. Ce travail est en cours de construction avec les acteurs de terrain. Il pourra intégrer des réflexions sur les essences à planter, là encore en relation avec les évolutions climatiques attendues sur le territoire (hausse de température, baisse du cumul total de précipitation).

L'approche proposée ici est en l'état perfectible, elle offre cependant l'avantage d'être reproductible sur de grands espaces, de mobiliser des données de référence et d'offrir un premier niveau d'analyse qui peut déjà entrer en résonance avec les territoires notamment car le travail produit des fiches actions compatibles avec les documents d'aménagement actuels

Remerciements : Le partenariat s'établit entre des organismes publics (CNES, Météo France, Université de Toulouse 2), des services de l'Etat (DDTM11) et la sphère industrielle (SGEvT). Une partie des éléments liés au ruissellement mobilise la méthode IRIP de l'INRAE.

Bibliographie

Beven, K.J., Kirkby, M.J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal* **24**, 43–69.

Bocher, Erwan, 2005. Impacts des activités humaines sur le parcours des écoulements de surface dans un bassin versant bocager: essai de modélisation spatiale. Thèse de doctorat. Université Rennes 2.

Cerbelaud, A.; Breil, P.; Blanchet, G.; Roupioz, L.; Briottet, X. 2022 Proxy Data of Surface Water Floods in Rural Areas: Application to the Evaluation of the IRIP Intense Runoff Mapping Method Based on Satellite Remote Sensing and Rainfall Radar. *Water*, **14**, 393. <https://doi.org/10.3390/w14030393>

Grompone R, Jakubowicz J, Morel JM et Randall G, 2012 *LSD: a Line Segment Detector*, Image Processing On Line, , pp. 35–55. <https://doi.org/10.5201/ipol.gjmr-lsd>

Hervé, Dominique. 1989 *Systèmes de culture et érosion : L'état de surface du sol, indicateur des risques d'érosion liés aux systèmes de culture* In : *Le risque en agriculture*. Marseille : IRD Éditions,

Laveuf Cédric, Poiraud Alexandra 2019, Étude hydrologique et propositions d'actions limitant le phénomène d'érosion dans le cadre de l'étude érosion du bassin versant de la Gandelée Pré-rapport sur les préconisations de lutte contre l'érosion et l'envasement Cédric LAVEUF / Alexandre POIRAUD

Lagadec Lilly-Rose 2017. Evaluation et développement de la méthode IRIP de cartographie du ruissellement. Application au contexte ferroviaire. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre. Université Grenoble Alpes

Météo FRANCE Les nouvelles projections climatiques de référence drias 2020 pour la métropole, 01/04/2021

Merot Ph, Gascuel-Oudoux et Al The influence of hedgerow networks in bocage landscapes on surface water pathways
Volume **12**, Number 1, 1999, p. 23–44 *Journal of Water Science*

Papy François, Boiffin Jean, Douyer Claude. 1988 *Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré*. II. Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. *Agronomie*, EDP Sciences, **9** pp.745-756.

Reulier, Delahaye, Caillault, Viel, Douvinet et Bensaïd, 2016 « *Mesurer l'impact des entités linéaires paysagères sur les dynamiques spatiales du ruissellement : une approche par simulation multi-agents* », *Cybergeo: European Journal of*

Geography Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, **document 788**, mis en ligne le 07 septembre 2016, <http://journals.openedition.org/cybergeo/27768> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27768>

Reyne S., Mérot P. (1996). Rôle hydrologique et géochimique des structures linéaires boisées : Bilan bibliographique et perspectives d'étude. La forêt paysanne dans l'espace rural : Biodiversité, paysages, produits, INRA, Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, 268 p. Disponible en ligne, consulté le 3 mars 2022 : <https://hal.inrae.fr/hal-02842154/document>

Ribes, A., Thao, S., Vautard, R. et al. 2019 *Augmentation observée des précipitations journalières extrêmes en Méditerranée française*. *ClimDyn* **52**, 1095-1114 .

Senechal G. (2018). Confrontation des méthodes de cartographie de l'aléa ruissellement. 17 p. Disponible en ligne, consulté le 3 mars 2022 : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/11/2_Confrontation%20de%20m%C3%A9thodes%20de%20cartographie%20de%20l%27a%C3%A9a.pdf

Soubeyroux Jean-Michel, Dubuisson Brigitte, Gouget Viviane, Samacoits Raphaëlle 2022, Evolution passée et future des précipitations extrêmes sur les régions méditerranéennes, AIC 2022 Toulouse (A paraître)

TTI Production (2011). Étude de prélocalisation des zones humides sur le territoire du SAGE Nappe de Beauce et de ses milieux aquatiques associés. PHASE 1 : prélocalisation des enveloppes de fortes probabilités de présence de zones humides. 97p. Disponible en ligne, consulté le 3 mars 2022

https://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/etude_zh_sage_nappe_de_beauce_phase_i_prelocalisation_final.pdf

Viaud Valérie, Thomas Zahra, 2019 « Une réflexion sur l'état des connaissances des fonctions du bocage pour l'eau dans une perspective de mobilisation pour l'action », *Sciences Eaux & Territoires*, (Numéro 30), p. 32-37.