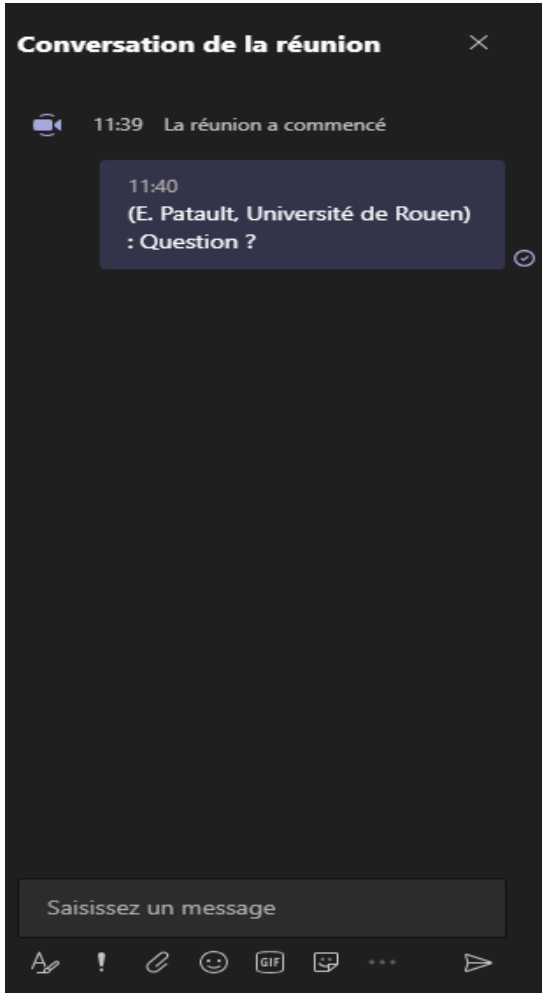
Colloque de restitution des résultats du programme de recherche EVAPORE

Programme de la matinée

- ❑ 9h : Accueil virtuel
- ❑ 9h30 : Introduction du colloque
- ❑ 9h45 : Bilan rétrospectif des actions menées depuis 2000 en Haute-Normandie
- ❑ 9h55 : 1er temps d'échange
- ❑ 10h15 : Analyse coût-bénéfice sur le bassin versant de la Lézarde
- ❑ 10h35 : 2ème temps d'échange
- ❑ 11h : Analyse économique de l'impact de la turbidité au captage de Radicatel
- ❑ 11h15 : 3ème temps d'échange
- ❑ 11h30 : Enjeux autours des bétoires, outils disponibles pour les collectivités, Présentation du projet PRIAME
- ❑ 11h50 : 4ème temps d'échange
- ❑ 12h15 : Conclusion du colloque

Échanges avec la salle

- Merci de **couper micro, et caméra** pour assurer le bon fonctionnement de l'outil
- Vous pouvez utiliser le **chat à disposition** sur la **plate-forme Teams** pour poser vos questions en direct
- **L'animateur** se chargera de recenser les questions et d'interroger les intervenants
- Merci d'indiquer : **Nom, Prénom, Structure, avant votre question**



Bonjour, le colloque commencera d'ici quelques minutes, merci de patienter…

Évaluation de l'efficacité des politiques publiques pour les actions visant à réduire les impacts du ruissellement, de l'érosion, et la turbidité aux captages d'eau potable en Haute-Normandie

Colloque de restitution des résultats du programme de recherche EVAPORE

Vendredi 6 novembre 2020 9h30-13h

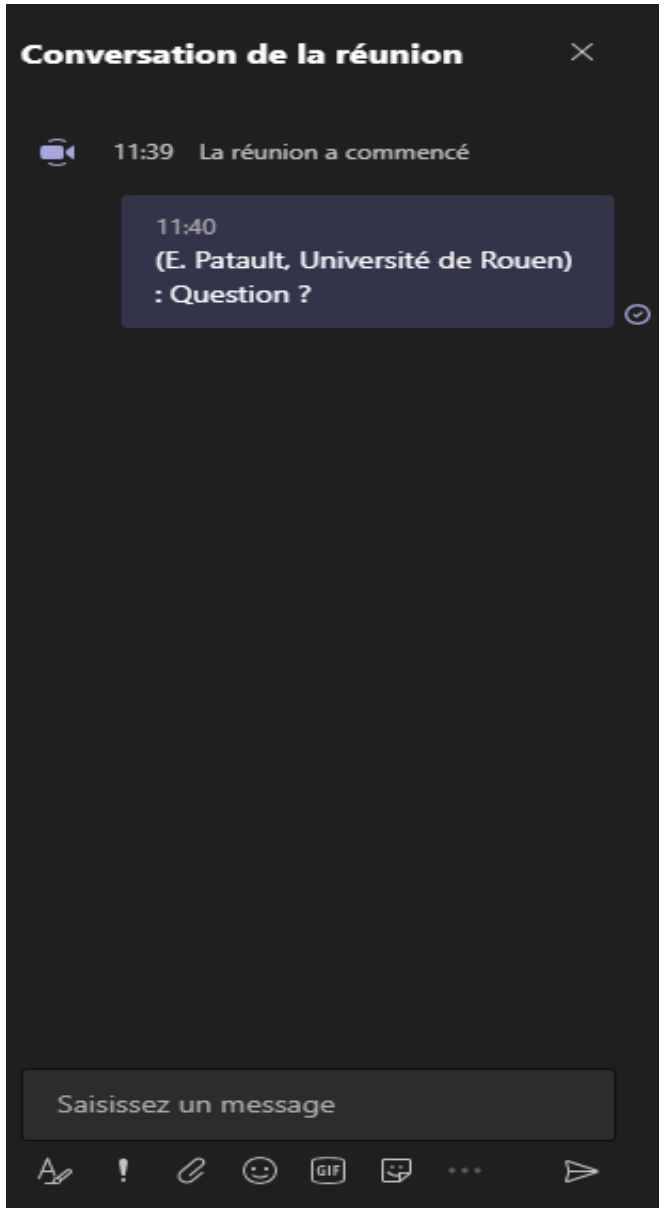
e-colloque

Échanges avec la salle

- Vous pouvez utiliser le **chat à disposition** sur la **plate-forme Teams** pour poser vos questions en direct

- **L'animateur** se chargera de recenser les questions et d'interroger les intervenants

- Merci d'indiquer : **Nom, Prénom, Structure, avant votre question**



Programme de la matinée

- 9h30 : Introduction du colloque
- 9h45 : Bilan rétrospectif des actions menées depuis 2000 en Haute-Normandie
- 9h55 : 1er temps d'échange
- 10h15 : Analyse coût-bénéfice sur le bassin versant de la Lézarde
- 10h35 : 2ème temps d'échange
- 11h : Analyse économique de l'impact de la turbidité au captage de Radicatel
- 11h15 : 3ème temps d'échange
- 11h30 : Enjeux autours des bétoires, outils disponibles pour les collectivités, Présentation du projet PRIAME
- 11h50 : 4ème temps d'échange
- 12h15 : Conclusion du colloque

Table ronde

Loïc Guezennec
Chef du service milieux aquatiques et agriculture

Benoit Laignel
Pr. Géosciences et environnement & Co-Président GIEC Normand

Emmanuel Hauchard
Directeur du Cycle de l'Eau

Olivier Cerdan
Ingénieur de recherche

Jean-François Ouvry
Directeur

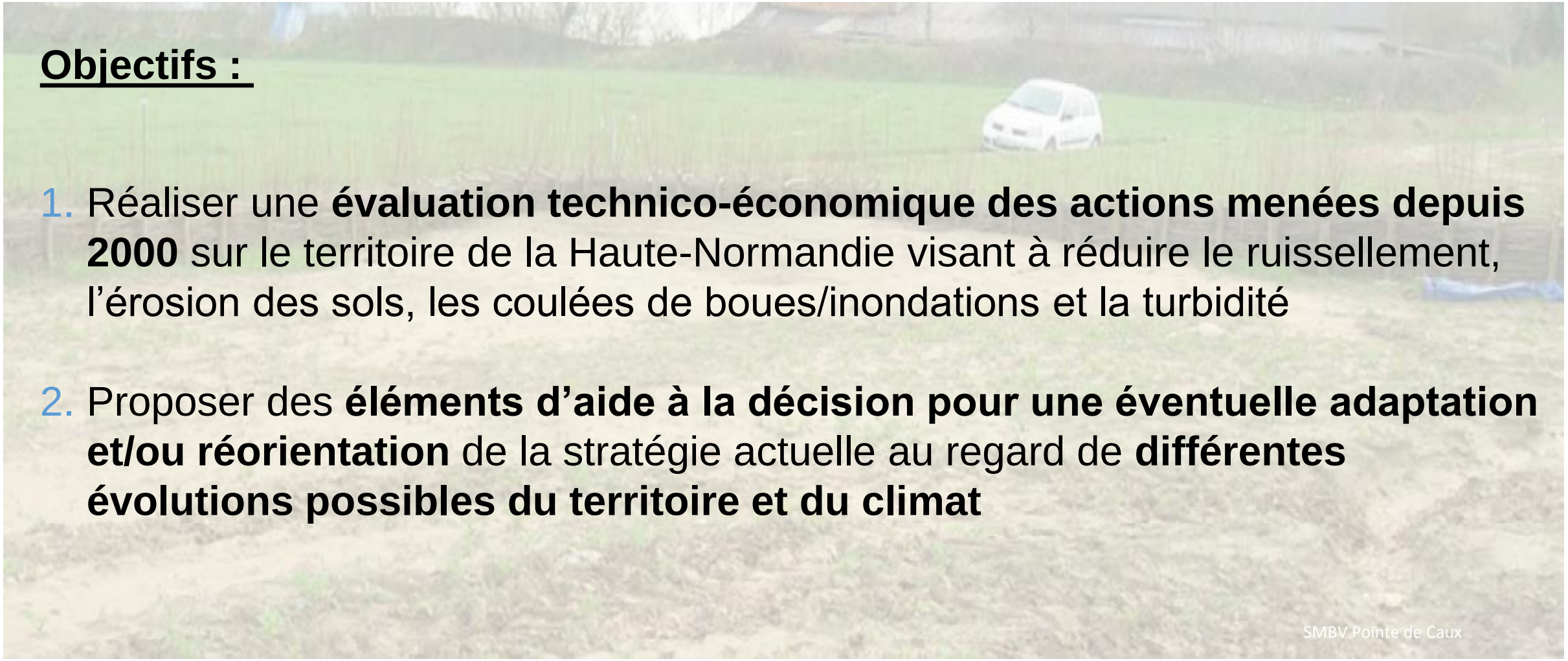
Fabien Artaud
Vice président en charge de la protection de la ressource

Introduction du colloque

Présentateur :
Jean-François Ouvry
AREAS

Objectifs

Programme EVAPORE : Evaluation de l'efficacité des politiques publiques pour les actions visant à réduire les impacts du ruissellement, de l'érosion, et de la turbidité en Haute-Normandie



Objectifs :

1. Réaliser une **évaluation technico-économique des actions menées depuis 2000** sur le territoire de la Haute-Normandie visant à réduire le ruissellement, l'érosion des sols, les coulées de boues/inondations et la turbidité

2. Proposer des **éléments d'aide à la décision pour une éventuelle adaptation et/ou réorientation** de la stratégie actuelle au regard de **différentes évolutions possibles du territoire et du climat**

SMBV Pointe de Caux

Partenaires du programme EVAPORE

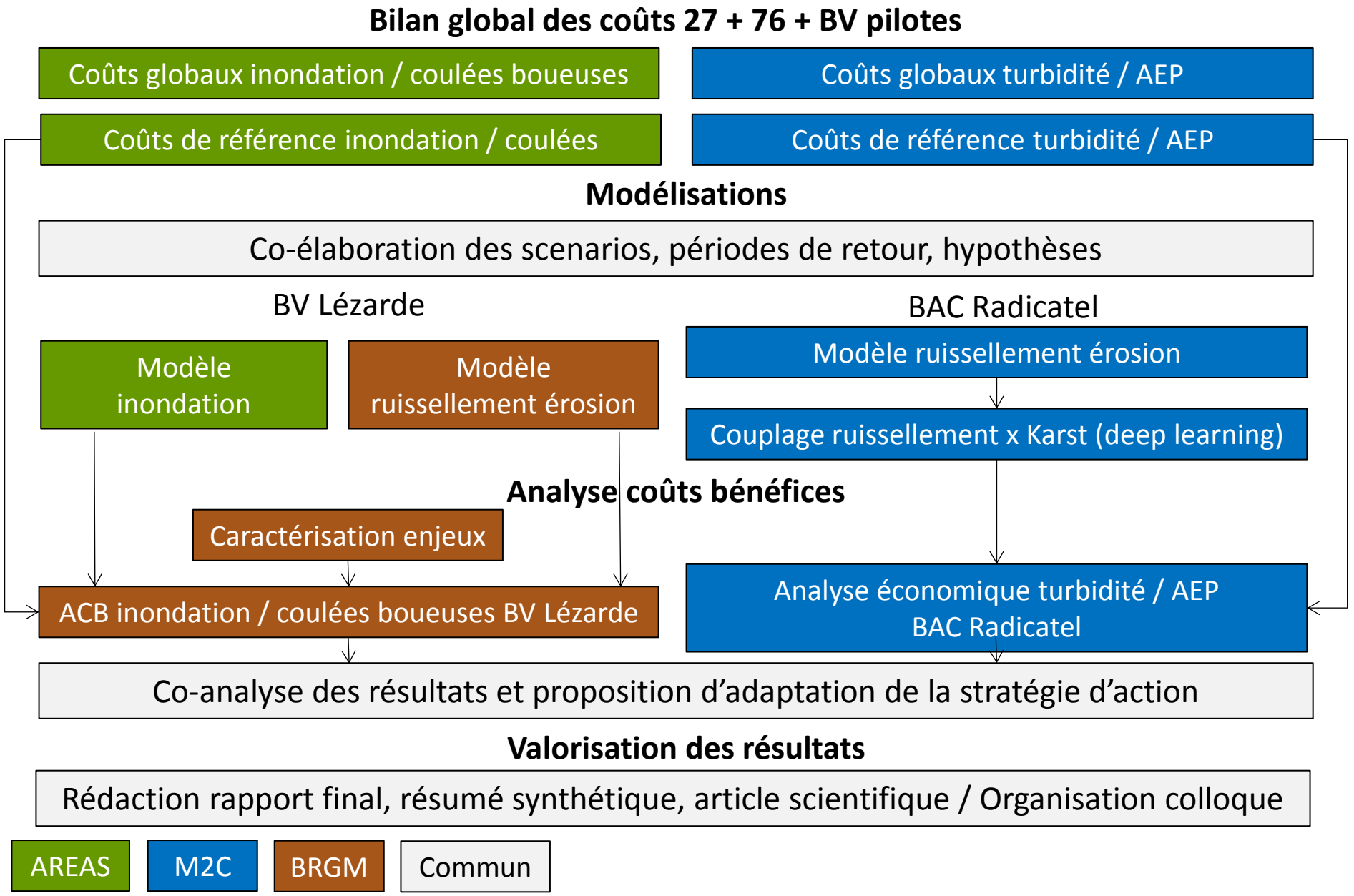
↘Participants

- **AREAS :** Jean-François OUVRY, Jean-Baptiste RICHET et Jérôme LEDUN
- **BRGM Orléans –Risques et Prévention :** Olivier CERDAN, Valentin LANDEMAINE
- **BRGM Montpellier – Economie de l'Environnement :** Arnaud SOULIGNAC, Jean-Daniel RINAUDO
- **Université de Rouen – Laboratoire M2C Morphodynamique Continentale et Côtière :** Edouard PATAULT, Benoît LAIGNEL et Matthieu FOURNIER

↘Financeurs

- **Agence de l'Eau Seine Normandie**
- **BRGM**
- **Université de Rouen**
- **Départements de Seine-Maritime et de l'Eure**

Présentation de la démarche



Bilan économique des impacts du ruissellement en Haute-Normandie depuis 2000

Présentateur :
Jérôme Ledun
AREAS

Bilan économique du ruissellement en Haute-Normandie

OBJECTIFS

Bilan économique globale des impacts du ruissellement

Etablissement de coûts de références pour l'évaluation des actions

METHODE

- Collecte des données (administrations, gestionnaires d'infrastructures, collectivités, réassureurs)
- Extraction et caractérisation ligne par ligne des actions en liens avec la problématique
- Harmonisation des bases de données
- Croisement des bases de données entre financeurs
- Définition de ratios « turbidité » sur financements AEP
- Analyse et synthèse des résultats

Dommages liés au ruissellement en Haute-Normandie

Inondations/coulées boueuses
226 Meuros
(CCR 1998-2016)

Restrictions usage eau potable
4,7 Meuros
(ARS 1992-2018)

Dommages routes deptales
1,2 Meuros
(CD76 / CD27 2018)

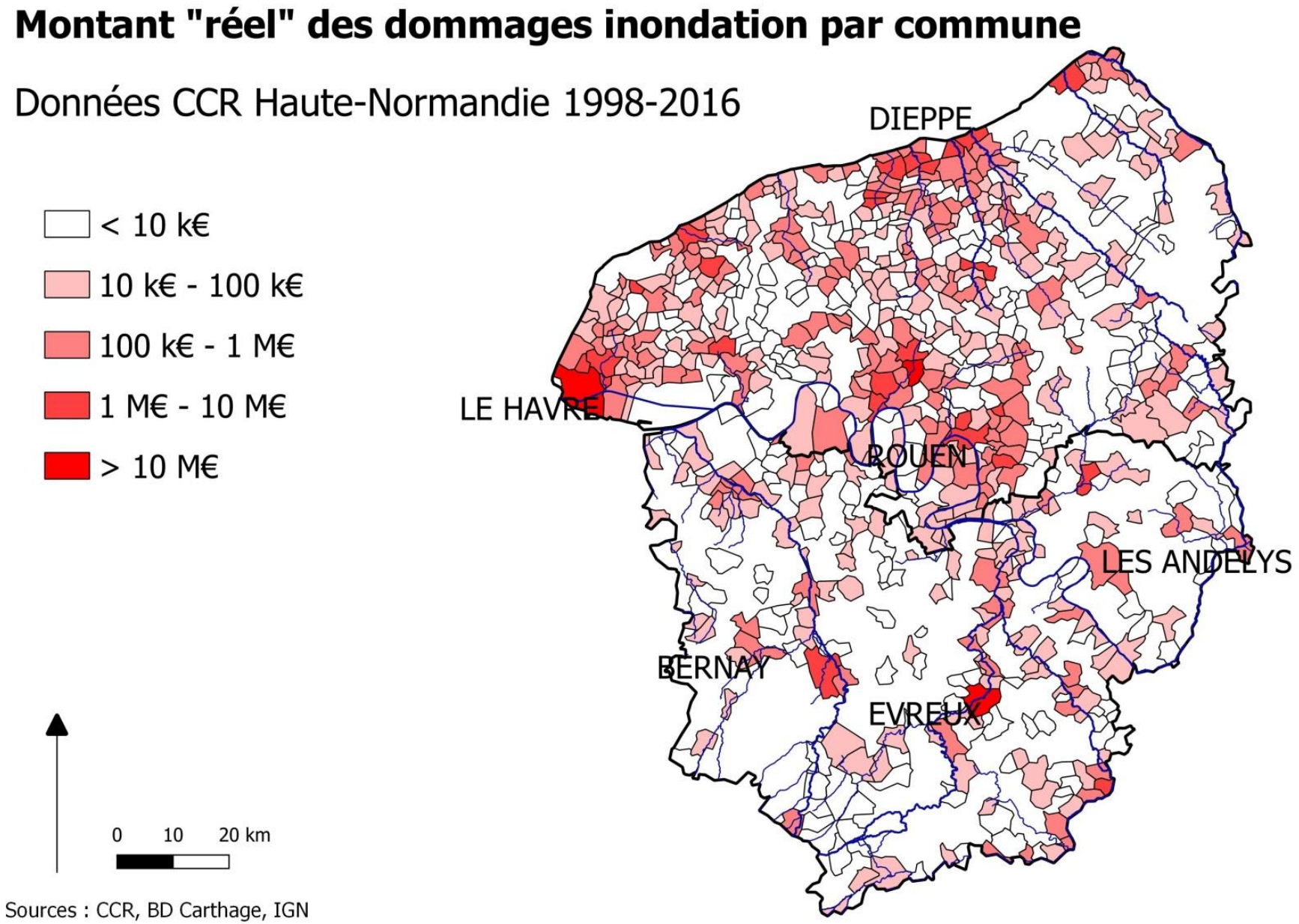
Dommages voies ferrées
0,8 Meuros
(SNCF 2012-2018)

Abandons de captages
5,2 Meuros
(ARS 1999-2017 - 2 abandons)

Autres dommages non chiffrés globalement :

- Coûts de traitement de la turbidité,
- Dommages aux routes communales, réseaux d'eaux pluviales, d'assainissement, de communication...
- Pertes de terres agricoles,
- Envasement des cours d'eau,
- Eutrophisation et impacts des transferts de pesticides
- Impacts sanitaires et sociaux, pertes d'exploitation....

Dommages liés au ruissellement en Haute-Normandie

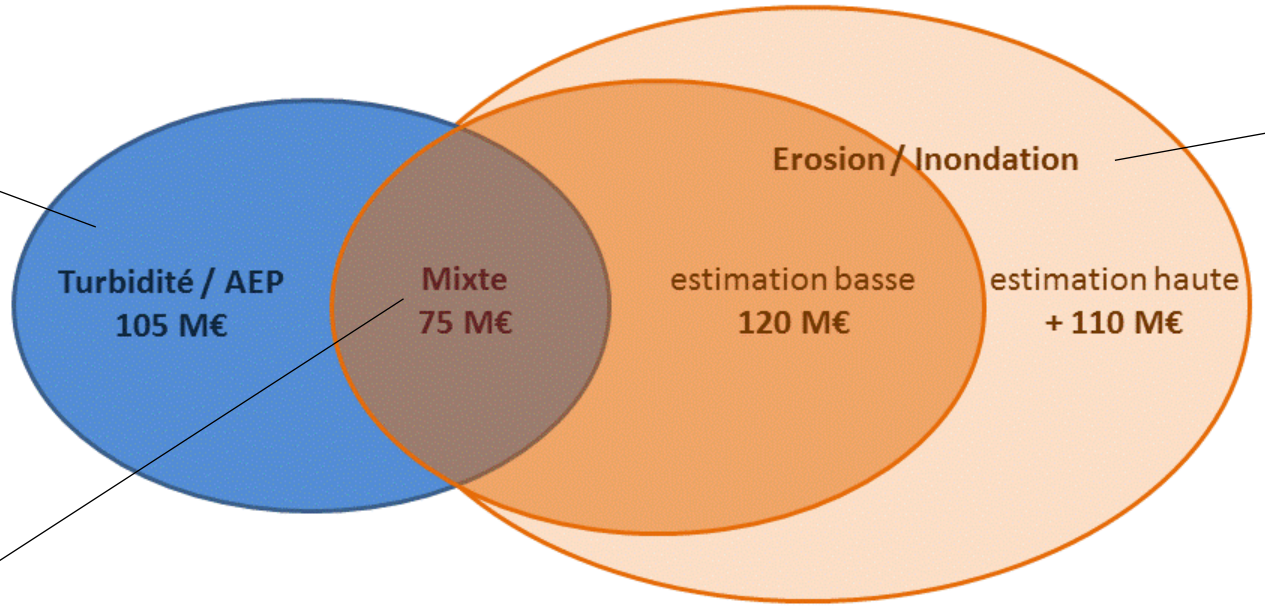


Investissements publics pour réduire le ruissellement en Haute-Normandie

Bilan des investissements publics pour réduire les impacts du ruissellement et de l'érosion en Haute-Normandie

Période 2000 - 2017

Aménagements de bétoires
Potabilisation
Gestion quantitative



Ouvrages structurants
Réduction de la vulnérabilité

Etudes globales
Aménagements d'hydraulique douce
Animation

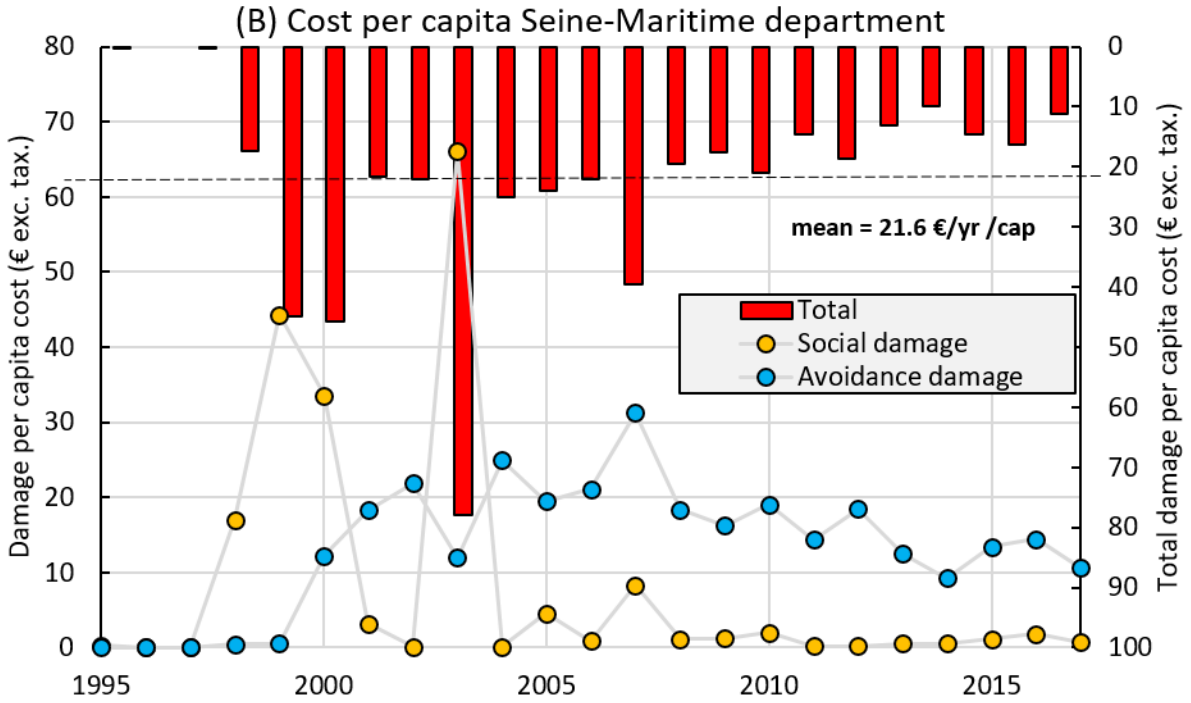
Total : 300 à 400 M€

Soit environ 10 € /an /habitant

+ Entretien des aménagements : 15 à 80 Meuros (< 2018)

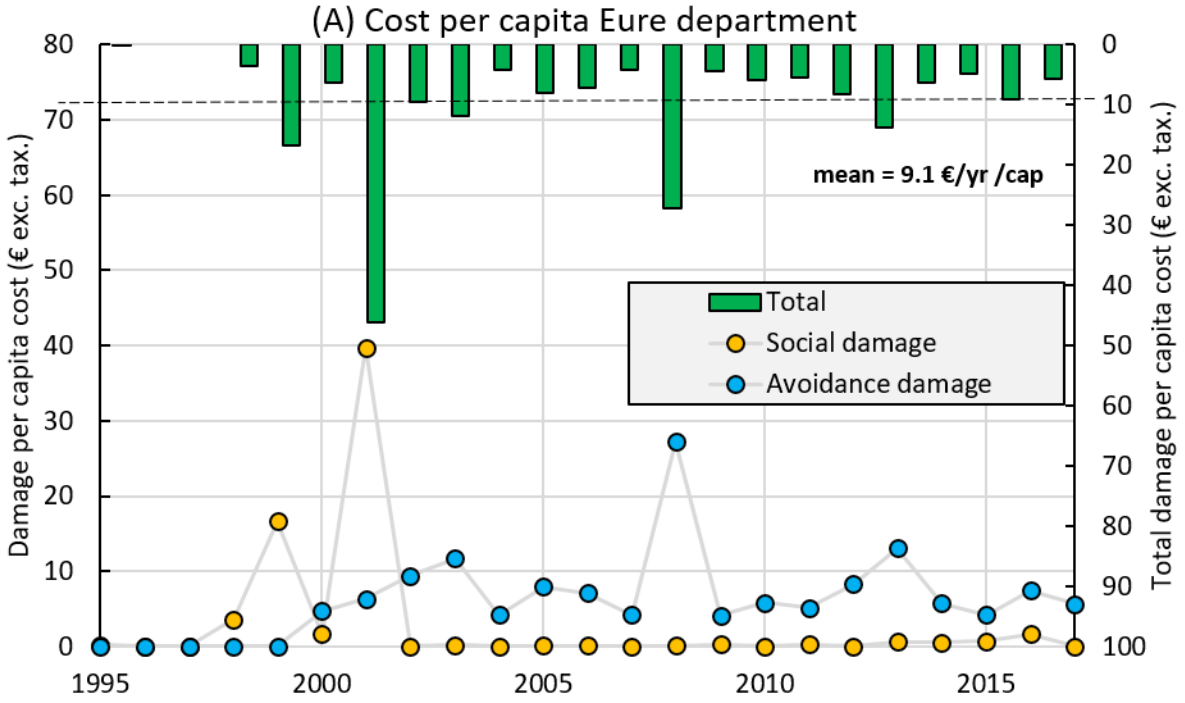
Bilan économique du ruissellement en Haute-Normandie

Seine-Maritime



en moyenne 22 euros/an/hab

Eure



en moyenne 9 euros/an/hab

Coûts par habitant

- Dommages
- Investissements publics
- Total Dommages + Investissements

Bilan économique du ruissellement en Haute-Normandie

Limites des données disponibles

Données dispersées, hétérogènes, non exhaustives

Perspectives pour compléter ce bilan

- Bancarisation des données par les gestionnaires, au moins pour les infrastructures régulièrement concernées par les coulées boueuses ou la turbidité
- Quantification des impacts sur les terres agricoles, sur l'envasement des cours d'eau

Bilan rétrospectif

- Donne une vision économique globale des impacts du ruissellement
- MAIS ne permet pas d'évaluer l'efficacité des actions menées : manque de recul temporel, variabilité du climat, évolution de l'occupation des sols

➢ **Evaluation des programmes d'actions**
par Analyse Coût-Bénéfice (ACB) basée sur des modélisations de scénarios d'aménagement, d'évolution de l'occupation des sols et du climat

1er temps d'échange table ronde/salle

Thème: Bilan économique des impacts du ruissellement en Haute-Normandie depuis 2000

Experts table ronde: L.Guézennec (AESN) ; B.Laignel (Université de Rouen Normandie) ; JF. Ouvry (AREAS)

- Vous pouvez utiliser le **chat à disposition** sur la **plate-forme Teams** pour poser vos questions en direct
- **L'animateur** se chargera de recenser les questions et interroger les intervenants
- Merci d'indiquer : **Nom, Prénom, Structure, avant votre question**

Analyse coût-bénéfice sur le bassin versant de la Lézarde

Présentateurs :
Valentin Landemaine & Arnaud Soulignac & Jérôme Ledun
BRGM - AREAS

Contexte & Objectifs

↘ Contexte

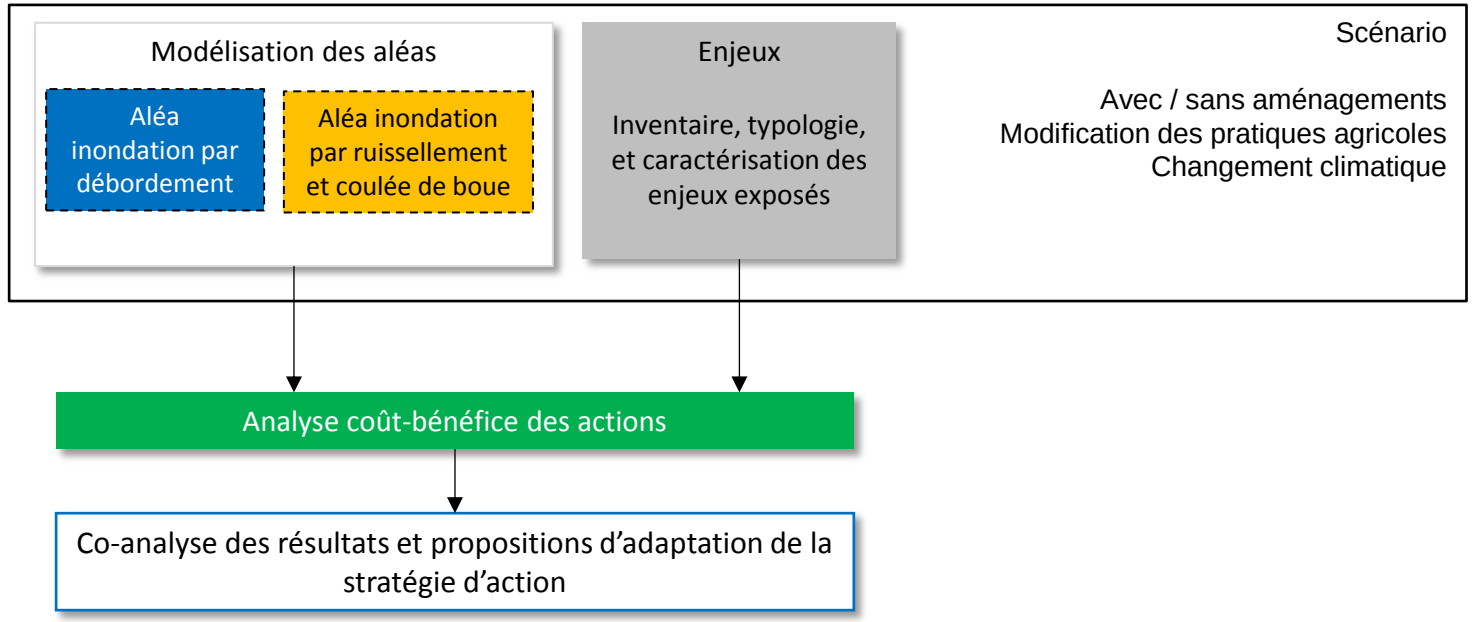
- **Plusieurs dizaines M€ de dommages imputables aux inondations et coulées de boue** sur le territoire de la Havre Seine – Métropole
- 50 M€ d'investissements pour réduire les impacts avec notamment :

  ~1 500 000 m3 de capacité de stockage des eaux de ruissellement

  6,3 km d'aménagements d'hydraulique douce installés

↘ Objectifs

- Réaliser une évaluation technico-économique de la politique menée depuis 2000 sur le territoire de le Havre Seine Métropole à l'aide d'un analyse coût - bénéfice



© SMBV Pointe de Caux

© SMBV Pointe de Caux

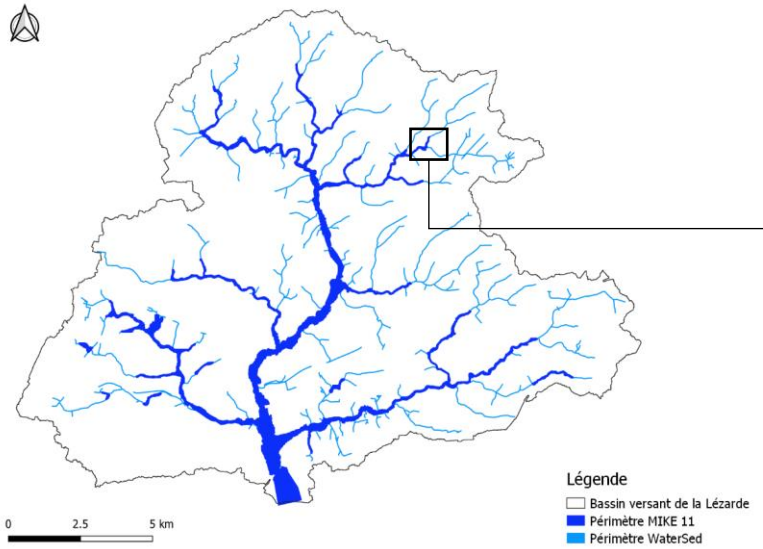
Modélisation des aléas inondation et coulée de boue

↘ Objectif

- Modéliser l'aléa inondation / coulées boueuses et débordement de cours d'eau pour différents évènements et scénarios, afin d'alimenter l'analyse coût-bénéfice

↘ 2 outils de modélisation

- Modèle MIKE (DHI) -> aléa inondation dans la vallée et les talwegs principaux
- Modèle WATERSED (BRGM) -> aléa inondation par ruissellement et coulées boueuses dans les talwegs



Modélisation des aléas inondation et coulée de boue

↘ Objectif

- Modéliser l'aléa inondation / coulées boueuses et débordement de cours d'eau pour différents évènements et scénarios, afin d'alimenter l'analyse coût-bénéfice

↘ 2 outils de modélisation

- Modèle MIKE (DHI) -> aléa inondation dans la vallée et les talwegs principaux
- Modèle WATERSED (BRGM) -> aléa inondation par ruissellement et coulées boueuses dans les talwegs

↘ Evènements modélisés

- Périodes de retour : 10 ans, 50 ans, 100 ans

↘ 7 scénarios étudiés

Modélisation des aléas inondation et coulée de boue

↘ 7 scénarios étudiés (2000 – 2050)

Scenario	ref0	ref1	actu	amb	cc	herb	agr
Hydraulique structurante	0	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018
Hydraulique douce	0	0	Actuel 2018	Ambitieux	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018
Occupation du sol	2016	2016	2016	2016	2016	2050 -33% herbe	2050 50% pratiques agri adaptées
Climat	Actuel	Actuel	Actuel	Actuel	2050 3 hypoth.	Actuel	Actuel

↘ Scénarios de « base » : Evaluation des aménagements en situation actuelle

- **ref0** : scénario de référence sans aucun ouvrage ni aménagement
- **ref1** : scénario de référence sans aménagements HD mais avec HS actuelle
- **actu** : avec tous les aménagement actuels (HD + HS)

↘ Scénario d'aménagement d'Hydraulique Douce

- **amb** : scénario d'aménagement d'hydraulique douce « ambitieux »

↘ Scénarios prospectifs 2050 avec aménagements actuels

- **cc :** avec aménagements actuels et changement climatique
- **herb :** avec aménagement actuels et réduction d'un tiers des surfaces herbe
- **agr :** avec aménagement actuels et amélioration des pratiques agricoles sur 50% des surfaces en culture

Modélisation des aléas inondation et coulée de boue

↘ 7 scénarios étudiés (2000 – 2050)

Scenario	ref0	ref1	actu	amb	cc	herb	agr
Hydraulique structurante	0	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018
Hydraulique douce	0	0	Actuel 2018	Ambitieux	Actuel 2018	Actuel 2018	Actuel 2018
Occupation du sol	2016	2016	2016	2016	2016	2050 -33% herbe	2050 50% pratiques agri adaptées
Climat	Actuel	Actuel	Actuel	Actuel	2050 3 hypoth.	Actuel	Actuel

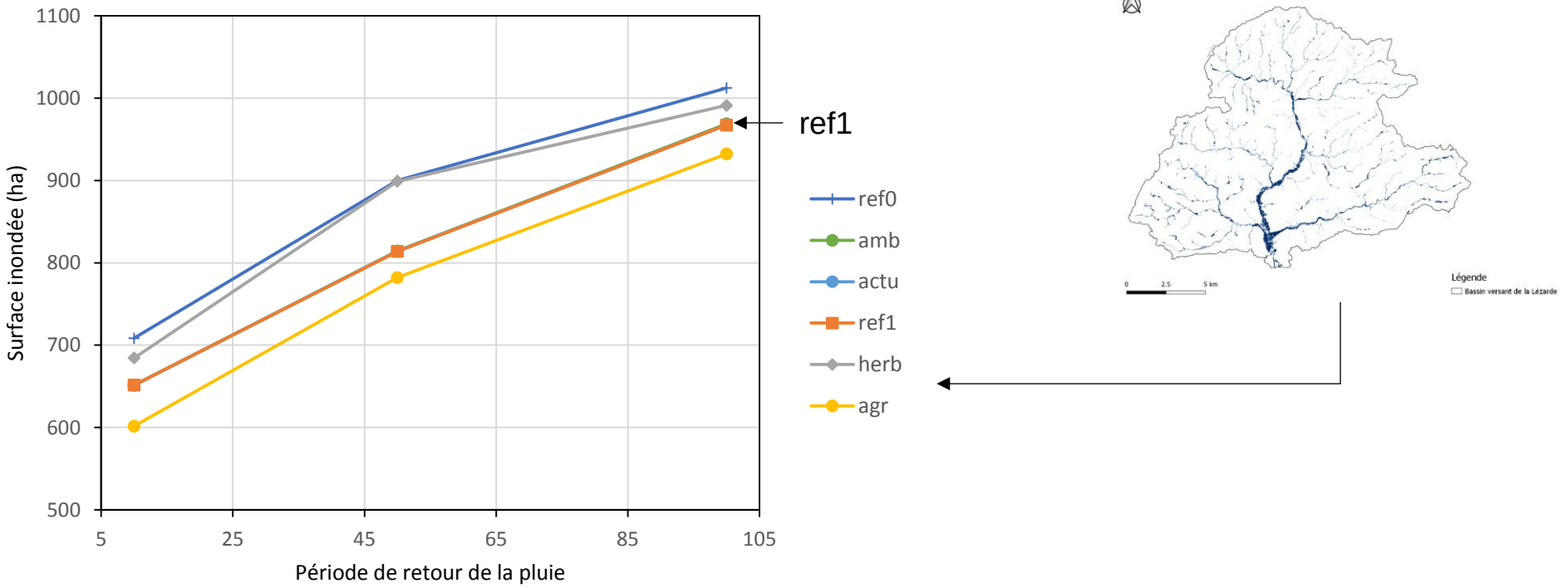
Scénario XXX → **Aléa inondation** (MIKE + WaterSed)
- Hauteur d'eau
- Vitesse des écoulements

Aléa coulée de boue (WaterSed)
- Masse de terre transportée
- Dépôt de sédiments

→ Analyse coût-bénéfice

Modélisation des aléas inondation et coulée de boue

↘ Impact des différents scénarios sur l'emprise de l'inondation par rapport **ref1 (HS + OccSol 2016)**

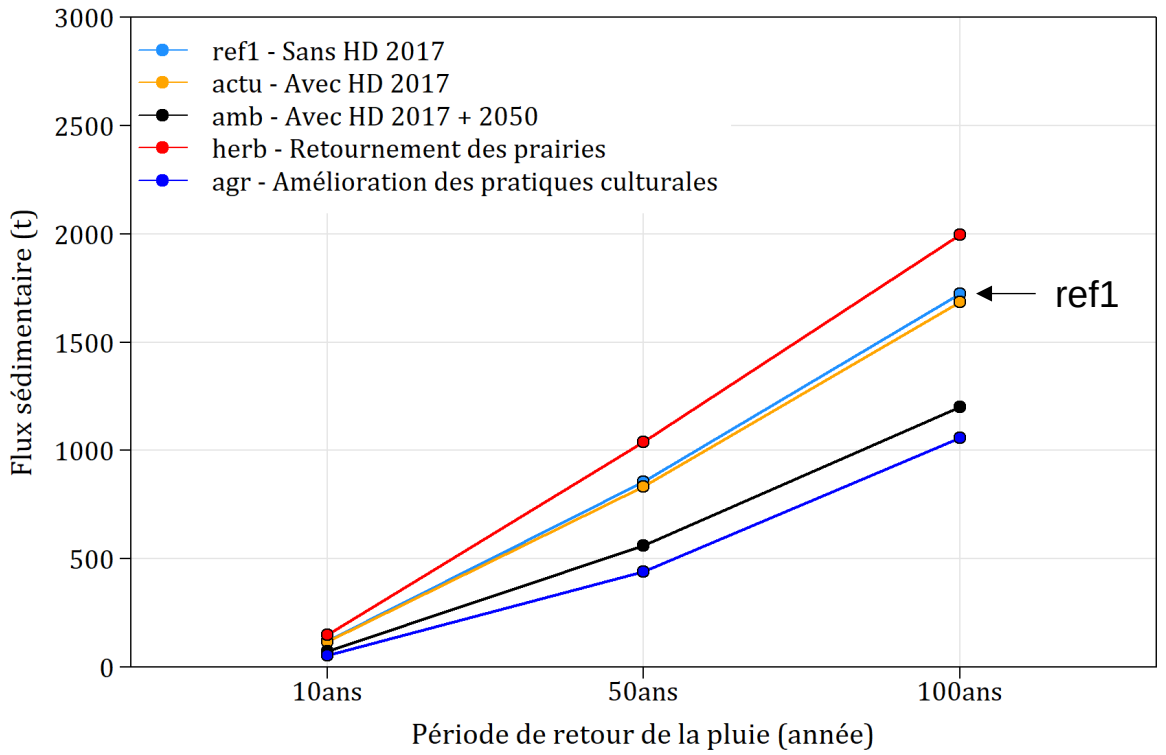


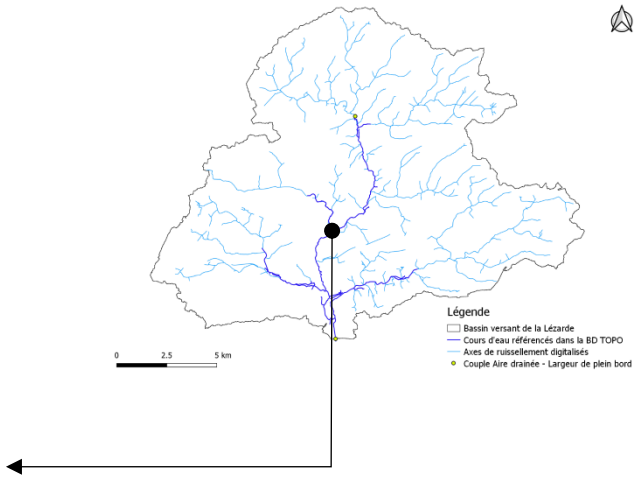
- **Augmentation de +11%** pour P50ans en l'absence d'HS (***ref0***)
- **Pas d'impact du scénario *act* et *amb*** (HD) sur la surface inondée
- **Augmentation de +10%** pour P50ans en cas de retournement des prairies (***herb***) (annulation de l'impact des ouvrages structurants installés)
- **Diminution de -4%** pour P50ans en cas d'amélioration des pratiques culturales (***agr***)

HS : Hydraulique structurante ; HD : Hydraulique douce

Modélisation des aléas inondation et coulée de boue

↘ Impact des différents scénarios sur le flux sédimentaire à Montivilliers par rapport **ref1 (HS + OccSol 2016)**



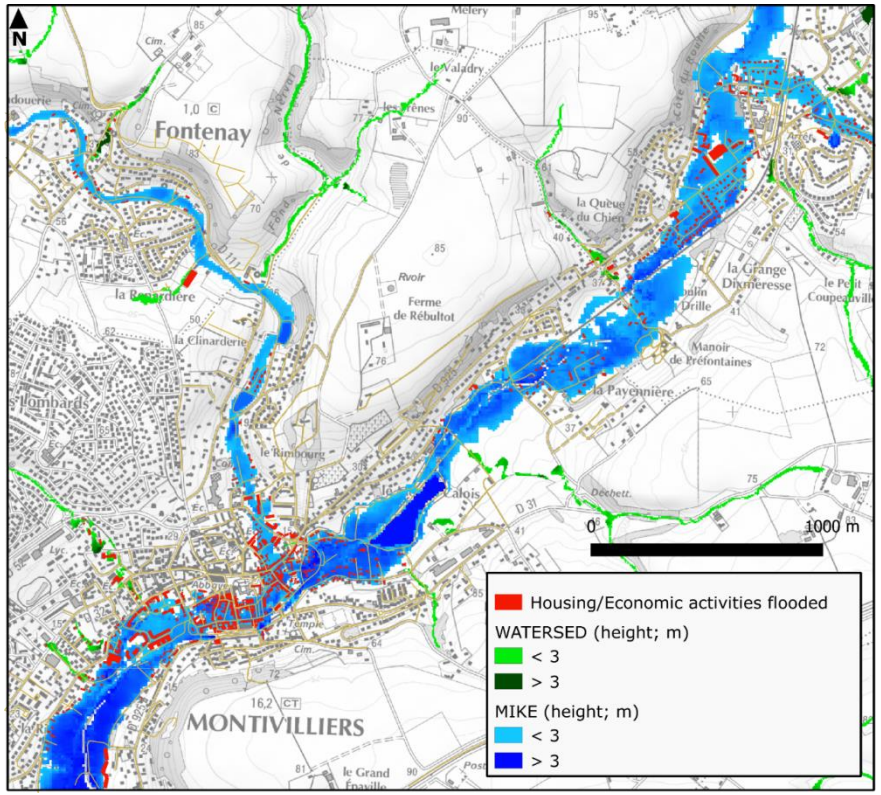


- **Peu d'impact (-2.7%) du scénario *actu*** (HD 2018) sur la diminution du flux sédimentaire
- **Diminution de -19%** pour P50ans avec la mise en place d'HD (***amb***)
- **Augmentation de +29%** pour P50ans en cas de retournement des prairies (***herb***)
- **Diminution de -49%** pour P50ans en cas d'amélioration des pratiques culturales (***agr***)

Identification des enjeux vulnérables

↘ Inventaire et typologie des enjeux

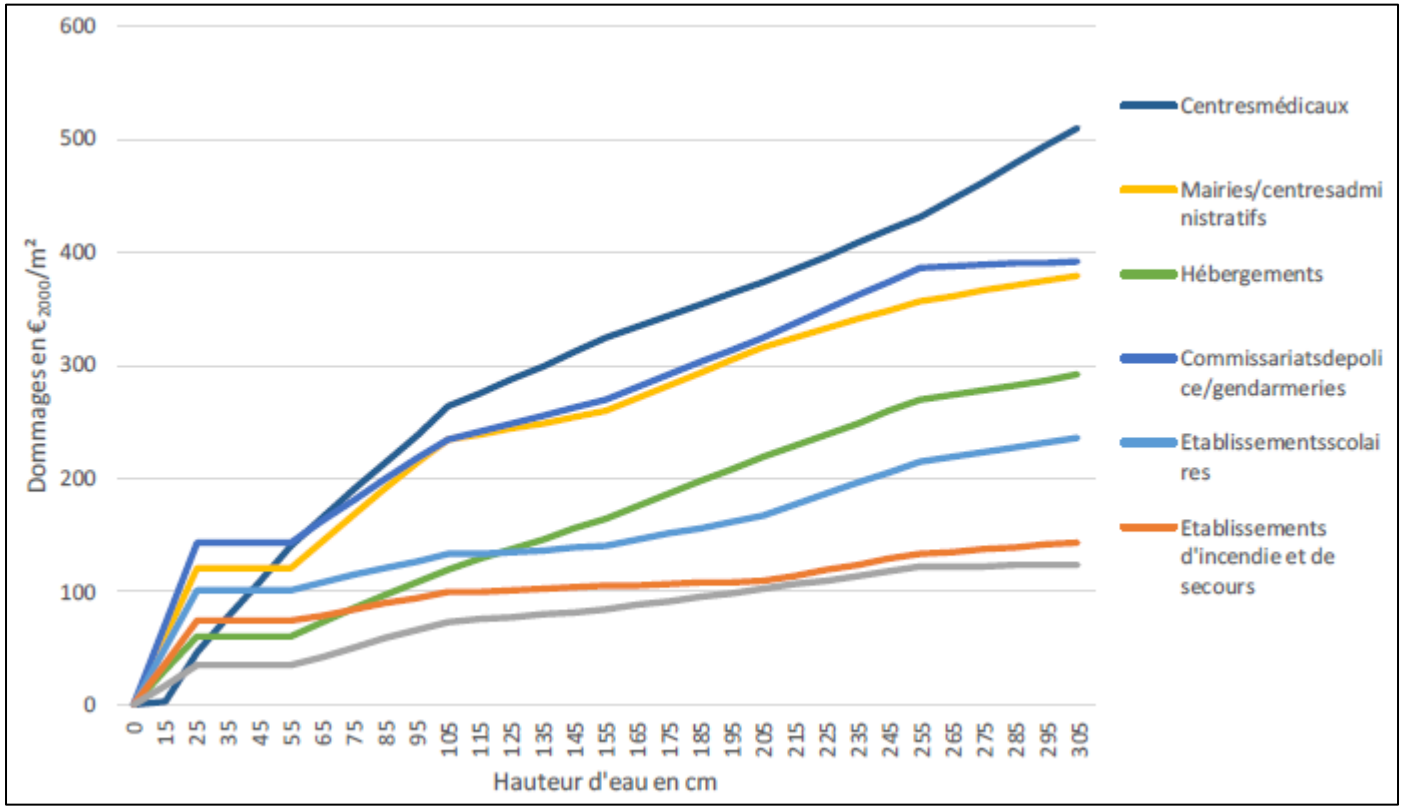
- Focus sur l'enveloppe d'inondation maximale (P100 ans)
- Sources de données : BD TOPO (IGN), Google Street View, visites sur le terrain



Bâti exposé inondation	Potentiellement touché par une inondation	Potentiellement touché par une coulée boueuse	Qualifié depuis le bureau	Qualifié sur le terrain	Total potentiellement touché	% du total de bâti exposé
Logement	1 354	277	1 436	195	**1 631**	79 %
Etablissements économiques	298	35	289	44	**333**	16 %
Etablissement public	96	10	95	11	**106**	5 %
TOTAL	1 748	322	1 820	250	**2070**	100 %

Croisement aléa / enjeux pour le calcul des coûts

↘ Calcul des coûts = Application des fonctions de dommages sur les croisements aléa/enjeux



Courbes d'endommagement aux bâtis et équipements des établissements publics (Source : CGDD, 2018)

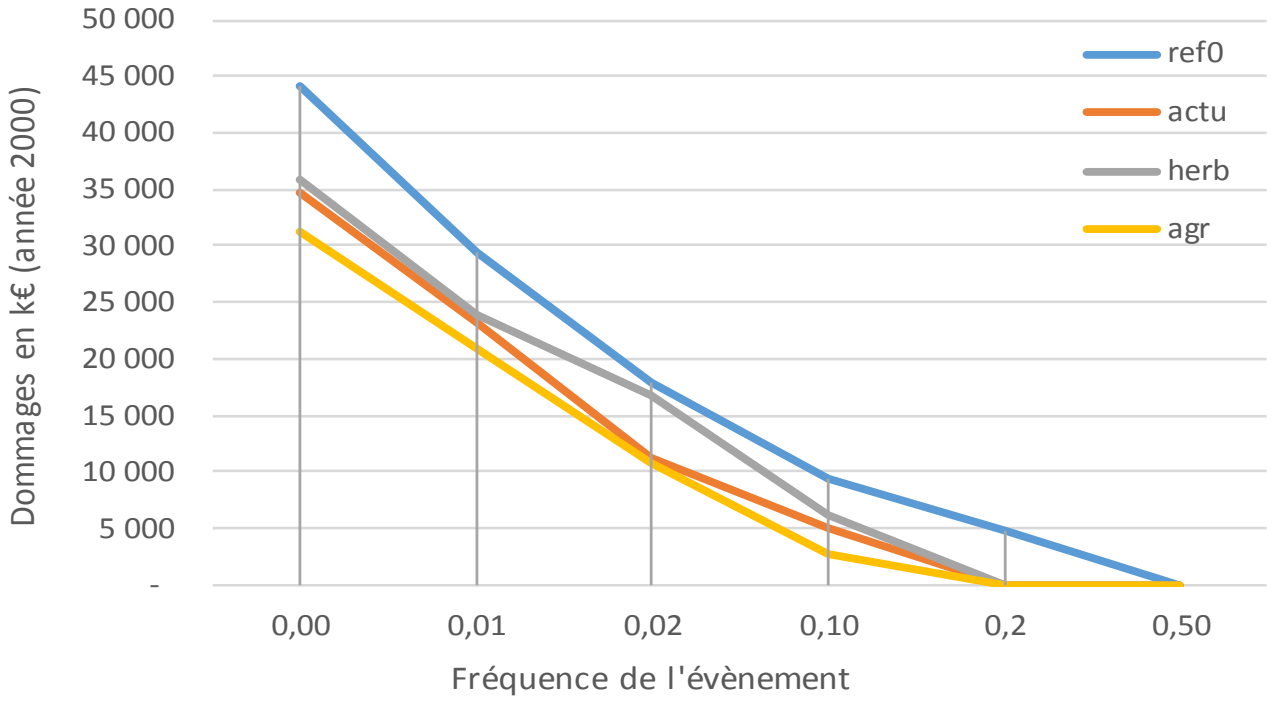
Dommage Evité Moyen Annuel des inondations

↘ Dommage Moyen Annuel (DMA) pour les scénarios ***actu***, ***herb*** et ***agr par rapport à ref0***

- Montant moyen des dommages subis par le territoire chaque année en considérant toutes les crues potentielles
- Calcul : somme des aires de dommages produits par les crues considérées
- Détermination du DMA par scénario et par période de retour en croisant les cartographies d'aléas et d'enjeux

↘ Dommage Evité Moyen Annuel (DEMA)

- Différence d'aire de DMA entre le scénario de référence (ref0) et le scénario étudié = bénéfice (ou non) du scénario étudié

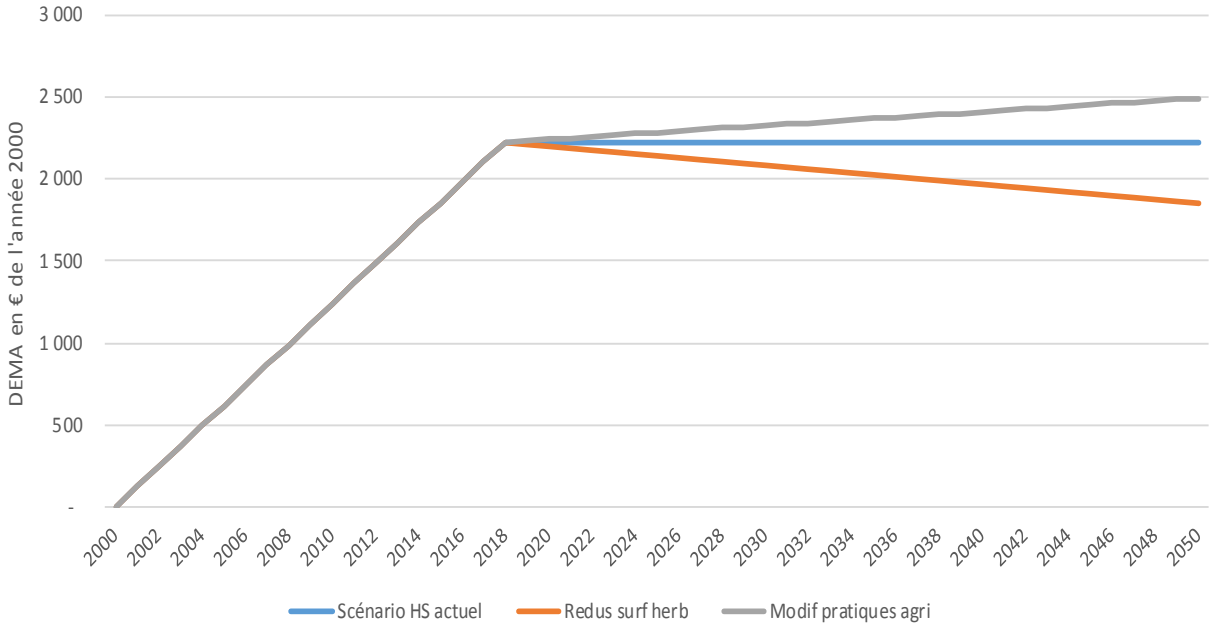


	DMA (K€$_{2000}$)	DEMA (K€$_{2000}$)
ref0	3 585	
actu	1 359	2 227
herb	1 732	1 853
agr	1 091	2 495

Dommage Evité Moyen Annuel des inondations

↘ Valeur Actuelle Nette (VAN) pour les scénarios ***actu***, ***herb*** et ***agr par rapport à ref0***

- La somme actualisée sur toute la période d'étude entre (1) tous les couts liés aux ouvrages (investissements et exploitation) et (2) tous les bénéfices apportés (dommages évités).
- L'actualisation (taux de 2,5%) des coût et bénéfices de chaque année permet de prendre en compte « les coûts du temps ».



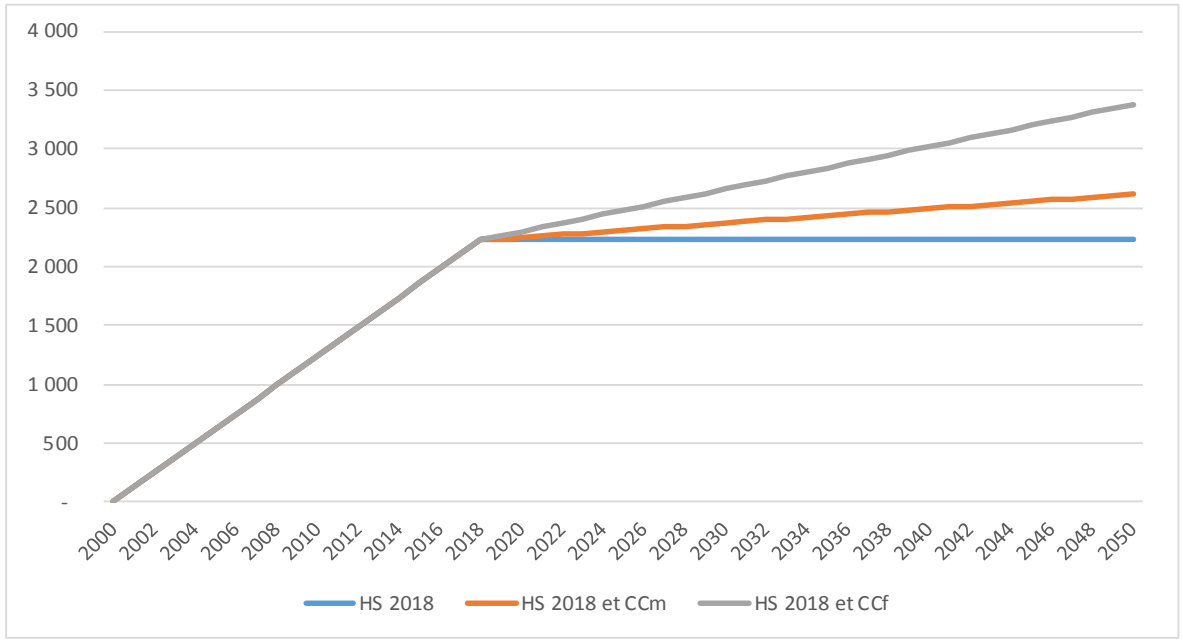
	VAN ($M€_{2000}$)	B/C
ref0		
actu	21,5	1,95
herb	19,6	1,86
agr	22,9	2,01

- Le scénario retournement des prairies **(herb) dégrade la VAN d'environ 1,1 M€ par rapport à actu**
- Le scénario amélioration des pratiques **(agr) augmente la VAN d'environ 1,4 M€/an par rapport à actu**

Le coût de mise en œuvre de la politique agricole visant l'amélioration des pratiques n'est pas prise en compte, ni les autres bénéfices apportés par une telle démarche.

Dommage Evité Moyen Annuel des inondations

↘ Dommage Evité Moyen Annuel (DEMA) pour le scénario ***cc par rapport à ref0***



	Actu	RCP4.5	RCP8.5
DMA ($K€_{2000}$)	1 359	1 600	1 800
DEMA ($K€_{2000}$)	**2 227**	**2 600**	**3 400**
B/C	**1,95**	**2,04**	**2,21**

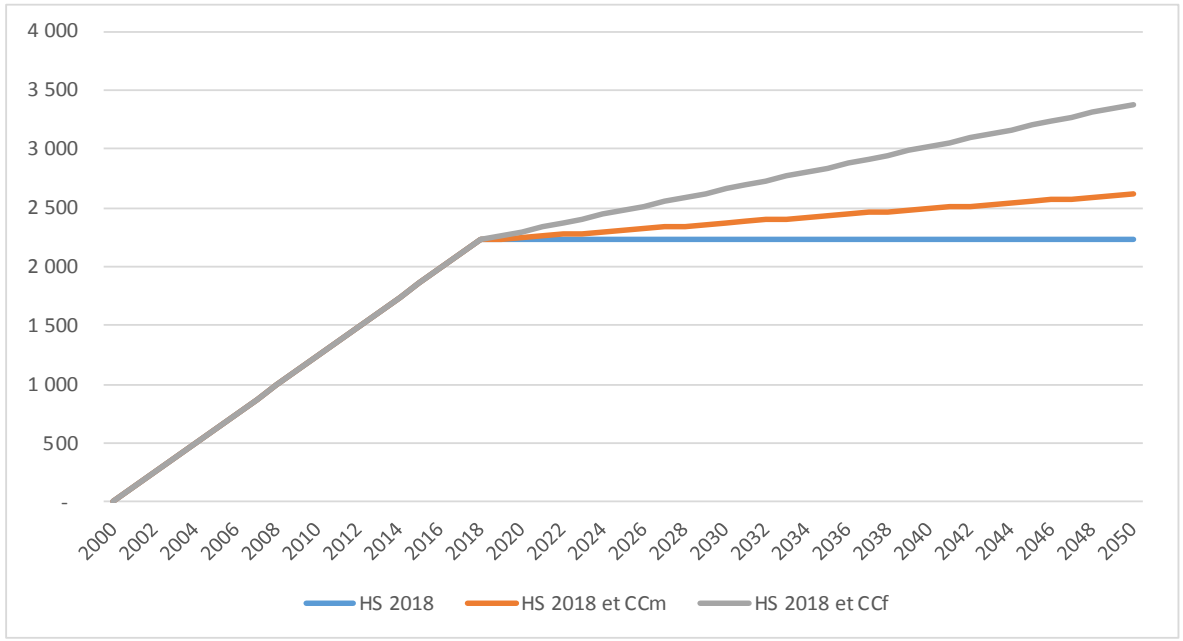
- Le scénario de changement climatique **(cc modéré) augmente le DEMA d'environ 400 k€/an par rapport à actu**
- Le scénario de changement climatique **(cc fort) augmente le DEMA d'environ 1200 k€/an par rapport à actu**

➢ Le changement climatique tend à renforcer la pertinence économique de l'investissement passé dans les ouvrages d'HS

Les dommages résiduels augmentent aussi !!

Dommage Evité Moyen Annuel des inondations

↘ Dommage Evité Moyen Annuel (DEMA) pour le scénario ***cc par rapport à ref0***



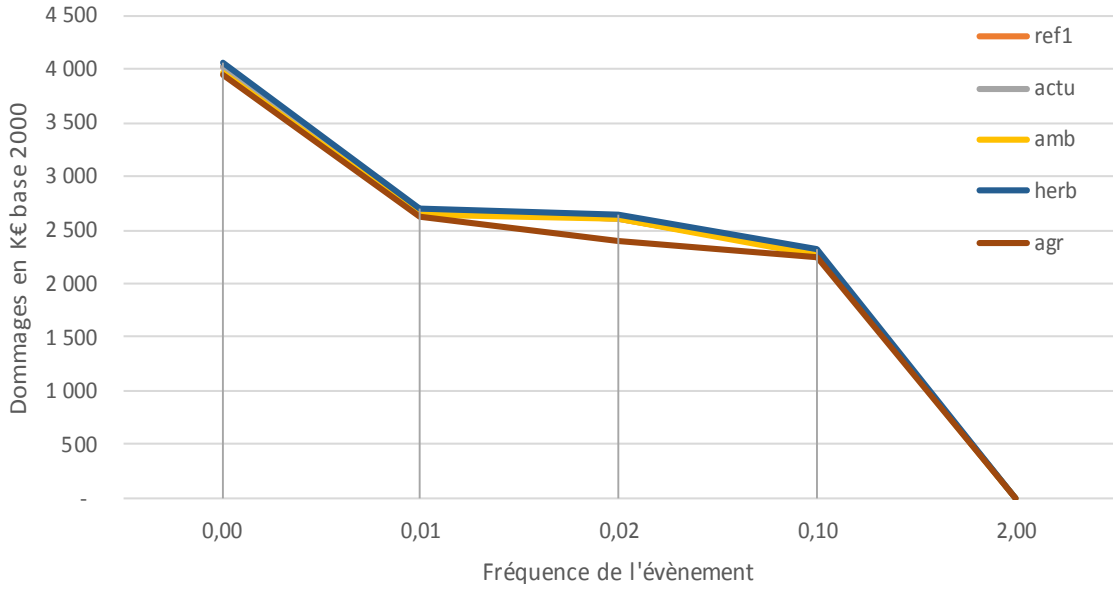
	Actu	RCP4.5	RCP8.5
DMA ($K€_{2000}$)	1 359	1 600	1 800
DEMA ($K€_{2000}$)	**2 227**	**2 600**	**3 400**
B/C	**1,95**	**2,04**	**2,21**

- Le **ratio B/C :** ratio des bénéfices totaux actualisés (BTA) sur les coûts totaux actualisés (CTA)
- Le **CTA des investissements d'hydraulique structurante s'élève à 22,6 M€**

➢ Les **bénéfices apportés par les ouvrages structurants** (barrages, bassins) en termes de réduction des dommages sont **deux fois supérieurs à leurs coûts d'investissement et d'entretien**

Dommage Evité Moyen Annuel des coulées de boue

↘ Dommage Evité Moyen Annuel (DEMA) des **différents scénarios par rapport à ref1**



	DMA (K€$_{2000}$)	DEMA (K€$_{2000}$)
ref1	2 418	
actu	2 417	0,7
amb	2 409	9
herb	2 455	37
agr	2 370	48

CTA ***act*** : 5,7 M€

CTA **amb** : 4,4 M€

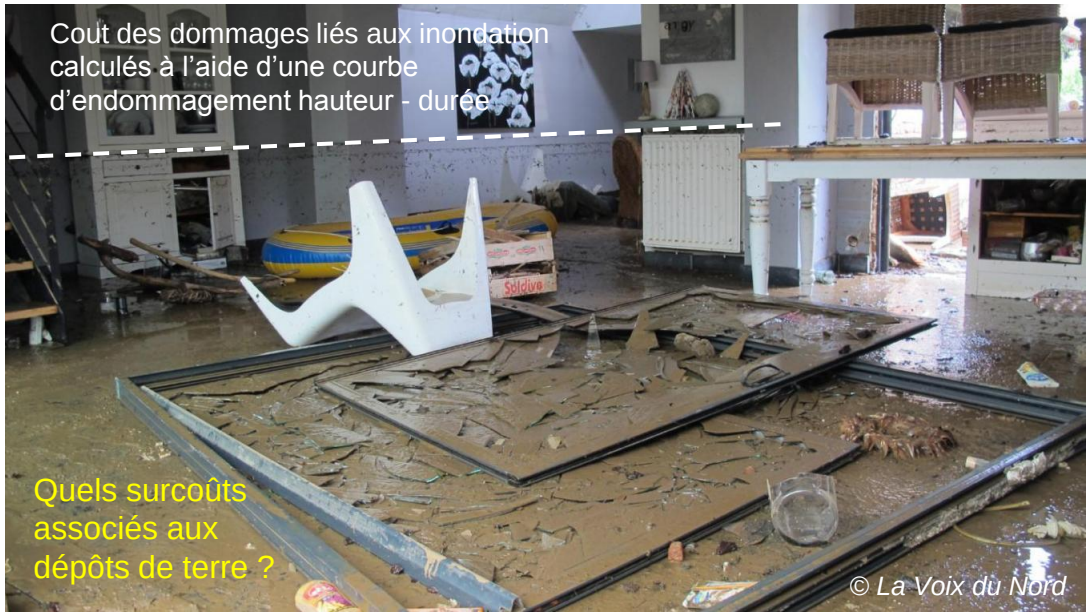
- Très faible variation du DEMA quelque soit le scénario considéré
- Deux explications :
  - ✓ Faible variation des surfaces inondées entre les scénarios (+10% pour ***herb*** et -4% pour ***agr***)
  - ✓ 15% des enjeux potentiellement touchés par les aléas inondation par ruissellement et coulée de boue
- ➢ Modèle économique peu sensible entre les scénarios
- ➢ Pas de courbe d'endommagement spécifique aux coulées de boue

Dommage Evité Moyen Annuel des coulées de boue

↘ Chiffrage des coûts associés aux dépôts de boues dans les ouvrages de régulation par scénario et par pluie de projet

↘ Quels sont les surcoûts associés aux dépôts de boue en plus des inondations ?

- Dans le bâti ? Sur les réseaux de communication ? …
- Manque d'exemples économiques chiffrés



Bilan de l'ACB

↘ Originalité méthodologique :

- Couplage de deux modèles permettant une cartographie des aléas inondation par débordement de cours d'eau, inondation par ruissellement et coulée de boue

↘ Enseignements :

- Dommages aux établissements économiques comptent pour + de 70% du montant total des dommages
- Le scénario d'aménagement dit actuel offre un DEMA d'environ 2,2 M€/an
- La réduction des surfaces en herbe (-33% en 2050) augmente les dommages de 0,4 M€/an
- La modification des pratiques en faveur de l'infiltration (+20% en 2050) réduit les dommage de 0,3 M€/an
- Les bénéfices des aménagements sont renforcés dans la perspective du CC (augmentation de la fréquence des évènements de même intensité)

↘ Limites :

- Pas de chiffrage des coûts de mise en œuvre des politiques agricoles d'influence des pratiques, et les bénéfices produits sont possiblement plus larges
- Pas de fonction de dommage permettant de capter les effets de la charge sédimentaire

↘ Perspectives :

- Création d'un observatoire visant à collecter les données nécessaires à (1) l'estimation des volumes de sédiments retenus par les réseaux et les bâtis et (2) la construction de fonction de dommage sensibles à une variation de la charge en sédiment des eaux d'inondation.

Synthèse des résultats – BV Lézarde (1/2)

↘ Les bénéfices apportés par les **ouvrages structurants** (barrages, bassins) en termes de réduction des dommages sont 2 fois supérieurs à leurs coûts d'investissement et d'entretien

↘ Le **changement climatique** (à occupation du sol constante) :

- Devrait renforcer l'efficacité des ouvrages actuels, mais le coût moyen annuel des dommages augmentera aussi (+200 à +400k€$_{2000}$/an selon scénario)
- Devrait entraîner également une augmentation des flux sédimentaires

↘ Une **réduction d'un tiers des surfaces en herbe** par rapport à aujourd'hui entraînerait :

- Une augmentation des dommages liés aux inondations de +400k€$_{2000}$/an (ACB Lézarde)
- Une augmentation de +30% des flux sédimentaires à l'échelle du BV

Synthèse des résultats – BV Lézarde (2/2)

↘La mise en œuvre de programmes d'aménagement **d'hydraulique douce** ambitieux :

- N'aura pas d'effet sur les inondations de bâti (ce n'est pas le rôle de l'hydraulique douce)
- Réduction de 20% sur les transferts de sédiments à l'échelle du BV de la Lézarde (amb), et protection rapprochée des enjeux contre les apports de sédiments (ouvrages structurants)
- Semble avoir peu d'effet sur la réduction des coûts associés aux dépôts de sédiments (routes, ouvrages), mais cet effet n'a pas pu être correctement évalué faute notamment de données économiques suffisantes

↘L'adoption de **pratiques agricoles limitant le ruissellement** sur 50% des surfaces actuellement en culture aurait un effet significatif sur :

- Une réduction des dommages liés aux inondations de -250k€$_{2000}$/an (ACB Lézarde)
- Une diminution de 50% des flux sédimentaires à l'échelle du BV

2ème temps d'échange table ronde/salle

Thème: Analyse coût-bénéfice sur le bassin versant de la Lézarde

Experts table ronde: O.Cerdan (BRGM) ; E.Hauchard (LHSM) ; JF. Ouvry (AREAS)

- Vous pouvez utiliser le **chat à disposition** sur la **plate-forme Teams** pour poser vos questions en direct
- **L'animateur** se chargera de recenser les questions et interroger les intervenants
- Merci d'indiquer : **Nom, Prénom, Structure, avant votre question**

Analyse économique de l'impact de la turbidité sur le captage de Radicatel

Présentateur :
Edouard Patault
Université de Rouen Normandie

Contexte

- 1992-2018 : 407 arrêts distribution (1,5M hab) → 4,7M€ (*cette étude*)
- Chaque année, 10k à 60k habitants impactés par des restrictions d'usages (*ARS, 2013*)
- Seine-Maritime et Eure = 111 captages à turbidité chronique (*ARS, 2020*)
- Turbidité aux captages AEP = lien fort avec la présence de milliers de bétoires sur le territoire
- Turbidité = impact coût de traitement (€)
- Réduire les coûts = aménager le territoire en surface ! A priori oui, mais peut-on l'évaluer ?
- Il faut modéliser le continuum transfert de surface-bétoire-restitution au captage

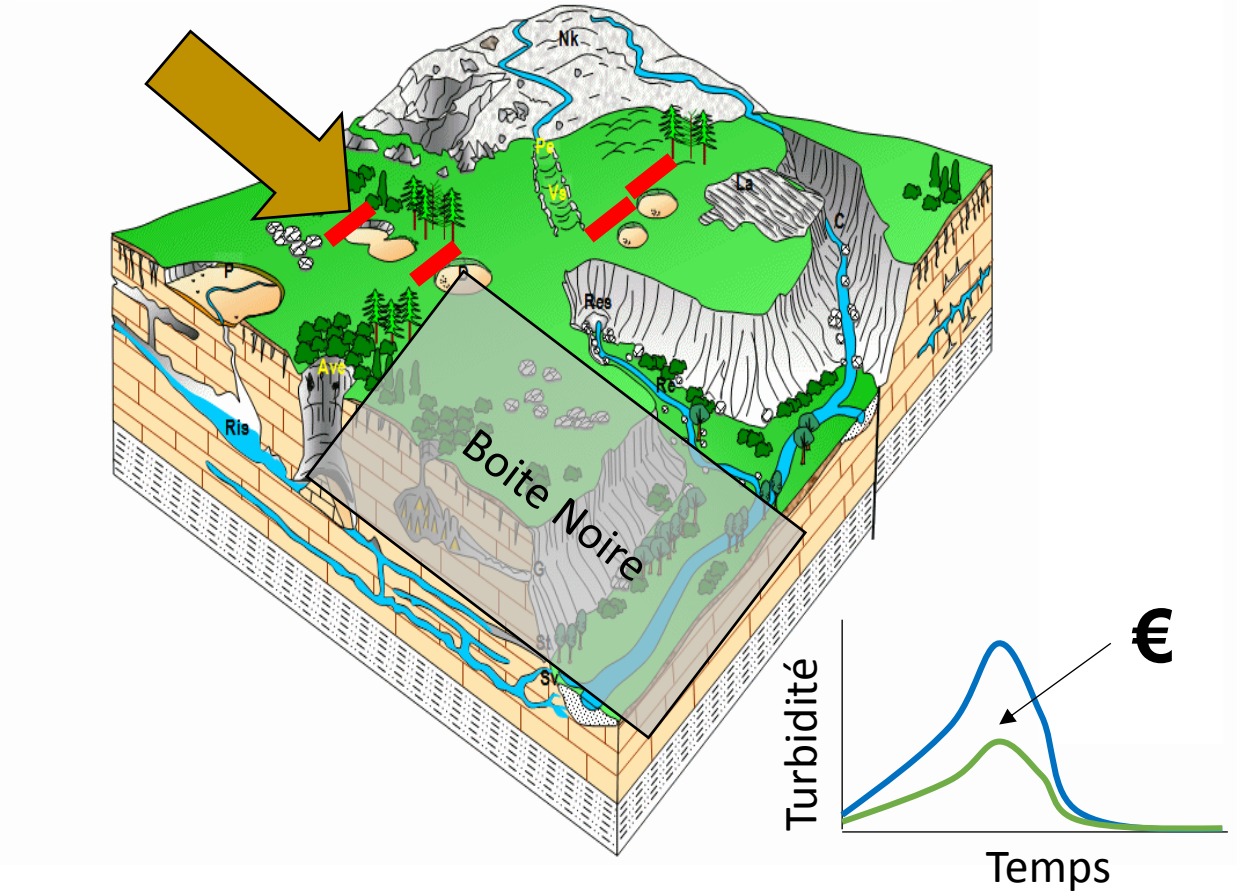
Verrous & Questions scientifiques

- Aucun modèle n'est capable de simuler à la fois, les transferts de surface, et les restitutions au captage
  - Processus **complexes, dynamique, non linéaires**
  - Pas de description physique du karst
  - Manque de données

- Dans ces conditions, comment modéliser l'impact de l'aménagement du territoire sur la turbidité à un captage AEP ?

- Avec quel développement méthodologique ?

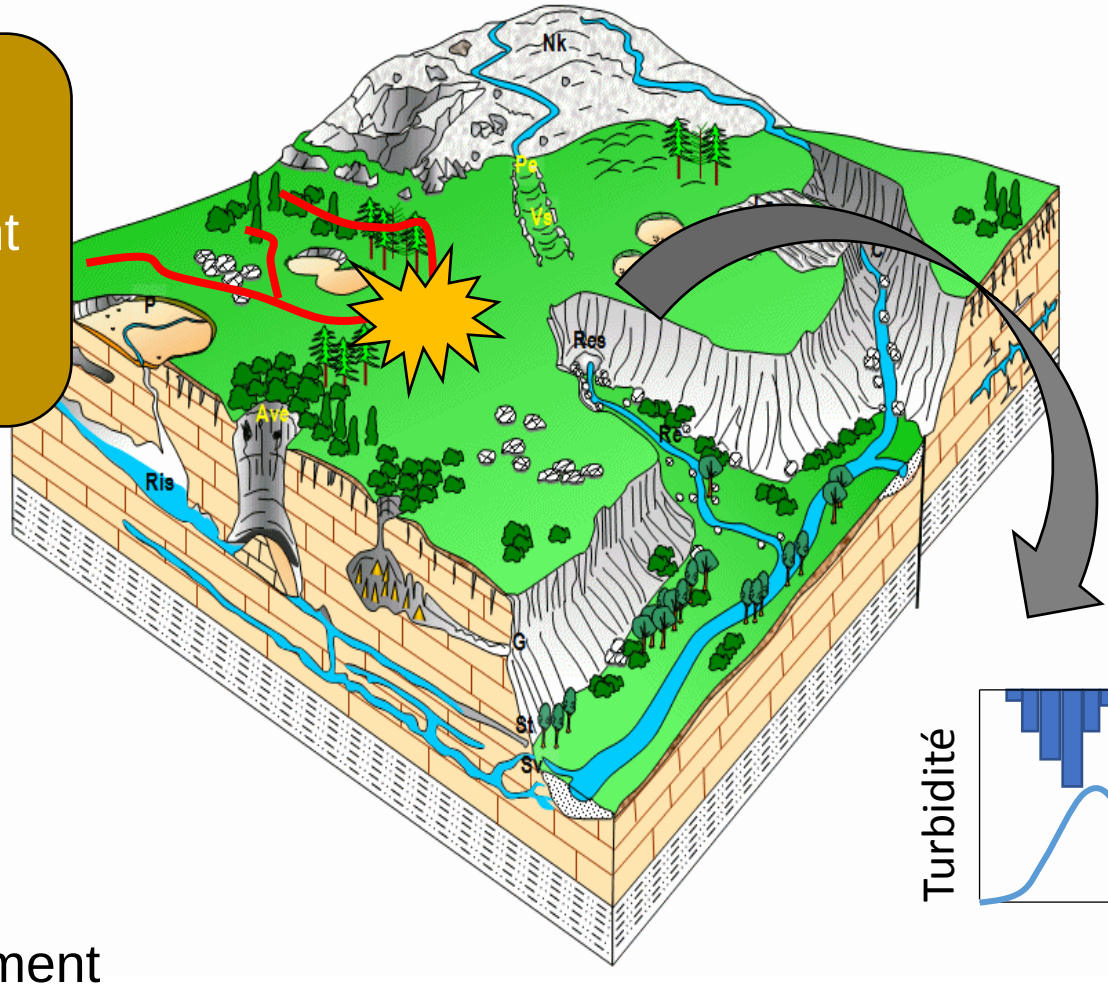
- Et, quel est l'impact économique de l'aménagement du territoire sur le traitement de la turbidité ?



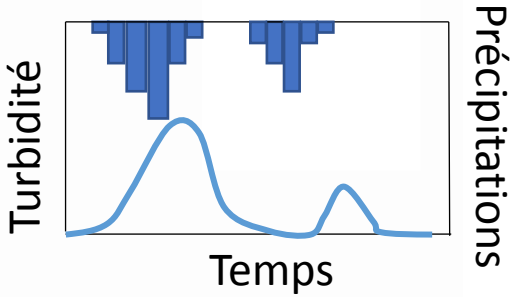
Conceptualisation de la méthode

Couplage de modèle

Modèle d'érosion/ruissellement
= reconstruire signal entrant au droit des bétoires connectées



Modèle d'intelligence artificielle
= Apprentissage entrée/sorties → reconstruction du signal de turbidité puis simulations



Pré-requis :

- Chroniques de turbidité
- Bétoires tracées
- Modèle érosion/ruissellement
- Modèle IA

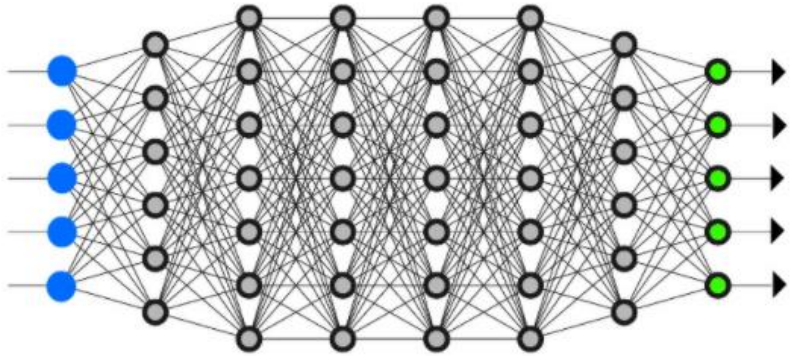
Outils & Scénarios

WaterSed
Érosion/ruissellement sur le BAC de Radicatel

+

Modèle IA = Réseau de neurones profond

WaterSed
Flux aux bétoires



Flux au captage AEP

[Chollet, 2015 ; Abadi et al., 2016]

N°1 : Actuel
Reprise calibration WaterSed ACB lézarde
+ ouvrages BD Castor 2018

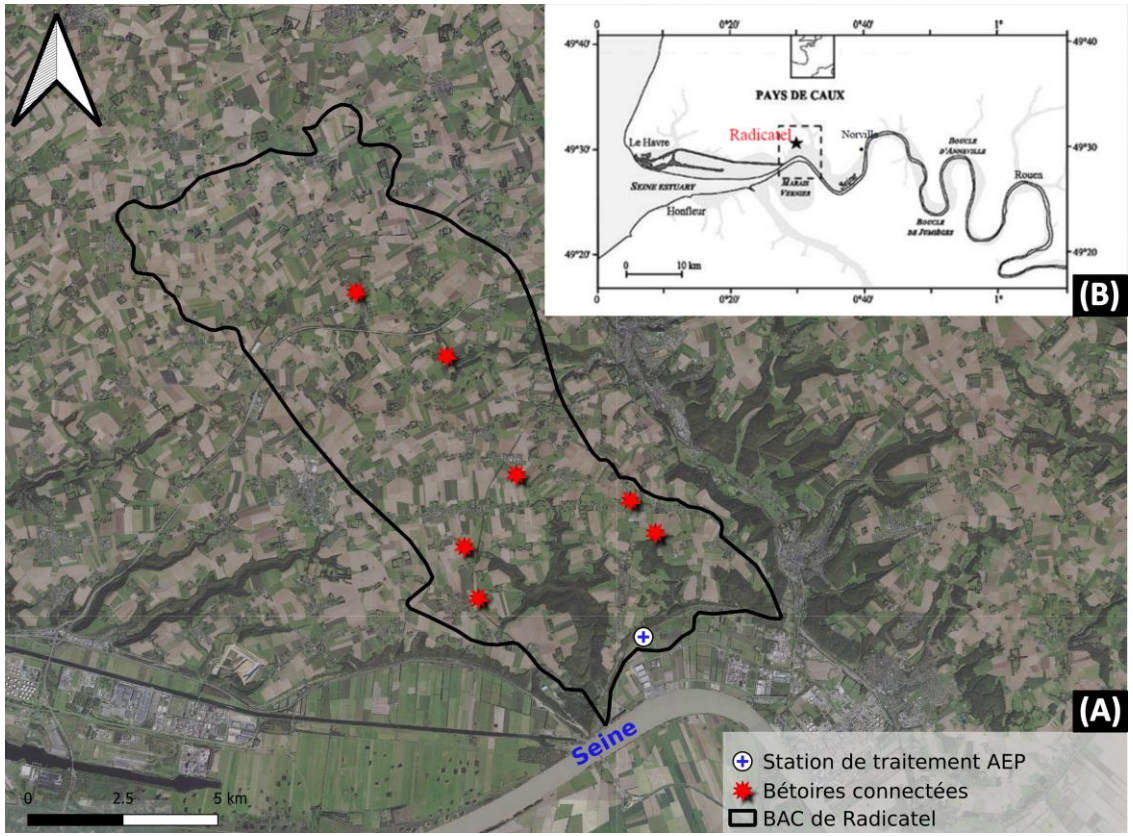
N°2 : Aménagement ambitieux
Expertise AREAS
181 fascines + 13,1 ha bandes enherbées

N°3 : Réduction Herbe
Conversion 33% des prairies en culture

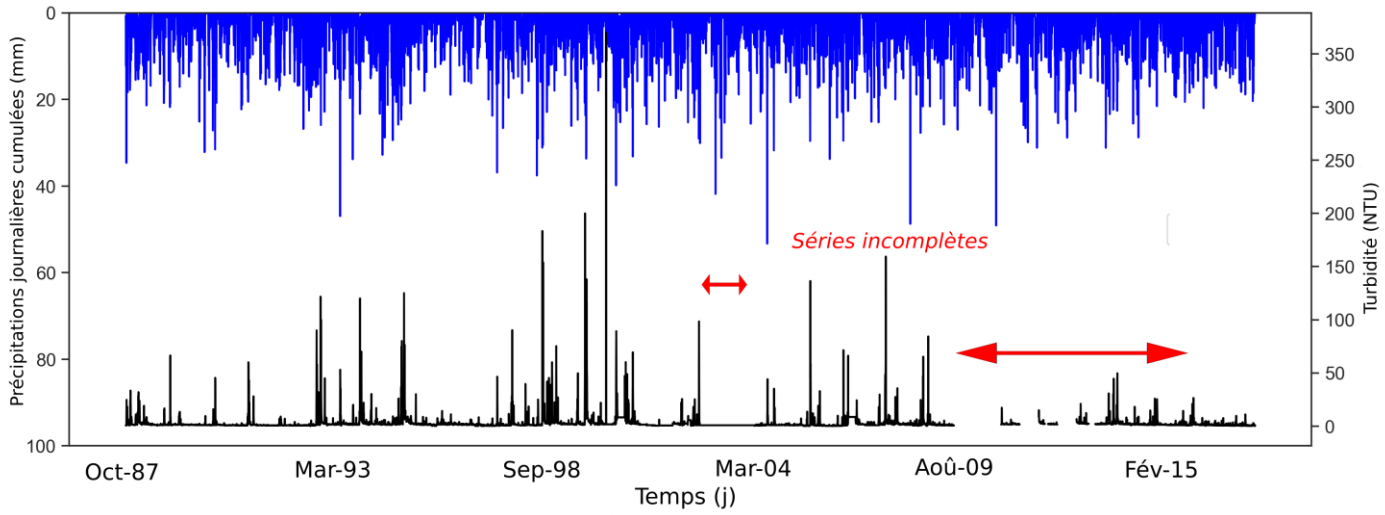
N°4 : Amélioration pratiques
Pratiques culturales favorisant infiltration
+15% infiltration → 50% parcelles

N°5 : Changement climatique
Scénarios RCP 4.5/8.5
Augmentation intensité pluies 2-5%

Site d'étude

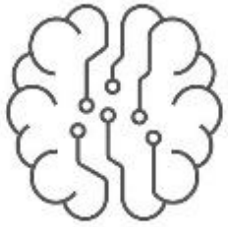


- Bassin d'Alimentation de Captage Radicatel (106 km²)
- Identification de 7 bétoires connectées (traçages positifs – SIGES)
- Précipitations: BD Safran (> 50 ans)
- Suivi de la turbidité à l'entrée de la station AEP (~30 ans)

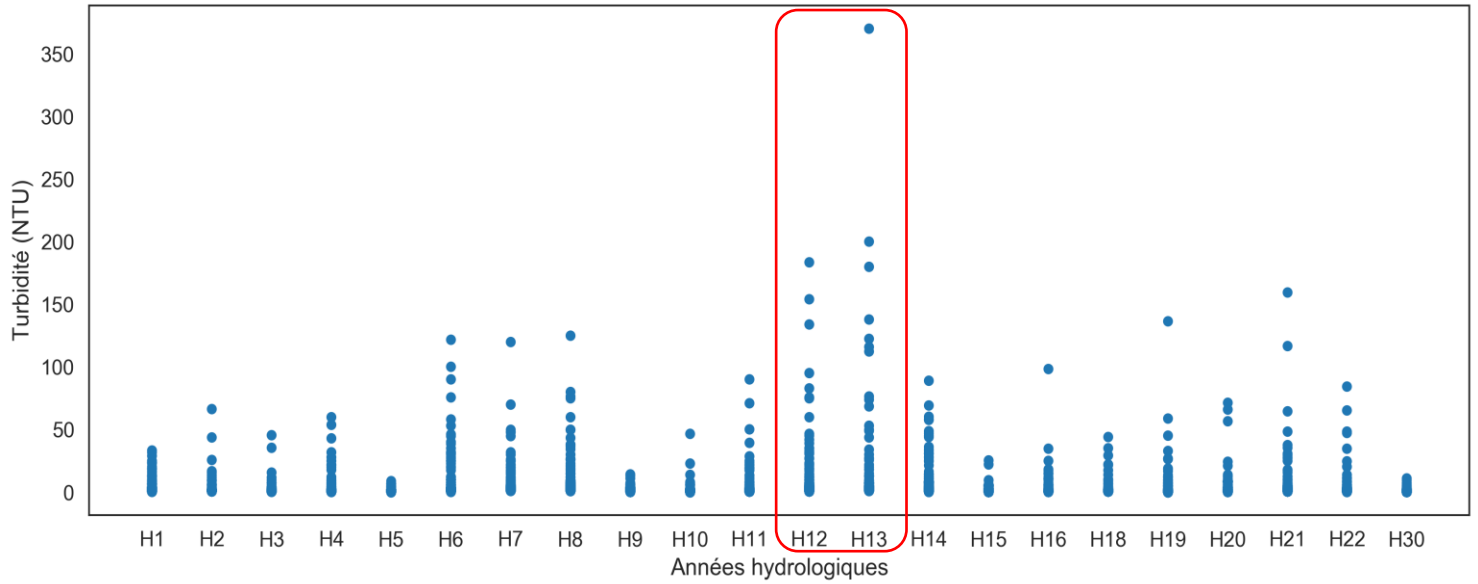


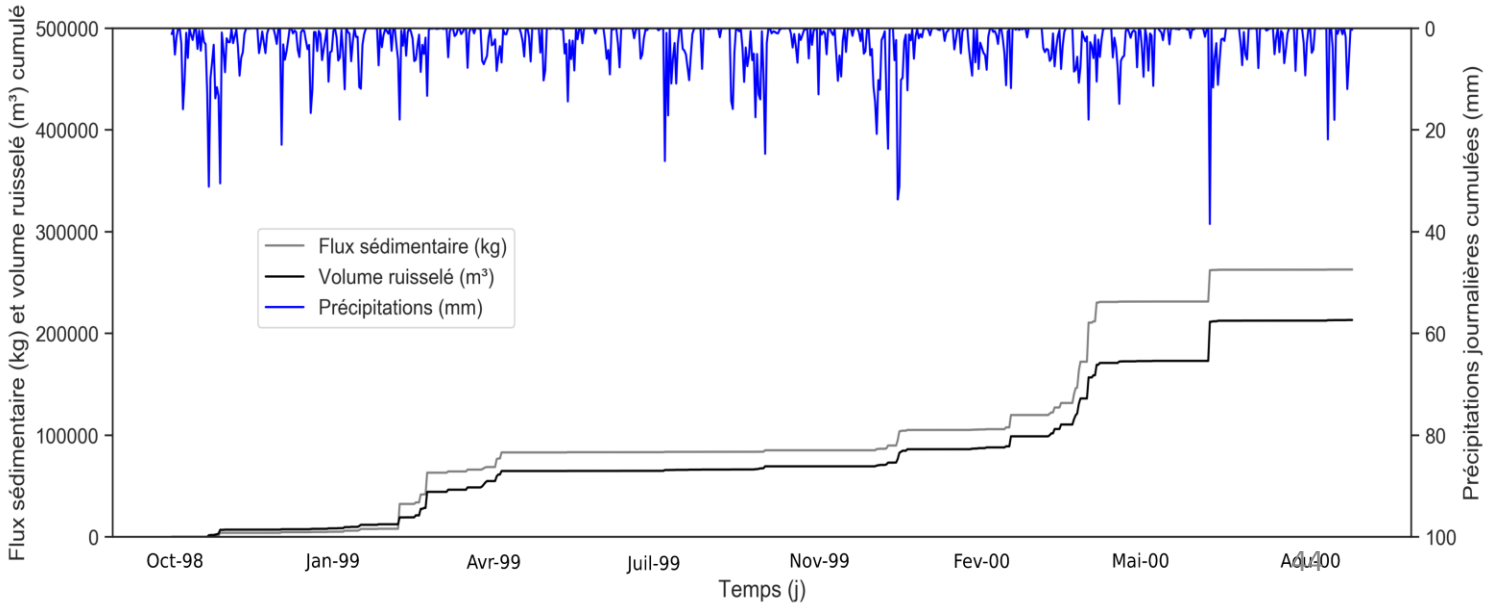
Phase d'apprentissage pour le modèle d'IA

- **OUTPUTS**
  - Chroniques de turbidité
  - Variabilité du signal = sélection des années hydro
  - Calcul des flux (débit pompage + concentration [Hanin, 2011])
  - Lag = 24h [Masséi et al., 2006]



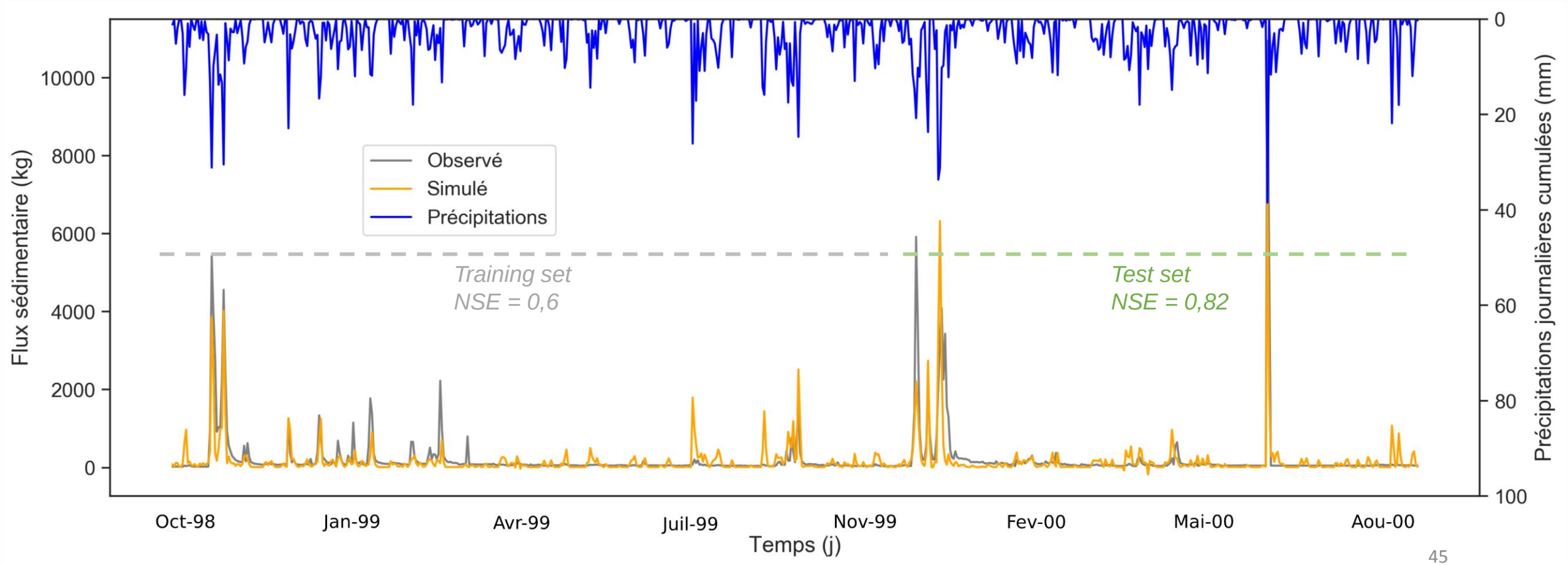
- **INPUTS** = Reconstruction historique du flux entrant aux bétoires connectées (WaterSed) + Précipitations





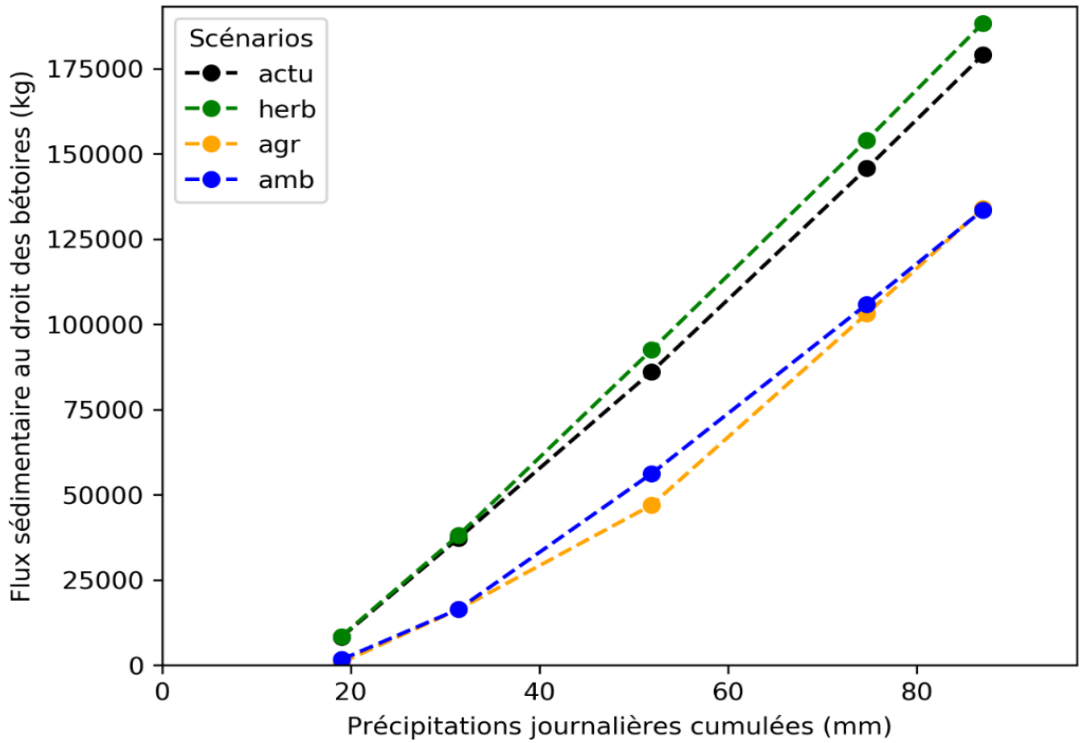
Calibration du modèle

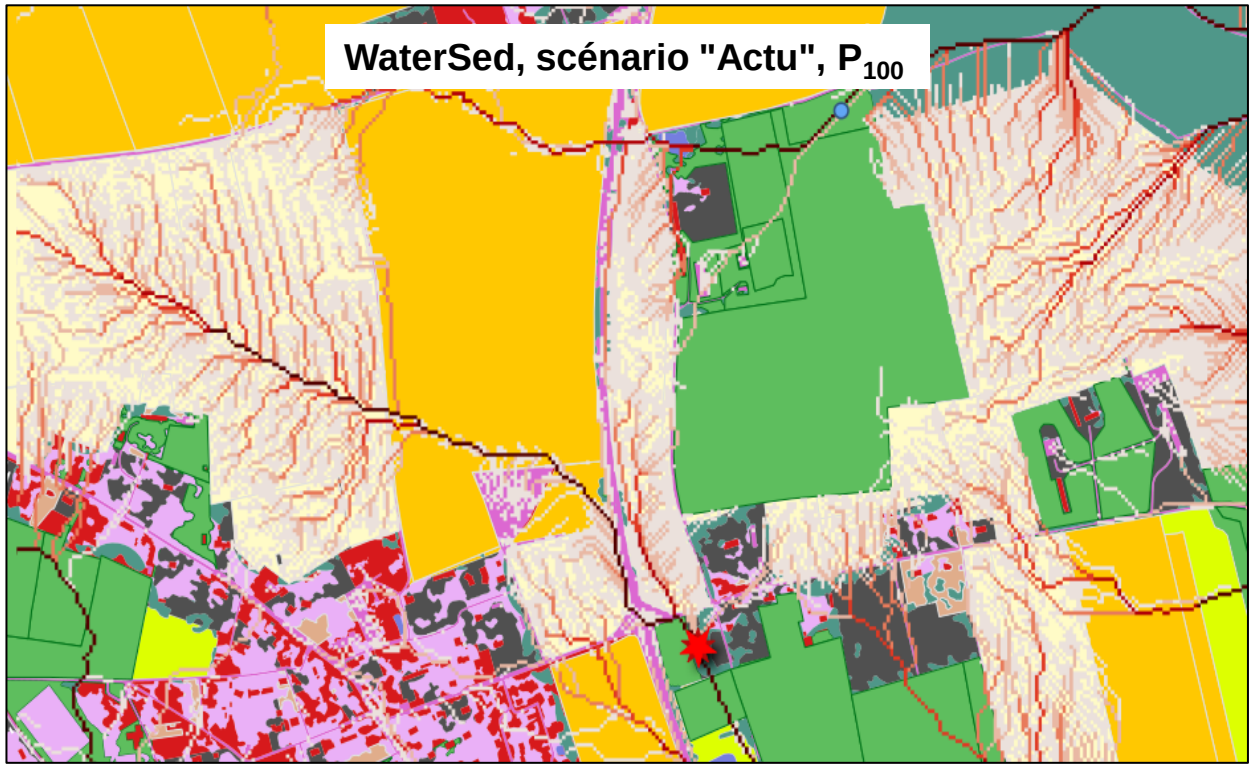
- Calibration du modèle Deep Learning : Procédure d'essais-erreurs
- Ajustement de l'architecture (réseau de neurones) jusqu'à un optimum



Modélisation des inputs pour les scénarios

- Flux sédimentaires au droit des bétoires connectées (WaterSed)

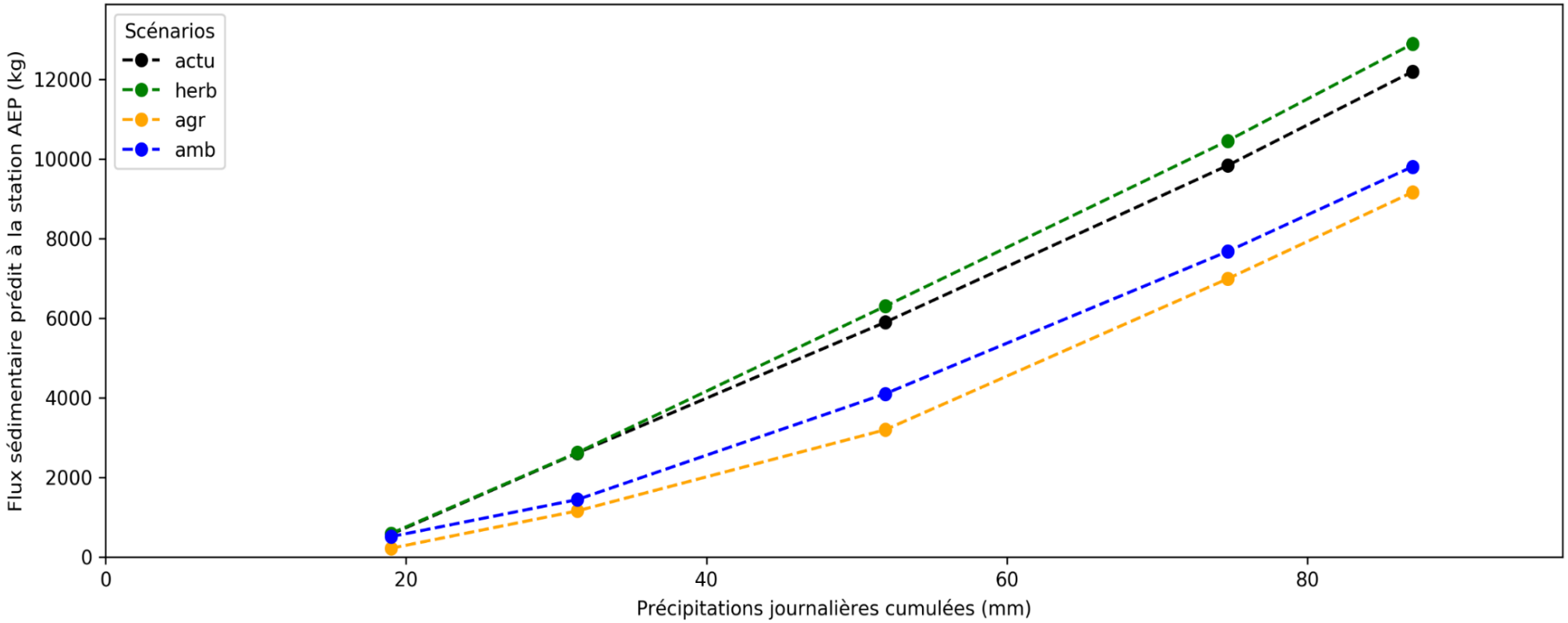




- Augmentation de +4,7% en moyenne en cas de retournement des prairies
- Diminution de -44% en moyenne pour le scénario d'aménagement ambitieux
- Diminution de -49% en moyenne pour le scénario amélioration des pratiques culturales

Modélisation des outputs pour les scénarios

- Flux sédimentaires à la station AEP de Radicatel (Deep Learning)

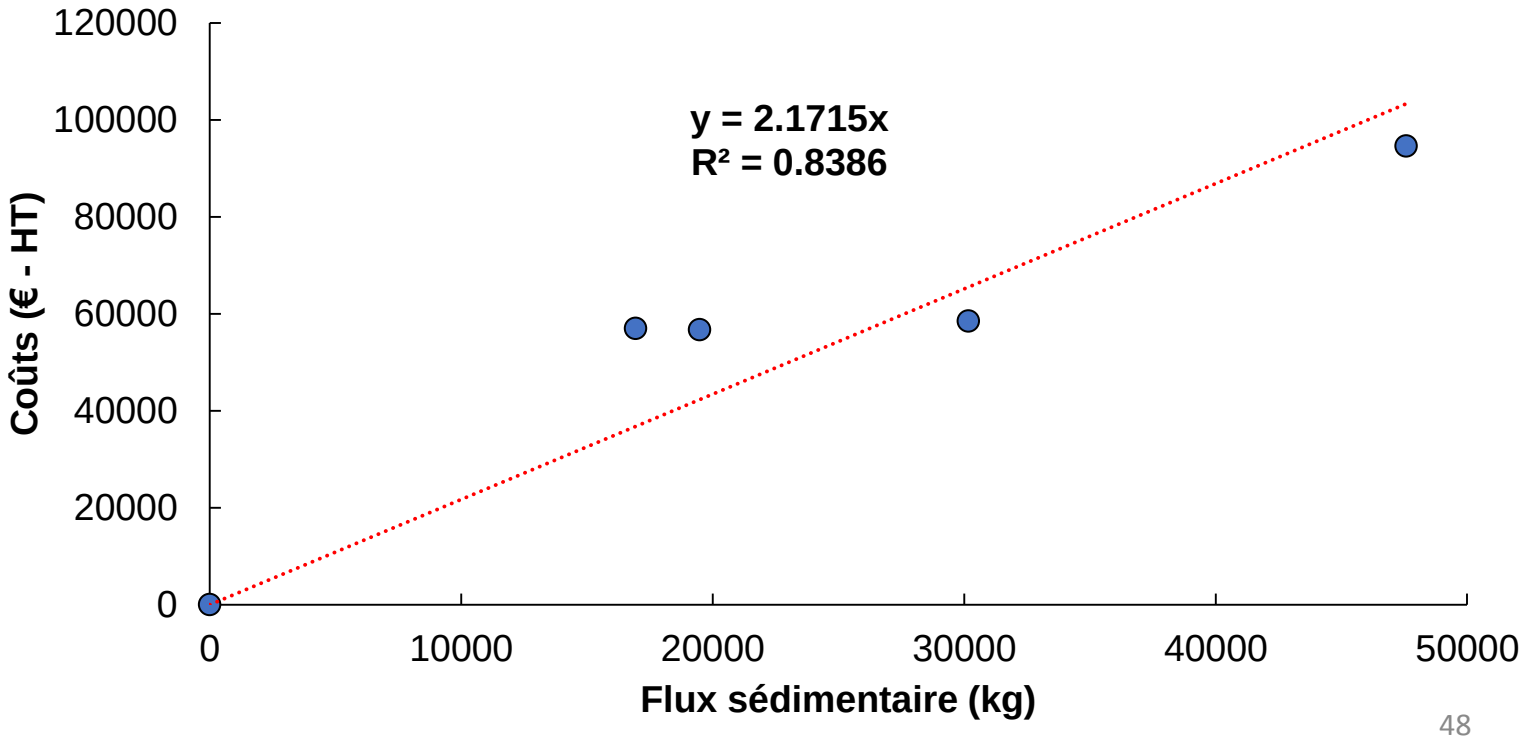


- Augmentation de +4,5% en moyenne en cas de retournement des prairies
- Diminution de -25% en moyenne pour le scénario d'aménagement ambitieux
- Diminution de -43% en moyenne pour le scénario amélioration des pratiques culturales

Fonction de coûts

- Entretiens avec la collectivité gestionnaire (LHSM)

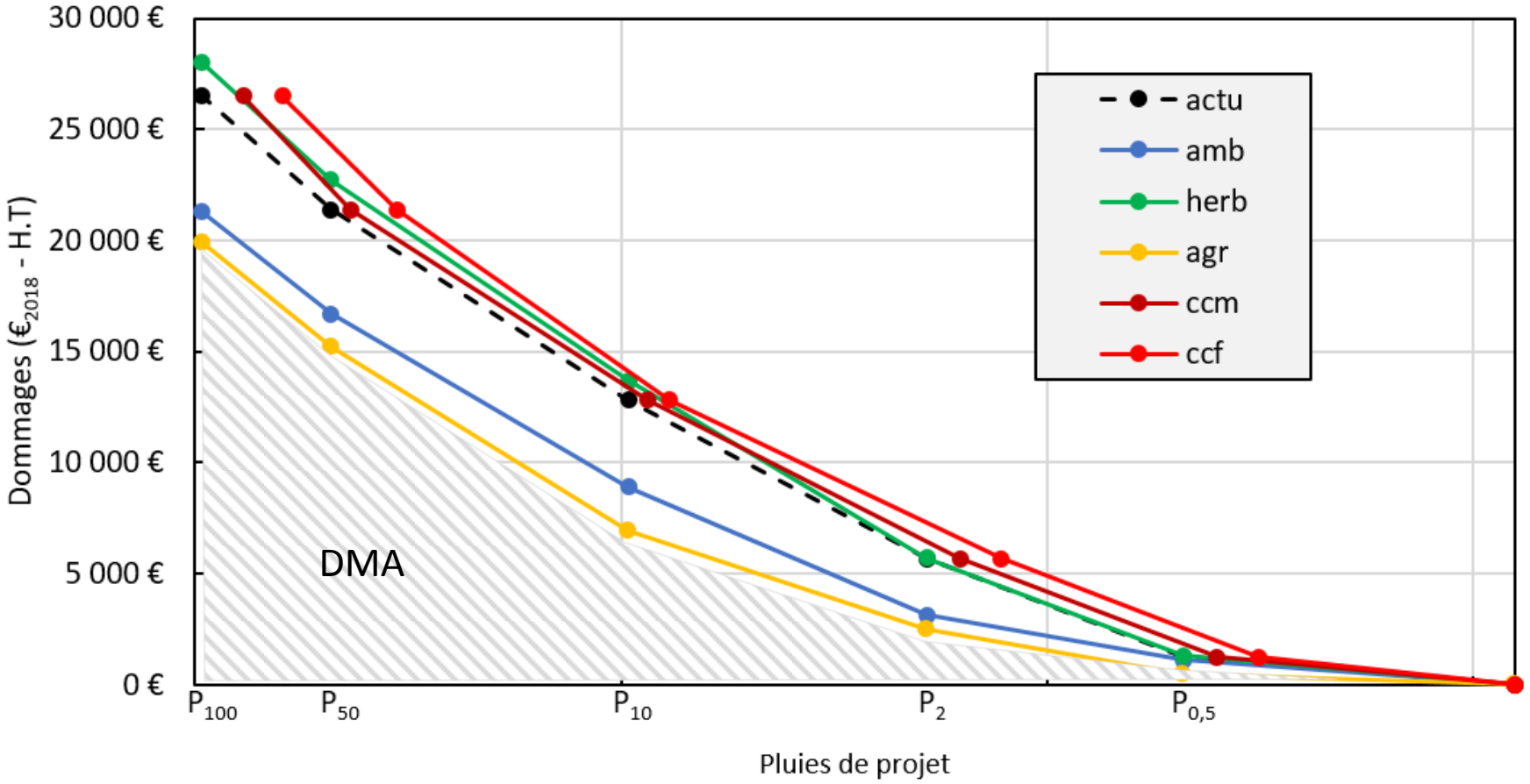
- Poste impactés par la turbidité
  - Diagnostic conso électrique
    - Pompe lavages; surpresseurs; ensemble traitement-coagulation; centrifugeuse
  - Injection de réactifs
  - Évacuation des boues
  - Renouvellement filtre



- Application fct° de coût aux résultats de modélisation

Courbes fréquences-dommages

- Montant des dommages par scénario et par pluie de projet

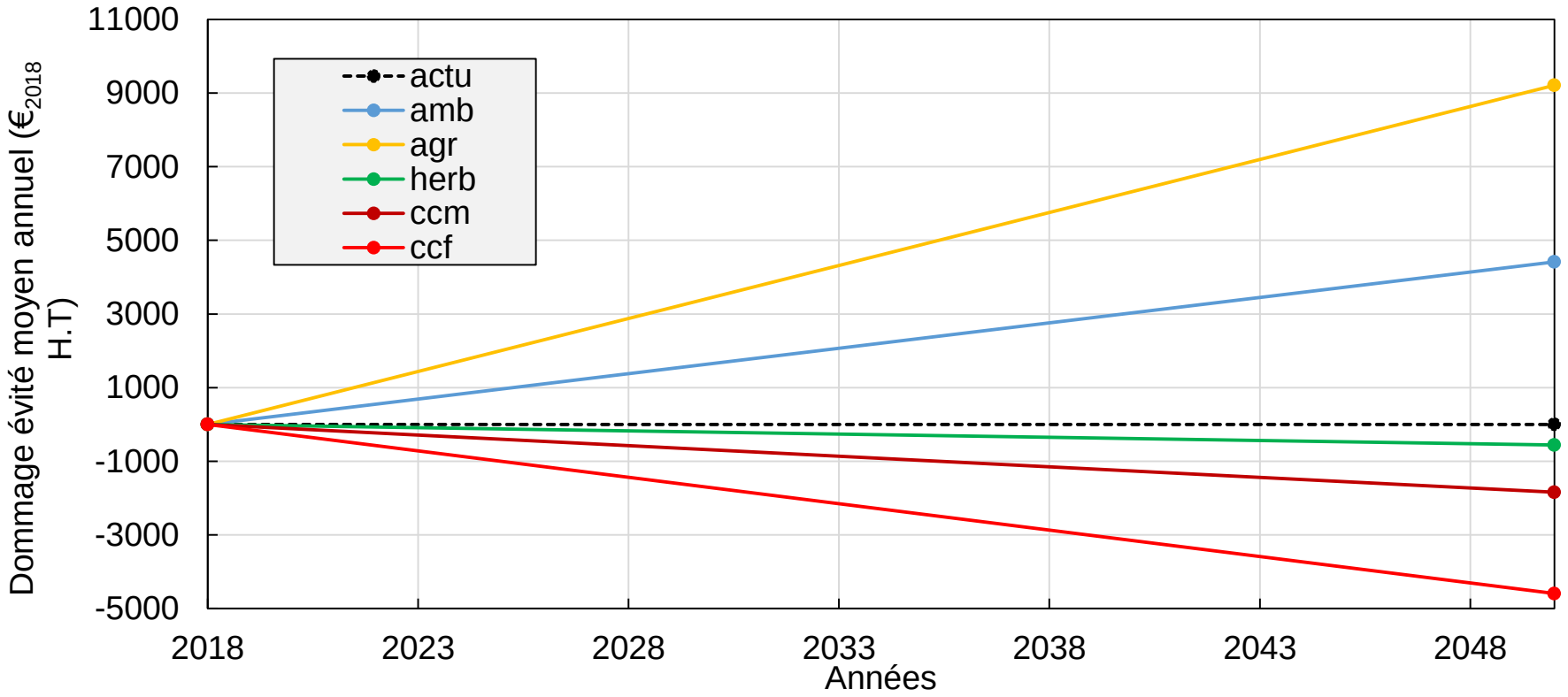


Dommage Moyen Annuel (k€ 2018 – H.T)
Actu = 17
Amb = 12,6 (-25%)
Agr = 7,8 (-54%)
Herb = 17,6 (+3%)
CCm = 18,9 (+10%)
CCf = 21,6 (+27%)

- Dommage moyen annuel (DMA) = Somme des aires de dommages produits pour les pluies de projet considérées

DEMA par scénarios

- Dommage évité moyen annuel (DEMA) = DMA_{actu} - $DMA_{scénario}$



- Agriculture de conservation : DEMA = 9k€/an
- Aménagement ambitieux : DEMA = 4,5k€/an
- Retournements des prairies : DEMA = -0,5k€/an
- Changement climatique : DEMA = -1,5 à -4,5k€/an

Conclusions

- Couplage WaterSed – IA = **lien entre transfert de surface et restitution au captage**
  - Pratiques culturales favorisant l'infiltration et aménagements d'hydraulique douce = impact significatif sur la réduction des flux sédimentaires (bétoires) et coûts de traitement associés
  - Réduction des surfaces en herbe -> pas d'impact significatif selon nos modélisations, mais quelle influence de la localisation des surfaces sur les résultats ? À creuser…

- Nouvel outil, puissant, open-source, mais :
  - Nécessite de longues chroniques de turbidité, et de qualité (pas d'interruption dans la chronique) -> **Encourager les gestionnaires à stocker ces données et avoir un contrôle qualité**
  - Architecture neuronale à adapter selon contexte hydrogéologique (*requiert expertise*), Quid de l'applicabilité du modèle sur d'autres BAC où peu de données sont disponibles…

- Évaluation de l'impact de l'aménagement sur les coûts de traitement, mais :
  - Fonction de coût à minima : difficulté à capitaliser la donnée, et à adapter selon méthode de traitement (propre à chaque captage)
  - Gestionnaires ont souvent une vision globale des coûts → **nécessité d'avoir une vision détaillée par postes**

3ème temps d'échange table ronde/salle

Thème: Analyse économique de l'impact de la turbidité sur le captage de Radicatel

Experts table ronde: L.Guézennec (AESN) ; E.Hauchard (LHSM) ; F.Artaud (SERPN)

- Vous pouvez utiliser le **chat à disposition** sur la **plate-forme Teams** pour poser vos questions en direct
- **L'animateur** se chargera de recenser les questions et interroger les intervenants
- Merci d'indiquer : **Nom, Prénom, Structure, avant votre question**

Enjeux autour des bétoires et outils disponibles pour les collectivités

Présentatrices :
Mariève Neveu & Delphine Julien
AESN – ARS Normandie

Enjeux autour des bétoires et outils disponibles pour les collectivités

Lutter contre le phénomène d'érosion-ruissellement pour la production d'eau potable :

Pourquoi, où et comment?

Mariève NEVEU
(AESN – chargée d'opération AEP – Protection ressource)

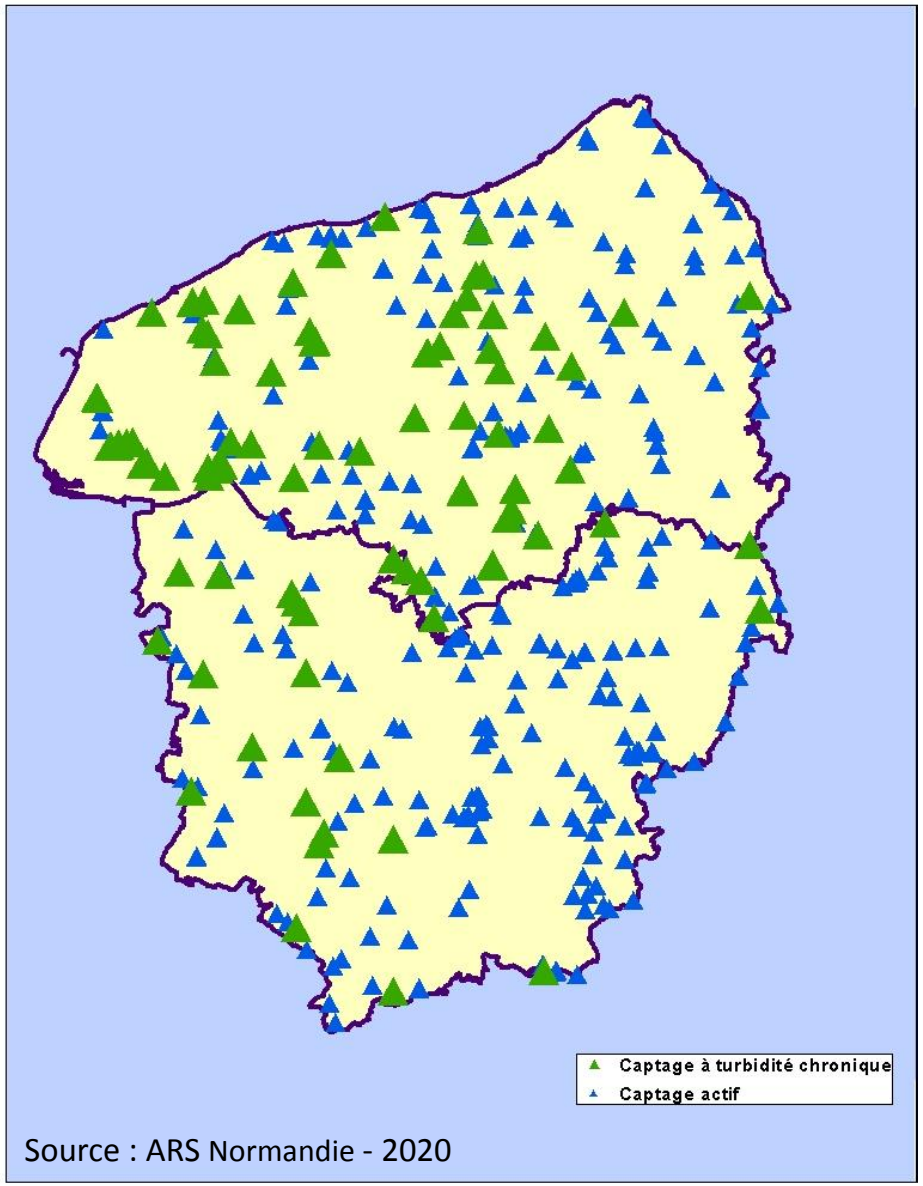
Delphine JULIEN
(ARS – UD27 – Responsable Eau Potable)

PLAN

- Etat des lieux sanitaire
- Identification des problématiques
- Les outils pour les collectivités compétentes en AEP

Etat des lieux sanitaire

Captages d'eau potable et turbidité : état des lieux



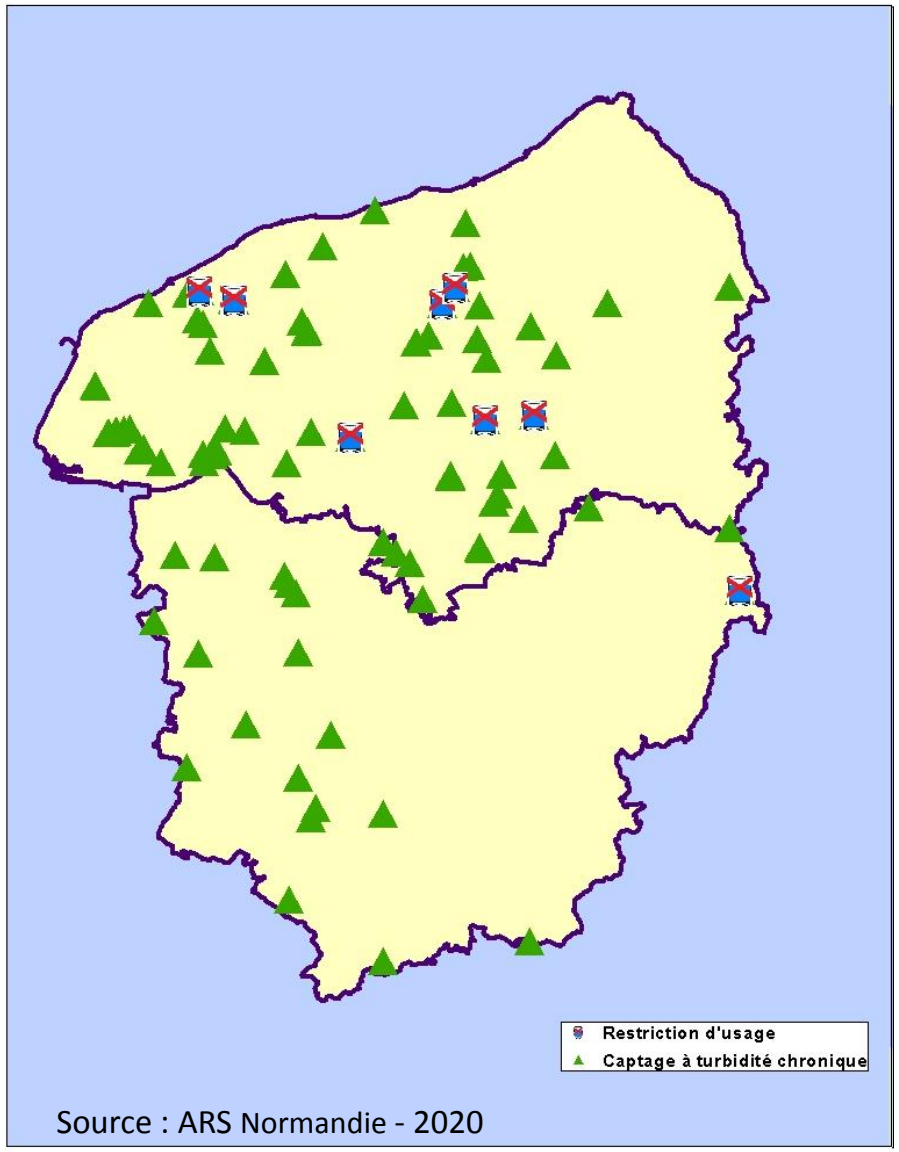
Source : ARS Normandie - 2020

Eure et Seine-Maritime

- Environ 460 captages

Dont plus d'une centaine présentant des problèmes chroniques de turbidité

Les solutions mises en œuvre pour garantir la qualité sanitaire de l'eau distribuée



Source : ARS Normandie - 2020

- 111 captages présentant des problèmes de turbidité

34 captages interconnectés

68 captages traités

9 captages sans solution : restriction d'usage

Les enjeux du traitement préventif de la turbidité

- Diminuer les apports de matières en suspension et de polluants associés (bactéries, nitrates, pesticides, hydrocarbures…)
  - quantité de réactifs
  - durée de vie des procédés de traitement

  ➔Impact sur le coût du traitement

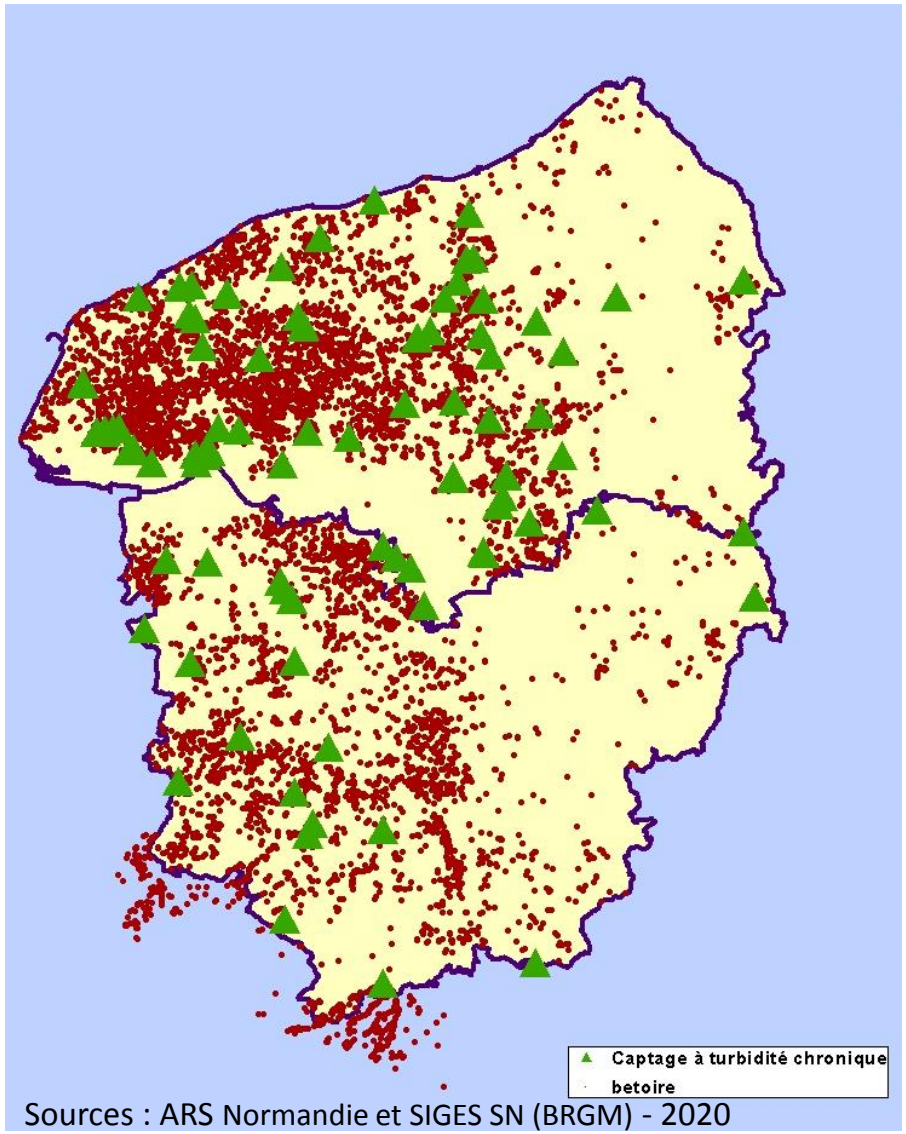
- Diminuer le risque de pollution ponctuelle ou accidentelle: arrivée massive d'un ou de plusieurs polluants
  - Impact sur le traitement
  - Nécessité de restriction des usages de l'eau

  ➔Impact sur la qualité sanitaire de l'eau distribuée

Identification des problématiques

Identification des captages avec enjeu turbidité

Sur notre territoire, qui dit « turbidité chronique »… dit souvent « bétoires » !



Sources : ARS Normandie et SIGES SN (BRGM) - 2020

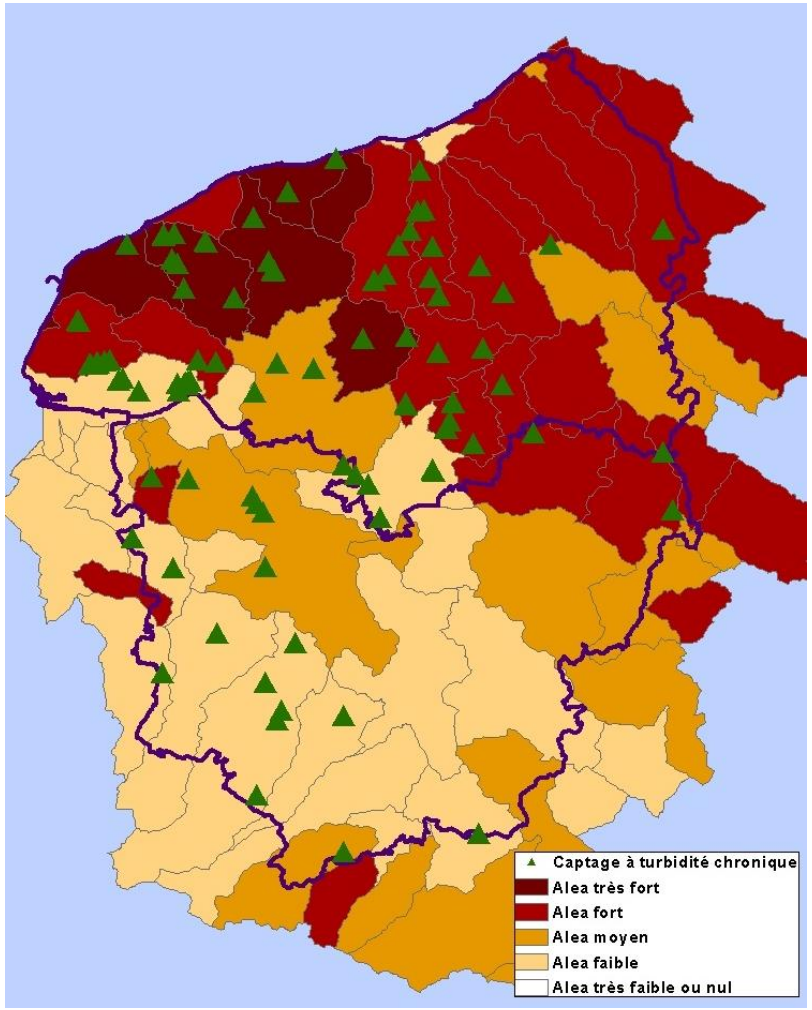
Plusieurs milliers de points d'infiltration (bétoires) identifiées sur le territoire haut-normand

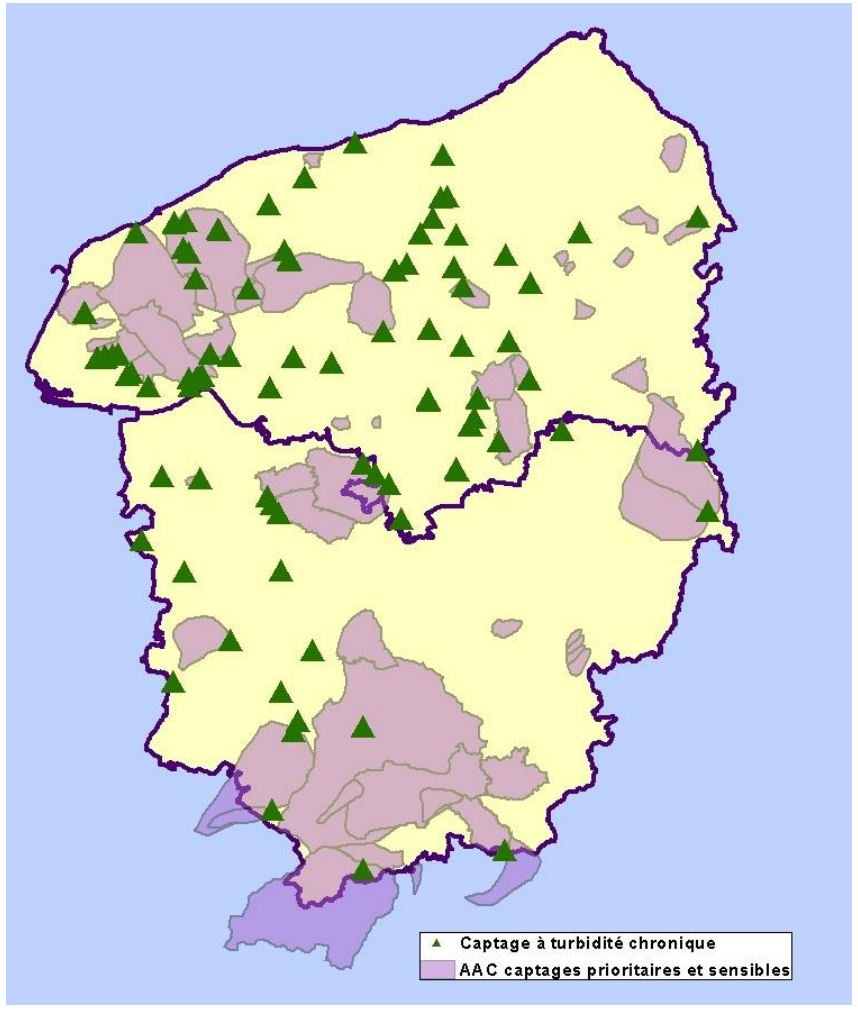
Des connexions entre bétoires et captages mises en évidence (traçages)

Mais cette turbidité est-elle forcément liée au phénomène d'érosion?

Identification des captages avec enjeux turbidité/pesticides liés au phénomène d'érosion

Superposition de l'aléa érosion avec les captages à épisodes turbides et les AAC sensibles et/ou prioritaires

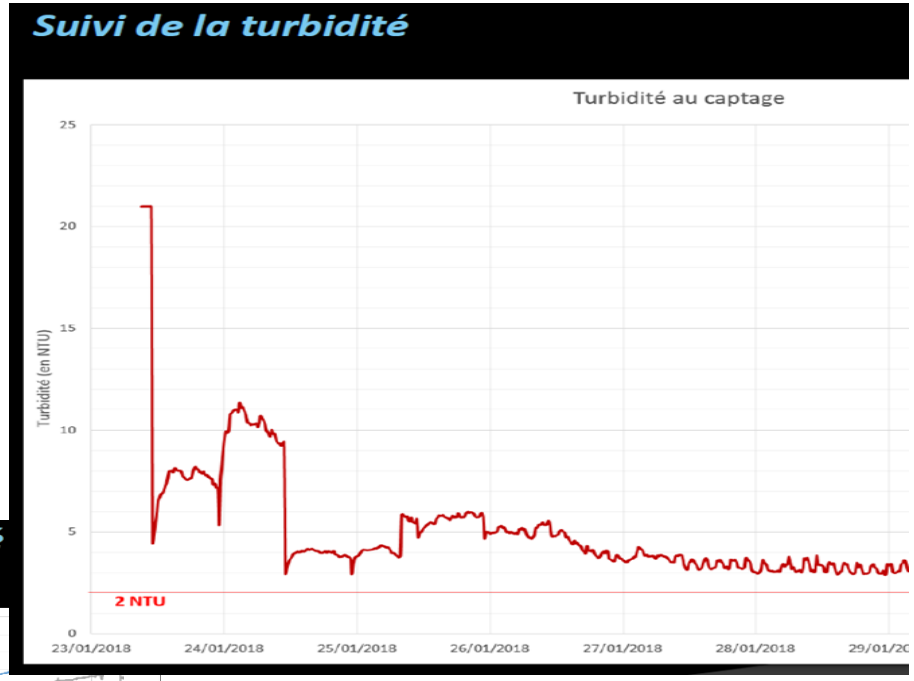


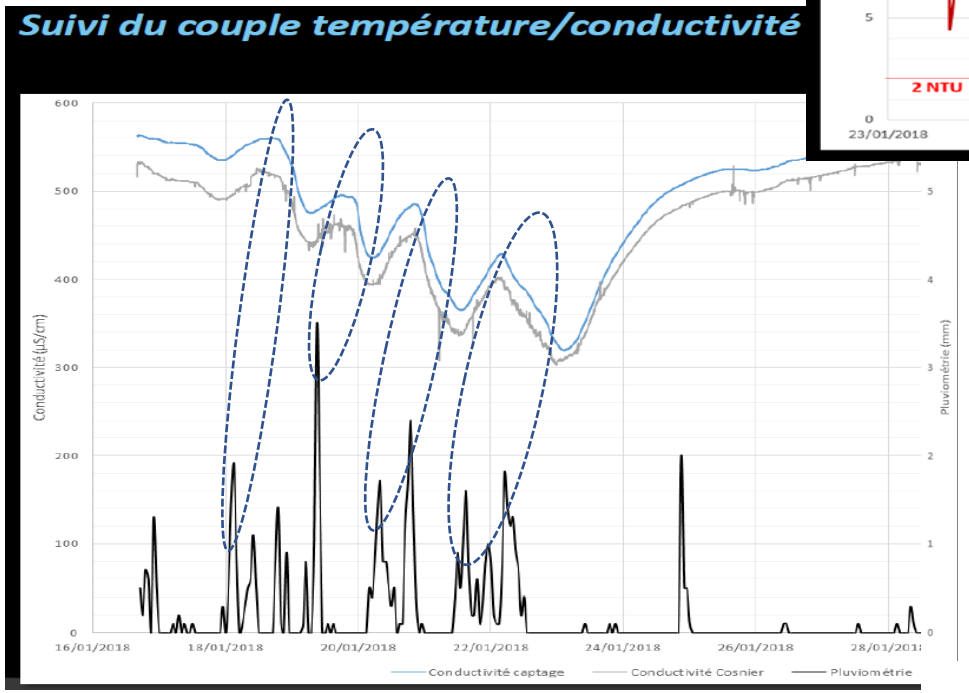


Sources : captages turbides / ARS Normandie – 2020, aléa érosion / SIGES SN (BRGM) – étude 2005, AAC / AESN - 2020

Identifier un problème ruissellement/érosion sur un captage

Captage karstique avec épisodes turbides et/ou fortes fluctuations de la conductivité





Source : rapport des essais de pompage sur le captage des Bruyères (BERNAY) – Explor-e 2018

Identification des captages avec enjeux turbidité/pesticides liés au phénomène d'érosion

La **nature des pesticides** que l'on retrouve **au captage** :

indicateur complémentaire de l'enjeu érosion-ruissellement sur l'AAC

Pas d'enjeu érosion / ruissellement	Avec enjeu ruissellement / érosion
Pesticides interdits (atrazine et dérivés) ou pesticides à profil plutôt « infiltration » : - dérivés de chlores (dimétachlore ESA/OXA/CGA, métazachlore ESA/OXA, acétochlore ESA/OXA, alachlore ESA/OXA…), - bentazone, - Néonicotinoïdes - …	Pesticides à transfert « ruissellement » : glyphosate/AMPA, chlortoluron, DFF Pesticides dont l'utilisation est corrélée à des épisodes de ruissellement/érosion : dimétachlore, métazachlore, propyzamide, napropamide, métaldéhyde, métamitrone, éthofumésate, sulcotrione… Pesticides « de surface » fongicides, insecticides hors néonicotinoïdes

Identification des captages avec enjeux turbidité/pesticides liés au phénomène d'érosion

Si on résume…

1. Contexte géologique karstique avec aléa érosion moyen à très fort
2. Présence d'épisodes de turbidité et de baisse de la conductivité au captage, en lien avec la pluviométrie
3. Présence de pics en somme des pesticides (en lien aussi avec la pluvio)
4. Présence de pesticides caractéristiques des cultures pratiquées sur l'AAC et d'un transfert rapide entre les ruissellements de surface et le captage

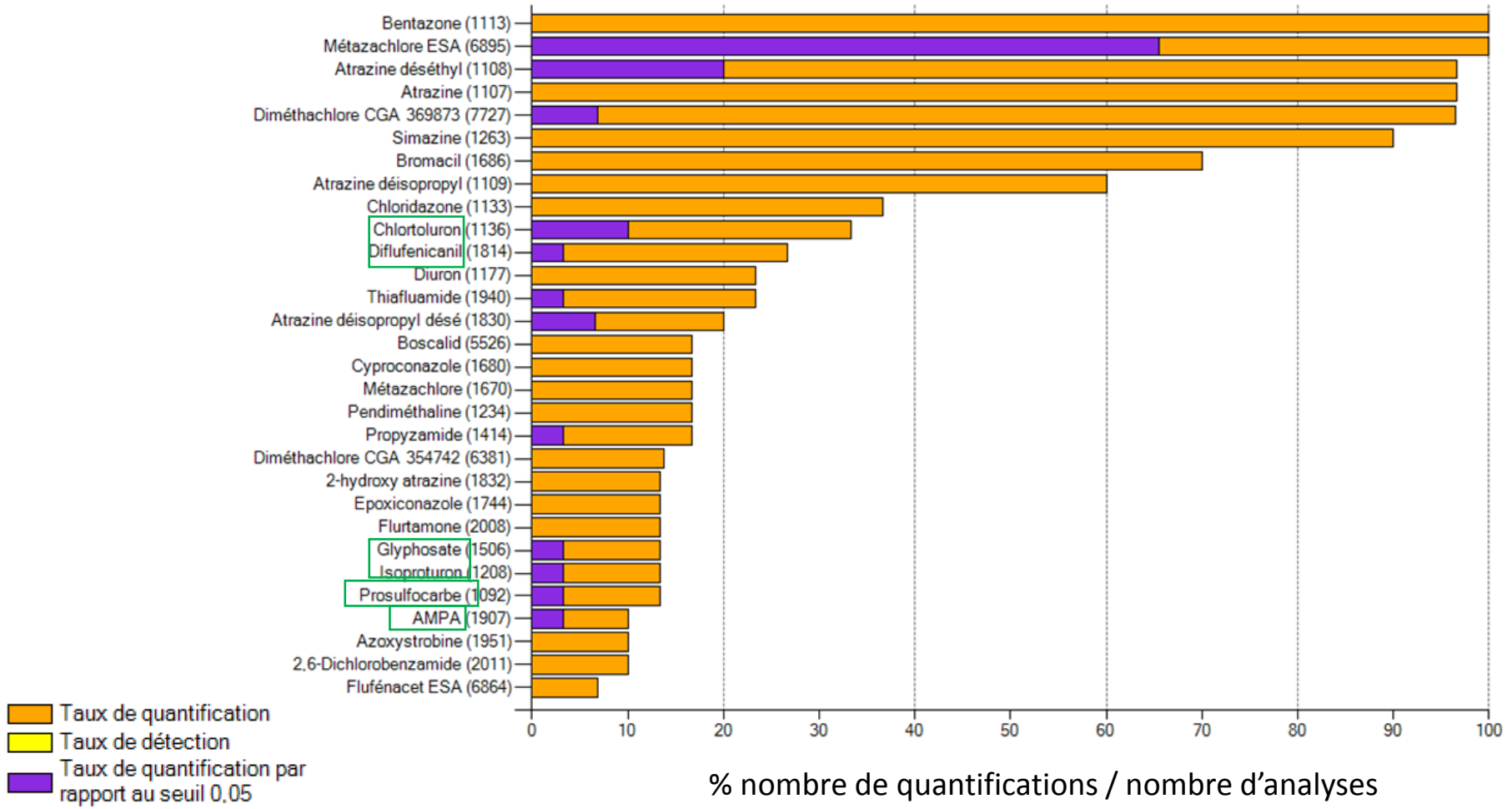
Si présence importante de drainage = possible origine majoritaire de la turbidité et des pesticides au captage (non liée au phénomène d'érosion)

Acquisition et analyse des données +
Connaissance occupation des sols sur l'AAC
= indispensables

Suivi en continu de la turbidité / conductivité au captage depuis 5 à 10 ans
Suivi renforcé de la qualité des eaux brutes (sur au moins 1 an, à raison de 9 à 12 analyses)
Connaissance cultures et drainage sur l'AAC

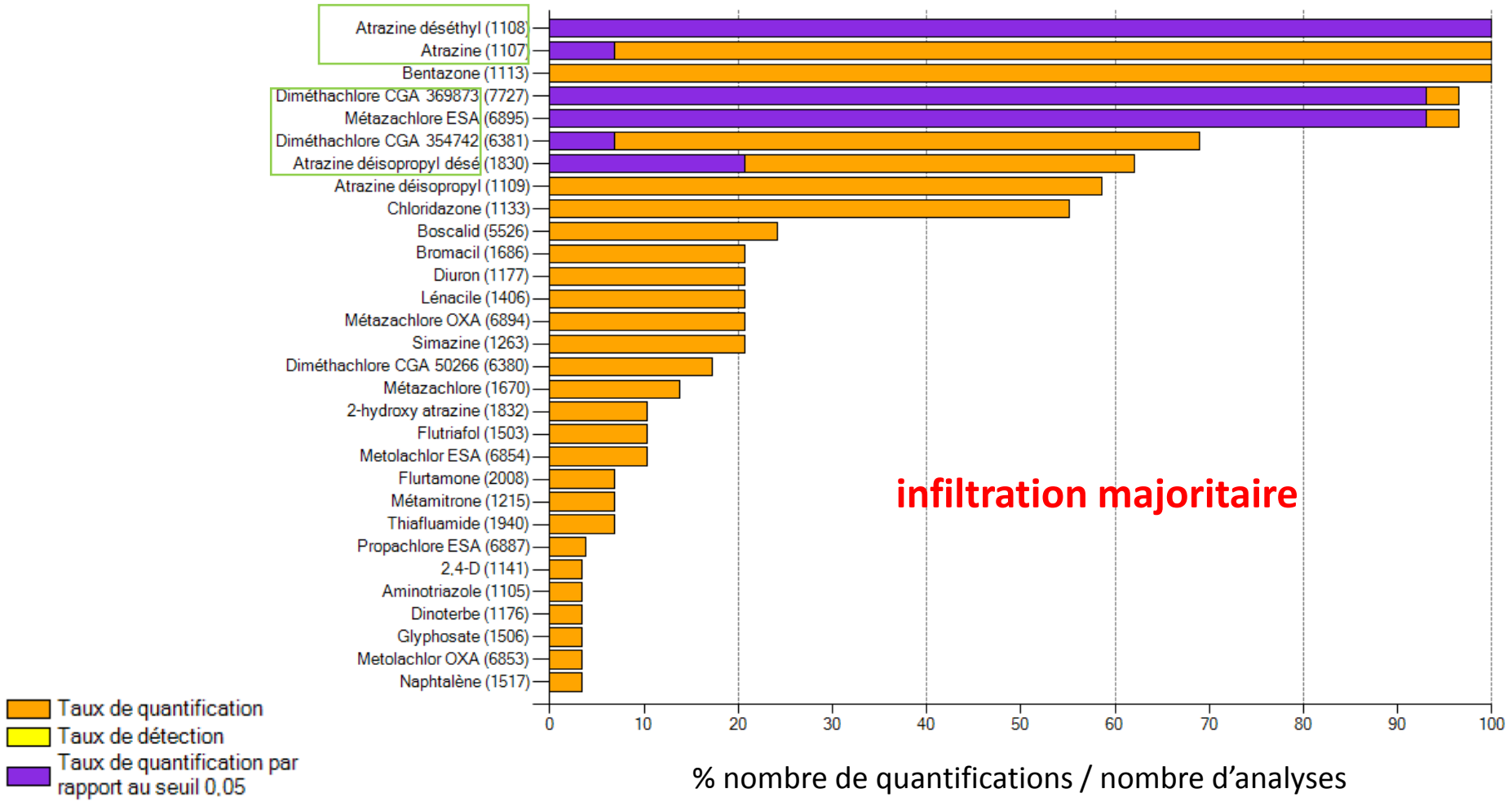
Identifier un problème ruissellement/érosion sur un captage

Exemple : suivi captage d'Yport 2017-2020



Identifier un problème ruissellement/érosion sur un captage

Exemple : suivi captage de Fauville 2017-2020



% nombre de quantifications / nombre d'analyses

Les outils pour les collectivités compétentes

La connaissance: un prérequis indispensable

- Bien connaître la qualité de son eau

HIER	➔ analyse précise des données historiques	DONNEES EXISTANTES
AUJOURD'HUI	➔ campagnes d'analyses complémentaires	A ACQUERIR
DEMAIN	➔ autosurveillance	A POURSUIVRE

- Bien connaître son territoire :

HIER	➔Connaissance de l'occupation des sols et activités à risques	DONNEES EXISTANTES
AUJOURD'HUI	➔Connaissance du fonctionnement hydraulique et hydrogéologique	A ACQUERIR
DEMAIN	➔Surveillance du territoire et des points critiques identifiés	A POURSUIVRE

Poursuivre l'acquisition des connaissances

Constats :

- Etudes (DUP, AAC, …) souvent insuffisantes pour définir:
  - Le fonctionnement hydraulique et hydrogéologique
  - Les points d'infiltration à risques
  - Les aménagements efficaces à mettre en œuvre
- Périmètres de protection actuels souvent très insuffisants pour lutter contre la problématique turbidité et les pollutions ponctuelles associées
- Travaux de protection mal définis ou inefficaces

Guide pour CCTP étude par BRGM, AREAS, ARS, AESN et CD27

et **projet de PRIorisation des Aménagements de Bétoires et Modélisation des Impacts sur la ressource en Eau potable (PRIAME)**

La protection réglementaire des captages

Obligatoire par DUP des périmètres de protection

Outil en contexte karstique : les périmètres de protection satellites

- **PPI satellites** : permettent l'acquisition des parcelles comportant les points d'infiltration et nécessaires à l'aménagement de ces points

- **PPR satellites** : permettent de réglementer les activités dans la zone correspondant au bassin versant d'une bétoire

➔ procédure DUP (initiale ou révision)

➔ procédure DUP complémentaire (spécifique pour les périmètres satellites)

Possibilités d'aides financières AESN

RAPPEL: Directive Cadre sur l'Eau (SDAGE 2022-2027 en cours de finalisation)

➔ Paramètres déclassant des points d'eau / masse d'eau :

- Pesticides
- Nitrates
- Autres paramètres « anthropiques » : OHV, BTEX, métaux…

// Phénomène d'érosion - ruissellement entraine l'arrachage des particules de sols, s'accompagnant d'un transfert de polluants dissous (pesticides et phosphore)

D'où une priorité d'actions de l'AESN de lutte contre l'érosion :

➔ sur les aires d'alimentation des captages (AAC) sensibles et/ou prioritaires avec problématique **turbidité et pesticides** (contexte karstique)

Possibilités d'aides financières AESN

Opérations	Pour captage avec double enjeu : turbidité et pesticides = captage sensibles et/ou prioritaires (pesticides)	Pour captage avec simple enjeu : turbidité
Suivi renforcé qualité eau brutes (sur 1 à 3 ans)	S 80% max	S 50 % max pour suivi d'1 an max (à raison de 9 à 12 analyses)
Mise en place d'analyseur en continu (ex turbidimètre / conductimètre…)	S 50% max	S 50% max
Etudes "erosion - ruissellement" : diagnostics hydraulique, hydrogéologique, hydrochimique; élaboration du programme d'aménagements à l'échelle des sous-bassins de l'AAC et des impluvium des zones d'engouffrement; suivi de l'impact des aménagements	S 80% max	S 80% max et uniquement si étude réalisée dans le cadre des études prélables DUP ou demandée dans une DUP comme travaux à réaliser (en vue d'une DUP complémentaire de définition de PPC satellites)
Animation protection de la ressource sur AAC sensibles ou prioritaires	S 80% max (0,5 ETP min par poste)	
Animation érosion ruissellement sur AAC sensibles ou prioritaires	S 50% max (0,5 ETP min par poste)	
Travaux d'aménagements* issus des études "érosion-ruissellement" à l'échelle de l'AAC	- aménagements d'hydraulique douce (HD) : S 80% max - aménagements d'hydraulique structurante (éligible que si en complément d'HD) : S 40% max	Uniquement si travaux prescrits dans une DUP : - aménagements d'hydraulique douce (HD) : S 80% max - aménagements d'hydraulique structurante (éligibles que si en complément d'HD) : S 40% max
Acquisition foncière ou ORE (Obligations Réelles Environnementales) sur les AAC	S 80% + A 20% si le projet répond bien à la stratégie foncière du maître d'ouvrage du captage dans le cadre de la protection de la ressource pour l'AEP	S 80% + A 20% si le projet répond bien à la stratégie foncière du maître d'ouvrage du captage dans le cadre de la protection de la ressource pour l'AEP
Mise en place de PSE (Paiement pour Services Environnementaux) agricoles	- études et accompagnement : S 80% max - PSE : jusqu'à 100%	

* : certains aménagements sont soumis aux règles communautaires (PAC) et donc à des taux de subvention différents

Présentation du projet PRIAME

PRIorisation des Aménagements de Bétoires et Modélisation des Impacts sur la ressource en Eau potable

Présentateurs :
Matthieu Fournier & Pierre-Yann David
Université de Rouen - BRGM

CONSTAT

- Turbidité = première cause de restriction d'usage de l'eau potable en 27-76

- Absence de stratégie de priorisation des aménagements de bétoires pour orienter les programmes d'action de protection de la ressource en eau

- Définition des zones prioritaires et stratégie d'action par BET avec analyses cartographiques multicritères indépendamment des transferts hydrosédimentaires

- Projet EVAPORE ➔ pertinence des outils de modélisation des transferts hydrosédimentaires superficiels au droit des bétoires et aux captages

OBJECTIFS

Mise en place d'une méthodologie de priorisation des aménagements de bétoires

déployer et affiner la méthode de modélisation couplée sur des captages prioritaires pour :

1) simuler la turbidité apportée par les bétoires à ces captages prioritaires, puis

2) prévoir l'impact d'un programme d'aménagement de bétoires et de modification des pratiques agricoles et CC sur la turbidité des eaux pompées.

METHODOLOGIE

Modélisation WaterSed + extraction des flux hydrosédimentaires au droit des bétoires

Développement/Calibration/Validation du réseau de neurone profond pour modéliser la turbidité aux captages selon différentes pluies de projet

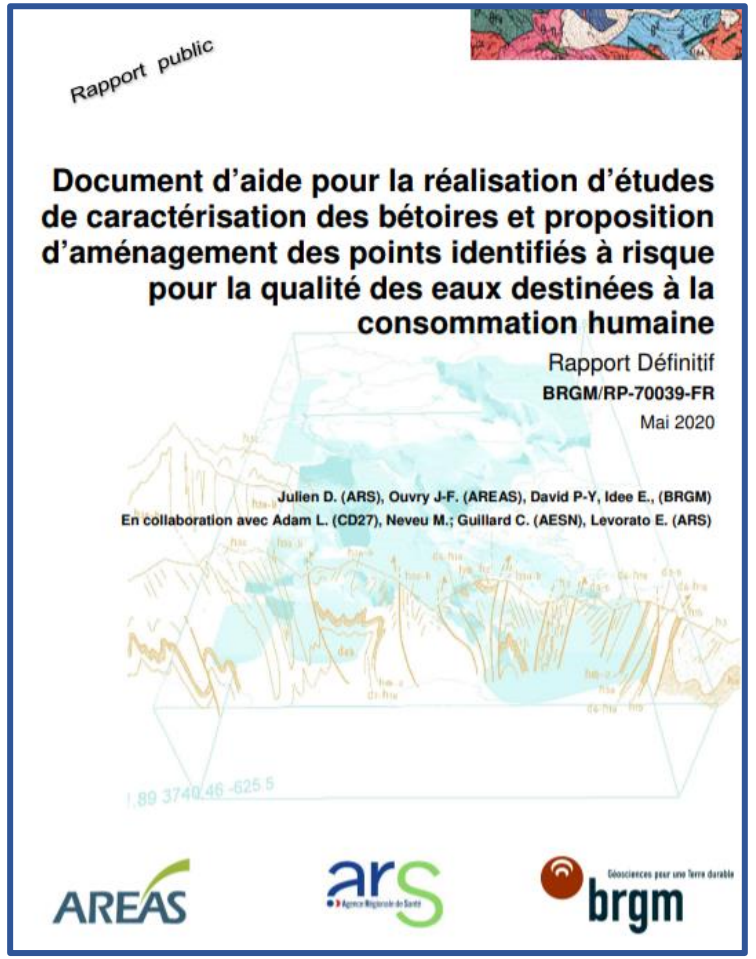
Modélisation WaterSed selon les hypothèses d'aménagements de bétoires

Modélisation de la turbidité au captage selon les pluies de projet ($P_{0.5\text{-}1\text{-}2\text{-}10\text{-}50\text{-}100}$) et les hypothèses d'aménagements de bétoires et modification des pratiques agricoles par le réseau de neurones profond

Proposition de priorisation des actions sur les BAC selon les coûts-enjeux-résultats modèles

En parallèle, une troisième action serait réalisée par un bureau d'études encadré par l'université de Rouen, le BRGM et l'AREAS :

- **Moyen mis en œuvre** : déploiement sur un des captages AEP faisant l'objet des modélisations couplées, l'étude de protection des captages vis-à-vis de la turbidité (telle que décrite dans le rapport BRGM/RP-70039-FR)
- **Rendus attendus :**
  - Un livrable de cette action serait une mise à jour et une adaptation de ce « document d'aide » à l'attention des maitres d'ouvrage, après retour d'expérience sur le captage testé.
  - Ce document pourrait servir ensuite de référence pour le lancement des études de caractérisation des bétoires et proposition d'aménagement des points identifiés à risque pour la qualité des eaux destinées à la consommation humaine pour toute la Normandie crayeuse.



4ème temps d'échange table ronde/salle

Thème: Enjeux autour des bétoires, outils disponibles pour les collectivités, projet PRIAME

Experts table ronde: L.Guézennec (AESN) ; F. Artaud (SERPN)

- Vous pouvez utiliser le **chat à disposition** sur la **plate-forme Teams** pour poser vos questions en direct
- **L'animateur** se chargera de recenser les questions et interroger les intervenants
- Merci d'indiquer : **Nom, Prénom, Structure, avant votre question**

Conclusion du colloque

Présentateur :
Matthieu Fournier
Université de Rouen

Conclusion partie 1 : BILAN ECONOMIQUE DU RUISSELLEMENT

OBJECTIF

Chiffrer les coûts des politiques publiques de lutte contre les ruissellements (surface+AEP)

RESULTATS

+ de 240 M€ de dommages de 1998 à 2016

300 à 400 M€ d'investissements publics de 2000 à 2017

Dommages et investissements plus importants en Seine-Maritime

Conclusion partie 2 : ANALYSE COÛT-BENEFICE BV LEZARDE

OBJECTIF

Modéliser l'aléa inondation / coulées boueuses et débordement de cours d'eau pour différents évènements et scénarios afin d'alimenter l'analyse coût-bénéfice

RESULTATS

Dommages aux établissements économiques = + de 70% du montant total des dommages

Réduction des surfaces en herbe (-33% en 2050) = augmentation dommages de 0,4 M€/an

Pratiques en faveur de l'infiltration (+15% sur 50% des surfaces cultivées actuelles) = diminution dommages de 0,3 M€/an

CC renforce les bénéfices des ouvrages structurants et les dommages résiduels par augmentation des évènements

Conclusion partie 3 : ANALYSE ECONOMIQUE TURBIDITE RADICATEL

OBJECTIF

modéliser les flux sédimentaires au captage pour différents évènements et scénarios afin d'analyser les coûts économiques des traitements économique pour l'AEP

RESULTATS

Pratiques agricoles favorisant l'infiltration➔ réduction significative des flux au droit des bétoires + réduction des coûts de traitement

Aménagement ambitieux ➔ réduction des coûts notable, mais plus faible

Réchauffement climatique ➔ augmentation de 10 à 26% du dommage moyen annuel

Retournement prairies ➔ augmentation du dommage moyen annuel non significative du fait du peu de prairies restantes

Synthèse des scénarios

ouvrages structurants (barrages, bassins)

➔ réduction des dommages 2 fois supérieurs aux coûts de leur investissement et d'entretien

changement climatique (à occupation du sol constante)

➔ Renforcement de l'efficacité des ouvrages actuels, mais augmentation du coût moyen annuel des dommages

➔ Augmentation des flux sédimentaires et des coûts de traitement AEP (+10 à +26%)

réduction d'un tiers des surfaces en herbe par rapport à aujourd'hui :

➔ Augmentation des dommages liés aux inondations de + 400 k$€_{2000}$/an (ACB Lézarde)

➔ Augmentation de +30% des flux sédimentaires à l'échelle du BV (Modèle ruissellement/érosion Lézarde)

➔ Faible augmentation du transfert de sédiments à travers le karst, et donc des coûts de traitement (+3%) à Radicatel (effet de position et du peu de prairies restantes)

Synthèse des scénarios

hydraulique douce (programme ambitieux) :

- ➔ Pas d'effet sur les inondations de bâti (ce n'est pas le rôle de l'hydraulique douce)
- ➔ Diminution de 20% des transferts de sédiments (BV Lézarde)
- ➔ Forte efficacité sur la protection rapprochée des ouvrages structurants et bétoires
- ➔ Peu d'effet sur la réduction des coûts associés au dépôts de sédiments (routes, ouvrages...), mais manque de données

pratiques agricoles limitant le ruissellement (+15% de capacité d'infiltration sur 50% des surfaces actuellement en culture) :

- ➔ Diminution des dommages liés aux inondations de - 250 k€$_{2000}$/an
- ➔ Diminution de 50% des flux sédimentaires à l'échelle du BV
- ➔ Réduction du transfert de sédiments dans les bétoires et des coûts de traitement associés (-43%)

Perspectives

EVAPORE = démonstrateur méthodologique simulant l'impact des actions terrain sur le ruissellement et la turbidité aux captages

Pratiques agricoles = levier d'action le plus efficace pour réduire ruissellement et érosion

➔ Reposent fortement sur les agriculteurs soumis par ailleurs à de multiples pressions

➔ Nécessité d'accompagnement et d'animation pour l'adoption de pratiques et systèmes agricoles favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol et génératrice des revenus ;

➔ Politiques favorisant les actions de communication, de formation, l'accompagnement financier par la création de débouchés valorisant les produits agricoles de ces systèmes.

PRIAME = méthodologie de priorisation des aménagements de bétoires pour BAC prioritaire

Les partenaires du projet sont à votre écoute pour utiliser la méthodologie sur vos territoires

Colloque de restitution des résultats du programme de recherche EVAPORE

Merci à toutes et à tous pour votre participation

Rapport complet de ce programme de recherche : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02958904v1

Vendredi 6 novembre 2020 9h-13h

e-colloque