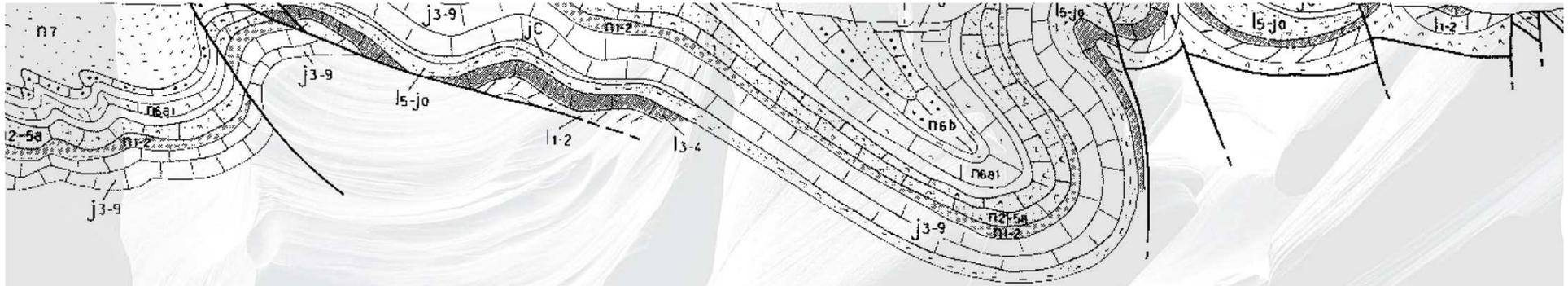




# Aménagement des bétoires en Haute-Normandie Etat de l'art et préconisations



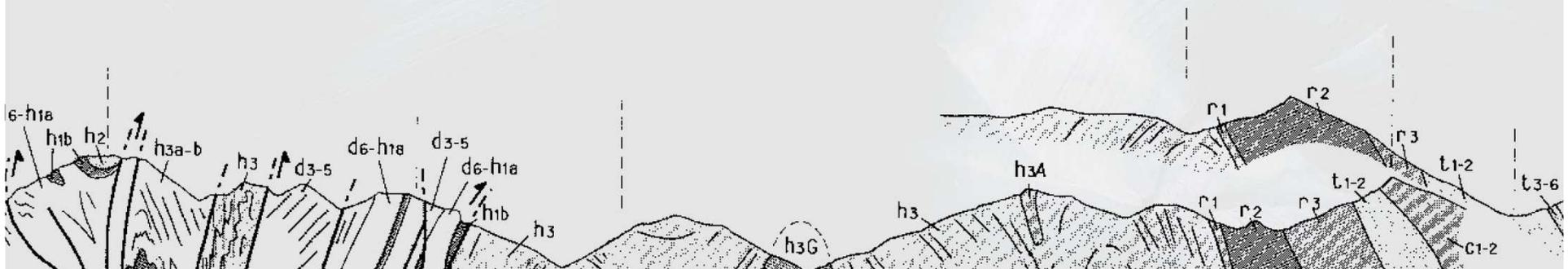


# Aménagement des béttoires en Haute-Normandie

## Etat de l'art et préconisations

Rapport RP-58795-FR

Téléchargeable sur [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr) >> publication >> rapports publics



## Plan de la présentation

- > **Éléments de contexte**
- > **Les techniques des traitements envisageables**
- > **Retours d'expérience**
- > **Choix d'aménagement selon la situation, le contexte de la bétairie**
- > **Etudes préalables**
- > **Réglementations - Recommandations concernant les dossiers « Lois sur l'Eau » d'aménagement de bétaireries**

# Eléments de contexte

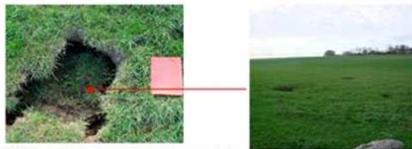
## > Qu'est ce qu'une bétoire?

- Point naturel d'engouffrement rapide des eaux de surface vers les eaux souterraines

## > Typologie des bétoires

### Pertes ponctuelle

**Pertes ponctuelles :** doline de faible profondeur et faible diamètre ou simple orifice pluricentimétriques à la surface du sol



**toire n°10129 :** bétoire fraîchement ouverte – mottes d'herbes effondrées encore visibles dans la toire (observation BRGM du 26/11/2009)



2 bétoires nouvellement formées dans l'axe d'un talweg dans le secteur de Fontaine-le-Dun le lendemain de fortes précipitations (observation BRGM de janvier 2009)



Orifice d'une bétoire située dans la fosse creusé dans le fond d'un Talweg – vue sur une bouteille de soda se dirigeant vers l'orifice

Bétoires observées le lendemain de fortes précipitations (Secteur Fontaine-le-Dun - janvier 2009)

### Dolines bétoires

**Doline bétoire :** doline prononcée (diamètre et profondeur importants) faisant apparaître en son fond des orifices centimétriques engouffrant les eaux



**line Bétoire n°10079 :** effondrement du 04/11/2009 au lieu d'une route à Saint-Jouin de Bruneval – diamètre de dix mètres (observation BRGM du 11/2009) – Bétoire recevant les eaux des talwegs inondés à mont

**Doline bétoire n°10867 :** doline bétoire de grande dimension ; profondeur 6m et diamètre de 10m environ (observation BRGM du 27/11/2009)



**line bétoire n°8098 :** observation de ravissements et de ruissellements s'engouffrant dans la bétoire (observation BRGM du 27/11/2009)

### Dolines coalescentes

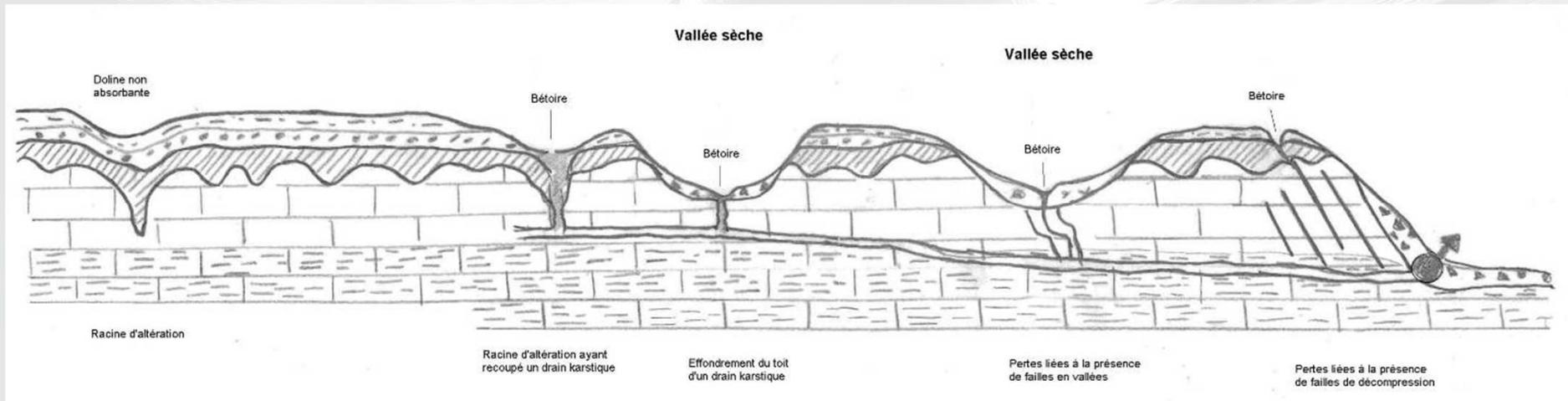
**Dolines coalescentes :** forme ovale dont la plus grande dimension est dans le sens du talweg



**Bétoire n°14257 :** bétoires coalescentes dans un talweg de la commune d'Yport (observation BRGM du 28/04/2010)

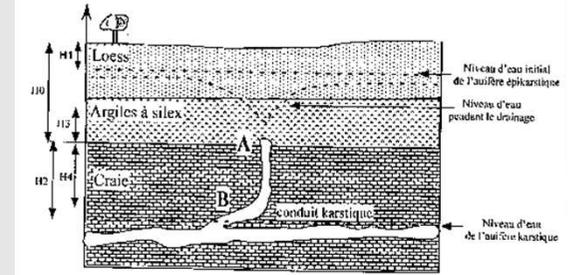
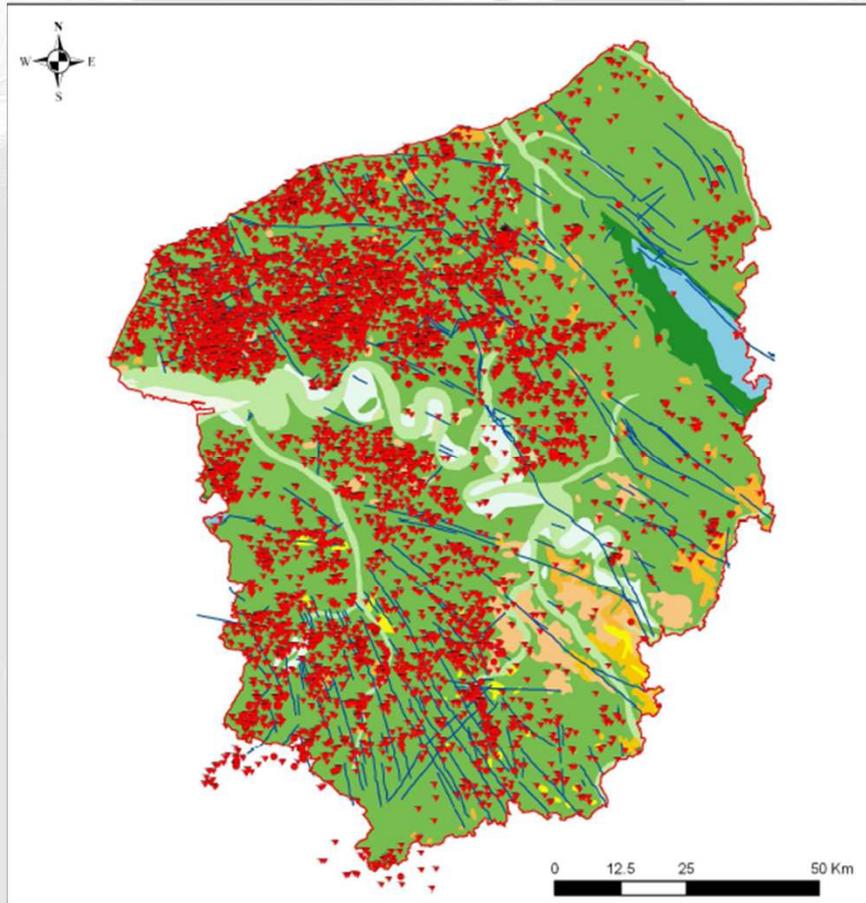
# Éléments de contexte

## > Contexte d'apparition des bétoires



# Eléments de contexte

## Les bétoires en Haute-Normandie



**8581 bétoires + 5267 indices de pertes bancarisés**

**BD régionale bétoires/traçages (12/04/2011)**

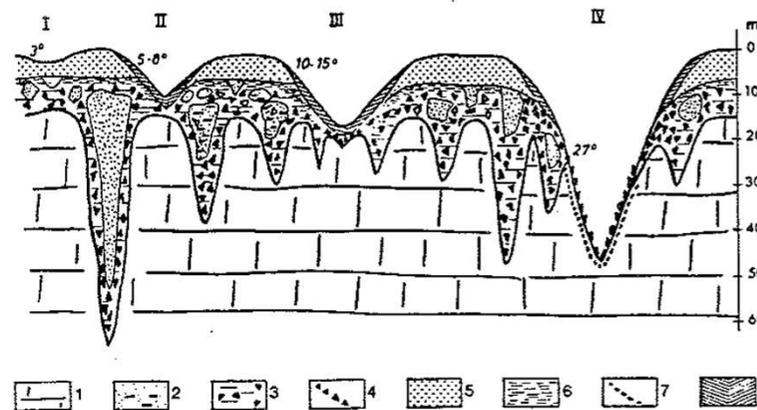
**AEP satisfaite à partir des eaux souterraines.**

**Or, les bétoires sont parfois utilisées comme exutoire des eaux de ruissellements, d'eaux usées traitées,...**

# Eléments de contexte

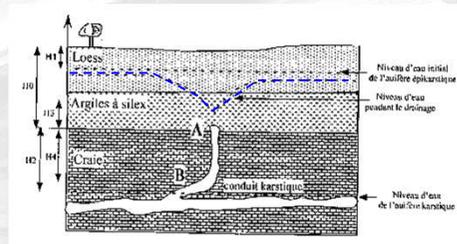
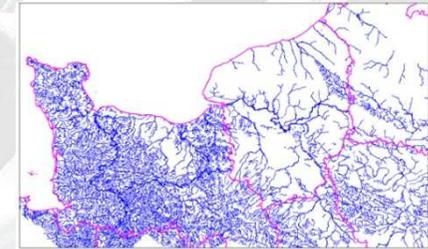
## ROLE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

- > Les formations superficielles masquent la craie
- > Epaisseur parfois importante (>30 m)
- > Formations hétérogènes :
  - Loess
  - Argiles à silex (résidu de l'altération de la craie)
  - + des poches ou des lentilles de sédiments tertiaires (sables)



# Eléments de contexte

- > **Contexte crayeux karstique : réseau hydrographique peu développé, les eaux superficielles s'infiltrent dans le sous-sol, certains BV n'ont pas de cours d'eau permanent**
- > **Massif crayeux recouvert de formations superficielles variables pouvant avoir une fonction de stockage temporaire des eaux**
- > **AEP satisfaite à partir des eaux souterraines**
- > **Bétoires utilisées comme exutoire des eaux de ruissellements, d'eaux usées traitées,...**
- > **Risque fort d'inondation dans la région**
- > **Impact des bétoires sur la gestion des eaux de ruissellements :**
  - des aménagements de lutte contre les inondations : 62 bassins de rétention avec une ouverture de bétoire
  - des rejets des stations d'épuration : 73 STEP touchées par les bétoires





# Les techniques des traitements de bétaires

# Etats des lieux (2010)

- > **20aine d'entretiens**
- > **Collecte d'environ 130 documents concernant :**
  - des avis, doctrines sur le sujet
  - des cas d'aménagements dans le cadre de diverses études
  - le suivi réalisé, retour d'expérience
  - des difficultés rencontrées
- > **Traitement des données :**
  - Classification selon quatre critères :
    - Risque : sanitaire, géotechnique, hydraulique et hydrologique
    - Situation/contexte de la bête : dans un fossé, une rivière, un ouvrage,...
    - Type d'aménagement : colmatant, filtrant, dérivation,...
    - Type d'aménagement de versant : hydraulique douce, hydraulique de rétention

# Etats des lieux (2010)

## TECHNIQUES DE TRAITEMENT

### DISPOSITIF ETANCHE

Rebouchage  
et colmatage  
de la béttoire

Détournement  
Total des flux de  
ruissellement

### DISPOSITIF INFILTRANT

Remblaiement  
par matériaux  
grossier

Comblement  
par massif  
filtrant

Transformation  
en puits  
d'infiltration

Détournement  
partiel des flux et  
contrôle du débit  
d'infiltration

# Etat des lieux

## BILAN

Aménagement de bétroire stricto sensu	Nombre de cas recensés	Proportion
Colmatage étanche	37	48 %
Dérivation totale des flux	28	36 %
Remblaiement grossier pour bloquer la suffosion	2	3 %
Comblement par massif filtrant	6	8 %
Aménagement en puits d'infiltration	2	3 %
Dérivation partielle des flux	2	3 %
TOTAL	77	100 %

- > Dispositif étanche : 84% des cas rencontrés
- > Dispositif infiltrant : 16% des cas rencontrés

# Préconisation technique des traitements

## > ETAPES DE TRAITEMENT :

- Matériaux composites utilisés
- L'excavation de la béttoire
- Le comblement du fond de la béttoire
- Dispositif de comblement
  - Dispositif colmatant : étanchéification ou dérivation de flux
  - Dispositif infiltrant : massif filtrant ou puits d'injection

# Préconisation technique des traitements

## > Matériaux composites utilisés :

- **pour éviter les mélanges des matériaux de granulométrie différente :**
  - des géotextiles : nappes continues de fibres ou filaments tissés, non tissés, tricotés ou thermo-soudés. Ces matériaux sont souples et perméable.
- **pour assurer une étanchéité complémentaire à celle des argiles :**
  - des géomembranes : nappes souples continues fabriqués à partir d'un ou plusieurs matériaux synthétiques
  - des géosynthétiques bentonitiques (GSB) : association d'une couche de bentonite incorporée entre deux géotextiles ou collée à une géomembrane.
- **pour assurer un renforcement des sols :**
  - des géogrilles ; géosynthétique ressemblant à des grilles ouvertes

# Préconisation technique des traitements

## > L'excavation de la bétoire

- À adapter à la morphologie et au fonctionnement de chaque bétoire à l'issue des études préalables à l'aménagement (ajuster l'extension, la géométrie et la profondeur de purge à la morphologie de chaque bétoire)
- retour d'expérience : rôle déterminant sur l'efficacité du traitement : curer et traiter bien au-delà de la zone décomprimée
- atteindre idéalement le contact formation superficielle / craie

# Préconisation technique des traitements

## > Le comblement du fond de la bétoire

- étroitement lié à la morphologie de la bétoire et à son environnement
- Pour limiter l'accentuation du phénomène, il convient :
  - de limiter les écoulements superficiels qui participent à déstabiliser l'aménagement et à dégrader le massif déjà altéré ;
  - de confiner la totalité du corps de la bétoire ;
  - de veiller à ce que le comblement puisse résister à un écoulement souterrain
- Comblement du fond par des éléments grossiers (ou cimentation); but est de confiner la bétoire tout en résistant à un écoulement dans le réseau karstique

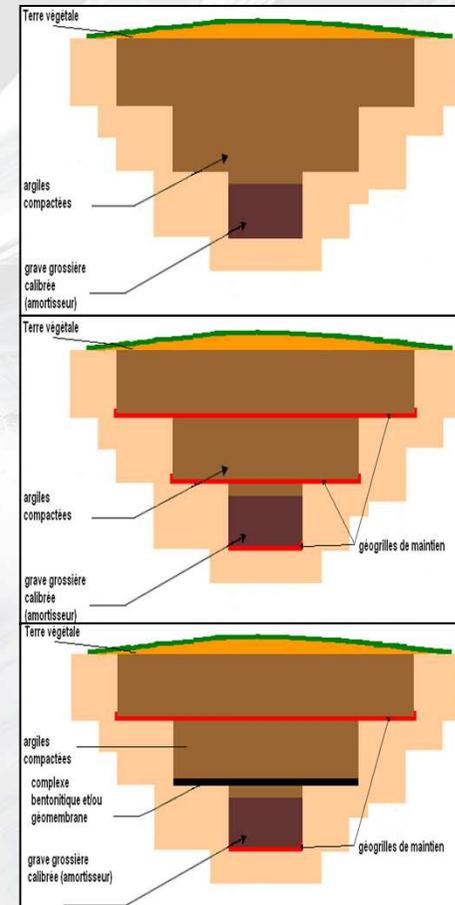


**L'apparition d'une bétoire = phénomène naturel actif voué à se développer . L'aménagement sera donc difficilement pérenne, mais doit pouvoir résister à moyen termes**

# Préconisation technique des traitements

## > L'étanchéification

- Objectif : empêcher l'engouffrement d'eaux de qualité dégradée vers les eaux souterraines + maintenir une stabilité
- Comblement à concevoir au regard de la lithologie de l'encaissant déterminé par les études préalables
- Superposition de couches d'argiles compactées = système efficace dans un contexte argiles à silex sur craie (scarifier entre chaque couche pour une meilleure cohésion)
- Comblement par une granulométrie décroissante puis argile dans le cas formation à granulo plus grossière (milieu alluvial par exemple)
- En complément, l'utilisation de géosynthétique bentonitique (GSB) permet d'améliorer l'étanchéité du massif. Il convient cependant de s'assurer que ce géosynthétique reste humide car la bentonite est une argile gonflante, sujet aux cycles d'humidification / dessiccation



# Fiche technique de traitement

## Dispositif colmatant : argiles compactées

**Risques** : sanitaire, hydrologique, hydraulique, géotechnique

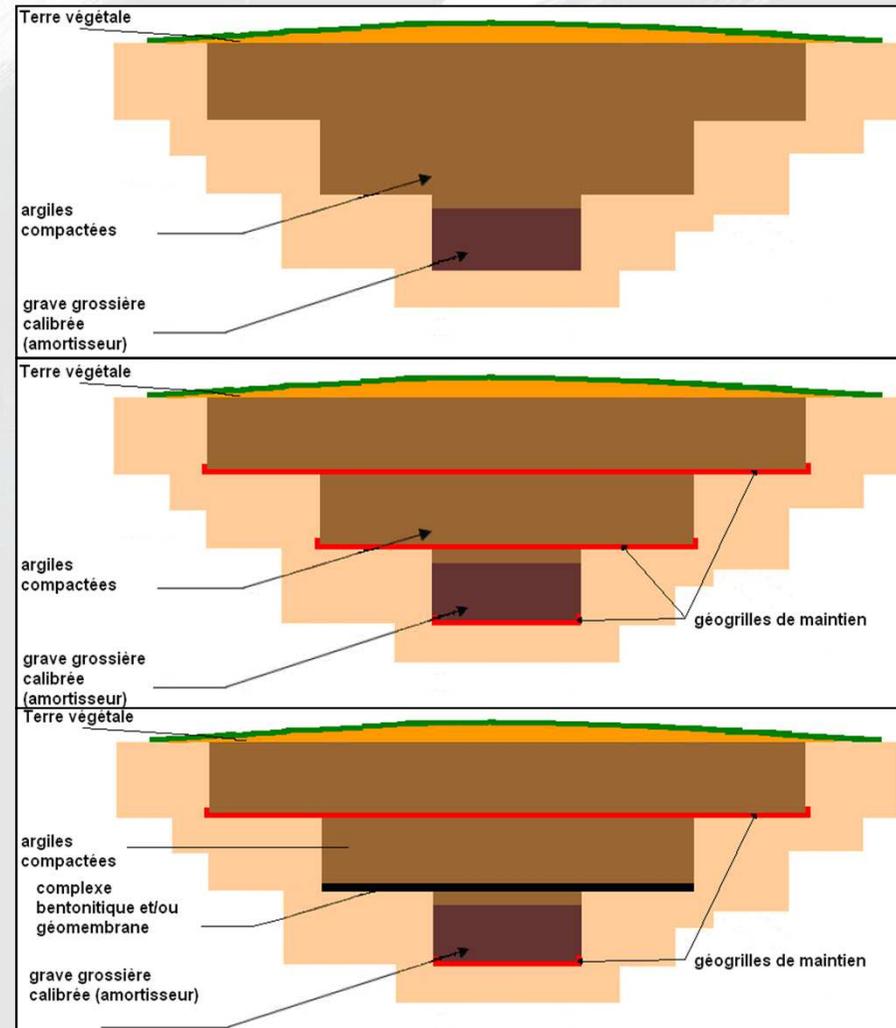
### Avantages :

- stabilité à moyen terme
- géogridde augmente la stabilité
- imperméabilité lié à l'argile et au complexe

### Inconvénients :

- complexe bentonitique fragile
- risque de lessivage des particules
- risque d'écoulement latéraux

### Plusieurs possibilités



# Fiche technique de traitement

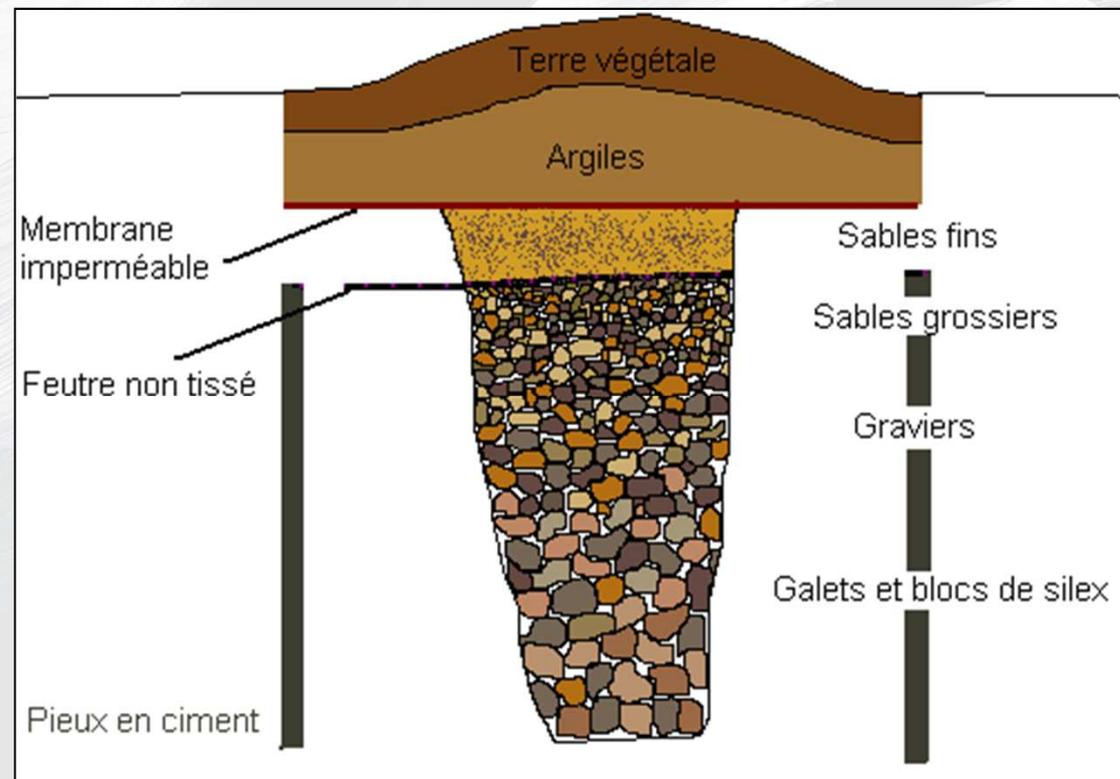
Dispositif colmatant : granulo-classement

**Risques** : sanitaire, hydrologique

**Dans quel cas l'appliquer :**

- Terrain à recouvrement alluvionnaire grossier par exemple

- Zone sans ouvrage structurant

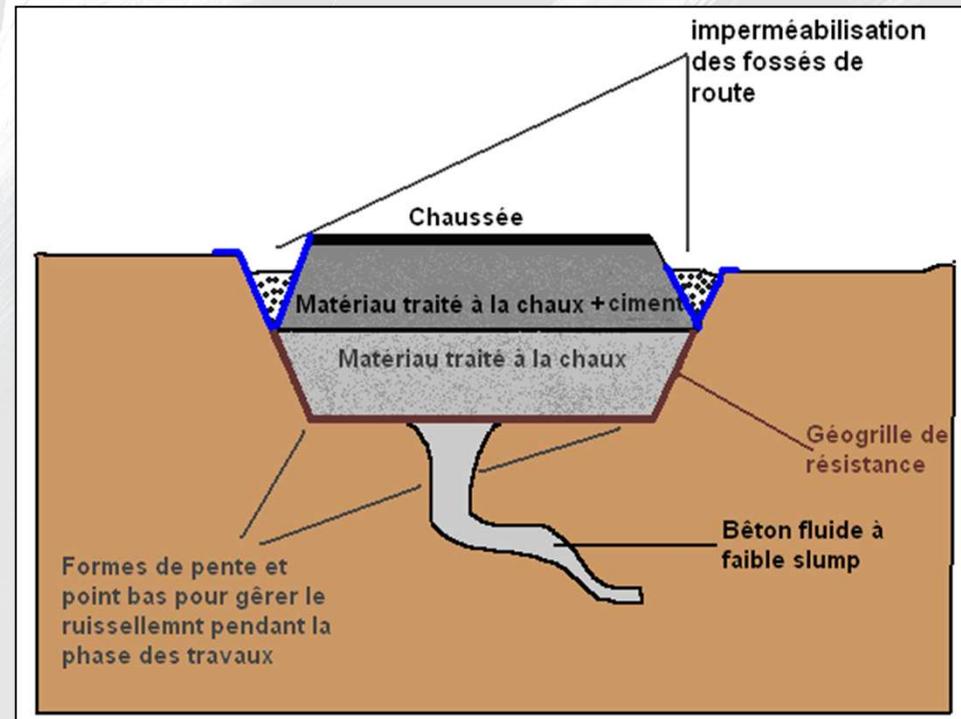


# Fiche technique de traitement

## Dispositif colmatant : injection de ciment

**Risques** : géotechnique

**Dans quel cas l'appliquer** :  
sous ou proche d'une  
infrastructure



### Avantages :

- Pérennisation optimum de l'évolution de la bétaille par confinement
- Stabilité optimum

### Inconvénients :

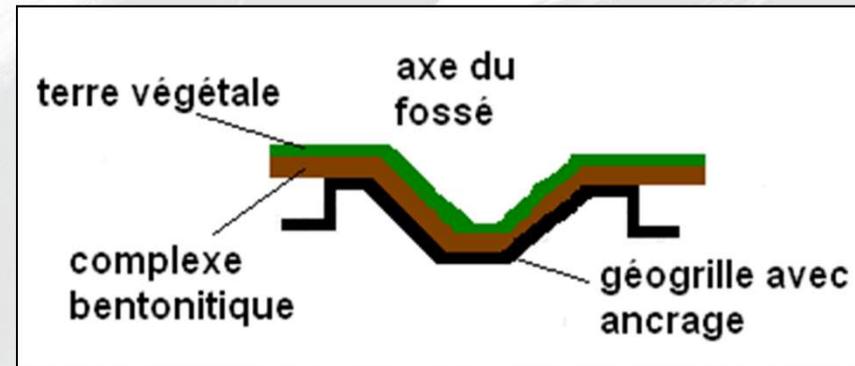
- Limitée à des tailles de bétaille petites
- Injection de ciment dans du karst est toujours hasardeuse et risquée

# Fiche technique de traitement

## Dispositif colmatant en fossé

**Risques** : sanitaire, hydrologique, hydraulique, géotechnique

**Dans quel cas l'appliquer** : un fossé



- Étanchéification du fossé par un complexe bentonitique
- Ou éventuellement par un busage béton ouvert
- A proscrire : canalisation complète du fossé (cf. cas présenté ultérieurement)

### Avantages :

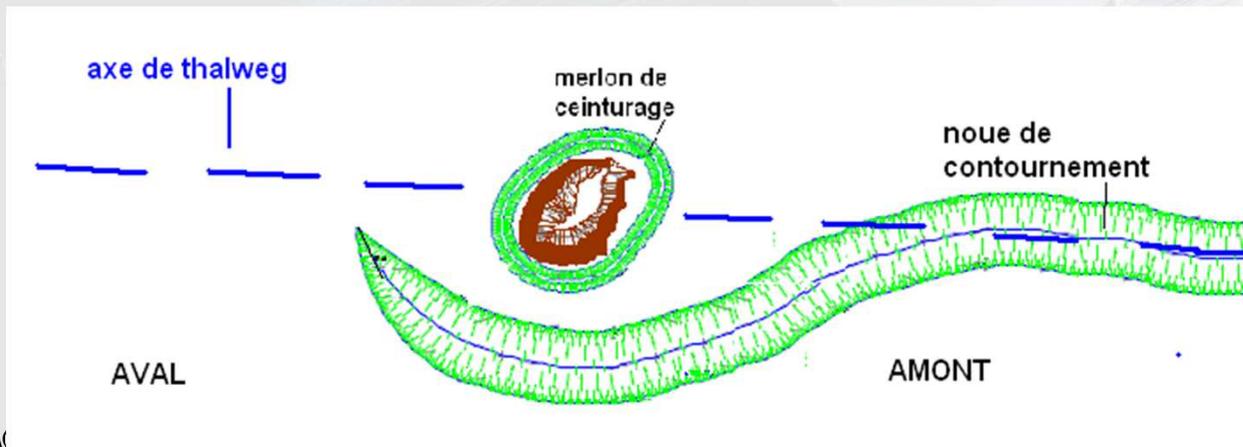
### Inconvénients :

- Le complexe bentonitique devient inefficace s'il n'est plus humide

# Préconisation technique des traitements

## > La dérivation de flux

- But : empêcher l'infiltration des eaux de surface dans la bêteire
- Différents procédés :
  - Un merlon de ceinturage étanche
  - Des noues enherbées
  - Un auget
- Il est conseillé de combler la bêteire par un massif autobloquant afin de limiter son évolution et assurer la stabilité de l'aménagement



# Fiche technique de traitement

## Dérivation totale des flux

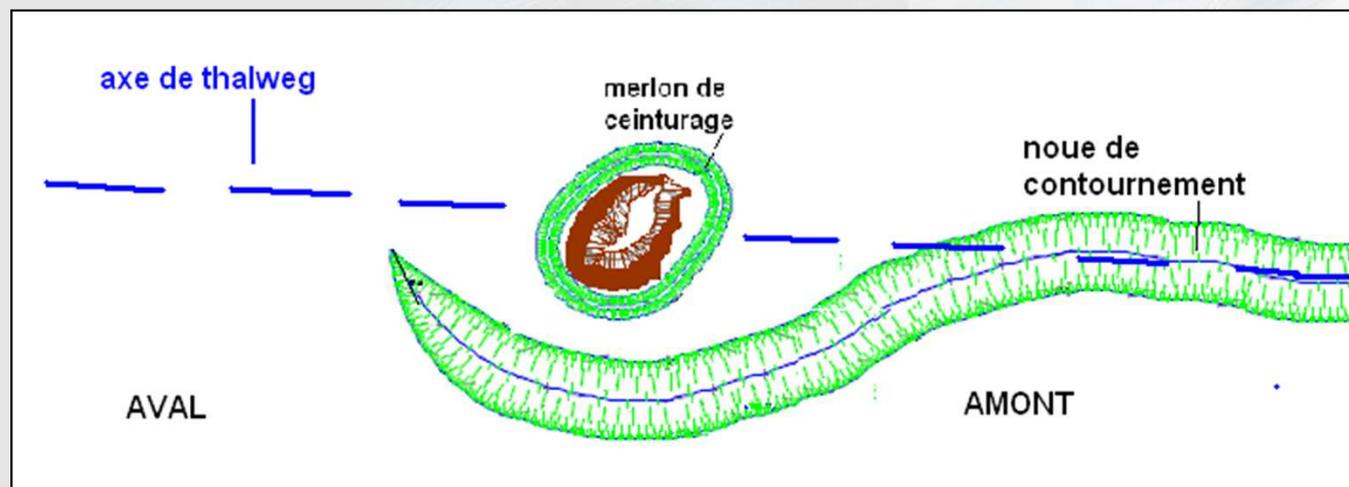
**Risques** : sanitaire, hydraulique, hydrologique

### Dans quel cas l'appliquer :

- zone sans ouvrage structurant
- En bordure de bassin d'infiltration ou de rétention
- en aval d'un ouvrage hydraulique

**Avantages** :  
réactivation de la bête morte limitée par le détournement des eaux

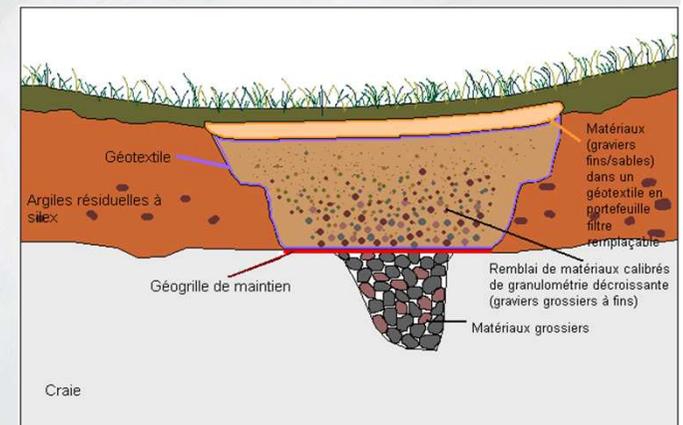
**Inconvénients** :  
aucun contrôle de la qualité des eaux en cas de défaillance du talus ou d'arrivée d'eau massive si la bête morte n'est pas comblée de façon étanche



# Préconisation technique des traitements

## > Dispositifs infiltrants

- maintenir le potentiel infiltrant de la bétouire tout en lui faisant jouer le rôle d'un filtre complémentaire
- = **dispositif de dernier recours qui doit être justifié !**
- doit être accompagné :
  - d'une couronne enherbée de 10 m de largeur autour de la bétouire
  - d'aménagements de versant en amont, pour améliorer la qualité de l'eau avant infiltration dans la bétouire et réduire la production de ruissellement (hydraulique douce, hydraulique de rétention,...)
  - d'un dispositif de traitement des eaux avant engouffrement dans la bétouire (dimensionnement à l'issue des études préalables)
- = remplissage grano-classé, constitué de matériaux grossiers en fond de comblement surmontés de matériaux plus fins, perméables (« sable », « gravier calibré »)
- enveloppée dans un géotextile (« portefeuille ») :
  - limite les colmatages du dispositif et
  - optimise la capacité filtrante et la longévité du massif.



# Fiche technique de traitement

## Infiltration par massif filtrant

**Risques** : hydrologique

### Dans quel cas l'appliquer :

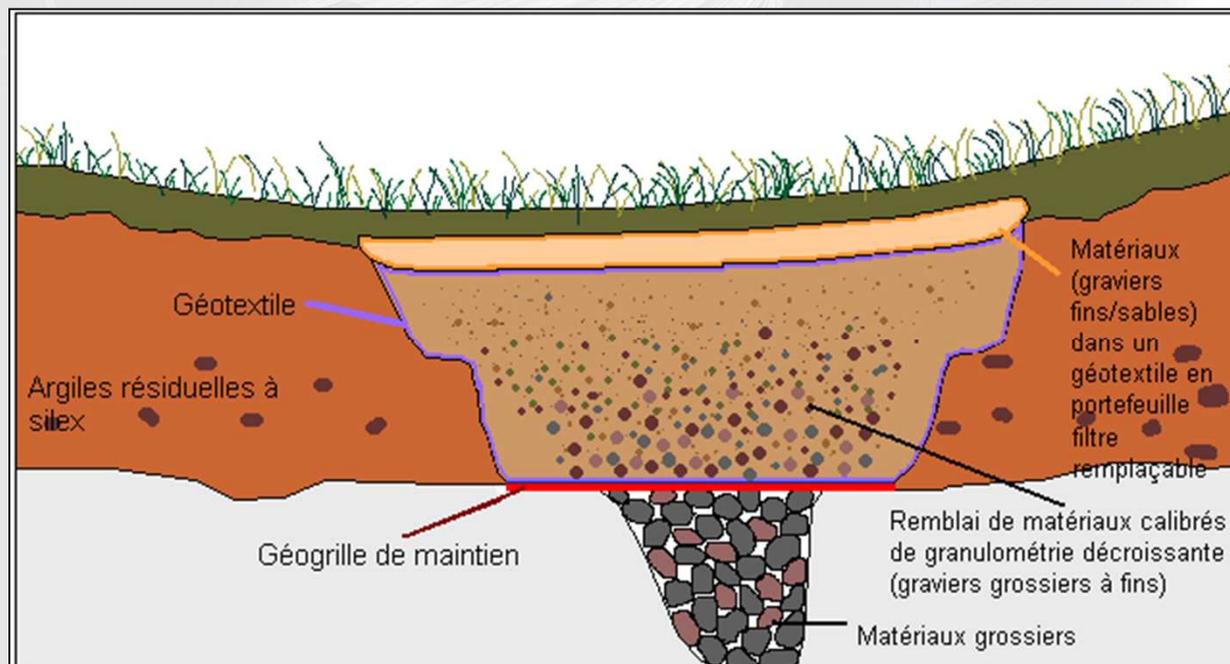
- Zone sans ouvrage structurant
- Dans un bassin d'infiltration
- En aval d'un ouvrage hydraulique

### Avantages :

- Abattement de la charge polluante
- Géogrille limite le risque d'évolution de la bêteoire
- Possibilité de changer le filtre superficiel

### Inconvénients :

- absence de moyen de contrôle ni de visualisation en cas de dysfonctionnement qualitatif des eaux d'engouffrement, risques de pollution des eaux souterraines

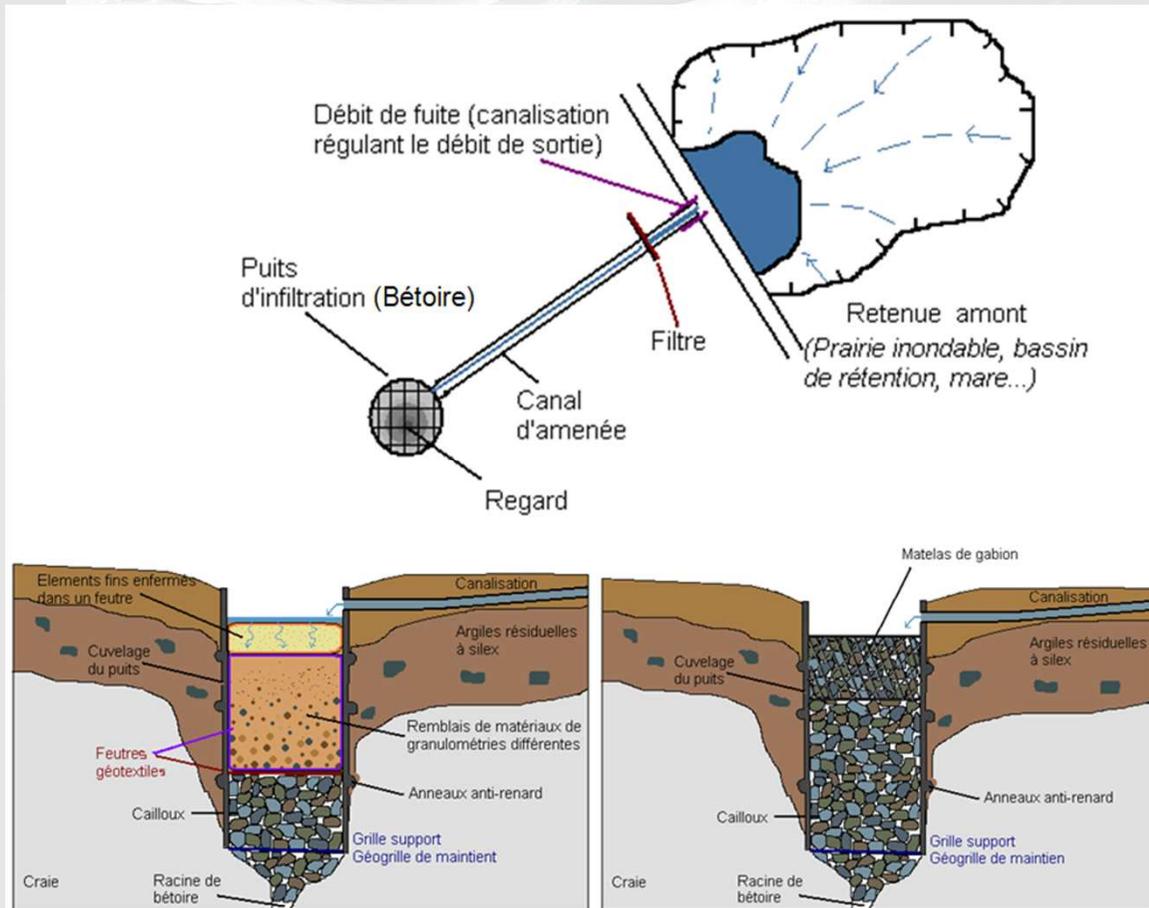


Accompagné d'aménagement de versant qui améliore la qualité de l'eau, le massif filtrant joue le rôle de filtre complémentaire

# Fiche technique de traitement

## Bétoire aménagée en puits d'infiltration

**Risques** : hydrologique



### Inconvénients :

- absence de moyen de contrôle ni de visualisation en cas de dysfonctionnement qualitatif des eaux d'engouffrement, risques de pollution des eaux souterraines

- risque de déchaussement du cuvelage par les infiltrations entre le cuvelage et la paroi de la bétoire

### Avantages :

- décantation des eaux avant infiltration

# Préconisation technique des traitements

## > La stabilité du comblement

- Pose d'une géogridde/ou autre dispositif « parachute » :
  - Propage les déformations sur une étendue plus large en surface et empêche la formation d'une marche d'escalier en surface, au droit de la rupture
  - Supporte le poids du remplissage
  - Avec ancrage : évite le phénomène de renardage
  - Multiplicité des géogriddes : stabilité augmentée (du à l'excavation par palier augmentant la portance et l'ancrage des géogriddes)
  - Haza et Khay (2005) limitent à 4 à 6m le diamètre d'une cavité qui pourrait être contenue par un renforcement géosynthétique
  - **Pour les cas à enjeu : existence de géogriddes pré-instrumentées : donnent 1 surveillance des déformations et donc la possibilité d'alerter dès l'apparition des premiers mouvements de terrain**



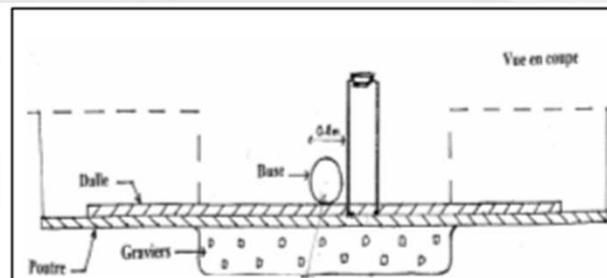
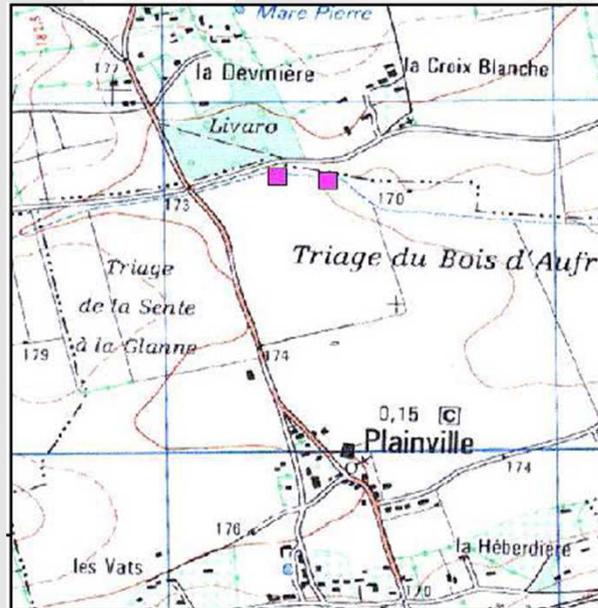
# Retours d'expérience

# Retours d'expérience

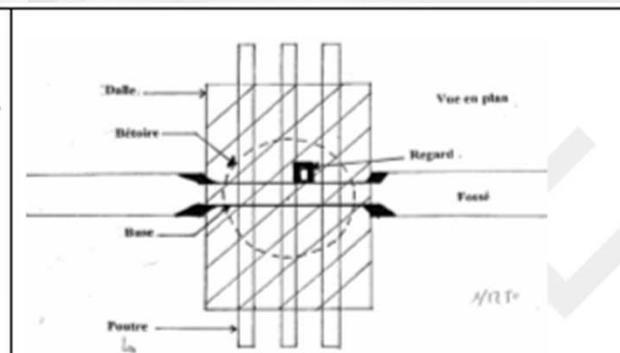
- > **Une 20aine d'aménagements de béttoire contrôlés sur le terrain en 2010**
  - Réalisation de fiches synthétiques (rappel de l'aménagement prévu, objectifs de protection, observation terrain,...)
- > **Peu de recul concernant leur efficacité (réactivation de béttoire, rôle de l'aménagement)**
- > **Peu de dossier de récolement collectés => difficile de valoriser les retours d'expérience**
- > **Des cas de dysfonctionnement d'aménagement de béttoires ont été observés sur le terrain ou collectés dans la biblio**

# Retours d'expérience

— commune de Plainville (Eure), au lieu-dit la Croix Blanche,



Source : ANTEA



SARIGRCO\SGR HNO

lundi 12 septembre 2011

# Retours d'expérience

- commune de Plainville (Eure), au lieu-dit la Croix Blanche,



Type d'aménagement initial : colmatage par gravier plus dalle de béton et dérivation de flux dans les terrains superficielles (type : Colmatage et Dérivation des flux)

Défaillance observée : réactivation de la bêteoire

Diagnostic envisagé : infiltrations d'eau venant des directions perpendiculaires au réseau de drainage mis en place dans le fossé.

# Retours d'expérience

- **Sur la commune de Tôtes**, un effondrement est survenu dans le fossé situé à l'ouest de la chaussée, dans une partie en déblai de la route RN27

Type d'aménagement initial : coulis béton (type : Colmatage)

Défaillance observée : effondrement du béton ou affouillement sous le béton ?  
réactivation de la béttoire

Diagnostic envisagé : pas d'étanchéification

- **Sur la commune d'Ouville l'Abbaye**, un merlon de ceinturage sommaire mis en place autour d'une béttoire ouverte dans le 3ieme bassin de lagunage naturel



Type d'aménagement initial : merlon de ceinturage (Type : Dérivation des flux)

Défaillance observée : ouverture de nouvelle béttoire sous le merlon et à proximité

Diagnostic envisagé : inadaptation de l'aménagement par rapport au contexte (fond de lagune) et à l'activité karstique du secteur

# Retours d'expérience

- Sur la commune de Criqueuôt l'Esneval, bétairie ouverte dans un fossé.



Source : photos BRGM



Type d'aménagement initial : cunette béton (Type : Dérivation totale des flux) + probablement colmatage de la bétairie avant la pose des cunettes

Défaillance observée : affouillement de la cunette par infiltration des eaux

Diagnostic envisagé : mauvais dimensionnement de la cunette. Manque d'imperméabilisation du fossé ?

# Retours d'expérience

- Sur la commune de Manéglise, une bétoire s'est ouverte au fond du bassin

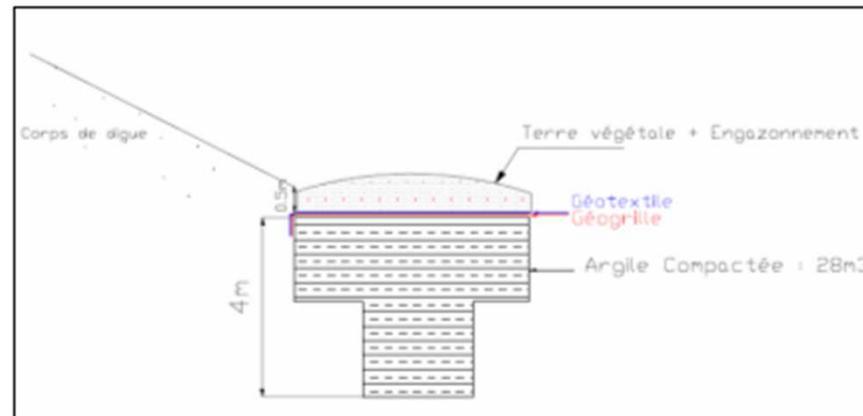


Illustration22 : Schéma de comblement de la bétoire du bassin de Manéglise (Source : CODAH)

Type d'aménagement initial : colmatage ? (Type : Colmatage)

Défaillance observée : réouverture du colmatage

Diagnostic envisagé : purge pas assez conséquente par rapport à la géométrie de la bétoire ?

# Retours d'expérience

- Sur la commune de Manéglise, une bétoire s'est ouverte au fond du bassin

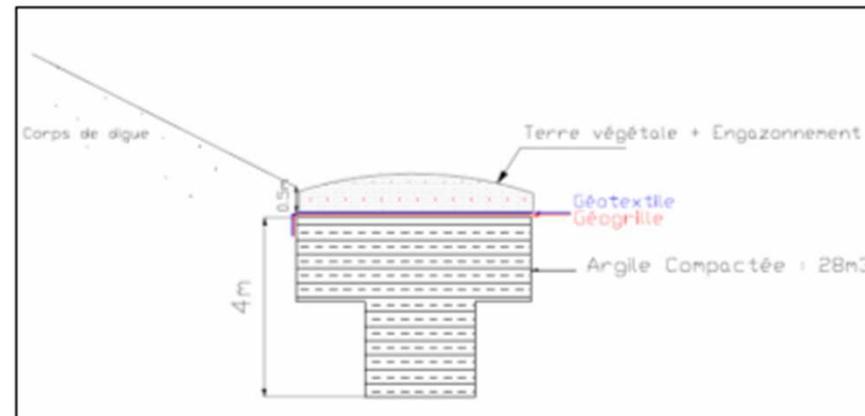


Illustration22 : Schéma de comblement de la bétoire du bassin de manéglise (Source : CODAH)

Type d'aménagement initial : colmatage ? (Type : Colmatage)

Défaillance observée : réouverture du colmatage

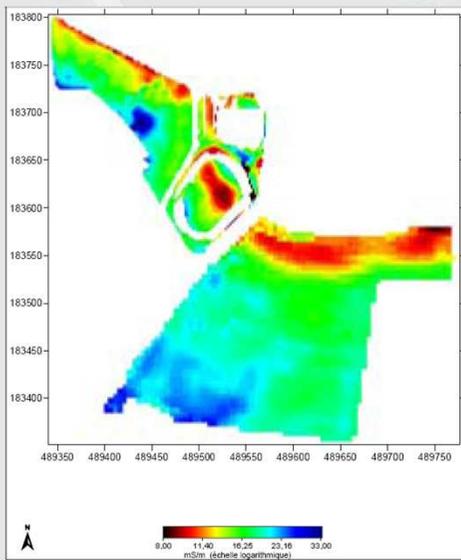
Diagnostic envisagé : purge pas assez conséquente par rapport à la géométrie de la bétoire ?

# Retours d'expérience

## > Complexité du traitement d'une béttoire



- Cas de la béttoire ouverte dans le bassin de rétention du Val Postel (SERSAEP) en 2001. Béttoire comblée puis rouverte en 2003
- Une étude de faisabilité de la remise en service du bassin a été menée de 2003 à 2004
- Prospection géophysique avec le système ARP et une cartographie de conductivité EM-31 + étude géotechnique réalisée autour de la béttoire par des sondages destructifs
- Les résultats ont montré la présence en surface d'un niveau d'argile à silex sur 3 à 4m surmontant des sables limoneux ou des graves = paléo-chenal alluvionnaire d'origine glaciaire
- 2<sup>de</sup> campagne géophysique : résistivité électrique 2D (méthode des panneaux électriques) avec mise en eau artificielle du bassin
- Mise en évidence un écoulement horizontal de l'eau dans la partie supérieure du chenal au niveau de la béttoire.

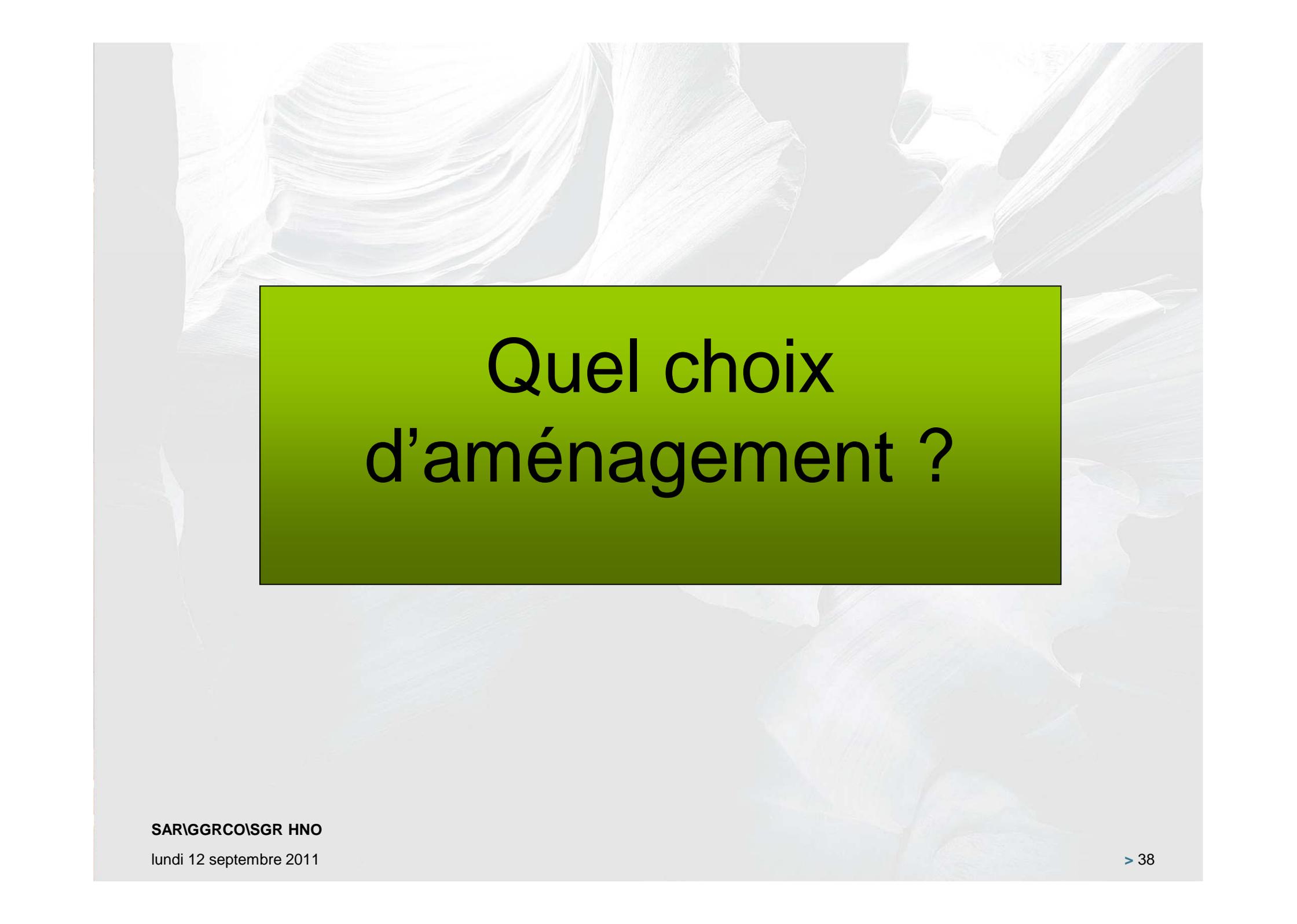


SARIGRCS\SGR HNO

lundi 12 septembre 2011

## > Complexité du traitement d'une bétoire

- La complexité du rôle hydrogéologique des formations superficielles, démontre l'intérêt de réaliser des études préalables permettant de concevoir un aménagement le plus adapté possible au contexte hydrogéologique spécifique de chaque site
- Tout traitement doit être conçu au cas par cas
- **Une étude préalable doit être menée avant tout aménagement !**



# Quel choix d'aménagement ?

# Rappel : résultats de l'état des lieux

## BILAN

Situation/contexte de la bétoire (lexique)	Aménagement bétoire stricto sensus (lexique)	Nombre de cas rencontrés
1. Bétoire située à l'intérieur d'un ouvrage de stockage (dans la zone de stockage)	Colmatage	10
	Merlon avec débit de fuite	1
	Dérivation de flux	1
2. Bétoire située sous ou à proximité immédiate d'un ouvrage hydraulique structurant (digue/barrage)	Colmatage	5
3. Bétoire située en aval de l'ouvrage structurant	Colmatage	2
	Massif filtrant	2
	Puits d'infiltration	1
	Dérivation de flux	4
4. Bétories situées dans une zone sans aménagements hydrauliques structurants	Colmatage	11
	Massif filtrant	4
	Merlon avec débit de fuite	1
	Puits d'infiltration	1
	Dérivation de flux	15
5. Bétoire située sous ou à proximité immédiate d'une infrastructure (bâtiment/route)	Blocage	1
	Colmatage	5
	Dérivation de flux	5
6. Bétoire située dans un fossé	Colmatage	2
	Dérivation de flux	2
7. Bétoire située dans ou à proximité d'une rivière	Colmatage	2
	Dérivation de flux	1

# Rappel : résultats de l'état des lieux

## > Retours d'expérience

- Exemple d'utilisation de bétoires comme exutoires
  - Dans le cadre de la protection des captages AEP, bétoire = exutoire d'ouvrages de rétention des eaux de ruissellement (mare tampon, prairies inondables...) créés spécialement en amont  
*ex: aménagement du SEPRN : bétoire n°21, bétoire n° 10*
  - Dans le cadre de la lutte contre les inondations, bétoires = exutoire des ouvrages hydrauliques de lutte contre les ruissellements et les inondations par les collectivités  
*L'AREAS, dans son étude sur les ouvrages hydrauliques de 2001, a en effet recensé 31 ouvrages rejetant leurs eaux vers une bétoire.*
  - Dans le cadre de la gestion des eaux usées, bétoires = exutoires des eaux usées traitées  
*Cas en 2008, de 3% des STEP de Seine Maritime (soit 6 des 202 existantes) + cas de présence accidentelle d'une bétoire qui court-circuite la filière d'épuration ou une aire d'infiltration aménagée*  
*Exemple : station de sainte Marie des Champs , station d'Hautot-Saint-Sulpice*

# Rappel : résultats de l'état des lieux

## > Retours d'expérience

- Dysfonctionnements hydrologiques liés à l'aménagement de bétaires

— **A Sassetot le Mauconduit (76)**, le comblement de la bétière de La Fosse Taillefer par le propriétaire des terrains en septembre 2007, => inondation des terrains agricoles situés à l'aval depuis;



Avant de combler une bétière, il convient de vérifier l'impact de l'aménagement en termes d'augmentation des volumes des ruissellements à l'aval.

— **A Grosley-sur-Risle au lieu-dit « Le Val Gallerand » (27)**, en août 2005, colmatage de 2 bétaires ouvertes dans le lit mineur de la Risle

=> Baisse du débit des sources avales captées pour une pisciculture (d'après le propriétaire). L'une des 2 bétaires a donc été désobstruée pour maintenir les débits des sources avales.

# Rappel : résultats de l'état des lieux

## > Retours d'expérience

- Dysfonctionnement hydrologique liés à l'aménagement de bétoires

- **A Le Tilleul-Lambert (27)**, le comblement d'une bétoire a entraîné la baisse de production du puits de Feugerolles (passant de 300m<sup>3</sup>/h avant comblement à 20-25m<sup>3</sup>/h après comblement) (source Pôle de compétence Sol et Eau Haute Normandie)



Ces 2 derniers exemples montrent qu'avant de court-circuiter ou combler une bétoire, il convient de vérifier sa capacité d'engouffrement et son rôle par rapport à un captage.

- D'autres exemples d'aménagements non réalisés dans les règles de l'art et amenant à des risques sanitaires (dégradation de la qualité de la ressource en eaux souterraines) sont également présentés dans le rapport

**Il est important de vérifier l'impact des aménagements envisagés ainsi que les modifications qu'ils vont provoquer sur le fonctionnement hydrologique de la bétoire et de l'hydrosystème associé !**

## Rappel : résultats de l'état des lieux

### > Conclusion de l'état des lieux :

- Bétoires sont actuellement encore utilisées comme exutoire dans des cas variés
- Choix de l'aménagement à réaliser en fonction :
  - du contexte, de la situation de la bétoire
  - des risques que représentent la bétoire (géotechnique, hydrologique, sanitaire,...)
  - De la morphologie et du fonctionnement de la bétoire
- Vérifier avant la réalisation de l'aménagement de bétoire ses incidences sur les écoulements de surface (ruissellement, inondation) et sur l'hydrosystème associé
- Réaliser une notice d'incidence

# Les guides et réglementations à respecter

## > **Réglementations et doctrines à prendre en compte pour le choix des aménagements de bétaires :**

- Doctrines de Haute-Normandie

- Aires d'infiltrations des stations d'épuration – guide de conception et de gestion – DISE de Seine maritime (déc.2009)
- Guide pour la gestion des eaux pluviales urbaines en Seine Maritime (2007)
- Infiltration des eaux – Document de synthèse version 3 – Groupe de travail – DISE (2002)

- pour limiter les transferts via le karst pouvant atteindre la ressource en eau potable : réduire les sources de ruissellements (au point de départ), améliorer la qualité des ruissellements
- aménagement d'une bétaire permettant l'infiltration est un dispositif d'ultime recours; il convient alors de « justifier que les autres solutions d'infiltration ne sont pas possibles »
- la gestion des eaux pluviales ne se limite pas au seul aspect quantitatif, la prise en compte de l'aspect qualitatif est essentielle.

# Les guides et réglementations à respecter

## > **Réglementations et doctrines à prendre en compte pour le choix des aménagements de bétouires :**

- Objectifs de la Directive Cadre Eau (DCE)
  - Promouvoir une utilisation durable de l'eau
  - Assurer la réduction progressive de la pollution des eaux souterraines et Renforcer et améliorer la protection de l'environnement aquatique notamment en réduisant les rejets puis en les supprimant
  - Prévenir toute dégradation supplémentaire, préserver les écosystèmes

# Choix d'aménagement

Chaque situation est particulière et nécessite une solution adaptée à partir des conclusions des études préalables



Bétoire recevant des eaux agricoles

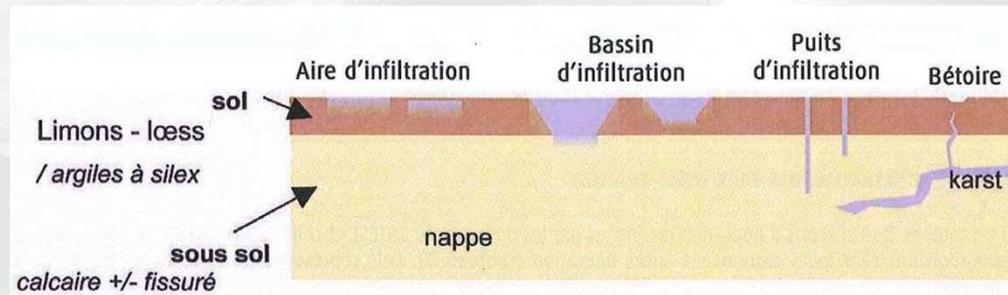
## > 2 grands principes pour l'aménagement d'une bétoire :

- Indissociable des aménagements de versant (hydraulique douce et hydraulique de rétention)
  - **Dans un premier temps** : aménager les versants pour fournir de faibles débits: compatibles avec la protection du milieu récepteur
  - **Dans un second temps** : favoriser un épandage diffus et une infiltration lente (épandage dans un espace végétalisé, mise en place d'une aire d'infiltration,...). **La bétoire n'est pas à considérer comme l'exutoire final**
- Quelque soit le risque contre lequel on lutte (hydraulique, hydrologique, géotechnique,...), l'aménagement retenu doit **préserver la qualité de la ressource** (DCE)

# Choix d'aménagement

## > Aménagements :

- Présence d'un exutoire final : bétoire colmatée et/ou dérivation des flux
- Absence d'exutoire justifiée et risque d'inondation aval : massif filtrant (**dernier recours**) + couronne enherbée de 10m de large
- Accompagnée d'aménagement de versant à l'amont et à l'aval



## > Remarques :

- Vérifier que la bétoire n'est pas dans un BAC ou un PPE
- Nécessite une surveillance périodique

# Choix d'aménagement

## > Pour les cas spécifiques suivants :

- Vallées sèches à forte activité karstique
- Bétoires sous ou à proximité immédiate d'infrastructures
- Bétoires dans les zones de rétention de bassin, prairies inondables, lagunes,...
- Bétoires dans les bassins ou aires d'infiltration
- Bétoires à l'aval d'un ouvrage hydraulique
- Bétoires en lien avec un captage AEP
- Bétoires situés en fossé
- Bétoires dans les rivières ou sur les berges

# Choix d'aménagement

## > Cas des vallées sèches à forte activité karstique

- Objectif : amener les eaux au-delà du secteur
- Aménagements : noues ou fossés avec fond imperméabilisé

**Dolines coalescentes** : forme ovale dont la plus grande dimension est dans le sens du talweg

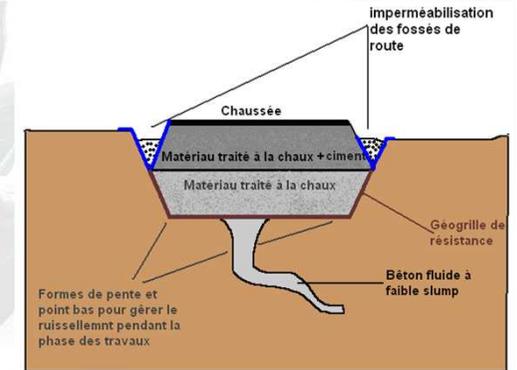


**Bétoire n°14257** : bétoires coalescentes dans un talweg de la commune d'Yport (observation BRGM du 28/04/2010)

# Choix d'aménagement

## > Cas des bétoires sous ou à proximité immédiate d'infrastructures (digue, route,...)

- Objectif : stabilité du terrain; éviter une rupture franche en surface de type fontis (tassement différentiel acceptable à définir -1 à 2 % pour les routes-)
- Aménagements :
  - colmatage étanche aux exigences de stabilité de l'ouvrage
  - Renforcement par une géogrille parachute en fond de fouille
  - Eviter tout apport de ruissellement ultérieur vers la zone traitée (merlon de ceinturage ou talus)
- Remarques :
  - nécessité d'une étude géotechnique approfondie de l'ensemble de la structure
  - Si zone à forte activité karstique : déplacer l'ouvrage



# Choix d'aménagement

## > Cas des bétoires dans les zones de rétention de bassin, prairies inondables, lagunes,...

- Objectif : imperméabilisation et stabilité du terrain afin d'éviter une rupture de l'étanchéité par réouverture de la bétoire
- Aménagement :
  - Spécificité des bassins : mise en charge hydraulique
  - Bassins de stockage d'eaux pluviales : colmatage et/ou dérivation de flux si bétoire à proximité du talus de bassin
  - Bassins d'eaux usées, lagunes : colmatage + imperméabiliser le fond du bassin (géomembrane, PEHD, complexe bentonitique... cf. guide de conception de ces ouvrages)
- Remarque :
  - Prévoir un espace suffisant entre la bétoire et le merlon pour éviter tout affouillement
  - Si zone à forte activité karstique : déplacer le bassin
  - **La présence d'indice de bétoires est à rechercher dès la conception de ces ouvrages dans la phase de décapage ou avec une campagne géophysique**



# Choix d'aménagement

## > Cas des bétoires dans les bassins ou aires d'infiltration

- Objectif : restaurer une infiltration lente des eaux et stabilité du terrain
- Aménagements :
  - Colmatage et/ou dérivation de flux (à privilégier)
  - Massif filtrant si respect du coefficient de perméabilité et des propriétés de filtration du sol du bassin
- Remarques :
  - Risque d'affouillement autour du colmatage
  - Si zone à forte activité karstique : déplacer le bassin

# Choix d'aménagement

## > Cas des bétoires à l'aval d'un ouvrage hydraulique

- Objectif : infiltration des eaux et stabilité du terrain
- Aménagements :
  - **A l'aval de bassin de stockage d'eaux pluviales** :  
Colmatage et/ou dérivation de flux  
Massif filtrant (derniers recours) si absence d'exutoire aval +  
couronne enherbée de 10m de large
  - **A l'aval des bassins d'infiltration (des STEP par ex)** :  
Colmatage et/ou dérivation de flux; la bétoire ne doit pas servir  
d'exutoire

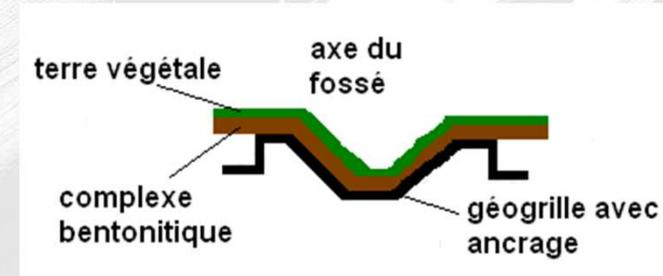
## > Cas des bétoires en lien avec un captage AEP

- Aménagements :
  - Colmatage et/ou dérivation de flux
- Remarque : choix final soumis à l'avis de l'hydrogéologue agréé

# Choix d'aménagement

## > Cas des bétoires situés en fossé

- Aménagement : colmatage
  - cunettes en béton insuffisant,
  - Canalisation ouverte en béton ou complexe bentonitique à envisager avec précaution
- Remarque : prévoir une large emprise du traitement pour éviter tout affouillement ultérieur



## > Cas des bétoires dans les rivières ou sur les berges

- Aménagements concernant la protection des captages AEP :
  - Colmatage si absence de risque de perte de débit au forage ou en aval
  - Massif filtrant si risque de perte de débit + dispositif de traitement au niveau du captage AEP
- Aménagements concernant la préservation des débits d'étiage des cours d'eau :
  - Laissée la bétoire en l'état si pas de risque d'assèchement de la rivière
  - Colmatage ou contournement si risque d'assèchement



# Les études préalables nécessaires

# Retours d'expérience

## > Complexité du traitement d'une béttoire

- Activation d'une béttoire par les écoulements de surface mais aussi par les **écoulements de subsurface** ! Connaître la structuration des formations superficielles
- **La complexité du rôle hydrogéologique et géotechnique des formations superficielles :**
  - Variation spatiale du type d'argiles en présence (smectite, kaolinite,...) => comportements géotechniques différents
  - Variabilité du type de formation superficielle en présence: loess, argiles à silex, formations sableuses, colluvions....
  - Structures des formations superficielles : existences de paléo-chenal (biefs à silex, crypto-béttoire...)
- **Intérêt de réaliser des études préalables : permet de concevoir un aménagement le plus adapté possible au contexte hydrogéologique spécifique de chaque site**

# Etudes préalables

## > Etudes préalables nécessaires à l'aménagement de toute béttoire

- Etude des enjeux (hydrologique, géotechniques, sanitaires...)
- Étude du contexte hydrologique
- Étude du contexte géologique
  - Formation superficielle (*Détermination de la morphologie et de la structure de la béttoire*)
  - Craie et réseau karstique
  - Qualifier l'activité karstique du secteur (*Détecter la présence d'anomalies, d'indices d'effondrements à proximité*)
- Première évaluation de la qualité des eaux d'engouffrement
- + compléments d'études nécessaires suivants la localisation de la béttoire

# Etudes préalables

## > Etude des enjeux

- Les études préalables devront permettre d'établir un bilan des enjeux et des risques liés à la présence de la bétoire devra être établi :
  - Risque hydrologique (risque d'inondation, participation du fonctionnement de la bétoire aux débits de sources captées à l'aval,...) :
  - Risque géotechnique (infrastructure à proximité,...)
  - Risque sanitaire (eaux dégradées s'engouffrant dans la bétoire, bétoire située dans un périmètre de protection, dans bassin d'alimentation de captage (BAC),...)
  - Risque hydraulique (bétoire perturbant ou non le fonctionnement d'un ouvrage hydraulique)



# Etudes préalables

## > Etude du contexte hydrologique

- Plan de prévention des inondations : zone d'habitation à risque
- Plan Local d'Urbanisme : présence ou non d'habitation en aval
- Étude hydraulique de bassin versant (si existante)
- Réaliser l'étude hydrologique du bassin versant si absent :
  - Les axes de ruissellement
  - Les zones d'infiltration
  - Les écoulements recensés dans les formations superficielles
  - L'impluvium de la bétairie
  - Les phénomènes d'érosion en amont
- Estimer les volumes infiltrés
- Déterminer la capacité d'engouffrement max de la bétairie
- Déterminer l'occurrence de fonctionnement de la bétairie
- Récupérer les données de traçage existantes
- Carte de battance des sols et carte des IDPR pour le ruissellement

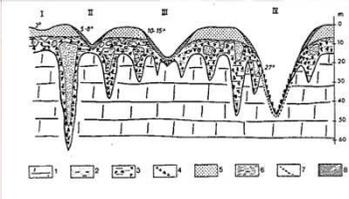


# Etudes préalables

## > Etudes du contexte géologique

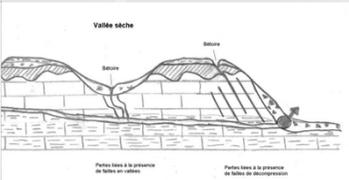
### • Formation superficielle :

- Déterminer la morphologie de surface, de sub-surface
- Repérer éventuellement les écoulements hypodermiques dans la béttoire
- Consulter la base de données InfoTerre (logs de sondage)
- Reconstituer la coupe lithologique précisant la lithologie, l'épaisseur, les venues d'eau de chaque horizon



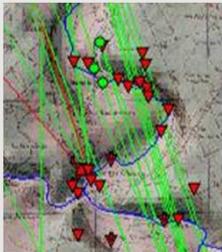
### • Craie et réseau karstique

- Forage de reconnaissance de type destructif de petit diamètre avec injection d'eau + enregistrement des paramètres de foration
- Préciser la profondeur du toit de la craie



### • Qualifier l'activité karstique du secteur :

- Détecter la présence, d'indices d'effondrements à proximité  
Observation terrains  
Consulter les données de l'Inventaire Régional des béttoires au BRGM et de l'Inventaire National des Mouvements de Terrain



# Etudes préalables

## > Premières évaluation de la qualité des eaux d'engouffrement

- Déterminer les sources potentielles de pollution (fermes, habitations,...)
- Déterminer l'occupation des sols (données Corinne Land cover, PLU,...)
- Déterminer la part en % de chaque occupation (utilisation d'un logiciel SIG)

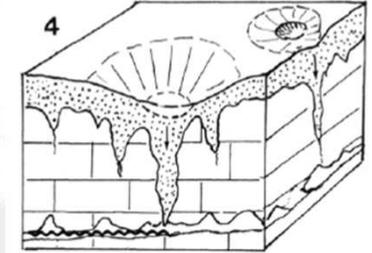


# Etudes préalables

## > Etudes préalables complémentaires en fonction de la localisation et du rôle de la bétroire

- Cas d'une bétroire dans un BAC ou un PP
- Cas d'une bétroire située dans un cours d'eau
- Cas d'une bétroire dans un bassin de rétention/infiltration
- Cas d'une bétroire dans un bassin d'eaux usées
- Cas d'une bétroire à proximité immédiate d'une infrastructure

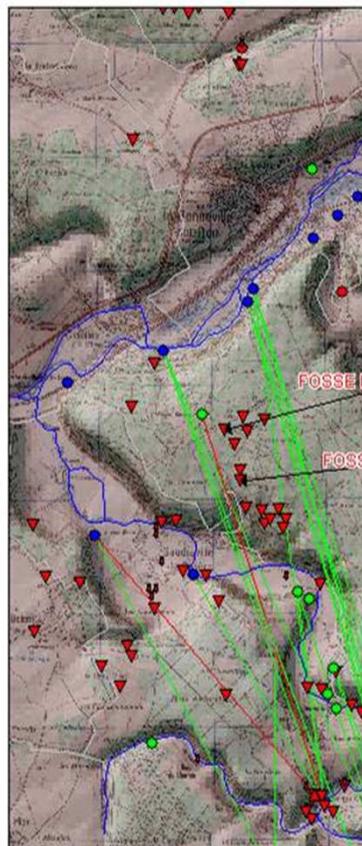
# Etudes préalables



## > Analyse des caractéristiques géotechniques des matériaux en place

Données à acquérir	Moyens d'acquisition
Connaître la capacité des terrains en place à infiltrer ou à imperméabiliser	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mesurer le coefficient de perméabilité</li><li>- Test d'infiltration (Essais Lefranc, Porchet, Matsuo, Müntz,...)</li></ul>
Connaître la capacité à assurer la stabilité de l'ouvrage (cas d'un comblement de bétaille située sous digue, route,...)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Essais de pénétration dynamique sur les formations superficielles en place. Le pénétromètre permet de mesurer la résistance dynamique apparente.</li></ul>
Evaluer la réutilisation des matériaux et les terrassements	<ul style="list-style-type: none"><li>- Etude pédologique</li><li>- Coupe des formations superficielle (sondages à la tarière, fouilles au tractopelle,...) et analyse des coupes</li><li>- Faire des essais d'identification GTR en labo (teneur en eau, analyse granulométrique, limites d'Atterberg ou essai au bleu de méthylène)</li><li>- Faire des essais Proctor avec mesures de l'indice CBR</li><li>- Essais d'aptitude au traitement (chaux, liants hydrauliques)</li></ul>

# Etudes préalables



## > Cas d'une béttoire dans un BAC ou un PP

- Vérifier auprès de l'ARS ou du site CARMEN si la béttoire se situe dans un BAC ou un PP
- réaliser des analyses de la qualité des eaux d'engouffrement (prélèvements à différentes périodes)
- Vérifier la liaison entre la béttoire et le captage AEP :
  - Consulter l'Inventaire Régional des Traçage
  - Si absence de traçage existant, réaliser un traçage avec suivi des différents captages AEP
  - Si traçage positif, vérifier l'impact des volumes infiltrés sur le captage (en terme de contamination)
  - Faire un suivi de la turbidité, des paramètres physico-chimique

# Etudes préalables



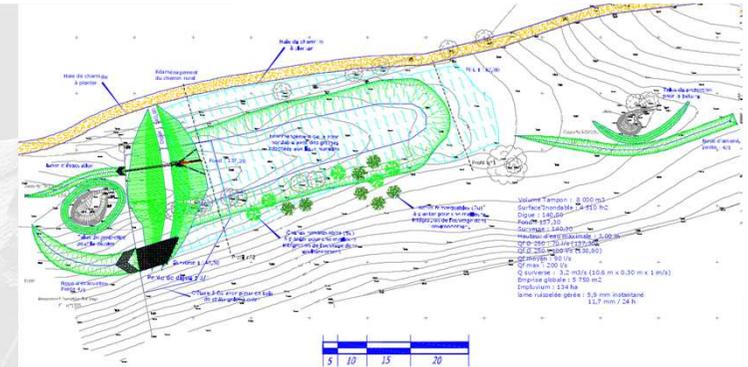
## > Cas d'une béttoire située dans un cours d'eau

- Vérifier si la béttoire est en connexion avec une source en aval captée (AEP, pisciculture,...) :
  - Consulter l'Inventaire Régional des sources et des Traçages
  - Vérifier l'usage des différentes sources en aval
  - En cas de sources dont l'utilisation est à enjeu sanitaire et en l'absence de traçage, réaliser un traçage pour vérifier la connexion des points
- Analyser les données du débit du cours d'eau pour connaître les variations saisonnières et annuelle du cours d'eau
- Réaliser une campagne de jaugeages différentiels en amont et en aval pour :
  - Connaître les débits infiltrés dans la béttoire
  - Comparer ces débits aux débits de la rivière



Section de l'Iton  
aménagée par un auget :  
prise de vue sur l'entrée  
de l'Iton dans l'auget

# Etudes préalables



## > Cas d'une bête dans un bassin de rétention/infiltration

- Récupérer les études de conception de l'ouvrage (AVP, PRO,...) et autres dossiers d'exécution :
  - Préciser le rôle exact de l'ouvrage (infiltration, rétention,...)
  - Vérifier le mode de fonctionnement du bassin
  - Connaître la conception du fond de l'ouvrage (type d'imperméabilisation,...)
  - Connaître la charge hydraulique au droit de la bête
  - Evaluer le volume infiltré et la vitesse d'infiltration (cas des bassins d'infiltration) ou récupérer ces données
  - Récupérer une analyse de la qualité des eaux de ce bassin

# Etudes préalables

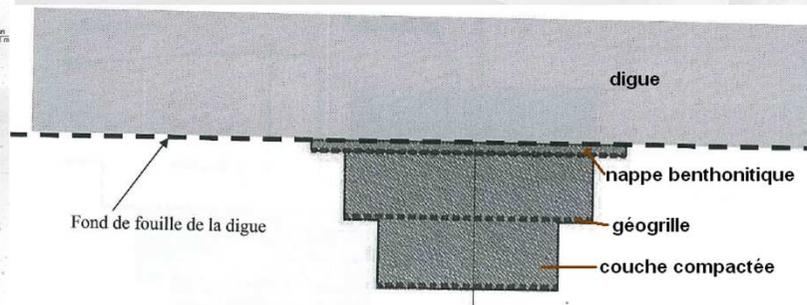
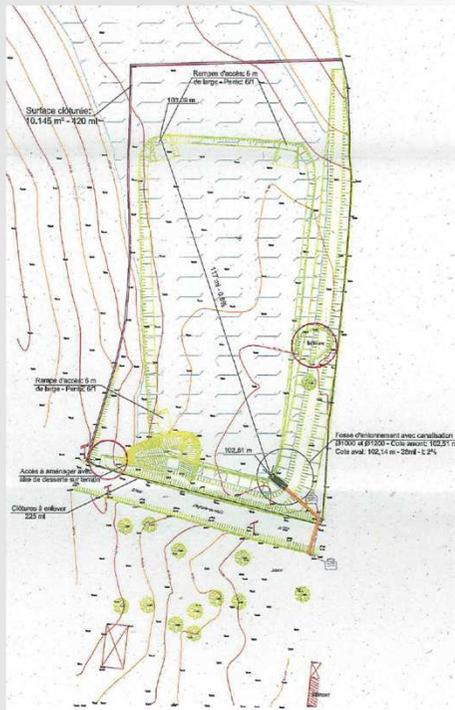
## > Cas d'une bête morte dans un bassin d'eaux usées

- Récupérer les études de conception de l'ouvrage (AVP, PRO,...) et autres dossiers d'exécution :
  - Vérifier le mode de fonctionnement du bassin
  - Connaître la conception du fond de l'ouvrage (type d'imperméabilisation,...)
  - Connaître la charge hydraulique au droit de la bête morte
  - Récupérer les analyses des eaux d'engouffrement si existantes ou les réaliser

# Etudes préalables

## > Cas d'une béttoire à proximité immédiate d'une infrastructure

- Récupérer l'étude géotechnique initiale afin d'observer l'évolution des caractéristiques géotechniques des matériaux en place
- Avis d'expert sur le risque de stabilité, la sécurité, le fonctionnement de l'infrastructure,.....





# Le contenu des dossiers « loi sur l'eau »

# Réglementations

## > Contexte réglementaire

- Cas de l'infiltration des eaux dans la bétairie :
  - rentre dans le champ d'application :  
De la Loi sur l'Eau (art L.214-2 à L.214-6 Code de l'Environnement) et de son décret n°2003-868 modifié
  - Cas de l'infiltration des eaux pluviales dans la bétairie, d'après la rubrique 2.1.5.0 :  
Surface impluvium de la bétairie < 20ha : procédure de **déclaration**  
Surface impluvium de la bétairie > 20ha : procédure **d'autorisation**
  - Cas de l'infiltration d'effluents, d'après la rubrique 3.2.1.0 : procédure **d'autorisation**
- Cas du colmatage de bétairie :
  - Art. 640 et 641 du Code Civil : « *Le propriétaire des fonds supérieurs ne peut rien faire qui aggrave la servitude des fonds inférieurs* », « *Les fonds inférieurs sont assujettis envers ceux qui sont plus élevés à recevoir les eaux qui en découlent naturellement sans que la main de l'homme y ait contribué* »



# Réglementations

## > Recommandations concernant les Dossiers « Loi sur l'eau » pour l'aménagement des bétoires : contenu

- **Une notice explicative**

- Présentation du demandeur
- Objet de la demande
- Principales caractéristiques des aménagements
- Plan général des travaux, emplacement des bétoires
- Appréciation sommaire des dépenses

- **Un état initial**

- Etude des enjeux
- Etude hydrologique
- Etude géologique du site :
  - Détermination de la morphologie de la bétoire
  - Présence d'anomalies, d'indice d'effondrements
- Première évaluation de la qualité des eaux engouffrées (notamment % de chaque occupation du sol dans l'impluvium de la bétoire)
- Eventuels résultats d'étude géotechniques (test infiltration, résistance dynamique, ...)
- Cas particuliers



# Réglementations

## > Recommandations concernant les Dossiers « Loi sur l'eau » pour l'aménagement des bétaires : contenu

- Une notice d'incidence des aménagements

- Comparaison entre état initial et état après aménagement pour chacun des risques identifier- quantification des différents risques



	Etat initial	Après aménagement
<b>risque hydrologique</b>	des ruissellements importants engendrent des inondations dans la partie aval, au niveau des zones habitées (zone orange du PPRI)	- le traitement par colmatage va augmenter les volumes de ruissellements à l'aval (augmentation fonction de la capacité d'engouffrement de la bétaire) - problématique des ruissellements vers l'aval est prise en compte par la mise en place en amont et en aval d'ouvrages de rétention (prairie inondable) ainsi que de noue à redans permettant de limiter et maîtriser les flux ruisselant vers l'aval (contrôle du débit de fuite);
<b>risque sanitaire</b>	les eaux de ruissellement de qualité dégradée s'infiltrent de façon rapide vers les eaux souterraines vers la bétaire	- le comblement de la bétaire permet d'empêcher les eaux ruisselantes de s'infiltrer de façon rapide vers les eaux souterraines (répondant ainsi aux objectifs fixés par la DCE). - par ailleurs, les prairies inondables permettront une décantation des eaux améliorant ainsi la qualité des eaux rejetées vers l'aval
<b>risque géotechnique</b>	la bétaire se situe en contre bas de la route D28	- une fouille d'une emprise 10 fois supérieure au diamètre de la bétaire a été réalisée avec mise en place d'une géogridde en fond de fouille - étant donné la proximité vis-à-vis de l'axe du corps du petit barrage de la prairie inondable, la bétaire peut constituer un risque pour sa stabilité de ces petits barrages en cas de réouverture ultérieure.
<b>risque hydraulique</b>	Néant (pas d'ouvrage hydraulique à proximité)	le risque hydraulique est de 2 ordres : - dysfonctionnement du « bassin » par rupture du corps du barrage du fait d'une déstabilisation des terrains par la réouverture de la bétaire aménagée - - dysfonctionnement du « bassin » par apparition de bétaires dans la zone de rétention du fait la mise en charge de la prairie inondable. Une étude géophysique, complétée par des sondages ont été réalisées dans les études préalables de la prairie inondable. Par ailleurs des recherches d'indices de circulations préférentielles seront réalisées par un hydrogéologue au moment du décapage des terrains.

# Réglementations

## > **Recommandations concernant les Dossiers « Loi sur l'eau » pour l'aménagement des béttoires : contenu**

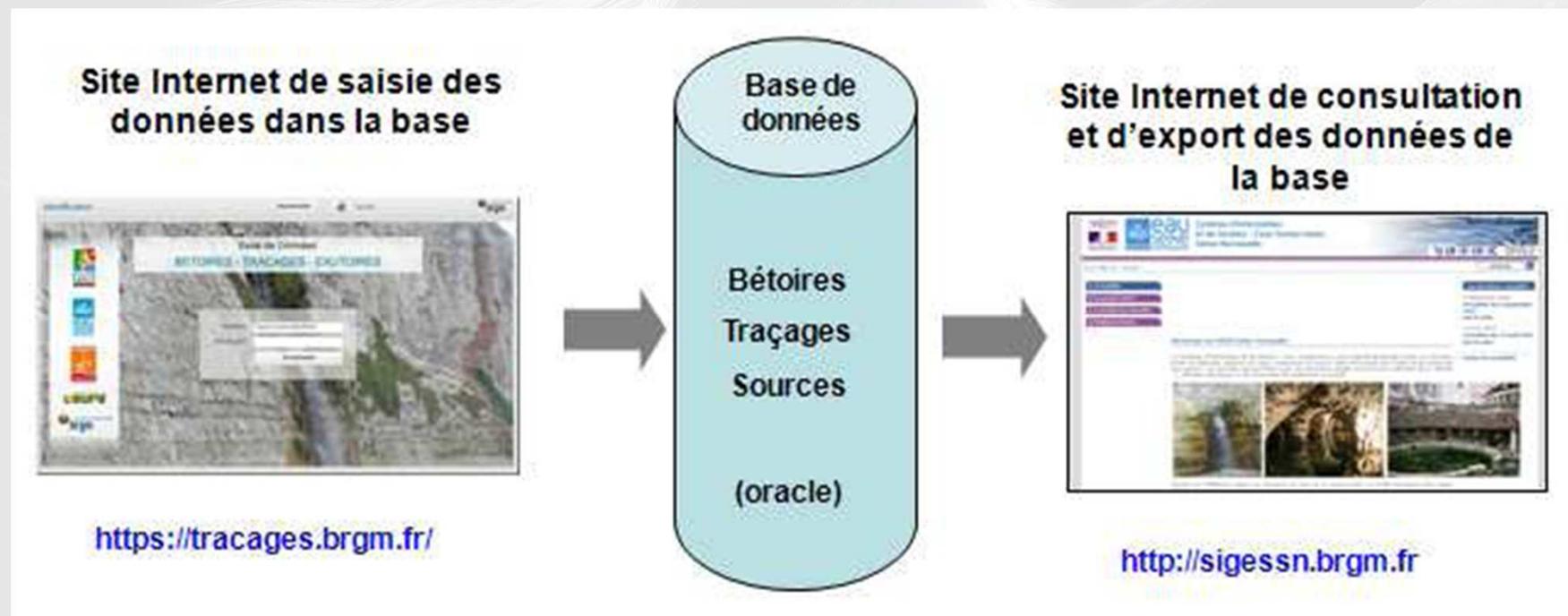
- **La surveillance et l'entretien des aménagements**
- **La compatibilité avec les documents de référence et d'orientation**
  - Directive Cadre Européenne 2000/60/CE,
  - Nouveau SDAGE (2010-2015)
- **En annexe présenter pour chaque aménagement de béttoire une fiche descriptive**

# Autres préconisations



## Autres préconisations

- Renseigner ces aménagements dans l'inventaire régional des bétaires et traçages (site Internet de saisie : <https://tracages.brgm.fr>)





**Merci de votre attention**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**