

# Inventaire régional Haute-Normandie des bétoires, trajets souterrains des eaux (traçages) et des exutoires

Rapport final Année 2

BRGM/RP-58189-FR  
Mars 2010





# Inventaire régional Haute-Normandie des bétaires, trajets souterrains des eaux (traçages) et des exutoires

Rapport final Année 2

**BRGM/RP-58189-FR**

Mars 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 07EAU127

**P.-Y. David, M. De Bechillon**

Avec la collaboration de

**M. Branellec**



**Vérificateur :**

Nom : E. Gomez

Date : 30 mars 2010

Signature :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'E. Gomez'.

**Approbateur :**

Nom : E. Gomez

Date : 30 mars 2010

Signature :

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'E. Gomez'.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



**Mots clés :** base de données, inventaire, aquifère de la craie, karst, perte, bétoire, engouffrement rapide, entonnoir d'absorption, traçage, traceur, exutoire, source, AEP, turbidité, Haute-Normandie, Eure, Seine-Maritime.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : David P-Y., Bechillon (De) M. (2010) – Inventaire régional Haute-Normandie des bétoires, itinéraires souterrains des eaux (traçages) et des exutoires – Rapport final Année 2. Rap. BRGM/RP-58189-FR, 130 p., 64 ill., 8 ann.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

L'Agence de l'Eau Seine Normandie, la Région Haute-Normandie, les Départements de l'Eure et de la Seine-Maritime en partenariat avec le Service Géologique Régional de Haute-Normandie du BRGM ont décidé de se doter d'une base de données recensant les informations historiques des phénomènes karstiques de la région Haute Normandie.

L'inventaire régional des Bétoires, Exutoires et itinéraires souterrains mis en évidence par Traçage, a débuté en 2008 et a pour objectif de :

- récupérer toutes les données existantes concernant le karst de la craie en Haute-Normandie, et les archiver au sein d'un même réservoir numérique (support papier associé) ;
- pouvoir utiliser ces données dans un système d'information géographique (SIG) ;
- mieux comprendre le fonctionnement du système karstique et ainsi améliorer la prévention contre les dégradations de la qualité chimique de l'aquifère crayeux (turbidité, nitrates, pesticides), notamment pour les captages AEP.

Compte-tenu de l'ampleur estimée du travail d'inventaire, la bancarisation des données historiques archivées dans les différentes collectivités ou administrations a été étalée sur 4 années.

La consultation et le dépouillement des fonds d'archives du BRGM et de la DIREN ont été réalisés au cours de l'année 1 (avril 2008-mars 2009) et ont fait l'objet du rapport BRGM RP-57188-FR.

Au terme de l'Année 2 de l'inventaire, la consultation et le dépouillement des fonds d'archives des DDE76, DDE27, DDAF27 et DDAF76 ont été réalisés. A noter que le déstockage des archives de la DDAF76 s'achèvera vers le 15 avril 2010.

Les 2 premières années de ce travail d'inventaire ont déjà permis la bancarisation de :

- 7604 bétoires et 3693 indices de pertes,
- 909 nouvelles observations sur des bétoires ou indices de pertes déjà bancarisées (fiches « historiques »),
- 1506 exutoires (sources),
- 763 points de suivi (hors exutoires),
- 160 points d'injection (hors bétoires),
- 1386 circulations souterraines testées par traçage (par 466 injections de traceurs).

Par ailleurs, des vérifications sur le terrain pour les trois bassins versants de la Risle aval, de la Lézarde et de l'Oudalle ont permis de réaliser 166 fiches d'observation.

Lors de l'Année 2, les données contenues dans la base de données Access ont été transférées vers la nouvelle base de données Oracle. Depuis janvier 2010, la base Access est abandonnée, la saisie est réalisée uniquement dans la nouvelle base Oracle via le site internet de saisie. Cet outil de télésaisie permettra, à l'issue de ces 4 années de rattrapage, une saisie en continu et partagée par toutes les collectivités, administrations et acteurs de l'eau (système d'identifiant/mot-de-passe).

Enfin, un travail d'analyse des données de traçages bancarisés a été réalisé au cours de l'année 2. Les résultats de ce travail ont permis de dresser un premier état des lieux des pratiques de traçage en Haute-Normandie. L'influence de différents paramètres (dose caractéristique, durée de suivi, volume de chasse, condition climatique,...) sur le résultat des traçages a été étudié. Il semble que les pratiques de traçage soient perfectibles.

La poursuite du dépouillement des archives des autres administrations et collectivités (Départements, Région, AESN, Université, Syndicats de Bassin Versants,...), la validation sélective des données sur le terrain et la mise en ligne de cette banque de données sur Internet sont prévus au cours des 2 prochaines années de ce projet.

# Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Rappels : présentation de l'inventaire</b> .....	<b>13</b>
2.1. DEFINITIONS .....	13
2.2. OBJECTIFS .....	13
2.2.1. Etat actuel des données en Haute-Normandie .....	13
2.2.2. Objectif de l'inventaire bétoires .....	14
2.3. CAHIER DES CHARGES DU PRESENT INVENTAIRE .....	15
<b>3. Nature des travaux réalisés lors de l'Année 2</b> .....	<b>17</b>
3.1. METHODOLOGIE DE BANCARISATION .....	17
3.2. BILAN DE LA BANCARISATION .....	18
3.2.1. Bilan Bibliographique - rapports consultés et bancarisés .....	18
3.2.2. Données bancarisés au BRGM (année 1) .....	18
3.2.3. Données bancarisées à la DIREN (année 1) .....	19
3.2.4. Données bancarisées à la DDE 76 (année 2) .....	20
3.2.5. Données bancarisées à la DDE 27 (année 2) .....	20
3.2.6. Données bancarisées à la DDAF 27 (année 2) .....	21
3.2.7. Données bancarisées à la DDAF 76 (année 2) .....	21
3.2.8. Autres données (année 2) .....	22
3.2.9. Bétoires, Exutoires et traçages bancarisées (en date du 19/03/2010) .....	24
3.2.10. Limites de la bancarisation .....	25
3.3. VALIDATION TERRAIN SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS SELECTIONNES EN ANNEE 2 .....	26
3.3.1. Validation terrain de juillet à décembre 2009 - Bassins Versants de la Lézarde et de l'Oudale .....	28
3.3.2. Bassin Versant de la Risle Aval : validation terrain d'avril à juin 2009 - ...	31
3.4. MISE EN PRODUCTION DU SITE INTERNET DE SAISIE ET DE LA NOUVELLE BASE ORACLE .....	35
3.4.1. Rappel de l'objectif d'un applicatif de saisie par Internet .....	35
3.4.2. Consolidation de la base Oracle et l'outil de saisie par Internet .....	36

3.4.3. Mise en service de l'applicatif de saisie par internet et de la base Access Oracle : janvier 2010 .....	37
3.4.4. Rappel des principes de saisie par Internet .....	37
3.5. MISE A DISPOSITION DES DONNEES DE LA BASE .....	40
<b>4. Résultats de la bancarisation.....</b>	<b>41</b>
4.1. BETOIRES .....	41
4.1.1. Localisation des bétoires en Haute-Normandie .....	41
4.1.2. Types de perte .....	45
4.1.3. Aménagements des bétoires .....	46
4.1.4. Contexte géomorphologique des bétoires .....	49
4.1.5. Environnement des bétoires et qualité des eaux d'engouffrement .....	49
4.2. SOURCES (EXUTOIRES) .....	52
4.3. TRAÇAGES.....	55
4.3.1. Types de traceurs .....	59
4.3.2. Bruit de fond.....	59
4.3.3. Masse injectée .....	61
4.3.4. Date et organismes de réalisation des traçages bancarisés.....	62
4.3.5. Traçages par famille de vitesse .....	62
<b>5. Analyse des traçages bancarisés.....</b>	<b>67</b>
5.1. TYPES DE SYSTEMES TRAÇAGE.....	67
5.2. DUREE DE SUIVI .....	68
5.3. VOLUME DE CHASSE .....	70
5.4. DOSE CARACTERISTIQUE INJECTEE.....	71
5.4.1. Cas des traçages réalisés à l'uranine .....	71
5.4.2. Comparaison des doses caractéristiques des traçages bancarisés et des doses caractéristiques proposées.....	72
5.5. ENSEIGNEMENT APPORTE PAR LES TRACAGES REALISES EN DOUBLON	73
5.5.1. Cas n°1 : traçages « doublons » réalisés dans les mêmes conditions hydrogéologiques (moyennes eaux) avec le même traceur (l'uranine) mais dont le résultat (type de lien) est différent .....	73
5.5.2. Cas n°2 : traçages « doublons » réalisés dans les mêmes conditions hydrogéologiques mais le traceur et le résultat (type de lien) sont différents .....	74

5.5.3. Cas n°3 : traçages « doublons » de type de liens identique, réalisés avec le même traceur (uranine) mais dans une période climatique différente (période sèche ou pluvieuse) .....	79
5.5.4. Cas n°4 : traçages « doublons » réalisés avec le même traceur mais dont le type de lien et la condition climatique sont différents .....	83
5.6. BILAN DE L'ANALYSE .....	87
5.6.1. Quantité à injecter et dose caractéristique .....	87
5.6.2. Type de système traçage .....	87
5.6.3. Volume de chasse .....	88
5.6.4. Durée de suivi.....	88
5.6.5. Conditions climatiques.....	88
5.6.6. Conditions hydrogéologiques .....	89
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>91</b>
<b>7. Bibliographie.....</b>	<b>93</b>

### Liste des illustrations

Illustration 1 : Schéma de principe des données bancarisées dans la base de données Bétoires / Traçages / Exutoires .....	15
Illustration 2 : Organigramme des différentes étapes de la bancarisation dans la base de données Bétoires / Traçages / Exutoires .....	17
Illustration 3 : Bilan du destockage des archives en terme de nombre de rapports consultés et exploités en date du 18/03/10.....	18
Illustration 4 : Bilan des fonds documentaires bancarisés (régrouvés par organisme auteur) .....	23
Illustration 5 : Bilan du destockage des archives en termes de bétoires, d'exutoires et de traçages bancarisés en date du 19/03/10.....	25
Illustration 6 : Méthodologie de validation terrain mise en place au cours de l'Année 1 .....	27
Illustration 7 : Zones parcourues sur les bassins versant de la Lézarde et de l'Oudale (de juillet à décembre 2009).....	28
Illustration 8 : Statistiques des vérifications terrain sur les bassins versants de la Lézarde et de l'Oudale en période d'été (de juillet à aout 2009) .....	29
Illustration 9 : Statistiques des vérifications terrain sur les bassins versants de la Lézarde et de l'Oudale en période d'hiver (novembre-décembre 2009) .....	30
Illustration 10 : Répartition des différentes observations de terrain pour les 2 campagnes réalisées sur les BV de la Lézarde et de l'Oudale (en % du nombre total des observations de chaque campagne) .....	30

Illustration 11 : Zones parcourues sur le Bassin Versant de la Risle aval (avril à juin 2009).....	31
Illustration 12 : Statistiques des vérifications terrain sur le bassin versant de la Risle Aval – d’avril à juin 2009.....	32
Illustration 13 : Diverses observations réalisées au cours des validations terrain de nov./dec. 2009.....	33
Illustration 14 : Diverses observations réalisées au cours des validations terrain de nov./dec. 2009.....	34
Illustration 15 : Page d’accueil de l’applicatif de saisie Internet de la base de données Oracle de l’Inventaire régional Bétoires/Traçages/Exutoires Haute-Normandie.....	35
Illustration 16 : Ecran de l’applicatif Internet concernant l’historisation des caractéristiques des bétoires en fonction de la date d’observation.....	36
Illustration 17 : Page d’accueil du nouvel applicatif de saisie par Internet.....	38
Illustration 18 : Page d’accueil de l’Etape 1.....	38
Illustration 19 : Etape 2 : saisie des points.....	39
Illustration 20 : Etape 3 : saisie d’un traçage.....	39
Illustration 21 : Carte de répartition des bétoires (hors indices de perte) pour la région Haute-Normandie- Etat de la bancarisation au terme de l’Année 2 (bétoires classées par type de perte).....	42
Illustration 22 : Carte de répartition des Indices de perte (bétoires supposées) pour la région Haute-Normandie- Etat de la bancarisation au terme de l’Année 2.....	43
Illustration 23 : Densité de bétoires par bassin versant hydrologique.....	44
Illustration 24 : Typologie des bétoires.....	45
Illustration 25 : Répartition des pertes par nature.....	45
Illustration 26 : Répartition des bétoires par état (indices de perte exclus).....	46
Illustration 27 : Type d’aménagement des bétoires (ces différents types d’aménagement sont présentés en annexe 3).....	47
Illustration 28 : Localisation des bétoires anthropisées (distribution par type d’anthropisation).....	48
Illustration 29 : Répartition des bétoires par géomorphologie.....	49
Illustration 30 : Environnement immédiat des bétoires.....	50
Illustration 31 : Nature des eaux d’engouffrement des bétoires.....	51
Illustration 32 : Classes de débits des exutoires.....	52
Illustration 33 : Utilisation des exutoires.....	53
Illustration 34 : Carte de répartition des sources (par classe de débits).....	54
Illustration 35 : Carte de répartition des itinéraires souterrains traçés (traçages positifs) pour la région Haute-Normandie.....	56
Illustration 36 : Carte de répartition des traçages négatifs pour la région Haute-Normandie (le trait en rouge représente l’association du point d’injection et du point de suivi où le traceur n’est pas réapparu).....	57

Illustration 37 : Localisation des 264 bétoires ayant fait l'objet de traçage.....	58
Illustration 38 : Bruit de fond naturel (en µg/l).....	59
Illustration 39 : Nature des traceurs utilisés.....	60
Illustration 40 : Masse moyenne injectée, distance moyenne tracée et dose caractéristique moyenne injectée pour les traçages bancarisés. Pour les traçages comportant plusieurs points de suivi, le calcul a été effectué en prenant la longueur entre le point d'injection et le point de suivi le plus éloigné. ....	61
Illustration 41 : Répartition des traçages par date d'injection du traceur.....	62
Illustration 42 : Répartition des différents itinéraires tracés positivement par classe de vitesse de restitution du traceur entre le point d'injection et le point de suivi.....	63
Illustration 43 : Familles de vitesses pour les traçages positifs.....	65
Illustration 44 : Résultats des traçages (type de lien) en fonction du type de système traçage.....	68
Illustration 45 : Effectifs de traçages négatifs par classe de vitesse minimum des écoulements que les traçages ont permis de mesurer (en m/h).....	69
Illustration 46 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s).....	70
Illustration 47 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s).....	70
Illustration 48 : Répartition des traçages négatifs selon la dose caractéristique utilisée (en kg/km) (cas des traçages réalisés à l'urinine).....	72
Illustration 49 : Comparaison des doses caractéristiques injectées en Haute-Normandie (en kg/km) calculées à partir de la base bétoires-tracages, et de celles proposées par P. Gombert [8], et proposées par l'OFEG [9] pour plusieurs types de traceurs.....	72
Illustration 50 : Doublons de traçages effectués en conditions hydrogéologiques de moyennes eaux. Le traceur utilisé est l'urinine ; la durée de suivi est inférieure dans le cas des traçages dont le résultat est négatif.....	73
Illustration 51 : Doublons de traçages effectués en moyennes eaux avec des traceurs différents.....	74
Illustration 52 : Doublons de traçages effectués dans la même période hydrogéologique (moyennes eaux), pour des traceurs et des types de liens différents.....	77
Illustration 53 : Comparaison des vitesses (en m/h) des traçages effectués en période sèche et en période pluvieuse.....	79
Illustration 54 : Comparaison des temps de restitution (en jour) des traçages effectués en période pluvieuse et en période sèche.....	79
Illustration 55 : Différents doublons de traçages positifs réalisés à l'urinine et à des périodes climatiques différentes.....	81
Illustration 56 : Présentation de plusieurs doublons de traçages effectués avec des traceurs identiques mais dont les conditions climatiques et les types de lien sont différents.....	85
Illustration 57 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage bétoire source.....	119
Illustration 58 : Moyenne des chasses artificielle (en m <sup>3</sup> ) pour un système traçage bétoire source.....	119

Illustration 59 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage point d'injection-source :.....	119
Illustration 60 : Moyenne des chasses artificielle (en m3) pour un système traçage point d'injection-source :.....	119
Illustration 61 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage bétoire-point de suivi.....	119
Illustration 62 : Moyenne des chasses artificielle (en m3) pour un système traçage bétoire-point de suivi.....	120
Illustration 63 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage point d'injection et point de suivi.....	120
Illustration 64 : Moyenne des chasses artificielle (en m3) pour un système traçage point d'injection et point de suivi.....	120

### Liste des annexes

Annexe 1 - Généralités sur le contexte hydrogéologique haut-normand.....	95
Annexe 2 - Liste des dossiers d'inventaires cavités communaux à destocker en année 3 dans les archives du département.....	101
Annexe 3 - Typologie des anthropisations des bétoires.....	107
Annexe 4 - Calcul des doses caractéristiques moyennes des différents traceurs utilisés en Haute-Normandie .....	113
Annexe 5 - Calcul de l'influence du volume chasse sur le résultat du traçage .....	117
Annexe 6 - Modèle d'acte d'engagement à signer pour bénéficiaire d'une extraction de la base régionale Bétoires/Traçages.....	121
Annexe 7 - Fiche de validation terrain bétoires .....	125
Annexe 8 - Cartographie des bassins versants d'Yport et de l'Iton en vue de la détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère.....	129

# 1. Introduction

Le karst haut-normand<sup>1</sup> génère des zones de dissolution de la craie qui peuvent engendrer en surface des effondrements naturels<sup>2</sup> qui constituent des points d'engouffrement (bétoires) des eaux superficielles vers la nappe phréatique de la craie sans filtration naturelle par le sol.

Ce karst est à l'origine de la turbidité : les eaux souterraines en Haute-Normandie sont soumises à de fortes contraintes, liées aux phénomènes d'érosion des sols sur les plateaux, qui altèrent fréquemment leur qualité (notamment pour l'Alimentation en Eau Potable). En effet, lors des épisodes pluvieux, les bétoires servent de vecteurs aux matières en suspension provenant des terres mises à nu ainsi qu'aux polluants type phytosanitaires issus des terres agricoles et les restituent à grande vitesse [5] dans les drains karstiques et donc dans les captages d'eau potable qui les captent.

Pour tenter de résoudre les problèmes posés par ce karst, les différents opérateurs du domaine de l'eau (collectivités, syndicats de bassin versant, administrations, bureaux d'études, etc.) réalisent de nombreuses études sur ces bétoires : leur impact sur la qualité des eaux souterraines, leurs liens avec des forages ou des sources (exutoires).

Les informations obtenues ne sont cependant pas centralisées ni « capitalisées ». En particulier, il n'est pas rare de voir recommencer des traçages déjà réalisés mais oubliés. De plus, aucune étude de synthèse d'envergure ne peut être engagée sans la mise à disposition préalable de ces données de base.

L'enjeu est pourtant fort : les bétoires mettant en contact direct les eaux de ruissellement avec la nappe de la craie, celle-ci devient alors très vulnérable à la turbidité, aux pollutions type phytosanitaires ainsi qu'aux pollutions accidentelles. Les ressources en eau souterraine de Haute-Normandie (soit plus de 95 % de l'alimentation en eau potable) sont sensibles à de tels événements qui peuvent induire des coupures de l'alimentation en eau de collectivités. Par ailleurs, tout projet d'aménagement doit nécessairement tenir compte de ces phénomènes (du moins ceux qui sont déjà connus) qui prennent place sur les plateaux comme dans les vallées, en raison des mouvements de terrain qu'ils provoquent et de la vulnérabilité de la nappe phréatique.

C'est ainsi que la Région Haute-Normandie, les Départements de l'Eure et de la Seine-Maritime en partenariat avec l'Agence de l'Eau Seine Normandie et le BRGM ont décidé de se doter d'une base de données recensant les informations historiques des

---

<sup>1</sup> Le « karst de la craie » constitue des écoulements dans des fissures élargies dans ce calcaire, voire de véritables réseaux pénétrables par des spéléologues.

<sup>2</sup> Différents par essence des effondrements de « marnières », d'origine anthropique.

phénomènes karstiques de la région Haute-Normandie : les points d'entrée du karst (Bétoires), les points de sortie (Exutoires ou sources) ainsi que les trajets liant les entrées et les sorties par traçage.

Cet inventaire régional a débuté en 2008 et a pour objectif de :

- récupérer toutes les données concernant les points d'entrée et de sortie du karst de la craie en Haute-Normandie ainsi que les données des circulations karstiques mises en évidence par traçage, et les archiver au sein d'un même réservoir numérique (support papier associé) ;
- pouvoir utiliser ces données dans un système d'information géographique (SIG) ;
- mieux comprendre le fonctionnement du système karstique et ainsi améliorer la prévention contre les dégradations de la qualité chimique de l'aquifère crayeux (turbidité, nitrates, pesticides), notamment pour les captages AEP.

Compte tenu de l'ampleur estimée du travail d'inventaire, la bancarisation des données historiques archivées dans les différentes collectivités ou administrations a été étalée sur 4 années.

La consultation et le dépouillement des fonds d'archives du BRGM et de la DIREN ont été réalisés au cours de l'année 1 (avril 2008-mars 2009) et ont fait l'objet du rapport BRGM RP-57188-FR.

Au cours de l'Année 2, les fonds d'archives des DDE 27, DDE 76, DDAF 27 et DDAF 76 ont été traités.

Le présent rapport constitue le rapport de fin travaux de l'Année 2.

### Remarques :

1. *Un rappel sur le contexte hydrogéologique haut normand est proposé en Annexe 1 ;*
2. *Lors de la rédaction de ce rapport, le déstockage des données de la DDAF76 était encore en cours. Les résultats indiqués sont donc valables à la date de la rédaction de ce rapport.*

## 2. Rappels : présentation de l'inventaire

### 2.1. DEFINITIONS

**Bétoire** : le mot bétoire, appelé « bois-tout » en cauchois, désigne un orifice naturel qui perce le sol, et dans lequel s'engouffrent les eaux de surface. Une bétoire favorise la pénétration rapide des eaux de ruissellement de surface vers les eaux souterraines, assurant une communication directe entre la surface et le réseau karstique sous-jacent. Il s'agit d'une perte karstique adaptée à la géologie régionale : la bétoire traverse souvent une forte épaisseur de formations superficielles (limons, argiles à silex, ...), avant d'atteindre la craie elle-même.

**Traçage** : les traçages consistent à injecter un traceur (colorant, chimique, radioactif, isotopique, bactérien, naturel) dans un point d'entrée du karst et de suivre l'éventuelle réapparition du traceur en différents points (points de suivi ou de restitution). Le but est de qualifier et quantifier un lien hydrogéologique entre deux points. Outre la mise en évidence des relations karstiques entre deux points, les traçages permettent d'obtenir des informations sur la direction de l'écoulement, la vitesse de transfert des eaux entre les deux points, la dispersion,...

### 2.2. OBJECTIFS

#### 2.2.1. Etat actuel des données en Haute-Normandie

Des inventaires bétoires ont été réalisés dans le passé dans le cadre de différents types d'études (plan d'épandage des boues de station d'épuration, études d'impact, projet de travaux de drainage, études environnementales pour l'instauration des périmètres de protection, études hydrauliques de bassins versants, etc.). Ces informations sont aujourd'hui dispersées dans les archives des différentes administrations, collectivités ou bureaux d'études.

De même, les traçages des circulations d'eaux souterraines sont réalisés généralement pour étudier les relations souterraines qui peuvent exister entre une bétoire, un rejet de station d'épuration et des captages AEP. La plupart des traçages sont réalisés par des bureaux d'études sur la base de cahiers des charges hétérogènes parfois sommaires. Il n'existe pas de règles de validation des protocoles de traçage. Il est ainsi probable que certains traçages négatifs soient en réalité de « faux négatifs » à cause d'une quantité trop faible de traceur injectée, d'une durée de suivi trop courte, d'une méthode analytique insuffisamment sensible, ou d'une période d'exécution de trop basses eaux [3]. Cette situation peut en partie être imputable à une absence de retour d'expérience à grande échelle de la réalisation de traçages dans le contexte karstique particulier de la Haute-Normandie.

Ainsi, sans réel recul sur les résultats des traçages déjà réalisés, aucune règle de l'art pour leur réalisation n'a pu être mise en place dans la région.

En définitive, l'information des inventaires de bétoires et des rapports de traçages est actuellement épars et non mobilisable facilement. A chaque nouvelle étude, une recherche importante de fond bibliographique doit être menée et s'avère souvent incomplète, ce qui nécessite la réalisation d'études déjà existantes. Aucune visibilité régionale des données acquises n'est actuellement disponible.

### 2.2.2. Objectif de l'inventaire bétoires

L'Inventaire Bétoires/Traçages/Exutoires consiste à créer pour la Haute-Normandie, un outil :

- de capitalisation des connaissances,
- de gestion des phénomènes karstiques et notamment des phénomènes d'infiltration rapide des eaux de surfaces dans les eaux souterraines.

Le but est de disposer d'une connaissance la plus complète possible (Illustration 1) :

- **des bétoires** (points d'engouffrement rapide), géolocalisation et synthèse des informations existantes pour chaque point (localisation, fonctionnement, anthropisation...),
- **des circulations souterraines mises en évidence par traçages**. Les opérations de traçage permettent par exemple de prouver la liaison entre une bétoire et un captage AEP et apportent des données indispensables à une bonne gestion de l'exploitation de la ressource :
  - durée du transport du polluant,
  - direction d'écoulement,
  - pourcentage de restitution d'un polluant, etc...
- **des exutoires naturels** (sources) de la nappe de la craie ainsi que les informations associées (débits, problèmes de qualités observés,...).

**Le but étant également de mettre à disposition des collectivités, des administrations, des acteurs de l'eau et du public, ces données via un site de consultation.**

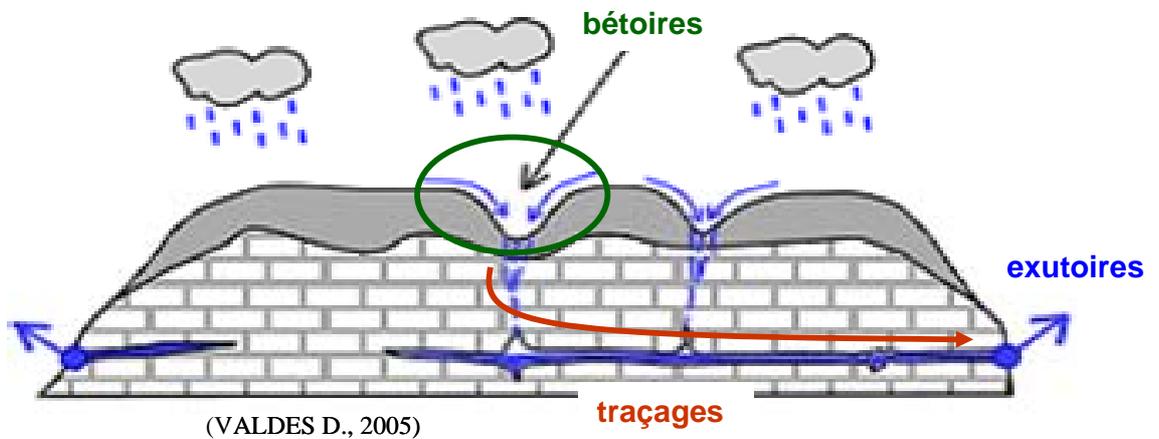


Illustration 1 : Schéma de principe des données bancarisées dans la base de données Bétoires / Traçages / Exutoires

### 2.3. CAHIER DES CHARGES DU PRESENT INVENTAIRE

La durée totale du projet est de 4 années. Le phasage prévu est le suivant :

#### Année 1 :

- Déstockage des archives du BRGM et de la DIREN,
- Compilation des données sous format papier et saisie dans la base de données,
- Elaboration d'une méthodologie de validation terrain,
- Tests méthodologiques de validation de terrain ciblés sur 3 Bassins Versants : Andelle, Austreberthe et Iton,
- Consolidation de la base de données Access,
- Création d'un applicatif de saisie distribué (saisie par Internet) et d'une nouvelle base Oracle.

#### Année 2 :

- Poursuite du déstockage et de la saisie : documents bibliographiques issus de la DDAF 27, la DDAF 76, la DDE 27 et la DDE 76,
- Tests méthodologiques de validation de terrain pour trois bassins versants (Risle Aval, Lézarde, Oudale),
- Consolidation et finalisation de la nouvelle base de données Oracle,
- Fin de la création et mise en service de l'applicatif de saisie distribuée,
- Valorisation scientifique : mise en place d'un projet de thèse,
- Valorisation des données des années 1 et 2 comprenant : le bilan de la saisie, la présentation graphique des principales données de la base à l'issue de

l'année 2, la valorisation cartographique des données bancarisées en vue de la caractérisation de la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine du point de vue de son caractère karstique (2 cartes réalisées sur 2 bassins versants jugés par le comité de pilotage comme les plus intéressants),

- Rédaction d'un rapport d'avancement qui inclura ces valorisations de données.

### Années 3 et 4 :

Les années 3 et 4 seront consacrées :

- à la fin du déstockage des archives des partenaires (CG 27, CG 76, Conseil Régional, AESN, Université de Rouen) ainsi qu'éventuellement au déstockage de données détenues par des organismes extérieurs (bureaux d'études, CETE, Syndicats de Bassin versant),
- à la validation sélective des données sur le terrain,
- à la réalisation d'un site de consultation des données,
- à l'analyse statistique et à la valorisation des données.

Lors de la dernière année et avant la mise en service du site de consultation des données, un travail important de « nettoyage » et de compléments de la base sera nécessaire et comprendra notamment l'analyse des doublons de la base, l'éventuel complément par traitement SIG et calculs informatisés, lorsque cela sera possible, de champs non renseignés et un travail important de validation terrain sur la base des méthodologies définies lors des années 1 et 2.

## 3. Nature des travaux réalisés lors de l'Année 2

### 3.1. METHODOLOGIE DE BANCARISATION

La méthodologie de bancarisation a été détaillée dans le rapport d'année 1. L'illustration 2 en rappelle les principales étapes :

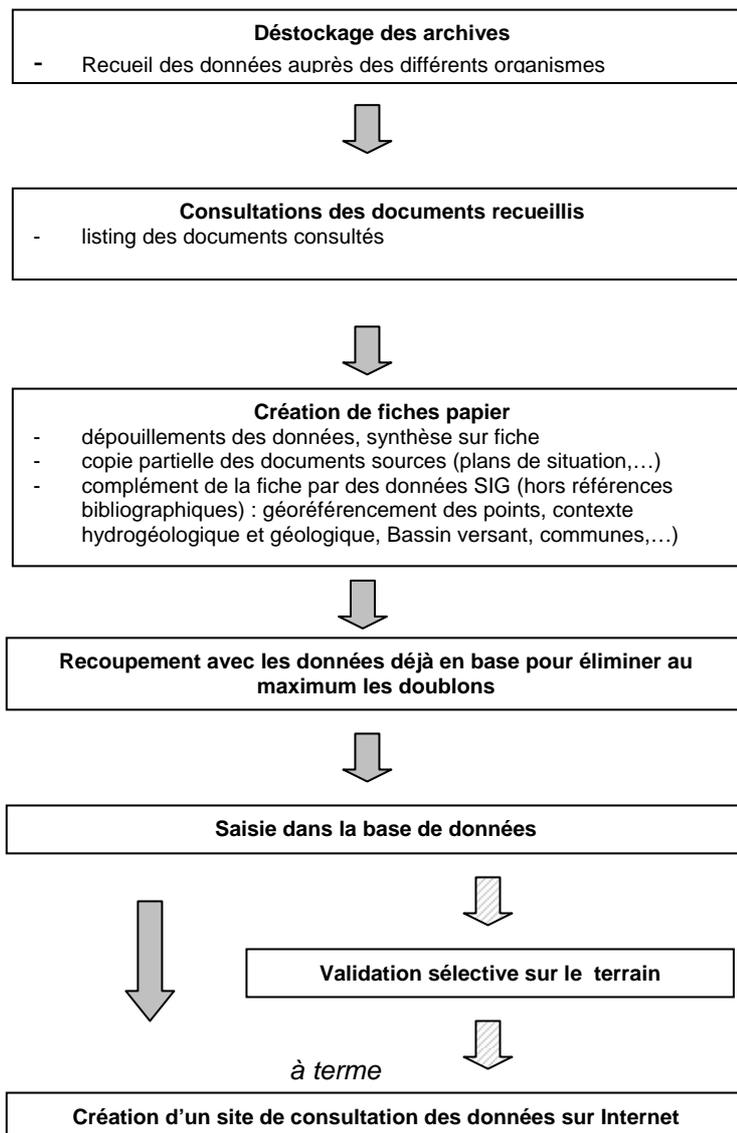


Illustration 2 : Organigramme des différentes étapes de la bancarisation dans la base de données Bétoires / Traçages / Exutoires

## 3.2. BILAN DE LA BANCARISATION

### 3.2.1. Bilan Bibliographique - rapports consultés et bancarisés

A la date du 18/03/10, le déstockage des archives a nécessité la consultation d'environ 6295 rapports (à noter qu'à cette date le déstockage de la DDAF 76 était encore en cours). Sur ces 6295 rapports consultés, seuls 772 contenaient des données utiles à l'inventaire et ont été bancarisés.

<b>BILAN (en date du 18/03/10)</b>	<b>Nombre de rapports consultés</b>	<b>Nombre de rapports exploités</b>
BRGM (phase pilote)	129	64
BRGM (année 1)	3323	159
DIREN (année 1)	2014	274
DDE76 (année 2)	169	115
DDAF27 (année 2)	300	63
DDAF76 (année 2 en cours)	343	83
Autres (année 2)	17	13
<b>TOTAL (BRGM +DIREN)</b>	<b>6295</b>	<b>772</b>

*Illustration 3 : Bilan du destockage des archives en terme de nombre de rapports consultés et exploités en date du 18/03/10*

### 3.2.2. Données bancarisés au BRGM (année 1)

Pour le BRGM, les données bancarisées peuvent se résumer de la façon suivante :

- Cartes géologiques (seules les cartes n°77, 123, 148, 149, 178, 179 et 215 contenaient des données de Bétoires pour la Haute-Normandie),
- Rapports du BRGM (de 1960 à aujourd'hui),
- Notes du BRGM (de 1960 à aujourd'hui),
- Rapports d'hydrogéologues agréés (bétoires extraites dans le cadre du projet POLLAC),
- Bétoires recensées dans les fiches POLLAC des captages AEP de Haute-Normandie,
- 5 thèses dont Rico, Calba, Masseï,

- Données bétoires inventoriées et compilées dans le cadre du rapport Aléa-Erosion (après examen, seules les données issues des cartes géologiques se sont avérées fiables et ont été récupérées),
- Les données AEP et sources de la BSS numérique (déversement automatique),
- Quelques rapports de Bureaux d'études isolés,

### **3.2.3. Données bancarisées à la DIREN (année 1)**

Concernant les archives de la DIREN, les rapports qui contenaient des données sont principalement ceux issus de bureaux d'études ou du BRGM et ayant traités aux thématiques suivantes (liste non exhaustive) :

- Etudes d'impact dans le cadre de la réalisation :
  - d'ouvrages de lutte contre les inondations
  - de stations d'épuration
  - de retenue ou rejet d'eaux pluviales
  - de création de puits filtrants
  - d'aménagements routiers/autoroutiers
- Plans d'épandage des boues de stations d'épuration
- Projets de travaux de drainage (assainissement/ hydraulique agricole)
- Etudes environnementales pour l'instauration des périmètres de protection, DUP
- Etudes hydrauliques de bassins versants
- Inventaires communaux des cavités
- Etc.....

A noter que nous avons également procédé au basculement de la base Access « Sources » de la DIREN qui comportait des données de débits pour les sources de Haute-Normandie.

Les données transférées de cette base vers la base Bétoires/Traçages/Exutoires concernaient les champs de température de l'eau, du débit moyen et de commentaires.

### **3.2.4. Données bancarisées à la DDE 76 (année 2)**

Le déstockage réalisé à la DDE 76 a concerné les inventaires « cavité » communaux.

Ce déstockage a été sélectif. En effet, une partie des inventaires communaux archivés à la DDE76 avait déjà été déstockés dans le cadre de la réalisation de la BD CAVITE 76 du BRGM.

La DDE 76 nous a transmis la liste des 327 inventaires « cavité » communaux existants (à la date de février 2009). Nous avons sélectionné dans cette liste les rapports qui n'avaient pas été bancarisés dans la BD cavité 76 (256 rapports).

Lors du déstockage en DDE 76, 154 rapports d'inventaires étaient disponibles et ont été destockés. Parmi ces 154 rapports, 21 ne contenaient aucune donnée de bétoires et n'ont pas été bancarisés.

Les 102 dossiers d'inventaires communaux, qui n'étaient pas disponibles en DDE au moment du déstockage, seront à rechercher dans les archives du CG76 en année 3. La liste de ces rapports est présentée en Annexe 2.

Par la suite, en fin d'année 2, un basculement informatique des données de bétoires de la BD Cavité 76 vers la Base Bétoire a été réalisé. Ce basculement a nécessité un travail préparatoire important d'élimination des doublons contenus dans les 2 bases.

Le basculement a été réalisé à partir d'une extraction de la BD Cavité 76 en date d'avril 2009.

### **3.2.5. Données bancarisées à la DDE 27 (année 2)**

Les BD Cavité du BRGM et de la DDE 27 ont été fusionnées pour l'Eure en 2009. La base résultante est gérée par la DDE 27 qui réalise des mises à jour régulières (intégration des nouveaux inventaires cavité notamment).

Le déstockage des données de la DDE 27 a donc consisté en un basculement informatique des données de bétoires contenues par la Base Cavité 27. Ce basculement a également nécessité un travail préparatoire d'élimination des doublons contenus dans les 2 bases (BD Cavité et BD Bétoires).

Le basculement a été réalisé à partir d'une extraction de la BD Cavité 27 en date d'avril 2009.

### 3.2.6. Données bancarisées à la DDAF 27 (année 2)

Afin de préparer le déstockage des archives de la DDAF 27, celle-ci nous a transmis un fichiers listant 1900 rapports d'études. Une première sélection a été réalisée sur la base de ce fichier.

Sur les 300 rapports consultés en DDAF 27, 98 comportaient des données à bancariser et ont été déstockés. A noter également que de nombreux rapports présents en DDAF 27 avaient déjà été bancarisés lors du déstockage réalisé au BRGM et à la DIREN.

Ces rapports sont principalement des rapports de bureaux d'études ayant traités aux thématiques suivantes (liste non exhaustive) :

- Etudes environnementales pour l'instauration des périmètres de protection, DUP
- Etudes hydrogéologiques pour la recherche d'eau
- Etudes hydrauliques de bassins versants
- Rapport de traçages hydrogéologiques
- Etudes d'impact dans le cadre de la réalisation :
  - de projets d'assainissement,
  - d'ouvrages de luttés contre les inondations

A noter qu'une « convention d'utilisation des données » a été signée à cet effet entre le DDAF 27 et le BRGM en juin 2009.

### 3.2.7. Données bancarisées à la DDAF 76 (année 2)

Concernant les archives de la DDAF 76, les rapports qui contenaient des données sont principalement ceux issus de bureaux d'études et ayant traités aux thématiques suivantes (liste non exhaustive) :

- Dossier de déclaration/autorisation et études d'impact :
  - d'ouvrages de lutte contre les inondations/ruissellement,
  - d'aménagements routiers/autoroutiers, ponts,
  - rejet des eaux pluviales, assainissement pluvial,

- forage AEP/Irrigation/Arrosage Golf/
- de création de puits filtrants
- Etudes environnementales pour l'instauration des périmètres de protection, DUP
- Etudes hydrauliques de bassins versants
- Projets urbains divers (cinéma, extension parking, lotissement, centre sportifs, piscine, aire d'accueil, ...)
- Etc.....

Il est à noter que de nombreux rapports présents dans les archives de la DDAF 76 avaient déjà été saisis dans le cadre du déstockage des archives de la DIREN.

### **3.2.8. Autres données (année 2)**

En plus des objectifs de destockage des archives des différents partenaires, plusieurs compléments de données ont été effectués auprès de Maîtres d'ouvrage ou de bureaux d'études afin de compléter les données concernant les bassins versants tests de l'année 2. Les études suivantes qui concernent les bassins versants « test » de l'année 2 ont notamment été bancarisées :

- SYNDICAT MIXTE DES BASSINS VERSANTS DE LA POINTE DE CAUX- RAPPORTS DE PHASE 1 à 3 - ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA LEZARDE- RECENSEMENT DES ZONES PREFERENTIELLES D'INFILTRATION ET DES CIRCULATIONS SOUTERRAINES - OPERATIONS DE TRACAGE - PROPOSITIONS D'ACTION-MARS 2006 à 2008
- COMMUNAUTE DE COMMUNES DE SAINT-ROMAIN-DE-COLBOSC- ETUDE GLOBALE DU BASSIN VERSANT DE SAINT-LAURENT- PHASES 1 A 6 - VERSION DU 15 FEVRIER 2003 - Inventaire Bétoires
- CODAH - ETUDE DE LA CIRCULATION KARSTIQUE DES EAUX DE RUISSELLEMENTS Inventaire Bétoires, Opérations de Traçages - 2007

La liste des rapports bancarisés, regroupés par organismes est présentée dans l'illustration qui suit :

ORGANISMES	Nombre de rapports bancarisés	% du total des rapports bancarisés
BRGM	223	30,5
INGETEC	100	13,7
SOGETI	41	5,6
AVIS D'HYDROGEOLOGUE AGREE	36	4,9
HORIZONS	32	4,4
GAUDRIOT et GAUDRIOT GEOTHERMA	28	3,8
SODEREF	27	3,7
SAFEGE	25	3,4
CETE	21	2,9
UNIVERSITE DE ROUEN, PIERRE MARIE CURIE PARIS, DE CAEN, DE PICARDIE, FACULTE POLYTECHNIQUE DE MONS	21	2,9
AQUA SOL PROJETS	19	2,6
DDAF	19	2,6
ANTEA	13	1,8
BURGEAP	12	1,6
ALISE ENVIRONNEMENT	10	1,4
GINGER	10	1,4
GEODEVELOPPEMENT	9	1,2
PIVETTE - ASTER	8	1,1
CHAMBRE D'AGRICULTURE SEINE-MARITIME	7	1,0
GROUPEMENT DE BE	6	0,8
AMETER	5	0,7
HYDROEXPERT	4	0,5
OYO RGS	4	0,5
SOGREAH	4	0,5
DDASS	3	0,4
DDE EURE	3	0,4
G2C ENVIRONNEMENT	3	0,4
SCETAUTOROUTE	3	0,4
AREAS	2	0,3
GEOLITHE	2	0,3
OUEST AMENAGEMENT	2	0,3
AUTRE	23	3,1
INCONNU	6	0,8

*Illustration 4 : Bilan des fonds documentaires bancarisés (regroupés par organisme auteur)*

A l'issue du déstockage de l'Année 2, les rapports réalisés par le BRGM ne représentent plus qu'un tiers des rapports mis en base (ils représentaient la moitié des

rapports à la fin de l'année 1). En ce qui concerne les Bureaux d'études, INGETEC se distingue nettement en tant que producteur de données (inventaires bétoires essentiellement) (100 rapports Ingetec bancarisés). On peut ensuite noter les Bureaux d'études suivants : SOGETI (41 rapports), HORIZONS (32 rapports), puis GAUDRIOT, SODEREF, SAFEGE, AQUA-SOL, ANTEA, BURGEAP, ALISE ENVIRONNEMENT et GINGER pour lesquels entre 10 et 30 rapports ont été bancarisés.

### **3.2.9. Bétoires, Exutoires et traçages bancarisés (en date du 19/03/2010)**

A la date du 19/03/10, le dépouillement des différentes archives BRGM, DIREN, DDE76, DDE27, DDAF27 et DDAF76 a déjà permis la bancarisation de 13726 points et 466 opérations de traçages, se répartissant comme suit :

- 11297 bétoires ou indices de perte (dont 7604 bétoires et 3693 indices de pertes),
- 909 nouvelles observations sur des bétoires ou indices de perte déjà bancarisés (fiches « historiques »),
- 1506 exutoires (sources),
- 763 points de suivi (hors exutoires),
- 160 points d'injection (hors bétoires),
- 1386 circulations souterraines testées par traçage (par 466 injections de traceurs).

Par rapport à la fin de l'année 1, ont été créés au cours de l'année 2 :

- 6140 nouveaux points (dont 6062 bétoires ou indices de perte, 12 sources, 15 points de suivi, 51 points d'injection),
- 909 nouvelles observations sur des bétoires ou indices de perte déjà bancarisés (fiches « historiques »),
- 211 nouvelles circulations souterraines testées par traçages (par 72 injections de traceurs).

Remarque : Il est à noter que ces chiffres sont partiels car au moment de la rédaction de ce rapport, le déstockage de la DDAF 76 était toujours en cours.

La répartition par archives d'origine est présentée dans l'illustration suivante :

	Nombre de bétoires	Nombre d'exutoires	Nombre de points de suivi	Nombre de points d'injection	Nombre de traçages (injection de traceur)	Nombre de circulations souterraines testées par tracage
<b>BILAN</b>						
BRGM (phase pilote)	2594	1449	706	15	144	1386
BRGM (Année 1)	749	12	28	82	187	
DIREN (Année 1)	2977	34	19	39	63	
DDE 76 (Année 2)	966	9	1	2	9	
DDAF 27 (Année 2)	772	0	6	17	50	
DDAF 76 (Année 2 en cours)	471	0	3	2	3	
BD CAVITE 76 (Année 2)	1485	0	0	0	0	
DDE 27 (base CAVITE DDE 27) (Année 2)	1056	0	0	0	0	
Autres (année 1 et 2)	227	2	0	3	10	
<b>TOTAL</b>	<b>11297</b>	<b>1506</b>	<b>763</b>	<b>160</b>	<b>466</b>	<b>1386</b>

*Illustration 5 : Bilan du destockage des archives en termes de bétoires, d'exutoires et de traçages bancarisés en date du 19/03/10*

### 3.2.10. Limites de la bancarisation

Les informations récoltées proviennent de fonds bibliographiques très variés. Toutes les références bibliographiques n'apportent pas la même qualité ni le même détail de données.

La base de données comporte de nombreux champs pour essayer de qualifier les données bancarisées comme l'imprécision des coordonnées, le type de traçage (qualitatif/quantitatif,...). La qualité des données est aussi visible par le nombre de champs renseignés par point.

Il apparaît parfois, pour certaines références bibliographiques, que la seule information disponible pour une bétoire est sa position géographique (cas de certains inventaires de bétoires, cartes géologiques, études d'impact...).

Par ailleurs, l'imprécision de la position des bétoires sur certaines cartes de rapport, amène à la création de points en doublons.

### **3.3. VALIDATION TERRAIN SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS SELECTIONNES EN ANNEE 2**

Lors de l'année 1 du projet, une méthodologie de validation terrain sélective des bétoires a été mise en place. Trois bassins versants avaient alors fait l'objet de ces tests méthodologiques : l'Andelle, l'Austreberthe et l'Iton.

L'illustration 6 rappelle les grandes lignes de cette méthodologie.

Au cours de l'année 2, les validations sélectives de terrain ont porté sur les trois bassins versants sélectionnés par le comité de pilotage du projet : la Lézarde, la Risle aval et l'Oudale.

Deux séries de validations terrain ont été réalisées, l'une en période de printemps / été (avril à août 2009) et l'autre en période d'automne / hiver (novembre-décembre 2009).

Le choix des zones retenues pour la validation terrain s'est effectué en donnant priorité :

- Aux bétoires situées dans les périmètres de protection éloignés des captages d'eau potable ;
- A des recherches de bétoires dans les vallées sèches ou des zones de plateau comportant de nombreux talwegs ;
- A des points nécessitant des confirmations du type : vérification d'aménagements préconisés, de doublons, d'indices non validés de perte,...).

Conformément à la méthodologie mise en place au cours de l'année 1, des fiches de terrain ont été systématiquement réalisées pour chaque observation (cf. Annexe 7).

### Préparation de la journée terrain

- Préparation des cartes des secteurs à parcourir faisant apparaître à la fois les bétoires de la base ainsi que les cavités anthropiques de la base BD Cavité afin d'éviter la confusion entre bétoires et marnières sur le terrain,
- Liste des doublons à vérifier dans le secteur d'études (un traitement informatique permet de dresser cette liste (*tous les points dont la distance qui les séparent est inférieure à la somme des incertitudes de leurs coordonnées*),
- Listes des points douteux (incertitude marnière ou bétoire, réalisation des aménagements à vérifier,...)
- Les points de la base à vérifier sont mémorisés dans le GPS afin de faciliter leur localisation sur le terrain,
- Préparation d'un classeur des fiches papier des bétoires à valider sur le terrain

### Journée de terrain

#### Vérification des points existants

- Renseignement systématique d'une fiche spécifique aux observations terrain (bétoires retrouvées ou non, nouvelles,...),
- Prise des coordonnées de chaque point au GPS avec notation de leur incertitude,
- Mesure du diamètre et profondeur,
- Complément de la fiche : Etat (naturel, anthropisé, ...), Engouffrement fonctionnel ou non, Environnement du site, Contexte géomorphologique, Nature des eaux d'engouffrement,...
- Prise de photos de la bétoire et de son environnement
- Sondage de la population si possible

#### Recherche de nouvelles bétoires

- En remontant les vallées sèches et les talwegs
- En poursuivant les talwegs dans lesquels une bétoire est déjà recensée
- Sondage de la population

### Au retour de la journée de terrain

**Dépouillement des données de terrain :** les informations acquises sur le terrain sont ajoutées aux informations des rapports préexistants ; il n'y a pas écrasement des données (notion d'historisation)

- Bétoires retrouvées
  - o mise à jour des coordonnées
  - o mise à jour et complément des caractéristiques de la bétoire
  - o fusions de différents points en doublons si nécessaire
- Bétoires non retrouvées
  - o point conservé, avec mention « non retrouvé lors des validations terrain »
- Nouvelles bétoires

*Illustration 6 : Méthodologie de validation terrain mise en place au cours de l'Année 1*

### 3.3.1. Validation terrain de juillet à décembre 2009 - Bassins Versants de la Lézarde et de l'Oudale

8 journées de validation terrain ont été effectuées sur les bassins versants de la Lézarde et de l'Oudale entre juillet et décembre 2009 (dont 4 en période d'été et 4 en période d'automne/hiver).

Le terrain parcouru est présenté à l'illustration 7.

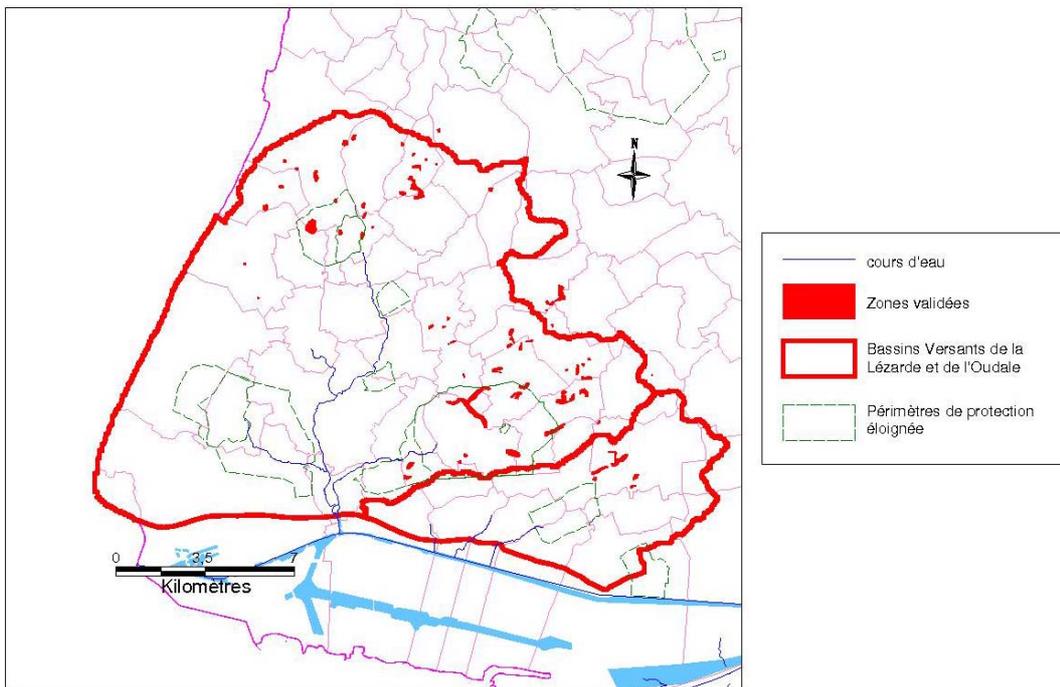


Illustration 7 : Zones parcourues sur les bassins versant de la Lézarde et de l'Oudale (de juillet à décembre 2009)

Les validations terrains réalisées en octobre/novembre 2009 ont été particulièrement intéressantes car réalisées :

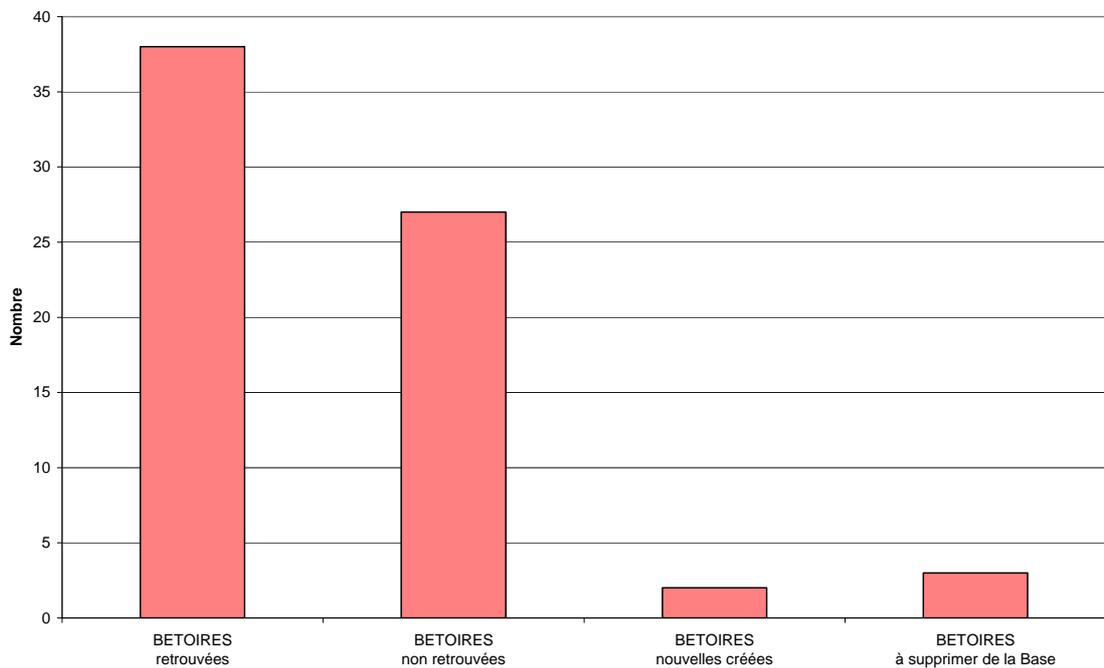
- après une succession de jours pluvieux, permettant de constater l'activité des bétoires (orifices récents observables, observations de sous-tirage des formations superficielles par les pertes, d'effondrements récents...),
- parfois lors de jours de pluie permettant d'observer directement l'engouffrement des ruissellements superficiels dans les bétoires.

Diverses observations effectuées durant cette période sont présentées sur les planches photographiques des Illustration 13 et Illustration 14.

Différents cas ont été rencontrés au cours de ces validations :

- Bétoires recensées dans la Base et retrouvées sur le terrain,
- Bétoires recensées dans la Base mais non retrouvées sur le terrain,
- Bétoires nouvelles observées,
- Bétoires à supprimer de la Base (doublons, marnière, ...).

Les différentes observations réalisées lors de cette campagne d'hiver se répartissent comme suit (Illustration 8 pour les vérifications d'été et Illustration 9 pour les vérifications d'hiver) :



*Illustration 8 : Statistiques des vérifications terrain sur les bassins versants de la Lézarde et de l'Oudale en période d'été (de juillet à aout 2009)*

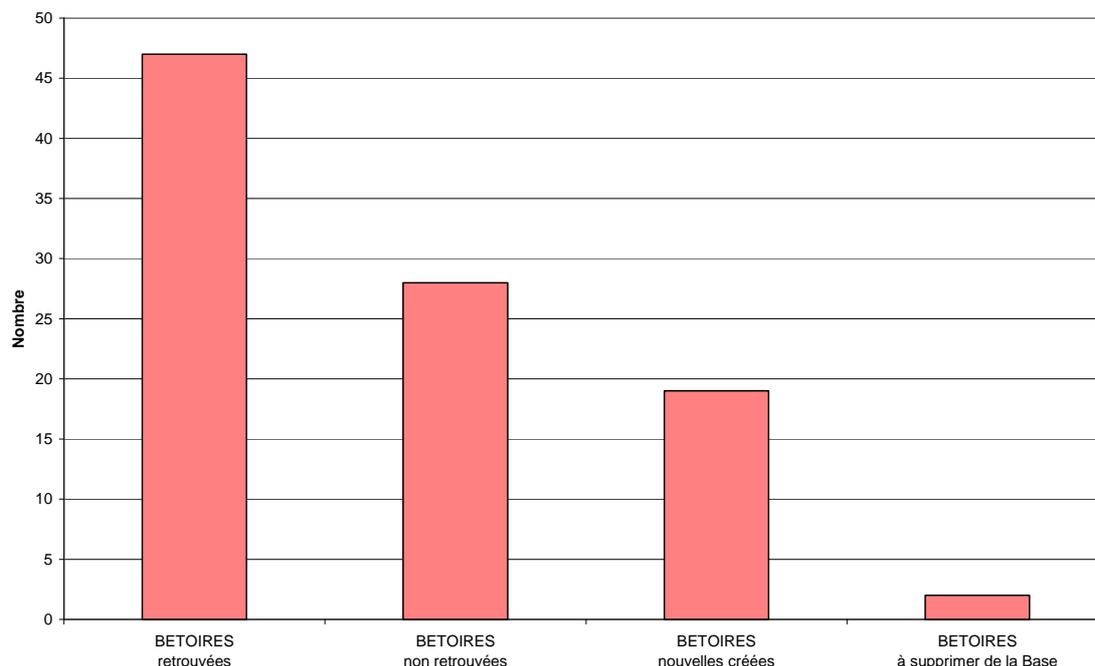


Illustration 9 : Statistiques des vérifications terrain sur les bassins versants de la Lézarde et de l'Oudale en période d'hiver (novembre-décembre 2009)

La comparaison des différents cas observés lors des deux campagnes (été / hiver) est présentée sur l'illustration 10 :

Validation terrain réalisée sur les BV de la Lézarde et de l'Oudale	<b>BETOIRES de la Base de données retrouvées sur le terrain</b>	<b>BETOIRES de la Base de données non retrouvées sur le terrain</b>	<b>BETOIRES nouvelles observées</b>	<b>BETOIRES à supprimer de la Base</b>
ETE	54%	39%	3%	4%
HIVER	49%	29%	20%	2%

Illustration 10 : Répartition des différentes observations de terrain pour les 2 campagnes réalisées sur les BV de la Lézarde et de l'Oudale (en % du nombre total des observations de chaque campagne)

L'illustration 10 montre que les validations terrain réalisées en périodes hivernales ont permis d'observer un nombre important de nouvelles bétoires (20% des fiches réalisées en période hivernale sont liées à l'observation de nouvelles bétoires). Il est à noter en effet que les fortes précipitations des mois d'octobre/novembre 2009 ont activé ou réactivé de nombreuses bétoires dans ces bassins versants permettant l'observation d'orifices francs en fond de nombreuses bétoires.

Le nombre de bétoires recensées mais non retrouvées sur le terrain a ainsi été plus faible en période hivernale (29% contre 39% en période estivale).

### 3.3.2. Bassin Versant de la Risle Aval : validation terrain d'avril à juin 2009 -

5 journées de validation terrain ont été effectuées sur le bassin versant de la Risle Aval entre avril et juin 2009.

Le terrain parcouru est présenté à l'illustration 11.

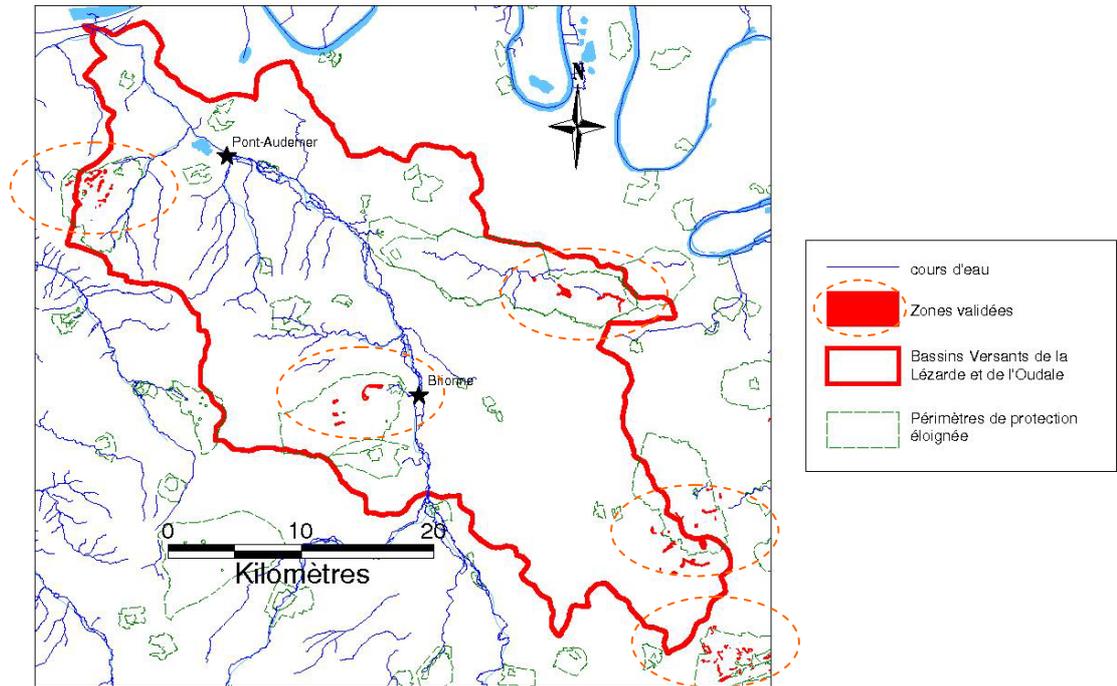
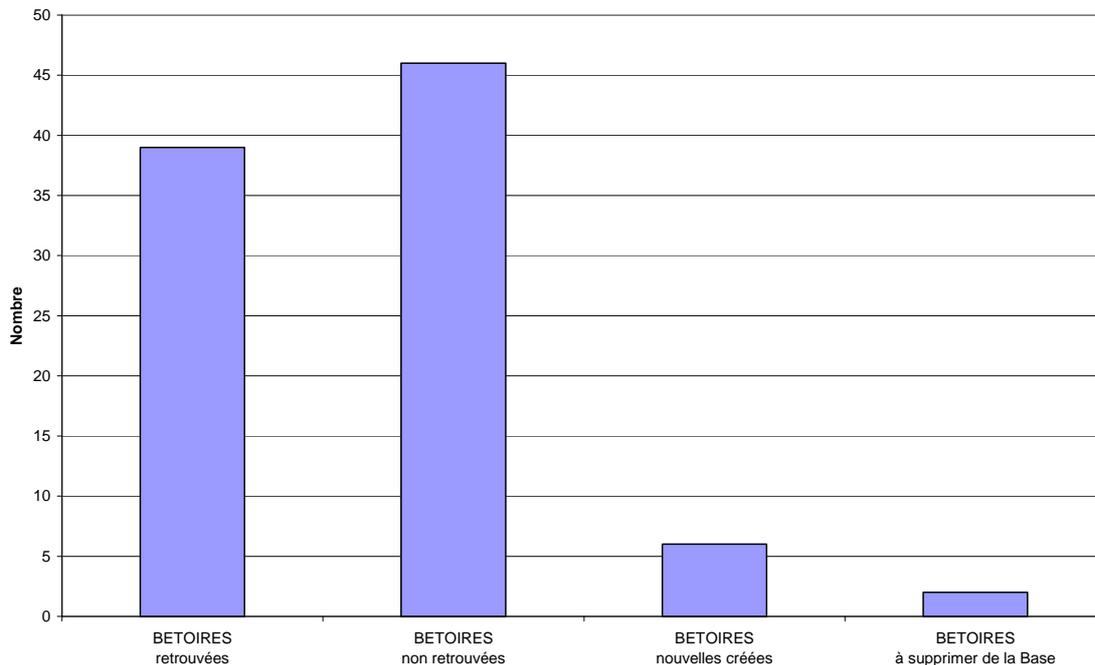


Illustration 11 : Zones parcourues sur le Bassin Versant de la Risle aval (avril à juin 2009)

Les différentes observations réalisées lors de cette campagne d'hiver se répartissent comme suit (Illustration 12) :



*Illustration 12 : Statistiques des vérifications terrain sur le bassin versant de la Risle Aval – d’avril à juin 2009*

Ces tests de validation terrain ont également permis l’identification de 22 points doublons à fusionner.

Globalement, ces observations de l’année 2 confirment donc que l’un des facteurs les plus favorables pour l’observation de nouvelles bétoires est une forte pluviométrie.

Il apparaît également que la rencontre des propriétaires ou des enquêtes de voisinage permet d’identifier plus facilement une bétoire ou encore d’améliorer grandement la connaissance de son fonctionnement (exemple de la bétoire n°10038 - Illustration 14), ou la connaissance des pratiques réalisées sur ces bétoires (exemple des bétoires n°9911 et n°9912 dont le propriétaire a indiqué qu’il avait rebouché la première (actuellement non visible) et qu’il rebouche régulièrement la seconde (visiblement plus active)).



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



**Doline bétoire n°10867** : bétoire recevant des rejets de drains agricoles (observation du 27/11/2009)



**Doline Bétoire n°10079** : effondrement du 04/11/2009 au niveau d'une route à Saint Jouin de Bruneval – diamètre de l'ordre d'une 10aine de mètres (observation du 06/11/2009) – Bétoire recevant les eaux des talwegs inondés à l'amont

*Illustration 13 : Diverses observations réalisées au cours des validations terrain de nov./dec. 2009*



**Doline bétoire n°10038** – Bétoire recevant les eaux turbides de ruissellement du bourg (bétoire purgée par son propriétaire et comblée par des gravats afin de conserver son pouvoir infiltrant et éviter les inondations) (observation du 20/11/2009)



**Bétoire n°10828** : réouverture de la bétoire déjà comblée en fond d'un bassin de rétention. (observation du 20/11/2009)



**Bétoire n°9991** – colmatée par du tout venant (observation du 02/12/2009)



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

Illustration 14 : Diverses observations réalisées au cours des validations terrain de nov./dec. 2009

### 3.4. MISE EN PRODUCTION DU SITE INTERNET DE SAISIE ET DE LA NOUVELLE BASE ORACLE

L'applicatif de saisie par internet créé en année 1 du projet, a été consolidé puis mis en service au cours de l'année 2. Il est accessible à cette adresse : <https://tracages.brgm.fr/>

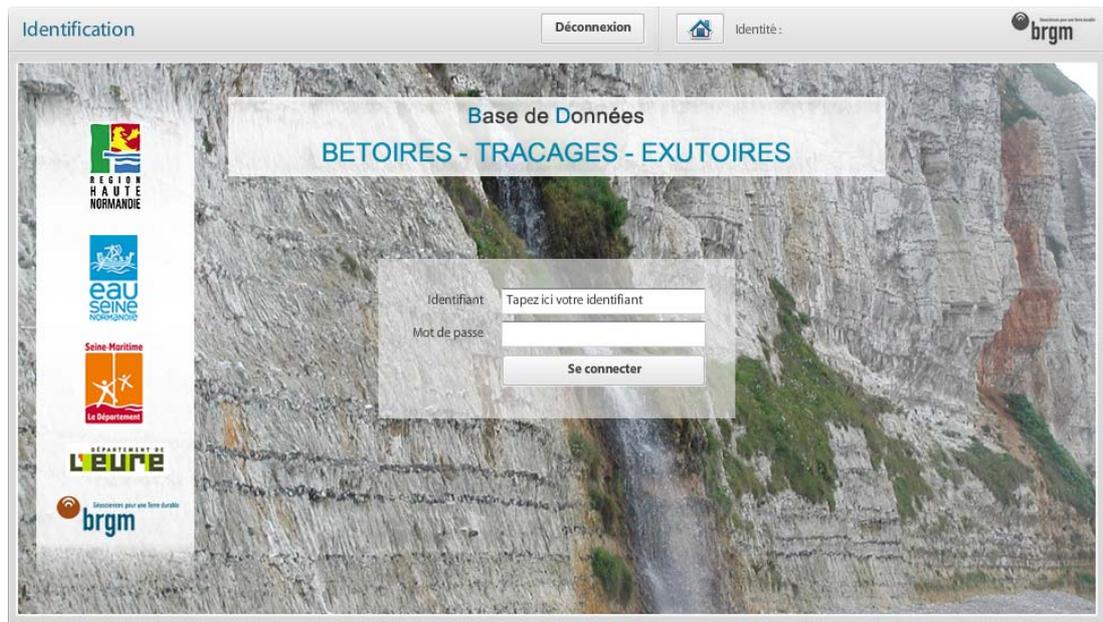


Illustration 15 : Page d'accueil de l'applicatif de saisie Internet de la base de données Oracle de l'Inventaire régional Bétoires/Traçages/Exutoires Haute-Normandie

#### 3.4.1. Rappel de l'objectif d'un applicatif de saisie par Internet

L'objectif du présent inventaire est d'effectuer un rattrapage en capitalisant les données acquises dans le passé. Au terme de ces 4 années de travail, la base de données ainsi constituée devra être mise à jour en continu.

Pour ce faire, une base de données Oracle a été réalisée (sur le modèle de la base Access existante), accompagnée d'un applicatif de saisie par Internet.

Ce site Internet de saisie permettra au terme de ces 4 années de rattrapage, une saisie de la base de données en continu et partagée par toutes les collectivités, administrations et acteurs de l'eau via la mise en place d'un système d'identifiant/mot-de-passe.

### 3.4.2. Consolidation de la base Oracle et l’outil de saisie par Internet

L’outil de bancarisation initial était une base de données Access spécialement conçue pour le projet dans le cadre de la phase pilote de 2003. Le détail de la conception et de l’architecture de cette base est détaillé dans le rapport BRGM/RP-52423-FR de 2003 [1]. Dans le cadre de la réalisation de l’applicatif de saisie par Internet, la base de données Access a été remplacée par une base de données Oracle.

La nouvelle base oracle a été conçue au cours de l’année 1 du projet (cf. rapport BRGM RP-57188-FR).

Avant leur mise en service, une consolidation de la base Oracle et de l’outil de saisie par Internet a été réalisée en début d’année 2. Cette consolidation a portée sur les points suivants :

- Historisation COMPLETE des caractéristiques des bétoires (la version en fin d’année 1 ne comportait seulement que quelques champs historisables). Cette historisation permet donc de prendre en compte le caractère évolutif d’une bétoire et de ses aménagements sans perte d’information dans la base de données. Ainsi, dorénavant, toutes les caractéristiques d’une bétoire (diamètre, profondeur, état, type d’aménagement, activité de la bétoire, commentaires,...) sont associées à une date d’observation ;
- Suppression des valeurs par défaut dans les différents champs numériques de la base ;
- Suppression du type « Alignement de bétoire » en tant que type de bétoire et ajout d’un nouveau champ « alignement de bétoires » au format oui /non ;
- Amélioration de la facilité d’utilisation des fonctions de validation (pour les profils « valideurs »).

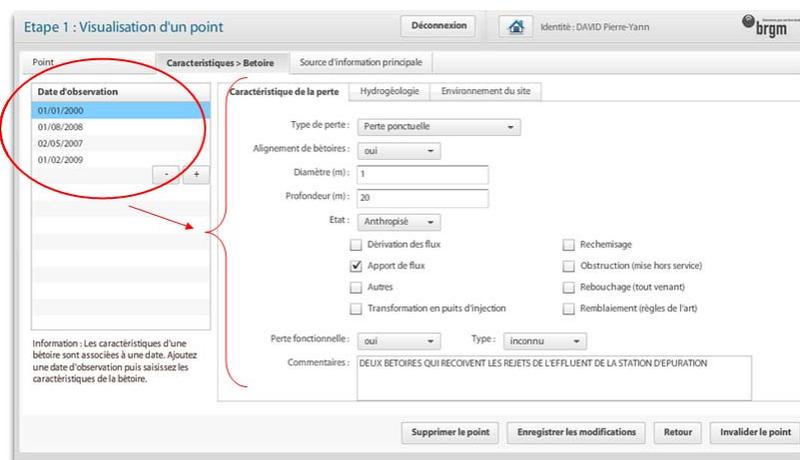


Illustration 16 : Ecran de l’applicatif Internet concernant l’historisation des caractéristiques des bétoires en fonction de la date d’observation

### **3.4.3. Mise en service de l'applicatif de saisie par internet et de la base Access Oracle : janvier 2010**

Le transfert des données contenues par la base de données Access vers la nouvelle base de données Oracle a été effectué en janvier 2010.

Ainsi, depuis janvier 2010, la base Access est abandonnée, la saisie est réalisée uniquement dans la nouvelle base Oracle via l'applicatif de saisie par Internet.

La nouvelle base Oracle est hébergée par les services informatiques du BRGM à Orléans.

Le guide d'utilisation de la base Access rédigé en mars 2003 (rapport BRGM/RP-52343-FR [2]) sera mis à jour au cours de l'année 3 du projet afin de prendre en compte les modifications apportées par le nouvel applicatif de saisie.

### **3.4.4. Rappel des principes de saisie par Internet**

Une saisie linéaire et cadrée a été retenue pour la conception de cet applicatif Internet afin de simplifier la saisie qui sera effectuée par des utilisateurs variés.

Le principe retenu est le suivant : la saisie s'effectue en trois étapes :

1. Etape 1 : Saisie de la référence documentaire (rapport, visite terrain,...),
2. Etape 2 : Saisie des points associés à la référence documentaire (bétoires, sources, points d'injection de traçage (hors bétoire), point de suivi de traçage (hors sources)),
3. Etape 3 : Saisie des traçages

Une attention particulière a été portée sur la question des droits à attribuer aux différents utilisateurs dans la gestion des données de la base.

Les copies d'écran des principales étapes sont présentées de l'illustration 17 à l'illustration 20.



Illustration 17 : Page d'accueil du nouvel applicatif de saisie par Internet

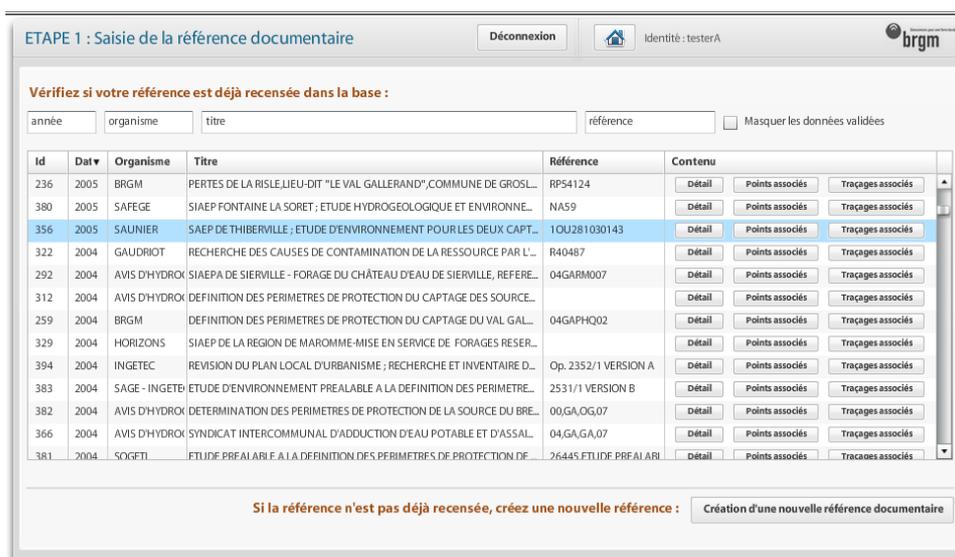


Illustration 18 : Page d'accueil de l'Etape 1

ETAPE 2 : saisie des points

Déconnexion  Identité : testerA 

**Type du point à créer :**

Note:  
 Un point d'injection est un point autre qu'une bétoire dans lequel a été injecté un traceur (exemple : puisard, puits, forage, fossé, sondage...)  
 Un point de suivi est un point autre qu'une source sur lequel a été suivi la restitution éventuelle d'un traceur (exemple : forage, puits, eau de surface...)

Illustration 19 : Etape 2 : saisie des points

Etape 3 : Description d'un traçage

Déconnexion  Identité : testerA 

**Source d'information principale**

**Nature du document :** document texte **Titre :** RECHERCHE DES CAUSES DE CONTAMINATION DE LA RESSOURCE PAR  
**Référence :** R40487 **Organismes :** GAUDRIOT  
**Localisation de la source :** DIREN

Point d'injection	Date	Nombre de points	Identifiant BD ▼	Contenu
Point d'injection - P686	02/12/2007 17:00	1	T390	<input type="button" value="Détail"/>
Bétoire - B6560	01/04/1980 01:00	1	T360	<input type="button" value="Détail"/>
Bétoire - B6573	11/03/2004 00:00	2	T359	<input type="button" value="Détail"/>
Point d'injection - P686	11/03/2004 00:00	2	T358	<input type="button" value="Détail"/>

Illustration 20 : Etape 3 : saisie d'un traçage

### **3.5. MISE A DISPOSITION DES DONNEES DE LA BASE**

En attendant la création du site Internet de consultation et en accord avec le comité de pilotage, le BRGM met à disposition des bureaux d'études ou des collectivités maître d'ouvrage, les données de l'Inventaire Bétoires/Traçages.

Une vingtaine d'extraction a déjà été réalisée pour des Bureaux d'études, Mairie, Hydrogéologue agréé, Dire, Syndicats,... pour des besoins d'études variées telles que : études BAC, études d'environnement préalables à une DUP, réalisation d'un traçage, inventaires communaux « cavités », étude de mise en place d'une Step, projet autoroutier, étude ruissellement/inondation,...

A noter que depuis le 01/12/2009, la signature d'un acte d'engagement est demandée au bénéficiaire de l'extraction de la base (cf. modèle en Annexe 6).

## 4. Résultats de la bancarisation<sup>3</sup>

Les résultats de la bancarisation sont présentés dans les paragraphes suivants pour les bétoires, les sources et les traçages. Par ailleurs deux cartes de synthèse ont été réalisées sur les bassins versants de l'Iton et d'Yport et permettent de visualiser les données bancarisées sur ces 2 bassins versants. Ces cartes sont présentées en Annexe 8.

### 4.1. BÉTOIRES

#### 4.1.1. Localisation des bétoires en Haute-Normandie

La répartition des bétoires bancarisées, au terme de l'Année 2, est présentée sur les Illustration 21 (bétoires) et Illustration 22 (indices de perte).

On observe que les bétoires sont inégalement réparties sur les différents Bassins versants hydrologiques de Haute-Normandie (Illustration 21 à Illustration 23).

On remarque en particulier :

- La quasi-absence de Bétoires sur les bassins versants de la Béthune (contexte géologique non crayeux), l'Eaulne, l'Yères, la Sainte-Geneviève, l'Hazey-Saint Ouen, l'Oison et de la Bordure Seine Rive Droite de la Boucle de Canteleu.
- Une densité de bétoires plus forte à l'ouest d'un axe Dieppe-Rouen.

A noter toutefois que les fortes densités observées dans le sud-ouest de l'Eure (La Charentonne et partie amont de la Risle) (Illustration 23) sont en partie dues à la prise en compte des entonnoirs d'absorption indiqués sur les cartes géologiques de ce secteur et bancarisés dans la base en tant qu'indices non validés de pertes.

---

<sup>3</sup> Les résultats présentés dans le paragraphe 4 ont été réalisés à partir de traitement des données de la base en date du 01/03/2010. Toutes les données bancarisées après cette date n'apparaissent pas dans ces résultats.

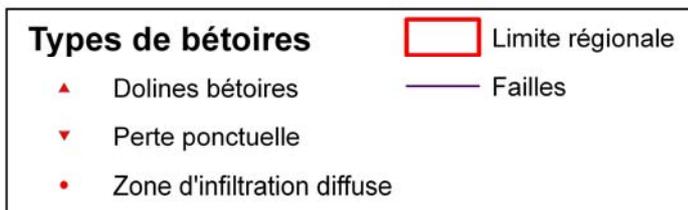
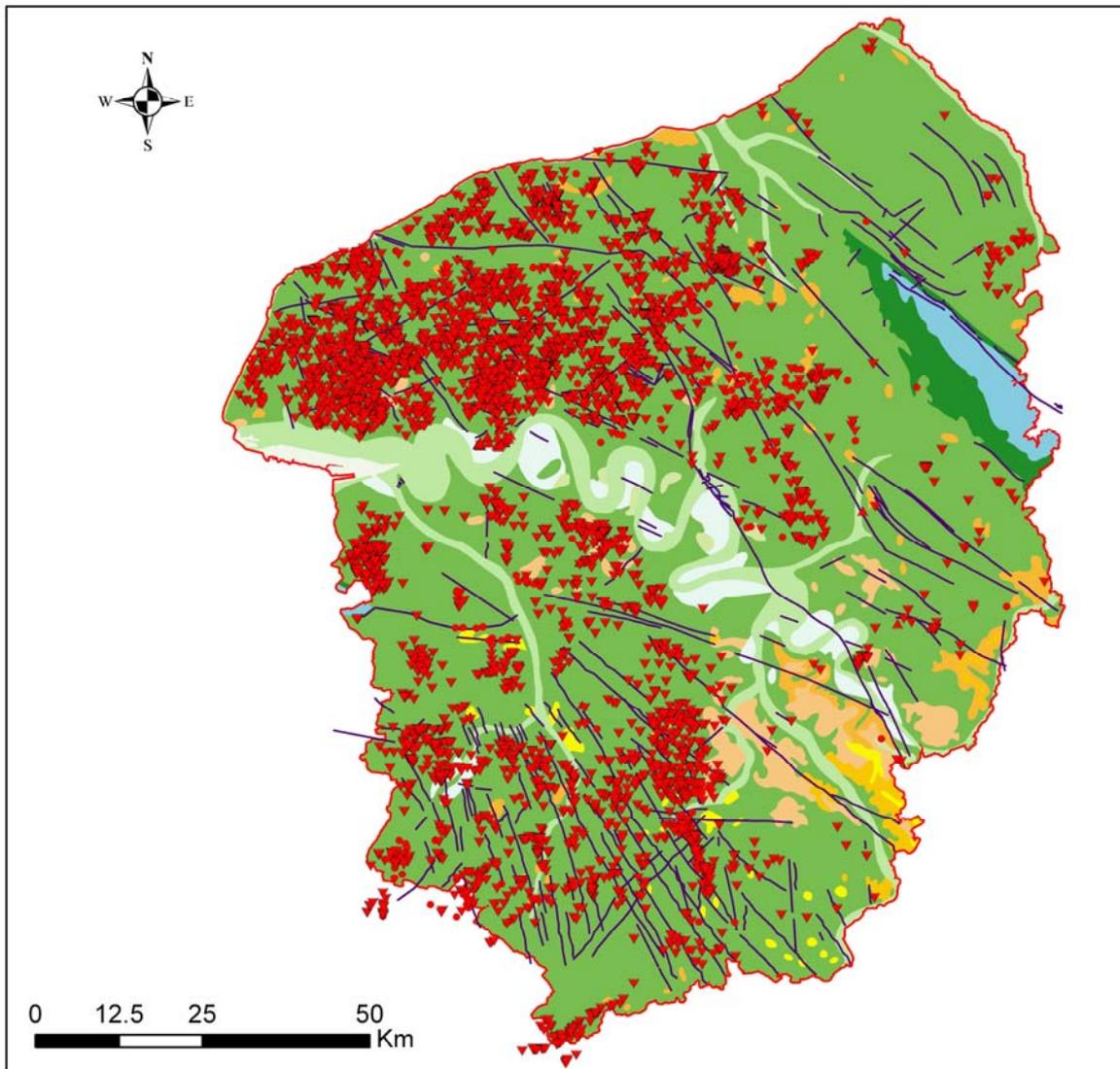
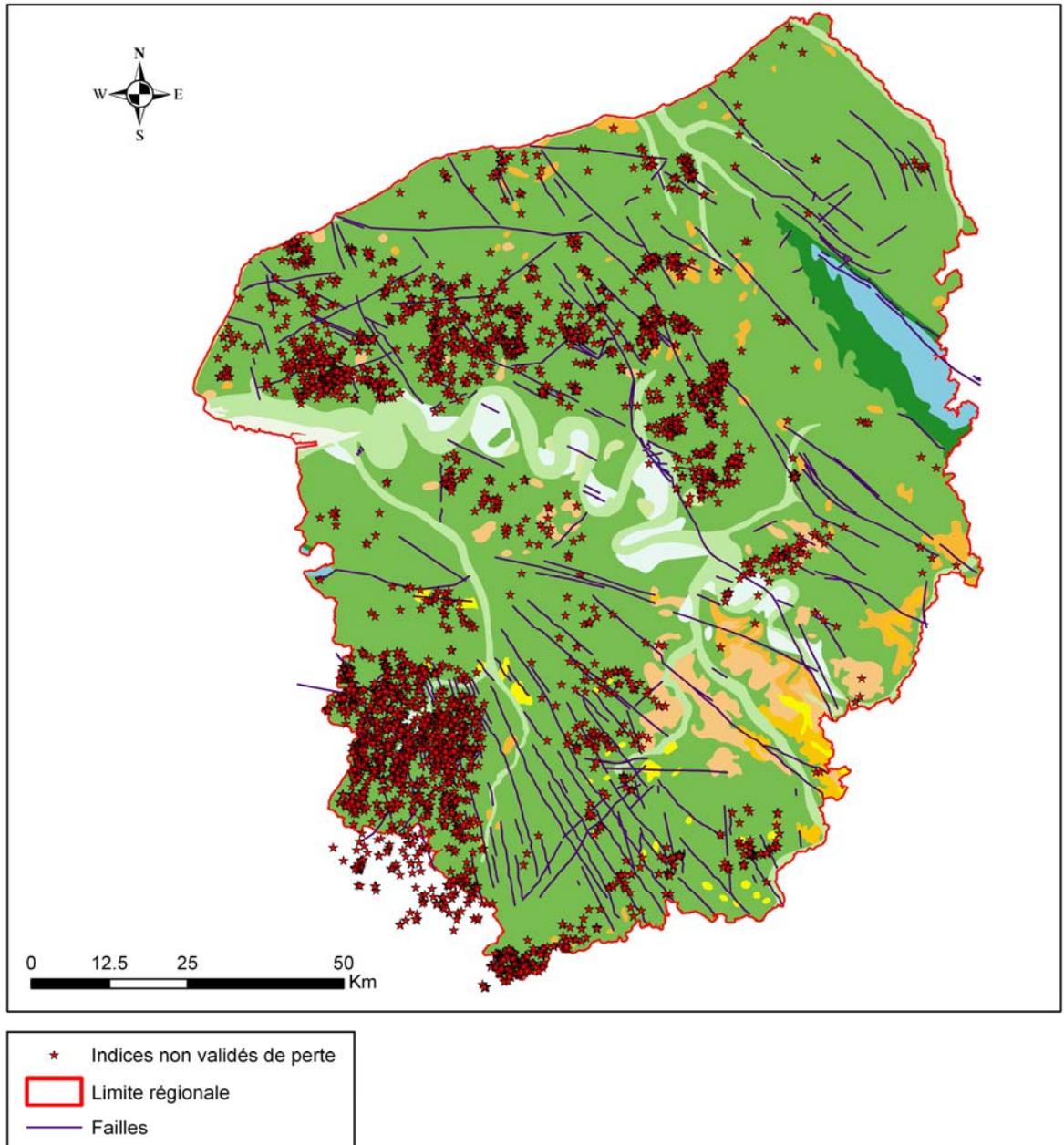


Illustration 21 : Carte de répartition des bétoires (hors indices de perte) pour la région Haute-Normandie- Etat de la bancarisation au terme de l'Année 2 (bétoires classées par type de perte)



*Illustration 22 : Carte de répartition des Indices de perte (bêtoires supposées) pour la région Haute-Normandie- Etat de la bancarisation au terme de l'Année 2*

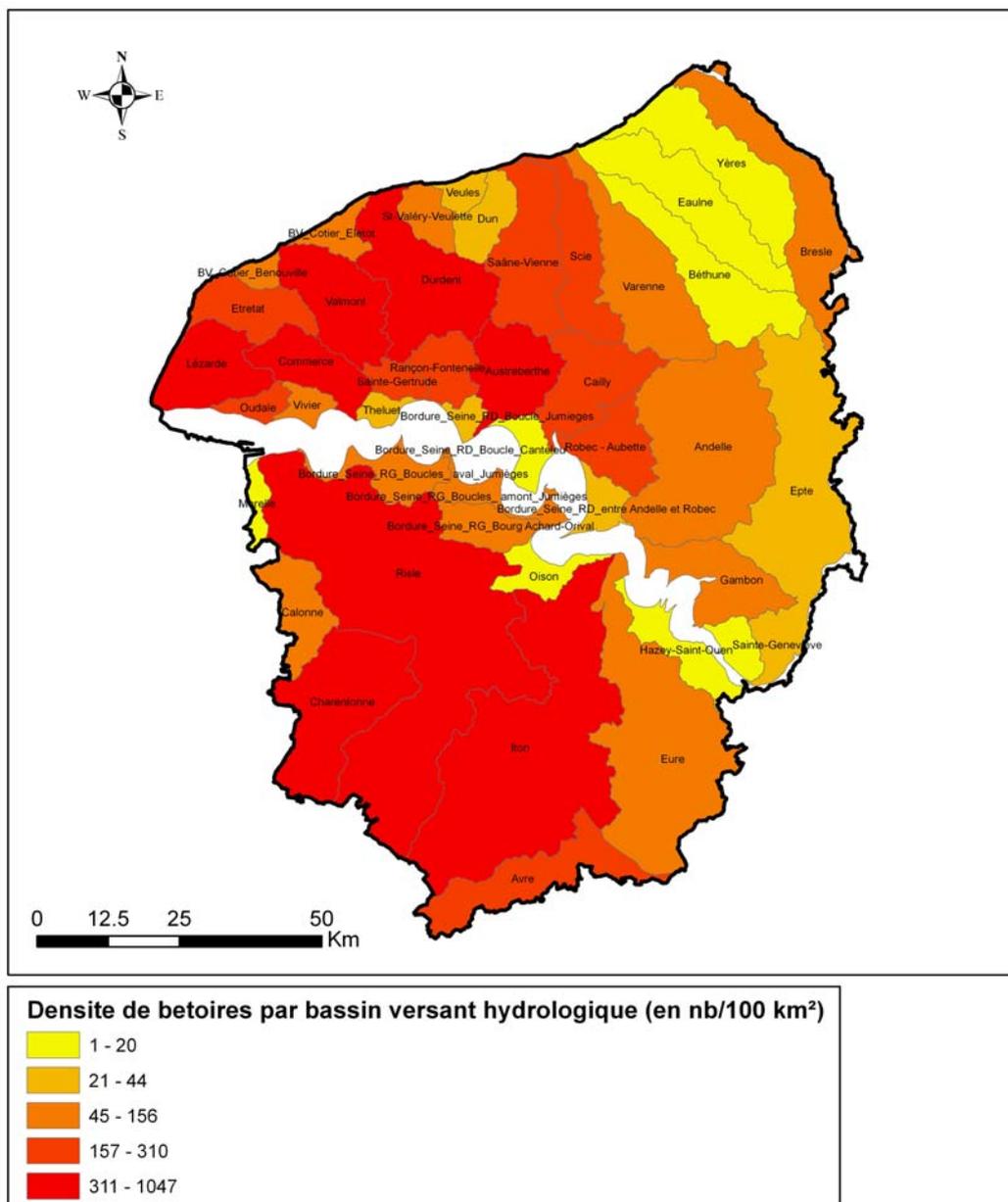


Illustration 23 : Densité de bêtouilles par bassin versant hydrologique

### 4.1.2. Types de perte

La base de données distingue dorénavant 4 types de pertes (bétoires). La typologie est détaillée sur l'illustration ci-dessous :



Illustration 24 : Typologie des bétoires

La répartition géographique en termes de types de perte est présentée sur les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Illustration 22. La distribution selon le type de perte est détaillée ci-dessous (Illustration 25).

Type de perte	Nombre	en %
Perte ponctuelle	4644	54%
Dolines bétoires	103	1%
Indice non validé de perte	3558	42%
Zone d'infiltration diffuse	245	23%
TOTAL	8550	100,0%

Illustration 25 : Répartition des pertes par nature

Sur 8550 bétoires recensées dans la base, 54% sont des pertes ponctuelles, 42 % des indices non validés de perte, 23 % des zones d'infiltration diffuse et 1% des dolines bétoires. Ce taux élevé pour les indices non validés vient en partie des cartes géologiques et des inventaires terrains, où les anomalies de surfaces (bétoires, points en effondrement d'origine anthropique,...) sont souvent assimilées et apparaissent ainsi indifférenciées.

### 4.1.3. Aménagements des bétoires

L'état est le plus souvent indéterminé (62%). En effet, de nombreuses bétoires sont saisies à partir d'une simple carte sans plus de précision sur leurs caractéristiques. Au total, 28% des bétoires sont classées comme « naturelles » et 10% sont classées comme « anthropisées ».

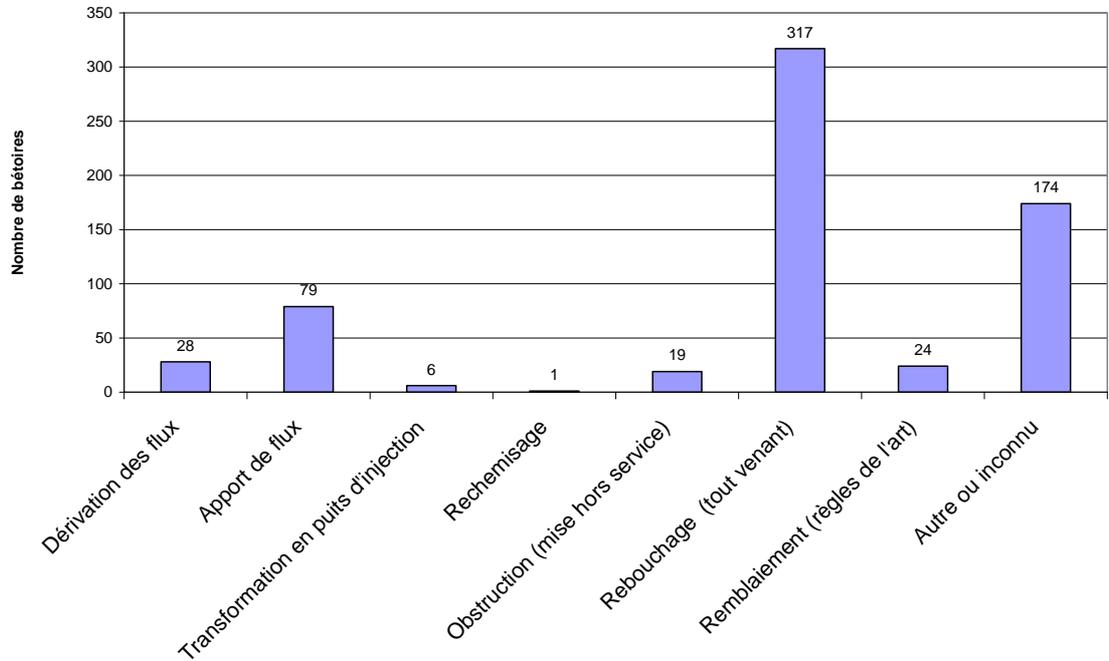
Etat	Nombre de bétoires	Pourcentage du nombre total de bétoires
Anthropisé	498	10%
Naturel	1394	28%
Indéterminé	3100	62%

*Illustration 26 : Répartition des bétoires par état (indices de perte exclus)*

Le nombre de bétoires anthropisées est encore sous-estimé. De nombreux rapports signalent en effet des projets d'aménagements de bétoires. Ces derniers ne sont donc pas comptabilisés dans ces chiffres mais sont listés pour d'éventuelles validations terrain.

La distribution et la localisation de ces anthropisations par type d'aménagement sont présentées aux Illustration 27 et Illustration 28. Il apparaît que 49% des anthropisations (317 bétoires) concernent des rebouchages tout venant (ajout de tout-venant inerte, déchets divers, terre agricole par les propriétaires agriculteurs), et seulement 4% (24 bétoires) sont des rebouchages dans les règles de l'art. 12% (79 bétoires) sont des rejets ou des apports de flux (fossés, canalisations, rejet de drains agricoles...) et 7% (47 bétoires) des aménagements consistant à empêcher les eaux superficielles de s'infiltrer dans la perte (dérivation de flux, ou mise hors service).

Remarques : chaque site pouvant avoir plusieurs anthropisations, les pourcentages sont basés non pas sur les sites mais sur les anthropisations elles-mêmes.



*Illustration 27 : Type d'aménagement des bêtoires (ces différents types d'aménagement sont présentés en annexe 3)*

Pour rappel, la typologie des différentes catégories des anthropisations est rappelée en annexe 3.

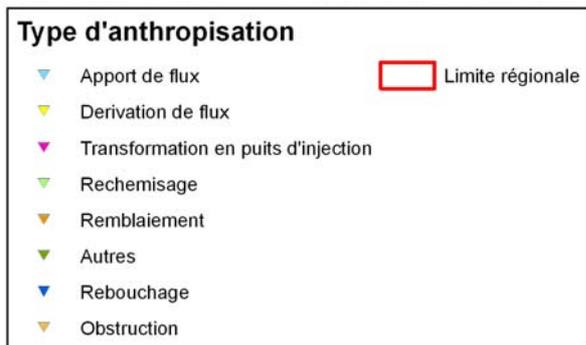
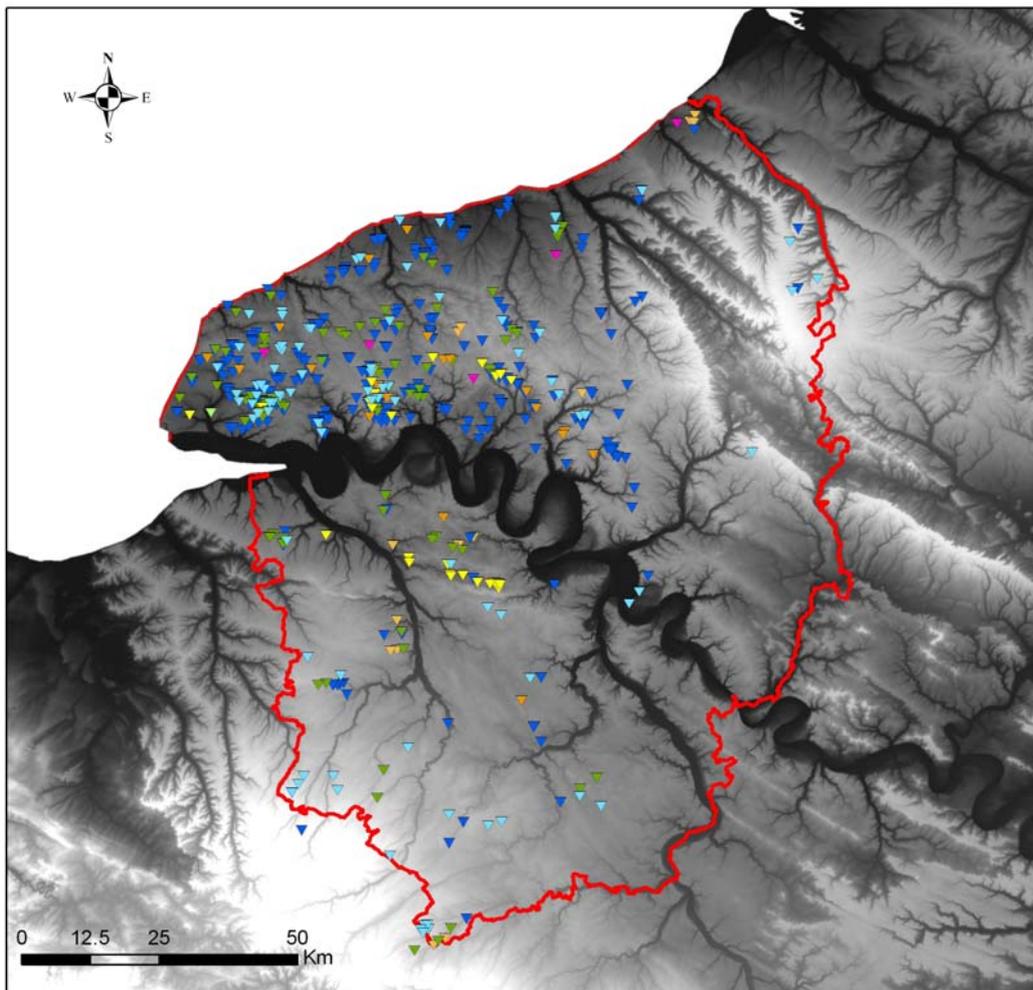


Illustration 28 : Localisation des bétoires anthropisées (distribution par type d'anthropisation)

#### 4.1.4. Contexte géomorphologique des bétoires

On remarque sur l'illustration 29 que 74% des bétoires se situent hors plateau (fond de vallée, talweg, versant ou rivière) et que 55% d'entre elles sont situées en fond de vallée ou talweg.

Les bétoires semblent donc se concentrer dans les zones de fissurations que constituent les vallées sèches et humides

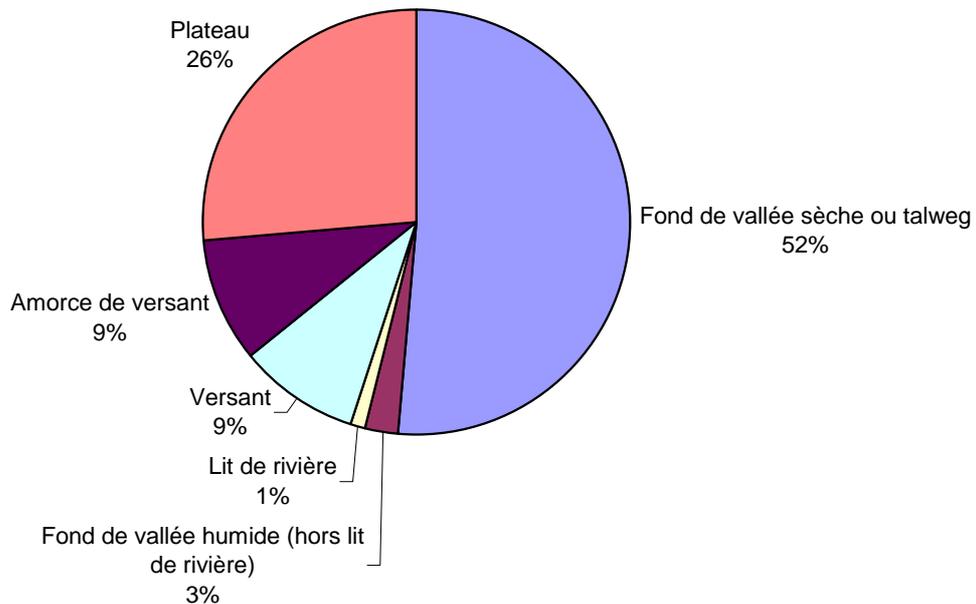


Illustration 29 : Répartition des bétoires par géomorphologie

#### 4.1.5. Environnement des bétoires et qualité des eaux d'engouffrement

Concernant les environnements immédiats « à risque », sur les 8550 bétoires et indice de perte recensés (en date du 01/03/2010), au moins :

- 3111 bétoires sont situées à proximité de voiries,
- 2568 à proximité de cultures,
- 1633 à proximité d'habitations,
- et 38 à proximité d'une industrie.

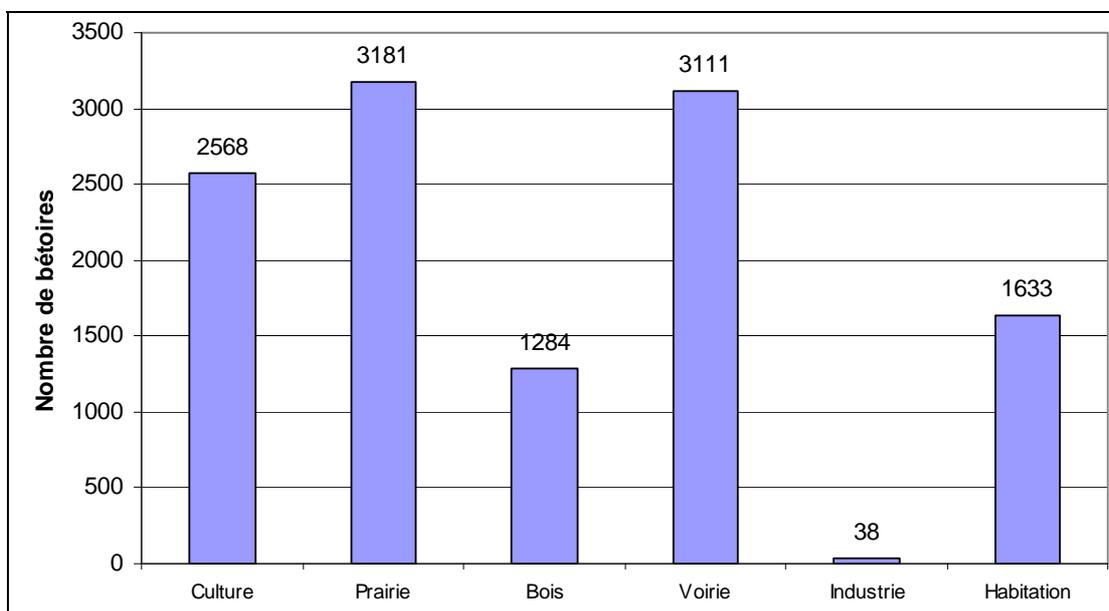
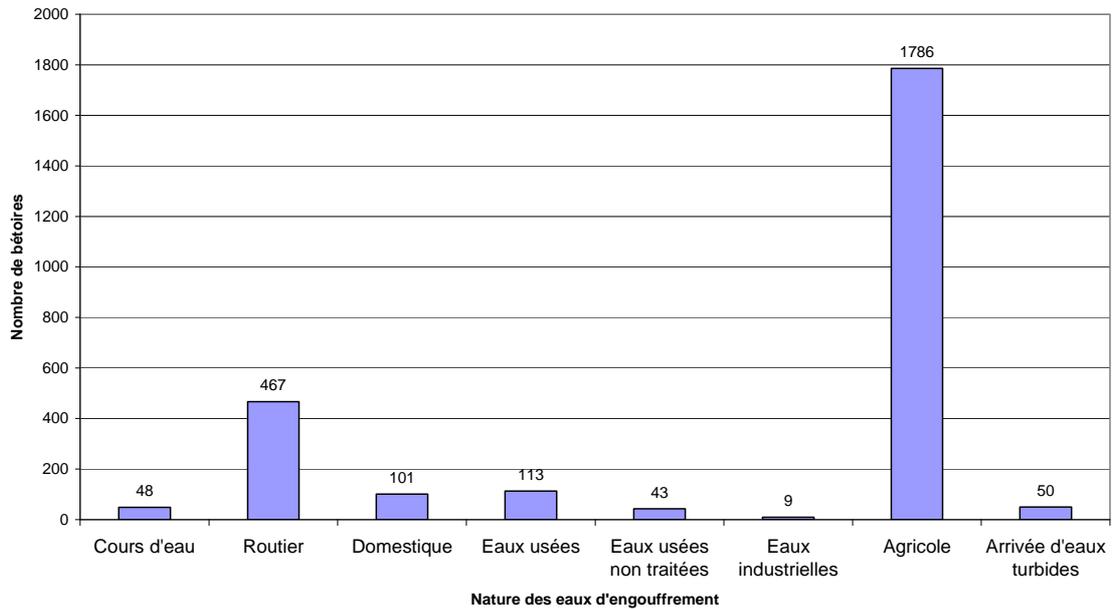


Illustration 30 : Environnement immédiat des bétaires

Remarques : chaque bétairie peut avoir plusieurs types d'environnement.

Par ailleurs, 2084 bétaires sont déjà recensées comme recevant des eaux dégradées. La distribution de ces bétaires suivant la nature des eaux d'engouffrement est présentée à l'illustration 31 (à noter qu'une bétairie peut avoir plusieurs types d'eaux d'engouffrement) :



*Illustration 31 : Nature des eaux d'engouffrement des bêtoires*

La grande majorité de ces bêtoires reçoivent des eaux d'origines agricoles (1786). 467 bêtoires reçoivent des eaux d'origine routières et 214 des eaux usées ou domestiques, 43 des eaux usées non traitées et enfin 9 bêtoires reçoivent des eaux industrielles.

A noter que 48 bêtoires ont été recensées sous le lit d'un cours d'eau.

## 4.2. SOURCES (EXUTOIRES)

Par rapport à la fin de l'année 1, une dizaine de sources ont été ajoutées à la banque de données.

La base recense en fin d'année 2, 1506 exutoires de l'aquifère crayeux. La plupart (1354 sur 1506) proviennent des exutoires recensés dans la BSS (Banque de Données du Sol). Ces données numériques sont souvent pauvres alors que les champs disponibles dans la base de données sont beaucoup plus nombreux.

Ainsi, cet inventaire a déjà permis de recenser 152 exutoires supplémentaires par rapport à ceux recensés en BSS.

La carte de localisation des sources est présentée sur l'illustration 34.

Les principaux résultats sont présentés sur l'illustration 32 à l'illustration 34. 35% des sources dont le débit est connu, ont un débit inférieur à 1 l/s ; 56% ont un débit inférieur ou égal à 5 l/s et 85% inférieur ou égal à 50 l/s.

La somme des débits moyens des 1156 sources (ayant des données de débits) est d'environ 160 000 m<sup>3</sup>/h (44 250 l/s). A noter qu'il s'agit d'une somme de débits ponctuels et/ou asynchrones.

Concernant l'utilisation qui est faite des sources (Illustration 33), on remarque que 71% des exutoires ne sont pas captés, que 10% sont captés pour l'Alimentation en eau Potable et 8% pour l'irrigation.

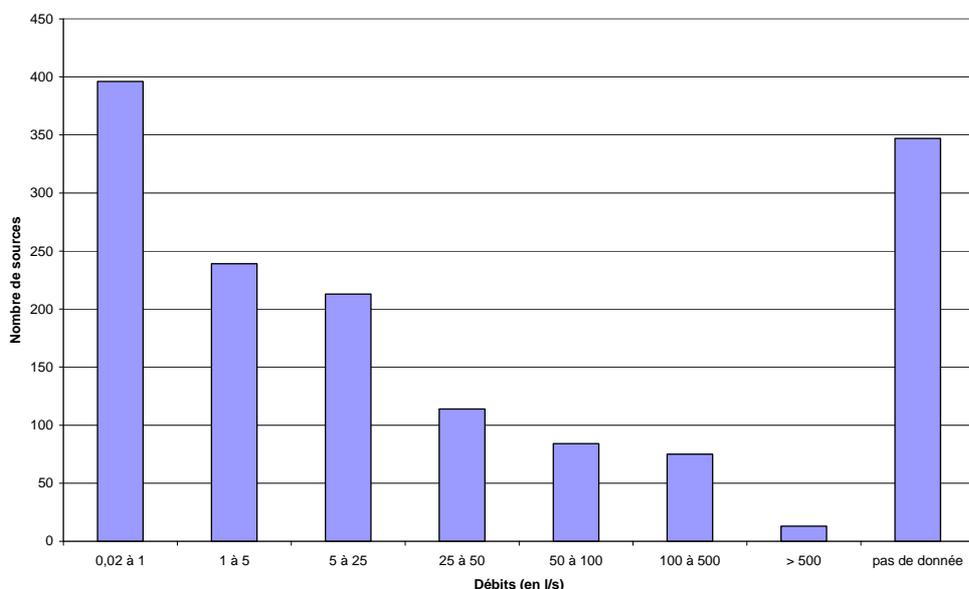


Illustration 32 : Classes de débits des exutoires

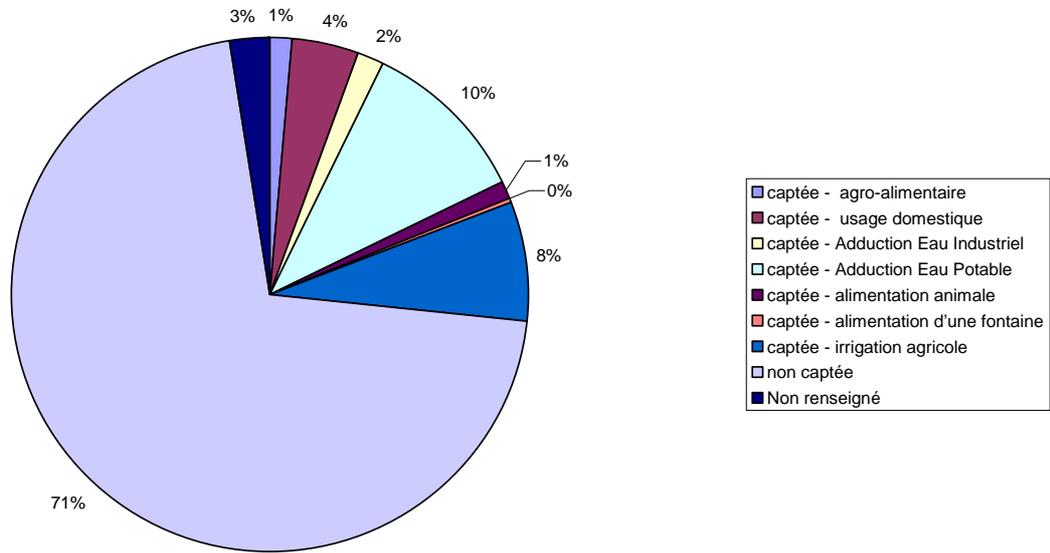


Illustration 33 : Utilisation des exutoires

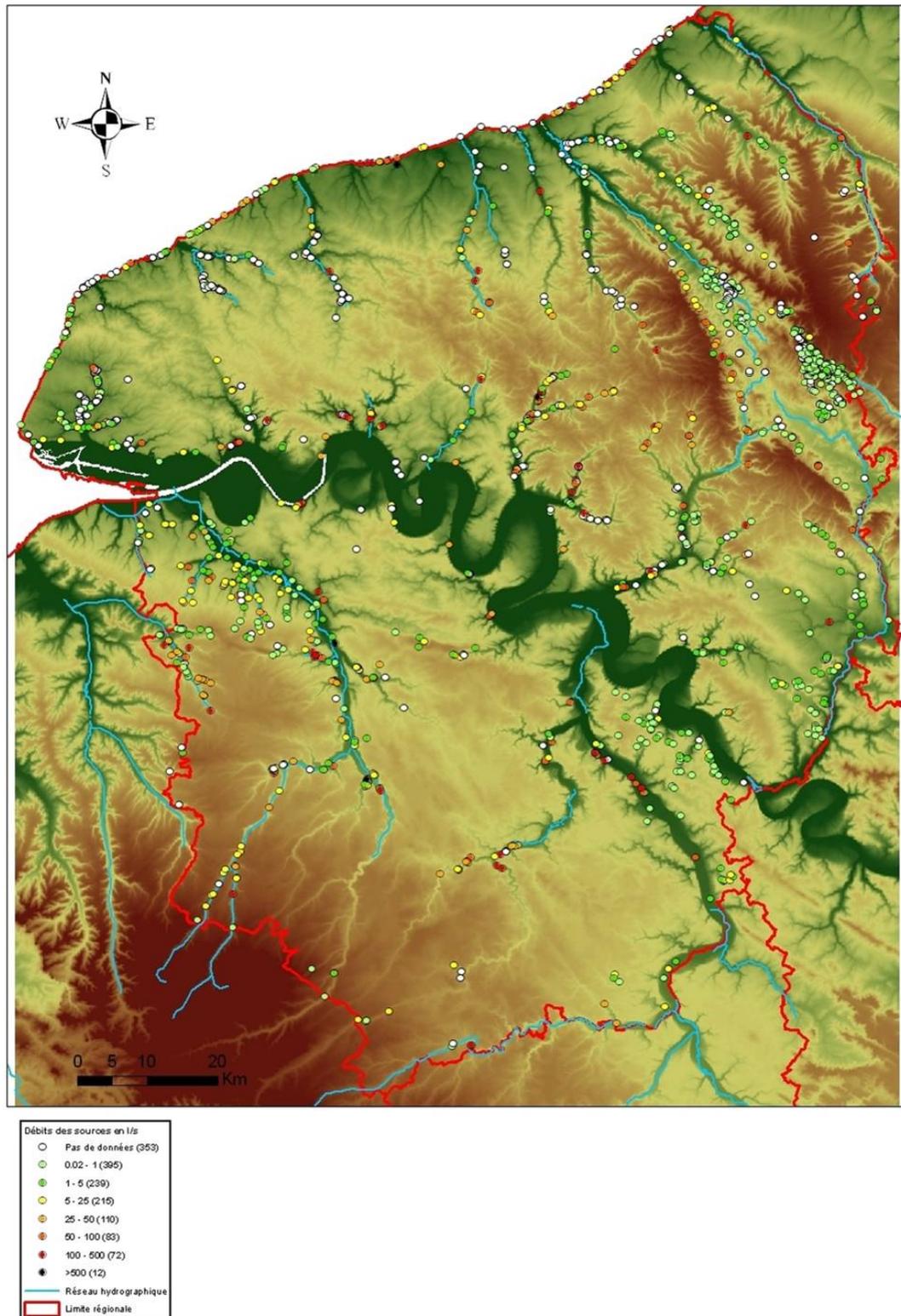


Illustration 34 : Carte de répartition des sources (par classe de débits)

### 4.3. TRAÇAGES

Le rapport d'année 1, faisait état de 374 opérations de traçage bancarisées.

A la date du 01/03/2010, la base compte désormais 466 opérations de traçages, soit 92 opérations supplémentaires bancarisées au cours de l'année 2.

La restitution de ces 466 injections de traceurs a été suivie sur 1386 points de suivi. La moyenne est donc 3 points de suivis par traçage.

Ainsi, la base en fin d'année 2 compte désormais **1386 circulations souterraines testées par traçage sur la Haute-Normandie**.

Sur ces 1386 circulations souterraines testées par traçage, 47% se sont révélées positives (le traceur est réapparu au point de suivi).

Les cartes de localisation des traçages positifs et traçages négatifs sont présentées sur l'illustration 35 et l'illustration 36.

Parmi les 466 opérations de traçages, 57% (264) ont été réalisées sur des bétoires et 43% (202) sur des points autres que des bétoires (forages, fossés, talwegs,...).

Ces 264 bétoires tracées ne représentent que 3,5% de l'ensemble des bétoires recensées (7604). La localisation de ces 264 bétoires tracées est présentée sur l'illustration 37.

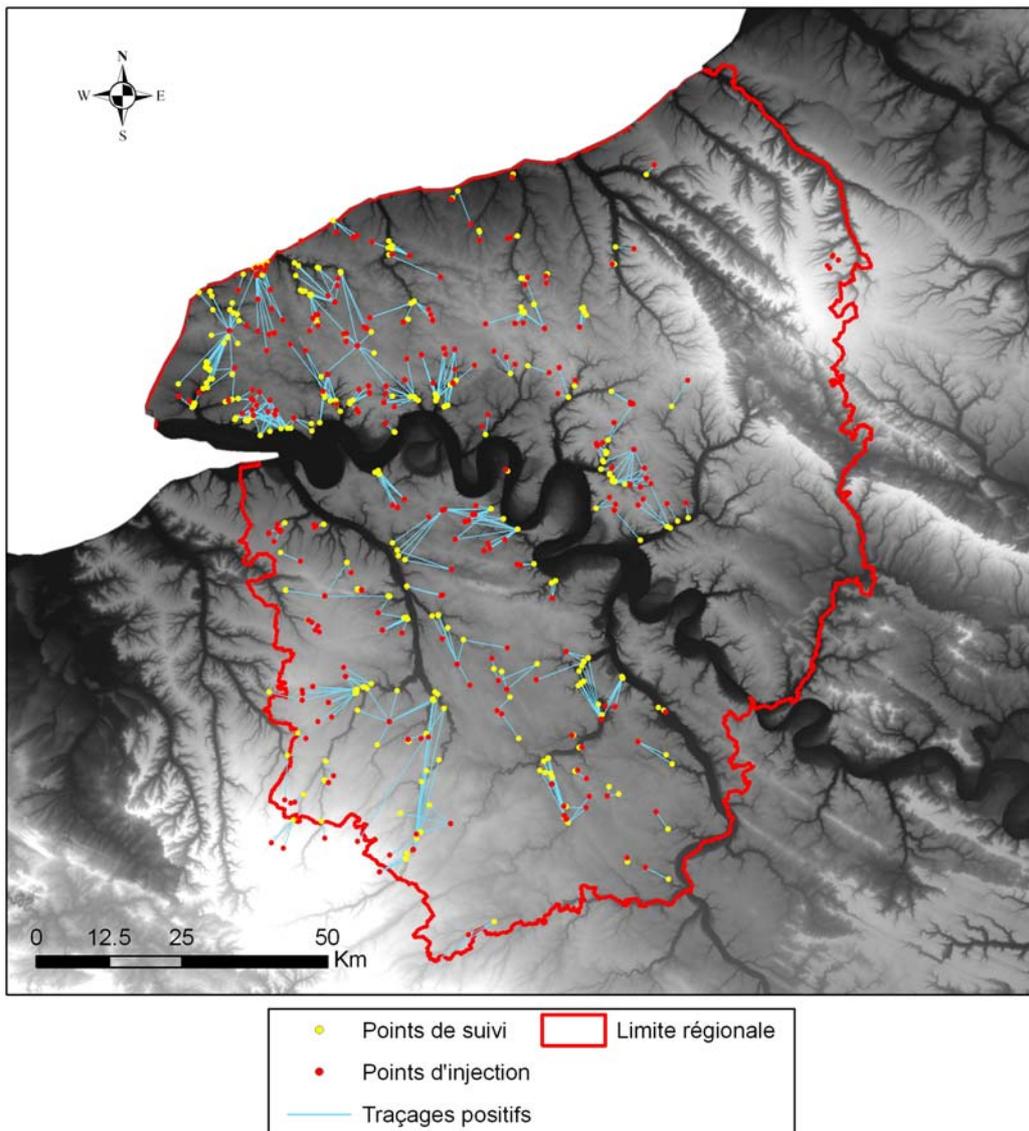
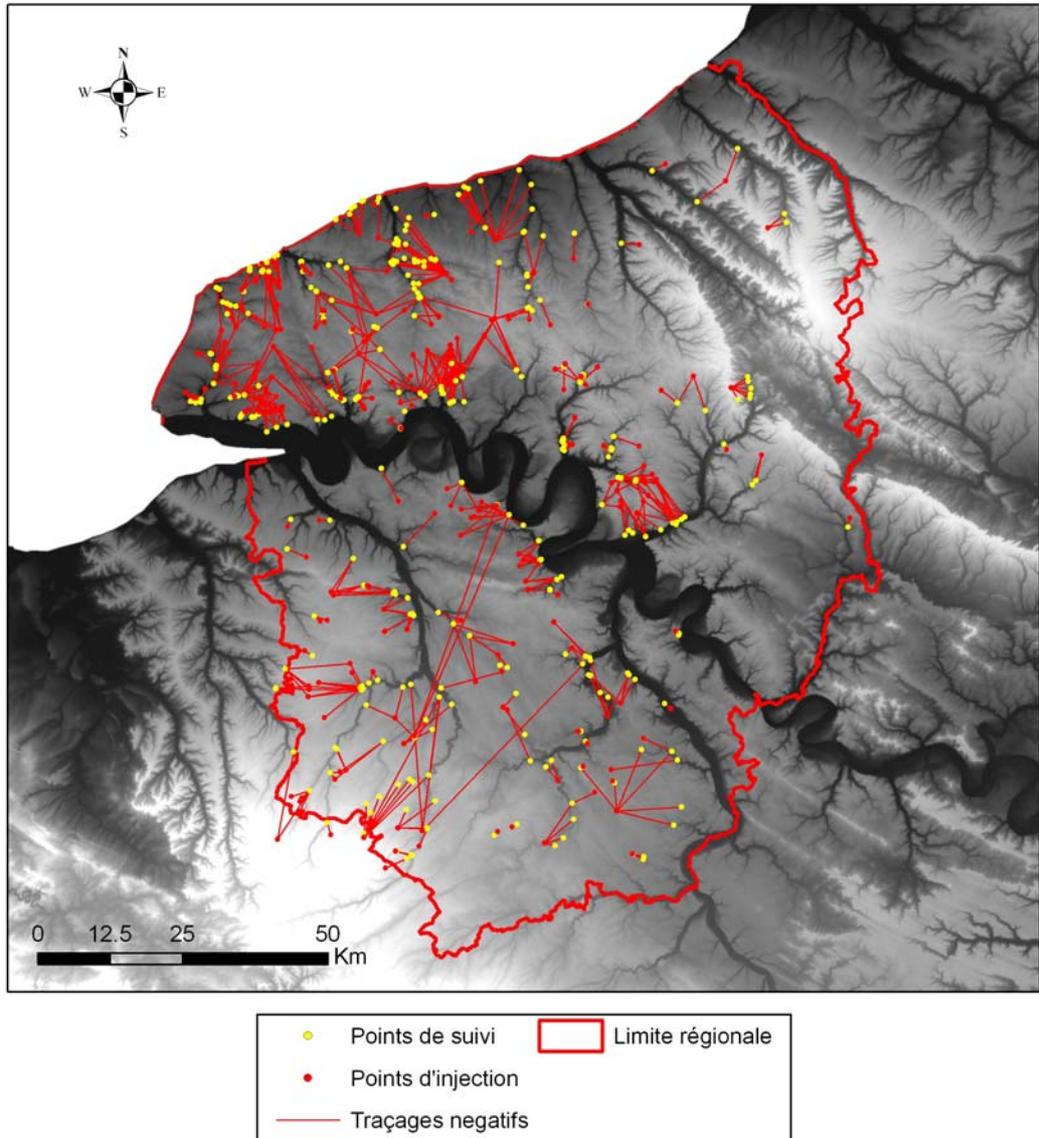
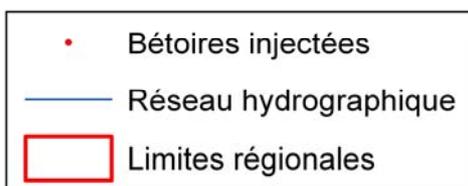
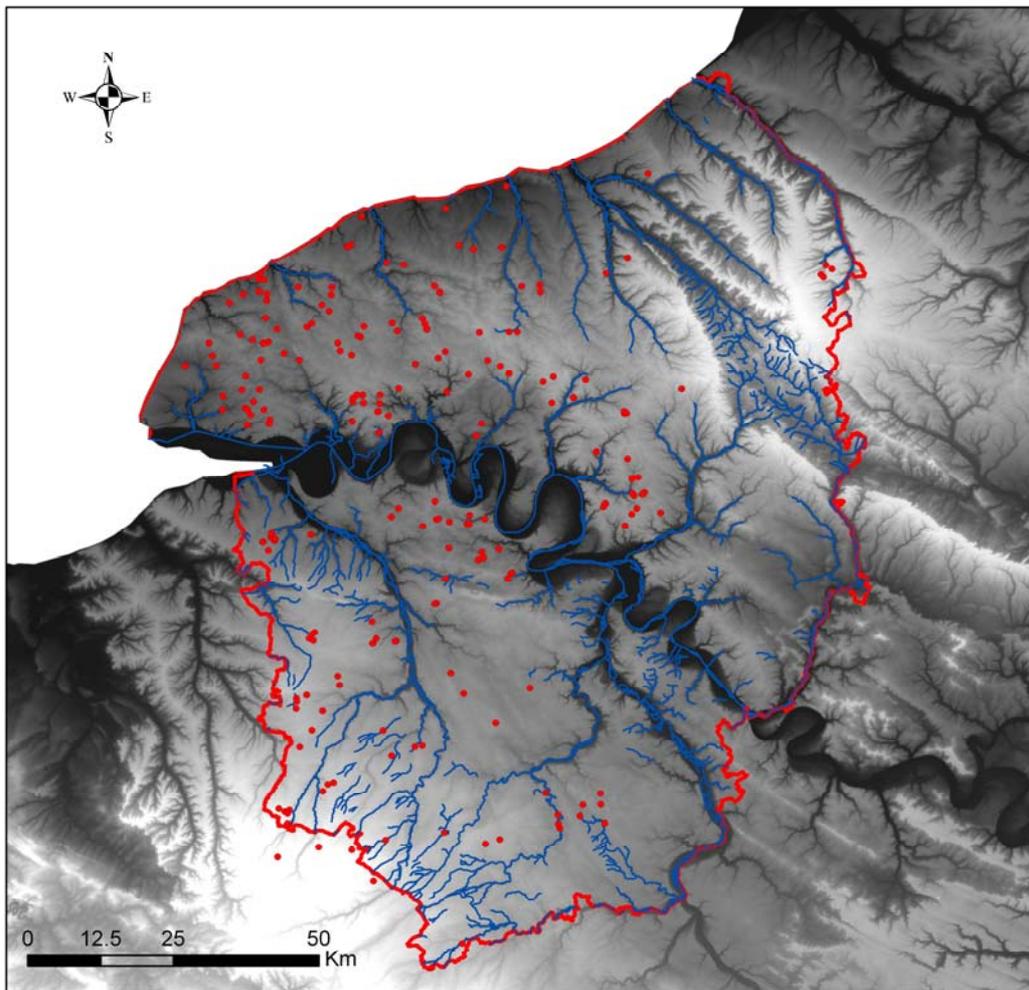


Illustration 35 : Carte de répartition des itinéraires souterrains traçés (traçages positifs) pour la région Haute-Normandie



*Illustration 36 : Carte de répartition des traçages négatifs pour la région Haute-Normandie (le trait en rouge représente l'association du point d'injection et du point de suivi où le traceur n'est pas réapparu)*



*Illustration 37 : Localisation des 264 bétoires ayant fait l'objet de traçage*

### 4.3.1. Types de traceurs

La distribution des traçages selon la nature et la famille des traceurs utilisés est présentée à l'illustration 39.

La grande majorité des traçages bancarisés a été réalisée avec des traceurs fluorescents (82,4%). La fluorescéine (uranine) représente à elle seule 74,9% des traçages réalisés.

La seconde famille de traceurs la plus représentée est la famille des traceurs ioniques : ces traceurs représentent près de 10% des traçages réalisés.

La part des traceurs bactériens et particuliers reste toujours marginale dans le total des traçages bancarisés à ce jour (Illustration 39).

### 4.3.2. Bruit de fond

Afin que l'analyse du suivi du traçage soit fiable, une analyse de la concentration en traceur doit être réalisée au point de suivi préalablement à l'injection. Elle permet de connaître le bruit de fond naturel du traceur au point de suivi.

Les traçages récents réalisent généralement ce « blanc ». A terme, lorsque de nombreux traçages ayant réalisé ce blanc auront été bancarisés, la base de données permettra de disposer des ordres de grandeurs du bruit de fond naturel en Haute Normandie pour les différents traceurs utilisés.

A l'heure actuelle, ce champ n'a pu être renseigné que 66 fois (sur les 1386 circulations souterraines testées par traçages). L'illustration 38 présente les moyennes de bruit de fond pour la fluorescéine (uranine), le chlorure de lithium, l'iodure de potassium et le Tinopal.

Nature du traceur	Moyenne (en µg/l)	Minimum (en µg/l)	Maximum (en µg/l)	écart type (en µg/l)	Effectif
Fluorescéine	1,1	0	2,5	0,98	13
Chlorure de lithium	2,0	0,9	5	1,7	17
Iodure de potassium	4,8	2	6	1,17	11
Tinopal	0,5	0,03	0,86	0,3	5

Illustration 38 : Bruit de fond naturel (en µg/l)

	Nature du traceur	Nombre de traçages	%
Traceurs fluorescents	Fluorescéine	349	74,9%
	Naphtionate	6	1,3%
	Rhodamine	6	1,3%
	Rhodamine B	9	1,9%
	Rhodamine WT	1	0,2%
	Sulforhodamine	2	0,4%
	Sulforhodamine B	6	1,3%
	Tinopal	5	1,1%
	<b>sous total</b>	<b>384</b>	<b>82,4%</b>
Traceurs colorants	Amino G acid	1	0,2%
	Bleu de méthylène	1	0,2%
		<b>sous total</b>	<b>2</b>
Traceurs ioniques	Bromure de sodium	1	0,2%
	Chlorure de lithium	22	4,7%
	Iodure de lithium	1	0,2%
	Iodure de potassium	8	1,7%
	Iodure de sodium	12	2,6%
	Autres sels de bromures	1	0,2%
	Autres sels d'iodures	1	0,2%
	<b>sous total</b>	<b>46</b>	<b>9,9%</b>
Traceurs particuliers	Amidon	1	0,2%
	Diatomées	1	0,2%
		<b>sous total</b>	<b>2</b>
Traceurs bactériens	Escherichia Coli	4	0,9%
	Escherichia Coli K12	3	0,6%
	Autres bactéries	3	0,6%
		<b>sous total</b>	<b>10</b>
Autres indéterminés	Autre	1	0,2%
	Indéterminé	21	4,5%
		<b>sous total</b>	<b>22</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>466</b>	<b>100,0%</b>

Illustration 39 : Nature des traceurs utilisés

### 4.3.3. Masse injectée

La masse injectée est un paramètre déterminant quant au résultat du traçage. Cette masse doit varier avec la distance à tracer. En effet, si l'injection est en trop grande quantité, le risque de toxicité augmente et la nappe peut être polluée pour des traçages ultérieurs (cf. cas du jura suisse) et si l'injection se fait en trop faible quantité le traçage peut donner lieu à un faux négatif : dans ce cas, même s'il existe un lien entre le point d'injection et le point de suivi, il peut ne pas y avoir de restitution mesurable.

La base de données traçage nous permet de calculer la dose caractéristique moyenne des traçages bancarisés (la masse injectée par kilomètre à tracer) par type de traceur. Les résultats des pratiques usitées en Haute-Normandie sont ainsi présentés dans l'illustration 40.

Nature du traceur	Masse moyenne injectée (en kg)	Distance moyenne tracée (en m)	Dose caractéristique moyenne (en kg/km)	Nombre de traçages ayant contribués au calcul
Chlorure de lithium	8.8	6.7	<b>2.03</b>	22
Fluorescéine / Uranine	3.1	5.3	<b>0.94</b>	297
Iodure de potassium	8.0	7.5	<b>1.3</b>	6
Iodure de sodium	4.1	3.5	<b>1.98</b>	11
Naphtionate	5.0	1.9	<b>12.23</b>	5
Rhodamine	2.7	3.3	<b>1.17</b>	5
Rhodamine B	3.2	6.1	<b>1.46</b>	9
Sulforhodamine B	2.1	5.0	<b>1.55</b>	5
Tinopal	8.2	4.2	<b>4.8</b>	5

*Illustration 40 : Masse moyenne injectée, distance moyenne tracée et dose caractéristique moyenne injectée pour les traçages bancarisés. Pour les traçages comportant plusieurs points de suivi, le calcul a été effectué en prenant la longueur entre le point d'injection et le point de suivi le plus éloigné.*

#### 4.3.4. Date et organismes de réalisation des traçages bancarisés

En fin d'année 2 de bancarisation, les traçages réalisés par le BRGM représentent encore 65% (304 sur 466) des traçages bancarisés. Les traçages du BRGM ont été essentiellement réalisés de 1968 à 1995 (Illustration 41) et la majorité d'entre eux durant la période 1980-1990, période où le BRGM a lancé plusieurs grandes campagnes de traçage pour aider à la caractérisation de la vulnérabilité de l'aquifère de la craie et évaluer l'impact des rejets des stations d'épuration.

Depuis 1995, les traçages sont essentiellement réalisés par des bureaux d'études (Gaudriot, Horizons, Safege, Hydroexpert, Sogeti, Burgeap, Oyo Rgs, CPGF, Soderef, Ingetec,...).

A noter également que l'université de Rouen et l'université Paris VI ont respectivement réalisé 37 et 12 traçages dans la région.

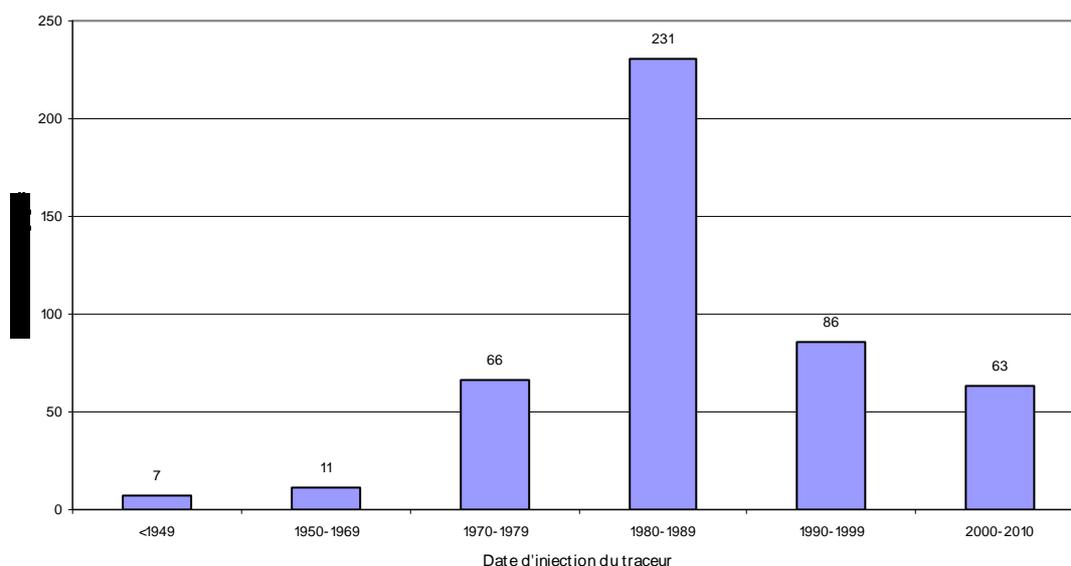
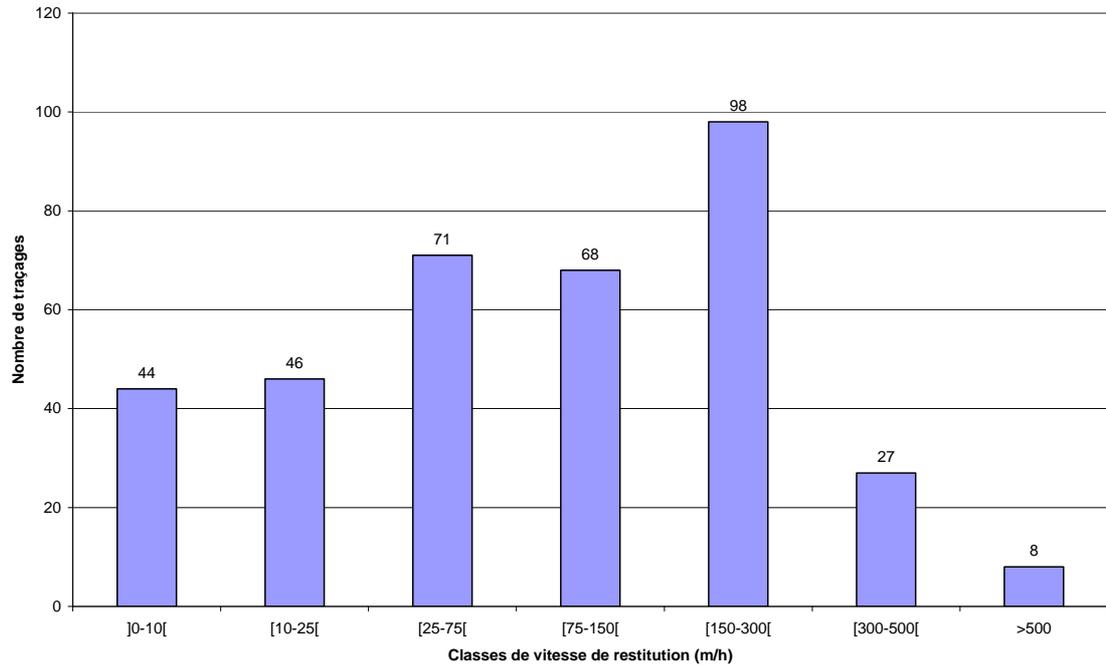


Illustration 41 : Répartition des traçages par date d'injection du traceur

#### 4.3.5. Traçages par famille de vitesse

Pour 362 des 651 itinéraires souterrains tracés positivement, il est possible d'évaluer la vitesse de première restitution. Les résultats sont présentés sur l'illustration 42 et l'Erreur ! Source du renvoi introuvable..



*Illustration 42 : Répartition des différents itinéraires tracés positivement par classe de vitesse de restitution du traceur entre le point d'injection et le point de suivi*

56% des traçages positifs (et dont la vitesse de restitution a pu être déterminée) ont une vitesse supérieure à 75m/h et reflète donc des écoulements de type clairement karstique.

12% des circulations souterraines présentent une vitesse inférieure à 10m/h et reflètent dans ce cas des écoulements moins représentatifs d'un karst.

Les vitesses peuvent atteindre des valeurs très importantes, avec des records de :

- 925 m/h (près d'1 km/h) observé entre le forage 00568X0004 et la source 00568X0007 à Yport ;
- 1500m/h (1,5km/h) observé entre le captage de la Vieille-Lyre et la bétoire de la Piquèterie (n°7125).



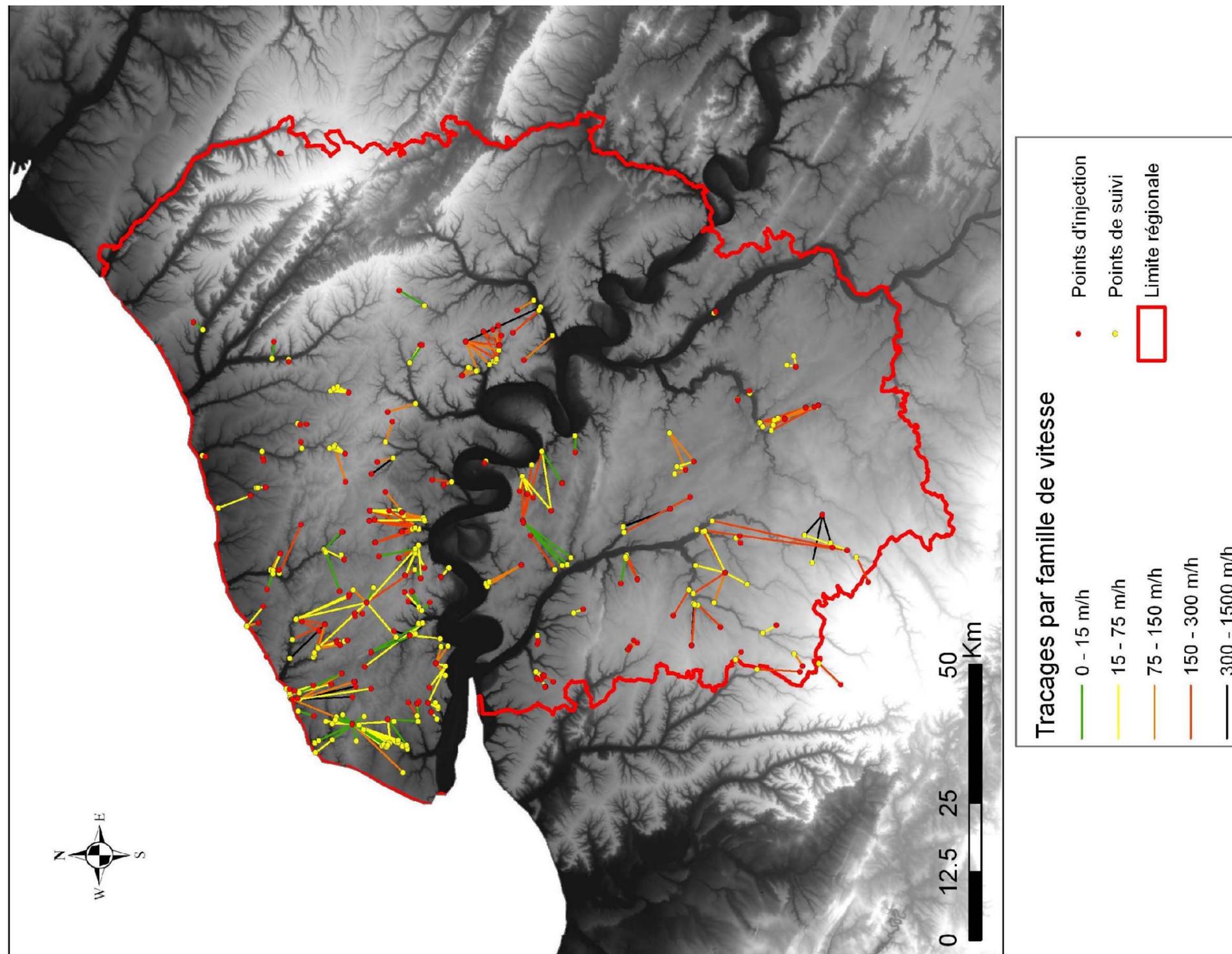


Illustration 43 : Familles de vitesses pour les traçages positifs



## 5. Analyse des traçages bancarisés

La base de données des traçages constitue un outil permettant d'améliorer la connaissance de l'influence de différents paramètres (durée de suivi, dose injectée, type de système traçage testé,...) sur le résultat d'un traçage. A cet effet, nous avons procédé à un certain nombre d'analyses sur la banque de données. Les chiffres présentés ci-après sont issus d'analyses réalisées sur la base en date du 10/08/09.

### 5.1. TYPES DE SYSTEMES TRAÇAGE

Le premier paramètre testé est le type de système traçage.

Le type de système traçage correspond au couple formé par le point d'injection et le point de suivi. Il existe 4 types de systèmes traçages différents :

- système traçage « bétoire - source » (entrée et sortie karstiques),
- système traçage « bétoire - point de suivi » (entrée karstique et sortie non karstique),
- système traçage « point d'injection - source » (entrée non karstique et sortie karstique),
- système traçage « point d'injection - point de suivi » (entrée et sortie non karstiques).

Les points d'injections sont des points autres que des bétoires et qui ont fait l'objet d'une injection de traceur. Il peut s'agir d'un forage, d'un fossé, d'un puisard...

Les points de suivi sont tous les points autres que des sources qui ont fait l'objet d'un suivi de traçage. Il peut s'agir de forage, rivière, mare...

Les effectifs correspondants à chaque type de système traçage sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Système traçage	Effectif
Bétoire-source	391
Bétoire-point de suivi	327
Point d'injection -source	275
Point d'injection -point de suivi	305

Le nombre de traçages positif et négatif a été comptabilisé pour chaque type de système traçage. Les résultats sont présentés à l'illustration 44.

Type de lien	Type de système traçage								Total
	Bétoire-source		Bétoire-point de suivi		Point d'injection-source		Point d'injection-point de suivi		
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	
Négatif	170	<b>43,5</b>	182	<b>55,7</b>	146	<b>53,1</b>	180	<b>59,0</b>	678
Positif	221	<b>56,5</b>	145	<b>44,3</b>	129	<b>46,9</b>	125	<b>41,0</b>	620
Total	391	100	327	100	275	100	305	100	1298

Illustration 44 : Résultats des traçages (type de lien) en fonction du type de système traçage

On constate (Illustration 44) que le pourcentage de traçage positif est le plus élevé pour un système traçage bétoire-source (57%) alors qu'il est le plus faible pour un système traçage « point d'injection-point de suivi » (41%).

Pour les deux autres types de système traçage (« bétoire-point de suivi » ou « point d'injection-source »), le pourcentage de traçage positif est à peu près équivalent (respectivement 44% et 46%).

Ces résultats montrent que les traçages réalisés dans un système traçage de type « point d'injection-point de suivi » ont des taux de réussite plus faibles. Outre le fait que dans ce cas l'entrée et la sortie du traceur ne sont pas des entrée et sortie du karst (et que de ce fait la probabilité de connections par voie rapide de ces deux points est plus faible), l'hypothèse d'une non-restitution du traceur ou encore d'un retard préjudiciable à la bonne restitution du traceur peut être également avancée pour expliquer ce plus faible taux de réussite. En effet, une adsorption du traceur plus importante du fait de la traversée de la zone non saturée en milieux poreux non karstifié ou de la traversée des argiles à silex n'est pas à exclure.

**Si cette hypothèse était vérifiée, le protocole d'un traçage devrait être adapté à chaque type de système traçage à tracer** (augmentation de la dose injectée et/ou la durée de suivi lors d'un système traçage « point d'injection-point de suivi » par rapport à un système traçage « bétoire-source »,...).

## 5.2. DUREE DE SUIVI

Le paramètre « durée de suivi » influe aussi sur le résultat d'un traçage. En effet, une durée de suivi trop courte peut engendrer un traçage « faux négatif » du fait que la restitution peut survenir après la fin de la période de suivi. Un écoulement dont la

vitesse est inférieure au rapport de la distance tracée sur la durée de suivi ne sera ainsi pas pris en compte.

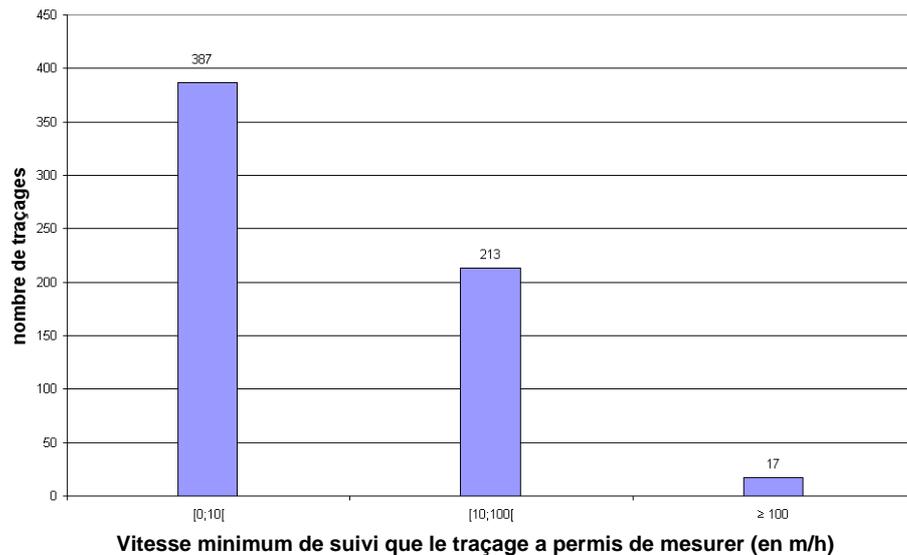
Il est donc nécessaire de définir avant le traçage une vitesse minimum des écoulements que l'on souhaite mesurer.

Pour les besoins de cette analyse, nous avons défini le postulat qu'un écoulement de type karstique avait une vitesse supérieure à 10 m/h et considéré qu'en-dessous de cette vitesse les écoulements ne sont pas de type karstique.

L'analyse a consisté à calculer la vitesse minimum des écoulements souterrains qu'a permis de mesurer chaque traçage (distance tracée divisée par la durée de suivi du traçage).

Il est intéressant ensuite d'observer les effectifs de traçage négatif par classe de vitesse afin de se rendre compte de la fiabilité des conclusions des rapports de traçage.

Les résultats sont présentés à l'illustration 45.



*Illustration 45 : Effectifs de traçages négatifs par classe de vitesse minimum des écoulements que les traçages ont permis de mesurer (en m/h)*

L'illustration 45 montre que si l'on considère qu'un écoulement est karstique à partir d'une vitesse d'écoulement de 10m/h, alors 230 (213 +17) des 617 traçages considérés comme négatifs bancarisés avait en fait une durée de suivi insuffisante. L'illustration 45 montre, par exemple, que pour 17 traçages considérés comme négatifs, tous les écoulements dont la vitesse était inférieure à 100 m/h ont été manqués du fait d'une période de suivi trop courte au point de restitution.

On constate ainsi que 35% des traçages considérés comme négatifs avait une durée de suivi qui ne leur permettaient pas de suivre l'arrivée d'un traceur ayant une vitesse de 10 m/h et 96% une vitesse de 1 m/h.

**La conclusion sur le résultat de certains traçages considérés comme négatifs est donc à remettre en cause en raison d'une durée de suivi insuffisante.**

### 5.3. VOLUME DE CHASSE

Le volume de chasse correspond à la quantité d'eau injectée après injection du traceur.

Cette injection d'eau permet d'emmener le traceur dans la zone saturée et l'empêche de stagner dans la zone non saturée. Le but est de limiter les pertes (liées à la pression capillaire, à l'adsorption,...).

L'injection d'eau peut avoir lieu naturellement (lorsqu'il y a un engouffrement dans la bétoire en période de pluie par exemple) ou bien artificiellement (l'eau est généralement apportée dans une citerne).

On peut donc supposer que ce volume a un impact sur le résultat du traçage (plus le volume est grand et plus l'écoulement est favorisé (taux de saturation proche de 1).

Dans le but de vérifier, cette hypothèse nous avons calculé les moyennes des volumes de chasse par type de lien et ce pour chaque type de système traçage. A noter que le volume de chasse n'est pas toujours renseigné dans les rapports de traçage.

Les résultats détaillés sont présentés en Annexe 5. La synthèse est présentée dans les Illustration 46 et Illustration 47.

	Moyenne des volumes de chasses naturelles (en l/s)			
Type de traçage	« bétoire-source »	« point d'injection-source »	« bétoire-point de suivi	« point d'injection et point de suivi »
négatif	7,6	17,0	<b>45,5</b>	38,5
positif	<b>10,0</b>	<b>146,6</b>	10	<b>114,6</b>

*Illustration 46 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s)*

	Moyenne des volumes de chasses artificielles (en m3)			
Type de traçage	« bétoire-source »	« point d'injection-source »	« bétoire-point de suivi	« point d'injection et point de suivi »
négatif	18,5	65,7	21,0	<b>65,1</b>
positif	<b>25,3</b>	<b>72,6</b>	<b>26,1</b>	61,8

*Illustration 47 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s)*

On constate que pour 6 cas sur 8, le volume (ou débit) de chasse des traçages positifs a été supérieur en moyenne à celui des traçages négatifs avec des différences très

importantes dans certains cas (139.4 l/s de différence pour un système traçage « point d'injection-source », et 76.1 l/s pour un système traçage de type point d'injection point de suivi).

**On peut émettre l'hypothèse que le volume de chasse a une influence sur le résultat de traçage et qu'un certain nombre de traçages négatifs sont en réalité des « faux négatifs » en raison d'un volume de chasse trop faible lors de l'injection.**

#### **5.4. DOSE CARACTERISTIQUE INJECTEE**

La quantité de traceur à injecter est un paramètre déterminant dans le résultat du traçage. En effet, une quantité trop faible peut conduire à un résultat dit « faux négatif ». A l'inverse, une quantité trop grande peut conduire sur le long terme à une pollution des eaux et donc à des faux positifs (ex du Jura suisse, [11]).

Il n'existe à l'heure actuelle aucune règle concernant les quantités de traceurs à injecter. 33 équations ont été recensées lors d'une étude menée par l'EPA (United States Environmental Protection Agency) [12]. Deux des formules recensées dans ce document sont plus généralement utilisées : tout d'abord, la formule de Siline Bektchourine qui a été reprise par P. Gombert lequel a tenté de l'adapter au karst de la craie [8] ; puis la formule de Käss, reprise par le groupe de travail Traçage de la Société suisse d'hydrogéologie (SSH) dans un guide pratique d'utilisation des traceurs [9].

##### **5.4.1. Cas des traçages réalisés à l'uranine**

Concernant l'uranine, les 2 publications citées précédemment ([8], [9]) proposent une dose caractéristique minimum de 1 kg/km pour le karst.

Il est intéressant d'observer qu'un certain nombre de traçages négatifs bancarisés utilisant l'uranine ont des doses caractéristiques inférieures à 1 kg/km (jusqu'à 0,04 kg/km) (Illustration 48). On peut donc se poser la question de la fiabilité des traçages négatifs dont la dose caractéristique est inférieure à 1 kg/km. Une partie des traçages négatifs pourrait être en réalité des faux négatifs en raison d'une injection de traceur en trop faible quantité. On constate aussi que les doses injectées sont très variables (de 0.04 à 9 kg/km).

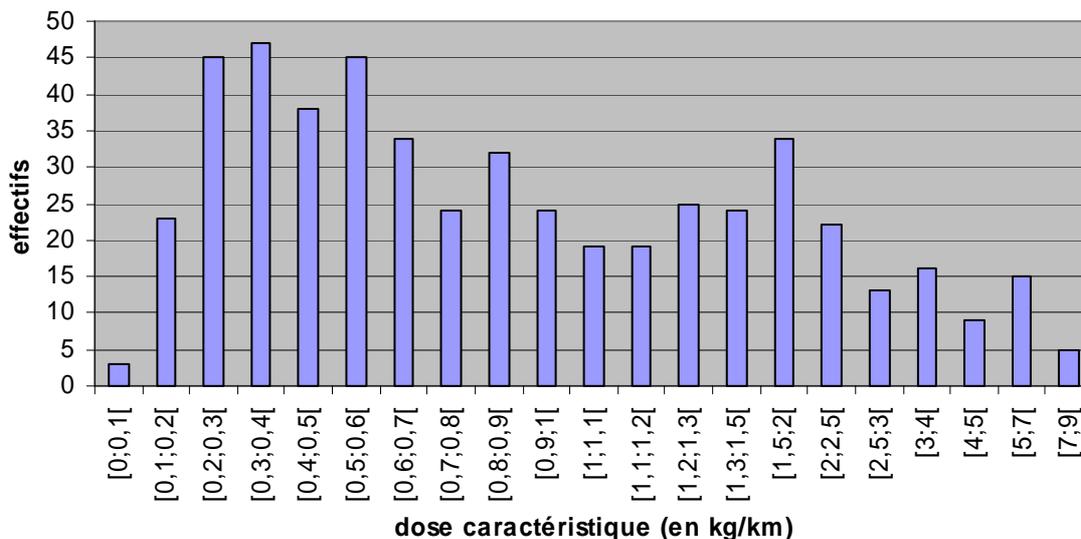


Illustration 48 : Répartition des traçages négatifs selon la dose caractéristique utilisée (en kg/km) (cas des traçages réalisés à l'urarine)

#### 5.4.2. Comparaison des doses caractéristiques des traçages bancarisés et des doses caractéristiques proposées

Nature du traceur	Dose caractéristique en kg/km			
	Moyenne de la base régionale Normandie	selon [8]	maximum selon [9] (coefficient A=1)	minimum selon [9] (coefficient A=0.2)
Chlorure de lithium	2,0	24,3	1000	200
Fluorescéine / Uranine	0,9	1	1	0,2
Iodure de potassium	1,3	10,4	inconnu	inconnu
Iodure de sodium	2,0	9,4	inconnu	inconnu
Naphtionate	12,0	2,4	15	3
Sulforhoddamine B	1,6	1	4	0,8
Tinopal	4,8	2	25	5

Illustration 49 : Comparaison des doses caractéristiques injectées en Haute-Normandie (en kg/km) calculées à partir de la base bétoires-traçages, et de celles proposées par P. Gombert [8], et proposées par l'OFEG [9] pour plusieurs types de traceurs.

L'illustration 49 montre tout d'abord que les doses injectées sont très différentes entre les deux publications [8] et [9]. **On constate ensuite que les doses caractéristiques moyennes des traçages bancarisés en Haute-Normandie sont généralement plus faibles que celles proposées dans les publications.**

A noter que les doses caractéristiques calculées pour le Naphtionate, le Tinopal et pour la fluorescéine (uranine) sont proches des doses caractéristiques préconisées par [8] et [9].

## 5.5. ENSEIGNEMENT APPORTE PAR LES TRACAGES REALISES EN DOUBLON

La base traçage comporte désormais des trajets souterrains ayant été testés plusieurs fois par traçages (à plusieurs dates différentes). Ces traçages sont appelés « traçages doublons » dans la suite du rapport. Nous regroupons sous ce terme les itinéraires souterrains ayant été testés par traçage 2 fois ou plus.

Ces doublons sont très utiles puisqu'ils permettent d'étudier l'influence de certains paramètres sur le résultat des traçages. En effet, ces doublons n'ont pas toujours le même résultat (type de lien) et dans le cas de deux résultats positifs (types de liens positifs), les vitesses ne sont pas toujours identiques. Il convient alors d'en analyser les causes.

### 5.5.1. Cas n°1 : traçages « doublons » réalisés dans les mêmes conditions hydrogéologiques (moyennes eaux) avec le même traceur (l'uranine) mais dont le résultat (type de lien) est différent

13 doublons correspondent à ce cas et peuvent être analysés selon 3 catégories :

- 1) 10 doublons présentent une même masse de traceur injectée mais une durée de suivi différente. La durée de suivi est supérieure dans le cas du traçage positif. La période de restitution a pu être calculée pour 3 d'entre eux (Illustration 50) et il s'avère que la restitution s'est faite dans la période de suivi (du traçage positif) dépassant celle du traçage négatif. Pour les 7 autres doublons, l'absence de vitesse de restitution ne permettait pas le calcul de la date de restitution.

Doublons	ID traçage	ID point d'injection	ID point de suivi	Durée de suivi (en jour)	masse injectée (en kg)	type de lien	date de restitution (en jour)
N°1	437	700	16	21	2	négatif	
	447	700	16	28	2	positif	27
N°2	35	676	691	18	2	négatif	
	36	676	691	25	2	positif	24
N°3	55	682	616	21	2	négatif	
	56	682	616	26	2	positif	25

*Illustration 50 : Doublons de traçages effectués en conditions hydrogéologiques de moyennes eaux. Le traceur utilisé est l'uranine ; la durée de suivi est inférieure dans le cas des traçages dont le résultat est négatif*

- 2) 2 doublons présentent une masse de traceur identique, et une durée de suivi du traçage négatif supérieure à celle du traçage positif. Le volume de chasse est identique mais nous avons pu observer que le traçage positif a été effectué lors d'une période pluvieuse alors que le traçage négatif a été effectué lors d'une période sèche.
- 3) 1 doublon présente des masses de traceur injectées différentes. Il apparaît que la masse injectée et la durée de suivi du traçage positif sont inférieures (largement : 1 kg pour le traçage positif et 10 kg pour le traçage négatif ; 13 jours de suivi pour le traçage positif contre 70 jours pour le traçage négatif) à celles du traçage négatif. Nous ne disposons pas d'informations suffisantes dans ce cas (appareil d'analyse, volume de chasse, conditions d'injections) pour expliquer ces résultats.

**L'analyse de ces doublons laisse donc supposer que la durée de suivi a un impact réel sur le résultat du traçage et qu'un certain nombre de traçages négatifs sont en réalité des faux négatifs du fait d'une durée de suivi trop courte.**

**Cette analyse permet également de supposer que la période climatique (sèche ou pluvieuse) a également une influence sur le résultat de traçage.**

### **5.5.2. Cas n°2 : traçages « doublons » réalisés dans les mêmes conditions hydrogéologiques mais le traceur et le résultat (type de lien) sont différents**

6 doublons correspondent à ce cas.

Un doublon, correspondant à un système traçage aux entrées et sorties non karstique (« point d'injection-point de suivi »), a été tracé d'une part avec l'uranine et d'autre part avec le tinopal (Illustration 51).

Il apparaît que la durée de suivi du traçage négatif (28 jours) est suffisante puisque dans le cas du traçage négatif, le traceur a été restitué au bout de 10 jours.

Une hypothèse peut être que la masse injectée concernant le traçage négatif (réalisé à l'uranine) était insuffisante. **Une dose caractéristique de 2.76 kg/km serait alors trop faible pour un traçage à l'uranine dans un système traçage « point d'injection-point de suivi » (ici forage-forage).**

ID traçage	ID point d'injection	ID point de suivi	Durée de suivi (en jour)	Distance (en m)	Nature du traceur	Masse injectée (en kg)	Type de lien	Vitesse (en m/h)	Temps de restitution (en jour)	Dose caractéristique (en kg/km)
322	686	13	28	362,34	uranine	1	négatif			2,76
358	686	13	34	362,34	tinopal	2,5	positif	1,5	10,0	6,9

*Illustration 51 : Doublons de traçages effectués en moyennes eaux avec des traceurs différents.*

Les 5 autres doublons peuvent correspondre à des quadruplons ou des quintuplons. Ils ont tous été effectués dans des systèmes traçages karstiques (« bétoire-source ») (Illustration 52). Ils utilisent les traceurs suivants : uranine, rhodamine B, chlorure de lithium, ou iodure de sodium. Ces différents « doublons » nous apportent les éléments suivants :

- on constate tout d'abord que les traçages à la rhodamine B se sont tous révélés négatifs. La durée de suivi n'étant pas mentionnée et en supposant qu'elle ait été suffisante car les traçages positifs et négatifs ont été réalisés en simultané et par le même organisme, on peut dire que la masse injectée était trop faible. **Il semblerait donc qu'une dose caractéristique de 0.01 kg/km pour la rhodamine B serait insuffisante lors de traçages en système « bétoire-source » ;**
- **concernant l'utilisation de l'uranine, il semblerait, toujours dans le cas d'un système traçage « bétoire-source », qu'une dose caractéristique de 0.1 kg/km soit insuffisante alors qu'une dose de 0.12 kg/km ait permis de mesurer une restitution ;**
- pour le chlorure de lithium, on constate qu'une dose caractéristique de 0.5 kg/km donne un résultat de traçage négatif alors qu'une dose de 0.59 kg/km donne un résultat positif. **On peut supposer que la dose caractéristique minimale à utiliser dans le cadre d'un système traçage bétoire source et pour le chlorure de lithium est de 0.6 kg/km ;**
- on constate (doublon N°5) que les durées de suivi ont été suffisantes. On peut donc supposer que la masse (concernant le traçage négatif) ne l'est pas. **Il semble donc qu'une dose caractéristique de 0.07 kg/km pour l'uranine et pour un système traçage bétoire-source soit insuffisante. Une dose caractéristique de 1.4 kg/km pour un traçage à l'iodure de sodium et dans un système traçage bétoire-source semble satisfaisante.** Il faut noter que les volumes (ou débits) de chasse pour ce doublon sont peut être différents. Ils sont de 2.5 m<sup>3</sup> pour le traçage positif et de 0.1 l/s pendant une durée inconnue pour le traçage négatif. Le fait que le traçage 419 soit négatif pourrait être aussi attribué à un volume de chasse trop faible.

A noter que ces résultats dépendent également des outils analytiques utilisés pour l'analyse des échantillons en laboratoire.



Doublon	ID traçage	ID point d'injection	ID point de suivi	Durée de suivi (en jour)	Distance (en m)	Nature du traceur	Masse injectée (en kg)	Type de lien	Vitesse (en m/h)	Temps de restitution (en jour)	Dose caractéristique (en kg/km)
N°1	134	620	629	inconnu	8456,30	uranine	2	positif	103,14	3,42	0,24
	135	620	629	inconnu	8456,30	uranine	1	positif	188,99	1,86	0,12
	137	620	629	inconnu	8456,30	rhodamine B	0,1	négatif			0,01
	136	620	629	inconnu	8456,30	chlorure de lithium	5	positif	188,99	1,86	0,59
	138	620	629	7	8456,30	chlorure de lithium	10	positif	197,07	1,79	1,18
N°2	134	620	630	inconnu	8555,00	uranine	2	positif	104,34	3,42	0,23
	135	620	630	inconnu	8555,00	uranine	1	positif	191,19	1,86	0,12
	137	620	630	inconnu	8555,00	rhodamine B	0,1	négatif			0,01
	136	620	630	inconnu	8555,00	chlorure de lithium	5	positif	191,19	1,86	0,58
N°3	135	620	632	inconnu	10003,93	uranine	1	négatif			0,10
	137	620	632	inconnu	10003,93	rhodamine B	0,1	négatif			0,01
	136	620	632	inconnu	10003,93	chlorure de lithium	5	négatif			0,50
	138	620	632	7	10003,93	chlorure de lithium	10	positif	61,79	6,75	1,00
N°4	134	620	635	inconnu	8411,02	uranine	2	positif	102,59	3,42	0,24
	135	620	635	inconnu	8411,02	uranine	1	positif	187,98	1,86	0,12
	137	620	635	inconnu	8411,02	rhodamine B	0,1	négatif			0,01
	136	620	635	inconnu	8411,02	chlorure de lithium	5	positif	187,98	1,86	0,59
N°5	419	8392	3616	23	1421,0	uranine	0,1	négatif			0,07
	409	8392	3616	7	1421,0	iodure de sodium	2	positif	353,9	0,17	1,40

Illustration 52 : Doublons de traçages effectués dans la même période hydrogéologique (moyennes eaux), pour des traceurs et des types de liens différents



### 5.5.3. Cas n°3 : traçages « doublons » de type de liens identique, réalisés avec le même traceur (uranine) mais dans une période climatique différente (période sèche ou pluvieuse)

5 doublons correspondent à ce cas. Le détail de ces traçages est présenté à l'illustration 55.

On constate qu'il y a de réelles différences de vitesse de transit entre les traçages effectués en période sèche et les traçages effectués en période pluvieuse. Les vitesses, lors d'une période pluvieuse sont bien plus élevées que pendant les périodes sèches (jusqu'à 120 m/h de différence) (Illustration 53). Cela implique un temps de restitution plus long lors de période sèche. Une différence maximum de temps de restitution de 28 jours a pu être observée (Illustration 54).

Il s'avère donc nécessaire d'allonger la durée de suivi d'un traçage lorsqu'il est réalisé durant une période sèche.

Vitesse (en m/h)	période pluvieuse	période sèche
Moyenne	165,2	65,8
Minimum	191,2	104,3
Maximum	129,0	9,4
Ecart type	29,6	46,0
Effectif	5	5

Illustration 53 : Comparaison des vitesses (en m/h) des traçages effectués en période sèche et en période pluvieuse

temps de restitution	période sèche	période pluvieuse	Différence (en jour)
Moyen (en jour)	14,2	2,0	12,2
Minimum (en jour)	3,4	1,9	1,6
Maximum (en jour)	30,3	2,2	28,1
Ecart type (en jour)	13,2	0,2	
Effectif	5	5	

Illustration 54 : Comparaison des temps de restitution (en jour) des traçages effectués en période pluvieuse et en période sèche



ID doublon	ID traçage	ID point d'injection	ID point de suivi	durée de suivi en jour	Période climatique	conditions hydrogéologiques	distance tracée (en m)	masse injectée (en kg)	vitesse de transit (en m/s)	temps de restitution	différence de vitesse (en m/h)
N°1	63	683	722	31	sèche	Hautes eaux	6841,4	2	9,4	30,3	119,6
	64	683	722	2	pluvieuse	Moyennes eaux	6841,4	2	129	2,2	
N°2	63	683	723	31	sèche	Hautes eaux	6846,8	2	9,4	30,3	119,6
	64	683	723	2	pluvieuse	Moyennes eaux	6846,8	2	129	2,2	
N°3	134	620	629	inconnu	sèche	Moyennes eaux	8456,3	2	103,1	3,4	85,9
	135	620	629	inconnu	pluvieuse	Moyennes eaux	8456,3	1	189,0	1,9	
N°4	134	620	630	inconnu	sèche,	Moyennes eaux	8555,0	2	104,3	3,4	86,9
	135	620	630	inconnu	pluvieuse	Moyennes eaux	8555,0	1	191,2	1,9	
N°5	134	620	635	inconnu	sèche,	Moyennes eaux	8411,0	2	102,6	3,4	85,4
	135	620	635	inconnu	pluvieuse	Moyennes eaux	8411,0	1	188,0	1,9	

Illustration 55 : Différents doublons de traçages positifs réalisés à l'uranine et à des périodes climatiques différentes



#### 5.5.4. Cas n°4 : traçages « doublons » réalisés avec le même traceur mais dont le type de lien et la condition climatique sont différents

*7 doublons correspondent à ce cas (*

Illustration 56).

Leur analyse montre plusieurs tendances :

- **pour les doublons n°1 et n°2**, la restitution du traceur (dans le cas où le traçage est positif) se fait après la fin de la période de suivi du traçage négatif. On peut donc supposer que le traçage est négatif du fait d'une durée de suivi trop courte. De plus, les traçages négatifs ont été effectués dans une période sèche or nous avons vu précédemment que les vitesses d'écoulements pendant ces périodes étaient plus faibles ;
- **pour le doublon n°3**, le traçage positif a été effectué en période pluvieuse et en basses eaux alors que le traçage négatif a été effectué en période sèche et en hautes eaux. La durée de suivi du traçage négatif étant supérieure de 2 jours à celle du traçage positif, on peut supposer en premier lieu que s'il y avait eu restitution elle aurait été mesurée. Cependant, il est possible que le contexte climatique (période sèche) ait pu entraîner un retard supplémentaire dans le transport du traceur. Il apparaît aussi que la masse injectée pour le traçage positif est supérieure (la dose caractéristique est de 1.1 kg/km) à celle du traçage négatif (0.73 kg/km). Il est donc probable que la masse injectée ait été trop faible pour observer une restitution ;
- **le doublon n°4** présente un traçage négatif effectué en période sèche et en hautes eaux ainsi qu'un traçage positif effectué en période pluvieuse et en moyennes eaux. Les masses injectées sont identiques, par contre la durée de suivi du traçage négatif (42 jours) est inférieure à celle du traçage positif (63 jours). Il est donc probable que la restitution ait eu lieu après le 42<sup>ième</sup> jour de suivi pour le traçage négatif (les données du traçage positif ne permettent pas de déterminer la date de restitution).

De plus, le fait d'une période sèche peut diminuer les vitesses de transit et donc entraîner un retard de restitution par rapport à une période pluvieuse.

- **le doublon n°5** montre un traçage positif effectué en moyenne eaux et en période pluvieuse et un traçage négatif effectué en hautes eaux et en période sèche. La durée de suivi du traçage négatif est supérieure à celle du traçage positif et les masses injectées sont identiques. On peut donc supposer que le fait d'être en période sèche (pour le traçage négatif) a entraîné un retard de restitution par rapport au traçage positif ou une non restitution du traceur ;
- **le doublon n°6** présente un traçage positif effectué en période sèche et en hautes eaux et un traçage négatif effectué en période pluvieuse et en moyennes eaux. Dans ce cas, on peut dire que les conditions climatiques n'ont pas eu d'impact sur le résultat de traçage.

La période de suivi étant supérieure pour le traçage négatif à celle du traçage positif, on suppose que s'il y avait eu restitution, elle aurait été prise en compte. On constate par contre que la masse injectée pour le traçage positif est supérieure à celle du traçage négatif, il est donc possible que la masse injectée ait été insuffisante pour observer une restitution. On peut aussi supposer que le fait d'être en hautes eaux

pour le traçage positif ait eu une influence (par exemple en mettant en eau une galerie ou un lien qui ne l'est pas en moyennes eaux).

- **le doublon n°7** montre un traçage positif effectué en période sèche et un traçage négatif effectué en période pluvieuse. On constate que la restitution pour le traçage positif a eu lieu après la fin de la durée de suivi du traçage négatif. On peut supposer ici que la durée de suivi du traçage négatif a été trop courte pour observer la restitution.

**En résumé :**

- Les doublons 1 et 2 montrent l'importance d'une durée de suivi adaptée à la distance ainsi qu'aux conditions climatiques (en période sèche les vitesses de transit sont sans doute plus faibles) ;
- Les doublons 3, 4 et 5 semblent montrer que les conditions climatiques priment sur les conditions hydrogéologiques, d'où la nécessité de prévoir un volume de chasse important (notamment en cas de période sèche) ;
- Le doublon 6 laisse supposer que les conditions hydrogéologiques (hautes eaux / basses eaux) ont une importance quant au résultat du traçage ;
- Le doublon 7 confirme l'hypothèse concernant la durée de suivi, et nous montre qu'une durée de suivi trop courte peut conduire à un faux négatif.

ID doublon	ID traçage	ID point d'injection	ID point de suivi	durée de suivi en jour	conditions climatiques	conditions hydrogéologiques	distance tracée (en m)	masse injectée (en kg)	type de lien	vitesse de 1ère observation (en m/s)	restitution (en jour)
N°1	27	684	530	20	période sèche	Hautes eaux	1638,0	2	négatif		
	28	684	530	28	période pluvieuse	Moyennes eaux	1638,0	3	positif	2,5	27,3
N°2	27	684	685	20	période sèche	Hautes eaux	670,1	2	négatif		
	28	684	685	28	période pluvieuse	Moyennes eaux	670,1	3	positif	1,0	27,3
N°3	329	5685	530	30	période sèche	Hautes eaux	2738,4	2	négatif		
	330	5685	530	28	période pluvieuse	Moyennes eaux	2738,4	3	positif		
N°4	293	5651	3588	42	Période sèche	Hautes eaux	7611,7	4	négatif		
	294	5651	3588	63	Période pluvieuse	Moyennes eaux	7611,7	4	positif		
N°5	327	5684	2797	28	Période sèche	Hautes eaux	3018,1	2	négatif		
	328	5684	2797	22	Période pluvieuse	Moyennes eaux	3018,1	2	positif	5,5	22,9
N°6	47	678	702	25	période sèche	Hautes eaux	5328,0	3	positif	9,1	24,3
	48	678	702	29	periode pluvieuse	Moyennes eaux	5328,0	2	négatif		
N°7	41	698	699	36	période sèche	Hautes eaux	3126,8	2	positif	3,7	35,3
	42	698	699	29	période pluvieuse	Moyennes eaux	3126,8	2	négatif		

Illustration 56 : Présentation de plusieurs doublons de traçages effectués avec des traceurs identiques mais dont les conditions climatiques et les types de lien sont différents



## 5.6. BILAN DE L'ANALYSE

### 5.6.1. Quantité à injecter et dose caractéristique

L'analyse des doses caractéristiques de la base montre qu'elles sont très variables (de 0.04 kg/km à 9 kg/km pour la fluorescéine). La fiabilité de certains traçages négatifs bancarisés peut donc être remise en cause.

L'analyse des doublons permet de constater une différence de type de lien selon la dose injectée. Suite à cette analyse, il semblerait que, pour des systèmes traçages « bétoire-source » :

- une dose caractéristique de 0.01 kg/km soit insuffisante pour la rhodamine B,
- une dose caractéristique, pour l'uranine, de 0.1 kg/km soit insuffisante alors qu'une dose de 0.12 kg/km ait pu permettre la détection du traceur,
- une dose caractéristique minimale à utiliser pour le chlorure de lithium soit de 0.6 kg/km.

Ces résultats sont cependant à prendre avec précaution pour plusieurs raisons :

- la détection du traceur au point de restitution dépend également du type d'appareil d'analyse utilisé (et de son seuil de détection), du matériel utilisé pour le prélèvement, etc. Ces paramètres n'ont pas été pris en compte dans cette présente analyse ;
- l'inventaire des traçages n'étant qu'à sa deuxième année, les échantillons sur lesquels ont été effectués ces analyses sont relativement restreints, les déductions réalisées à partir de ces analyses sont donc à nuancer.

### 5.6.2. Type de système traçage

Il semblerait que le paramètre « système traçage » ait une influence sur le résultat du traçage. Il serait donc nécessaire lors de la mise en œuvre d'un traçage d'augmenter les doses injectées lorsque le traçage concerne un système traçage dont les points d'entrée ou de sortie ne sont pas karstiques.

De plus, selon l'OFEG [9], paragraphe 2.4.2, la quantité de traceur à injecter doit être multiplier par 2 voir 3 lorsque l'injection a lieu dans la zone non saturée (ce qui est souvent le cas lors d'une injection dans un système traçage type « point d'injection-source » ou « point d'injection-point de suivi »).

### **5.6.3. Volume de chasse**

L'analyse des pourcentages de traçages négatifs et positifs en fonction des volumes (ou débits) de chasse montre que dans la plupart des cas le volume de chasse des traçages positifs est supérieur à celui des traçages négatifs. Il semble, au vue de cette analyse difficile d'affirmer que ce paramètre ait une influence sur le pourcentage de traçages négatifs (ou positifs) ce qui nécessiterait une analyse statistique.

### **5.6.4. Durée de suivi**

L'analyse des données de la base pour les traçages négatifs montre que les périodes de suivi sont très souvent insuffisantes. Un certain nombre de traçages considérés comme négatifs pourraient être en réalité de « faux négatifs ».

Par ailleurs, l'analyse des doublons montre que de nombreux doublons dont les types de liens sont différents, présentent une date de restitution pour le traçage positif n'étant pas couverte par la durée de suivi du traçage négatif.

Cela souligne l'importance d'une durée de suivi adaptée.

### **5.6.5. Conditions climatiques**

L'analyse des données bancarisées semble montrer que les conditions climatiques (période sèche ou période pluvieuse) ont une influence sur le résultat de traçage.

En effet, l'analyse des doublons dont les types de liens et les conditions climatiques d'injection sont différentes mais pour lesquels le traceur et la masse injectée sont identiques montre que souvent les traçages négatifs ont été effectués en période sèche et que les traçages positifs ont été effectués en période pluvieuse. Ceci pourrait être expliqué par un retard des écoulements ou même une non-restitution du traceur en période sèche.

Ceci semble être confirmé par l'analyse des doublons dont le type de lien est positif mais les conditions climatiques différentes puisqu'elle montre que dans la plupart des cas les vitesses de restitution des traçages effectués en période pluvieuse sont supérieures à celle des traçages effectués en période sèche.

Ensuite, ces analyses semblent également montrer que les conditions climatiques d'injection priment sur les conditions hydrogéologiques.

Ces observations montrent par ailleurs que la durée de suivi d'un traçage doit être adaptée aux conditions de réalisation : il serait ainsi nécessaire d'augmenter la durée de suivi lorsque le traçage est effectué en période sèche.

Enfin, si l'on considère qu'un évènement pluvieux équivaut à volume de chasse (injection d'eau avant et après injection du traceur), ces hypothèses montrent

l'importance d'un grand volume de chasse (à augmenter lorsque le traçage est réalisée en période sèche).

#### **5.6.6. Conditions hydrogéologiques**

Il semblerait que les conditions hydrogéologiques aient également un impact en ce qui concerne le résultat du traçage. En effet, des conditions hydrogéologiques de hautes eaux peuvent entraîner la mise en eau d'un conduit hors d'eau en période de basses eaux. Cette hypothèse n'a cependant été étayée que par un doublon de traçage, elle est donc à nuancer.

Lepiller et Mondain ont montré que la restitution en période de basses eaux pour une distance supérieure à 1 km dans un milieu karstique est plus longue (quelques jours à quelques semaines) que pour une période de hautes eaux (quelques heures à quelques jours) [13].



## 6. Conclusion

Au terme de l'Année 2 de l'inventaire des Bétoires, Traçages et Exutoires de Haute Normandie, la consultation et le dépouillement des fonds d'archives documentaires initialement prévus (DDE76, DDE27, DDAF27 et DDAF76) sont réalisés excepté pour les archives de la DDAF76 dont le déstockage s'achèvera vers le 15 avril 2010.

Ce dépouillement des archives en année 2 a déjà permis la bancarisation de 6140 nouveaux points (dont 6062 bétoires ou indice de perte, 12 sources, 15 points de suivi, 51 points d'injection) et 72 opérations de traçages représentant 211 circulations souterraines tracées.

Au total, le travail d'inventaire réalisé en années 1 et 2 a permis la bancarisation de :

- 7604 bétoires et 3693 indices de pertes,
- 909 nouvelles observations sur des bétoires ou indice de perte déjà bancarisés (fiches « historiques »),
- 1506 exutoires (sources),
- 763 points de suivi (hors exutoires),
- 160 points d'injection (hors bétoires),
- 1386 circulations souterraines testées par traçage (par 466 injections de traceurs).

Par ailleurs des vérifications sur le terrain pour les trois bassins versants de la Risle aval, de la Lézarde et de l'Oudalle ont permis de réaliser 166 fiches d'observation.

Lors de l'Année 2, les données contenues par la base de données Access ont été transférées vers la nouvelle base de données Oracle. Depuis janvier 2010, la base Access est abandonnée, la saisie est réalisée uniquement dans la nouvelle base Oracle via l'appliquatif de saisie par Internet. Cet outil de télésaisie permettra, à l'issue de ces 4 années de rattrapage, une saisie en continu et partagée par toutes les collectivités, administrations et acteurs de l'eau (système d'identifiant/mot-de-passe).

Enfin, un travail d'analyses des données des traçages bancarisés a été réalisé au cours de l'année 2. Les résultats de ce travail ont permis de dresser un premier état des lieux des pratiques de traçage en Haute-Normandie. L'influence de différents paramètres (dose caractéristique, durée de suivi, volume de chasse, condition climatique,...) sur le résultat des traçages a été étudié. Il semble que les pratiques de traçage en Haute-Normandie soient perfectibles.

La poursuite du dépouillement des archives des autres administrations et collectivités (Départements, Région, AESN, Université, Syndicats de Bassin Versants,...), la validation sélective des données sur le terrain et la mise en ligne de cette banque de données sur Internet sont prévus au cours des 2 prochaines années de ce projet.

## 7. Bibliographie

1. Boudet M. et Equilbey E., 2003 : Pilote de l'inventaire historique régional Haute-Normande des bétoires, itinéraires souterrains des eaux (traçages) et des exutoires. Rapport final, Rap. BRGM/RP-52423-FR, 117 p.
2. Boudet M., Equilbey E. & Legendre D., 2003 : Phase pilote de l'inventaire régional Haute-Normande des bétoires, traçages et exutoires. Guide utilisateur de la base. Rap. BRGM/RP-52343-FR, 130 p.
3. Gombert Ph, 2008 : Synthèse des traçages réalisés dans la craie karstique de Haute-Normandie et proposition de normalisation
4. Mondain P-H., Muet P, 2008 Proposition d'une grille d'évaluation des résultats des traçages en milieu karstique (au moyen de traceurs fluorescents), CFH - Colloque Hydrogéologie et karst au travers des travaux de Michel Lepiller 17 mai 2008
5. Oppeneau, 2004 : Définition d'une méthode de diagnostic de bassin versant pour les produits phytosanitaires, Rap. BURGEAP R4263/A
6. Valdes D. Variabilité spatiale du fonctionnement hydrologique de l'aquifère karstique de la craie (Département de l'Eure, France), Thèse Université Université de Rouen - U.F.R. des Sciences et Technique
7. Atlas hydrogéologique numérique de l'Eure – volet bilan quantitatif - BRGMRP-52988-Fr février 2004
8. Gombert P.-Proposition de protocole de traçage adapté au karst de la craie- *European Journal of water quality*, tome 38, fasc. 1, 2007, p. 61 à 78
9. Schudel B. Biaggi D., Dervev T., Kozel R., Müller I., Ross J., Schindler U., 2002.-Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie – Guide pratique – OFEG
10. David P-Y. (2009) – Inventaire régional Haute-Normandie des bétoires, itinéraires souterrains des eaux (traçages) et des exutoires – Rapport final Année 1. Rap. BRGM/RP-57188-FR, 130 p., 71 ill., 3 ann.

11. Dessales Y.-Apport des traceurs à la connaissance des eaux souterraines - Université de Picardie Jule Verne-Rapport DESS Année 2000/2001
12. Field M.S.-Tracer-Test Planning Using the Efficient Hydrologic Tracer-Test Design (EHTD) Program- United States Environmental Protection Agency- EPA/600/R-034 April 2003
13. Lepiller M., Mondain P.H.-Les traçages artificiels en hydrogéologie karstique- Mise en œuvre et interprétation- *hydrogéologie n°1, 1986*

## **Annexe 1**

-

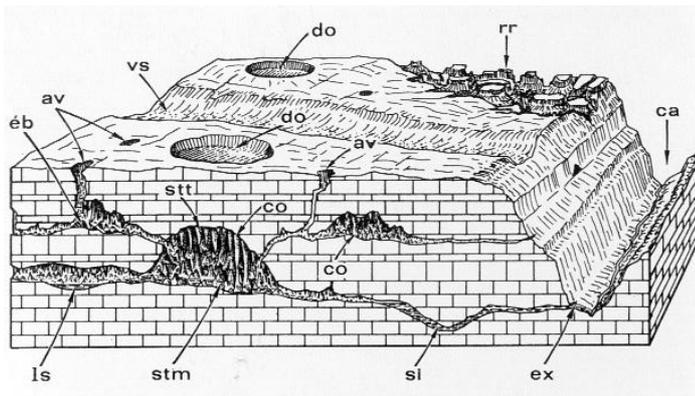
### **Généralités sur le contexte hydrogéologique haut normand**



## Généralités sur le contexte hydrogéologique haut normand [1]

**Notion de karst :** le karst est un paysage résultant de processus particuliers d'érosion (la karstification). Ces processus sont commandés par la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomies) constituant le sous-sol des régions concernées. C'est l'eau de pluie infiltrée dans ces roches qui assure cette dissolution. L'eau acquiert l'acidité nécessaire à la mise en solution de la roche en se chargeant de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) produit dans les sols par les végétaux et les colonies bactériennes. Le paysage de surface, constitué en général de dépressions fermées (appelées dolines, pour les petites, et poljés, pour les plaines d'inondation), est associé à un paysage souterrain, dont les grottes et les gouffres parcourables par l'homme font partie. Dans le milieu crayeux, le développement du système karstique est limité et plutôt discret : les conduits karstiques sont souvent de taille réduite, et colmatés (les grands volumes de vides sont rares).

Le karst est par conséquent un paysage original, créé par les écoulements d'eau souterraine. L'eau circule en son sein, s'y accumule et émerge par des sources aux débits souvent considérables, mais très fluctuants dans le temps. Le karst engendre donc un milieu aquifère spécifique, l'aquifère karstique.



Av : aven ou bétoire – ca : canyon – do : doline – éb : éboulis – ls : lac souterrains alimenté par une rivière souterraine – rr : relief ruiniforme – si : siphon – stm : stalagmite – stt : stalactite – vs : vallée sèche.

Figure 1 : Modelé karstique

**Notion d'aquifère :** Un aquifère est une formation géologique possédant une perméabilité suffisante pour que l'eau souterraine puisse y circuler. Un aquifère libre est constitué d'une zone non saturée (ou zone d'infiltration), dont les vides, occupés par de l'air, sont parcourus par de l'eau, et une zone noyée ou saturée (ou nappe aquifère), dont tous les vides sont remplis d'eau. Si la porosité du milieu, c'est-à-dire le rapport du volume des vides au volume total de la formation, est forte (supérieur à 10%), l'aquifère peut posséder une capacité de stockage intéressante, dont les réserves peuvent être exploitées. La zone d'infiltration est séparée de la zone saturée par la surface de la nappe, dont on mesure le niveau piézométrique. Ce dernier varie en fonction de l'alimentation par l'infiltration et de la vidange naturelle, par les sources ou au profit d'autres aquifères, et de la vidange artificielle par les prélèvements (pompage et drainage).

Finalement, le système aquifère karstique peut se décomposer en trois éléments : les points d'entrée de l'eau (« bétoires »= pertes), les chemins internes au système (mis en évidence par les traçages), et les points de sortie (exutoires).

**Définition d'une bétoire** : le mot bétoire, appelé « bois-tout » en cauchois, désigne un orifice naturel qui perce le sol, et dans lequel s'engouffrent les eaux de surface. Une bétoire favorise souvent la pénétration rapide des eaux de ruissellement de surface vers les eaux souterraines, assurant une communication directe entre la surface et le réseau karstique sous-jacent. Il s'agit d'une perte karstique adaptée à la géologie régionale : la bétoire traverse souvent une forte épaisseur de formations superficielles (limons, argiles à silex, ...), avant d'atteindre la craie elle-même. Le terme technique concret pour les points d'infiltration karstique est le mot « **perte** ».

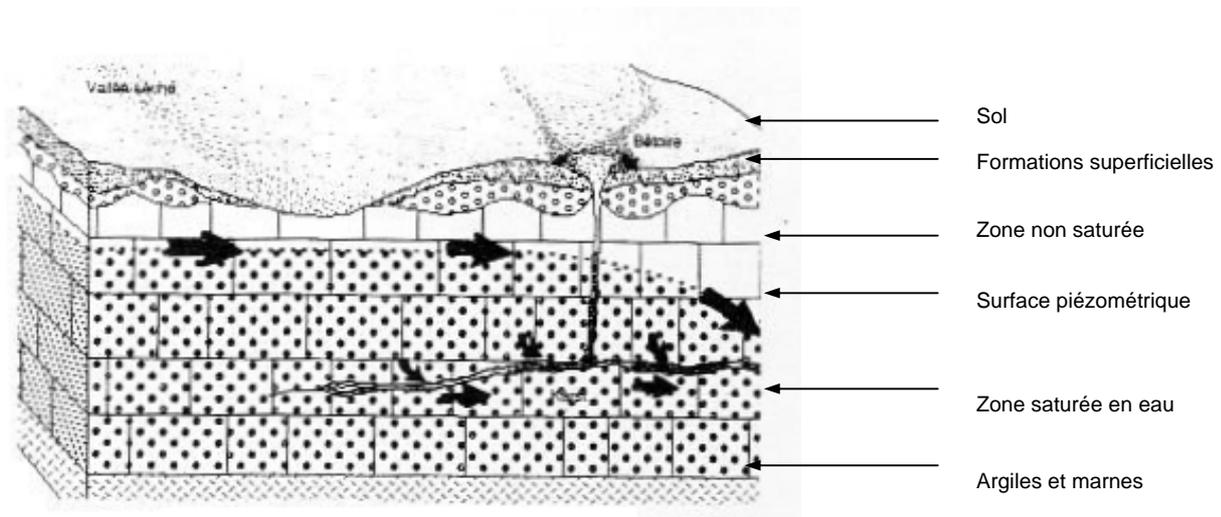


Figure 2 : Schéma d'une bétoire (DOUYER, 2000)



*Photo 1 - Exemples de bétoire (DOUYER, 2000)*

**Définition d'un exutoire :** toute issue (source, effluence, drain) par laquelle l'eau d'une nappe s'écoule par gravité hors du système aquifère (MARGAT, 1972).

Les exutoires aériens (sources, drains) sont assez bien connus et ont fait l'objet d'inventaires parfois complets à échelle locale. Les effluences sous alluvions, effluences sous-marines, ou autres effluences occultes, de part leur inaccessibilité en temps normal, ne sont connues qu'à titre ponctuel, mais elles seront également intégrées dans l'inventaire.

**Définition d'un traçage :** les traçages ont pour finalité de qualifier, à l'aide d'un traceur (colorant, chimique, radioactif, isotopique, bactérien, naturels), un lien hydrogéologique entre deux points : un point d'injection du traceur (en surface) et un point de restitution (en surface ou souterrain). Outre la mise en évidence des relations karstiques entre deux points, les traçages permettent d'obtenir des informations sur :

- la direction de l'écoulement,
- les vitesses d'écoulement,
- la dispersion,



## **Annexe 2**

-

### **Liste des dossiers d'inventaires cavités communaux à destocker en année 3 dans les archives du département**



<b>INSEE</b>	<b>Commune</b>	<b>Date</b>	<b>Bureau d'études ayant réalisé l'inventaire</b>
76062	BEAUMONT-LE-HARENG	janv.-00	?
76064	BEAUREPAIRE	janv.-00	SAFEGE
76066	BEAUTOT	janv.-00	INGETEC
76092	BEUZEVILLETTE	janv.-00	INGETEC
76100	BLAINVILLE CREVON	janv.-00	ALISE
76105	BOCASSE VALMARTIN (LE)	janv.-00	INGETEC
76106	BOIS D ENNEBOURG	janv.-00	INGETEC
76111	BOIS L'EVEQUE	janv.-00	INGETEC
76112	BOIS ROBERT	janv.-00	SAFEGE
76115	BOLLEVILLE	nov.-00	INGETEC
76118	BORNAMBUSC	janv.-00	?
76121	BOSC-EDELINE	févr.-08	SAFEGE
76138	BRACQUETUIT	août-07	INGETEC
76143	BRETTEVILLE DU GRAND CAUX	janv.-00	INGETEC
76147	BULLY	mars-06	SAFEGE
76122	CALLENGEVILLE	janv.-00	CETE
76153	CALLEVILLE LES DEUX EGLISES	janv.-00	GEO DEV
76155	CANEHAN	janv.-00	SAFEGE
76170	CHAPELLE DU BOURGAY (LA)	janv.-00	INGETEC
76183	COLLEVILLE	janv.-00	ALISE
76184	COLMESNIL-MANNEVILLE	janv.-00	INGETEC
76191	CRESSY	janv.-00	?
76197	CRICQUETOT SUR LONGUEVILLE	janv.-00	ALISE
76198	CRICQUETOT SUR OUVILLE	janv.-00	INGETEC
76206	CUVERVILLE	janv.-00	?
76217	DIEPPE	janv.-00	INGETEC
76239	EPRETOT	sept.-04	ANTEA
76249	ETAIMPUIS	janv.-00	?
76252	ETALONDES	août-06	ALISE
76259	FECAMP	janv.-00	?
76267	FOLLETIERE (LA)	janv.-00	INGETEC
76272	FONTAINE LE DUN	avr.-08	SAFEGE
76279	FOUCART	janv.-00	INGETEC
76284	FRESNAY LE LONG	janv.-00	GEO DEV
76286	FRESNOY FOLNY	janv.-00	?
76290	FRICHEMESNIL	janv.-00	INGETEC
76298	GANZEVILLE	janv.-00	SAFEGE
76300	GERVILLE	janv.-00	GEO DEV
76306	GONNETOT	janv.-00	?
76308	GONNEVILLE-SUR-SCIE	janv.-00	CETE
76317	GRAINVILLE YMAUVILLE	juin-00	CETE
76315	GRAINVILLE-LA-TEINTURIERE	janv.-00	?
76328	GRIGNEUSEVILLE	janv.-00	ALISE
76331	GRUGNY	janv.-00	?

<b>INSEE</b>	<b>Commune</b>	<b>Date</b>	<b>Bureau d'études ayant réalisé l'inventaire</b>
76336	GUEUTTEVILLE LES GRES	juil.-08	ALISE
76337	GUILMECOURT	janv.-00	ALISE
76354	HENOUVILLE	mars-08	INGETEC
76369	HOUSSAYE BERANGER (LA)	janv.-00	SAFEGE
76373	IMBLEVILLE	janv.-00	GEO DEV
76374	INCHEVILLE	déc.-07	ALISE
76382	LANQUETOT	déc.-02	INGETEC
76390	LES LOGES	janv.-00	?
76384	LILLEBONNE	mai-05	ANTEA
76388	LINTOT	janv.-00	INGETEC
76392	LONDINIÈRES	janv.-00	INGETEC
76396	LONGUERUE	janv.-00	SAFEGE
76398	LOUVETOT	janv.-00	INGETEC
76408	MANNEVILLE LA GOUPIL	mars-05	ANTEA
76414	MARTIN EGLISE	oct.-03	GAUDRIOT
76415	MASSY	oct.-06	ALISE
76417	MAUCOMBLE	janv.-00	INGETEC
76421	MELAMARE	janv.-00	INGETEC
76428	MESNIL DURDENT (LE)	janv.-00	INGETEC
76430	MESNIL FOLLEMPRISE	janv.-00	?
76445	MONTEROLIER	janv.-00	ALISE
76456	MOTTEVILLE	janv.-00	CETE
76467	NEVILLE	janv.-00	ALISE
76468	NOINTOT	janv.-00	INGETEC
76483	OHERVILLE	janv.-00	?
76513	QUEVILLON	janv.-00	?
76518	RAFFETOT	janv.-00	INGETEC
76525	RICARVILLE	déc.-06	CEBTP
76531	ROCQUEFORT	janv.-00	INGETEC
76557	SAINTE ARNOULT	mai-99	CETE
76559	SAINTE AUBIN DE CRETOT	janv.-06	CEBTP
76563	SAINTE AUBIN ROUTOT	avr.-03	ANTEA
76580	SAINTE GEORGES SUR FONTAINE	janv.-00	0
76585	SAINTE GILLES DE CRETOT	oct.-06	CEBTP
76595	SAINTE JOUIN BRUNIVAL	janv.-00	INGETEC
76597	SAINTE LAURENT EN CAUX	oct.-03	INGETEC
76602	SAINTE MACLOU DE FOLLEVILLE	déc.-07	SAFEGE
76604	SAINTE MARDS	janv.-00	INGETEC
76617	SAINTE MARTIN DU VIVIER	déc.-03	CEBTP
76626	SAINTE NICOLAS DE LA HAYE	déc.-06	CEBTP
76566	SAINTE AUSTREBERTHE	janv.-00	SAFEGE
76569	SAINTE COLOMBE	juin-07	ALISE
<b>INSEE</b>	<b>Commune</b>	<b>Date</b>	<b>Bureau d'études ayant réalisé</b>

			<b>l'inventaire</b>
76652	SAINTE-ADRESSE	déc.-06	CEBTP
76578	SAINTE-GENEVIEVE-EN-BRAY	janv.-00	ALISE
76655	SAINT-VALERY-EN-CAUX	janv.-00	?
76664	SASSEVILLE	janv.-00	INGETEC
76677	SMERMESNIL	janv.-00	ALISE
76679	SOMMESNIL	janv.-00	GEO DEV
76683	SOTTEVILLE SUR MER	sept.-05	GEOLITHE
76686	THEUVILLE AUX MAILLOTS	janv.-00	INGETEC
76689	THIETREVILLE	janv.-00	INGETEC
76693	TILLEUL (LE)	janv.-00	ALISE
76696	TOCQUEVILLE-SUR-EU	janv.-00	INGETEC
76742	VILLEQUIER	janv.-00	0
76747	VIRVILLE	janv.-00	SAFEGE
76749	WANCHY CAPVAL	janv.-00	?
76751	YEBLERON	janv.-00	?
76755	YPREVILLE-BIVILLE	janv.-00	GEO DEV



## **Annexe 3**

-

### **Typologie des anthropisations des bétoires**



### Type d'anthropisation

- Dérivation des flux
- Apport de flux
- Transformation en puits d'injection
- Rechemisage
- Obstruction (mise hors service)
- Rebouchage (tout venant)
- Remblaiement approprié (règles de l'art)
- Autre

Dérivation des flux : toutes actions visant à neutraliser ou amoindrir l'arrivée de flux ruisselant dans la bêteire. Le procédé le plus courant est l'édification d'un merlon de terrain, dérivant ou faisant barrage aux ruissellements. Les aménagements, favorisant ou créant une infiltration en amont (prairie inondable, boisement, brise vent, haie...) seront considérés comme des dérivateurs de flux (Fig. 5).

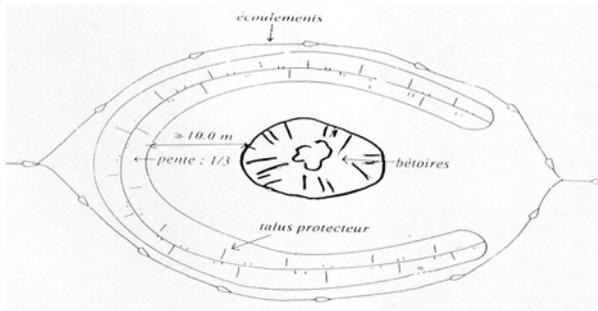


Fig. : Exemple de dérivation de flux (d'après AREAS)

Apports de flux : toutes actions humaines visant à augmenter les flux "naturels" arrivant à la bêteire. De nombreuses bêteires ont ainsi servi de puits d'injection.

Transformation en puits d'injection : tous aménagements appropriés visant à permettre une injection maîtrisée des eaux dans l'orifice de la bêteire. Ceci nécessite un bassin de rétention, un débit de fuite contrôlé, un massif filtrant, un comblement de la bêteire par des matériaux appropriés à calibration bien contrôlée. Si l'aménagement n'est pas complet, non conforme à la loi sur l'eau, on considérera qu'il s'agit d'un simple dispositif d'apport de flux (Fig. 6).

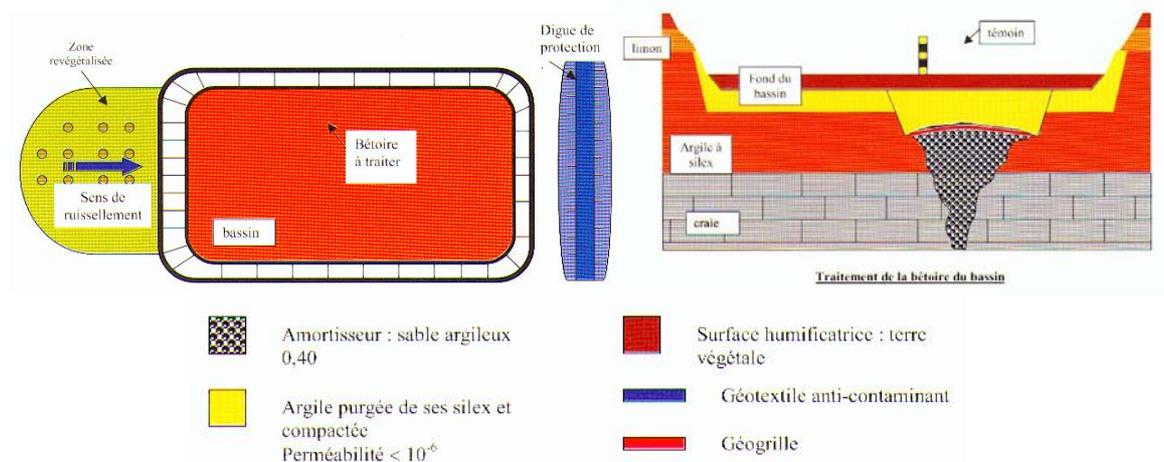


Fig. - Schéma d'une bêteire transformée en puits d'injection (d'après DOUYER, 2000)

**Rechemisage** : dans le cadre de l'aménagement de la perte en puits d'injection, il est possible de forer la bétoire pour la mise en place d'un tube crépiné et d'un remblaiement approprié sur toute la hauteur des terrains non saturés. Ce dispositif permet de contrôler l'infiltration en profondeur, au delà du seul orifice de la bétoire (Fig. 7).

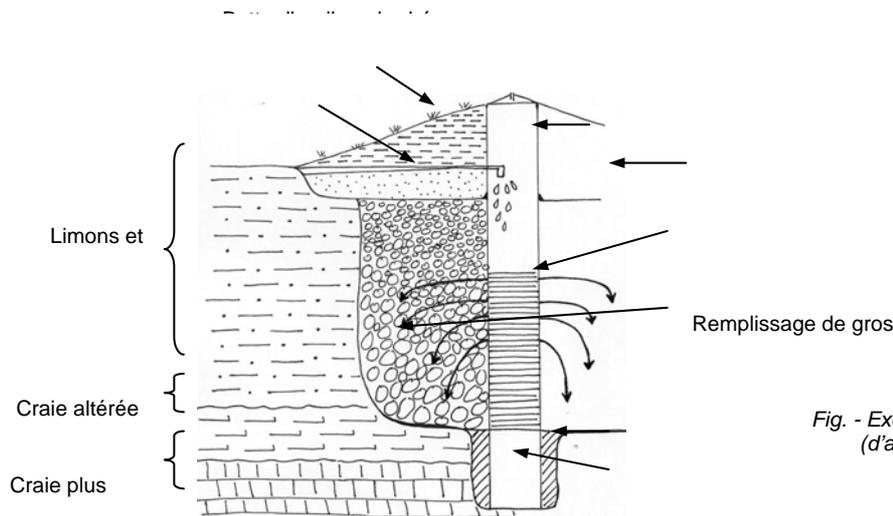


Fig. - Exemple de rechemisage d'une bétoire (d'après DE LA QUERIERE, 2002)

**Obstruction (mise hors service)** : on désigne par ce terme tout comblement partiel ou total, ou autre aménagement, visant à interdire complètement l'engouffrement des eaux dans la perte. Il pourra s'agir d'un comblement par mise en place de matériaux imperméables, la pose d'une dalle béton. En absence d'autre orifice d'infiltration à proximité, soit un nouvel orifice va apparaître à l'immédiat, soit l'ancien orifice va se rouvrir avec ruine de l'aménagement (Fig. 8).

Infiltration d'eau

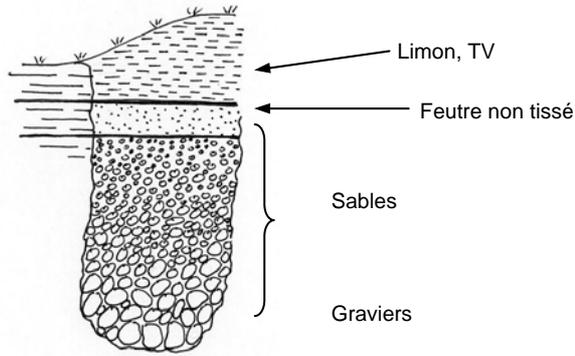
La plaque de béton finit par se casser



Fig. Exemple d'obstruction d'une bétoire (d'après DOUYER, 2000)

**Rebouchage (tout venant)** : toute action de comblement visant à compenser les pertes de terres entraînées avec les eaux d'engouffrement, par simple apport de matériaux tout venant (matériaux inertes uniquement, sinon à classer dans « autre »). Tant que la perte reste fonctionnelle, ce processus d'entraînement des éléments du terrain (suffosion) perdure et nécessite des recharges régulières du tout venant. Très fréquemment observé. Lorsque dans le texte, il sera mentionné le remblaiement ou le rebouchage d'une bétoire, sans autres précisions, il sera choisis par défaut « le rebouchage par tout venant ».

Remblaiement approprié : l'aménagement consiste à former un édifice auto-bloquant par utilisation de matériaux de granulométrie bien spécifique visant à limiter les risques de suffosion (entraînement), contenus dans des membranes géotextiles. Il nécessite au préalable un creusement de la bétoire pour assurer l'ancrage du massif de remblai. Le remblaiement s'effectue généralement par la mise en place de petits blocs de silex autobloquant, puis remplissage par des gravés de granulométrie de plus en plus fine. Il est chapeauté par un massif filtrant.



*Fig. Exemple de remblaiement d'une bétoire (d'après DE LA QUERIERE, 2000)*



## **Annexe 4**

-

### **Calcul des doses caractéristiques moyennes des différents traceurs utilisés en Haute-Normandie**



Pour les traçages comportant plusieurs points de suivi, le calcul de la dose caractéristique a été effectué en prenant la longueur entre le point d'injection et le point de suivi le plus éloigné.

	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
<b>Fluorécéine (Uranine)</b>			
moyenne	3,1	5,3	0,94
min	0,1	0,0	0,04
max	15,0	27,7	8,23
effectif	297,0	297	297,00
ecart type	2,3	37	1,15

	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
<b>Iodure de potassium</b>			
moyenne	8,0	7,5	1,30
min	1,0	6,0	0,19
max	20,0	12,4	3,36
effectif	6	2	6
ecart type	7,8	5	1,17

	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
<b>Iodure de sodium</b>			
moyenne	4,1	3,5	1,98
min	0,5	0,4	0,27
max	12,0	11,0	7,67
effectif	11,0	11	11
ecart type	3,7	34	2,18

	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
<b>Chlorure de lithium</b>			
moyenne	8,8	6,7	2,03
min	2,0	1,0	0,32
max	40,0	15,7	7,96
effectif	22,0	22	22,00
ecart type	8,0	41	2,07

Naphtionate	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
moyenne	5,0	1,9	12,23
min	3,0	0,1	1,45
max	9,0	6,2	27,05
effectif	5,0	5	5
ecart type	2,3	26	11,96

Rhodamine	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
moyenne	2,7	3,3	1,17
min	0,5	1,4	0,21
max	5,0	5,4	2,93
effectif	5,0	5	5
ecart type	1,8	17	1,20

Rhodamine B	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
moyenne	3,2	6,1	1,46
min	0,1	0,1	0,01
max	20,0	15,9	5,47
effectif	9,0	9	9
ecart type	6,3	51	2,16

Sulforhodamine B	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
moyenne	2,1	5,0	1,55
min	1,5	0,4	0,14
max	3,0	10,6	5,36
effectif	5,0	5	5
ecart type	0,7	45	2,17

Tinopal	Quantité injectée (kg)	Distance (km)	Dose caractéristique (kg/km)
moyenne	8,2	4,2	4,80
min	2,0	0,2	1,22
max	20,0	9,7	11,41
effectif	5,0	5	5
ecart type	7,4	45	4,30

## **Annexe 5**

-

### **Calcul de l'influence du volume chasse sur le résultat du tracage**



Dans le but de vérifier l'impact du volume de chasse sur le résultat d'un traçage, les moyennes des volumes de chasse par type de lien et pour chaque type de système traçage ont été calculées.

Les résultats sont présentés dans les Illustration 57 à Illustration 64.

- système traçage « bétoire-source » :

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	<b>7,6</b>	0,5	127	18,3	49
positif	<b>10.0</b>	0,5	127	20,7	48

*Illustration 57 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage bétoire source*

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	18,5	0,1	75	14,8	41
positif	25,3	1,2	90	19,6	58

*Illustration 58 : Moyenne des chasses artificielle (en m<sup>3</sup>) pour un système traçage bétoire source*

- Système traçage « point d'injection-source » :

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	17,0	0,5	179	48,9	12
positif	146,6	0,5	600	240,1	19

*Illustration 59 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage point d'injection-source :*

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	65,7	0,2	390	92,4	66
positif	72,6	2,5	390	103,8	55

*Illustration 60 : Moyenne des chasses artificielle (en m<sup>3</sup>) pour un système traçage point d'injection-source :*

- Système traçage « bétoire-point de suivi » :

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	45,5	0,5	127	53,1	29
positif	10	0,5	30	9,9	15

*Illustration 61: Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage bétoire-point de suivi*

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	21,0	0,1	75	11,9	77
positif	26,1	0,1	75	17,9	68

*Illustration 62 : Moyenne des chasses artificielle (en m3) pour un système traçage bétoire-point de suivi*

- *Système traçage « point d'injection et point de suivi » :*

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	38,5	0,2	600	121,8	26
positif	114,6	0,5	600	205,4	36

*Illustration 63 : Moyenne des chasses naturelles (en l/s) pour un système traçage point d'injection et point de suivi*

Type de traçage	moyenne	minimum	maximum	écart type	effectif
négatif	65,1	1	390	81,9	54
positif	61,8	1,6	100	39,4	38

*Illustration 64 : Moyenne des chasses artificielle (en m3) pour un système traçage point d'injection et point de suivi*

## **Annexe 6**

-

### **Modèle d'Acte d'engagement à signer pour bénéficiaire d'une extraction de la base régionale Bétoires/Traçages**



<b>Acte d'engagement</b>
--------------------------

<b>Mise à disposition de données de l'Inventaire Bétoires/Traçages/Exutoires de Haute-Normandie</b>
---

**Objet : Fourniture des données de l'inventaire des Bétoires et des traçages hydrogéologiques sur le secteur de :**

La Région Haute-Normandie, le Département de la Seine-Maritime, le Département de l'Eure, l'Agence de l'Eau, la DREAL Haute-Normandie et le BRGM se sont engagés dans la réalisation de l'inventaire historique des bétoires, traçages et exutoires sur la Haute-Normandie. Il est destiné à mettre à la disposition de l'état, des collectivités et du public les informations relatives à la connaissance des phénomènes karstiques et de leurs relations avec les eaux souterraines captées pour l'alimentation en eau potable.

Cette base de données en cours de réalisation sera, à l'issue de la bancarisation des archives des différentes administrations et collectivités, mise en libre consultation via un site internet.

En attendant la mise en place de ce site de consultation, le comité de pilotage de ce projet d'inventaire autorise les extractions de données de cette base. Cependant et afin d'améliorer la qualité des données bancarisées, le bénéficiaire s'engage à :

- utiliser les identifiants attribués à chaque Bétoire ou Traçage par la Base Bétoires/Traçages dans le cas où il en ferait référence dans ses rapports ou pour d'éventuelles représentations cartographiques;
- différencier sur ses représentations cartographiques les bétoires ou traçages issus de l'inventaire régional, de ceux issus de ses propres études ou observations terrains ;
- citer en bibliographie dans tous les rapports où les données seront utilisées : « *Base de données de l'Inventaire régional Haute-Normandie des bétoires, traçages et des exutoires commanditée par l'AESN, la Région Haute-Normandie, le Département de l'Eure, le Département de la Seine Maritime et le BRGM. Extraction SIG du JJ/MM/AAAA* » ;
- transmettre le rapport de fin d'études dans le cas où il contiendrait le retour d'investigations de traçages ou d'inventaires terrain de bétoires.

Dans le cas où ces conditions ne seraient pas respectées par le bénéficiaire, les demandes ultérieures de fourniture des données de l'inventaire Bétoires/Traçages Haute-Normandie, lui seront refusées.

A noter que les données transmises au format papier ou SIG sont issues d'une synthèse de références bibliographiques diverses et n'ont pas toutes fait l'objet d'une validation sur le terrain.

En dépit des efforts mis en œuvre pour vérifier la fiabilité des données, le BRGM n'est pas en mesure de garantir l'exactitude, la mise à jour, l'intégrité, l'exhaustivité des données et en particulier, que les données sont exemptes d'erreurs, notamment de localisation, d'identification ou d'actualisation. Les données sont fournies à titre informatif et n'ont aucune valeur réglementaire. Une validation terrain de ces données est fortement conseillée.

Le BRGM ne garantit notamment pas les résultats obtenus lors de la mise en œuvre des données, spécialement si vous procédez à la restitution cartographique à une échelle non conforme à celle utilisée pour la numérisation des données.

Fait à :  
 Le :  
 Nom du BET :  
 Signature du responsable  
 (précédé de la mention « lu et approuvé »)



## **Annexe 7**

-

### **Fiche de validation terrain des Bétoires**



**FICHE BÉTOIRE TERRAIN**

Date d'observation : .....

N°GPS : .....

N° Photos : .....

**N° identifiant conservé après validation terrain :**

**I – IDENTIFICATION**

Nouvelle bétoire :  oui  non

Si non, bétoire recherchée sur le terrain :

- N° identifiant BD Bétoire : .....
- N° identifiant BD Cavité : .....
- N° identifiant BD DDE Cavité : .....
- Bétoire retrouvée sur le terrain :  oui.  non
- Si non retrouvée, observations en lieu et place de la bétoire signalée en BD : .....

- Coordonnées GPS Lambert II étendu métrique :

X : ..... Y : ..... Précision : +/- ..... m  
 Altitude : ..... m Précision : +/- ..... m

Mode d'obtention : .....

- Coordonnées à conserver :

- coordonnées terrain BRGM  coordonnées archive

- Suite à donner à ce point :

- Point à conserver
- Point à supprimer
- Point à fusionner avec points n° .....

Si oui :

Coordonnées GPS Lambert II étendu métrique :

Commune : ..... Insee : .....

X : ..... Y : ..... Précision : +/- ..... m

Altitude : ..... m Précision : +/- ..... m

Mode d'obtention : .....

Désignation locale courante :

Lieu dit :

Points de repère :

Carte IGN n° :

Nom :

Bassin versant hydrographique :

Bassin versant hydrogéologique :

**II – CONTEXTE VALIDATION TERRAIN**

Fortes précipitations le jour d'observation :  oui  non

Fortes précipitations les jours précédents :  oui  non

Ruissellements observables sur le terrain :  oui.  non

Ruissellement observable dans la bétoire :  oui.  non

Indices de ruissellement autour de la Bétoire :  oui.  non

Écoulement de sub-surface observable dans la bétoire :  oui.  non

Indices de sous-tirage :  oui.  non

**III – DESCRIPTION**

**CARACTERISTIQUES DE LA PERTE**

Type d'engouffrement :  perte ponct.  doline bétoires  zone d'infiltra° diffuse  indice non validé de perte

Alignement avec d'autres bétoires ou indices :  oui.  non

Dimension effondrement : Diamètre : m Profondeur maximale : m

Nombre d'orifices visibles : .....

Présence de végétation nitrophile :  oui.  non

État :  naturel  anthropisé

Si anthropisée :  dérivation des flux  apport de flux  transformation en puits d'injection  rechemisage  
 obstruction (mise H. S.)  rebouchage (tout veant)  remblaiement (règle de l'art)  autres

Engouffrement fonctionnel :  oui  non  inconnu

Si engouffrement fonctionnel :  pérenne  actif  peu actif  inconnu

Commentaires :

## HYDROGEOLOGIE

Impluvium (km<sup>2</sup>) :

Profondeur de la nappe (m):

Débit d'engouffrement (l/s) moyen :

maximal :

Capacité maximale d'entrée (l/s) :

Nature des eaux d'engouffrement :

pluvial  cours d'eau

effluents industriels  effluent d'assainissement  eaux usées non traitées

routier  domestique  agricole :

culture de labours  culture permanente  élevage  drainage

Eaux turbides (oui/non)

Commentaires :

## ENVIRONNEMENT DU SITE

Contexte géomorphologique :  plateau  thalweg  amorce de versant  versant  fond de vallée sèche  fond de vallée humide  
 lit de rivière

Environnement immédiat :  culture  prairie  bois  habitation  voirie  industrie

Stratigraphie de la craie :

Autres pertes fonctionnant en parallèle :

Commentaires :

## IV – SOURCE D'INFORMATION

Numéro identifiant :

## **Annexe 8**

-

### **Cartographie des bassins versant d'Yport et de l'Iton en vue de la détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère**

**(Planches hors texte)**







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Haute-Normandie**  
Parc de la Vatine  
10 rue A. Sakharov  
76130 – Mont Saint Aignan - France  
Tél. : 02 35 60 12 00