



Conventions 2010
Cemagref – MEEDDM DEB
Cemagref – MAAP DGPAAT

Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides

Guide méthodologique

Version provisoire

V1 2011

Guy Le Hénaff

Christine Gauroy
Equipe pollutions diffuses

UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions, LYON
3 bis, quai Chauveau, CP 220, 69336 LYON cedex 09





Prise d'eau du Moulin Bescond sur le Leff (C.C. Paimpol-Goëlo), Lanleff -22



Barrage des Echansieux, SIE du Gantet, Violay - 42

Table des matières

1 Contexte et objectifs de l'étude	7
2 Notions préliminaires	10
2.1 Notion de bassin versant.....	10
2.2 Aire d'alimentation de captage en eaux de surface	11
2.3 Notion de vulnérabilité.....	11
2.4 Pesticides	11
2.5 Rappels sur les mécanismes de transferts des pesticides	11
3 Démarche méthodologique	14
3.1 Typologie des aires d'alimentation en eaux de surface	14
3.2 Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface.....	14
3.2.1 Echelles de travail	14
3.2.2 Délimitation à l'aide d'un Système d'Information Géographique	16
3.2.3 Méthodologie de délimitation : démarche résumée.....	16
3.3 Caractérisation de la vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides	17
3.3.1 Démarche retenue.....	17
3.3.2 Echelle d'évaluation de la vulnérabilité	17
3.3.3 Segmentation des modes de transferts de pesticides.....	18
3.4 Déroulement de l'étude « délimitation - vulnérabilité »	19
3.4.1 Différentes phases	19
3.4.1 Animation de l'étude et co-construction	19
3.5 Distance au captage et taille de l'aire.....	20
3.6 Conclusion du chapitre démarche méthodologique.....	20
4 Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité	21
4.1 Choix méthodologiques.....	21
4.1.1 Cartes thématiques de vulnérabilité intrinsèque	21
4.1.2 Segmentation par type de transfert des eaux superficielles.....	22
4.2 Données et recueil d'informations	24

Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides

4.2.1	Accès aux données	24
4.2.2	Le recueil des informations auprès des acteurs locaux	24
4.3	Caractéristiques générales de l'aire d'alimentation	25
4.3.2	Description du contexte général	25
4.3.3	Description des conditions climatiques	25
4.4	Ruissellement diffus de surface	25
4.4.1	Ruissellement hortonien	25
4.4.2	Ruissellement par saturation	26
4.5	Ecoulements de sub-surface	27
4.5.1	Ecoulement hypodermique	27
4.5.2	Drainage agricole	27
4.6	Ruissellement érosif	29
4.7	Dérive atmosphérique	31
4.8	Prise en compte des éléments paysagers	33
4.8.1	Vers des cartes opérationnelles de vulnérabilité	33
4.8.2	Vérification par des relevés de terrains	33
5	Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque selon la taille de l'aire	34
5.1	Cas des petites aires, moins de 30 km ² , et des très petites aires (quelques km ²)	34
5.2	Cas des moyennes aires : 30 – 100 km ²	36
5.3	Cas des grandes aires : 100 – 500 km ²	39
5.4	Cas des Très grandes aires (500 – 2000 km ² et > 2000 km ²)	41
6	Conclusions	43
7	Sources et disponibilités des données	44
8	Bibliographie du guide méthodologique	46
9	Sigles	48
10	Glossaire	50
11	Annexes	52

Annexe 1 : Superficie des AAC « Grenelle » en eaux superficielles (hors AE Seine Normandie)

52

Annexe 2 : Eléments de description du territoire de l'Aire d'Alimentation de Captage en eaux de surface	53
Annexe 3 : segmentation selon les types de transferts	54

Personnes ayant participé au groupe de pilotage du projet

Catherine Gibaud – MAAP - DGPAAT/BSE
Björn Desmet – MEEDDM - DEB/GR4
Philippe Nouvel – MEEDDM - DEB/GR4
Stéphanie Croguennec – MEEDDM - DEB/GR1
Daniel Berthaud - MEEDDM - DEB/GR1
Matthieu Hervé – MEEDDM – DEB/GR1
Arnaud Joulin - DRAAF-SRAL Lorraine
Philippe Reulet - DGAL-SDQPV/DRAAF Aquitaine
Nicolas Domange – ONEMA/DAST
Frédéric Barrez – ONEMA/DAST
Jean François Vernoux – BRGM – service EAU
Emmanuel Pichon – AE Loire Bretagne
Guy Le Hénaff – Cemagref Lyon/ pollutions diffuses
Christine Gauroy – Cemagref Lyon/ pollutions diffuses
Jean Joël Gril – Cemagref Lyon/ pollutions diffuses

Préambule

Nous avons fait le choix de présenter le travail réalisé au cours de l'étude en deux documents :

- Une note bibliographique, faisant le point sur les phénomènes en jeu et sur les méthodes applicables au diagnostic

- Un guide méthodologique proprement dit, présentant la démarche de délimitation de l'appréciation de la vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides.

1 Contexte et objectifs de l'étude

La Directive CE 2000 /60, ou « Directive cadre sur l'eau » du 23 octobre 2000, a établi un objectif ambitieux en matière de reconquête de la qualité des ressources en eaux. Dans le cadre de cette directive, les états membres de l'Union européenne doivent réaliser la protection des captages d'eau potable dans le but de réduire les traitements nécessaires à la production d'eau potable et d'agir préventivement contre la détérioration de leur qualité.

En France, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA), n°2006-1772, du 30 décembre 2006, article 21, et le décret n°2007-882 du 14 mai 2007 relatif à « certaines zones soumises à contraintes environnementales » ont renforcé les dispositifs de gestion des ressources en eau. Par l'intermédiaire de ces textes, qui permettent la création de zones de protection quantitatives et qualitatives des aires d'alimentation des captages (AAC) d'eau potable d'une importance particulière pour l'approvisionnement actuel ou futur, les pollutions diffuses d'origine agricole sont prises en compte.

Par la suite, le Grenelle de l'environnement a confirmé l'importance de cet enjeu de protection des captages utilisés pour la production d'eau potable. L'engagement d'une protection effective de 500 captages parmi les plus menacés par les pollutions diffuses d'origine agricole d'ici 2012, a ainsi été pris (article 27 de la loi dite « Grenelle 1 » n°2009-967 du 3 août 2009). D'ici à 2012, des plans d'action seront mis en œuvre en association étroite avec les Agences de l'Eau pour assurer la protection de ces captages.

La nécessité de cette démarche de protection ne concerne pas que les seuls captages identifiés sur la « liste Grenelle ». La justification de la mise en œuvre de cette protection des captages tient dans le constat de l'état de dégradation de la ressource pour un nombre important de captages et notamment les captages classés prioritaires. Plus généralement, la méthodologie développée dans ce guide à vocation à s'appliquer sur l'ensemble des captages qui, majoritairement alimentés en eau de surface, sont concernés par la problématique phytosanitaires et identifiés notamment dans le cadre des Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

L'objectif du présent guide méthodologique est d'apporter des éléments afin de fournir aux services déconcentrés d'État des outils pour orienter de manière pertinente le travail de construction des plans d'action visant la protection des aires d'alimentation des captages en eaux de surface. La mise en œuvre d'une méthodologie générique utilisable sur tout le territoire français permettra de limiter les éventuelles différences d'appréciation entre des situations similaires. Ces écarts pourraient en effet conduire à la mise en place de plans d'action significativement différents en réponse à une problématique et à un contexte identiques.

Ce guide méthodologique qui permet de disposer d'un cadre commun de délimitation des aires d'alimentations de captages et de caractérisation de leur vulnérabilité vient compléter d'autres guides existants et renforcer la boîte à outils mis en œuvre pour la protection des captages d'alimentation en eau potable et vise à la détermination de zone(s) d'application du programme d'action (Figure 1) :

- Guide méthodologique de délimitation des bassins d'alimentations des captages et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses : étude BRGM portant sur les eaux souterraines (Vernoux et al, 2007).
- Mémento pour la réalisation d'un diagnostic territorial des pressions agricoles (DEB-MEEDDM, 2009)

- Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de plans d'actions agricoles sur les aires d'alimentation de captages (DEB-MEEDDM et DGPAAT-MAAP, 2010).

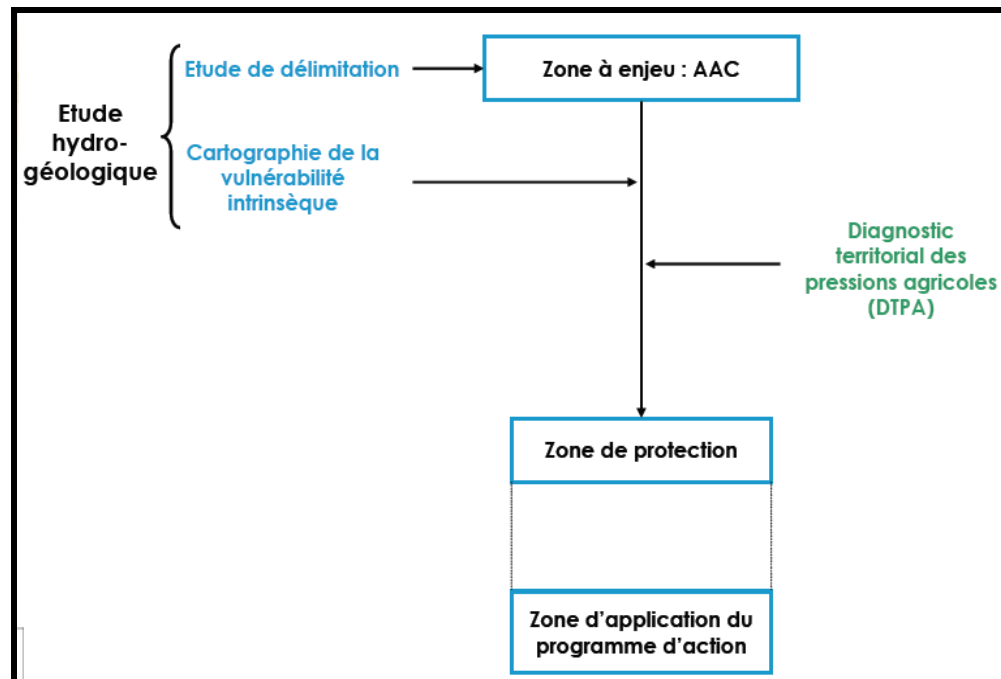


Figure 1 : délimitation des zones de protection des AAC (Nouvel, 2009)

L'étude a pour objectif de faire un **état des lieux** de l'existant en terme de connaissance des aires d'alimentation de captages d'eau de surface¹ et d'estimation de leur vulnérabilité (voir la note bibliographique, Le Hénaff et Gauroy, 2011), puis d'élaborer un cadre méthodologique de **délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau de surface**, ainsi que de **caractérisation de la vulnérabilité, vis-à-vis des pollutions diffuses, au sein de ces aires d'alimentation**.

Des études thématiques peuvent également apporter une aide méthodologique précieuse pour les études de la vulnérabilité :

- « Connaître les sols pour préserver la ressource en eau. Guide d'application à l'échelle d'un territoire ». Gis Sol, groupe « Projets » IGCS. 2008.
- « Eléments méthodologiques pour un diagnostic régional et un suivi de la contamination des eaux par les produits phytosanitaires ». CORPEN, 2003.
- « Guide de diagnostic de l'efficacité des zones tampons rivulaires vis-à-vis du transfert hydrique des pesticides ». CEMAGREF – ONEMA, Gril et Le Hénaff, 2010.
- « Guide de diagnostic à l'échelle du petit bassin versant : Mise en place de zones tampons et évaluation de l'efficacité de zones tampons existantes destinées à limiter les transferts hydriques de pesticides ». CEMAGREF – MAAP/DGPAAT, Gril et al, 2010.

¹ On appelle captage d'eau de surface, un captage qui est alimenté majoritairement par des eaux de surface

La phase de délimitation doit s'appuyer en préalable sur une typologie des captages selon le mode d'alimentation : surface stricte ou mixte. Le périmètre de l'étude portera exclusivement sur les captages en eaux superficielles alimentés majoritairement par des eaux de surface. Ces captages en eaux superficielles sont de fait situés essentiellement en secteurs où l'eau météorite s'infiltre très peu ou en l'absence de nappes souterraines suffisantes. Les besoins en eau pour l'alimentation en eau potable sont alors assurés par des prélèvements en rivière, que ce soit au fil de l'eau ou au niveau de retenues qui sécurisent également les besoins quantitatifs. Géologiquement, ces situations se rencontrent le plus souvent sur « socle » (massif armoricain, massif central,...) ou en cas de substrat sédimentaire présentant un horizon imperméable (Coteaux de Gascogne,...). Signalons également les importantes prises d'eau en rivières ou fleuves, réalisées par les grandes agglomérations : région parisienne,...

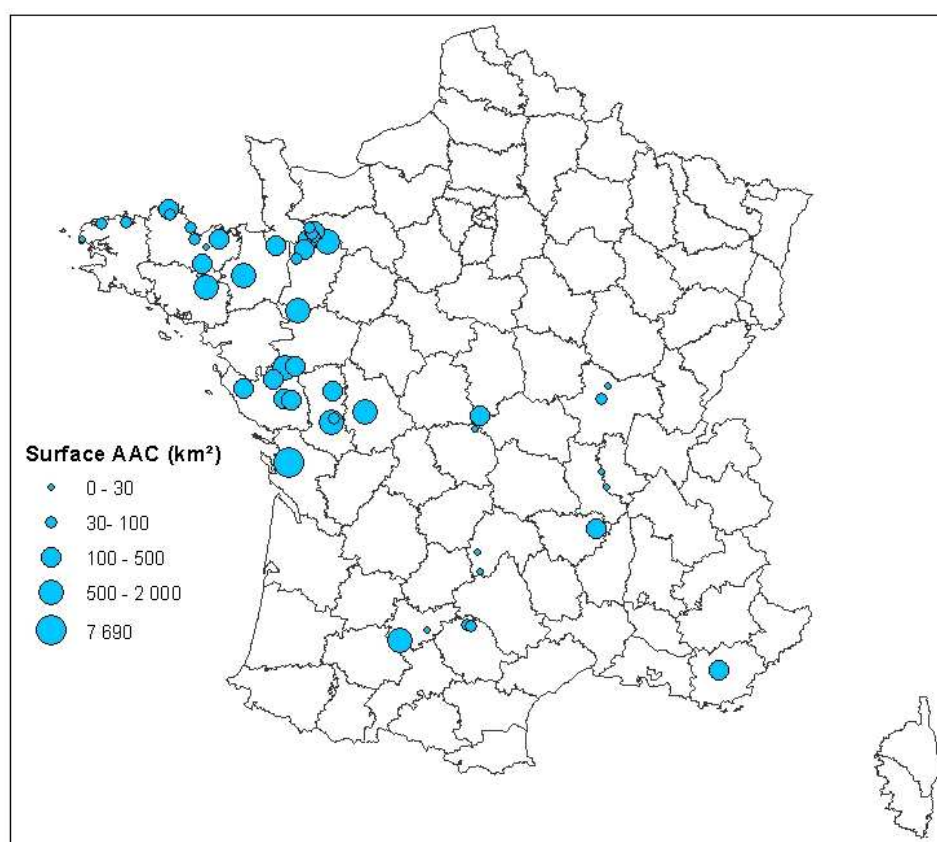


Figure 2 : localisation des captages Grenelle en eaux de surface (données Agences de l'Eau)

L'étude permettra d'évaluer la vulnérabilité aux produits phytosanitaires de l'aire d'alimentation à partir d'une connaissance qualitative des processus. Elle permettra d'établir, en fonction des contextes hydrologiques et environnementaux, les cahiers des charges, servant aux collectivités pour sélectionner des bureaux d'études réalisant la délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau de surface et /ou les études de vulnérabilité.

2 Notions préliminaires

2.1 Notion de bassin versant

Pour les experts du groupe CORPEN 2007 (d'après Andréassian, 2005) : Le bassin versant est défini comme l'étendue drainée par un cours d'eau et ses affluents et limitée par une ligne de partage des eaux (ou ligne de crête). Il comprend l'ensemble des pentes inclinées vers le cours d'eau qui y déverse leurs eaux de ruissellement. Il correspond donc au territoire alimentant un cours d'eau : toute goutte d'eau de pluie qui y tombe est susceptible (à moins qu'elle ne soit utilisée en chemin par les plantes par exemple) de s'écouler par gravité dans la rivière.

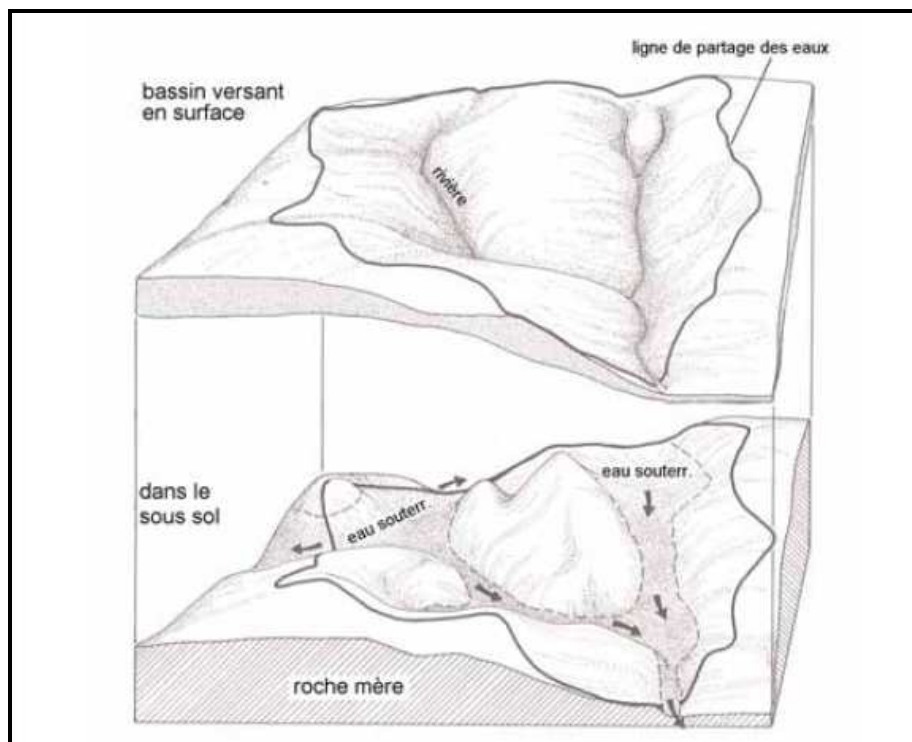


Figure 3 : notion de bassin versant (CORPEN, 2007, d'après Andréassian, 2005)

En l'absence de l'action de l'homme, c'est la topographie qui règle la concentration progressive de la circulation de l'eau. Toutefois les pratiques agricoles et l'aménagement du paysage rural perturbent souvent ce schéma simple. En limite de bassins versants, des ouvrages anthropiques peuvent modifier les contours naturels liés aux courbes de niveau : fossés d'assainissement agricole ou de route (voir ouvrages plus importants : canaux) qui drainent des surfaces extérieures au bassin versant topographique ou à contrario qui peuvent « exporter » de l'eau et des polluants vers le bassin versant d'un autre cours d'eau.

Parfois, des anomalies peuvent également exister en souterrain. La complexité du sous-sol fait que des zones situées pourtant au-delà des limites topographiques du bassin (c'est à dire à l'extérieur de la ligne de partages des eaux) peuvent contribuer à l'alimentation de la rivière par exfiltration; et inversement, des zones situées sur le bassin peuvent s'écouler vers une autre rivière. Dans ce contexte on définit alors un bassin versant hydrogéologique. D'autre part, en vallées et en bordures de zones karstiques, des pertes (Loiret, Charente,...) ou des résurgences (Doubs,...), peuvent influencer la vulnérabilité des eaux superficielles.

2.2 Aire d'alimentation de captage en eaux de surface

L'aire d'alimentation d'un captage d'eau potable d'eaux superficielles correspond aux surfaces sur lesquelles l'eau qui ruisselle (ou parfois s'infiltré) participe à l'alimentation de la ressource en eau dans laquelle se fait le prélèvement (prise d'eau en cours d'eau ou dans une retenue).

Pour les bassins versants d'eau de surface, les limites d'aires d'alimentation sont fixes dans le temps : ce sont les lignes de crêtes topographiques qui constituent les lignes de partage des eaux et qui déterminent le bassin versant hydrologique et le volume d'eau alimentant le cours d'eau-ressource. Les limites des AAC en eaux de surface seront donc définies sur des bases topographiques et hydrologiques en tenant compte d'éventuelles particularités hydrogéologiques.

Dans le cadre de cette étude sur les captages en eaux de surface, et hormis la présence d'éventuelles irrégularités de bordures, **l'aire d'alimentation du captage correspondra au bassin versant topographique ayant pour exutoire le point de prélèvement.**

2.3 Notion de vulnérabilité

Le terme de « vulnérabilité », tel qu'il est employé dans ce document, reprend la définition utilisée par le CORPEN (CORPEN, 2003) : « La vulnérabilité est la propriété d'un milieu aquatique à être atteint par un polluant ».

2.4 Pesticides

Les pesticides sont des produits, généralement de synthèse, destinés à lutter contre les organismes nuisibles aux cultures, en particulier les mauvaises herbes (herbicides), les animaux (insecticides, acaricides, molluscicides, rodenticides,...), les maladies (fongicides, bactéricides, ...) ou à régulariser la production (régulateurs de croissance).

Parmi les pesticides, on distingue les produits agropharmaceutiques ou phytosanitaires qui servent à protéger les végétaux (directive 91/414/CE), et les biocides qui ont vocation à préserver la santé humaine et animale (directive 98/8/CE).

2.5 Rappels sur les mécanismes de transferts des pesticides

voir la note bibliographique réalisée dans le cadre de l'étude (Le Hénaff et Gauroy, 2011)

On appelle transfert de produits phytosanitaires tout transport de molécules appliquées sur une parcelle puis entraînées dans ou sur le sol par les eaux provenant des pluies (transferts hydriques) et par le vent (dérive atmosphérique). Dans le cadre de la protection des eaux de surface, nous nous intéressons à l'étude du risque de dérive lors des applications et aux transferts hydriques des produits phytosanitaires par ruissellement. Les pesticides sont essentiellement entraînés sous forme dissoute et colloïdale: leur transfert en surface est à mettre en relation avec l'importance du

ruissellement, beaucoup plus qu'avec celle l'érosion, à l'exception des molécules à Koc très élevé (CORPEN, 2007). De même le transfert des pesticides par les mécanismes de ruissellement est en général plus important que celui lié à la lixiviation dans le sol.

Les transferts hydriques empruntent bien évidemment les chemins de l'eau au sein du bassin versant. Dans la parcelle, ces chemins de l'eau sont déterminés par les caractéristiques et les états locaux des sols. Au delà des limites du champ, à l'échelle du versant, les circulations de l'eau issue des parcelles vont alimenter les ressources en eau souterraines et / ou superficielles après un parcours plus ou moins long et complexe commandé par la pédologie, la topographie, la géologie et la structure du paysage (Ambroise, 1999).

Dans les sols, le transport des produits phytosanitaires est très lié au devenir de l'eau. Les transferts hydriques sont d'abord sous la dépendance des types de pluies (importance, saisonnalité, intensité-durée-fréquence), ils dépendent également des propriétés physico-chimiques des substances actives, notamment de leur mobilité dans le sol et leur persistance. Ces transferts hydriques sont influencés par des facteurs aggravants tels que les caractéristiques du sol (battance, hydromorphie, pierrosité, faible taux en matière organique, faible réserve utile) et les modifications anthropiques (grande taille des parcelles, absence de couverture des sols, présence de fossés et de drains enterrés).

Pour les experts du CORPEN (CORPEN, 1997)., les principaux facteurs influençant les voies de circulation de l'eau au sein d'une parcelle sont :

- le type de pluie,
- la battance,
- l'hydromorphie,
- la rupture du niveau de perméabilité
- le drainage

Les facteurs de transfert des produits phytosanitaires sont actuellement plutôt bien connus d'un point de vue qualitatif. Ces phénomènes de pollution diffuse sont complexes car répartis dans l'espace et régis par de multiples critères (Dubois de la Sablonière et al, 1999). A l'échelle du bassin versant, voire de la parcelle, la prévision quantitative reste incertaine, en lien avec la complexité et la variabilité spatiale des processus de propagation des contaminations et ce, avec une grande variabilité inter-annuelle (Voltz et Louchart, 2001).

Trois mécanismes principaux de transferts hydriques des phytosanitaires vers les eaux hors de la parcelle sont quantifiables. Les concentrations dans l'eau à la sortie des parcelles varient de 2 à 3 ordres de grandeur selon le processus de transfert (Voltz et Louchart, 2001). Les eaux de ruissellement sont potentiellement les plus chargées, suivent les eaux issues du réseau de drainage, alors que les eaux de percolation au bas de la zone racinaire sont généralement les moins contaminées

Dans le cadre d'une étude de la vulnérabilité des eaux superficielles aux pesticides, la quantification des phénomènes de transferts est difficilement envisageable. Néanmoins il est important d'évaluer l'importance de chaque type de transfert hydrique afin d'être à même de proposer les actions les plus pertinentes possibles sur les zones de protection lors de l'élaboration des programmes d'actions. Cette évaluation relative de la part des transferts entre eux, sera l'information clé que doit apporter le diagnostic de vulnérabilité aux substances phytosanitaires.

L'approche de type CORPEN (Figure 4) permettra de décrire le fonctionnement hydrique de zones homogènes au sein de l'aire d'alimentation. De l'importance du ruissellement, des écoulements

Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides

subsuperficiels latéraux à faible profondeur ou de l'infiltration verticale, découlera les risques de contaminations des eaux et donc le choix des actions pertinentes de protection.

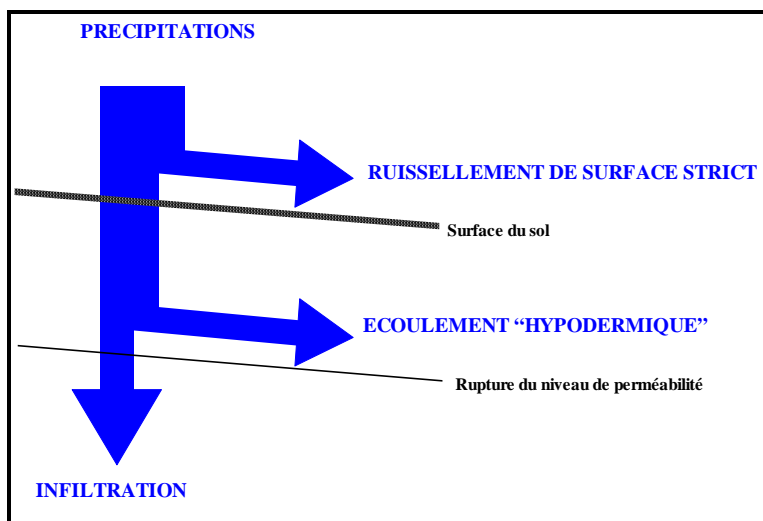


Figure 4: les voies de transferts hydriques dans le sol (CORPEN, 1997)

3 Démarche méthodologique

L'aire d'alimentation d'un captage (AAC) en eaux de surface est la surface qui participe à l'alimentation du captage via les écoulements et le cours d'eau. La délimitation précise de ces aires d'alimentation des captages va permettre d'organiser la lutte contre les pollutions diffuses.

Le cadre méthodologique produit dans cette étude permettra de caractériser les portions de bassins versants en fonction de leurs vulnérabilités aux transferts des pesticides. Il doit permettre de délimiter, au sein des aires d'alimentation de captages, un territoire pertinent (zone de protection) pour l'application d'un programme d'action de lutte contre les pollutions agricoles diffuses par les pesticides.

3.1 Typologie des aires d'alimentation en eaux de surface

Il existe une typologie de fait entre les prises d'eau en rivière et les prélèvements en réservoir. Doit-on pour autant établir une différence entre les prises d'eau au fil de l'eau et les prises d'eau en retenues qui possèdent une certaine inertie liée au volume d'eau stocké? La présence ou non d'une retenue peut jouer un rôle en terme de gestion car cela influe sur le temps de réaction du milieu en cas de pollution ponctuelle ou d'un pic de contaminations diffuses suite à un important ruissellement. Par ailleurs un réservoir favorise la sédimentation et permet également de bénéficier de phénomènes de dilution.

Néanmoins la différence de mode de prélèvement de l'eau n'intervient pas sur la délimitation de l'aire d'alimentation du captage, ni sur la vulnérabilité intrinsèque des zones situées en amont de la prise d'eau. Dans le cadre méthodologique de la présente étude, le choix a donc été fait de ne pas différencier les situations en fonction du type de prise d'eau.

3.2 Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface

3.2.1 Echelles de travail

L'échelle de travail sera déterminée en fonction de deux éléments majeurs : tout d'abord la taille de l'aire et les échelles disponibles pertinentes pour les paramètres jugés indispensables : pédologie notamment. Dans les faits, le choix définitif de l'échelle ne sera effectif qu'après la phase de délimitation de l'aire.

Les limites de classes proposées dans la figure 3 tiennent compte des échelles restituables sur un format A4 (voir Tableau 1). Le format A4 n'est pas un objectif en soit mais cette approche permet de cerner le type (et la précision) des données de travail dont on a besoin pour l'échelle retenue.

Tableau 1 : échelle de restitution

échelle	Surfaces « tenant » sur un A4 (400-500 cm ²)
	surface aire en km ²
1 / 5 000° (RPG ²)	1 – 1,25
1/10 000°	4 - 5
1/25 000°	20 - 30
1/50 000°	100 - 125
1/100 000°	400 - 500
1/250 000°	2000 - 3000
1/1 000 000°	40 000 - 50 000

Le choix de l'échelle pertinente doit donner une précision suffisante et permettre de déterminer le fonctionnement hydrologique des sols (sensibilité à la battance, hydromorphie, présence d'un horizon imperméable...).

L'histogramme de distribution des captages en eaux superficielles retenus dans le cadre du Grenelle (Annexe 1) et les éléments d'échelle de travail orientent le choix du classement qui peut être retenue. Une segmentation par rapport à la surface des aires d'alimentation est proposée avec les dénominations détaillées dans le Tableau 2 :

Tableau 2 : dénomination selon la surface des aires

Surface des aires	Echelle de travail	Dénomination des aires
Quelques km ²	1/5 000°	Très Petites Aires
< 30 km ²	1/25 000°	Petites Aires
30 à 100 km ²	1/50 000°	Aires Moyennes
100 à 500 km ²	1/100 000°	Grandes Aires
500 à 2000 km ²	1/250 000°	Très Grandes Aires
> 2000 km ²	1/250 000°	

² RPG : référentiel parcellaire graphique : couche graphique des îlots parcellaires « PAC » déclarés, échelle 1/5 000° (maximale 1/2 500°, minimale 1/10 000°).

Pour les très grandes aires, il y a nécessité de réaliser un pré-diagnostic afin de déterminer les zones « sensibles » en se référant aux diagnostics régionaux quand ils existent (GRAPPE, méthodologie CORPEN) puis en travaillant à l'échelle la plus pertinente selon les tailles des zones les plus contributives (voir § 5.4).

Pour les très petites aires, couvrant seulement quelques km², l'échelle parcellaire ou celle des îlots « PAC » du RPG (1/5000° voire 1/2000°) permet une prise en compte très précise des aménagements parcellaires et paysagers.

3.2.2 Délimitation à l'aide d'un Système d'Information Géographique

Dans le cadre de la délimitation de l'aire d'alimentation du captage en eau de surface, basée essentiellement sur la topographie, le recours à un outil SIG permet l'utilisation d'un modèle numérique de terrain et permet de combiner différentes couches d'informations. Ces couches nécessaires pour la délimitation proviennent de bases de données géographiques couvrant l'ensemble du territoire national : BD Carthage et BD TOPO®. La méthodologie de délimitation retenue pour ce guide méthodologique dérive de celle développée en 2005 pour les bassins versants bretons amont des prises d'eau superficielle destinée à la production d'eau alimentaire en Bretagne : étude Drass, Diren et Cemagref (Bioteau et Novince, 2005).

3.2.3 Méthodologie de délimitation : démarche résumée

- **Données nécessaires (voir § 7 : sources et disponibilités des données) :**
 - *Relief (exemple : BD Alti® (pas de 50 à 1000m) ou thème ALTI de la BD TOPO® (pas de 25m))*
 - *Coordonnées du captage*
 - *Réseau hydrographique (couche d'hydrographie linéaire de la BD Carthage® par exemple, ou carte plus précise)*
- **Précision du maillage :**
 - *Précision de l'hydrographie de la BD Carthage : vingtaine de mètres.*
 - *Modèle Numérique de terrain (MNT) à pas de 50m, sauf pour les très petites aires de quelques km² où il vaut mieux un pas de 25m*
- **Démarche détaillée :**
 - *Éventuellement, conversion du relief en MNT*

- *Éventuellement, élimination des « puits³ » provenant d'erreurs du MNT*
- *Incrustation au MNT du réseau hydrographique de référence (fonctions de « stream burning » permettant de contraindre les écoulements théoriques vers le réseau existant).*
- *Calcul des directions d'écoulement*
- *Délimitation de l'aire d'alimentation du captage*
- *Vérification (à l'aide du relief ou des zones hydrographiques de la BD Carthage)*

Si les études liées à la DUP sont achevées (délimitation des périmètres de protection,...) vérifier la cohérence et la pertinence des limites du périmètre éloigné avec l'aire délimitée. Facultatif dans le cadre d'une DUP, le périmètre de protection éloigné déterminé par un hydrogéologue agréé couvre généralement la zone d'alimentation du point d'eau et peut donc correspondre à l'aire d'alimentation du captage. Initialement cette délimitation servait à renforcer la protection contre les pollutions ponctuelles, par la mise en place d'actions complémentaires de protection.

3.3 Caractérisation de la vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides

3.3.1 Démarche retenue

La méthode retenue, par le groupe de pilotage de l'étude, vise à l'**identification de zones de vulnérabilité homogènes**. Le raisonnement utilisé s'appuie sur une approche qualitative, elle ne permettra pas une description quantifiée, nettement trop complexe, des phénomènes de transferts d'eau. La démarche d'étude de la vulnérabilité passe par la description, aussi précise que possible de la circulation de l'eau dans les paysages agraires. Elle utilise les connaissances disponibles concernant l'identification et la compréhension des facteurs régissant les transferts d'eau et de solutés et notamment les règles de pédo-transferts. Les informations pourront provenir des données de pédopaysage du programme IGCS, traduites en Unités Cartographiques de Sol (UCS). Comme évoqué précédemment, le recours à un système d'information géographique permet de spatialiser les phénomènes et de fournir un rendu cartographique des résultats de l'analyse de la vulnérabilité aux différents types de transferts.

3.3.2 Echelle d'évaluation de la vulnérabilité

L'objectif est de découper l'aire d'alimentation en zones assez homogènes du point de vue des transferts hydriques. Excepté pour les aires de quelques km², l'échelle parcellaire ne paraît pas être la bonne échelle pour diagnostiquer les zones les plus contributives, car cela donnerait au final des cartes trop morcelées. L'échelle parcellaire sera par contre utilisée plus tard pour le Diagnostic Territorial des Pressions Agricoles (DTPA) et dans le cadre des plans d'actions.

³ zone de dépression pour laquelle les altitudes des points entourant cette zone sont supérieures (phénomène naturel ou erreur du MNT)

L'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) apporte de nombreuses possibilités en matière de traitement des données destinées à la gestion des risques de pollution diffuse par les produits phytosanitaires. Cela permet l'intégration d'informations influençant la vulnérabilité et portant sur la géologie, la pédologie, la topographie et l'occupation des sols. La superposition et la combinaison des informations géographiques permet de réaliser les zonages des terrains agricoles les plus sensibles à la fuite de produits phytosanitaires. Les traitements SIG effectués sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) autorisent la cartographie, à grande échelle seulement, des obstacles au ruissellement que sont les haies, les surfaces enherbées et plus largement toute zone tampon. L'utilisation d'un SIG facilite en outre l'actualisation régulière de l'occupation des sols et des éléments paysagers. Pour être exhaustive, la méthode fait cependant appel à des besoins locaux et spécifiques en informations géographiques : localisation des haies, des talus, des fossés et des court-circuits, connaissance spatialisée des parcelles drainées (Dubois de la Sablonnière, 1999).

La caractérisation de zones homogènes sera réalisé pour les petites, les moyennes et les grandes aires aux échelles préconisées dans le Tableau 2 page 15. Une adaptation de la méthodologie sera requise, aux deux extrémités de la distribution des tailles d'aires d'alimentation, pour les très grandes et les très petites aires (cf Annexe 1).

- pour les très grandes aires, il est nécessaire de pouvoir identifier les zones les plus contributives à étudier plus précisément. Le choix retenu en amont de l'étude est donc de restreindre la zone à étudier à ces secteurs préalablement identifiés. Pour cibler ces zones émettrices, il convient de prendre en compte, au moins partiellement, la pression si elle est discriminante. Cette première approche fera intervenir l'occupation des sols (Corine Land Cover) afin d'identifier les zones soumises à des traitements (cultures pérennes, annuelles, ...) et les zones ne recevant aucun pesticide.
- pour les très petits bassins versants, l'échelle parcellaire sera utilisée, ou éventuellement en secteurs de grande culture, le niveau des îlots parcellaires (RPG de la PAC) peut aussi être utilisé.

3.3.3 Segmentation des modes de transferts de pesticides

Le diagnostic visera à élaborer **une carte de vulnérabilité pour chaque type de transfert**. En effet l'efficacité des actions, dépend du type de transferts intervenants sur l'aire d'alimentation et du zonage pertinent des vulnérabilités.

Cette séparation des types de transfert pour la cartographie de la vulnérabilité permettra de cibler les actions à mettre en place sur les zones de protection. Ces actions dépendront ainsi des types de transferts identifiés sur l'aire étudiée. Par exemple les bandes enherbées sont efficaces vis à vis de ruissellement diffus, par contre elles seront moins performantes en cas de d'écoulements concentrés ou de drainage enterré.

Le diagnostic doit conduire à élaborer des cartes de vulnérabilité qui porteront sur les différents types de transferts intervenant pendant puis après les applications de produits phytosanitaires :

- transferts par dérive atmosphérique
- transferts par ruissellement hortonien
- transferts par ruissellement sur sols saturés
- transferts hypodermiques (drainage et subsurface)
- transfert par érosion hydrique

Pour la synthèse finale, il est conseillé de viser deux niveaux d'expression de la vulnérabilité :

- Le premier concernera la vulnérabilité intrinsèque permanente, liée au milieu physique elle aura un caractère quasi immuable :
- l'autre, la vulnérabilité intrinsèque opérationnelle, sera plus précise et plus pertinente vis à vis du choix des actions, mais elle sera susceptible d'évoluer dans le temps en raison des changements d'occupation du sol (changement de systèmes de cultures, boisements, passage en ZNA) ou de l'évolution des aménagements paysagers. Elles pourront être actualisées périodiquement : tout les cinq ans par exemple ou plus sûrement tout les dix ans à l'issue d'un recensement général agricole (RGA).

3.4 Déroulement de l'étude « délimitation - vulnérabilité »

3.4.1 Différentes phases

- PHASE 1 : Recueil et analyse des données existantes (études préalables DUP, topographie, géologie, pédologie, hydrologie,...) et détermination des données insuffisantes ou complémentaires à acquérir.

Il est notamment important de prendre en compte les paramètres influençant le plus fortement les transferts. Si des paramètres majeurs manquent, il convient au préalable de veiller à les acquérir. Si par exemple les données pédologiques sont incomplètes, il n'est pas envisageable de bien caractériser le fonctionnement hydrique des sols et donc de réaliser un diagnostic pertinent des vulnérabilités aux transferts.

- PHASE 2 : Délimitation précise de l'aire d'alimentation du captage et descriptif des caractéristiques générales

Surface AAC, typologie de la prise d'eau (fil de l'eau, retenue), hydromorphologie du cours d'eau, contexte géologique, activités économiques, SAU,...

- PHASE 3 : Caractérisation et cartographie de la vulnérabilité des eaux de surface selon les différents types de transferts des pesticides.

3.4.2 Animation de l'étude et co-construction

Le guide méthodologique donne le cadre de travail et les facteurs pertinents nécessaires pour l'évaluation de la vulnérabilité aux transferts de pesticides. Cependant il est par ailleurs important de pouvoir mobiliser l'expertise locale et les savoirs de la pratique qui permettront d'apporter des compléments d'explications sur les phénomènes locaux. Ces savoirs sont indispensables par exemple pour apprécier les modes de fonctionnements hydriques des sols en absence de carte pédologique au format IGCS.

Cette implication des acteurs locaux devra intervenir dans le cadre plus large de la co-construction de la démarche de protection du captage. La mobilisation de cette expertise fera appel selon les cas à la mise en place d'un groupe d'étude spécifique de la vulnérabilité ou sera assuré directement

par le comité de pilotage général mis en place pour le captage et qui doit veiller à la délimitation des zones de protection de l'aire d'alimentation du captage.

3.5 Distance au captage et taille de l'aire

Dans l'absolu, il est logique de tenir compte de la distance entre les zones émettrices et le captage, car c'est la contamination réelle au niveau du captage qui est déterminante pour la qualité de l'eau prélevée. Un premier niveau dépend du fonctionnement hydrologique du cours d'eau, il s'agit de définir si c'est un système à fonctionnement rapide, avec ou non une marge de manœuvre pour ralentir l'eau, ou si au contraire c'est un système lent. La surface des aires aura un effet sur les scénarii de pollutions diffuses car les points de captage ne se situent pas sur des cours d'eau de même taille : une petite rivière, drainant une petite aire, sera proche des parcelles émettrices et du petit chevelu hydrographique et donc plus fortement impactées par les épisodes de forts ruissellements. Dans cette notion de distance au captage, tout éloignement tend à rallonger les temps de transfert et augmente donc la probabilité de dégradation des molécules de pesticides, de sédimentation, de dilution... De plus dans une grande aire, le cours d'eau bénéficiera d'un gainage végétal plus important (ripisylve, prairies humides, bandes enherbées) pouvant exercer un rôle épurateur.

Deux problèmes rendent cependant difficile la prise en compte et l'objectivation de la capacité d'auto-épuration :

- Les spécificités liées aux molécules : Koc (coefficient d'absorption), hydrolyse, ...
- La difficile quantification des processus liés aux différents paramètres (distance ou isochrones, rang de Strahler, hydromorphologie,..). Ces phénomènes d'auto-épuration concernent plus particulièrement les très grandes et les grandes aires d'alimentation.
- Si cette notion de distance n'est pas actuellement directement exploitable, les données de surveillance peuvent cependant apporter des éléments dans le cadre d'une aire avec plusieurs points de suivis exploitables et attribuables à des sous-bassins bien identifiés.

3.6 Conclusion du chapitre démarche méthodologique

La délimitation d'une aire d'alimentation de captage en eau de surface est basée essentiellement sur la topographie et le recours à un outil SIG. La caractérisation de la vulnérabilité des eaux superficielles aux produits phytosanitaires s'appuie sur une différenciation selon les types de transfert : a) ruissellement hortonien; b) ruissellement sur sol saturé; c) écoulements hypodermiques (drainage et subsurface); d) érosion hydrique ; e) dérive atmosphérique.

Cette méthodologie aboutit à la réalisation de cartes de vulnérabilité intrinsèque permettant de représenter les phénomènes identifiés et ce de façon spatialisée par type de transfert (voir § 4). Une dernière étape visera à qualifier les éléments du paysage, qui peuvent jouer un rôle tampon notamment vis-à-vis du ruissellement, pour définir une vulnérabilité intrinsèque opérationnelle. Cela permet l'évaluation et la compréhension des phénomènes de pollutions diffuses et conduit à acquérir, à formaliser et à spatialiser les connaissances indispensables pour élaborer ensuite des actions localement pertinentes.

4 Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité

La réalisation d'une cartographie des zones vulnérables aux transferts hydriques au sein d'une aire d'alimentation fera appel à un SIG comme outil de cartographie et d'analyse spatiale. Cela permettra de superposer différentes couches d'information (fond de plan scanné, topographie, lithologie, pédologie, occupation du sol, hydrographie, ...).

4.1 Choix méthodologiques

4.1.1 Cartes thématiques de vulnérabilité intrinsèque

Le choix méthodologique initial porte sur une évaluation segmentée de la vulnérabilité en fonction des types de transferts identifiables en eaux superficielles au sein de l'aire d'alimentation. L'objectif est, à l'aide de l'outil SIG, de représenter cartographiquement les phénomènes identifiés, en réalisant des **cartes thématiques de vulnérabilité intrinsèque** obtenues par le croisement de couches issues de bases de données ou élaborées à partir des connaissances pédologiques locales et des autres paramètres pertinents.

Cette démarche permettra une adéquation optimale entre les mécanismes de transferts identifiés et le choix des actions à mettre en place en permettant une application spatiale pertinente de ces actions s'appuyant sur le zonage des territoires les plus contributifs. Cette approche facilitera ultérieurement la prise en compte du transfert d'autres polluants tel que le phosphore.

Dans un premier temps, aucune pondération entre les paramètres pertinents n'est retenue. En effet la démarche repose sur une approche essentiellement qualitative des phénomènes en jeu, même si in fine une hiérarchie relative entre mode de transfert devrait se dégager et permettre ainsi de prioriser les actions.

Pour chaque type de transfert, il est proposé de recenser ces paramètres influents (en fonction de la taille de l'aire si besoin) et de lister les données disponibles (en précisant leurs échelles). En cas de nécessité, une discrétisation de données peut être envisagée, sans dépasser deux ou trois classes de vulnérabilité pour chaque carte. En cas de discrétisation les limites de classes seront statistiquement justifiées, notamment en fonction du type de distribution des données.

4.1.2 Segmentation par type de transfert des eaux superficielles

La démarche de différenciation des types de transfert identifiés est détaillée dans le tableau Tableau 3 de la page 23. Cinq des six processus retenus sont liés à la circulation de l'eau en surface ou sub-surface, le sixième concernant la dérive atmosphérique lors des applications.

La première étape recense les paramètres jouant un rôle dans la genèse puis dans l'importance des phénomènes.

Pour les transferts hydriques les effets liés à la pédologie et au fonctionnement hydrique des sols sont souvent déterminants. Les pluies (quantité, fréquence) influencent particulièrement les transferts par ruissellements, mais bien évidemment l'eau excédentaire est également à l'origine des écoulements de sub-surface. La topographie et la pente seront prise en compte pour le ruissellement érosif. Les actions anthropiques interviennent structurellement dans le cadre des transferts par drainage agricole enterré et conjoncturellement pour l'érosion hydrique via la couverture des sols et son rôle en terme de protection ou non vis-à-vis de l'agressivité des pluies. Enfin la densité du réseau hydrique offre des possibilités plus ou moins grandes de transferts rapides voire très rapides (potentiellement contaminants) entre les cours d'eau et les parcelles proches.

Le risque, pour les milieux aquatiques, de dérive atmosphérique est intimement lié au voisinage parcelles – cours d'eau et donc de la densité du chevelu hydrographique. Cependant compte tenu des mesures réglementaires ou conditionnelles de la PAC, qui règlent la mise en place et le maintien des zones tampons rivulaires (bandes enherbées en particulier), le statut des cours d'eau ou des fossés conditionne leurs degrés de protection par un gainage rivulaire.

La seconde étape permettra de représenter cartographiquement les phénomènes identifiés, en réalisant des **cartes thématiques de vulnérabilité intrinsèque** pour chaque type de transfert.. A ce stade, seules des données physiques fixes dans le temps, sont prises en compte : aucune notion de pression n'a été introduite et l'influence des éléments paysagers ne sont abordés que dans la phase suivante.

La troisième phase vise à utiliser et à qualifier les éléments du paysage qui jouent un rôle d'écran vis-à-vis du ruissellement. Ces particularités topographiques du milieu ont la spécificité, gênante pour notre problématique de protection contre les transferts hydriques superficiels, d'être mal décrites dans les bases de données nationales. La prise en compte des effets de ces éléments paysagers est un enjeu important de la stratégie de protection contre les ruissellements générant les pollutions diffuses. La spatialisation et l'appréciation de la fonctionnalité des zones exerçant un rôle tampon (talus, haies, ripisylve, dispositifs enherbés, prairies,...) nécessiteront sans doute un diagnostic spécifique. Les informations ainsi recueillies permettront de produire des **cartes opérationnelles de vulnérabilité**.

Les dispositifs paysagers ne sont pas immuables, ils peuvent en particuliers être renforcés (généralisation des bandes enherbées rivulaires, amélioration du maillage bocager, plantation de ligneux,...) mais aussi être mis en culture (retournement de prairies). Ces cartes opérationnelles pourront donc être périodiquement et utilement actualisées (5 ou 10 ans).

Tableau 3 : Description de la méthodologie d'évaluation par types de transfert de la vulnérabilité aux pesticides

Vulnérabilité des aires d'alimentation de captage en eaux de surface : segmentation selon les types de transferts							
Types transferts		ruissellement			écoulements de sub-surface		dérive
	Caractérisation de la circulation de l'eau	érosif	diffus de surface	diffus de surface	hypodermique	drainage agricole	atmosphérique
étape 1 : paramètres	sélection des paramètres Qualifiants le fonctionnement hydrique des sols Pédologie, Géologie, pédopaysage	battance (érodibilité)	R. hortonien	R. sur surface saturée	rupture de perméabilité socle proche géologie, pédologie	présence / absence	proximité "cours d'eau" statuts CE
	selon la taille de l'aire	couverture du sol	pluie Quantité, Intensité-Durée-Fréquence	pluie saisonnalité	permeabilité	1/2 surface drainée : - RGA communale (cantonale) - parcellaire et spatialisée (Petite aire)	longueurs avec zones tampons Zone Non Traitée
	selon la pertinence et la disponibilité des données	pente	épisodes intenses	excédent hydrique	excédent hydrique		
		pluie Quantité, Intensité-Durée-Fréquence	densité réseau hydrographique données locales de Rissilt	réseau hydrographique : densité forte révélatrice d'écoulements latéraux importants données locales de Rissilt			densité réseau hydrographique
		Données pédologiques indispensables					
Etape 2 : représentation du phénomène							
Cartes thématiques		Vulnérabilité au ruissellement érosif	Vulnérabilité au ruissellement hortonien	Vulnérabilité au ruissellement sur surface saturée	Vulnérabilité au écoulements hypodermiques	Vulnérabilité au drainage enterré	Vulnérabilité à la dérive
Couverture du sol protection physique des sols.	Corine Land Cover déclarations PAC • RGA 2000 "début" du DTPA	occupation "grossière" des sols agricoles : prairies permanentes, temporaires, cult. hiver ou printemps					
Etape 3 : Eléments du milieu							
Zones Tampons:	Eléments paysagers et fonctionnalité des bandes enherbées, haies, talus, bois, prairies						
		carte opérationnelle vulnérabilité au ruissellement érosif	carte opérationnelle vulnérabilité au ruissellement hortonien	carte opérationnelle vulnérabilité au ruissellement sur surface saturée	carte opérationnelle vulnérabilité aux écoulements hypodermiques	carte opérationnelle vulnérabilité au drainage enterré	carte opérationnelle vulnérabilité à la dérive
	Très Grand Bassin : distance priorisation des zones en fonction de la distance au point de prélèvement de l'eau	carte zones de protection					
							positions précises des parcelles drainées et repérage parties amont du réseau hydrographique lors du DTPA (diagnostic territorial des pressions agricoles)

Pour les très grandes aires, il paraît nécessaire d'opérer un peu différemment. Dans ce cadre l'objectif est dès le début de l'étude, de repérer les zones les plus contributives (Figure 5). Le recours à une description assez grossière de l'occupation des sols apparaît pertinent. Outre les secteurs boisés et les zones non agricoles, la différenciation de l'occupation de sols agricoles (Corine Land Cover, statistique agricole) donnent déjà des informations importantes sur le niveau d'utilisations de produits phytosanitaires : prairies permanentes, prairies temporaires, cultures d'hiver ou de printemps, cultures pérennes fortes consommatrices de pesticides, cultures de biomasse. L'autre particularité concernant ces grands bassins se traduit par la possibilité, en s'appuyant sur le suivi de la qualité des eaux superficielles et en déterminant la réalité éventuelle d'une auto-épuration, de prioriser les zones contributives en fonction de la distance au point de prélèvement en eau potabilisable.

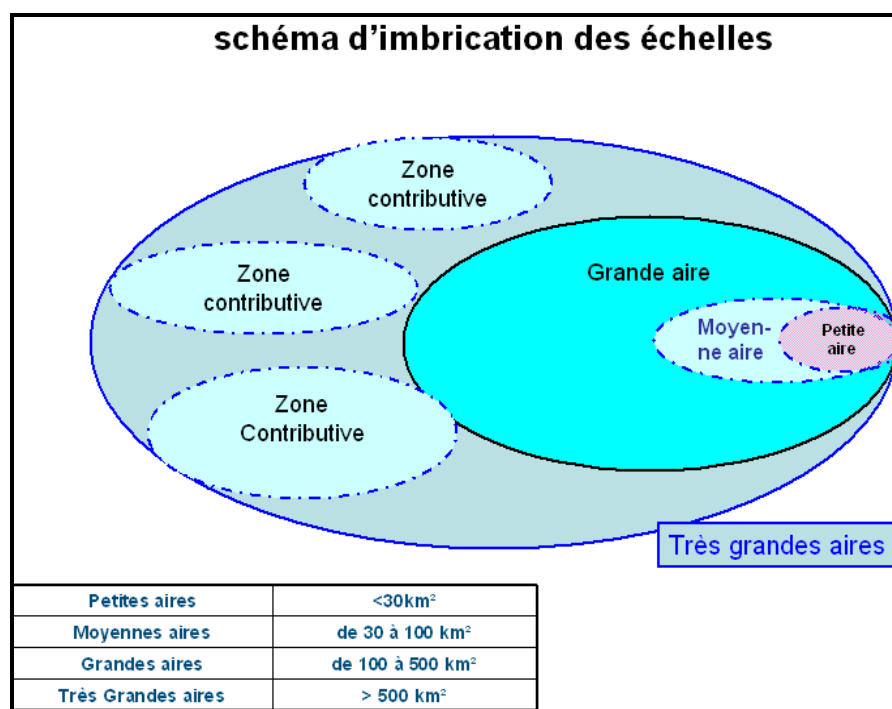


Figure 5 : Aires d'alimentation en eaux de surface échelles et implications méthodologiques

4.2 Données et recueil d'informations

4.2.1 Accès aux données

La protection des captages Grenelle est une priorité nationale, dans ce cadre il est conseillé de contacter la DDT ou la DDTM sur les possibilités de facilitation pour la mise à disposition et de mise en commun des données au format SIG : données PAC de l'ASP, données diagnostic régional (Groupes régionaux phytosanitaires), réseau des cours d'eau.

4.2.2 Le recueil des informations auprès des acteurs locaux

Afin de compléter les informations issues des bases de données, des référentiels statistiques et des données d'enquêtes, le recueil d'informations auprès des acteurs locaux sera le plus souvent nécessaire : c'est le cas pour le drainage par exemple. Cette étape sera aussi un élément important d'une co-construction et de la prise en compte des savoirs de la pratique.

4.3 Caractéristiques générales de l'aire d'alimentation

4.3.1 Description du contexte général

La description du contexte général revient à établir la fiche d'identité du captage avec la localisation de la prise d'eau et la description de la zone concernée par la démarche de protection de la ressource, et à décrire, le milieu physique et le contexte socio-économique en développant les principales caractéristiques, voir annexe II et les annexes de l'étude APCA FP2E (Blasquez, 2010) :

- superficie, altitude (moyenne, mini, maxi), communes concernées (ou nombre), population, nombre d'exploitations agricoles, longueurs cumulées du réseau hydrographique.

- activités économiques dont activités agricoles, enjeux liés à l'eau, climatologie, géologie, pédologie succincte, topographie, réseau hydrographique, paysage (réseau bocager),...

4.3.2 Description des conditions climatiques

Les données locales sont à recueillir afin de décrire au mieux le paramètre climat et si possible d'arriver à déterminer le bilan hydrique et quantifier la lame d'eau moyenne écoulée :

- pluviométrie annuelle (normale trentenaire ou moyenne pluriannuelle) : cumul annuel, répartition mensuelle voire décadaire.
- évapotranspiration réelle
- lame d'eau moyenne écoulée
- intensité des pluies :
 - o nombre de jours avec de fortes pluies (> 10 mm, ou autres seuils localement plus pertinents et adapté à la région (par exemple > 15 mm en climat méditerranéen).
 - o Intensités horaires si disponibles
 - o Intensité – durée - fréquence (issue de la méthode SHYREG, Arnaud et al, 2006))

4.4 Ruissellement diffus de surface

4.4.1 Ruissellement hortonien

Le déclenchement du ruissellement de type hortonien ou ruissellement par dépassement de l'infiltrabilité du sol est en lien avec deux facteurs principaux : l'état de surface du sol et le régime pluvieux auxquels s'ajoute un facteur aggravant : la proximité des parcelles avec le réseau hydrographique (Figure 6). La prise en compte spatialisée de ces trois paramètres conduit à l'élaboration d'une carte de vulnérabilité intrinsèque

Ce ruissellement diffus est donc généré par des sols battants et une intensité des apports d'eau, supérieure à la capacité d'infiltration du sol. Il est favorisé par un sol nu ou peu couvert, présentant une infiltrabilité très limitée (tassement, battance). Pour représenter l'état de surface du sol, la battance, aisément appréciée par l'Indice de Battance de l'INRA, apporte une information suffisante pour les besoins qualitatifs de l'étude de vulnérabilité. Les approches plus complexes permettant

d'apprécier la stabilité structurale de surface et les coefficients de ruissellement n'ont pas été retenues.

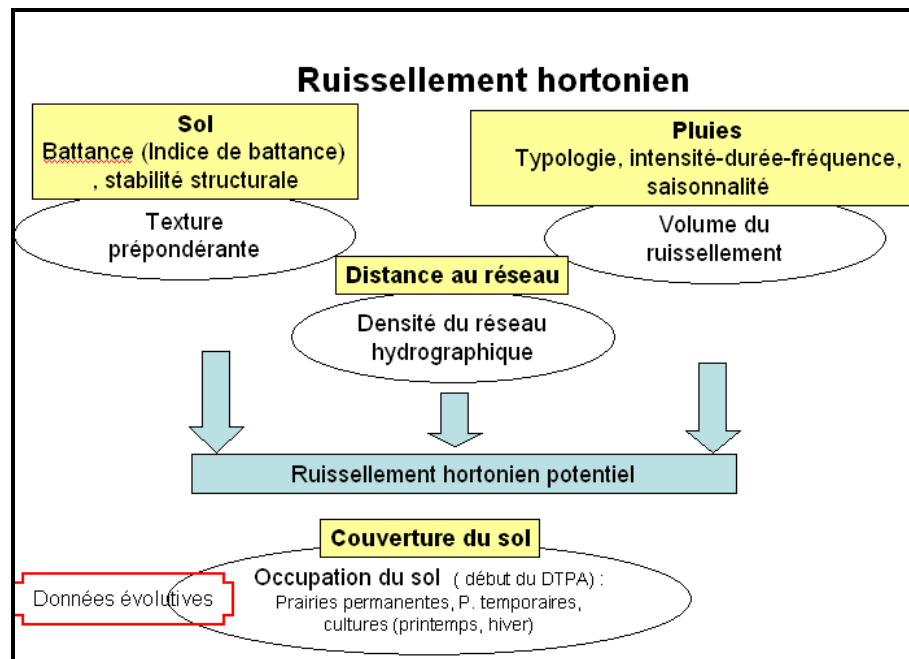


Figure 6 : facteurs générant le ruissellement hortonien

4.4.2 Ruissellement par saturation

La partition des écoulements latéraux à faibles profondeurs (voir Figure 7) concerne des parcelles et des zones où l'eau excédentaire exerce de fortes contraintes pédologiques et agronomiques en raison de positions topographiques basses, de la présence d'une couche imperméable et/ou d'une remontée temporaire de nappe. La capacité de stockage du sol en eau est réduite et rapidement saturée lors des pluies hivernales.

Dans ces situations, le ruissellement sur surface saturée se produit quand l'eau de pluie atteignant une zone saturée, ne peut s'infiltrer. L'écoulement intervient alors à la surface, même si l'intensité de la pluie est inférieure à la capacité d'infiltration théorique du sol. De part les facteurs influençant le ruissellement diffus par saturation il s'agit de contextes à caractère hydromorphe : la période de saturation correspond à de l'hydromorphie temporaire génératrice de pseudogley observable à la tarière. Comme dans le cas du ruissellement hortonien une forte proximité des parcelles avec le réseau hydrographique est un facteur aggravant.

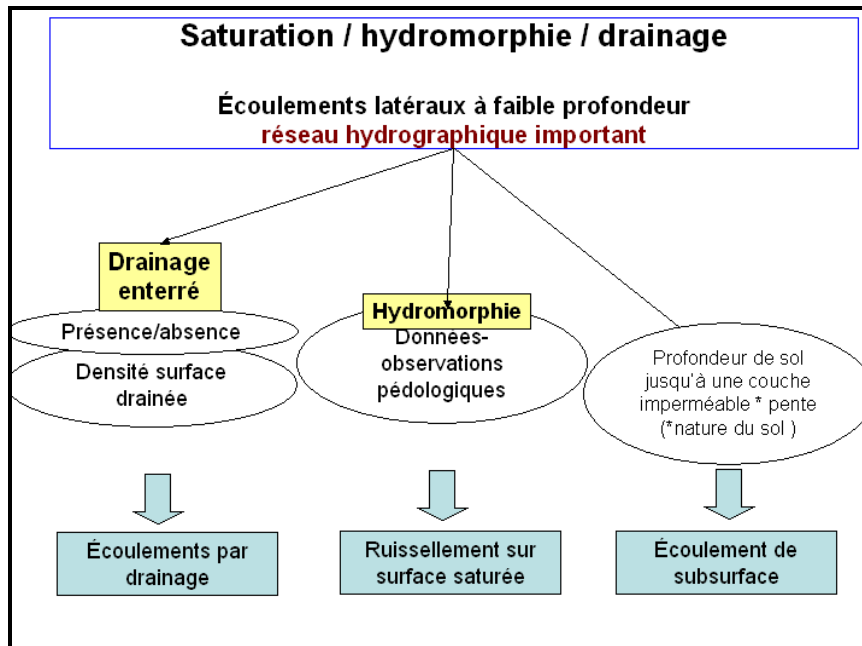


Figure 7 : partition des écoulements latéraux à faibles profondeurs

4.5 Écoulements de sub-surface

4.5.1 Écoulement hypodermique

Les écoulements hypodermiques sont liés à la présence d'une couche imperméable (socle proche, couches marneuse ou argileuse, semelles de travail du sol) qui contrarie la percolation de l'eau infiltrée (voir Figure 7). En présence d'une pente même légère, cela génère un écoulement latéral qui peut ultérieurement soit s'infiltrer profondément (rupture de la couche imperméable), soit s'exfiltrer généralement à la faveur d'une rupture de pente, soit enfin rejoindre directement le cours d'eau par exfiltration à flanc de berge. La probabilité de rejoindre directement un ruisseau est bien entendu fonction de la proximité de la parcelle, soumise à ce type d'écoulement, avec le réseau hydrographique.

4.5.2 Drainage agricole

Comme pour le ruissellement sur surface saturée et les écoulements hypodermiques, le drainage enterré est par nature inféodé aux situations à caractère hydromorphe. Compte tenu du coût important du drainage et des fossés d'assainissement connexes, les travaux visaient historiquement (trois dernières décennies du XX^e siècle) à améliorer la productivité des parcelles ou à la mise en cultures de prairies permanentes en levant en grande partie les contraintes liées aux excès d'eau. Actuellement des travaux de drainage se poursuivent de façon relativement dispersée,

essentiellement dans les zones où les infrastructures d'assainissement existent déjà. Ils sont encadrés par les dispositions émanant de la LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques).

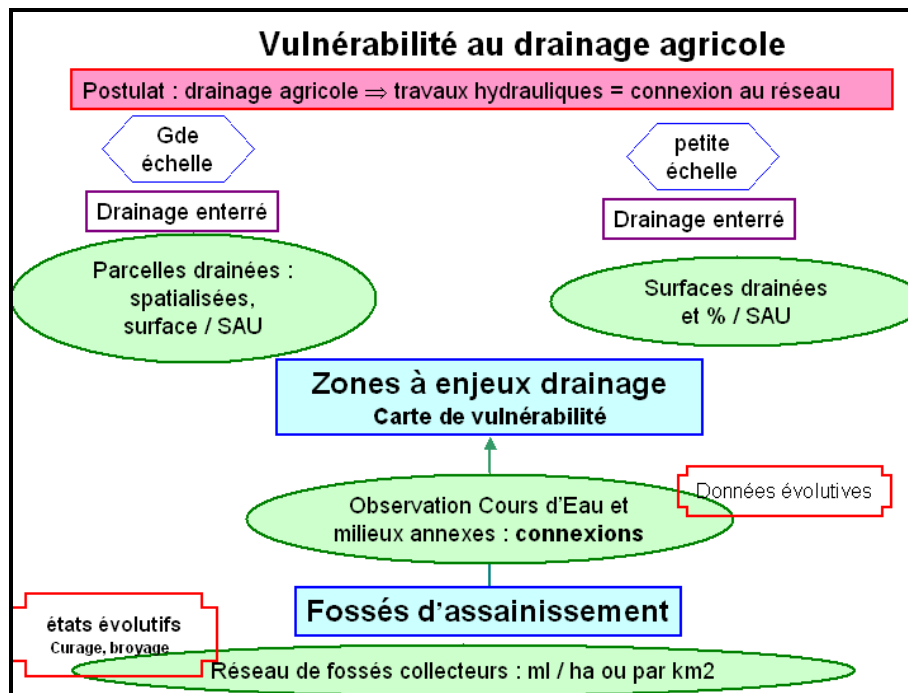


Figure 8 : appréciation de l'importance du drainage

Les données de drainage

Sur le plan drainage, les données sont obtenues à partir du Recensement Agricole 2000 réalisé par le SCEES du ministère de l'agriculture⁴ Malheureusement ces données essentielles sont mal adaptées à notre problématique car non spatialisée et soumises pour l'échelle communale au respect du secret statistique (la donnée est confidentielle si la commune compte moins de 3 exploitants). Il peut exister des données déjà élaborées et mises en valeur à l'occasion d'étude précédente : diagnostics régionaux des risques de contaminations par les pesticides (Lorraine - Figure 9, Rhône-Alpes, ...) ou synthèses départementales lorsqu'elles existent (Ain, ...)

A grande échelle, seul le diagnostic parcellaire ou la mobilisation des connaissances locales permettent d'acquérir des données précises et pertinentes.

⁴ www.agreste.agriculture.gouv.fr.

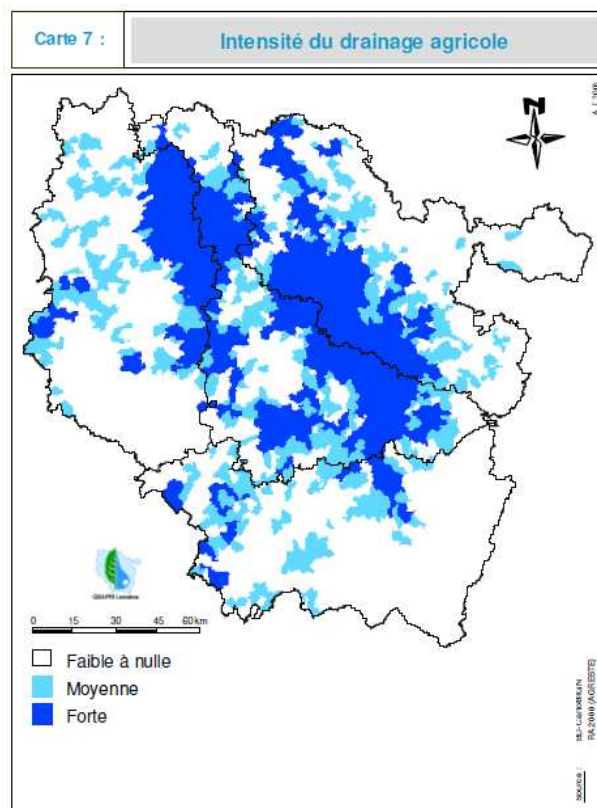


Figure 9 : exemple d'intensité de drainage agricole à l'échelle régionale (GRAPPE Lorraine, 2006).

4.6 Ruissellement érosif

préliminaire : Dans la démarche proposée seule la démarche prenant en compte l'érosion hydrique intègre le critère pente. Ce critère est très facilement accessible (MNT), mais il n'est pas d'un intérêt majeur, contrairement à certaines idées reçues, pour l'évaluation des transferts hydriques de pesticides. La pente permet de tenir compte de l'énergie cinétique, ce qui est pertinent pour l'érosion et notamment pour les grosses particules. Mais le lien avec le transfert des molécules phytosanitaires est globalement ténu.

Le rôle de la pente est donc complexe d'autant que dans de nombreuses situations les parcelles présentent simultanément deux pentes. Pour ce qui concerne les produits phytosanitaires, on peut identifier des influences contradictoires (en rappelant que vitesse et pente sont liées) : la vitesse d'écoulement agit négativement sur la cinétique de l'adsorption des substances, inversement plus la vitesse est grande, plus l'épaisseur de la lame de ruissellement est faible, donc meilleur est le contact entre l'eau et le substrat. De même, la pente réduit l'apparition du ruissellement par saturation en favorisant l'écoulement sub-superficiel, ce qui améliore aussi le contact entre l'eau et le substrat. La pente limite l'hydromorphie, les études mettent en évidence une décroissance continue de la réserve utile (RU) et de l'épaisseur affectée par l'hydromorphie lorsque la pente croît (Laurent et Rossignol, 2003).

Seule la modélisation mécaniste permettra d'analyser d'une manière plus fine le rôle de la pente en prenant en compte l'ensemble de ces aspects contradictoires (CORPEN, 2007).

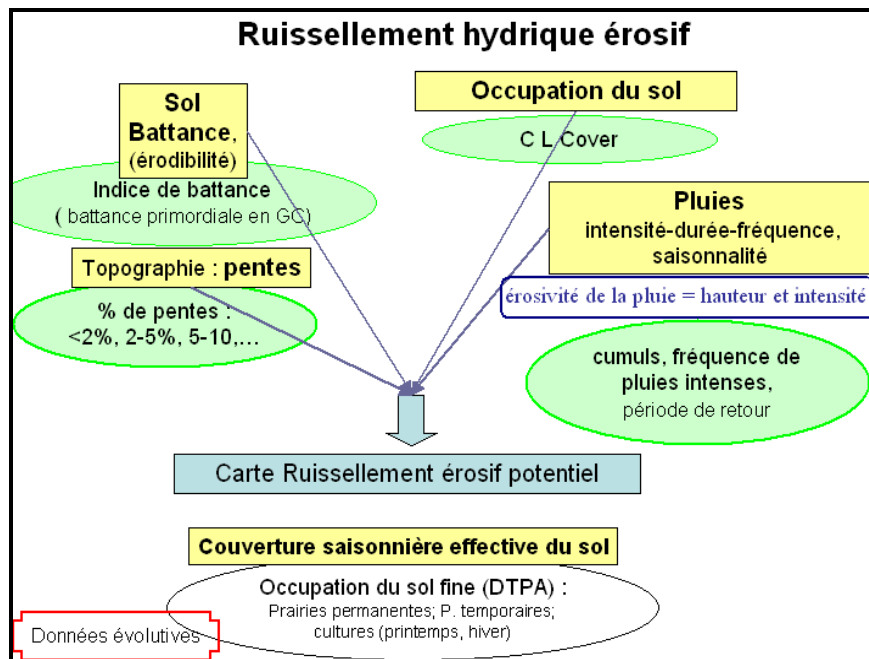


Figure 10 : paramètres retenus pour évaluer l'érosion hydrique

Pour le déclenchement de l'érosion hydrique, plusieurs éléments interviennent. Les plus influents sont liés au sol : sensibilité à la battance, érodibilité. En grande culture c'est la battance qui est le facteur prépondérant, dans ce cas la prise en compte de l'érodibilité est moins pertinente.

Le climat, et notamment les pluies et le régime pluviométrique, procure l'énergie nécessaire aux phénomènes érosifs. Sur ce plan climatique, l'érosion hydrique, dépend essentiellement de la hauteur des précipitations et de l'intensité des pluies.

Pour Le Bissonais *et al* (2002) la fréquence moyenne des hauteurs de pluies supérieures ou égales à 15 mm h^{-1} offre un bon compromis entre une précision satisfaisante et une discrimination suffisante pour faire ressortir les fortes intensités des pluies de la zone méditerranéenne. Idéalement un seuil de pluie érosive serait à déterminer pour chaque aire. En première approche, il convient de recenser sur le territoire de l'aire, et sur les secteurs voisins similaires, les coulées de boues intervenues ces dernières décennies. Cette information peut renseigner utilement sur le risque érosif local et le cas échéant sur la typologie des pluies déclenchantes (intensité, durée, saison) puis d'évaluer l'importance de l'aléa au cours des différentes périodes de l'année.

La topographie du terrain conditionne la gravité de l'érosion car la pente joue sur la vitesse de l'eau et donc sur son énergie érosive. L'occupation du sol et surtout la couverture saisonnière sont importants. Rappelons le cas du nord de la France, où les terres arables, limoneuses et battantes, sont particulièrement vulnérables en raison d'un faible couvert végétal une partie de l'année.

Les classes de pentes seront déterminées selon le contexte local : relief, sols, cultures, agressivité des pluies, et en intégrant les avis des experts connaissant bien ce contexte. A ce titre, les phénomènes érosifs hydriques étant localisés et locaux (orages, pluies cévenoles), il sera toujours nécessaire, dans les zones sensibles préalablement repérées par un diagnostic régional, d'effectuer un diagnostic ou une vérification pragmatique de terrain jusqu'à la parcelle agricole. Pour un observateur attentif et sensibilisé, les traces d'érosion sont (presque) toujours visibles sur le terrain (Hennebert, 2006).

4.7 Dérive atmosphérique

Techniquement le risque dû aux embruns de bouillies phytosanitaires est directement lié à la présence de parcelles en bordures des cours d'eau et donc à la possibilité d'atteinte directe de la surface de l'eau par des gouttelettes de pulvérisation (Figure 11). Par contre sur le plan réglementaire les différentes législations, Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales et Zone Non Traitée, ne sont pas harmonisées à ce jour. Cela induit sur le terrain des mises en place différenciées de bandes enherbées selon le statut du ruisseau. A cela s'ajoute les incertitudes d'appréciation des fossés, dont le faciès peut parfois être très proche de la définition morpho-biologique d'un cours d'eau.

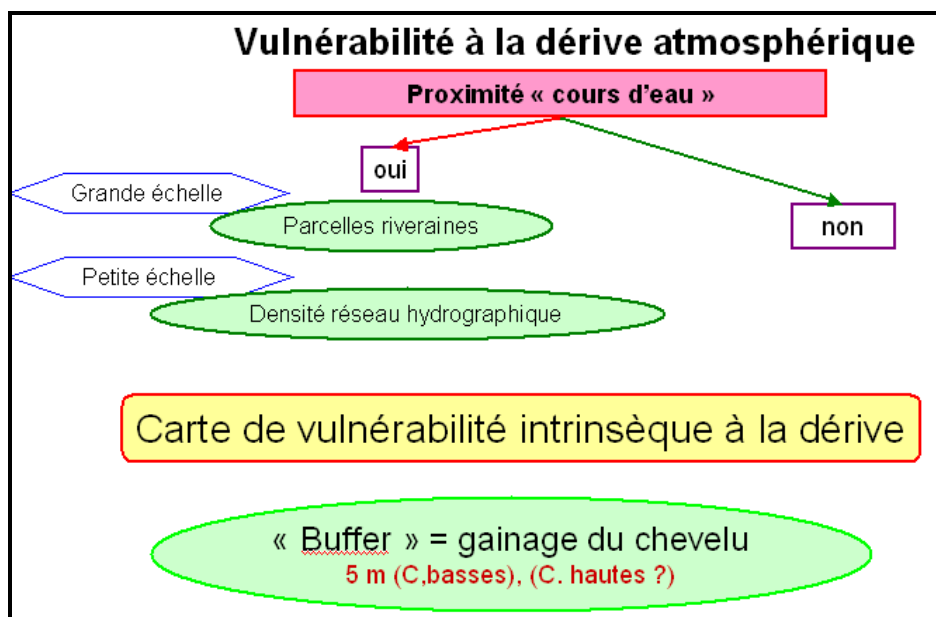


Figure 11 : Détermination de la vulnérabilité à la dérive atmosphérique lors des applications aériennes de produits phytosanitaires

Pour créer la « couche dérive » et identifier les portions de l'aire d'alimentation concernées par les risques de dérive atmosphérique, la distance aux cours d'eau IGN est à prendre en compte en délimitant une zone de 5 m (« buffer ») de part et d'autre de l'ensemble des cours d'eau et des réseaux de fossés-IGN soumis réglementairement à la ZNT.

Un « buffer » complémentaire et plus conséquent peut être pris en compte dans les zones présentant des cultures pérennes hautes, mais cela nécessite localement la recherche de consensus avec les viticulteurs ou arboriculteurs et leurs structures professionnelles. Techniquement des distances au cours d'eau voisines de 10 m en vigne et de 20m en arboriculture permettraient de prendre en compte les risques les plus importants de dérive (cf § 625 de la note bibliographique).

Cette étape de gainage n'est pas réalisable aux petites échelles utilisées dans le cadre des grandes et très grandes aires, dans ce cas la densité du réseau hydrographique permet d'identifier les zones riches en eaux de surface et donc plus exposées aux risques de dérives.

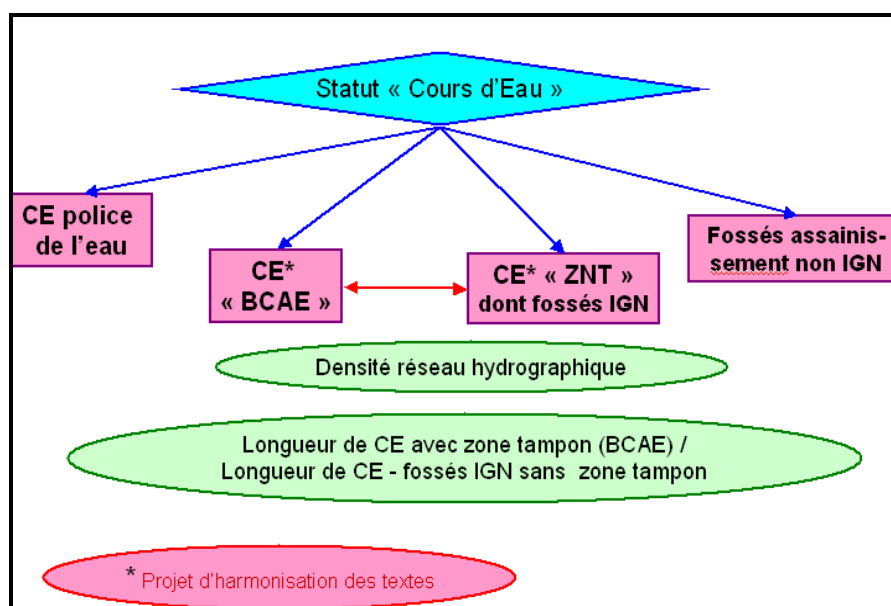


Figure 12 : différenciation des écoulements hydrauliques selon leurs statuts réglementaires

La Figure 13 présente un arbre de décision permettant de juger la pertinence des zones tampons selon les types d'écoulement amont.

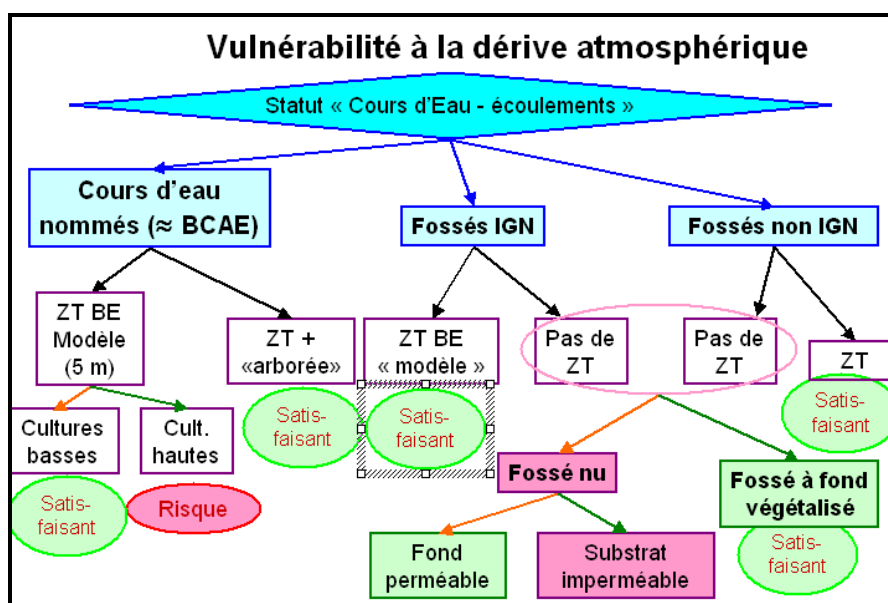


Figure 13 : Efficacité de la protection contre la dérive des embruns Proposition d'arbre de décision

Lors de la mise en place du plan d'action, il sera nécessaire de rappeler l'ensemble des moyens existant permettant de limiter les risques de dérive des embruns :

- appliquer la réglementation et bien respecter les « Zones Non Traitées » en bordure des cours d'eau mentionnés par les arrêtés nationaux et préfectoraux.

- ne pas traiter par vent fort (maximum 10 à 20 km/h), ce qui limite également l'évaporation des fines gouttelettes,
- utiliser des buses à dérive limitée et en bon état (buses à injection d'air en particulier),
- augmenter la taille des gouttes en travaillant à basse pression et en augmentant le volume d'eau/hectare,
- intervenir à une humidité relative de plus 80% et une température ni trop basse, ni trop élevée pour limiter l'évaporation des gouttes. Les températures minimales et maximales dépendent des caractéristiques physico-chimique des molécules,
- privilégier la présence de dispositifs végétalisés (en particulier des haies), éloignant le pulvérisateur des points d'eau et pouvant faire obstacles à la circulation des embruns de pulvérisation.

4.8 Prise en compte des éléments paysagers

4.8.1 Vers des cartes opérationnelles de vulnérabilité

Les concepts et schémas exposés tout au long des chapitres 64 à 67, permettrons d'obtenir par croisements de couches, des cartes de vulnérabilité intrinsèque. Comme énoncé précédemment, la prise en compte de la localisation des éléments paysagers et de la fonctionnalité des dispositifs tampons permet, pour les transferts hydriques superficiels de pesticides, une meilleure prédiction vis-à-vis de l'atteinte du cours d'eau par ces flux de pollutions diffuses. La capacité d'utilisation dans l'étude de la vulnérabilité de ces écrans au transfert repose sur la pertinence de données qui peuvent provenir soit de prises de vue aériennes ou satellitaires, soit d'observations de terrain.

L'utilisation de photographies aériennes (par orthophotoplans notamment) peut permettre un gain de temps important par rapport au terrain et donner aussi des informations précises sur l'occupation du sol. Malheureusement, les prises de vue aériennes exploitées sont surtout estivales (absence de nébulosité) et la périodicité de la mise à jour n'est pas toujours suffisante. C'est très préjudiciable par exemple pour la prise en compte des bandes enherbées : leur présence est très facilement identifiable, mais les premières mises en place datent de 2004-2005 et la quasi-généralisation de ces dispositifs est intervenue seulement en 2010. L'exploitation de prises de vues antérieures à 2010 seront donc insuffisante pour ce point précis !

4.8.2 Vérification par des relevés de terrains

Un travail basé sur orthophotoplans ne permet pas de faire certaines distinctions sans vérifications sur le terrain. Malheureusement, excepté pour les petites aires, il n'est pas possible de vérifier l'interprétation des photos pour l'ensemble de l'aire d'alimentation. Aussi, une vérification de l'occupation du sol peut être réalisée sur une ou plusieurs zones tests du bassin versant afin d'estimer le taux d'erreurs entre l'interprétation des photos aériennes et la réalité. Cela concerne par exemple l'occupation du sol, la fonctionnalité des talus et des bandes enherbées, la présence de fossés souvent masquée par la végétation arbustive ou arborée.

5 Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque selon la taille de l'aire

La superficie de l'aire d'alimentation influence l'échelle de travail à travers les données accessibles et la pertinence des facteurs retenus. En fonction de la dimension des aires, différents cas sont exposés de façon détaillée dans les chapitres suivants. Pour chaque type de transferts, les critères nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité sont cités et les objectifs en terme de résultats et d'indicateurs sont fixés (spatialisation, distances,...) :

<p><u>Légende</u></p> <ul style="list-style-type: none">– Paramètres de base ou méthodologie nécessaires⇒ Résultats ou indicateurs pertinents (et indispensables)⇒ Résultats ou indicateurs transitoires ou de second ordre

Les critères présentant une faible variabilité au sein de l'aire ne seront pas retenus pour élaborer les cartes de vulnérabilité : par exemple c'est un cas fréquemment rencontrés pour les caractéristiques des pluies qui sont souvent homogènes, sauf en présence de relief marqué ou en cas d'aires géographiquement importantes. Néanmoins pour la description du climat, les caractéristiques pluviométriques seront précisées : quantités de pluies, saisonnalité des précipitations et si possible intensité-durée-fréquence des pluies

5.1 Cas des petites aires, moins de 30 km², et des très petites aires (quelques km²)

L'étude de vulnérabilité sera réalisé à l'échelle parcellaire ou à l'échelle des îlots du RPG.

L'échelle de restitution pourra varier du 1/5 000° ou 1/25 000° selon la taille et l'échelle des données de base (carte pédologique en particulier).

Pour la prise en compte du climat, on se basera sur la station météorologique la plus proche. La description de la pluviométrie détaillera les quantités de pluies, la saisonnalité des précipitations et si possible l'intensité-durée-fréquence des pluies.

Evaluation de la vulnérabilité aux différents modes de transferts :

- **Dérive atmosphérique**
 - Climat : descriptif des vents : typologie et particularités locales
 - Carte du parcellaire (RPG/ ASP)

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)
 - ⇒ Densité du réseau hydrographique
 - ⇒ **« Distance » entre les bords cultivés des parcelles et le réseau hydrographique** : parcelles riveraines ou pas.
- Observations de terrain dont le diagnostic rivulaire : fonctionnalités des zones tampons et gainage du réseau hydrographique , caractérisation et spatialisation des écoulements (cours d'eau, fossés, court circuits, ...)
 - ⇒ **% du réseau protégé** par une zone tampon efficace
 - ⇒ **cartographie de la vulnérabilité du réseau** : comparaison de l'existant avec une zone théorique de protection de 5m de large pour chaque rive.

● Ruissellement hortonien

- Climat : épisodes intenses de pluies
- Pédologie : spatialisation de la typologie et du fonctionnement hydrique des sols
- Analyses de terre : permettent le calcul de l'indice de battance
- Les observations de terrain, la battance étant facilement observable, permettent la vérification de la correspondance terrain avec les données cartographiques.
 - ⇒ **Carte de la Battance**
- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)
 - ⇒ Densité du réseau hydrographique
- Modèle Numérique de Terrain
 - ⇒ **Distance des parcelles au cours d'eau** : calculée depuis le point bas de la parcelle riveraine

● Drainage en réseau ou captage de mouillères

- Pluviométrie : les pluies automnales et hivernales déterminent les périodes de drainage intense
- Archives, observations de terrain, enquête auprès des agriculteurs, personnes relais (ONEMA, CDA, CATER,..)
 - ⇒ **Présence/absence et spatialisation cartographique du drainage**
- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)
 - ⇒ **Densité du réseau hydrographique**

- **Ruissellement par saturation**

- Pluviométrie : périodes de saturation des sols
- A partir de la carte pédologique, vérification de la correspondance terrain avec la carte et la typologie des sols vis à vis des ruptures de perméabilité
- En absence de concordance, retour à des observations plus précises : tarière, profil de sol, végétation hydrophile

- ⇒ **Hydromorphie spatialisée des sols**

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)
- ⇒ Densité du réseau hydrographique
- Modèle Numérique de Terrain

- ⇒ **Distance des parcelles au cours d'eau** : point bas de la parcelle riveraine

- **Écoulements de subsurface**

- Pluviométrie : périodes de saturation des sols

- **Profondeur de sol** jusqu'à une couche imperméable (nature et perméabilité du sol)
- inclinaison de la pente

- ⇒ **Zones avec rupture de perméabilité** (s'opposant à l'infiltration)

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)
- ⇒ Densité du réseau hydrographique

- Modèle Numérique de Terrain

- ⇒ **Distance au cours d'eau** : point bas de la parcelle riveraine

5.2 Cas des moyennes aires : 30 – 100 km²

L'échelle de restitution pourra varier du **1/25 000°** ou **1/50 000°** selon la taille et l'échelle des données de base (carte pédologique en particulier).

- **Description des précipitations** : quantité, saisonnalité, intensité-durée-fréquence

- **Etude à l'échelle des pédopaysages de l'IGCS (1/250 000)**
 - **Déterminer d'après la carte pédologique**, à plus grande échelle que l'IGCS (cf « Sources d'informations pédologiques »),
 - ⇒ **la typologie des sols et leur fonctionnement hydrique**

- **Dérive atmosphérique**
 - Vent : typologie et particularités locales
 - Carte du parcellaire (RPG/ ASP)
 - Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)
 - ⇒ **Densité du réseau hydrographique**
 - Observations de terrain dont la réalisation d'un diagnostic rivulaire (gainage par des zones tampons, caractérisation et spatialisation des écoulements (cours d'eau, fossés, court circuits, ...))
 - ⇒ **% du réseau protégé par une zone tampon**
 - cartographie de vulnérabilité du réseau à l'aide une zone théorique de 5m pour chaque rive.
 - ⇒ « Distance » entre le bord des parcelles et le réseau hydrographique : parcelles adjacentes ou pas.

- **Ruissellement hortonien**
 - Pluies : répartition saisonnière des épisodes intenses
 - carte pédologique : typologie des sols et fonctionnement hydrique
 - analyses de sols : calcul de l'indice de battance
 - observations de terrain : la battance est facilement observable, cela permet donc la vérification aisée de la concordance avec les données cartographiques
 - ⇒ **Battance**
 - Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)

⇒ **Densité du réseau hydrographique**

• **Drainage en réseau ou captage de mouillères**

- Pluviométrie : périodes de drainage intense
- Archives, observations de terrain, enquête auprès des agriculteurs et des personnes relais (ONEMA, CDA, CATER,..)

⇒ Présence/absence et **spatialisation cartographique**

⇒ Densité de drainage

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)

⇒ **Densité du réseau hydrographique**

• **Ruissellement par saturation**

- Pluviométrie : périodes de saturation des sols
- carte pédologique et **ruptures de perméabilité** : vérification de la correspondance entre la carte et la typologie IGCS :
- Sinon, observations terrain : tarière, profil de sol, végétation hydrophile

⇒ **Hydromorphie**

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)

⇒ Densité du réseau hydrographique

- Modèle Numérique de Terrain

⇒ Distance au cours d'eau : point bas de la parcelle riveraine

• **Écoulements de subsurface**

- Pluviométrie : périodes de saturation des sols

⇒ **Profondeur de sol** jusqu'à une couche imperméable (nature et perméabilité du sol)

- inclinaison de la pente

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés : relevé des écoulements non cartographiés)

⇒ Densité du réseau hydrographique

- Modèle Numérique de Terrain

⇒ **Distance au cours d'eau** : point bas de la parcelle riveraine

5.3 Cas des grandes aires : 100 – 500 km²

L'échelle de restitution pourra varier du **1/50 000°** ou **1/100 000°** selon la taille et l'échelle des données de base (carte pédologique en particulier).

- **Description des précipitations :**

- quantité, saisonnalité, intensité-durée-fréquence,
- répartition au sein de l'aire si hétérogénéité de la pluviométrie

- **Etude à l'échelle des pédopaysages**

- **Déterminer d'après la carte pédologique**, à plus grande échelle que l'IGCS si possible (cf « Sources d'informations pédologiques »),
 - ⇒ **la typologie des sols et leur fonctionnement hydrique.**

- **Dérive atmosphérique**

- Vent : typologie et particularités locales
- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés ?)
 - ⇒ **Densité du réseau hydrographique**
 - Photo-interprétation : **gainage** du réseau hydrographique par haies, bandes enherbées
 - Et observations de terrain de **vérification** : fonctionnalités et gainage par des zones tampons, caractérisation et spatialisation des écoulements (cours d'eau, fossés, court circuit, ...)
 - ⇒ **% du réseau protégé par une zone tampon**
 - ⇒ **cartographie de vulnérabilité** du réseau BD Carthage à l'aide d'une zone théorique de 5m pour chaque rive.

- **Ruissellement hortonien**

- Pluies : répartition saisonnière des épisodes intenses
- carte pédologique : typologie des sols et fonctionnement hydrique
- Analyses de terre (BDAT): calcul de **l'indice de battance**

Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides

- observations de terrain : la battance est visuellement facilement observable, cela permet, sur des zones test, la vérification aisée de la concordance avec les données cartographiques

⇒ **carte de sensibilité à la battance**

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés)

⇒ **Densité du réseau hydrographique**

- **Drainage en réseau**

- Données pluviométriques : périodes de drainage intense

- RGA 2000

⇒ **Densité de drainage /SAU par commune**

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés)

⇒ **Densité du réseau hydrographique**

- **Ruissellement par saturation**

- Pluviométrie : périodes de saturation des sols

- A partir de la carte pédologique : vérification de la correspondance entre les données de la carte et la typologie vis à vis des ruptures de perméabilité
- observations de vérification : tarière, profil de sol, végétation hydrophile

⇒ **Hydromorphie**

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés)

⇒ **Densité du réseau hydrographique**

- **Écoulements de subsurface**

- Pluviométrie : périodes de saturation des sols

⇒ **Profondeur de sol** jusqu'à une couche imperméable (nature du sol) en lien avec la **position dans le paysage** (plateau, pente, bas de pente...)

- Carte du réseau hydrographique (BD Carthage + fossés)

⇒ **Densité du réseau hydrographique**

5.4 Cas des Très grandes aires (500 – 2000 km² et > 2000 km²)

Rappel : Pour les très grandes aires (> 500 km²), il paraît nécessaire dès le début de l'étude, de repérer les secteurs les plus contributifs afin de recenser les zones à diagnostiquer en priorité. A ce titre, le recours à une description assez grossière du milieu physique et de l'occupation des sols apparaît pertinent pour identifier les secteurs les plus concernés par des ruissellements et des écoulements superficiels propices aux transferts hydriques. Quand il existe, le diagnostic régional réalisé au sein du groupe phytosanitaire régional (« GRAPPE ») selon la méthodologie du CORPEN (CORPEN, 2003) offre à ce stade de la démarche, une base de travail solide.

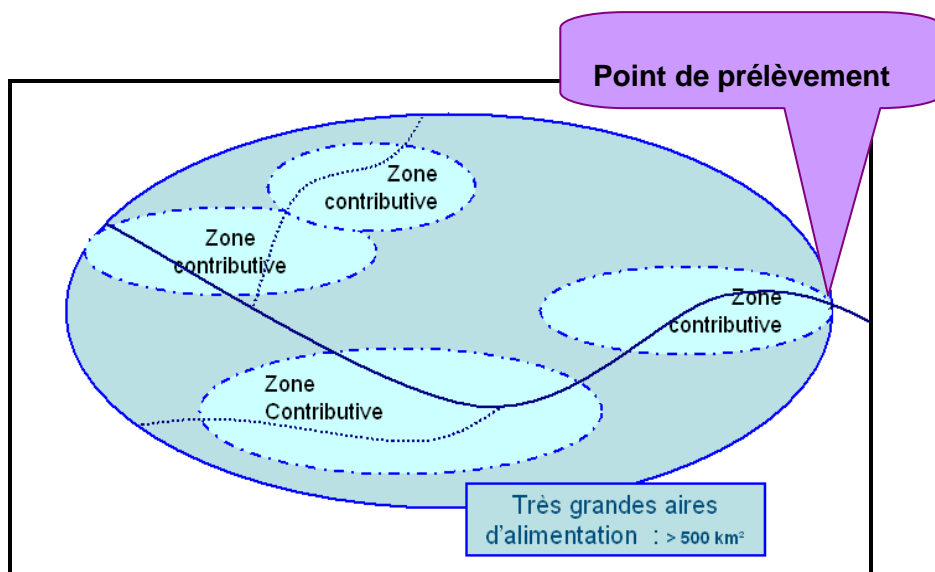


Figure 14: priorisation des zones de diagnostic dans le cas de très grandes aires

Le plan d'ensemble pourra s'en tenir au 1/250 000°, mais l'échelle de restitution de la vulnérabilité doit être plus précise : 1/25 000° ou 1/100 000° selon la taille de zones contributives définies et l'échelle des données de base (carte pédologique en particulier).

- **Description des précipitations :**
 - quantité, saisonnalité,
 - intensité-durée-fréquence,
 - différences de répartition au sein de l'aire
- **Carte pédologique** (à l'échelle de l'IGCS), ou esquisse ou zonage à dire d'experts si les cartes pédologiques sont incomplètes à l'échelle de l'aire.

- **Identification de zones contributives à risques de transferts importants**

Pour cette approche préalable, croiser les informations portant sur l'état de surface des sols (battance) avec les secteurs hydromorphes tout en tenant compte de l'occupation des sols (végétation couvrante et protectrice ou non,...)

Occupation du sol succincte X Carte battance X Carte hydromorphie

(Corine Land Cover)

L'étude plus précise de la vulnérabilité de ces zones contributives sera réalisée selon la taille de ces zones : se référer aux études détaillées correspondantes énoncées dans les paragraphes 51,52 et 53.

6 Conclusions

Dans les démarches de protection des captages, les ressources en eaux superficielles ont le plus souvent pris du retard compte tenu de la complexité des phénomènes en jeu et aussi de la surface de ces aires d'alimentation qui peuvent être très importantes (plusieurs centaines de km²).

Le présent guide méthodologique apporte les éléments de compréhension de la vulnérabilité des eaux superficielles aux pollutions diffuses. Cet outil permettra aux services déconcentrés de l'État d'orienter le travail de délimitation et caractérisation de la vulnérabilité. Les documents produits serviront à l'élaboration des plans d'action visant la protection des aires d'alimentation des captages en eaux de surface.

La mise en œuvre de ce guide méthodologique, qui permet de disposer d'un cadre commun de délimitation des aires d'alimentations de captages et de caractérisation de leur vulnérabilité, vient compléter d'autres guides existants et renforcer la boîte à outils mise en œuvre pour la protection des captages d'alimentation en eau potable et qui vise à la détermination de zone(s) d'application du programme d'action.

La segmentation de la vulnérabilité selon les types de transfert permet un diagnostic et assure un apport important pour la compréhension locale des phénomènes de pollutions diffuses par les produits phytosanitaires. A ce titre, c'est donc une acquisition et une formalisation de connaissances indispensables pour élaborer ensuite des actions pertinentes et pour vulgariser la compréhension des processus qui interviennent. Le diagnostic permet d'élaborer les cartes de vulnérabilité pour les différents types de transferts intervenant pendant puis après les applications de produits phytosanitaires : a) transferts par dérive atmosphérique, b) transferts par ruissellement hortonien, c) transferts par ruissellement sur sols saturés, d) transferts hypodermiques (drainage et subsurface), e) transfert par érosion hydrique.

La réalisation du diagnostic de vulnérabilité nécessitera la compilation, voire l'acquisition, de données indispensables pour l'application de la méthode. C'est le cas des données pédologiques, de la spatialisation du drainage ou de la consolidation de la connaissance du réseau hydrographique. L'investissement financier est réel, mais au final, cela participe à un pas important et indispensable à la connaissance du milieu et donc à une protection efficace de la ressource en eaux superficielles.

Pour les décideurs, l'étude est un moyen de connaissance du territoire et de construction d'un plan d'action efficace. A ce titre, le déroulement de l'étude de vulnérabilité permettra de valoriser les expertises locales. Ce sera aussi une occasion de partager, avec les partenaires locaux, une vision préventive de protection de la ressource au sein d'une démarche plus large de co-construction.

7 Sources et disponibilités des données

Base de données	Remarques, détails	échelle	coûts
-----------------	--------------------	---------	-------

Topographie

Scan 25 (IGN)		1/25.000	150 € par carte
---------------	--	----------	-----------------

Réseau hydrographique

BD Carthage (IGN)		Précision décimétrique, conçue pour aller d'une échelle de base allant du 1/50.000 au 1/100.000	Gratuite sous réserve d'une utilisation non commerciale
Scan 25			

Relief

BD Alti (IGN)		Pas de 50m à 1.000m	500 + 0,35 € / km ²
thème ALTI de la BD TOPO (IGN)		Pas de 25m	500 + 24,00 € / km ²
Scan 25			

Drainage

RGA 2000	Superficie drainée par drains enterrés	Par canton ou par commune quand le secret statistique le permet (càd si il y a 0 ou au moins 3 exploitations ayant des surfaces drainées)	46 € pour une région, 460 € pour la France (« La fiche comparative »)
----------	--	---	---

Occupation du sol

Corine Land Cover	44 types d'occupation du sol	1/100 000 (seuil de description : 25 ha) Exploitation statistique de la base pertinente à l'échelle cantonale	gratuit
Orthophotographies (BD Ortho de l'IGN)		Résolution 50 cm	500 + 3,56 € / km ²
RPG	déclarations Agrimer pour la PAC	disponible à l'ASP moyennant une convention	Les îlots 2007, 2008 et 2009 sont consultables sur Géoportail®
RGA 2000			

Pédologie

Base de Données Géographiques des Sols de France		1/1.000.000	50 €
Référentiel régional pédologique	Attention, pas encore terminé pour toutes les régions !	1/250.000	40-50 € pour un département
Base de données d'analyse de terre	Physico-chimie, chimie, texture	Par canton, si plus de 10 analyses	gratuit
Carte géologique		1/50.000	35 € par carte

8 Bibliographie du guide méthodologique

Ambroise B., 1999. La dynamique du cycle de l'eau dans un Bassin Versant : processus, facteurs, modèles, Bucarest, 200 p.

Arnaud, P., J. Lavabre, Sol B. et Desouches C., 2006. Cartographie de l'aléa pluviographique de la France ,La houille blanche **5**: 102-111.

Blasquez L., 2010. Protection des aires d'alimentation de captages d'eau potable vis-à-vis des pollutions diffuses, recommandation de bonnes pratiques partenariales. Etude APCA FP2E, 39 p. + annexes.

Bioteau T., Novince E., 2005. Délimitation des bassins versants amont des prises d'eau superficielle destinée à la production d'eau alimentaire en Bretagne. Drass, Diren, Cemagref, 15 p.

Bourennane Schnebelen N. et Fort J.L. Coord. 2008. Connaître les sols pour préserver la ressource en eau. Guide d'application à l'échelle d'un territoire. Gis Sol, groupe « Projets » IGCS, INRA Orléans, France, 84 p.

CORPEN, 1997. Produits phytosanitaires et dispositifs enherbés, état des connaissances et propositions de mise en œuvre. 78 p.

CORPEN, 2003. Eléments méthodologiques pour un diagnostic régional et un suivi de la contamination des eaux par les produits phytosanitaires. 55 pages + annexes.

CORPEN, 2007. Les fonctions environnementales des zones tampons, les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux. CORPEN groupe zones tampons. 176 p.

Dubois de la Sablonière F., Bolo P., Seguin P. 1999. Apport d'un système d'informations géographiques pour le zonage des risques de pollution par les produits phytosanitaires. Ingénieries – EAT – N°18, p 29 à 38

GRAPPE lorraine, 2006. Cartographie du potentiel de contamination des eaux par les produits phytosanitaires pour la région lorraine. 63 p ..

Gril J.J. et Le Hénaff G., 2010. Guide de diagnostic de l'efficacité des zones tampons rivulaires vis-à-vis du transfert hydrique des pesticides. CEMAGREF - ONEMA 2010, 50 p.

Gril J.J., Le Hénaff G. et Faidix K., 2010. Guide de diagnostic à l'échelle du petit bassin versant : Mise en place de zones tampons et évaluation de l'efficacité de zones tampons existantes destinées à limiter les transferts hydriques de pesticides ». CEMAGREF – MAAP/DGPAAT 2010, 37p.

Hennebert P. 2007. Protection des eaux de surface contre les transferts diffus de produits phytosanitaires, Manuel des méthodes utilisées dans le projet SWAP-CPP Délivrable 7.3, 31/10/2006, Projet LIFE04 ENV/FR/000350, 42 p.

Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C. et Daroussin J. , 2002. L'érosion hydrique des sols en France. Édit. INRA-IFEN, 108 p.

Le Hénaff G. et Gauroy C., 2011b. Note bibliographique sur la délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides. CEMAGREF, 64 p.

Nouvel P., 2009. Cadrage national de la protection des aires d'alimentation de captages. Conférence ASTEE – Aires d'alimentation des captages ; Bourgoin-Jallieu – Octobre 2009.

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007). Délimitation des bassins d'alimentation des captages et leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874, 75 pages, 14 illustrations

Voltz M., Louchart X. 2001. Les facteurs-clés de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. . N° spécial Ingénieries EAT << phytosanitaires : transfert, diagnostic et solutions correctives >>. pp 45-54.

Sites

www.agreste.agriculture.gouv.fr.

<http://climatheque.meteo.fr/>

<http://erosion.orleans.inra.fr/>

<http://www.hydro.eaufrance.fr/glossaire.php> : banque hydro

<http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M292/ECOULEAUX.pdf> : lame d'eau écoulee en France

http://www.ddaf69.agriculture.gouv.fr/article.php3?id_article=93 : carte des cours d'eau du Rhône

http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Fosses_et_cours_d_eau/delimitation_cours_d_eau.asp :
délimitation des cours d'eau

9 Sigles

AE : Agence de l'Eau

APCA : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture

ASP: Agence de services et de paiement. Issue de la fusion entre le Cnasea et l'AUP, l'ASP est un établissement public administratif

AUP : Agence Unique de Paiement (voir ASP)

BCAE : Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales

BDAT : Base de Données des Analyses de Terre (INFOSOL INRA Orléans)

BD-Carthage : Base de Données pour la CARTographie Thématique des AGences de l'eau et du ministère chargé de l'Environnement

BD-RHF : Base de Données du Référentiel Hydrogéologique Français

BRGM : Bureau des Ressources Géologiques et Minières

CATER : Cellules d'Assistance Technique à l'Entretien des Rivières

CGAAER : Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux

CGEDD : Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable

CORPEN : Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement

CDA : Chambre Départementale d'Agriculture

CRA : Chambre Régionale d'Agriculture

DDT(M) : Direction Départementale des Territoires (et de la Mer) (ex DDAF, ex DDEA)

DEB : Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère chargé de l'Environnement (MEEDDM).

DGPAAT : Direction Générale des Politiques Agricole, Agroalimentaire et des Territoires (MAAP)

DIREN : DIrection Régionale de l'ENvironnement (avant 2010)

DRAF : Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DTPA : Diagnostic Territorial des Pressions d'origine Agricole

DUP : Déclaration d'Utilité Publique

ENSAIA : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires

ESO : Eaux SOuerraines

ESU : Eaux Superficielles

Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides

FP2E : Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

GRAPPE : Groupe Régional d'Action contre la Pollution Phytosanitaire de l'Eau

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

IGCS : Inventaire Gestion et Conservation des Sols

IGN : Institut National Géographique

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

Koc : Coefficient de partage carbone organique – eau (Koc en cm³/g) (reflète l'affinité de la molécule pour le sol ou l'eau)

MAAP : Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche

MAEt : Mesures Agro-Environnementales territorialisées

MEEDDM : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer.

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MISE : Mission Inter-Services de L'Eau

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

PAC : Politique Agricole Commune

PNR : Parcs naturels régionaux

RGA : Recensement Général Agricole

RPG : Registre parcellaire Graphique (couche graphique des îlots parcellaires déclarés « PAC »)

RU : Réserve Utile

SCEES : Service Central des Etudes Economiques et Statistiques (Ministère de l'Agriculture)

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement des Eaux (outil de planification concertée de la politique de l'eau au niveau de grand bassin hydrographique)

SIG : Système d'Information Géographique

SIRIS : Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores

SOeS : Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable (CGDD) du Ministère chargé de l'Environnement (MEEDDM).

UCS : Unité Cartographique de Sol (programme IGCS)

UTS : Unité Typologique de Sol (programme IGCS)

ZNT : Zone Non Traitée

10 Glossaire

assainissement agricole : ensemble de moyens (généralement des fossés) assurant le transport des eaux regroupées naturellement ou à la suite du drainage, jusqu'au réseau hydrographique naturel.

battance des sols : sensibilité des sols à la formation d'une croûte superficielle à structure feuilletée, continue, consistante et colmatant la surface du sol.

drainage agricole : pour cette étude le drainage est considéré comme enterré. La mise en place de réseau souterrains de tuyaux plastiques perforés (poteries historiquement) favorise l'évacuation de l'eau gravitaire présente dans la macro-porosité du sol à la suite de pluies.

érodibilité des sols : sensibilité des sols à l'arrachement et au transport des particules qui le composent

Hydromorphie : Phénomène dû à un excès d'eau dans la couverture pédologique ou dans un horizon. L'excès d'eau peut être dû aux précipitations atmosphériques, mais aussi à des apports d'eau superficiels (inondations, ruissellement, etc.) ou profonds (remontées de nappe, etc.). Cet excès d'eau peut être plus ou moins durable, se traduisant par une saturation et un déficit d'oxygène (anaérobie) entraînant une modification de l'activité biologique. cela a pour principale conséquence des processus d'oxydoréduction conduisant à une ségrégation du fer entre formes réduite et oxydée.

Hyétogramme : courbe représentant l'intensité de la pluie en fonction du temps.

Koc : le coefficient de partage carbone organique – eau (Koc en cm³/g) , traduit l'affinité des substances avec le sol et inversement avec l'eau. Il permet d'évaluer la mobilité des molécules dans le sol : plus il est fort et plus l'affinité pour le sol est élevée.

Lame d'eau : La lame d'eau est obtenue en divisant un volume écoulé en une station de mesure par la surface du bassin versant à cette station. Valeur d'un débit, elle est très couramment exprimée en mm, ce qui permet de la comparer aux pluies qui en sont à l'origine.

DT 50 : temps de demi-vie (DT50), mesuré en jours : temps nécessaire pour la disparition de la moitié de la quantité appliquée

Coulée boueuse : mouvement en masse impliquant un écoulement rapide de débris (rochers, terre, végétaux, eau).

Règle de pédo-transfert : terme dérivé du concept de "transfert fonction", définit par BOUMA et Van LANEN (1986) (in Le Bissonnais et al, 1998). Ces règles permettent d'interpréter une information qualitative contenue dans les paramètres d'une base de données sur les sols, et permettent de définir, à partir de règles de décision empirique, de nouvelles caractéristiques de sol plus complexes ou moins facilement mesurables.

Stabilité structurale des sols : aptitude des sols à résister à la désagrégation sous l'effet de la pluie en particulier

SIRIS : Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores (liste des matières actives classées par risque ESU ou ESO : selon les principales caractéristiques de persistance et de mobilité et les données d'utilisation)

Erosion : phénomène d'usure du sol (sous l'effet des précipitations ou du vent), se traduisant par une perte de terre et la production de sédiments.

Infiltration : passage de l'eau de la surface du sol à l'intérieur de celui-ci, l'infiltration se distingue ainsi de la percolation ou filtration, phénomène en étroite corrélation avec l'infiltration, mais qui désigne la circulation de l'eau à travers le terrain. Pour qu'il y ait infiltration, il ne suffit pas que le milieu soit perméable, il faut que la surface qui le sépare de l'extérieur le soit aussi (dictionnaire d'hydrologie).

Percolation : écoulement dans les fissures, les galeries d'animaux, les pores les plus grands, de l'eau dans la couverture pédologique, sous l'effet de la gravité. Cette eau passe rapidement, sans intervention des forces de liaison.

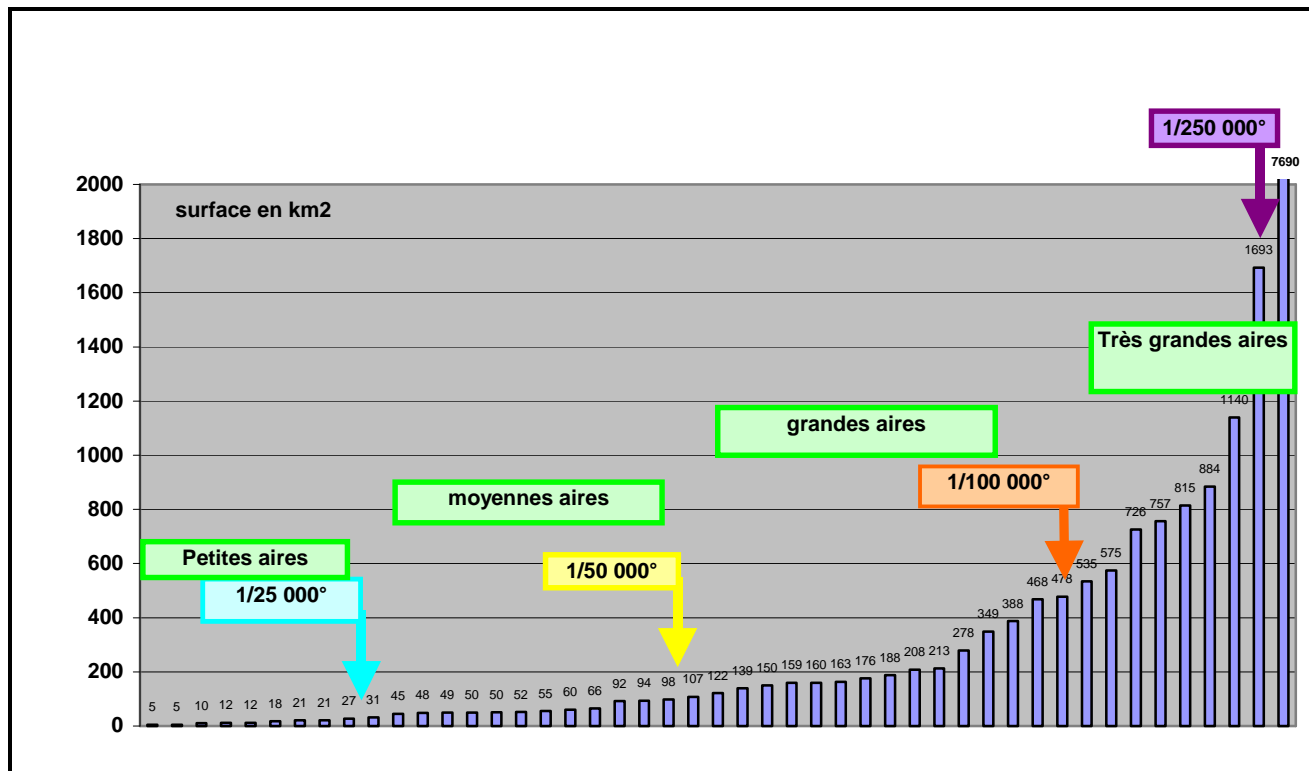
Perméabilité : propriété de la couverture pédologique à être traversée plus ou moins facilement par l'eau. On exprime le coefficient de perméabilité en cm.h^{-1} (terres imperméables, coefficient faible 0.01 et 0.036 ; terres très perméables, 100-360).

Tassement : effet de compactage du sol entraînant des modifications de ses propriétés mécaniques, sous l'effet d'une pression externe (passage de machines).

Réserve utile (RU) : c'est la quantité d'eau maximale retenue par un sol et utilisable par la plante. Elle dépend de la profondeur du sol (P), de sa densité apparente (Da) et des humidités à la capacité au champ (Hcc) et au point de flétrissement permanent ($H_{pF=4.2}$) selon l'équation : $RU = P * Da * (Hcc - H_{pF=4.2})$

11 Annexes

Annexe 1 : superficie des AAC « Grenelle » en eaux superficielles



Histogramme de la superficie des AAC « Grenelle » en eaux superficielles
(Source Agences de l'Eau, hors AE Seine Normandie)

Annexe 2 : Eléments de description du territoire de l'Aire d'Alimentation de Captage en eaux de surface

Localisation du(des) captage(s)

Type de captage : fil de l'eau, retenue (volume)

Problématiques majeures :

- phytosanitaires (...)
- nitrates
- turbidité
- etc...

Contexte réglementaire : DUP, SDAGE, « Grenelle »

Etudes antérieures : dates, types, critères pris en compte

Description de la zone de protection de la ressource

- Territoire d'action : bassin versant, sous bassin,...
- Superficie
- Communes concernées
- Population desservie

Population résidente sur le territoire de l'aire

Activités agricoles

- Surface agricole utile
- Types de production
- Nombre d'exploitations
- ...

Autres activités économiques

Activités liées à l'eau

Milieu physique

- Climatologie
- Géologie
- Pédologie
- Topographie
- Réseau hydrographique : longueur de cours d'eau

Paysages, réseau bocager

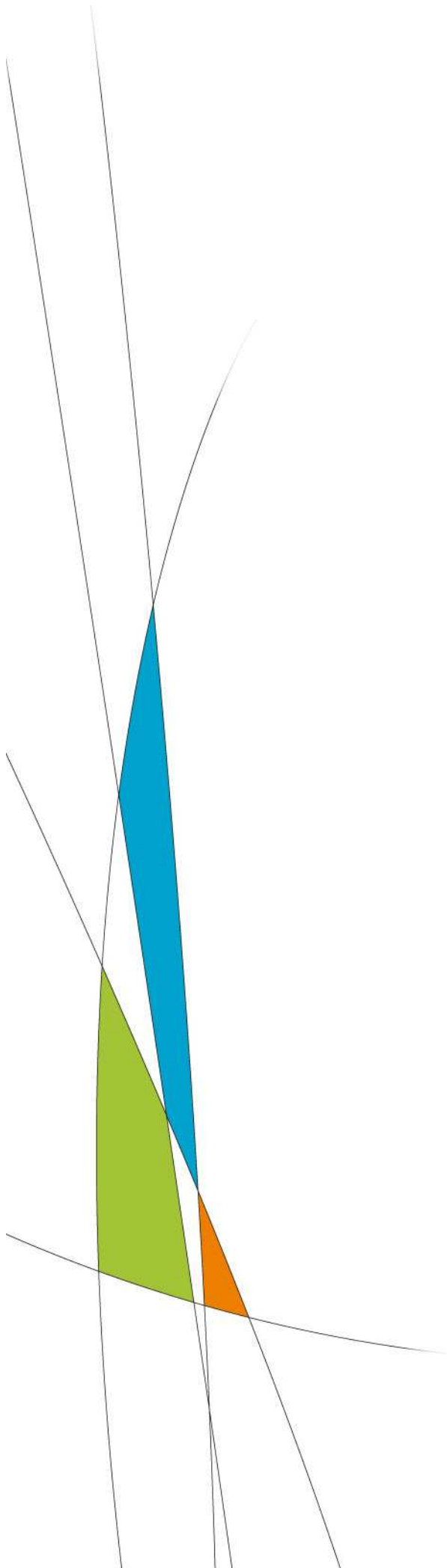
Exemple de description du bassin versant du Jaudy-Guindy-Bizien (22)

<http://www.jaudy-guindy-bizien.org/jaudy-guindy-bizien.php>

Annexe 3 : segmentation selon les types de transferts

Vulnérabilité des aires d'alimentation de captage en eaux de surface : segmentation selon les types de transferts							
Types transferts		ruissellement			écoulements de sub-surface		dérive
étape 1 : paramètres	Caractérisation de la circulation de l'eau	érosif	diffus de surface	diffus de surface	hypodermique	drainage agricole	atmosphérique
	sélection des paramètres Qualifiants le fonctionnement hydrique des sols Pédologie, Géologie, pédopaysage	battance (érodibilité)	R. hortonien	R. sur surface saturée	rupture de perméabilité socle proche géologie, pédologie	présence / absence	proximité "cours d'eau" statuts CE
	selon la taille de l'aire	couverture du sol	pluie		pente	½ surface drainée : _ RGA communale (cantonale) _ parcellaire et spatialisée (Petite aire)	longueurs avec zones tampons Zone Non Traitée
		pente	Quantité, Intensité-Durée-Fréquence	pluie saisonnalité			
	selon la pertinence et la disponibilité des données	pluie Quantité, Intensité-Durée-Fréquence	épisodes intenses	excédent hydrique	excédent hydrique		
		densité réseau hydrographique données locales de Rssilt	réseau hydrographique : densité forte révélatrice d'écoulements latéraux importants données locales de Rssilt			densité réseau hydrographique	
Etape 2 représentation du phénomène		Données pédologiques indispensables					
Cartes thématiques		Vulnérabilité au ruissellement érosif	Vulnérabilité au ruissellement hortonien	Vulnérabilité au ruissellement sur surface saturée	Vulnérabilité au écoulements hypodermiques	Vulnérabilité au drainage enterré	Vulnérabilité à la dérive
Couverture du sol protection physique des sols,	Corine Land Cover déclarations PAC + RGA 2000 "début" du DTPA	occupation "grossière" des sols agricoles : prairies permanentes, temporaires, cult. hiver ou printemps					
Etape 3 : Éléments du milieu							
Zones Tampons:	Éléments paysagers et fonctionnalité des bandes enherbées, haies, talus, bois, prairies						
		carte opérationnelle vulnérabilité au ruissellement érosif	carte opérationnelle vulnérabilité au ruissellement hortonien	carte opérationnelle vulnérabilité au ruissellement sur surface saturée	carte opérationnelle vulnérabilité aux écoulements hypodermiques	carte opérationnelle vulnérabilité au drainage enterré	carte opérationnelle vulnérabilité à la dérive
	Très Grand Bassin : distance priorisation des zones en fonction de la distance au point de prélèvement de l'eau	carte zones de protection					
							positions précises des parcelles drainées et repérage parties amont du réseau hydrographique lors du DTPA (diagnostic territorial des pressions agricoles)

Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis à vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides



Direction générale

Parc de Tourvoie

BP 44 - 92163 Antony CEDEX