



HAL
open science

Mise au point de descripteurs du risque de contamination des eaux de surface par les phytosanitaires à l'échelle du bassin versant. Prise en compte des dimensions spatiales et temporelles. Appui à l'évaluation et à la gestion du risque, projet **MIRIPHYQUE**

Nadia Carluer

► **To cite this version:**

Nadia Carluer. Mise au point de descripteurs du risque de contamination des eaux de surface par les phytosanitaires à l'échelle du bassin versant. Prise en compte des dimensions spatiales et temporelles. Appui à l'évaluation et à la gestion du risque, projet MIRIPHYQUE. [Rapport de recherche] irstea. 2012, pp.14. hal-02598189

HAL Id: hal-02598189

<https://hal.inrae.fr/hal-02598189>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**MISE AU POINT DE DESCRIPTEURS DU RISQUE DE
CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE PAR LES
PHYTOSANITAIRES A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT. PRISE EN
COMPTE DES DIMENSIONS SPATIALES ET TEMPORELLES. APPUI
A L'EVALUATION ET A LA GESTION DU RISQUE.**
[MIRIPHYQUE]

Carluer Nadia
UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions.
Irstea. 3 Bis Quai Chauveau. 69 336 Lyon Cedex 09.
Nadia.carluer@irstea.fr

Rapport intermédiaire d'activité
1^{er} juin 2012

RESUME

Mots clés : modélisation ; indicateur ; bassin versant ; zones tampons ; dynamique temporelle ; distribution spatiale ; indicateur biologique ; base de données ; entrepôts de données

L'objectif général du projet est de construire **une méthode d'évaluation du potentiel de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires à l'échelle du petit bassin versant (BV)**, qui inclut **les dimensions spatiales et temporelles**, sans avoir la complexité d'un modèle complet de devenir des pesticides à l'échelle du BV. L'idée centrale est d'agréger à l'échelle du BV les résultats issus de la mise en œuvre de modèles de transfert de phytosanitaires à l'échelle de la parcelle, et d'intégrer l'influence des éléments du paysage sur les flux transférés. Le projet est structuré en trois axes interconnectés : **1/** Modélisation aux différentes échelles d'intérêt ; **2/** Structuration des chroniques simulées dans un entrepôt de données spatio-temporelles, facilitant leur remobilisation ; **3/** Agrégation des résultats de modélisation, analyse statistique des résultats obtenus et confrontation aux données existantes (chimiques et biologiques). La méthode est mise au point sur deux petits bassins expérimentaux où l'on dispose de nombreuses données (Bretagne et Beaujolais), qui permettront de juger de la capacité de l'outil obtenu à rendre compte de façon satisfaisante des variations interannuelles du risque de contamination dans des contextes agro-pédo-climatiques contrastés.

L'étape de modélisation à l'échelle de la parcelle est bien avancée, avec la définition de scénarios de traitement phytosanitaires pour les deux bassins, l'acquisition de données complémentaires sur les sols, notamment pour le bassin de la Morcille (caractérisation hydrodynamique des sols et propriétés vis à vis de la dégradation et de la rétention de quelques phytosanitaires), le choix du modèle MACRO pour les deux sites (y compris pour la simulation du ruissellement de surface) et la traduction des caractéristiques des sols en paramètres pour la modélisation. La modélisation de l'efficacité des zones tampons enherbées ou boisées, en fonction de leurs caractéristiques propres et des scénarios de ruissellement entrant est également en cours de finalisation. La réflexion sur la modélisation hydrologique à adopter à l'échelle du bassin pour transférer les flux calculés à l'échelle de la parcelle est en cours, et cette étape se concrétisera bientôt. La modélisation à l'échelle de la parcelle est effectuée via un couplage de MACRO avec un logiciel d'analyse de sensibilité, ce qui permet de réaliser de façon efficace l'analyse de sensibilité qui permettra d'identifier les paramètres les plus influents pour chaque situation, et de définir ainsi les données sur lesquelles faire porter l'effort d'acquisition pour l'application ultérieure sur des bassins où les données sont moins nombreuses.

Sur chacun des sites, le système d'information transactionnel permettant de structurer les connaissances et données dont on dispose sur un bassin a été complété ; l'ensemble des données disponibles sur chacun des sites y est donc inclus ; seule la partie du modèle permettant de décrire les connexions hydrologiques (topologie) entre les éléments constituant le bassin reste à construire, le choix dépendant en partie du modèle hydrologique qui sera adopté. Un premier entrepôt de chroniques résultant de simulations à l'échelle de la parcelle a été construit, permettant de tester ce concept et de réaliser de premières agrégations « simples ».

L'outil d'aide à la décision SACADEAU a été appliqué sur le bassin de la Fontaine du Theil. La construction d'un arbre d'exutoires de parcelles a permis d'illustrer les chemins d'écoulements préférentiels en surface, ainsi que les zones hydrologiquement déconnectées du ruisseau par des éléments du paysage. La paramétrisation du modèle bio-physique reste par contre encore à affiner pour rendre compte des observations sur ce bassin..

L'étape suivante concerne la mise en oeuvre d'un modèle hydrologique à l'échelle du bassin, pour pouvoir tester différentes modalités d'agrégation et analyser la sensibilité des résultats à la distribution (spatiale et temporelle) des scénarios « parcelle » considérés.

SOMMAIRE :

Resume :	2
Sommaire :	3
1. Informations générales concernant le projet	4
2. Récapitulatif de l'avancement des travaux	5
3. Commentaire des différentes tâches	6
<i>Axe 1. Modélisation aux échelles d'intérêt</i>	<i>6</i>
1.1 Définition des scénarios d'usage	6
1.2 Modélisation à l'échelle de la parcelle	6
1.3 Modélisation des éléments du paysage	7
1.4 Modélisation à l'échelle du bassin versant	8
<i>Axe 2 : Structuration des chroniques simulées dans un entrepôt de données spatio-temporelles</i>	<i>8</i>
2.1 Modèle de représentation des données	8
2.2. Elaboration d'un entrepôt de données	8
<i>Axe 3 : Agrégation à l'échelle du bassin versant</i>	<i>9</i>
3.1 Mise au point de la technique d'agrégation à l'échelle du bassin versant	10
3.2 Validation de l'outil d'aide à la décision SACADEAU sur la Fontaine du Theil	10
3.3 Analyse de sensibilité aux différentes échelles de modélisation, pistes pour la transposition de la méthode	11
3.4 Confrontation aux données existantes	11
4. Calendrier prévisionnel de fin de projet	12
5. Premiers acquis en termes de transfert (méthodes, recommandations, réalisations pratiques)	12
6. Valorisation des travaux	13
7. Références	13

Figure 1 : Schéma de principe de l'agrégation des chroniques de simulation à l'échelle de la parcelle à l'échelle du bassin versant.10

Tableau 1: Etat d'avancement des tâches prévues dans le projet 5

I. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT LE PROJET

Date d'engagement : 6 décembre 2010

Durée : 36 mois

Financement :

Montant MEDDTL/Ademe/Onema : 140 000 euros

Co-financement(s):

Ressources propres Irstea	589 687 € (dont 66823 € sur assiette subventionnable)
Ressources propres INRA	92 697 € (dont 11 606 € sur assiette subventionnable)

- **Participants au projet :**

<i>Laboratoire</i>	<i>Participants</i>	<i>Statut</i>
Irstea Lyon. UR MAEP <i>Pollutions Diffuses</i>	Nadia Carluer Véronique Gouy Claire Lauvernet Guy Le Hénaff Bruno Cheviron (équipe Pollutions Diffuses, puis UMR G-Eau à Montpellier)	IPEF IDAE CR2 IDAE CR2
<i>Ecologie Microbienne des Hydrosystèmes Anthropisés</i>	Stéphane Pesce	CR2
Irstea Montpellier UMR TETIS	André MIRALLES Abdoulkader OSMAN-GUEDI	IR1 PhD
Irstea Clermont-Ferrand UR TSCF	François PINET Sandro BIMONTE Kamal BOULIL	CR1 CR2 PhD
INRA UMR Sol Agro et hydrosystème Spatialisation	Gascuel-Odoux Chantal Grimaldi Catherine Salmon Monviola Jordy	DR2 CR1 IE
INRA-AgroParisTech <i>Equipe Sol</i> Environnement et Grandes Cultures.	Yves Coquet Pierre Benoit Valérie Bergheaud Joël Michelin Christophe Labat Valérie Dumény	PR1 CR1 AI MC TR TR
ARVALIS-Institut du Végétal	Benoit Réal Julie Maillet-Mezeray	IE IE
UIPP. Union des Industries de la Protection des Plantes	Nicolas Marquet Christian Guyot	Expert Expert

2. RECAPITULATIF DE L'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Tableau 1: Etat d'avancement des tâches prévues dans le projet

Tâche	Termi- né	En cours ¹	A faire
I. Modélisation aux échelles d'intérêt			
I.1 Définition des scénarios d'usage <ul style="list-style-type: none"> • Fontaine du Theil • Morcille 	terminé	70%	
I.2 Modélisation à l'échelle de la parcelle <ul style="list-style-type: none"> • Fontaine du Theil • Morcille 		80% 50%	
I.3 Modélisation des éléments du paysage <ul style="list-style-type: none"> • Bandes enherbées • Fossés • Routes • Talus-haies 		90% 50% 50%	A faire
I.4 Modélisation à l'échelle du bassin versant <ul style="list-style-type: none"> • Fontaine du Theil • Morcille 			A faire A faire
II. Structuration des chroniques simulées dans un entrepôt de données spatio-temporelles			
II.1 Modèle de représentation des données <ul style="list-style-type: none"> • Fontaine du Theil • Morcille 		80% 70%	
II.2 Elaboration d'un entrepôt de données <ul style="list-style-type: none"> • Fontaine du Theil • Morcille 		70% 50%	
III. Agrégation à l'échelle du bassin versant			
Mise au point de la technique d'agrégation à l'échelle du bassin versant		15%	
Validation de l'outil d'aide à la décision SACADEAU sur la Fontaine du Theil		70%	
Analyse de sensibilité aux différentes échelles de modélisation, pistes pour la transposition de la méthode		50%	
Confrontation aux données existantes			A faire

3. COMMENTAIRE DES DIFFERENTES TACHES

Les différents axes et sous axes structurant le projet initial sont repris pour présenter l'avancement du projet. Toutefois, certains points étant étroitement interconnectés, ce découpage est parfois artificiel.

Axe 1. Modélisation aux échelles d'intérêt

1.1 Définition des scénarios d'usage

Il s'agissait ici de définir les scénarios « type » servant de base à la modélisation du transfert : substances actives utilisées, doses et dates d'application en fonction du climat et du développement des plantes.

Pour le bassin de la Fontaine du Theil, où le calendrier des itinéraires culturaux est connu sur chaque parcelle entre 1998 et 2006, le travail a été effectué en se basant sur les itinéraires réels enregistrés sur un panel de parcelles recouvrant la variété constatée des sols du bassin. Les cultures considérées sont le blé d'hiver et le maïs et, pour chaque parcelle, quatre années ont été retenues : deux en début de suivi (utilisation de molécules ensuite interdites ; beaucoup de traitements en pré-levée) et deux en fin de suivi (atrazine interdite, stratégies de traitement plus techniques). Les substances actives suivies sont l'isoproturon et le ioxynil pour le blé, et l'atrazine, le diméthénamid et la sulcotrione pour le maïs.

Sur le bassin de la Morcille, les enquêtes réalisées sur les pratiques de désherbage ont montré qu'il est pour l'instant difficile de dégager des itinéraires techniques « type » : dans cette période de forte évolution, liée pour partie à la récente interdiction du diuron et pour partie au contexte socio-économique difficile dans le Beaujolais, mais aussi à une prise en compte accrue des problématiques environnementales, les viticulteurs « expérimentent » différentes stratégies de gestion de leurs parcelles, notamment pour ce qui concerne l'enherbement inter-rang. On peut noter toutefois qu'un recours accru à l'enherbement ne s'accompagne pas, pour l'instant, d'un usage moindre de fongicides, comme on aurait pu s'y attendre (pression fongique moindre sur les parcelles à l'inter rang enherbé). Dans ce contexte, des itinéraires techniques « type » ont été construits pour les années 2008 (avant l'interdiction du diuron et de la procymidone) et 2010, à la fois pour les herbicides et les fongicides, en y intégrant notamment les molécules fréquemment quantifiées dans le cours d'eau. Toutefois, compte tenu du nombre élevé de substances actives impliquées, il est nécessaire de faire un choix de celles qui seront prises en compte pour la modélisation. On a en particulier retenu le diuron du fait du grand nombre de résultats déjà acquis sur le transfert de cette substance sur la Morcille. On a par ailleurs ciblé le glyphosate, compte tenu du développement important de l'enherbement et de l'augmentation du recours à cette substance. Enfin, on a choisi a minima un fongicide, le tébucozanol, qui figure parmi les substances les plus retrouvées dans le cours d'eau. La liste des fongicides sera complétée pour la modélisation en fonction des scénarios types qui seront retenus.

1.2 Modélisation à l'échelle de la parcelle

Il s'agit ici de modéliser les scénarios élaborés dans l'axe 1.1. Compte tenu de la mise à disposition annoncée d'une version du modèle MACRO (Jarvis, Stahli et al. 1994,) simulant également le ruissellement, et du fait que le modèle PRZM semble peu adapté pour représenter le ruissellement sur sols saturés rencontrés sur les bassins d'application, il a été décidé de mettre en œuvre uniquement le modèle MACRO (version 5.2) dans cette étape de modélisation à l'échelle de la parcelle.

Sur le bassin de la Fontaine du Theil, la carte pédologique existante (réalisée selon la méthode « 4 critères » bien adaptée aux sols du grand ouest, (Montagne 1998)) et les mesures des caractéristiques hydrodynamiques des sols réalisées sur une dizaine de stations (Fabre 2010) ont été utilisées pour regrouper les 25 unités cartographiques de sol présentes sur le bassin en 4 grands types de sol, au comportement hydrodynamique considéré comme homogène. Les données de granulométrie, de densité apparente et de teneur en carbone organique des horizons ont servi à définir les paramètres hydrodynamiques utilisés par le modèle MACRO, en utilisant les fonctions de pédotransfert issues du

projet Footprint et incluses dans le modèle. L'analyse des données de piézométrie collectées sur un transect situé en milieu de bassin a permis de définir les conditions à la limite à utiliser par le modèle selon la position de la parcelle considérée sur le versant (Fabre 2010) et un travail spécifique a été mené, en s'appuyant sur une modélisation bidimensionnelle via Hydrus2D, pour déterminer une paramétrisation permettant de rendre compte de l'influence de la pente, en zone de bas fond, où l'on considère que la nappe évolue dans le profil modélisé.

Enfin, un ensemble de scénarios a été construit pour balayer l'ensemble des situations paraissant réalistes, en termes de croisement [sol * pente * type d'année climatique * culture * stratégie de traitement]. Les simulations sont en cours.

Sur ce bassin où la connaissance des caractéristiques hydrodynamiques des sols est imparfaite, il a été décidé de nous concentrer sur l'étude de la sensibilité des résultats aux dates de traitement, en fonction des années climatiques et des stratégies de traitement : les simulations sont dans un premier temps réalisées en prenant en compte les dates réelles de traitement pour chaque année ; on explorera ensuite l'influence de traitements réalisés 2, 4, 6, 8, 10 jours avant ou après la date réelle ; enfin, un travail équivalent sera réalisé en se basant sur des dates théoriques de traitement, déterminées à partir du degré de développement estimé des cultures (évalué en degré-jours pour des cultures « moyennes »).

Sur le bassin de la Morcille, la carte pédologique existant (Giraud 2009) a été affinée et les caractéristiques hydrodynamiques des différents types d'horizons pédologiques ont été déterminées : granulométrie, densité apparente, teneur en carbone organique, courbe de rétention en eau, conductivité hydraulique sous faible succion (Van Den Bogaert 2011). Les observations ont permis de proposer un schéma de fonctionnement hydrologique pour les différents types de versant. Les mesures ont clairement confirmé l'aspect bimodal des caractéristiques des sols, que l'on suspectait (rôle significatif des macropores attendu). Les données obtenues ont permis de définir les paramètres hydrodynamiques qui seront utilisés pour la modélisation, en combinant l'utilisation des fonctions de pédotransfert issues de Footprint et une correction « à la main » des paramètres directement dérivables des mesures, afin de tirer le meilleur parti à la fois des données mesurées et des connaissances sur le comportement général des sols incluses dans les fonctions de pédotransfert.

Par ailleurs, les propriétés de dégradation et d'adsorption de quelques horizons (surface et subsurface, sur chaque unité cartographique de sol) vis-à-vis du diuron, du glyphosate et du tébuconazole sont actuellement en cours d'étude. Une fois ces résultats acquis, on pourra procéder à la phase de modélisation à l'échelle de la parcelle sur le site de la Morcille. Une attention particulière sera apportée aux conditions aux limites à utiliser pour permettre de rendre compte du socle rocheux et de la pente sur les écoulements de subsurface.

L'ensemble des résultats acquis sera structuré dans des entrepôts de données (Axe 2.2)

1.3 Modélisation des éléments du paysage

Le modèle VFSSMOD, simulant le devenir d'eau, de matières en suspension et de pesticides au sein d'une bande enherbée ou boisée (Muñoz-Carpena 1993 ; Sabbagh, Fox et al. 2009) a été adapté pour pouvoir prendre en compte l'effet d'une nappe sous-jacente sur l'efficacité d'une bande enherbée (Muñoz-Carpena, Lauvernet et al. Soumis). En parallèle, un guide et des outils permettant de construire des scénarios agro-pédo-climatiques réalistes d'hydrogrammes de ruissellement entrant sur une bande enherbée ou boisée, puis d'estimer son efficacité a été finalisé (Carluer, Fontaine et al. 2011). Le bassin versant de la Fontaine du Theil a servi de site test, et des gammes d'efficacité des bandes enherbées, en fonction de leur emplacement et des événements ruisselants reçus, sont donc disponibles.

Un travail équivalent est prévu sur le site de la Morcille, où il pourra rapidement être mené à bien compte tenu des données disponibles.

Pour ce qui concerne les fossés, un tel travail de modélisation n'est pas prévu, le modèle habituellement utilisé pour simuler le transfert de pesticides dans les fossés (Toxswa, (Adriaanse 1990)) n'étant pas adapté aux petits fossés à écoulement turbulent présents sur les sites d'application.

On se basera donc sur les résultats des thèses menées sur le sujet (Margoum 2003; Boutron 2009) ainsi que sur les résultats issus d'un projet précédent mené dans le cadre de cet appel d'offre (Carluier, Ackerer et al. 2004) pour estimer des classes d'abattement, en fonction des caractéristiques des fossés (gabarit, pente, substrat) et des écoulements qu'ils collectent.

Pour les haies, haies sur talus, ou routes, une première réflexion a été menée.

1.4 Modélisation à l'échelle du bassin versant

Il s'agit ici de mettre en œuvre un modèle hydrologique pour « router » les débits et flux de solutés modélisés à l'échelle de la parcelle.

Le modèle initialement envisagé était TopModel (Beven 1991; Saulnier 1996), adapté à la compréhension que l'on a des écoulements dominants sur les deux bassins d'application (écoulements subsurfaciques latéraux sur socle peu profond). La réflexion porte toutefois actuellement sur l'utilisation d'un modèle alternatif, CMF (Catchment Modeling Framework ; (Kraft, Multsch et al. 2010; Kraft 2012)), dont la structure très modulaire semble permettre de pouvoir coupler de façon souple les flux issus du modèle à l'échelle de la parcelle et une représentation adaptée des processus hydrologiques à l'échelle du bassin versant, tout en respectant la distribution des parcelles dans le bassin et l'influence des éléments du paysage sur les flux transférés : a priori équation de Darcy pour les écoulements subsurfaciques, onde cinématique pour le ruissellement et représentation simplifiée des échanges nappe-rivière. TopModel n'est pas définitivement écarté ; toutefois, le fait que la représentation qu'il fait des écoulements de subsurface sous estime la profondeur de la nappe en haut de versant et qu'il n'est pas totalement distribué (approche semi distribuée liée à l'index topographique de Beven et Kirby) incite à explorer des solutions alternatives. L'utilisation du modèle CMF (ou plus exactement la modularité de sa structure) semble séduisante car offrant une solution évolutive du point de vue de la représentation des différents processus en jeu (soit par suite de l'amélioration de certains modules, soit par suite d'une compréhension affinée du fonctionnement hydrologique du site d'application). Des échanges sont en cours avec l'Université de Giessen, et l'utilisation de CMF est fortement envisagée dans le cadre d'une thèse se déroulant au sein de l'équipe Pollutions Diffuses, ce qui assurerait une bonne maîtrise de l'outil et de ses capacités ou limites.

Axe 2 : Structuration des chroniques simulées dans un entrepôt de données spatio-temporelles

2.1 Modèle de représentation des données

Les données relatives aux bassins versants d'application sont structurées dans un outil informatique commun, constitué d'un Système d'information transactionnel (SIT) et d'un entrepôt de données. Le modèle de données général, réalisé dans l'atelier de génie logiciel Objecteering, est structuré en quatre sous-modèles : **a** - le modèle **Bassin versant**, qui décrit les éléments du paysage présents sur le bassin versant ; **b** - le modèle **Connectivité hydrologique**, qui permet de décrire et qualifier les connexions entre les différents éléments du paysage selon la topologie des écoulements, **c** - le modèle **Activités métrologiques**, qui décrit l'instrumentation ainsi que les protocoles de mesure et d'échantillonnages appliqués sur le bassin versant et **d** - le modèle **Activités agricoles**, qui inclut la description des itinéraires culturels, calendrier de traitement, éléments socio-économiques relatifs aux exploitations présentes sur le bassin.

Les modèles a, b et d ont été implémentés sur les deux sites d'application, pour l'instant toutefois sans redécouper les éléments constituant le bassin versant en éléments homogènes. La réflexion a démarré sur les critères à prendre en compte de façon prioritaire pour découper les parcelles, fossés, haies ... en éléments homogènes, mais reste à stabiliser. De même, la méthode envisagée pour formaliser les connexions topologiques entre éléments homogènes (surfaciques, linéaires ou ponctuels) reste à tester et automatiser.

2.2. *Elaboration d'un entrepôt de données*

Le projet s'appuie sur une architecture informatique de type entrepôts de données (ED), l'originalité étant que ce sont ici les chroniques résultant des simulations numériques des modèles de simulation (TopModel, CMF, etc.) à l'échelle des différents éléments d'intérêt (parcelle ou élément du paysage, versant ou bassin versant pour le modèle hydrologique) qui sont stockées dans l'entrepôt.

Ce type de solution facilitera ensuite la remobilisation des chroniques simulées issues de scénarios (climatiques, d'occupation du sol) cohérents entre eux.

La structure d'un tel entrepôt a été construite pour les résultats de simulation à l'échelle de la parcelle et alimentée avec des résultats de simulation du MACRO sur la Fontaine du Theil. Il a permis de tester différents types d'agrégation (notamment concentrations moyennes ou concentrations de flux à différentes échelles de temps)(Bouilil, Pinet et al. Soumis).

Voici comment nous avons procédé pour concevoir cet entrepôt de résultats de simulation : récemment, les auteurs de (Mahboubi, Faure et al. 2010) avaient proposé une structure générique pour faciliter la construction d'ED destiné à stocker des résultats de simulation. Ce schéma générique fournit les principaux éléments qui doivent être définis lors de la conception de ce type de base de données. Nous avons donc adapté cette structure générique pour concevoir un ED pour les résultats de MACRO et l'avons implémenté. Cette première version du prototype d'entrepôt a été mise en œuvre dans le système de gestion de bases de données Postgresql. L'outil Jrubik a fourni une interface graphique pour visualiser les résultats. Nous continuons à améliorer cet ED afin qu'il réponde au mieux aux besoins dans le cadre de ce projet, notamment en terme de fouille et d'analyse de données permettant de dégager des indicateurs de transfert.

Axe 3 : Agrégation à l'échelle du bassin versant

3.1 Mise au point de la technique d'agrégation à l'échelle du bassin versant

La Figure 1 rappelle la démarche générale prévue au sein de cet axe, qui s'appuie sur le stockage des résultats de simulation de scénarios « type » à l'échelle locale (parcelle ou élément du paysage) dans des entrepôts de données, puis la remobilisation de ces résultats pour représenter des scénarios réalistes à l'échelle du bassin (distribution des sols, occupation du sol, climat, date de traitement ...) et évaluer les niveaux de contamination résultant à l'exutoire.

Le travail au sein de ce sous-axe n'a pas réellement commencé, bien que la réflexion soit amorcée. En effet, le départ de la doctorante en charge d'explorer les solutions possibles pour l'agrégation a retardé l'avancement de ces axes. Le fait de disposer très prochainement, pour le bassin de la Fontaine du Theil :

- de chroniques simulées de débit et concentration à l'échelle de la parcelle pour différents scénarios de [climat * sol * stratégie de traitement],
- de taux d'efficacité de zones tampons enherbées pour différents scénarios de [position * dimension * ruissellement entrant],
- du type de modèle hydrologique finalement choisi pour transférer les flux calculés,

permettra d'asseoir la réflexion de façon plus concrète, et d'effectuer des tests sur les choix possibles, ce qui n'a guère de sens avec des jeux de données complètement virtuels.

Par ailleurs, l'exploitation « directe » des entrepôts de données permettra le calcul d'indicateurs « classiques » du risque de contamination des eaux par les pesticides, ou de pression d'utilisation (Bouilil, Pinet et al. Soumis).

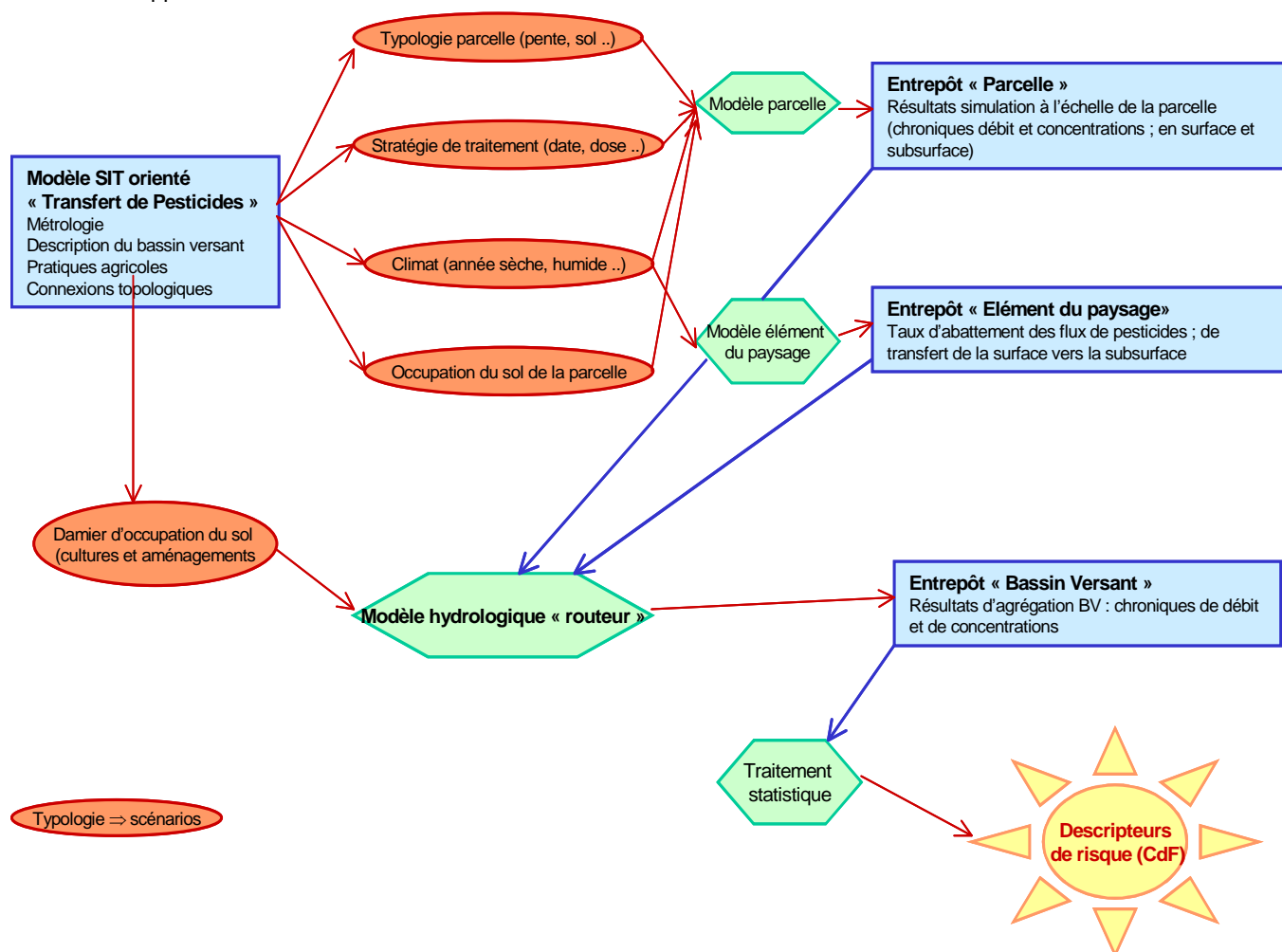


Figure 1 : Schéma de principe de l'agrégation des chroniques de simulation à l'échelle de la parcelle à l'échelle du bassin versant.

3.2 Validation de l'outil d'aide à la décision SACADEAU sur la Fontaine du Theil

L'outil SACADEAU (Gascuel-Oudou, Arousseau et al. 2009) a été mis en œuvre sur la Fontaine du Theil pour le désherbage du maïs (Doyen 2010). Seul le module simulant le transfert de phytosanitaires a été utilisé. En effet, le module décrivant les règles de décision des agriculteurs était difficilement utilisable sur un bassin aussi petit et guère utile sur ce BV où toutes les pratiques culturales sont enregistrées et dont la surface est trop réduite pour pouvoir y déployer les règles de décision utilisées dans SACADEAU (les exploitations considérées doivent être pour la majeure partie de leur surface incluses dans le bassin). L'arbre d'exutoires de parcelles a été construit ; le modèle hydrologique TopModel calé sur le bassin, et le module de transfert de pesticides appliqué pour l'atrazine et le dimethenamid. L'arbre d'exutoires manque de « profondeur », compte tenu de la relative faible longueur des versants sur ce bassin ; quelques parcelles sont hydrologiquement déconnectées du réseau hydrographique par des haies ou talus. TopModel donne des résultats satisfaisants du point de vue des débits simulés ; il prédit toutefois une part très majoritaire d'écoulement de subsurface par rapport au ruissellement, sauf pendant les fortes crues d'hiver. Le ruissellement n'est certes pas une voie d'écoulement majoritaire sur ce bassin (Heuclin, 1998) mais y est néanmoins observé. Cela tient peut-être à une description des états de surface qui mérite d'être mieux adaptée aux observations réalisées sur le bassin. Les simulations de transfert de pesticides sont en revanche très décevantes, les concentrations simulées étant faibles et retardées par rapport aux concentrations observées. Un test de sensibilité au paramètre décrivant la porosité de drainage dans TopModel a été effectué, montrant l'influence de ce paramètre sur le partage des quantités transférées en surface et subsurface ; l'exploration de l'influence des caractéristiques physico-chimiques des

molécules a conduit à des résultats allant à l'encontre des résultats attendus (augmentation des quantités d'atrazine exportée si le Koc augmente ...).

Au total, le test de SACADEAU a conforté la nécessité d'améliorer la représentation du devenir des pesticides dans le sol au sein d'un tel outil. Il a aussi mis en évidence la complexité de la construction de l'arbre d'exutoires, qui reste à être validé sur le terrain, si possible en temps de pluie pour pouvoir observer les chemins d'écoulement et connexions en surface.

Pour la suite, il est envisagé, en se basant sur l'occupation du sol et sur les dates de traitement constatées une année, ainsi que sur l'évolution supposée des états de surface, d'évaluer l'évolution dans le temps des stocks de substance actives « connectées » à la rivière. Les résultats acquis seront confrontés aux concentrations moyennes hebdomadaires mesurées, pour estimer si on peut ou non identifier un lien. On rappelle que le test de SACADEAU devait permettre d'alimenter la réflexion sur la méthode d'agrégation à l'échelle du bassin versant, tant du point de vue du découpage de l'espace que du point de vue de l'articulation entre le modèle de genèse des flux et le modèle hydrologique permettant de les transférer à l'exutoire.

3.3 Analyse de sensibilité aux différentes échelles de modélisation, pistes pour la transposition de la méthode

Cette étape doit être menée aux différentes échelles de modélisation pour permettre d'identifier : **a** - les données et paramètres les plus influents et donc ceux sur lesquels faire porter l'effort d'acquisition, **b** - les limites des « classes » définissant les différents scénarios, **c** - dans quelle mesure il faut représenter la distribution réelle des objets du paysage sur un bassin, et dans quelle mesure une approche statistique peut suffire, **d** - le niveau de détail nécessaire et suffisant pour décrire les différents objets du bassin, compte tenu de l'agrégation qui advient in fine, pour la transposition ultérieure à d'autres bassins.

Pour ce qui concerne la modélisation à l'échelle de la parcelle, compte tenu des données disponibles sur les sites d'application (interventions culturales répertoriées de façon exhaustive sur la Fontaine du Theil, connaissances sur les sols lacunaires / itinéraires culturaux connus avec moins de précision sur le bassin de la Morcille, étude assez complète des caractéristiques hydrodynamiques des sols et de leur capacité de rétention et de dégradation de quelques substances actives), il a été décidé de mettre l'accent sur l'analyse de la sensibilité aux dates et stratégies de traitement sur la Fontaine du Theil et à la description des sols sur la Morcille.

Pour le bassin de la Fontaine du Theil, on simulera les transferts de solutés en ruissellement et en subsurface pour chaque classe de [sol * pente* climat] d'abord en respectant la date réelle d'application, ensuite en testant des dates avoisinantes, ainsi que pour la date estimée à partir du développement phénologique de la culture (évaluée à partir des degrés.jours cumulés depuis le semis) et les dates avoisinantes. L'influence des différentes stratégies de traitement rencontrées sur le bassin sera également évaluée.

Pour le bassin de la Morcille, on évaluera l'influence des paramètres utilisés pour décrire l'hydrodynamique des sols (estimés à partir des données de rétention en eau et de conductivités hydrauliques acquises sur le terrain, à partir de fonction de pédo-transfert, d'un mélange des deux), de la variabilité de l'épaisseur des horizons pédologiques constituant chaque profil, ainsi que des paramètres décrivant les propriétés d'adsorption et de dégradation des horizons.

Une version en ligne de commande du modèle MACRO a été couplée au logiciel d'analyse de sensibilité PEST, (Doherty 2004) ce qui permet de réaliser simulations et analyses de sensibilité de façon intensive (Cheviron, Carluet et al. 2012). Ce couplage a été complètement paramétré pour l'application sur la Fontaine du Theil et le paramétrage est bien avancé pour la Morcille. Il permet « d'alimenter » rapidement les entrepôts de résultats de simulation, en réalisant en parallèle les analyses de sensibilité nécessaires.

Une analyse de sensibilité a également été menée pour la version du modèle VFSSMOD permettant la représentation de l'influence de la nappe (Lauvernet, Munoz-Carpena et al. 2011; Lauvernet, Munoz-Carpena et al. En préparation). Elle a illustré la nécessité de prendre en compte la nappe, selon les scénarios agro-pédo-climatiques considérés.

3.4 Confrontation aux données existantes

Compte tenu de l'avancement du projet, et du fait que l'on ne dispose pas encore de descripteurs évalués de la qualité de l'eau à l'exutoire des sites d'application, cette étape n'a pas encore démarré

L'acquisition de données chimiques et biologiques sur le site de la Morcille se poursuit toutefois, ce qui permet d'étendre le panel de données mobilisables pour la confrontation à venir. En parallèle, les connaissances sur l'adaptation microbienne des biofilms aux pesticides progressent également (Pesce, Martin-Laurent et al. 2009) ce qui permettra d'améliorer la pertinence de la confrontation chimique/biologique.

4. CALENDRIER PREVISIONNEL DE FIN DE PROJET

Le cas échéant, indiquer et justifier les changements par rapport au calendrier prévisionnel

Le départ de la doctorante dont le sujet de thèse constituait le cœur du projet (Mise au point d'indicateurs de risque de contamination des eaux par les phytosanitaires à l'échelle du petit bassin versant. Prise en compte des dimensions spatiales et temporelles) a retardé le déroulement du projet. Notamment, les simulations à l'échelle de la parcelle sont moins avancées qu'il n'était prévu dans le calendrier initial, et la réflexion sur l'agrégation à l'échelle du bassin n'en est qu'à ses débuts, alors qu'il devait s'agir du point central du projet.

Des solutions alternatives sont toutefois en cours ou prévues, notamment en s'appuyant sur des emplois temporaires, basés sur des financements complémentaires. La difficulté dans ce contexte est de veiller à la cohérence de l'ensemble.

Compte tenu de ces éléments, **une prolongation de 6 mois du projet** serait la bienvenue, pour permettre d'absorber la nécessaire réorganisation induite par cette défection.

Il est difficile de fournir un calendrier de fin de projet tant que la décision sur cette prolongation n'est pas connue. Quoiqu'il en soit, une fois les simulations à l'échelle de la parcelle « stockées » dans les entrepôts de données, au moins pour la Fontaine du Theil, l'accent sera mis sur le découpage de l'espace et le modèle hydrologique, afin de pouvoir ensuite tester différentes méthodes d'agrégation.

5. PREMIERS ACQUIS EN TERMES DE TRANSFERT (METHODES, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES)

La méthode développée au cours de ce projet permettra à terme d'évaluer le risque de contamination des eaux de surface par les phytosanitaires à l'échelle d'un petit bassin versant, et d'évaluer a priori l'efficacité de changements de pratiques ou d'aménagements du territoire, dans l'objectif d'atteinte du bon état du milieu. Le projet n'a toutefois pas vocation à produire des résultats directement opérationnels.

On peut citer toutefois Cemafor, qui résulte du couplage de la version en ligne de commande du modèle MACRO et du logiciel d'analyse de sensibilité PEST. Ceci permet de réaliser de façon « intensive » calage et analyse de sensibilité du modèle MACRO. La méthode est maintenant au point, y compris pour des applications dans d'autres contextes, et le concepteur du modèle MACRO est intéressé à la tester.

L'application du modèle SACADEAU sur la Fontaine du Theil a mis en évidence que la réalisation de l'arbre d'exutoires, étape préliminaire indispensable à la mise en œuvre du modèle, reste pour l'instant difficile à réaliser pour un non spécialiste de l'outil, ce qui nuit à son caractère opérationnel, malgré le côté très pédagogique de l'arbre d'exutoires final.

Dernièrement, des contacts ont été établis avec les responsables du projet Observox (<http://siabave.fr/cellule-contrat-global/observox.html>) dont le but est de créer un Observatoire Orienté Xénobiotiques. Ce projet s'inscrit dans le programme de recherche AQUAL « Lutte contre les pollutions diffuses en milieu rural sur le bassin versant de la Vesle », qui est un bassin versant alimentant Reims en eau potable. Le projet Observox prévoit de construire un Système d'Information pour le suivi des pratiques agricoles et des pesticides. Des discussions sont en cours avec Aurélie

Fisher, en charge de l'animation du projet Observox, et Éric Desjardin, coresponsable avec Marc Benoît du suivi scientifique, pour transférer les modèles et l'approche développée dans le cadre des projets SIE Pesticides et Miriphyque.

6. VALORISATION DES TRAVAUX

- Boulil, K., F. Pinet, S. Bimonte, N. Carluer, C. Lauvernet, B. Cheviron, A. Miralles and J.-P. Chanet (Soumis). "Using Data Warehouses for Dstorage and Visualization of Simulation Model Results." *Environmental Modelling and Software*.
- Carluer, N., V. Gouy, C. Lauvernet, A. Miralles, F. Pinet, S. Bimonte, C. Gascuel-Oudou, C. Grimaldi, Y. Coquet, P. Benoit, B. Réal, J. Maillet-Mezeray, N. Marquet and C. Guyot (2011). Building risk indicators of surface water contamination by pesticides at the smallcatchment scale. Taking in account spatial and temporal dimensions. Support for risk assessment and management: MIRIPHYQUE project. Innovative approaches for the management of environmental risks from plant protection products, Montpellier, France.
- Cheviron, B., N. Carluer and J. Moeys (2012). "Controlling Solute Movements with Cemafor." Tutorial du logiciel CeMaFor, permettant de coupler Pest (logiciel d'analyse de sensibilité) et MACRO (modèle de simulation des transferts de pesticides dans les sols).
- Doyen, J. (2010). Validation de l'outil d'aide à la décision SACADEAU sur la qualité de l'eau et les pratiques agricoles. Application au bassin versant de la Fontaine du Theil (35). Strasbourg, Rapport de TFE. Engées: 72 pp + annexes.
- Lauvernet, C., R. Munoz-Carpena, et al. (2011). Evaluation of a mechanistic algorithm to calculate the influence of a shallow water table on hydrology, sediment and pesticide transport through vegetative filter strip. XIV Symposium in Pesticide Chemistry, Piacenza. Italy.
- Le Hénaff, G., V. Gouy and C. Margoum (2012). Changement des pratiques phytosanitaires en Beaujolais de coteaux : caractérisation en 2009 et 2010, évolution par rapport à 2001 et impact sur la qualité de l'eau 42è congrès du Groupe Français des Pesticides. Poitiers.
- Pinet, F., A. Miralles, S. Bimonte, F. Vernier, N. Carluer, V. Gouy and S. Bernard (2010). The use of UML to design agricultural data warehouses. AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering Clermont-Ferrand, FRA.
- Van Den Bogaert, R. (2011). Typologie des sols du bassin versant de la Morcille, caractérisation de leurs propriétés hydrauliques et test de fonctions de pédotransfert, UPMC. AgroParisTech: 55 pp.

7. RÉFÉRENCES

- Adriaanse, P. I. (1990). Fate of pesticides in field ditches : the TOXSWA simulation model. *Pays bas*.
- Beven, K. (1991). Spatially distributed modeling: conceptual approach to runoff prediction. *Recent advances in the modelling of hydrologic systems*, Bowles D.S and O'CONNEL P.E. NATO EDITIONS: 373.387.
- Boulil, K., F. Pinet, et al. (Soumis). "Using Data Warehouses for Dstorage and Visualization of Simulation Model Results." *Environmental Modelling and Software*.
- Boutron, O. (2009). Boutron O. 2009. Etude de l'influence de l'hydrodynamique sur le transfert des produits phytosanitaires dans les fossés agricoles. Approches expérimentale et numérique. , Université Claude Bernard, Lyon 1 - IRCE Lyon: 255.
- Carluer, N., P. Ackerer, et al. (2004). Rôle des aménagements d'origine anthropique (dispositifs enherbés et fossés) dans le transfert et la dissipation des produits phytosanitaires en bassin versant agricole. Modélisation en vue d'apprécier les effets des aménagements et des pratiques agricoles sur la

- contamination des eaux de surface., Rapport final. Programme Pesticides du MEDD (SUBVENTION N° 01106 DU 23 MARS 2001): 120 pp.
- Carlier, N., A. Fontaine, et al. (2011). Guide de dimensionnement des zones tampons enherbées ou boisées pour réduire la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires, Cemagref. DGPAAT du Ministère en charge de l'Agriculture.
- Cheviron, B., N. Carlier, et al. (2012). "Controlling Solute Movements with Cemafor." Tutorial du logiciel CeMaFor, permettant de coupler Pest (logiciel d'analyse de sensibilité) et MACRO (modèle de simulation des transferts de pesticides dans les sols).
- Doherty, J. (2004). PEST: Model-independent parameter estimation. User Manual. t. e. W. N. Computing. Brisbane, QLD, Australia.
- Doyen, J. (2010). Validation de l'outil d'aide à la décision SACADEAU sur la qualité de l'eau et les pratiques agricoles. Application au bassin versant de la Fontaine du Theil (35). Strasbourg, Rapport de TFE. Engees: 72 pp + annexes.
- Fabre, M. F. (2010). Caractérisation hydrodynamique de l'aquifère de la Fontaine du Theil, Irstea: 39 pp.
- Fabre, M. F. (2010). Estimation et spatialisation des propriétés physiques des sols du bassin de la Fontaine du Theil, Irstea: 47 pp.
- Gascuel-Oudou, C., P. Arousseau, et al. (2009). "A decision-oriented model to evaluate the effect of land use and agricultural management on herbicide contamination in stream water." Environmental Modelling and Software **24**: 1433-1446.
- Giraud, R. (2009). Développements méthodologiques pour la validation et l'enrichissement d'une base d'information sur les sols en Beaujolais viticole en appui à l'évaluation du risque de contamination des eaux par les pesticides. , Université de Rennes 1 -: 32.
- Jarvis, N. J., M. Stahli, et al. (1994). Simulation of dichlorprop and bentazon leaching in soils of contrasting texture, using the MACRO model. J. Environ. Sci. health. **A29**: 1255-1277.
- Kraft, P. (2012). A hydrological programming language extension for integrated catchment models. Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement, Justus-Liebig-Universität Giessen: 116 pp.
- Kraft, P., S. Multsch, et al. (2010). "Using Python as a coupling platform for integrated catchment models." Advances in Geosciences **27**, **51-56**: 51-56.
- Lauvernet, C., R. Munoz-Carpena, et al. (En préparation). "Quantification of shallow water table effects on vegetative filter strips runoff, sediment and pesticides trapping efficiency." Advances in Water Resources.
- Lauvernet, C., R. Munoz-Carpena, et al. (2011). Evaluation of a mechanistic algorithm to calculate the influence of a shallow water table on hydrology, sediment and pesticide transport through vegetative filter strip. XIV Symposium in Pesticide Chemistry, Piacenza. Italy.
- Mahboubi, H., T. Faure, et al. (2010). "A Multidimensional Model for Data Warehouses of Simulation Results." International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems **1**(2): 1-19.
- Margoum, C. (2003). Contribution à l'étude du devenir des produits phytosanitaires lors d'écoulements dans les fossés : caractérisation physico-chimique et hydrodynamique. Environnement et santé. Grenoble, Université Joseph Fourier. Grenoble I: 243 pp.
- Montagne, S. (1998). Diagnostic agropédologique. Bassin versant expérimental de la Fontaine du Theil. 28 p., Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Villaine.: 28.
- Muñoz-Carpena, R. (1993). Modeling hydrology and sediment transport on vegetative filter strips., North Carolina State Univ. **Ph D dissertation**.
- Muñoz-Carpena, R., C. Lauvernet, et al. (Soumis). "Simplified mechanistic algorithm for unsteady rainfall infiltration and water content distribution in soils with a shallow water table." Advances in Water Resources.
- Pesce, S., F. Martin-Laurent, et al. (2009). "Potential for microbial diuron mineralisation in a small wine-growing watershed: from treated plots to lotic receiver hydrosystem " Pest Management Science **65**: 651-657.
- Sabbagh, G. J., G. A. Fox, et al. (2009). "Effectiveness of Vegetative Filter Strips in Reducing Pesticide Loading: Quantifying Pesticide Trapping Efficiency. ." Journal of Environmental Quality **38**(2): 762-771.
- Saulnier, G. M. (1996). Information pédologique spatialisée et traitements topographiques améliorés dans la modélisation hydrologique par TOPMODEL, INPG. Géoscience: 275 pp.
- Van Den Bogaert, R. (2011). Typologie des sols du bassin versant de la Morcille, caractérisation de leurs propriétés hydrauliques et test de fonctions de pédotransfert, UPMC. AgroParisTech: 55 pp.

