

**Communication pour le Symposium international**

**"Territoires et enjeux du développement régional"**

**Lyon, 9-11 mars 2005**

**Evaluation de l'impact hydrologique de pratiques d'entretien du sol  
en vue de l'aide à la gestion de bassins versants viticoles méditerranéens**

**A.BIARNES\*, F.COLIN\*\*, P.RIO\*\*\***

\* IRD, UMR Lisah, \*\* Agro-M, UMR Lisah, \*\*\* INRA, UMR Lameta, 2 place Viala, 34060 Montpellier  
biarnes@ensam.inra.fr

**1. Introduction**

Le travail dont il est rendu compte ici est motivé par des préoccupations de gestion d'une ressource en eau dans un contexte de pollution diffuse d'origine agricole résultant de l'usage de pesticides, et plus particulièrement d'herbicides pour la conduite de la vigne dans le sud de la France. Ces préoccupations sont justifiées par le nombre des sites de surveillance de la qualité de l'eau concernés par une contamination en pesticides supérieure aux normes européennes sur la potabilité de l'eau. Selon l'Institut français de l'environnement, sur l'ensemble du territoire français, seulement 56% des échantillons d'eaux superficielles destinées à l'eau potable présentait en 1999 et 2000 des teneurs compatibles avec une distribution sans traitements (IFEN, 2002). Dans le sud de la France, les inventaires régionaux de la qualité des eaux réalisés par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse au cours de la même période montrent que 65% des eaux de surface et 80% des eaux souterraines sont contaminées par des pesticides (Agence de l'eau RMC, 2000 et 2001). Plus de 50% des matières actives retrouvées sont des herbicides, lesquels sont à mettre en relation avec l'importance de la culture de la vigne.

Les préoccupations de gestion de la ressource en eau dont nous nous faisons l'écho ont pour horizon l'évaluation d'une instrumentation publique visant, par des propositions techniques alternatives et/ou économiques (taxes, subventions, droits à polluer, etc.), à contrôler les émissions polluantes dans un sens favorable à l'environnement. Dans ce contexte, notre objectif est de développer une méthodologie d'évaluation de l'impact environnemental de la conduite du vignoble à destination des gestionnaires représentant une ressource en eau. Pour ce faire, nous privilégions une approche intégrée du Bassin Versant. On entend par-là la nécessité de construire simultanément une représentation crédible du fonctionnement hydrologique du milieu et des actions des usagers sur ce milieu.

Le développement de cette méthodologie doit reposer sur un outil de connaissance permettant de l'inscrire dans une démarche prospective. Pour cela, dans l'écriture du modèle hydrologique comme dans la représentation des actions des usagers, une philosophie commune conduit à préférer une approche des déterminants fonctionnels à une approche empirique. Dans le cas du modèle hydrologique, ce choix exclut l'utilisation de modèles statistiques corrélant entrée et sortie sans prise en compte explicite des processus physiques, ce qui les rend dépendant d'un jeu de données observées et donc peu aptes à s'inscrire dans une démarche prospective. Dans le cas de la représentation des choix de pratiques, construire un outil de connaissance conduit à identifier les déterminants de ces choix, permettant d'inférer des indicateurs des pratiques et fournissant une quantification

indirecte de ces dernières, mais un tel outil permet aussi, via une approche de la décision, d'évaluer les marges de manœuvre dont disposent les usagers pour satisfaire des critères de choix environnementaux désirables.

Comme le recommande la Banque Mondiale (World Bank, 2004), cette approche intégrée doit rester pertinente pour des configurations variables de structure de gestion. La législation ne définissant pas de manière explicite un gestionnaire en titre du bassin versant, la méthode s'adresse à une diversité d'interlocuteurs. Les gestionnaires envisagés peuvent être des collectifs d'agriculteurs, le maire d'une commune, les syndicats de rivière, etc., choisis de manière volontaire ou contrainte.

Le choix d'une approche intégrée s'adressant à des décideurs multiples et variés nous confronte à la nécessaire prise en compte de différentes visions de l'espace et des échelles qui y sont associées :

- l'échelle de perception politique du problème qui est régionale et résulte de l'addition de problèmes de contamination aux captages et prises d'eau potables;
- les échelles de l'action agricole qui sont diverses et non hiérarchisées a priori. Elles varient de la parcelle, jusqu'au-delà du territoire de l'exploitation, pouvant par exemple inclure le bassin d'approvisionnement d'un organisme de collecte de la production ou encore l'aire d'application de mesures agro-environnementales ;
- les échelles de fonctionnement du système hydrologique qui se limitent ici au bassin versant alimentant une ressource en eau et composé de sous-bassins dits élémentaires.

Une structure de gestion définie de manière ad hoc suite à des problèmes de contamination doit composer avec ces différentes échelles et les objets associés pour proposer des solutions correctives. Notre réponse à ces besoins nous conduit à donner une place clé à la notion de segmentation spatiale dans la modélisation hydrologique comme dans la représentation des choix de pratiques. Nous prendrons explicitement en compte les objets précédemment cités pour les intégrer dans un découpage hydrologique représentatif du fonctionnement physique du milieu et dans une représentation spatialisée des distributions de pratiques agricoles.

Le champ spatial d'une ressource en eau est constituée par son bassin d'approvisionnement (bassin versant de surface pour une prise d'eau potable directe en rivière ou bassin souterrain pour un captage souterrain) d'une taille de l'ordre de la centaine de km<sup>2</sup>. Dans notre cas d'étude des ressources en eau potable en zone viticole méditerranéenne, les problèmes avérés concernent les herbicides entraînés depuis les aires d'application (les parcelles) vers le point de captage de la ressource. Cet entraînement est doublement conditionnés par les pratiques d'entretien du sol : elles définissent d'une part les quantités de molécules appliquées et d'autre part les conditions de déclenchement du ruissellement. C'est à ce titre que notre effort portera sur ces pratiques tant du point de vue de leur caractérisation que de leur impact hydrologique.

### **1.1. *Segmentation spatiale du fonctionnement hydrologique***

En cohérence avec les objectifs annoncés précédemment, l'attendu de la modélisation hydrologique est double. Premièrement, elle vise à fournir un outil permettant une évaluation spatio-temporelle de la ressource en eau en son point de captage à l'exutoire du bassin versant à méso-échelle, mais également à l'intérieur du bassin versant afin d'être en mesure d'évaluer l'impact d'actions correctives locales. Deuxièmement, elle vise à représenter le fonctionnement du milieu physique tout en simulant de manière plausible l'impact de l'action anthropique sur les transferts.

Le premier aspect impose d'utiliser un modèle distribué s'appuyant sur une segmentation spatiale fonctionnelle des points de vue du fonctionnement hydrologique et de la gestion de l'espace. En pratique, il s'agit de découper l'espace en bassins versants élémentaires dont les exutoires peuvent servir à l'évaluation de plan d'actions correctives locales. Les études

sur le changement d'échelle en hydrologie (Wood et al., 1988, Woods et al., 1995) proposent d'utiliser des sous-bassins de l'ordre de 1 à 5 km<sup>2</sup>. Nous nous sommes donc orientés vers un tel découpage de l'espace en considérant que des surfaces de cet ordre de grandeur étaient pertinentes pour l'évaluation d'actions correctives.

Le second attendu implique de développer une démarche de modélisation basée sur les processus physiques concernés dans les transferts d'eau et de solutés. Parmi les modèles existants (Uhlenbrook et al., 2004), on trouve les approches physiques distribuées reposant sur un découpage régulier de l'espace, le plus couramment en mailles carrées (i.e. Système Hydrologique Européen, Abbott, et al., 1986). Ces approches maillées, si elles permettent de résoudre au mieux les équations de fonctionnement hydrologique, nécessitent énormément de données de paramétrage mesurées dans l'espace et le temps. Ces modèles ne peuvent donc pas être mobilisés dans une démarche aisément reproductible pour l'aide à la décision. La deuxième famille de modèles rencontrée repose sur des approches distribuées en objets (i.e. Soil and Water Assessment Tools, Arnold et al., 1993). L'espace est alors découpé en sous-bassins versants (les objets) qui sont caractérisés globalement et agrégés dans un schéma de fonctionnement simplifié du bassin général. La paramétrisation de ces modèles est beaucoup plus légère que pour les approches maillées et peut être optimisée par une étape de calibration. Plus aptes à la simulation qu'à la prévision, ces modèles sont inopérants à évaluer l'impact de changements internes aux objets.

Pour ces raisons, le modèle proposé tente une synthèse entre les deux types d'approches en mobilisant des références expérimentales acquises sur un bassin de recherche et un modèle à base physique de bassin versant élémentaire pour paramétrier un modèle simplifié à méso-échelle (Christin, 2004).

## **1.2. Connaissance des pratiques et de leur répartition spatiale**

La construction et l'utilisation d'un modèle hydrologique distribué pour évaluer les risques environnementaux et l'efficacité des instruments de contrôle des pollutions nécessite l'acquisition de données spatialisées sur les pratiques culturales. Ces pratiques résultent de décisions prises par des acteurs variés à différents niveaux de gestion (parcelle, groupe de parcelles, territoire de l'exploitation, bassin d'approvisionnement des organismes de collecte de la production, etc.) et dont la conséquence est une répartition spatiale complexe des pratiques sur une région donnée.

Cette complexité rend l'acquisition de données sur les pratiques difficile, le recours lourd et coûteux à des enquêtes exhaustives n'étant pas envisageable à l'échelle de travail envisagée. Elle explique la faible disponibilité de données spatialisées sur les pratiques, l'utilisation de données moyennes sur les conduites techniques des cultures couplées à des données d'occupation du sol, les évaluations à dire d'experts ou basées sur des recommandations techniques (Mignolet et al., 2004 ; Bioteau et al., 2002).

De tels contournements ne sont pas envisageables ici, notre intérêt portant sur la forte diversité possible des pratiques d'entretien du sol sous vigne. Les viticulteurs ont en effet à leur disposition trois techniques principales pour entretenir les sols de vigne : le désherbage chimique, le désherbage mécanique, et l'enherbement. Les pratiques d'entretien du sol résultent de la mise en œuvre concrète de ces trois techniques qui peuvent être diversement combinées dans le temps et au sein d'une parcelle avec une différenciation éventuelle des modalités d'entretien entre rangs et inter-rangs de vigne, et entre inter-rangs. A cette diversité de techniques d'entretien du sol s'ajoute une large diversité de molécules, même si la législation environnementale conduit aujourd'hui à exclure l'usage de certaines d'entre elles.

La télédétection a depuis longtemps fait ses preuves pour acquérir des données spatialisées sur l'occupation du sol. Plus récemment, elle a également été utilisée pour obtenir des données spatialisées sur les modalités de certaines opérations culturales (Guérif et Duke, 2000 ; Launay, 2002). Dans le cas de la vigne, des travaux sont menés en vue d'obtenir une représentation de la distribution des états de surface du sol liés aux pratiques

culturales à différentes échelles d'espace (Wassenar, 2001 ; Corban et al., travaux en cours). Cependant, avec un tel outil, la connaissance des pratiques sera toujours partielle car certains choix techniques ne sont pas « télédéetectables », notamment ceux qui concernent l'usage de pesticides.

La recherche d'indicateurs de pratiques spatialisés ou susceptibles de l'être, permettant d'attribuer une probabilité de pratique ou une distribution de pratiques sur un espace donné est une méthode déjà explorée sur de vastes ensembles régionaux, le grain de spatialisation des distributions de pratiques restant alors toujours très grossier, souvent de l'ordre de grandeur de la petite région agricole (Leenhardt et Lemaire, 2002 ; Mignolet et al. 2004).

Pour notre travail, le grain de spatialisation des pratiques ne peut être déterminé a priori et nécessite une mise à plat de différents niveaux d'organisation de la diversité des pratiques au sein du bassin versant étudié. Nous en explorons ici trois : la parcelle, le territoire de l'exploitation agricole, le bassin d'approvisionnement de la cave coopérative qui, dans la zone étudiée, recouvre grossièrement le territoire viticole de la commune ou de deux communes voisines. Les deux premiers niveaux visent à prendre en compte les contraintes parcellaires et les contraintes de fonctionnement d'exploitation qui restreignent les choix techniques. Le troisième vise à tenir compte de l'environnement socioprofessionnel des agriculteurs lié aux relations de voisinage et au poids des caves coopératives dans l'organisation de la filière.

La présentation ne rapporte que les premiers éléments de cette construction. Du point de vue hydrologique, seuls les transferts d'eau sont modélisés, mais pas encore les transferts polluants. De même, les configurations de la structure de gestion ne sont pas encore rendues explicites, ni discutées. Nous privilégions la construction spatiale qui constitue l'apport majeur de cette étape du travail.

Après la présentation du site et des données récoltées pour la spatialisation des pratiques et la segmentation du modèle hydrologique (section 2), les résultats relatifs aux pratiques et les sorties du modèle hydrologique sont rapportés (section 3). La quatrième section est dédiée aux conclusion et discussion.

## 2. Matériel et méthode

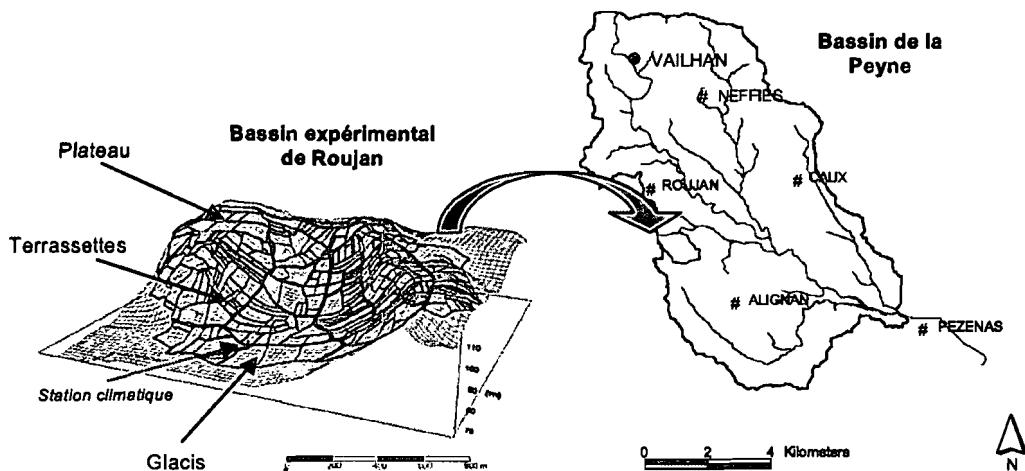
### 2.1. Le site d'étude

Le bassin versant qui sert de support à notre étude est le bassin de la Peyne dans la moyenne vallée de l'Hérault. Il ne fait pas l'objet d'un captage d'eau potable à son exutoire, mais est représentatif d'un bassin versant viticole languedocien et de l'ordre de grandeur des bassins représentants une ressource en eau dans la région. Il a été choisi pour cela, dans le but de mettre au point une méthodologie de modélisation intégrée pouvant être ensuite appliquée à des situations comparables.

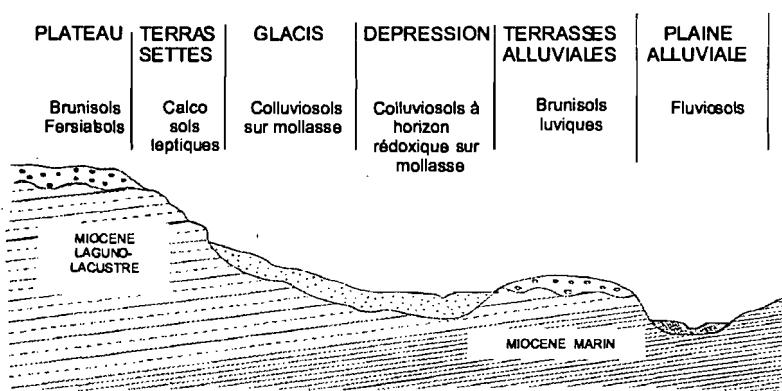
Ce bassin représente une surface d'environ 75 km<sup>2</sup>. Il inclut un bassin versant expérimental de l'INRA (bassin de Roujan) établi en 1992 et choisi pour sa représentativité notamment géomorphologique (Figure 1). Le bassin de la Peyne est représentatif de la moyenne vallée de l'Hérault tant au niveau des caractéristiques physiques que de l'occupation des sols. Les paysages sont très contrastés avec au Nord-Ouest, un milieu accidenté, peu cultivé, essentiellement couvert de maquis et, à l'inverse, sur le reste de la vallée à partir du village de Neffiès, un relief peu accidenté, presque entièrement cultivé en vigne. L'altitude varie entre 20 m et 340 m. Le climat de la zone est de type méditerranéen subhumide avec une saison sèche prolongée. La pluviométrie annuelle est de 700 mm environ mais avec une forte variabilité interannuelle. Les saisons sont très contrastées, des automnes pluvieux et des étés chauds et secs avec des averses de fortes intensités. L'évapotranspiration potentielle y est très importante avec une moyenne de 1000 mm à cause des fortes températures, de la forte irradiation mais aussi d'un vent souvent fort. Ce contexte explique

que la surface du sol ne se trouve que rarement et brièvement à l'état humide. Le bassin présente une succession d'unités géomorphologiques bien différenciées qui selon Bonfils (1993) déterminent fortement la distribution des sols dans le paysage (Figure 2). Il recoupe l'essentiel du territoire de six communes et est exploité par environ 800 viticulteurs. D'après les données du dernier recensement agricole (Source DRAF), 93 % de ces exploitations livrent leur production de raisin à des caves coopératives, les autres vinifiant en cave privée. Quatre caves coopératives communales collectent l'essentiel du raisin de ces exploitations.

**Figure 1 : Bassin versant de la Peyne et bassin versant expérimental de Roujan**



**Figure 2 : Les différentes unités géomorphologiques et pédologiques de la basse vallée de la Peyne (Lagacherie et al. (2001), adapté de Bonfils (1993))**



NB : Dans la partie Haute de la Peyne, non représentée sur ce schéma, des sols peu profonds, caillouteux à pierreux se sont développés sur un substrat géologique quartzique ou des coulées basaltiques.

## 2.2. Recueil et traitement des données pour la spatialisation des pratiques

### 2.2.1. Recueil des données

Les données nécessaires à la spatialisation des pratiques ont été collectées, durant le printemps 2004, par enquêtes auprès d'un échantillon de 46 exploitations, cultivant au total 875 parcelles de vignes dont 822 dans le bassin de la Peyne (Gal, 2004). Ces dernières représentent 865 ha soit 15 à 20% de la surface en vigne du bassin.

Les exploitations enquêtées ont été sélectionnées sur la base d'un tirage aléatoire de parcelles le long de cinq transects répartis perpendiculairement à la rivière Peyne de façon à recouper la toposéquence, ainsi que la diversité des types de sols et des communes. On

suppose que la bonne sélection des parcelles implique la bonne sélection des exploitations et permet d'obtenir un échantillon de parcelles représentatif de la diversité des pratiques et de leur importance respective dans le bassin de la Peyne.

Le questionnaire d'enquête a été divisé en deux volets complémentaires. Le premier volet est dédié à la description des pratiques d'entretien du sol et à leur répartition entre les différentes parcelles de vigne de l'exploitation précisément localisées sur le cadastre. Le second volet vise à renseigner les variables que l'on suppose explicatives du choix de pratiques, en distinguant, d'une part, les caractéristiques physiques des parcelles concernées par chaque pratique (superficie de la parcelle, âge de la vigne, cépage, mode de conduite (gobelet ou palissé), largeur des inter-rangs de vigne) et la destination du raisin produit sur chaque parcelle et, d'autre part, les caractéristiques de structure (matériel de traction et de travail du sol, main d'œuvre disponible hors récolte) et d'orientation productive de l'exploitation (types de vin produits : AOC, VDP, VDT) qui ne peuvent pas être déduites des variables précédentes. Le lien au cadastre permet de mettre en relation les données de localisation parcellaire avec d'autres informations localisées disponibles sur le bassin (appartenance communale, type de sol et de pente respectivement extraites du cadastre, de la carte pédologique au 1/100 000 de Bonfils (1993), et du Modèle Numérique de Terrain (MNT) issu de la base de données topographiques de l'IGN (BD Topo de l'IGN®)).

## 2.2.2. Traitement des données

Les pratiques décrites au cours des enquêtes ont été classées de façon à rendre compte de répartitions intra-parcellaires et de dynamique temporelles d'états de surface différentes. Quatre types, respectivement intitulés M1a, M2a, M2b et M2c, ont ainsi été différenciés en fonction des choix de techniques d'entretien du sol.

La pratique M1a est basée sur un entretien des rangs et des inter-rangs de vigne par désherbage chimique. Les trois autres pratiques sont également basées sur un entretien des rangs par désherbage chimique, mais les modalités d'entretien des inter-rangs permettent de les différencier. Dans la pratique M2a, l'entretien des inter-rangs consiste en une succession de travaux superficiels du sol, parfois complétés par un épandage d'herbicide. Les pratiques M2b et M2c sont caractérisées par l'utilisation de techniques différentes selon les inter-rangs. Des inter-rangs entretenus par travail du sol sont régulièrement alternés au sein de la parcelle avec des inter-rangs entretenus par désherbage chimique (M2b) ou avec des inter-rangs portant un enherbement permanent, naturel ou semé, maîtrisé par girobroyage ou par tonte (M2c). Dans les deux cas, les inter-rangs non travaillés correspondent aux inter-rangs de passage des pulvérisateurs pour les traitements phytosanitaires de printemps et d'été, l'absence de travail du sol visant à s'assurer d'une bonne portance du sol.

Le traitement des données a été réalisé à l'aide d'analyses multivariées. Il avait pour but de mettre en exergue les variables et les modalités de variables les plus explicatives du choix des quatre types de pratiques précédemment définies. Pour ce faire, les valeurs prises par les variables de caractéristiques parcellaires ont été réparties en différentes classes, sur la base de seuils tenant compte de nos hypothèses sur les déterminants des pratiques tout assurant un nombre suffisant de parcelles par classe. Ces même classes ont été utilisées pour décrire le vignoble de chacune des exploitations enquêtées.

A noter, qu'en raison du faible nombre de parcelles de notre échantillon localisées sur les communes les moins représentées dans le bassin de la Peyne, nous n'avons défini que quatre modalités d'appartenance communale qui chacune recouvrent grossièrement le bassin d'approvisionnement d'une cave coopérative. Dans cette étude, nous avons donc assimilé la notion d'appartenance communale à celle d'appartenance au bassin d'approvisionnement principal d'une cave coopérative.

## 2.3. La démarche de modélisation hydrologique

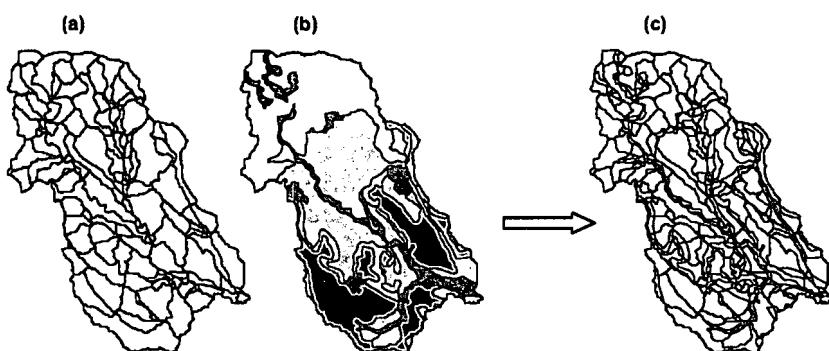
L'objectif est de construire une démarche de modélisation à méso-échelle spatialement distribuée prenant explicitement en compte la distribution spatiale des pratiques d'entretien

du sol à l'échelle du bassin élémentaire. Une première étape consiste à découper le bassin représentant la ressource en eau en unités hydrologiques élémentaires. Une deuxième étape propose un schéma de fonctionnement du bassin-ressource agrégeant les unités élémentaires. La troisième étape est l'élaboration d'une méthode de paramétrisation de ces unités hydrologiques intégrant les pratiques d'entretien du sol à l'aide d'un modèle physique.

### 2.3.1. Segmentation spatiale

Un premier découpage (Doukouré, 2003) en bassin versant de surface a été obtenu à partir du relief (MNT) et du réseau hydrographique tirés de la base de la BD Topo de l'IGN®. En ce qui concerne les eaux souterraines, nous avons ensuite fait l'hypothèse que la pédologie était indicatrice des conditions homogènes des nappes d'eau (Tassinari, 1998 ; Guix, à paraître). A partir de la carte des sols 1/100.000 (Bonfils, 1993), nous avons opéré une simplification en cinq classes pour obtenir un découpage en unités de nappes souterraines homogènes : sols sans nappe (plateaux calcaires, sols basaltiques, sols molassiques), sols molassiques avec nappe superficielle et temporaire, sols des terrasses alluviales avec nappe superficielle, sols et alluvions récents avec nappe d'accompagnement des rivières, zones urbaines sans nappe. Finalement, les découpages en bassin de surface et en unités de nappes homogènes ont été superposés pour définir les unités hydrologiques pour le bassin-ressource (figure 3).

**Figure 3 : Découpages en sous-bassins de surface (a), unités de nappes homogènes (b) et unités hydrologiques (c) pour la modélisation du bassin de la Peyne**



### 2.3.2. Schéma de fonctionnement du bassin de la Peyne

Le modèle à méso-échelle fonctionne de manière classique suivant une fonction de production réalisant la partition de la pluie en infiltration et ruissellement, une fonction de transfert assurant le cheminement de l'eau sur les unités hydrologiques jusqu'à leur exutoire et de leur exutoire à l'exutoire général du bassin versant et une fonction d'échange entre tronçon de cours d'eau et compartiments souterrains.

La partition infiltration-ruissellement s'effectue suivant une fonction de production de type hortonien. Ses objectifs sont (i) de mobiliser peu de paramètres et (ii) de prendre en compte les échanges hydrauliques entre eaux de surface et eaux souterraines au travers des réseaux de fossés (Marofi, 1999). Nous avons opté pour un formalisme de type réservoir à deux vidanges :

- l'unité hydrologique se comporte comme un réservoir dont le niveau représente la limite entre zone saturée et zone non saturée ;
- la pluie est séparée en une partie infiltrée qui rejoint le réservoir et une partie ruisselée qui rejoint l'exutoire de l'unité hydrologique par la fonction de transfert. Cette séparation

s'effectue en comparant à chaque pas de temps l'intensité de la pluie et un paramètre Kuh représentant la capacité d'infiltration propre à chaque unité hydrologique ;

- une première vidange du réservoir est activée lorsque le niveau atteint une certaine cote représentative de la profondeur générale du réseau de fossé. La quantité d'eau vidangée est proportionnelle au gradient entre la cote de l'eau dans le réservoir et la cote précédente ainsi qu'à un paramètre représentatif de la densité de fossés sur l'unité hydrologique ;
- une deuxième vidange est possible du réservoir d'une unité hydrologique vers le réservoir d'une autre unité hydrologique qui se trouverait en aval afin de simuler au besoin des écoulements souterrains ;
- si le réservoir est plein toute eau précipitée ruisselle.

Les transferts d'eau sur les unités hydrologiques et dans les tronçons sont décrits par le système d'équations de Saint-Venant simplifié suivant l'équation de l'onde diffusante (Moussa, 2002). Enfin une dernière fonction gère les échanges entre les tronçons du cours d'eau général et les nappes qui le bordent. Notons que suivant la piézométrie, le cours d'eau peut être infiltrant ou drainant.

### 2.3.3. Paramétrisation du modèle

Nous avons cherché à construire une démarche de modélisation sensible à des distributions spatialisées de pratiques agricoles au travers d'une étape originale de paramétrisation. Dans cette démarche, nous nous appuyons sur l'utilisation d'un modèle à base physique, le modèle MHYDAS (Moussa, 2002), éprouvé sur le site expérimental de Roujan, ainsi que sur une campagne de mesure de terrain.

Compte-tenu de la géomorphologie présentée à la figure 2, les unités hydrologiques ont été regroupées en trois types en fonction des sols, du relief et de la proximité au réseau hydrographique: unités de plateau, unités de terrassettes, unités de dépression (incluant les zones de glacis, de dépression, de terrasses alluviales et de plaine alluviale). Pour chacun de ces types, une densité moyenne de réseau de fossés a été retenue et l'impact hydrologique de différentes distributions de pratiques d'entretien du sol a été simulé à l'aide du modèle MHYDAS. Pour chacun des types d'unité hydrologique, nous avons déduit le paramètre Kuh de la fonction de production précédemment présentée qui donne le même résultat que le modèle MHYDAS pour chacune des distributions de pratiques testées.

## 3. Résultats

### 3.1. Spatialisation des pratiques

Dans l'esprit de ce travail, la bonne compréhension des facteurs déterminant un choix de pratiques constitue une condition préalable à la spatialisation des pratiques : de cette compréhension dépend en effet la liberté qui sera laissée au modélisateur pour définir de manière ad hoc le territoire élémentaire auquel on attachera une distribution de pratiques et pour adapter l'outil à une échelle de gestion particulière. Sur ce plan les résultats obtenus sont à la fois très riches et très décevants. La diversité intercommunale des pratiques est extrêmement forte relativement à la diversité intra-communale. Cependant, il est difficile de caractériser ce que signifie cet effet d'appartenance communale de la parcelle qui recoupe des aspects décisionnels de différents niveaux : la commune correspond grossièrement à l'emprise d'une coopérative et à des caractéristiques de sol assez fortement typées.

#### 3.1.1. Répartition des pratiques à l'échelle de la vallée de la Peyne

Les résultats de l'enquête sont présentés dans le Tableau 1. Ils montrent que la pratique M2a, la plus représentée, concerne 48% des parcelles, 46% de la superficie et 74% des viticulteurs enquêtés. Elle est la pratique dominante chez 48% d'entre eux. La pratique M1a est également mise en œuvre par une grande majorité des viticulteurs (65%), mais sur un nombre de parcelles et une superficie bien moindre (18% et 15% respectivement) et n'est dominante que chez 13% des viticulteurs. Enfin, les pratiques M2b et M2c, minoritaires par

le nombre de viticulteurs concernés, ont un poids équivalent à celui de la pratique M1a en terme de nombre de parcelles et de superficie.

**Tableau 1 : Part des différents types de pratique dans l'échantillon d'exploitations enquêtées**

Type de pratique	Parcelles concernées		Superficies concernées		Viticulteurs concernés*		Viticulteurs pour lesquels le type de pratique est dominant	
	nombre	%	Ha	%	nombre	%	nombre	%
M1a	144	18	126	15	30	65	6	13
M2a	391	48	395	46	34	74	22	48
M2b	168	20	177	20	17	37	11	24
M2c	119	14	168	19	12	26	7	15
Ensemble	822	100	866	100	46	100	46	100

\* une parcelle (et sa superficie) est associée à une et une seule pratique mais un viticulteur ayant plusieurs parcelles peut être concerné par plusieurs types de pratique

On observe par ailleurs une certaine homogénéité de pratique au sein de chaque exploitation avec, en moyenne, 80% de la superficie du vignoble d'une exploitation concerné par une seule pratique.

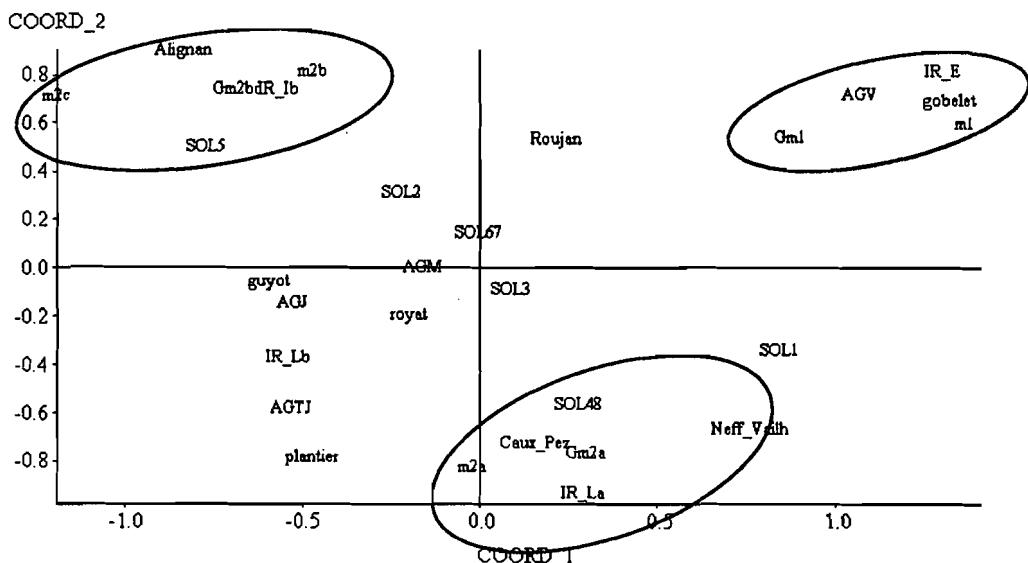
### **3.1.2. Effet des différentes variables explicatives sur la répartition des pratiques d'entretien du sol**

La discrimination des pratiques sur la base des caractéristiques parcellaires et de l'appartenance communale est obtenue en appliquant une analyse de correspondance multiple (ACM) aux données disponibles (Figure 4), les variables explicatives étant significatives pour un test de chi2.

L'utilisation quasi exclusive d'herbicide (M1a) dans les vignes à écartement étroit et taillées en gobelet est ainsi confirmée. On observe de plus une forte prédominance d'un entretien par travail du sol (M2a) dans les jeunes vignes (plantiers). Mais ces situations extrêmes, fortement contraintes, ne représentent que 16% des superficies concernées (8% en vignes étroites, 8 % en plantiers). Le résultat le plus marquant de cette analyse est la mise en évidence d'un effet d'appartenance communale des parcelles, indissociable d'un effet type de sol, sur le choix de trois types de pratiques : la commune d'Alignan du Vent, associée au sol 5 (plateau) et aux pratiques d'alternances M2b et M2c, est opposée à celles de Pézenas et Caux et de Neffiès-Vailhan, associées au sol 48 (dépression et plaine alluviales) et à la pratique M2a.

Par ailleurs, différentes analyses factorielles discriminantes ont été appliquées aux variables de caractéristiques d'exploitation sur 40 exploitations pour lesquelles l'ensemble des données nécessaires à l'analyse est disponible. A l'échelle de la vallée de la Peyne, l'effet « localisation communale » domine l'effet « caractéristiques d'exploitations ». La discrimination des choix de pratiques par des caractéristiques d'exploitation y est alors médiocre.

**Figure 4 : Représentation des variables et de leurs modalités dans le premier plan de l'analyse de correspondance multiple**



Variables	Modalités
Pratique	M1a ; M2a ; M2b ; M2c
Appartenance communale	Alignan, Roujan, Caux-Pezenas, Neffiès-Vailhan
Sols	Sol 1 : sol sur substrat quartzique ; Sol 2 : sol de terrassettes ; Sol 3 : sol de glaciis ; Sol 48 : sol de dépressions et plaines alluviales ; Sols 5 : sol de plateau ; Sols 67 : sol de terrasses
Age de la vigne	AGTJ : âge <= 10 ans ; AGJ : âge compris entre 10 et 20 ans ; AGM : âge compris entre 20 et 30 ans ; AGV : âge > 30 ans
Ecartement des inter-rangs	IR_E : écartements <= 1,8 m ; IR_Ib : écartements compris entre 1,80 et 2 m ; IR_La : écartements compris entre 2 m et 2,4 m ; IR_Lb : écartement > 2,40 m.
Pratique dominante de l'exploitations à laquelle est rattachée la parcelle	GM1a : pratique dominante M1a ; GM2a : pratique dominante M2a ; GM2bc : pratique dominante M2b ou M2c
Type de taille	Gobelet, Royat, Guyot, plantier (système de taille non encore défini)

Un effet des caractéristiques d'exploitation sur les choix de pratiques n'est mis en évidence qu'à une échelle plus locale, et ce, uniquement dans les communes caractérisées par une diversité importante des pratiques. Ainsi, trois groupes d'exploitations, différenciés selon que leur pratique dominante est M1a, M2a ou, soit M2b, soit M2c, sont parfaitement discriminés dans les communes voisines de Roujan et d'Alignan du vent, par la combinaison d'une sélection de variables de structure d'exploitation. Les variables les mieux corrélées aux axes de l'analyse factorielle discriminante sont la superficie totale du vignoble, et l'âge des vignes, lequel est un indicateur des dynamiques d'exploitation. Ces résultats confortent ceux obtenus dans une étude antérieure sur les deux mêmes communes (Biarnès et al., 2004).

On notera cependant l'impossibilité de discriminer par nos analyses le choix de la pratique M2b de celui de la pratique M2c, alors même que ces pratiques ont des effets différents en terme d'impact sur le milieu (états de surface du sol).

### 3.1.3. Choix d'une clef unique de spatialisation de distributions de pratiques

Sur la base de ces résultats, le choix de la commune comme clef unique de spatialisation des pratiques se comprend aisément. La répartition des types de pratiques au sein des communes est donnée dans le Tableau 2. Ce dernier oppose les communes d'Alignan-du-

vent et de Roujan dans lesquelles les pratiques dominantes d'entretien du sol sont basées sur une utilisation de modalités d'entretien différentes selon les inter-rangs (M2b et M2c) et les communes de Caux-Pezenas et Neffiès-Vailhan où domine l'entretien par travail du sol (M2a).

**Tableau 2 : Répartition des pratiques entre communes**

Commune	% de superficie par type de pratique			
	M1a	M2a	M2b	M2c
Roujan	13	26	33	28
Alignan-du-vent	6	20	34	40
Caux-Pezenas	19	71	8	1
Neffiès-Vailhan	23	64	4	8
Total	15	46	20	19

### **3.2. Les sorties du modèle hydrologique**

En ce qui concerne la modélisation hydrologique, nous allons tout d'abord montrer les résultats des simulations effectuées à l'échelle du bassin élémentaire à l'aide du modèle à bases physiques MHYDAS et des références expérimentales acquises sur le bassin expérimental de Roujan pour différentes distributions de pratiques d'entretien du sol. A partir de ces résultats, nous avons paramétré le modèle à l'échelle du bassin versant de la Payne. Enfin nous avons simulé les écoulements sur le bassin de la Payne et comparé les résultats avec des données observées à son exutoire.

#### **3.2.1. Simulations hydrologiques à l'échelle du bassin élémentaire par le modèle à base physique MHYDAS**

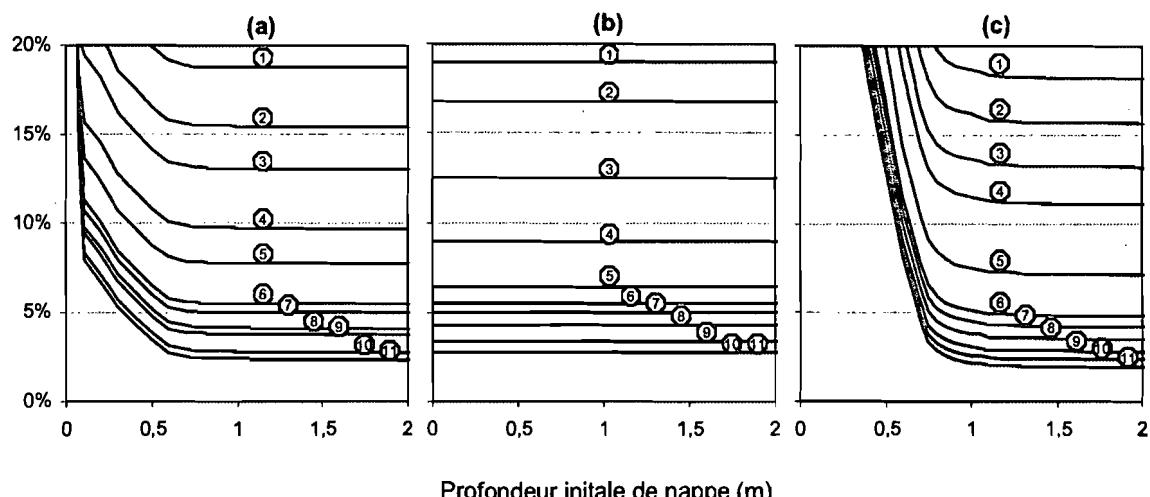
A partir de situations de référence calibrées (Le Forner, 2001 ; Chahinian, 2004), le modèle MHYDAS nous a permis d'envisager l'impact hydrologique de différentes distributions de pratiques d'entretien du sol, sur la base d'un événement représentatif des conditions automnales suivi expérimentalement le 20 octobre 2002.

Nous avons considéré que l'effet majeur des pratiques d'entretien du sol, en conditionnant les états de surface du sol, porte sur l'évolution spatio-temporelle du partage entre infiltration et ruissellement, un résultat largement vérifié expérimentalement en conditions méditerranéennes (Andrieux, 2001 ; Marques, 2004). A partir de simulations de pluie sur le terrain, des valeurs de conductivité hydraulique à saturation au cours du temps ont pu être référencées pour des pratiques de désherbage chimique, de travail du sol et d'enherbement. Pour des couverts autres que la vigne (céréales, friche, garrigue et bois), nous avons considéré que les infiltrabilités étaient proches des surfaces enherbées. Une distribution de pratiques à l'échelle du bassin élémentaire a été traduite en pourcentage de surface de vigne présentant les états de surface correspondants, les surfaces autres que vignes ont été traitées comme des vignes enherbées. Sous cette contrainte de surface, chaque parcelle s'est donc vu affecter pour une date donnée une conductivité hydraulique à saturation indépendamment de sa position au sein de l'unité hydrologique. Pour chaque type d'unité hydrologique, les lames d'eau ruisselées en fonction d'une distribution de pratiques sur vigne et d'occupation du sol sont simulées pour des conditions initiales de profondeur de nappe variables afin de prendre en compte au mieux les conditions des échanges hydrauliques avec le réseau de fossé. Les lames d'eau ruisselées à l'exutoire du bassin, pour un événement de pluie donné, sont rapportées à la lame précipitée pour obtenir un coefficient de ruissellement adimensionnel (Figure 5).

Le niveau initial de nappe a un impact en deçà de 1 m pour les unités de plateau, de 1,5 m pour les unités de glacis et pas d'impact sur les unités de terrassettes où aucune nappe superficielle n'a été observée. Pour des conditions de saturation des sols très élevées (niveau initial de nappe à moins de 10 cm de la surface sur unités de plateau et de glacis),

l'effet différentiel des pratiques a tendance à s'écraser : le bassin se comporte alors comme une éponge pleine d'eau avec des coefficients de ruissellement supérieur à 60%. En dehors de ces conditions extrêmes de saturation des sols, les distributions de pratiques d'entretien du sol ont un effet notable sur les écoulements à l'échelle du bassin versant élémentaire. Les deux situations extrêmes sont les cas où toutes les parcelles de vigne sont désherbées chimiquement (courbes 1, coefficients de ruissellement hors impact des nappes de 19, 23 ou 18% suivant les types d'unité hydrologique) et où toutes les parcelles sont entièrement enherbées (courbes 11, coefficients de ruissellement hors impact des nappes de 2 à 3%). De l'état travaillé du sol ainsi que des combinaisons entre pratiques résultent des situations intermédiaires. Nous notons aussi qu'en conditions de nappes basses les distributions de pratiques ont plus d'impact que la typologie d'unités hydrologiques, elle-même expliquée par des morphologies et des densités de réseaux de fossés différentes.

**Figure 5 : Coefficients de ruissellement en fonction de la profondeur initiale de nappe pour différentes distributions de pratique d'entretien du sol pour (a) les unités hydrologiques de type plateau, (b) les unités hydrologiques de type terrassette, (c) les unités de type glacié.**



Les distributions de pratique (travail du sol ; désherbage chimique ; enherbement) sont numérotées de 1 à 11 en fonction des pourcentages de surface suivants : 1 : (0 ; 100 ; 0), 2 : (20 ; 80 ; 0), 3 : (40 ; 60 ; 0), 4 : (60 ; 40 ; 0), 5 : (80 ; 20 ; 0), 6 : (100 ; 0 ; 0), 7 : (80 ; 0 ; 20), 8 : (60 ; 0 ; 40), 9 : (40 ; 0 ; 60), 10 : (20 ; 0 ; 80), 11 : (0 ; 0 ; 100).

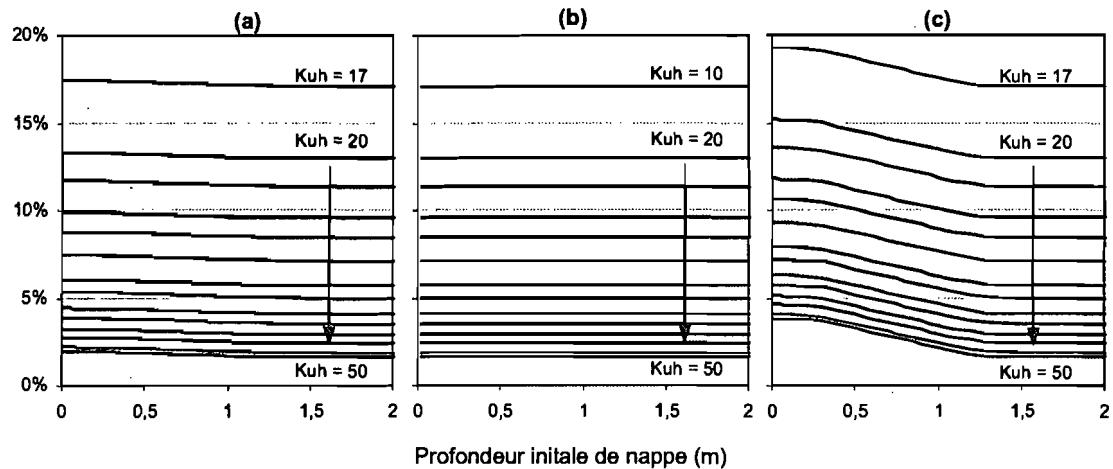
### 3.2.2. Paramétrisation de la fonction de production du modèle sur le bassin de la Peyne

Nous montrons dans ce paragraphe le système d'abaque qui, pour un type d'unité hydrologique, pour une distribution de pratiques et pour des conditions initiales de nappe données, définit le paramètre d'infiltrabilité (Kuh) de la fonction de production du modèle sur le bassin de la Peyne : nous cherchons une valeur de Kuh qui permet de simuler pour une unité hydrologique un comportement équivalent à celui simulé par le modèle à base physique MHYDAS.

La figure 6 montre pour chacun des trois types d'unités hydrologique, les coefficients de ruissellement simulés par la fonction de production du modèle sur le bassin de la Peyne pour des profondeurs initiales de nappe variables et pour différentes valeurs du paramètre Kuh.

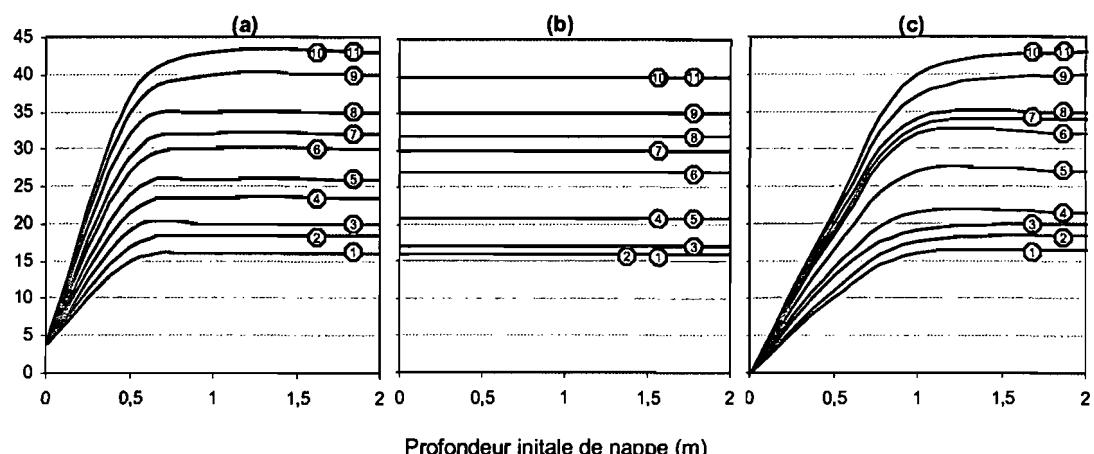
Le modèle construit est très sensible au paramètre Kuh. En variant, ce paramètre permet de simuler toute la gamme des coefficients de ruissellement possibles. Nous ne montrons que les résultats de simulations qui produisent des coefficients de ruissellement inférieur à 20% (avec des valeurs du paramètre Kuh plus faibles les coefficients de ruissellement sont plus élevés).

**Figure 6 : Coefficients de ruissellement en fonction de la profondeur initiale de nappe pour différents paramètres d'infiltrabilité Kuh pour (a) les unités hydrologiques de type plateau, (b) les unités hydrologiques de type terrassette, (c) les unités hydrologiques de type glacis.**



L'impact des conditions initiales de nappe est nul sur les unités de terrassettes (conformément à l'hypothèse d'absence de nappe de surface) et faible pour les unités de plateau. Dans ce dernier cas, nous avons en effet attribué une faible densité de réseau de fossé (2 km par km<sup>2</sup> de bassin), limitant la contribution de la nappe aux écoulements par exfiltration dans ce réseau. Lorsque cette densité de réseau de fossé augmente (18 km par km<sup>2</sup> de bassin), comme dans le cas des unités de glacis, l'impact de la profondeur initiale de la nappe est notable : pour des conditions d'infiltrabilité équivalentes sur l'unité hydrologique, le coefficient de ruissellement augmente par la contribution de la nappe aux écoulements. Comme la profondeur des fossés a été forfaitairement fixée à 1m, la contribution des nappes est effective à partir de cette valeur.

**Figure 7: Paramètre d'infiltrabilité Kuh (mm/h) en fonction de la profondeur initiale de nappe pour différentes distributions de pratiques d'entretien du sol pour (a) les unités hydrologiques de type plateau, (b) les unités hydrologiques de type terrassette, (c) les unités de type glacis.**



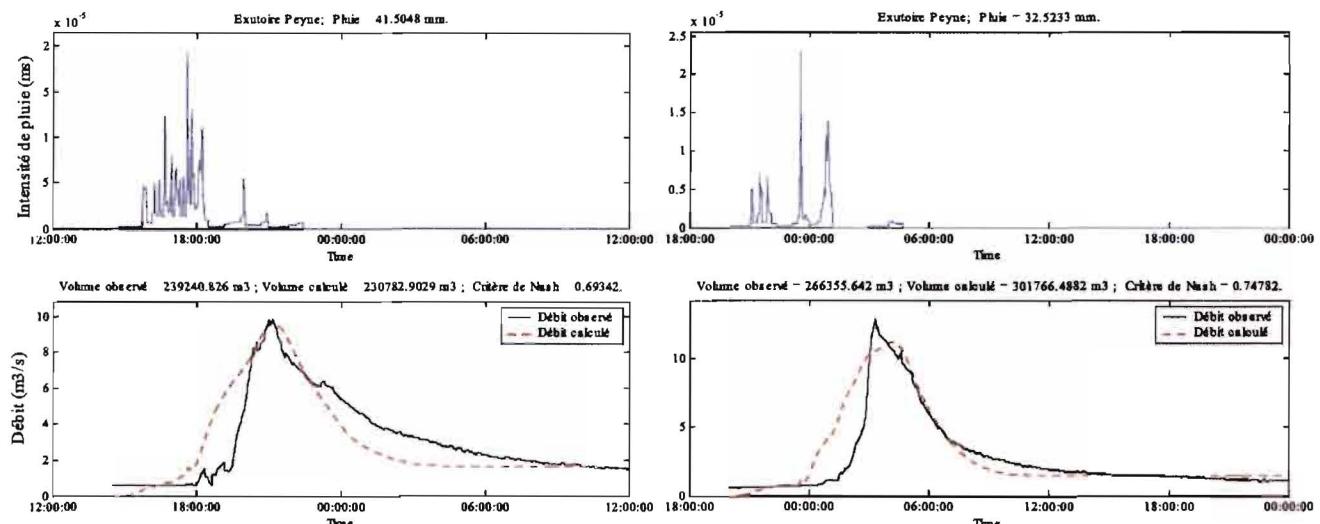
Les distributions de pratiques (travail du sol ; désherbage chimique ; enherbement) sont numérotées de 1 à 11 en fonction des pourcentages de surface suivant : 1 : (0 ; 100 ; 0), 2 : (20 ; 80 ; 0), 3 : (40 ; 60 ; 0), 4 : (60 ; 40 ; 0), 5 : (80 ; 20 ; 0), 6 : (100 ; 0 ; 0), 7 : (80 ; 0 ; 20), 8 : (60 ; 0 ; 40), 9 : (40 ; 0 ; 60), 10 : (20 ; 0 ; 80), 11 : (0 ; 0 ; 100).

A partir des deux séries de graphes précédentes, nous avons construit les abaques permettant de déterminer le paramètre d'infiltrabilité Kuh, correspondant à une distribution de pratiques d'entretien du sol, pour des conditions initiales de nappe variables (Figure 7).

### 3.2.3. Simulations hydrologiques sur le bassin versant de la Peyne

Ayant retenu en première approche le découpage communal comme clé pertinente de spatialisation des pratiques d'entretien du sol sur le bassin versant de la Peyne, nous avons attribué, à chaque unité hydrologique située dans une commune la distribution correspondante (Tableau 2). Pour les deux événements simulés, un relevé piézométrique (Guix, à paraître) a permis de déterminer les niveaux initiaux de nappes. A l'aide des abaques précédentes (Figure 7), nous avons fixé le paramètre d'infiltérabilité pour chaque unité hydrologique. Les paramètres liés au réseau hydrographique du bassin de la Peyne ont été pour partie mesurés (sections, pentes, rugosité) et pour partie ajustés (coefficients de célérité et de diffusivité de l'onde de crue, coefficients d'échange nappe-rivière) sur l'événement du 20 novembre 2002. Ces paramètres ont été conservés pour validation sur l'événement du 1<sup>er</sup> octobre 2003. La pluie mesurée à la station climatique du bassin de Roujan a été supposée homogène sur le bassin. Les résultats des simulations sont comparés aux débits mesurés à l'exutoire du bassin de la Peyne (Figure 8).

**Figure 8 : Pluviométrie observée à la station climatique expérimentale de Roujan et débits mesurés et calculés à l'exutoire du bassin de la Peyne pour les événements (a) du 20 novembre 2002 et (b) du 01 octobre 2003**



Ces deux simulations (calibration et validation) montrent la bonne capacité du modèle à reproduire des événements de crue automnaux à partir de la démarche de paramétrisation adoptée.

## 4. Discussion et conclusion

### 4.1. Limites actuelles de l'approche et perspectives

La réflexion préalable à la modélisation d'un Bassin Versant en appui à la gestion du territoire concerné nous a orientés sur un effort de spatialisation tant du modèle hydrologique que du modèle de choix de pratiques. Certaines limites sont cependant à poser afin d'envisager les développements à venir.

#### 4.1.1. Sur la spatialisation des pratiques

Les résultats de notre étude montrent que la question de la spatialisation des pratiques est pertinente puisqu'ils mettent en évidence que les pratiques ne sont effectivement pas également réparties dans l'espace. Malheureusement, à l'issue de ce travail, la clef de spatialisation proposée reste encore très frustre.

En effet, si les choix de pratiques, entrées du modèle hydrologique, dépendaient strictement de caractéristiques bien identifiées des parcelles et/ou des exploitations, il serait envisageable de fournir au modèle hydrologique une distribution des pratiques adaptée à la segmentation spatiale du modèle et au problème environnemental traité, sous la condition de connaître la répartition de ces caractéristiques dans le territoire. Le maillage spatial possible serait d'autant plus fin que ces caractéristiques sont facilement observables, par télédétection par exemple ou déjà spatialisées à un degré de résolution suffisamment fin, comme éventuellement la carte des sols. Dans le cas des pratiques d'entretien du sol sous vigne, nos résultats montrent qu'une telle approche n'est possible que pour une faible proportion des superficies en vigne : les vignes aux inter-rangs étroits associées à la pratique M1a (désherbage chimique intégral) et les plantiers associés à la pratique M2a (travail du sol). Pour les autres surfaces en vigne, cette approche est plus difficile à mettre en œuvre.

La relation attendue entre choix de pratiques et caractéristiques de structure et d'orientation productive d'exploitation n'est pas établie à l'échelle du bassin de la Peyne. Elle est probablement « bruitée » par un phénomène parasite lié à l'appartenance des exploitations à des communes et/ou à des bassins d'approvisionnements de caves coopératives différents. En l'état actuel de nos connaissances nous ne pouvons interpréter ce phénomène, même si les travaux de sociologues nous invitent à pencher pour une interprétation liée aux réseaux d'information (réseaux de voisinage, réseaux de conseil technique, etc.) dans lesquels les exploitations sont insérées (Darré, 1996 ; Chiffolleau, sous presse) plutôt que pour une interprétation liée à la distribution différenciée des types de sol dans le bassin de la Peyne.

À une échelle plus locale, sur les communes voisines de Roujan et d'Alignan, une relation entre choix de pratiques et caractéristiques d'exploitation a pu être mise en évidence. Mais cette relation ne permet pas de discriminer toutes les pratiques, probablement parce que des apprentissages sont en cours et que les décisions sont prises dans un contexte d'incertitude sur les coûts ou sur l'effet de ces pratiques sur le rendements. C'est notamment le cas pour l'introduction de l'enherbement permanent dans les inter-rangs de vigne, technique nouvelle qui bénéficie de fortes recommandations dans le cadre d'une gestion raisonnée du vignoble.

Enfin, la mise en évidence d'une relation entre caractéristiques d'exploitation et choix de pratiques dominantes, comme dans le cas des communes de Roujan et d'Alignan ne résout par le problème de l'accès à des informations spatialisées sur les caractéristiques pertinentes. En effet, ces données disponibles dans les banques de données des caves coopératives ou celles issues des recensements agricoles (casier viticole) sont privées. Dans un contexte de gestion environnemental, elles pourraient éventuellement être rendues disponibles à un niveau d'agrégation spatial pertinent..

Nous soulignons ces difficultés parce qu'elles montrent l'ampleur du travail à faire mais en même temps comment ce travail conduit à des hypothèses stimulantes pour aborder un problème de spatialisation (réseaux sociaux, apprentissages, ...). Mais évidemment, tant que ces hypothèses n'auront pas été discutées, une clé fruste de spatialisation devra être privilégiée : le niveau de la commune qui, à défaut d'être interprétable, assure un bon calage des données.

#### **4.1.2. Sur le modèle hydrologique**

Le travail de modélisation hydrologique constitue une première approche où nous cherchions essentiellement à conclure en terme de faisabilité et de plausibilité des simulations. En ce sens les résultats sont satisfaisants. Notamment, la segmentation spatiale du modèle a pu être menée à bien.

Cependant, notons tout d'abord que les exercices de simulation se sont concentrés sur la période automnale (octobre 2002 pour la calibration et novembre 2003 pour la validation). La stabilité du système d'abaque ainsi que de l'ensemble de la paramétrisation du modèle à méso-échelle serait à éprouver en conditions printanières et estivales.

Une autre limite du travail repose sur la généralisation d'un comportement hydrologique sur la base de la typologie d'unités hydrologiques. Cette typologie est à éprouver par le suivi expérimental de bassins élémentaires supplémentaires.

Les réseaux de fossés sont aujourd'hui envisagés comme leviers d'actions pour la réduction des transferts de polluants à l'échelle du bassin versant. Pour l'instant ces réseaux d'écoulements internes aux bassins élémentaires sont pris en compte « à géométrie constante ». On pourrait donc, comme on a envisagé l'impact de scénarios de pratiques d'entretien du sol, envisager l'impact de scénarios d'entretien des fossés (curage, végétalisation, etc.), voire de changements dans leur géométrie (position, pente, section). Or modifier la géométrie du réseau d'écoulements oblige à modifier la structure foncière dans son ensemble. Les implications en terme de négociations sont donc nouveaux et compliqués. En terme hydrologique, cela rajoute une dimension à notre système d'abaque mais ne remet pas en cause son mode d'obtention à partir de simulations à l'aide du modèle à base physique.

L'approche de modélisation emboîtée ne prend pas encore en compte les transferts de polluants, en particulier des pesticides. Les travaux à l'échelle de la parcelle de vigne et du bassin élémentaire sur les transferts de diuron en particulier (Louchart, 2001) doivent aboutir à une modélisation physique couplée à MHYDAS. Cet outil permettra de produire des abaques similaires à celles obtenues sur les écoulements d'eau et de paramétrier une fonction plus simple à l'échelle du bassin de la Peyne.

Nous avons choisi de développer une approche événementielle, parce que c'est l'échelle de temps en climat méditerranéen pour appréhender les transferts de polluants (Voltz et al., 2003). Mais on pourrait s'intéresser à une modélisation temporellement continue pour juger par exemple des effets de stock de produits phytosanitaire dans le sol et les nappes d'une année sur l'autre. Un autre domaine d'application serait d'évaluer l'impact de l'enherbement sur l'évapotranspiration et donc le bilan hydrologique. A une échelle journalière, la globalisation des processus peut peut-être être acceptable et des modèles empiriques donner satisfaction. Des essais sont actuellement en cours à l'aide du modèle SWAT sur le bassin de la Peyne.

#### **4.2. Utilité de l'approche pour l'aide à la décision**

Finalement, on soulignera l'intérêt de ce travail dans une perspective d'aide à la décision. Dans la démarche d'élaboration de cet outil de simulation, il est apparu que la clé du problème résidait dans la construction d'outils flexibles au niveau spatial permettant d'allouer à chaque unité hydrologique, au sein de chaque bassin versant élémentaire, une distribution de pratiques. Cette flexibilité seule permet au gestionnaire et aux parties concernées de fixer le cadre spatial adapté au problème environnemental à traiter en fonction de l'échelle qu'impose le choix d'un instrument public incitatif : taxation, subvention, marché de droits à polluer, etc. On a vu que cette cible demande encore d'approfondir notre compréhension des choix de pratiques et, en l'état, nous avons dû nous contenter d'allouer une distribution de pratiques définie au niveau communal aux unités hydrologiques concernées. La contrepartie de cet inaboutissement de notre programme est d'avoir mis l'accent sur des déterminants mal identifiés au niveau d'observation qui avait été mobilisé jusqu'ici. Notamment, il apparaît que l'élaboration (ou la mise à jour) d'une typologie des exploitations n'est pas une étape suffisante de cette démarche de compréhension des comportements, une meilleure prise en compte des réseaux sociaux paraissant, à l'inverse, cruciale.

## 5. Bibliographie

- Abbott, M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A., O'Connell P.E., Rasmussen J., 1986. An Introduction to the European Hydrological System-Système hydrologique européen (SHE), Part 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 87: 61-77.
- Agence de l'eau RMC, 2000 et 2001. Composés phytosanitaires dans les eaux superficielles et souterraines du bassin Rhône-Méditerranée-Corse : campagne 1999 et campagne 2000. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.
- Andrieux P., Hatier, A., Asseline, J., de Noni, G., Voltz, M., 2001. Predicting infiltration rates by classifying soil surface features in a Mediterranean wine-growing area. *International symposium "The significance of soil surface characteristics in soil erosion"*. COST 623 "Soil erosion and global change" workshop. Strasbourg, 20-22 septembre 2001
- Arnold J.G., Allen P.M., Bernhardt G., 1993. A comprehensive surface-groundwater flow model. *J. Hydrology*, 142, 47-69.
- Biarnès A., Rio P., Hocheux A., 2004. Analysing the determinants of spatial distribution of weed control practices in a Languedoc vineyard catchment. *Agronomie* 24, 187-196.
- Bioteau T., Bordenave P., Laurent F., Ruelland D., 2002. Evaluation des risques de pollution diffuse par l'azote d'origine agricole à l'échelle de bassins versants : intérêts d'une approche par modélisation avec SWAT®. *E A T* 32, 3-12.
- Bonfils P., 1993. Carte pédologique de France au 1/100°000 ; feuille de Lodève. SESCPF INRA.
- BRGM, 1977. Carte géologique de la France au 1/50 000<sup>e</sup>, Moyenne plaine de l'Hérault, feuille de Pézenas, 26-44, n°1015. Orléans
- Chahinian N., 2004. Paramétrisation multi-critère et multi-échelle d'un modèle hydrologique spatialisé de crue en milieu agricole. *Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II*, 238 p.
- Chiffolleau Y., sous presse. Learning about innovation through networks : the development of environment-friendly viticulture. *Technovation*.
- Christin Fabien, 2004. Développement d'un modèle hydrologique pour l'évaluation de l'impact des pratiques d'entretien des sols à l'échelle du bassin ressource. Paramétrisation et application au bassin versant de la Peyne (Hérault). *Rapport du DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental*, Université de Montpellier, 58 p.
- Darré J.P., 1996. L'invention des pratiques. Paris, Karthala.
- Doukouré C., 2003. Modélisation multi-échelle pour l'aide à la gestion des ressources en eau. *Rapport du DEA Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental*, Université de Montpellier, 41 p.
- Gal M., 2004. Analyse des déterminants de la diversité et de la localisation des pratiques d'entretien du sol en vue de la spatialisation de ces pratiques dans un bassin versant viticole. *Mémoire de fin d'étude d'ingénieur*, ESITPA, Rouen.
- Guérif M., Duke C., 2000. Calibration of the SUCROS emergence and early growth module for sugarbeet using otical remote sensing data assimilation. *Eur. J. Agron.* 9, 127-136.
- IFEN, 2002. Bilan annuel 2002. IFEN, 24 p.
- Launay M., 2002. Diagnostic et prévision de l'état des cultures à l'échelle régionale : couplage entre modèle de croissance et télédétection. Application à la betterave sucrière en Picardie. Ph.D thesis, Institut National Agronomique Paris Grignon.

- Le Forner S., 2001. Modélisation hydrologique des échanges surface-souterrain avec réseau de fossés en milieu agricole méditerranéen. INRA Sciences du Sol, *Thèse de Doctorat*, Montpellier, 229 p.
- Leenhardt D., Lemaire P., 2002. Estimating the spatial and temporal distribution of sowing dates for regional water management. *Agricultural Water Management* 55, 37-52.
- Louchart X., Voltz M., Andrieux P., Moussa R., 2001. Herbicide Transport to Surface Waters at Field and Watershed Scales in a Mediterranean Vineyard Area. *Journal of Environmental Quality* 30, 982-991.
- Marofi S., 1999. Rôle des échanges nappes- fossés dans le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant en milieu méditerranéen cultivé. *ENSAM, doctorat, Montpellier*. 210 p.
- Marquès I., 2004. Impact des pratiques d'entretien des sols viticoles méditerranéens sur les étés de surface, le ruissellement et l'érosion. *UMR LISAH, mémoire de fin d'étude de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agraria de l'Universitat de Lleida*. 138p.
- Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004. Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory: a retrospective study to simulate nitrate flow. The case of the Seine basin. *Agronomie* 24, 219-236.
- Moussa R., Voltz M., Andrieux P., 2002. Effects of spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. *Hydrological Processes*, 16, 393-412.
- Tassinari C., 1998. Contribution à l'étude de sols méditerranéens (Languedoc-France): caractérisation de leurs nappes et des indicateurs morphologiques associés. Thèse. Ecole Nationale Supérieure Agronomique.155 p.
- Uhlenbrook S., Roser S., Tilch N., 2004. Hydrological process representation at the meso-scale : the potential of a distributed, conceptual catchment model. *Journal of Hydrology*, 291, 278-296.
- Voltz, M., Louchart, X., Andrieux, P., Lennartz, B., 2003. Processes of pesticide dissipation and water transport in a Mediterranean farmed catchment. In: E. Servat et al. eds.(Hrsg.): *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions*. 278. Wallingford : IAHS Press, 2003. , 422 – 428.
- Wassenar T., Baret F., Robbez-Masson J.-M., Andrieux P., 2001. Sunlit soil surface extraction from remotely sensed imagery of perennial, discontinuous crop areas; the case of Mediterranean vineyards. In "Agronomie", Vol. 21, pp. 235-245.
- Wood E.F., Sivapalan M., Beven K., Band L., 1988. Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 102, 29-47.
- Woods, R., Sivapalan, M., Duncan M., 1995. Investigating the representative elementary area concept: an approach based on field data. *Hydrol. P*
- World Bank, 2004. Water resources sector strategy directions for World Bank engagement. The World Bank, 85 p.