



PROGRAMME



SP3A : SPATIALISATION DE PRATIQUES AGRICOLES ADAPTEES ET ACCEPTABLES

Préservation des sols viticoles méditerranéens
et amélioration de leurs fonctions de régulation des flux d'eau et de matières associées :
répartition spatiale dans un bassin versant, de pratiques agricoles adaptées et acceptables

SP3A : SPATIALIZATION OF APPROPRIATE AND ACCEPTABLE AGRICULTURAL PRACTICES

Preservation of Mediterranean vineyard soils
and improving their regulatory functions of water flows and associated matters: spatial
distribution of appropriate and acceptable farming practices in a catchment

Coordinateurs du projet :

Patrick Andrieux et Anne Biarnès
INRA . IRD / UMR Lisah, 2 Place Viala, 34060 Montpellier

patrick.andrieux@antilles.inra.fr
anne.biarnes@supagro.inra.fr

Rédacteurs du rapport :

P. Andrieux, A. Biarnes, J.M. Barbier, A. Bonnefoy, C. Compagnone,
X. Delpuech, C. Gary, A. Metay, J.-P. Rellier et M. Voltz

Synthèse du rapport final

15 Janvier 2015

La réduction des risques de ruissellement polluant est un enjeu particulièrement important en région viticole méditerranéenne du fait des risques élevés de contamination des eaux liés à l'importance des écoulements de surface et aux usages importants de pesticides. L'enjeu est particulièrement important pour les herbicides qui sont les principales molécules retrouvées dans les eaux. Parallèlement à une réduction de ces usages, une des voies possibles permettant cette réduction est le maintien ou la restauration de la fonction du sol de régulation des flux d'eau et de pesticides. Cette fonction, liée à un coefficient d'infiltrabilité du sol élevé, assure au sol un rôle de tampon par rapport aux crues, à l'érosion et, potentiellement, au transfert de pesticides. De nombreux travaux ont montré que le coefficient d'infiltrabilité du sol est sous la dépendance des états de surface du sol et, qu'en zone viticole les états de surface et leurs évolutions dépendent des pratiques d'entretien du sol en interaction avec le climat. Réduire les risques de ruissellement polluant dans un bassin versant viticole passe donc notamment par l'identification de modalités d'entretien du sol et de distributions spatiales de ces modalités qui participent à la préservation ou restauration de l'infiltrabilité du sol tout au long de l'année tout en réduisant les usages d'herbicide. Ces modalités doivent cependant être potentiellement acceptables par les viticulteurs.

Dans ce contexte, le projet s'est fixé comme objectif d'identifier et d'évaluer, en viticulture méridionale, des modalités d'entretien du sol et des répartitions spatiales de ces modalités permettant réduire à l'échelle du bassin versant la contamination des eaux de ruissellement par les herbicides, tout en étant économiquement, techniquement et socialement acceptables par les viticulteurs. Pour atteindre cet objectif, le projet s'est appuyé i) sur l'élaboration d'une démarche d'identification à dire d'experts de stratégies candidates de réduction des herbicides à l'échelle du bassin et ii) d'évaluation de ces stratégies à l'aide de modèles et à dire de viticulteurs (Figure 1). Pour permettre cette démarche, certains des modèles nécessaires à l'évaluation ont été développés au cours du projet.

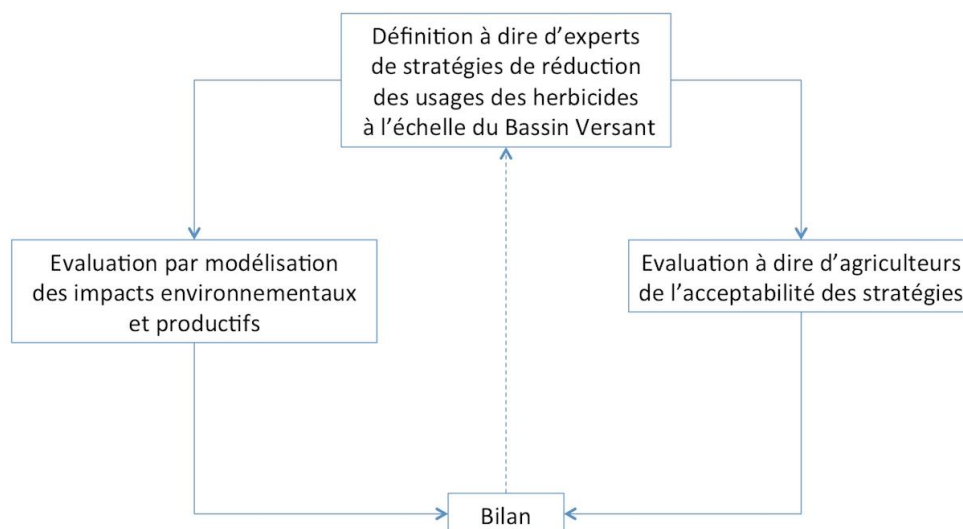


Figure 1 : Démarche générale

Le bassin viticole choisi pour le développement et la mise en œuvre de la démarche est le bassin du Rieutort. Localisé en grande partie dans la plaine viticole héraultaise, en bordure des premiers contreforts du massif central, ce bassin s'étend sur 45 km², dont 15,4 km² sont consacrés à la culture de la vigne. Le bassin versant n'est pas instrumenté pour suivre et mesurer les écoulements dans le réseau hydrographique. Il fait partie du bassin d'alimentation d'une aire de captage d'alimentation en Eau Potable (AEP). Du fait de la présence répétée de pesticides dans les eaux, ce captage a été classé « captage grenelle » dans la liste des captages les plus menacés par les pollutions diffuses (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie).

1 Les stratégies candidates et leurs déclinaisons en modalités d'entretien du sol spatialement réparties au sein du bassin versant

A l'issue d'un processus de concertation entre différents types de partenaires du projet (chercheurs, animateurs de bassins, conseillers agricoles), complété à la fois par un travail de enquêtes et entretiens individuels auprès d'agriculteurs (Chavassieux, 2013) et des contraintes liées à la modélisation, deux stratégies principales de réduction des herbicides ont été ciblées (Tableau 1). Elles sont basées sur une réduction drastique, par rapport à la moyenne régionale (valeur 0,9 selon Mezière *et al.* (2009)), de l'indice de fréquence de traitement (IFT) herbicide : une stratégie 1a ou « zéro herbicide » et une stratégie 2a visant respectivement un IFT de 0 et de 0,3 aux échelles de la parcelle et du bassin versant. La première stratégie interdit l'emploi de tout herbicide ; la deuxième n'autorise l'emploi d'herbicide que sur un tiers de la superficie de la parcelle, c'est-à-dire sous les rangs de vigne, et ce, à raison d'un seul passage d'herbicide de post-levée. Pour introduire de la souplesse dans les exploitations viticoles une variante à chacune des stratégies a été proposée donnant à chaque exploitation la possibilité d'augmenter son IFT moyen de 0,1. Ces variantes (stratégies 1b et 2b) autorisent l'utilisation d'un herbicide de post-levée sur la totalité de la parcelle dans des parcelles « à problèmes » sous réserve que la superficie totale concernée ne dépasse pas 10 % de la superficie en vigne de l'exploitation. Dans le cadre du projet, les seules parcelles concernées par cette souplesse ont été les parcelles aux inter-rangs très étroits ($\leq 1,6$ m) qui ne peuvent pas être désherbées mécaniquement et sont facilement repérables sur des images satellites.

Tableau 1 : Les stratégies candidates retenues

Stratégie	Objectif IFT annuel à l'échelle du BV	Usages d'herbicides associés
1a	0	0 herbicide sur le rang (R) et inter-rang (IR)
1b	m0,1	Idem stratégie 1a avec autorisation d'un désherbage de post-levée intégral sur parcelles très contraintes (maxi 10 % de la superficie en vigne du BV)
2a	m0,3	Autorisation d'un désherbage de post-levée sur de la superficie de la parcelle (¹ sur le R)
2b	0,3 . 0,4	Idem stratégie 2a avec autorisation d'un désherbage de post-levée intégral sur parcelles très contraintes (maxi 10 % de la superficie en vigne du BV)

Afin de favoriser le maintien d'états de surface du sol le plus infiltrant possible, les modalités d'entretien du sol qui ont été retenues pour chaque stratégie sont basées sur des combinaisons variées au sein de la parcelle d'enherbement naturel permanent, d'enherbement naturel hivernal, de travail de printemps-été, et, lorsqu'autorisé par la stratégie, de désherbage chimique de fin d'hiver. Hormis pour les vignes étroites, considérées soit comme étant arrachées, soit comme entretenues par désherbage chimique intégral, les modalités retenues ont été réparties entre les parcelles en vigne du bassin versant en prenant en compte une cartographie des risques de stress hydrique liés à leur mise en %uvre. La spatialisation des risques de stress hydrique dans le bassin versant du Rieutort a été réalisée au cours d'une étude préliminaire. Elle a mobilisé un modèle de bilan hydrique (WaLIS, Celette *et al.*,2010) pour évaluer les jours de stress hydrique subis par la vigne selon les différentes combinaisons de types de sols du bassin versant et de modalités d'entretien des sols. Finalement, pour chaque stratégie, parmi les différentes modalités d'entretien du sol jugées acceptables pour une parcelle, celle permettant de maintenir un enherbement le plus longtemps possible et sur la plus grande surface possible de la parcelle, a été sélectionnée. Une carte de la distribution spatiale des modalités d'entretien du sol associées a ainsi été générée pour chaque stratégie candidate.

2 L'évaluation par modélisation

2.1 Une chaîne de modèles pour évaluer les impacts productifs et environnementaux des stratégies

Pour chacune des stratégies candidates, l'évaluation des impacts productifs et environnementaux de la distribution spatiale des modalités de entretien du sol associées a été réalisée à l'aide des chaînes de modèles schématisées ci-dessous (Figure 2) et mises en œuvre sur neufs climats types jugés représentatifs de la variabilité climatique du bassin.

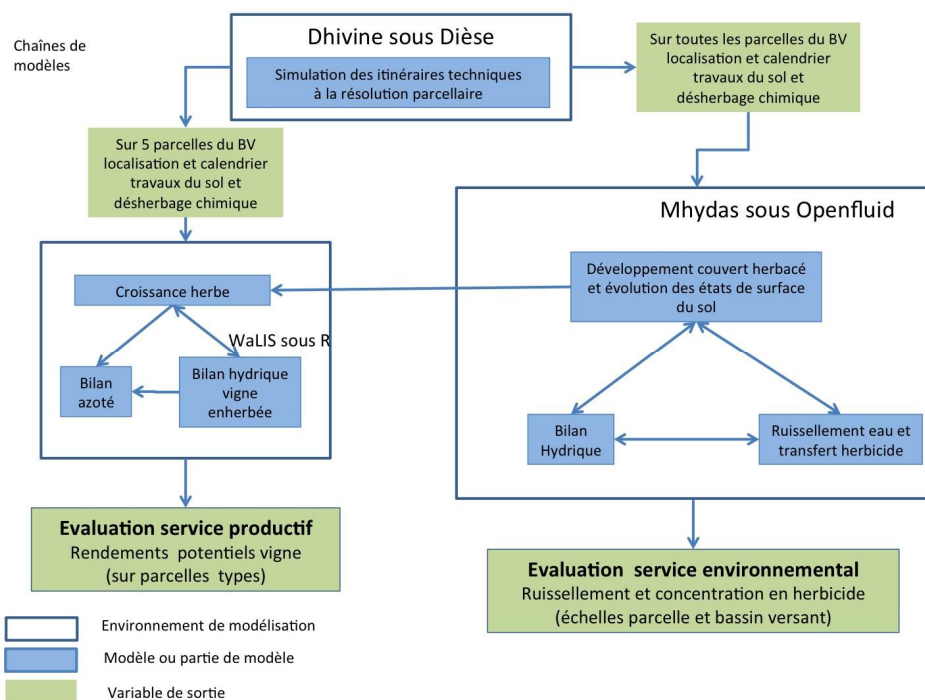


Figure 2 : schéma général décrivant les chaînes de modèles utilisés pour l'évaluation des stratégies candidates

Les itinéraires techniques résultant pour chaque climat type de la modalité de entretien du sol affectée à chaque parcelle du bassin ont été simulés à l'aide d'un modèle de décision (le modèle Dhivine). Ces itinéraires techniques simulés, ont servi de données d'entrée aux modèles biophysiques visant, soit à simuler les bilans hydriques et azotés à l'échelle de la parcelle pour en évaluer l'impact sur le rendement, soit à simuler les flux de ruissellement polluant aux échelles de la parcelle et du bassin versant pour en évaluer l'impact sur la qualité de la ressource en eau. Ces modèles incluent une modélisation de l'évolution des états de surface du sol et/ou du couvert végétal sous l'effet des itinéraires techniques et du climat.

2.1.1 Un modèle pour simuler les itinéraires techniques dans chacune des parcelles en vigne du bassin

La simulation des itinéraires techniques de entretien du sol a été réalisée à l'aide du modèle Dhivine. Ce modèle a été construit à partir d'une connaissance sur la conduite du vignoble dans la plaine viticole héraultaise, issue d'enquêtes auprès d'un échantillon de 54 viticulteurs (Paré, 2011). Il permet de simuler, pour chacune des parcelles en vigne d'un ensemble d'exploitations viticoles, la succession temporelle de toutes les opérations techniques nécessaires à la conduite de la vigne sur un cycle cultural ou, seulement, la succession des opérations culturales d'intérêt pour une étude particulière. Il a été développé sous la plateforme informatique Dièse (Discrete Event Simulation Environment, Martin-Clouaire et Rellier, 2009) et permet de simuler les itinéraires techniques en tenant compte des contraintes d'organisation du travail au sein des exploitations (Martin-Clouaire *et al.*, soumis).

Dans Ddivine, les itinéraires techniques et leur distribution entre les différentes parcelles en vigne d'une exploitation sont spécifiques d'un contexte climatique et de pression phytosanitaire. Ils sont le résultat de la mise en œuvre d'un plan d'action qui définit une liste de chantiers à réaliser. Un chantier est la mise en œuvre d'une opération culturale sur tout ou partie du vignoble de l'exploitation. Il se caractérise par le type de matériel et de main d'œuvre mobilisables pour son exécution, par un mode d'organisation (une parcelle après l'autre ou plusieurs parcelles à la fois), des conditions de déclenchement et d'arrêt (par exemple, un stade phénologique de vigne, un cumul de pluie, une date, la fin d'un autre chantier), les parcelles concernées et leur ordre de passage. Lorsque deux chantiers sont en concurrence pour l'allocation des ressources en matériel et main d'œuvre ou l'exécution, des priorités d'allocation et d'exécution déterminent la façon dont le plan est réalisé.

Paramétrer une exploitation dans le modèle Ddivine consiste essentiellement à décrire sa structure (son vignoble, son matériel et sa main d'œuvre) et à lui affecter une stratégie de conduite, i.e. un plan d'action et un ensemble d'options de gestion concernant : (i) les conditions de déclenchement et d'arrêt ainsi que les modes d'organisation des différents chantiers ; (ii) pour les chantiers d'entretien du sol, la définition des parcelles et des rangées (rangs, inter-rangs) concernées par chaque chantier ; (iii) les degrés de priorité de chaque chantier pour l'allocation des ressources et l'exécution. C'est donc par la paramétrisation de la stratégie de conduite des exploitations que l'on a pu prendre en compte la répartition spatiale des modalités d'entretien du sol liée à chaque stratégie de réduction des usages d'herbicide. En l'absence de données sur les structures des exploitations du bassin du Rieutort, les parcellaires des exploitations du bassin ont été reconstitués à partir de données du Registre Cadastral Parcellaire (RPG) et du dernier recensement agricole, et du matériel et de la main d'œuvre standards ont été affectés à chacune des exploitations.

2.1.2 Des modèles de l'évolution des états de surface et du couvert herbacé

La modélisation de l'évolution des états de surface (EdS) et de leur propriété d'infiltration sous l'effet du climat et des opérations culturales s'est appuyée sur la distinction de plusieurs types de trajectoires d'évolution en fonction du type d'entretien du sol. Trois types ont été identifiés: une trajectoire d'évolution des EdS i) sur sols nus et travaillés, ii) sur sols dés herbés chimiquement, et iii) sur sols avec un enherbement permanent, issu de la croissance d'une végétation herbacée spontanée.

Considérant que dans les situations d'enherbement permanent, les EdS et leurs propriétés d'infiltration étaient invariantes, l'évolution des EdS après une opération culturale n'a été modélisée que pour les deux premières trajectoires.

Considérant par ailleurs que l'évolution des états de surface du sol après une opération culturale était liée à la combinaison de deux processus éventuellement combinés: un processus de développement d'une croûte structurale et un processus de développement d'un enherbement naturel spontané, la modélisation de trajectoires d'évolution des Eds a été basée sur le développement d'un sous-modèle pour chacun de ces processus. Les sous-modèles résultants ont été intégrés dans la modélisation générale des flux à l'échelle du bassin versant sous la plateforme OpenFluid.

Un modèle de formation d'une croûte structurale a été développé pour la trajectoire d'évolution des EdS sur sols nus et travaillés à partir d'une approche statistique (Paré et al., 2011). Cette approche a montré que, tant que le sol restait nu l'évolution de l'état de surface du sol après le travail, était sous la dépendance de la hauteur de pluie et principalement de son énergie cinétique.

Un modèle de développement d'un couvert herbacé spontané plurispécifique après travail du sol ou dés herbage chimique, a été développé en considérant deux phases dans le développement des plantes herbacées : l'émergence et la croissance. La modélisation de l'émergence repose sur le calcul du nombre de graines qui germent chaque jour en fonction de l'état hydrique du sol et des sommes de température subies. La croissance est quant à elle modélisée au travers de l'augmentation du poids sec et de la couverture végétale de chaque cohorte journalière de graines germées. L'augmentation est calculée en fonction de paramètres des espèces concernées et des conditions météorologiques (somme des températures) depuis la germination. Ceci permet d'estimer l'évolution du degré de couverture du sol par les adventices et de simuler le changement d'état de surface et de conductivité

hydraulique de l'horizon de surface quand le degré de couverture dépasse 50 %. Le paramétrage des modèles s'est appuyé sur un travail d'observation de la flore dans le bassin versant du Rieutort et de caractérisation d'enherbements-types. A partir de relevés floristiques *in situ*, deux enherbements-types composés des cinq espèces les plus fréquentes sur le bassin ont été constitués i) sur la période automne-hiver et ii) sur le printemps. Pour enherbement-type une espèce moyenne a été considérée, caractérisée par des traits fonctionnels moyens agrégés à partir des traits des espèces le composant.

Le bilan hydrique d'une vigne enherbée a été modélisé avec le modèle WaLIS. Un couvert unique moyen, regroupant les caractéristiques de l'enherbement hivernal et printanier, a été considéré. Le LAI initial a été fixé à 0, afin que le modèle simule la levée d'un couvert non établi en début de simulation. La date de levée et de début de simulation a été fixée au 1^{er} septembre. Les formalismes de croissance de l'herbe issus du modèle de croissance de l'herbe (Pare, 2011) ont permis de déterminer le taux d'accroissement du LAI. La germination ayant lieu avant le développement végétatif de l'herbe (croissance des feuilles notamment), seul le processus de croissance a été pris en compte dans le calcul du LAI rate. Pour la sénescence du couvert, une moyenne des valeurs de Leaf Life Span (LLS) de chaque espèce composant le couvert est réalisée pour chaque période (automne/hiver et printemps/été) et entre les périodes pour obtenir un LLS unique pour l'enherbement type. Enfin, la régulation de la croissance de l'enherbement a été modélisée.

2.1.3 Des modèles de simulation des stress hydrique et azoté pour estimer le rendement

Le rendement potentiel d'une parcelle est défini par le climat, le type de sol, la densité de plantation et le cépage (van Ittersum et al., 2013). Chaque étape de l'élaboration du rendement, si elle est limitée par l'occurrence d'un facteur limitant, réduit successivement le rendement potentiel à une valeur maximum atteignable à la vendange. Si l'effet des facteurs limitants sur chaque étape de l'élaboration du rendement est connu et quantifié (e.g. effet du stress hydrique à la floraison de l'année n-1 sur la formation des inflorescences (Guilpart et al., 2014), alors des indicateurs de l'évolution du rendement maximum peuvent être calculés et confrontés à l'objectif de rendement. Dans cette étude, nous avons utilisé les simulations des stress hydriques à la floraison (Celette et al., 2010), paramétré sur le bassin versant du Rieutort) et stress azoté (méthode du bilan tenant compte des prélèvements de l'enherbement) pour évaluer le pourcentage de réduction du rendement potentiel de la parcelle déclaré par le viticulteur. Nous pouvons ainsi identifier les modalités de gestion du sol et les conditions climatiques qui permettent un maintien des rendements et celles qui engendrent un risque de perte trop important et sont donc à ce titre inacceptable pour les producteurs.

2.1.4 Un modèle hydrologique distribué pour simuler le ruissellement polluant

Pour permettre la simulation des flux de ruissellement et de pesticides à l'exutoire du bassin versant en fonction de la distribution spatiale des itinéraires techniques au sein du bassin, une modélisation biophysique spécifique a été développée. Cette modélisation est chaînée avec le modèle Dhivine selon le schéma en Figure 2.

La modélisation biophysique a été développée sur la plateforme de modélisation OpenFLUID (Fabre et al., 2010). Elle considère en entrée i) les calendriers culturaux, simulés avec le modèle Dhivine, relatifs aux opérations d'entretien du sol, ii) les caractéristiques climatiques des années test, iii) les caractéristiques du milieu physique : propriétés des sols, parcellaire cultural et topologie du réseau hydrographique. Elle couple i) la modélisation de l'évolution des états de surfaces et de l'infiltrabilité des sols en fonction de la nature du sol, des opérations d'entretien du sol, de la croissance de la végétation adventice et de l'énergie cinétique de la pluie, présentée au § 2.1.2., et ii) le modèle hydrologique distribué MHYDAS (Moussa et al., 2002) qui, dans sa version la plus récente (2014), simule le bilan hydrique et le ruissellement en eau et pesticides des parcelles agricoles ainsi que les écoulements résultants dans le réseau hydrographique auquel sont connectées les parcelles. Au cours du projet, MHYDAS a été modifié afin de prendre en compte l'existence de différents entretiens du sol au sein d'une parcelle. A cet effet, le partage ruissellement/infiltration, le calcul du bilan hydrique du sol et le transfert de pesticides sont différenciés pour différentes sous-unités parcellaires correspondant aux différents entretiens menés sur les rangs et inter-rangs de la culture.

2.2 Les résultats de l'évaluation par modèle

2.2.1 Les itinéraires techniques simulés

Pour chaque stratégie et chaque type de climat, les simulations ont généré une diversité d'itinéraires techniques d'entretien du sol, spatialement répartis dans le bassin versant. Ces itinéraires techniques se différencient, (i) par les techniques utilisées et leurs localisations au sein de la parcelle, tous deux dépendant de la modalité d'entretien du sol affectée à la parcelle, et (ii) par les calendriers de travail du sol et de désherbage chimique, tous deux sous la dépendance des conditions de déclenchement des opérations culturales affectées aux exploitations et des vitesses d'avancement liées aux ressources en matériel et main d'œuvre. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence majeure de calendrier cultural entre stratégies du fait de la rapidité d'exécution des opérations culturales d'entretien du sol et que l'impact du climat sur ce calendrier dépend de l'opération culturale concernée. Pour les trois stratégies concernées par du désherbage chimique, quels que soient les scénarios climatiques, le désherbage chimique se fait entre fin février et début avril. Dans chaque exploitation, les dates de réalisation du désherbage chimique dépendent de la date de fin de taille et de broyage des sarments, elle-même sous la dépendance du nombre d'hectares à tailler par unité de main d'œuvre. Ces dates sont peu sensibles aux variations de pluviométrie. À l'inverse, pour les quatre stratégies, le calendrier de réalisation du travail du sol est très sensible à la pluviométrie du printemps et de l'été, avec pour conséquence une variation du nombre de travaux du sol et des dates de réalisation de chacun d'entre eux selon les climats testés et notamment selon la répartition des événements pluvieux. Sur l'ensemble des parcelles en vigne du bassin versant, quelle que soit la stratégie simulée, le nombre de travaux du sol se situe quasi exclusivement entre 2 et 3 pour les printemps-été secs et entre 3 et 4 pour les printemps-été à pluviométrie moyenne ou humide.

2.2.2 L'évaluation des bilans hydriques et azotés et de leurs conséquences sur le rendement

Les simulations de bilan hydrique et azoté, réalisées sur cinq parcelles, ont permis d'étudier la pertinence de l'enherbement hivernal ou permanent dans des parcelles de vigne du bassin versant du Rieutort. Les résultats sont résumés dans le Tableau 2. Notons que l'évaluation des rendements a été réalisée sur des parcelles types, correspondant aux cinq principaux types de sol du bassin versant. Sur chaque parcelle l'évaluation a été réalisée pour les deux modalités d'entretien du sol qui lui ont été affectées (une modalité pour la stratégie 1a, une autre pour la stratégie 2a) et pour neuf années climatiques types de la région ; ces résultats ne sauraient donc être extrapolés à l'ensemble du bassin versant sans précaution.

De manière générale, on note des risques de stress hydrique élevé dans le bassin versant, dans la majorité des situations simulées. Lors d'années climatiques sèches, toutes les parcelles présentent un déficit hydrique important, excepté pour celle localisée dans la plaine alluviale et caractérisée par un sol relativement profond (2 m de profondeur) avec des remontées capillaires de la nappe. Pour les autres climats simulés, le stress hydrique éprouvé par la vigne est plus limité mais la fraction d'eau disponible pour la vigne dans le sol (\approx fraction d'eau du sol transpirable: FTSW) peut être limitante au moment de la floraison ce qui engendre un risque de perte de rendement. Enfin, dans le cas de sols superficiels (sols de transition et pierreux peu profond), le climat printemps/été est déterminant pour le bilan hydrique des vignes : les réserves hydriques sont faibles et la recharge hivernale des sols perd de son importance. De fait, dans le cas de cette approche par modélisation, la caractérisation des réserves hydriques de chaque parcelle étudiée est essentielle pour la qualité des estimations des conséquences des modalités de gestion pour la production viticole.

Concernant le bilan azoté des parcelles sous l'effet des modalités de gestion, il faut garder à l'esprit que l'enherbement peut concurrencer directement la vigne par ses prélèvements d'azote. La période durant laquelle l'herbe est présente dans la parcelle (hiver, printemps) ainsi que la phénologie de la vigne (débourrement, floraison) sont déterminantes pour évaluer l'impact de cette compétition directe sur le rendement : la pratique d'un enherbement uniquement hivernal pourrait constituer une solution permettant de limiter le ruissellement en hiver, d'immobiliser l'azote pouvant être sujet à la

lixiviation, et de restituer cet élément au sol après destruction/enfouissement. La compétition directe avec la vigne lors de son développement est ainsi évitée. Les prélèvements de eau effectués par le couvert végétal peuvent également affaiblir le processus de minéralisation de l'azote dans les sols, mais les résultats présentés dans cette étude ne sont pas suffisants pour conclure de manière quantitative. Il faudrait pour cela étudier le processus de minéralisation plus finement (calculs journaliers ou saisonniers), et disposer de plusieurs modalités (parcelle enherbée et non enherbée) pour comparer les situations.

Tableau 2 : Synthèse des effets des modalités de entretien du sol sur les rendements en considérant 3 années types (année humide, année moyenne et année sèche)

Type de sol	Rendement objectif	Modalité de entretien du sol		Risque de stress		Rendement attendu			Acceptabilité de la modalité de entretien du sol
		Stratégie 1a	Stratégie 2a	Hydrique	Azoté	Année sèche (SS)	Année moyenne (MM)	Année humide (HH)	
Alluvial	80	Enherbement permanent des inter-rangs . Sous les rangs enherbement hivernal suivi de désherbages mécaniques (S5)	Idem que 1a mais désherbage chimique du rang au printemps (S5q)	Pas de stress	Fort	Pas de perte si complé-ment de fertilisation	Pas de perte si complé-ment de fertilisation	Pas de perte si complé-ment de fertilisation	Acceptable quel que soit le climat de l'année
Molasse	45	Enherbement permanent des inter-rangs . Sous les rangs enherbement hivernal suivi de désherbages mécaniques (S5)	Idem que 1a mais désherbage chimique du rang au printemps (S5q)	Imptnt en année sèche	Pas de stress	- 66 % du rendement objectif	- 31% du rendement objectif	à - 22 % du rendement objectif	Difficilement acceptable, gestion de l'enherbement délicate
Fersiallitique	45	Enherbement permanent des inter-rangs . Sous les rangs enherbement hivernal suivi de désherbages mécaniques (S5)	Idem que 1a mais désherbage chimique du rang au printemps (S5q)	Modéré	Pas de stress	- 31 % du rendement objectif	- 5 % du rendement objectif	Pas de perte de rendement	Acceptable les années moyennes et humides (au moins 6 années sur 9)
Pierre peu profond	20	Enherbement hivernal des rangs et inter-rangs suivi de désherbages mécaniques (S1)	Idem que 1a mais désherbage chimique du rang au printemps (S1q)	Imptnt et permanent	Pas de stress	Rendement très pénalisé (0 d'après estimation)	- 83 % du rendement objectif	- 66% du rendement	Inacceptable car les réserves hydriques du sol sont insuffisantes
Transition	80	Enherbement permanent de 1 IR sur 2 . Enherbement hivernal suivi de désherbages mécaniques sous les rangs et 1 IR sur 2 (S3)	Idem que 1a mais désherbage chimique du rang au printemps (S3q)	Modéré	Risque de stress	- 66 % du rendement objectif	- 14 % du rendement objectif	à - 5% du rendement objectif avec complément de fertilisation à prévoir	Acceptable les années humides et certaines années sèches (~1 année sur 2)

Finalement, l'évaluation des effets des contraintes hydriques et azotées simulées sur le rendement sous l'effet des modalités de entretien du sol choisie pour chacune des stratégies de réduction des herbicides met en avant le caractère acceptable de ces modalités pour les parcelles sur sols profonds

en année humide. Ainsi, en situation d'année climatique humide, le maintien d'un désherbage permanent ou hivernal est acceptable du point de vue du rendement pour trois parcelles (respectivement localisées sur sols alluvial, fersiallitique et de la zone de transition) car elle induit par rapport aux objectifs de rendements actuels des viticulteurs soit une conservation des rendements, soit une diminution légère (5 %). Par contre, ces modalités d'entretien sont inacceptables en année sèche. De manière générale, la pratique de désherbage (hivernal et a fortiori permanent) ne peut se réaliser que lorsque les sols le permettent en termes de profondeur, car les réserves hydriques peuvent supporter une sécheresse, et la vigne est capable de prélever l'eau en profondeur. Pour des sols trop superficiels, le risque de stress hydrique et donc de stress azoté est trop important, d'autant que la fréquence d'années sèches est relativement élevée dans la région. Ce résultat est en apparente contradiction avec la carte d'aptitude établie lors de l'étude préliminaire du projet, mais peut s'expliquer par le fait d'avoir pris plus finement en compte (i) la caractérisation des réserves hydriques des sols ; (ii) la nature et la dynamique de croissance de désherbage spontané du bassin ; (iii) le bilan d'azote des parcelles viticoles et (iv) la dynamique azotée des sols et iii) la variabilité climatique du bassin versant, à travers la génération de 9 climats types.

Au final, les différences entre les parcelles semblent dépendre plus fortement de leur caractéristiques hydriques (profondeur du sol, texture, capacité de rétention) que de leurs modes de gestion respectifs. Le facteur déterminant dans l'acceptabilité est la variabilité climatique très importante de la région et suggère que les pratiques d'entretien des sols doivent être ajustées chaque année pour cadrer avec la réalité climatique et les contraintes subies par la vigne.

2.2.3 L'évaluation des impacts environnementaux

Les impacts environnementaux des 4 stratégies normatives sur le bassin versant du Rieutort ont été simulés avec le modèle MHYDAS. Le tableau 3 présente une synthèse des résultats.

Tableau 39: Valeurs simulées des concentrations maximales annuelles et des pertes cumulées en pesticides à l'exutoire du bassin du Rieutort selon les 4 stratégies normatives

Stratégie	Pression (% de la surface viticole désherbée chimiquement)	Pertes en pesticides (kg)			Taux de pesticides sortant (appli = 2kg/ha) (%)		
		moyenne	minimum	maximum	moyenne	minimum	maximum
2b	38 %	2,68	<0,0001	4,70	0,24	<0,0001	0,40
2a	34 %	2,40	<0,0001	4,34	0,24	<0,0001	0,42
1b	4 %	0,21	<0,0001	0,41	0,18	<0,0001	0,34
1a	0 %	0	0	0	0	0	0

Stratégie	Pression (% de la surface viticole désherbée chimiquement)	Concentration maximale (µg/L)			Ruissellement (mm)		
		moyenne interannuelle	minimum	maximum	moyenne	minimum	maximum
2b	38 %	2,12	0,0001	3,48	181,83	49,99	288,27
2a	34 %	2,00	<0,0001	3,35	181,67	49,98	288,07
1b	4 %	0,17	<0,0001	0,33	181,08	49,92	286,32
1a	0 %	0	0	0	180,85	49,92	286,15

Les résultats obtenus confirment l'effet d'ordre 1 de l'intensité de la pression phytosanitaire sur l'intensité de contamination des eaux. Ce résultat attendu, mais très délicat à démontrer par des observations in situ en raison de la méconnaissance très fréquente des pratiques de traitement à l'échelle des bassins versants, est quantifié ici par l'approche de modélisation. Il indique la pertinence de rechercher prioritairement des stratégies économes en herbicides pour l'entretien des sols. Ce sont les stratégies évitant de manière généralisée l'emploi d'herbicides qui sont les seules viables à terme en matière de respect de la qualité des ressources en eau. En effet, même la stratégie 1b, qui n'autorise de fait des traitements que sur moins de 2 % de la surface du bassin, produit des niveaux significatifs de contamination à l'exutoire du bassin. La forte variabilité inter-annuelle des contaminations simulées confirme la nécessité de comparer des stratégies sur un ensemble d'années

et indique les biais potentiels d'expérimentations de courte durée pour sélectionner des stratégies d'entretien du sol plus préservatrice des ressources en eau.

On notera que les ordres de grandeurs des débits et concentrations en pesticides simulés sont cohérents avec les ordres de grandeurs des valeurs observées sur les sites expérimentaux situés dans des conditions climatiques, agronomiques et pédologiques proches. La modélisation, bien que élaborée, présente de nombreuses limites, qu'il convient d'avoir à l'esprit. Trois limites majeures peuvent être citées.

- **La faiblesse des informations sur le comportement des sols** du bassin du Rieutort qui nous a conduit à extrapoler des données acquises sur le bassin versant de Roujan (ORE OMERE), situé à proximité. Pourtant le Rieutort bénéficie d'une carte des sols à l'échelle du 1/100 000^{ème}, qui est plus précise que celle disponible en général en France (échelle du 1/250 000^{ème}). Malgré les efforts conséquents faits par la communauté du sol ces dernières années, la question de l'acquisition d'une connaissance spatialisée des sols et de leurs propriétés à une résolution spatiale suffisante reste posée dans le cadre d'une application environnementale telle que développée ici.
- **Le caractère encore frustré de la modélisation du développement de la végétation herbacée spontanée**, qui n'intègre pas les effets négatifs de la sécheresse à ce stade et d'autres effets possibles générant une faible levée et donc une faible couverture. De ce fait, la modélisation surestime sans doute le degré de couverture des sols par les adventices au cours de l'année, ce qui revient à minimiser quelque peu les flux de ruissellement à l'échelle parcellaire.
- **L'absence de prise en compte des échanges surface-souterrain, notamment dans le réseau hydrographique**, en raison d'une méconnaissance des aquifères du Rieutort et de leurs connexions avec la surface. La conséquence en est une dynamique modifiée des débits à l'exutoire du bassin, avec une maximisation des crues qui suivent les périodes sèches, puisque aucune réinfiltration n'intervient dans le réseau et une sous-estimation des débits entre crues, puisque aucun débit de base n'est simulé.

Au-delà de l'analyse des stratégies normatives envisagées dans ce projet, le résultat majeur de cette partie est la construction d'un modèle biophysique, complexe mais opérationnel, qui ouvre de nombreuses possibilités. Il doit certes encore être amélioré, cf. les limites évoquées ci-dessus, mais d'ores et déjà il permet de tester l'effet de choix techniques à l'échelle du bassin versant sur le transfert de pesticides vers l'exutoire par ruissellement de surface. De plus, son couplage avec le modèle de décision Dhivine permet d'évaluer à présent dans le cas de bassins viticoles des stratégies d'entretien du sol à l'échelle des exploitations d'un bassin. Ceci autorise le test de l'impact d'itinéraires techniques résultant de conditions d'exploitation variables i) spatialement en fonction des contraintes de sol, ii) temporellement en fonction des contraintes climatiques et iii) spatio-temporellement en fonction des moyens humains et techniques des exploitations.

2.3 Bilan de l'évaluation par modélisation

2.3.1 Les performances productives et environnementales des stratégies

Les résultats de l'évaluation des performances productives montrent qu'il n'y a pas de différences entre stratégies au niveau de la production car les durées d'enherbement sont les mêmes (et le mode de destruction chimique ou mécanique n'a pas d'incidence sur le niveau de production). Ils montrent également que les éventuelles pertes de rendement sont plus liées à un problème de stress hydrique qu'à un problème de stress azoté (qui peut être de plus évité par une fertilisation adaptée, en dose et en forme d'apport). Finalement, le résultat le plus marquant est que, **telles quelles, les stratégies ne sont pas viables**. Les niveaux de rendements espérés sont tous très variables selon les années, bien qu'avec plus ou moins d'intensité selon les types de sol (et leur statut hydrique qui dépend notamment de la profondeur). Ce résultat suggère la nécessité de passer de modalités d'entretien du sol basées sur une répartition spatio-temporelle fixe de l'enherbement au sein des parcelles à **des modalités plus flexibles** basées sur un enherbement variable en durée et en répartition au sein de la parcelle selon les années. La prise en compte, par exemple, d'un indicateur de stress hydrique pourrait être étudiée, même si cela peut s'avérer difficile à gérer par l'agriculteur du fait de la nécessaire anticipation sur le risque de stress hydrique.

Les résultats de l'évaluation environnementale montrent clairement la nécessité de diminuer la pression phytosanitaire pour diminuer l'intensité de la contamination des eaux. La **stratégie zéro herbicide** est à terme la seule à même d'assurer le respect de la qualité des ressources en eau tout au long de l'année (pour un seuil de potabilité de l'eau de 0,01 µg/l). Néanmoins, dans le cas où, pour une période éventuellement transitoire - un niveau de contamination maximal supérieur au seuil resterait toléré, les faibles différences de concentrations en herbicide des eaux de ruissellement entre les stratégies 2a et 2b et entre les stratégies 1a et 1b, montrent que **l'introduction d'un peu de flexibilité dans l'usage des herbicides est envisageable.**

2.3.2 La chaîne de modélisation

Une telle évaluation des performances productive et environnementale de stratégies de réduction des herbicides n'aurait pas été possible sans la chaîne de modélisation qui a été développée au cours du projet. Cette chaîne est basée sur :

- **un modèle de décision** pour la viticulture, permettant de simuler les itinéraires techniques viticoles mis en œuvre sous différents climats en tenant compte des choix de gestion technique du vignoble et des ressources des exploitations ;
- **un modèle d'évolution des états de surface** du sol basé sur la prise en compte des processus biophysiques à l'origine de ces évolutions (la formation d'une croûte structurale et le développement d'un couvert herbacé sous l'effet du climat et des itinéraires techniques) ;
- **un modèle de bilan hydrique** pour une association herbe-vigne, un bilan azoté couplé et un indicateur des impacts des stress hydrique et azoté sur la réduction du rendement potentiel ;
- **un modèle hydrologique de transfert de polluants** prenant en compte des processus hydrologiques variables sur une parcelle du fait de modes d'entretien du sol variables selon les rangs et inter-rangs d'implantation de la culture.

Nous disposons à présent d'une chaîne de modélisation complète utilisable pour tester les impacts productifs et environnementaux de stratégies techniques aux échelles de la parcelle, de l'exploitation viticole et du bassin versant. Néanmoins **quelques limites actuelles des modèles** et de leur chaînage sont à mentionner.

Concernant **le modèle de décision Dvine**, le choix de modéliser les itinéraires techniques, en tenant compte pour chaque exploitation concernée des caractéristiques de son vignoble, de ses ressources en matériel et main d'œuvre, et de sa stratégie de conduite du vignoble, a du sens. A stratégie équivalente, ce choix permet de rendre compte de la variabilité des itinéraires techniques liée aux conditions d'exploitation. Cependant, un tel choix se traduit par de nombreux paramètres à renseigner pour chaque exploitation simulée. Certains de ces paramètres sont difficilement accessibles lorsque l'on travaille sur des territoires importants. Ils concernent en effet des données privées qui ne sont pas toutes accessibles à l'échelle individuelle dans les bases données des recensements agricoles et des enquêtes exhaustives pour les recueillir ne peuvent être envisagées. La résolution de cette difficulté sur le bassin du Rieutort est passée par le choix d'une paramétrisation simplifiée des ressources en matériel et main d'œuvre et par la non prise en compte de toutes les opérations techniques susceptibles d'entrer en concurrence avec les opérations d'entretien du sol. Par ailleurs, le modèle inclut une large gamme d'options de gestion des différentes opérations culturales nécessaires à la conduite d'un vignoble. Il n'offre cependant pas encore une gamme de choix suffisamment large pour simuler toutes les flexibilités possibles des conduites techniques dans les exploitations agricoles.

Pour **l'évaluation productive à l'aide des bilans hydriques et azotés**, les principales limites sont (1) la simulation des effets des conduites techniques des parcelles types et non sur l'ensemble des parcelles du bassin versant ; (2) la simplification de l'encépagement et du mode de conduite (Syrah) pour l'évaluation des pertes de rendement ; (3) la non prise en compte des flux d'azote hors du système plante-enherbement dans les situations faiblement enherbées (pour lesquelles le risque de lixiviation existe et peut modifier le bilan azoté).

Dans la perspective de rendre ce modèle d'évaluation de la production viticole, intégrant les bilans hydriques et azotés des parcelles, plus générique, les travaux futurs devront prendre en compte : (i) la diversité des parcelles du point de vue caractérisation hydrique (texture et profondeur de sol exploré par le système racinaire viticole) et azotée (matière organique) à l'échelle du bassin versant; (ii) les particularités des cépages du point de vue besoin en azote et surtout sensibilité au stress azoté, et conséquences sur les pertes de rendements ; (iii) le calcul des flux d'azote hors de la parcelle notamment la lixivitation pour apprécier les conséquences environnementales des différentes modalités de gestion envisagées.

Pour l'évaluation environnementale à l'aide du modèle hydrologique, les deux principales limites sont (1) la non prise en compte du stress hydrique et de la sénescence dans la modélisation du développement des adventices dans MHYDAS conduit à surévaluer la présence d'herbe sur les parcelles et donc à limiter artificiellement le ruissellement simulé, et (2) la méconnaissance à une résolution suffisante des propriétés du milieu nécessaires au paramétrage des simulations.

Le bassin versant du Rieutort a été choisi essentiellement du fait de l'existence d'une forte demande locale (cave coopérative, agriculteurs) concernant l'identification de modalités d'entretien du sol permettant d'aboutir à la réduction des risques de ruissellement polluant. Il présente toutefois la particularité de n'être pas équipé, notamment à son exutoire, d'une station de mesures et de prélèvements d'échantillons permettant de suivre et d'analyser les concentrations en pesticides dans les eaux. **Une évaluation du modèle sur des données de contaminations observées n'était donc pas possible.** Elle aurait été difficile de toutes manières, même en disposant de données de contamination, car pour être pertinente, elle aurait exigé une bonne connaissance des utilisations de pesticides sur l'ensemble du bassin Rieutort durant toute la période d'évaluation. Or en milieu viticole languedocien le enregistrement systématique des pratiques phytosanitaires est très rare.

Une évaluation approfondie de la modélisation n'est en fait possible que sur des sites observatoires où des chroniques d'utilisation des pesticides et de contamination des eaux détaillées sont disponibles. Du fait de la difficulté d'obtention de ces données, ces sites sont de tailles plus réduites que le bassin du Rieutort. Ainsi, antérieurement au projet SP3A, nous avons mené une évaluation de la modélisation (Bouvet et al., 2011) sur le bassin versant de Roujan de 91 ha, faisant partie de l'Observatoire de Recherche en Environnement OMERE) et sur lequel les pratiques et la contamination de l'eau sont suivis depuis près de 20 ans. Du fait de la proximité de situation agro-pédo-climatique entre cet observatoire et le Rieutort, nous avons fait l'hypothèse que la modélisation employée était également valide pour une application sur le Rieutort. Notons par ailleurs que l'objectif des simulations menées dans le projet était de comparer le bénéfice environnemental apporté par plusieurs stratégies de réduction d'utilisation des pesticides et non de simuler le niveau absolu de contamination induit par chaque stratégie.

Le temps imparti au programme n'était pas compatible avec une étude concernant la transposition des résultats à d'autres contextes pédo-climatiques. Il nous faut signaler que les modèles relatifs au transfert de pesticides à l'échelle du bassin versant, développés et utilisés dans ce programme SP3A, sont particulièrement adaptés à des bassins versants où le ruissellement est prépondérant. Un travail de transposition à des contextes où le transfert des pesticides serait influencé de manière significative par d'autres voies telles que la percolation dans les sols et concernerait la contamination de masses d'eaux profondes nécessitera des développements complémentaires en termes de modélisation hydrologique. Ils sont en cours au sein de l'UMR LISAH.

Enfin une limite de l'ensemble de la chaîne de modélisation concerne **l'absence de couplage entre modélisation décisionnelle, bilans hydriques et azotés et le modèle hydrologique.** Un couplage des modèles (avec rétroactions des modèles entre eux) au lieu du chaînage actuel (sans possibilités de rétroactions) permettrait de mieux adapter les itinéraires techniques simulés aux conditions hydriques et de production des parcelles. Par ailleurs, il rendrait cruciale la question de l'homogénéisation entre les différents modèles des choix de représentation des processus (par exemple, de développement du couvert végétal et de bilan hydrique).

En dehors de la question de l'accessibilité des données nécessaires au paramétrage des modèles, les différents points évoqués sont des points d'amélioration potentiels pour le futur.

3 L'évaluation à dire d'experts

L'évaluation à dire d'experts des stratégies candidates a été basée sur la réalisation et l'analyse d'entretiens auprès d'un échantillon de viticulteurs du bassin. Ces entretiens portaient sur les pratiques de entretien du sol actuelles, les évolutions envisagées et les réseaux de dialogue professionnels. Leur analyse a permis d'aborder la question des logiques de changements pour la réduction des usages d'herbicides appréciées à un niveau individuel et à un niveau collectif.

3.1 Les logiques de changement au niveau individuel

Dans le bassin versant étudié, et pour les viticulteurs « professionnels » les marges de manœuvre pour réduire l'usage des herbicides concernent uniquement la gestion du rang de vignes (ce qui représente au maximum 1/3 de la superficie parcellaire). Dans l'inter-rang les pratiques ont déjà très majoritairement exclus le recours aux herbicides et ce depuis plusieurs années. Ce point mérite d'être souligné car il dénote une dynamique forte de changement chez les agriculteurs et une très forte réduction de l'FT herbicide (on peut faire remonter cette dynamique au début des années 2000) et interroge sur le fait de ne pas constater d'amélioration des masses d'eau. Le saut supplémentaire et ultime à réaliser qui serait l'abandon total des désherbages chimiques sous le rang apparaît toutefois plus difficile à concevoir et à réaliser pour un certain nombre de viticulteurs, même si là également il existe une tendance à un usage en développement des outils inter-ceps et donc à une réduction d'usage de produits chimiques ; on peut penser que là aussi le temps passant un état proche du 0 herbicide (au moins certaines années) pourrait être atteint.

Le nœud de la transition vers le 0 herbicide est l'usage d'un outil inter-ceps. Usage ne veut pas dire achat (on peut « bricoler » un outil plus ou moins bien approprié) et achat ne veut pas dire usage (du fait des temps de travaux importants avec cet outil ou d'une déception quant à l'efficacité escomptée), de plus ces outils ne sont pas toujours achetés avec une aide financière. On peut alors s'interroger sur l'intérêt qu'il y aurait (1) à favoriser les échanges entre agriculteurs (et avec des constructeurs/artisans) autour de ces questions de machinisme agricole et d'adaptation des outils et (2) à favoriser également les recours à l'entreprise (entreprenariat) afin de résoudre la question du manque de temps (pour utiliser ces outils) chez certains agriculteurs.

Concernant la souscription aux mesures d'aide (MAE), on peut être quelque peu surpris par la manière avec laquelle les agriculteurs adhèrent à ces mesures. En effet, même ceux qui font partie du groupe des utilisateurs intensifs d'herbicides sous le rang souscrivent des contrats « 0 herbicides » sur une partie de leur exploitation (pratiques très contrastées entre parcelles). Même si il convient d'évoquer les effets d'aubaine, il est certain que cela amène ces viticulteurs à expérimenter sur certaines de leurs parcelles en vue de concevoir de nouvelles stratégies pour l'avenir (ils savent qu'ils vont devoir évoluer). Il importe de mentionner que la souscription aux MAE peut être fortement remise en cause par les agriculteurs, la raison principale étant le manque de souplesse que cela occasionne, les agriculteurs recherchent des combinaisons de pratiques que le contrat ne permet pas : ainsi pouvoir associer l'inter-ceps à l'herbicide de post-levée (selon les parcelles et les années) constitue une sécurité fortement appréciée.

Les stratégies conçues par les experts se sont focalisées sur l'idée d'**apporter une certaine souplesse aux agriculteurs** en autorisant des « dérogations » sur des parcelles dites « à problème ». L'idée s'est avérée judicieuse, mais pour être efficace il convient de modifier cette notion de souplesse, celle-ci doit être au moins autant si ce n'est **plus temporelle que spatiale** (faire succéder dans un itinéraire technique des méthodes mécaniques et chimiques si nécessaires). Par ailleurs, lorsqu'elles traitent de dérogations spatiales, les stratégies conçues par les experts sont insuffisamment contrastées pour satisfaire les agriculteurs. Cela plaide pour que, dans la

construction de scénarios, soient associés des praticiens car ils sont les plus à même de faire état des risques et de proposer des formes de souplesse adaptées à leurs situations.

On notera que les entretiens n'ont pas été spécifiquement centrés sur la question de l'entretien et n'apportent pas beaucoup d'éléments sur la gestion de l'entretien par les viticulteurs. On peut juste noter seulement que le fait de laisser l'herbe naturelle pousser en hiver ou un peu plus longtemps au printemps était spontanément évoqué, ce qui n'a pas été le cas pour l'entretien permanent, suggérant un faible intérêt pour cette dernière pratique.

3.2 Les logiques collectives de changement

Une de nos hypothèses est que la capacité des agriculteurs à simplifier largement, de manière maîtrisée, dans la mise en œuvre de pratiques alternatives à celles déployées jusqu'à présent est fortement liée à leur possibilité d'accéder à des ressources cognitives et sociales pertinentes, en s'inscrivant dans un **espace local de dialogues professionnels sur les pratiques**.

Les liens entre les individus trouvent leur origine dans des groupes formels auxquels ils peuvent participer, dans des groupes informels ou des rapports de voisinage. Les groupes formels sont pour la plupart des associations petites et locales qui sont citées par les viticulteurs comme lieu où l'on peut échanger sur les pratiques. On observe ainsi que les pratiques d'entretien du sol sont en cours d'évolution et qu'elles sont discutées et font l'objet d'un certain nombre de réflexions.

Les viticulteurs citent les technico-commerciaux de l'agrofourniture comme étant des appuis pour orienter leurs pratiques. Ils s'appuient sur leurs recommandations pour les choix de produits de traitement. Pour la plupart, ils disent être « bien informés » : entre les journaux, les bulletins techniques, les formations et les techniciens le problème est plutôt de trouver le temps nécessaire pour tout utiliser.

De nombreux liens sont essentiellement noués entre les viticulteurs du bassin et quelques uns sont tissés avec des viticulteurs des alentours. Le bassin versant paraît donc une limite géographique pertinente pour appréhender les liens sociaux entre viticulteurs. La plupart des viticulteurs se connaissent même s'ils n'entretiennent pas de liens entre eux. On compte 217 liens entre les viticulteurs du bassin du Rieutort dont 49 n'ont pas été enquêtés. Seulement 30 liens sont noués avec des viticulteurs de bassins limitrophes. Le réseau a une forme globale de noyau - périphéries, où le noyau regroupent des viticulteurs fortement interconnectés entre eux et les périphéries de viticulteurs situés sur le pourtour du noyau et plus faiblement interconnectés avec les membres du noyau : ils sont localement socialement moins fortement intégrés. Trois positions des viticulteurs peuvent être distinguées : le noyau du réseau, la première périphérie et la seconde périphérie. Les viticulteurs de la première périphérie ont des liens avec des viticulteurs du noyau et avec ceux de la seconde périphérie. La seconde périphérie est constituée principalement de viticulteurs non enquêtés mais pas uniquement.

Les types de pratique identifiés peuvent être positionnés sur le réseau pour voir le lien entre les positions pratiques et les positions sociales des individus. Plus les viticulteurs ont des pratiques de désherbage importantes plus ils sont dans le noyau du réseau (6/11 du groupe « désherbage fort » 4/10 du groupe « désherbage standard » ; 2/6 du groupe « faible usage d'herbicide » ; 1/4 du groupe « zéro herbicide »). De plus, parmi les cinq viticulteurs les plus centraux, trois sont des utilisateurs de désherbants. Ce noyau étant le lieu où se définissent les normes pratiques locales, ce constat fait apparaître une norme encore très centrée sur l'usage des désherbants. Parmi ces viticulteurs du noyau six (sur 16) sont des membres du conseil d'administration de la cave coopérative de Murviel-lès-Béziers et appartiennent à la grande CUMA à Causses-et-Veyran. Ils sont donc dans des institutions en capacité d'orienter les pratiques des viticulteurs. Toutefois ces viticulteurs du noyau ne sont donc pas complètement fermés aux changements de pratiques. Trois ont ainsi engagé des MAEt. De plus parmi les cinq viticulteurs plus centraux du noyau, deux font faiblement ou pas du tout usage de désherbants. Ce qui signifie que la norme dominante en matière d'entretien des sols se trouve concurrencée par les pratiques alternatives d'autres viticulteurs du noyau.

Nous avons donc affaire à une norme en cours de modification, qui accepte des variantes. Ainsi le groupe des bio est bien intégré dans le réseau social et ne représente pas un groupe isolé. Toutefois ils sont principalement dans la première périphérie, et trois d'entre eux sont interconnectés. Le groupe très peu d'herbicides dominé par des viticulteurs plus vieux que la moyenne issus de milieu agricole, sont également répartis entre le cœur du réseau et la première périphérie. Certains de ces viticulteurs de ce groupe peuvent avoir une position importante pour diffuser l'information et peuvent démarrer un processus de réflexion sur une réduction de l'utilisation de l'herbicide. Il faut noter qu'ils sont, comme les bio, dans la même zone du réseau. Ils appartiennent au même groupe de pratiques (groupe 2) et sont membres de la même coopérative (Murviel-lès-Béziers). La mise en œuvre d'alternatives à la norme dominante s'opère entre viticulteurs qui ont une certaine proximité dans leur position dans le réseau. Le groupe désherbage standard qui est dominé par des viticulteurs avec une expérience professionnelle antérieure, est principalement situé (60 %) dans la première périphérie, cela veut dire qu'ils ne sont pas centraux dans la diffusion de l'information.

Cette approche du réseau de dialogues professionnels des viticulteurs du bassin permet de situer la **structure sociale présente** et la position qu'occupent les agriculteurs en fonction de leurs pratiques. Elle donne des indications sur la **dynamique de changements à l'œuvre** et des renseignements sur les viticulteurs en position d'intermédiation entre des cliques du réseau et donc en position d'introduire des idées nouvelles d'une clique à une autre. Elle offre une base pour mettre en place des actions de développement. Ces actions prêteront attention à l'état actuel des pratiques des viticulteurs du réseau, pour promouvoir celles qui leur sont aujourd'hui accessibles. Mais elles seraient aussi attentives dans l'organisation d'action de développement à la proximité sociale des individus, proximité qui ne tient pas directement de leur type de pratique. Ainsi des rencontres de viticulteurs en bio avec ceux fortement utilisateurs de désherbants peuvent être envisagées pour ceux qui se trouvent déjà en contacts entre eux dans le réseau. Ce travail offre aussi d'un point de vue de la recherche des moyens pour suivre la façon dont la dynamique de changements de pratique va s'opérer dans le futur en fonction du cadre d'accompagnement, du cadre réglementaire et du cadre marchand des viticulteurs. D'un point de vue sociologique, il permettra de suivre comment les transformations de pratique vont être ou non favorisées par ces liens sociaux, et comment des changements de pratiques vont ou non donner lieu à une reconfiguration du réseau.

4 Conclusion

Pour tirer les enseignements complets de la mise en œuvre de notre démarche et des résultats obtenus, une séance de travail collectif entre des acteurs extérieurs et les différents partenaires du projet sera organisée en mars 2015. Cette réunion ne peut être programmée avant la rédaction de ce rapport en raison d'une finalisation trop tardive des simulations de comparaison des stratégies candidates de réduction d'utilisation des herbicides sur le Riuetort.

Le programme SP3A a permis de produire quatre scénarios reposant sur des stratégies de réduction des herbicides à l'échelle de la parcelle et du bassin versant.

L'analyse à dire de viticulteurs et les résultats des évaluations par modèles de ces stratégies convergent vers la question de l'introduction de plus de flexibilité dans la définition des stratégies de réduction des usages d'herbicide et des modalités d'entretien du sol associées.

Les entretiens ont permis d'identifier l'existence d'une norme technique encore très centrée sur un usage important d'herbicides mais qui admet l'existence de pratiques alternatives. Ils montrent que l'évolution vers une réduction des usages, voire un abandon total des herbicides, est a minima en débat et souvent mise en actes par des pratiques alternatives sur tout ou partie du vignoble des exploitations du bassin. Ils soulignent néanmoins que l'acceptabilité individuelle de cette évolution serait probablement facilitée par l'autorisation d'une plus grande souplesse temporelle et spatiale dans l'utilisation des herbicides que celle proposée dans les stratégies identifiées par les experts, et ce, pour faire face à des années ou à des parcelles difficiles. Du point de vue de l'impact

environnemental, les résultats de l'évaluation par modèles indiquent qu'une certaine souplesse peut effectivement être autorisée sans modifier de manière drastique le niveau de contamination des eaux de ruissellement. A terme l'abandon total des herbicides, reste cependant la seule voie permettant de garantir la qualité des masses d'eau issues du ruissellement.

Ces résultats militent pour l'invention de stratégies plus flexibles sur l'usage des herbicides que celles proposées et évaluées. En même temps, ils posent la question du niveau de contamination acceptable pour définir et borner cette flexibilité et celle des critères à utiliser pour l'évaluation de la contamination (par exemple, concentration moyenne et/ou concentration maximum des eaux de ruissellement). De telles stratégies pourraient a minima être mises en œuvre au cours d'une ou plusieurs phases transitoires vers une cible zéro herbicide.

De son côté, l'évaluation productive montre que les stratégies doivent également intégrer une souplesse dans la gestion de l'herbement naturel avec la prise en compte d'indicateurs permettant de supprimer le couvert végétal plus ou moins tôt en fonction de la sécheresse de l'année considérée, en particulier celle de la période hivernale.

L'identification de telles stratégies et de leurs critères d'évaluation ne pourra être possible qu'en élargissant le panel des experts mobilisés au cours de projet. Devront notamment être intégrés des praticiens-viticulteurs, seuls à même de proposer des solutions adaptées à leurs situations.

Les impacts productifs et environnementaux de stratégies plus élaborées et plus flexibles ne pourront être correctement évalués que si des améliorations sont apportées sur la chaîne de modélisation. Un point essentiel sera notamment la capacité du modèle Ddivine à simuler les itinéraires techniques issus de telles stratégies, ce qui suppose de pouvoir disposer d'indicateurs d'états de l'agrosystème pertinents (par exemple le niveau de stress hydrique des parcelles). Ce point repose la question du couplage entre les différents modèles. Une évaluation complète des stratégies englobant des aspects économiques, sociaux et liés au temps et à la pénibilité du travail auraient pu compléter le travail fait. La lourdeur de ces volets nous a conduit à choisir une évaluation qualitative des stratégies par les acteurs de terrain, intégrant implicitement l'argument économique.

Références bibliographiques

- Agence de l'eau RMC, 2004. "Pesticides dans les eaux superficielles et souterraines du bassin Rhône-Méditerranée-Corse : données 2002 et 2003." Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon, <http://www.eaurmc.fr>.
- Al Haj Khaled, R., Duru, M., Theau, J. P., Plantureux, S., & Cruz, P., 2005. Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species. *Journal of Vegetation Science*, 16(4), 391.
- Andrieux P., 2006. Effets des pratiques culturales sur le ruissellement et l'érosion. Séminaire Vigne, sol et environnement. INRA, Montpellier, 2006. Document en ligne : <http://www.montpellier.inra.fr/vignesolenv/actes/ANDRIEUX.pdf>
- Andrieux P., Louchart X., Negro S., Cambon B., Voltz M., 2007. Influence des pratiques d'entretien du sol viticole sur les transferts de glyphosate et d'AMPA par ruissellement. Trois années d'expérimentation. AFPP . Vingtième conférence du COLUMA. Journées internationales de lutte contre les mauvaises herbes Dijon, 11 et 12 décembre 2007.
- Andrieux, P., 2008. Soil surface characteristics and infiltration in Mediterranean cultivated areas, in E. Roose; J. Albergel; G. De Noni; A. Laouina & M. Sabir, ed., 'Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides : actes de la session 7 organisée par le réseau E-GCES au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), 14-19/05/2006', AUF, EAC, IRD (eds), Paris, pp. 362-366.
- 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.
- Attonaty, J.-M., Chatelin, M.-H., Mousset, J., 1993. A decision support system based on farmers' knowledge to assess him in decision-making about work organization and long term evolution. *EurAgEng*, October 1-2 1993, Firenze (Italy).
- Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, P., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., and Voltz, M., 2005. "Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'expertise collective." Inra et Cemagref (France).
- Aubry C., Biarnès A., Maxime F., Papy F., 1998a. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture. In : Dent B., Brossier J. (Ed.), Inra, Etudes et Recherches Syst. Agraires Dév., 31 : 25-43.
- Aubry, C., Papy, F., and Capillon, A., 1998b. Modelling decision-making process for annual crop management. *Agricultural Systems* 56, 45-65.
- Aujas P., Lacroix A., Lemarié S., Reau R., 2011. Réduire l'usage des pesticides. Un défi pour le conseil aux agriculteurs. *Economie rurale*, 324, 18-33.
- Auzet, A. V., Boiffin, J., and Ludwig, B., 1995. Concentrated flow erosion in cultivated catchment: influence of soil surface state. *Earth Surface Processes and Landforms* 20, 759-767.
- Becker H. S., 1988, *Les mondes de l'art*, Paris, Flammarion.
- Benjamin, L. R., & Park, S. E., 2007. The Conductance model of plant growth and competition in monoculture and species mixtures: a review. *Weed Research*, 47(4), 284. 298.
- Berger P. L., Luckmann T., 1986, *La construction sociale de la réalité*, Paris, Méridiens Klincksieck.
- Biggs, R., Raudsepp-Hearne, C., Atkinson-Palombo C., Bohensky, E., Boyd, E., Cundill, G., Fox, H., Ingram, S., Kok, K., Spehar, S., Tengö, M., Timmer, D., Zurek, M., 2007. Linking Futures across Scales: a Dialog on Multiscale Scenarios. *Ecology and society*, 12(1), 16p.
- Bochet, E., 2007. Soil water availability effects on seed germination account or species segregation in semiarid roadslopes. *Plant Soil*, 295(1-2), 179. 191.
- Bonnefoy A., 2013. Modélisation des pratiques agricoles en vue de l'évaluation des impacts hydrologiques de scénarios d'évolution des techniques d'entretien du sol dans un bassin versant méditerranéen, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ENGEES, UMR LISAH, Montpellier, 64 pages et annexes.
- Bouvet L., Louchart X., Voltz, M. 2011. Towards operational models for water and pesticides fluxes at the catchment scale: model performance vs data quality. XIV Symposium in Pesticide Chemistry, Piacenza, Italie, 30 august . 1 septembre 2011.

- Bradford, K., 1995. Water relations in seed germination. In *Seed development and germination*, pages 351-396. J. Kigel et G. Galili (Eds), New York, Marcel Dekker edition.
- Celette F., 2007. Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro.
- Celette F., Findeling A., Gary C., 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, 30, 41-51.
- Celette F., Gaudin R., Gary C., 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping, *European Journal of Agronomy*, 29(4), 153-162.
- Celette F., Ripoche A., Gary C., 2010. WaLIS - A simple model to simulate water partitioning in a crop association: The example of an intercropped vineyard. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1749-1759.
- Celette F., Wery J., Chantelot E., Celette J., Gary C., 2005. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.) - tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: water relations and growth. *Plant and Soil*, 276, 205-217.
- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Souchère, V., Martin, P., and Lecomte, V., 2002. Sediment concentration in interrill flow: interactions between soil surface conditions, vegetation and rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 193-205.
- Cerf M., Omon B., Chantre E., Guillot M.N, LeBail M., Lamine C., Olry P., 2010. Vers des systèmes économes en intrants : quelles trajectoires et quel accompagnement pour les producteurs en grandes cultures? *Innovations agronomiques*, 8, 105-119.
- Chahinian, N., 2004. Paramétrisation multi-critère et multi-échelle d'un modèle hydrologique spatialisé de crue en milieu agricole. Thèse Doctorat Agro.M Montpellier.
- Chahinian, N., Moussa R., Andrieux, P., Voltz, M., 2005. Comparison of infiltration models to simulate flood events at the field scale. *Journal of Hydrology*, 306, 191-214.
- Chantelot E., Celette F., Wery J., 2004. Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen. Symposium « Quality management and viticulture », Stuttgart, 10-11mai 2004, H.R. Schultz ed., 171-184.
- Chantelot E., Gaudillère J-P., Kuntzmann P., Meyer E., Soyer J-P., 2002. L'enherbement permanent du vignoble en zone méditerranéenne et concurrence hydrique et azotée : constats et hypothèses. Document interne, ITV France.
- Chantre E., Cardona A., 2014. Trajectories of french field crop farmers moving toward sustainable farming practices: change, learning and links with the advisory services. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38:5, 573-602.
- Chavassieux D., 2013. Reduction of water pollution from pesticides surface runoffs in viticulture : soil maintenance practices, dialogue networks and testing of normative backcasting scenarios. Mémoire ISARA Lyon.
- Chiffolleau Y., 2004, « Réseaux d'apprentissage et innovation dans une organisation productive. L'exemple d'un projet qualité en coopérative », *Recherches sociologiques*, 35, 3, p. 91-101.
- Chiffolleau Y., 2005, « Learning about Innovation Through Networks: The Development of Environment-Friendly Viticulture », *Technovation*, 25, 10, p. 1193-1204.
- Colbach N., Dürr C., Roger-Estrade J., Chauvel B., Caneill, 2006 . ALOMYSYS : Modelling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate. I., *Europ. J. Agronomy* 24, pp. 95-112.
- Colin, F., Moussa, R. and Louchart, X., 2012. Impact of the spatial arrangement of land management practices on surface runoff for small catchments. *Hydrological Processes*, 26, 255-271.
- Compagnone C., 2004. « Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne », *Recherches sociologiques*, 35, 3, 103-121.
- Compagnone C., 2010, Influence des dialogues professionnels sur les changements de pratiques des viticulteurs, *Le progrès Agricole et viticole*, 2 : 34-39.
- Compagnone C., 2014. « Les viticulteurs bourguignons et le respect de l'environnement. Réseaux de dialogues professionnels et dynamique de changements », *Revue française de sociologie*, 55, 2, p. 319-358.
- Compagnone C., Hellec F., 2009. Dynamique des changements et développement des pratiques respectueuses de l'environnement en grandes cultures. Etude comparative de trois réseaux d'agriculteurs de Bourgogne, XLVI^e Colloque de l'ASRDLF, Clermont-Ferrand les 6, 7 et 8 juillet 2009, 20 p.

- Corbane, C., Andrieux, P., Voltz, M., Chadouf, J., Albergel, J., Robbez-Masson, J.M. and Zante, P., 2008. Assessing the variability of soil surface characteristics in row-cropped fields: the case of Mediterranean vineyards in Southern France. *Catena*, 72: 79-90.
- Cothenet, M., Declercq, R. and Mahieu, M., 2012. Réalisation d'une base de données pour la proposition de scénarii de pratiques agricoles visant à améliorer la qualité des eaux de surface. Le bassin versant du Rieutort, Hérault. Montpellier SupAgro et UMR LISAH, 46 pages et fichiers en annexe.
- Coulouma, G., Boizard, H., Trotoux, G., Lagacherie, P., Richard, G. 2006. Effect of deep tillage for vineyard establishment on soil structure: A case study in Southern France. *Soil & Tillage Research*. 88. 132-143.
- Darré J.-P., 1991, « Des catégories aux configurations : les conditions d'analyse des processus d'inter-influence dans l'agriculture », *Économie rurale*, 201, p. 16-21.
- Darré J.-P., 1996, *L'invention des pratiques dans l'agriculture : vulgarisation et production locale de connaissance*, Paris, Karthala.
- Darré J.-P., Le Guen R., Lémery B., 1989, « Changement technique et structure professionnelle locale en agriculture », *Économie rurale*, 192-193, p. 115-122.
- Degenne A., Forsé M., 1999. *Introducing Social Networks*. London: Sage Publications.
- Direction départementale des territoires et de la mer de l'Hérault, 2014. Notice d'information du territoire : « Mesures agroenvironnementales territorialisées (MAET). Territoire « LR_Rieu » - « Bassin versant du Rieutort et du Saint-Ouyres ». Campagne 2014, validée par la DDTM de l'Hérault le 28/03/2014, 8 pages.
- Duru, M., Papy, F., Soler, L. G., 1988. Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 74, 81-91.
- Elhakeem, M. & Papanicolaou, A.N., 2009. Estimation of the Runoff Curve Number via Direct Rainfall Simulator Measurements in the State of Iowa, USA. *Water Resources Management* .Volume 23, 12, 2455-2473, DOI: 10.1007/s11269-008-9390-1.
- Fabre, J.; Louchart, X.; Moussa, R.; Dagès, C.; Colin, F.; Rabotin, M.; Raclot, D.; Lagacherie, P. & Voltz, M. 2010. OpenFLUID: a software environment for modelling fluxes in landscapes. In Fabre J.-C., Jaeger M., Louchart X., Muller J.-P. (Eds.) *LANDMOD2010 International conference on integrative landscape modelling*, Montpellier, France, February 3-5, 2010, 13 pages, www.symposcience.org.
- Garcia, L., 2013. Evaluation des conséquences hydriques et azotées de différents modes de gestion de parcelles viticoles sur la croissance de la vigne. Approche par l'expérimentation virtuelle. Cas de l'enherbement spontané dans le bassin versant du Rieutort. Projet SP3A . GESSOL. Mémoire d'ingénieur Agronome, 2^e année, Montpellier SupAgro, UMR LISAH et UMR System, 70 pages et annexes.
- Garnier, P., Neel, C., Mary, B., & Lafolie, F., 2001. Evaluation of a nitrogen transport and transformation model in a bare soil. *European Journal of Soil Science*, 52(2), 253. 268.
- Gary C., Payan J.C., Kansou K., Pellegrino A., Wery J., 2005. Un outil de diagnostic du vécu hydrique de parcelles viticoles, en relation avec des objectifs de rendement et de qualité. *Comptes-rendus/Proceedings GESCO 2005*, Geisenheim, 23-27 août 2005, 449-456.
- Giupponi, C., Eiselt, B., and Ghetti, P. F., 1999. A multicriteria approach for mapping risks of agricultural pollution for water resources: The Venice Lagoon watershed case study. *Journal of Environmental Management* 56, 259-269.
- Godet, M., 2000. *The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls*. *Technological Forecasting and Social Change* 65, 3. 22.
- Govers, G., Takken, I., and Helming, K., 2000. Soil roughness and overland flow. *Agronomie*, 20, 131-146.
- Granovetter M. S., 1973, « The Strength of Weak Ties », *American Journal of Sociology*, 78, 6, p. 1360-1380.
- Guilpart N. 2014. Relations entre services écosystémiques dans un agroécosystème à base de plantes pérennes : compromis entre rendement de la vigne et régulation de l'oïdium. in : Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro, 27 février 2014. Montpellier. 180pp.
- Guilpart N., Metay A., Gary C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54 (Mar.), 9-20.
- Gummerson, R. J., 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, 37(6), 729-741.
- Hébrard, O., Voltz, M., Andrieux, P., and Moussa, R., 2006. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology* 329, 110-121.

- Hoang L. A., Castella J.-C., Novosad P., 2006. « Social Networks and information Access: Implications for Agricultural Extension in a Rice Farming Community in Northern Vietnam », *Agriculture and Human Values*, 23, 4, p. 513-527.
- Houdart M., Bonin M., Compagnone C., 2011. Social and spatial organisation - assessing the agroecological changes on farms: case study in a banana-growing area of Guadeloupe, *Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology* 9 (1-2), 15-30
- Isaac M. E., Erickson B. H., Quashie-Sam S. J., Timmer V. R., 2007, « Transfer of Knowledge on Agroforestry Management Practices: The Structure of Farmer Advice Networks », *Ecology and Society*, 12, 2:[<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art32/>].
- Janeau, J. L., Bricquer, J. P., Planchon, O., and Valentin, C., 2003. Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. *European Journal of Soil Sc.* 54, 543-553.
- Jenks, G.F., 1967. "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.
- Joannon, A., Papy, F., Martin, P., and Souchère, V., 2005. Planning work constraints within farms to reduce runoff at catchment level. *Agriculture Ecosystems & Environment* 111, 13. 20.
- Joannon, A., Souchère, V., Martin, P., and Papy, F., 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation and Development* 17, 467. 478.
- Johnson, K.A., Dana, G., Jordan, N.R., Draeger, K.J., Kapuscinski, A., Schmitt Olabisi, L.K., Reich P.B., 2012. Using Participatory Scenarios to Stimulate Social Learning for Collaborative Sustainable Development. *Ecology and society*, 17(2), 22p.
- Kazakou E., Violle C., Roumet C., Pintor C., Gimenez O., Garnier E., 2009. Litter quality and decomposability of species from a Mediterranean succession depend on leaf traits but not on nitrogen supply. *Annals of Botany* 104: 1151. 1161.
- Kazakou, E., Garnier, E., Navas, M.-L., Roumet, C., Collin, C., & Laurent, G., 2007. Components of nutrient residence time and the leaf economics spectrum in species from Mediterranean old-fields differing in successional status. *Functional Ecology*, 21(2), 235. 245.
- Kleyer, M., Bekker, R.M., Knevel, I.C., Bakker, J.P. Thompson, K., Sonnenschein, M., Poschlod, P., Van Groenendael, J.M., Klimes, L., Klimesová, J., Klotz, S., Rusch, G.M., Hermy, M., Adriaens, D., Boedeltje, G., Bossuyt, B., Dannemann, A., Endels, P., Götzenberger, L., Hodgson, J.G., Jackel, A-K., Kühn, I., Kunzmann, D., Ozinga, W.A., Römermann, C., Stadler, M., Schlegelmilch, J., Steendam, H.J., Tackenberg, O., Wilmann, B., Cornelissen, J.H.C., Eriksson, O., Garnier, E., Peco, B., 2008. The LEDA Traitbase: A database of life-history traits of Northwest European flora. *Journal of Ecology* 96: 1266-1274.
- Lagacherie, P. (coord.), 2004. "Dégradations physiques des sols de vigne et impacts sur la ressource en eau en milieu méditerranéen viticole. Rapport final du programme GESSOL." Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable - INRA.
- Lagacherie, P., Rabotin, M., Colin, F. Moussa, R, Voltz, M. 2010. Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas. *Computers and Geosciences*, 36, 1021. 1032.
- Lazega E., 1992, *The Micropolitics of Knowledge. Communication and Indirect Control in Workgroups*, New York (ny), Aldine de Gruyer.
- Le Bissonnais, Y. et Andrieux, P., 2007. Impact des modes d'entretien de la vigne sur le ruissellement, l'érosion et la structure des sols. *Progress Agricole et Viticole*, 124(10), 191-196.
- Lebon, E., Dumas, V., Pieri, P., Schultz, H.R., 2003. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Funct. Plant Biol.* 30, 699. 710.
- Leenhardt, D., and Lemaire, P., 2002. Estimating the spatial and temporal distribution of sowing dates for regional water management. *Agricultural Water Management* 55, 37-52.
- Leenhardt, D., Therond, O., Cordier, M.O., Gascuel-Oudou, C., Reynaud, A., Durand, P., Bergez, J.E., Clavel, L., Masson, V., Moreau, P., 2012. A generic framework for scenarios exercises using models applied to water-resource management. *Environmental modelling and software*, 37,125-133.
- Lémery B., 2003, « Les agriculteurs dans la fabrique d'une nouvelle agriculture », *Sociologie du travail*, 46, 1, p. 9-25.
- Lennartz, B., Louchard, X., Voltz, M., and Andrieux, P., 1997. Diuron and simazine losses to runoff water in mediterranean vineyards. *Journal of Environmental Quality* 26, 1493-1502.
- Leonard, J., and Andrieux, P., 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in Southern France. *Catena* 32, 209-223.

- Litzler, 1988. "Maîtrise de l'érosion en vignoble de coteaux. Aspects agronomiques." Ministère de l'Agriculture - Ministère de l'Environnement - ITV - Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, 53p.
- Lopes C., Monteiro A., Rückert F.E., Gruber B., Steinberg B., Schultz H.R., 2004. Transpiration of grapevines and co-habiting cover crop and weed species in a vineyard. A snapshot at diurnal trends. *Vitis* 43 (2), 111-117.
- Louchart, X. and Voltz, M., 2007. Aging effects on the availability of herbicides to runoff transfer. *Environmental Science and Technology*, 41, 1137-1141. Doi: 10.1021/es061186q.
- Louchart, X., Coulouma, G., Voltz, M., Andrieux, P. 2001a. Study of the risk of contamination of surface water by oryzalin and quinoxifen in the Mediterranean vineyard region: Case of the Roujan catchment. INRA. *Dow AgroSciences Convention*, INRA, Montpellier.
- Louchart, X., Voltz, M., Andrieux, P. & Moussa, R. 2001b. Herbicide transport to surface waters at field and watershed scales in a Mediterranean vineyard area. *Journal of Environmental Quality*, 30, 982-991.
- Manoliadis, O. and Sachpazis, K., 2003. The role of terrain characteristics in flood management, Attica, Greece. *Journal of Environmental Hydrology*. Vol. 11, Papers 1-14, pp. 8.
- Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Paré N., Voltz M., Biarnès A. (Soumis 2013). Modelling management practices in viticulture taking resource limitations into account, *Environmental Modelling & Software*.
- Martin-Clouaire, R., Rellier J.-P., 2009. Modelling and simulating work practices in agriculture. *Int. J. of Metadata, Semantics and Ontologies* 4(1-2), 42-53.
- Martin-Clouaire, R., Rellier, J.-P., 2011. Fondements ontologiques des systèmes pilotés. Internal report MIAT-INRA (First version: 2001). http://carlit.toulouse.inra.fr/diese/docs/ri_ontologie.pdf
- Mary, B., Beaudoin, N., Justes, E., & Machet, J. M., 1999. Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. *European Journal of Soil Science*, 50(4), 549. 566.
- Metay A., Gary C., Casellas E., Kansou K., Ripoche A., Wery J., 2009. Modelling of cover cropped vineyards with APES, a modular simulation platform. In: M. van Ittersum, J. Wolf, G. van Laar (eds) *Proceedings of AgSAP Conference 2009 - Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development, Setting the Agenda for Science and Policy*, Egmond aan Zee (The Netherlands), pp. 228-229.
- Mezière, D., Gary, C., Barbier, J. M., Rio, P., Bernos, L., Clément, C., Constant, N., Delière, L., Forget, D., Grosman, J., Molot, B., Sauvage, D., and Sentenac, G., 2009. "Ecophyto R&D, vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Tome III, analyse comparative de différents systèmes en viticulture." MEEDDAT-MAP-INRA
- Mignolet, C., Schott, C., and 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.
- Monteiro A., Lopes M. C., 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121, 336-342.
- Moussa, R., Voltz, M., and Andrieux, P., 2002. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behavior of a farmed catchment during flood events. *Hydrol. Process.* 16, 393-412.
- Munier-Jolain, N., Savoies, V., Kubiak, P., Maillet-Mezeray, J., Jouy, L., and Quéré, L., 2005. DECID'Herb, un logiciel d'aide au choix d'une méthode de lutte contre les mauvaises herbes pour une agriculture respectueuse de l'environnement. In *Proc. 19ème Conf. du COLUMA - Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes*, page 8 p., Dijon, France.
- Nesrine, I., 2009. Evaluation de l'influence de l'état de surface du sol sur son infiltrabilité. Mémoire d'ingénieur, INAT, Tunis, 64 pages.
- Papy, F., Attonaty, J.-M., Laporte, C., Soler, L.-G., 1988. Work organization simulation as a basis for farm management advice (equipment and manpower, levels against climatic variability), *Agricultural Systems* 27 (4), 295-314.
- Papy, F., 2001. Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation. In "Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision" (E. Malezieux, G. Trébuil and M. Jaeger, eds.), pp. 51-74. Editions Cirad-Inra.
- Paré, N., 2007. Etude de la variabilité et de la dynamique des états de surface des sols viticoles méditerranéens. Mémoire d'ingénieur Agronome AgroParisTech., UMR LISAH Montpellier, 90 pp.
- Paré, N., 2011. Pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole languedocien. Construction d'un modèle couplé pression-impact pour l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, France.
- Paré, N., Andrieux, P., Louchart, X., Biarnès, A., Voltz, M., 2011. Predicting the spatio-temporal dynamic of soil surface characteristics after tillage. *Soil & Tillage Research*, 114, 135. 145, doi:10.1016/j.still.2011.04.003.

- Pellegrino A., Goze E., Lebon E., Wery J., 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal of Agronomy* 25: 49-59.
- Pellegrino A., Lebon E., Simonneau T., Wery J., 2005. Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 11: 306-315
- Pellegrino A., Lebon E., Voltz M. and Wery J. 2004. Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil* 266: 129-142.
- Pellegrino A., Lebon, E., Voltz, M., & Wery, J., 2004. Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil*, 266(1-2), 129. 142.
- Rambal, S. & Cornet, A. 1982. Simulation de l'utilisation de l'eau et de la production végétale d'une phytocénose sahélienne du Sénégal. *Acta Oecol.Oecol.Plant.*, 3, 381-397
- Ramos M.C.,Martínez-Casasnovas J.A.,2010. Effects of precipitation patterns and temperature trends on soil water available for vineyards in a Mediterranean climate area. *Agricultural Water Management*, vol. 97, n°10, 1495-1505.
- Recous, S., Robin, D., Darwis, D., & Mary, B., 1995. Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition. *Soil Biol. Biochem*, 27(12), 1529. 1538.
- Reed, M.S., Kenter, J., Bonn, A., Broad, K., Burt, T.P., Fazey, I.R., Fraser, E.D.G., Hubacek, K., Nainggolan, D., Quinn, C.H., Stringer, L.C., Raverak, F., 2013. Participatory scenario development for environmental management: A methodological framework illustrated with experience from the UK uplands. *Journal of Environmental Management* 128, 345-362.
- Rémy J.C. et Marin-Lafèche A, INRA , Satation agronomique de L'aisne, 1976. L'entretien organique des terres : coût d'un politique de l'humus- *Entreprise agricole*, novembre 1996, pp 63-67.
- Richard G. Allen, William O. Pruitt, James L. Wright, Terry A. Howell, Francesca Ventura, Richard Snyder, Daniel Itenfisu, Pasquale Steduto, Joaquin Berengena, Javier Baselga Yrisarry, Martin Smith, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Alain Perrier, Isabel Alves, Ivan Walter, Ronald Elliott. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET₀ by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water management*, 81, 1-22.
- Ripoche A., Celette F., Cinna J.P., Gary C., 2010. Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards. *European Journal of Agronomy*, 32, 30. 39.
- Romero, P., Castro, G., Gomez J.A., 2007. Curve Number Values for Olive Orchards under different soil management. *Soil water management & conservation. SSSAJ*, volume 71: 6.
- Ruiz De Clavijo, E., 2005. The reproductive strategies of the heterocarpic annual *Calendula arvensis* (Asteraceae). *Acta Oecologica*, 28(2), 119. 126.
- Sayre L., 2012. Pratiques d'entretien du sol et relations socio-techniques des viticulteurs sur le bassin versant du Rieutort. Rapport de recherche. Dijon, INRA.
- Schleip, I., Lattanzi, F. a., & Schnyder, H., 2013. Common leaf life span of co-dominant species in a continuously grazed temperate pasture. *Basic and Applied Ecology*, 14(1), 54. 63.
- Simon S., Brun L., Guinaudeau J., Sauphanor B., 2011. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for sustainable development*, 31, 541. 555.
- Simon, C., 2006. Transformation de l'élevage et dynamiques des espaces ; revue de littérature sur les méthodes de scénarisation. Rapport du projet ANR-ADD « TRANS », 80 p.
- Sinclair, F., & Ludlow, M., 1986. Influence of soil water supply on the plant water balance for four tropical grain legumes. *Functional Plant Ecology*, 13(3), 329. 341.
- Souchère, V., King, D., Daroussin, J., Papy, F., and Capillon, A., 1998. Effects of tillage on runoff directions: consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology* 206, 256-267.
- Souchère, V., Millair, L., Echeverria, J., and Bousquet, F., 2009. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environ. Model. Softw.*, doi:10.1016/j.envsoft.2009.03.002.
- Takken, I., Jetten, V., Govers, G., Nachtergaele, J., and Steegen, A., 2001. The effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns. *Geomorphology* 37, 1. 14.
- Tindon Y., 2012. Spatialisation des risques de stress hydrique du vignoble en fonction des différents types d'entretien des sols : application au cas d'un bassin versant méditerranéen. Mémoire d'ingénieur agronome. Montpellier sup agro, IFV.

- Trambouze W., Voltz M., 2001. Measurement and modelling of the transpiration of a Mediterranean vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology* 107: 153-166.
- Trambouze W., Andrieux, P., Coulouma, G., Zante, P. and Goma-Fortin, N., 2008. Importance des pratiques d'entretien des inter-rangs pour la protection des sols viticoles sensibles à l'érosion en climat méditerranéen. VIIème Congrès International des Terroirs viticoles, Nyon, Suisse. 19-23 mai 2008
- Trambouze, W. 1996. Bilan hydrique de la vigne à l'échelle de la parcelle: caractérisation et modélisation. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, Montpellier.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2007. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Chapter 7, Hydrologic Soil Groups.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2004. Chapter 10- Estimation of Direct Run off from Storm Rainfall. National Engineering Handbook, Washington, D.C., USA.
- Valdés-Gómez H., Celette F., García de Cortazar-Atauri I., Jara F., Ortega-Farías S., Gary C., 2009. Modelling soil water content and grapevine growth and development with the STICS crop-soil model under two different water management strategies. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43, 13-28.
- Valdivieso F., Compagnone C, 2009, Changements de pratiques et réseaux de dialogues des viticulteurs du bassin versant de la Peyne, Rapport final volet sociologique projet ANR GeDuQuE, INRA, 60 p.
- Valente T. W., Fujimoto K., 2010, Bridging: Locating Crucial Connectors in a Network. *Social Networks* 32: 212-220.
- van Genuchten, M. Th., F. J. Leij, and S. R. Yates, 1991. Logiciel RETC.
- Van Keulen, H., 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Pudoc, Wageningen,
- van Notten, P.W.F., Rotmans, J., van Asselt M.B.A., Rothman, D.S., 2003. An updated scenario typology. *Futures* 35 (2003) 423. 443.
- Vile, D., 2005. Significations fonctionnelle et écologique des traits des espèces végétales : exemple dans une succession post-culturale méditerranéenne et généralisations. Université Montpellier II (France) & Université de Sherbrooke(Qc, Canada). 138 pages. Thèse. Soutenue le 02 décembre 2005.
- Wellman B., 2007, "Challenges in Collecting Personal Network Data: The Nature of Personal Network Analysis", *Field Method*, 19, p. 111-115.
- Wermelinger, B. (1991). Nitrogen Dynamics in Grapevine : Physiology and Modeling. *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*, 23. 31.
- White K., Watkins S. C., 2000, « Accuracy, Stability and Reciprocity in Informal Conversational Network in Rural Kenya », *Social Networks*, 22, 4, p. 337-355.
- Wiles, L., King, R., Schweizer, E., Lybecker, D., and Swinton, S., 1996. GWM : general weed management model. *Agricultural Systems*, 50(4) :355-376.
- Wilkinson, A., Eidinow, E., 2008. Evolving practices in environmental scenarios: a new scenario typology. *Environ. Res. Lett.*, 3, 11p.
- Wilson, I., 2000. From Scenario Thinking to Strategic Action. *Technological Forecasting and Social Change* 65, 23. 29.
- Zarifian Ph., 1996, Travail et communication. Essai sociologique sur le travail dans la grande entreprise industrielle, Paris, Presses universitaires de France.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Publications scientifiques parues
- Gaudin, R. and Gary C., 2012. Model-based evaluation of irrigation needs in Mediterranean vineyards. *Irrigation Science*, 30(5), 49-459, doi : 10.1007/s00271-012-0349-x.
- Guilpart N., Metay A., Gary C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54 (Mar.), 9-20, doi : 10.1016/j.eja.2013.11.002
- Pare, N., Andrieux, P., Louchart, X., Biarnes, A., Voltz, M., 2011. Predicting the spatio-temporal dynamic of soil surface characteristics after tillage. *Soil & Tillage Research*, 114, 1356145, doi:10.1016/j.still.2011.04.003. (*partiellement issue du projet SP3A*).
- Publications scientifiques à paraître
- Publications scientifiques prévues
- Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Paré N., Voltz M., Biarnès A. (Soumis) Modelling management practices in viticulture taking resource limitations into account, *Environmental Modelling & Software*

COLLOQUES

- Participations passées à des colloques
- Gary C., Ripoche A., Celette F., Metay A., Bouisson Y., Gaudin R., 2011. Des stratégies adaptatives d'entretien des parcelles viticoles pour des performances agronomiques et environnementales régulières. Actes 4ème journée Scientifique sur la Vigne et le Vin, Montpellier, 20 mai 2011, 21-24.
- Gary C., Gaudin R., Metay A., 2014. Gestion de l'entretien du sol et fonctionnement hydrique du vignoble. Carrefours de l'Innovation Agronomique (CIAg) : « Viticulture et stress hydrique », 17 juin 2014, Montpellier. <http://www6.inra.fr/ciag/Colloques-Agriculture/Viticulture-et-stress-hydrique>
- Gary C., 2014. Table ronde « Changer de modèle agricole ». Colloque AGDUQUE (Agriculture Durable et l'Eau), 13 novembre 2014, Perpignan. <http://www.perpignanmediterranee.com/Preservation-des-ressources-en-eau/Un-colloque-historique---6017.phtm>
- Guilpart N., Roux S., Metay A., Gary C., 2014. Experimental evidence of a tradeoff between powdery mildew regulation and grape yield in vineyards. 13th ESA Congress, 25-29 August 2014, Debrecen, Hongrie.
- Guilpart N., Metay A., Gary C., 2011. Indirect estimation of nitrogen reserve contribution of annual grapevine growth. In: V. Novello, M. Bovio, S. Cavaletto (eds), Proceedings of the 17th international Giesco Symposium, Asti (Italie), 171-174.
- Kazakou E., Fried G., Richarte J., Lesniak V., Guilpart N., Andrieux P. et Metay A., 2012. Réponses de la flore adventice aux différents modes d'entretien du sol et effets sur la croissance de la vigne : le cas du domaine du Chapitre (Hérault). Actes 5ème journée Scientifique sur la Vigne et le Vin, Montpellier, mai 2012, 4 pages.
- Ripoche A., Rellier J.P., Martin-Clouaire R., Gary C., 2011. The management of intercrops in vineyards should be adaptive to buffer the effects of climate variability on the grapevine performances. In: V. Novello, M. Bovio, S. Cavaletto (eds), Proceedings of the 17th international Giesco Symposium, Asti (Italie), 103-106.

Participations futures à des colloques

THESES

- Thèses passées
- Pare N., 2011. Pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole languedocien. Construction d'un modèle couple pression-impact pour l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants. Thèse de Doctorat, Montpellier SupAgro, UMR LISAH, Montpellier, 301 pp. et annexes. (partiellement issu du projet SP3A)
- Guilpart N. 2014. Relations entre services écosystémiques dans un agroécosystème à base de plantes pérennes: compromis entre rendement de la vigne et régulation de l'oïdium. in : Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro, 27 février 2014. Montpellier. 180pp.

Thèses en cours

ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION

Articles de valorisation parus

Articles de valorisation à paraître

Articles de valorisation prévus

AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS

Actions vers les médias (interviews) effectuées

Actions vers les médias prévues

ENSEIGNEMENT É FORMATION

Enseignements/formations dispensés

Enseignements/formations prévus

EXPERTISES

Expertises menées

Expertises en cours

Expertises prévues

METHODOLOGIES (GUIDES)

méthodologies produites

méthodologies en cours de élaboration

méthodologies prévues

AUTRES

- Stages et rapports
- Bonnefoy A., 2013. Modélisation des pratiques agricoles en vue de l'évaluation des impacts hydrologiques de scénarios d'évolution des techniques d'entretien du sol dans un bassin versant méditerranéen, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ENGEES, UMR LISAH, Montpellier, 64 pages et annexes.
- Chavassieux D., 2013. Reduction of water pollution from pesticides surface runoffs in viticulture : soil maintenance practices, dialogue networks and testing of normative backcasting scenarios. Mémoire ISARA Lyon.
- Cothenet, M., Declercq, R. and Mahieu, M., 2012. Réalisation d'une base de données pour la proposition de scénarii de pratiques agricoles visant à améliorer la qualité des eaux de surface. Le bassin versant du Rieutort, Hérault. Montpellier SupAgro et UMR LISAH, 46 pages et fichiers en annexe.
- Garcia, L., 2013. Evaluation des conséquences hydriques et azotées de différents modes de gestion de parcelles viticoles sur la croissance de la vigne. Approche par l'expérimentation virtuelle. Cas de l'enherbement spontané dans le bassin versant du Rieutort. Projet SP3A ó GESSOL. Mémoire d'ingénieur Agronome, 2^o année, Montpellier SupAgro, UMR LISAH et UMR System, 70 pages et annexes.
- Lesniak, V., 2011. Etude des dynamiques des flores adventices pour différents modes d'entretien du sol en parcelles viticoles, Master 1, Biologie Environnement, Spécialité GEPV, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II, 61 p.
- Pare, N., 2011. Les activités non primitives dans DHIVINE. Rapport interne UMR LISAH, 82 p.
- Pare, N., 2011. Les classes d'objet dans DHIVINE. Rapport interne UMR LISAH, 56 p.
- Tindon Y., 2012. Spatialisation des risques de stress hydrique du vignoble en fonction des différents types d'entretien des sols : application au cas d'un bassin versant méditerranéen. Mémoire d'ingénieur agronome. Montpellier sup agro, IFV.