



**HAL**  
open science

# Caractérisation des stratégies de gestion pour la modélisation de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations: Lier les dimensions spatiale, organisationnelle et temporelle d'un système complexe

Pauline Bremond, F. Grelot, G. Abrami, C. Blanc

## ► To cite this version:

Pauline Bremond, F. Grelot, G. Abrami, C. Blanc. Caractérisation des stratégies de gestion pour la modélisation de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations: Lier les dimensions spatiale, organisationnelle et temporelle d'un système complexe. 3èmes journées de recherches en sciences sociales INRA SFER CIRAD, Dec 2009, Montpellier, France. 17 p. hal-00575822

**HAL Id: hal-00575822**

**<https://hal.science/hal-00575822>**

Submitted on 11 Mar 2011

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

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

**Caractérisation des stratégies de gestion pour la modélisation de la  
vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations :  
Lier les dimensions spatiale, organisationnelle et temporelle d'un système complexe**

**Brémond Pauline\*, Grelot Frédéric\*, Abrami Géraldine\*, Blanc Céline\***  
UMR G-EAU, Cemagref  
361 rue J.F. Breton BA 5095 34196, Montpellier, France  
\*prenom.nom@cemagref.fr



**3èmes journées de recherches en sciences sociales**

**INRA SFER CIRAD**

09, 10 & 11 décembre 2009 –Montpellier, France

## **Résumé**

Les politiques publiques de gestion des inondations s'orientent vers la restauration des champs d'expansion de crue et de réduction de la vulnérabilité, qui auront un impact important sur les exploitations agricoles. L'évaluation des effets de ces politiques sur les exploitations agricoles n'est pas envisageable avec les méthodologies actuelles et le retour d'expérience quasiment inexistant. Il était donc nécessaire de développer un modèle de simulation des dommages directs et induits en prenant en compte la dimension systémique de l'exploitation agricole. Pour cela, nous proposons un modèle conceptuel de la vulnérabilité à l'échelle de l'exploitation agricole et montrons comment il nous a permis de mettre en évidence l'importance des stratégies de gestion post-inondation pour la modélisation des dommages. Nous présentons ensuite les résultats des enquêtes réalisées sur les exploitations arboricoles de la zone aval du Rhône pour la caractérisation de ces stratégies. Enfin, nous montrons comment nous avons intégré dans le modèle de simulation des dommages, les données recueillies par enquêtes. Les premiers résultats de simulation des dommages confirment l'importance de prendre en compte les effets induits de l'inondation sur le système « exploitation agricole ». En perspective, l'utilisation du modèle de simulation des dommages dans le cadre d'une évaluation économique des politiques de réduction de la vulnérabilité des exploitations agricoles sur la zone aval du Rhône est discutée.

## **Mots clés**

**Modélisation systémique UML, stratégie, exploitation agricole, inondation, vulnérabilité,**

## 1 Introduction

### 1.1 Nouvelles politiques de gestion des inondations, nouveaux défis pour l'évaluation économique

Les dernières inondations en Europe, notamment sur le Rhône (850 M€ de dommages en 2003 (Siee et al., 2003)) ont mis en évidence les limites d'une prévention des inondations reposant sur la protection des enjeux par des digues : augmentation des dommages en cas de rupture de digues, aggravation des phénomènes en aval. Elles ont contribué à l'émergence de nouvelles orientations de gestion des inondations, qui ont des impacts importants sur les zones agricoles. D'une part, les politiques de gestion de l'aléa s'orientent vers la restauration des zones d'expansion de crue. Le principe est d'identifier des zones actuellement protégées, peu vulnérables, typiquement des zones agricoles, d'accroître leur exposition pour limiter les débordements dans les zones plus vulnérables, typiquement urbaines. D'autre part, les mesures de réduction de la vulnérabilité des enjeux en zone inondable, promues et subventionnées par l'État, peuvent être particulièrement adaptées au secteur agricole. Dans ce cas, elles visent à l'adaptation et donc au maintien de l'activité agricole en zone inondable, en faisant l'économie de projets de réduction de l'aléa. En cas de restauration d'une zone d'expansion de crue, le financement de ces mesures peut être envisagé comme une compensation par les gestionnaires de l'augmentation de l'exposition des activités agricoles présentes.

Ces nouvelles orientations sont particulièrement présentes sur le bassin versant du Rhône. Le volet inondation du Plan Rhône (Feder, 2007), document cadre des interventions à venir pour la période 2007-2013, prévoit des actions de restauration des champs d'expansion des crues, majoritairement agricoles ainsi que la réduction de la vulnérabilité des activités économiques avec le soutien financier de l'Union Européenne (7,5 M€). Une phase dite de diagnostic a été menée sur le secteur agricole des cinq départements de la partie aval du Rhône (Ardèche, Bouches-du-Rhône, Drôme, Gard et Vaucluse). Elle a mis en évidence près de 3 000 exploitations potentiellement concernées par le risque d'inondation et répertorié les mesures de réduction de la vulnérabilité envisageables. Le Plan Rhône a prévu une phase de sensibilisation des agriculteurs avant le lancement de plan de financement de mesures de réduction de la vulnérabilité à l'échelle des exploitations.

Ces mesures se déclinent en cinq groupes : les mesures de gestion de crise (plan d'urgence, plan de remise en route...); les mesures organisationnelles de l'exploitation (gestion des stocks...); les mesures physiques dans les bâtiments (surélévation de certaines parties...); les mesures physiques sur les parcelles (adaptation des cultures en fonction de leur sensibilité aux inondations); les mesures financières (assurance). L'application de ces mesures est supposée réduire deux types d'impacts : les impacts directs, qui correspondent aux dommages physiques directement provoqués par l'inondation, mais également les impacts induits, qui correspondent aux perturbations de l'activité. Par exemple, la surélévation ou l'évacuation du matériel doit certes éviter son endommagement, donc sa réparation ou son rachat. Mais cela permet également d'assurer son utilisation pour poursuivre les tâches culturales sur les parcelles non inondées, donc d'éviter des pertes de rendement et enfin sa mobilisation pour des travaux de remise en état de l'exploitation, donc de limiter la durée de perturbation de l'inondation.

La mise en place de ces nouvelles orientations de gestion des inondations se fait dans un contexte de sensibilisation accrue par les financeurs (État, Régions, Départements notamment) à l'efficacité de l'utilisation des fonds publics. Or, jusqu'à présent, relativement peu d'évaluation économique des projets de gestion d'inondation ont été réalisées en France (Cepri, 2008).

Quand elles existent, ces évaluations portent sur des politiques de gestion de l'aléa (construction de digues, de barrages) et non sur la réduction de la vulnérabilité. Or, les politiques de réduction de la vulnérabilité nécessitent une compréhension fine des enjeux exposés, en tant que système, dont il est très souvent fait l'économie lors de l'évaluation des politiques de gestion de l'aléa. Bien que le secteur agricole soit souvent concerné par le risque d'inondation, il n'a suscité le développement que de peu de modèles d'endommagement en Europe (Forster et al., 2008). Les modèles utilisées aux États-Unis (McDonald, 1970; Lacewell et al., 1972), en Europe (Messner et al., 2007), et particulièrement en France (Devaux-Ros, 2000; Siese et al., 2003), repose sur une conception commune de l'endommagement du secteur agricole très mal adaptée à l'évaluation de la réduction de la vulnérabilité. En effet, ils reposent sur la monétarisation d'une perte de rendement directe due à l'inondation à l'échelle de la parcelle. Comme les mesures de réduction de la vulnérabilité s'appliquent à l'échelle de l'exploitation agricole et portent principalement sur l'amélioration de la capacité organisationnelle pendant et après l'inondation, il s'avère nécessaire de prendre en compte les différents facteurs de production de l'exploitation, leur répartition spatiale et les interactions qu'ils ont entre eux. L'évaluation de la propagation des dommages dans le temps nécessite de considérer la dimension temporelle du système. Dès lors, le cadre d'évaluation à l'échelle des exploitations agricoles prenant en compte leur organisation systémique s'impose.

Nous finissons ce tour d'horizon en précisant que très peu de retour d'expérience sur l'efficacité des mesures de réduction de la vulnérabilité existent, ce constat étant particulièrement avéré concernant le secteur agricole. Les rares d'exploitations agricoles ayant mis en place des mesures de réduction de la vulnérabilité l'ont fait de façon trop récente pour qu'une étude de leur efficacité puisse être réalisée.

## 1.2 Question de recherche et positionnement

Notre problématique de recherche est de développer une méthode d'évaluation économique de la vulnérabilité des exploitations agricoles permettant d'évaluer les politiques de réduction de la vulnérabilité. Cet article s'intègre dans une démarche de recherche au cours de laquelle nous avons montré qualitativement que considérer les dommages à la parcelle n'était pas représentatif des dommages à l'exploitation agricole car les effets induits n'étaient pas pris en compte (Bremond et al., 2008) et qu'il était nécessaire pour évaluer les projets de faire ce changement d'échelle (Bremond et al., 2009). Nous avons ensuite élaboré un modèle conceptuel UML permettant de lier les dimensions spatiale, temporelle et organisationnelle de la vulnérabilité des exploitations agricoles (Bremond et al., 2009). Le modèle conceptuel nous a servi de cadre pour le recueil de données en vue de l'implémentation d'un modèle de calcul des dommages aux exploitations agricoles qui a été présenté lors d'un workshop organisé par l'European Association of Agricultural Economics (Bremond et al., 2009). Nous avons recueilli des données structurelles et technico-économiques sur les exploitations, des données d'endommagement des composantes ainsi que des données sur les stratégies mises en œuvre par les exploitants suite à l'inondation. Cet article a pour objectif de montrer l'importance du recueil et de la traduction des stratégies des exploitations suite à une inondation pour la modélisation économique des dommages.

## 2 Modélisation de la vulnérabilité des exploitations agricoles par une approche systémique

### 2.1 Vulnérabilité, dommages des concepts appelant à modéliser les stratégies

Dans notre conception, la vulnérabilité d'un système à un événement correspond à une fonction caractéristique du système permettant d'associer des conséquences attendues à des manifestations d'un événement. A l'instar de Turner et al (Turner et al., 2003), nous proposons de caractériser la vulnérabilité d'un système autour de trois grandeurs :

l'exposition, la sensibilité et la résilience. L'exposition correspond à la caractérisation des événements susceptibles de toucher le système. La sensibilité correspond à la propension du système à être affecté par l'événement. Cette affectation comprend à la fois les dommages réparables et irréparables ainsi que les altérations de fonctionnement. La résilience correspond à sa capacité à revenir à un état « normal » suite à sa perturbation. Cette capacité comprend également une dimension cinétique. Les dommages monétarisés correspondent alors à un indicateur particulier de l'intensité des conséquences. Ils reposent sur la quantification monétaire des efforts nécessaires pour un retour à la « normale », en fait un état final qui est souvent différent de l'état initial, des éventuelles pertes de fonctionnalités entre l'état initial et l'état final, ainsi que des pertes non remplaçables. Les dommages sont a priori positivement corrélés à l'exposition et à la sensibilité, négativement à la résilience (Figure 1).

Dans cette communication, nous considérons comme système les exploitations agricoles, comme événement les inondations. L'exposition correspond alors à la caractérisation des inondations, à la fois en terme d'intensité (hauteur de submersion, durée, vitesse), mais également en terme de caractérisation spatio-temporelle (répartition spatiale et saison d'occurrence). La sensibilité du système correspond à la caractérisation des composantes de l'exploitation agricole pouvant être endommagées ou inutilisables du fait d'une submersion, donc à l'inventaire localisé des éléments physiques ainsi qu'à leur propre sensibilité. La résilience correspond à la capacité de remise en état de fonctionnement de l'exploitation et repose principalement sur l'organisation du système. Cette dernière caractéristique fait directement intervenir un premier besoin de définition de « stratégie ». En effet, la remise en état est totalement liée aux choix suivis par l'exploitant pour sortir de l'état de perturbation suite aux inondations. L'identification de ces stratégies est également nécessaire à la caractérisation des dommages monétarisés en permettant d'explicitier les effets induits sur l'exploitation.

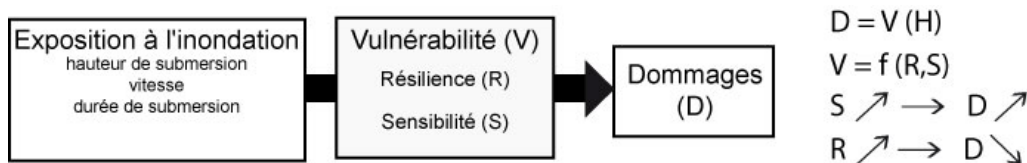


Figure 1 : représentation des liens entre aléa, vulnérabilité et dommages

## 2.2 Modélisation systémique des exploitations agricoles

Nous avons choisi de faire reposer la conceptualisation de notre système « exploitation agricole » sur l'approche de modélisation systémique des exploitations, principalement développée par l'INRA SAD dans les années 1980 (Brossier et al., 1990). Ce cadre théorique nous permet de représenter l'exploitation agricole comme un système complexe composé de facteurs de production physiques dont l'interaction est organisée par une entité décisionnelle et qui évolue dans le temps (dynamique). Ainsi, l'endommagement du système correspond d'une part à l'endommagement de ses facteurs physiques mais aussi à sa désorganisation qui a une certaine durée dans le temps. Nous précisons ici quatre concepts issus de cette littérature particulièrement important pour notre démarche : le système de production, l'itinéraire technique, l'organisation du travail et le mode de gestion et de décision.

Le système de production a été défini par Reboul (1976) comme un « mode de combinaison entre terre, forces et moyens de travail à des fins de production végétale et/ou animale ». On trouve ici la notion de collection de composantes physiques (parcelles, matériel...) mises en interaction par une organisation des tâches de production.

Dès lors, l'itinéraire technique, défini par Sébillote en 1978 (in Brossier et al., 1990, p.23) comme « une suite logique et ordonnée de techniques culturales appliquées à une espèce végétale cultivée », nous permet de définir la série de tâches devant être réalisées. Cela nous

permet de croiser les temporalités de l'inondation avec celle de l'exploitation et donc d'identifier les perturbations sur la réalisation de ces tâches.

Le troisième concept sur lequel repose notre approche, très lié au précédent, est l'organisation du travail sur l'exploitation agricole et de la possibilité de simulation qui a été développée par Attonaty et al (1990) avec le modèle OTELO. La simulation de l'organisation du travail repose sur l'établissement de calendrier de travail journalier en lien avec les itinéraires techniques des productions et de règles de gestion. Ces règles de décision ont été formalisées par des agronomes sur la base d'enquêtes et de l'observation des pratiques des agriculteurs (Darré et al., 2004). Elle a principalement été utilisée pour l'appui à la décision des agriculteurs céréaliers (Papy et al., 1988). Notre modèle n'a pas vocation à modéliser finement l'organisation du travail en temps normal et nous nous sommes concentrés sur les stratégies mises en œuvre par les exploitants suite à l'inondation.

Pour comprendre ces stratégies, il est nécessaire d'introduire le concept de décision. A l'instar de Sébillote et Soler (1990), nous présumons en introduisant le concept de décision que l'agriculteur dispose d'une marge de liberté et que cette décision résulte d'un caractère intentionnel. Deux dimensions de ce concept sont importantes à appréhender pour la modélisation : la rationalité et la dimension temporelle. En économie, cette notion de rationalité est traduite par la recherche de l'utilité maximale qui est souvent réduite à une maximisation du profit de l'exploitation (Brossier et al., 1990). Faire cette hypothèse de rationalité nous aurait conduits à définir a priori différentes stratégies et à déterminer en optimisant, ici en minimisant le montant de dommages, quelle stratégie devait être conservée. Cela s'avérait inadéquat pour deux raisons : premièrement, nous étions dans l'incapacité de définir par nous-mêmes les stratégies ; deuxièmement, nous considérons que nous ne pouvions pas présumer que le retour à l'état normal était le seul déterminant de la décision. Ainsi, nous nous retrouvons plutôt dans le cadre d'une rationalité limitée, telle que définie par March et Simon (1964) (in Brossier et al., 1990) et reposant sur le fait que le choix des agents économiques ne se fait pas par une volonté d'optimisation mais plutôt d'adaptation à l'environnement. Cela revient à considérer que l'individu cherche à maximiser une fonction d'objectifs permettant d'obtenir une situation satisfaisante. La prise en compte de la dimension temporelle est également un élément structurant dans la prise de décision (Courbon, 1982; in Sébillote et al., 1990). Ainsi, nous avons séquencé les différentes phases de prise de décision selon les horizons temporels auxquels elles font références : décisions à court, moyen ou long termes. Nous utilisons le concept de stratégie pour définir une série de décisions prises par l'entité décisionnelle (chef d'exploitation). Les stratégies mises en place suite à l'inondation sont appelées stratégies post-inondation.

Par ailleurs, la construction du modèle conceptuel de vulnérabilité des exploitations agricoles repose sur la mise en forme des dires d'experts et de la littérature grise existant sur le sujet, en particulier, développée par le Plan Loire (Bauduceau, 2001; Barbut et al., 2004; Bauduceau, 2004).

### 2.3 Théorie des capitaux disponibles en économie du développement

Nous avons également mobilisé le cadre théorique développé en économie du développement pour analyser la vulnérabilité des systèmes ruraux (Gondard-Delcroix et al., 2004). Cette littérature considère les foyers ruraux comme des systèmes dotés de différentes formes de capitaux dont les combinaisons conditionnent la vulnérabilité. Nous avons donc adopté la dénomination de ces capitaux en les adaptant au système « exploitation agricole » telle que décrite ci-après :

- Les capitaux physiques (matériel, stocks, parcelles, matériel végétal pérenne)
- Les capitaux financiers et monétaires (prêt, épargne)

- Le capital humain (main d'œuvre)
- Le capital social (entraide, filières).

Dans cet article, nous présentons premièrement notre modèle conceptuel de la vulnérabilité face aux inondations à l'échelle de l'exploitation agricole, développé en UML. Nous présentons ensuite les résultats des enquêtes menées sur les stratégies post-inondation des exploitations agricoles et montrons comment nous les avons implémenté dans le modèle économique de simulation des dommages à l'échelle de l'exploitation agricole.

### 3 Proposition d'un modèle conceptuel de vulnérabilité des exploitations agricoles

#### 3.1.1 Choix du langage du modèle conceptuel : Unified Modelling Language

La complexité pressentie en termes d'intrication des dimensions spatiales, organisationnelles et temporelles des exploitations, nous a conduits à une approche de modélisation visant à la mise à plat des hypothèses nécessaires et à l'articulation des connaissances mobilisables. UML (Unified Modelling Language) est un langage semi-formel aujourd'hui standard permettant d'exprimer ou d'élaborer des modèles orientés objet, indépendamment de tout langage de programmation. Parce qu'il a été conçu pour représenter un système informatique à travers la description de ses entités, de leurs activités et de leurs interactions, UML s'est révélé un support adapté à la conceptualisation de modèles systémiques (Roux-Rouquié et al., 2004).

#### 3.2 Structure générale du modèle

La Figure 2 représente les dimensions spatiales et structurelles de l'exploitation agricole. Elle y est décrite comme l'agencement spatial de composantes physiques que sont :

- les parcelles comprenant le sol, les cultures pérennes et la production en cours,
- les bâtiments contenant le matériel et les stocks (intrants, récolte, produits finis).

La Figure 3 représente la dimension organisationnelle de l'exploitation agricole. Chaque production peut être reliée à un itinéraire technique qui correspond à une série de tâches devant être réalisées par l'exploitant définie par un temps de travail et une liste de matériel nécessaire.

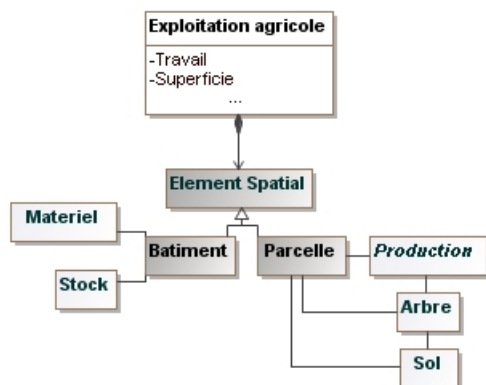


Figure 2 : représentation structurelle de l'exploitation agricole (diagramme de classe)

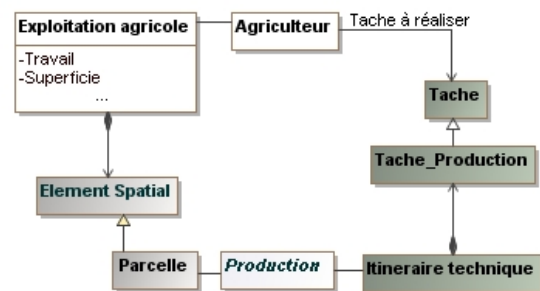
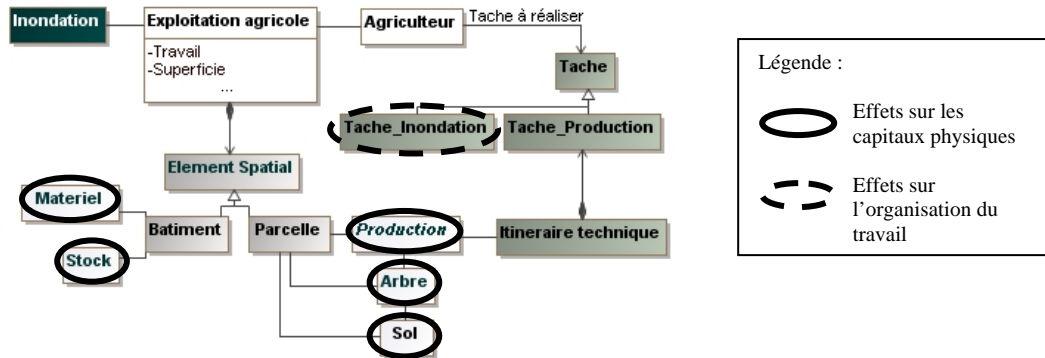


Figure 3 : représentation organisationnelle de l'exploitation agricole



### 3.3 Modélisation des dommages sur l'exploitation agricole

#### 3.3.1 Cadre général pour l'analyse des effets de l'inondation sur l'exploitation

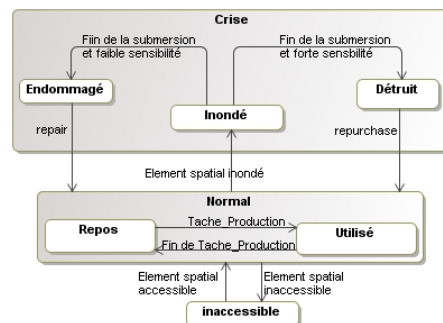


**Figure 4 : effets de l'inondation sur l'exploitation agricole (structure et fonctionnement)**

Un scénario d'inondation est défini avec plusieurs paramètres (hauteur, vitesse, durée, période d'occurrence). La Figure 4 montre que les effets de l'inondation sur l'exploitation agricole peuvent être classés selon deux catégories : les effets sur les capitaux physiques et les effets sur l'organisation du travail. Premièrement, les capitaux physiques de l'exploitation (production, matériel, stocks, cultures pérennes, sol) vont subir un endommagement temporaire ou définitif en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques. Excepté pour la production qui sera détruite, la détérioration implique des actions de remise en état que nous avons nommés « Tache\_Inondation » et qui peuvent être associées à un coût. Le modèle spécifie alors quelles tâches doivent être réalisées et les contraintes induites en termes de main d'œuvre et de matériel. Nous distinguons les tâches liées à l'itinéraire technique de la culture en cours (Tache\_Production) et les tâches de remise en état suite à l'inondation (Tache\_Inondation). Chaque tâche est associée à un temps de travail et une liste de matériel et d'intrant nécessaires à sa réalisation. Nous verrons dans le paragraphe 3.4 que les stratégies mise en place par les exploitants pour prioriser la réalisation de ces tâches sont complexes et résultent du croisement des temporalités de l'inondation et de l'exploitation agricole.

#### 3.3.2 Modélisation des effets sur les capitaux physiques

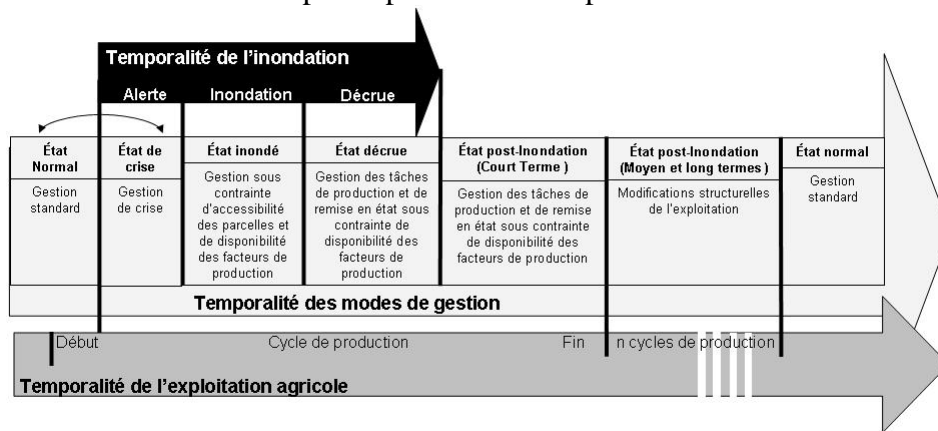
Lors d'une inondation (définie par un scénario décrit dans la section précédente), chaque élément spatial calcule sa hauteur d'eau et envoie l'information aux capitaux physiques qui y sont localisés (matériel, stock, production). Ils peuvent alors calculer de quelle manière leur état est altéré. Pour cela, nous avons défini les différents états envisageables de chaque capital physique. A titre d'exemple, la classe « matériel » peut adopter cinq états : repos, utilisé, endommagé, inaccessible ou détruit, les trois derniers correspondant à un état de crise. La construction de diagrammes d'états permet de clarifier les hypothèses et contraintes de passage entre des états normaux et altérés. L'exemple des transitions d'état de la classe « matériel » est donné Figure 5.



**Figure 5 : Transition d'état de la classe « matériel » (diagramme d'état)**

### 3.4 Dynamique globale et stratégies de gestion

La représentation de la dimension temporelle de l'impact de l'inondation sur l'exploitation agricole fait intervenir différentes temporalités. Comme l'indique la Figure 6, trois temporalités sont intriquées dans le phénomène étudié : celle de l'exploitation agricole, celle de l'inondation et celle de la gestion post-inondation. La temporalité de l'exploitation agricole résulte de l'itinéraire technique des productions et de l'organisation du travail. La temporalité de l'inondation est déterminée par le scénario d'inondation et conditionne le degré d'endommagement subi par les différentes composantes de l'exploitation en fonction de la période d'occurrence de l'inondation, de sa hauteur, de sa durée et de sa vitesse. La temporalité de la gestion post-inondation résulte de l'interaction entre les temporalités de l'inondation et de l'exploitation agricole. Nous appelons « stratégies » les modes de gestion adoptés sur la période suivant l'inondation afin de distinguer ces décisions du mode de gestion classique. La gestion post-inondation être séquencée en cinq périodes sur lesquelles une série de décisions doivent être prises par le chef d'exploitation.



**Figure 6 : séquençages des périodes de l'inondation et stratégies de l'exploitant agricole associées**

Ces cinq périodes sont : l'état de crise, l'état inondé qui correspond à la période entre le début de l'inondation et le début de la décrue (stratégie sur parcelles non submergées), l'état post-inondation correspondant à la période entre le début de la décrue et la fin du cycle de production en cours (stratégie annuelle sur parcelles endommagées et non endommagées), la période entre la fin du cycle et le retour à un état d'équilibre (stratégie à long terme).

Les décisions prises sur chacune de ces périodes font référence à des horizons temporels différents et donc à des objectifs différents. Par exemple, durant la période post inondation correspondant à la période entre le début de la décrue et la fin du cycle de production en cours, il s'agit principalement pour l'exploitant de prioriser les tâches de production et de remise en état sous des contraintes qui peuvent être l'accessibilité ou l'indisponibilité du fait de leur endommagement des facteurs de production (parcelles, matériel...) et de la main d'œuvre.

Nous nous sommes dans un premier temps attachés à décrire les stratégies à court terme en décrivant les règles de hiérarchisation des tâches à réaliser ainsi que les règles d'arbitrage à mettre en œuvre quand les capitaux mobilisables par l'exploitation, notamment le capital humain, ne permettront pas d'effectuer les tâches nécessaires. Dans notre démarche, le mode de gestion en temps normal (sans inondation) n'a pas vocation à être modélisé et est défini par l'itinéraire technique. De plus, la modélisation de la gestion de crise au moment de l'alerte nécessiterait un pas de temps très fin que nous ne souhaitons pas développer dans un premier temps. Par contre, il est envisagé de définir des scénarios de gestion de crise qui permettraient une relocalisation des stocks et matériels au moment de l'alerte.

#### 4 Enquêtes sur les stratégies et modélisation des effets induits

Nous avons été sollicités par le Plan Rhône pour l'évaluation d'un programme de réduction de la vulnérabilité des exploitations agricoles de la zone Rhône aval. Un des préalables à cette évaluation est le développement d'une méthode d'évaluation des dommages à l'échelle de l'exploitation agricole. La section suivante a pour objectif de présenter les enquêtes réalisées sur la basse vallée du Rhône qui ont été utilisées dans notre modèle d'évaluation économique de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations.

Nous montrons ensuite comment les stratégies post-inondation adoptées par les exploitants ont été intégrées et conditionnent la modélisation des dommages, en particulier, les effets induits sur l'exploitation agricole suite aux inondations.

##### 4.1 Présentation de la zone d'étude et des enquêtes réalisées

La zone d'étude s'étend sur cinq départements du territoire aval du Rhône : le Gard, les Bouches du Rhône, le Vaucluse, la Drôme et l'Ardèche.

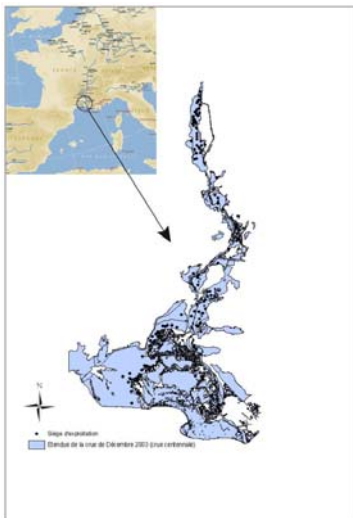


Figure 7 : Répartitions des sièges d'exploitations recensées dans l'enveloppe de la crue de Décembre 2003 sur le Rhône

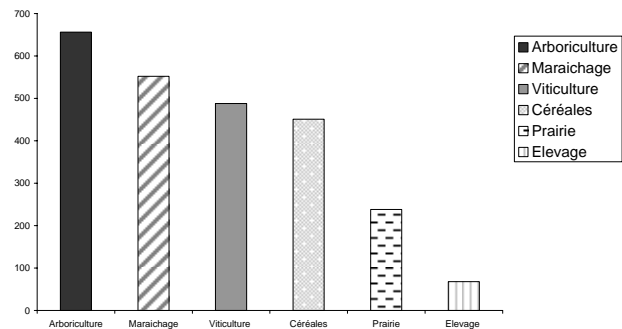


Figure 8 : Répartition (nombre) des exploitations recensées dans l'enveloppe de crue de Décembre 2003 par type de production

Une enquête réalisée par la mission « réduction de la vulnérabilité agricole en zone inondable » (Chambres D'agriculture Rhône Méditerranée, 2006) indique que près de 3 000 exploitations agricoles sont potentiellement concernées par le risque inondation sur cette zone (Figure 7). Les exploitations de la zone aval du Rhône peuvent être classées en cinq groupes selon leur orientation technico-économique : céréales, arboriculture, maraîchage, viticulture, élevage (principalement manade). Nous présentons ici les résultats d'enquêtes sur les stratégies post-inondation concernant les exploitations de type « arboriculture » qui sont les plus représentées en effectif (Figure 8), la pomme étant la culture la plus pratiquée.

Nous avons réalisé au total quinze entretiens auprès d'experts et neuf entretiens auprès d'agriculteurs pour les différents types de productions pratiquées sur la zone d'étude.

Nous avons fait l'hypothèse que les stratégies post-inondation des exploitants pouvaient être influencées par la période d'occurrence de l'inondation. Nous avons donc choisi trois périodes d'occurrence d'inondation contrastées : septembre, décembre et mai. Les deux premières périodes correspondent à des événements ayant eu lieu en 2002 et 2003. Nous avons également choisi d'étudier une crue en mai car la crue de référence sur le Rhône correspond à la crue de mai et juin 1856.

## 4.2 Résultats des enquêtes sur les stratégies post-inondation des exploitations agricoles : le cas d'une exploitation spécialisée en arboriculture

Nous ne présentons ici que les stratégies à court terme et n'aborderons pas les stratégies d'adaptation à plus long terme qui peuvent modifier la structure de l'exploitation (changement de cultures). Les stratégies post-inondation dépendent en premier lieu des dommages directs sur les cultures. Pour les exploitations spécialisées en arboriculture, il faut considérer les pertes de récolte et de matériel végétal (plantation pérenne).

En Septembre, les pertes de récolte peuvent être comprises entre 0et 100% en fonction de la période de récolte. Globalement, Si la hauteur d'eau est inférieure à la hauteur des fruits, la récolte n'est pas endommagée. En Décembre, il n'y a pas de pertes de récolte. Une occurrence en Mai peut être catastrophique en fonction de la hauteur d'eau.

L'endommagement du matériel végétal est variable suivant les espèces. Généralement, il est moins sensible en période de repos végétatif (décembre). S'il y a perte de matériel végétal, il faut arracher et replanter le verger, sachant que la commande des plants prendra un an. De plus, des pertes de récolte dues à cette replantation seront constatées sur plusieurs années.

Suite à cet endommagement, les modes de gestion consistent en une priorisation des tâches de remise en état et de poursuite de l'itinéraire technique. Les données d'enquêtes nous ont permis d'établir le Tableau 1.

	Période de l'inondation		
	Septembre	Décembre	Mai
<b>Liste des tâches</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Récolte des fruits s'ils n'ont pas été endommagés</li> <li>Réparation du matériel</li> <li>Nettoyage des bâtiments</li> <li>Remise en état des parcelles et du matériel d'irrigation</li> <li>Poursuite des travaux sur les parcelles</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Réparation du matériel</li> <li>Remise en état des parcelles et du matériel d'irrigation</li> <li>Nettoyage des bâtiments</li> <li>Poursuite des travaux sur les parcelles en particulier la taille qui doit être terminée fin Mars.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Poursuite de l'itinéraire technique sur les parcelles non touchées</li> <li>Remise en état des parcelles et du matériel d'irrigation</li> <li>Poursuite de l'itinéraire technique sur les parcelles touchées si pertes &lt; 50%</li> <li>Nettoyage et réparation du matériel et des bâtiments</li> <li>Récolte des fruits non vendables pour éviter pourrissement sur l'arbre</li> </ol>

**Tableau 1: synthèse des modes de gestion observés sur les exploitations de type arboriculture en fonction des périodes d'inondation**

Globalement, si des parcelles ou si les cultures n'ont pas été endommagées, la priorité de l'exploitant va vers la poursuite de l'itinéraire technique. En pratique, la poursuite de l'itinéraire technique nécessite que l'exploitant dispose du matériel nécessaire pour la réalisation de la tâche. Nous verrons comment nous avons pu prendre en compte cette donnée dans la modélisation en estimant que l'exploitant fait appel à un prestataire de service s'il ne dispose pas du matériel nécessaire. La réparation du matériel constitue également une des priorités majeures de l'exploitant. Enfin, la remise en état des parcelles et du matériel d'irrigation constitue une étape prioritaire avant de pouvoir poursuivre tous travaux sur les parcelles qui ont été inondées.

## 4.3 Prise en compte des résultats dans la modélisation économique

### 4.3.1 Démarche générale de modélisation des effets induits de l'inondation sur l'exploitation

Sur la base des enquêtes réalisées, nous avons établi un algorithme pour le calcul des dommages dus aux inondations sur une exploitation agricole. Il se déroule selon les quatre étapes suivantes :

- Un état des lieux des dommages de l'inondation est dressé sur les différentes composantes de l'exploitation et le calcul des dommages directs est réalisé

2. Un nouveau calendrier des tâches agricoles à effectuer sur les parcelles inondées est dressé ; le calendrier des tâches agricoles sur les parcelles non inondées est inchangé.  
Sur les parcelles inondées, le décalage de l'itinéraire technique est égal à la somme des :
  - Temps de submersion de l'inondation
  - Temps nécessaire à la remise en l'état de la parcelle
3. Un calendrier des réparations effectuées sur le matériel est dressé et un calendrier d'indisponibilité du matériel en fonction des délais de réparation ou de rachat est établi. Durant cette période d'indisponibilité, si le matériel en question doit être utilisé pour la réalisation d'une tâche, nous considérons que l'exploitant fera appel à un prestataire de services.
4. Lors de la poursuite de l'itinéraire technique (décalé ou non), si la main d'œuvre disponible sur l'exploitation est insuffisante, nous considérons que l'exploitant emploie de la main d'œuvre saisonnière.

Nous avons ainsi établi une liste des effets induits sur l'exploitation agricole suite à l'inondation et défini un estimateur de cet effet (Tableau 2).

Type d'effets	Cause	Estimation
Indisponibilité du matériel	Délais de réparation ou de rachat	Réalisation de la tâche par un prestataire (surcoût)
Indisponibilité de main d'œuvre	Temps de travail supérieur à la main d'œuvre disponible sur l'exploitation du fait de la remise en état et du décalage du calendrier	Embauche de main d'œuvre supplémentaire (surcoût)
Répercussions financières	Perte de récolte et de stock de produits finis Augmentation des charges (prestation de service, main d'œuvre supplémentaire)	Endettement Ressources personnelles

**Tableau 2 : effets induits identifiés suite à l'inondation**

#### 4.3.2 Comparatif des résultats d'enquêtes et de l'algorithme de modélisation

Nous avons choisi dans un premier temps d'appliquer une stratégie post-inondation identique quelle que soit la période d'occurrence de l'inondation et avons donc retenu, d'après les enquêtes réalisées, une stratégie générique sur les trois périodes. Le Tableau 3 nous permet de comparer les résultats obtenus lors des enquêtes et la manière dont nous avons modélisé ces résultats pour le calcul des dommages dus aux inondations.

Ordre de priorité	Enquêtes	Modélisation
1	Poursuite de l'itinéraire technique sur parcelles non inondées	Poursuite de l'itinéraire technique sur parcelles non inondées : Si le matériel indisponible, il est fait appel à un prestataire de services.
2	Réparation du matériel	Etat des lieux de l'endommagement sur les composantes de l'exploitation Etablissement du calendrier d'indisponibilité du matériel endommagé
3	Remise en état des parcelles	Temps de travail nécessaire pour la remise en état des parcelles
4	Poursuite de l'itinéraire technique sur les parcelles inondées	Décalage de l'itinéraire technique en fonction du temps de travail nécessaire pour la remise en état des parcelles Ensuite, si le matériel indisponible, il est fait appel à un prestataire de services et si la main d'œuvre est insuffisante, il est fait appel à de la main d'œuvre saisonnière.

**Tableau 3 : synthèse des résultats d'enquêtes sur les modes de gestion et pris en compte dans la modélisation**

### 4.3.3 Résultats de la modélisation des dommages sur l'exploitation type spécialisée en arboriculture pour une inondation de Décembre

Les caractéristiques de l'exploitation type « arboriculture » retenue pour le calcul des dommages, présentées dans le Tableau 4, sont issues de donnée du RGA 2000 et des références technico économique de la Chambre d'Agriculture du Vaucluse (2005).

SAU*	UTA**	Variété	Rendement (kg/ha)	Prix (€/kg)	Produit brut (€)	Charges totales (€)	Marge brute (€)
8	2	Royal Gala	43 000	0.5	20 300	12 600	7 700

\* Surface Agricole Utile

source : RGA 2000 et (CA84, 2005)

\*\* Unité de Travail Annuelle

**Tableau 4 : caractéristiques de l'exploitation type arboriculture fruit à pépin de moins de 15 ha**

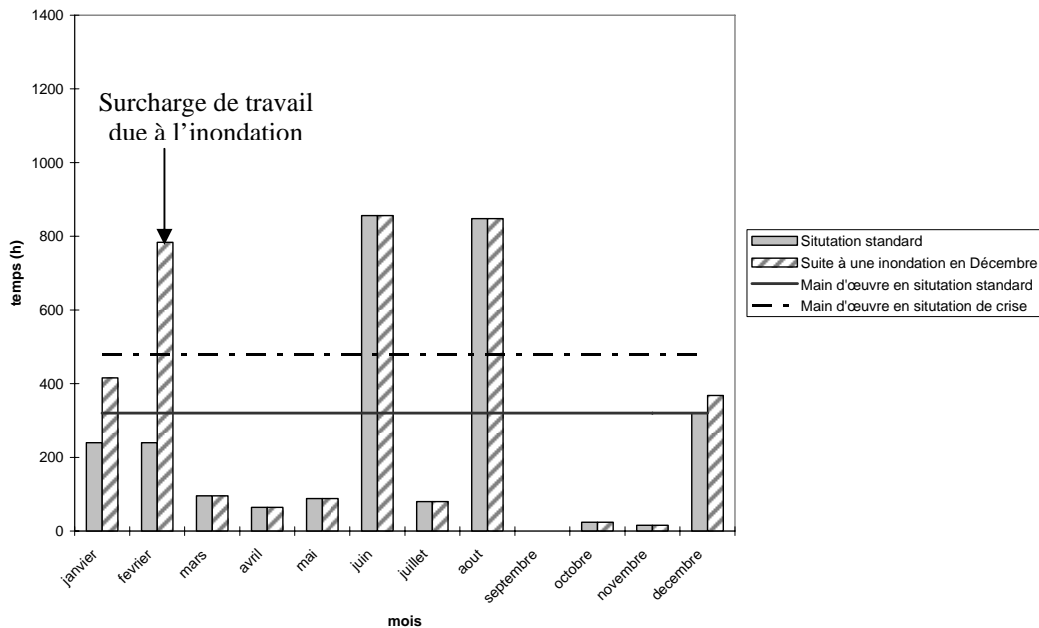
Le calcul des dommages directs sur les composantes de l'exploitation pour une inondation en Décembre n'est pas détaillé ici mais est donné dans le Tableau 5.

Hauteur (cm)	Récolte	Sol	Verger	Bâtiments	Matériel	Stock d'intrant	Total
0-20	0 €	14 000 €	0 €	600 €	200 €	0 €	14 800 €
20-50	0 €	14 000 €	0 €	600 €	5 000 €	5 000 €	24 600 €
50-100	0 €	36 000 €	0 €	1 000 €	29 000 €	10 000 €	76 000 €
>100	0 €	15 000 €	41 000 €	1 300 €	70 000 €	10 000 €	137 300 €

**Tableau 5 : Montant des dommages directs d'une inondation en Décembre sur l'exploitation type spécialisée en arboriculture (100% des parcelles inondées)**

Nous avons ensuite, sur la base de la démarche décrite précédemment, modélisé et évalué les effets induits de l'inondation sur l'exploitation type « arboriculture ».

Aucun effet lié à l'indisponibilité de matériel n'est considéré en Décembre car la seule tâche à réaliser est la taille dont le matériel est disponible quelle que soit la hauteur d'eau d'inondation. Par contre, en termes d'organisation du travail, les effets induits par l'inondation de Décembre sur l'exploitation arboricole sont importants. En effet, les tâches de remise en état des parcelles sont réalisées avant la reprise des tâches prévues dans l'itinéraire technique. Nous pouvons observer sur la Figure 9 que durant les mois de Janvier et de Février le temps de travail nécessaire est supérieur à la main d'œuvre disponible sur l'exploitation. Nous avons défini deux niveaux de travail pour les permanents sur l'exploitation. En situation normale, ils travaillent chacun 8h par jour et 6 jours par semaine. En situation de crise correspondant aux deux mois suivant l'inondation, nous considérons que l'exploitant et le salarié peuvent travailler 8h par jour et 7 jours par semaine. Cependant nous constatons que malgré cela, la charge de travail reste supérieure à la main d'œuvre disponible. Cela implique que l'exploitant devra employer de la main d'œuvre ou que de la main d'œuvre issue de l'entraide a pu être mobilisée. Ce résultat avait été identifié lors de nos enquêtes. En effet, les exploitants nous avaient fait remarquer que les effets d'une inondation en Décembre étaient souvent minimisés et qu'une contrainte sur la disponibilité de la main d'œuvre pouvait exister en raison de la nécessité de la réalisation de la taille avant le mois de Mars. Ce point ressort clairement dans notre modélisation.



**Figure 9 : Comparaison des temps de travail en situation standard et suite à un scénario d'inondation en Décembre (7 jours de submersion, 100% des parcelles inondées avec 80cm d'eau, vitesse moyenne)**

Enfin, lorsqu'un récapitulatif des dommages directs et induits est présenté, nous pouvons constater que les dommages induits par l'insuffisance de main d'œuvre peuvent représenter un montant important des dommages totaux. Notamment pour les inondations de faible intensité (0-20 cm), le montant de dommages correspondant à la main d'œuvre supplémentaire représente 30% des dommages totaux simulés (Tableau 6).

Hauteur (cm)	Dommages directs						Dommages induits
	Récolte	Sol	Verger	Bâtiments	Matériel	Stock d'intrant	Main d'œuvre
0-20	0 %	66 %	0 %	3 %	1 %	0 %	30 %
20-50	0 %	45 %	0 %	2 %	16 %	15 %	21 %
50-100	0 %	44 %	0 %	1 %	35 %	12 %	8 %
>100	0 %	10 %	29 %	1 %	49 %	7 %	5 %

**Tableau 6 : répartition des dommages directs et induits pour l'exploitation type spécialisée en arboriculture pour une crue de Décembre (100% des parcelles inondées, durée de 7 jours, vitesse moyenne)**

## 5 Discussion et perspectives

Notre approche de modélisation conceptuelle nous a permis de mettre à plat les différentes hypothèses sous-jacentes et de définir un cadre pour le recueil de données ainsi que pour la modélisation économique des dommages. Elle nous a permis de structurer des supports utilisés avec les acteurs (experts et agriculteurs locaux), pour valider les différentes hypothèses de notre modélisation (structure générale, données relatives aux tâches) et collecter les données nécessaires à la modélisation économique. Nous avons montré ici en quoi les stratégies post-inondation avaient une importance majeure pour le calcul des dommages à l'échelle de l'exploitation agricole et comment nous avons transcrit ces stratégies dans notre modèle de simulation des dommages.

L'objectif de cette modélisation est de permettre l'évaluation économique d'un programme de réduction de la vulnérabilité des exploitations agricoles sur la zone aval du Rhône. Pour cela, cinq étapes doivent être réalisées :

- Le développement d'une méthode d'évaluation des dommages à l'échelle de l'exploitation agricole prenant en compte les dommages directs et induits

- La comparaison des dommages subis par une exploitation en situation standard et d'une exploitation où des mesures de réduction de la vulnérabilité ont été mises en place
- L'implémentation de ce modèle sur des exploitations types représentatives de l'activité agricole sur la zone d'étude
- La comparaison des dommages évités moyens annualisés et du coût de mise en place en prenant en compte un taux d'actualisation et une durée de vie des aménagements
- La régionalisation de l'approche sur l'ensemble de la zone d'étude.

Pour la réalisation de la première étape, le modèle conceptuel de vulnérabilité des exploitations nous a permis de caractériser la formation des dommages directs et induits. La réalisation d'enquêtes, nous a fourni des éléments sur les stratégies pour la modélisation des dommages induits. Nous avons ainsi montré que la prise en compte des seuls dommages aux cultures n'est pas suffisante pour rendre compte des dommages à l'échelle de l'exploitation et que pour les inondations d'hiver la proportion des dommages induits dans le montant total de dommages pouvait être importante, notamment pour les inondations de faible intensité. Pour les inondations de printemps et d'été, le poids des dommages directs, en particulier aux cultures est a priori beaucoup plus important (Posthumus et al., 2009).

Cette caractérisation poussée et formalisée en UML nous a permis de rendre les hypothèses de modélisation claires. Ceci est important car nous souhaitons d'une part rendre la méthode reproductible sur d'autres exploitations type et d'autre part, réaliser des analyses de sensibilité de notre modèle de simulation des dommages.

Plusieurs perspectives se dégagent de la modélisation qui a été réalisée. Nous avons intégré dans notre modèle de simulation des dommages, les effets induits à court terme, c'est-à-dire jusqu'à la fin du cycle de production de l'exploitation agricole. Un des objectifs est également de pouvoir intégrer les effets à moyen termes, notamment les effets liés au côté financier (endettement). Il sera ensuite important à ce niveau de séparer les coûts économiques des coûts financiers pour la réalisation de l'évaluation économique des projets de gestion des inondations. Toutefois, l'analyse financière est justifiée pour l'évaluation des politiques de réduction de vulnérabilité ou de restauration de champ d'expansion de crue qui peuvent avoir des impacts socio-économiques importants sur un secteur d'activité particulier, le secteur agricole (Brouwer et al., 2004).

Par ailleurs, l'utilisation d'UML nous permet d'envisager une phase ultérieure de modélisation multi-agents. Cette possibilité est particulièrement intéressante pour prendre en compte les liens pouvant exister entre agriculteurs (prêt de matériel, entraide) mais aussi ceux avec les partenaires économiques. Ainsi, les effets liés à l'inondation des filières amont (approvisionnement en matériel ou de stock) et des filières aval (coopérative et répercussion financière des stocks non vendus) pourraient être considérés. Parallèlement, les effets systémiques liés à l'inondation d'un grand nombre d'agriculteurs sur l'organisation générale d'une filière de production pourraient être étudiés (pertes de marchés. . .).

## **6 Remerciements**

Nous tenons à remercier les financeurs du Programme Plurirégional Plan Rhône, en particulier, Anne Laure Soleihavoup et Mathieu Métral en charge du dossier au niveau du service de Prévention des Risques (Mission Rhône) de la DREAL Rhône-Alpes.

Les travaux présentés ont également été en partie financés par le programme de recherche « Risque, décision, territoire » du MEEDDAT.



## 7 Références

- Attonaty, J. M., Chatelin, M. H., et al. (1990): L'évaluation des méthodes et langages de simulation In: J. Brossier, B. Vissac and J. L. L. Moigne (Eds.): Modélisation systémique et systèmes agraires. INRA, Paris. 119-133.
- Barbut, L., Bauduceau, N., et al. (2004): Vers une évaluation de la vulnérabilité des activités agricoles aux inondations. *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, 39. 29-41.
- Bauduceau, N. (2001): Eléments d'analyse des répercussions des inondations de novembre 1999 sur les activités agricoles des départements de l'Aude, des Pyrénées Orientales et du Tarn. Rapport technique de l'Equipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature. 111 p.
- Bauduceau, N. (2004): De la caractérisation de la vulnérabilité de l'exploitation agricole face au risque d'inondation à la production d'un outil opérationnel de réduction de la vulnérabilité. 52 p.
- Bremond, P., Abrami, G., et al. (2009): Modélisation conceptuelle UML de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations : Lier les dimensions spatiale, organisationnelle et temporelle d'un système complexe. Modèles et Apprentissage en Sciences Humaines et Sociales (MASHS), Université Toulouse Le Mirail
- Bremond, P., Grelot, F., et al. (2009): Modelling farm vulnerability to flooding: towards the appraisal of vulnerability mitigation policies. EAAE PhD Workshop 2009, Giessen.
- Bremond, P., Grelot, F., et al. (2008): Characterization of agricultural vulnerability for economic appraisal of flood management policies. Fourth International Symposium on Flood Defence (ISFD4) Toronto, Canada
- Bremond, P., Grelot, F., et al. (2009): De la vulnérabilité de la parcelle à celle de l'exploitation agricole : un changement d'échelle nécessaire pour l'évaluation économique des projets de gestion des inondations. In: S. Becerra and A. Peletier (Eds.): Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés. L'Harmattan, Paris. 231-244.
- Brossier, J., Chia, E., et al. (1990): Recherches en gestion : vers une théorie de la gestion de l'exploitation agricole. In: J. Brossier, B. Vissac and J. L. L. Moigne (Eds.): Modélisation systémique et système agricole - Décision et organisation. INRA, Paris. 65-92.
- Brossier, J., Vissac, B., et al. (1990): Modélisation systémique et système agricole - Décision et organisation. INRA, Paris.
- Brouwer, R. and Van Ek, R. (2004): Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands. *Ecological Economics*, 50(1-2). 1-21.
- CEPRI (2008): Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque d'inondation : Manuel des pratiques existantes. 184 p.
- Chambre d'Agriculture du Vaucluse (2005): Références technico-économiques 2004-2005.
- Chambres d'Agriculture Rhône Méditerranée (2006): Mission de réduction de la vulnérabilité agricole en zones inondables - Premier rapport d'étape. 150 p.
- Courbon, J. C. (1982): Processus de décision et aide à la décision. *Economies et Sociétés*, Tome XVI(12).
- Darré, J. P., Mathieu, A., et al. (2004): Le sens des pratiques : conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes. INRA, Paris.
- Devaux-Ros, C. (2000): Evaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations en Loire moyenne : Méthodes et principaux résultats. 65 p.
- FEDER (2007): Programme Opérationnel Pluri Régional - Accompagnement du volet "Inondation" (2007-2013).

- Forster, S., Kuhlmann, B., et al. (2008): Assessing flood risk for a rural detention area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8. 311-322.
- Gondard-Delcroix, C. and Rousseau, S. (2004): Vulnérabilité et stratégies durables de gestion des risques: Une étude appliquée aux ménages ruraux de Madagascar. *Développement Durable et Territoires*, 3 (Les dimensions humaine et sociale du Développement Durable).
- Lacewell, R. D. and Eidman, V. R. (1972): A General Model for Evaluating Agricultural Flood Plains. *American Journal of Agricultural Economics*, 54(1). 92-101.
- March, J. G. and Simon, H. A. (1964): Les organisations, problèmes psycho-sociologiques, Traduit par J.-C. Rouchy, Bayeux.
- McDonald, G. T. (1970): Agricultural Flood Damage Assessment: A Review and Investigation of a Simulation Method *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 38(03). 105-120
- Messner, F., Penning-Rowsell, E., et al. (2007): Guidelines for socio-economic flood damage evaluation. 181 p.
- Papy, F., Attonaty, J.-M., et al. (1988): Work Organization Simulation as a Basis for Farm Management Advice (Equipment and Manpower, Levels Against Climatic Variability). *Agricultural Systems* 27 295-314.
- Posthumus, H., Morris, J., et al. (2009): Impacts of the summer 2007 floods on agriculture in England. *Journal of Flood Risk Management*, 2(3). 182-189.
- Reboul, C. (1976): Mode de production et systèmes de culture et d'élevage. *Economie rurale*, 112. 55-65.
- Roux-Rouquié, M., Caritey, N., et al. (2004): Using the Unified Modelling Language (UML) to guide the systemic description of biological processes and systems. *Biosystems*, 75(1-3). 3-14.
- Sébillote, M. and Soler, L. G. (1990): Les processus de décision des agriculteurs. In: J Brossier, B. Vissac and J. L. L. Moigne (Eds.): *Modélisation systémique et système agraire - Décision et organisation*. INRA, Paris. 93-117.
- SIEE, EDATER, et al. (2003): Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône - Rapport d'étape n°3 : Identification des enjeux exposés aux crues et définition et analyse des casiers stratégiques. 56 p.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., et al. (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *National Academy of Sciences (Ed.): Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, 100, 8074–8079.