

Aménagement du territoire, *Risques*



Extrait du dossier thématique d'Agropolis International
"Information spatiale pour l'environnement et les territoires"
(68 pages, février 2010)

Les recherches menées en géomatique visent à mieux connaître l'espace des hommes et participent à une meilleure gestion et gouvernance des territoires. Leurs résultats sont largement publiés au travers de produits « visuels » tels que cartes (thématiques, en 3D, photocartes...) mais aussi images et photographies diverses (orthophotoplans, photographies aériennes, images satellitaires...). Cette panoplie « d'images » en constante évolution (« cartes animées », Web Mapping, « globes virtuels »), et tendant vers toujours plus de précision, d'exhaustivité et de diversité, interroge le chercheur sur les choix à retenir pour les acteurs, en fonction des connaissances assemblées ainsi que de la problématique et des objectifs à atteindre.

La mobilisation de l'information spatiale pour l'aménagement du territoire constitue un véritable processus de co-construction et de co-responsabilité. Le projet contribue en effet à « construire » une vision partagée du territoire en s'appuyant sur les outils à disposition : la télédétection qui permet l'acquisition d'informations sur des espaces étendus et des cibles d'intérêt ; les systèmes d'information géographique (SIG) et le géoréférencement de différentes couches d'informations qui conduisent à la mise en relation spatiale de données d'origines diverses. La mobilisation de l'information géographique peut se définir comme « la mise en place d'un processus informationnel par un individu (ou groupe d'individus) afin de rendre compte de –ou de communiquer sur– l'espace du social ». Ainsi ce processus relève-t-il à la fois d'une approche technique et sociale. La diffusion accélérée de ces multiples outils géographiques et leur utilisation dans de nombreux domaines, notamment l'aménagement du territoire et les risques, conduit cependant à questionner le sens de certains concepts (tels que « information géographique », « système d'information », « complexité »...), les modifications des savoirs et leur utilisation, le statut du territoire au regard de la géomatique (entre espace réel et espace virtuel par exemple), etc.

Les exemples de travaux de recherche présentés dans ce chapitre expriment une grande diversité, tant des territoires étudiés que des échelles considérées : d'une vision nationale au travers de la prévention des invasions de criquets à Madagascar à une caractérisation fine de la vulnérabilité d'une région (Ile de France) face à un accident de transport de matières dangereuses, mais également au travers des objectifs visés. Les applications présentées traitent ainsi de la caractérisation et l'évaluation d'une mutation du territoire (la consommation des terres agricoles à destination de l'habitat), de l'observation de l'évolution d'un phénomène (l'érosion côtière), jusqu'à la caractérisation d'aléas géologiques (les séismes). Des études intégratrices sont également présentées : elles visent à construire des systèmes d'information géographiques « appliqués » comme par exemple le SIG RINAMED sur les risques naturels en Méditerranée, ou « intégrés » tel que par exemple le projet Syscolag pour la gestion globale des zones côtières. Ces études illustrent, par leur diversité, la gamme de problématiques liées à l'utilisation de l'information géographique. Ces problèmes sont centrés sur l'incertitude, sur l'échelle de validité de l'information spatiale utilisée, et leur impact sur les modèles associés. L'étude de la spatialisation de l'analyse coût-bénéfice des projets de prévention des inondations illustre parfaitement ce type de problématique.

L'utilisation de l'information géographique, si elle permet d'aborder l'ensemble des thématiques liées à l'aménagement du territoire et des risques en apportant des éléments probants en termes d'aide à la décision, amène également de nouveaux questionnements scientifiques, questionnements qui constituent les thématiques de recherche à venir.

**Jean-Paul Bord (EA GESTER)
& Pierre-Alain Ayrat (LGEI)**



© A. Franc

▲ **Essaim de criquets migrants.** Les ravages agricoles liés à la dernière invasion de 1996-2000 ont nécessité le traitement de plus de 4 millions d'hectares par des pesticides chimiques, d'où l'enjeu d'un réseau d'avertissement opérationnel.

Analyse spatiale pour prévenir les invasions de criquets ravageurs à Madagascar

Les principales équipes

EA GESTER - Gestion des Sociétés, des Territoires et des Risques (UM3)

31 scientifiques impliqués dans la thématique
 Directeur : Jean-Marie Miossec,
jean-marie.miossec@univ-montp3.fr
<http://recherche.univ-montp3.fr/gester>

LGEI - Laboratoire Génie de l'Environnement Industriel et des Risques Industriels et Naturels (EMA)

20 scientifiques dont 4 impliqués dans la thématique
 Directeur : Miguel Lopez-Ferber,
miguel.lopez-ferber@ema.fr
www.ema.fr/LGEI

BRGM, Service Géologique Régional : Services opérationnels « Eau » et « Aménagement et risques naturels » (BRGM Languedoc-Roussillon)

29 scientifiques dont 14 impliqués dans la thématique
 Directeur : Marc Audibert,
m.audibert@brgm.fr
www.brgm.fr

UMR Géosciences Montpellier (cf. page 28)

UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème (cf. page 18)

UMR TETIS - Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (cf. page 8)

... suite page 50

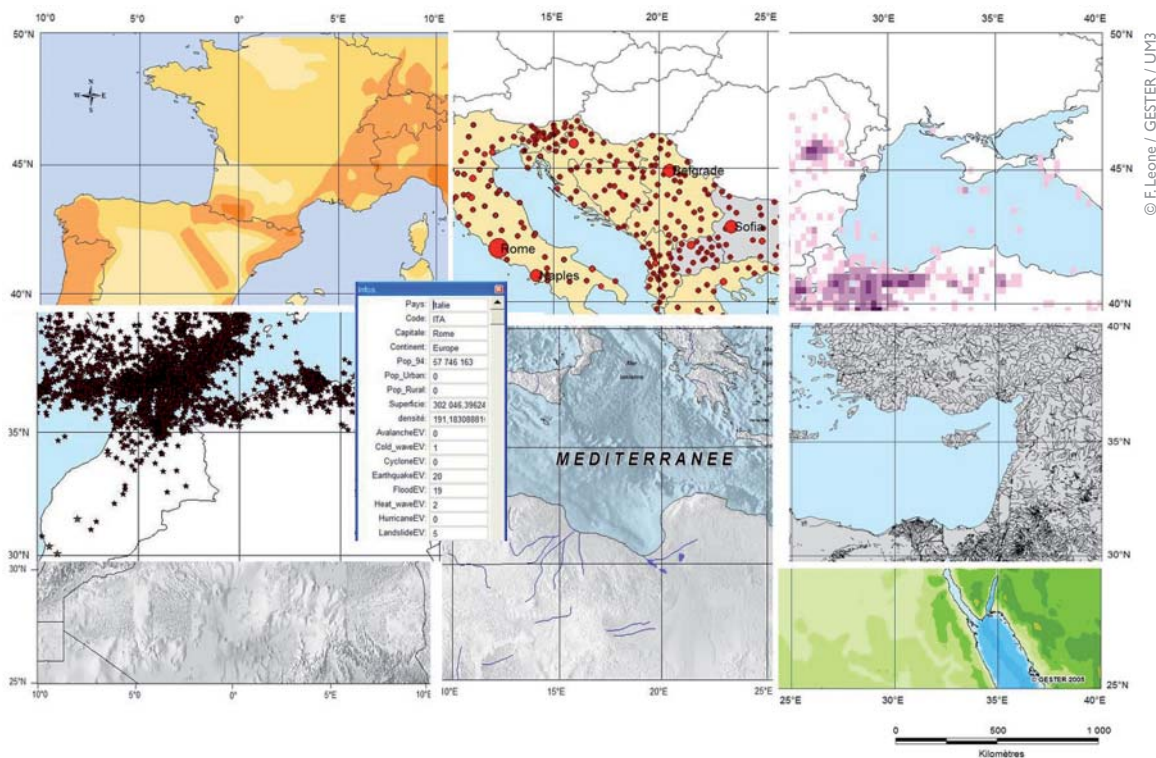
Le criquet migrateur malgache, *Locusta migratoria capito* Sauss., présente la particularité de pouvoir changer de phase suivant la densité de sa population, les phases solitaire ou grégaire étant caractérisées par des comportements spécifiques et des traits de morphologie, physiologie et d'écologie profondément différents. En phase solitaire, les criquets vivent dispersés et sont inoffensifs pour les cultures. Ils migrent par vol à la recherche de conditions propices à leur développement : si les zones favorables sont spatialement réduites, tous les criquets s'y rassemblent, provoquant une augmentation de leur densité. Les criquets peuvent alors, en quelques générations, passer en phase grégaire : ils constituent des bandes larvaires et des essaims qui engendrent des ravages sur l'agriculture et les pâturages.

Un projet de recherche opérationnelle mené par l'EMPA (Cirad), en collaboration avec le Centre National Antiacridien Malgache, vise à améliorer le système de surveillance et d'avertissement contre ce fléau. Il consiste en un croisement des informations obtenues mensuellement sur la pluviométrie, les biotopes et la biologie du criquet (densité, phase et stade). Le croisement des données spatialisées permet de délimiter les zones de regroupement potentiel, où des densités accrues pourraient induire la transformation phasaire et déclencher une invasion.

Une délimitation spatiale des biotopes a été réalisée grâce à l'analyse d'une douzaine d'images Landsat en haute résolution. Ces données spatialisées sur la structure des biotopes sont complétées chaque mois à l'aide de données de terrain ponctuelles : la pluviométrie et la biologie du criquet migrateur sont intégrées dans un SIG pour être interpolées sur l'ensemble de l'aire d'origine des invasions, soit 100 000 km². Il est ainsi possible chaque mois de suivre l'évolution des zones favorables au regroupement des criquets et de prévenir les risques d'invasion.

La surveillance spatiale des criquets ravageurs, à Madagascar et ailleurs, représente une recherche extrêmement finalisée. Elle demande une connaissance fine du terrain, la maîtrise de l'information spatiale ainsi que des partenariats de longue durée avec les pays concernés.

Contact : Alex Franc, alex.franc@cirad.fr



▲ *Mosaïque de cartes extraites du SIG RINAMED.*

Le système d'information géographique sur les risques naturels en Méditerranée : outil d'analyse territoriale, d'évaluation des risques et de production d'atlas permanent

Les principales équipes

UPR EMPA - Écologie et maîtrise des populations d'acridiens

(Cirad)
9 scientifiques dont 2 impliqués dans la thématique
Directeur : Michel Lecoq,
lecoq@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/acridologie

URP Pastoralisme

(cf. page 38)

US ESPACE - Expertise et SPatialisation des Connaissances en Environnement

(cf. page 8)

Autres équipes concernées par ce thème

FRE MTE - Mutations des Territoires en Europe

(cf. page 55)

UMR G-EAU - Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages

(cf. page 43)

UMR LIRMM - Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier

(cf. page 28)

UPR GREEN - Gestion des ressources renouvelables et environnement

(cf. page 18)

UR Dynamiques socio-environnementales et gouvernance des ressources

(cf. page 55)

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une action européenne visant à développer une culture de prévention des risques naturels en Méditerranée (programme Interreg RINAMED : initiative européenne de coopération interrégionale « Risques NATurels en MEDiterranée »). Il consiste au développement d'une plateforme d'information géographique interactive et évolutive (SIG et *Webmapping*) sur les risques et les catastrophes d'origine naturelle, couvrant l'ensemble du bassin méditerranéen. Ce bassin cumule une grande variété de phénomènes naturels dommageables (séismes, crues éclairs, éruptions volcaniques, mouvements de terrain, tempêtes, etc.) et bénéficie d'un certain nombre d'initiatives en matière de réduction des risques, constituant un territoire exceptionnellement intéressant.

Les principales difficultés du projet résident dans le travail d'intégration, de synthèse, d'homogénéisation et d'analyse critique de multiples sources de données disponibles, ainsi que dans la constitution d'un réseau de correspondants étrangers. En outre, la production cartographique nécessite la mise au point d'une chaîne graphique, d'une charte graphique spécifique et d'une cartographie interactive numérique sur le web.

Les premières applications découlant de la base de donnée (SIG RINAMED) portent sur la réalisation de cartes destinées à un futur atlas permanent des risques naturels en Méditerranée (Atlas RINAMED) ainsi que sur la mise au point d'indicateurs synthétiques de risques à l'échelle NUTS3 (découpage international équivalent au niveau départemental français) sur l'Arc latin (action correspondante intitulée « Indicateurs RINAMED »).

Les développements actuels et futurs portent sur la réalisation d'un outil informatique de mise en ligne interactive du SIG. Cet outil est basé sur les technologies *open source*. Il doit permettre côté client, via Internet, de gérer des couches d'informations, de rapatrier des données, de réaliser des requêtes spatiales, d'élaborer des analyses statistiques et d'éditer des cartes. Ce travail doit, à terme, déboucher sur un outil évolutif, riche et performant, destiné à améliorer notre connaissance et développer le partage de l'information géographique sur les risques naturels en Méditerranée.

Contact : Frédéric Leone, frederic.leone@univ-montp3.fr

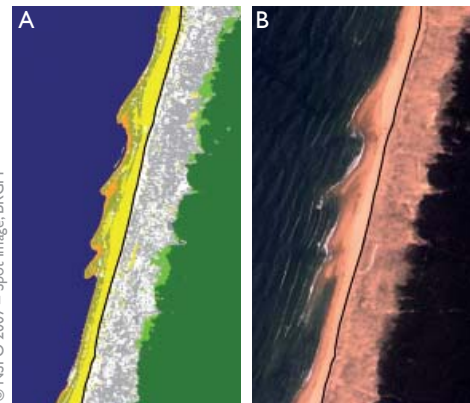
Le suivi du trait de côte et de l'érosion côtière en Aquitaine à l'aide de l'imagerie FORMOSAT-2

Dans le cadre du Contrat de Plan État-Région 2000-2006, l'État, le Conseil Régional d'Aquitaine, le BRGM et l'Office National des Forêts se sont associés pour créer l'Observatoire de la Côte Aquitaine, qui vise à mettre un outil d'aide à la décision à la disposition des gestionnaires du littoral aquitain.

La problématique de l'érosion côtière est abordée via l'analyse par télédétection du système plage-dune. Cette étude s'appuie sur le programme Kalideos (CNES) qui propose des données satellitaires sur le Bassin d'Arcachon. L'objectif est de mettre en place une méthode de suivi d'un certain nombre de faciès sédimentaires et biologiques qui caractérisent les avancées et recul de la côte.

Une méthode mixte combinant la précision des levés de terrain (trop coûteux s'ils devaient être mis en œuvre sur les 270 km de la côte aquitaine) et la vision synoptique de 14 images satellitaire à haute résolution (FORMOSAT-2) a été retenue pour réaliser ces suivis. La cartographie par télédétection permet une mise à jour régulière de différents faciès comme le haut et le bas de plage, les dunes grises et blanches, mais aussi des limites majeures constituées par le trait de côte et l'interface dune/forêt.

Une première phase préparatoire a consisté en un contrôle du géoréférencement des données, puis en l'analyse radiométrique des scènes. Le littoral aquitain a fait l'objet d'une classification non supervisée sur quatre secteurs différenciés, avec prise en compte



◀ Superposition du trait de côte (en noir) : (A) à la classification supervisée et (B) à l'image FORMOSAT (secteur d'Hossegor).

© NSFO 2007 – Spot Image-BRGM

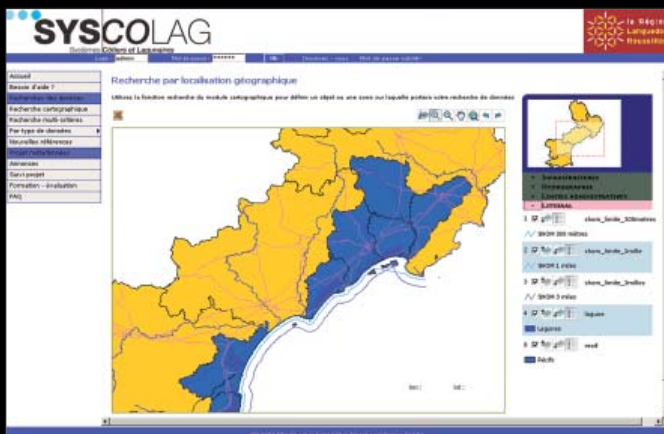
des variations du contenu de l'atmosphère pouvant influencer sur le transfert radiatif (liées par exemple aux différences de dates, à la variabilité naturelle de la couleur des substrats...).

Les résultats de la classification sont globalement performants sur les cibles choisies (forêt, dunes grise et blanches, banquette, haut de plage, bas de plage). La détection du trait de côte (précision de la cartographie de 5,3 m) est encore optimisée (jusqu'à 84,6% de réussite) par l'utilisation d'un filtre destiné à extraire le contour extérieur des objets.

Contact : Jean-François Desprats, jf.desprats@brgm.fr

Approche intégrée milieu / société appliquée à la gestion et au développement durable des territoires d'interfaces : les littoraux et les îles

© SYSCOLAG – Région Languedoc-Roussillon



▲ Site de recherche de l'information environnementale en région Languedoc-Roussillon (France) pour le programme SYSCOLAG basé sur l'outil MDWeb.

En règle générale, les écosystèmes et sociosystèmes les plus complexes occupent des positions d'interface entre milieux contrastés. Sur le littoral, le contact terre/mer attire les populations humaines et les activités économiques, accentuant les conflits d'usages. Dans les îles, la diversité paysagère, l'espace réduit et l'isolement génèrent une organisation atypique des écosystèmes et sociosystèmes.

Dans ce contexte, le développement durable ne peut être envisagé selon une approche sectorielle, activité par activité, mais selon une approche intégrée de la gestion des territoires. La recherche intervient alors de deux manières :

- en élaborant et validant les outils d'intégration et de gestion des connaissances, comme l'outil MDWeb de gestion des métadonnées adapté dans le cadre du projet SYSCOLAG (SYStèmes CÔtiers et LAGunaires du Languedoc-Roussillon) par les équipes ESPACE, LIRMM et TETIS et les acteurs régionaux CEPALMAR du Languedoc-Roussillon (Centre d'Études et de promotion des Activités lagunaires et Maritimes du Roussillon, France) ;

- en proposant à chacun des trois principaux types d'acteurs du territoire –les pouvoirs publics, les décideurs économiques, les usagers– une description des dynamiques et dysfonctionnements de ce système, précisant leurs responsabilités respectives, afin qu'ils prennent conscience des problèmes et construisent de concert des solutions.

Dans cette perspective, l'US ESPACE (IRD) a développé trois modules méthodologiques portant respectivement sur :

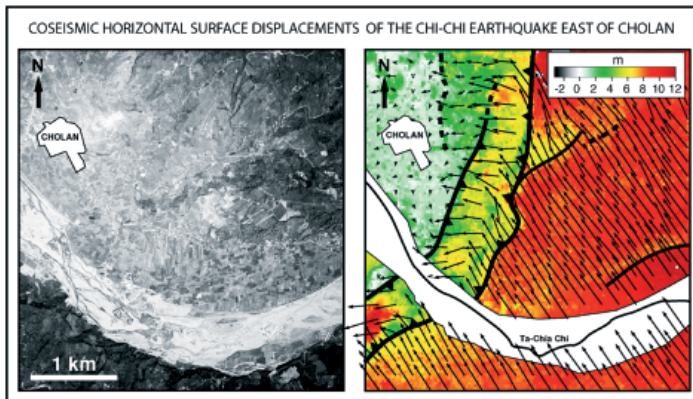
- la modélisation de l'impact des dynamiques des bassins versants sur les zones côtières ;
- l'analyse des concordances et discordances spatiales et temporelles des territoires administratifs en vue d'une intégration institutionnelle des politiques publiques ;
- l'estimation de la valeur socio-économique des écosystèmes.

L'ensemble de ces actions implique le partage, l'analyse et la gestion concertée de l'information spatiale sur les territoires et concourt à une meilleure gouvernance des littoraux et des îles.

Contacts : Gilbert David, gilbert.david@ird.fr & Hélène Rey-Valette, helene.rey-vallette@univ-montp1.fr

L'imagerie spatiale au service de la recherche sur les risques géologiques et leur prévention

© S. Dominguez



▲ *Mesure, par corrélation d'images aériennes orthorectifiées, des déplacements du sol engendrés par le séisme de Taïwan (1999) : en rouge, déplacements jusqu'à 10 m.*

Parmi les différentes catégories de risques géologiques, les tremblements de terre sont ceux qui ont le plus grand impact sociétal, avec de lourds bilans humains. Sur les cinq dernières années, les seuls séismes majeurs (Iran en 2003, Sumatra et Pakistan en 2005, Indonésie en 2006, Chine en 2008) ont provoqué près de 500 000 victimes (source : United States Geological Survey).

L'imagerie satellitaire s'avère très utile pour mieux comprendre les mécanismes qui contrôlent ces phénomènes géologiques et constitue un moyen efficace d'acquisition de mesures quantitatives.

Une nouvelle méthode d'imagerie, développée par le Commissariat à l'Énergie Atomique et mise en service récemment à Géosciences Montpellier, permet de compléter les mesures ponctuelles GPS et les observations de terrain réalisées après un séisme. Cette technique, basée sur la corrélation

d'images satellitaires optiques à haute résolution (type Ikonos, Quickbird ou SPOT5) acquises avant et après le séisme, permet d'identifier la faille qui a joué et de mesurer précisément la composante horizontale des déformations du sol sur une large région autour de l'épicentre. Ces données sont indispensables pour comprendre le comportement des failles sismiques et évaluer l'aléa et le risque qui leur sont associés.

Les glissements de terrains constituent une autre source majeure de risques pour les populations et les infrastructures. Ils jouent un rôle primordial dans l'évolution de la topographie d'une chaîne de montagne. Les techniques de télédétection permettent une surveillance globale des zones à risques s'affranchissant des contraintes de terrain. L'intérêt de l'interférométrie radar (InSAR) est de pouvoir quantifier avec une précision centimétrique la déformation intervenue entre deux prises de vue. Elle permet de déterminer avec précision la distribution spatiale de la déformation de surface. Par ailleurs, l'étude de l'évolution temporelle de l'activité du glissement permet d'analyser l'influence des forçages tectoniques ou climatiques susceptibles de provoquer un glissement catastrophique.

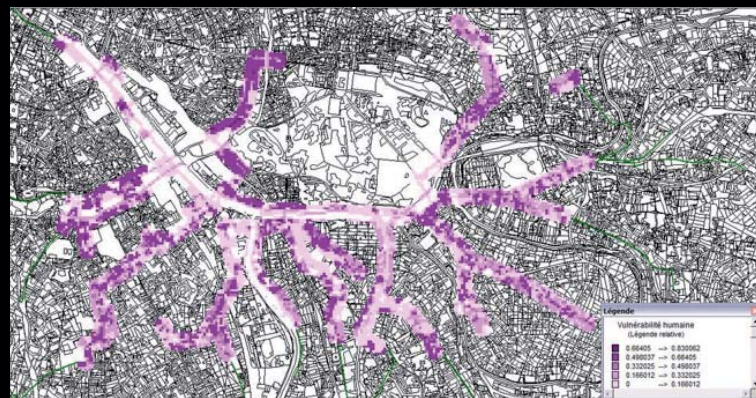
**Contacts : Stéphane Dominguez, stephane.dominguez@gm.univ-montp2.fr
& Michel Peyret, michel.peyret@gm.univ-montp2.fr**

Évaluation de la vulnérabilité face au risque de transport de matières dangereuses

La compréhension et la prévention des événements à risques sont essentielles à la sécurité des populations sur un territoire. Les recherches méthodologiques sur la caractérisation du risque portent, d'une part, sur la quantification des sources de danger, et, d'autre part, sur la prise en compte de manière organisée et formelle des enjeux (population, biens, environnement) et de leur vulnérabilité et enfin sur le croisement de ces informations. Les méthodes d'analyse de risques s'appuient ainsi sur l'analyse spatiale de l'information.

Une analyse de risques relative à l'activité de transports d'hydrocarbures sur l'ensemble du territoire de l'Île de France (IdF) a étudié la modification du niveau de risques induite par le déplacement des dépôts d'hydrocarbures de la petite couronne (4 départements limitrophes de Paris) vers la grande couronne (4 départements périphériques de l'IdF).

Le nombre de kilomètres parcourus pour acheminer les carburants vers Paris augmentant de manière conséquente, il est devenu primordial d'évaluer le risque généré. Le « niveau » de risque est défini comme une fonction couplant une variable de potentiel danger (quantifiée par une approche probabiliste et déterministe) générée par la source (transport d'hydrocarbure) et une variable de vulnérabilité des enjeux présents sur le territoire. La méthodologie a été mise en œuvre sous un SIG permettant d'aboutir à la cartographie du risque relatif aux transports d'hydrocarbures en IdF. Deux catégories d'information cartographique sont obtenues :



▲ *Exemple de cartographie de la vulnérabilité humaine.*
D'après Tixier et al., 2006.

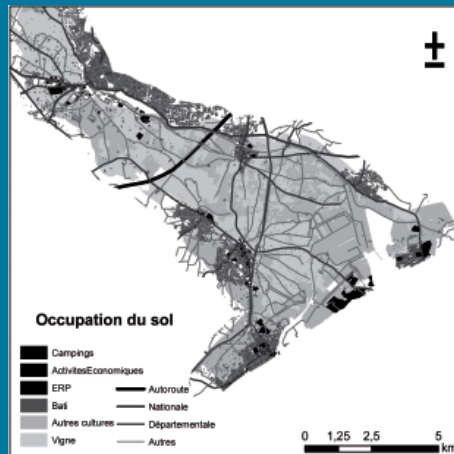
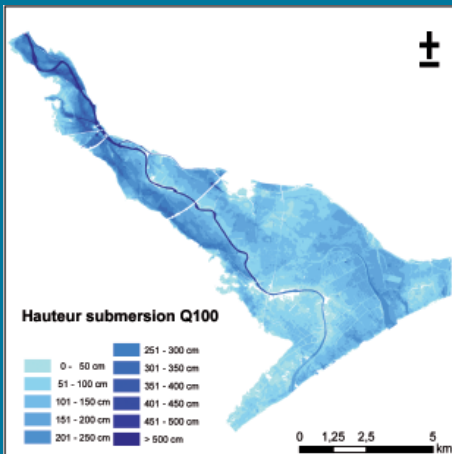
- cartographie de la vulnérabilité du territoire (enjeux humains, naturels, matériels) ;
- cartographie du niveau de risque relatif à un dépôt d'hydrocarbures.

L'ensemble de ces informations permet de réaliser une analyse en termes de risque du déplacement d'un dépôt d'hydrocarbures et de prévoir l'impact d'un scénario donné.

Ce projet a été financé par la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi) et soutenu par le Pôle « préparation à la gestion de crise » de la Direction Régionale de l'Équipement d'IdF/Service Sécurité Défense (ministère de l'Équipement).

Contact : Jérôme Tixier, jerome.tixier@ema.fr

Spatialisation de l'analyse coût-bénéfice des projets de prévention des inondations



▲ Exemple de cartes d'aléa et occupation du sol pour l'analyse économique du risque d'inondation (Orb, France).

les relations spatiales entre systèmes. Les enjeux sont souvent considérés comme des unités spatiales élémentaires et indépendantes (p. ex. une coopérative, une exploitation agricole) alors que les dommages supportés par un enjeu dépendent également de ses relations avec les autres enjeux : par exemple, une coopérative agricole située hors zone inondable est un système concerné via les dommages supportés par ses exploitations agricoles adhérentes situées en zone inondée. Deuxièmement, une analyse de sensibilité est requise pour valider la démarche. Elle doit prendre en compte la propagation des incertitudes lors du couplage des différents modèles mobilisés et permettre d'identifier les données clés de l'ACB. L'imprécision d'un modèle numérique de terrain, par exemple, se répercute sur la mesure de l'efficacité de certaines protections locales, telles que les batardeaux (remblais provisoires de protection).

L'analyse coût-bénéfice (ACB) est une méthode d'évaluation des politiques publiques qui repose sur la comparaison des inconvénients et avantages attendus de ces politiques. Dans le cadre de projets de prévention des inondations, les avantages sont estimés par le biais des dommages évités grâce à ces projets. Le calcul de ces dommages fait intervenir des données spatialisées : cartes de submersion pour une gamme de différentes intensités d'inondation (issues d'un couplage entre modèles hydrologiques, hydrauliques et topographiques) et carte d'occupation du sol. Ces données sont croisées via des fonctions de vulnérabilité définies pour chaque type d'enjeux. Plusieurs questions de recherche liées à la dimension spatiale de l'ACB émergent de sa mise en œuvre.

certaines protections locales, telles que les batardeaux (remblais provisoires de protection).

Effectuer une ACB spatialisée permet de proposer une représentation cartographiée des différents résultats intermédiaires et finaux : carte des dommages pour une inondation, carte synthétisant les dommages pour une gamme d'inondations ; carte des dommages évités pour un projet étudié. Elle permet de qualifier ainsi l'exposition d'un territoire aux inondations. Au regard du croisement de cartes réalisé, cette dernière étape demande une réflexion sur la précision des cartes utilisées et produites, leur légende et l'échelle spatiale d'analyse.

Premièrement, la modélisation économique de la vulnérabilité des enjeux nécessite de développer des méthodes prenant en compte

Contacts : Frédéric Grelot, frederic.grelot@cemagref.fr, Jean-Stéphane Bailly, bailly@teledetection.fr & Katrin Erdlenbruch, katrin.erdenbruch@cemagref.fr

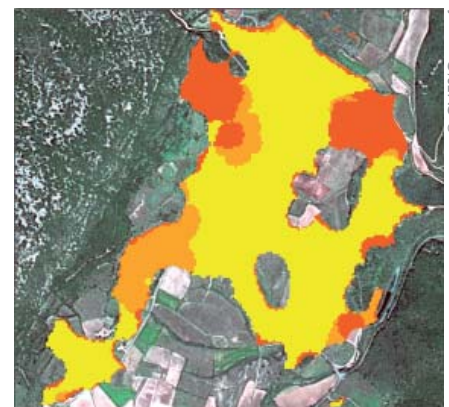
Une méthode pour évaluer la consommation de terres agricoles par la pression urbaine

Le développement périurbain, le développement de l'habitat en zones rurales et le développement des infrastructures de transport et touristiques se font le plus souvent par prélèvement de terres agricoles. La logique locale (croissance de la population, enjeux économiques, implantation d'infrastructures et d'immobilier aux dépens de quelques hectares de terres agricoles) et l'intérêt des propriétaires fonciers, amènent systématiquement à entériner le prélèvement de terres agricoles.

Cette dynamique de consommation de terres agricoles au profit de l'urbanisation, jugée marginale à l'échelle locale, devient préoccupante à l'échelle régionale et *a fortiori* nationale, quand elle est multipliée par le nombre de communes et cumulée au cours du temps. On peut en effet craindre que cette disparition de terres agricoles soit irréversible : il serait difficile et coûteux (sinon impossible ou économiquement irréaliste) de les remobiliser pour une production agricole. C'est donc un patrimoine stratégique dans le contexte international de l'alimentation et du commerce des produits agricoles et denrées alimentaires qui est consommé, pour un intérêt économique immédiat, sans réflexion sur son utilité collective à moyen et long termes.

L'UMR TETIS, en partenariat avec l'UMR LISAH, a développé en 2008 sur une zone pilote de la région Languedoc-Roussillon, une méthode de quantification et qualification de la dynamique spatiale et temporelle de consommation de terres agricoles par le développement de l'habitat. Conçue pour être généralisable sur tout le territoire français, elle est basée sur l'exploitation d'images satellitaires acquises ces 20 dernières années, de bases de données d'occupation du sol récentes et de l'inventaire cartographique des sols. Cette méthode sera appliquée à cette région en 2009, afin d'être validée et de produire des résultats objectifs de consommation des terres agricoles sur ce territoire depuis 1989.

À terme, on peut imaginer qu'une stratégie nationale de préservation des terres agricoles s'avère justifiée, comme le sont maintenant reconnues les stratégies de préservation des espaces naturels ou des milieux aquatiques.



Emprise territoires artificialisés

- Spot 1 19/07/1989
- Spot 3 29/05/1996
- Spot 5 27/04/2005

▲ Évolution de l'emprise des territoires artificialisés, commune de *Vailhauques (Hérault, France)*.

Contacts : Éric Barbe, eric.barbe@teledetection.fr & Philippe Lagacherie, philippe.lagacherie@supagro.inra.fr