

# Techniques spatiales et systèmes d'information pour la gestion des inondations

■ Jean-Baptiste HENRY, Ingénieur ENSAIS, doctorant SERTIT-CEREG

*La prise de conscience des pouvoirs publics face aux risques d'inondations est telle que l'heure est au développement de systèmes d'information territoriale à grande échelle, capable d'aider à la prévention et à la gestion des crises. Dans le cas des inondations, la multitude d'intervenants et d'informations de tous ordres qui afflue vers les services impliqués, oriente ces derniers vers une réorganisation de leur politique de traitement de l'information pour la gestion de crise par l'utilisation des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication). La télédétection spatiale se présente comme la source de données synthétiques, permettant d'alimenter des bases de données géographiques. Le système d'information tend alors vers la synthèse en temps rapide d'informations géolocalisées provenant de l'observation de la Terre, de l'observation météorologique, du terrain par le biais du GPS et de caméras... L'objectif est de rendre l'intervention sur la crise la plus efficace possible en produisant des informations claires pour alimenter les systèmes d'aide à la décision des gestionnaires de crise et en tenant compte des facteurs environnementaux, humains et matériels.*

## ■ MOTS CLES

imagerie spatiale, inondations, systèmes d'information et d'aide à la décision

**L**a problématique des risques naturels fait désormais partie intégrante des préoccupations des collectivités territoriales. Une preuve est que leurs prérogatives sur ces sujets n'ont cessé d'être augmentées depuis plusieurs années. C'est pourquoi la réflexion sur la conception de systèmes d'information et d'aide à la décision (SIAD), capables de synthétiser un grand nombre de données d'origines multiples, a été lancée. Au-delà de la simple conception d'un SIAD, cette étude met une nouvelle fois en évidence des sujets faisant régulièrement l'objet des débats publics et qui concernent la gestion du territoire.

## Problématique

Sur le territoire français, le risque d'inondation est de loin le plus présent (fig. 1) et concerne près de deux communes sur trois. Malgré les dispositions prises par le législateur et comme on a pu le voir récemment, ce phénomène engendre

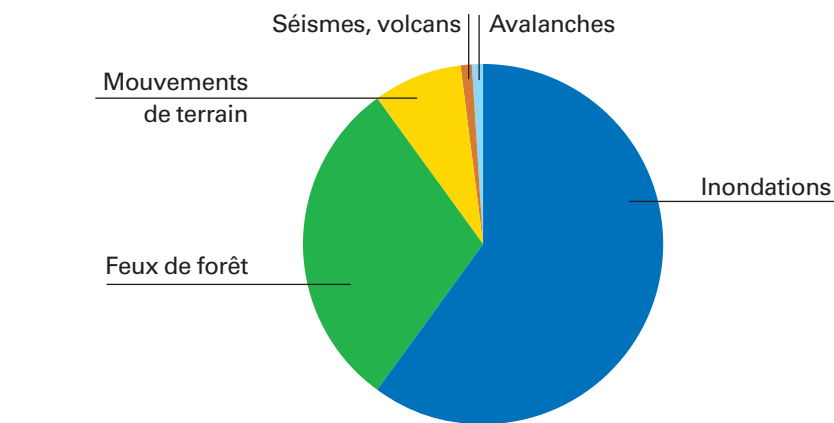
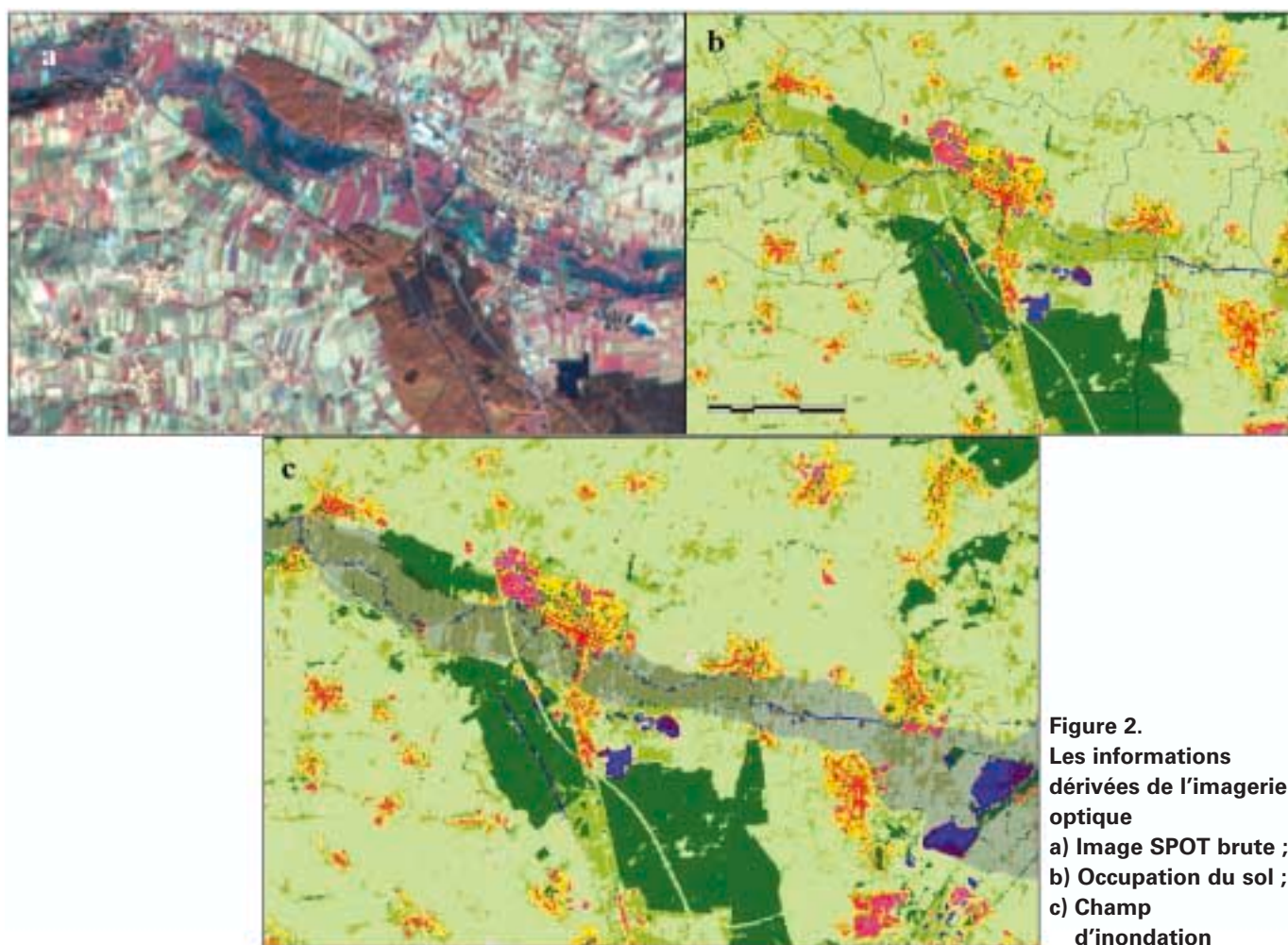


Figure 1. Répartition des risques naturels, ayant des enjeux humains sur le territoire français (IFEN)

des dégâts considérables de tout ordre. Il s'agit donc d'être en mesure de fournir une information objective et globale sur un territoire avant, pendant et après un événement hydrologique.

L'objectif de cet article est de présenter les principaux résultats répondant aux besoins d'information exprimés par les services de gestion de crise, par le

biais des techniques spatiales. Celles-ci sont constituées d'une part de la branche imagerie (optique, radar), des données de positionnement GPS et d'autre part, des données dites environnementales, incluant la pluviométrie et l'hydrométrie. L'exploitation d'une telle variété d'informations conduit à la mise en place d'une



**Figure 2.**  
Les informations  
dérivées de l'imagerie  
optique  
a) Image SPOT brute ;  
b) Occupation du sol ;  
c) Champ  
d'inondation

importante base de données, exploitée grâce aux outils et techniques des SIG. Ces différentes couches constituent des produits à forte valeur ajoutée qui ont, en grande majorité, fait l'objet d'une validation par les utilisateurs. Ce projet s'appuie sur l'étude menée sur la rivière Zorn (Alsace) par le SERTIT au cours du programme GENESIS 2000 (*Geospatial Emergency NETwork by Support of Imagery Services for year 2000*), piloté par EADS – Matra Systèmes et Information, sous l'égide de la Commission Européenne (programme IST).

## Intégration d'images satellitaires

La base de données d'observation de la Terre peut intégrer différentes sources, optiques ou radar, du fait des multiples systèmes imageurs actuellement en orbite. Ces images nécessitent une part

importante de traitements et d'expertise avant leur intégration dans le système d'information (SI).

### ■ Les traitements en imagerie optique

Les traitements appliqués aux images optiques peuvent être scindés en deux catégories : les pré-traitements comprenant les préparations géométrique et radiométrique des données, et l'extraction thématique qui concerne autant la classification d'occupation du sol que la délimitation de champs d'inondations.

Tout d'abord, les traitements radiométriques consistent à éliminer les effets astronomiques par transformation des comptes numériques bruts en réflectance exo-atmosphérique (Begni, 1988). Cette étape de normalisation des valeurs contenues dans les images est capitale tant pour la réalisation de mosaïques, que pour permettre des

études diachroniques. Du point de vue géométrique, les images sont orthorectifiées, sur la base de cartes topographiques ou de produits déjà corrigés. La qualité de la correction est alors conditionnée par celle des données de référence, la précision et la résolution du modèle numérique de terrain, la connaissance et l'intégration de la géométrie d'acquisition.

L'extraction thématique a pour objectif de synthétiser l'information contenue dans l'imagerie satellitaire. Elle se base sur l'analyse des canaux d'acquisition et de certaines combinaisons linéaires de ces canaux. Ces indices sont un moyen d'accéder à l'intensité de phénomènes trop complexes pour être décrits par des paramètres simples (Bannari et al., 1995) : on citera par exemple les indices de végétation classiques ou les indices spécifiques développés par le SERTIT, afin d'exploiter pleinement les capacités du

■■■ capteur HRVIR de SPOT4 (Clandillon et al., 1995 a et b ; 1999).

Deux grandes familles d'informations sont extraites des données optiques (fig. 2) : la classification d'occupation du sol grâce à la mesure des paramètres bio-géophysiques, et les champs d'inondations historiques lorsque les conditions atmosphériques ont été assez clémentes pour permettre l'acquisition d'une image par un système passif.

## ■ Les traitements en imagerie radar

Au contraire de l'imagerie optique, l'imagerie radar dispose d'une capacité à fournir de l'information sur une zone quelles que soient les conditions atmosphériques, de jour comme de nuit. Malgré le niveau de traitement initial de ces données lors de leur fourniture par les centres de traitement de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), elles nécessitent un fort apport d'expertise avant d'être pleinement exploitables et intégrables à la base de données thématiques. L'essentiel de ces traitements a pour objet la réduction de l'effet de chatoiement (speckle), qui réduit la 'lisibilité' des images. De nombreuses méthodes de filtrage spatial peuvent s'appliquer à une image seule (Neusch, 2000). Cependant, lorsqu'une série d'images est acquise sur une même emprise géographique, le filtrage temporel par sommation permet une amélioration très sensible de la qualité radiométrique en se basant sur le caractère aléatoire de l'effet de chatoiement (Bruniquel, 1996 ; Fellah, 1997). Reste enfin la prise en compte de la géométrie particulière de ces images due à la nature active du système imageur (Polidori, 1997 ; Maître, 2001). Selon la topographie de la zone, si l'orthorectification n'est pas indispensable, comme par exemple sur la plaine d'Alsace, le géoréférencement précis des images est cependant nécessaire.

La combinaison d'images en période d'étiage et en période de crues permet, par détection de changement, d'extraire les champs d'inondation instantanés,

**Finallement, le croisement géographique des différentes informations extraites des images satellitaires permet d'analyser le paysage de la zone d'étude et son évolution au cours du temps, mais surtout d'évaluer les conséquences d'une crue d'une intensité donnée (fig. 3). Ainsi, la mémoire du risque semble parfois assez peu présente et les événements extrêmes sont rapidement oubliés. On observe la croissance des surfaces urbanisées dans des zones inondées par le passé, et donc potentiellement ré-inondables.**

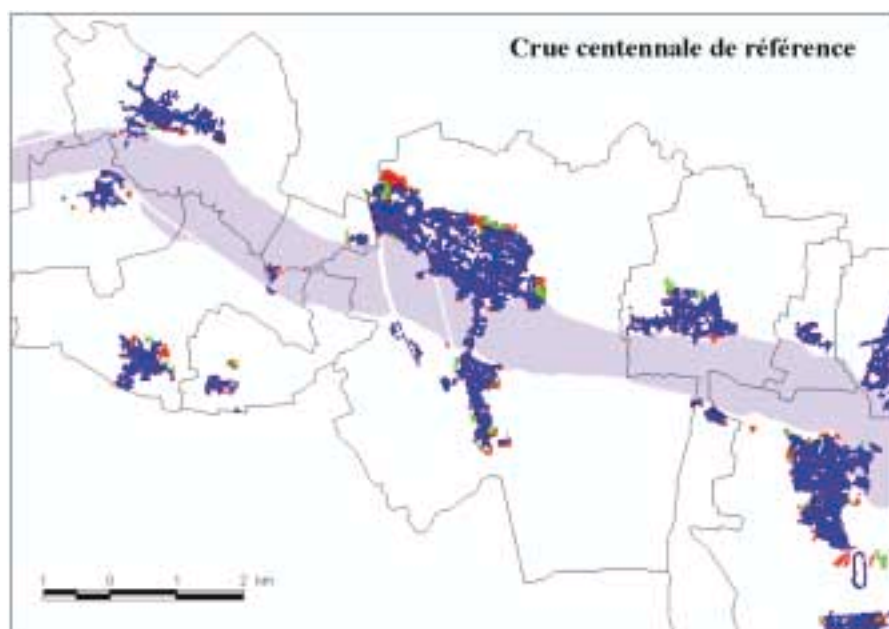
observés lors du passage du satellite (Badji et al., 1994). Comme pour les données optiques, ces informations témoignent d'un instant précis dans le déroulement de la crue, et ne permettent pas une généralisation sans être corrélées aux conditions météorologiques. Nous introduisons ici la notion de cas et de systèmes à base de cas, constitués d'une combinaison d'observation de champs d'inondation et des données pluviométriques et hydrométriques correspondantes.

Lorsque aucun produit d'imagerie n'est disponible pour les événements considérés, la base de données sur les champs historiques est complétée par

les atlas de zones inondables, réalisés par les DDAF, qui décrivent l'emprise maximale du champ d'inondation lors de l'événement.

## Alimentation de la base de données du SIAD

Le traitement des données d'imagerie satellitaire représente une part importante de cette étude, qui ne prend vraiment son sens que lors de l'intégration SIG. Cette seconde phase a pour but d'exploiter ces informations dérivées en les combinant à d'autres, provenant d'études antérieures ou de bases de données extérieures. La base exploitable



**Figure 3. Croisement géographique de la dynamique des espaces urbanisés et d'un champ d'inondation historique**



est constituée de deux composantes majeures : les données géographiques et les données environnementales.

## ■ Les données géographiques

Cette première composante de la base de données intègre de multiples sources. Les produits dérivés de l'imagerie satellitaire constituent le socle du référentiel géographique de l'étude, qu'il s'agisse des produits de classification ou des champs d'inondation observés. Cependant, les contraintes d'exploitation et de présentation des informations requièrent l'utilisation de couches vectorielles, telles que les découpages communaux, les limites de bassin versant... L'objectif est alors d'évaluer les politiques d'aménagement local et leur prise en compte de l'histoire du territoire, en particulier les zones d'épandage des crues.

Pour décrire l'évolution de la vulnérabilité des territoires, le suivi de la dynamique d'urbanisation constitue l'élément majeur. Issue de la fusion du produit de classification d'occupation du sol actualisé avec des produits antérieurs, cette couche d'information forme la base de l'analyse (Pohl et Van Genderen, 1998). A l'échelle de la commune, on peut localiser les zones préférentiellement urbanisées et identifier les vecteurs privilégiés de l'expansion urbaine.

L'extrait cartographique (fig. 3) illustre la dynamique des zones urbaines sur un secteur de la Zorn (bleu, antérieur à 1992 ; vert, urbanisé entre 1992 et 1995 ; rouge, urbanisé entre 1995 et 2000), par rapport à l'extension maximale d'une crue centennale de référence. Cet événement (de 1983, obtenu grâce à l'atlas des zones inondables réalisé par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt) sert d'ailleurs de référence pour l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Inondation (PPR-I) de cette rivière.

Finalement, le croisement géographique des différentes informations extraites des images satellitaires permet d'analyser le paysage de la zone d'étude et son évolution au cours du temps, mais surtout d'évaluer les

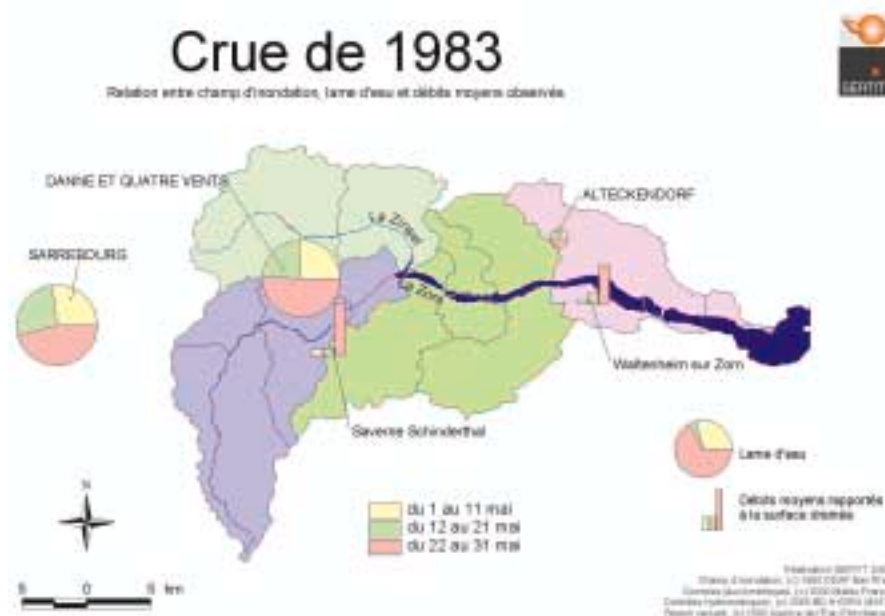


Figure 4. Carte de synthèse d'un événement historique

conséquences d'une crue d'une intensité donnée (fig. 3). Ainsi, la mémoire du risque semble parfois assez peu présente et les événements extrêmes sont rapidement oubliés. On observe la croissance des surfaces urbanisées dans des zones inondées par le passé, et donc potentiellement ré-inondables.

## ■ Les données environnementales

Cette catégorie regroupe les informations concernant par exemple, la météorologie (pluviométrie, bilan hydrique...) ou l'hydrométrie. Elles sont accessibles auprès des services de Météo France, des Agences de Bassin, des DIREN... Leur intérêt est de pouvoir décrire plus complètement le phénomène observé par les satellites. Dans le cas de la plaine d'Alsace, sur des événements spécifiques, l'analyse de ces séries a mis en évidence une durée standard pour l'évaluation du phénomène pluviométrique et de son impact sur les débits observés. Ainsi, il est apparu raisonnable de ne s'intéresser qu'aux dix jours précédant le pic de crue, considérés comme prépondérants pour la génération des débits (fig. 4).

Cependant, l'antécédent pluviométrique, plus en amont dans le temps, doit également être pris en compte. En effet, selon l'état hydrique du bassin, une même intensité de pluie n'aura pas

les mêmes conséquences sur les débits observés. On introduit ici le suivi du paramètre humidité, qui n'a pas fait l'objet de cette étude mais qui apparaît comme une variable d'autant plus utile qu'elle peut être évaluée par les moyens de télédétection radar (Fellah, 1997 ; Neusch, 2000). L'intérêt est alors d'exploiter directement une variable spatialisée.

De ce fait, une vision systémique du bassin est envisagée en décrivant quelques-uns de ses états extrêmes. Sans entrer dans les méandres et les difficultés de la modélisation hydrologique, une base de données de cas est alimentée, pouvant servir de référentiel de comparaison en supposant que le bassin soit stable dans le temps. C'est dans cette optique qu'est élaboré le document cartographique (fig. 4) qui s'attache plus à donner une tendance des pluviométries et des débits, que des évaluations numériques. Celles-ci deviennent finalement très vite obsolètes, du fait des rapides évolutions des surfaces urbaines et agricoles. C'est pourquoi il est apparu capital de se limiter à une description qualitative des événements afin de ne pas risquer de donner un poids exagéré aux séries de mesures historiques.

Cette hypothèse de stabilité apparaît alors comme réductrice et impose de ■■■

- considérer soigneusement les relations mises en évidence. Elle offre néanmoins l'occasion aux services de gestion de crises de comparer des situations et d'envisager de possibles scénarii d'évolution. De plus, cette évaluation pourrait constituer un intérêt particulier pour les modélisations hydrologiques et hydrauliques, en tant que donnée d'entrée, de validation et de calibration.

## Conclusions

L'étude du phénomène 'inondations' est complexe et exigeante, en termes de moyens et de temps. Cependant, ces événements ont d'importants impacts sur les plans socio-économiques, financiers et environnementaux. Leurs conséquences, très souvent catastrophiques, font l'objet depuis plusieurs années de beaucoup d'attention de la part des pouvoirs publics qui cherchent à atteindre deux objectifs. D'une part, réduire les risques en imposant des contraintes fortes dans les zones réputées dangereuses, et d'autre part, donner toujours plus de moyens aux services d'urgence qui sont en contact direct avec la réalité des crises.

Le système est basé sur deux constatations simples : l'occurrence et l'intensité des catastrophes naturelles sont des paramètres qui ne sont pas maîtrisables ; quelles que soient les mesures prises par le législateur, le risque nul ne peut être obtenu. L'objectif du système est alors de fournir aux gestionnaires de crise les moyens d'exercer une certaine maîtrise sur les situations graves. Les moyens spatiaux offerts par les satellites d'observation de la Terre apparaissent comme très efficaces pour

obtenir des informations synthétiques sur de grands territoires.

Ces données nécessitent d'importants traitements pour en dégager l'information : préparations géométriques puis radiométriques, avant extraction des classes thématiques. La connaissance de l'occupation du sol est un facteur primordial dans l'analyse des risques, puisqu'elle en constitue une des composantes : la vulnérabilité. Enfin, la constitution d'une base de données historiques sur les champs d'extension de crues est la dernière étape d'exploitation des images de télédétection.

Les mesures de différents paramètres environnementaux, tels que les précipitations ou les débits moyens journaliers, reliées aux deux catégories d'information dégagées, permettent de prendre conscience de la genèse de ces catastrophes naturelles. Ainsi, cette approche n'a pas pour vocation de constituer un modèle global portant sur la naissance, la propagation et les conséquences des phénomènes naturels violents, mais bien de proposer des moyens d'information pour aider à la prise de décision et à la gestion de crise.

## Perspectives

Cette étude a mis en évidence d'importantes perspectives d'évolution de ce type de systèmes. Tout d'abord l'exploitation opérationnelle, en quasi temps réel, demande une automatisation de tout ou partie des processus de rectification géométrique, d'extraction radiométrique... Ensuite, une utilisation sur le terrain exige le développement d'interfaces simples et efficaces sur des systèmes légers, exploitant les techniques

de positionnement par GPS. L'idée est ici de proposer aux équipes d'intervention des moyens de localisation et d'action. L'intégration de données environnementales, météorologiques et hydro-métriques, amène à considérer les possibilités d'évolution vers la modélisation ou la simulation, et ainsi la génération d'informations en avance par rapport aux événements graves, pour alimenter les systèmes d'aide à la décision.

Des études se poursuivent actuellement dans le cadre du Réseau Terre et Espace (programme PACTES, "Prévention et Anticipation des Crues au moyen des Techniques Spatiales", du Ministère de la Recherche et coordonné par le Centre National d'Etudes Spatiales), où sont notamment évaluées les capacités des nouveaux systèmes de télédétection tels qu'ENVISAT et SPOT5, et des futurs systèmes comme Radarsat2 (2003) ou Cosmo-Pléiades-Skymed (2006), dans ce type d'applications. Les signes annonciateurs de débordement (variation de l'humidité des sols grâce au radar, couplages plus élaborés avec les données météorologiques) sont également en cours d'investigation. De nombreuses pistes sont ouvertes, mais l'objectif ultime reste de produire des plans d'information élaborés qui trouvent leur écho chez les utilisateurs et qui puissent s'intégrer efficacement dans le processus de décision en cas de crise. Ces développements seront concrétisés dans le cadre du projet "Plain-Flood Monitoring" soutenu par l'Agence Spatiale Européenne, dont l'objectif est la constitution d'un centre opérationnel de cartographie rapide des inondations dans l'Est de la France au moyen des données d'Observation de la Terre. ●

**Le système est basé sur deux constatations simples : l'occurrence et l'intensité des catastrophes naturelles sont des paramètres qui ne sont pas maîtrisables ; quelles que soient les mesures prises par le législateur, le risque nul ne peut être obtenu. L'objectif du système est alors de fournir aux gestionnaires de crise les moyens d'exercer une certaine maîtrise sur les situations graves. Les moyens spatiaux offerts par les satellites d'observation de la Terre apparaissent comme très efficaces pour obtenir des informations synthétiques sur de grands territoires.**

## Remerciements

Je tiens ici à adresser mes plus sincères remerciements à Paul de Fraipont, directeur du SERTIT, et à Stephen Clandillon, chercheur SERTIT, pour avoir permis et contribué à la réalisation de cette étude. Je remercie enfin Martine Couturier, de Matra Systèmes&Informations, coordinatrice du projet européen GENESIS 2000, qui a donné le cadre de ce travail. Ce Projet de Fin d'Etudes a été soutenu à l'ENSAIS le 17 octobre 2000. ●

## Contact

### Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection (SERTIT)

Pôle API - Bd Sébastien Brant  
F-67400 Illkirch Graffenstaden  
Std: +33 (0)3 90 24 46 47  
Fax: +33 (0)3 90 24 46 46  
<http://sertit.u-strasbg.fr>

## Références

### Badji M., Dautrebande S., Mokadem

**A.I. et Dewez A.**, 1994, ERS-1 SAR imagery applied to rural basins hydrological studies. I: Flood inundation mapping and monitoring, Proceedings of First ERS-1 Pilots Projects, pp. 117-124.

### Bannari A., Morin D., Bonn F. et Huete

**A.R.**, 1995, A review of vegetation indices, Remote Sensing Reviews, Vol. 13, pp. 95-120.

**Begni G.**, 1988, Document de synthèse sur l'étalonnage absolu des données SPOT, Rapport CNES.

**Bruniquel J.**, 1996, Contribution des données multi-temporelles à l'amélioration radiométrique et à l'utilisation d'images radar à synthèse d'ouverture, Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

**Clandillon S., Meyer C., Bestault C., Yesou H. et De Fraipont P.**, 1995a, Variabilité du MIR et humidité, Procédures d'optimisation des données SPOT4/MIR, Rapport final SERTIT.

**Clandillon S., De Fraipont P. et Yesou H.**, 1995b, Assessment of the future SPOT4 MIR for wetland monitoring and

soil moisture analysis : simulation over the Ried Centre Alsace (France), Proceedings of SPIE, Vol. 2585, pp. 102-111.

**Clandillon S., Meyer C., Bestault C., Yesou H. et De Fraipont P.**, 1999, Validation des résultats obtenus dans la plaine d'Alsace, au cours des projets pilotes SPOT4/MIR, Rapport final SERTIT.

**Fellah K.**, 1997, Mesures des paramètres des sols à partir de données des satellites radar pour les applications hydrologiques, Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, mention Doctorat Européen.

**Maître H.**, 2001, Traitement des images de Radar à Synthèse d'Ouverture, Hermès, Paris.

**Neusch T.**, 2000, Multi-Frequency and Multi-Polarization Synthetic Aperture Radar Data for Modelling Hydrological Parameters, Aachen : Shaker (Geodäsie ; Bd. 5), Zugl.: Karlsruhe Univ., Diss.

**Pohl C. et Van Genderen J.L.**, 1998, Review article - Multisensor image fusion in remote sensing : concepts, methods and applications, International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 5, pp. 823-854.

**Polidori L.**, 1997, Cartographie radar, Gordon and Breach Science Publisher.

## ABSTRACT

**KEY-WORDS :** satellite imagery, floods, information and aid to decision making systems

*Due to increased awareness, public authorities are implementing strategies to combat flood events. As a consequence, large scale territorial information systems, able to contribute to the prevention and management of crises, are being developed. Because flood events involve many different actors and types of information, concerned services need to reorient their crisis management policies, by using new technologies of Information and Communication.*

*Satellite remote sensing appears to be an adequate data source, in order to feed these flood alert geographical databases. The system aims to synthesise and use synergies between geocoded information sources. Here, these are derived from Earth Observation data, meteorological observation data and from field work using GPS and cameras... The ultimate goal is then to improve crisis management, by providing easy-to-use information, accounting for environmental, human and material factors, to flood crisis managers and their aid to decision making systems.*