

L'apport des radios sciences à la gestion des catastrophes

Tullio Joseph Tanzi*, François Lefeuve**

*Institut Télécom, Télécom ParisTech, Paris34 rue Barrault
F 75634 Paris cedex 13, France, {tullio.tanzi}@telecom-paristech.fr

** CNRS/LPCE, 3A, Av de la Recherche Scientifique
45071 Orléans cedex 02, France, {francois.lefeuvre}@cnrs-orleans.fr

Résumé

Lorsqu'une catastrophe naturelle survient, l'organisation rapide et efficace des secours, telle que définie dans la Charte Internationale "Espace et catastrophes majeures" suppose : (a) la mise à disposition rapide d'une information fiable recensant les infrastructures et leur état, (b) une chaîne complète de traitement en temps quasi-réel, et (c) lorsque cela s'avère nécessaire, une reconfiguration des systèmes de télécommunications. Une chaîne complète de traitements incorporant des algorithmes efficaces issus de recherches récentes est présentée. Elle est testée sur un tremblement de terre de magnitude 6.7 qui a secoué le nord de l'Algérie le 21 mai 2003. Un point est fait sur les systèmes de communication et sur les techniques de reconfiguration potentielle. Plusieurs problèmes de fiabilité des images reçues sont évoqués. En ce qui concerne les sciences et techniques radio ils concernent principalement les effets liés à la propagation ionosphériques (rotation de Faraday, distorsions azimutales "radio", Doppler artificiels) et les surfaces turbulentes.

Abstract

When a catastrophic natural event occurs, a quick and efficient response as defined in the International Charter Space and Major Disasters is of the utmost importance. This implies: (a) the output of a reliable inventory of existing infrastructures and their condition as quickly as possible (b) a complete data processing system that, if at all possible, will output a contextual analysis in real time (c) when necessary the planning a reconfiguration of existing telecommunication networks. In the following a complete job string implementing a number of efficient algorithms emerging from current research in the field is presented. This approach was evaluated using satellite images of a region of Algeria that was hit by an earthquake of magnitude 6.7 on the Mai 21st 2003. Amongst other topics a special attention is given to communication networks and their potential required rerouting as well as a certain number of issues concerning the reliability and quality of the supplied satellite images. As for to the scientific and technical aspects of radio transmissions they are mainly affected by ionospheric propagation (Faraday rotational effects, azimuthal distortions and artificial Doppler effects) as well as to turbulent surfaces.

Mots clés : risque, télédétection, télécommunications.

Keywords: risk, remote sensing, telecommunications.

1. Introduction

Lorsqu'une catastrophe naturelle survient sur une large zone de terre émergée et peuplée, l'organisation rapide et efficace des secours est un facteur important pour réduire au maximum l'impact de cet événement. Un des facteurs déterminants pour la bonne organisation des secours est la mise à disposition rapide d'une information fiable recensant les infrastructures (réseaux, bâtiments) et leur état, ainsi que le souligne la Charte Internationale "Espaces et Catastrophes majeures"¹.

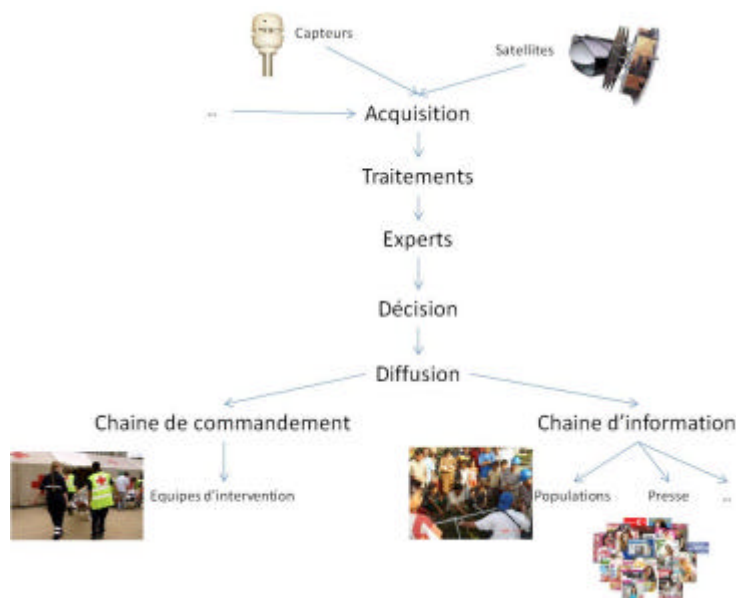
¹ Suite à la conférence UNISPACE III qui s'est tenue en juillet 1999 à Vienne, en Autriche, les agences spatiales européenne (ESA) et française (CNES) ont fondé la Charte Internationale "Espace et

L'exploitation d'images de télédétection est une option intéressante, car ces images peuvent être rapidement acquises et couvrent une large surface du territoire ; les photo-interprètes les utilisent afin de fournir, aussi rapidement que possible, une carte détaillant des informations exploitables par les organismes chargés de la gestion des risques majeurs (ministères, protection civile, préfectures, ONU, ONG, etc.). Le Sertit, Service régional de traitement d'image et de télédétection, dispose d'un tel service de cartographie rapide. En 8 heures, le Sertit transforme des images satellitaires de la zone sinistrée en une carte évaluant l'étendue géographique des dégâts. Suivant les données disponibles, cette première information peut être complétée par des cartes détaillées de zones plus restreintes, des cartes signalant l'intensité de l'événement, des cartes successives pour suivre l'évolution de la catastrophe, et, pour les zones peu renseignées, des cartes de base pour faciliter le repérage, localiser les camps de réfugiés, implanter des campements de secours, etc.

Le problème principal posé par la manipulation des images satellitaires est qu'il existe peu d'outils logiciels fiables pour les traiter rapidement. Ainsi les photo-interprètes sont-ils obligés de visualiser les images pendant des heures et de les interpréter subjectivement. L'idée que nous proposons est de les assister dans cette analyse à l'aide de traitements automatiques. L'usage de procédés automatiques permet, d'une part, d'accélérer le traitement des images (qui sont de très grandes tailles) et, d'autre part, de qualifier objectivement la qualité des résultats obtenus. Les traitements mis en œuvre ne sont pas nouveaux mais leur application aux images satellitaires, dans une chaîne complète, est récente. Nous souhaitons en démontrer l'intérêt à l'aide d'un cas d'usage : le tremblement de terre de Boumerdes dont les effets sont observés à l'aide d'une image panchromatique QuickBird (60cm de résolution).

1.1. Gestion de la crise

Lorsqu'un évènement majeur survient l'organisation rapide et efficace des secours est un facteur primordial dans sa résolution. Une mauvaise organisation va se traduire par un retard de l'intervention qui peut impliquer une augmentation des pertes, la dégradation des conditions d'interventions et un retard ou un non retour aux conditions qui régnaient avant l'incident. Or dans une crise il faut *gagner du temps sur le temps* [33]. En ce type de situation, les données doivent être collectées en temps réel par le biais de satellites, radars et autres capteurs fixes ou mobiles. Elles suivent alors des chaînes de traitement par des systèmes informatiques (traitement du signal et de l'image ; tri, comparaison, estimation et simulation) puis elles sont diffusées par voie de télécommunication aux experts pour analyses et synthèses, avant d'être présentées aux autorités qui ont en charge la prise de décision, aux organismes, à la presse et à la population pour information.



catastrophes majeures", que l'Agence spatiale canadienne (ASC) a signée le 20 octobre 2000. <http://www.disasterscharter.org/>

Figure 1 : Exemple de chaîne d'informations

La mise en œuvre d'un tel système met en lumière deux aspects de l'évolution du risque : l'aspect temporel au sein duquel il est nécessaire de trouver un équilibre entre le temps mis pour que le système avertisse de l'imminence du phénomène et le temps mis pour avertir la population, mettre en place les secours, les astreintes, bloquer des routes etc. et l'aspect spatial car la catastrophe se produit sur une zone bien précise d'un territoire qu'il est nécessaire de bien identifier.

Pour une gestion plus efficace du risque avant, pendant et après la crise potentielle, de nouveaux besoins technologiques sont nés: nouvelle méthodologie de conception de systèmes fondés sur les télécoms, création de banques de données spatiales et alphanumériques, déploiement d'outils performants tenant compte des aspects spatio-temporels et de la spécificité locale en termes de risques.

La prévention de risques et la gestion de crise impliquent de transmettre *la bonne information à la bonne personne dans le délai le plus court possible*. Lorsque le risque devient catastrophe, les cellules de crises doivent avoir accès simultanément à de nombreuses bases environnementales ou réglementaires dont les structures et les logiciels sont totalement différents, dont les réseaux de transmission peuvent diverger en termes de performance, d'architecture etc. Une cartographie des infrastructures et de leur état est donc un élément important dont les secours doivent disposer le plus rapidement possible.

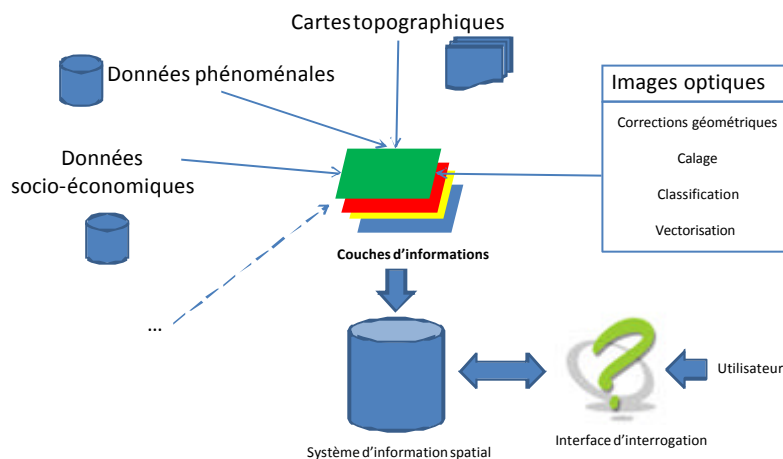


Figure 2 : Exemple d'architecture de système multi-sources

L'utilisation d'images de télédétection pour réaliser cette cartographie constitue un axe de réponse intéressante même si elle ne permet pas de répondre à la totalité des besoins. En effet les images spatiales peuvent être acquises peu de temps après l'évènement et couvrent une large surface de territoire. On peut donc espérer produire rapidement après la catastrophe une cartographie des infrastructures présentes dans ces images. Mais elles ne permettront pas de réaliser la cartographie totale des infrastructures. Les images optiques peuvent être inutilisables en présence d'un couvert nuageux trop important. Elles doivent être complétées par des images *radio* du type de celle obtenues par le SAR² (*Synthetic Aperture Radar*) qui ne sont pas affectées par la couverture nuageuse³. Mais images radio comme images optiques ne montrent que ce que leur résolution permet de détecter et

² En technique radar, la résolution angulaire d'une antenne est inversement proportionnelle à sa taille. La technique SAR, pour Synthetic Aperture Radar, soit Radar à Synthèse d'Ouverture, exploite le déplacement de l'antenne pour former une antenne "de synthèse" de dimension plus importante, et donc d'une résolution angulaire plus élevée que la même antenne, immobile. La grande antenne est reconstituée par traitement du signal.

³ L'utilisation d'ondes radar rend l'observation possible quel que soit le temps ou même de nuit.

fournissent une partie de l'information sur l'état des conditions et des infrastructures. Afin de compenser ces aspects il est possible de regrouper ces informations au sein d'un système spatial d'information global, ou elles seront utilisées conjointement avec d'autres informations issues de sources différentes. Ces informations, d'origine diverses, seront manipulées à travers leur composante spatio-temporelle. La puissance des traitements potentiels offerts par le système s'en trouve fortement accru. Par exemple, l'utilisation simultanée d'informations issues d'images optiques haute définition et d'informations descriptives par exemple de limites administratives va permettre de lever le doute sur la classification d'un objet selon qu'il se trouve dans la ville ou dans la forêt⁴. L'utilisation croisée avec des données textuelles va faciliter la définition de la sémantique des objets extraits de l'image optique en fonction du contexte.

1.2. Une réponse à plusieurs niveaux

Un système de ce type doit être capable de fournir une réponse à plusieurs niveaux [1], [2]. En effet, lorsque l'on analyse le déroulement des événements qui constituent une crise, on est en présence de phases successives. Durant chacune de ces étapes, les événements, leurs conséquences, les conditions dans lesquelles travaillent les opérateurs chargés de la gestion de la crise vont varier, et cela va affecter différemment l'importance relative des actions à exécuter. Les opérateurs vont assurer en priorité les missions qui leurs semblent essentielles dans le contexte dans lequel ils se trouvent.

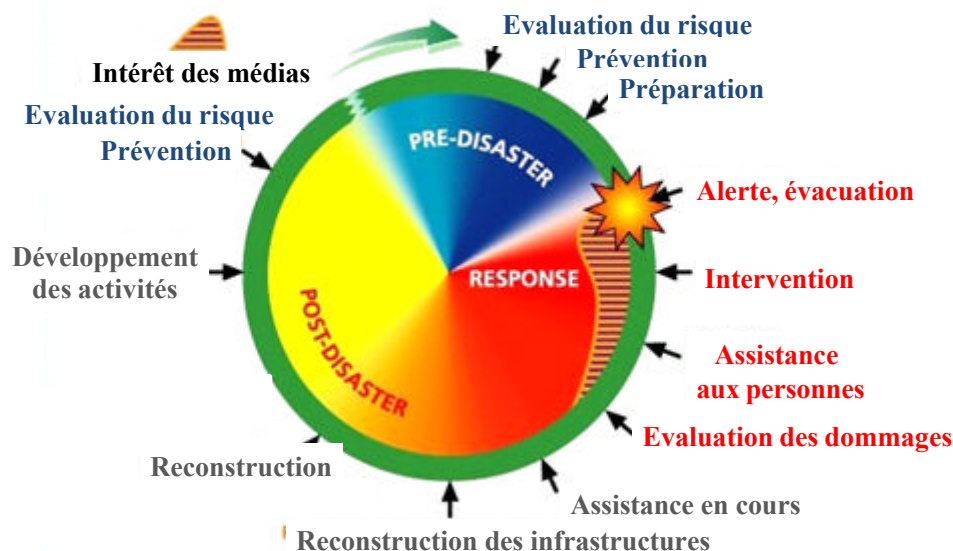


Figure 3: Cycle temporel d'une catastrophe (<http://www.disasterscharter.org>)

Par exemple, l'objectif essentiel pendant la crise est la résolution de la crise. C'est à dire tout ce que l'on pourra mettre en œuvre pour éviter ou réduire les conséquences de l'incident. Il n'est pas question à ce moment là de chercher le pourquoi du comment, même si cette quête de l'information permet de mieux comprendre le phénomène. Cette opération sera retardée à un moment plus propice.

Une fois la crise surmontée, et les conditions revenues à leur état normal, c'est à dire comparables à celles qui régnaient avant l'incident, il est temps de comprendre exactement ce qui s'est passé. L'intégration au sein des procédures futures de ces informations permettra d'éviter que ce type d'incident se reproduise, ou s'il n'est pas possible de l'éviter totalement, facilitera la gestion de la crise, et réduira les conséquences.

⁴ A ce niveau le couplage avec des données issues de capteurs infrarouges ou radar va permettre de mieux classifier l'information en utilisant les caractéristiques des objets observés.

Les problématiques risque requièrent la capacité de prise en compte des aspects temporels successifs décrits ci-dessous [3] :

- **Pendant la crise** : réponse rapide dont le but est de faciliter la prise de décision afin de régler le problème immédiat,
- **Après la crise** : analyse plus approfondie afin de tirer du problème et de son déroulement les informations nécessaires à sa prise en compte dans le futur :
 - Empêcher que cela se reproduise,
 - Mieux gérer la crise si l'on ne peut pas éviter que cela se reproduise.
- **Actions à longs termes** : capacité à supporter des analyses basées sur la constitution de situation afin de maîtriser les divers processus et d'intégrer les contre mesures au sein des règles d'exploitation.

1.3. Traitement d'image et gestion du risque

Les techniques de l'analyse spatiale en temps réel constituent un apport puissant pour l'aide à la décision en situation critique dont un des attendus est la constitution de tableaux de bord basés sur le raisonnement spatial afin de permettre un raisonnement collaboratif pour la gestion et le contrôle du risque [4]. Cependant, les contraintes rencontrées sont importantes. Elles sont dues principalement au fait que l'on constitue des systèmes critiques utilisant une multiplicité de sources de données et des capteurs géographiquement répartis et intensivement distribués. La spatialisation de l'information et le suivi dynamique de la spatialisation des sources mobiles, ainsi que le gigantisme des bases de données à traiter représentent aussi une source de problèmes conséquents. Enfin la multidisciplinarité nécessaire à la bonne réalisation de ce type d'approche constitue une difficulté non négligeable.

Si l'on veut fournir une réponse directement utilisable par les équipes d'interventions sur le site d'un événement de type catastrophe (tremblement de terre, éruption volcanique, inondation, ...) il est nécessaire de leur fournir des informations tactiques pour leur prise de décision. Ces synthèses devront être élaborées à partir des données spatio-temporelles classiques que nous gérons dans nos systèmes d'information. Dans ce contexte, la qualité des résultats issus de ce processus peut être améliorée par une meilleure exploitation des informations contenues dans les bases de données, en allant au-delà des simples capacités du géo-référencement.

De manière plus générale, la question est : comment utiliser tous les apports des technologies dans le but de procurer des synthèses opérationnelles à des hommes de terrain qui doivent intervenir à la suite d'un événement de type inondation, séisme, tsunami, ... qui relèvent des risques naturels. Cette utilisation requérant des analyses scientifiques, algorithmiques et d'architecture.

2. Chaîne de traitement

L'objectif est de constituer une chaîne complète de traitements incorporant des algorithmes efficaces issus de recherches récentes. Ces algorithmes sont exploités dans des "produits" permettant la mise en place d'un scénario complet d'exploitation d'une image satellitaire. Nous détaillons ci-après les algorithmes, produits et le scénario dont il est question. Ces travaux s'appuient sur les développements effectués au sein du département traitement du signal et des images de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications et du CoC⁵. La réflexion sur laquelle s'appuie cette démarche a pour origine des réunions de travail avec les divers acteurs de la charte risque et la prise en compte de leurs problématiques et de leurs besoins.

⁵ Le centre de compétence CNES-DLR-ENST (appelé CoC) a été créé officiellement en juin 2005, et consacre ses activités de recherche à l'extraction d'information et la compréhension du contenu des images satellitaires.

2.1. Description des traitements

Représentation d'une image satellitaire. Les images satellitaires sont de grande taille (plusieurs dizaines de milliers de pixels par dimension), parfois constituées de plusieurs bandes spectrales et souvent maintenant, à très haute résolution. Cela pose différents problèmes :

- Leur visualisation n'est pas simple : il n'est pas possible de visualiser d'un coup d'œil l'ensemble de l'information contenue dans ces images ; des stratégies de parcours des images sont nécessaires. Nous ne traiterons pas ce problème dans cet article ;
- Leur contenu informationnel est de plus en plus riche sémantiquement : en traitant des images à une précision sub-métrique, nous avons accès à des objets auparavant invisibles sur les images. Des objets, tels que les voitures, apparaissent clairement et permettent d'accéder plus facilement à des informations relatives à l'usage humain d'un lieu et non seulement sa description paysagère (forêt, ville, champs, etc.). Les outils doivent donc permettre de s'adapter aux objets d'intérêt pour un observateur particulier.
- La quantité de données à traiter : une image représente des centaines de Méga Octets, une représentation synthétique de son contenu est nécessaire pour la manipuler.

Nous avons donc choisi une structure d'indexation permettant une représentation grossière de l'image considérée. Celle-ci est parcourue à l'aide d'une fenêtre glissante (dont la taille dépend de la résolution de l'image). Sur chaque fenêtre un ensemble d'attributs a priori pertinents et redondants est extrait. Les attributs exploités sont détaillés dans le tableau de la figure 4.

Modèle	Nb	Référence	Caractéristiques extraites
Haralick	78	[5]	Matrice de cooccurrence. 13 coefficients pour quatre orientations + moyenne et variance
Gabor	40	[6]	Filtrage sur 5 échelles et 4 orientations (moyenne et variance)
Qmf	8	[7]	variances des sorties de chaque sous-bande pour 2 échelles et moyenne de la dernière sous-bande
Géo	15	[8]	Attributs géométriques
MV	2		Moyenne et variance de l'image

Figure 4 : Descriptions des différentes caractéristiques calculées dans chaque fenêtre. Au total nous considérons 143 attributs très redondants, supposés pertinents.

Il est important de noter qu'il s'agit de paramètres texturaux et géométriques ; les images étant panchromatiques, nous n'avons pas exploité d'attributs spectraux. Si nous devions le faire nous ajouterions des index classiques de végétation ou des statistiques simples calculées sur les mêmes fenêtres que précédemment.

Sélection d'attributs. Nous avons choisi de calculer un nombre important d'attributs car nous ne connaissons pas a priori les attributs les plus adaptés à l'image considérée. Il est en outre facile d'appliquer des méthodes de sélection automatique afin d'éliminer la redondance induite par l'accumulation des attributs.

Les algorithmes de sélection font l'objet d'une littérature abondante depuis une dizaine d'années [9]; [10]; [11]. Ces algorithmes se répartissent essentiellement en deux ensembles : "filtres" ou "enveloppes". Les premiers exploitent les propriétés intrinsèques des caractéristiques utilisées, sans référence à une quelconque application. Les seconds, au contraire, définissent la pertinence des caractéristiques par l'intermédiaire d'une prédiction de la performance du système final. Les premiers sont généralement moins coûteux mais aussi moins robustes au bruit que les seconds.

Concernant les images satellitaires, des expériences passées [12] ont démontré l'efficacité de méthodes simples, non supervisées, "filtres", pour réduire la redondance introduite volontairement par la concaténation des ensembles d'attributs. Nous exploitons également des algorithmes de sélection supervisés pour améliorer les performances de nos classificateurs.

Structuration des informations : classification. La représentation que nous nous sommes donnée comporte en elle-même des limitations qu'il nous est important de connaître. La taille de la fenêtre et les attributs sélectionnés nous permettent, à l'aide d'un apprentissage non supervisé (clusterisation), de mettre en évidence des régions particulières de l'image, correspondant à des attributs similaires. Le nombre optimal de clusters est estimé, classiquement, en exploitant un critère issu de la théorie de l'information MDL (Minimum Description Length [13]). Les clusters obtenus nous donnent une idée (grossière) de l'information que les attributs peuvent capturer. Cette première classification nous permet ensuite de guider un photo-interprète dans son travail d'exploration de l'image.

L'expert dans la boucle d'apprentissage. L'expert interprète fait partie intégrante de notre chaîne de traitement. Il n'a pas seulement un rôle de superviseur mais permet au système de s'améliorer et de se spécialiser selon ses propres attentes. En effet, nous avons introduit un système avec "boucle de pertinence" associé à une classification supervisée. L'expert indique ce qui l'intéresse (et ne l'intéresse pas) dans l'image, en précisant éventuellement des "étiquettes de classes" associées à ces éléments d'intérêt ; une phase d'apprentissage supervisé permet ainsi de classifier l'image selon des termes propres à l'expert. Au regard des résultats obtenus, l'expert peut ensuite aider le système à s'améliorer en étiquetant manuellement de nouveaux exemples qu'il qualifie lui-même d'ambigus ou mal classés ; itérativement, le système converge vers une classification correspondant aux attentes de l'expert [32].

Nous avons exploité un Système à Vaste Marge (SVM [14]), ayant démontré par le passé son efficacité pour la gestion de petits ensembles d'apprentissage avec un nombre important d'attributs. Ainsi les SVM sont-ils particulièrement adaptés à un apprentissage actif [15], au cours duquel les exemples d'apprentissage sont donnés par l'observateur expert, donc en nombre limité.

Il est important de noter que, si l'on souhaite conserver les classificateurs et attributs sélectionnés pour des traitements ultérieurs, il faut veiller à garantir leur bonne capacité de généralisation et éviter le sur-apprentissage. Au contraire, si l'objectif principal est de se spécialiser sur cette image, cette contrainte est relâchée et la performance en apprentissage doit être la meilleure possible, sous contrôle visuel de l'expert. Nous nous plaçons dans cette deuxième démarche.

2.2. Modules de traitement

Nous avons identifié trois produits particulièrement utiles à un photo-interprète, reposant sur les traitements exposés ci-dessus ainsi que des outils classiques de traitement d'image.

Zonage. Le zonage consiste à produire une segmentation de l'image à analyser, étiquetée ou non, suivant que l'expert est intervenu ou non. Typiquement, un zonage effectué sur l'ensemble de l'image a pour objectif de mettre en évidence les grandes classes de paysages telles que les zones urbaines, industrielles, forestières, agricoles ou les réseaux (routiers, fluviaux, ...) , ... Un zonage peut ensuite être adapté à une région spécifique de l'image, choisie par l'expert. Un exemple typique consiste à séparer la zone urbaine en urbain dense/clairsemé.

Comptage. Le comptage des objets présents dans une zone permet d'évaluer l'impact de l'événement étudié. Ces informations constituent une aide à la décision précieuse pour les plans de secours. Parmi les données les plus importantes, on peut citer le comptage des bâtiments, qui va permettre de dimensionner les secours et les moyens logistiques à mettre en œuvre, ainsi que le suivi du déploiement des camps de réfugiés (spontanés ou organisés), qui permet d'avoir une information sur la localisation des populations.

Evaluation des dégâts. Le dernier module d'intérêt consiste à évaluer les dégâts issus de la catastrophe. Nous proposons d'exploiter un apprentissage supervisé⁶. En effet l'expert est le plus à

⁶ L'apprentissage supervisé est une technique d'apprentissage automatique où l'on cherche à produire des règles à partir d'une base de données d'apprentissage contenant des exemples de cas déjà traités.

même d'interpréter l'image et de fournir l'information quant au niveau de dégâts à représenter dans la cartographie finale. Ce module n'est ni détaillé, ni évalué dans cet article.

Il est à noter que nous ne traitons dans cet article qu'une image obtenue après la catastrophe. Lorsque des images de la zone impactée, antérieures à l'évènement, sont disponibles, il est possible de mettre en œuvre des outils de recalage et de détection de changement⁷, afin de mesurer plus précisément les niveaux de destruction et leurs caractéristiques propres (destruction totale, toit effondré, cisaillement du bâti, ...).

3. Le tremblement de terre de Boumerdes

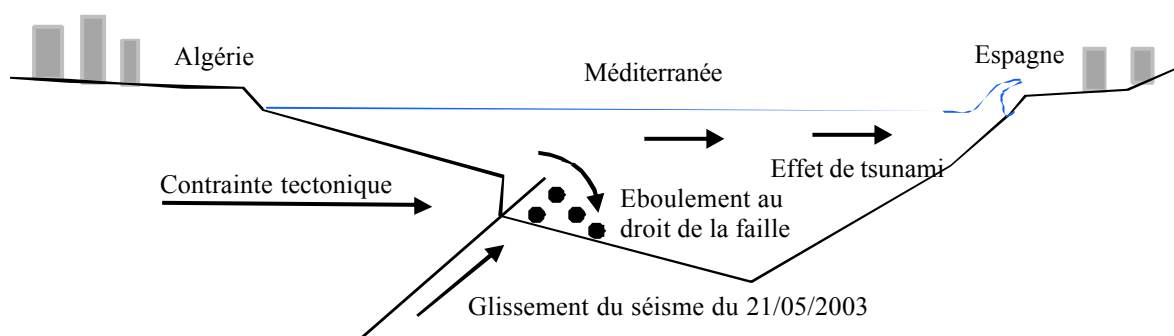
Le tremblement de terre (21 mai 2003, 19h44) qui a secoué le nord de l'Algérie a été particulièrement violent (magnitude⁸ 6,7 sur l'échelle de Richter). L'épicentre de ce séisme a été localisé en mer (à 4 kilomètres de la côte), à 60 kilomètres au nord-est d'Alger, entre Zemmouri et Boumerdès, entraînant de forts dégâts en Algérie et un phénomène marin de Tsunami touchant le littoral des Baléares et la côte d'Azur. Ce séisme a été le plus meurtrier d'Algérie depuis 1980,

Ce séisme a provoqué 2 278 morts, 10 147 blessés et plus de 15 000 sans abri. Le bilan fait état de 1 382 morts et 3 442 blessés uniquement dans le département de Boumerdès (50 km à l'est d'Alger), le plus touché par ce séisme. Boudouaou a été presque entièrement détruit tout comme Keddara plus au sud.

3.1. Contexte

Le glissement brutal vers le haut d'une faille sous marine aurait provoqué un phénomène marin de Tsunami vers le nord, touchant le littoral des îles Baléares, Espagnol et celui de la Côte d'Azur, en France. Le train de houle aurait été également amplifié par des éboulements sous marin survenus au droit de la faille. Selon cette hypothèse, on peut envisager que la rupture sismique s'est initiée sur une petite zone de plus faible résistance, et un front de fracturation s'est alors développé à grande vitesse, sur la surface fragile de la faille. Derrière ce front de rupture, le coulisage relatif des deux blocs s'est effectué à une vitesse de l'ordre de quelques dizaines de centimètres par seconde en moyenne. Il suffit ainsi, de 7 secondes pour fracturer 20 kilomètres de faille, et provoquer 1 mètre de décalage entre les deux côtés.

La valeur élevée de la magnitude correspondrait à une faille inverse qui atteint environ entre 20 et 30 kilomètres de longueur. La hauteur du mouvement vertical engendré sous la mer, devrait être comprise entre 1,00 et 1,50 mètres maximum si la magnitude correspond bien à une valeur de magnitude de 6,7 sur l'échelle de Richter. La figure ci-dessous (fig. 5) présente le schéma de l'évènement.



⁷ Ces outils sont implantés notamment dans la boîte à outils Orfeo Toolbox cf <http://orfeotoolbox.sourceforge.net/Docs/OTBSoftwareGuide.pdf>.

⁸ La magnitude d'un tremblement de terre mesure l'énergie libérée lors d'un séisme. Plus la magnitude est élevée, plus le séisme a libéré d'énergie. Il s'agit d'une échelle logarithmique.

Figure 5 : Déroulement de l'évènement de Boumerdès

Le séisme s'est produit à la zone frontière entre la plaque tectonique eurasiennne et la plaque africaine, dans une région où la plaque africaine bouge vers le nord-ouest, contre la plaque eurasiennne, à une vitesse de quelques millimètres par an. Le déplacement relatif de la plaque crée un environnement tectonique propice à des tremblements de terre de magnitudes élevées provoqués par une faille de chevauchement.

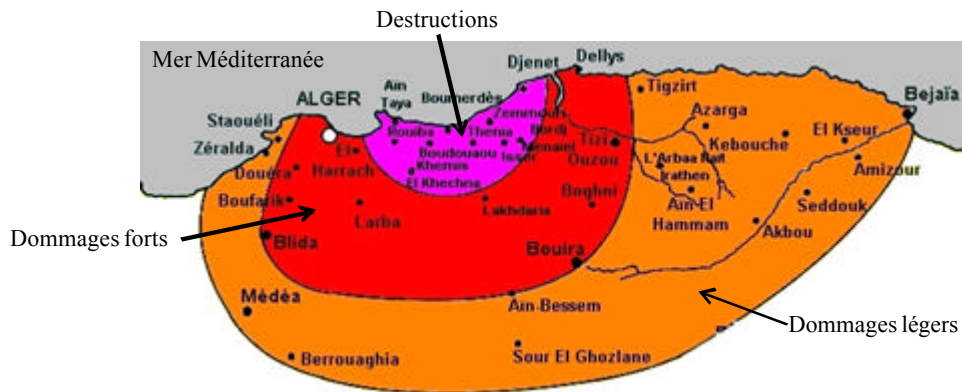


Figure 6 : Carte des dommages

Traitements mis en œuvre

Pour illustrer cet exemple, nous allons utiliser un ensemble de traitements basés sur des algorithmes issus de recherches récentes. Ces algorithmes sont regroupés dans des chaînes de traitement permettant la réalisation de scénarios d'exploitation d'une image satellitaire. Les images satellitaires sont de grande taille (plusieurs dizaines de milliers de pixels par dimension), parfois constituées de plusieurs bandes spectrales et de plus en plus à très haute résolution. Cela pose différents problèmes. En premier lieu, leur visualisation n'est pas simple : il n'est pas possible de visualiser d'un coup d'œil l'ensemble de l'information contenue dans ces images. Des stratégies de parcours des images sont nécessaires.

Leur contenu informationnel est de plus en plus riche sémantiquement. Le traitement d'images à une précision sub-métrique (inférieur à 1 mètre, généralement de l'ordre de 50 ou 60 centimètres de résolution) donne l'accès à des objets auparavant invisibles sur les images. Des détails, tels que les véhicules, apparaissent clairement et permettent d'accéder plus facilement à des informations relatives à l'usage humain d'un lieu et non seulement sa description paysagère (forêt, ville, champs, etc.). Les outils utilisés doivent donc permettre de s'adapter aux objets qui présentent un intérêt pour un observateur particulier.

La quantité de données à traiter est importante. Une image peut représenter plusieurs centaines de Méga Octets et une représentation synthétique de son contenu est nécessaire pour la manipuler. Le schéma de la figure 7 présente l'organisation des traitements pour aboutir à des synthèses utilisables par les équipes de secours.

Les traitements exposés ci-dessous sont basés sur l'utilisation d'outils classiques de traitement d'image. Ils comportent trois phases successives qui sont le zonage, le comptage et l'évaluation des dégâts.

L'expert va sélectionner sur l'image des exemples de divers niveaux de destructions. Une fois cette tâche réalisée, le système va utiliser ces exemples pour constituer une classification des dégâts et la proposer à l'expert. Celui-ci peut alors réagir en fixant d'autres exemples ou des contre exemples afin d'affiner la sélection automatique. Après plusieurs itérations le système va converger vers une solution.

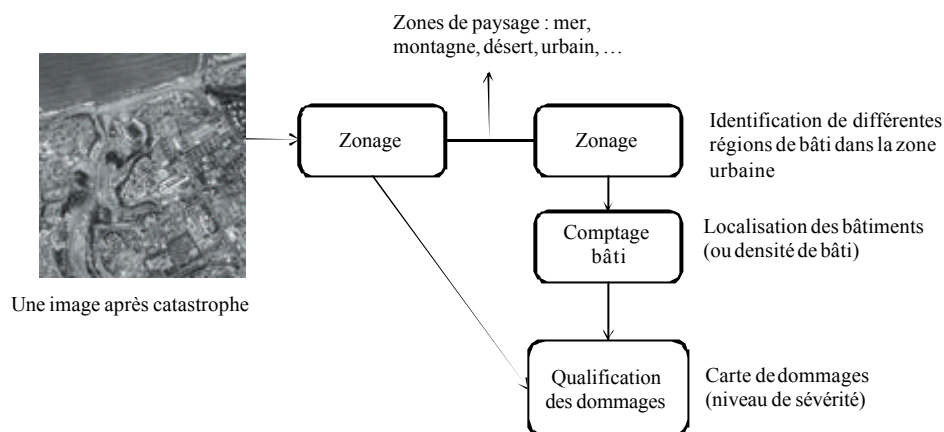


Figure 7: Scénario de traitement d'une image obtenue après une catastrophe naturelle

Nous rappelons que nous utilisons, dans cette approche, une seule image obtenue après la catastrophe, donc une image de crise, ce qui est une configuration de travail difficile.

Résultats du zonage

La première phase des travaux consiste à réaliser une carte globale des différentes zones détectées sur l'image. Le résultat de cette opération est une carte d'occupation du sol. Au préalable à cette opération, il est nécessaire de décrire des classes dont le nombre et la définition est fonction de l'objectif recherché.

La génération de ces cartes d'occupation du sol repose sur des outils de classification utilisant des paramètres de texture (filtre de Gabor⁹, QMF¹⁰, coefficient d'Haralick [5]) et géométriques (dimensions des objets). Pour cette étape de segmentation globale, il apparaît que les outils de classification non-supervisée¹¹ fournissent des résultats satisfaisants, avec l'avantage de requérir une intervention limitée de l'opérateur. Le résultat constitue une carte de zonage globale c'est-à-dire assez grossière.

Pour une classification plus fine des infrastructures, les classifications supervisées¹² ont actuellement la préférence pour la génération du produit final du fait de la qualité des résultats obtenus (voir figure 8), même si cela nécessite une intervention plus importante de l'opérateur. Cela constitue une carte de zonage spécialisée. La carte obtenue comporte six classes d'objets qui ont été définies en fonction de l'intérêt qu'ils représentent pour la mise en œuvre des secours. Ces classes sont les bâtiments, les

⁹ Un filtre de Gabor est un filtre linéaire dont la réponse impulsionnelle est une sinusoïde modulée par une fonction gaussienne. Il porte le nom du physicien anglais d'origine hongroise Dennis Gabor. Dans le domaine temporel (ou spatial s'il s'agit d'une image), un filtre de Gabor est le produit d'une sinusoïde complexe et d'une enveloppe gaussienne. Il peut être pratiqué de la voir comme un couple de fonctions réelles, déphasées de $\pi/2$.

¹⁰ Quadrature Mirror Filter.

¹¹ On appelle classification non supervisée ou automatique, la catégorisation algorithmique d'objets. Celle-ci consiste à attribuer une classe ou catégorie à chaque objet à classer, en se basant sur des données statistiques. Cela fait couramment appel à l'apprentissage automatique et est largement utilisé en reconnaissance de formes.

¹² On dispose d'un ensemble d'exemples pour lesquels on a des données d'observation et une valeur cible. Le but principal est de modéliser la relation entre les observations et l'information cible, dans le but d'estimer la valeur de la cible pour de nouvelles observations et de comprendre la relation entre les observations et la cible

zones de destruction, les routes et moyens d'accès, les zones ouvertes (espaces libres) la végétation et les camps de réfugiés.

Cette classification fine est limitée aux régions préalablement définies par l'opérateur et choisies sur la classification non-supervisée globale préalable, et non pas directement sur l'image satellitaire. Il sera plus aisé pour l'opérateur de sélectionner des régions fournies par cette classification que de détourner lui-même les zones d'intérêt. Cela pourra également éviter à l'opérateur d'oublier certaines régions de l'image.

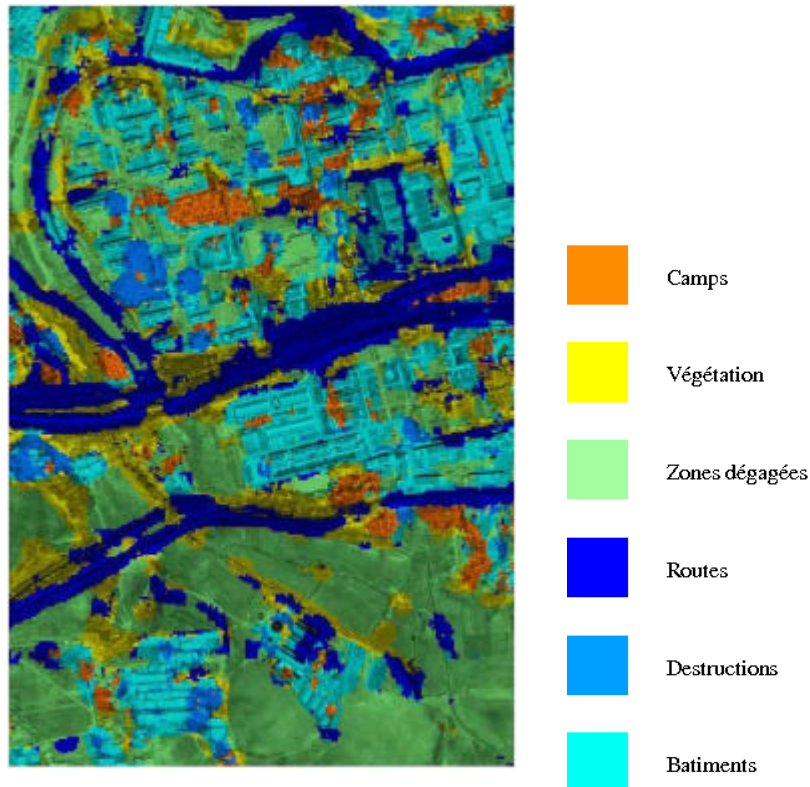


Figure 8: Classification supervisée, 6 classes.

Extraction d'informations

A partir des cartes calculées précédemment, il s'agit ici d'obtenir une description des objets d'intérêt, principalement les bâtiments, au niveau des zones spécifiques qui ont été détectées (habitations, zones industrielles, camps de réfugiés, ...). Nous chercherons à déterminer le contour de ces objets et à les dénombrer.

Les outils utilisés seront principalement les algorithmes de segmentation par régions dont nous disposons. Ils permettent de déterminer les régions de l'image qui du point de vue radiométrique sont homogènes et contrastées par rapport à leur entourage. Les régions obtenues seront analysées en fonction de leur forme, de leur texture et de leur position par rapport aux ombres présentes dans l'image.

Le comptage des objets permet d'effectuer des mesures caractérisant l'impact de l'évènement que l'on étudie. Ces informations constituent une aide à la décision précieuse pour la construction des plans de secours. Parmi les données les plus importantes, on peut citer le comptage des bâtiments qui va permettre de dimensionner les secours et les moyens logistiques à mettre en œuvre, ainsi que le suivi du déploiement des camps de réfugiés (spontanés ou organisés) qui permet d'avoir une information sur la situation des populations.

Le zonage précédent a permis d'extraire des zones d'habitat comparables, ici de l'habitat dense. La détection des objets permet d'obtenir les contours de bâtiment. Cette opération est réalisée sur les images avant (image Q1) et après (image Q2) l'évènement (figure 9).

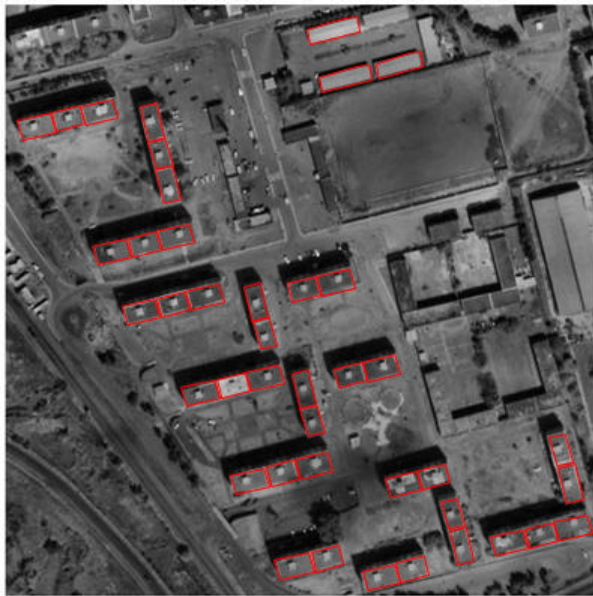


Image Q1 : image avant (© Digital Globe)

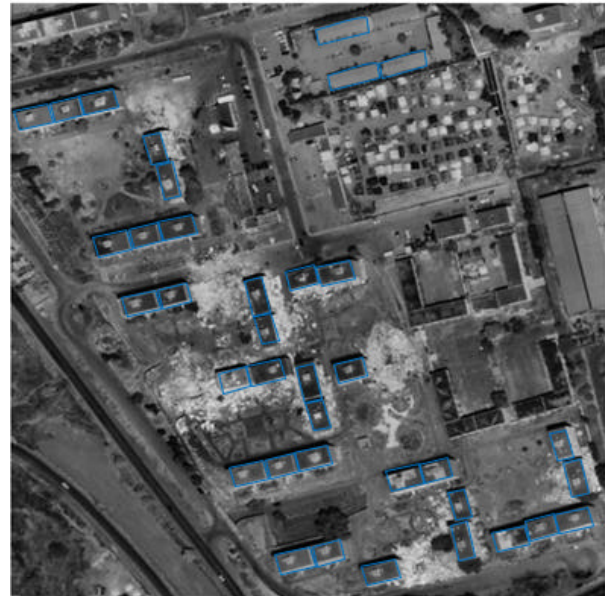


Image Q2 : image après (© Digital Globe)

Figure 9 : Image de référence et de crise de Boumerdès

Interprétation

Les valeurs issues des comptages réalisés précédemment permettent de mettre en œuvre des processus d'évaluation à la fois des dégâts et des besoins requis pour y faire face. La superposition sur l'image après (Image Q3, figure 10) des contours de bâtiments extraits de l'image avant permet de détecter les bâtiments fortement ou complètement détruits. Cependant cette approche met en évidence les fortes destructions, mais ne détecte pas les dégâts plus faibles. La gradation dans les niveaux de destruction constitue une information importante pour organiser les secours.

La superposition sur l'image avant (Image Q4, figure 10) des contours de bâtiments extraits de l'image après (rectangle bleu plein) et avant (rectangle rouge vide) permet d'obtenir un autre niveau de destruction. Ce niveau correspond à des destructions fortes, mais non totales. Ces zones se caractérisent par un mauvais chevauchement des contours avant et après.

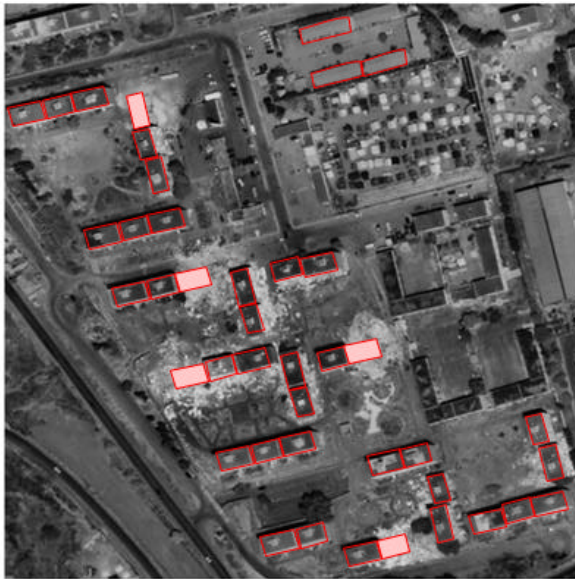


Image Q3 : bâtiments détruits (© Digital Globe)

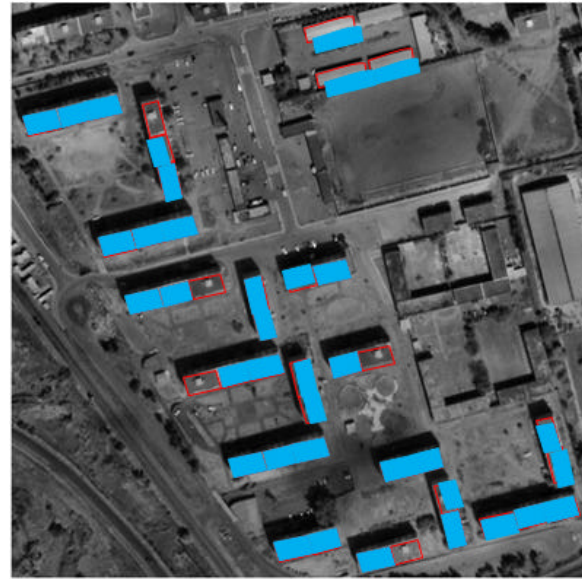


Image Q4 : bâtiments détruits (2) (© Digital Globe)

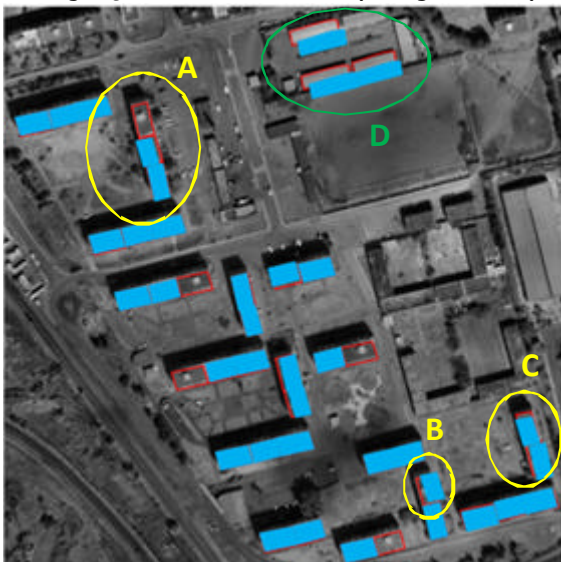


Image Q5 : zones de destruction (© Digital globe)

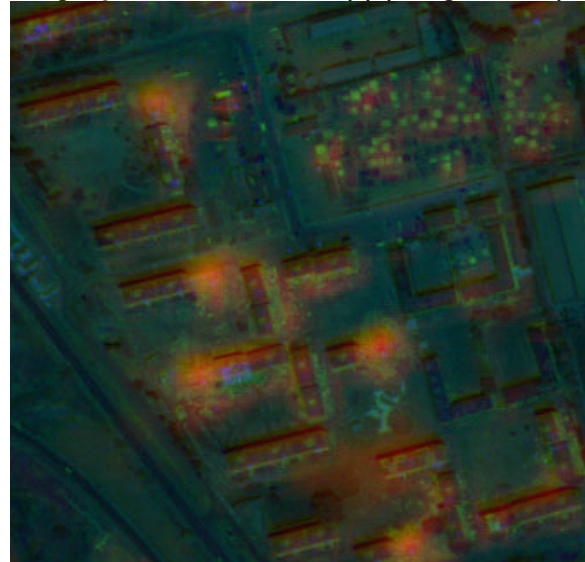


Image Q6 : détection de changement (© Digital Globe)

Figure 10 : Estimation des dommages

L'analyse manuelle de l'image par un opérateur permet de voir que cela est généralement dû à deux causes principales :

- Le bâtiment s'est en partie déplacé et présente un angle par rapport à sa position d'origine,
- Le bâtiment s'est affaissé¹³, au moins partiellement, et la différence de parallaxe le présente comme étant décalé par rapport à sa position antérieure Image Q5).
- La figure 10 (image Q5, figure 10) montre le détail de ces détections (zone A, B et C). Elle fait aussi apparaître une fausse alarme (zone D). Cette différence dans le recouvrement est due à la différence de hauteur entre les immeubles d'habitations et les hangars (zone D), qui, associé à la parallaxe induite par le choix des points de calage provoque un décalage. La comparaison avec une

¹³ Ces types de bâtiment ont souvent une structure en mille-feuilles ce qui provoque souvent un leur effondrement sur eux-mêmes.

image de détection de changement (Image Q6), obtenue en comparant des attributs de texture (QMF) entre les images avant et après catastrophe, permet de valider les détections obtenues.

L'application d'un traitement similaire sur une zone classifiée "camp de réfugiés" qui se sont constitués après la catastrophe, permet de compter les tentes mises en place par l'organisation de secours. La détection des zones "camp de réfugiés" peut être basée sur une classification non supervisée ou supervisée. Les résultats de classification obtenus à partir d'attributs de textures et d'attributs géométriques montrent que, dans un contexte opérationnel, la classification supervisée reste la solution privilégiée, même si elle nécessite une intervention plus importante de l'opérateur. La figure 11 présente une des zones classées "camp de réfugiés".

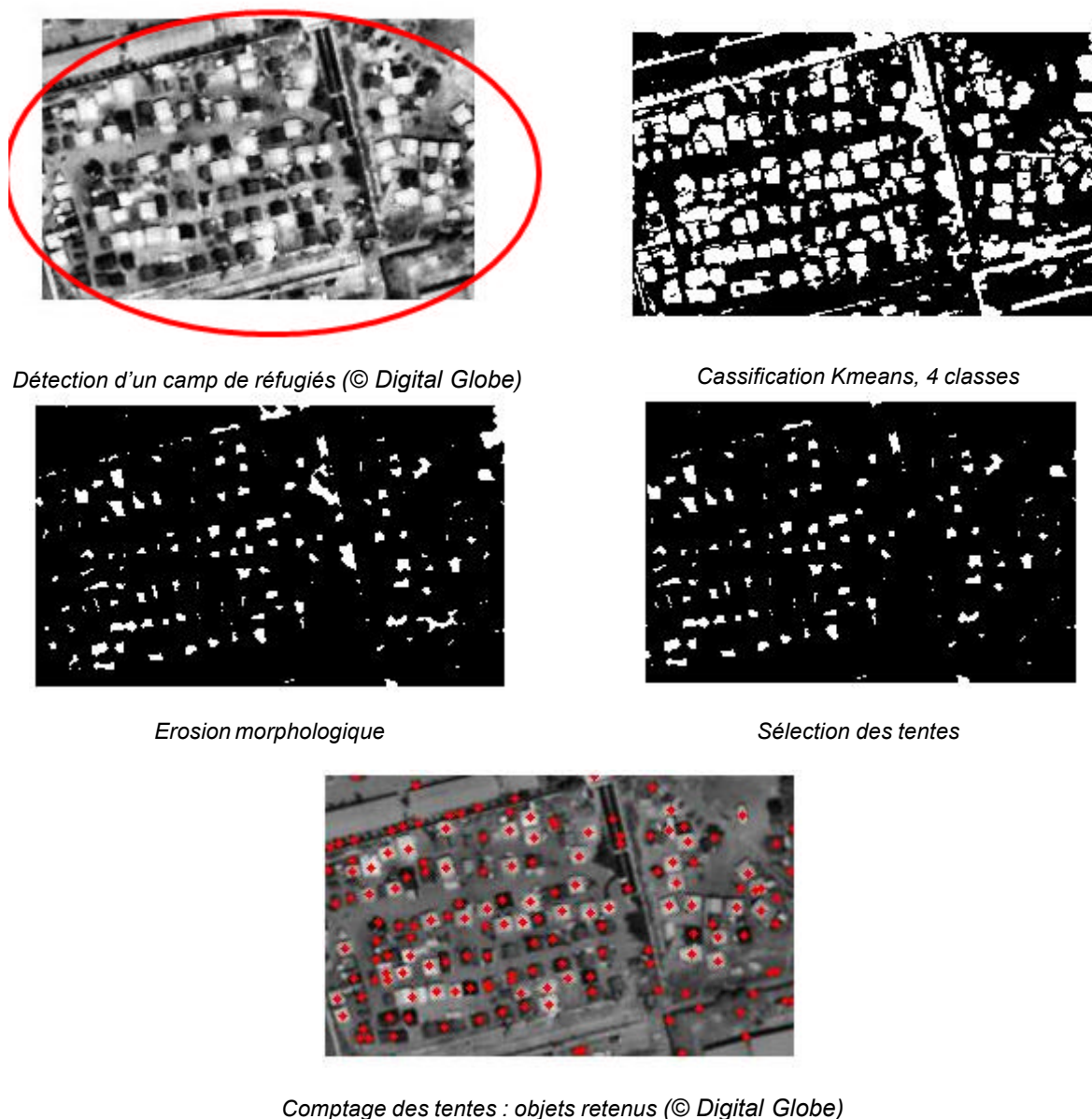


Figure 11 : Processus de comptage des tentes de réfugiés

La zone détectée est traitée afin d'extraire et de dénombrer les tentes présentes à l'intérieur de cette région. Les étapes sont les suivantes (figure 11) :

- Une détection des zones claires et foncées utilisant une classification de type *Kmeans* comportant 4 classes de valeur de gris permet de segmenter l'image et d'extraire les tentes et les objets ayant la même radiométrie,
- Une érosion morphologique permet ensuite d'éliminer les objets les plus fins et de séparer les tentes adjacentes,
- Après calcul du périmètre des objets, on supprime ceux qui sont en dehors de la plage définie. Les tentes utilisées dans les camps sont généralement de dimension 6x6 mètres. On définit donc le périmètre maximum à 40 pixels (une surface minimale devrait également être définie, afin d'éliminer les objets les plus petits). Les objets retenus sont marqués d'un point rouge sur la figure.

Estimations

Nous allons maintenant obtenir des estimations basées sur le croisement des informations extraites des images avec des données issues de diverses sources externes (bases de données, cadastre, données géopolitiques, ...).

Les traitements ont déterminés (image Q3, figure 10) que cinq bâtiments sont totalement détruits. Le couplage avec des données extérieures (base de données démographiques, cadastre, plan d'occupation des sols, etc...) permet de réaliser des calculs dont les résultats constitue une aide précieuse à la constitution des plans de secours.

Le tableau de la figure 12 présente la répartition de la population par groupes d'âges en Algérie [17]. Les données de répartition par sexe sont présentées par les valeurs du tableau de la figure 13.

Groupes d'âges	Masculin	Féminin	Total
0-4 ans	5,59	5,33	10,93
5- 14 ans	12,85	12,38	12,23
15-49 ans	26,35	25,78	52,14
50 ans et +	5,71	5,99	11,70
Total	50,51	49,49	100

Figure 12 : Répartition de la population par groupes d'âges en Algérie [17]

Rapport homme / femme	
A la naissance	1.05
- 15 ans	1.04
15-64 ans	1.02
65 ans et +	0,86
Population totale	1.01

Figure 13 : Répartition de la population par répartition par sexe [18]

A partir de ces données, il est facile d'estimer dans un premier temps le nombre de sans abris, puis d'affiner en tenant compte des répartitions par sexe et par tranche d'âge.

Les zones A, B et C de l'image Q5 montrent que d'autres bâtiments présentent des dégâts moins importants, mais qui peuvent cependant rendre leur utilisation dangereuse. Cette information vient d'un côté augmenter le nombre des sans abris, mais implique aussi une mobilisation de moyens pour empêcher leur occupants de revenir les habiter, voire pour les détruire du fait de leur dangerosité.

Les calculs que l'on peut effectuer sur les camps de réfugiés (figure 11) relève plus de la gestion de la crise que de la phase initiale de déploiement. Le comptage des tentes des camps de réfugiés permet

de suivre leur déploiement au fil de l'eau et de vérifier tout le long de la crise l'adéquation entre les moyens de secours (ici le logement des sans abris) et les besoins. Une simple multiplication du nombre de tentes par leur capacité par tentes permet de comparer la capacité totale d'hébergement au nombre de réfugiés.

Par ce type de traitement, nous accédons à une gestion qui relève plus de la gestion de crise que de la décision du déploiement de première frappe. En effet un suivi à une échelle temporelle de l'ordre de quelques dizaines d'heures permet de vérifier, à distance et sans contact (par exemple par la cellule de crise interministérielle à Paris) la cohérence de la vitesse du déploiement de la capacité d'hébergement face aux besoins des réfugiés sans abris. La prise en compte de ces informations permet la correction en temps réel de la définition du vecteur logistique de soutien à l'opération terrain, c'est-à-dire adapter le ravitaillement aux besoins réels.

4. L'aspect sciences radio

A toutes les phases de la gestion des risques il est essentiel de disposer tout à la fois : de services de communication radio fiables pour assurer les liaisons entre tous les acteurs, et de services d'observations radio, également fiables, avec des périodes de renouvellement permettant de suivre l'évolution des événements. Dans les deux cas, compte tenu des effets susceptibles d'être produits par des variations du milieu (en l'occurrence de l'atmosphère et de l'ionosphère) sur la propagation des ondes, il est indispensable de s'assurer de la qualité des informations fournies, voire de les corriger ou de trouver des solutions de substitution. L'addition de toutes ces contraintes fait de la gestion des risques une discipline essentiellement multidisciplinaire. Comme le montre le Tableau de la figure 14 (annexe A), les dix Commissions de l'URSI (Union Radio Scientifique Internationale) sont impliquées, ou pourraient être impliquées, dans le schéma à mettre en place pour optimiser la gestion des risques. Le déploiement des équipes d'interventions, surtout lorsqu'elles s'effectuent à distance, nécessite une chaîne d'information et de commandement robuste. Si l'utilisation à bon escient des TIC peut y pourvoir, il n'en demeure pas moins que les dégradations des conditions de propagation peuvent avoir un effet important sur cette capacité. Ces dégradations peuvent avoir des origines naturelles ou être liées à l'activité humaine.

Les dégradations d'origine naturelle, autres que tremblement de terre, ouragans, tsunamis, etc., qui détruisent physiquement les réseaux d'émission et de réception, sont essentiellement dues à des variations brusques du flux des particules et des rayonnements UV émis par le Soleil. Elles se traduisent dans les régions de haute latitude (principalement au-dessus de 82°) par des dégradations parfois très sévères des communications HF utilisées justement là où les autres types de communication ne sont pas fiables. Par ailleurs, aux hautes latitudes comme aux basses latitudes, les irrégularités de densité se produisant dans l'ionosphère créent un phénomène dit de "scintillations" qui perturbe les calculs de positionnement GPS (receveurs à une fréquence mais également à deux fréquences) et, de façon plus générale, perturbent les systèmes de surveillance radio. Il convient alors de prendre les mesures adéquates afin de maintenir le lien de communication et de s'assurer en temps réel de la validité des informations transmises. Les travaux en cours sur la prévision des variations du milieu spatial en fonction de variations de l'activité solaire (*space weather*) ne permettent actuellement que d'évaluer les conséquences possibles lorsque les éjections de particules et les augmentations de rayonnement ont déjà commencé.

Les dégradations liées à l'activité humaine peuvent avoir une origine plus difficilement contrôlable comme par exemple la dégradation des conditions de propagation due à la proximité des flammes d'un incendie. L'étude de la propagation des ondes électromagnétiques en fonction des conditions régnant sur le site de la communication permet d'établir une politique destinée à maintenir le lien de communication.

4.1. Gestion des services au moment des catastrophes

4.1.1. Services de communication

Dans la gestion des risques, il existe plusieurs types de communication. Les discussions techniques ont lieu entre les experts et les gestionnaires de risques. Le choix de la stratégie et son « timing » impliquent une excellente communication entre les gestionnaires de risques et les équipes d'intervention. Une information exacte et opportune tant avant que durant une crise est essentielle pour pouvoir la gérer avec succès. Le public ainsi que les gouvernements et leurs principaux intervenants ont besoin de renseignements appropriés pour prendre les décisions qui s'imposent au bon moment. Les services de communication doivent donc pouvoir recevoir et diffuser, en temps réel ou quasi-réel, toute information sur la détection d'événements catastrophiques (ouragans, typhons, incendies, tremblements de Terre, tsunamis, etc.) et sur les prévisions (par exemple météorologique), etc. Mais il faut pour ce faire disposer de systèmes de communications opérationnels et, si nécessaire mettre en place des systèmes de communication mobile, pouvoir faire face à des problèmes spécifiques comme celui de la propagation des ondes radio au voisinage d'incendies, et, dans ce dernier cas, identifier des fréquences d'émission non occupées.

Les systèmes de communication disponibles

Il n'existe pas de système de communication universel, accessible à chaque instant et en chaque point du globe. Pour des raisons politiques (sécurité), économique (coût) ou techniques (régions de haute latitude, régions isolées, etc.), plusieurs systèmes de communication sont actuellement utilisés (liaisons satellites, communications HF et VHF, etc.). En période de crise, toute redondance, du moins lorsqu'elle existe, peut s'avérer extrêmement utile. Elle permet d'assurer la continuité des communications. Mais il existe encore des régions étendues de pays en voie de développement qui ne disposent d'aucun système de communication. Plusieurs initiatives sont actuellement mises en œuvre soit pour mettre en place les infrastructures nécessaires à la communication via internet, soit pour utiliser des infrastructures existantes, comme des lignes électriques, pour transmettre des communications [16], [34], [35], soit pour développer des réseaux Ad-Hoc lors de périodes critiques..

Les réseaux Ad Hoc

Une façon de palier à l'absence de systèmes de communications, ou à la défaillance des systèmes existants (par exemple à la suite de glissements de terrain), est de mettre en place des réseaux mobiles appelés réseaux Ad Hoc. Un réseau mobile sans infrastructure préexistante ne comporte pas d'entité fixe, tous les constituants du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces (voir par exemple [19]). Cette absence d'infrastructure oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la définition et la configuration des chemins pour les autres composants du réseau. Les communications entre équipements peuvent s'effectuer directement ou par le biais d'équipement ayant le rôle de relais. Cette capacité permet la mise en place des systèmes d'information et de commandement qui sont requis pour gérer la crise.

La particularité du réseau Ad hoc est qu'il n'a besoin d'aucune installation fixe, ceci lui permettant d'être rapide et facile à déployer. Les applications tactiques comme les opérations de secours, militaires ou d'explorations trouvent au sein des technologies Ad Hoc le réseau idéal. Pour illustrer l'utilisation de la technologie Ad Hoc nous pouvons citer :

- Les services d'urgence : opération de recherche et de secours de personne, tremblement de terre, feux, inondation. Objectif : remplacer l'infrastructure filaire.
- Réseaux de senseurs : pour des applications environnementales (climat, activité de la terre, suivi des mouvements des animaux, . . . etc.) ou domestiques (contrôle des équipements à distance).
- Réseaux en mouvement : informatique embarquée et véhicules communicants.
- Réseaux Mesh : technologie émergente qui permet d'étendre la portée d'un réseau ou de le densifier.

Le réseau d'information à destination des autorités et du public se déploie en arrière du réseau de communication tactique. Cet autre aspect de la communication prend en compte des aspects de la communication tels qu'ils sont traités par les médias.

Il est à noter toutefois que les tests effectués, par exemple par le programme Européen OASIS (voir <http://www.oasis-fp.org/documents.html>) montrent que si les réseaux Ad Hoc répondent aux besoins évoqués plus haut, la nécessité de communiquer avec tous les nœuds du réseau, et donc d'utiliser des antennes omnidirectionnelles, limite la capacité du réseau, et que par ailleurs la difficulté de se prévenir d'intrusions extérieures pose des problèmes de sécurité.

Propagation au voisinage d'un incendie

Quel que soit le système de communication utilisé, on sait depuis la fin des années 40 que les communications peuvent être perturbées au voisinage d'un incendie, ce qui provoque une gêne réelle pour les équipes de secours, en particulier pour les communications de part et d'autre du front d'incendie dues à des modifications, même faibles de l'indice de réfraction. Par ailleurs, même avec des systèmes de communications nominales, il arrive que des perturbations du milieu provoquent des problèmes de propagation radio. C'est le cas au voisinage de certains incendies. Probablement dus aux processus d'ionisation provoqués par les flammes, des atténuations sont observées dans différentes gammes de fréquence qui dépendent du type d'incendie et du stade d'évolution [20], [21], [22].

Concept de radio reconfigurable

Un point qui n'apparaît pas toujours dans la mise en place de réseaux Ad-Hoc lors d'événements catastrophiques est celui de l'allocation de fréquences. Un réseau mis en place de toute urgence, dans une région où toutes les bandes de fréquence, sont allouées doit pouvoir émettre sans produire d'interférence et sans être brouillé par d'autres systèmes de communication. Le besoin de rechercher de manière dynamique des bandes de fréquence libre (Ghozzi et al., 2006) est probablement l'une des raisons majeures pour la mise en œuvre des concepts de radio reconfigurable et de radio cognitive, au centre des préoccupations de la thématique « Systèmes de communication radio et traitement du signal » de la commission C de l'URSI.

4.1.2. Services d'observation

Les services d'observation radio, qui sont de fait les seuls services pouvant opérer de tout temps, sont basés sur des mesures sol et espace de radiomètres et de radars. Les radiomètres (senseurs passifs) ont pour avantage d'observer les émissions naturelles produites par la surface terrestre et l'atmosphère. Les radars (senseurs actifs) diffèrent des radiomètres en ce qu'ils illuminent les objets à étudier et répondent à l'énergie réfléchi. Les deux types d'instruments sont soit embarqués sur satellites soit implantés au sol. Pour des raisons pratiques on rangera dans les techniques sols les techniques de télé-détection basées sur l'analyse des signaux GPS. Les nombreux développements instrumentaux en cours ou en projet ne seront pas abordés ici.

Observations satellites

Les mesures faites par satellite posent les problèmes de l'accessibilité aux données et du temps de renouvellement des observations, c'est-à-dire de l'intervalle de temps entre les passages des satellites d'observation au-dessus de la zone où s'est produite une catastrophe. Le problème d'accessibilité aux données a été résolu à la conférence UNISPACE III qui s'est tenue en juillet 1999 à Vienne. Les agences spatiales européenne (ESA) et française (CNES) ont fondé la Charte Internationale « Espace et catastrophes majeures » que plusieurs grandes Agences spatiales ont signé par la suite (voir <http://www.disasterscharter.org/>). Cette Charte, entrée en vigueur en novembre 2000, permet de mobiliser des ressources spatiales et des ressources terriennes connexes (RADASAT, ERS, ENVISAT, SPOT, IRS, SAC-C, satellites NOAA, LANDSAT, ALOS, DMC, etc. En cas de crise les Parties mettent tout en œuvre en vue de programmer ou faire programmer les moyens spatiaux qui leur sont accessibles. L'acquisition et la livraison des données sont faites en tenant compte de l'urgence de la situation. Reste par contre le temps de renouvellement des données. Il est fonction des satellites, ou des constellations de satellites, en orbite.

Observations sol

Ayant leurs propres objectifs, les radars au sol et les radiomètres au sol [30] complètent les observations satellites. Ils ont de plus pour intérêt de pouvoir être redéployés sur des zones sensibles. Toutefois, même si elle ne peut à l'évidence répondre à tous les besoins, la technique qui est la mieux adaptée à une surveillance continue est l'analyse des signaux GPS. La mise en évidence de l'effet de variations de paramètres caractéristiques du milieu (densité électronique, densité atmosphérique, température, humidité, etc.) sur la phase et l'amplitude de signaux provenant de satellites GPS a ainsi donné naissance à une nouvelle discipline appelée "GPS meteorology" [23], [24]. Pour des raisons de sensibilité on maximise le trajet dans le milieu à sonder en utilisant la technique d'occultation radio [28]. L'utilisation de méthodes d'inversion permet de remonter aux variations d'un ou de plusieurs paramètres du milieu et de mettre en évidence l'évolution temporelle de phénomènes météorologiques comme par exemple la formation d'un orage (voir par exemple [25]). Le même type d'approche est utilisé pour la mise en évidence de phénomènes d'origine sismiques comme les tsunamis [26]. Dans ce cas le phénomène à l'origine de la perturbation de signaux GPS est le déplacement vertical du sol qui induit une onde acoustique se propageant vers les couches supérieures de l'atmosphère. L'onde de pression ascendante est amplifiée au fur et à mesure que la densité de l'air décroît. Aux altitudes des basses couches de l'ionosphère elle produit une variation de la densité électronique (en l'occurrence du TEC ou Total Electronic Content) qui, lorsque la perturbation initiale est importante laisse une signature sur les signaux GPS.

4.2 Effets liés aux variations du milieu de propagation

Les scénarios généralement utilisés dans la gestion des risques ne prennent généralement en compte que les perturbations directement associées à l'événement catastrophique étudié. Mais, bien qu'ils soient généralement considérés comme étant de second ordre, les effets des variations du milieu de propagation sur les performances et la fiabilité des systèmes de communication et d'observation sont loin d'être négligeables. Pour illustrer ce point on examinera de façon très succincte les effets sur les systèmes de communication et les systèmes d'observation : des interférences produites par l'émission de bouffées d'émissions radio provenant du Soleil, des perturbations ionosphériques de moyenne et grande échelle, des perturbations ionosphériques de petite échelle, du phénomène dit de rotation Faraday, et des variations des conditions atmosphériques. Par ce qu'ils dépassent le cadre de la présente revue, et qu'ils ont fait l'objet d'articles de revue publiés dans le Radio Science Bulletin, ne seront pas examinés ici les effets directs de fortes variations de l'activité solaire sur les satellites de communication [36].

Effet des interférences produites par de fortes bouffées d'émissions radio provenant du Soleil

Les bouffées d'ondes radio de fortes densités de puissance, émises dans la couronne solaire, et se propageant dans l'environnement spatial de la Terre, sont à l'origine d'interférences observées sur les systèmes radio opérant dans les mêmes gammes de fréquence. Elles ne sont généralement perçues sur les antennes de réception que comme une augmentation du bruit environnant. Globalement, les effets dépendent à la fois de la largeur des faisceaux et des fréquences considérées. On considère généralement que les transmissions en bande K (~20 GHz) sont plus affectées qu'en bande C (~ 4 GHz). Compte tenu de leur faible densité de puissance, les signaux GPS, que l'on sait être sensibles aux émissions électromagnétiques liées à l'activité humaine, peuvent également être perturbés par des fortes bouffées d'émission radio provenant du Soleil, avec des conséquences qui peuvent être non négligeables sur le positionnement. De la même façon, une étude relativement récente [27] a montré que, compte tenu du spectre d'émission dans la bande 1 – 20 GHz, les systèmes de communication sans fil pouvaient être affectés avec pour conséquence soit une réception couverte par le bruit, soit une interruption de la communication. Des premières estimations montrent que de fortes bouffées d'émissions radio, susceptibles de perturber les systèmes sans fil, peuvent se produire en moyenne : une fois tous les 3.5 jours pendant les périodes de maximum solaire et une fois tous les 18.5 jours pendant les périodes de minimum solaire (voir <http://www.esa-spaceweather.net/>, partie « What is space Weather », section « communication systems »). Toutefois, les effets dépendant de l'orientation

de l'antenne il est considéré que, pour des antennes orientées horizontalement, l'effet ne serait sensible qu'une demi-heure à l'aube et au crépuscule.

Effets des perturbations ionosphériques de moyenne et grande échelle

Les fortes variations de l'activité solaire (météorologie de l'espace) sont à l'origine de fortes perturbations de l'ionosphère et donc de fortes perturbations dans la propagation des ondes radio. Les effets des perturbations ionosphériques de moyenne et grande échelle (> à quelques km) les plus connus sont les « black out » radio et les perturbations des applications du GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Ils sont dus aux fortes modifications induites sur le TEC (Total Electronic Content).

Les fortes variations de l'activité solaire ont pour effet d'augmenter l'absorption des ondes radios dans les basses couches de l'ionosphère et de faciliter la réflexion des ondes dans les couches les plus hautes. Les ondes les plus affectées sont les ondes HF (3-30MHz), à un degré moindre VHF (30-300 MHz), et les ondes LF (> 300 kHz). On notera que les ondes LF sont très utilisées pour la navigation maritime et aérienne, entre autre parce que, bénéficiant de la réflexion ionosphérique, elles sont transmises sur de très grandes distances. Conscient de ne pas avoir pris en compte tous les paramètres intervenant dans les processus physiques mis en jeu, le Centre de météorologie de l'espace de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a établi une échelle d'intensité particulièrement instructive. On y note par exemple que pour des événements solaires « forts », qui se produisent en moyenne 140 jours par cycle solaire, c'est-à-dire par période de 11 ans, on assiste à des « black out » des communications radio au-dessus de grandes régions et à des dégradations significatives des communications LF utilisées pour la navigation. La moyenne faite sur un cycle solaire fausse d'une certaine façon l'évaluation correcte du risque. Les « black out » radio ne s'observent en fait qu'au maximum du cycle solaire et au début de la phase descendante. Des études récentes ont montré l'intérêt d'inclure les effets sur les antennes dans la conception des systèmes radio HF [37].

Les effets des fortes variations de l'activité solaire sur les systèmes GNSS sont dus à des problèmes de réfraction et de dispersion. Ils dépendent du type d'application considéré [38]. Les systèmes de navigation utilisant une technique différentielle (DGNSS) sont principalement affectés par les forts gradients du TEC observés au maximum solaire. Dans les régions équatoriales des incertitudes de positionnement pouvant aller jusqu'à 25 m ont été estimées. Elles descendent à 6 m aux moyennes latitudes. Pour avoir une vision correcte des conséquences d'un black out sévère, et d'incertitudes sur le positionnement on se reportera à un document de l'US Department of Commerce [39], qui montre les effets d'une succession de fortes variations de l'activité solaire, entre le 19 octobre et le 7 novembre 2003¹⁴.

Effets des perturbations ionosphériques de petite échelle

Pour les transmissions radio, les perturbations ionosphériques de petite échelle (< à quelques km) se traduisent par des fluctuations aléatoires rapides de la phase et de l'amplitude du signal, appelées scintillations. Elles ont pour conséquences des décrochages de phase et d'amplitude [40]. Les effets diminuent avec la fréquence. Ils peuvent brouiller, voire rendre impossible les communications en VHF (dont à 240 MHz, fréquence de transmission utilisée par la défense américaine). Ils sont plutôt modérés dans la bande L (~1.5 MHz). La bande C (~4 MHz) n'est perturbée que par les scintillations les plus fortes.

Les scintillations du signal s'observent principalement : (i) dans les régions aurorales (latitudes géomagnétiques entre 65° et 75°) et la calotte polaire (latitude géomagnétique > 75°), et (ii) ± 10-20° autour de l'équateur géomagnétique. Compte tenu de leur faible amplitude les signaux GPS sont particulièrement sensibles aux irrégularités d'ionisation à petite échelle. Des scintillations GPS s'observent le plus souvent dans la région équatoriale pendant les périodes de maximum d'activité solaire, mais elles peuvent se produire en tout point du globe à n'importe quelle phase du cycle solaire [29]. Elles affectent particulièrement les mesures précises de positionnement (incertitudes de l'ordre du cm) faites par rapport à une station de référence en utilisant la technique RTK (Real Time

¹⁴ voir http://www.weather.gov/os/assessments/pdfs/SWStorms_assessment.pdf.

Kinematic). Dans ce cas l'incertitude peut atteindre plusieurs décimètres [38]. A l'évidence, toute perturbation du signal GPS est susceptible d'affecter les techniques de météorologie GPS.

Effets de la rotation Faraday

Lorsqu'une onde linéairement polarisée se propage dans un magnétoplasma, son plan de polarisation subit une rotation (rotation Faraday). La rotation du plan de polarisation est proportionnelle à la magnitude du champ magnétique de la Terre, à l'ionisation du milieu traversé, et inversement proportionnelle au carré de la fréquence. Lors d'activités solaires, l'accroissement des flux de rayonnement UV et X accroît la rotation de ce plan, avec pour conséquence une dégradation des images (concerne principalement le SAR). Plusieurs études ont été consacrées aux conséquences de cet effet sur les techniques de polarimétrie et d'interférométrie développées pour le SAR (Synthetic Aperture Radar), en particulier dans la bande L (~ 1.5 MHz), où la rotation du plan de polarisation peut ne pas être négligeable, y compris pendant les périodes d'activité solaire minimum [41], [42]. Des études sur la prédiction, la détection et la correction de la rotation Faraday ont été récemment publiées [42].

Effets des variations des conditions atmosphériques

Les variations des conditions atmosphériques, et en particulier de la vapeur d'eau, affectent la propagation des ondes radios. Les phénomènes d'absorption qui se produisent au dessus de 2 GHz sont particulièrement importants entre 10 et 20 GHz, avec des pertes possibles des signaux radio. Au dessus de 20GHz, un phénomène d'absorption résonante s'observe à certaines fréquences [30].

La forte variabilité, dans le temps et dans l'espace, des conditions atmosphériques sont autant de sources d'incertitudes sur les temps de propagation des signaux GPS. Compte tenu de leurs caractéristiques elles sont particulièrement difficiles à modéliser. Les incertitudes sont minimum lorsque le satellite est juste au-dessus de la région observée et, bien évidemment maximum pour des observations au limbe.

5. Conclusion et perspectives

La problématique de la gestion des risques a un besoin crucial de solutions issues des télécommunications et des radio sciences afin d'accroître l'efficacité de ses modes opératoires. Une formulation très simple du paradigme à résoudre se résume par : "fournir la bonne information, à la bonne personne, au bon moment, pour la bonne décision". Dans la pratique, cela consiste à fournir aux acteurs de la sécurité les solutions techniques qui leur permettent d'être informés, de disposer d'outils d'aide (représentation sur support cartographique, simulations, ...), de transmettre leurs directives, de s'assurer du bon déroulement des opérations, ... et cela nécessite le déploiement de solutions sophistiquées qui requièrent la coopération de deux types de compétences :

- des compétences "métier" issues de ceux qui par leur savoir faire savent comment agir avec efficacité et sont conscients des aléas que les situations de crise peuvent engendrer,
- des compétences TIC de ceux qui sont capables d'imaginer les solutions techniques susceptibles d'aider les hommes de métier dans leurs tâches.

L'utilisation de simples fonctionnalités de traitements d'images permet de constituer des informations à destination des services chargés de la gestion des événements de ce type. Le couplage avec des systèmes de communication utilisant la technologie des réseaux maillés (Mesh Networks) permet de déployer très rapidement une solution de communication en milieu hostile tel qu'une zone sinistrée. Le choix de ce type de technologie est dicté par la très grande souplesse apportée. Elle permet à tous les éléments actifs du réseau de participer à la constitution de la connectivité totale, et permet d'éviter les zones d'ombres dans un déploiement sur un terrain dont on ne connaît pas les caractéristiques.

Les apports des Sciences Radio, et plus particulièrement de l'Union Radio Scientifique Internationale (URSI) dans la gestion des risques sont principalement ceux de la Commission F (propagation des ondes et télédétection). En combinant : (1) des études amont de la propagation des ondes dans les environnements non ionisés et des interactions avec les surfaces et sous surfaces (sol, océan, glace, etc.), à (2) des études avalées liées à des applications spécifiques dans le domaine des télécommunications et des communications, elle contribue au développement des outils à utiliser en période de crise. Mais, en liaison avec la Commission F, plusieurs autres Commissions conduisent des actions qui se situent sur trois niveaux d'intervention selon que l'on se situe avant, pendant ou après la crise.

Avant la crise, la priorité est de renforcer tous les services de prévisions. Plusieurs services, liés à la météorologie de l'espace sont d'ores et déjà en place. Ils permettent d'émettre des alertes : (i) sur les risques de « black out » pour les communications HF et VHF, (ii) sur les perturbations prévisibles des signaux GPS et ses conséquences sur la localisation, (iii) la dégradation potentielle des images produites par le SAR, etc. Dans tous ces domaines où d'importants efforts de modélisation sont indispensables pour affiner les prévisions et quantifier les conséquences, la Commission G de l'URSI (Radioélectricité ionosphérique et propagation), qui traite plus particulièrement des aspects communications ionosphériques et télédétection des milieux ionisés, a un rôle essentiel. Mais, des collaborations sont attendues : de la Commission J (radioastronomie), impliquée dans la détection radio des variations de l'activité solaire ; de la Commission H (ondes dans les plasmas) qui a entre autre pour objectif la modélisation physique des ceintures de radiation, et de la Commission E (bruit électromagnétique et interférence) sollicitée pour tout problème de compatibilité électromagnétique. Par ailleurs, plusieurs études sont en cours pour tenter de prédire des effets catastrophiques de façon directe. On a mentionné plus haut l'utilisation de la signature ionosphérique des tsunamis [26], permettant de suivre l'évolution temporelle et spatiale de l'événement. On peut également y ajouter la recherche de l'identification de précurseurs électromagnétique au dessus de régions sismiques. Mais, les statistiques obtenues après 2.5 ans de données du satellite DEMETER (soit 9000 tremblements de Terre de magnitude supérieure à 4.8) n'ont pour l'instant permis d'identifier que des perturbations des caractéristiques de propagation des ondes au-dessus de ces zones [43].

Durant la crise, la communication est primordiale. Pour tous les services de communication sensibles à des variations de l'ionosphère, il est essentiel de suivre en continu les variations de l'activité solaire et de consulter autant que nécessaire les services de prévision de la météorologie de

l'espace. En parallèle il est plus que souhaitable de veiller à la validité des images mises à disposition, tout en essayant d'éviter les « trous » dans les données résultant d'une validation un peu trop rapide ou un peu trop prudente qui augmente le temps de renouvellement des observations. Par ailleurs, mais c'est là un problème à plus long terme sur lequel travaille la Commission de l'URSI (Systèmes de communication radio et traitement du signal), l'utilisation de fréquences libres, dans une région où la plupart des fréquences sont allouées, peut conduire à une reconfiguration des systèmes de communication.

Pendant toutes les phases : tous les systèmes de télédétection, et en particulier les systèmes basés sur des radars et radiomètres embarqués (qui ne sont pas sensibles aux couvertures nuageuses), sont particulièrement efficaces aussi bien pour l'acquisition d'information sur le suivi du déplacement des phénomènes météorologiques (cyclones, ouragans, trombes d'eau, etc), que pour le suivi de leurs conséquences comme les inondations (par ex. l'inondation récente de Bombay). On peut détecter les changements dans le paysage et confirmer les divers scénarii pendant et après le désastre. Mais toutes les données complémentaires sont importantes : les données des instruments optiques, les données des radars et radiomètres au sol, les données relevant de l'analyse des signaux GPS (GPS metrology).

Références bibliographiques

- [1] Tanzi, T.J, Servigne S, (1997) Vers un système spatial temps réel d'aide à la décision. Journée SIGURA octobre 1997. Revue Internationale de Géomatique. Volume 8, n° 3/1998, pages 33-46.
- [2] Laurini R, La TéléGéomatique : Problématique et Perspectives. Journées Cassini 1998. Marne la vallée 25-27 novembr 1998.
- [3] Tanzi, T.J, Servigne S, (1998) A Crisis Management Information System. Proceedings of the International Emergency Management and Engineering Society : TIEMEC'98, Washington D.C., May 19-22, 1998, pp 211-220.
- [4] T J Tanzi, P Perrot, Télécoms pour l'ingénierie du risque. Collection technique et scientifique des telecoms. Editions Hermes. Paris 2009.
- [5] R. M. Haralick, K. Shanmugan, and I. Dinstein. Textural features for image classification. *ieeesmc*, 3(6) :610–621, November 1973.
- [6] J. Ontrup and H. Ritter. Perceptual grouping in a neural model : Reproduced human texture perception. Technical Report SFB360-TR-98/6, Neuroinformatics group University of Bielefeld, Germany, 1998.
- [7] Stephane G. Mallat. A Wavelet tour of signal processing. Elsevier, second edition, 2003.
- [8] M. Campedel, E. Moulines, H. Maître, and M. Datcu. Feature selection for satellite image indexing. In *ESA-EUSC : Image Information Mining, Frascati (Italy)*, oct 2005.
- [9] Kohavi, R. et G. H. John (1997). Wrappers for feature subset selection. *Artif. Intell.* 97(1-2), 273–324.
- [10] Blum, A. L. et P. Langley (1997). Selection of relevant features and examples in machine learning. *Artif. Intell.* 97(1-2), 245–271.
- [11] Guyon, I. et A. Elisseeff (2003). An introduction to feature and variable selection. *Journal of Machine Learning Research* 3, 1157–1182.
- [12] Campedel, M., I. Kyrgyzov, et H. Maître (2008). Unsupervised feature selection applied to spot5 satellite images indexing. In *JMLR - Proceedings FSDM, Anvers (Belgique)*.
- [13] Rissanen, J. (1978). Modeling by shortest data description. *Automatica* 14, 465–471.
- [14] Ferecatu, M. et N. Boujemaa (2007). Interactive remote sensing image retrieval using active relevance feedback. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45(4), 818– 26.
- [15] Doerflinger, E., Les Applications météorologiques du système de positionnement satellitaire GPS, *Navigation*, 56, 223, 15-40, 2008
- [16] Pradhan, B.D., Wireless rural communication systems for developing countries, 1992 IRR International Conference on Selected Topics in, 254-256, June 1992.
- [17] Envenimation scorpionique, rapport annuel, sur la situation épidémiologique en Algérie année 2000. Technical report, Institut national de sante publique, République algérienne démocratique et populaire, ministère de la sante, de la population et de la reforme hospitalière.2001.
- [18] : Répartition de la population par répartition par sexe. Année 2008. Technical report, CIA, Mai 16 2008. CIA World Factbook..
- [19] Cavin D., Schiper A., Towards reliable communication and agreement in mobile ad-hoc networks : algoritms, simulation and testbed, Ph.D. Thesis, Lausanne, EPFL (<http://infoscience.epfl.ch/record/89453>), 2006
- [20] Balboni, E.; Ford, J.; Tingley, R.; Toomey, K.; Vytal, J., An empirical study of radio propagation aboard naval vessels, *Antennas and Propagation for Wireless Communications*, 2000 IEEE-APS Conference on, pp 57 – 160, 2000

- [21] Boan J., Radio experiment with fire, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 6:411-414, 2007
- [22] Coleman, C.; Boan, J., A Kirchhoff Integral approach to radio wave propagation in fire, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007 IEEE, 915 June 2007, pp 3752 – 3755, 2007
Cortes, C. et V. Vapnik (1995). Support-vector networks. *Mach. Learn.* 20(3), 273–297.
- [23] Bevis, M., S. Businger, T.A. Herring, C. Rockon, R.A. Anthes and R.H. Ware, Remote sensing of atmospheric water vapour using the Global Positioning System, *J. Geophys. Res.*, 97, 15787-15801, 1992
- [24] Businger, S., S.S.R. Chiswell, M. Bevis, J. Duan, R. Anthes, C. Rocken, R.H. Ware, T.M. Exner, T. Van Hove and F. Solheim, The promise of GPS in Atmospheric monitoring, *Bull. Amer. Mt. Soc.*, 77, 5-17, 1996
- [25] Doerflinger, E., Les Applications météorologiques du système de positionnement satellitaire GPS, *Navigation*, 56, 223, 15-40, 2008
- [26] Occhipinti, G.A., A. Komjathy, P. Logoné, Tsunami detection by GPS : how ionospheric observations might improve the Global Warning System, *GPS World*, 50-56, Feb 2008
- [27] Bala, B., L.J. Lanzerotti, D.E. Gary, D.J. Thomson, Noise in wireless systems produced by solar radio bursts, *Radio science*, 37, 2, 1018, 10.1029/2001RS002481, 2002
- [28] Jakowski, N., Radio Occultation Techniques for probing the ionosphere, *Radio Science Bulletin*, 314, 4-15, 2005.
- [29] Kintner, P.M., B.M. Ledvina, and E.R. de Paula, GPS and ionospheric scintillations, *J. Geophys. Res.*, Space Weather, 5, S09003, doi:10:10.1029/2006SW000260, 2007.
- [30] Westwater, R., S. Crewell, C. Mätzler, A review of surface-based microwave and millimetre wave radiometric remote sensing of the troposphere, *Radio Science Bulletin*, 310, 59-80, Sept 2004.
- [31] Ghozzi, M., M. Dohler, F. Max, J. Palicot, Cognitive radio: methods for the detection of free bands, *C.R. Physique*, 7, 794-804, 2006
- [32] Rehrauer, H. et M. Datcu (2000). Using scale in content-based queries for spatial data. *In Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Volume 7, pp. 2837 –2839.
- [33] T J Tanzi, F Delmer, Ingénierie du risque. Edition Hermès. Paris, 2006.
- [34] Carcelle, X, An introduction to Power Line Communications, MySQL Conference and Expo, Santa Clara, CA, April 14-17 2008
- [35] Liennard, M., M. Olicas Carrion, V. Degardin, P. Degauque, Modeling and Analysis of In-Vehicle Power Line communication channels, *IEEE transaction on vehicular technology*, 57, 2, 670-679, 2008
- [36] Koons, H.C. and J.F. Fennel, Space Weather Effects on Communications Satellites", *Radio Science Bulletin*, 316, 27-41, March 2006
- [37] Bertel L., C. Brousseau, Y Ehrel, D. Lemur, F. Marie, M. Oger, New improvements in HF ionospheric communication and direction finding systems, in *Space Weather, Research towards Applications in Europe*, ESA, COST 724, J. Liliensten (ed), Springer, 147-168, 2007
- [38] Warnant, R., S. Lejeune, and M. Bavier, Space Weather influence on satellite-based navigation and precise positioning, in *Space Weather, Research towards Applications in Europe*, ESA, COST 724, J. Liliensten (ed), Springer, 129-146, 2007
- [39] US department of Commerce NOAA, Service Assessment Intense Space Weather Storms, October 19-November 07 2003, April 2004.
(http://www.weather.gov/os/assessments/pdfs/SWStorms_assessment.pdf)

- [40] Skone, S., K. Knudsen, M. De Jong, Limitations in GPS receiver tracking performance under ionospheric scintillation conditions, *Physics and Chemistry of the Earth, Part A*, 26, 6-8, 613-621, 2001
- [41] Kim, Y., J. Van Zyl, Ionospheric effects on polarimetric and interferometric space-borne SAR, *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceeding*, 1998. IGARSS apos;98. 1998 IEEE International Volume 1, 6-10, 1, 472-474, 1998
- [42] Meyer, F.J., J.B. Nicoll, Prediction, Detection, and Correction of Faraday Rotation in Full-Polarimetric L-Band SAR Data, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 46, 10, 3076-3086, 2008
- [43] Nemeč, F., O. Santolik, M. Parrot, J.J. Berthelier, Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity *Geophys. Res. Lett.*, 35, 5, 2008

Annexe A

URSI Commissions	Communication Services	Observation Services	Effects of the space environment
A – Electromagnetic Metrology		Measurement standards, in calibration and measurement methodologies	
B – Fields and Waves		Fields and waves (encompassing theory, analysis, computation, experiments, etc.)	
C – Radio-communication Systems and Signal Processing	Research and development in Radio-Communication and Telecommunication Systems		
D - Electronics and Photonics		New development in electronic devices, circuits, systems and applications	
E – Electromagnetic Noise and Interference	Noise and interference control, electromagnetic compatibility		effects of noise on system performance
F- Wave Propagation and remote sensing		- Wave interaction with the planetary surfaces (including land, ocean and ice) and subsurfaces - Applications in the areas of remote sensing and communications	Wave propagation through planetary, neutral atmospheres and surfaces
G – Ionospheric Radio Propagation	Ionospheric information to radio systems	Ionospheric information to Observation Services	Ionospheric space-time variations (space - weather)
H – Waves in Plasma		Propagation of waves in plasmas	Spacecraft plasma interaction (space – weather)
J – Radio Astronomy		Observation and interpretation of all radio emissions from celestial objects (Sun included)	
K – Electromagnetics in Biology and Medicine		Biological effects of Electromagnetic fields	

Figure 14 : Commissions URSI impliquées, ou qui peuvent l’être, dans les activités rattachées au risque.

		Type of use (section)	
Earth Observation Systems	Passive services	Earth exploration satellite (2.2)	
		Ground based passive sensors/ Aeronomy	
	Active services	Ground-based radars	Wind Profilers (2.5) ¹⁵
		Meteorological bands	Meteorology and climatology (2.3)
			Radiolocation (2.5)
			Meteorological Aids, Balloons
		Earth to space data transmission bands	Earth exploration satellite (2.2)
			Space operations (2.4)
		Space to Earth data transmission bands	Earth Exploration satellite (2.2)
		Space based sensors	Space operations (2.4)
Earth Exploration satellite (2.2)			
Ground based sensors	Meteorology and climatology (2.3)		

Figure 15 : Les différents systèmes d'observation de Terre

Service	Abbreviation	Definition in RR	Description/ applications (= not the RR definition)
meteorological aids service	MetAids	1.50	meteorology, e.g. weather balloons
Earth exploration satellite service, (active)	EESS (active)	1.51	Active remote sensing of characteristics of the Earth and its natural phenomena using space based assets
Earth exploration satellite service, (passive)	EESS (passive)	1.51	Passive remote sensing of characteristics of the Earth and its natural phenomena using space based assets
Earth exploration satellite service, transmission of data	--	1.51	Feeder links for the transfer of the acquired data from satellite to Earth stations and the control of the satellites
meteorological-satellite service	Metsat	1.52	A 'subset' of the EESS, intended for meteorology
space research service	SRS	1.55	Data links to and from spacecrafts supporting science service applications
--	--	--	Passive Ground based observations of the atmosphere: Aeronomy
space operation service	SOS	1.23	Telecommand and telemetry links exclusively for the operation of spacecraft
radiolocation service	RLS	1.48	Meteorological radars and wind profilers

Figure 16 : Principaux services

¹⁵ En France, les services de Météo France sont autorisés par l'ANFR à utiliser les bandes de fréquences suivantes pour les radars profileurs de vent : 45,00 à 68,00 MHz ; 900,00 à 1 400,00 MHz et 35,20 à 36,00 GHz. Il existe aussi quelques radars profileurs de vent dans la bande des 72 MHz en accord avec EDF (les services d'intervention d'EDF utilisent la bande 72,5250 à 73,1125 MHz pour leurs radiocommunications).