

Résumé

conditions et facteurs défavorables. Une telle méthode peut s'appliquer à la plupart des risques naturels : avalanches, mouvements de terrain, inondations, incendies de forêt, érosion des sols...

La photographie aérienne reste l'outil principal de ce type d'étude. Les prises de vues successives sur une même région à moyenne ou grande échelle permettent d'analyser en détail le comportement des différents phénomènes et de suivre leur évolution. La thermographie est un complément intéressant pour évaluer certains facteurs. La bonne définition et la répétitivité des images du satellite SPOT rendent possible le suivi de certains phénomènes, en particulier inondations et avalanches.

Dans l'étude et la prévention des risques naturels, la télédétection apporte des moyens d'investigation rapides, peu coûteux, applicables sur de grandes surfaces, permettant dans certaines limites l'élaboration de différents documents : constat, zonage du risque, évaluation des dommages potentiels, facteurs aggravants. Les moyens utilisés sont surtout la photographie aérienne dans les études de détail, la thermographie, les images de satellite pour les phénomènes de grande ampleur, l'observation multi-temporelle assurant le suivi de l'évolution des phénomènes. L'approche par télédétection sera plus ou moins complète suivant le type de risque étudié : avalanches, mouvements du sol, incendies, inondations.

Les applications de la télédétection à l'étude des risques naturels sont multiples, d'importance variable suivant le type de risque étudié, mais jamais négligeable.

Au niveau le plus général, l'aide apportée par la télé-détection au développement des sciences de la terre n'est plus à démontrer : une meilleure connaissance de la dynamique des phénomènes naturels constitue déjà la plus élémentaire des préventions.

Au niveau du phénomène engendrant un risque, l'étude par télédétection permettra une approche plus ou moins complète débouchant sur l'élaboration de documents intéressant la prévention et pouvant revêtir plusieurs formes : cartes de zonage du risque, cartes de constat, représentation cartographique des préjudices possibles,

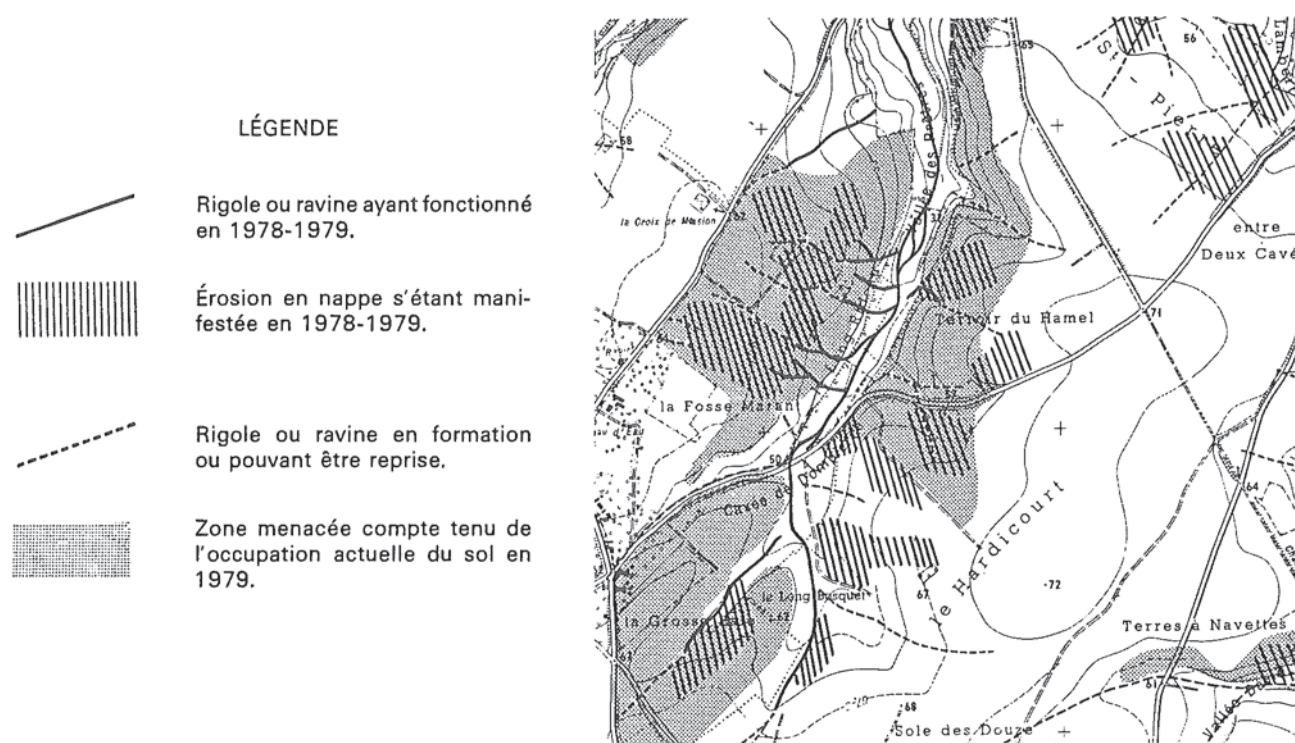


Figure 1 : Extrait de carte de constat et de prévention de l'érosion des terres. 1 : 25 000.

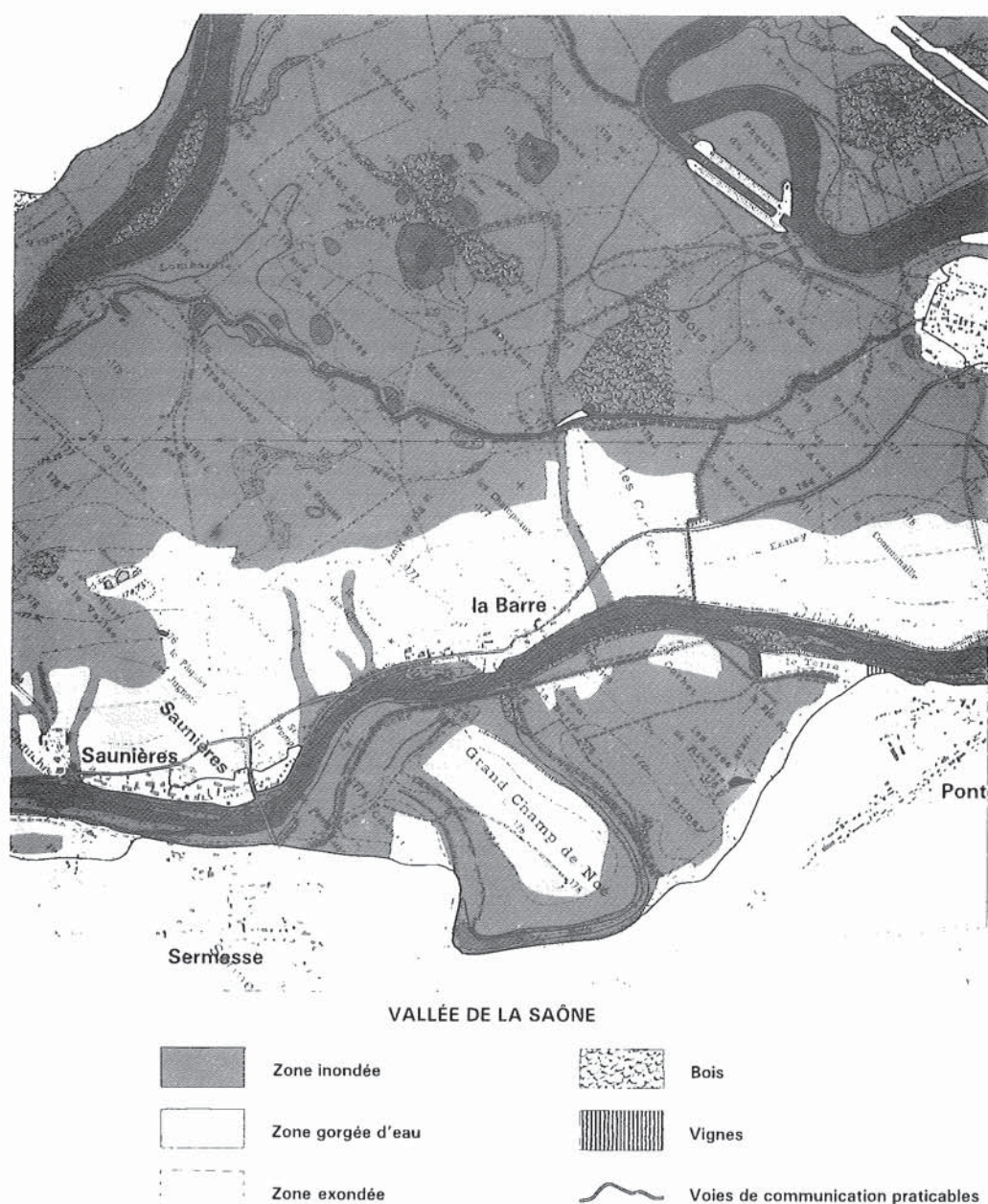


Figure 2 : Extrait de carte de constat d'inondation. 1 : 25 000.

des moyens de prévention et éventuellement de lutte contre les sinistres.

I. — LA TELEDETECTION : Avantages et limites

On pourra définir la télédétection, en la limitant à ses aspects opérationnels dans le domaine des risques naturels, comme la saisie, le traitement et la présentation des données acquises par l'observation de la surface terrestre dans différentes longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique. Dans la pratique, on utilisera surtout la photographie aérienne, les enregistrements thermographiques et hyperfréquences, et l'imagerie de satellite. L'interprétation des résultats pourra être effectuée manuellement (par exemple photo-interprétation) ou assistée par ordinateur (par exemple classifications automatiques).

L'utilisation de la télédétection présente des avantages importants : rapidité de mise en œuvre et d'exploitation, prix de revient relativement modeste, interven-

tion sur des régions peu connues ou difficiles d'accès, homogénéité de l'étude, investigation applicable sur de grandes surfaces.

Cependant ses possibilités sont limitées. L'image obtenue par télédétection est une visualisation de la surface terrestre à une échelle donnée. Beaucoup de phénomènes souterrains présentent peu ou pas d'indices de surface et vont ainsi échapper à l'investigateur ; c'est le cas de certains risques liés aux mouvements du sol, et c'est surtout le cas du risque de séisme où la télédétection est particulièrement démunie pour une étude préventive. La précision de l'observation est également limitée par l'échelle. Suivant le type de risque étudié, la nature de l'information recherchée et la précision demandée, l'approche par télédétection pourra être très fine ou incomplète. Ces lacunes peuvent souvent être comblées par l'utilisation d'autres procédés d'acquisition de données tels que les observations de terrain, les méthodes géophysiques, les sondages, les levés directs, etc... On ne devra pas considérer la télédétection comme un moyen d'étude complet et concurrent des autres méthodes, mais comme un outil utile, indispensable même, mais

d'usage limité, et complémentaire des moyens d'investigation propres à chaque science et des techniques d'observation directe. Ces raisons amènent à préciser certains impératifs devant guider une recherche basée sur la télédétection : tout d'abord une meilleure connaissance possible du sujet étudié, une bonne solution étant la collaboration avec les spécialistes de celui-ci ; ensuite une référence constante au terrain permettant d'étalonner les observations et d'éviter toute dérive.

L'observation multi-temporelle sera très utile dans le domaine des risques naturels pour suivre l'évolution des conditions du milieu dans les zones à risques, pour étudier les variations des différents facteurs aggravants et pour effectuer les constats d'événements. La réalisation d'enregistrements à des périodes déterminées autorise le choix de bonnes conditions d'observation (période et heure favorables pour faire ressortir certains indices) et des vecteurs et capteurs adaptés (échelle, émulsion photographique ou capteur sélectif). Cependant la mise en place de moyens aéroportés est assez coûteuse, et la réalisation d'une mission spéciale ne se justifiera que pour des phénomènes à haut risque et avec une bonne garantie d'efficacité. Il faudra le plus souvent se contenter des observations multitemporelles à l'aide de documents déjà enregistrés sur une même région : collections de photographies aériennes, thermographies et imagerie satellite. L'existence notamment des missions photographiques échelonnées dans le temps, une dizaine en moyenne en chaque point du territoire métropolitain, permet une bonne variété des conditions d'observation et un suivi de l'évolution des phénomènes naturels.

La photographie aérienne

Malgré le développement des autres moyens de la télédétection, la photographie aérienne reste l'outil principal. Elle est bien connue et utilisée par la plupart des spécialistes des risques naturels. Son efficacité est augmentée en faisant jouer ses variables suivant l'objet de l'étude : échelle, émulsion, période de prise de vues. Elle fournit par l'observation stéréoscopique un excellent modèle de terrain et sera souvent utilisée comme premier niveau de "vérité-terrain" dans l'exploitation des autres procédés de télédétection, par exemple pour l'interprétation des thermographies ou des images de satellite. Le domaine d'utilisation de la photo-interprétation couvre la plupart des risques naturels, on notera des applications particulièrement intéressantes en matière d'avalanches et de mouvements du sol.

La thermographie

La thermographie est une technique d'acquisition de l'image thermique du sol. Le capteur aéroporté se compose d'un système à balayage, d'une cellule détectrice sensible dans l'infra-rouge thermique et d'un enregistreur. Une baie de restitution réalise la transcription sous forme d'image photographique. Celle-ci sera très différente d'une image obtenue dans le visible, et une comparaison avec la photographie aérienne permettra la sélection des anomalies thermiques pouvant concerner le risque étudié. Les détails observés sont intéressants soit par leur température elle-même, comme dans le cas d'une recherche de foyers d'incendies, soit par les conclusions tirées de leur disposition et de leur répartition. Les différences de propriétés thermiques des corps (chaleur massique, conductivité thermique, émissivité) font apparaître par l'intermédiaire de la température de surface des discontinuités du sol et du sous-sol d'un intérêt évident en matière de mouvements de terrain. Il en est de même pour la présence d'eau libre et la teneur en eau des sols. La comparaison entre deux enregistrements thermographiques réalisés en période chaude et en période froide (par exemple le jour et la nuit, en prenant le maximum d'amplitude thermique) donnera une visualisation de

l'inertie thermique des sols et fera apparaître plus nettement encore les discontinuités. On peut espérer par cette méthode encore à l'état de recherche pouvoir localiser des cavités souterraines peu profondes (anciennes carrières, karsts) et ainsi prévenir les risques d'effondrements. Nous citerons quelques applications opérationnelles de la thermographie : recherche de sources et de traces d'humidité (application possible à l'étude des glissements de terrain), détection de foyers résiduels d'incendies de forêt et de foyers souterrains, recherche de fuites dans des digues de canaux.

L'imagerie satellitaire

Les images de satellite ont été peu utilisées jusqu'à maintenant en matière de risques naturels, en raison de leur faible résolution. On citera tout de même les cartes de constat d'incendies de forêt réalisées par classification automatique sur ordinateur à partir d'images du satellite Landsat. De nouvelles possibilités s'ouvrent avec le lancement récent du satellite français Spot. Nous en rappellerons quelques caractéristiques : une répétitivité de deux jours pour la France, permettant d'espérer 5 à 6 couvertures utilisables par an ; deux modes d'acquisition : panchromatique avec une résolution de 10 m, et multibande (dans le vert, le rouge et le proche infra-rouge) avec une résolution de 20 m ; possibilité d'observation stéréoscopique des images. Plusieurs applications sont envisageables en matière de risques naturels, surtout dans le domaine du constat : avalanches, inondations, mouvements de dunes, érosion, incendies de forêt, état sanitaire de la végétation.

DETECTION DE FOYERS D'INCENDIE PAR THERMOGRAPHIE

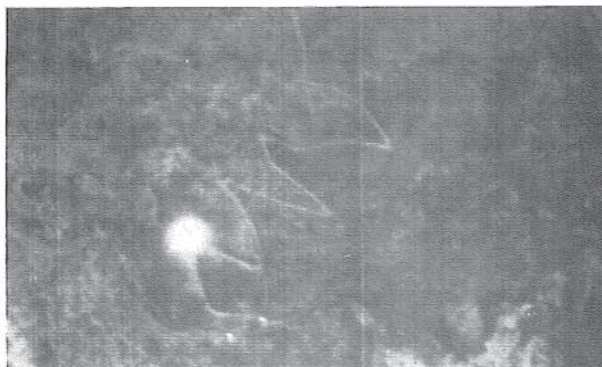


Figure 3 : Foyer résiduel d'incendie de forêt.



Les anomalies thermiques localisées sur le croquis correspondent à des foyers.

Figure 4 : Détection de foyers souterrains.

II. — APPLICATION A L'ETUDE DES RISQUES

Les résultats de l'interprétation des images obtenues par télédétection, y compris et surtout la photographie aérienne, feront l'objet d'une cartographie des risques que l'on pourra concevoir sous différentes formes.

Les cartes de constat transcrivent l'ampleur d'un phénomène à partir de preuves visibles : soit observation du phénomène lui-même (cas d'une intervention par télédétection sur une région inondée par exemple), soit observation des traces laissées au sol. La surface du sol porte l'empreinte de tous les événements passés et la constatation pourra être quelquefois assez délicate. Pour un certain nombre de risques, le stade de constat est nécessaire pour passer à un essai de prévision, c'est-à-dire à une carte de zonage du risque. Pour les phénomènes répétitifs sur un site donné et si on dispose de séries d'observations anciennes, à la fois datées et localisées, il sera possible par l'application de lois statistiques d'affecter une probabilité, dite période de retour, à une certaine extension du phénomène. On pourra alors soit déterminer la période de retour de l'événement constaté, soit par une photo-interprétation très détaillée mettre en relation des traces de phénomènes passés et une période de retour donnée. Une telle méthode, déjà partiellement appliquée à l'étude du risque d'inondation, pourrait être étendue à d'autres domaines comme par exemple à certaines avalanches ou certaines laves torrentielles.

Pour les phénomènes potentiels sur un périmètre présentant certains facteurs de risque, une étude par télédétection tentera de délimiter le risque futur à partir de l'identification d'événements actuels ou passés. Un constat sera réalisé par observation des indices d'activité et des formes laissées au sol. La démarche doit s'appuyer sur une enquête de terrain pour compléter l'investigation et bénéficier de l'expérience acquise par les habitants de la région et les spécialistes (renseignements oraux et archives). Au cours du constat on se préoccupera surtout de déterminer les conditions d'apparition des phénomènes et l'importance des facteurs aggravants ou favorables. La délimitation par analogie des zones où les conditions d'apparition sont réunies ainsi que l'appréciation des critères de fréquence et d'intensité constituent évidemment la phase la plus délicate de l'étude et comportent une forte part de subjectivité.

Les résultats obtenus par télédétection sont généralement publiés sous forme de cartes à échelle moyenne (1 : 25 000). Celles-ci ne constituent qu'une approche même si elle est localement très complète, et sont complémentaires d'autres moyens d'étude. Ayant surtout une valeur indicative, elles ne comporteront pas d'évaluation du degré de danger.

Avalanches

En matière d'avalanches, la méthode développée par la Division Nivologie du CEMAGREF et l'IGN fait appel à la photographie aérienne. La Carte de Localisation Probable des Avalanches (CLPA) comporte deux versions superposées : une version "enquête sur le terrain" qui est une carte de constat établie à partir de renseignements oraux et d'archives, et une version "photo-interprétation" dressée à partir de photographies aériennes prises en été. Celle-ci est également une carte de constat, non des événements eux-mêmes, mais des traces qu'ils ont laissées (formes d'érosion et d'accumulation, dégâts) en prenant également en compte certains facteurs de déclenchement (zones d'accumulation, modelé favorable, exposition, conditions de sol et de végétation) et la morphologie du trajet (dénivelée, pente, profil de versant, ressauts, obstacles...). Il faut noter qu'aucune synthèse n'est réalisée par le photo-interprète entre les deux versions. Cette formule permet à l'utilisateur de tirer lui-même les conclusions de deux approches

différentes. Il est vraisemblable que les images Spot rendront possible le constat de nombreuses avalanches et pourront apporter un complément à l'enquête permanente réalisée par les services concernés, surtout dans les régions peu fréquentées.

Mouvements de terrain

La photo-interprétation est actuellement très utilisée pour l'étude des risques de mouvements de terrain. Un exemple d'approche par étude des photographies pourra être résumé ainsi : pour les phénomènes actifs ou anciens on effectue un constat des conditions de déclenchement, de l'extension et de la zone d'arrivée. Pour les événements anciens, l'extension de plusieurs phénomènes successifs donne une enveloppe représentant le risque maximal dans des conditions normales. Ceci n'inclut pas l'événement "catastrophique" se produisant dans des circonstances exceptionnelles et toujours difficile à délimiter, par photo-interprétation ou par d'autres méthodes. Pour les phénomènes potentiels dans les parties non actives, les critères de déclenchement et d'extension possible sont estimés par comparaison avec des terrains présentant des conditions similaires et des indices de mouvement. Ce type d'étude, bien qu'incomplet car limité aux indices visibles, complètera utilement les méthodes de géologie appliquée habituellement utilisées. La thermographie et les émulsions photographiques infra-rouge et infra-rouge couleur sont d'un intérêt capital pour déterminer la teneur en eau des sols, la localisation des concentrations en eau et les relations eau-végétation. On recommandera donc particulièrement leur usage pour les risques où le rôle de l'eau est important : glissements de terrain, formation de laves torrentielles et de coulées boueuses. En matière de risque d'effondrement, il existe de nombreuses techniques de prospection au sol, cependant une recherche préalable par télédétection permettra d'utiliser au mieux les indices de surface, soit par photo-interprétation (dépressions, régime de l'eau dans le sol, état de la végétation, cassures et leur distribution directionnelle...), soit par thermographie (eau, discontinuités, différences d'inertie thermique).

Certains phénomènes apparentés aux mouvements de terrain, lents mais de grande ampleur, se prêtent bien à la détection par satellite : citons l'érosion du sol, les déplacements des cours d'eau, les mouvements du littoral, le déplacement des dunes. Leur évolution pourra être suivie par observation multi-temporelle. Ces phénomènes sont étudiés localement par photo-interprétation en fonction des besoins. Un exemple d'étude du risque d'érosion est donné en fig. 1. La délimitation des zones menacées incitera à prévoir un aménagement ou à surveiller les pratiques culturales.

Inondations

Le risque d'inondation a fait l'objet de nombreuses réalisations cartographiques. La télédétection peut intervenir dans deux types d'études, tout d'abord dans l'élaboration d'un véritable document de prévention, c'est-à-dire évaluant des facteurs sur lesquels on peut intervenir pour diminuer le risque. On citera l'étude du bassin versant et de son évolution : cultures, végétation, imperméabilisation du sol, ruissellement ; les obstacles à l'écoulement : encombrement du lit mineur, densité et nature de la végétation dans le lit et sur les berges, sinuosités et leur fréquence, morphologie du lit majeur ; inventaire d'occupation du sol dans la zone à risque pour l'évaluation des dommages. La plupart des données utiles à ce document seront recensées par photo-interprétation. Un deuxième type de document est le constat du phénomène lui-même. Il nécessite une intervention par avion au maximum de la crue, et ceci dans de mauvaises conditions météorologiques. La réussite totale de l'opération sera donc aléatoire. On utilise l'émulsion infra-rouge pour

reconnaître les sols gorgés d'eau et la limite exacte de l'inondation dans le cas d'une lame d'eau très mince. La carte de constat précisera la limite de la zone atteinte, la dynamique des écoulements, l'occupation de l'espace inondé : habitat, cultures, infrastructures. Dans l'exemple présenté (figure 2) la prise de vues a été réalisée sous couvert nuageux. Un enregistrement par radar permettrait de s'affranchir des conditions météorologiques, les longueurs d'onde utilisées passant bien à travers les nuages. Le rôle des images de satellite est hypothétique, car il faudrait obtenir une image au moment du maximum de la crue sans couvert nuageux. La possibilité de mettre en relation un niveau d'inondation donné et une période de retour rend utile la réalisation d'un grand nombre de constats.

Incendies de forêt

A la différence des autres phénomènes, le constat des incendies de forêt est peu utile dans la prévention du risque, la principale raison étant l'importance du facteur humain dans les conditions d'apparition. La télédétection participera à l'élaboration de documents de prévention

et de lutte contre le feu, dont les thèmes principaux seront une représentation de la végétation suivant le degré d'inflammabilité et de combustibilité, une occupation du sol comportant les points sensibles, et les moyens de lutte : possibilités de pénétration par véhicules, densité de végétation, obstacles, viabilité, points d'eau, etc... Le recensement de la plupart des thèmes est possible par photo-interprétation. Un intéressant document de prévention sera apporté par la thermographie, en déterminant la localisation de foyers résiduels après intervention des services d'incendie (figure 3). La thermographie sera également applicable à la recherche de foyers souterrains. Ce phénomène se développe dans des remblais peu compactés et à forte teneur en matières combustibles (terris). L'étude précisera la localisation et l'extension des foyers (figure 4), des enregistrements répétés permettront de suivre leurs déplacements.

La prévention est à la fois une information sur le risque et un effort pour le minimiser. La télédétection agit dans les deux domaines en apportant une meilleure connaissance des phénomènes naturels et une évaluation des facteurs favorables ou défavorables sur lesquels on peut agir pour diminuer le risque.

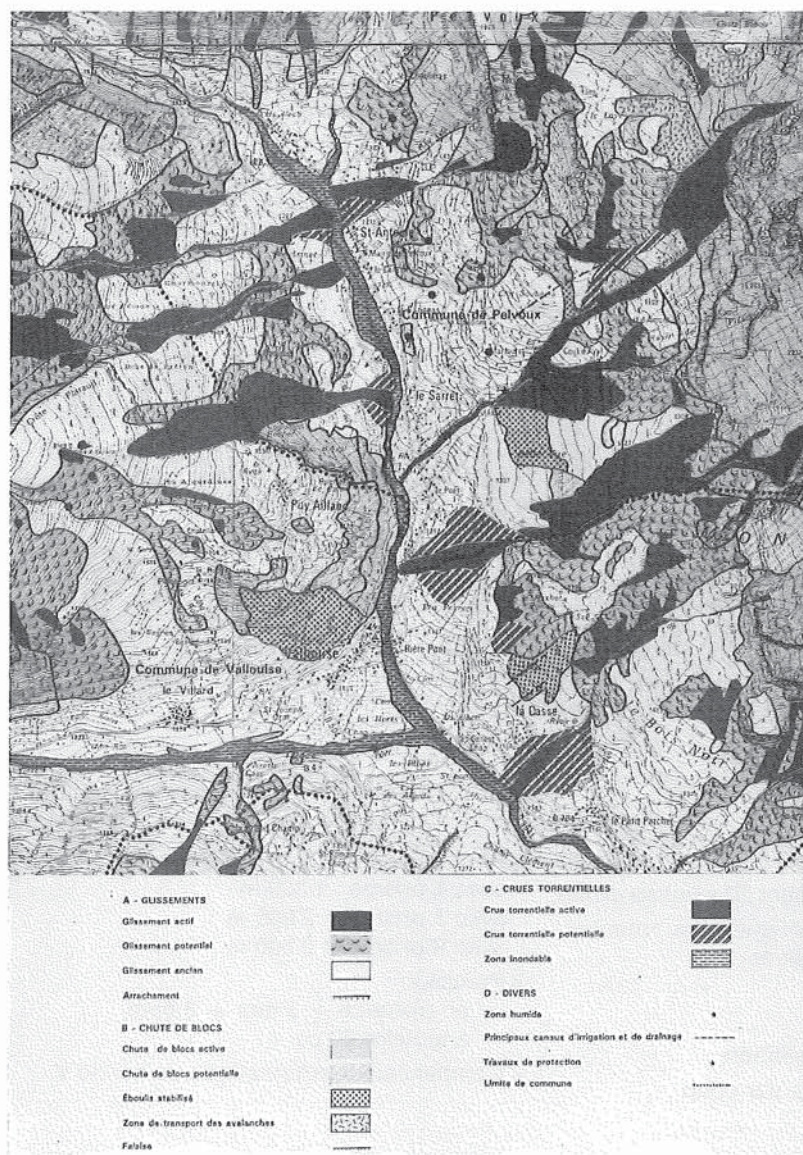


Figure 5 : Exemple de carte de localisation des mouvements de terrain établie par photo-interprétation et enquête sur le terrain. 1 : 25 000.