

Surveillance de l'environnement par télédétection

Rapport présenté au Symposium de la F.I.G. tenu à Darmstadt en octobre 1978, par le Prof. Dr.-Ing. Jörg ALBERTZ, Technische Hochschule Darmstadt.

*Traduction par l'Ingénieur en Chef de l'Armement Bernard SCHRUMPF,
Service Hydrographique et Océanographique de la Marine,
membre de l'AFT*

1. INTRODUCTION

L'environnement humain se modifie sans cesse. L'écoulement des eaux, les phénomènes climatiques ou les changements saisonniers de la végétation sont des exemples de changements naturels. Mais aux processus naturels s'ajoutent, comme chacun sait, de multiples activités humaines qui ont des effets sur le sol, l'eau et l'atmosphère. Plus qu'autrefois il est aujourd'hui nécessaire de planifier soigneusement les activités humaines et de surveiller leurs effets. Il faut acquérir pour cela de nombreuses informations sur la situation de notre environnement, et les garder en mémoire de façon à pouvoir observer leurs modifications.

D'une façon générale on peut acquérir de telles informations de trois façons, qui sont :

- **la mesure directe** : l'instrument de mesure est placé là où la mesure est à faire (exemple : mesure de température avec un thermomètre) ;
- **la télémétrie** : l'instrument de mesure est encore placé là où la mesure est nécessaire, mais le

résultat est transmis à distance, par exemple par radio (exemple : mesures météorologiques par radiosondes) ;

— **la télédétection** : l'instrument est éloigné de l'endroit de la mesure ; la grandeur à mesurer est déduite du rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par les objets observés (exemple : mesure de la température de l'eau depuis un avion au moyen d'un radiomètre thermique).

2. SYSTEMES DE TELEDETECTION

Dans ce contexte les systèmes de télédétection les plus importants sont :

a. Photographie

Photographie en lumière visible ou dans le proche infrarouge (longueur d'onde 0,4 à 1,0 μ m) ; les films suivants sont utilisés : noir et blanc panchromatique, noir et blanc infrarouge, couleur, ou infrarouge en fausse couleur.

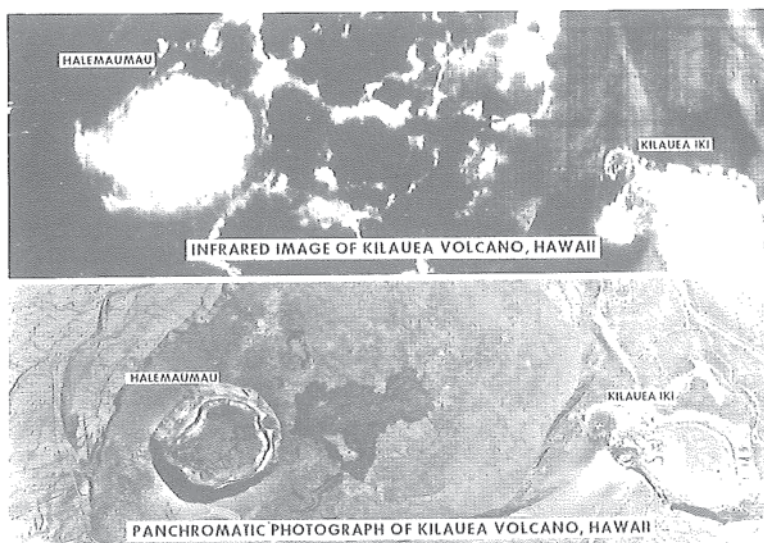


Fig. 1 : En haut photographie aérienne infrarouge. En bas photographie aérienne panchromatique.

Dans tous les cas c'est la lumière solaire réfléchie qui impressionne le film, et la mesure n'est possible que de jour. Le terme "infrarouge" est souvent mal compris, et il faut se rappeler que la photographie infrarouge ne permet pas de saisir les différences de température. Normalement la photographie est exploitée visuellement. L'interprète identifie les objets par leur taille, leur forme, leur tonalité ou leur couleur, leurs ombres, etc.

b. Thermographie

Pour obtenir une représentation des températures on utilise des radiomètres travaillant dans l'infrarouge thermique (en général 8-13 μ m de longueur d'onde). Le capteur mesure le rayonnement thermique émis par l'objet observé, rayonnement qui dépend de sa température de surface. La mesure est indépendante de la lumière solaire et peut être faite jour et nuit. On peut faire un examen visuel des clichés, mais dans bien des cas on applique une technique de traitement d'image pour obtenir des différences de températures précises.

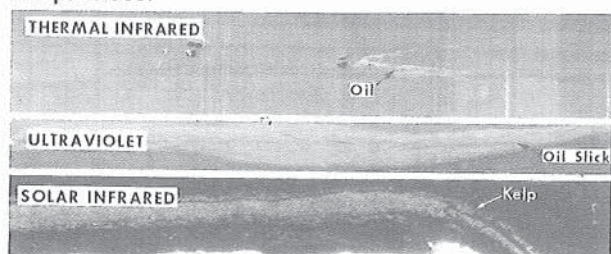


Fig. 2 : Infrarouge thermique, ultra-violet, infrarouge solaire mettant selon le cas en évidence certains détails.

c. Radiométrie multispectrale

Les enregistrements de données multispectrales sont obtenus le plus souvent avec des capteurs sensibles à la fois dans le visible et le proche infrarouge et dans l'infrarouge thermique. Les données multispectrales permettent d'identifier les objets par leurs propriétés réfléchissantes et d'en déduire des cartes d'utilisation du sol. Le traitement est fait de préférence par ordinateur, cependant lorsque le nombre de domaines spectraux considérés ne dépasse pas trois l'interprétation visuelle est possible.

d. Radar latéral

Le radar travaille dans le domaine spectral des micro-ondes (1 à 100 cm de longueur d'onde). Le radar est un système actif, c.a.d. utilisant un rayonnement émis par l'appareil lui-même. Il est donc indépendant du rayonnement naturel et peut travailler nuit et jour. A la différence des procédés mentionnés ci-dessus, les systèmes radar sont indépendants des conditions météorologiques, car les micro-ondes ne sont pas arrêtées par le brouillard et les nuages. Les images obtenues par le traitement des données du radar peuvent être interprétées visuellement.

Tous ces procédés de télédétection peuvent être utilisés à partir d'un avion ou d'un satellite. *Contrairement à la mesure directe ou à la télémétrie la télédétection permet une acquisition de données bidimensionnelle.* On peut donc faire de nombreuses mesures en peu de temps, beaucoup plus qu'avec les autres procédés de mesure. Il y a là le grand avantage de la télédétection : de vastes étendues peuvent être observées presque simultanément.

Mais d'un autre côté beaucoup d'applications pratiques de la télédétection soulèvent de sérieux problèmes : le principal est que différents facteurs perturbent les mesures faites par avion ou par satellite et qu'il n'existe donc pas de relation simple entre les données recueillies et les propriétés physiques des objets observés. En outre en ce qui concerne les scanners ou les radars la représentation géométrique obtenue est beaucoup plus compliquée qu'en photogrammétrie.

Il en résulte que des traitements souvent délicats et coûteux doivent être appliqués pour obtenir les informations désirées. Dans bien des cas il faut corriger les données de leurs distorsions géométriques ou radiométriques avant de pouvoir en tirer des informations par interprétation visuelle, par traitement informatique, ou par une combinaison des deux.

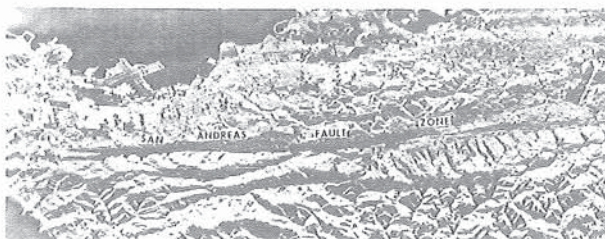


Fig. 3 : Image obtenue par radar latéral qui définit avec netteté les principales caractéristiques topographiques.

Jusqu'ici l'exploitation a surtout fait appel à l'interprétation visuelle des images par des observateurs humains, utilisant des instruments relativement simples tels que stéréoscopes ou transfoscopes. La raison est évidente : *l'œil humain et le cerveau humain forment ensemble un système analyseur d'images qui est le plus souple et le plus efficace qu'on puisse imaginer.* Et dans une certaine mesure ce système est affranchi des facteurs perturbateurs mentionnés ci-dessus. C'est pourquoi les exemples qui suivent ont trait à l'interprétation visuelle.

3. SURVEILLANCE PHOTOGRAPHIQUE

Les plus importants changements constatés dans le paysage proviennent des activités humaines. La photographie aérienne est idéale pour détecter et localiser des objets tels que routes, constructions, types d'exploitation agricole, carrières, etc. Comme les photographies aériennes sont aussi des documents historiques, on peut observer les changements en comparant des clichés anciens et récents. L'interprétation des différences est relativement aisée et le résultat très fiable. C'est pourquoi ce procédé est largement utilisé pour la mise à jour des cartes topographiques, en employant des films noir et blanc panchromatiques.

D'autres changements de l'environnement visibles sur les photographies aériennes résultent de processus naturels. On peut ainsi surveiller des effets d'érosion, des déplacements de dunes de sable, des sédimentations, ou des actions glaciaires.

Les photographies aériennes revêtent une grande importance pour les services forestiers. Non seulement les inventaires forestiers, les estimations des réserves existantes, la planification des routes d'accès utilisent les photographies aériennes, mais

également les évaluations des pertes dues aux tempêtes ou aux incendies. Il est plus difficile de reconnaître et d'évaluer les maladies des plantes, les proliférations d'insectes ou autres perturbations. Pour de telles observations, les photographies aériennes doivent être prises sur film en couleur infrarouge (fausse-couleur). La couleur rouge, qui représente le rayonnement réfléchi par le feuillage des arbres dans le proche infrarouge, est très sensible aux différences du coefficient de réflexion. Du fait de la relation qui existe entre la vitalité des plantes et le coefficient de réflexion, les conditions de croissance anormales sont marquées sur les clichés en couleur infrarouge par des variations de couleur plus ou moins fortes. Il faut une grande expérience pour évaluer ces différences de couleur. Notamment des maladies de différents types produisent des effets colorés semblables : des contrôles sur le terrain sont donc souvent nécessaires pour déterminer si le défaut de vitalité résulte d'insectes, de sécheresse, de pollutions atmosphériques, ou de quelque chose d'autre.

La situation est tout à fait semblable pour les zones cultivées. Là encore la détection et l'évaluation des dommages subis par les récoltes sont obtenues de préférence par photographie couleur infrarouge à échelle relativement grande. Quelques maladies des plantes comme la rouille de la pomme de terre ou la tavelure de la betterave sucrière peuvent être reconnues directement, d'autres doivent l'être indirectement à l'aide du changement de coloration dû à la perte de vitalité de la plante. Pour maîtriser ces maladies, par exemple à l'aide d'herbicides, le fermier doit pouvoir évaluer les dommages et estimer leur étendue. La répétition de la couverture photographique est très utile pour cela. Mais pour interpréter correctement les clichés couleur infrarouge il importe avant tout que l'opérateur soit très expérimenté.

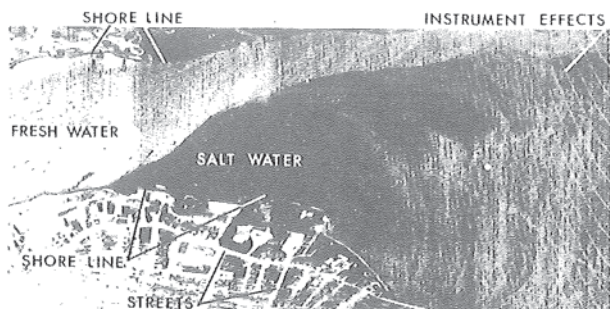
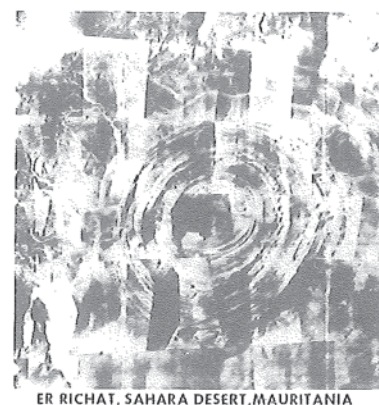


Fig. 4 : Imagerie infrarouge mettant en évidence la limite de l'eau salée.

Un des problèmes majeurs du contrôle d'environnement est évidemment la pollution de l'eau. Plusieurs de ses formes peuvent être détectées et évaluées directement par photographie aérienne. Etant donné que les eaux usées industrielles sont généralement déversées dans les rivières et les lacs par des conduites, des points de forte pollution se produisent souvent là, avec des contrastes de couleur et de tonalité accusés. Bien entendu selon le type de pollution celle-ci est visible ou non sur les photographies, et sa visibilité dépend beaucoup des filtres utilisés ainsi que des conditions d'éclairage rencontrées à la prise de vue. Mais une pollution importante, par exemple par une couche d'huile, peut être détectée facilement aussi bien en rivière que le long de la côte.



ER RICHAT, SAHARA DESERT, MAURITANIA

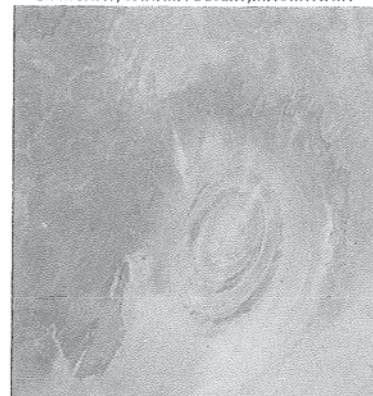


Fig. 5 : En haut photographie en mosaïque
En bas photographie par satellite

On emploie des méthodes plus indirectes pour déterminer la qualité de l'eau. De nombreuses recherches ont été faites, qui montrent que les plantes aquatiques sont de bons indicateurs des conditions écologiques et de leurs changements. De bons résultats ont été obtenus par l'interprétation des espèces de plantes sur les photographies en couleur. Pour l'observation des plantes submergées, on trouve sur le marché des films spécialement conçus pour la pénétration dans l'eau.

Parmi les objectifs de la surveillance, il faut mentionner aussi l'inventaire des dommages produits par les désastres naturels (inondations, tremblements de terre, cyclones), pour lequel des photographies aériennes sont souvent prises pendant ou juste après l'événement.

La photographie aérienne convient bien, par nature, à la résolution de problèmes d'environnement locaux ou régionaux. Des problèmes plus généraux nécessitent l'observation par satellites. Jusqu'à présent, il n'existe pas en orbite de système photographique prenant des clichés de routine. Mais les clichés obtenus avec des scanners tels que ceux des satellites LANDSAT peuvent être interprétés de la même façon que des photographies aériennes. Très souvent trois bandes spectrales de l'enregistrement multispectral sont combinées pour former une image couleur ou couleur infrarouge. On peut étudier ainsi la végétation dans les pays sous-développés, la couverture de neige ou de glace, ou des phénomènes océanographiques.

4. SURVEILLANCE THERMOGRAPHIQUE

Les images thermiques s'avèrent être d'excellents moyens d'étude de la pollution thermique des rivières et des lacs. Ceci est particulièrement important là où des établissements industriels ou des centrales élec-

triques évacuent des eaux réchauffées. Les mesures directes ou bien les données obtenues par télémétrie ne fournissent que des données ponctuelles. Par contre la thermographie montre l'ensemble du processus de mélange et de refroidissement de l'eau en surface. (cf. photo Fessenheim dans XYZ N° 1)

Très souvent les images thermiques des eaux de surface sont traitées de façon que les températures soient représentées par des teintes grises de différentes tonalités, appelées équidensités. Cette représentation fait bien ressortir les différences de température. Pour calibrer les densités et obtenir une carte de températures il faut faire des mesures simultanées de température in situ.

Différentes études ont permis d'établir des faits importants sur le comportement des eaux de rivière. Ainsi le processus de mélange dépend beaucoup de la quantité d'eau de la rivière et de sa vitesse. Dans les petites rivières toute l'eau de surface tend à se réchauffer peu après la source de chaleur. Lorsque la rivière est plus importante, par exemple le Rhin, l'eau réchauffée est poussée le long de la rive en un filet étroit souvent long de plusieurs kilomètres. Ainsi la température du milieu de la rivière n'est presque pas modifiée par l'apport d'eau chaude, tandis qu'elle est très perturbée près de la rive. Il est évident que le même processus se produit dans le cas d'une pollution chimique.

Des recherches de ce genre sont fort utiles pour compléter notre connaissance des processus de mélange et pour organiser au mieux l'utilisation des ressources en eau. Aussi faut-il s'attendre à ce que la thermographie aérienne devienne une méthode de surveillance de routine dans les régions industrialisées.

De nombreux projets d'engineering font apparaître des difficultés dues au manque de connaissance des conditions climatiques locales, et aussi à la mauvaise appréciation des effets des transformations effectuées. Nous ne savons pas dans quelle mesure des constructions de différents types, des barrages, des ponts, etc. modifient le climat, c.à.d. les conditions de température locales ou les déplacements d'air près du sol. Des études thermographiques de détail peuvent aboutir à d'utiles conclusions pour minimiser les effets négatifs des activités humaines, par exemple dans le choix de sites convenables pour des constructions, des installations industrielles, des décharges de déchets, etc. Mais l'interprétation de la thermographie dans ce but est assez délicate et doit être faite très prudemment, car il faut tenir compte de nombreux facteurs locaux. Il existe un besoin important de renseignements de ce type et la méthode est donc appelée à jouer un rôle important dans l'avenir.

5. SURVEILLANCE PAR RADIOMETRIE MULTISPECTRALE

Comme il a été indiqué ci-dessus, les données acquises par radiométrie multispectrale peuvent être utilisées de la même façon que des photographies si les données sont enregistrées sous forme d'image. C'est le cas de beaucoup de données LANDSAT.

Mais le principal objectif des techniques multispectrales est de classer les éléments de l'image selon les caractéristiques de réflexion des objets.

Un certain nombre de recherches ont été faites dans ce domaine mais les méthodes sont encore à un stade expérimental. L'utilité dépend de la nature des informations recherchées. Des problèmes tels que la pollution de l'eau dans les grands lacs ou les océans, la couverture de neige et de glace, les conditions régionales de croissance des forêts et des cultures, etc. sont de ceux pour lesquels les données LANDSAT peuvent être utilisées grâce à différents programmes de classification. Pour parvenir à résoudre par radiométrie aérienne des problèmes particuliers il faudra encore d'autres recherches et actuellement cette technique n'est utilisée que dans un nombre limité de cas : elle permet de délimiter dans des champs homogènes les zones atteintes par une maladie.

6. OBSERVATION PAR RADAR LATERAL

Des systèmes radar ont été utilisés avec succès par exemple au Brésil pour faire des inventaires de ressources sur de grandes étendues. En ce qui concerne les études d'environnement plus détaillées l'emploi du radar en est encore au stade expérimental. Mais on place de grands espoirs dans l'emploi de systèmes radar. Le procédé est en effet indépendant de l'éclairement solaire et des conditions météorologiques, ce qui est important pour l'observation de la couverture glaciaire ou des désastres naturels.

D'autre part on espère, par l'utilisation des micro-ondes, obtenir des informations non accessibles avec d'autres procédés, par exemple le degré d'humidité du sol.

7. CONCLUSION

Il faut indiquer pour conclure deux points importants. Le premier concerne les limites de ces méthodes : *la télédétection ne peut pas résoudre tous les problèmes d'environnement, elle est une méthode d'acquisition de données parmi d'autres.* Elle permet de détecter des situations existantes et d'observer des changements. Mais elle ne permet pas d'évaluer ces faits ou ces changements. On peut pas exemple détecter que l'eau d'une rivière est réchauffée, mais on ne peut pas déterminer si cette pollution thermique est tolérable d'un point de vue écologique. Une telle décision requiert des critères qui doivent être déterminés par ailleurs.

Le second point concerne le coût de la télédétection. C'est une question complexe. *D'une façon générale la photographie aérienne est une méthode efficace d'un prix très raisonnable si l'on considère la valeur des informations obtenues.* C'est pourquoi la photographie aérienne est utilisée à des fins multiples partout dans le monde. D'autre part, *les données acquises par satellite sont peu onéreuses dès lors que le satellite est en orbite et qu'il fournit des données en permanence.* Mais on ne peut en dire plus sur ce point, notamment parce que la plupart des systèmes de télédétection sont encore expérimentaux et ne fonctionnent pas encore sur une base commerciale.

De toutes façons, il est certain que le contrôle de l'environnement et les prises de décision nécessiteront dans l'avenir plus d'informations sur notre environnement, informations qui peuvent et devront être acquises par télédétection. ■