

DES DÉBUTS DE LA HAUTE RÉOLUTION SPATIALE ... À LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE

Christiane WEBER

Résumé

Le changement de paradigme vers la très haute résolution spatiale (THRS) a été réalisé en douceur tout au moins au début. L'amélioration de la résolution spatiale devait aboutir à une meilleure adéquation entre la réalité et sa représentation pixellaire. On allait pouvoir cartographier, analyser suivre dans le temps les dynamiques des paysages, et plus particulièrement le volet urbain qui enfin se dévoilerait. La recherche urbaine a-t-elle été réellement plus performante ? L'image est-elle devenue un élément de prise de décision ? Quels sont les impacts de cette révolution numérique auxquels nous faisons face ? Les enjeux sont plus nombreux mais sommes-nous mieux armés pour proposer quelques solutions ? La transition numérique actuelle nous offre la possibilité d'un regard sur les dernières évolutions qu'il serait intéressant d'étudier.

Mots clés

observation de la Terre, systèmes urbains, pratiques territoriales, transition numérique

Abstract

The paradigm shift towards very high spatial resolution was smoothly achieved at least at the beginning. The improvement of the spatial resolution should lead to a better match between reality and its pixel representation. Has urban research been more effective? Have we really brought another vision of the territories or influenced planning practices? Has the image become an element of decision-making? What are the impacts of this digital revolution that we are facing? Imagery has positioned itself as a must in many fields, it remains an unparalleled medium of information and the offer embraces a multitude of possibilities. The current digital transition offers us the opportunity to look at the latest developments.

Keywords

Earth observation, urban systems, territories management, numeric transition

INTRODUCTION

Les lignes qui suivent tentent de resituer l'évolution de la télédétection appliquée aux territoires et aux moyens mobilisés. Les positionnements tant économiques que techniques évoluent dans l'écosystème de l'observation de la Terre entraînant des modifications de l'offre et des méthodes, mais aussi celles des modèles économiques sous-tendant l'accès aux données ainsi que la mise à disposition de la communauté d'utilisateurs et de développeurs.

La dématérialisation et la distanciation à l'information ont impacté et impacteront encore à la fois les traitements mais aussi les usages de l'information spatiale. La puissance du numérique nous oblige à revoir nos positionnements et à identifier des niches

d'action susceptibles de mieux accompagner les utilisateurs finaux.

I. DE LANDSAT À SENTINEL ...

Lors des premiers survols d'acquisition par le satellite ERTS-1 (Landsat 1) transportant notamment le capteur MSS (1972), les domaines d'utilisation des images couvraient des besoins assez généraux (sauf pour la sécurité des territoires) allant de la cartographie des espaces, à la quantification de surface ou l'extraction de paramètres importants (Bonn et Rochon, 1992, pp. 6-17). Les programmes civils américains précurseurs (proposés par la NASA et la NOAA) ont structuré toute la filière et ont permis des avancées en télédétection très tôt dans divers domaines. La météorologie, la climatologie, l'océanographie ont été les premiers domaines in-

vestis. L'agriculture, la foresterie, l'environnement en général ont suivi. Ces activités ont dynamisé les développements en cartographie et visualisation tout autant qu'en informatique, physique et traitement du signal. La compétition entre agences spatiales a fourni un des moyens d'observation les plus importants pour les scientifiques. L'Europe, l'URSS, le Japon, l'Inde parmi d'autres, ont défini une trajectoire de développement de leurs propres satellites de télédétection qui s'est accompagnée d'une structuration de la recherche et d'une multiplication des applications. À noter que ce positionnement stratégique de divers pays sur le segment spatial a permis aussi d'offrir une palette de résolution spatiale importante adaptée plus ou moins à diverses finalités d'application associant une dimension spatiale (résolution, distance d'échantillonnage) et une dimension temporelle (temps de revisite sur un site). Ainsi on trouve à l'heure actuelle des moyens d'observation allant des capteurs à Basse Résolution (BRS) pour étudier les phénomènes globaux sur des pas de temps très soutenus (phénomènes océanographiques, climatiques et météorologiques) et, à l'autre bout de l'échelle, des capteurs offrant des résolutions spatiales sub-métriques (Très Haute Résolution Spatiale THRS) plus adaptées à des problématiques tel que l'aménagement urbain, marquées par des trajectoires de long terme mais faisant face à une disparité spatiale très importante.

Une première rupture a eu lieu lors du lancement des capteurs à Moyenne Résolution Spatiale MRS (Landsat TM puis ETM+ et, enfin, OLI, SPOT HRV). Elle a eu des répercussions à la fois sur les images produites et les traitements à développer, sur l'écosystème économique de l'imagerie et sur les produits potentiels et les attentes des « utilisateurs finaux ». En effet, ces images ont modifié l'appréciation de l'information (plus de détails sur des surfaces plus restreintes), les modalités de traitement (les canaux panchromatiques, sauf pour le capteur TM, apportaient la résolution spatiale et la richesse texturale, la richesse spectrale provenant des autres canaux). Les techniques de fusion d'image autorisaient alors de profiter des deux modes d'acquisition et constituaient la seule solution à l'impossibilité physique d'améliorer en même temps la résolution spatiale et la résolution spectrale fournissant des types de produits potentiels, plus adaptés à des besoins de planification des territoires urbains. De plus, des informations innovantes (Weng et Carlson, 2012) comme les images nocturnes (Croft, 1978 ;

1979) donnaient à voir différemment les sites urbanisés et leurs chevelus lumineux.

En 1992, avec la promulgation du « *Land Remote Sensing Policy Act* » (USA), l'arrivée de sociétés privées, dans un domaine jusque-là réservé aux institutions, a créé une nouvelle rupture et a modifié la donne en permettant un accès plus large à l'information spatiale. Parier sur l'acceptation à payer des informations spatiales était envisageable dès lors que la spécialisation des produits était possible. Une compétition s'est mise dès lors en place entre des acteurs privés et publics ayant des modèles économiques très différents. Les conséquences de cette seconde rupture se feront ressentir de plus en plus, à la fois dans les « produits » proposés à divers acteurs (collectifs privés, collectivités territoriales, institutions, ...) et dans la création de sociétés de service ou de bureaux d'étude spécialisés. La production « sur étagère » s'adaptait aux besoins des utilisateurs en proposant des produits censés répondre aux attentes tout en étant conformes à une stratégie de développement économique.

Dans le même temps, une autre révolution voyait le jour, celle en informatique des programmes « ouverts » partageables, qui permettaient de s'affranchir des éditeurs de logiciels de traitement d'image. La large utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) ouvrait aussi un champ plus large d'utilisation mêlant des sources de données variées et offrant des capacités d'analyse spatiale complémentaires à l'information satellitaire.

L'amélioration de la résolution spatiale promue par les nouveaux capteurs à HRS (SPOT HRG, IKONOS, Quickbird, Worldview, Pleiades et maintenant le programme Sentinel de Copernicus, ...) devait aboutir à une meilleure adéquation entre la réalité et sa représentation pixellaire. On allait pouvoir cartographier, analyser, suivre dans le temps les dynamiques des paysages, et plus particulièrement le volet urbain qui enfin se dévoilerait. Comme le soulignaient Donnay *et al.* (2001, p. 8), « la réévaluation de l'imagerie satellitaire comme outil de cartographie et de gestion des espaces urbains était possible ». En effet, de très fortes attentes se concentraient sur les centres urbains denses, anciens, sur les formes urbaines, sur la croissance des systèmes urbains et l'artificialisation des terres. Cependant, de nombreuses questions générales restaient en suspens : *les développements méthodologiques*

pourraient-ils être génériques (reproductibles), transférables d'un site à un autre ? Quelle « qualité » pouvait-on associer aux résultats (en termes de méthode mais aussi en termes de produits) ? Ceux-ci étaient-ils utilisables par des praticiens, avaient-ils une validité opérationnelle ?

Et enfin, les résolutions proposées, surtout en panchromatique et grâce à la fusion d'images le combinant à l'image multispectrale, apparaissaient comme suffisantes pour des applications de planification nécessitant une cartographie au 1 : 10 000 et 1 : 25 000 et même parfois plus fine. *Mais quelles méthodes pouvait-on mobiliser pour combiner richesse spectrale et texturale ? Que devait-on exiger en matière de prétraitement géométrique pour produire une information cohérente vis-à-vis des échelles cartographiques demandées ?* À noter que dès 2005, Laporterie-Déjean *et al.* proposaient fort judicieusement une comparaison de méthodes de fusion à diverses communautés d'utilisateurs, permettant ainsi d'éclairer les choix méthodologiques selon les finalités attendues.

À ce volet de questionnements (Donnay *et al.*, 2001, p. 5), d'autres s'ajoutaient et leur ampleur n'était pas réellement mesurée à ce moment-là : la taille de ces nouvelles images, les séries d'images, les équipements et environnements informatiques nécessaires, tout comme les méthodes de compression d'image ou de récupération de celles-ci ... Enfin, des réflexions émergeaient pour savoir comment et quoi stocker afin de favoriser des réutilisations possibles ; le coût des images étant important. La notion « d'investissement » apparaissait lié aux sources de données tout comme celles « d'héritage » ou de « séries temporelles » pour des applications tournées vers les changements d'occupation du sol. Le mélange des sources initiait par ailleurs un nouveau champ de recherche, celui du droit et de la propriété, à côté de celui de l'accès et du traitement de données multisources ...

II. PERFORMANCE, RÉOLUTION, REPRODUCTIBILITÉ, QUALITÉ DES RÉSULTATS, INCERTITUDE, UTILISATION PAR LES PRATICIENS

Plusieurs défis s'adressaient et s'adressent toujours à l'heure actuelle pour prendre en considération ces questionnements. La qualité des résultats et donc des produits associés aux résultats sont fortement

dépendants des avancées méthodologiques. La généricité des développements méthodologiques est fortement liée aux capteurs et à leurs performances ainsi qu'aux développements eux-mêmes. Pour ce faire, l'obtention d'une information « utile » reste un défi important. Le second défi porte sur les méthodes et les stratégies d'extraction et de modélisation de l'information, si possible génériques, exploitant toute la richesse des divers modes d'acquisition (par exemple le mode panchromatique et les modes spectraux - multi, super ou hyperspectraux) afin d'obtenir des combinaisons satisfaisantes et utilisables pour le recherche urbaine. Le dernier défi correspond à l'implication des utilisateurs et à l'utilisation effective des produits issus de l'imagerie satellitaire.

A. Premier défi : une nomenclature utile

La performance n'a peut-être pas été identique selon les thématiques urbaines. Elle peut s'analyser au travers des diverses thématiques urbaines. Ainsi, si la tache urbaine (Braun et Herold, 2004 ; Deng et Wu, 2012 ; Liu *et al.*, 2016) ou la détermination d'une limite urbaine (Harb *et al.*, 2015), voire de la croissance urbaine (Milesi *et al.*, 2002 ; Yang *et al.*, 2011), ont été assez rapidement identifiées, la définition et la distribution des types d'occupation et d'usages des sols urbains (Franci *et al.*, 2014) sont encore des sujets d'interrogation et de recherche importants et non dénués d'obstacles. En effet, la détection des zones urbaines et de leurs composants a souvent été menée de manière implicite, sans définition spécifique de ces dernières, mêlant parfois sols imperméables et artificialisation (Cleve *et al.*, 2008 ; Thunig *et al.*, 2010 ; Li *et al.*, 2011 ; Vanderhaegen *et al.*, 2015). Ainsi, sans définition qui puisse être appropriée par les acteurs des territoires, ceux-ci éprouvent des difficultés à intégrer les résultats satellitaires dans leurs pratiques. Ces résultats sont en général issus d'une classification selon des nomenclatures « standard » traduisant la nature physique du sol ou de sa couverture (bâti, routes, eau, végétation, cultures, ...), nomenclatures souvent restreintes selon les résolutions spatiale et spectrale utilisées. Même si elles sont intéressantes pour une vision globale et des comparaisons entre régions, ces « nomenclatures standard » proposées par des organismes nationaux (comme la couverture nationale d'occupation du sol de l'IGN) ou européens (*Corine Land Cover* ou *Urban Atlas*) ne sont pas toujours adaptées aux besoins locaux des

collectivités. Comme le souligne Corgne (2016), « la mise en place d'une taxonomie cohérente des nomenclatures d'occupation et d'utilisation des sols reste un défi majeur de l'observation et du suivi des changements des territoires. »

B. Deuxième défi : une information utilisable

Pour favoriser une information de qualité et utilisée par les acteurs, beaucoup d'efforts ont été réalisés par la communauté scientifique, notamment en utilisant les diverses sources disponibles, qu'il s'agisse d'images ou d'autres types de données géographiques. Ainsi, au sein d'approches multisources, le recours à des modèles numériques d'élévation (hauteur au-dessus du sol ou indice de rugosité), à des données géographiques de référence (Banzhaf *et al.*, 2009) ou encore à des photographies aériennes (Kaspersen *et al.*, 2015) sert souvent à valider les résultats (Pandey *et al.*, 2013). L'étude des territoires et de leurs évolutions a effectivement renforcé la nécessité de validation des résultats notamment face à l'inexactitude des classifications obtenues (Van de Voorde *et al.*, 2007 ; Cokx *et al.*, 2014). Diverses méthodes d'analyse ont permis de rationaliser cette évaluation et de corriger les erreurs de classification (Liu et Zhou, 2004). L'utilisation de tels produits a permis une visualisation et un suivi des territoires tout en pointant le défi des incertitudes associé aux produits résultant des chaînes méthodologiques développées.

Depuis les années 2000 et la mise à disposition d'images à très haute résolution spatiale, la communauté scientifique a développé des méthodes de traitement dites « orienté-objet ». Ces dernières peuvent être décrites non plus seulement par la mobilisation de la luminance spectrale, comme c'est le cas avec les pixels, mais également par la texture et la géométrie des objets et leurs caractéristiques optiques, spatiales et de structure. L'amélioration de la résolution, l'identification d'éléments urbains (bâtiment, réseau, végétation, infrastructures,...) et la détermination de nomenclatures plus spécifiques, la mise au point de méthodes de classification plus sophistiquées orientée-objet (Puissant *et al.* 2014 ; Rougier *et al.*, 2016) ou non, par classification automatique, apprentissage (Maggiori *et al.*, 2017) ou fouille de données, ont permis de répondre en partie aux besoins des acteurs de terrain. L'existence de séries temporelles et la possibilité de traiter des images provenant de capteurs différents a conduit

à proposer des méthodes de démixage ou de séparation de source (Wu, 2004 ; Deville, 2011), appliquées à l'imperméabilisation des sols par exemple (Vanderhaegen et Canters, 2016) ou à la détection de panneaux photovoltaïques plus récemment (Karoui *et al.*, 2018). Des métriques spatiales permettant de mesurer l'évolution de l'utilisation des sols ont été proposées, prenant en compte la nature physique des surfaces et la mise au point d'indicateurs sur la végétation urbaine de Dublin (Van de Voorde *et al.*, 2011 ; 2016). L'appui des scientifiques pour apporter une vision dynamique et efficace pour la gestion urbaine est une demande commune des collectivités publiques. Le projet de recherche UrbanEARS (Somers *et al.*, 2014-2018) est un bel exemple d'un tel apport.

C. Le troisième défi : une information utilisée

L'émergence de nouveaux supports (tablette, smartphone, ...) et outils (logiciels libres, applications interactives, ...) a bouleversé l'accès à l'information, le partage de celle-ci et les modalités de collaboration. Les SIG et l'élargissement du public y ayant accès ont introduit une transformation par la numérisation et les possibilités de traitement et d'analyse ; ils ont fourni la possibilité de rapprocher l'information et les utilisateurs. Internet a été un déclencheur puissant de modification des pratiques dans toutes les strates de la société dont les communautés scientifiques et les services d'appui aux politiques publiques. Internet et le web ont introduit l'accès, la visualisation et l'analyse, mais aussi généralisé la dématérialisation et l'échange de documents. *Cette mise à disposition a-t-elle été un élément décisif de décision territoriale ? Les informations obtenues ont-elles été comprises, utilisées ?* La réponse n'est pas évidente. Les éléments majeurs à relever sont un accès aux images satellitaires plus aisé et la mise à disposition de séries d'images ainsi que la profusion d'images à très haute résolution spatiale (THRS) permettant de mieux répondre aux attentes des utilisateurs. Ces deux inflexions ont été suivies d'un effort de partage et de mise à disposition permettant une plus grande agilité d'accès à l'information spatiale, ainsi que par l'ouverture des archives d'images et les nouveaux capteurs ayant des dates de revisite plus soutenues.

Comme le souligne Joliveau (2011), un changement de pratiques s'est imposé par la nécessité de collaboration entre les acteurs de l'information géographique en raison : des coûts engendrés par la

collecte et la mise à jour des données, de l'intérêt de partager des données entre organismes territoriaux et services de collectivités et de l'utilisation de nouvelles technologies dans les services. Face aux coûts accrus de l'information spatiale, les partenaires territoriaux ont dû considérer celle-ci comme un « bien numérique » utile à la connaissance des territoires, à leur représentation, voire à leur projection dans l'avenir. Les structures d'échanges, de mise à disposition d'une information spatiale partagée comme les Centres Régionaux de l'Information Géographique (CRIG)¹ œuvrent pour cette optimisation de l'utilisation de l'IG. La création d'infrastructures de données géographiques régionales et nationales, et de portails d'accès à diverses données a entériné ce mouvement. La directive Inspire² (2007/2/CE du 14 mars 2007) a aussi eu un rôle non négligeable par l'introduction d'une formalisation nécessaire des données géographiques au travers de la normalisation des métadonnées. En Belgique, le géoportail du Service Public de Wallonie, WalOnMap (<http://geoportail.wallonie.be/home.html>), en est une belle illustration.

Cependant, malgré les résolutions spatiales de plus en plus adaptées à la réalisation de produits potentiellement utilisables par les services territoriaux, l'image satellite reste sous sollicitée. Certaines agglomérations se sont dotées de couverture d'occupation du sol fondées sur de l'imagerie à haute (ou très haute) résolution spatiale. Mais force est de constater que beaucoup de collectivités font surtout appel à l'imagerie aérienne pour établir leurs documents d'occupation du sol ; ceux-ci étant nécessaires à l'établissement de leurs documents et plans d'urbanisme et d'aménagement. Un intéressant document de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile de France (IAURIF, 2012) retrace l'évolution du Mode d'Occupation du Sol (MOS) depuis 1982 et illustre très bien l'évolution des pratiques et la montée en compétence des services impliqués. À noter que si la majorité des référentiels d'occupation du sol repose sur la nomenclature européenne *Corine Land Cover* (CLC), de nombreuses collectivités définissent elles-mêmes leurs nomenclatures et les rendent compatibles avec le niveau 2 de CLC. En effet, si les produits disponibles au niveau européen comme *Corine Land Cover* ou *Urban Atlas* qui reposent sur l'imagerie satellite, sont utiles dans des termes de comparaison européenne, ils sont souvent peu adaptés aux besoins précis des collectivités pour

des échelles *infra*. Ces nomenclatures doivent en effet s'adapter à des besoins et à des priorités communes comme la surveillance des territoires en Europe. « L'intégration des informations et l'harmonisation des activités conduit à trouver des solutions techniques et conceptuelles en s'appuyant sur les sources de données nationales ou futures » (SVB-OCS-NT, 2013). S'il est possible d'identifier certaines classes à partir de l'image selon la profondeur de la nomenclature utilisée (zones urbaines, zones de végétation ou en eau), des résultats plus fins correspondant à des niveaux *infra* classes ne sont pas toujours identifiables. Plusieurs raisons expliquent cela. D'une part, les niveaux de couverture *infra* ne bénéficient pas d'une définition et d'une caractérisation génériques qui facilitent la réalisation de produits opérationnels pour des services urbains. D'autre part, les images HRS et THRS nécessitent des traitements de plus en plus sophistiqués pour approcher non seulement la géométrie des éléments observables, mais aussi leur richesse spectrale (de nombreux développements méthodologiques font appel actuellement aux méthodes de fouille ou d'apprentissage pour améliorer les résultats). Ceci pénalise de fait l'extraction d'une information satellite efficace et opérationnelle en raison de la difficulté à formaliser les informations à extraire. Or celles-ci deviennent de plus en plus indispensables pour approfondir les caractéristiques ou les indicateurs nécessaires à la gestion des territoires. L'un des nœuds semble donc être la description des objets observés et leur attachement à une catégorie de la nomenclature pertinente selon les échelles spatiales. Les récentes avancées dans la conception d'un support national fondé sur une nomenclature mixte (occupation/utilisation) telle que la nomenclature d'occupation du sol à grande échelle (SBV-OCS-NT, 2013) laissent à croire qu'il va falloir là aussi, prévoir des mesures d'accompagnement pour les services des collectivités, ne serait-ce que pour comprendre les explications des partitions proposées en fonction de la nomenclature nationale, de la forme géométrique, des seuils de prise en compte des surfaces représentées ou de la description de ces dernières ...

III. LA RECHERCHE URBAINE EN FRANCE A-T-ELLE ÉTÉ PLUS PERFORMANTE ?

Les constats précédents obligent à considérer l'impact réel de l'imagerie dans les processus d'aide à la décision pour la gestion des territoires. *Une autre*

vision des territoires a-t-elle été apportée ou a-t-elle influencé les pratiques en aménagement ? L'image est-elle devenue un élément de prise de décision ? L'adéquation entre les dynamiques étudiées et les représentations obtenues a-t-elle été trouvée ?

La structuration de la communauté scientifique autour de portails d'accès aux images comme l'Equipex GEOSUD³ et la constitution de pôles de données dont THEIA⁴ ont permis de renforcer la recherche autour de l'imagerie en France et d'établir à la fois des lieux d'échanges et d'expertise autour de l'image. Ainsi, les Animations Régionales THEIA (ART) qui se déploient sur le territoire français, reprennent quelque peu l'esprit des sites Kalideos⁵ (CNES) visant à promouvoir et à démontrer l'intérêt de l'usage de la donnée spatiale en apportant un soutien aux actions de R&D, de prototypage ou de démonstration pour des utilisateurs. Ceci a facilité des collaborations rapprochées entre scientifiques et utilisateurs. Enfin, des Centres d'Expertise Scientifique (CES) développés dans le cadre de THEIA regroupent différentes équipes de laboratoires nationaux menant des travaux de recherche et développant des méthodes innovantes de mobilisation des données satellitaires, aéroportées et *in situ* sur des problématiques portant, entre autres, sur les territoires. L'objectif est de fournir des outils ou des produits validés et reproductibles pour les collectivités, services de l'État et autres utilisateurs. Cette structuration est à la fois un constat de réussite d'une communauté scientifique impliquée dans le développement d'outils et de produits à forte valeur ajoutée, mais aussi un constat d'échec puisque la nécessité d'attirer, de convaincre et d'accompagner les acteurs territoriaux est toujours là. Cela est d'ailleurs attesté par les divers workshops, colloques, ateliers qui proposent de mieux articuler les services issus de l'imagerie et les besoins et pratiques des acteurs finaux.

Nous pouvons aussi confirmer que l'image satellite apporte une vision spatio-temporelle des territoires urbains avec non seulement des catégories d'occupation du sol cohérentes avec les principaux domaines d'application, notamment pour le suivi de la végétation, par exemple, mais aussi la possibilité de mises à jour plus soutenues par la revisite des prises de vue. Il est cependant bien difficile d'affirmer qu'elle a eu un impact profond sur les pratiques territoriales. Contrairement à la pénétration de l'information géographique dans les services des

collectivités par le biais du support technologique que sont les SIG, l'image n'a pas eu un même succès, restant confinée au sein de la communauté scientifique, de certains bureaux d'étude spécialisés ou d'organismes d'État. Par contre, la technicité indispensable au traitement d'images a entraîné l'émergence de sociétés, de bureaux d'étude ou de *start-ups* dont l'appui est nécessaire aux collectivités. Un appui semble toujours poser problème, celui de la formation, malgré des cursus ou des spécialisations proposées dans les universités ou grandes écoles.

Pour résumer, l'image est un support majeur par ce qu'il donne à voir avec de plus en plus de détails, mais il est peu utilisé dans les pratiques quotidiennes aux échelles mobilisées par les services d'État, et peu de collectivités ont en leur sein les compétences métiers nécessaires. Ceci entraîne une distanciation plus importante à cette source d'information spatiale. Et comme le précise Péribois (2008), « ce n'est pas tant la nature de la représentation spatiale qui la rend accessible mais bien la manière dont elle est mobilisée ». Ainsi, cette appropriation de l'imagerie est encore à améliorer ; la formation et l'accompagnement sont toujours essentiels ainsi que la réflexion collective en amont de toute utilisation.

Quels sont les impacts de cette révolution numérique auxquels nous faisons face ? Plus d'images (de tous types), plus d'informations spatiales, plus de capacités de traitement, plus d'acteurs ... Nous faisons face à des enjeux plus nombreux car « plus visibles », sommes-nous mieux armés pour proposer quelques solutions ?

L'imagerie s'est positionnée comme incontournable dans bien des domaines (agriculture, foresterie, océanographie...) et elle reste un média de support d'information sans égal d'autant plus que l'offre actuelle embrasse une multitude de possibles. La transition numérique actuelle nous offre la possibilité d'un regard sur les évolutions d'un territoire à analyser ou à modéliser (Houet, 2015) pour en simuler les transformations possibles. Cependant, il s'avère que l'image seule n'est pas un vecteur de décision mais un élément de représentation du territoire ou de ses modifications, qui doit être accompagné d'autres informations pour gagner du sens, être soumis à des traitements spécifiques permettant, par exemple, la construction d'indicateurs

environnementaux accompagnant des préoccupations environnementales. Dans ce cas, elle peut être un atout dans la prise de décision. Cela dit, on pourrait se questionner sur cette assertion dans des pays ne bénéficiant pas de données diversifiées, massives et pour lesquels l'image est un support essentiel pour une prise de connaissance des dynamiques du territoire (pour bâtir un parcellaire ou suivre la déforestation) ou pour réduire l'asymétrie de disponibilité des informations spatiales.

Durant les dernières décennies, le paysage de l'observation de la Terre et des Sciences de la Donnée a beaucoup changé. Les modèles économiques ont favorisé l'émergence de sociétés privées ; les multinationales de l'information ont bouleversé les modalités de collecte, d'échange, d'interactivité. Elles ont modifié le schéma classique « émetteur/récepteur ». Le prisme de l'utilisateur a évolué, « d'utilisateur » il est devenu « acteur » puis « objet ». La transition numérique a créé de nouveaux pans de développement économique et dans le domaine de l'information spatiale très spécifiquement, puisque celle-ci a pénétré tous les foyers ou presque, du fait de la géolocalisation.

L'information spatiale a ainsi connu une percée énorme du fait de la multiplication des supports de visualisation et d'interactivité, et d'applications fondées sur la géolocalisation. La poussée des multinationales dans le domaine, par exemple la possibilité de traitement dans les nuages, conduit à réfléchir à des niches pouvant potentiellement conserver ou trouver une plus-value dans la relation scientifiques/acteurs. Cette réflexion est menée au sein de plusieurs organismes, comme l'IGN-France pour lequel le positionnement de l'État par rapport à l'*Open Data*, induit une réflexion à la fois sur le rôle de l'institution et sur le modèle économique garantissant sa pérennité (Faure-Muntian, 2018).

IV. SOMMES-NOUS MIEUX ARMÉS ?

La question reste posée. Les développements méthodologiques actuels dans le domaine des données massives et de l'apprentissage (*Deep learning*, *IA*, ...) démontrent le dynamisme réel des communautés impliquées dans l'observation de la Terre, l'étude des ressources et l'évolution des milieux.

Les programmes comme COPERNICUS de l'Agence Spatiale Européenne ouvrent la porte à

l'usage complémentaire de sources différentes et à des séries temporelles faciles d'accès par divers portails. Il convient maintenant de continuer à développer des méthodes, à former et à accompagner les utilisateurs et les décideurs notamment dans le choix des sources et des approches de traitements selon les finalités envisagées, mais aussi dans la compréhension des produits de la recherche. Leur implication rejoint une aspiration sociétale actuelle pour plus de prise de participation à la décision territoriale de la part des habitants. En les associant plus pour valider, enrichir, décrypter les informations, une interaction efficace peut être mise en place. Là encore, au travers des SIG et de la *géographie volontaire* ou d'une *production participative* pour valider les produits ou accompagner les méthodes d'apprentissage, des opportunités favorisant le rapprochement entre des communautés et des collectifs variés (scientifiques, utilisateurs, experts, praticiens, ...) peuvent se développer. L'analyse fine des gains opérés par l'accès facilité aux images, ou aux produits spécifiques dits « sur étagère » ou réalisés à distance, ou encore l'accompagnement des utilisateurs est à faire. Néanmoins, certains auteurs (Jabbour, 2018) ont déjà tenté une évaluation de l'intérêt socio-économique de l'accès aux données.

À ce jour, les dimensions de la transition numérique ne sont pas toutes envisagées, les bouleversements liés à cette transition au sein d'une société en mutation sont difficiles à prévoir. Cependant, l'utilisation de plus en plus étendue de l'information géographique conduit à se projeter vers des usages dynamiques, associant recherche des organismes d'État, utilisateurs, R&D des entreprises. Cela permettrait d'envisager de nouveaux défis et de nouvelles réalisations allant du drone « *low-cost* » à des systèmes aériens complémentaires et connectés (drones, ballons, ailes, avions) fournissant des services liés à des données multisources en support à des prises de décision sur les territoires en cas de risques, d'intervention ou de planification territoriale et, cela, à des échelles spatiales et temporelles emboîtées. La compagnie Airbus (*Aerial and DroneBase*) en est une belle illustration. Elle propose cette complémentarité entre différentes sources d'information dans sa solution de services multisources associant image satellite, vol aéroporté, drone, au travers de son application *DroneBase*. Le « *NewSpace* » est certainement la future rupture de ces prochaines années profitant des avancées dans le domaine de l'observation de la Terre et de la multiplication des

moyens d'acquisition, de traitements et d'interaction avec les utilisateurs.

NOTES

¹Infrastructure Nationale d'Information Géographique (France) : Depuis une dizaine d'années, des plateformes locales d'échange et de partage de données géographiques se sont multipliées principalement aux niveaux régional et départemental. Elles associent de nombreux partenaires, principalement des services de l'État et/ou des collectivités territoriales, qui décident de mutualiser, sur un territoire donné, certaines informations géographiques qu'ils détiennent et qu'ils souhaitent partager.

²Directive 2007/2/CE du 14 mars 2007, dite directive Inspire, vise à établir une infrastructure d'information géographique dans la communauté européenne pour favoriser la protection de l'environnement.

³GEOSUD est une infrastructure d'accès aux images satellites. Elle vise à renforcer en France l'utilisation de l'imagerie satellite par les chercheurs, les acteurs des politiques publiques et, sous conditions, les entreprises privées, dans les domaines de l'environnement, de l'agriculture et de l'aménagement du territoire (<http://ids.equipe-geosud.fr>).

⁴THEIA ART CES : <http://www.theia-land.fr>.

⁵Kalideos : <https://www.kalideos.fr/drupal/fr>.

BIBLIOGRAPHIE

- Banzhaf, E., Grescho, V. & Kindler, A. (2009). Monitoring urban to peri-urban development with integrated remote sensing and GIS information: a Leipzig, Germany case study. *International Journal of Remote Sensing*, 30(7), 1675-1696. DOI : [10.1080/01431160802642297](https://doi.org/10.1080/01431160802642297)
- Bonn, F. & Rochon, G. (1992). *Précis de Télédétection. Volume 1, Principes et méthodes*. AUPELF, Presses de l'Université du Québec, Québec, 486 p.
- Braun, M. & Herold, M. (2004). Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of ASTER data in the Cologne-Bonn region (Germany). *Proc. SPIE 5239, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III*, 11 p. DOI : [10.1117/12.510978](https://doi.org/10.1117/12.510978)
- Cleve, C., Kelly, M., Kearns, F.R. & Morlitz, M. (2008). Classification of the wildland-urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography. *Computers Environment and Urban Systems*, 32(4), 317-326. DOI : [10.1016/j.compenurbsys.2007.10.001](https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2007.10.001)
- Cockx, K., Van de Voorde, T. & Canters, F. (2014). Quantifying uncertainty in remote sensing-based urban land-use mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 31, 154-166. DOI : [10.1016/j.jag.2014.03.016](https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.03.016)
- Corgne, S. (2014). *Étude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par télédétection et fusion d'informations*. Habilitation à diriger des recherches en Géographie. Université Rennes 2, <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01240394>.
- Croft, T.A. (1978). Night time images of the earth from space. *Scientific American*, 239(1), 86-101. [10.1038/scientificamerican0778-86](https://doi.org/10.1038/scientificamerican0778-86)
- Croft, T.A. (1979). *The brightness of lights on Earth at night digitally recorded by DMSP satellite*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, USGS Numbered Series, pp. 80-167, <https://pubs.usgs.gov/of/1980/0167/report.pdf>
- Deng, C.B. & Wu, C.S. (2012). BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 127, 247-259. DOI : [10.1016/j.rse.2012.09.009](https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.009)
- Deville, Y. (2011). *Signaux temporels et spatiotemporels - Analyse des signaux, théorie de l'information, traitement d'antenne, séparation aveugle de sources (niveau C)*. Ellipses Éditions, Coll. Technosup, Paris, France, 312 p.
- Donnay, J.P., Barnsley, M.J. & Longley, P.A. (2001). Remote sensing and urban analysis. In *Remote sensing and Urban analysis*. Donnay J.P., Barnsley M.J., Longley P.A. (eds). GISDAD9, Taylor and Francis., pp. 1-18, [10.1201/9781482268119](https://doi.org/10.1201/9781482268119)
- Faure-Muntian, V. (2018). *Les données Géographiques Souveraines. Rapport au gouvernement. Mission sur la transformation de la production, de l'entretien et de la diffusion des données géographiques souveraines*. Rapport. 68 p. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Rapport_Donnees_GeographiquesSouveraines.pdf
- Franci, F., Lambertini, A. & Bitelli, G. (2014). Integration of different geospatial data in urban areas: a case of study. *Proc. SPIE 9229, Second International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*, 92290P (12 August 2014). DOI : [10.1117/12.2066614](https://doi.org/10.1117/12.2066614)
- Harb, M., De Vecchi, D. & Dell'Acqua, F. (2015). Automatic hybrid-based built-up area extraction from Landsat 5, 7, and 8 data sets. *Proc. Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, Lausanne, pp. 1-4, DOI : [10.1109/JURSE.2015.7120475](https://doi.org/10.1109/JURSE.2015.7120475)
- Houet, T. (2015). Usages des modèles spatiaux pour la prospective. *Revue internationale de géomatique*, 25(1), 123-143. DOI : [10.3166/RIG.25.123-143](https://doi.org/10.3166/RIG.25.123-143)
- IAURIF (2012). *Mos 1982-2012. Volume 1. Du ciel à la carte*. Les Cahiers, n° 168, 96 p. https://www.iau-idf.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1039/Cahiers_no168_Mos_1982_2012_Volume_1.pdf
- Jabbour, C., Rey-Valette, H., Maurel, P. & Salles, J.M. (2018). Spatial data infrastructure management: A two-sided market approach for strategic reflections. *International Journal of Information Management*, 45, 69-82. DOI : [10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.022](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.022)

- Joliveau, T. (2011). Le géoweb, un nouveau défi pour les bases de données géographiques. *L'Espace géographique*, 2(40), 154-163. [10.3917/eg.402.0154](https://doi.org/10.3917/eg.402.0154)
- Karoui, M.S., Benhalouche, F., Deville, Y., Djerriri, K., Briottet, X. & Le Bris, A. (2018). Detection and area estimation for photovoltaic panels in urban hyperspectral remote sensing data by an original NMF-based unmixing method. *Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2018)*, 20-27 July 2018, Valencia, pp. 1640-1643.
- Kaspersen, P.S., Fensholt, R. & Drews, M. (2015). Using Landsat Vegetation Indices to Estimate Impervious Surface Fractions for European Cities. *Remote Sensing*, 7(6), 8224-8249. DOI : [10.3390/rs70608224](https://doi.org/10.3390/rs70608224)
- Laporterie-Déjean, F., de Boissezon, H., Flouzat, G. & Lefèvre-Fonollosa, M.J. (2005). Thematic and statistical evaluations of five panchromatic/multispectral fusion methods on simulated PLEIADES-HR images. *Information Fusion*, 6(3), 193-212. DOI : [10.1016/j.inffus.2004.06.006](https://doi.org/10.1016/j.inffus.2004.06.006)
- Li, W.F., Ouyang, Z.Y., Zhou, W.Q. & Chen, Q.W. (2011). Effects of spatial resolution of remotely sensed data on estimating urban impervious surfaces. *Journal of Environmental Sciences*, 23(8), 1375-1383. DOI : [10.1016/s1001-0742\(10\)60541-4](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(10)60541-4)
- Liu, H. & Zhou, Q. (2004). Accuracy analysis of remote sensing change detection by rule-based rationality evaluation with post-classification comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 25(5), 1037-1050. DOI : [10.1080/0143116031000150004](https://doi.org/10.1080/0143116031000150004)
- Liu, G., Wang, J., Ma, L. & Gao, W. (2016). Research on extraction method of urban impervious surface information. *Proc. of the 23rd International Conference on Geoinformatics*, 2016-January, Wuhan, pp. 1-4. DOI : [10.1109/geoinformatics.2015.7378600](https://doi.org/10.1109/geoinformatics.2015.7378600)
- Maggiore, E., Tarabalka, Y., Charpiat, G. & Alliez, P. (2017). High-resolution image classification with convolutional networks. *Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2017)*, Jul 2017, Fort Worth, United States., 4 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01660754>
- Milesi, C., Elvidge, C.D., Nemani, R.R. & Running, S.W. (2002). Impact of urban sprawl on net primary productivity in the Southeastern United States. *Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2002)*, Toronto, Ontario, Canada, 5, 2971-2973. DOI : [10.1109/IGARSS.2002.1026839](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2002.1026839)
- Pandey, A.C., Kumar, A. & Jeyaseelan, A.T. (2013). Urban built-up area assessment of Ranchi Township using Cartosat-I stereopairs satellite images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41(1), 141-155. DOI : [10.1007/s12524-012-0209-4](https://doi.org/10.1007/s12524-012-0209-4)
- Péribois, C. (2008). *Usages de l'information géographique dans la gestion participative du territoire : regards croisés en France, en Belgique et au Québec*. Thèse de doctorat en Géographie, Université d'Angers, 376 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00452418>
- Puissant, A., Rougier, S. & Stumpf, A. (2014). Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 235-245. DOI : [10.1016/j.jag.2013.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.07.002)
- Rougier, S., Puissant, A., Stumpf, A. & Lachiche, N. (2016). Comparison of sampling strategies for object-based classification of urban vegetation from VHR satellite images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 51, 60-73. DOI : [10.1016/j.jag.2016.04.005](https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.04.005)
- Somers, B., Hermy, M., De Wulf, R., Van Coillie, F., Canters, F., Verbeiren, B., Bauwens, W., Van der Linden, S., Mac Fadden, J. & Roberts, D. (2014-2018). Urban Ecosystem Analysis supported by Remote sensing (URBANEARs). Projet de recherche SR/00/307 (Action de recherche SR), <https://www.belspo.be/>
- SVB-OCS-NT (2013). Nomenclature. Couche occupation du sol à grande échelle de l'IGN. 27 p., http://pro.ign.fr/sites/default/files/SBV-OCS-NT_Nomenclature_%20IGN%20OCS%20GE_Ed1.2.pdf
- Thunig, H., Wolf, N., Naumann, S., Siegmund, A. & Jurgens, C. (2010). Automated LULC classification of VHR optical satellite data in the context of urban planning. In Addink & Van Coillie (eds.), *Geobia 2010: Geographic Object-Based Image Analysis*, ISPRS Archives, Volume XXXVIII-4/C7, 6 p., http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-C7/pdf/Thunig_38.pdf
- Van de Voorde, T., De Genst, W. and Canters, F. (2007). Improving Pixel-based VHR Land-cover Classifications of Urban Areas with Post-classification Techniques. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(9), 1017-1027. <https://www.asprs.org/>
- Van de Voorde, T., Jacquet, W. & Canters, F. (2011). Mapping form and function in urban areas: An approach based on urban metrics and continuous impervious surface data. *Landscape and Urban Planning*, 102(3), 143-155. DOI : [10.1016/j.landurbplan.2011.03.017](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.017)
- Van de Voorde, T., van der Kwast, J., Poelmans, L., Canters, F., Binard, M., Cornet, Y., Engelen, G., Uljee, I., Shahumyan, H., Williams, B., Convery, S. & Lavallo, C. (2016). Projecting alternative urban growth patterns: The development and application of a remote sensing assisted calibration framework for the Greater Dublin Area. *Ecological Indicators*, 60, 1056-1069. DOI : [10.1016/j.ecolind.2015.08.035](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.035)
- Vanderhaegen, S., Munter, K. & Canter, F. (2015). High resolution modelling and forecasting of soil sealing density at the regional scale. *Landscape and Urban Planning*, 133, 133-142. DOI : [10.1016/j.landurbplan.2014.09.016](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.016)

- Vanderhaegen, S. & Canters, F. (2016). Use of Earth observation for monitoring soil sealing trends in Flanders and Brussels between 1976 and 2013. *Belgeo. Revue belge de géographie*, 2, 23. DOI : [10.4000/belgeo.18025](https://doi.org/10.4000/belgeo.18025)
- Weng, Q. & Carlson, T.N. (2012). Remote sensing of urban environments: Special issue. *Remote Sensing of Environment*, 117(2), 1-2. DOI : [10.1016/j.rse.2011.08.005](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.005)
- Wu, C. (2004). Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. *Remote Sensing of Environment*, 93(4), 480-492. DOI : [10.1016/j.rse.2004.08.003](https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.08.003)
- Yang, H.M., Meng, Q.J., Cao, W.B. & Xu, X.P. (2011). Remote Sensing Dynamic Monitoring and Driving Force Analysis of Land Use in Xinjiang Regimental Farm. *Proc. SPIE 8285, International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2011)*, 82850W (30 September 2011), 13 p. DOI : [10.1117/12.913367](https://doi.org/10.1117/12.913367)

Coordonnées de l'auteure :

Christiane WEBER
UMR TETIS
CNRS Université de Montpellier
christiane.weber@cnrs.fr