

# L'imagerie

# dans ArcGIS<sup>®</sup>

Nouvelle vue. Nouvelle vision.



Edité par Clint Brown et Christian Harder



# L'imagerie

dans **ArcGIS**<sup>®</sup>

Nouvelle vue. Nouvelle vision.

Esri Press  
Redlands, Californie

Esri Press, 380 New York Street, Redlands, Californie 92373-8100  
Copyright © 2016 Esri  
Tous droits réservés.

Imprimé aux Etats-Unis  
19 18 17 16 15 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Les informations contenues dans ce document sont la propriété exclusive d'Esri sauf indication contraire. Ce programme est protégé par la loi du copyright en vigueur aux Etats-Unis, par les lois du copyright des pays d'origine et par les lois, accords et/ou conventions internationaux applicables. Sauf autorisation expresse et écrite d'Esri, les propriétaires de cet ouvrage en interdisent la reproduction ou la communication, totales ou partielles, sous quelque forme, par quelque moyen et sur quelque support que ce soit, électronique, mécanique, photocopie, enregistrement ou stockage sur système d'informations. Toute demande est à adresser à : Contracts and Legal Services Manager, Esri, 380 New York Street, Redlands, Californie 92373-8100, USA.

Les informations que contient ce document sont passibles de modification sans préavis.

Droits restreints/limités du gouvernement des Etats-Unis : la totalité des logiciels, de la documentation et des données fournis sont soumis aux clauses de l'Accord de Licence. Les droits de licence commerciaux stipulés dans l'Accord de licence régissent strictement l'utilisation, la reproduction ou la divulgation du logiciel, des données et de la documentation par le détenteur de la licence. Le gouvernement des Etats-Unis ne doit en aucun cas acquérir de droits supérieurs aux DROITS RESTREINTS/LIMITES. L'utilisation, la duplication et la communication par le gouvernement des Etats-Unis sont soumises aux restrictions définies dans les règlements FAR §52.227-14 Alternatives I, II et III (DECEMBRE 2007) ; FAR §52.227-19(b) (DECEMBRE 2007) et/ou FAR §12.211/12.212 (Commercial Technical Data/Computer Software) ; DFARS §252.227-7015 (DEC 2011) (Technical Data – Commercial Items) et/ou DFARS §227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation), selon le cas. Le prestataire/fabricant est Esri, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.

@esri.com, 3D Analyst, ACORN, Address Coder, ADF, AML, ArcAtlas, ArcCAD, ArcCatalog, ArcCOGO, ArcData, ArcDoc, ArcEdit, ArcEditor, ArcEurope, ArcExplorer, ArcExpress, ArcGIS, arcgis.com, ArcGlobe, ArcGrid, ArcIMS, ARC/INFO, ArcInfo, ArcInfo Librarian, ArcLessons, ArcLocation, ArcLogistics, ArcMap, ArcNetwork, ArcNews, ArcObjects, ArcOpen, ArcPad, ArcPlot, ArcPress, ArcPy, ArcReader, ArcScan, ArcScene, ArcSchool, ArcScripts, ArcSDE, ArcSdl, ArcSketch, ArcStorm, ArcSurvey, ArcTIN, ArcToolbox, ArcTools, ArcUSA, ArcUser, ArcView, ArcVoyager, ArcWatch, ArcWeb, ArcWorld, ArcXML, Atlas GIS, AtlasWare, Avenue, BAO, Business Analyst, Business Analyst Online, BusinessMAP, CityEngine, CommunityInfo, Database Integrator, DBI Kit, EDN, Esri, esri.com, Esri—Team GIS, Esri—The GIS Company, Esri—The GIS People, Esri—The GIS Software Leader, FormEdit, GeoCollector, Geographic Design System, Geography Matters, Geography Network, geographynetwork.com, Geoloqi, Geotrigger, GIS by Esri, gis.com, GISData Server, GIS Day, gisday.com, GIS for Everyone, JTX, MapIt, Maplex, MapObjects, MapStudio, ModelBuilder, MOLE, MPS—Atlas, PLTS, Rent-a-Tech, SDE, SML, Sourcebook•America, SpatialLABS, Spatial Database Engine, StreetMap, Tapestry, le logo ARC/INFO, le logo ArcGIS Explorer, le logo ArcGIS, le logo ArcPad, le logo de la mappemonde Esri, le logo Esri Press, The Geographic Advantage, The Geographic Approach, le logo GIS Day, le logo MapIt, The World's Leading Desktop GIS, Water Writes, et Your Personal Geographic Information System sont des marques commerciales, des marques de service ou des marques déposées d'Esri aux Etats-Unis, dans la Communauté européenne ou dans certaines autres juridictions. CityEngine est une marque déposée de Procedural AG qui est distribuée sous licence par Esri. Les autres sociétés et produits ou services cités dans ce document peuvent être des marques commerciales, des marques de service ou des marques déposées appartenant à leur propriétaire respectif.

Demandez les titres Esri Press dans votre librairie locale ou commandez en composant le 800-447-9778. Vous pouvez également acheter en ligne sur [esri.com/esripress](http://esri.com/esripress). A l'extérieur des Etats-Unis, contactez votre distributeur Esri local ou achetez en ligne sur [eurospanbookstore.com/esri](http://eurospanbookstore.com/esri).

Les titres Esri Press sont distribués dans le commerce par les sociétés suivantes :

*En Amérique du Nord :*  
Ingram Publisher Services  
Numéro de téléphone gratuit : 800-648-3104 Numéro de télécopie gratuit : 800-838-1149  
Adresse électronique : [customerservice@ingrampublisherservices.com](mailto:customerservice@ingrampublisherservices.com)

*Au Royaume-Uni, en Europe, au Moyen-Orient, en Afrique, en Asie et en Australie :*  
Eurospan Group, 3 Henrietta Street, London WC2E 8LU, Royaume-Uni  
Téléphone : 44(0) 1767 604972 Télécopie : 44(0) 1767 601640  
Adresse électronique : [eurospan@turpin-distribution.com](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

**Sauf mention contraire, toutes les images sont reproduites avec la permission d'Esri.**

**Sur la page de couverture :** *ce portrait numérique de la Terre s'inspire des images de l'ère d'Apollo de la planète bleue vue de l'espace. Pour créer cette image, les chercheurs du Laboratory for Atmospheres du centre Goddard Space Flight Center ont associé des données d'un satellite géostationnaire opérationnel d'étude de l'environnement (GOES, Geostationary Operational Environmental Satellite), du capteur SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) et des satellites POES (Polar Orbiting Environmental Satellites) à un modèle d'altitude de l'USGS de la topographie terrestre. Incroyablement détaillée, l'hémisphère ouest de la planète a été redéfinie de façon à représenter en vert la végétation dense et en jaune la végétation clairsemée, tandis que les sommets des montagnes et les profondeurs des vallées ont été exagérés 50 fois pour rendre visible le relief vertical. L'ouragan Linda est le cyclone tropical qui a touché la côte ouest de l'Amérique du Nord.*

**Sur la dernière de couverture :** *l'astronaute William Anders et le reste de l'équipage d'Apollo 8 ont été les premiers humains à quitter l'orbite terrestre et à entrer dans l'orbite lunaire la veille de Noël, en 1968. Cette image emblématique prise par Anders avec une caméra Hasselblad a étonné le monde lors de sa publication.*

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> De Lawrie Jordan	vi	<b>Chapitre 6</b> <b>Création de mondes miroir</b> Emergence d'une nouvelle dimension grâce à l'imagerie 3D	91
<b>Fonctionnement du livre</b>	vii		
<b>Chapitre 1</b> L'imagerie, une intelligence visible Une pierre de Rosette géographique	1	<b>Chapitre 7</b> <b>Imagerie de la 4e dimension</b> La machine à remonter le temps la plus efficace au monde	113
<b>Chapitre 2</b> La nature de la télédétection Informations recueillies à distance	19	<b>Chapitre 8</b> <b>Les Big Data essentielles</b> La gestion des informations d'imagerie est un défi digne de Big Data	133
<b>Chapitre 3</b> Définition de l'imagerie La synergie du SIG et de l'imagerie	35	<b>Chapitre 9</b> <b>Le futur commence maintenant</b> La carte du futur est une image	149
<b>Chapitre 4</b> Perception de l'imperceptible Les capteurs nous confèrent des yeux qui dépassent les capacités humaines	51	<b>Contributeurs et remerciements</b>	165
<b>Chapitre 5</b> Transformation de l'imagerie en informations Analyse de l'imagerie pour mieux comprendre	73	<b>Crédits</b>	166

# Avant-propos

Une relation particulière a toujours existé entre le SIG et la télédétection. Cela remonte au tout début de notre technologie de l'information moderne. Dans les années 1960 et 1970, les systèmes informatiques des SIG étaient des ordinateurs centraux volumineux, coûteux et très lents qui utilisaient des cartes perforées, mais presque toutes les couches de données de base dans ces systèmes anciens provenaient directement ou indirectement de l'imagerie. Dès le début, le SIG et la télédétection ont été complémentaires, comme les deux faces d'une même pièce de monnaie. Ils évoluaient ensemble.

En 1972, une révolution s'est produite avec le lancement de Landsat, le premier satellite d'imagerie d'observation commerciale de la Terre. Il tournait constamment en orbite autour de la Terre et capturait une nouvelle image du même lieu tous les 16 jours environ. De par son altitude très élevée, il a permis d'obtenir une image totalement différente de notre planète et de ses modèles. Il nous a offert non seulement une nouvelle vue, mais également une nouvelle vision de l'avenir potentiel du SIG. Il a initié une révolution en matière d'observation commerciale de la Terre qui continue de nos jours et explose désormais avec des centaines (et bientôt des milliers) de satellites plus petits, de microsattelites, de caméras vidéo situées dans l'espace, de drones à haute altitude, etc.

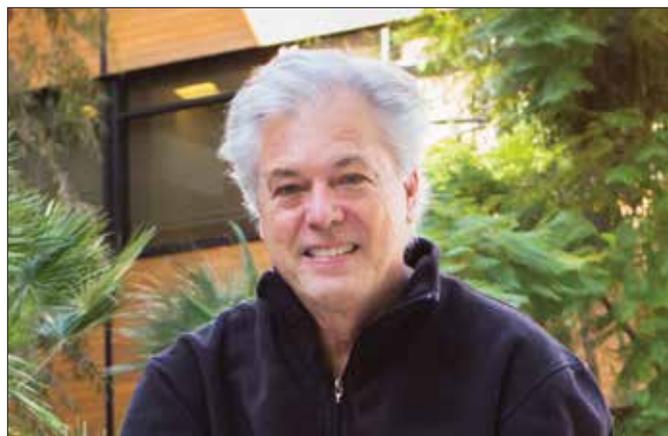
Nous pouvons alors nous poser la question suivante : quelle est la prochaine étape pour le SIG et la télédétection (ces deux proches alliés depuis plus de 50 ans) ?

D'une part, l'accent est désormais mis sur la simplicité et la vitesse. Il est évident que l'avenir appartient aux procédés simples et rapides. Nous constatons que la technologie moderne exploite cet incroyable faisceau de capteurs mondialement répartis dans ce qui est communément désigné sous le terme de l'Internet des objets, un vaste ensemble de flux d'informations dynamiques et réelles qui alimentent et constituent le cœur du SIG Web. En outre, ce réseau fonctionnant en temps réel, il nous permet d'accéder à ce que nous pourrions appeler l'« Internet de tous mes objets » ; le tout sur nos propres appareils via un nouveau modèle d'informations géographiques.

Même si la technologie qui sous-tend ce concept est avancée, nous la concevons de manière pratique parce que nous comprenons les images. Comme l'a dit Einstein : « Si je ne vois pas, je ne comprends pas ». Nous savons quelque chose parce que nous le voyons.

Et désormais, toutes ces évolutions rapides qui associent l'imagerie et l'analyse spatiale permettent d'ouvrir de nouveaux chapitres dans l'histoire du SIG, tandis que la société s'éveille à la puissance de la géographie et à la compréhension intuitive du fait que l'imagerie nous aide à « voir » dans toutes ses formes.

Nous aimons à dire que la carte du futur est une image intelligente.



*Lawrie Jordan est le directeur de l'imagerie et de la télédétection d'Esri. Il est un pionnier dans le domaine du traitement d'images et de la télédétection.*



**Vidéo : La carte du futur est une image intelligente**

# Fonctionnement du livre

Regardez les exemples de ce livre prendre vie sur [TheArcGISImageryBook.com](http://TheArcGISImageryBook.com)

L'objectif de ce livre est de vous montrer (professionnel du SIG, développeur d'application, concepteur Web ou pratiquement n'importe quel autre type de technologue) comment devenir un expert du SIG et de l'imagerie. Autrement dit, vous apprendrez à appliquer les données d'image au sein d'un SIG d'une manière plus judicieuse, plus habile et plus performante. L'imagerie a soudainement pris une grande importance, et les personnes qui sont passées maîtres dans l'art de la détecter, de l'analyser et de comprendre sa signification réelle vont être très prisées dans les années à venir.

## Public

Ce livre s'adresse à plusieurs publics potentiels. Le premier est la communauté cartographique et SIG professionnelle du monde entier, les personnes qui utilisent quotidiennement des cartes et des données géospatiales, tout particulièrement celles qui souhaitent aller plus loin avec l'imagerie dans leurs applications SIG. Si vous êtes chercheur, cartographe, urbaniste, si vous faites partie de l'équipe d'une agence gouvernementale ou si vous êtes professionnel du SIG, vous utilisez peut-être déjà le Web pour mettre à la disposition du public des informations géographiques. Vous reconnaissez peut-être déjà instinctivement la valeur inhérente de l'imagerie comme technologie de capture de données qui s'intègre parfaitement aux données géospatiales vectorielles traditionnelles.

Les personnes qui débutent dans le domaine du SIG et qui s'intéressent à ce qu'il est possible de faire avec l'imagerie (pilotes de drones amateurs qui cartographient des campus universitaires, promoteurs immobiliers qui planifient des projets de rénovation ou scientifiques ou blogueurs qui informent sur les changements climatiques et qui s'intéressent au SIG via l'imagerie) constituent un autre public.

Enfin, ce livre intéressera également les gens qui aiment simplement explorer le monde et regarder des images fascinantes de la Terre. Pour ces géographes « de salon » et les autres, ce livre et le complément électronique accessible sur [TheArcGISImageryBook.com](http://TheArcGISImageryBook.com) offrent un grand nombre d'images magnifiques et parfois troublantes, ainsi que

des liens vers des cartes et applications Web reposant sur l'imagerie qui élaborent des récits passionnants sur notre planète. Les seules conditions préalables pour savourer ce livre sont le souhait de mieux comprendre le monde via l'imagerie et la cartographie et la volonté de ne pas ménager ses efforts.

## Apprendre en agissant

Dans ce livre, vous agissez autant que vous lisez. Tout ce dont vous avez besoin pour le suivre est d'un ordinateur personnel avec un accès Web. L'aventure commence à partir du moment où vous ouvrez les liens, explorez les cartes et applications que d'autres personnes ont conçues et suivez les leçons pour créer vos propres cartes et applications. Ces ressources (plus de 200 cartes, applications, vidéos et images en tout) sont accessibles par hyperlien sur [TheArcGISImageryBook.com](http://TheArcGISImageryBook.com).

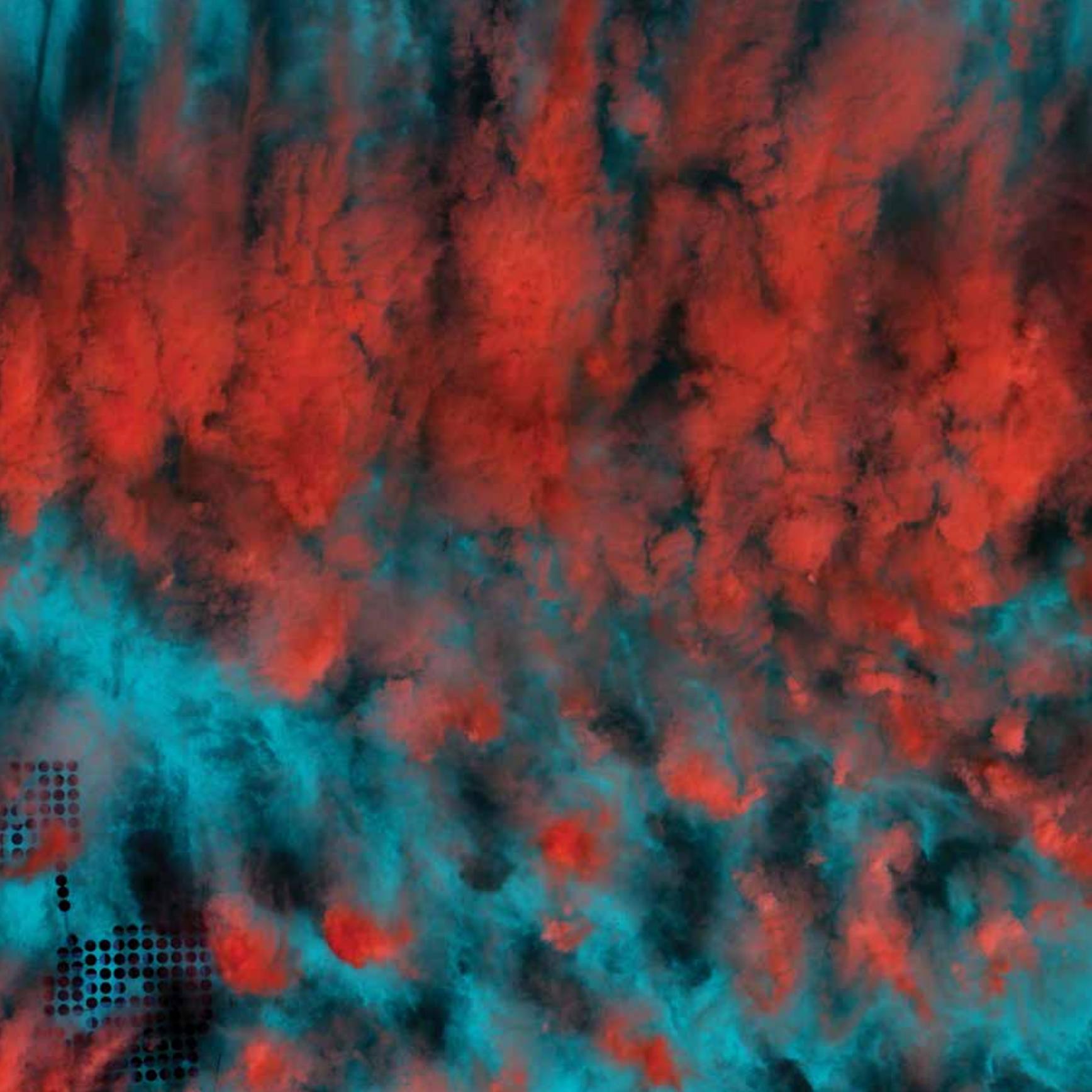
Ce livre, qui explique comment appliquer l'imagerie dans ArcGIS, la plateforme SIG Web, est le second d'une série de titres de différentes notions. Si vous débutez dans le domaine du SIG, vous pouvez consulter le premier de la série, intitulé *Le livre d'ArcGIS : 10 notions liées à l'application de la géographie au monde*. Bien que ce volume soit conçu comme un ouvrage autonome, vous serez nombreux à trouver intéressant le livre d'origine.

## Avertissement sur le contenu interactif

Lorsque vous rencontrez dans le texte des références à du contenu Web interactif, vous devez utiliser la version Web ou la version PDF interactive de ce livre sur [www.thearcgisimagerybook.com](http://www.thearcgisimagerybook.com).



*Ces modèles nuageux projettent des ombres étranges sur le paysage du sud de l'Egypte. Les nuages sont représentés en rouge et le désert situé dessous en bleu pastel dans ce rendu infrarouge. Les cercles noirs sont des fermes irriguées par un système de pivot central.*





# L'imagerie, une intelligence visible

## Une pierre de Rosette géographique

La technologie SIG (système d'information géographique) présente un caractère à la fois intuitif et cognitif. Elle allie des fonctions de visualisation et de cartographie puissantes à de solides outils de modélisation et d'analyse. L'observation de la Terre par télédétection (généralement simplement désignée dans les cercles SIG par le terme d'*imagerie*) constitue la référence visuelle incontestée au cœur du SIG. Elle offre la clé, la pierre de Rosette géographique, qui lève les mystères du fonctionnement de la planète et lui donne vie. Lorsque nous voyons des photos de la Terre vue du ciel, nous comprenons immédiatement la portée du SIG.

# Une meilleure compréhension grâce à l'imagerie

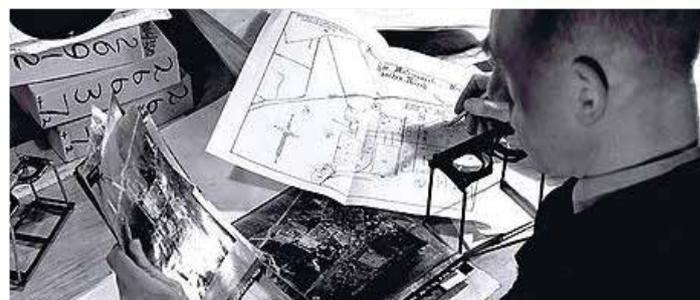
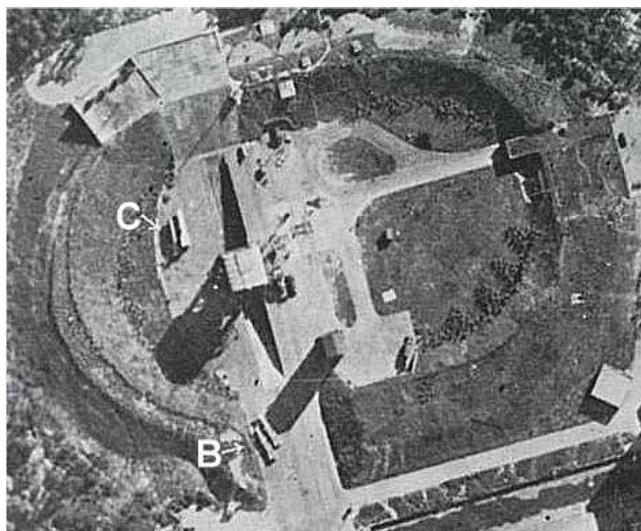
Il faut non seulement le voir pour le croire, mais également pour le percevoir

L'histoire de l'imagerie en tant qu'outil d'observation de la Terre commence par la photographie, et dans la première partie du XXe siècle, la photographie a connu des bouleversements extraordinaires et a été adoptée par un large public. Les photos ont offert à l'humanité non seulement un nouveau genre de représentation visuelle accessible, mais également un changement de perspective. Le recours à la photographie en couleur s'est développé. Les films et la télévision ont évolué pour prendre l'apparence que nous connaissons aujourd'hui. Ensuite, les humains ont pris leur envol à bord d'avions et ont pu, pour la première fois, prendre des photos de la Terre vue du ciel. Ce fut une époque de transformation dans le domaine de la cartographie et de l'observation qui a permis de voir le monde d'une façon entièrement inédite.

## Seconde Guerre mondiale : reconnaissance et collecte de renseignements

Pendant la Deuxième Guerre mondiale, des avancées majeures dans l'utilisation de l'imagerie pour le renseignement ont vu le jour. Les forces alliées ont commencé à utiliser des photographies décalées de la même zone d'intérêt et les ont associées pour générer des paires de photos stéréoscopiques afin d'améliorer leurs activités de collecte de renseignements. Au cours d'un des nombreux exercices de renseignement nommé Opération Crossbow, des pilotes embarqués dans des avions (si adaptés à la prise de photographies qu'il ne restait plus de place pour les armes) ont pris des milliers de photographies au-dessus d'un territoire occupé par l'ennemi. Des analystes du renseignement ont ensuite dû interpréter et analyser des centaines de milliers de paires de photos stéréoscopiques.

Ces photographies aériennes 3D ont permis aux analystes d'identifier les endroits précis où de nouvelles armes dévastatrices étaient mises au point par l'Allemagne. Cette information a été essentielle pour entraver les opérations d'armement qui visaient la Grande-Bretagne, ce qui a permis de sauver des milliers de vies et a contribué à mettre un terme à la Deuxième Guerre mondiale. La BBC a réalisé un [excellent documentaire](#) à ce sujet (*Operation Crossbow : How 3D glasses helped defeat Hitler*).



L'imagerie stéréoscopique a joué un grand rôle dans l'identification des infrastructures d'armement des nazis. La photo ci-dessus montre les lunettes stéréoscopiques utilisées pour visualiser les paires de photos décalées. Cette photographie de juin 1943 (à gauche) a été la première à révéler des armes fonctionnelles. Deux fusées V2 d'une longueur de 40 pieds sont posées au sol (point B). Ce n'est qu'en décembre que les experts ont réalisé que la structure (point C) était en réalité le prototype d'un système de lancement de bombes volantes.

# 1969 : l'avènement de l'homme extraterrestre

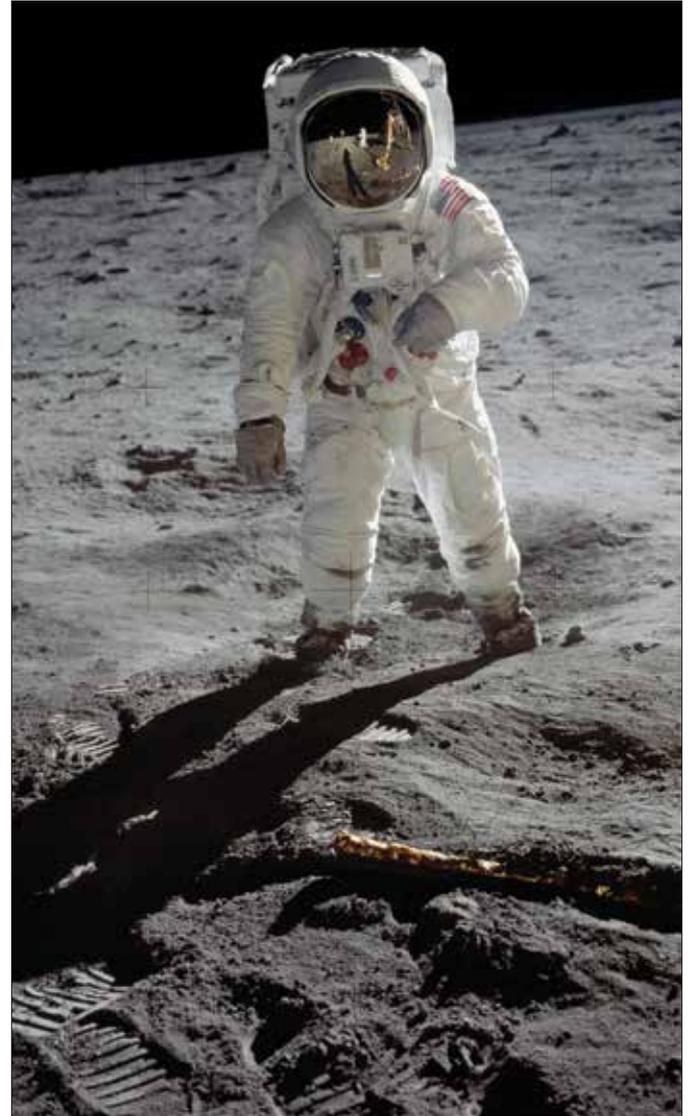
Les premiers humains ont marché sur la lune

Au début des années 1960, la majorité des gens auraient probablement dit qu'il était impossible pour un être humain de marcher sur la lune. Mais en juillet 1969, des images télévisées transmises sur la Terre depuis la lune ont montré Neil Armstrong et Buzz Aldrin bondissant sur la surface lunaire, prouvant par là-même que marcher sur la lune était plus que conceptuellement possible, puisque cela se déroulait directement sous nos yeux. Il fallait le voir pour le croire.

Lorsqu'Armstrong, Aldrin et les autres astronautes lunaires ont pointé leurs caméras vers la Terre, un atout inattendu est devenu évident : l'humanité disposait dorénavant d'une perspective entièrement nouvelle de la planète Terre, annonçant l'adoption et l'utilisation de l'imagerie terrestre.



*En décembre 1972, les astronautes d'Apollo 17 ont pris cette photo emblématique de la Terre vue de l'espace (la fameuse photographie « Bille bleue ») qui offre à l'humanité une toute nouvelle perspective de la planète Terre et de notre place dans l'univers.*



*L'astronaute Buzz Aldrin, de la mission Apollo 11, sur la lune en juillet 1969. Photo prise par l'astronaute Neil Armstrong (visible dans le reflet du casque d'Aldrin).*

# 1972 : le programme Landsat

## Les premières images satellite qui couvrent la Terre

En 1972, la technologie spatiale même qui a été développée pour que des humains puissent marcher sur la lune a permis le lancement du premier satellite Landsat. Grâce à la mission Landsat, nous avons vu notre planète complètement différemment. Ce système révolutionnaire était le premier programme d'images satellite à destination des civils qui nous montrait non seulement ce qui était visible sur la Terre, mais qui nous offrait également une vue des informations invisibles, permettant d'accéder ainsi aux réflexions électromagnétiques de notre monde. Nous pouvions voir la Terre d'une toute nouvelle façon.

Ce programme d'observation permanente de la Terre se poursuit à ce jour, tout comme des centaines d'autres missions de télédétection et satellites. Les états-nations et, plus récemment, les sociétés privées ont également lancé de nombreuses missions dont l'objectif est de capturer l'imagerie terrestre afin d'observer et de surveiller en continu notre planète.



*Les capteurs Landsat génèrent et partagent en continu des images de la Terre depuis les années 1970. Les scientifiques se sont très tôt enthousiasmés des nouvelles perspectives qui étaient offertes. De nos jours, un très grand nombre de satellites prennent des images de la Terre des milliers de fois par jour, créant un immense catalogue d'images virtuelles de notre planète. Le SIG Web exploite ces images afin que les experts puissent répondre à un grand nombre de questions et relever les défis auxquels ils font face en tant qu'intendants de la Terre.*

# Montrez-moi ma maison !

2005 : l'ère humaine du SIG commence

Il y a un peu plus d'une décennie, le monde entier s'est apparemment éveillé à la puissance de l'imagerie de la Terre vue du ciel. Nous avons commencé par explorer une carte d'images continues et multi-échelle du monde fournie en ligne par Google et d'autres sociétés de cartographie. Mélange de photographies satellite et aériennes, ces images de la Terre nous ont permis de nous familiariser avec la puissance de l'imagerie et les gens du monde entier ont commencé à découvrir ce que les experts SIG savaient déjà. Nous avons immédiatement zoomé sur notre voisinage et vu le contexte géographique de l'endroit où nous vivons dans le monde. Cette nouvelle fonctionnalité nous a permis de voir nos communautés locales et notre voisinage à travers un merveilleux nouveau microscope. Naturellement, nous avons finalement élargi notre champ d'investigation pour voir le monde entier. Cela a révolutionné notre façon de voir et de penser le monde.

Ces images simples ont capté l'imagination du public, en offrant de toutes nouvelles perspectives et en instillant de nouvelles possibilités. De nos jours, pratiquement tous les internautes peuvent identifier leur propre voisinage et voir leur entourage quotidien sous de nouveaux angles. Les gens du monde entier apprécient en outre d'associer divers types de couches cartographiques avec l'imagerie afin de bénéficier de connaissances plus riches et significatives.

Presque du jour au lendemain, toutes les personnes ayant accès à un ordinateur sont devenues utilisateur SIG.

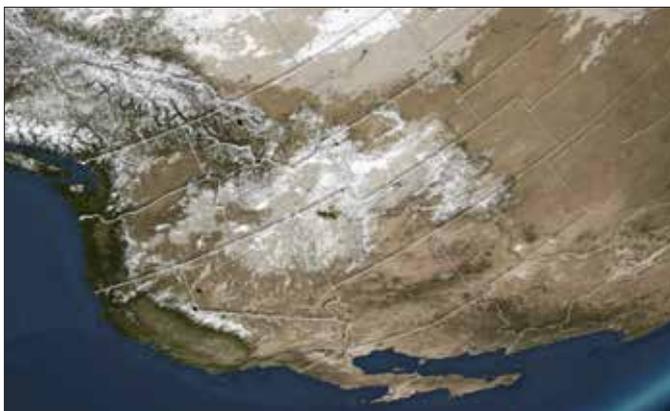


*A l'origine, nous avons zoomé sur nos maisons et exploré notre voisinage par le prisme de ce nouvel objectif. Cette expérience a transformé la façon dont les habitants du monde entier ont commencé à mieux appréhender leur environnement. Nous avons immédiatement visité d'autres endroits que nous connaissions. Aujourd'hui, nous poursuivons en voyageant vers des lieux plus éloignés dans lesquels nous aimerions nous rendre. Les photos aériennes offrent un nouveau contexte vu du ciel et ont pour toujours changé notre perspective humaine. Cette visite cartographique permet d'accéder à certains lieux dans plusieurs communautés où une imagerie ultra haute résolution est accessible.*

# L'imagerie élargit votre perspective

Voir le visible, l'invisible, le passé et l'avenir

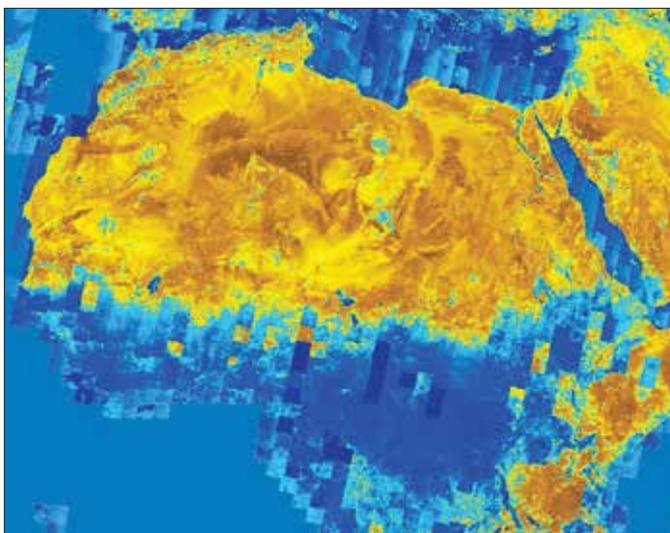
Il faut le voir pour le croire. L'observation du monde avec une imagerie colorée permet d'obtenir une preuve visuelle absolue et de nouvelles perspectives d'une façon instructive et immédiate. L'imagerie va bien au-delà de ce que nos propres yeux sont capables de nous montrer : elle nous permet également de voir notre monde dans son état actuel. Elle offre par ailleurs un moyen de regarder le passé et de prévoir l'avenir, de percevoir et de comprendre la Terre, ses procédés, ainsi que les effets et la chronologie de l'activité humaine. Étonnamment, l'imagerie nous permet même d'entrevoir l'invisible, de voir des représentations visuelles de l'énergie réfléchie sur l'intégralité du spectre électromagnétique, et de prendre ainsi des décisions plus judicieuses quant aux graves problèmes concernant la Terre et toutes ses formes de vie.



## Présentation du cycle climatique saisonnier

L'imagerie mondiale collectée en permanence nous permet d'observer notre monde en action. En associant des images sur une période donnée, nous pouvons commencer à visualiser, animer, analyser et comprendre les cycles de la Terre, nos origines et notre futur.

*Grâce à la météorologie, la planète bénéficie de « plages respiratoires de neige et de gel » dont découle l'eau, si précieuse et essentielle à toutes les sources de vie. Cette image illustre les cycles de précipitations saisonniers sur le continent nord-américain.*



## Voir au-delà du visible

L'imagerie nous permet de voir au-delà de ce que l'œil humain perçoit et nous offre de nouvelles perspectives scientifiques concernant la Terre. Les satellites sont équipés de capteurs qui mesurent des informations non visibles, telles que l'énergie infrarouge, sur le spectre électromagnétique qui vous permettent de générer et d'analyser une multitude de nouvelles vues terrestres de notre monde.

*Cette image de couleur fausse de l'Afrique du Nord illustre les zones sèches et pluvieuses de l'humidité de la végétation en regardant le canal infrarouge proche (canal 5) et le canal infrarouge à ondes courtes (canal 6). Les couleurs plus chaudes représentent les zones arides sur la carte. Les rayures montrent l'empreinte des scènes de Landsat 8, illustrant son orbite continue autour de la Terre et son accès à chaque emplacement des scènes tous les 16 jours environ.*



## Prévision et suivi de la météorologie quotidienne

Les avancées de la dernière décennie en matière d'imagerie et d'observations météorologiques ont permis d'améliorer considérablement la précision des prévisions météorologiques. L'intégration SIG des données météorologiques pour la gestion des opérations s'est développée et offre des avantages certains aux agriculteurs, équipes d'intervention d'urgence, arrondissements scolaires, services publics et bien d'autres. Les capteurs, qui vont des satellites météorologiques mondiaux aux instruments météorologiques locaux terrestres, permettent aux experts de surveiller et de prévoir les événements météorologiques comme jamais auparavant. Le caractère désormais très local du réseau des capteurs permet de prévoir en continu les événements météorologiques dans nos communautés. Nous avons maintenant accès à des prévisions météorologiques précises pour notre voisinage dans l'heure qui vient.

*Cette couche issue d'un radar pour le continent américain d'AccuWeather illustre les précipitations en temps quasi réel. Ces observations météorologiques en temps quasi réel, tout comme les prévisions météorologiques, sont gérées à l'aide de l'observation des images.*



## Au-delà des apparences

L'imagerie vous permet de contempler le passé et d'associer des vues historiques à l'imagerie actuelle. L'imagerie est proposée dans un format très simple et peut facilement se superposer à d'autres cartes et images pour former une sorte de « sandwich virtuel » à plusieurs couches.

*Cette application de loupe unique montre l'expansion de la ville de San Francisco depuis son peuplement historique sur le littoral. La ville étant située le long de la faille de San Andreas, son développement dans la baie présentait des défis uniques pour les ingénieurs, notamment l'excavation de 200 pieds de roche environ.*

# Spécialiste : Jack Dangermond

Le SIG intègre désormais un système de traitement d'images complet

Depuis le début, les professionnels SIG ont réalisé le traitement d'images et les opérations SIG sur des systèmes distincts. Pendant des années, en raison des limitations de stockage et de ressources, ces systèmes distincts étaient nécessaires et certains utilisateurs avaient besoin des deux. Les utilisateurs effectuaient le traitement d'images dans leur système d'imagerie distinct pour générer les principales couches de données, puis transmettaient les résultats dans leur SIG. Même si les deux systèmes reposaient sur des bases géographiques, nous tenions pour acquis qu'il s'agissait de deux tâches et systèmes distincts. Différentes équipes étaient même affectées à l'exécution de ces systèmes. Et chacune disposait de ses propres communautés et approches. Il était largement admis que les systèmes d'imagerie et le SIG étaient des technologies distinctes, mais néanmoins étroitement liées.

D'un point de vue pratique toutefois, ceci n'était pas très logique. Les deux technologies nécessitaient une structure géospatiale pour leurs informations. Les deux systèmes géraient ces jeux de données sous forme de couches géographiques. Les deux fournissaient des couches géoréférencées pouvant être associées, assemblées et superposées à d'autres couches. Il est évident qu'un système intégré est plus logique.

Ce n'est que récemment que le SIG et l'imagerie ont été rassemblés dans un système complet et intégré : ArcGIS. Les nouvelles fonctionnalités de traitement d'images qui ont été ajoutées à ArcGIS font partie de ce système. Le traitement et la gestion de volumineuses données d'image sont maintenant transparents grâce au réseau croissant de données d'observation de la Terre, aux missions de drone et aux nouveaux capteurs terrestres, aériens et spatiaux qui s'imposent rapidement en ligne. La nouvelle tendance immédiate est la migration de ces fonctionnalités de traitement sophistiquées dans les réseaux cloud computing extrêmement évolutifs qui permettent à ArcGIS de fonctionner avec vos collections de Big Data.



*Jack Dangermond est le président et fondateur d'Esri, leader mondial du développement de logiciels SIG.*



**Jack Dangermond traite de la pertinence de l'imagerie dans le SIG**

# Les multiples usages de l'imagerie

Toute une gamme d'applications

Il est à présent évident que l'imagerie offre toutes les nouvelles perspectives de notre monde et des problèmes que nous voulons résoudre. L'imagerie présente par ailleurs de nombreux avantages et fonctionnalités.

## Un accès quasi-quotidien à de nouvelles informations

La collecte d'images est rapide et en augmentation. Et l'accès à l'imagerie est de plus en plus réactif. De nombreux satellites et capteurs sont déjà déployés et d'autres arrivent en permanence, collectant de nouvelles données et contribuant à l'effort collectif : des séries chronologiques d'observations sur notre planète. Ces collections d'images nous permettent de cartographier, mesurer et surveiller pratiquement tout ce qui se trouve à la surface de la Terre ou à proximité. Nous sommes tous en mesure de recueillir assez rapidement la plupart des données dont nous avons besoin pour travailler. L'imagerie est devenue notre principal outil d'exploration lorsque nous « voyageons » vers d'autres planètes et au-delà. Nous envoyons des sondes dans l'espace et recevons des retours principalement sous forme d'imagerie, qui offrent des séries chronologiques continues d'observations des informations. Cela nous permet de déduire de nouvelles informations en faisant appel à des méthodes intéressantes.

## Retour vers le passé

L'utilisation de l'imagerie aérienne est relativement récente. Bien que l'imagerie n'ait commencé à être utilisée qu'au XXe siècle, il est facile de comparer les observations de certaines périodes qui résident dans nos collections d'imagerie. Nous pouvons en outre superposer l'imagerie avec des cartes historiques, ce qui permet de comparer le passé et le présent.

## Les collections de données d'imagerie s'enrichissent de jour en jour

L'imagerie ouvre la voie à une explosion de découvertes. De nombreuses initiatives en matière d'imagerie sont répétitives et prennent de l'ampleur, elles se développent et contribuent aux bases de données d'images de nos zones d'intérêt. ArcGIS s'agrandit, permettant de gérer des observations de la Terre de plus en plus volumineuses et qui évoluent dynamiquement. Ceci met le doigt sur l'immédiateté de l'imagerie et sur sa capacité à s'intégrer facilement, permettant d'utiliser tout type de nouvelles applications et opportunités (par exemple, des vues avant et après dans le cadre d'interventions d'urgence, l'exploitation rapide d'images récemment collectées, l'interprétation et la classification des images et la capacité à déduire des renseignements). Au fil du temps, plusieurs de ces techniques seront appelées à se développer de manière intéressante, nous permettant d'en savoir plus sur nos communautés, sur les problèmes que nous rencontrons et sur la manière dont nous pouvons utiliser le SIG pour y répondre.

## L'imagerie optimise les fonctionnalités d'analyse

L'imagerie et son format raster général permettent d'effectuer des analyses complexes à l'aide d'ArcGIS. A leur tour, ces analyses permettent d'aborder de manière plus pertinente les problèmes que nous voulons résoudre.

# Une collaboration tant attendue

L'association du SIG et du traitement d'images suscite une synergie

L'imagerie, sous toutes ses formes, fait appel à l'un des principaux formats de données courants en termes de SIG : les rasters. Il s'agit d'un des formats de données SIG les plus polyvalents. Pratiquement toutes les couches de données peuvent être présentées comme des rasters. En d'autres termes, vous pouvez associer tout type de données à votre imagerie, ce qui donne lieu à des opérations d'intégration et d'analyse.

## Les rasters offrent une grande quantité de couches de données SIG utiles

Les rasters, à l'instar de n'importe quelle photo numérique, fournissent un modèle de données qui couvre une zone cartographiée avec une série de pixels ou cellules de taille égale, qui sont organisés en une série de lignes et de colonnes. Ils peuvent servir à représenter des images sous forme de collections de pixels, des surfaces telles que l'altitude ou la proximité avec des entités sélectionnées, tout type d'entités mêmes (en d'autres termes, des points, des lignes et des superficies) et des informations de séries chronologiques avec de nombreux états pour chaque période temporelle.

### Occupation du sol et utilisation du sol classées



Occupation du sol autour de l'ouest méditerranéen, à partir d'un jeu de données raster global émanant de [MDA](#) des caractéristiques prédominantes du sol à une résolution de 30 mètres.

### Distance par rapport à l'eau



Carte de proximité illustrant la distance entre chaque cellule ou pixel et une source d'eau fiable dans une partie de l'Afrique de l'Ouest. L'accès à l'eau est vitale pour les humains comme pour la faune sauvage. Les cours d'eau sont superposés dans la grille de distance. Les cellules de la grille qui sont les plus proches de l'eau sont représentées en bleu foncé. Les couleurs changent à mesure que la distance de l'eau augmente.

## Scènes tridimensionnelles



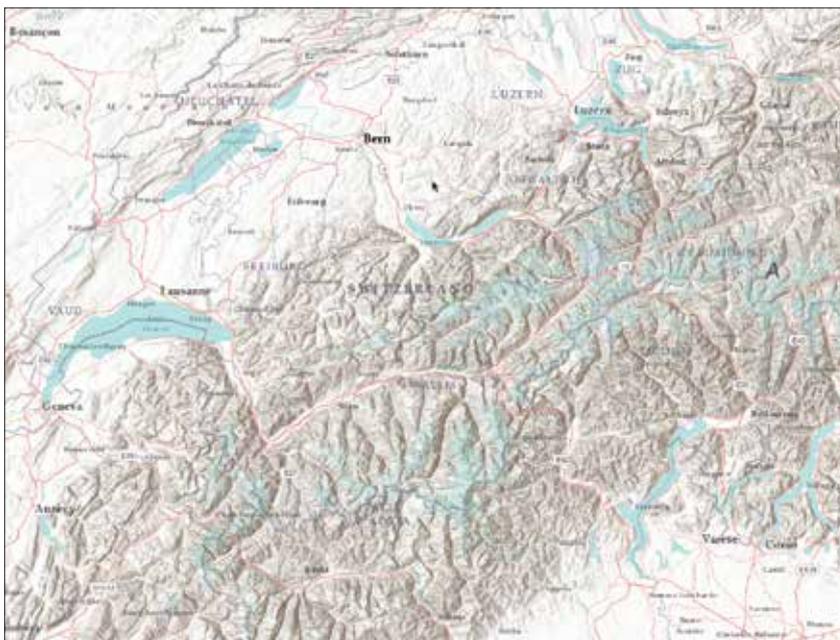
Mont Blanc ou Monte Bianco dans les Alpes entre la France et l'Italie. L'application présente une visite 3D de sites intéressants du monde entier.

## Photos en perspective oblique



Grâce à la vue perspective particulière des entités réelles proposée par l'imagerie oblique, les détails naturels sont présentés en 3D, ce qui facilite l'interprétation et la reconnaissance.

## Altitude exprimée sous forme de relief ombré



Altitude globale affichée sous forme de relief ombré. Cette carte fait partie d'une couche d'altitude globale compilée à partir des meilleures sources disponibles dans le monde.

## Informations chronologiques



Capture d'écran d'une carte d'images temporelles d'observations mensuelles du manteau neigeux du système GLDAS (Global Land Data Assimilation System) de la NASA. Cette carte contient les profondeurs cumulées du manteau neigeux pour chaque mois entre 2000 et 2015.

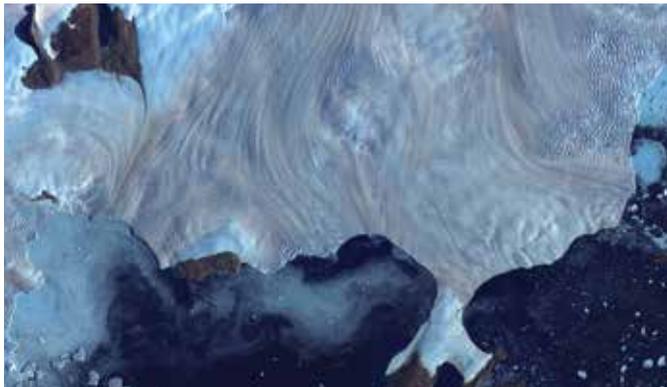


*La Léna est un des plus grands fleuves du monde. La réserve du delta est la réserve naturelle la plus protégée de Russie. Elle abrite de nombreuses espèces de la faune sibérienne qui s'y reproduisent.*

# La magnificence de l'imagerie

A la fois instructive et sublime

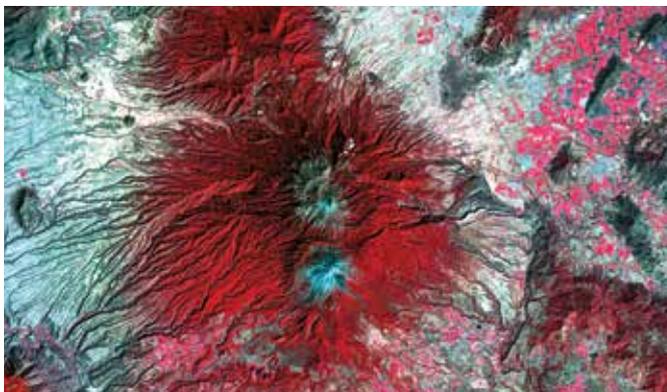
Même si l'imagerie offre de toutes nouvelles perspectives qui façonnent profondément notre compréhension, il est également clair qu'elle propose des vues magnifiques de notre monde : des œuvres d'art absolument superbes et éblouissantes. Elles nous étonnent et nous émerveillent, font appel à nos émotions et mettent en exergue les merveilles de notre monde et des mondes nouveaux que nous cherchons à découvrir et explorer. Ce n'est pas par hasard que l'US Geological Survey entretient la collection [Earth as Art](#).



*Le long de la côte ouest du Groenland, un petit champ de glaciers entoure la mer de Baffin.*



*Les crêtes et pics vertigineux et enneigés des montagnes de l'est de l'Himalaya forme un patchwork irrégulier bleu sur rouge entre les principales rivières de la Chine du sud-ouest.*



*Le volcan de Colima au sommet enneigé, le volcan le plus actif du Mexique, fait une brusque irruption dans le paysage dans l'Etat de Jalisco.*



*Alimenté par de nombreux cours d'eau, le rio Negro au Brésil est le plus grand affluent de l'Amazone. La mosaïque d'îlots partiellement submergés, visible dans le canal, disparaît lorsque les pluies diluviennes de la saison des pluies font monter le niveau de l'eau.*

# La Terre depuis l'espace

## La puissance d'une seule image

Dans la période préparatoire à l'alunissage d'Apollo, Apollo 8 a été la première mission à placer des humains en orbite lunaire. Et la veille du Noël 1968, en provenance de la face éloignée de la lune au cours de leur quatrième orbite, le commandant de l'Apollo 8 Frank Borman s'est exclamé : « Oh mon Dieu, regardez cette image là-bas ! Voici la Terre qui apparaît ! C'est magnifique ! » L'astronaute Bill Anders a saisi son appareil photo Hasselblad et a pris cette image devenue célèbre de la Terre qui s'élève au-dessus de la lune.

Dans son livre *Earthrise : How Man First Saw the Earth*, l'historien Robert Poole suggère que cette seule image a marqué le début du changement environnemental, en déclarant qu'il « est possible de voir que le lever de Terre a marqué un tournant, le moment où le sens de l'âge spatial a évolué entre ce que cela signifiait pour l'espace et ce que cela signifie pour la Terre. » La puissance de l'imagerie peut clairement se résumer dans l'histoire de cette photographie. Les images peuvent nous aider à mieux comprendre notre planète, favoriser le changement, créer des connexions et, dans certains cas, même initier un mouvement.

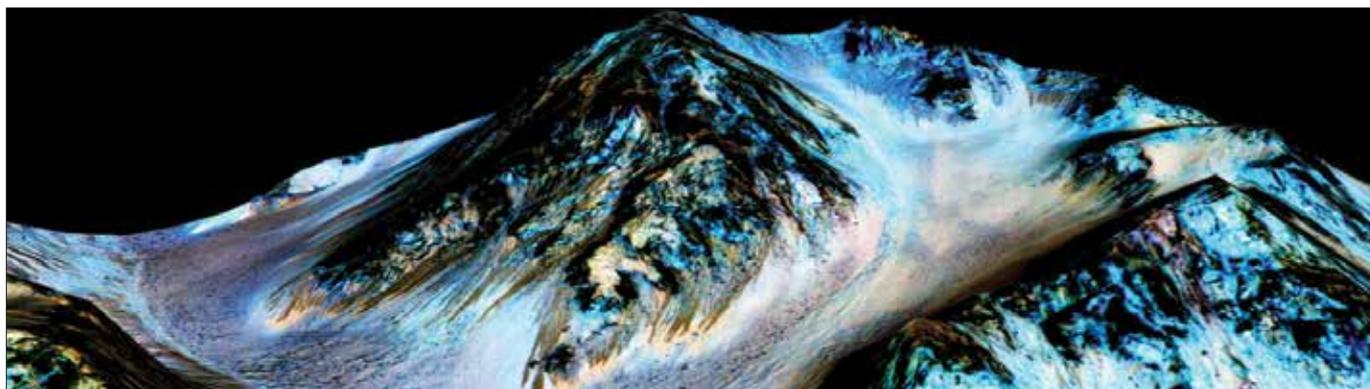


Cette photographie est l'une des plus fréquemment reproduites et instantanément reconnaissables de l'histoire. Le service postal des Etats-Unis l'a utilisée sur un timbre. Le Time Magazine l'a présentée en couverture. Elle a été (et reste) « la photographie environnementale la plus influente jamais prise » d'après le photographe naturaliste Galen Rowell.

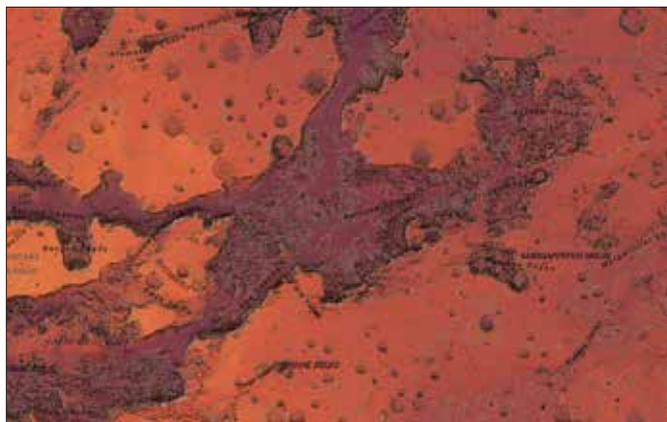
# Cartographie du système solaire

Un effort où l'esprit de recherche de l'humanité transparait

Depuis les premières photographies de la lune, les astronautes-photographes des agences spatiales du monde entier ont également *éloigné* leurs objectifs de la Terre. Les professionnels SIG, en mordus de science qu'ils sont souvent, ont évidemment trouvé le moyen de cartographier des corps planétaires autres que notre planète. En 2015, la NASA a annoncé au monde entier que l'imagerie multispectrale prise depuis des capteurs en orbite autour de Mars avait permis de constater de manière formelle la présence d'eau en mouvement sur Mars. Ce tournant n'a pas échappé à la communauté SIG et d'analyse d'images.



Visualisation 3D des données d'imagerie hyperspectrales qui ont changé notre perception de la planète Mars.



Cette carte représente une image de la spectaculaire géographie de Mars et de toutes les missions d'exploration de surface de la planète rouge menées par les humains.



Au terme d'un voyage de 3 milliards de miles et de presque 10 années, le 14 juillet 2015, la sonde spatiale interplanétaire New Horizons est devenue le premier vaisseau spatial à explorer la lune Charon de la planète naine Pluton.

# Démarrage rapide

## Se connecter à la plateforme ArcGIS et la déployer.

Il est temps maintenant d'utiliser ArcGIS. Si vous êtes un utilisateur existant, si vous possédez un abonnement ArcGIS (doté de privilèges Editeur) et si ArcGIS Pro est installé sur votre ordinateur local, vous êtes prêt à démarrer et vous pouvez passer à la page suivante. S'il vous manque un élément, poursuivez la lecture.

### ► Obtenir une adhésion à l'organisation Learn ArcGIS

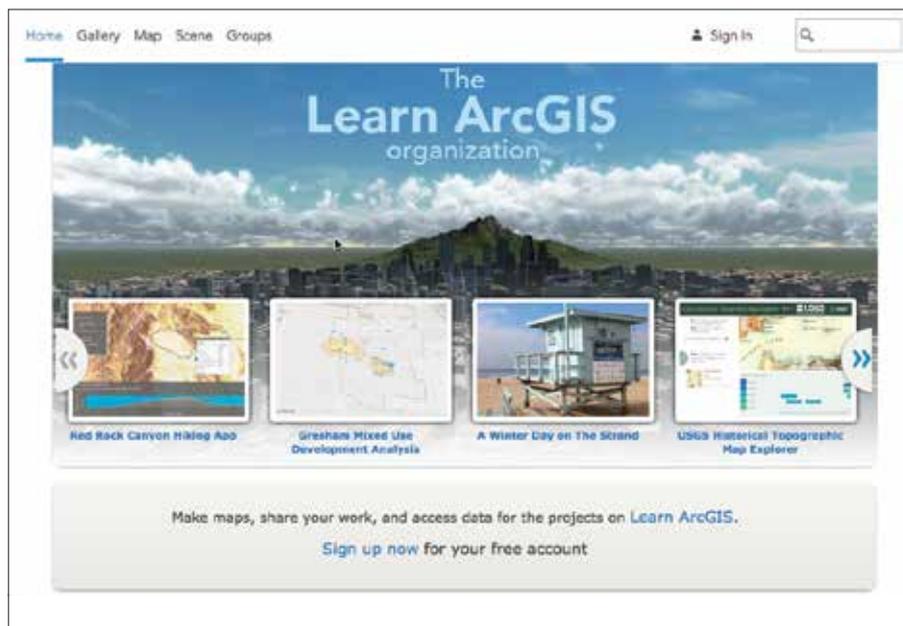
La majorité des leçons de ce guide ont lieu sur la plateforme ArcGIS (dans le cloud), et nécessitent une adhésion (avec les privilèges Editeur) à une organisation ArcGIS. L'organisation Apprendre à utiliser ArcGIS est destinée aux étudiants et autres utilisateurs qui débutent avec ArcGIS. Votre adhésion vous permet de commencer immédiatement à utiliser des cartes, à découvrir des ressources en termes de données et à publier des informations géographiques sur le Web. Accédez à l'[organisation Apprendre à utiliser ArcGIS](#) et cliquez sur le lien [Inscrivez-vous maintenant](#) pour activer une adhésion de 60 jours.

### ► Installer ArcGIS Pro

ArcGIS Pro est une application bureautique que vous pouvez télécharger et installer sur votre ordinateur local. Elle vous est concédée sous licence pendant 60 jours via votre adhésion à l'organisation Apprendre à utiliser ArcGIS. Vérifiez la configuration système requise, puis utilisez le bouton de téléchargement ci-dessous pour installer le logiciel sur votre machine locale.

### ► Configuration du système

ArcGIS Pro est une application Windows 64 bits. Pour savoir si votre ordinateur est en mesure d'exécuter ArcGIS Pro, cliquez sur [vérifier la configuration requise](#).



[Télécharger ArcGIS Pro](#)

*L'organisation Apprendre à utiliser ArcGIS est configurée spécialement pour les étudiants. Vous pouvez rejoindre cette organisation même si vous possédez déjà un autre compte ArcGIS.*

# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Prise en main de l'imagerie

Dans cette leçon, vous allez explorer l'imagerie Landsat et certaines de ses utilisations avec l'application Landsat d'Esri. Vous allez d'abord accéder à la forêt de mangrove des Sundarbans au Bangladesh, où vous verrez la forêt en couleur infrarouge et effectuerez le suivi de la santé de la végétation, ainsi que de l'occupation du sol. Vous allez ensuite trouver de l'eau dans le désert du Taklamakan et découvrir des îles immergées dans les Maldives. Après avoir utilisé 40 années d'imagerie Landsat accumulée pour suivre le développement du canal de Suez au fil du temps, vous serez prêt à explorer le monde par vous-même.

### ► Vue d'ensemble

Les images satellite constituent un outil de plus en plus puissant pour cartographier et visualiser le monde. Aucune autre méthode d'acquisition de l'imagerie ne couvre autant de superficie en aussi peu de temps. Le programme d'images satellite le plus ancien est Landsat, une initiative commune entre deux agences gouvernementales américaines. Ses données de haute qualité apparaissent dans de nombreuses longueurs d'onde du spectre électromagnétique. Elles mettent en évidence des entités qui resteraient sinon invisibles à l'œil humain et permettent une large gamme d'applications pratiques.

### ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

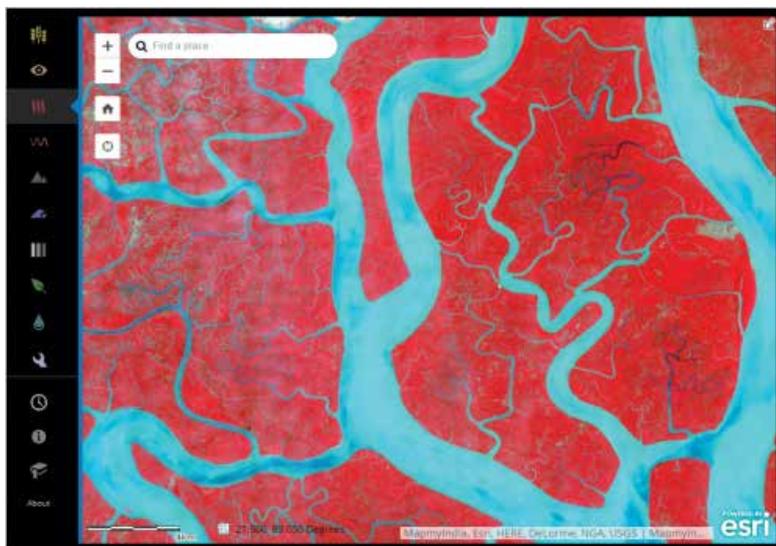
- Navigation et exploration de l'imagerie
- Modification des canaux spectraux pour mettre en évidence des entités
- Suivi des évolutions au fil du temps
- Création de votre propre combinaison de canaux

### ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- Durée estimée : 30 minutes

## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter1\\_Lesson](https://esri.com/imagerybook/Chapter1_Lesson)



*Cette application vous permet d'explorer le monde avec les images satellite Landsat. Landsat prend des images de la planète afin d'en révéler les secrets, qu'il s'agisse de l'activité volcanique ou de la prolifération urbaine. Landsat voit des éléments sur le spectre électromagnétique, notamment ce qui est invisible à l'œil humain. Différents canaux spectraux permettent d'en savoir plus sur la constante évolution de notre précieuse Terre.*





02

## La nature de la télédétection

Informations recueillies à distance

La télédétection (l'acquisition d'informations à distance) a eu un profond impact sur les affaires humaines dans l'histoire moderne. Cette image de British Beach (le nom de code pendant la Deuxième Guerre mondiale d'une des plages du débarquement de Normandie en juin 1944) prise par un F5 spécialement équipé de l'armée américaine, révèle des troupes d'infanterie débarquant sur la plage de navires de différentes tailles. Soixante-dix ans plus tard (alors que son application a atteint une portée inimaginable), la télédétection demeure la plus importante des technologies de reconnaissance et d'observation de la Terre.

# La vue du dessus

## La puissance de la télédétection

Les humains ont toujours recherché à s'élever au-dessus du paysage. A travers l'histoire, qu'il s'agisse du sommet d'un arbre ou de la cime d'une montagne ou d'une falaise rocheuse, la vue du dessus a permis à nos ancêtres de répondre à des questions importantes : où se trouve l'eau ? Où se trouve le meilleur terrain de chasse ? Où se trouvent mes ennemis ? La photographie aérienne a été pratiquée pour la première fois par l'aéronaute Gaspard-Félix Tournachon en 1858 au-dessus de Paris. Avec l'avènement de la photographie et des vols utiles au début du XXe siècle, les avantages d'un terrain élevé ont pris de l'ampleur et le domaine de la télédétection est né.

La technologie a rapidement été consacrée pendant la Première Guerre mondiale comme nouvelle capacité militaire exceptionnelle. De 1914 à 1918, la reconnaissance aérienne est née du néant pour évoluer vers une science complexe et rigoureuse. Un grand nombre des procédures de télédétection, méthodes et terminologie encore en vigueur de nos jours trouvent leur origine au cours de cette période. Pendant toute la Deuxième Guerre mondiale, la science et la précision de la télédétection se sont améliorées.

La prochaine étape importante est advenue avec les vols spatiaux et la photographie numérique. La technologie satellite a permis de prendre des images répétitives de l'intégralité du globe, et la gestion et la transmission des images numériques ont accru l'utilité de ces volumes croissants d'images et les ont rendus directement applicables. Les diverses initiatives humaines actuelles requièrent un flux constant d'imagerie, dont la plupart se retrouvent sur le Web dans les instants qui suivent leur capture.



*L'utilisation de la photographie aérienne est rapidement arrivée à maturité au cours de la Première Guerre mondiale, alors que les avions utilisés pour la reconnaissance ont été équipés de caméra en vue d'enregistrer les mouvements et stratégies de défense de l'ennemi. Au début du conflit, l'utilité de la photographie aérienne n'était pas pleinement avérée, la reconnaissance étant effectuée par des cartographes qui dessinaient des cartes depuis les airs.*

# Quand la télédétection capture l'histoire

Comment les images télédéetectées consignent la pure vérité

La première photographie aérienne a été prise en 1858, soit un siècle avant la naissance du terme « télédétection ». Bien avant les satellites et la capture d'images numériques, les gens prenaient des photographies de la surface de la Terre de loin, consignant de nombreux moments cruciaux dans l'histoire pour la postérité.



Une des premières photographies aériennes à connaître une renommée mondiale représente les ruines de San Francisco en Californie après le tremblement de terre de 1906. Il s'agit d'un panorama à 160 degrés pris à bord d'un cerf-volant à 2 000 pieds (610 m) dans le ciel de San Francisco qui illustre la ville entière sur un seul cliché de 17 sur 48 pouces réalisé à partir d'une seule séquence filmée. Cette image prise par le photographe commercial George Lawrence a permis de consigner les dommages causés sur la ville par l'incendie.



Cette image Landsat 7 de Manhattan du 12 septembre 2001 illustre l'étendue du nuage toxique qui se répand sur une grande partie de New York et du New Jersey.

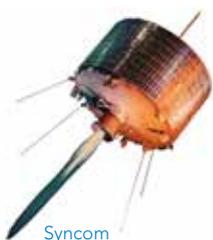


Le 14 octobre 1962, les photographies aériennes américaines de Cuba ont révélé l'existence de lance-missiles, de remorques de réservoirs de carburant et de remorques de réservoirs d'oxydants.

# De nombreuses plateformes pour de nombreuses applications

L'altitude des capteurs joue un grand rôle dans la planification de l'objectif

L'imagerie moderne est capturée à partir d'une vaste gamme d'altitudes qui vont du sol à plus de 35 000 kilomètres (22 000 miles) au-dessus de la Terre. Les images provenant de chaque altitude offrent des avantages distincts pour chaque application. Bien que ce diagramme ne représente pas un inventaire exhaustif, il détaille certaines des altitudes les plus courantes pour les capteurs :



Syncom

## Géosynchrone

35785 kilomètres  
(22 236 miles)

Pour des observateurs au sol, les satellites qui suivent la rotation de la Terre semblent stationnaires dans le ciel. Bien que la plupart soient utilisés pour les communications, les satellites géosynchrones en orbite comme l'imager *GIFTS* hyperspectral sont également utiles pour surveiller des phénomènes évolutifs, telles que les conditions météorologiques. Le satellite Syncom de la NASA, lancé au début des années 1960, a été le premier satellite de télécommunications placé en orbite géosynchrone.



Landsat 8

## Héliosynchrone

603 - 805 kilomètres  
(375–500 miles)

Les satellites dans cette orbite maintiennent l'angle de la lumière à la surface de la Terre de manière aussi cohérente que possible, ce qui signifie que les scientifiques peuvent comparer des images de la même saison sur plusieurs années, comme avec l'imagerie Landsat. Il s'agit de la zone de prédilection des capteurs d'observation de la Terre.



Helios

## Satellite atmosphérique

30 480 mètres  
(100 000 pieds)

Egalement connus sous le nom de pseudo-satellites, ces véhicules sans pilote parcourent les extrémités les plus élevées de l'atmosphère perceptible. L'avion expérimental de la NASA Helios mesurait les éruptions solaires avant de s'écraser dans l'Océan Pacifique à proximité de Kauai.





SR71 Blackbird

### Avion à réaction

Les avions à réaction volant à une altitude de 9 144 mètres (30 000 pieds) et plus peuvent être envoyés très rapidement en survol de zones sinistrées, ce qui en fait une excellente plateforme pour certains type d'applications optiques et d'images multispectrales.

27 432 - 9 144 mètres  
(90 000–30 000 pieds)



Cessna

### Appareil de l'aviation générale

Les petits avions capables de voler à vitesse réduite et faible altitude sont depuis longtemps les outils de prédilection de l'orthophotographie et la photographie aérienne de haute qualité. Des avions Cessna aux appareils ultralégers en passant par les hélicoptères, ces véhicules jouent un rôle décisif dans l'imagerie optique urbaine.

30 - 30 048 mètres  
(100–10 000 pieds)



Ultraléger



Hélicoptère



Marine américaine  
Silver Fox

### Drones

Les drones sont les nouveaux venus sur le devant de la scène. Leur capacité à voler à basse altitude, à planer et à être contrôlés à distance offre des avantages attractifs pour la photographie aérienne, avec une résolution allant jusqu'à moins d'un pouce. Les dispositifs sans pilote à bord (UAV) militaires peuvent être des drones ou des avions de taille réduite.

30 - 152 mètres  
(100–500 pieds)



Drone privé 3DR Solo

Spectromètre  
portable



Smartphone



Voiture de  
cartographie  
au niveau de la rue



### Au sol/portable

L'imagerie prise au niveau du sol est de plus en plus souvent intégrée dans les workflows SIG. Google Street View, l'imagerie au niveau de la rue HERE et Mapillary, les systèmes de capture d'images multispectrales portables et d'autres capteurs terrestres trouvent des applications dans des domaines comme les pipelines, la sécurité, le tourisme, l'immobilier, les ressources naturelles et les loisirs.

Niveau du sol

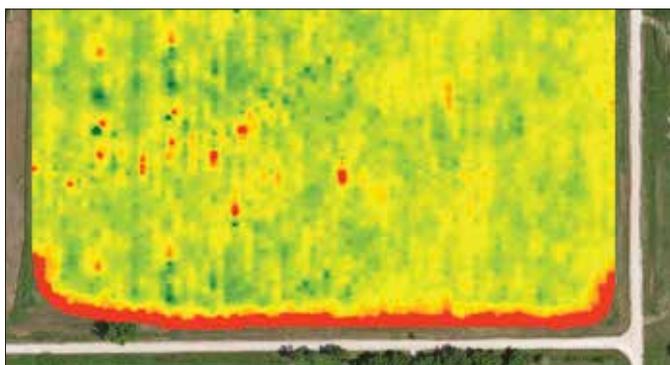


# Tendances des applications d'imagerie

La télédétection fait déjà partie de nombreux secteurs

En tant que référence officielle des conditions évolutives au sol, l'imagerie par télédétection est appliquée dans diverses activités humaines terrestres traditionnelles liées à la gestion des terres. Ainsi, les secteurs, tels que la sylviculture, l'agriculture, l'exploitation minière et l'exploration ont figuré parmi les premiers à adopter la télédétection et ont participé à sa croissance.

## Agriculture de précision



Les informations recueillies au cours des récoltes, notamment le rendement à certains emplacements, permettent aux producteurs d'effectuer le suivi de leurs résultats et offrent des données importantes pour calculer l'encensement et les taux d'amendements du sol pour les années à venir.

## Aide humanitaire



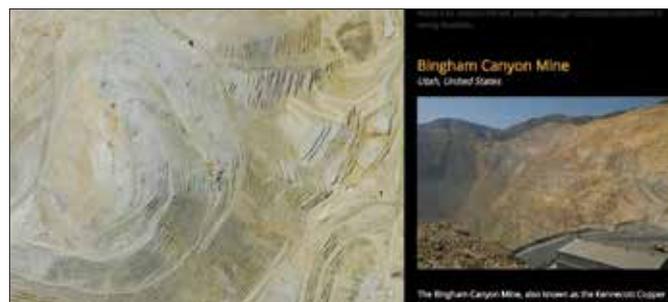
L'accès à une imagerie actuelle montre la création du camp de réfugiés de Zaatari sur une période de neuf jours en juillet 2012. Conçu pour accueillir plus de 60 000 personnes, sa population a atteint plus de 150 000 avant que de nouveaux camps ne soient installés. La Story Map [The Uprooted](#) raconte l'histoire.

## Foresterie



L'accès dynamique aux données sur les forêts d'Europe est issu de l'inventaire de 2006 de l'occupation du sol de Corine. Corine est l'acronyme de « coordination of information on the environment » (coordination de l'information sur l'environnement).

## Exploitation minière



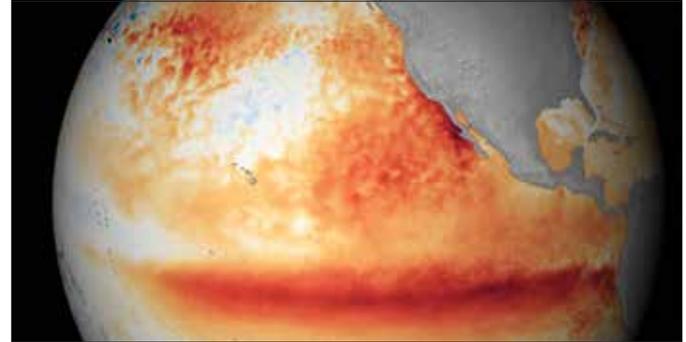
La nature géologique du paysage prend vie grâce aux satellites en orbite terrestre.

## Evaluation des catastrophes naturelles



Cette scène illustre la destruction provoquée par l'onde de tempête de l'ouragan Sandy à Seaside, dans le New Jersey. La carte de balayage active compare l'imagerie avant et après l'événement du NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

## Etude climatique et météorologique



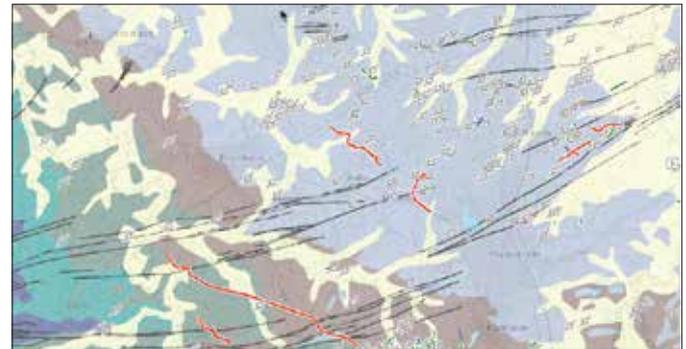
Cette courte présentation cartographique du NOAA répond à de nombreuses questions sur les effets d'El Niño. Faites défiler vers le bas pour en savoir plus sur cette entité climatique et ses caractéristiques.

## Ingénierie et construction



Les projets de développement en cours de construction dans la ville de Pflugerville au Texas sont illustrés ici.

## Exploration des ressources en pétrole et en gaz



Cette carte géologique compilée par Kentucky Geological Survey associe les thèmes d'utilisation du sol, de protection de l'environnement et de développement économique.

## Aménagement urbain

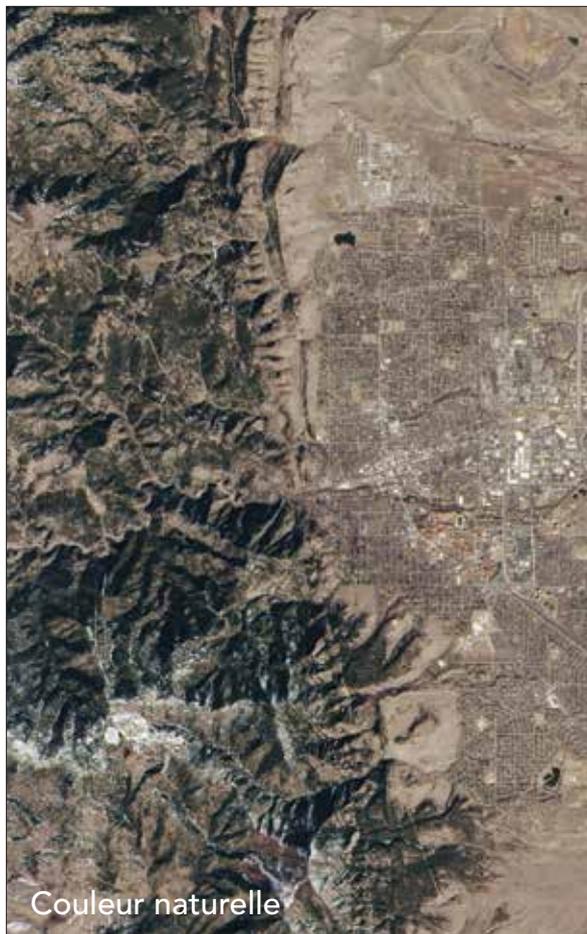


L'Urban Observatory est un projet ambitieux mené par le fondateur de TED Richard Saul Wurman dont l'objectif est de compiler des données permettant de comparer les zones métropolitaines à des échelles courantes.

# Mesure de l'énergie solaire réfléchie

Les capteurs passifs capturent la lumière réfléchie sur le spectre

Un capteur d'imagerie passif capture l'énergie réfléchie ou émise par la scène qu'il voit. La lumière réfléchie est la source la plus courante d'énergie électromagnétique mesurée par les capteurs passifs. Ces capteurs permettent d'obtenir des observations globales de la Terre et de son atmosphère.



La couleur naturelle joue un rôle crucial dans l'imagerie. Idéale pour l'analyse globale des entités terrestres et sous-marines, les études urbaines et la reconnaissance, l'imagerie aux couleurs naturelles est la plus largement utilisée et par conséquent la mieux comprise.



Cette carte représente des images satellite MODIS du 1er mai 2014, à proximité des îles Sandwich du Sud dans l'Océan Atlantique Sud. La couleur fautive sous la loupe met l'accent sur la neige et le gel par rapport à la couverture nuageuse.



Image infrarouge en couleur, composée d'une énergie proche infrarouge, rouge et verte représentée sous forme de rouge, vert et bleu met en évidence une végétation à large feuille et/ou plus saine avec des teintes de bleu profond, tandis que les rouges plus clairs désignent des prairies ou des zones végétalisées plus clairsemées.



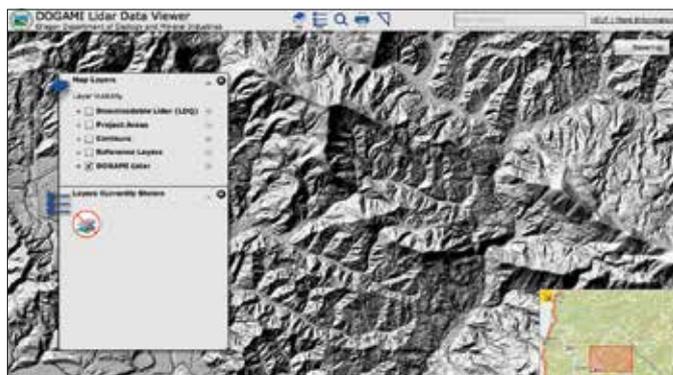
Les images panchromatiques de résolution supérieure sont créées lorsque le capteur d'imagerie est sensible à une vaste gamme de longueurs d'onde de lumière, qui couvre généralement l'intégralité de la partie visible du spectre stocké et affiché sous forme d'image monochrome en nuances de gris. Ceci permet de créer des pixels plus petits sur le capteur et une image plus nette que les capteurs multispectraux standard sur le même système.

# Mesure de l'énergie transmise

Les capteurs actifs envoient et reçoivent leurs propres signaux

Un capteur actif est un instrument qui émet de l'énergie et capte le rayonnement qui est réfléchi par la surface de la Terre ou une autre cible. Il est utile dans diverses applications ayant trait à la météorologie et à l'atmosphère, telles que les radars pour mesurer les échos émis par certains objets (les nuages de pluie, par exemple), le radar optique (LIDAR) pour capturer les valeurs détaillées d'altitude de la surface et le sonar pour mesurer la profondeur du plancher océanique.

## Radar optique (LIDAR)

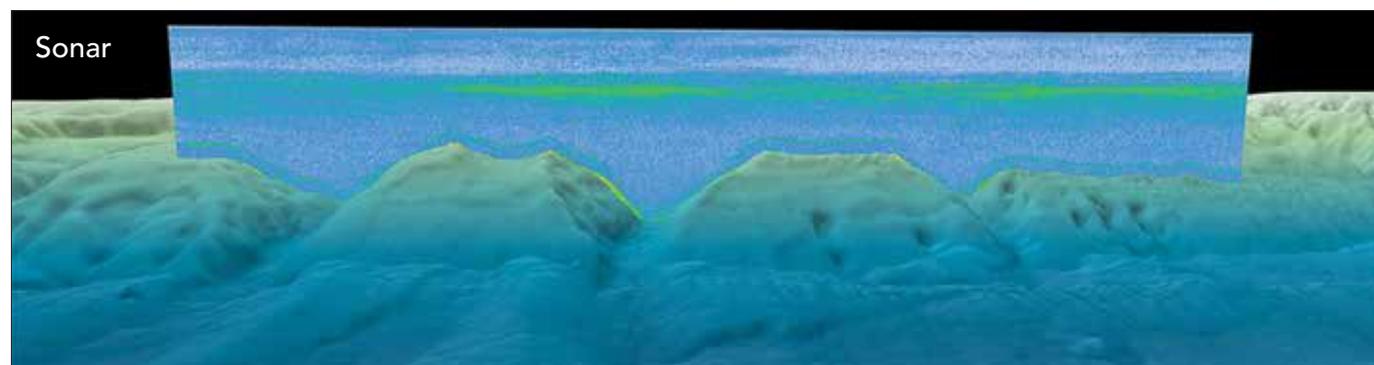


Les données Lidar sont collectées par des systèmes installés sur des avions qui recueillent jusqu'à 500 000 points par seconde, ce qui génère de vastes collections de points d'altitude denses et précis sur une vaste zone. L'Etat de l'Oregon permet à la collectivité de télécharger gratuitement des données Lidar.

## Radar



Les données radar comptent deux principaux atouts : elles fonctionnent dans le noir et peuvent voir à travers les nuages. Elles sont ainsi idéales pour la collecte de renseignements et le suivi météorologique, comme cette application NEXRAD (Next-Generation Radar).



Dans le cadre d'une initiative globale menée par NOAA, les données sonar d'une colonne d'eau sont collectées par une technologie acoustique active (ou sonar) proche de la surface jusqu'au plancher océanique. Comme les vaisseaux se déplacent au cours de la collecte, les données finissent pas ressembler à un rideau ou à un drap, comme illustré sur l'image. NOAA et les autres flottes internationales et académiques participantes rendent ces données accessibles dans le monde entier aux chercheurs et au public via cette application.

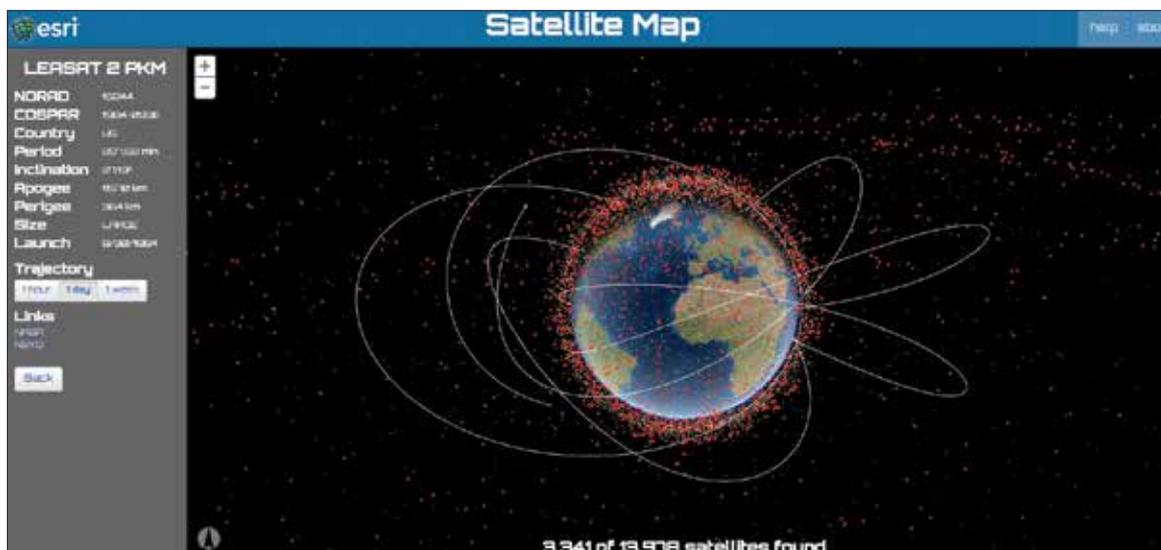
# Des yeux dans le ciel

## La constellation des satellites en orbite terrestre

Il existe plus de 3 300 satellites d'observation de la Terre en orbite autour du globe et leur nombre est en constante augmentation. Cette myriade d'« yeux dans le ciel » offrent aux analystes spatiaux un nombre sans précédent de données d'image qui trouvent une application dans presque tous les aspects de l'activité humaine. Ces satellites couvrent des orbites terrestres faibles, moyennes et élevées (géosynchrones). Ils sont gérés par des agences gouvernementales (telles que la NASA et l'Agence spatiale européenne) et par des sociétés privées (telles que Digital Globe et Airbus). Ils couvrent tous les segments du spectre électromagnétique, des capteurs Ultraviolet à Couleur naturelle en passant par les capteurs Infrarouge proche, Infrarouge moyen et Infrarouge thermique et les capteurs actifs à hyperfréquences, tels que le radar.

Mais l'espace devient encombré. Outre les 3 000 satellites actifs et plus, les agences spatiales du monde entier effectuent collectivement le suivi de 10 000 « débris spatiaux » et plus (fusées d'appoint utilisées, satellites dont la batterie est déchargée, outils laissés par les astronautes et d'autres débris issus de divers accidents et mésaventures).

Avec le succès des lancements privés et des microsatsellites, nous pouvons nous attendre à un nombre croissant de capteurs. La grille de capteurs de plus en plus dense offre la promesse d'une vaste gamme d'applications, mais elle représente des défis sérieux en ce qui concerne l'utilisation et la propagation efficaces du flux sans précédent d'informations brutes.



Cette application cartographie l'emplacement actuel d'environ 14 000 objets artificiels en orbite autour de la Terre. Les données sont gérées par Space-Track.org, une organisation qui favorise la sécurité des vols spatiaux, la protection de l'environnement spatial et l'usage pacifique de l'espace en partageant des informations de situation avec les opérateurs satellites américains et internationaux et d'autres organismes.

# D'autres perspectives

L'imagerie au niveau de la rue et oblique ouvre une nouvelle voie

Toute la géographie ne s'effectue pas du haut vers le bas. Les vues à angle oblique offrent une perspective unique utile dans la reconnaissance et l'immobilier, pour ne nommer que deux domaines d'application. L'imagerie au niveau de la rue, rendue populaire par Google Street View, constitue une forme avancée de données spatiales qui génère un type de navigation intégré et immersif.

## Oblique



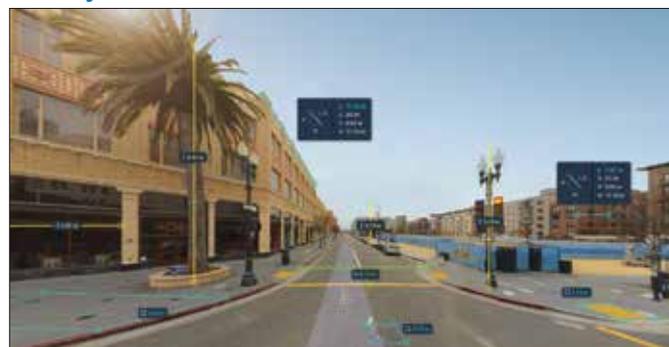
Les perspectives aériennes obliques sont capables de représenter l'avant et l'arrière de bâtiments, ainsi que des emplacements au sol. Ces perspectives peuvent être assemblées pour créer des cartes aériennes composées qui couvrent en toute transparence de nombreux kilomètres de MNT.

## Niveau de la rue



Mapillary est une plateforme qui transforme les photos de rue en cartes 3D afin d'extraire des données géospatiales. Les photos prises par des téléphones mobiles ou des caméras grand public peuvent être assemblées et reconstruites en quelques minutes avant d'être chargées dans Mapillary, puis dans ArcGIS.

## Reality Lens



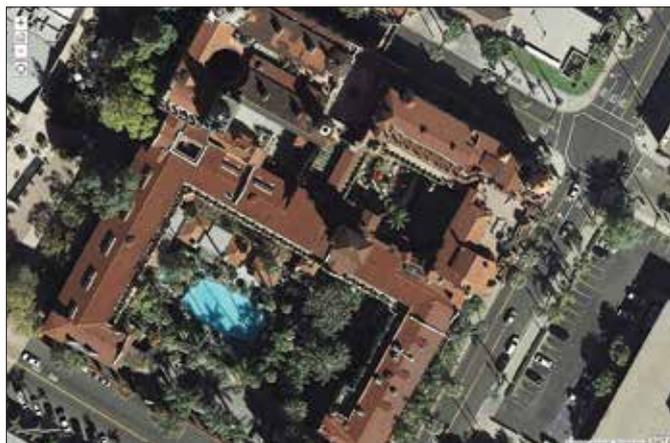
HERE Reality Lens est alimenté par des vues panoramiques au niveau de la rue de haute qualité et des données Lidar de haute précision qui vous permettent de réaliser des mesures précises sur les données au niveau de la rue.

# Résolution des images et précision au sol

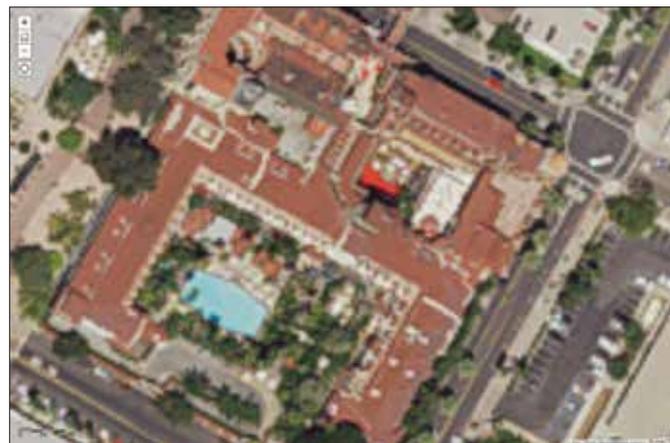
La résolution du sol est un concept important dans l'imagerie. Chaque image possède une résolution du sol, généralement exprimée sous forme de distance au sol. La communauté de l'imagerie désigne ce concept sous le nom de distance de référence au sol (GSD, ground sample distance). Cette résolution de cellule est la mesure de la hauteur et de la largeur d'une cellule carrée en unités au sol, telles que les mètres ou les pieds.



Une voiture est représentée avec trois tailles de pixel (ou distances de référence au sol) différentes, mais est affichée à la même échelle. Plus le nombre de pixels sur la voiture est important (ou plus la distance de référence au sol est petite) et meilleure est la fidélité de résolution de la voiture. A gauche, vous pouvez identifier qu'il s'agit d'une berline, à droite vous pouvez à peine détecter qu'il s'agit d'un objet.



Cette image de l'hôtel historique Mission Inn à Riverside en Californie est capturée à une résolution d'environ un pied. Cliquez sur l'image et agrandissez-la autant que possible. Chaque pixel représente environ un pied au sol. Ce type d'imagerie convient aux recherches et aux analyses propres à des sites.



Cette image de la même zone est capturée à une résolution d'un mètre. La différence de résolution est importante. Les données d'une résolution d'un mètre conviennent à la capture et à l'analyse de phénomènes sur des zones d'intérêt plus vastes.

# Spécialiste : Kass Green

L'imagerie révèle son caractère et sa structure de façon complexe

Comme une œuvre d'art, l'imagerie révèle son caractère et sa structure de manière complexe : toujours grandiose, parfois subtile et parfois déroutante. D'abord naît l'étonnement de sa beauté brute : la pureté des glaciers au Groenland, la ramification délicate du profil Lidar d'un séquoia, le bord irrégulier d'une ligne de faille sur le radar, les verts éclatants des tropiques, les lignes de l'impact humain, la renaissance des forêts du mont Saint Helens, l'ondoiement des terres cultivées en Asie et en Afrique, les neiges perdues du Kilimandjaro. Chaque image nous donne envie d'en découvrir davantage et de regarder encore et encore.

Après le premier coup d'œil, passons à l'exploration. Qu'est-ce qui est à l'origine de cette unique réponse spectrale ? Pourquoi est-ce que les arbres poussent sur les pentes orientées au nord et les arbustes sur les pentes orientées au sud dans cette région ? Est-ce que l'emplacement des différentes espèces arborées est lié à la pente et à l'altitude ? Pourquoi cette maison a-t-elle brûlé alors que sa voisine n'a pas été touchée par les flammes ? Combien de personnes vivent dans ce village ? Quelles sont les productions agricoles cultivées ici ? Est-ce qu'il y aura assez de nourriture pour toutes ces personnes ? Comment le paysage a-t-il changé si radicalement ? Qui l'a changé ?

Ensuite, grâce à la puissance du SIG, nous découvrons les connexions. Si nous avons de la chance, nous voyageons sur le terrain avec nos applications Collector pour constater par nous-mêmes la différence du paysage par rapport à l'imagerie et d'autres couches SIG. Nous utilisons ArcGIS pour organiser et co-référencer les couches d'informations et nous recherchons les variables les plus prédictives. Nous apprenons à extraire de l'imagerie et des données SIG des informations sur l'emplacement, la hauteur, la forme, la texture, le contexte, l'ombrage, le ton et la couleur de chaque objet. Ensuite, nous concevons des cartes. Nous faisons l'inventaire des ressources et surveillons leur évolution au fil du temps.

L'imagerie m'a permis de voyager dans le monde entier. Grâce à elle, j'ai parcouru le globe, entendu des récits étonnants et rencontré des gens fascinants, tous passionnés par leurs projets et leurs communautés. J'ai beaucoup de chance d'avoir rencontré la beauté de l'imagerie et à travers elle, d'avoir découvert le travail qui m'était très clairement destiné.

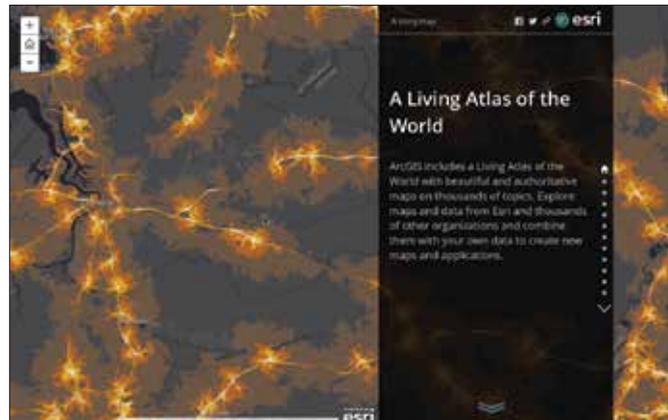
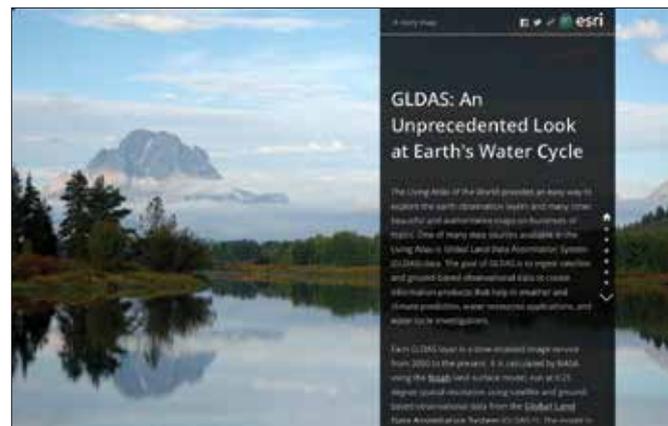


*En tant que fondatrice d'une des premières sociétés commerciales de traitement des données Landsat, Kass Green est une actrice majeure de la télédétection et du SIG depuis plus de 20 ans. La publication de son nouveau livre Esri Press Imagery and GIS : Best Practices for Extracting Information from Imagery est prévue pour 2017.*

# Démarrage rapide

Pour commencer, percevez de quelle façon l'imagerie peut être utilisée dans la plateforme ArcGIS en la voyant résoudre des problèmes réels (ou au moins informer sur ces problèmes). Les Story Maps suivantes offrent des vues organisées et guidées du monde de l'imagerie et de l'importance de son application dans la résolution de certains des problèmes les plus urgents de la planète.

A la fin de chaque Story Map, vous trouverez des liens vers les données source qui ont été utilisées et certaines pratiques recommandées pour utiliser correctement les données dans ArcGIS.



# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

Etudiez les modèles écologiques d'utilisation du sol en 3D à l'aide des données de l'atlas dynamique dans ArcGIS Earth

## ► Vue d'ensemble

La carte ELU (Ecological Land Units, unités territoriales écologiques) présente une division et une classification systématiques de la biosphère à l'aide d'entités écologiques et physiographiques à la surface de la Terre. Ce jeu de données étant global, la source de données est idéale pour mener des analyses à l'aide d'ArcGIS Earth.

Dans cette leçon, vous allez ouvrir ArcGIS Earth, une application légère qui permet d'accéder et d'afficher les données ELU qui révèlent les modèles de changement à la surface de la Terre. Vous allez analyser différentes parties de la planète et voir l'adéquation entre vos nouvelles notions de ces zones et les données empiriques réelles.

## Développez des compétences dans les domaines suivants :

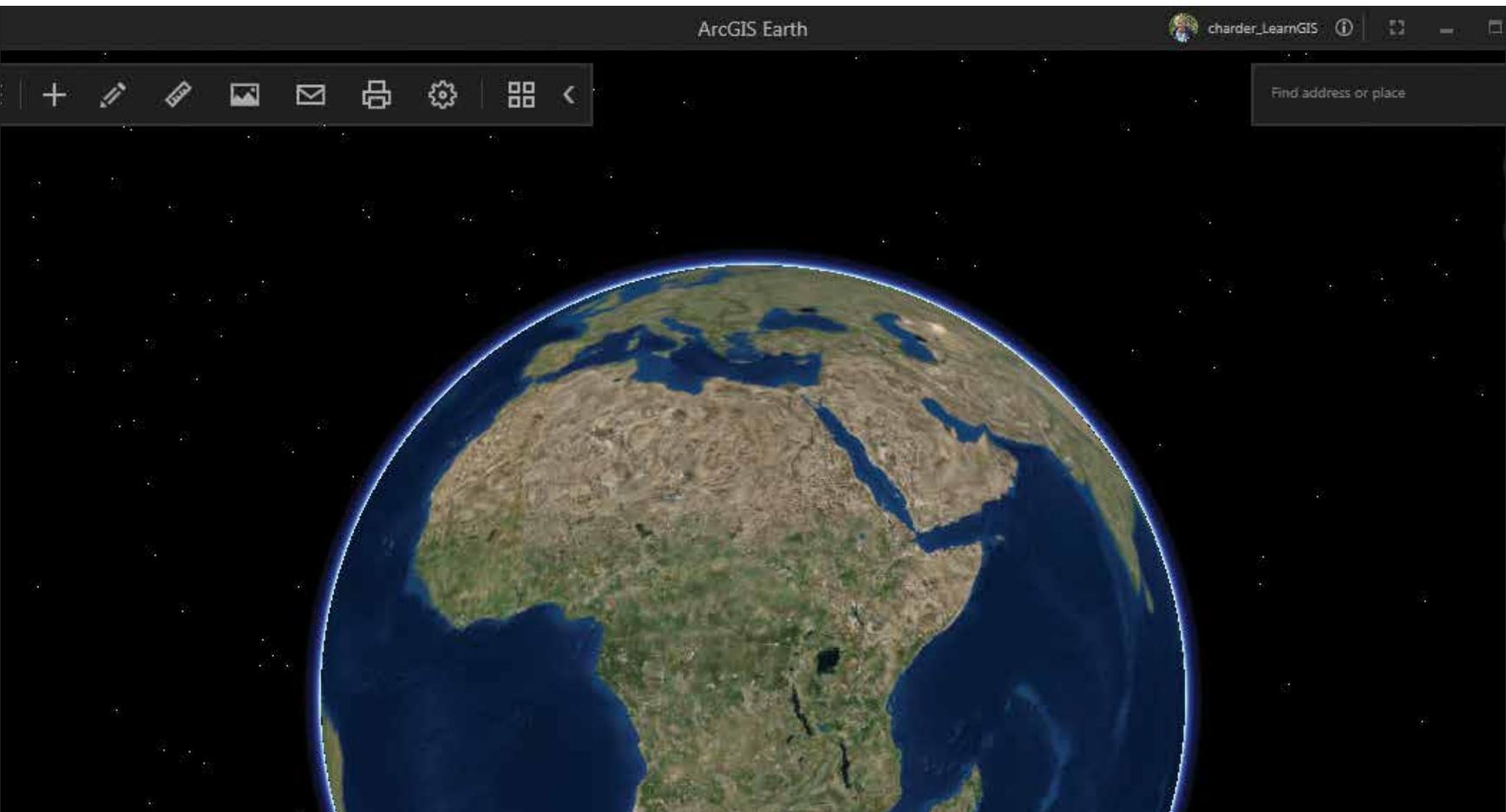
- Exploration d'ArcGIS Earth
- Chargement de données provenant de l'atlas dynamique
- Accès aux données KML 3D

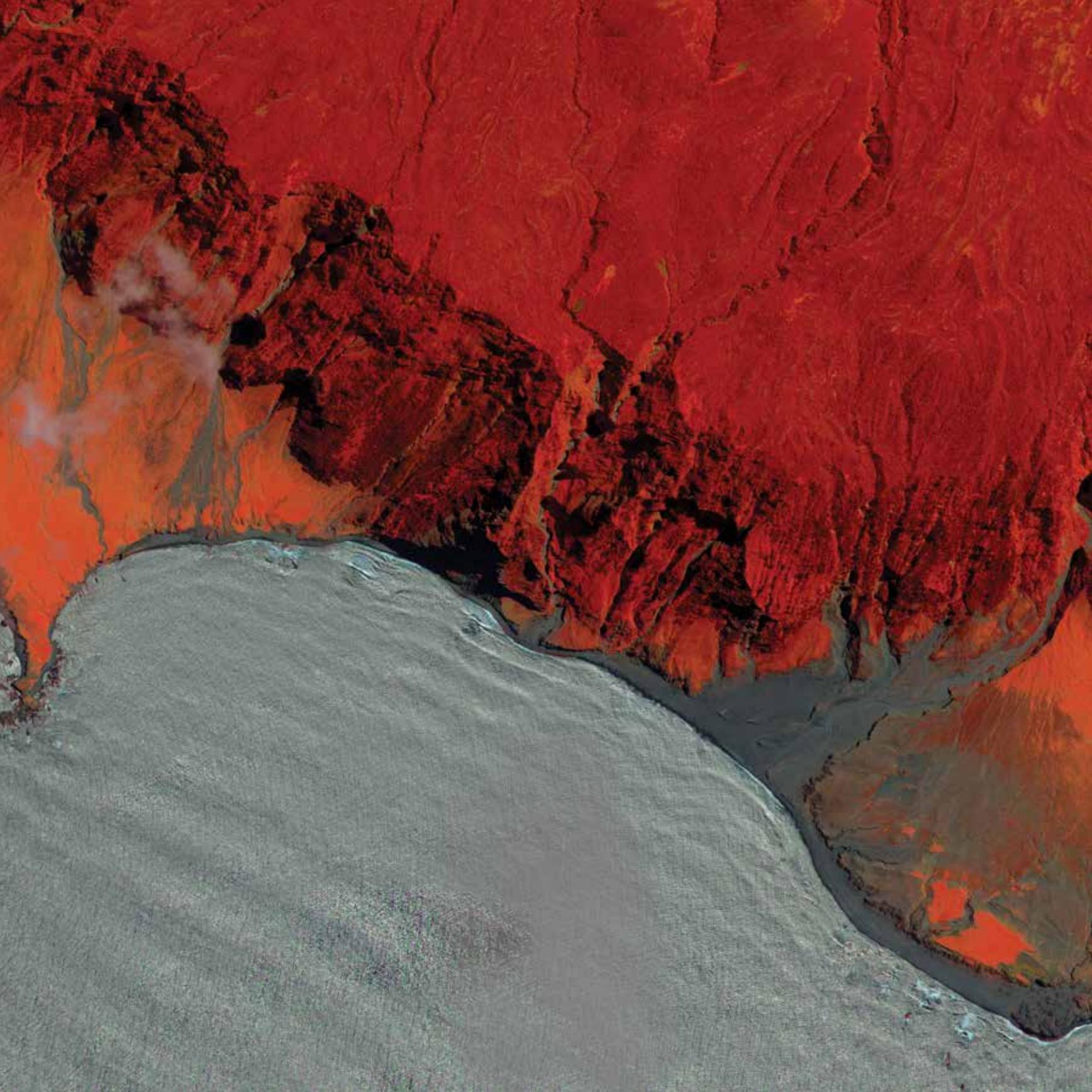
## ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- ArcGIS Earth
- Durée estimée : 15 minutes

## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter2\\_Lesson](https://esri.com/imagerybook/Chapter2_Lesson)





## Définition de l'imagerie

### La synergie du SIG et de l'imagerie

Au regard des utilisateurs professionnels, l'imagerie et le SIG ont été perçus comme aussi proches conceptuellement que les formes complémentaires de la photographie numérique, tout en demeurant largement indépendants. Les utilisateurs disposaient d'un système pour le SIG et d'un autre pour le traitement d'images. L'association de ces deux canaux distincts au sein d'ArcGIS a constitué une innovation, entraînant le soudain développement d'applications d'images au sein du monde du GIS vectoriel traditionnel.

# Une pierre angulaire du SIG

## Anatomie d'une image

L'imagerie a longtemps constitué la pierre angulaire du SIG qui contribuait synergiquement à une vaste gamme d'applications SIG. En vérité, l'adoption large et constante du SIG au cours des dernières décennies a été alimentée par l'imagerie et la télédétection. Idéale pour créer des fonds de carte photographiques et parfaite comme base pour extraire, tracer ou numériser des entités géographiques, l'imagerie est le complément rêvé du SIG vectoriel, qui utilisait des points, des lignes et des polygones pour représenter la géographie.

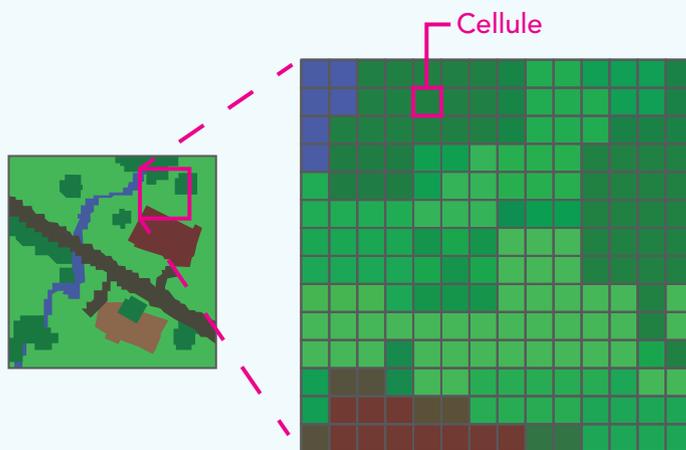
ArcGIS est un support d'intégration d'images complet qui ouvre la porte à l'utilisation de milliers de capteurs d'images (avions, satellites, drones ou au sol) qui opèrent en continu autour du globe. Ces observations capturées numériquement s'intègrent à l'espace géographique et sont horodatées pour des applications temporelles. Les couches d'informations obtenues sont continuellement ajoutées aux connaissances SIG collectives de la planète, permettant aux personnes qui travaillent avec des informations géographiques d'aller plus loin, plus vite et d'avoir un plus vaste impact.

Outre ses fonctionnalités SIG traditionnelles, ArcGIS comporte également des fonctionnalités complètes de traitement d'images prenant en charge l'utilisation de l'application, ainsi que l'intégration de l'imagerie et de la télédétection.

Cette synthèse repose sur une série de concepts d'unification clés qui relient l'imagerie au SIG. Ce chapitre examine ces concepts clés et les renforce par des exemples qui transmettent la puissance de l'imagerie dans votre SIG.

### Imagerie de cellules

Chaque image se compose d'une série de lignes de cellules (ou pixels) contenant une valeur. Les valeurs représentées dans chaque cellule d'une image peuvent être des pixels en couleur comme vous les voyez sur n'importe quelle photo numérique, une série d'observations comme les mesures dans une scène Landsat ou d'autres valeurs représentant des catégories thématiques, des valeurs de surface (par exemple l'altitude) ou des résultats de modèles analytiques.



# Les couches d'imagerie sont universelles et variées

Un raster est une grille de cellules dans un espace géographique. Les espaces au sein de la grille sont les cellules. Dans un SIG, ces cellules sont référencées selon la géographie réelle. Cette structure raster basée sur des cellules permet de stocker et de gérer toutes les données d'imagerie. Cette structure de grille fondamentale confère aux données raster un caractère universel et les rend utiles pour représenter pratiquement n'importe quel type d'informations géographiques. En d'autres termes, tous les types de données peuvent être intégrés à l'imagerie pour la cartographie, l'analyse avancée et la gestion des données.

## Image aérienne en couleurs vraies



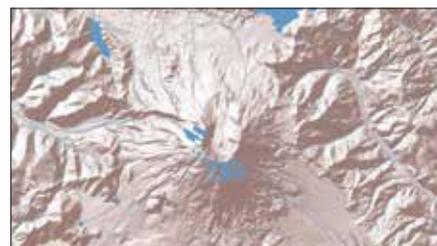
*Imagerie le long de la rivière Pelorus à Marlborough en Nouvelle-Zélande. Cette image fait partie d'un jeu de données d'imagerie national complexe fourni par LINZ (Land Information New Zealand).*

## Scène Landsat



*Scène Landsat 8 des montagnes et canyons de l'Utah. Cette image de type Infrarouge à ondes courtes est utile pour détecter les changements, étudier la santé de la végétation, les sols perturbés et les types de sols.*

## Surface d'altitude



*Surface d'altitude du Mont Saint Helens découlant d'un modèle numérique de terrain acquis par satellite et utilisé pour créer un ombrage réaliste.*

## Occupation du sol



*Les rasters d'occupation du sol identifient différents types d'espaces bâtis, de terres agricoles, de forêts et de végétation naturelle. Chaque cellule représente la valeur prédominante qui la couvre.*

## Précipitation



*Cette carte chronologique issue des images du satellite MODIS contient un historique qui illustre le volume des précipitations tombées au cours de chaque mois entre mars 2000 et maintenant.*

## Zones inondables



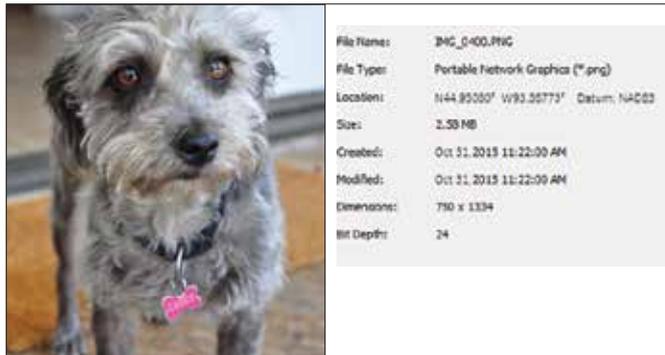
*Cette carte de Charleston, en Caroline du Sud, compare les zones qui sont vulnérables aux inondations côtières avec les mêmes zones sur une carte US Coast Survey de la ville datant de 1863.*

# En coulisses

## L'imagerie contient des métadonnées

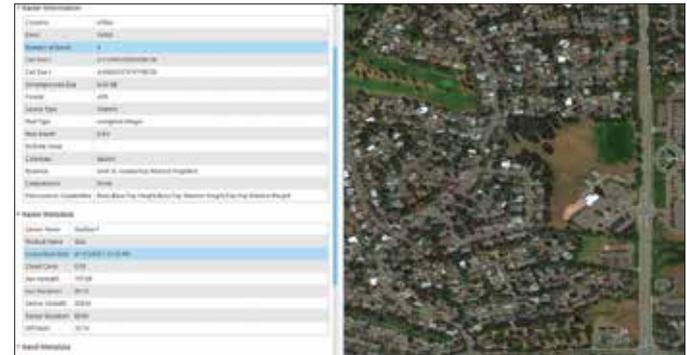
L'imagerie d'observation de la Terre, comme n'importe quelle photographie numérique, contient des métadonnées importantes qui permettent d'utiliser de manière judicieuse vos informations dans ArcGIS. Les algorithmes logiciels utilisent ces informations pour automatiser un grand nombre des étapes techniques autrefois fastidieuses de l'imagerie de géoréférencement.

### Métadonnées des photos numériques



Vos photos numériques contiennent des métadonnées concernant la photo, notamment la date de prise de la photo, ainsi que l'emplacement de l'appareil photo : sa balise géographique qui enregistre les coordonnées GPS.

### Métadonnées de l'imagerie



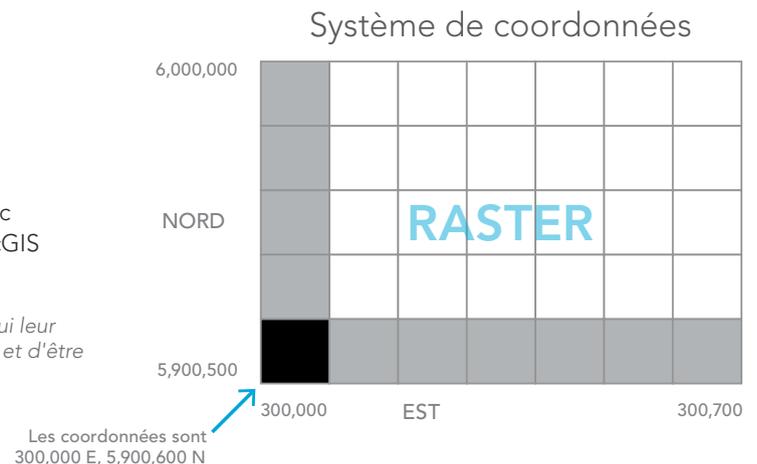
De même, l'imagerie aérienne, satellite et prise par drone contient des métadonnées détaillées qui permettent d'effectuer une utilisation plus astucieuse : la référence spatiale (ou emplacement) de votre image, la date de création, l'ampleur de la couverture nuageuse et d'autres propriétés.

ArcGIS exploite ces informations dans votre imagerie, ce qui permet d'élaborer des affichages et analyses automatiques et judicieux.

### Les images disposent d'une référence géographique

La caractéristique qui définit les données SIG est que toutes les couches sont référencées à la surface de la Terre (ou d'autres planètes s'il s'agit de votre zone d'étude). Les données d'imagerie possèdent également une référence spatiale qui leur permet d'être superposées et utilisées avec tous les autres types de couches SIG. C'est ce qui fait d'ArcGIS une plateforme d'intégration d'images complète.

*Les rasters possèdent une référence spatiale qui leur permet de s'enregistrer à la surface de la Terre et d'être associés à d'autres couches de données SIG.*

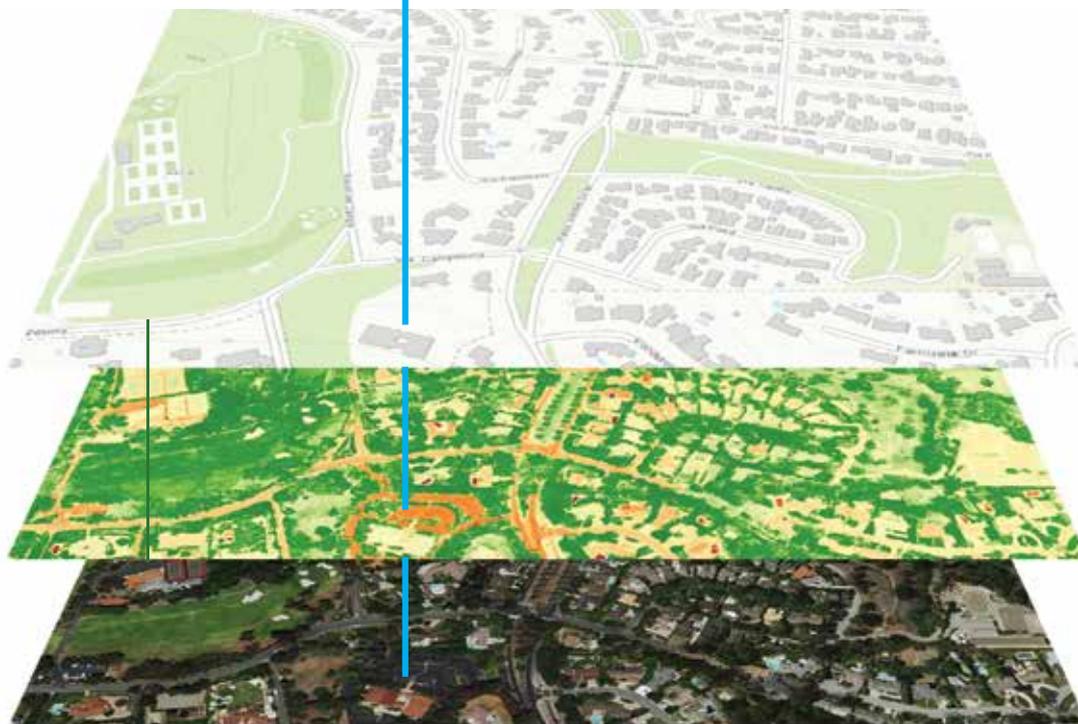


# La géographie est une clé organisationnelle

L'imagerie s'aligne sur d'autres couches géographiques

Les images sont également des couches SIG. Comme toutes les informations géographiques, elles sont géoréférencées à un emplacement de la Terre, ce qui signifie qu'elles sont enregistrées avec les autres couches géographiques du SIG. Cette fonction de superposition est le concept fondamental sur lequel s'appuie le SIG. Associée à d'autres données exploitables, l'imagerie transcende son statut de simple image pour devenir une réelle source d'informations : des données qui peuvent être associées, comparées et analysées avec d'autres couches de données de la même zone.

33.746851, -118.321296



*Toutes les couches s'enregistrent et s'alignent dans un SIG, notamment les couches d'imagerie. Ce type de géoréférencement des informations est la marque du SIG et permet à des types disparates d'informations de s'afficher, d'être associés et analysés dans un espace géographique commun.*

# Un format qui s'adapte

N'importe quelle couche SIG peut être représentée en tant que raster

Une fois que vous avez réalisé que les rasters ne sont que des fichiers image alignés géographiquement, ils deviennent la base d'un format de données simple et universellement applicable. Toute l'imagerie est gérée simplement sous forme de collections de rasters. De même, pratiquement n'importe quel jeu de données SIG (entités vectorielles, surfaces continues et informations chronologiques) peut être représenté à l'aide des rasters.

C'est ainsi que le SIG permet d'organiser et de mieux comprendre l'imagerie. Des jeux de données uniques pour une étendue spécifique de la géographie (son échelle et son étendue) constituent une pile de couches (parfois nommée cube de données), qui vous permet d'intégrer un nombre illimité de couches indépendantes. Par conséquent, l'imagerie fournit un grand nombre des couches de chaque SIG et optimise l'efficacité.

## Les rasters peuvent représenter des surfaces



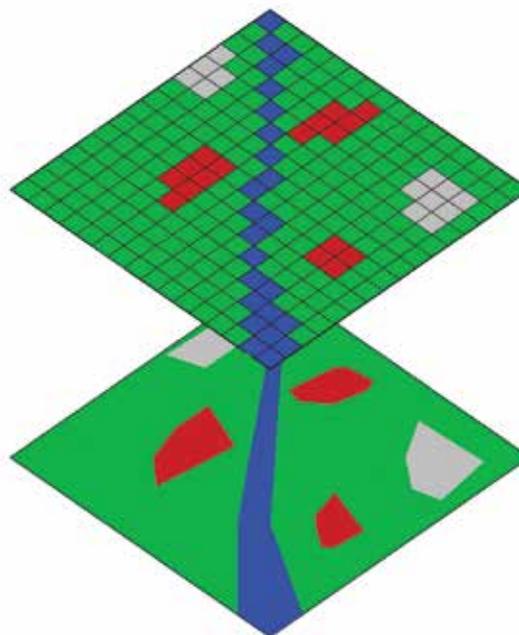
Cet exemple illustre les surfaces d'altitude extrêmement variables et spectaculaires au sud de l'Utah à l'aide du fond de carte ombré de Landsat.

## Les rasters peuvent représenter le temps



Cette application de cartographie Web est conçue pour afficher la profondeur du manteau neigeux moyenne mensuelle pour l'année 2014.

## Les rasters peuvent représenter des entités

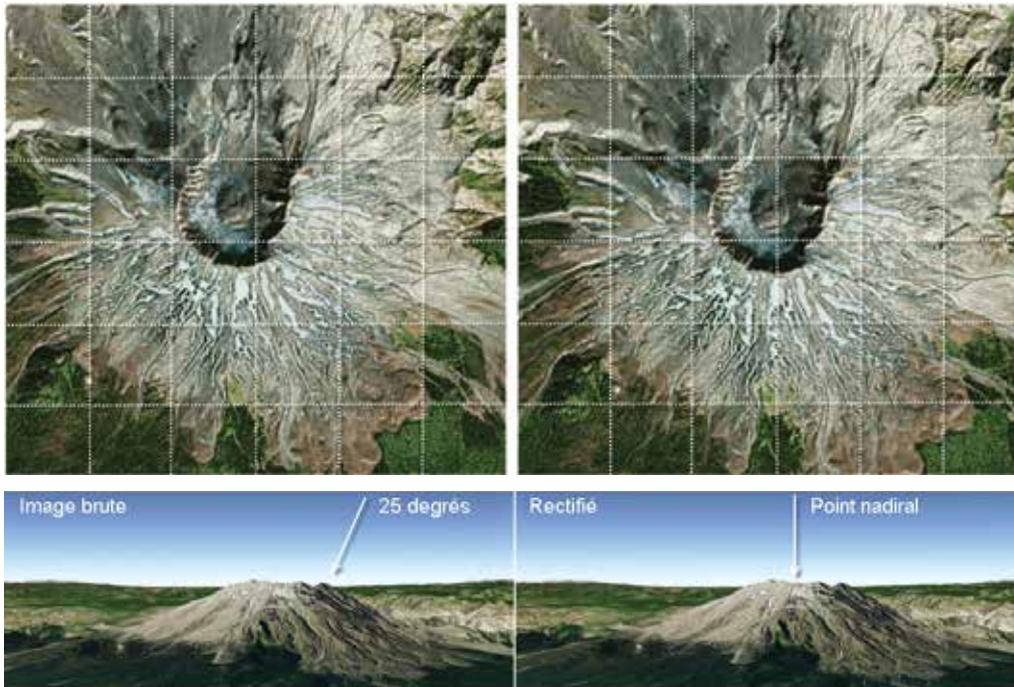


Ce diagramme illustre un segment de cours d'eau sous forme de vecteur (le polygone bleu de largeur variable dans la vue inférieure) converti en raster (avec d'autres entités) dans la vue supérieure.

# Imagerie orthorectifiée

Un géoréférencement d'images précis grâce à l'altitude

L'imagerie comporte un nombre incroyable d'informations, mais l'imagerie aérienne ou satellite ne peut pas être utilisée dans un SIG tant qu'elle n'a pas été traitée de sorte que tous les pixels se trouvent dans une position (x,y) précise au sol. La photogrammétrie est une discipline, développée sur de nombreuses décennies, qui permet de traiter l'imagerie afin de générer des images géoréférencées précisément, désignées sous le nom d'images orthorectifiées (ou parfois simplement orthoimages). Les images orthorectifiées ont été traitées pour appliquer des corrections aux distorsions optiques du capteur, et aux changements apparents dans la position des objets au sol provoqués par le MNT du sol et la perspective de l'angle de vue du capteur.



*Une vue capturée à partir d'un angle oblique (par exemple, 25°, à gauche) doit être corrigée en ce qui concerne le déplacement de relief provoqué par le MNT pour générer la vue orthorectifiée (vue plongeante, à droite). L'orthoimagerie est produite en calculant la vue nadirale pour chaque pixel.*

Le processus d'orthorectification nécessite : une description précise du capteur, généralement nommée modèle de capteur, des informations détaillées concernant l'emplacement et l'orientation du capteur pour chaque image, ainsi qu'un modèle de MNT précis, par exemple le service World Elevation disponible dans ArcGIS Online. Une fois l'imagerie orthorectifiée, elle peut être utilisée au sein d'un SIG et être superposée avec précision sur d'autres couches de données.

# Imagerie multispectrale

## Une perception extrasensorielle

L'un des types les plus extraordinaires d'imagerie collectée par la télédétection est l'imagerie multispectrale. Chaque image se compose de données issues d'une série de capteurs embarqués qui collectent des petites tranches (ou canaux) sur un spectre électromagnétique. La table ci-dessous montre la liste complète des longueurs d'onde (désignées par le nom de canaux) qui sont collectées par l'imagerie Landsat 8 selon la nature de la capture. Les images ci-dessous sont des exemples de ce que vous « voyez » en associant différents canaux sur des écrans électroniques rouge, vert et bleu ou des impressions.

Canal 1	Aérosol côtier	Canal 4	Rouge	Canal 7	Onde courte infrarouge 2	Canal 10	Infrarouge thermique
Canal 2	Bleu	Canal 5	Proche infrarouge	Canal 8	Panchromatique	Canal 11	Infrarouge thermique
Canal 3	Verte	Canal 6	Onde courte infrarouge 1	Canal 9	Cirrus		

Les canaux d'images de Landsat 8 peuvent être associés pour créer différentes couches de données scientifiques qui permettent de réaliser des recherches et des analyses. Pour en savoir plus, consultez le site [USGS Landsat](https://landsat.usgs.gov/) en ligne.

### Couleur naturelle



La combinaison Couleur naturelle (canaux 4, 3, 2) de rouge, vert et bleu est idéale pour l'analyse globale des entités terrestres et sous-marines et pour les études urbaines.

### Couleur infrarouge



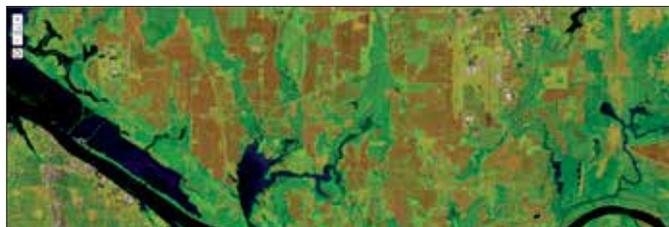
La photographie en couleur infrarouge, souvent appelée photographie de couleur faussée, car elle rend la scène dans des couleurs différentes de celles normalement perçues par l'œil humain, est couramment utilisée pour interpréter les ressources naturelles.

### Interface entre la terre et l'eau



Le service Landsat GLS (Land/Water Boundary) (canaux 4, 5, 3) met l'accent sur les limites entre la terre et l'eau.

### Analyse de la végétation



Cette combinaison de canaux 6, 5, 4 illustre la végétation irriguée en vert clair. Les sols apparaissent en brun, marron et mauve.

# Mosaïques

## Collections d'images

La structure de données recommandée au sein d'ArcGIS pour gérer et traiter l'imagerie est la mosaïque. Une structure de mosaïque offre des fonctionnalités de Big Data importantes pour les collections d'images volumineuses, voire considérables. Chaque mosaïque se compose de plusieurs jeux de données raster associés, ce qui vous permet de conserver vos fichiers image individuels d'origine sur le disque et d'y accéder dans le cadre d'une seule collection intégrée de plus grande taille. Les mosaïques permettent de créer une surface d'images continues sur de vastes zones. Vous pouvez par exemple utiliser des mosaïques pour gérer la couverture de fichiers image très haute résolution d'un continent entier. Vous pouvez également gérer l'intégralité d'une série de cartes historiques d'une nation pour chaque année et chaque échelle de la carte. Vous pouvez même gérer d'énormes collections multidimensionnelles d'informations chronologiques pour les observations de la Terre et la modélisation des prévisions climatiques (souvent désignées sous le nom de 4D). Le processus de création des mosaïques est simple. Vous pouvez pointer sur une série de fichiers image géoréférencés source et assembler automatiquement une mosaïque en quelques minutes, où chaque image joue le rôle de tuile au sein de la collection.



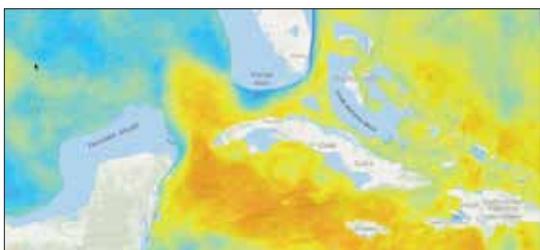
### Gestion de très grandes collections

Sur la gauche, une vue d'ensemble en mosaïque présente les environs du Michigan, de l'Illinois et du Wisconsin. Une vue rurale des fermes se trouve sur la droite. Cette mosaïque, fournie par le programme NAIP (National Agriculture Imagery Program), contient plus de 400 000 tuiles d'images individuelles et couvre le continent américain. Elle inclut les informations complètes sur plusieurs canaux de chaque image NAIP, ainsi que des vues d'ensemble permettant d'utiliser l'imagerie à différentes échelles.



### Donner vie aux collections historiques

Les mosaïques d'images peuvent également être constituées de cartes historiques numérisées, comme l'explorateur de cartes topographiques et historiques (Historical Topographic Map Explorer) qui contient 175 000 cartes historiques de l'USGS accessibles sous forme d'une mosaïque d'images sur ArcGIS Online. Vous pouvez également géoréférencer vos propres cartes historiques et des photographies aériennes anciennes pour les assembler dans des mosaïques.



### Analyse des données multidimensionnelles

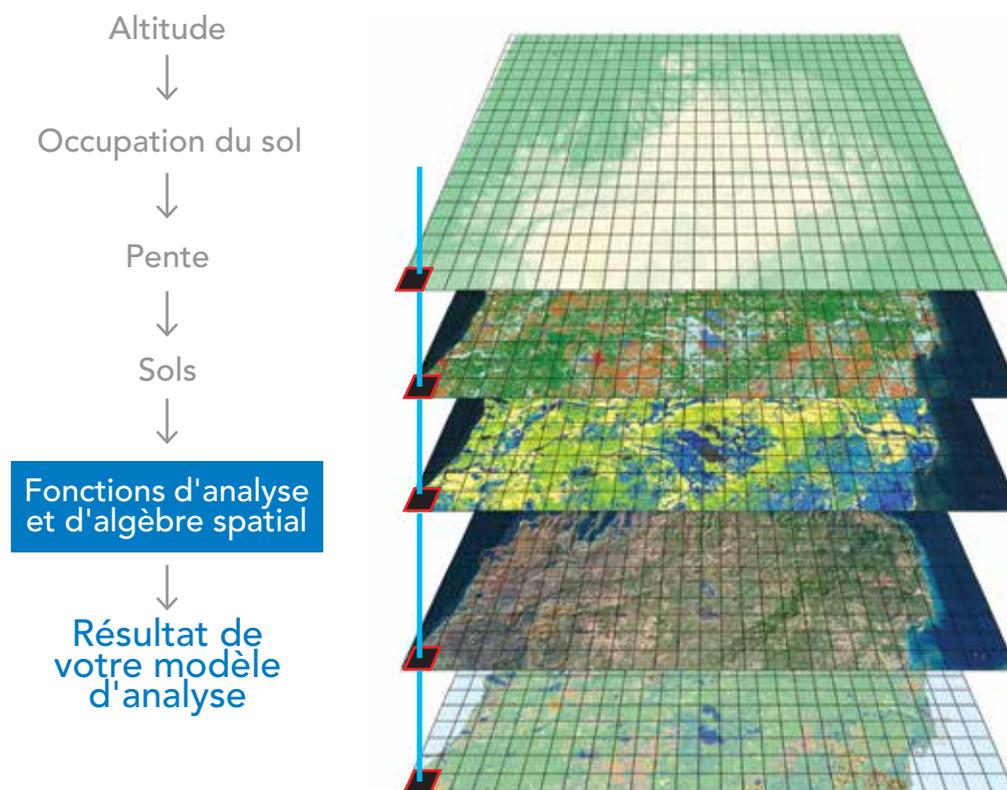
Les données multidimensionnelles sont capturées par emplacement, profondeur océanique et date. Les géologues font fréquemment référence à ces données en 4D, car elles représentent l'emplacement en trois dimensions, auxquelles s'ajoute le temps comme dimension supplémentaire. Les mosaïques permettent de gérer et d'appliquer les données multidimensionnelles.

# Les rasters favorisent l'analyse

## Assemblage de piles de couches

Les rasters favorisent un grand nombre de fonctions mathématiques et d'opérations spatiales sophistiquées en procurant un format de données universel simple qui facilite pratiquement n'importe quel type de jeu de données géographique. Des workflows simples sont ainsi mis en place pour effectuer tous types d'opérations et de calculs analytiques complexes et intéressants. Lorsque des cellules raster sont empilées les unes sur les autres, elles se transforment en une sorte de « pile » de données de traitement.

N'importe quelle couche de données SIG peut se transformer en jeu de données quadrillé, assemblé avec d'autres jeux de données, ce qui crée une pile capable de contenir plusieurs couches et vous permet d'associer des données dans des modèles analytiques utiles.



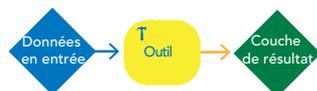
*Les rasters révèlent des fonctionnalités d'analyse performantes. Par exemple, les rasters s'empilent les uns par dessus les autres, ce qui permet d'effectuer des opérations d'intégration et de superposition utiles. En outre, les cellules voisines au sein d'un raster peuvent servir à calculer les statistiques zonales, la proximité avec certaines entités, la modélisation de la surface et les fonctions de flux. De plus, la dimension 3D et la dimension temporelle peuvent être activées analytiquement de différentes façons.*

# Association des rasters dans des modèles

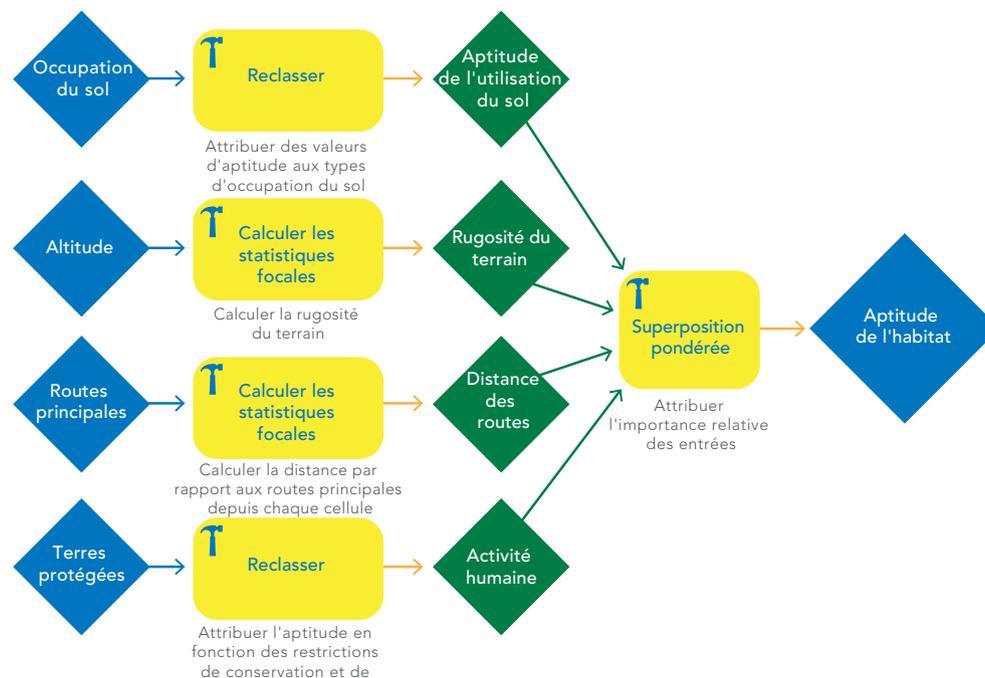
## Enchaînement d'une séquence d'opérations

Dans ArcGIS, les outils et couches raster sont associés dans un modèle progressif. Chaque outil d'analyse raster réalise une opération de petite envergure, mais essentielle sur les données géographiques (par exemple associer des couches à une superposition pondérée, calculer la distance entre chaque cellule et des entités spécifiques ou tracer des chemins de flux sur une surface). Ces couches peuvent ensuite être utilisées dans d'autres outils qui génèrent davantage de résultats. Ceci vous permet d'enchaîner une séquence d'opérations et de créer vos propres algorithmes d'analyse spatiale. Vous pouvez ainsi utiliser ArcGIS pour modéliser à peu près n'importe quel type de problème spatial auquel vous pouvez penser.

### Fonctionnement des modèles



Les modèles analytiques exécutent une séquence d'outils.



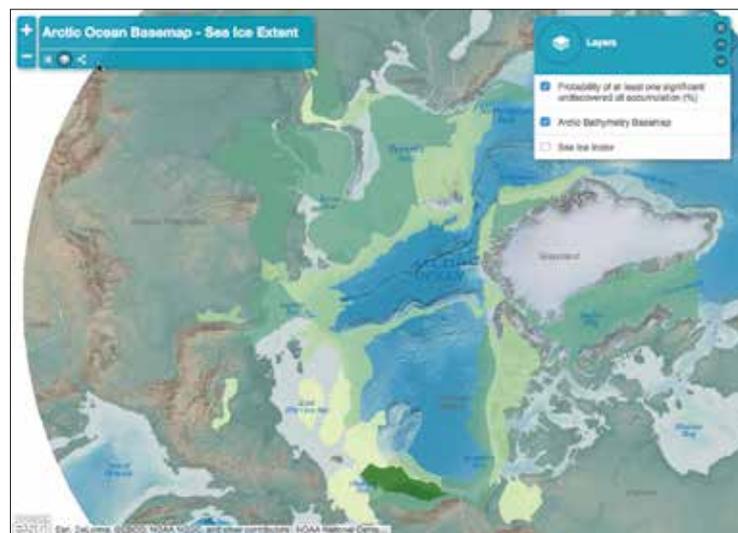
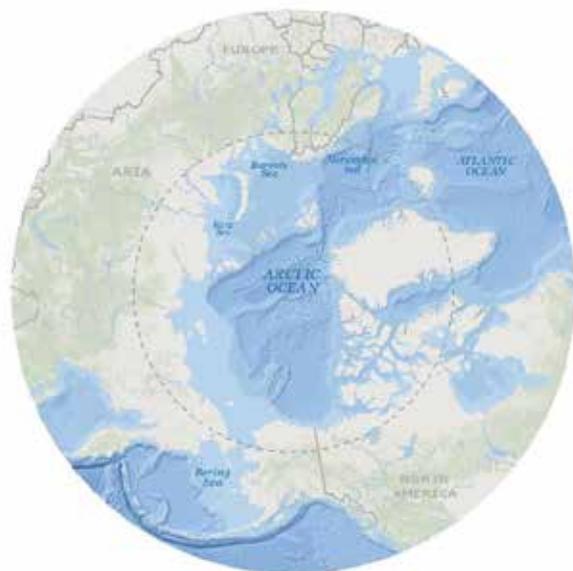
*Le géotraitement est l'exécution méthodique d'une séquence d'opérations sur des données géographiques en vue de créer de nouvelles informations. Le type de données raster dispose de certains des outils de modélisation et d'association des couches raster les plus performants. Le modèle d'habitat simplifié des pumas ci-dessus est un exemple des remarquables fonctionnalités d'analyse et de modélisation des rasters dans ArcGIS.*

# Etude de cas : un nouveau niveau de froid

## Le fond de carte de l'océan Arctique

Au cours de ces dernières années, l'équipe du fond de carte des océans d'Esri a remarqué que l'attention des scientifiques du monde entier se concentrait désormais sur le Nord. Le recul de la banquise et l'augmentation du trafic maritime au sein de l'océan Arctique sont devenus des thèmes prépondérants parmi les discussions des communautés marines et maritimes. Pour soutenir les communautés, l'équipe du fond de carte des océans d'Esri a développé le fond de carte de l'océan Arctique.

Le fond de carte de l'océan Arctique utilise une projection polaire qui est optimisée pour cette partie de la planète. La projection azimutale équivalente de Lambert centrée sur l'Alaska permet au fond de carte de l'océan Arctique d'interagir en toute transparence dans le cadre des applications polaires. Elle propose actuellement des données issues de nombreuses sources océanographiques de données bathymétriques officielles émanant de la communauté maritime soudée d'Esri. Tout comme la version Web Mercator du fond de carte Océans, le fond de carte de l'océan Arctique se compose de deux services de carte. Dans cette carte Web, les services de base et de référence sont associés pour créer un « sandwich » de cartes.



Le fond de carte de l'océan Arctique (à gauche) utilise une projection spéciale qui est optimisée pour l'étude de cette région couvrant les latitudes Nord du globe, de 90 à 50 degrés Nord. Il (ainsi que la version d'imagerie complémentaire) est conçu pour être utilisé en tant que fond de carte pour superposer d'autres données de la région arctique, comme dans cet exemple (à droite) qui illustre l'étendue de la banquise et les données d'exploration des ressources en pétrole par dessus le fond de carte polaire.

# Spécialiste : Dawn Wright

## L'imagerie vue sous les vagues

Plus de 1 500 personnes ont escaladé le Mont Everest, plus de 300 personnes ont voyagé dans l'espace et 12 ont marché sur la lune, mais seulement trois sont descendues dans les parties les plus profondes de l'océan et en sont revenues. Comme Ulysse, nous devons emprunter des bateaux pour voguer sur la mer et explorer notre monde intérieur. Pour collecter son imagerie, nous nous appuyons sur des capteurs acoustiques embarqués et des capteurs à distance au-dessus et au-dessous. Nous nous reposons ensuite sur le SIG pour transformer toutes ces données en informations exploitables : pour cartographier et restaurer des habitats, concevoir des zones protégées, gérer des zones de pêche en eau profonde, modéliser l'étendue d'un tsunami pour des plans d'évacuation, réagir aux marées noires, améliorer la navigation portuaire et comprendre comment les tempêtes érodent la côte. Nous l'utilisons également pour découvrir. Notre « nouvelle » frontière est vieille de plus de trois milliards d'années et pourtant nous n'en avons à peine cartographié le dixième, et ceci au niveau de détail d'une carte de randonnée dans un parc national.

Et pourtant, l'avenir de l'exploration de la profondeur des mers semble plus prometteur à mesure qu'il s'approche. Nous élaborons de meilleurs capteurs et modes d'analyse, ainsi que des méthodes permettant de tirer le meilleur parti de chacun. Depuis des années, les capteurs installés sur des satellites et des avions ont été formidables pour voir les entités à la surface de l'eau, mais pas sous les vagues. Les capteurs aéroportés s'appuient sur l'énergie électromagnétique et plus vous allez en profondeur (ce concept qui va de la surface vers les profondeurs, connu sous le nom de colonne d'eau) et plus cette énergie est déformée et se dissipe. Les ondes sonores peuvent toutefois être transmises via l'eau à la fois plus loin et plus rapidement. Nous nous appuyons donc sur des capteurs acoustiques hydriques pour nous aider à visualiser la colonne d'eau. Nous utilisons l'intensité du signal sonore (rétrodiffusion) pour résoudre la forme des objets et le caractère du plancher océanique. Les zones hautement sédimentaires sont généralement non réfléchissantes, par exemple, tandis que les coulées de lave des volcans sous-marins récemment



*La responsable scientifique d'Esri Dawn Wright contribue à l'avancement du travail d'Esri dans les domaines de l'environnement, de la conservation, du climat et des sciences océaniques.*

entrés en éruption tendent à être vitreuses et extrêmement réfléchissantes. Les objets en métal, tels que les épaves de bateaux et d'avions, sont également réfléchissants.

Grâce aux voyages de détection acoustique, nous avons obtenu des images à des niveaux de détails très élevés, mais ces études systématiques sont malheureusement restées trop rares. Nous avons donc également besoin d'une télédétection via la vidéographie et la photographie sous-marine, ainsi que du SIG pour convertir les différentes dimensionnalités, résolutions et précisions des données en une imagerie qui nous permet de réellement comprendre notre espace intérieur.



[Regarder une vidéo : Dawn Wright et Jack Dangermond parlent du SIG et des océans](#)

# Démarrage rapide

## Exploration de la veine principale de Landsat

Les données Landsat 8 sont accessibles à toutes les personnes connectées à Internet. Amazon Web Services (AWS) propose gratuitement des données Landsat 8 afin que tous les utilisateurs puissent exploiter les ressources de calcul à la demande pour effectuer des analyses et créer de nouveaux produits sans se préoccuper du coût de stockage des données Landsat, ni du temps nécessaire pour les télécharger. Toutes les scènes Landsat 8 de 2015 sont disponibles, ainsi que certaines scènes sans nuages datant de 2013 et 2014. Toutes les nouvelles scènes Landsat 8 sont proposées chaque jour quelques heures après leur capture.

Landsat voit la Terre d'une manière unique. Il prend des images de tous les emplacements du monde afin de révéler les secrets de la Terre, de l'activité volcanique au développement urbain. Landsat voit une vaste gamme d'éléments sur le spectre électromagnétique, notamment ce qui est invisible à l'œil humain. Landsat prend des images de chaque emplacement de la Terre tous les 16 jours environ, ce qui nous permet de constater l'évolution des lieux au fil du temps.

Esri participe activement à cette initiative. Amazon héberge un pétaoctet d'imagerie Landsat émanant de l'USGS sur le cloud Amazon Web Services afin que la communauté des utilisateurs SIG puisse y accéder et l'utiliser. Esri est allé plus loin en créant un jeu de services Web publiquement accessible qui est actualisé quotidiennement. Chaque jour, les dernières scènes Landsat 8 sont ajoutées et rendues directement accessibles avec les scènes précédentes. Ces services multispectraux et temporels fournissent non seulement les dernières jolies images, mais également les informations complètes de Landsat.



[Le président d'Esri Jack Dangermond décrit l'impact de Landsat](#)

[Site Web Change Matters](#)



*Esri utilise l'imagerie Landsat hébergée sur le cloud AWS d'Amazon et la rend accessible et utilisable auprès de la communauté des utilisateurs ArcGIS. Vous trouverez ci-dessus certains services d'images prêts à l'emploi que vous pouvez utiliser.*

# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Évaluer les zones brûlées avec les images satellite

Au cours de l'été 2015, des feux de forêt ont ravagé le parc national de Glacier dans le Montana. Lorsque l'incendie s'est apaisé, le département des forêts et de gestion des ressources du Montana a mesuré les zones brûlées afin de quantifier la surface endommagée. La mesure des zones brûlées fournit des données de base pour régénérer la forêt et organiser de nouvelles plantations. Toutefois, les mesures au sol peuvent se révéler difficiles et complexes. En revanche, les images satellite peuvent constituer la base des mesures.

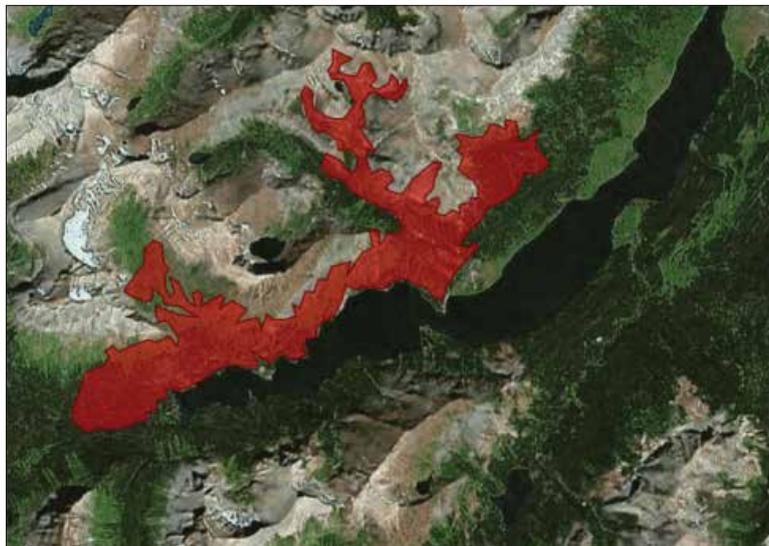
Dans cette leçon, vous allez endosser le rôle d'un scientifique géospatial qui collabore avec le département des forêts du Montana pour analyser les dommages qu'a subi le parc national de Glacier. Vous allez d'abord comparer l'imagerie Landsat 8 avant et après l'incendie. Ensuite, vous allez modifier la combinaison de canaux de l'imagerie suivant l'incendie afin de mettre l'accent sur les zones brûlées et émettre un jugement qualitatif. Après, vous allez quantifier votre évaluation en calculant un indice de brûlure normalisé (ratio conçu pour mettre en évidence les zones brûlées) à partir de l'imagerie. Enfin, vous allez créer une classe d'entités qui représente la zone brûlée, calculer sa superficie et la publier sur ArcGIS Online pour la partager avec le département.

### ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

- Affichage de différentes combinaisons de canaux
- Création d'une combinaison de canaux personnalisée
- Calcul d'un indice de brûlure normalisé
- Publication de couches sur ArcGIS Online

### ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- ArcGIS Pro
- Rôle d'éditeur ou d'administrateur dans une organisation ArcGIS
- Durée estimée : 2 heures



## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter3\\_Lesson](https://esri.com/imagerybook/Chapter3_Lesson)



## Perception de l'imperceptible

Les capteurs nous confèrent des yeux qui dépassent les capacités humaines

L'imagerie offre plus que de simples images. Certains capteurs détectent l'énergie au-delà de ce qui est humainement visible, ce qui nous permet de « voir » à travers de larges bandes du spectre électromagnétique. Les scientifiques, géologues, agriculteurs, botanistes et d'autres spécialistes sont ainsi en mesure d'examiner des conditions, événements et activités qui seraient autrement masqués. Les implications sont profondes et les applications semblent infinies.

# Un point de vue élargi

## Les données multispectrales optimisent votre profondeur de champ

Chaque jour, la Terre est directement prise en photo par des capteurs situés dans le ciel ou en orbite dans l'espace. Presque tout ce qui se passe est mesuré, surveillé, photographié et exploré par des milliers d'instruments d'imagerie installés sur des satellites, des avions, des drones et des robots. La majeure partie de ces informations finit en imagerie intégrée dans un vaste SIG virtuel et dynamique du monde, déployé sur le Web.

Certains de ces capteurs voient plus loin que nos yeux, ce qui nous permet de percevoir ce qui n'est pas apparent. L'imagerie multispectrale mesure et capture ces informations sur un monde qui a beaucoup plus de dimensions que les couleurs de l'arc-en-ciel : elle voit au-delà des limites de ce que nos yeux perçoivent.

D'autres technologies de capteur actives, telles que les lasers et les radars émettent des signaux qui sont renvoyés à la vitesse de la lumière, ajoutant ainsi encore plus d'informations au référentiel collectif. Certains capteurs d'images peuvent voir à travers les nuages et sous les arbres. D'autres détectent des choses trop subtiles pour que nos sens ne puissent les distinguer. La complexité et l'immédiateté de ces informations amènent à une compréhension accrue des processus naturels et des activités humaines qui influent sur nos communautés et notre environnement. La capacité à collecter et à exploiter ces nouvelles sources d'informations prend une place prépondérante pour les experts SIG.

Cela a été la mission de la communauté de la télédétection depuis que le premier appareil photo a été embarqué dans un avion. De nos jours, les résultats de ces capteurs, sur toutes les plages spectrales, sont absolument essentiels pour aider les gens à optimiser la prise de décisions.

Les nouveaux types de capteurs multispectraux utilisés dans les analyses et recherches scientifiques fonctionnent de la même manière dans le SIG que les scènes en lumière naturelle traditionnelles ; les principes de base sont les mêmes. De nos jours, la vitesse et l'étendue de la collecte et de la transmission signifient que l'information est plus immédiate que jamais, ce qui permet d'effectuer des comparaisons cruciales en temps quasi réel après des événements artificiels et naturels majeurs.

Le SIG Web est le système nerveux de la planète et l'imagerie sur le spectre joue un rôle primordial.



*Le volcan Momotombo au Nicaragua s'est réveillé avec une éruption explosive en décembre 2015. Cette image de couleur fausse met en évidence les zones concernées, principalement la coulée de lave qui s'étend vers le nord-est.*

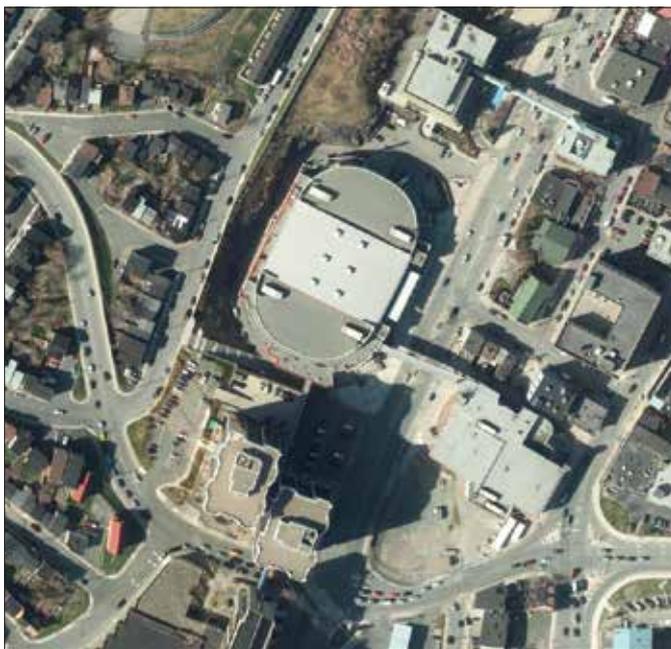
# Imagerie aux couleurs naturelles

## La partie visible du spectre

La caméra de votre téléphone est un capteur conçu pour capturer des photos (la lumière et les couleurs qui représentent les objets que nous reconnaissons de la façon dont nous avons l'habitude de voir). Ces photos sont des collections de pixels exprimées en profondeur de couleurs rouge, verte et bleue. De nombreuses plateformes aériennes et satellites capturent des images de la même manière (le long du spectre visible), ce qui génère essentiellement des images géoréférencées de la Terre vue du dessus. Même si elle n'est pas aussi exotique que certains types d'images, la valeur de l'imagerie aux couleurs naturelles est tout à fait exceptionnelle.

La simple capture d'une série d'images du paysage visible depuis les airs offre une vision claire et nous permet de comprendre de nombreuses choses au sein de la structure de leur contexte géographique et de leur emplacement. En outre, l'augmentation du nombre de capteurs et de la fréquence de capture optimise la valeur d'exploitation de l'imagerie et de la photographie.

### Imagerie mondiale



Le fond de carte Imagerie mondiale (zoom appliqué ici sur St. John's, Terre-Neuve) est le fond de carte le plus fréquemment utilisé dans ArcGIS, avec plus de deux milliards de requêtes par semaine. Assemblées à partir de douzaines de sources et stockées sur le cloud, ces images sont mises en cache et optimisées pour une utilisation allant des vues globales à des vues de sites haute résolution.

### Les modèles prennent vie

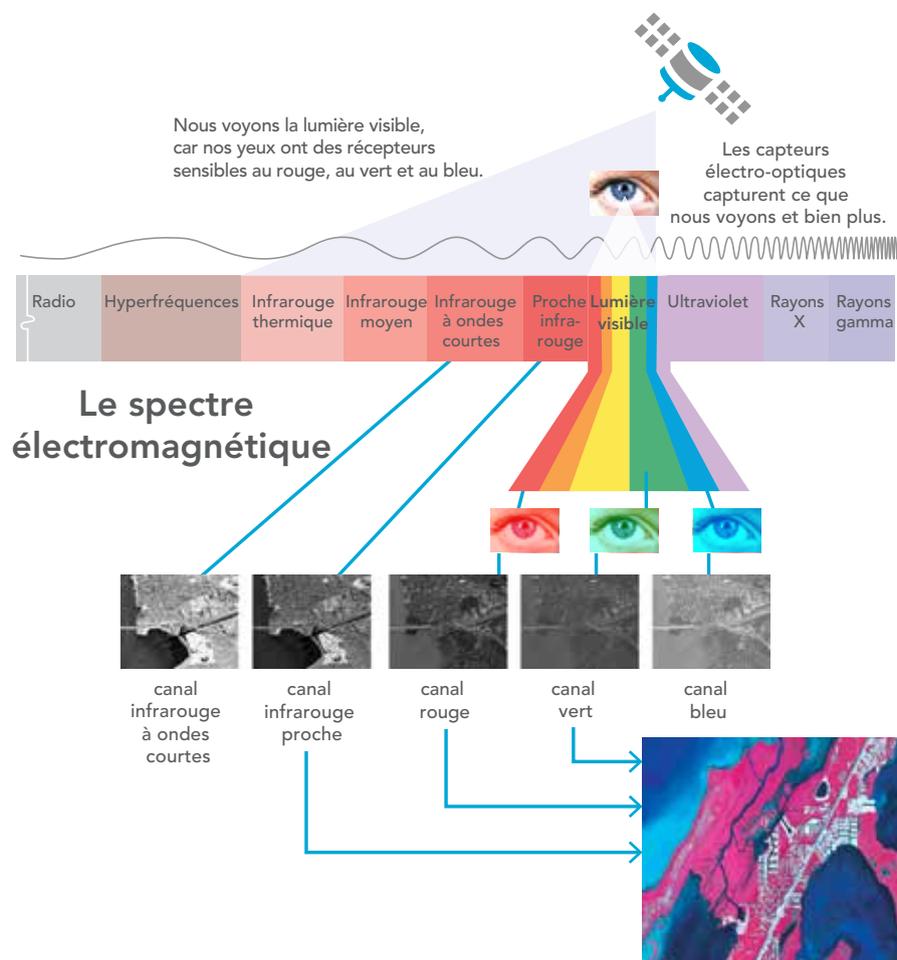


Le mont Taranaki, volcan endormi, se trouve dans le parc national d'Egmont en Nouvelle-Zélande. La limite quasi circulaire, qui protège les zones forestières sur les flancs de la montagne, est un exemple de modèles qui émergent de l'exploration de l'imagerie en couleurs vraies. Cliquez sur l'image pour découvrir une Story Map des modèles circulaires répartis sur la planète.

# Le spectre électromagnétique

## Voir au-delà du visible

Au début de l'histoire de l'aviation motorisée, les photographies aériennes (images de la Terre vue du ciel) ont connu un grand essor dans les domaines militaires et scientifiques. Assez rapidement, les professionnels de l'imagerie et les scientifiques ont réalisé qu'il était possible de détecter des éléments au-delà de ce qui est visible au seul œil humain. Des informations plus approfondies et complexes pouvaient être mises au jour en détectant des ondes qui sortent du cadre de l'arc-en-ciel de la lumière visible, dans l'invisible. Il s'avère que ces royaumes du spectre difficiles à détecter ont offert certaines des perspectives les plus significatives. Des faits auparavant inconnus concernant la Terre, qui étaient masqués dans ces signaux, nous ont permis de comprendre notre monde bien plus efficacement que jamais.



Un grand nombre de ces capteurs mesurent les canaux sur le spectre électromagnétiques et sont connus sous le nom de capteurs électro-optiques (EO). Ils enregistrent les longueurs d'onde d'énergie du soleil qui sont réfléchies ou émises par tous les éléments au sol. Ces signaux électromagnétiques sont notamment la lumière visible, l'infrarouge et d'autres canaux de fréquence situés sur le spectre d'énergie réfléchi.

# Combinaisons de canaux multispectraux

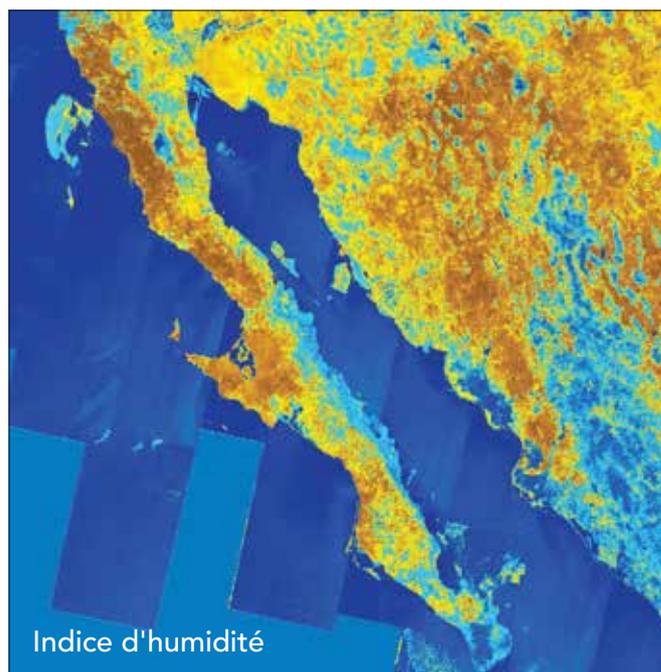
L'imagerie multispectrale mesure différentes plages de fréquences sur le spectre électromagnétique. Vous pouvez vous représenter ces différentes fréquences sous forme de couleurs, où certaines couleurs ne sont pas directement visibles à l'œil humain. Ces plages de fréquences se nomment des canaux. Différents capteurs d'images mesurent différentes combinaisons de canaux. Le programme d'imagerie multispectrale le plus ancien et sans doute le plus connu, est Landsat ; il a commencé la collecte d'images de la Terre dans les années 1970. La visualisation des couleurs trouve sa source dans l'attribution de données issues de trois canaux du capteur aux canaux rouge, vert et bleu d'un écran électronique (ou d'une imprimante pour les impressions). Voici quelques exemples de différentes combinaisons de canaux et de leurs applications.



*L'imagerie panchromatique est généralement enregistrée à une résolution supérieure aux canaux multispectraux, quel que soit le satellite. Elle constitue une source essentielle pour de nombreuses applications SIG comme référence pour l'interprétation et l'analyse de base. L'imagerie panchromatique est souvent associée à d'autres canaux via un processus nommé affinage panchromatique en vue de générer des scènes de résolution supérieure.*



*Dans le canal agricole (combinaison 5, 4, 1), la végétation vigoureuse apparaît en vert clair, la végétation saine en vert plus foncé et la végétation perturbée en vert terne.*

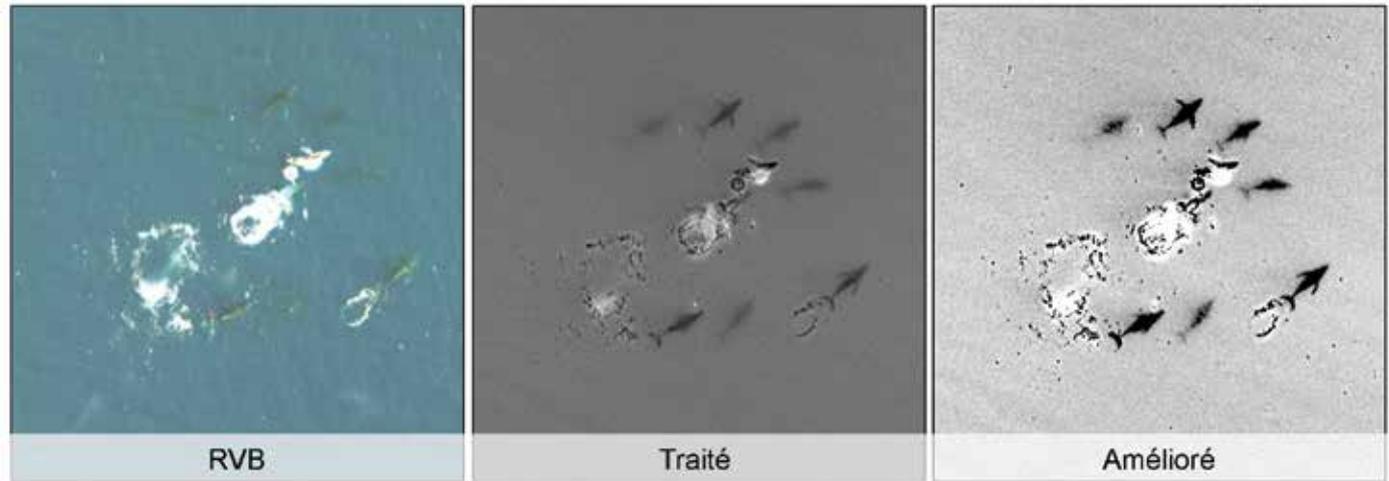


*L'indice d'humidité par différence normalisée (NDMI) estime les niveaux d'humidité de la végétation. Les marécages et la végétation à humidité élevée apparaissent dans des nuances de bleu à bleu foncé pour les niveaux d'humidité plus importants et les zones plus sèches s'affichent dans des nuances allant du jaune au marron. Les analystes d'images appliquent souvent une formule pour associer les canaux multispectraux sélectionnés et calculer divers indices.*

# L'imagerie multispectrale en action

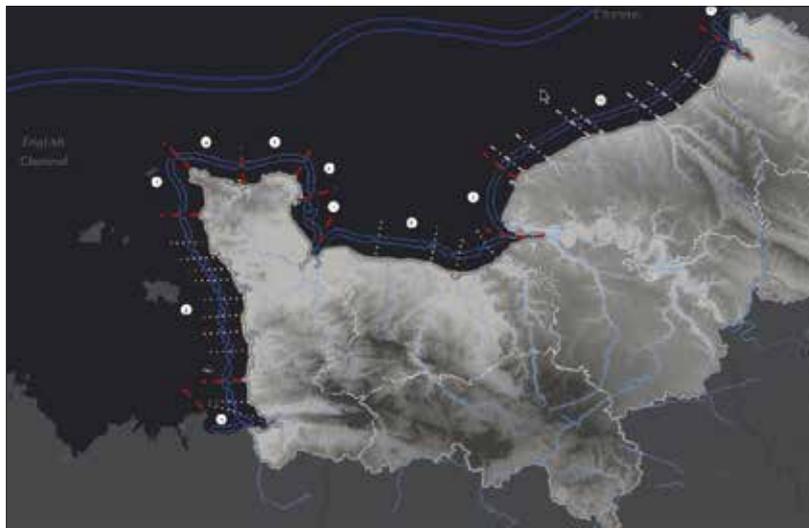
Exploitation des données d'image télédéectées

## Détection des mammifères marins



*Pour les personnes impliquées dans la surveillance des mammifères marins, l'analyse infrarouge dans des conditions diurnes et nocturnes permet de mettre en place efficacement des inventaires précis des espèces.*

## Dynamiques côtières du risque d'érosion



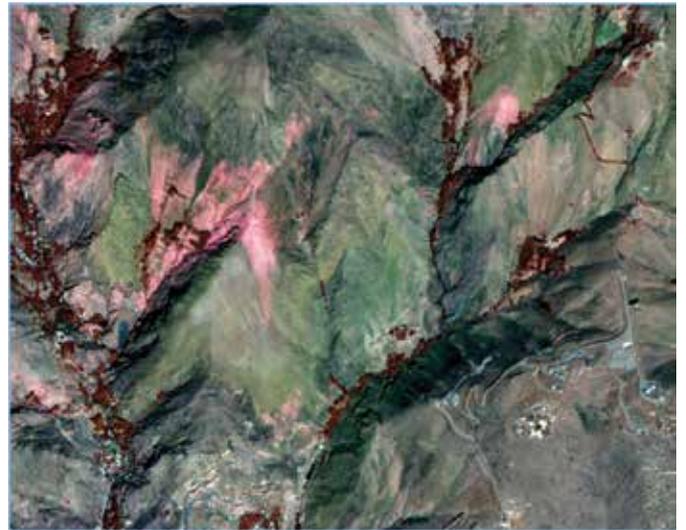
*L'organisme français Réseau d'observation du littoral Normand et Picard utilise l'imagerie de plusieurs plateformes pour étudier l'évolution du littoral de la Normandie à la Picardie. Présentée en français, cette incroyable Story Map suit le déplacement des sédiments, du sable et du gravier sur la bande côtière sous l'action des courants marins, des vagues et des vents dominants. L'érosion côtière a un impact significatif sur les plages et les falaises.*

## Surveillance de graves inondations



Cette comparaison de deux images dans l'ouest de la Serbie présente deux rivières qui débordent considérablement dans les terrains environnants à la suite d'une inondation importante ayant eu lieu en 2014. Les villes de Krupanj et Obrenovac en Serbie ont été entièrement inondées. Le sol et les diverses parcelles de terrain sont complètement masquées par l'eau et la boue. L'image de gauche est une image radar TerraSAR-X prise la nuit où l'inondation a commencé. Elle illustre déjà des brèches dans les barrages situés à l'est. L'image de droite présente une image SPOT optique prise après la rétractation de la couverture nuageuse et montre tous les effets dévastateurs de l'inondation. Par contraste, [l'exemple](#) de ce lien illustre la région non inondée neuf mois plus tôt par rapport au pire jour de l'inondation.

## Recherche de structures minérales grâce à l'imagerie



Ces vues à proximité de Téhéran en Iran illustrent une image de canaux aux couleurs naturelles sur la gauche et une image SWIR (infrarouge à ondes courtes) sur la droite. Remarquez comme un sommet rocheux en particulier se distingue en rose avec les canaux SWIR, tandis qu'il n'est pas aussi facilement identifiable dans la combinaison de canaux aux couleurs naturelles. La variation des types de roches permet aux analystes d'identifier facilement certaines structures minérales et d'affiner considérablement les zones de recherche pour des matériaux donnés.

# Copernicus : le regard de l'Europe sur la Terre

Copernicus est le programme d'observation de la Terre de l'agence spatiale européenne (ESA, European Space Agency) dont l'objectif est de surveiller l'évolution de notre planète et de son environnement. Les ressources naturelles limitées subissent la pression de la constante augmentation de la population mondiale, ce qui génère une demande sans cesse croissante en espace de vie sûr, eau potable, terre fertile et air pur.

Pour prendre des décisions appropriées, les autorités publiques, les décideurs politiques, les entreprises et les citoyens ont besoin de services d'informations fiables et actualisés. Le programme Copernicus repose sur une constellation dédiée de satellites Sentinel. Plus d'une douzaine d'entre eux seront lancés en orbite au cours des 10 prochaines années pour traiter les domaines suivants : surveillance du milieu marin, surveillance des terres, adaptation au changement climatique, gestion des urgences, sécurité et surveillance atmosphérique. La première mission d'imagerie radar (Sentinel-1A) s'effectue en orbite polaire, dans toutes les circonstances climatiques, jour et nuit, et se concentre sur les terres et les océans. Ce satellite a été lancé fin 2014. Le deuxième satellite radar, Sentinel-1B, a été lancé en avril 2016.

Sentinel-2A a été lancé en juin 2015 pour surveiller les terres et la végétation, ainsi que les eaux côtières. Ce nouveau satellite transporte un instrument optique haute résolution qui couvre 13 canaux spectraux avec une largeur de bande de 290 kilomètres. La sensibilité aigue des canaux du capteur signifie qu'il est particulièrement adapté à la surveillance du développement urbain et de l'utilisation du sol, comme illustré dans cette image (à droite) de Rome en Italie prise en août 2016.

Vous pouvez télécharger l'application ESA pour regarder les satellites Sentinel en direct en orbite autour de la Terre. Recherchez « ESA Sentinel » dans l'iTunes App Store ou dans Google Play sur Android.



*L'image associée du capteur optique Sentinel-2A et du capteur radar Sentinel-1A révèle le développement urbain et l'évolution potentielle des terres à Rome en 2016. L'application liée compare Sentinel 2 et Landsat 8.*



*Sentinel-1A survolant le Groenland*



[Regarder une vidéo de la trajectoire de vol de Sentinel-1A](#)

[Programme Copernicus en ligne](#)

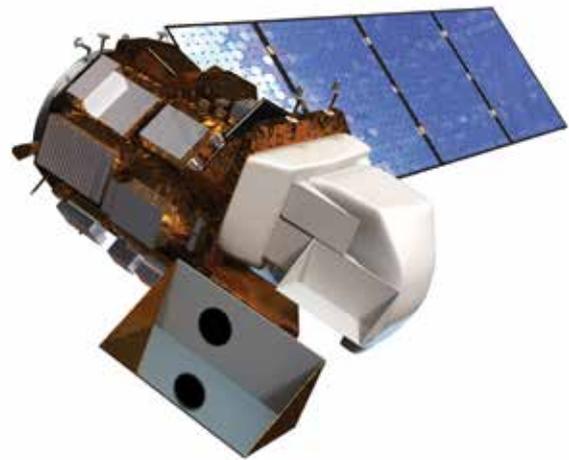
# Etude de cas : le programme Landsat

Le programme Landsat est le plus ancienne entreprise d'acquisition d'images satellite de la Terre. Le 23 juillet 1972, le premier satellite Earth Resources Technology Satellite était lancé. Il fut ensuite renommé Landsat. Le plus récent, Landsat 8, a été lancé en 2013. Les instruments des satellites Landsat ont permis d'acquérir des millions d'images. Archivées dans des stations de réception Landsat du monde entier, ces images représentent une ressource unique pour la recherche sur l'environnement mondial, l'agriculture, la cartographie, la géologie, la sylviculture, la planification régionale, la surveillance et l'éducation. Les archives historiques peuvent être consultées via le site Web [EarthExplorer](http://EarthExplorer.usgs.gov) de l'USGS. Grâce à Landsat 7, les données comportent huit canaux spectraux avec des résolutions spatiales allant de 15 à 60 mètres. Chaque partie de la couverture Landsat est rephotographiée tous les 16 jours.

Landsat 8 a ajouté deux canaux supplémentaires. Les trois principaux objectifs scientifiques et missions du dernier satellite étaient de collecter et d'archiver des données d'image multispectrales de résolution moyenne (30 mètres par pixel) afin de donner lieu à une couverture saisonnière des masses continentales mondiales sur une période de cinq ans ; d'assurer que les données Landsat 8 sont suffisamment cohérentes avec les données des missions Landsat antérieures en termes de couverture et de caractéristiques spectrales, de qualité des produits en sortie et de disponibilité des données pour permettre l'étude de l'évolution de l'utilisation du sol et de l'occupation du sol au fil du temps ; et de distribuer gratuitement sur une base non discriminatoire les produits de données Landsat 8 au grand public.



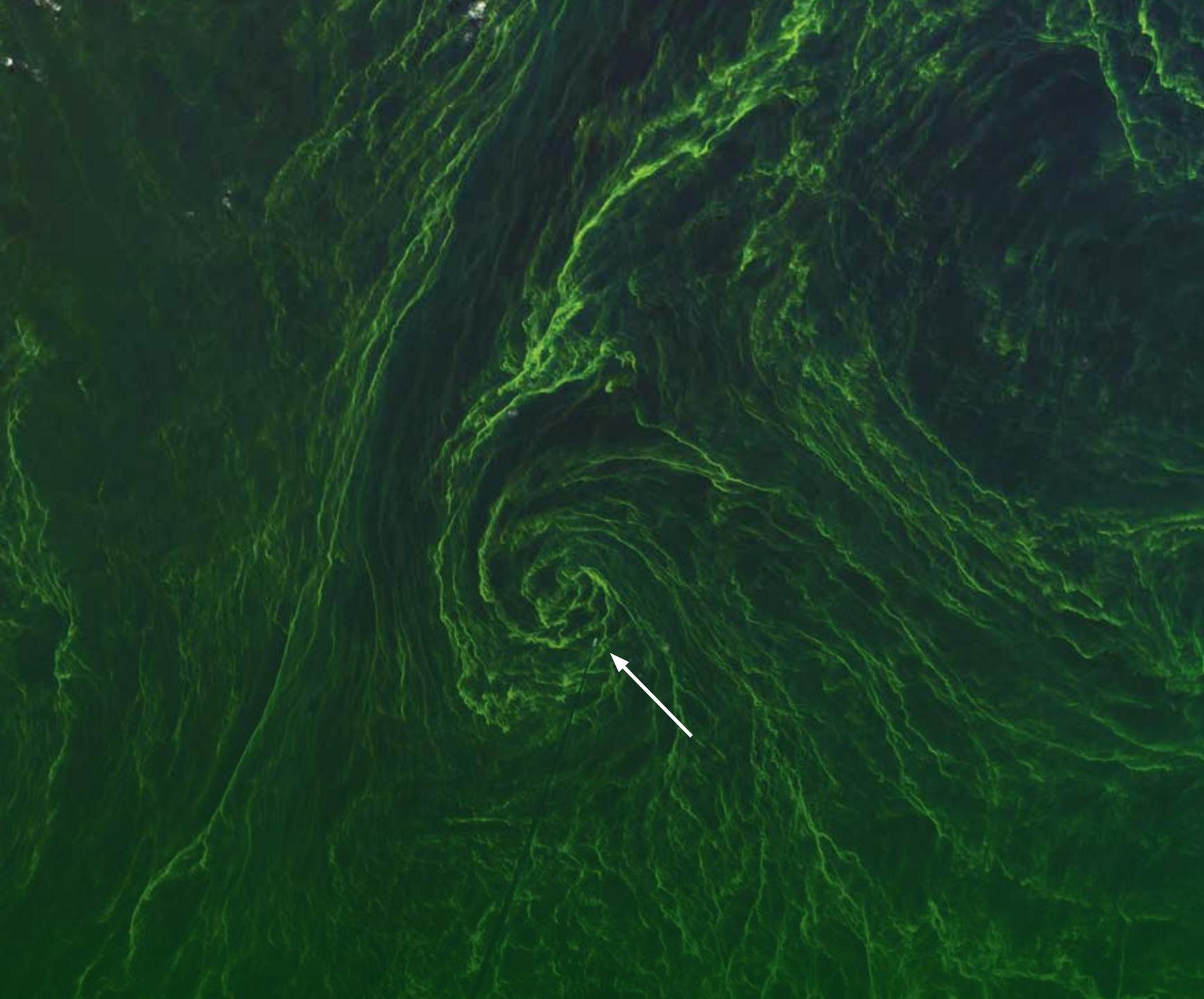
*En 1976, Landsat 1 (à gauche, lors de son assemblage final) a découvert une petite île inhabitée de 20 kilomètres au large de la côte est du Canada. L'île a ensuite été nommée île Landsat d'après le nom du satellite.*



*Landsat 8 a proposé deux nouveaux canaux spectraux (un canal aérosol/côtier d'un bleu profond et un canal cirrus infrarouge à ondes courtes), ce qui a permis aux scientifiques de mesurer la qualité de l'eau et d'améliorer la détection des nuages minces en haute altitude.*



**Vidéo : vue d'ensemble du satellite  
LDCM (Landsat Data Continuity Mission)**



*La mer Baltique doit faire face à de sérieux défis, notamment les polluants toxiques, le manque d'oxygène en eau profonde et la prolifération de cyanobactéries qui affectent l'écosystème, l'aquaculture et le tourisme. Les images de Sentinel-2 montrent les entités jusqu'à 10 mètres et révèlent de précieux détails d'un tourbillon d'algues. Un navire (au point indiqué par la flèche) apparaît même au centre de l'œil. Le tracé du navire s'affiche sous la forme d'une ligne droite sombre où les algues ont été dérangées par les turbulences provoquées par les hélices du navire qui ont mélangé l'eau dans son sillage.*

# A la recherche de ce que l'on qualifie de « bordure rouge »

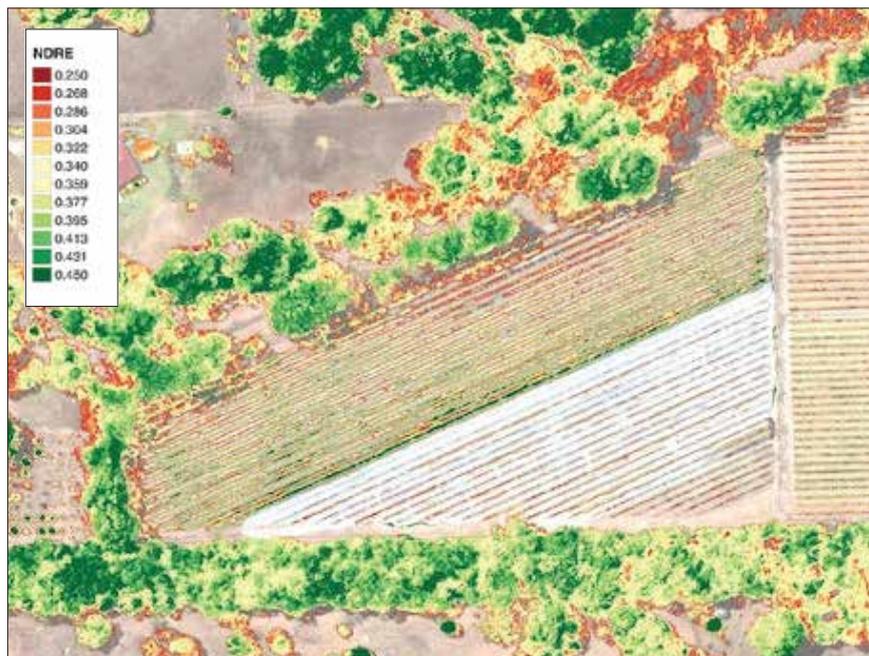
Les caméras multispectrales embarquées sur des drones révolutionnent l'agriculture

La télédétection multispectrale met en lumière des perspectives radicalement nouvelles concernant la vigueur et la santé des cultures. La limite rouge est la frontière entre le rouge (visible) et l'infrarouge proche (NIR) (invisible aux humains). Le terme de limite lui est donné, car le profil spectral de la végétation présente une augmentation spectaculaire de la luminosité entre le rouge et le NIR. Lorsque la végétation est perturbée et que le profil change, la limite se déplace et un petit canal spectral sur la longueur d'onde de droite peut détecter une différence importante. Les caméras RedEdge de MicaSense sont calibrées pour des canaux spectraux classiques de bleu, vert, rouge et NIR, mais elles comportent également un cinquième canal à 720 nanomètres explicitement pour détecter le mouvement de la limite rouge. Un drone peu coûteux équipé d'une caméra MicaSense peut être envoyé dans les airs aussi souvent que nécessaire, ce qui permet à l'agriculteur de calibrer avec précision l'irrigation, la fertilisation et l'application d'insecticides (qui peuvent également se répandre via un drone).

RVB (couleur naturelle)



Indice de la limite rouge par différence normalisée



Couleur infrarouge



Les caméras multispectrales légères et avancées offrent des données multicanales précises pour les applications de télédétection agricoles. Cela signifie que le vol d'un drone hyperlocal peut identifier aisément les zones perturbées d'une culture : la zone rouge dans les rangées supérieures du vignoble vu à travers le filtre de la limite rouge (à droite).

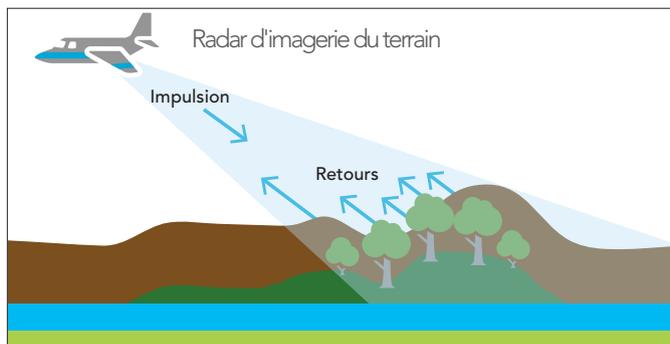
# Au-delà de la lumière réfléchi

## Lidar, radar et sonar : les capteurs actifs

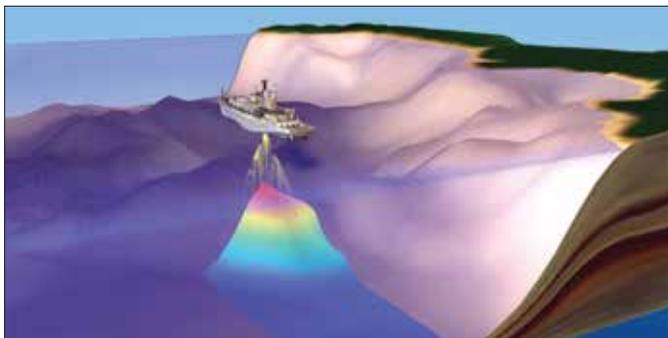
Les capteurs situés dans l'espace mesurent généralement la luminosité solaire qui est réfléchi par le sol. C'est ce que l'on appelle communément la détection passive. Par opposition, les capteurs actifs (de type Lidar, radar et sonar) émettent des impulsions d'énergie et surveillent ensuite le retour de cette énergie. Lorsque l'énergie renvoyée parvient au capteur, l'intensité et les horodatages des signaux renvoyés permettent de déterminer la forme et l'emplacement précis de l'objet. Les capteurs actifs fonctionnent parfaitement bien la nuit, ce qui est une fonctionnalité inhérente aux technologies de détection active.



Le radar optique (LIDAR) recourt à la technologie laser pour numériser les objets et paysages, puis enregistre les détails et la forme de la surface d'altitude de ces entités en fonction de la distance mesurée par l'appareil de numérisation. Les retours laser servent à générer un nuage de points dans l'espace x,y,z contenant une série d'attributs, tels que l'intensité, l'angle de visée et un horodatage très précis. Le radar optique (LIDAR) peut servir à modéliser non seulement le MNT, mais également le couvert forestier, les bâtiments, les lignes électriques, les ponts et tout ce qui se trouve à la surface et au-dessus.



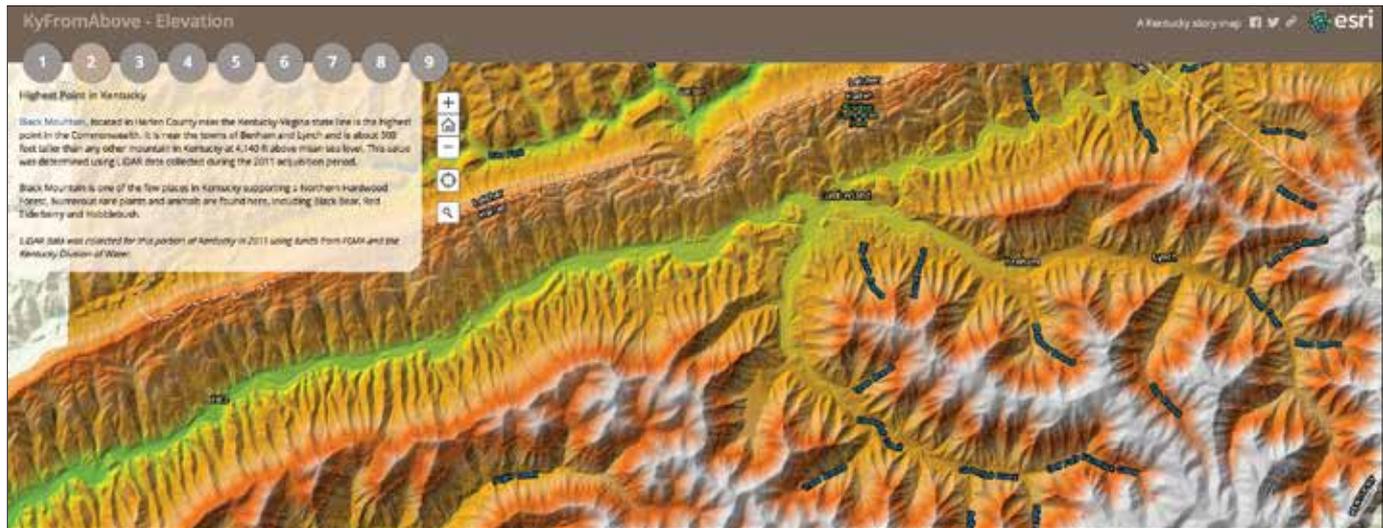
Le radar est un capteur particulièrement utile lors des vols de nuit ou par temps nuageux. Contrairement aux capteurs optiques qui nécessitent des vues claires et dégagées, le radar fonctionne bien la nuit et lorsque les conditions météorologiques sont défavorables. L'inconvénient du radar est que sa résolution est limitée par la longueur d'onde radio.



Le sonar est l'onde de prédilection pour la bathymétrie. Une impulsion acoustique est émise par un transducteur et propagée dans un cône étroit unique d'énergie dirigé vers le plancher océanique (ou le fond d'un lac ou le lit d'une rivière). Un transducteur « écoute » ensuite l'énergie réfléchi par le MNT sous-marin, dont les retours temporels peuvent être convertis en mesures de la profondeur.

# Applications Lidar

## Cartographie de l'altitude de la surface haute résolution



KyFromAbove est un programme de cartographie de l'Etat du Kentucky qui comprend la collection Lidar complète d'altitude de surface à haute résolution de toute la communauté. Cette Story Map raconte l'histoire de la collection régionale et de son application.

## Modèle numérique de surface (MNS)



Les données Lidar sont souvent collectées à la suite d'événements terrestres majeurs, tels que des glissements de terrain. Cette scène 3D montre l'impact de la coulée de boue mortelle d'Oso dans l'Etat de Washington, [dont le monde entier a parlé au printemps 2013](#).

## Scènes photoréalistes



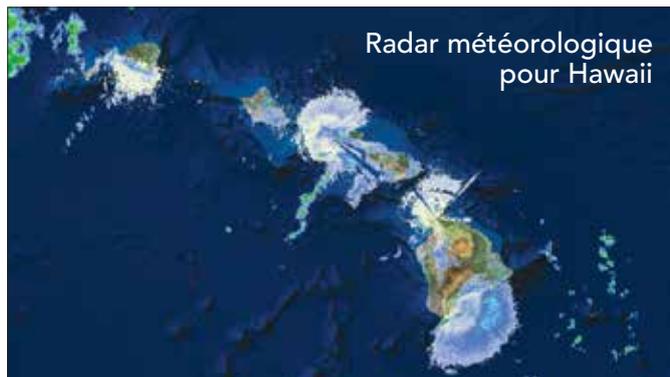
Les fichiers LAS (le format d'échange Lidar générique) sont une collection de points, chacun comportant des coordonnées horizontales et une valeur d'altitude verticale. Les fichiers LAS offrent un format commun pour stocker des informations supplémentaires, telles que l'intensité laser, l'angle de balayage et les données renvoyées. Lorsqu'elles sont codées en rouge-vert-bleu (RVB), les scènes adoptent un aspect photoréaliste, comme cette visualisation de Petaluma en Californie.

# Sur le radar

## Réflexions à hautes fréquences

### Radar de surveillance météorologique (WSR, Weather surveillance radar) et radar météorologique Doppler

Un radar météorologique représente un type de radar qui permet de capter les précipitations et leur type (pluie, neige ou grêle), ainsi que de calculer le mouvement des systèmes de tempête. Les radars météorologiques modernes sont principalement des radars Doppler, capables de détecter le mouvement et l'emplacement de gouttelettes de pluie en plus de l'intensité des précipitations. Il est possible d'analyser les données radar pour connaître la structure des tempêtes et les éventuelles conditions climatiques qu'elles peuvent entraîner.



NEXRAD est un réseau de 160 radars météorologiques Doppler haute résolution implantés par le service national de météorologie. Cette carte interactive du réseau radar NEXRAD vous permet de voir et d'interagir minute par minute avec la météo des îles de Hawaï.

### Données d'altitude SRTM

La mission de recherche SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA a permis d'obtenir des modèles numériques de terrain à une échelle quasi mondiale allant de 56° S à 60° N dans le but de générer une base de données topographiques numériques haute résolution complète de la Terre depuis l'espace.

Pour acquérir des données d'altitude, la navette spatiale *Endeavour* a été équipée de deux antennes radar, une dans la soute de la navette et l'autre fixée à l'extrémité d'un mât de 60 mètres. Les instruments radar à bord ont appliqué un [radar à synthèse d'ouverture](#), qui a permis de générer des cartes de surface d'altitude à une résolution de 30 mètres. Une fois la mission terminée et lorsque les données ont pu être traitées, elles ont été partagées publiquement dans les premières années à une résolution réduite de 90 mètres. Récemment, les données d'altitude ont été mises à la disposition du monde entier à la résolution maximale de 30 mètres.



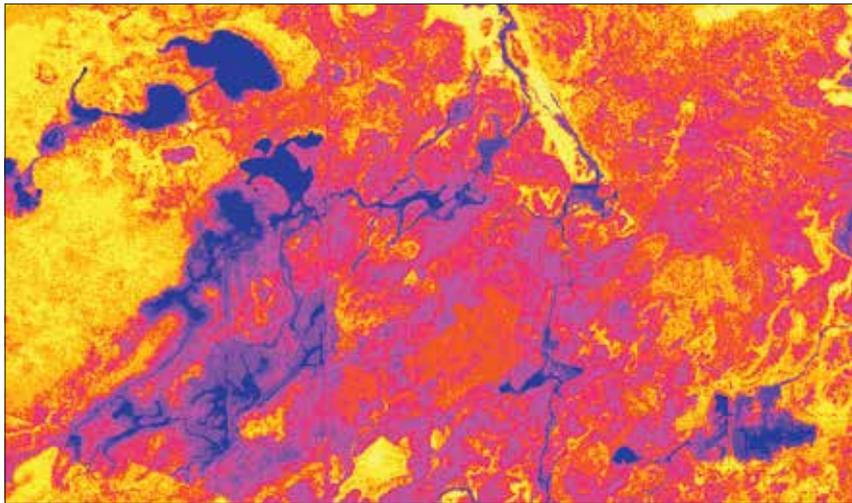
Cette scène Web de l'Afrique utilise des données d'altitude collectées par la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), qui a offert la toute première couverture d'altitude du monde entier.

# Où se trouve la chaleur ? Où se trouve le gaz ?

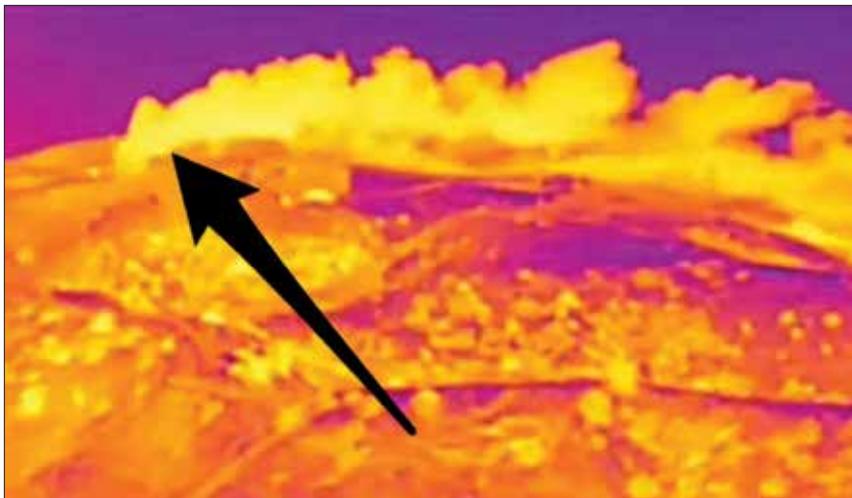
Applications de détection thermique et gazière

Tous les objets sur la Terre émettent un rayonnement infrarouge, car ils possèdent une température. Cette énergie est une longueur d'onde qui peut être collectée par des capteurs de type Infrarouge thermique. L'imagerie thermique est détectée par un capteur opérant jour et nuit, car l'éclairage n'est pas nécessaire : tous les objets émettent par eux-mêmes de l'énergie, de jour comme de nuit. Les objets plus chauds émettent davantage d'énergie et sont plus lumineux sur l'image thermique.

## Energie géothermique



*Données infrarouges thermiques collectées dans le cadre d'un projet financé par le programme des technologies géothermiques du ministère de l'énergie américain. Cette région géothermique particulièrement active se trouve dans les Connley Hills au centre de l'Oregon.*



*L'imagerie collectée à l'aide d'une caméra équipée d'un capteur infrarouge thermique montre un nuage de gaz toxique qui était invisible à l'œil nu. Cette émanation provenant du flanc de la montagne de Porter Ranch en Californie s'est poursuivie pendant 110 jours pour finalement être enrayée en février 2016.*

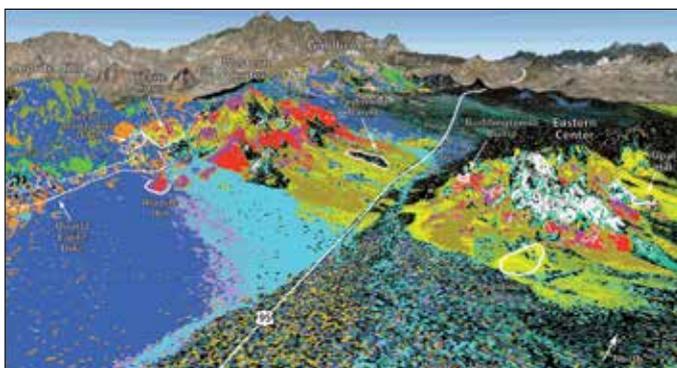
# Imagerie hyperspectrale

## Prise des empreintes digitales du sol

Les capteurs hyperspectraux voient le monde au travers d'une large bande du spectre électromagnétique, mais contrairement aux capteurs multispectraux, les systèmes hyperspectraux offrent un nombre de canaux spectraux beaucoup plus important, ce qui permet d'observer les signatures spectrales détaillées. Les images hyperspectrales peuvent contribuer à l'identification de plantes et minéraux spécifiques.

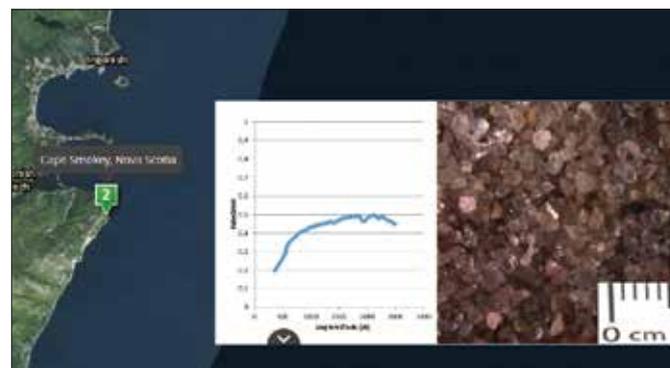
De nombreux projets qui recourent aux capteurs hyperspectraux sont conçus pour se concentrer particulièrement sur certains canaux afin de découvrir la présence de phénomènes spécifiques. Ces signatures permettent d'identifier les matériaux qui composent un objet numérisé. La détection d'objets spectraux connus est facilitée par leur tendance à disposer de caractéristiques spectrales très similaires lorsqu'ils se produisent. Par exemple, la signature spectrale d'un pin blanc est homogène et distincte de la signature d'un érable franc. Les roches qui se composent d'une quantité importante d'un minéral en particulier se distinguent d'autres roches à l'aspect similaire mais qui renferment un autre type de minéral. Ces distinctions servent à identifier et extraire des entités afin de les utiliser dans diverses applications.

### Cartographie minérale

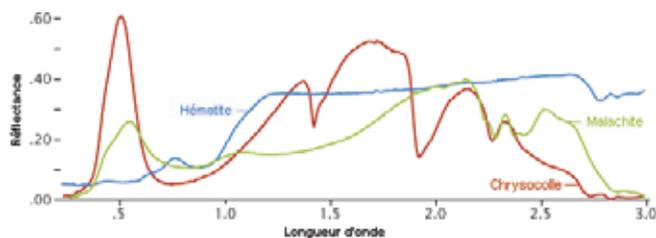


Cette carte hyperspectrale de Cuprite dans le Nevada offre une vue synoptique de la minéralogie de surface et a identifié un événement hydrothermique ancien auparavant non reconnu à la suite duquel un grand nombre d'éléments contenant du fer sont apparus.

### Cartographie du sable et du substrat océanique



Les signatures spectrales uniques des différents types de sol et de sable facilite la cartographie géologique ou la prospection minière.



Chaque matériau numérisé à l'aide de l'imagerie hyperspectrale possède des caractéristiques uniques, ou empreintes digitales. Ce diagramme compare la réflectance de l'hématite (un minéral de fer) avec la malachite et la chrysocolle (minéraux riches en cuivre) avec une longueur d'onde de 200 à 3 000 nanomètres.

# Spécialiste : Sarah Parcak

## Utilisation de l'archéologie satellite pour protéger les sites antiques

Il existe peut-être des milliers, sinon des millions, de sites antiques encore inexplorés à la surface du globe et Sarah Parcak a pour vocation de les localiser. En tant qu'archéologue satellite, elle analyse l'imagerie infrarouge collectée dans le ciel et l'espace et identifie les changements subtils qui indiquent une présence artificielle non visible. Ce faisant, ses collègues et elle-même ont pour objectif de mettre en lumière tout un pan invisible de l'histoire et de contribuer à mieux comprendre le passé.

L'inspiration lui est venue de son grand-père, un des pionniers de la photographie aérienne. Alors qu'elle étudiait l'égyptologie à l'université, Parcak a suivi un cours sur la télédétection et a commencé à développer une technique de traitement des données satellite destinée à voir les sites archéologiques majeurs en Egypte. La méthode permet de découvrir rapidement de nouveaux sites d'une manière peu coûteuse.

En partenariat avec son mari, Greg Mumford, ils ont dirigé des projets de prospection et de fouille dans différents endroits d'Egypte. Elle a eu recours à différents types d'images satellite pour rechercher des sources d'eau et des sites archéologiques.

Dernièrement, elle s'est concentrée sur le pillage de sites antiques. En cartographiant l'Egypte par satellite et en comparant l'évolution des sites, l'équipe a constaté une augmentation du pillage des sites antiques majeurs de 1 000 pour cent depuis 2009. Il est probable que des objets anciens d'une valeur de plusieurs millions de dollars soient volés chaque année. Nous pouvons espérer qu'à travers la cartographie, des sites inconnus pourront être protégés pour préserver la richesse de notre histoire.



*Sarah Parcak est une éminente spécialiste dans le domaine de l'archéologie spatiale. Elle vient de Bangor dans le Maine et est membre archéologue de la National Geographic Society, de la société des antiquaires et du programme TED Fellows de 2013. Sarah est directrice fondatrice du laboratoire d'observation mondiale de l'université d'Alabama à Birmingham, où elle enseigne également.*



[Regarder le discours TED de Sarah Parcak](#)

# Intégration de la carte dans l'image

## Utilisation de l'espace image

Toutes les applications d'imagerie ne nécessitent pas la projection de données de capteur sur une carte ou, en d'autres termes, l'enregistrement d'une imagerie dans un système de coordonnées géographiques. Dans de nombreuses applications, il est plus efficace et approprié d'utiliser l'image d'origine et de l'afficher dans la perspective de la caméra. On parle alors d'utilisation de l'espace image, par opposition à l'utilisation du système de coordonnées d'une carte. Un grand nombre d'applications de reconnaissance civile et militaire implique à la fois l'utilisation d'une vue de la carte et d'une fenêtre d'image. Par exemple, les applications d'inspection utilisent ensemble de manière efficace une vue de l'image et une vue de la carte.



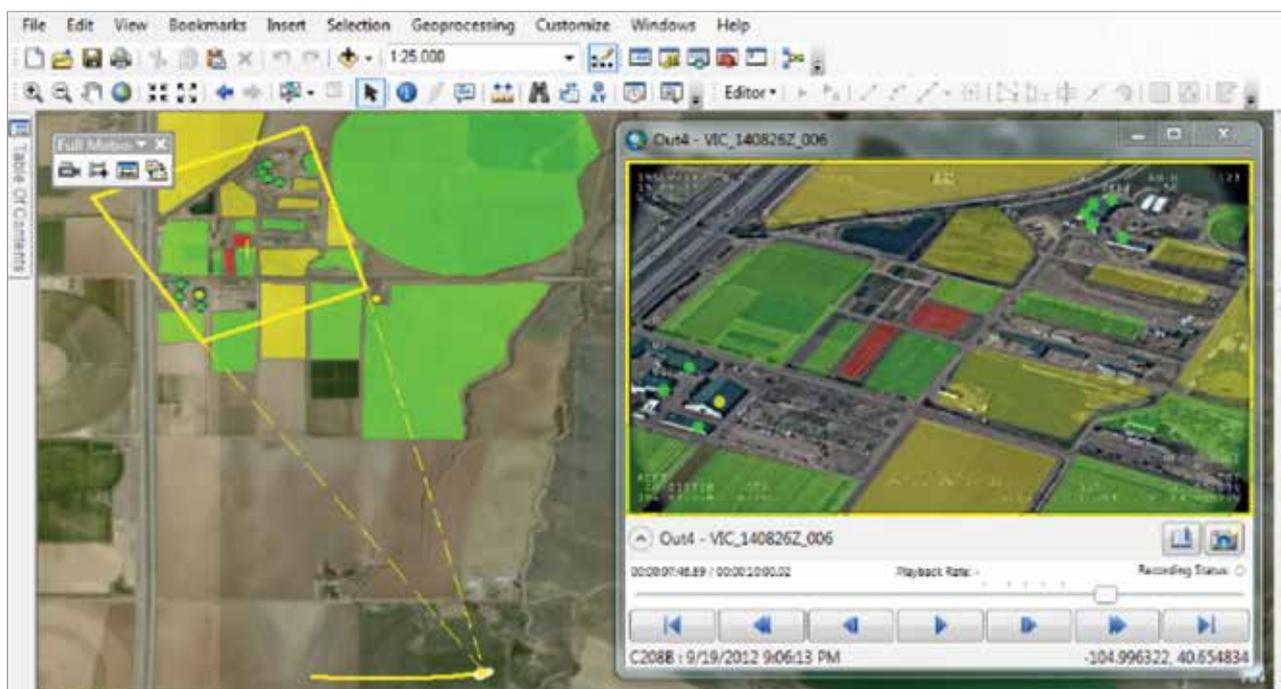
*L'inspection des bâtiments est l'une des premières applications utiles issues de la révolution des drones. Dans cet exemple qui fait appel à l'imagerie prise par un drone (un modèle 3DR de coût inférieur à 1 000 USD), la trajectoire de vol apparaît sous forme d'un cercle jaune et les points bleus indiquent les points de capture. La vue oblique dans la visionneuse d'image est un exemple d'affichage d'une série d'images dans l'espace image qui permet de voir des vues non déformées capturées par la caméra.*

# Full Motion Video

Insérez votre vidéo dans la carte et votre carte dans la vidéo

ArcGIS a la capacité d'intégrer et d'incorporer des vidéos au format FMV, en supposant que vous possédez des métadonnées qui décrivent la position géographique de votre vidéo. Ce procédé s'apparente à la façon dont l'imagerie aérienne est géoréférencée, sauf que chaque image de la vidéo est géoréférencée. Ces vidéos géoréférencées respectent les formats établis par le MISB (Motion Imagery Standards Board), qui supervise les normes de la capture FMV appartenant aux secteurs de la défense et du renseignement des Etats-Unis.

Ceci permet de positionner l'emplacement des images vidéo MISB sous forme de fenêtres dans vos vues cartographiques, et vos données cartographiques sous forme de superpositions facultatives dans votre vidéo. La technologie FMV vous permet d'analyser rapidement et facilement les données vidéo de différents types de capteurs aéroportés (avions, drones et autres dispositifs sans pilote à bord).

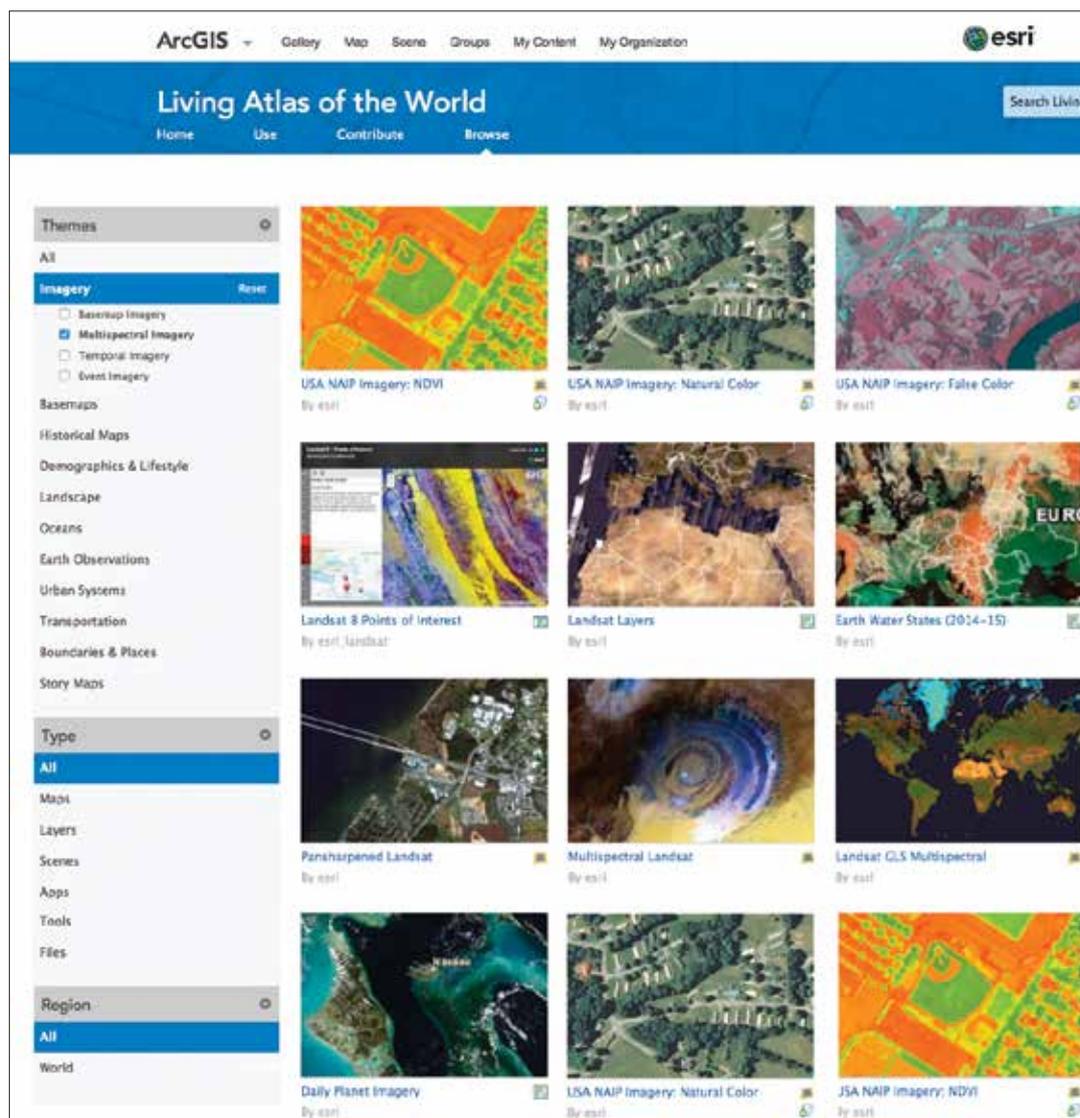


Les fonctionnalités FMV (Full Motion Video) associent les emplacements et angles de visée de la caméra du drone (ou d'un autre avion) à une carte SIG, ce qui vous permet de suivre l'emplacement de l'avion et l'emprise image par image de la zone visionnée sur l'image de la caméra.

# Démarrage rapide

## Galerie d'imagerie multispectrale dans l'atlas mondial dynamique

L'atlas mondial dynamique est le moyen d'accès le plus rapide à l'imagerie multispectrale dans ArcGIS Online. Mais ce n'est qu'un point de départ. Une fois que vous avez ouvert un de ces services dans ArcGIS, vous pouvez sélectionner le menu d'affichage des images pour modifier les bandes passantes et créer vos propres combinaisons.



# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

**Analyse du niveau d'eau du lac Poyang en Chine, en utilisant l'imagerie multispectrale pour identifier et mesurer la superficie de l'eau et du sol sur une période donnée.**

Dans ces leçons, vous allez endosser le rôle d'un scientifique géospatial qui est chargé de calculer l'évolution de la superficie du lac entre 1984 et 2014. A l'aide de l'imagerie Landsat, vous allez classer l'occupation du sol en trois images du lac prises à différentes époques au cours des 30 dernières années afin d'afficher uniquement la superficie du lac. Vous allez ensuite déterminer l'évolution de la superficie du lac.

## ► Classer l'occupation du sol pour mesurer le rétrécissement des lacs

Le niveau des eaux du lac Poyang, le lac d'eau douce le plus important de Chine, a toujours subi des fluctuations saisonnières importantes. Alimenté à la fois par les pluies et par le fleuve Yangtze, le lac Poyang a récemment connu des fluctuations encore plus extrêmes attribuables à plusieurs années de sécheresse et à la construction du barrage des Trois-Gorges.

Les faibles niveaux d'eau de la saison sèche sont alarmants et même les niveaux d'eau de la saison des pluies ont chuté. Les changements ont impacté l'économie locale et modifié l'occupation du sol de la région. Mais si les locaux souhaitent entreprendre des actions pour contrer la disparition de leur lac, ils ont besoin d'étayer leurs observations sur le terrain par des faits scientifiques.



*Un homme marche sur un lit de rivière asséché à proximité du lac Poyang en Chine.*



*Barrage des Trois-Gorges en Chine.*

## ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

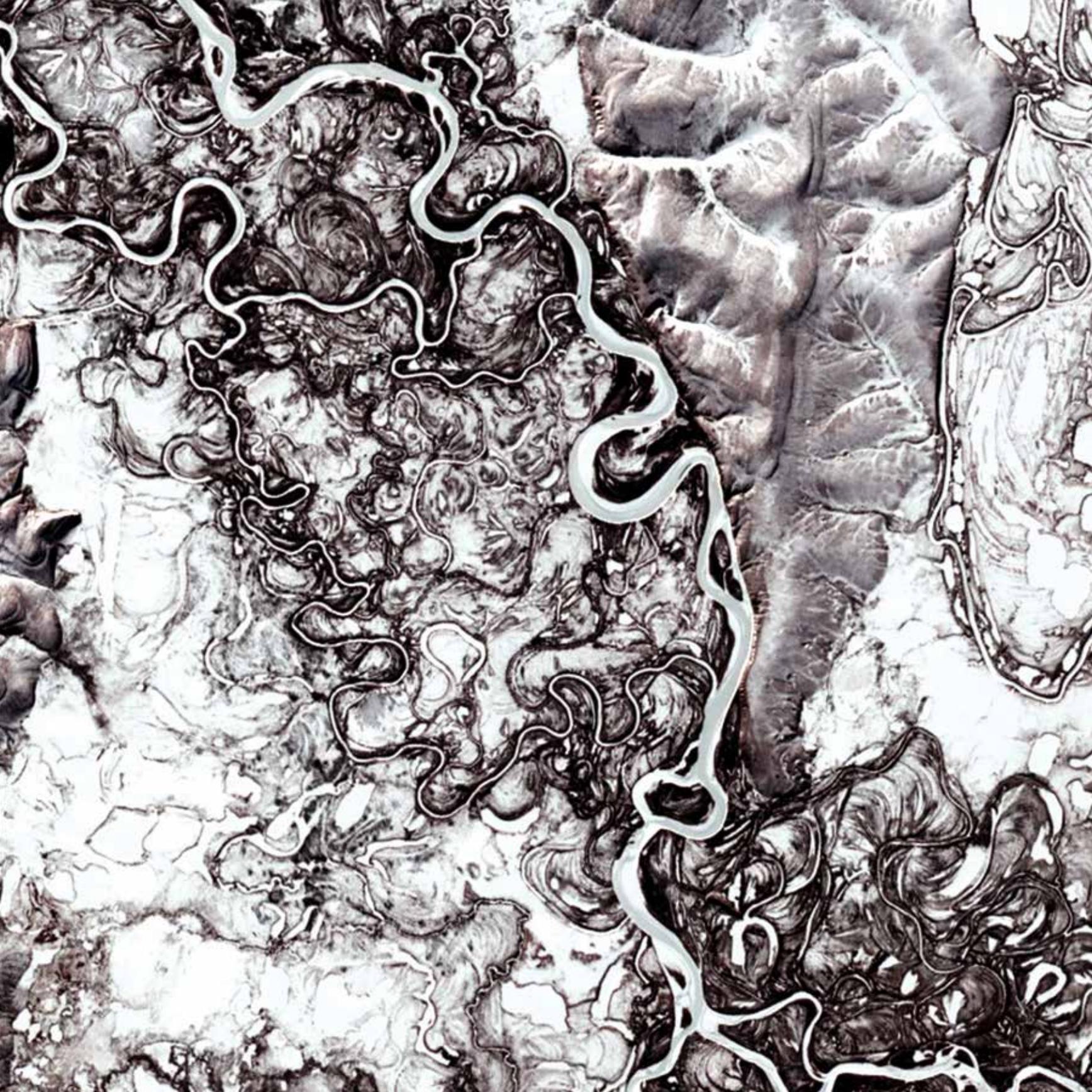
- Classement de l'occupation du sol
- Calcul de l'évolution de la superficie

## ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- ArcGIS Pro
- Extension Spatial Analyst d'ArcGIS Pro
- Durée estimée : 1 heure et 15 minutes

**Commencer la leçon**

[Esri.com/imagerybook/Chapter4\\_Lesson](https://www.esri.com/imagerybook/Chapter4_Lesson)



## Transformation de l'imagerie en informations

### Analyse de l'imagerie pour mieux comprendre

L'analyse des images nous permet d'extraire de nouvelles connaissances des données existantes en générant des cartes analytiques. Ces couches raster (basées sur des cellules) peuvent servir à cartographier et à modéliser pratiquement tout ce qui se passe à la surface de la Terre, par exemple l'agriculture, l'aménagement, l'hydrologie, le climat, les habitats naturels et bien plus encore. La notion sous-jacente de ce chapitre est que les données d'imagerie (dont la structure de données repose sur des cellules) permettent d'analyser de manière systématique et contrôlée un vaste réseau de phénomènes sur plusieurs couches.

# L'analyse de l'imagerie permet de mieux comprendre

Le SIG allié à l'imagerie ouvre la porte à la résolution de problèmes complexes

ArcGIS offre une plateforme analytique qui vous permet d'associer l'imagerie à d'autres types d'informations géographiques au sein de modèles analytiques. C'est simple. Le SIG organise les informations sous forme de couches géographiques. Parallèlement, les scènes d'imagerie de la Terre et les données de capteur sont également accessibles sous forme de couches. ArcGIS propose des milliers d'opérateurs analytiques capables de déduire des informations statistiques, de modéliser les mouvements et flux sur vos surfaces, de vous aider à associer des couches pour trouver les zones les plus et les moins adaptées à vos activités, etc.

L'imagerie offre un flux d'informations polyvalent ; une profusion virtuelle d'informations pour votre SIG. ArcGIS possède, quant à lui, plusieurs opérateurs d'analyse spatiale qui vous permettent de mieux comprendre et d'exploiter vos informations. Ces outils analytiques vous permettent de répondre pratiquement à n'importe quel type de question, par exemple déduire le signal statistique de vos données, examiner une séquence d'événements dans le temps et les prévoir dans le futur. L'analyse spatiale implique l'identification et la déduction de nouvelles couches d'informations pour résoudre tous les types de problèmes, par exemple la recherche d'endroits appropriés pour des constructions, l'analyse de vos performances commerciales ou de nouveaux prospects, l'évaluation et la gestion de votre production agricole ou la surveillance et la prévision des maladies.

Pratiquement tous les problèmes auxquels nous sommes confrontés peuvent bénéficier de la perspective analytique offerte par ArcGIS. L'imagerie demeure, par ailleurs, une source d'informations essentielle dans vos tâches analytiques.

Ce n'est que récemment que le SIG et l'analyse de l'imagerie se sont rapprochés et ont été intégrés. Et avec l'avènement du cloud et de l'informatique serveur d'entreprise, les systèmes informatiques modernes sont capables d'analyser d'énormes volumes d'images. Les limites de la modélisation ont été considérablement réduites, ce qui vous permet de modéliser et d'analyser vos données de manière plus détaillée et approfondie.



La modélisation de l'habitat d'aptitude est un problème d'analyse d'images et SIG classique comme le décrit cette Story Map. Les données source émanant de plusieurs capteurs sont associées et géoréférencées de façon à identifier des stratégies, telles que des couloirs de circulation pour la faune sauvage pour protéger la survie à long terme des espèces.

# Analyse d'images traditionnelle

L'utilisation de l'imagerie pour l'analyse SIG n'est pas nouvelle. Au cours des dernières décennies, les sources d'imagerie, telles que les couches multispectrales, les modèles numériques de terrain et les orthophotographies numériques, ont offert une base analytique solide pour la modélisation et l'extraction d'entités. Voici quelques exemples courants.

## Evaluation du couvert forestier actuel



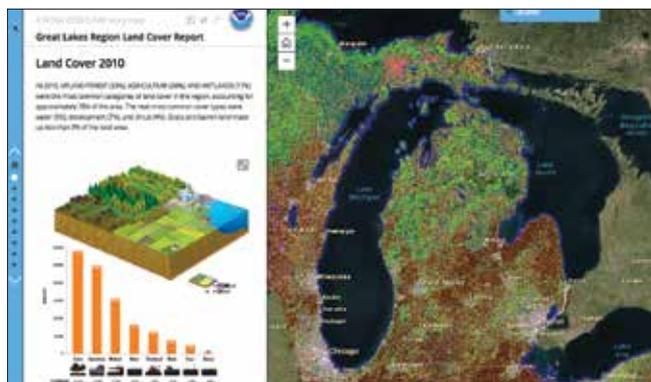
Cette analyse identifie le couvert végétal et l'étendue du couvert forestier sur l'île d'Oahu à Hawaii. L'USGS a appliqué une analyse d'images sur Landsat et d'autres sources de données pour déduire l'occupation du sol de toute l'île.

## Photogrammétrie



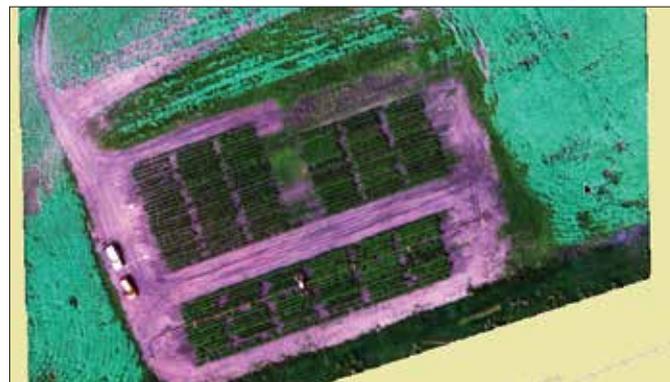
Les orthophotographies permettent ici de cartographier une installation portuaire en Allemagne. Les systèmes d'interprétation des images capturent des entités précises à partir de ces types de sources d'imagerie.

## Classification de l'occupation du sol



L'évolution de l'occupation du sol et de l'utilisation du sol peut raconter des histoires spectaculaires sur les changements environnementaux rapides qui se produisent dans des endroits comme la région des Grands Lacs aux Etats-Unis.

## Evaluation de la santé des cultures



L'imagerie multispectrale peut offrir une nouvelle perspective sur la vigueur et la santé des cultures. L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) révèle des cultures de pommes de terre et de colza saines dans la Saskatchewan.

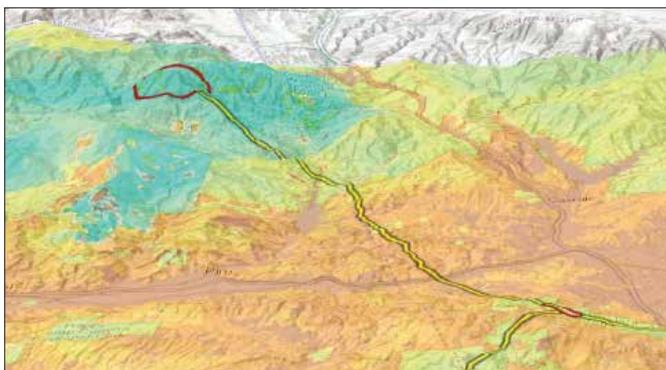
# Navigation, flux et modélisation de la surface

Couches préconçues pour les options d'analyse et de visualisation avancées



## Calculer les surfaces de coût

Une surface de coût est une grille raster dans laquelle chaque valeur de cellule représente le coût induit pour la parcourir. Les surfaces de coût peuvent modéliser des éléments, tels que le chemin optimal pour une équipe de pompiers chargés du débroussaillage, en prévoyant la manière dont l'incendie risque de s'étendre, ou en prévoyant les préférences de déplacement d'un puma au sein de son habitat. Sur cette carte, les zones en vert représentent les coûts de déplacement les plus faibles pour les félins dans les régions semi-rurales de Californie du Sud.



## Trouver les meilleurs chemins

Un chemin de coût permet de calculer l'itinéraire de moindre coût pour se déplacer d'un emplacement vers un autre. Les coûts peuvent représenter un certain nombre de critères, notamment les dépenses monétaires réelles, mais il s'agit le plus souvent du temps et de l'effort requis pour effectuer le voyage. Cet exemple illustre le meilleur chemin emprunté par les cougars pour se rendre dans deux de leurs principaux habitats.



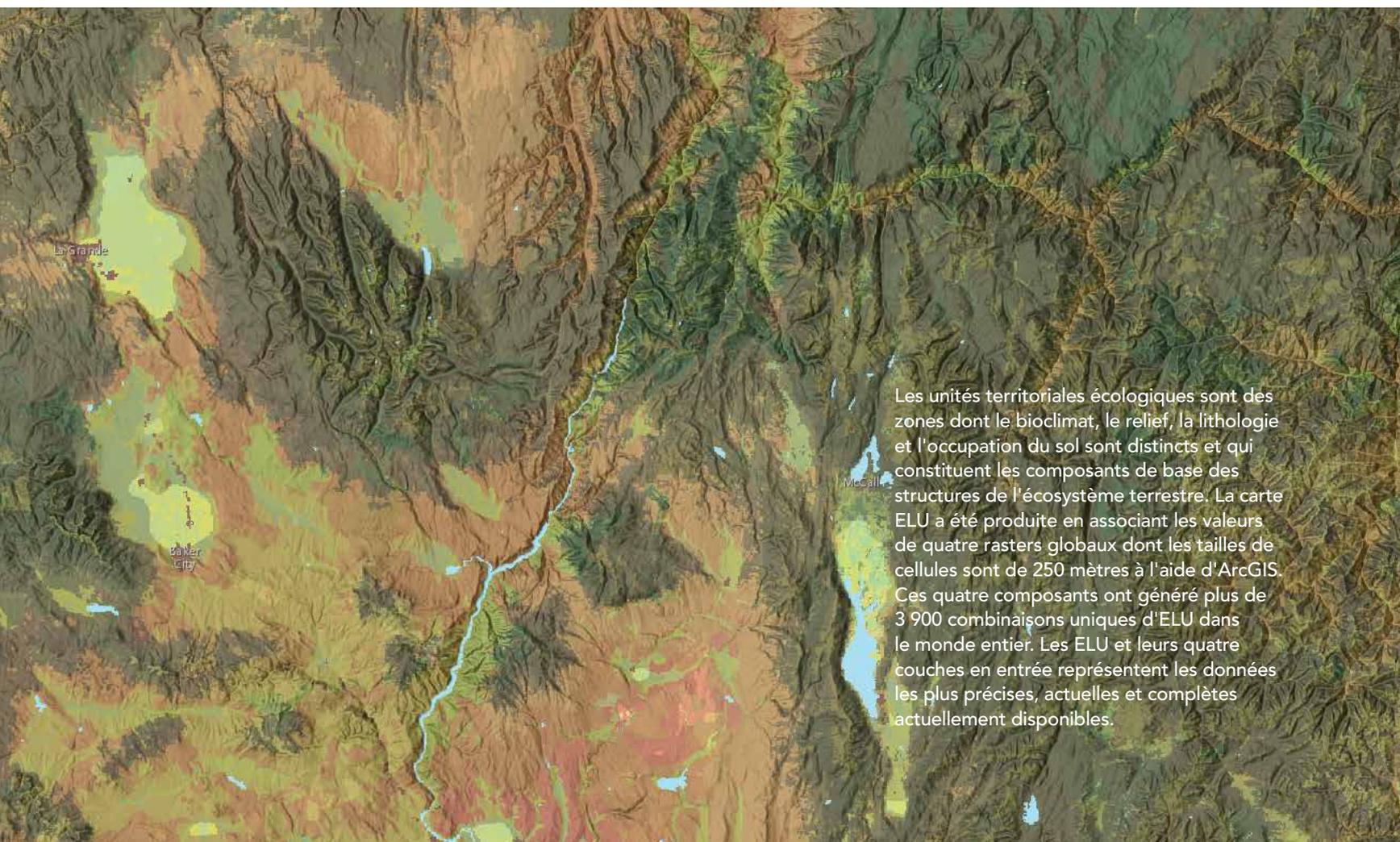
## Analyse visuelle et de visibilité

Une surface affichée dans l'espace 3D sert de fond d'affichage visuel sur lequel draper des données et les analyser. Cette perspective illustre un bassin versant restauré et une rivière drapés sur un modèle altimétrique numérique de terrain.

# Caractérisation de l'écologie mondiale

Le projet ELU (Ecological Land Units, unités territoriales écologiques)

La nature même des données basées sur des cellules les rend idéales pour certains types d'analyses avancées qui ne peuvent même pas être envisagées avec des données vectorielles. Le projet ELU (Ecological Land Units, unités territoriales écologiques) en est un exemple. Quatre couches globales (bioclimat, relief, type de roche et occupation du sol) ont été superposées et combinées pour créer une seule surface en sortie qui présente une division et une classification systématiques de la biosphère globale à l'aide d'entités écologiques et physiographiques à la surface de la Terre. « Cette carte offre, pour la première fois, un produit de données écologiques et physiologiques global Web et SIG aux responsables de l'aménagement du territoire, aux scientifiques, aux défenseurs de l'environnement, aux urbanistes et au public. Ils peuvent l'utiliser dans des rapports et l'analyse du paysage global et régional », déclare Roger Sayre de l'USGS.



Les unités territoriales écologiques sont des zones dont le bioclimat, le relief, la lithologie et l'occupation du sol sont distincts et qui constituent les composants de base des structures de l'écosystème terrestre. La carte ELU a été produite en associant les valeurs de quatre rasters globaux dont les tailles de cellules sont de 250 mètres à l'aide d'ArcGIS. Ces quatre composants ont généré plus de 3 900 combinaisons uniques d'ELU dans le monde entier. Les ELU et leurs quatre couches en entrée représentent les données les plus précises, actuelles et complètes actuellement disponibles.

# Description et caractérisation d'un lieu

## Segmentation et classification

L'imagerie permet d'automatiser la classification et l'emplacement des terres dans des catégories spécifiques, telles que différents types d'utilisation du sol et d'occupation du sol. Ces couches obtenues peuvent ensuite être utilisées comme fonds de carte et, ce qui est plus intéressant encore, dans d'autres analyses. La classification d'une série d'images de différentes périodes permet également aux analystes d'explorer l'évolution des emplacements, que ce soit sous l'action de forces naturelles ou d'interventions humaines.



### Détection de changement de l'occupation du sol

Cet outil d'analyse de l'évolution de la forêt évalue la perte totale du couvert végétal et le nombre de foyers d'incendie actifs au sein de la zone d'intérêt sélectionnée, puis montre les résultats conformément aux différentes classes d'occupation du sol. L'outil d'analyse des changements Global Forest Watch fait appel aux informations spatiales et temporelles pour vous permettre de mener vos propres recherches sur l'évolution du couvert végétal, sur l'occupation du sol actuelle et sur les classifications juridiques dans votre zone d'intérêt.



### Segmentation

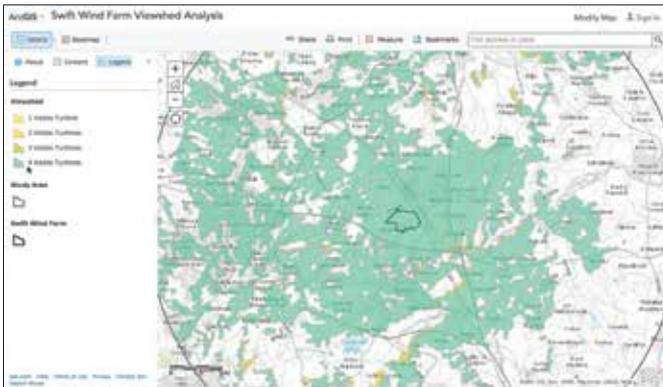
La segmentation d'images consiste à partitionner une image en groupes homogènes, afin que chaque région soit homogène. Cette carte illustre la surface imperméable de chaque parcelle après la segmentation de ces surfaces à l'aide de l'analyse d'extraction d'entités dans ArcGIS. Il s'agit d'une application de segmentation classique.



# Que puis-je voir ?

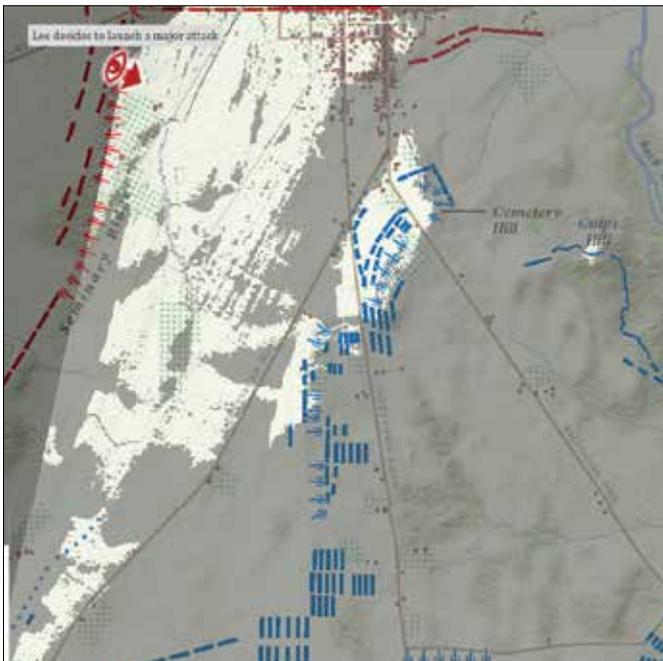
## Analyse de la visibilité

L'analyse du champ de vision implique l'analyse de ce qui est ou n'est pas visible à partir d'un emplacement donné en fonction de la distance, du terrain et même de l'occupation du sol. Cette opération vous permet d'identifier les emplacements à partir desquels un lieu d'intérêt en particulier est visible. Par exemple, dans quelles zones d'un parc une rivière est-elle visible et combien d'éoliennes sont visibles depuis la place principale de la ville ?



### Implantation adéquate de parcs éoliens

Cette analyse du champ de vision a déterminé l'impact visuel d'un parc éolien comprenant quatre grandes éoliennes dans une zone d'étude en Angleterre. L'impact visuel de l'implantation d'un parc éolien dans les zones urbaines ou semi-urbanisées peut susciter la controverse au sein des collectivités. Le fait d'être capable de montrer à partir de quels endroits un parc éolien sera visible avant de commencer sa construction aide les pouvoirs publics à atténuer les réactions.



### Calcul du champ de vision

Cette intéressante Story Map utilise l'analyse de visibilité SIG pour raconter l'histoire funeste de la bataille de Gettysburg pendant la guerre de Sécession. Au moment où le Général Robert E. Lee (à l'emplacement de l'œil rouge) s'est engagé auprès des troupes de l'Union, il ne pouvait voir que les troupes situées dans les zones claires. A ce moment, il ne pouvait pas voir tout ce qui est ombré en gris (la partie de loin la plus importante des forces de l'Union). Grâce aux historiens qui se sont référés à des témoignages personnels, aux cartes de la bataille et à une couche d'altitude de base, le mystère a pu être levé sur la raison pour laquelle le Général Lee s'est engagé dans cette bataille dans un contexte aussi défavorable.

# Suivi du flux de l'eau

## Analyse hydrologique

L'hydrologie est la science qui concerne l'eau de la Terre, en particulier ses mouvements par rapport à la terre. Comme l'eau se déplace en fonction de la gravité, l'altitude de la surface de la Terre peut servir à modéliser les mouvements de l'eau.

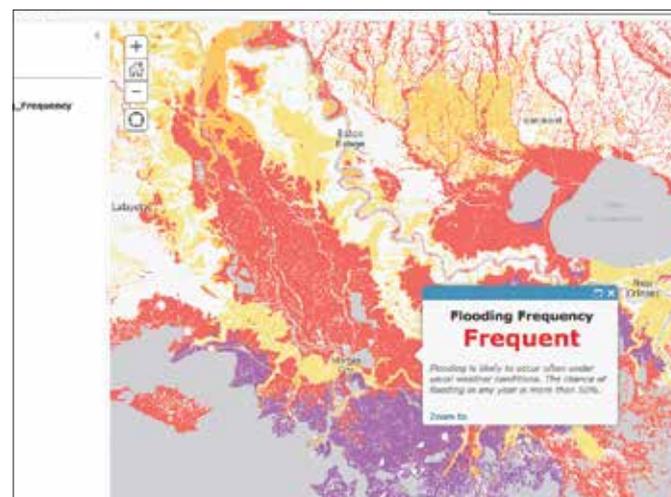
### Modélisation des inondations éclair

Les canyons propices aux inondations représentent une menace importante pour les adeptes d'activités en plein air dans l'ouest semi-aride des Etats-Unis. Le bureau des prévisions du service météorologique national NOAA à San Diego a reconnu les risques de inondations éclair qui pèsent et a mis en place des services adaptés pour deux canyons propices aux inondations. Cette Story Map décrit les méthodes employées pour sensibiliser le public sur les zones à risques plus élevés dans le parc national du désert d'Anza-Borrego.



### Fréquence des inondations

Les couches d'analyse du bassin versant catégorisent l'estimation de la fréquence des inondations en six classes, d'aucune à très fréquentes. Cliquez sur un lieu de la carte pour obtenir une indication de la fréquence des inondations. Cette couche d'une résolution de 30 mètres couvre la majeure partie du continent américain, notamment l'Alaska, Hawaii, Puerto Rico, les îles Vierges américaines et plusieurs îles du Pacifique (y compris Guam et Saipan).



# Visualisation des rasters

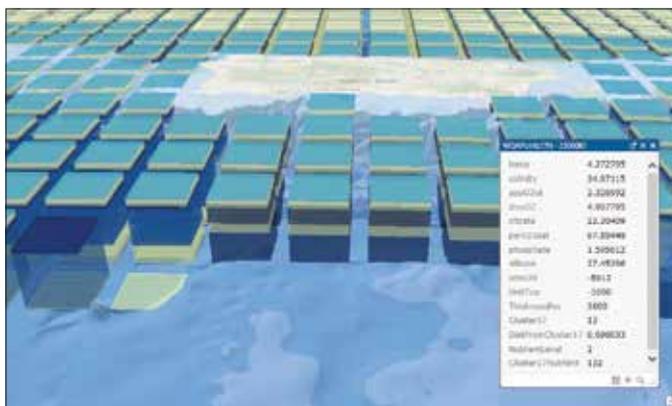
## Moteurs de rendu, 2D et 3D

Les données raster peuvent se composer d'un seul ou de plusieurs canaux et comporter seulement quelques valeurs de pixel uniques ou une plage complète de valeurs dans l'espace par pixel donné. Il existe de nombreuses façons de visualiser des données raster : sous forme d'imagerie multicanale, en 3D et en tant que cartes chronologiques dynamiques. Par exemple, lorsque vous affichez une photographie aérienne en couleur, vous visualisez souvent un jeu de données raster à trois canaux avec un moteur de rendu RVB (rouge, vert, bleu) appliqué par défaut.



### Calcul de l'ombrage

L'ombrage analytique calcule l'éclairage de la surface en tant que surface raster avec des valeurs comprises entre 0 et 255 en fonction de la direction donnée d'une boussole par rapport au soleil (azimut) et d'une altitude donnée au-dessus de l'horizon. La modélisation du MNT et la visualisation permettent d'animer d'autres couches d'informations, comme illustré sur cette carte des sols dans les montagnes Panoche Hills en Californie, à l'ouest de Fresno.



### Visualisation 4D de l'environnement marin

La norme de classification écologique marine et côtière offre une structure complète qui permet d'organiser les informations sur les côtes et les océans, ainsi que leurs systèmes vivants. Cette série chronologique en quatre dimensions intègre les propriétés physiques, biologiques et chimiques qui sont utilisées collectivement pour définir les écosystèmes côtiers et marins. Lorsqu'elles sont présentées en 3D, les données forment une pile qu'un analyste peut approfondir.

# Spécialiste : Gerry Kinn

L'analyse d'images ne se résume pas à la création d'une jolie image

L'analyse d'images a considérablement évolué depuis le lancement du premier Landsat. A l'origine, l'accent était mis sur le traitement d'images afin de rendre l'imagerie interprétable. Ensuite, l'objectif a été d'extraire les entités qui étaient utilisées pour renseigner les bases de données SIG. De nos jours, la technologie requise est couramment répandue. L'accent est désormais mis sur le traitement de l'imagerie de façon à enrichir notre compréhension du monde afin de mieux prévoir et gérer les événements à venir et de devancer les problèmes. C'est ce vers quoi nous tendons dans les domaines de l'agriculture, de la sylviculture, de la gestion des ressources environnementales, de l'urbanisation, de la gestion du trafic et même dans des secteurs, tels que l'application de la loi.

L'analyse d'images n'évolue pas dans n'importe quelles circonstances. Elle est influencée par l'évolution de facteurs afférents. Aujourd'hui et dans l'avenir, nous constatons un accroissement de la puissance de calcul avec les capacités parallèles du cloud computing, nous voyons plus d'imagerie dans plus de modalités avec une meilleure résolution et plus d'options de collecte, nous avons accès à d'énormes ensembles de données SIG avant même de collecter l'image et nous bénéficions de méthodes nouvelles et innovantes pour mener à bien des analyses. Et où cette magnifique vague de progrès nous emmène-t-elle ?

Prenons l'agriculture comme exemple. Aux Etats-Unis, la vaste majorité des producteurs enregistrent leurs terres et récoltes auprès de l'USDA. Des cartes du sol et des modèles d'altitude de qualité sont disponibles pour la totalité du pays. Avec NEXRAD, les données des précipitations émanant de systèmes radar au sol sont collectées pour le continent toutes les cinq minutes avec une taille de cellule de moins d'un kilomètre. Alliés aux données de température et aux données d'éclairage solaire quotidien, les modèles de récolte permettent de prévoir le degré de croissance pour chaque champ. Ceci permet d'utiliser l'imagerie multispectrale



*Gerry Kinn contribue à l'intégration de la technologie d'imagerie dans la plateforme ArcGIS afin que les informations en temps quasi réel puissent aider les utilisateurs à répondre aux questions importantes.*

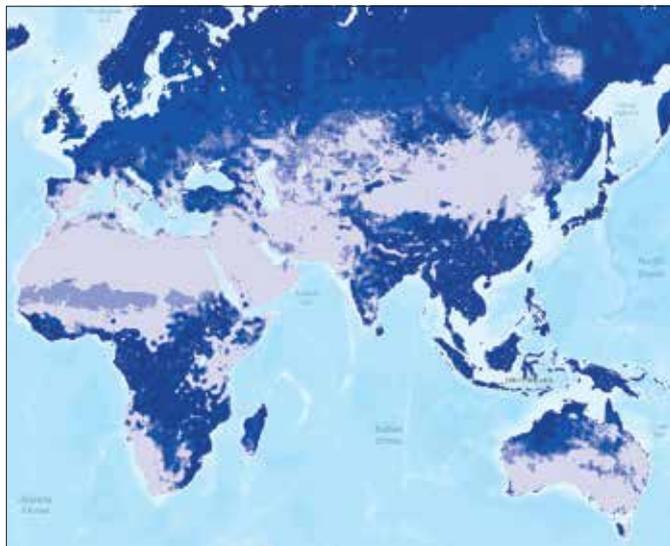
pour valider et ajuster ces modèles de récolte dès qu'une nouvelle imagerie est collectée, que ce soit par satellite, avion ou drone. En fait, les drones permettent à chaque producteur d'obtenir des données très personnelles en offrant une résolution optimale et une meilleure fréquence de collecte. Les résultats d'analyse mettent en exergue les anomalies face auxquelles le producteur doit réagir pour réduire les problèmes d'humidité, les carences nutritives ou les contraintes liées aux mauvaises herbes et aux parasites. Il en résulte une meilleure compréhension de la production, que ce soit au niveau national ou pour l'agriculture de précision au niveau du champ.

L'analyse d'images ne se résume plus à la création d'une jolie image. Elle associe au contraire la science de la télédétection à toutes les autres données de capteur et SIG disponibles pour modéliser les processus importants qui surviennent chaque jour dans nos paysages et affectent nos vies.

# L'imagerie permet de surveiller le monde

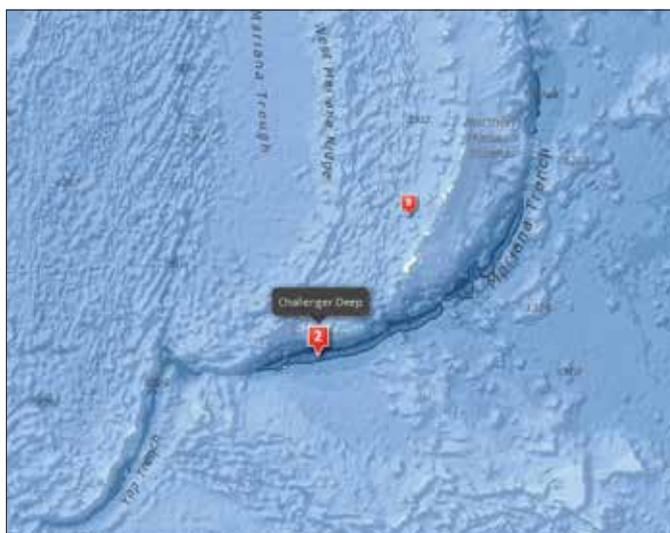
## Que peut montrer ma carte ?

L'objectif de la cartographie ou de n'importe quel style de conception d'informations est de mettre en évidence ce qui est important au sujet des données. Dans de nombreux cas, lorsque nous laissons les données parvenir à la surface, c'est une analyse spatiale sophistiquée qui se transforme en carte, ou en affichage d'informations.



### Indice d'écoulement des précipitations

Lorsque des précipitations s'abattent à la surface de la Terre, une grande partie est capturée dans des espaces de stockage (lacs, nappes, humidité du sol, manteau neigeux et végétation, entre autres). Les précipitations qui dépassent la capacité de stockage du paysage finissent par s'écouler dans les rivières. Dans les zones urbaines, les trottoirs et autres surfaces imperméables augmentent énormément le volume d'écoulement de surface, ce qui entraîne les déchets et les débris urbains vers les voies navigables et augmente la pollution et la gravité des inondations. Dans les zones agricoles, l'écoulement de surface et souterrain peut transporter des excès de sels et de nutriments, en particulier de l'azote et du phosphore.



### Bathymétrie

La bathymétrie est l'étude des profondeurs sous-marines du fond des lacs ou du plancher océanique. En d'autres termes, la bathymétrie est l'équivalent sous-marin de la topographie. Cette carte explore les océans du monde entier et leurs entités bathymétriques.

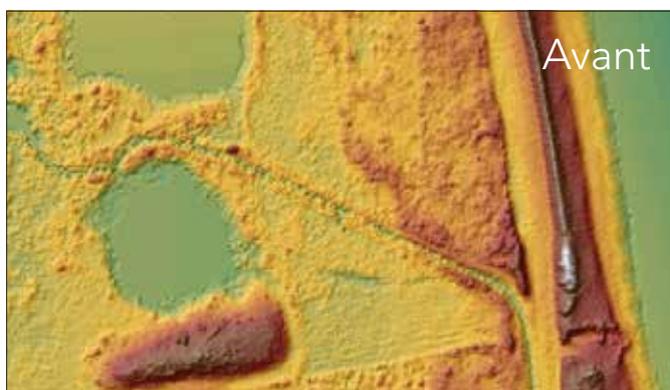
# Etude de cas d'analyse : ouragan Irene

Utilisation de l'imagerie Lidar pour modéliser les dégâts provoqués par l'ouragan et la réparation de l'érosion

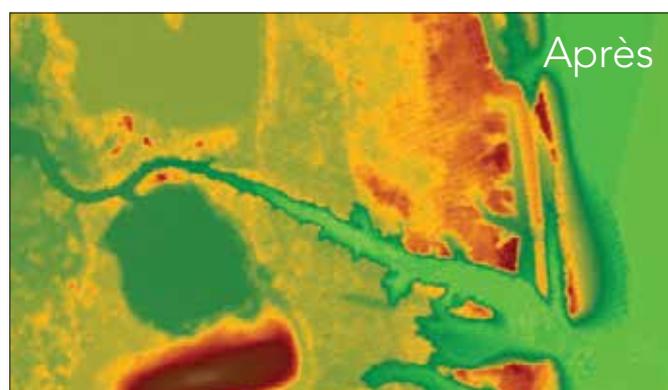
Lorsque l'ouragan Irene a frappé les Outer Banks en Caroline du Nord en 2011, les vents et l'onde de tempête ont creusé deux nouveaux canaux à travers Pea Island. La route principale qui permet de rejoindre le continent a été détruite. Des données Lidar et une imagerie ont été générées par des organismes de transports régionaux et étatiques pour collecter des données multispectrales et des informations de surface.

La route endommagée était le seul moyen d'accès pour les habitants. Non seulement la route elle-même avait besoin d'être réparée, mais également la plage environnante devait être reconstruite comme zone tampon pour protéger la nouvelle route. Dès que l'imagerie a été générée et analysée (quelques jours seulement après l'événement), elle a été mise à la disposition des organismes d'intervention et s'est révélée indispensable dans la reconstruction de l'infrastructure.

L'Etat de Caroline du Nord a déployé une application simple qui permettait aux agents de calculer le nombre de chargements de sable nécessaires pour remplacer tout ce qui avait été balayé par la tempête. En dessinant des formes de différentes tailles sur le sol, ils ont pu fournir des estimations réalistes de la quantité de sable requise pour réparer à la fois la route et la plage aussi rapidement que possible.



Avant



Après

*Sur ces images spectaculaires, l'ampleur de l'empiètement de la mer sur la zone publique (et la quantité de sable qu'elle a emportée avec elle en se retirant) apparaît de manière évidente sur l'imagerie Lidar. Les mesures étaient si précises que les agents ont pu calculer le nombre de camions de sable nécessaires pour traiter la brèche et commencer à reconstruire la route.*



Sur cette carte des surfaces imperméables, nous voyons comment les bâtiments et les trottoirs sur chaque parcelle empêche l'eau de s'infiltrer dans le sol. Des taxes d'écoulement sont estimées pour les propriétaires en fonction de la surface imperméable disponible sur leur terrain.

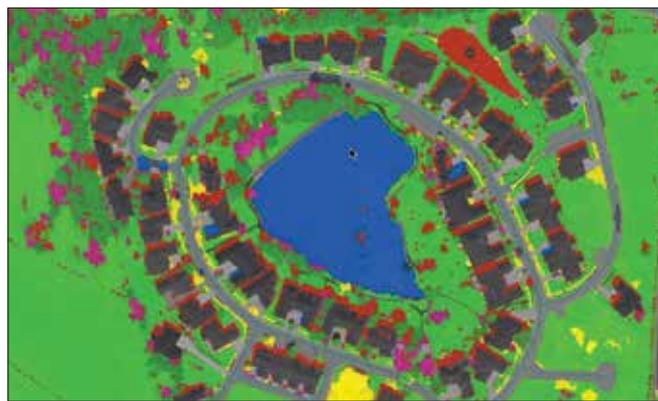
# Calcul des surfaces imperméables

## Utilisation des fonctions raster

De nombreuses autorités locales utilisent la quantité de surfaces imperméables pour calculer la facture d'eau pluviale des propriétés individuelles. Grâce au traitement dynamique d'images, les surfaces imperméables sont extraites de l'imagerie multispectrale, puis utilisées pour calculer la superficie totale de la surface imperméable par parcelle, comme illustré dans cet exemple de Charlotte en Caroline du Nord. Ce calcul analytique offre une excellente illustration de la synergie rendue possible par l'intégration du SIG et du traitement d'images.



*Cette subdivision comporte une grande quantité d'asphalte et d'autres surfaces imperméables, mais elle est difficile à quantifier.*



*« Formation » est le nom technique de la tâche qui consiste à savoir quels segments d'échantillon représentent quel type de couverture afin d'obtenir une classification automatique plus précise.*



*L'infrarouge est utile pour détecter et extraire la végétation. Le rouge est important pour différencier le sol nu. Le bleu est important pour différencier les entités urbaines, tout particulièrement le béton et les toits.*

# Démarrage rapide

Découvrez de nouvelles perspectives et connaissances, et approfondissez la compréhension grâce à l'analyse spatiale

## ► ArcGIS Spatial Analyst

ArcGIS Spatial Analyst est une extension d'ArcMap qui prolonge les fonctionnalités d'ArcGIS for Desktop en proposant une gamme d'outils d'analyse et de modélisation spatiale de raster. Elle permet de résoudre des problèmes complexes comme la localisation de nouveaux points de vente ou la définition de zones prometteuses pour les initiatives de conservation de la faune. Même s'il n'est pas évoqué dans ce guide, cet outil occupe une place de choix dans le kit de l'analyste.

## ► Accéder à des lieux avec l'analyse spatiale MOOC



Ce cours est destiné aux personnes qui connaissent l'analyse de données et qui souhaitent savoir comment les fonctionnalités particulières de l'analyse de données spatiales offrent une meilleure compréhension. Vous aurez accès gratuitement à l'ensemble des fonctionnalités analytiques d'ArcGIS Online, la plateforme SIG d'Esri basée sur le cloud : Une expérience préalable des logiciels SIG est utile, mais pas nécessaire.

## ► Outils d'analyse dans ArcGIS Online

Bien que l'extension ArcGIS Spatial Analyst dispose du plus grand choix d'outils raster, l'environnement SIG Web ArcGIS Online possède également un nombre croissant d'outils de ce type. Certains des outils de modélisation raster d'ArcGIS Online sont présentés ci-dessous.

### Calculer la densité



L'outil *Calculer la densité* permet de créer une carte de densité à partir d'entités ponctuelles ou linéaires en répartissant des quantités connues de certains phénomènes (représentés sous forme d'attributs des points ou lignes) sur la carte. Il en résulte une couche de zones classées des moins denses aux plus denses.

### Trouver des points chauds



L'outil *Rechercher les points chauds* détermine si le modèle spatial de vos données présente des agrégations statistiquement significatives.

### Interpoler les points



L'outil *Interpoler les points* vous permet de prévoir des valeurs dans de nouveaux sites en fonction de mesures à partir d'une collection de points. L'outil sélectionne des données ponctuelles avec des valeurs à chaque point et renvoie des zones classées par valeurs prévues.

### Créer des zones tampon



Une zone tampon est une surface qui couvre une distance donnée à partir d'une entité ponctuelle, linéaire ou surfacique.

# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Calculer les surfaces imperméables à partir de l'imagerie spectrale

### ► Vue d'ensemble

Les surfaces au sol où l'eau ne peut pas pénétrer, connues sous le nom de surfaces imperméables, présentent de graves problèmes environnementaux. L'écoulement des eaux pluviales peut provoquer des inondations et acheminer des matériaux contaminés dans les lacs et les rivières. En raison de ces dangers, de nombreuses autorités locales prélèvent des taxes sur les parcelles présentant de grands volumes de surfaces imperméables. L'autorité locale de Louisville dans le Kentucky en fait partie. Toutefois, pour imposer une facture d'eau pluviale sur les propriétés, il est nécessaire de connaître la superficie des surfaces imperméables contenues dans chaque parcelle.

Vous allez les aider en calculant les surfaces imperméables d'un seul quartier de Louisville. A l'aide d'une tâche ArcGIS Pro, vous allez extraire des canaux d'une image multispectrale du quartier pour mettre en évidence les entités urbaines, telles que les routes et les toits gris. Vous allez ensuite segmenter et classer l'image en différents types d'utilisation du sol, que vous pouvez reclasser en surfaces perméables ou imperméables. Après avoir évalué la précision de votre classification, vous allez calculer la superficie des surfaces imperméables par parcelle pour fournir aux autorités de Louisville les informations nécessaires pour calculer la taxe d'eau pluviale.



### ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

- Exécution d'un workflow avec une tâche ArcGIS Pro
- Exécution d'une classification assistée
- Evaluation de la précision de la classification
- Calcul de la superficie de l'occupation du sol par entité

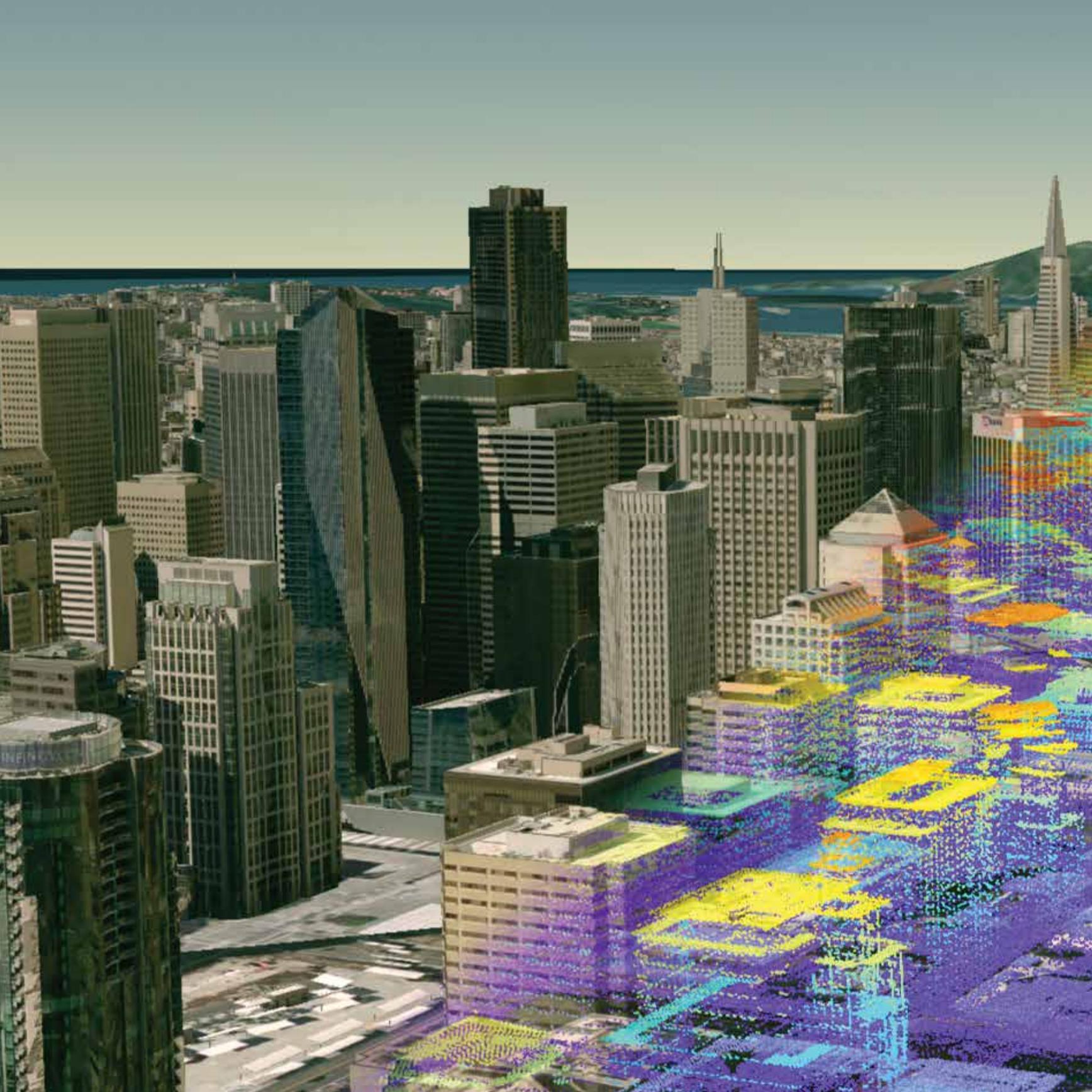
### ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- ArcGIS Pro 1.2.0 ou version ultérieure
- ArcMap 10.3 ou version ultérieure (facultatif)
- Durée estimée : 1 heure et 30 minutes

## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter5\\_Lesson](https://www.esri.com/imagerybook/Chapter5_Lesson)





## Création de mondes miroir

Emergence d'une nouvelle dimension grâce à l'imagerie 3D

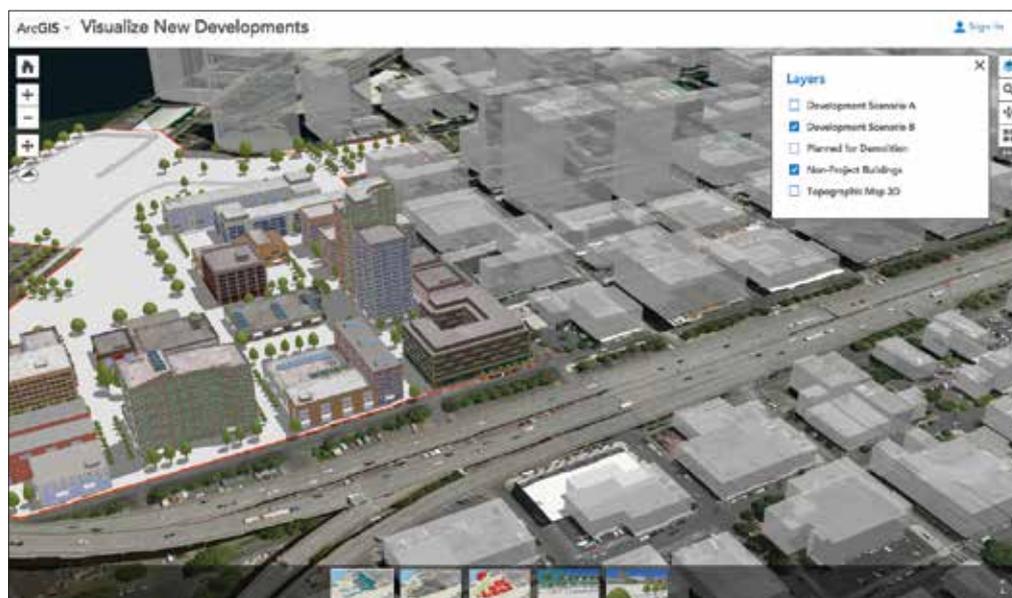
En combinant l'imagerie à la 3D, vous générez une représentation approximative de la réalité qui est décrite comme un « monde miroir ». Sur une telle Terre virtuelle, les images acquises à distance permettent de modéliser avec précision les formes et textures réelles du monde. Le monde miroir s'est transformé en une carte 3D précise et pas seulement un modèle original, et c'est là un grand pas, car il permet désormais d'extraire des entités 3D, d'effectuer des analyses volumétriques et d'obtenir des visualisations interactives et réalistes de la Terre, d'une échelle globale jusqu'à l'intérieur des bâtiments.

# Evolution de l'imagerie 3D

Avant les années 1990, l'imagerie 3D à la portée de tous consistait principalement à transformer des mesures réelles du terrain en représentations numériques 2D de la topographie de la Terre. Ces données pouvaient être visualisées en 2D vu l'absence de visionneuses 3D et les capacités de calcul considérables requises pour travailler en 3D.

Entre 1990 et 2010, l'utilisation de logiciels 3D s'est progressivement répandue et la puissance de calcul s'est améliorée, pour un coût de plus en plus abordable, conformément à la loi de Moore. La modélisation du monde réel dans un SIG a commencé à représenter des objets tridimensionnels, comme des bâtiments. L'adoption d'un SIG 3D n'en était qu'à ses débuts et une grande partie du travail en 3D consistait toujours à draper des cartes bidimensionnelles sur des représentations 3D du terrain. Les objets tridimensionnels étaient générés par des professionnels en informatique via des processus laborieux faisant appel à des paires d'images stéréographiques. La plupart des utilisateurs étaient incapables de créer des objets 3D.

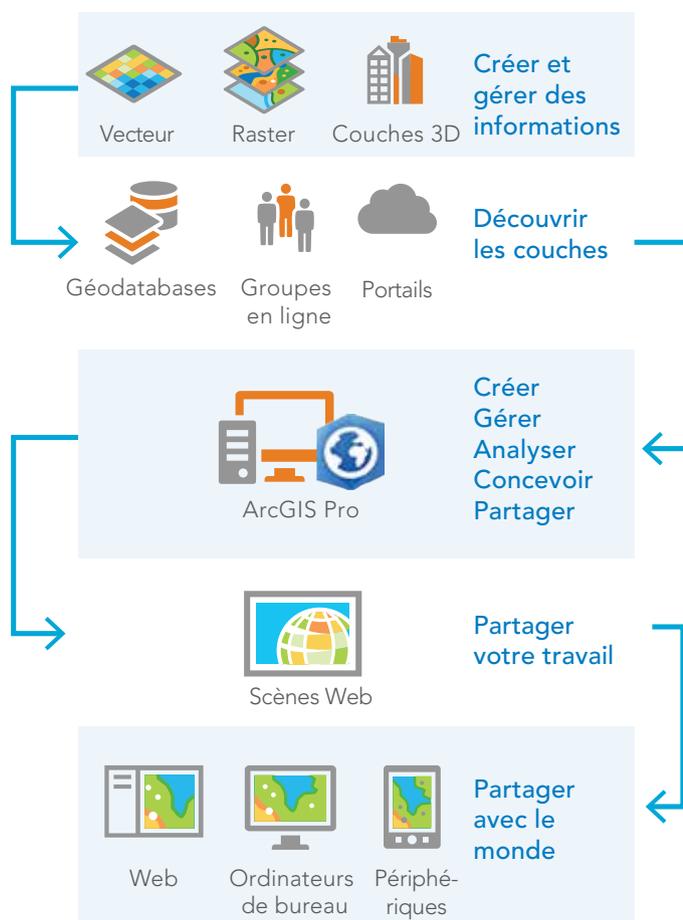
Passons maintenant à la technologie actuelle. Nous disposons désormais d'un workflow de bout en bout pour traiter les images 3D, créer, modifier et conserver l'altitude 3D à partir de capteurs et d'images, effectuer des analyses et des visualisations, et partager des scènes 3D immersives sur des ordinateurs de bureau, des navigateurs et des appareils mobiles. Jamais il n'a été aussi facile d'exécuter ces tâches. En utilisant ArcGIS sur des ordinateurs de bureau, votre serveur d'entreprise, le Web et des appareils mobiles, vous pouvez utiliser l'imagerie pour activer pleinement votre SIG en 3D. Il se peut que votre travail ait trait à des domaines variés tels que le changement climatique à l'échelle mondiale, la planification régionale de la gestion forestière, la création de villes habitables, résilientes et durables, ou que vous soyez tout simplement chargé d'une mission spécifique sur site ou dans un bâtiment.



*Comparaison de développements urbains proposés à Portland, Oregon, en tenant compte de l'environnement existant. La scène comprend un terrain 3D, des bâtiments extrudés aux environs et des bâtiments 3D tracés par procédure. Alors qu'autrefois il aurait fallu de nombreuses heures à un professionnel pour créer des visualisations semblables, aujourd'hui, une seule personne peut y parvenir en quelques minutes.*

# La 3D est intégrée à ArcGIS

ArcGIS vous permet de vous plonger dans votre monde 3D, en commençant par des images et vos données SIG. Il peut s'agir d'une expérience photoréaliste ou d'un mode d'interaction avec les résultats de vos analyses. Si vous explorez un site en projet en le visualisant sous plusieurs angles, publiez une scène Web 3D pour un site Web ou créez entièrement de nouvelles couches 3D, ArcGIS vous facilite la tâche.



Racontez une histoire sur les ouragans qui traversent l'océan Atlantique, acheminez des visionneuses à l'intérieur de bâtiments ou creusez sous la surface du sol pour étudier les fonctionnalités des canalisations.

ArcGIS vous permet d'être interactif via des périphériques et des plateformes. Partagez vos scènes 3D sur des ordinateurs de bureau et le Web, en adaptant le niveau de détail et de complexité aux destinataires ciblés, qu'il s'agisse du grand public, d'experts en planification ou d'ingénieurs. Les nouvelles technologies de diffusion 3D en continu, à normes ouvertes, à partir d'un serveur, vous permettent de partager un bâtiment 3D, ou des millions, via des scènes Web conviviales et hautes performances.

ArcGIS Pro est le moteur 3D de la plateforme. Vous l'exécutez sur votre ordinateur de bureau local et il propose un environnement intuitif permettant de créer et de gérer vos couches 2D et 3D. Grâce à ses outils d'analyse puissants, vous pouvez réaliser des études tridimensionnelles uniques comprenant des évaluations du potentiel solaire des toits, de l'impact de l'ombre pendant les solstices d'hiver et d'été, ainsi qu'une évaluation précise de biens immobiliers suite à l'analyse des vues depuis divers points d'observation dans un bâtiment.

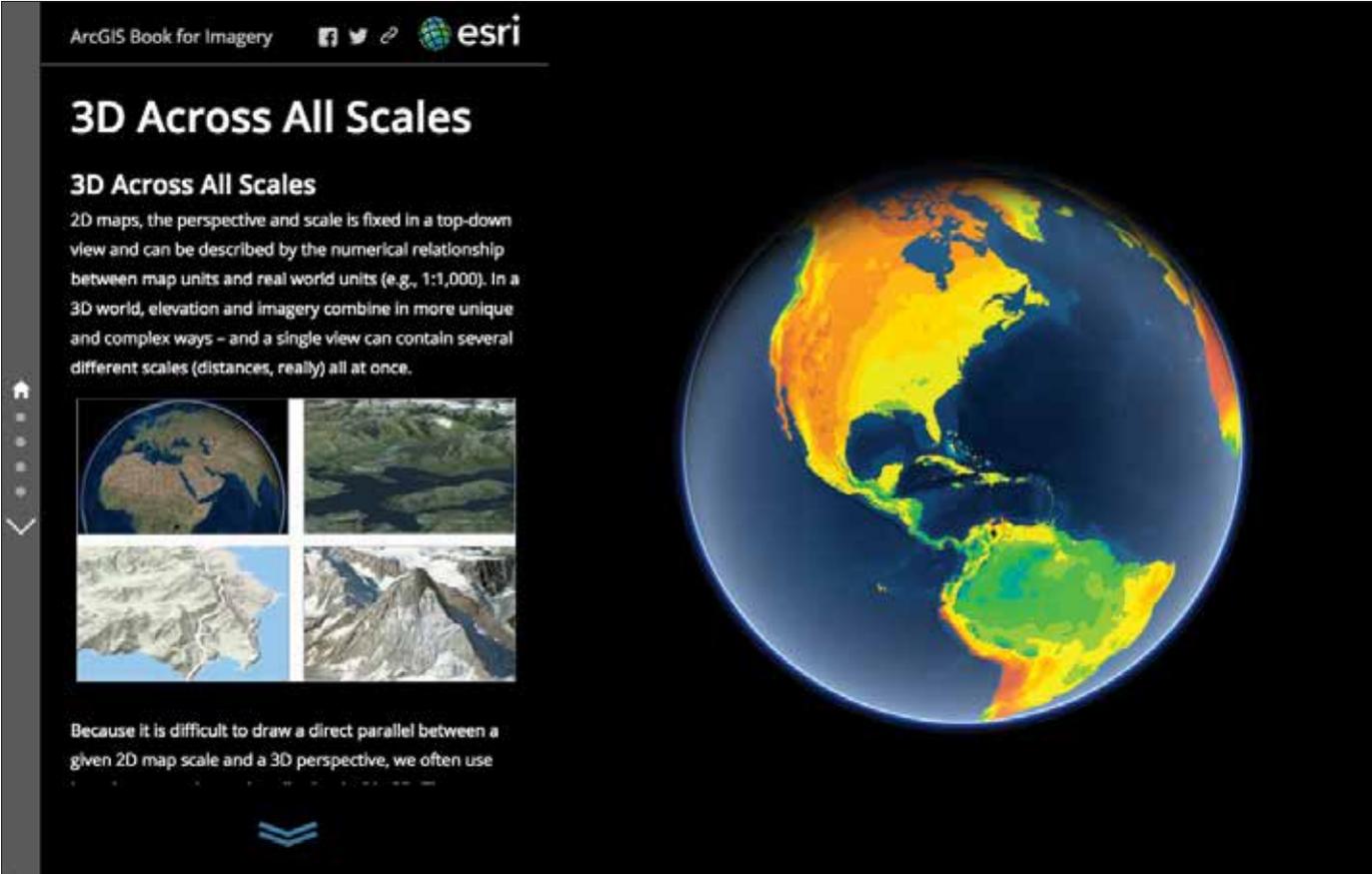
Pour être encore plus convaincant, vous pouvez créer des représentations 3D réalistes de vos idées et conceptions en faisant appel à la modélisation procédurale basée sur des règles. Vous pouvez, par exemple, imaginer des régions et des villes côtières et, pour composer avec la nature, prévoir le développement de récifs artificiels.

Avec ArcGIS Online, vous pouvez utiliser la totalité de ce contenu 3D que vous stockez et partagez facilement.

# Echelles en 3D

Avec des cartes 2D, la perspective et l'échelle sont figées dans une vue descendante et peuvent être décrites par la relation numérique entre les unités de la carte et celles du monde réel (par exemple, 1:1 000). Dans un monde en 3D, l'altitude et les images sont associées par des liens plus complexes et uniques et une seule vue peut contenir plusieurs échelles différentes à la fois, comme des distances, en fait. Les entités au premier plan sont plus proches et présentent donc une échelle supérieure à celle des entités à l'arrière-plan de votre fenêtre de visualisation.

En 3D, nous utilisons souvent des catégories générales pour décrire des échelles. Ces catégories, de la vue globale de la planète jusqu'à l'échelle du site local, sont déterminées principalement par des modèles de données courants et les types de tâches exécutées plutôt que de dépendre d'une relation numérique exacte entre les unités de la carte et celles du monde réel.



The image is a screenshot of a presentation slide from ArcGIS. At the top left, it says 'ArcGIS Book for Imagery' with social media icons for Facebook, Twitter, and LinkedIn, and the Esri logo. The main title is '3D Across All Scales'. Below the title, there is a sub-section '3D Across All Scales' with a paragraph explaining that 2D maps have a fixed perspective and scale, while 3D maps combine elevation and imagery in complex ways, allowing for multiple scales in a single view. To the right of the text is a large 3D globe showing a topographic map of the Americas. Below the text, there is a 2x2 grid of four smaller images: a 2D map of Africa, a 3D perspective of a mountain range, a 3D perspective of a city, and a 3D perspective of a building. At the bottom of the slide, there is a partial sentence: 'Because it is difficult to draw a direct parallel between a given 2D map scale and a 3D perspective, we often use'. The slide also features a navigation bar on the left with a home icon, a list of icons, and a back arrow, and a double arrow icon at the bottom center.

*Dans ArcGIS, la 3D s'applique à toutes les échelles de la Terre, de la perspective globale aux vues des continents et des régions, à celle des villes et voisinages, jusqu'à l'intérieur des bâtiments et des sites.*

# Visualisation d'une vue globale jusqu'à votre toit

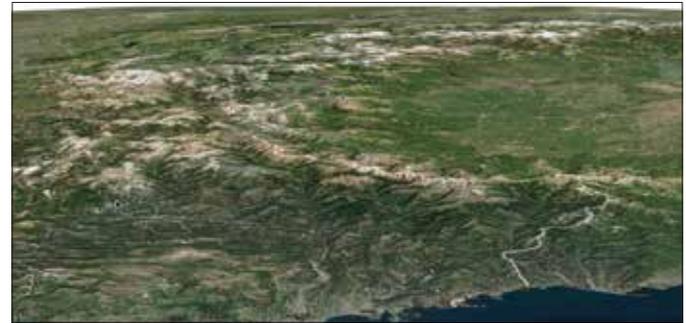
## Globale

A l'échelle mondiale, les scènes 3D permettent de comprendre ou de placer en contexte des phénomènes intercontinentaux se produisant autour de la surface sphérique de la Terre. Parmi les jeux de données associés à des étendues importantes, on compte notamment le climat, la météorologie, les océans, le transport mondial et des présentations sur des pays et des continents. A cette échelle, la surface d'altitude n'est pas perceptible et la résolution des images est parfois assez grossière.



## Régionale

A l'échelle régionale, à savoir les comtés et les provinces dont la superficie peut être équivalente à celle d'un pays, nous pouvons détecter les variations les plus extrêmes sur la surface du terrain, comme les canyons et les chaînes de montagnes. Les jeux de données peuvent toujours couvrir de vastes étendues, mais le niveau de détail et la résolution sont affinés.



## Locale

A l'échelle locale, les entités 3D, telles que les bâtiments, sont visibles et l'on distingue clairement les textures et étendues des environnements naturels et aménagés. Cette échelle est souvent utilisée à des fins de visualisation et de planification urbaine, ainsi que pour l'agriculture et la gestion agricole. Ces échelles sont optimisées par des images haute résolution. Des surfaces d'altitude locales détaillées sont souvent ajoutées pour permettre un alignement plus précis des données 3D sur le terrain.



## Site

L'échelle adaptée à un site permet de visualiser des jeux de données couvrant l'étendue d'un groupe de bâtiments, comme un pâté de maisons, un campus, un parc public ou des arbres. Vous pouvez également ajouter des plans intérieurs en 3D. A cette échelle, vous devez exploiter des données d'altitude haute résolution précises et, souvent, des images haute résolution sont utilisées à cette fin. Vous pouvez également ajouter des fonds de carte qui permettent d'appliquer un zoom sur les pièces et les étages des bâtiments.

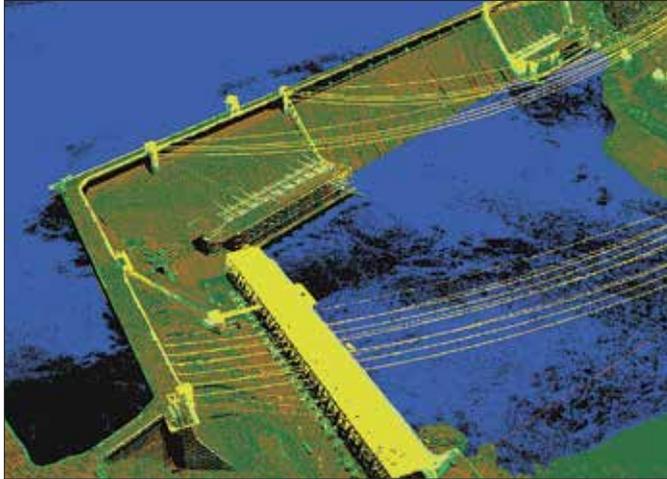


# Capture d'altitude via un radar optique (LIDAR) et un radar

La topographie de la Terre constitue la base naturelle de tout travail en 3D, les objets étant placés au-dessus, en dessous ou sur la surface du terrain. Dans un SIG, la topographie est représentée à l'aide de modèles d'altitude dans un format raster ou parfois une structure de réseau triangulé irrégulier (TIN). Les modèles d'altitude raster (bien plus utilisés) divisent la surface au sol en une grille à espacement régulier, dont chaque cellule contient une seule valeur d'altitude. En revanche, les TIN sont basés sur des triangles (ou facettes) de tailles variables qui connectent une série d'emplacements de points 3D dans l'espace pour permettre l'interpolation de valeurs d'altitude uniques à un emplacement quelconque de la facette.

Les modèles d'altitude actuels sont le plus souvent générés à l'aide de techniques de télédétection impliquant l'utilisation de lasers et de radars. Un radar interférométrique à synthèse d'ouverture (IFSAR) utilise des paires de radars opposés pour collecter des relevés d'altitude. On peut citer en exemple la mission Shuttle Radar Terrain Mapping (SRTM) de la NASA en 2001 qui a cartographié à l'aide d'un radar l'altitude de la totalité du globe à une résolution de 30 mètres.

Le radar optique (LIDAR) a été rapidement adopté comme une des normes pour générer des modèles d'altitude haute résolution. Ce processus utilise des impulsions laser minutées pour produire un « nuage » dense et extrêmement précis de points d'altitude et il peut générer certains produits informatiques, notamment des modèles numériques de surface (MNS), des modèles numériques de terrain (MNT) et des maillages triangulaires (également appelés TIN).



*Lidar est une technologie de télédétection active qui fait appel à des lasers pour cibler des entités (telles que le barrage de Grand Coulee) et enregistrer les impulsions réfléchies pour générer le modèle 3D d'objets. Dans ce cas, les données sont symbolisées par la classe LAS (eau, ciment, lignes de transmission, etc).*



*Exemple de données Lidar détaillées collectées par l'équipe SIG pour des sections de Petaluma en Californie, dans le comté de Sonoma.*

# La base d'un SIG 3D

## Altitude de la base

Un des attributs 3D clé d'une entité est sa position verticale ou l'altitude de la base. C'est le point où la base d'un bâtiment, d'un arbre ou d'un autre objet s'aligne sur l'altitude de ce que l'on appelle la « terre nue ». L'alignement sur le terrain doit être correct d'un point de vue visuel pour limiter les entités « flottantes » ou « enterrées » qui doivent être au niveau de la surface du sol, mais aussi pour assurer la précision du positionnement vertical relatif pour l'analyse 3D.

Un modèle numérique de terrain (MNT) de terre nue est habituellement échantillonné pour déterminer les valeurs z correctes à appliquer à une entité, qu'elle soit ponctuelle, linéaire, surfacique ou multipatch (volume). Vous pouvez appliquer une valeur z unique pour déplacer verticalement l'emplacement d'une entité vers le haut ou vers le bas, ou l'entité peut être « drapée » sur la surface d'altitude.



### MNT

*Pour des raisons pratiques, ce modèle altimétrique numérique (MAN) de terre nue est habituellement assimilé à un modèle numérique de terrain (MNT).*

*Les produits MAN de qualité sont évalués en fonction du niveau de détail de l'altitude (autrement dit, la taille au sol de chaque pixel) et de la précision de la morphologie présentée, à savoir la précision de son axe des z.*



### MNS

*Un modèle numérique de surface (MNS) représente la hauteur (altitude) des arbres, bâtiments et autres entités projetées au-dessus de la terre nue.*

# La base d'un SIG 3D

## Principaux modèles d'altitude

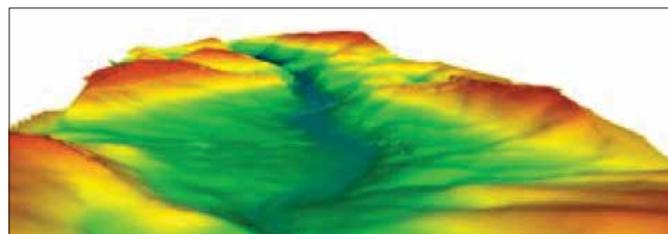
### MNS : modèle numérique de surface

Les modèles de surface incluent la topographie et tous les objets sur la surface de la Terre, comme les arbres et les bâtiments. Drapez les images sur un MNS pour créer des mondes virtuels simples ou utilisez des outils spécialisés pour créer de nouvelles entités représentant des arbres ou des bâtiments dans votre SIG. Le radar optique (LIDAR) sert habituellement à créer des MSN qui fonctionnent avec ce que l'on appelle les premières données de retour, lorsque l'altitude de la première impulsion laser renvoyée est utilisée.



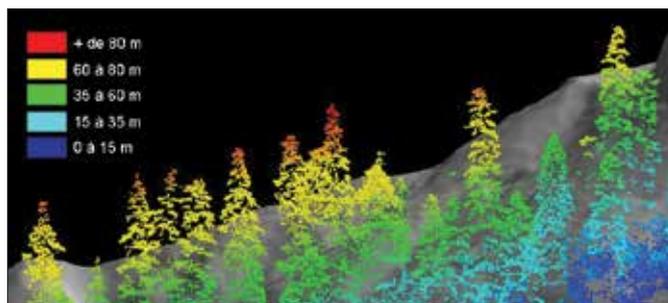
### MNT : modèle numérique de terrain

Les modèles de terrain, souvent appelés terre nue, sont vides et ne comportent ni bâtiments, ni arbres. Utilisez un MNT pour créer des ombrages, déterminer la pente de la topographie ou l'aspect du soleil, calculer l'écoulement des eaux de surface ou définir la hauteur de la base de bâtiments et d'autres entités.



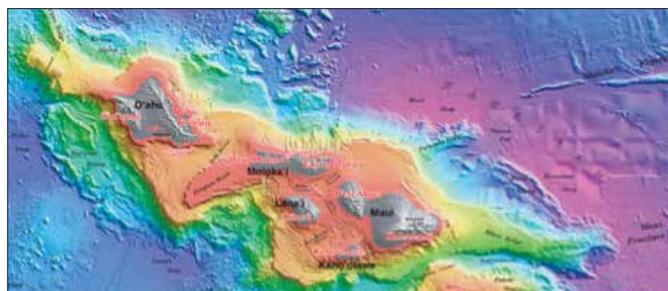
### MNH : modèle numérique de hauteur

Moins courants, mais essentiels pour activer la 3D dans votre SIG, les modèles de hauteur permettent de calculer la hauteur au-dessus du sol des bâtiments, des arbres et d'autres entités. Vous créez des modèles de hauteur en calculant la différence entre les modèles de terrain et de surface. Le radar optique (LIDAR) est de plus en plus utilisé pour créer des MNH, comme c'est le cas dans ce profil des hauteurs de la canopée dans une forêt ancienne de Douglas taxifoliés.



### Bathymétrie

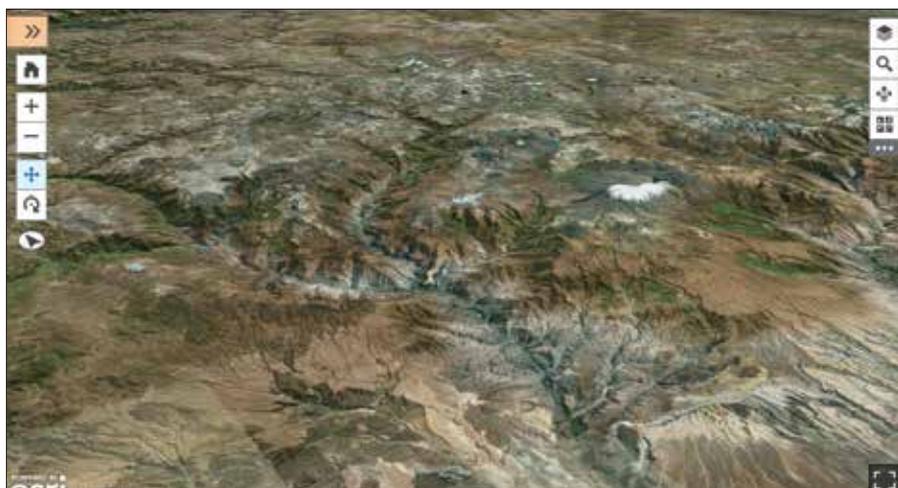
On appelle bathymétrie la topographie du plancher océanique ou du lit d'un lac, et elle peut être utilisée de la même façon que les données topographiques terrestres. Les données bathymétriques sont habituellement collectées à l'aide d'un sonar qui, en tant que capteur actif, ressemble à un radar optique (LIDAR), mais qui est utilisé sur un bateau à la surface de l'eau. Un avion peut collecter des données bathymétriques côtières dans des eaux peu profondes.



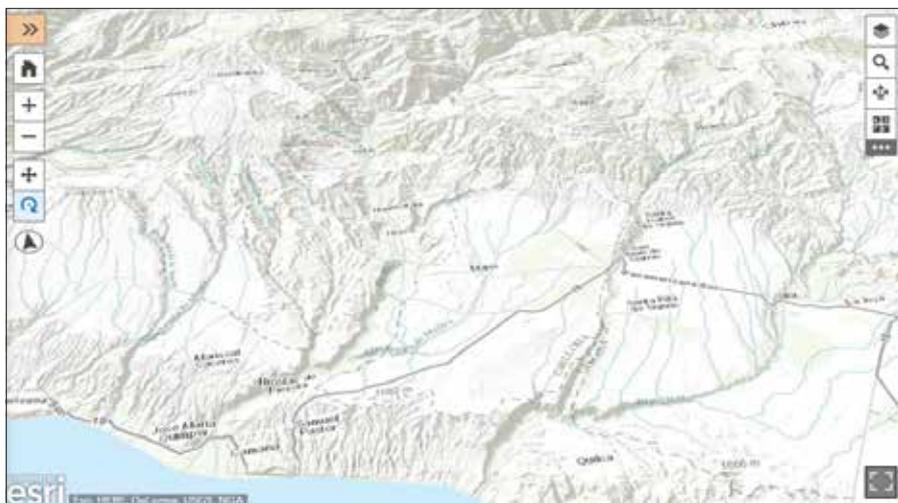
# La scène Web

## Données SIG en 3D

Dans ArcGIS, les cartes 3D sont appelées des scènes et celles qui peuvent être utilisées sur le Web et dans des navigateurs sont appelées des scènes Web. Le terrain vous servira de base. Toutes les scènes 3D comportent à l'origine une couverture de l'altitude de la surface sur laquelle vous pouvez draper plusieurs cartes 2D. Le moyen le plus simple et rapide d'adopter la 3D est de draper vos images ou fonds de carte sur la surface d'altitude de votre base. De nombreux utilisateurs de SIG constatent avec étonnement qu'un grand nombre de leurs couches SIG sont déjà prêtes à la 3D et que seules quelques opérations suffisent pour préparer les autres à la 3D.



*L'affichage d'images en 3D permet de générer des scènes Web photoréalistes prêtes à l'emploi pour votre base. Vous pouvez alors facilement ajouter des couches 2D et 3D à votre scène Web pour animer vos expériences SIG 3D immersives.*



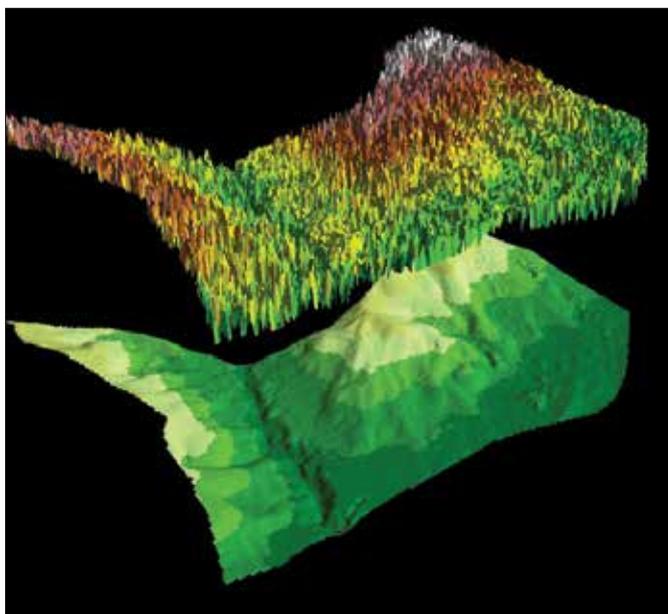
*En travaillant à partir de l'altitude, vous pouvez utiliser pratiquement toutes les couches de cartes 2D pour créer des expériences et scènes 3D stimulantes pour vos utilisateurs. Cette base n'est que le début de ce que vos cartes 3D peuvent représenter.*

# Créer une base précise

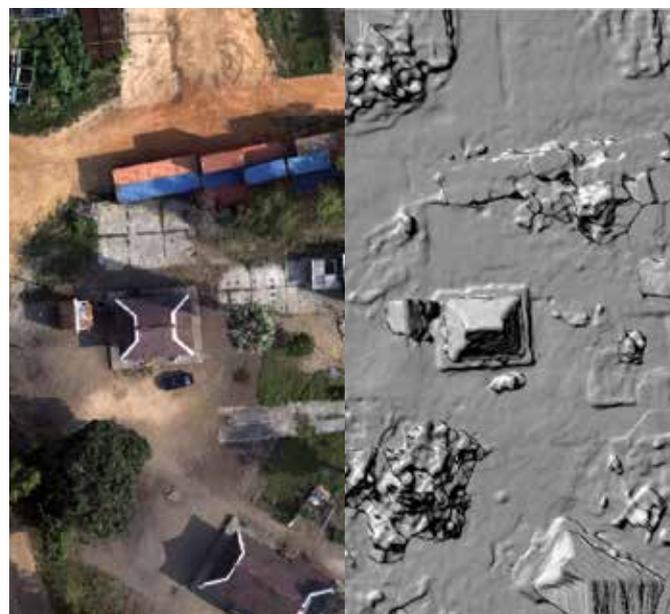
## Collecte de données d'altitude haute résolution

Lorsque, dans le cadre de votre travail, vous devez utiliser des données d'altitude de résolution supérieure à des échelles plus grandes après l'application d'un zoom, deux sources assez récentes peuvent vous procurer les détails supplémentaires nécessaires. En effet, les collectes de radars optiques et les missions de drones permettent de générer des données d'altitude de surface haute résolution. La collecte de données du radar optique (LIDAR) haute résolution est de plus en plus répandue et permet d'utiliser le SIG 3D pour de nouvelles applications.

Les survols de drones permettent également de générer des valeurs d'altitude pour chaque pixel des photos collectées. Cela permet de créer un modèle numérique de surface de la hauteur de toutes les entités observées, et pas uniquement des relevés d'altitude de terre nue.



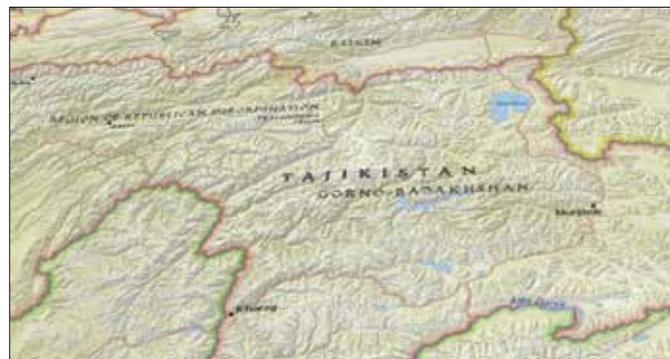
*Dans cette image, nous observons comment l'altitude de la biomasse de végétation est séparée de la surface de la terre nue. L'altitude de la biomasse et de la surface est capturée dans le premier retour du signal, alors que la terre nue est calculée en analysant les données du radar optique (LIDAR) renvoyées pour extraire l'altitude de la surface du MNT.*



*Collectée avec un drone grand public et traitée via Drone2Map, cette vue des deux plans côte à côte compare un modèle numérique de surface à une orthomosaïque.*

## Créer votre fond de carte 3D

ArcGIS propose des sources d'altitude globales qui fournissent une altitude avec une résolution de 30 mètres pour la quasi-totalité du monde. Si votre source d'altitude présente une résolution supérieure, avec des résultats de drone ou de radar optique par exemple, vous pouvez créer vos propres couches cartographiques 3D à grande échelle en ajoutant votre altitude détaillée que vous pouvez utiliser lorsque vous appliquez un zoom sur vos zones d'intérêt.



Les données drapées sur une surface tridimensionnelle présentent de nouvelles perspectives. Qu'il s'agisse de données d'images de l'Himalaya ou d'un fond de carte du National Geographic, les données raster s'animent en 3D.

## Transformer des entités 2D en 3D

Il suffit d'ajouter certains attributs à chaque entité 2D pour représenter et utiliser certaines entités SIG 2D de manière originale dans un SIG 3D.



Vous pouvez collecter l'emplacement des arbres sous la forme d'entités ponctuelles. En ajoutant quelques attributs simples, comme des espèces ou des noms communs, la hauteur et la largeur de la couronne, vous pouvez symboliser des propriétés réalistes pour représenter l'arbre à partir d'un catalogue de symboles d'arbres qui peuvent être dimensionnés et placés à l'emplacement ponctuel de chaque arbre.



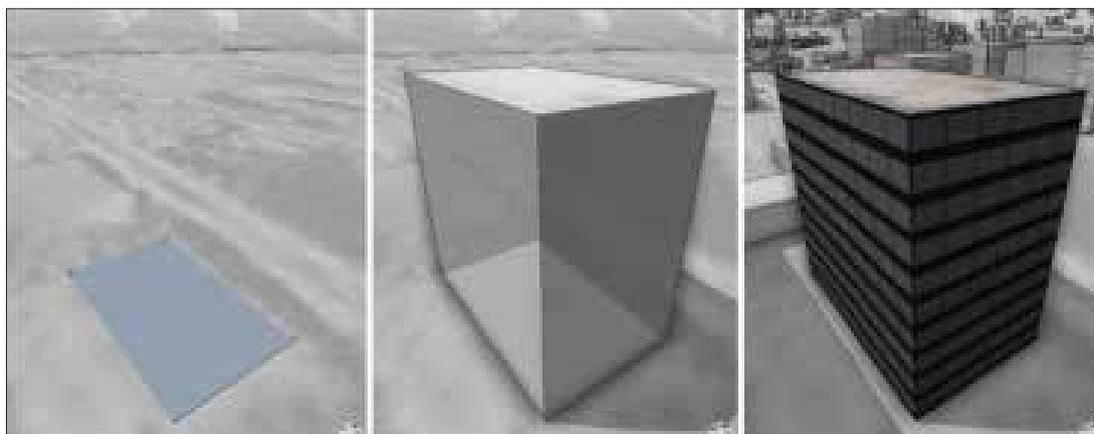
Vous pouvez extruder des bâtiments en fonction de leur hauteur ou du nombre d'étages. Et vous pouvez les modéliser avec divers niveaux de détails, selon vos besoins. L'emprise de bâtiment 2D (gauche) peut être extrudée sous la forme d'un bâtiment (centre) ou modélisée en ajoutant des détails à la surface (droite).

# Modélisation de la hauteur des bâtiments et des arbres

La hauteur d'une entité 3D est déterminée en mesurant la distance qui sépare son intersection avec la surface au sol et son point le plus élevé. Avec ces informations élémentaires sur la valeur z, une entité 2D peut être extrudée ou un modèle 3D existant peut être étiré pour atteindre la hauteur correcte.

En utilisant des données du radar optique (LIDAR) classées, le modèle numérique de terrain (MNT) peut être soustrait du modèle numérique de surface (MNS) pour créer un raster de « hauteur au-dessus du sol » ou un MNS normalisé. Ce raster MNS normalisé est alors échantillonné dans l'entité du SIG 2D ou 3D pour déterminer la valeur de hauteur maximum qui est appliquée à la géométrie via l'extrusion ou la mise à l'échelle verticale.

## Bâtiments

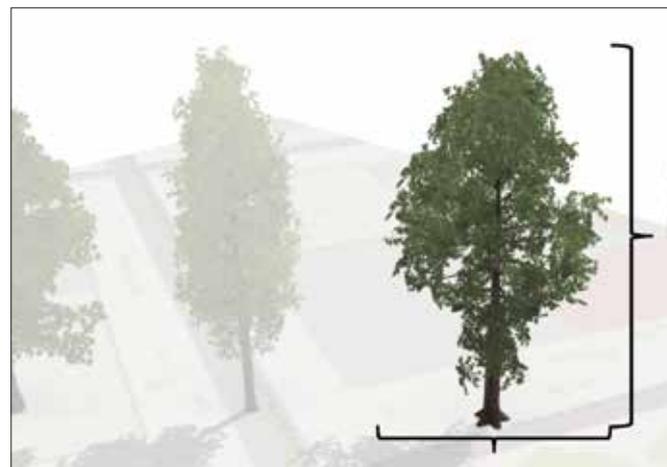


*Les emprises des bâtiments sont d'abord alignées sur la surface du terrain, puis extrudées en fonction de la valeur de hauteur et enfin texturées selon un attribut, à savoir le nombre d'étages, par exemple.*

## Arbres

Les arbres sont une autre entité souvent extraite d'images ou de données du radar optique (LIDAR). Grâce aux procédures qui permettent de déterminer l'altitude de la base et la hauteur maximum d'un bâtiment, vous pouvez extraire la hauteur des arbres manuellement ou automatiquement. Vous pouvez alors appliquer des symboles 3D détaillés selon les espèces d'arbres (des chênes, par exemple), puis les mettre à l'échelle verticalement en fonction de la hauteur, et latéralement en fonction de la largeur de la couronne de chaque arbre, pour créer des symboles réalistes.

*Les modèles d'arbres 3D réalistes sont mis à l'échelle en dérivant des données du radar optique (LIDAR) les attributs de hauteur et de largeur de la couronne.*



# Représentation de bâtiments 3D

Vous pouvez représenter des bâtiments 3D avec des détails ou une précision variables, habituellement déterminés par les méthodes ou les données source utilisées pour les collecter. Rendus populaires par CityGML, un schéma de représentation de modèles de villes 3D virtuels, ces niveaux de détails (LoD - Level of Detail) variables indiquent divers degrés d'abstraction de la structure 3D réelle. Chaque LoD peut prendre une forme texturée et non texturée. Ainsi, le choix du niveau de détail adapté dépend de la disponibilité des données pour extraire la géométrie du bâtiment et du cas d'utilisation spécifique de l'analyse et de la visualisation 3D. Par exemple, en raison du manque de précision de la taille du toit, un bâtiment LoD1 ne conviendra pas si vous devez effectuer une analyse solaire du toit ou d'impact de l'ombre. De la même façon, un bâtiment LoD4 aux textures réalistes contient plus de détails qu'il ne le faut pour une analyse 3D extérieure.

**LoD0**—Un bâtiment au niveau de détail 0 correspond simplement à un polygone ou une empreinte 2D contenant des informations sur l'altitude de la base. Autrement dit, d'une certaine façon, il est aligné verticalement sur la surface du terrain.

**LoD1**—Un bâtiment LoD1 est un polygone qui a été extrudé à une hauteur donnée pour produire une enveloppe 3D fermée comportant uniquement des plans horizontaux et verticaux. Les bâtiments LoD1 sont faciles à créer et présentent des hauteurs relatives, mais avec leur géométrie simplifiée, ils sont plus adaptés à la visualisation 3D qu'à l'analyse 3D.

**LoD2**—Outre la géométrie de la forme du toit, une enveloppe de bâtiment LoD2 comprend des surfaces murales verticales et peut inclure des détails comme des cheminées ou des lucarnes. Les bâtiments LoD2 sont adaptés à diverses analyses 3D et notamment les ombres portées, les lignes de visée et le potentiel solaire d'un toit.

**LoD3**—Une enveloppe de bâtiment LoD3 comprend la géométrie détaillée des murs et du toit, comme les bâtiments LoD2, mais aussi des détails architecturaux supplémentaires plus précis, comme des fenêtres, des portes ou des colonnes. Les bâtiments LoD3 sont adaptés à la visualisation et à l'analyse au niveau de la rue de sites spécifiques lorsque, vues de près, les scènes doivent être réalistes.

**LoD4**—Les enveloppes des bâtiments incluent non seulement des entités extérieures détaillées, mais également des murs intérieurs, des sols, des portes et du mobilier. Les bâtiments LoD4 sont adaptés à un SIG d'intérieur et aux visualisations.



# Extraction de formes de toit 3D

La plupart des municipalités et des organismes de planification urbaine, c'est à dire les utilisateurs de SIG qui en auraient le plus besoin, n'ont jamais eu les capacités techniques nécessaires pour générer des bâtiments 3D réalistes. La génération de ce type de données présentait souvent un coût trop élevé. Heureusement, alors que de plus en plus de zones urbaines sont étudiées via la photogrammétrie et des radars optiques haute résolution, il est plus facile d'obtenir des informations 3D détaillées. A partir de ces données, nous pouvons extraire les informations nécessaires pour modéliser des bâtiments, non seulement avec des mesures précises de la hauteur, mais aussi des formes précises des toits.

Pour modéliser correctement un bâtiment par procédure, la géométrie de son toit doit être fidèlement représentée. Les attributs nécessaires pour capturer cette géométrie sont les suivants :

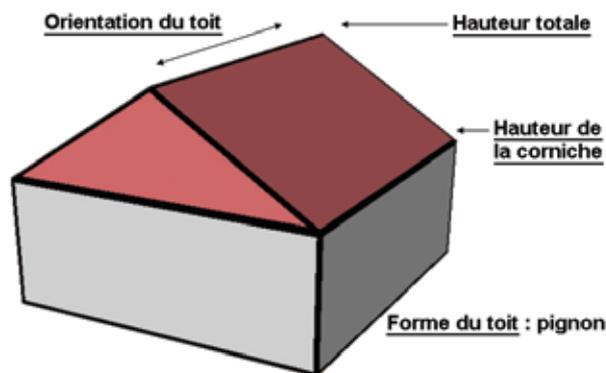
**Hauteur totale :** hauteur du point le plus haut du bâtiment (à savoir l'arête du toit).

**Hauteur de la corniche :** hauteur des corniches principales de la forme du toit du bâtiment.

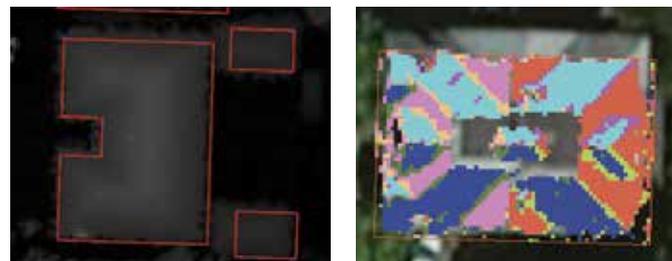
**Type de toit :** type de structure du toit (plat, pignon, pan, etc.).

**Orientation du toit :** orientation de l'arête du toit.

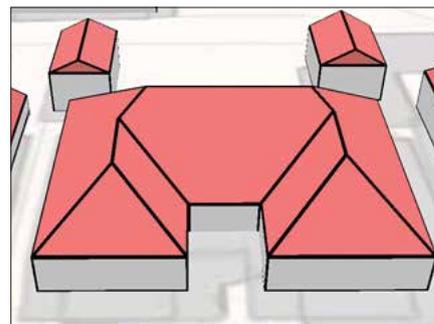
Alors qu'un technicien peut saisir ces attributs manuellement en examinant chacun des bâtiments, il peut également utiliser des procédures automatisées pour extraire des informations sur la forme du toit à l'aide d'outils standard d'ArcGIS. Ce processus est expliqué dans la leçon Apprendre à utiliser ArcGIS à la fin de ce chapitre (page 112).



Attributs de base pour la création d'un bâtiment 3D par procédure



Polygones d'emprise de bâtiments sur un raster de modèle numérique de surface (gauche) et un toit classé en fonction de sa pente et de son aspect



# Spécialiste : Pascal Mueller

## Cartographie de nos villes futures

Plus de la moitié de la population mondiale est désormais concentrée dans des villes et le pourcentage ne cesse de croître. Alors que la population rurale sera presque identique à celle d'aujourd'hui, le nombre totale de citoyens aura doublé pour atteindre sept milliards d'ici à 2050. Les villes vont donc se développer considérablement au sol et en hauteur.

Le SIG tridimensionnel est l'outil essentiel pour modeler l'avenir de ces villes. Un espace urbain est un ensemble complexe de structures architecturales tridimensionnelles organisées en unités d'habitation, en bâtiments, en parcelles, en blocs et en quartiers. Ces structures sont interconnectées par divers types de réseaux de transport, à savoir des routes, des voies piétonnes et des lignes de métro, et elles dépendent de plusieurs couches de réseaux de services publics et d'énergie. Un SIG 3D tel qu'ArcGIS propose de nombreux outils pour modéliser et gérer ces structures. Il en résulte des villes qu'on qualifie d'intelligentes, dans lesquelles tous les services sont connectés entre eux et dont les performances de l'infrastructure, ainsi que la qualité des services urbains, sont surveillées en temps réel.

Jusqu'à présent, les opérations de modélisation et de planification des espaces urbains en 3D étaient effectuées manuellement et sollicitaient des ressources considérables. Mais, alors que les exigences en termes de quantité et de qualité du contenu 3D urbain ne cessent de croître, de nouvelles solutions doivent permettre la modélisation, la conception et la simulation semi-automatique et rapide de contenu urbain. On doit pouvoir, par exemple, visualiser des enveloppes de bâtiments 3D à partir d'emprises 2D, assurer la gestion de registres cadastraux 3D d'appartements dans des gratte-ciel, gérer les règlements de zonage en 3D et étudier l'impact économique des modifications de zonage, puis maîtriser la planification lorsque les performances du redéveloppement urbain, habituellement des scénarios de densification, sont simulées, analysées et optimisées pour tenir compte de l'espace requis, de l'impact du trafic, de l'utilisation durable de l'énergie et de la qualité de vie.

ArcGIS offre des capacités tridimensionnelles pour permettre aux villes intelligentes de communiquer davantage et plus efficacement avec leurs citoyens. Ainsi, les informations 3D peuvent désormais être facilement partagées avec le public pour mieux communiquer les décisions prises en matière de conception et visualiser les Big Data dans leurs contextes 3D urbains.



*Pascal Mueller est le directeur d'Esri R&D Center Zurich, où sont développés les logiciels 3D pour ArcGIS, ainsi que l'outil primé de modélisation de villes par procédure : CityEngine .*



[Découvrir Pascal et le reste de l'équipe de développement de CityEngine](#)

# Application de textures

En appliquant des images aux bâtiments ou à d'autres entités, vous pouvez transformer des géométries 3D vides en modèles 3D détaillés à l'aspect réaliste. Vous pouvez coller des images obliques (ou au niveau de la rue) aériennes ou en contre plongée sur des faces individuelles de bâtiments en procédant de deux manières : réaliste ou procédurale.

## Textures réalistes

Les textures réalistes sont générées à partir d'images aériennes ou obliques capturées pour le bâtiment ou l'entité modélisé(e) en 3D. Chaque surface d'un bâtiment a une texture unique qui représente l'aspect de chaque surface d'une façade ou d'un toit dans la réalité. Cette approche est habituellement plus onéreuse, car les coûts d'acquisition des données sont plus élevés et elle nécessite davantage de main-d'œuvre, mais elle permet de générer une scène 3D très réaliste. Ainsi, les bâtiments connus ou célèbres sont représentés avec précision et tous les détails architecturaux sont correctement reproduits.



*Photo texturée et réaliste du Mont Blanc dans les Alpes françaises.*



*Modèles de bâtiments 3D réalistes et texturés avec précision du centre-ville d'Indianapolis, Indiana.*

## Textures procédurales

L'application de textures par procédure consiste à appliquer une façade architecturale typique ou géotypique et des textures de toit à des formes de bâtiments 3D. Ces textures peuvent être appliquées à des modèles de bâtiments 3D sans textures ou dans le cadre de la modélisation par procédure qui implique la conversion d'emprises 2D en bâtiments 3D texturés.

Les textures procédurales sont appliquées conformément à des règles qui déterminent le type de texture de chaque bâtiment et le nombre d'applications. Ces textures proviennent habituellement d'images obliques ou au niveau de la rue, lesquelles sont rectifiées et modifiées pour pouvoir être réappliquées en toute transparence autour du périmètre de chaque bâtiment ou étage.

Pour créer des bâtiments 3D à l'aspect le plus réaliste, les bibliothèques de textures sont regroupées et appliquées pour s'adapter au type d'utilisation du sol du bâtiment, à sa hauteur, au nombre d'étages et au style architectural de la région. Souvent, les bibliothèques de textures sont divisées en deux groupes : le rez-de-chaussée, habituellement plus haut et qui peut contenir des portes d'entrée et des façades de magasins, et les étages supérieurs qui sont tous identiques.

Alors que les textures d'un bâtiment qui sont appliquées par procédure risquent de ne pas toujours correspondre à leurs équivalents dans le monde réel, elles sont peu coûteuses à générer et présentent un aspect semblable aux divers styles généraux de bâtiments. Les bâtiments procéduraux sont également très utiles pour la planification urbaine, car la hauteur et le style des bâtiments proposés peuvent être facilement modifiés pour tester divers scénarios.



Bâtiments 3D texturés par procédure  
du centre-ville de Greenville,  
Caroline du Sud.

# Collecte de données 3D

## Comment les drones capturent des données tridimensionnelles

La technologie actuelle permet désormais de générer une carte 3D d'une petite zone d'étude grâce à des images de drones et Drone2Map, une nouvelle application d'Esri. Dans le workflow élémentaire d'inspection du bâtiment décrit ici, le drone suit une trajectoire préprogrammée et collecte plusieurs images à partir d'un angle oblique. Le logiciel permet alors de créer une scène 3D.

### 1. Survol de la mission



Pour inspecter ce bâtiment, le drone a survolé la zone en réalisant un cercle presque parfait (jaune). Les points de capture sont indiqués en bleu.

### 2. Capture de photos obliques



Voici 4 images à angle oblique sur les 40 qui ont été capturées par la caméra haute résolution installée sur le drone.

### 3. Création de la scène 3D



Une des sorties disponibles de l'outil Drone2Map est un PDF 3D qui permet de partager des scènes 3D en toute fiabilité avec des utilisateurs n'utilisant pas de systèmes SIG.

# Etude de cas : la demeure d'Oatlands

Il y a deux siècles, George Carter a conçu et construit la demeure et les jardins historiques d'Oatlands, à Leesburg, Virginie. A l'heure actuelle, la propriété est un site historique préservé. En utilisant des drones pour générer des images, les gestionnaires du bien ont pu acquérir rapidement de nombreuses données précises, y compris un modèle 3D détaillé permettant de visualiser les modifications proposées pour le parc (abattage de grands arbres, par exemple).



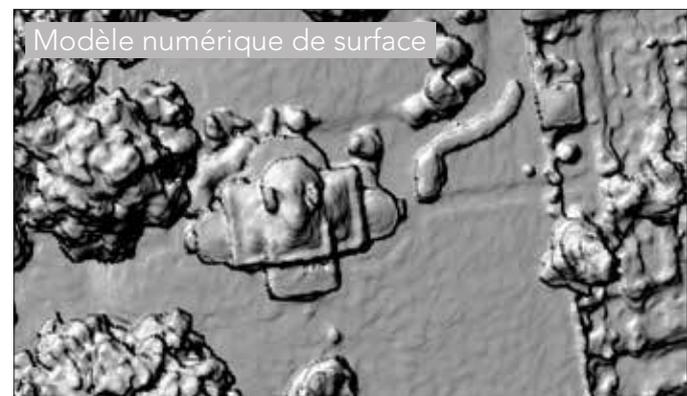
Cette scène Web 3D a été générée à partir d'un nuage de points collectés par un drone personnel grand public. Cette scène était disponible en ligne en moins de 30 minutes après le vol du drone.



[Regarder une présentation vidéo de la mission](#)



Un maillage est une structure de données qui divise l'espace géographique en triangles contigus, non superposés auxquels des valeurs RVB peuvent être appliquées.



Un modèle numérique de surface du même site révèle une quantité impressionnante de données d'altitude riches et détaillées.

# Démarrage rapide

## Images présentée en 3D avec ArcGIS

### ▶ Visionneuse de scène

La visionneuse de scène est une application intégrée dans le site Web ArcGIS Online pour créer des scènes 3D et interagir avec. La visionneuse de scène fonctionne avec des navigateurs Web de bureau compatibles avec WebGL, une norme technologique pour le Web intégrée dans la plupart des navigateurs modernes pour l'affichage des graphiques 3D. Vous pouvez également vous connecter pour créer vos propres scènes.



### ▶ Drone2Map

Drone2Map for ArcGIS est une application bureautique qui transforme des images immobiles brutes de drones en orthomosaïques, en maillages 3D, en images de tuiles, et autres, dans ArcGIS. Créez des cartes 2D et 3D d'entités et de zones difficiles d'accès.



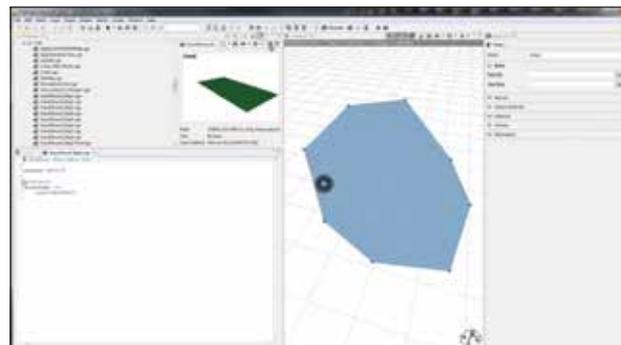
### ▶ ArcGIS Earth

ArcGIS Earth est une application bureautique légère et gratuite qui permet à tous les utilisateurs de visualiser instantanément et facilement des cartes 3D. ArcGIS Earth est disponible pour les ordinateurs de bureau et les tablettes Windows.



### ▶ CityEngine

CityEngine est un outil sophistiqué destiné à la conception urbaine centrée sur des scénarios et à développer des règles pour la création de données créées par procédure.



Guide de démarrage rapide de CityEngine

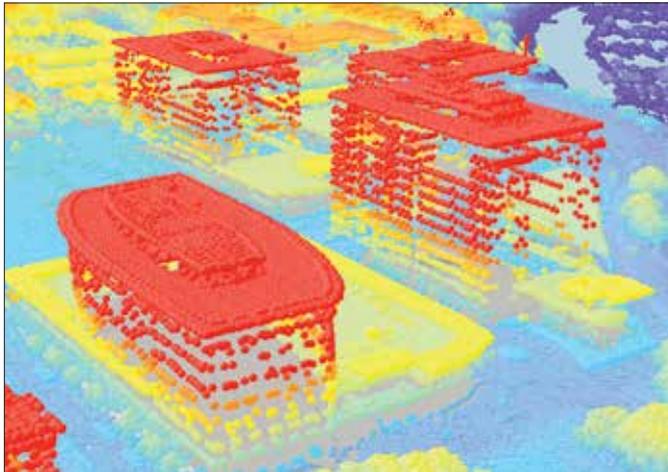
# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Extraire des formes de toit pour un développement municipal

### ► Vue d'ensemble

Le gouvernement municipal de Portland, Oregon, souhaite évaluer des bâtiments dans un quartier du centre-ville pour savoir s'ils sont conformes à la nouvelle initiative écologique de la ville. L'évaluation va produire de nombreuses mesures, comme les analyses du soleil et de l'ombre qui nécessitent une scène 3D de la zone, avec des formes de toit de bâtiments réalistes. Une scène 3D de base utilise des bâtiments de niveau de détail (LoD) 1 : des emprises de bâtiments extrudées à une hauteur uniforme. Le gouvernement municipal a besoin de bâtiments LoD2 qui décrivent les attributs de forme du toit tels que les corniches, les pignons et les pentes.

Votre objectif est de créer une scène 3D d'une zone de Portland avec des bâtiments LoD2. Une tâche d'ArcGIS Pro va vous permettre de créer un jeu de données de nuages de points provenant de données Lidar pour générer des modèles numériques d'altitude de la zone. Selon les modèles des MNA, vous allez ajouter aux emprises de bâtiments des données attributaires sur les formes de toit, puis symboliser les emprises en 3D via un paquetage de règles. Pour terminer,



vous allez vérifier que les bâtiments ne comportent pas d'erreurs et modifier les entités incorrectes avant de convertir les données en une classe d'entités multipatch que vous pouvez facilement partager avec le gouvernement municipal.

### ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

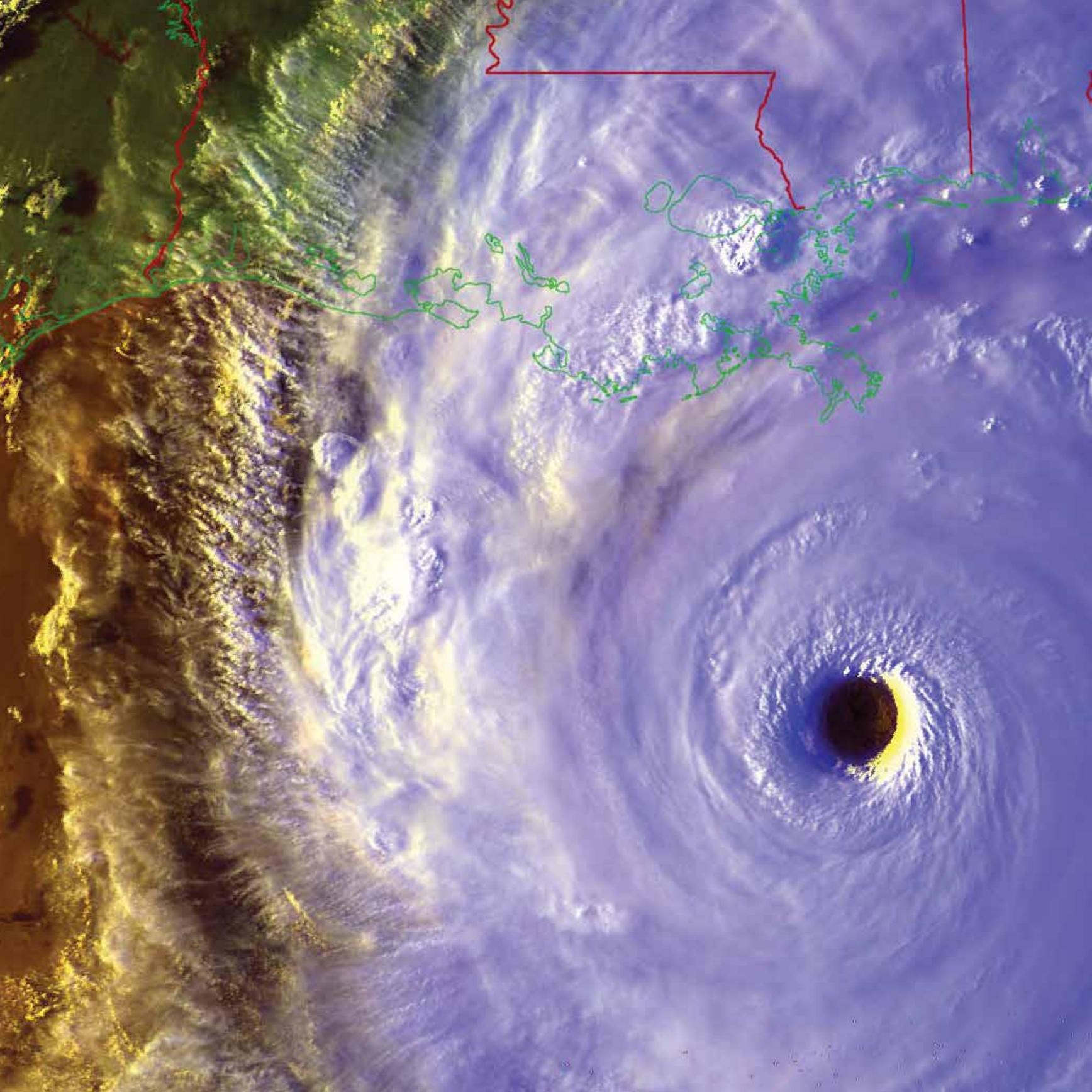
- Exécution d'un workflow avec une tâche ArcGIS Pro
- Création de jeux de données de nuages de points LAS à partir de données Lidar
- Création de bâtiments LoD2 pour une scène 3D
- Mise à jour d'entités 3D

### ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- ArcGIS Pro 1.2.0 ou version ultérieure
- Durée estimée : 1 heure et 20 minutes

## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter6\\_Lesson](https://esri.com/imagerybook/Chapter6_Lesson)



## Imagerie de la 4e dimension

La machine à remonter le temps la plus efficace au monde

Une série chronologique ou l'imagerie temporelle permettent d'effectuer des comparaisons systématiques au fil du temps. Il en résulte un grand choix d'applications éventuelles d'exploration temporelle telles que des vues précédant et suivant des événements cataclysmiques et la reconstruction de paysages historiques, ainsi que la surveillance et la prévision de variations sur des semaines, des mois, des années et des décennies. L'étude des processus dynamiques au fil du temps fait l'objet de ce chapitre.

# Tout est une question de temps

## Utilisation d'images pour surveiller notre planète dynamique

Pour vraiment comprendre notre planète dynamique, nous devons explorer des informations qui changent au fil du temps, visualiser le passé, comprendre le présent et reconnaître les tendances futures. Par exemple, les géologues utilisent une série chronologique d'observations par satellite pour identifier les tendances des précipitations mensuelles, comme la couverture et l'étendue de la couche de glace alors qu'elle descend des latitudes supérieures et des pôles durant les mois d'hiver, puis diminue en été. Les scientifiques utilisent des observations de séries chronologiques par satellite pour surveiller les périodes de sécheresse. Les climatologues appliquent des modèles pour prévoir les tendances climatiques futures. Alors que les méthodes de calcul et le SIG continuent d'évoluer, de nouvelles fonctionnalités temporelles sont développées et appliquées. Avec cette tendance, l'importance que présente l'aspect temporel des images suscite un intérêt croissant. Notre monde est dynamique et le SIG doit refléter cet état de fait. Les images quant à elles jouent un rôle essentiel.

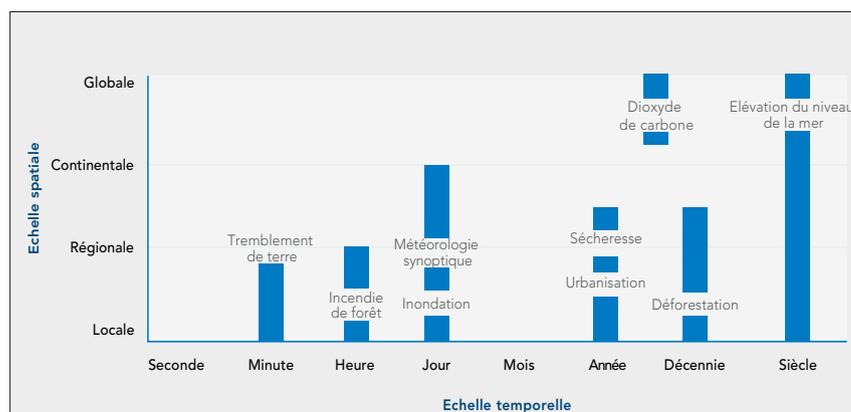
De nombreuses applications doivent tenir compte de l'aspect temporel. La délimitation d'un feu de forêt implique une série de missions consistant à collecter des images thermiques pour une zone ciblée autour du périmètre du feu. Puisque les feux de forêts évoluent rapidement, ces missions sont renouvelées plusieurs fois par jour. En revanche, pour étudier le phénomène de déforestation, vous devez obtenir des images couvrant une étendue plus vaste sur des durées prolongées, car ce phénomène évolue sur plusieurs années ou même des décennies.

### Observation globale continue

En attendant, on dispose d'une multitude d'informations brutes générées par des capteurs pour relever ces défis. Le nombre de plateformes de satellites d'observation continue, gouvernementales et commerciales, ne cesse de croître et elles contribuent à enrichir nos collections d'observations de la Terre. Certains satellites procèdent à des observations continues et prélèvent régulièrement des données sur les mêmes zones. On peut citer en exemple Landsat, MODIS, GLDAS, Sentinel, SPOT et RapidEye. Landsat 8 prélève des données de la Terre entière tous les 16 jours (sa « période d'étude »). MODIS collecte des observations pour assurer une couverture globale tous les jours ou un jour sur deux. etc.

Tout se rapporte au temps.

Vous percevez les transformations temporelles alors qu'elles se produisent, de l'automne à l'hiver et du jour à la nuit. Les images représentent et étendent la perception humaine à des échelles temporelles et spatiales bien plus vastes. Les images temporelles nous permettent de poser et de répondre à des questions qui transcendent nos temps et espace personnels.



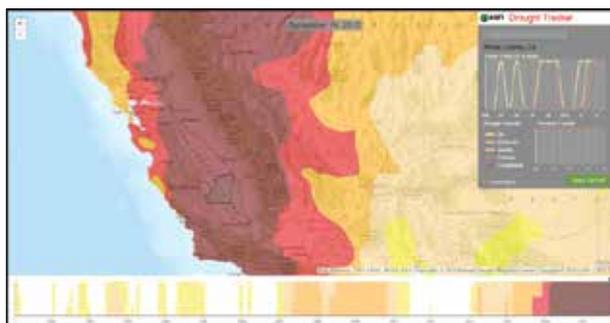
*Notre planète doit relever des défis de taille à diverses échelles spatio-temporelles.*

# Types de temps

## Discret, cyclique et continu

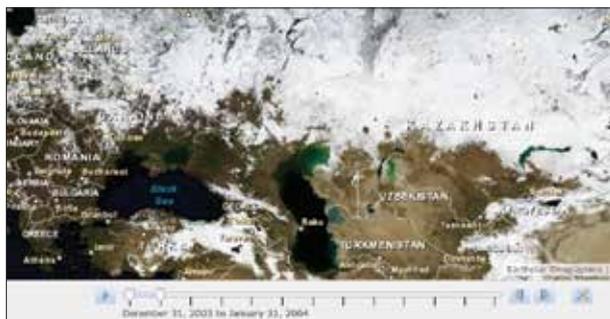
Vous pouvez étudier le temps sous forme linéaire ou cyclique. Le temps linéaire présente un début et une fin bien délimités, et peut être exprimé via des mesures discrètes, continues ou cycliques. Une vidéo est un exemple d'images capturées dans un espace temporel continu. Une représentation temporelle cyclique capture des événements qui se produisent continuellement et successivement. Les observations météorologiques illustrent le temps cyclique.

### Continue



L'application Esri Drought Tracker qui représente une interface interactive pour suivre les conditions de sécheresse changeantes aux Etats-Unis permet de détecter les variations dans le temps linéaire. Les grandes pénuries en eau nuisent aux récoltes et nécessitent l'application de restrictions volontaires sur l'utilisation de l'eau. Une grande sécheresse peut anéantir les récoltes et le bétail et réduire des terres arables à de la poussière. Plus le manque d'irrigation des terres avec de la neige fondue et des précipitations se prolonge, plus la sécheresse et ses conséquences sont graves.

### Cyclique



Cette carte illustre des images Blue Marble : Next Generation de la NASA dans un groupe de 12 images mensuelles composites de la Terre entière, à une résolution de 500 mètres depuis le satellite MODIS. Ces images mensuelles révèlent les variations saisonnières de la surface du sol : la croissance et le dépérissement de la végétation dans des régions tempérées telles que l'Amérique du Nord et l'Europe, les saisons sèches et pluvieuses dans les tropiques et l'augmentation, puis la diminution, de la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord.

### Discrète



Les images et l'analyse de champ de vision basée sur le SIG explorent les points de vue des chefs des armées de l'Union et des confédérés durant des phases discrètes de la bataille de Gettysburg pendant la guerre de Sécession. Les paysages panoramiques indiquent dans quelle mesure les informations à la disposition des chefs des armées ont considérablement influencé les décisions qu'ils ont prises. Cliquez sur les étapes de la chronologie verticale pour explorer les actions de chaque général et les conditions sur le champ de bataille.

# Images historiques

Les images représentent une des méthodes les plus efficaces et intéressantes de capturer le passé. Les images historiques servent de référence pour détecter les variations et nous permettent de prendre de meilleures décisions pour gérer les précieuses ressources de la Terre. La technologie SIG donne une nouvelle vie aux cartes historiques et anciennes photographies, que ce soit au sol, dans les airs et même dans l'espace.

## Cartes numérisées historiques

En numérisant des cartes sur papier, vous les transformez en images. Une fois numérisées, elles peuvent être géoréférencées et intégrées dans un SIG, comme une autre couche. Les cartes historiques peuvent placer votre analyse en contexte et permettre de détecter des changements. L'USGS possède une des [plus vastes collections](#) au monde.



Sur ces cartes topographiques historiques numérisées de l'USGS, on remarque un développement résidentiel considérable sur les terres marécageuses entre 1891 et 1963, à la Nouvelle-Orléans.

## Photographies aériennes historiques

Ce type d'image aérienne est généré à l'aide de ballons, d'avions et, plus récemment, de drones. Il produit une vue planimétrique (plongante) du paysage. Les premières images aériennes furent prises à la fin du dix-neuvième siècle.



Ces images de Dubaï prises en 1970 et 2010, illustrent le développement considérable de cette région pétrolière.

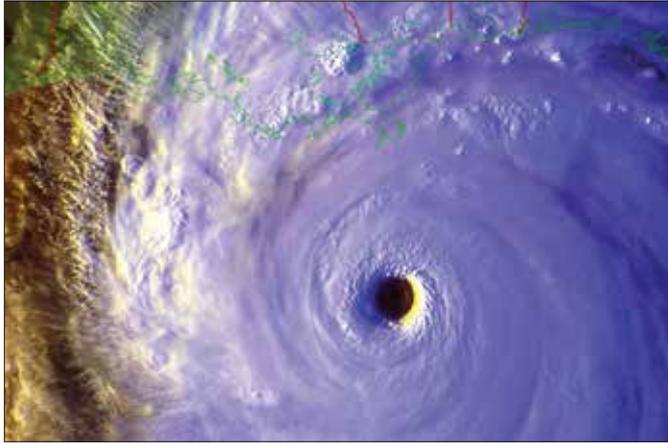
## Photographies terrestres historiques

La première méthode disponible pour capturer des images fut la photographie. Les photographies historiques peuvent donner un contexte et une perspective à une analyse SIG. Vous pouvez localiser le même endroit photographié il y a cent ans et le photographier de nouveau pour comparer les images et repérer les changements, comme ce fut le cas lors du projet [USGS Repeat Photography Project](#) qui a étudié le fleuve Colorado.

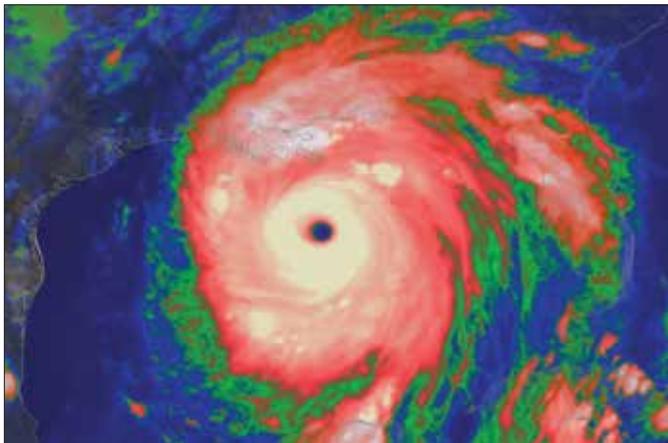


La rephotographie de l'USGS (31 mai 1889, à gauche et 24 mars 1997, à droite) de Cataract Canyon sur le fleuve Colorado indique la prolifération de brome non originaire de la région.

# Modélisation des processus de la Terre



Les agences gouvernementales telles que l'USGS et la NOAA conservent des archives importantes d'images dans lesquelles vous pouvez effectuer des recherches. Les images satellite historiques permettent de surveiller l'impact des tremblements de terre, des incendies et des intempéries sur notre planète.



Cette animation d'images satellite infrarouge qui date de 2005 illustre l'intensité de l'ouragan Katrina : le blanc indique l'intensité maximum, suivi du rouge, du vert et du bleu.

De nombreux satellites d'observation de la Terre survolent quotidiennement des régions spécifiques de la planète pour générer une série chronologique d'images. Par exemple, les satellites météorologiques communiquent des prévisions quotidiennes en temps quasi réel. Dans le même temps, des satellites tels que GLDAS, survolent quotidiennement de vastes étendues sur la Terre et génèrent des informations essentielles sur notre planète.

Les modèles de simulation informatique multidimensionnels des processus physiques de la Terre permettent de calculer des résultats avec une série chronologique d'images, et souvent d'interpoler des informations sur ce qui se produit entre les passages des satellites. D'autres modèles peuvent également simuler des conditions historiques pour recréer des événements passés et prévoir des conditions futures.



Les données GLDAS d'humidité du sol permettent de modéliser à l'échelle mondiale des scénarios de cycles de l'eau, comme la sécheresse et les inondations, qui affectent aujourd'hui considérablement les humains, mais aussi la biodiversité dans son ensemble.

# Etude du passé

Les images nous permettent de reconstruire numériquement d'anciens paysages. Nous pouvons utiliser une image historique pour étudier un emplacement dans le passé, ou une collection d'images historiques pour visualiser plus précisément les changements qui se sont produits au fil du temps et dans l'espace.

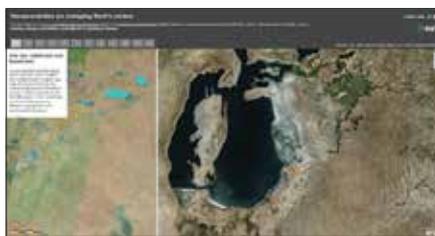
## Loupe sur Chicago avant le grand incendie



La carte « A quoi ressemblait Chicago avant le grand incendie ? » publiée par le magazine Smithsonian explique comment les images historiques permettent de comprendre l'évolution du monde dans le temps et l'espace. Les lecteurs de l'édition en ligne peuvent consulter cette Story Map intégrée qui compare la carte de poche de Chicago en 1868 avec les images aériennes les plus récentes. Utilisez la loupe pour comparer les deux cartes. Explorez le front de mer pour voir le nouveau paysage qui a remplacé les débris de l'incendie.

En organisant en mosaïques des collections d'images et des cartes historiques de différentes époques, vous bénéficiez d'un outil particulièrement utile pour comparer les mêmes paysages à divers moments dans le temps.

## Réduction de la mer d'Aral



Autrefois un des plus grand lacs au monde, la mer d'Aral n'a cessé de rétrécir depuis les années 1960 en raison de la diversion des rivières qui alimentent le lac pour l'irrigation du coton. L'image satellite Landsat de 1990 (à gauche) comparée à la vue de 2015 de ce lac d'eau salée en Asie centrale révèle une réduction très évidente de la zone immergée sur plusieurs décennies. A l'heure actuelle, le lac n'occupe qu'environ 10 pour cent de sa taille d'origine.

# Spécialiste : Greg Allord

Les cartes historiques permettent d'étudier le passé et placent l'avenir en contexte

Pendant les longues années passées à l'USGS (US Geological Survey), j'ai pu observer, respecter et contribuer au travail spécialisé des géologues, des hydrologues, des ingénieurs, des spécialistes de la qualité de l'eau, des illustrateurs, des éditeurs et des cartographes. Que ce soit dû aux compétences et à la précision des cartographes, à l'ère des supports d'impression, à la science d'interprétation ou à l'étendue géographique, le contenu des cartes et publications créées par nos équipes a attiré un public très diversifié.

Les organisations qui étudient l'environnement, les sciences et la culture des Etats-Unis existent depuis des décennies et certaines remontent aux origines de ce pays. L'USGS a hérité de l'équivalent de 136 années d'études de ressources géologiques, topographiques, hydrologiques et biologiques. C'est également là que j'ai eu le privilège de travailler. A l'USGS, nous sommes passés des méthodes manuelles à une période d'exploration numérique à la cartographie numérique et au partage de cartes que nous attendions tous.

Les libraires nous ont appris qu'il ne suffit pas de posséder une collection d'impressions sur papier de ce type. Elle doit être cataloguée et préservée. Pour préserver ces informations à des fins utiles, il faut capturer une image de l'original. Cela présente un réel avantage pour les cartes et rapports traditionnels sur papier. Le résultat : plus de 130 000 publications scientifiques de l'USGS sont accessibles sur <http://pubs.er.usgs.gov> et environ 175 000 cartes topographiques sont disponibles sur <http://nationalmap.gov/historical/index.html> ou exploitables dans ArcGIS Online. Ainsi, non seulement les chercheurs et scientifiques peuvent utiliser ces cartes et documents, mais un public très varié peut en apprécier la beauté et l'importance, et les exploiter.



*Gregory Allord, un cartographe de l'USGS maintenant à la retraite, a dirigé la mission consistant à numériser et géoréférencer environ 175 000 cartes quadrilatères topographiques de l'USGS au format de fichier GeoPDF pour les mettre gratuitement à la disposition de l'USGS et du public en ligne.*

Les cartes historiques créées par l'USGS et d'autres agences vous permettent non seulement d'étudier le passé, mais elles placent l'avenir en contexte. Alors qu'il est difficile de savoir à l'avance qui va utiliser ces informations et à quelles fins, la disponibilité de l'archive des cartes historiques via ArcGIS Online et l'atlas dynamique permet à toutes les personnes intéressées de mieux comprendre la passé, de gérer le présent et de prévoir l'avenir en le partageant.

[Consulter la collection de cartes historiques](#)

# Collections de cartes historiques

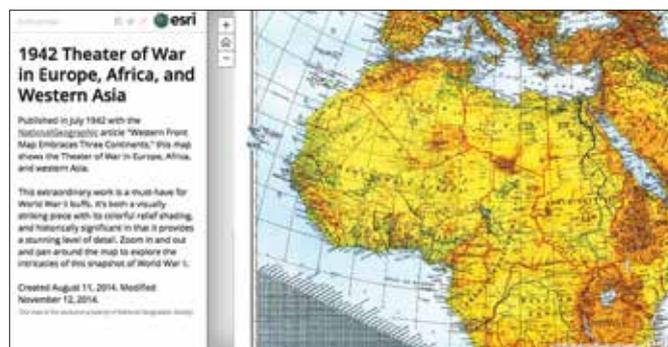
Les cartes historiques ajoutent une dimension importante au SIG. Elles clarifient et modélisent le monde tel qu'il était autrefois. Elles révèlent d'éventuels lieux que nous ne pourrions jamais visiter de nouveau, sauf en utilisant ces cartes. Elles fournissent une structure permettant d'effectuer des comparaisons entre le présent, le passé et même le futur. L'avantage des cartes historiques, c'est que vous pouvez les intégrer à des cartes et informations actuelles. En fait, vous pouvez les ajouter sous la forme de nouvelles couches dans votre SIG. Cela est possible en numérisant les cartes historiques et en les géoréférençant. Elles deviennent alors un nouveau type de couche raster dans votre SIG et présentent d'immenses possibilités pour divers types d'applications.

## Afrique 1787



Cette carte représente l'Afrique, avec tous ses états, royaumes, républiques, régions et îles, aux environs de 1787. Cette carte bien connue indique de nombreux noms de lieux intéressants et des limites de pays qui n'existent plus.

## 1942 Théâtre de guerre



Publiée en 1942 par National Geographic, cette carte illustre le théâtre de guerre en Europe, en Afrique et en Asie occidentale. Elle avait été jointe à l'article « Western Front Map Embraces Three Continents ».

## Carte de Pittsburgh visionneuse de site historique



Ce site illustre l'histoire de Pittsburgh et sa croissance rapide au cours des 150 dernières années. Utilisez la glissière pour passer d'une année à l'autre ou sélectionnez une année.

## Collection de cartes historiques de David Rumsey



Site Web qui permet d'explorer la collection extraordinaire de cartes historiques de David Rumsey. Consultez cette collection de plus de 67 000 cartes historiques.

# Landsat est une machine à remonter le temps

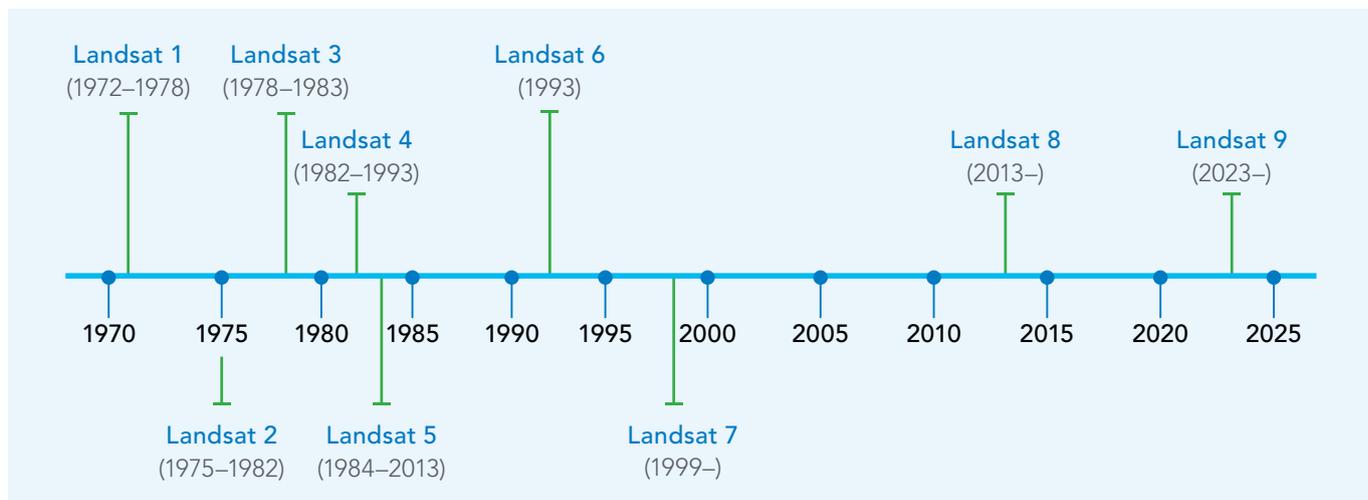
Premiers satellites à générer des observations en continu sur la Terre entière

Landsat voit la Terre d'une manière unique. Il capture des images de tous les coins du monde pour révéler les secrets de la Terre, des tendances de déforestation aux techniques agricoles, à l'activité volcanique et au développement urbain. Le programme Landsat a commencé à collecter des données avec les premiers capteurs en 1970 et continue avec la mission actuelle, Landsat 8. Chaque portion de la Terre est capturée tous les quinze jours pour nous permettre de voir et d'analyser les transformations qui se produisent au fil du temps.

## Partage d'images avec le public

L'USGS gère le programme de données Landsat et met les images à la disposition du grand public, gratuitement. Cette collection est régulièrement actualisée avec de nouvelles scènes prélevées par divers capteurs Landsat depuis plus de quarante ans et elle représente une ressource étonnante d'images historiques de la Terre.

De nouvelles scènes Landsat sont collectées tous les jours. Au fur et à mesure que de nouvelles scènes sont générées, elles sont ajoutées à une mosaïque d'images contenant des millions de scènes Landsat dans la base de données partagée et proposent des informations extrêmement utiles pour les comparaisons historiques.



## Cartographier, mesurer et surveiller notre monde

Depuis le lancement du programme Landsat, plusieurs agences gouvernementales dans le monde entier ont lancé leurs propres missions (MODIS, le programme Copernicus de l'Agence spatiale européenne (ESA) et ses deux satellites Sentinel-2 récents, et bien plus) pour collecter des images en continu et partager des observations sur la Terre avec le public. De nouvelles missions sont régulièrement lancées pour enrichir en permanence la collection d'observations de la Terre à partir de l'espace, sous forme de séries chronologiques : un microscope pour la planète.

# Mosaïques de cartes historiques

Les collections sont faciles à compiler

De nombreuses cartes sont uniques, alors que d'autres font partie d'une vaste série ou d'une collection de cartes. La série de cartes topographiques de l'USGS, la série de cartes sur les inondations et la série de cartes des risques naturels, les photos aériennes générées par d'anciennes missions spécifiques, la collection de David Rumsey, l'entrepôt des cartes historiques de *National Geographic* : voici des exemples de collections de cartes que vous pouvez utiliser pour enrichir votre SIG.

Pour organiser et accéder facilement à de vastes collections de cartes historiques, vous pouvez générer une mosaïque d'images de votre collection. Les propriétés de chaque carte, à savoir le nom, la date de création, la référence spatiale et d'autres caractéristiques, sont enregistrées en tant qu'attributs et permettent de créer une mosaïque transparente. Une mosaïque permet d'animer votre collection entière de cartes dans votre SIG et vous pouvez alors l'utiliser à des fins diverses.

## Visionneuse de cartes topographiques historiques de l'USGS



La collection de cartes topographiques historiques de l'USGS comprend toutes les échelles et éditions de plus de 175 000 cartes topographiques publiées par l'USGS depuis sa création en 1882.

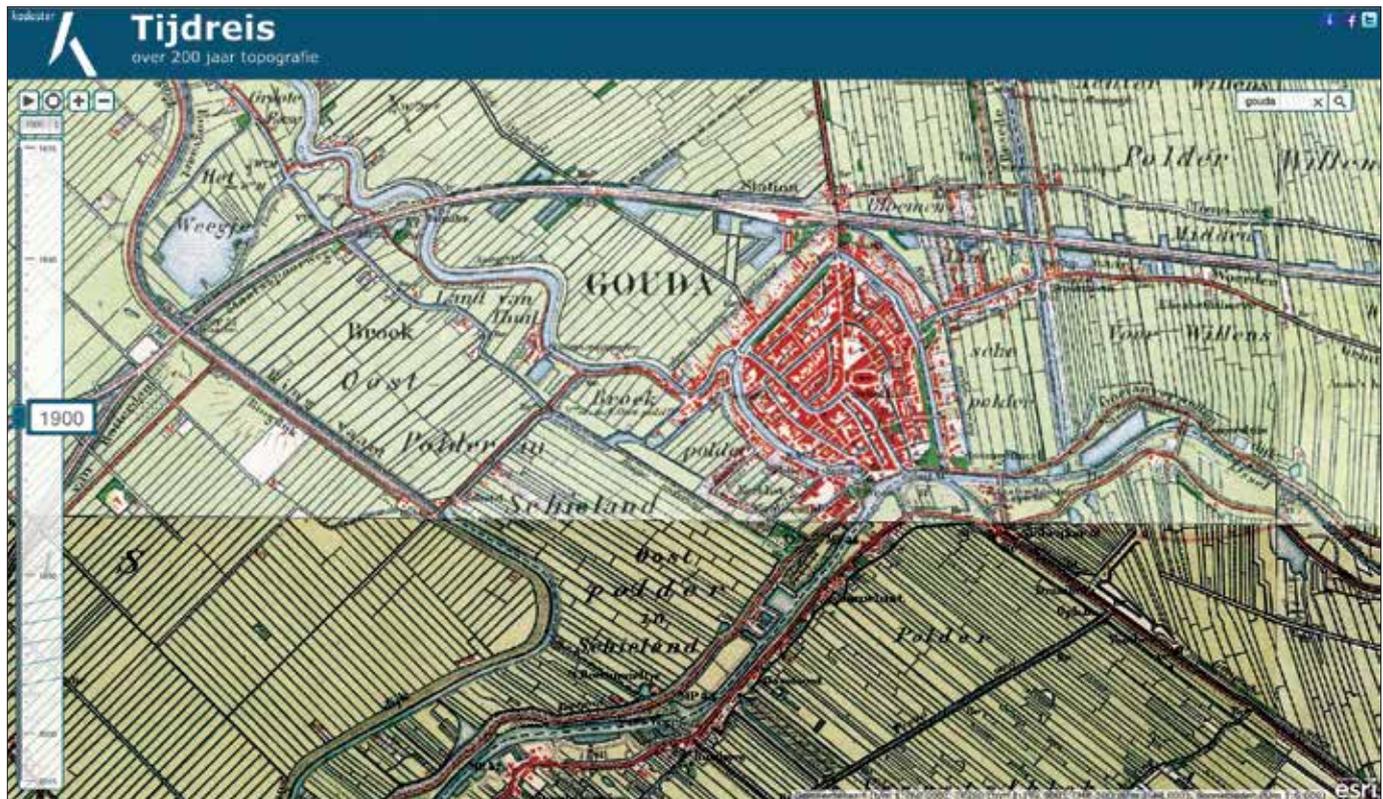
Utilisez le curseur pour modifier la transparence des diverses cartes historiques. Cliquez avec le bouton droit sur une carte pour la télécharger et la partager avec vos amis et collègues.

Recherchez ou accédez à votre zone d'intérêt, puis cliquez sur la carte pour afficher une chronologie des cartes qui y sont superposées. Cliquez ensuite sur une carte de la chronologie pour l'ajouter à l'affichage et commencer votre exploration.

# Deux cents ans de topographie aux Pays-Bas

Créée et partagée par le cadastre néerlandais

Le cadastre néerlandais (agence de cartographie nationale des Pays-Bas) a généré une série de cartes mises en cache à de nombreuses échelles (et pour chaque année) pour le pays entier, en regroupant la collection entière de cartes topographiques historiques. C'est un trésor cartographique pour les Néerlandais et tous ceux qui s'intéressent à leur culture.



Les Néerlandais sont des experts en matière de cartographie. Cette application innovante référencée ci-dessus regroupe l'équivalent de 200 ans de cartes en une seule interface qui en facilite la comparaison grâce au curseur temporel, sur le côté gauche, que vous faites glisser. Utilisez la molette de votre souris pour appliquer un zoom avant et arrière.

# Analyse pilotée par les événements

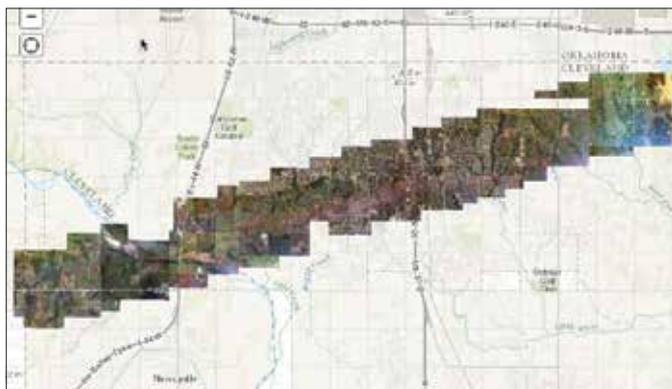
## Au bon moment et au bon endroit

Les utilisateurs de SIG essaient de comprendre les résultats d'un événement en comparant la situation la plus récente à un état précédent, quelques heures ou jours auparavant. Les images en temps quasi réel sont souvent utilisées pour coordonner des secours d'urgence, procéder à l'évaluation de dommages, surveiller les forêts et l'environnement agricole, diriger des opérations militaires, et bien plus.

Le terme « en temps quasi réel » se rapporte à une plage temporelle comprise entre le moment précédant une activité ou un événement et jusqu'à deux ou trois jours après l'activité ou l'événement. On dit souvent que cette plage temporelle est en temps réel ou quasi réel, selon la proximité (d'un point de vue temporel) de l'événement qui a fait l'objet d'une intervention.

Si vous comptez utiliser des images pilotées par des événements, vous devez déterminer la fréquence d'observation des conditions qui affectent l'événement. Pendant un ouragan, la prise fréquente d'images de la zone affectée peut vous aider à déceler des variations subtiles de la direction et la vitesse du phénomène. Autrement dit, en observant une situation à un endroit précis, vous favorisez considérablement les efforts déployés pour défendre la vie et les biens. Les analystes SIG peuvent aider à contrôler une situation d'urgence en échantillonnant plus fréquemment les changements, car les décisions prises au moment opportun sont souvent les meilleures.

### Préparation à une situation d'urgence et intervention



Ces images en temps quasi réel sont alors traduites en informations exploitables dans un SIG. Dans cet exemple de tornade à Moore, Oklahoma, en 2013, des images ont été générées à une résolution de 15 cm le lendemain de l'événement et publiées en ligne à l'attention des intervenants et des citoyens.

### Identification des zones sujettes aux incendies de forêt



Cette carte a été développée par les organismes US Forest Service et Fire Modeling Institute pour contribuer à l'évaluation des risques d'incendies de forêt ou à la classification des priorités en matière de besoins de gestion des carburants dans des régions étendues. La carte explique dans quelle mesure ces incendies de forêts difficiles à contrôler risquent de se produire.

# Prévisions météorologiques dans un SIG

Lorsque les météorologues observent des images satellite, les informations qu'ils voient ne se limitent pas à des données météorologiques. Elles donnent une idée des futures conditions météorologiques. Les météorologues peuvent analyser les conditions actuelles et en prévoir l'évolution.

## Carte de prévision des chutes de neige



Cette carte affiche les dernières prévisions de chutes de neige de NOAA pour les Etats-Unis. Elle peut répondre aux questions concernant les chutes de neige prévues en précisant le moment, le lieu et le volume sur les deux jours à venir ?

## Prévision des précipitations aux Etats-Unis



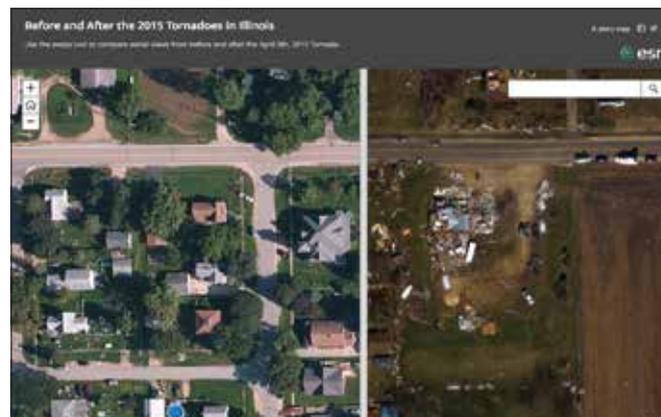
Cette carte affiche les précipitations prévues durant les 72 heures à venir. Les données sont actualisées toutes les heures à partir de la NDFD (National Digital Forecast Database) qui est gérée par le service météorologique national. Le jeu de données comprend des données incrémentielles et cumulées sur les précipitations, à des intervalles de six heures.

## Description des effets des intempéries



L'ouragan Katrina, le plus destructeur dans l'histoire des Etats-Unis, a détruit la région entière il y a dix ans. Quarante-vingt pour cent de la Nouvelle-Orléans était inondée. Cliquez sur l'onglet Inondation pour afficher des scènes de la Nouvelle-Orléans avant et après le désastre.

## Avant et après les tornades de 2015 dans l'Illinois



Utilisez l'outil de balayage de cette Story Map pour voir les dégâts provoqués par les diverses tornades qui ont touché Fairdale dans l'Illinois le 9 avril 2015.

# Des images pour prédire l'avenir

Pour les scénarios futurs de changement climatique ou d'élévation du niveau de la mer, par exemple, toute intervention efficace commence dans le présent, pour anticiper les résultats et les impacts potentiels. Le SIG permet d'exécuter des modèles complexes dans l'avenir lointain pour nous permettre de mieux comprendre les impacts potentiels.

## Prévisions climatiques et météorologiques

The screenshot displays the ArcGIS Living Atlas of the World interface. At the top, there is a navigation bar with 'ArcGIS' and menu items: Features, Plans, Gallery, Map, Scene, Help. On the right, there is a 'Sign In' button and the Esri logo. Below the navigation bar is a blue header with the title 'Living Atlas of the World' and a search bar containing the word 'scenario'. Underneath the header are navigation links: Home, Use, Contribute, and Browse. On the left side, there is a 'Themes' sidebar with a 'Reset' button. The 'Landscape' theme is selected, and the 'Climate & Weather' sub-theme is checked. The main content area shows a grid of nine map thumbnails. The first row includes: 'USA Mean Rainfall' (by esri), 'World Temperature Change 2050 Scen' (by esri), and another 'World Temperature Change 2050 Scen' (by esri). The second row includes: 'World Temperature Change 2050 Scen' (by esri), 'World Precipitation Change 2050 Scen' (by esri\_Landscape), and another 'World Temperature Change 2050 Scen' (by esri\_Landscape). The third row includes: a map of the Middle East (by esri), a map of Europe (by esri\_Landscape), and another map of the Middle East (by esri\_Landscape). The maps show various geographical locations and climate data visualizations.

Les couches du paysage qui affichent des informations sur des ressources naturelles clé dans l'atlas dynamique comprennent toute une gamme de cartes de prévisions météorologiques. Vous pouvez y accéder en visitant la galerie en ligne sur le climat et la météorologie (Climate & Weather).

# Exploration de notre monde dynamique

La planète change rapidement, c'est indéniable. Les personnes nées au 21e siècle assisteront à davantage de changements dynamiques sur une durée plus courte que celles des douze dernières générations. Les images et le SIG aident les utilisateurs à comprendre et à partager l'interprétation de ces impacts éventuels, puis à trouver des moyens de les limiter.

## Atlas d'une planète qui change



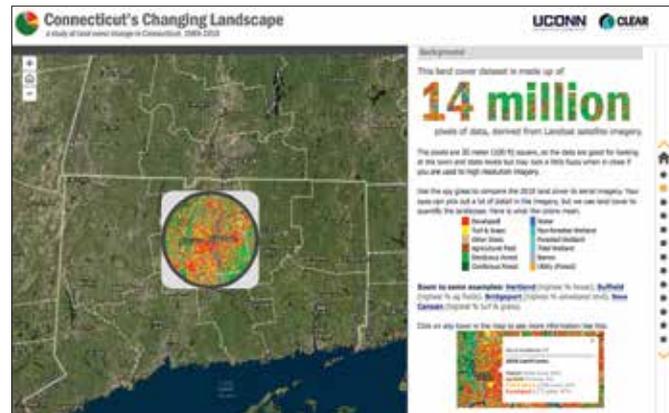
Notre planète est dynamique. Cette Story Map permet d'étudier et de mieux comprendre les multiples facettes dynamiques de notre monde en constante évolution. Elle démontre la puissance analytique et interprétative des images appliquées lorsqu'elles sont intégrées à d'autres informations géographiques pour illustrer l'évolution de la planète.

## Le projet Marées hautes : prévisions des tendances futures



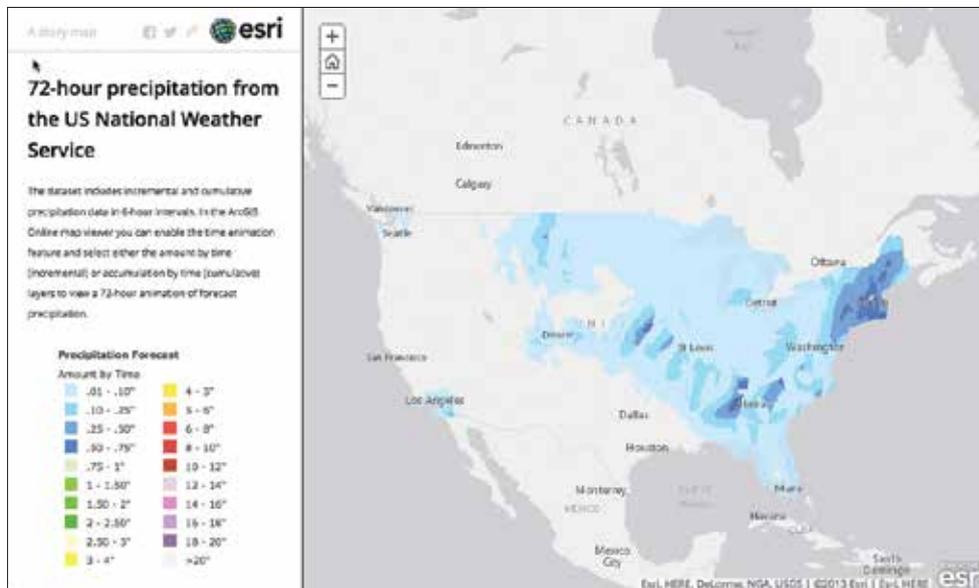
Les grandes marées sont les plus hautes de l'année et se produisent lorsque le soleil et la lune sont alignés et rapprochés de la Terre, ce qui crée une attraction gravitationnelle des eaux océaniques. Les scientifiques capturent des images qui les aident à prévoir les niveaux des mers, les risques potentiels résultant de leur élévation, ainsi que l'impact des marées hautes.

## Variations du paysage dans le Connecticut



L'université du Connecticut utilise des images télédéteectées pour quantifier et comprendre l'évolution de l'occupation du sol sur une période de 25 ans comprise entre 1985 et 2010.

## Prévision de l'avenir



Le jeu de données à la base de cette carte comprend des données incrémentielles et cumulées sur les précipitations, à des intervalles de six heures. Dans la [carte ArcGIS Online](#), vous pouvez activer la fonctionnalité d'animation temporelle et sélectionner les couches de quantité sur une durée (incrémentielle) ou d'accumulation sur une durée (cumulée) pour afficher une animation de 72 heures des précipitations anticipées.

## Planification des générations futures



Le SIG vous permet d'exécuter des modèles de séries chronologiques complexes qui simulent des conditions futures et permettent de prévoir des tendances à venir, concernant le climat, par exemple. Cette carte prévoit les variations des températures annuelles moyennes d'ici à 2050.

# Etude de cas : simulation NOAA de l'élévation du niveau de la mer

Le niveau futur du niveau des océans sur notre planète dépend de décisions qui n'ont pas encore été prises et que l'on ne peut pas encore prévoir. Pourtant, on comprend bien ce qui va se produire au cours des 100 prochaines années : le niveau des mers va augmenter d'au moins 0,91 m même si nous bloquons demain l'émission de carbone, et d'au moins 1,82 m si nous continuons à émettre du carbone comme nous le faisons actuellement. Pour aider les ingénieurs, les directeurs municipaux et les citoyens concernés à en comprendre les conséquences sur leur environnement, le bureau pour la gestion côtière (Office for Coastal Management) de NOAA a développé une visionneuse de l'impact de l'élévation du niveau des mers qui présente des images illustrant les côtes nationales après l'élévation du niveau des mers.



*Fulton Street à Manhattan après une augmentation de 1,82 m du niveau de la mer.*



*Une augmentation de 1,21 m du niveau de la mer engloutirait Manmouth Beach dans le New Jersey.*

Cette visionneuse de données donne aux responsables côtiers, aux scientifiques et aux citoyens une idée du phénomène qui leur permet de comprendre l'impact de l'élévation du niveau des mers et des inondations côtières. La visionneuse est un outil de dépistage qui utilise des jeux de données et des analyses cohérents au niveau national. Vous pouvez manipuler les données et les cartes à plusieurs échelles pour mieux évaluer les tendances et mettre en place d'éventuels plans d'action adaptés aux divers scénarios.

Un curseur vous permet de voir à quoi ressembleraient divers emplacements si le niveau de la mer augmentait de 30 cm, 60 cm et jusqu'à 1,82 m.

Des onglets permettent de visionner la carte avec des images aux couleurs naturelles ou des couches indiquant la classification d'occupation du sol et la vulnérabilité socioéconomique, pour apporter un contexte essentiel qui n'est pas limité à l'impact visuel des bâtiments immergés. L'application prévoit également l'évolution de l'occupation du sol avec l'élévation du niveau de la mer, en se concentrant sur l'impact possible sur les marécages et les marais.

# Démarrage rapide

Laissez-vous inspirer par ces exemples de problèmes réels illustrés par des images temporelles

## ► Explorez les prévisions de changement climatique dans des villes européennes

Les projections de changement climatique indiquent qu'au cours de ce siècle, en Europe, les vagues de chaleur se multiplieront et seront plus intenses, dans le prolongement de la tendance constatée au cours des siècles passés. L'impact sera plus sévère si les vagues de chaleur durent plusieurs jours, si les températures sont élevées pendant la nuit et si l'humidité relative est assez élevée.



## ► Etudiez les images aériennes avant et après le tremblement de terre de Katmandou en avril 2015

Le 25 avril, un violent séisme s'est produit au Népal. Des images satellite du centre de Katmandou, capturées deux jours après le séisme, révèlent les graves dommages subis par la capitale du Népal.



## ► Voici comment des cartes et des images relatent la mort d'Abraham Lincoln

En avril 2015, c'était le 150e anniversaire de l'assassinat d'Abraham Lincoln. Cette visite cartographique explique l'implication de John Wilkes Booth et de ses complices grâce à des cartes et images historiques.



# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Décrivez l'évolution de l'occupation du sol via des applications temporelles

Au cours des 40 dernières années, l'occupation du sol en Thaïlande a considérablement changé en raison de l'expansion à grande échelle du secteur de l'aquaculture. Les pratiques répandues d'inondation des terres pour créer des fermes d'élevage de crevettes ont bousculé les écosystèmes fragiles du pays et surtout le long des côtes. En tant qu'analyste SIG pour une organisation à but non lucratif, vous vous intéressez aux pratiques de conservation et d'exploitation durable des terres. Votre objectif est de trouver des images Landsat historiques de la province de Samut Songkhram au sud de Bangkok pour générer un rapport visuel de la transformation de l'environnement au fil du temps. Votre présentation sera exposée aux donateurs et investisseurs qui proposeront des fonds pour promouvoir la restauration des écosystèmes côtiers.

Dans cette leçon, vous allez préparer une présentation en vue d'identifier la région que cibleront les efforts de conservation dans la province de Samut Songkhram. Vous allez récupérer dans l'archive Landsat de l'atlas dynamique une image par décennie depuis 1970 pour la zone d'étude entière. Avec ces images, vous allez analyser les données multispectrales disponibles pour améliorer la végétation, la terre et l'eau. Vous allez ensuite configurer l'outil d'animation temporelle dans ArcGIS Online et créer des applications temporelles personnalisées pour publier vos observations.

### Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter7\\_Lesson](https://www.esri.com/imagerybook/Chapter7_Lesson)

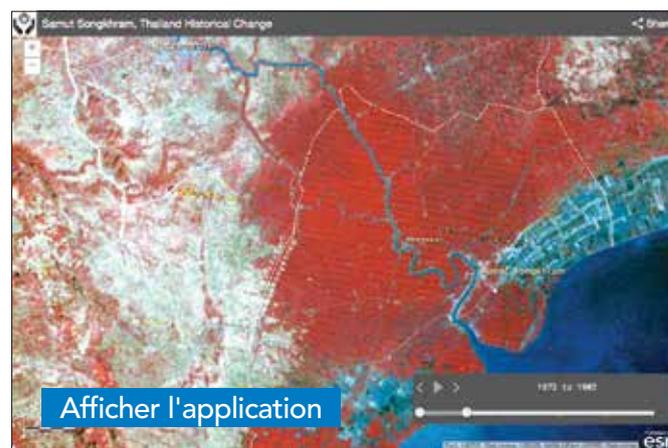


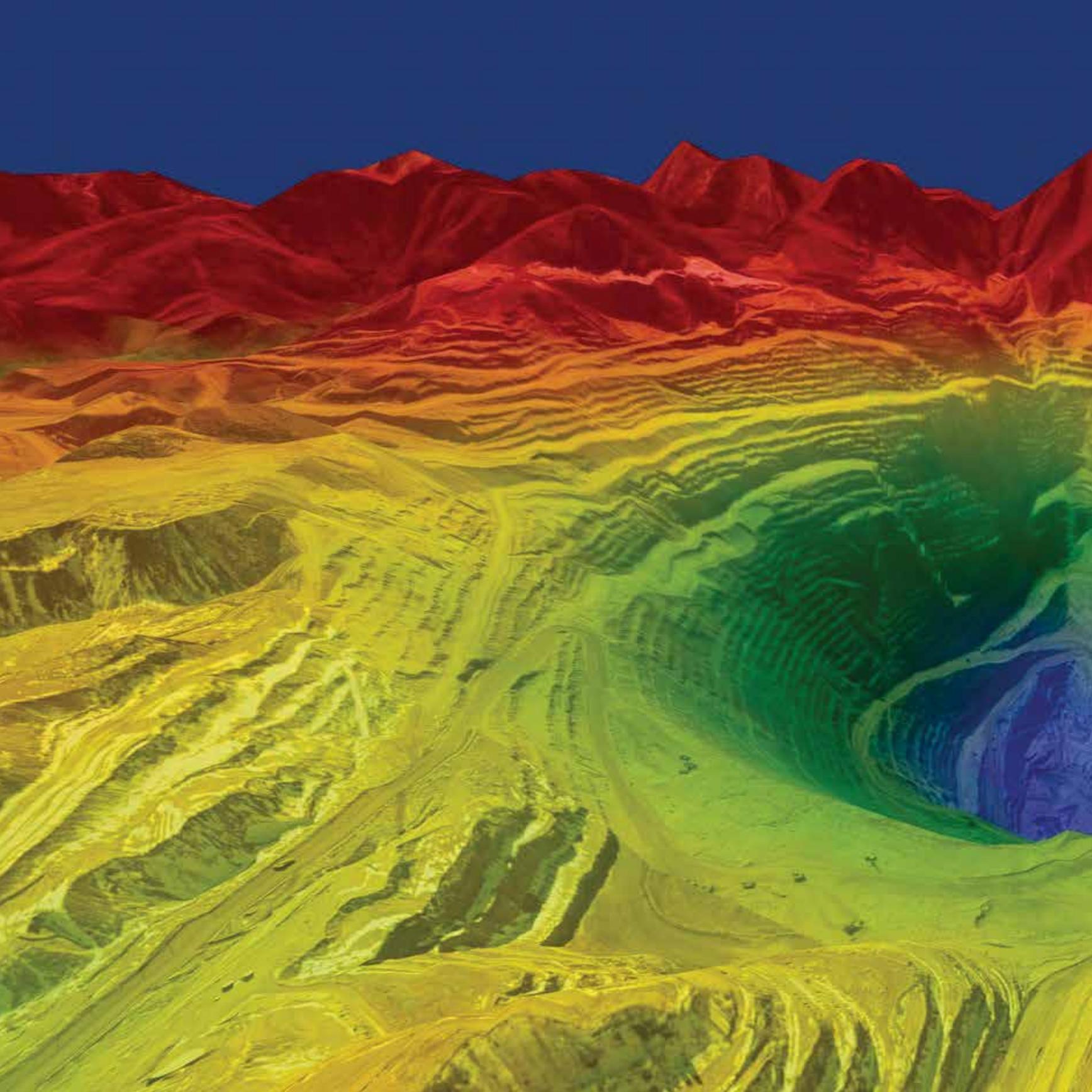
## Développez des compétences dans les domaines suivants :

- ▶ Ajout d'une image Landsat à une carte
- ▶ Activation et configuration d'une animation temporelle
- ▶ Filtrage des images satellite historiques
- ▶ Modification des combinaisons de canaux
- ▶ Création et partage d'applications Web temporelles

## Vous avez besoin des éléments suivants :

- ▶ Rôle d'éditeur ou d'administrateur dans une organisation ArcGIS Online
- ▶ Durée estimée : 40 minutes





## Les Big Data essentielles

La gestion des informations que représentent les images est un défi associé aux Big Data

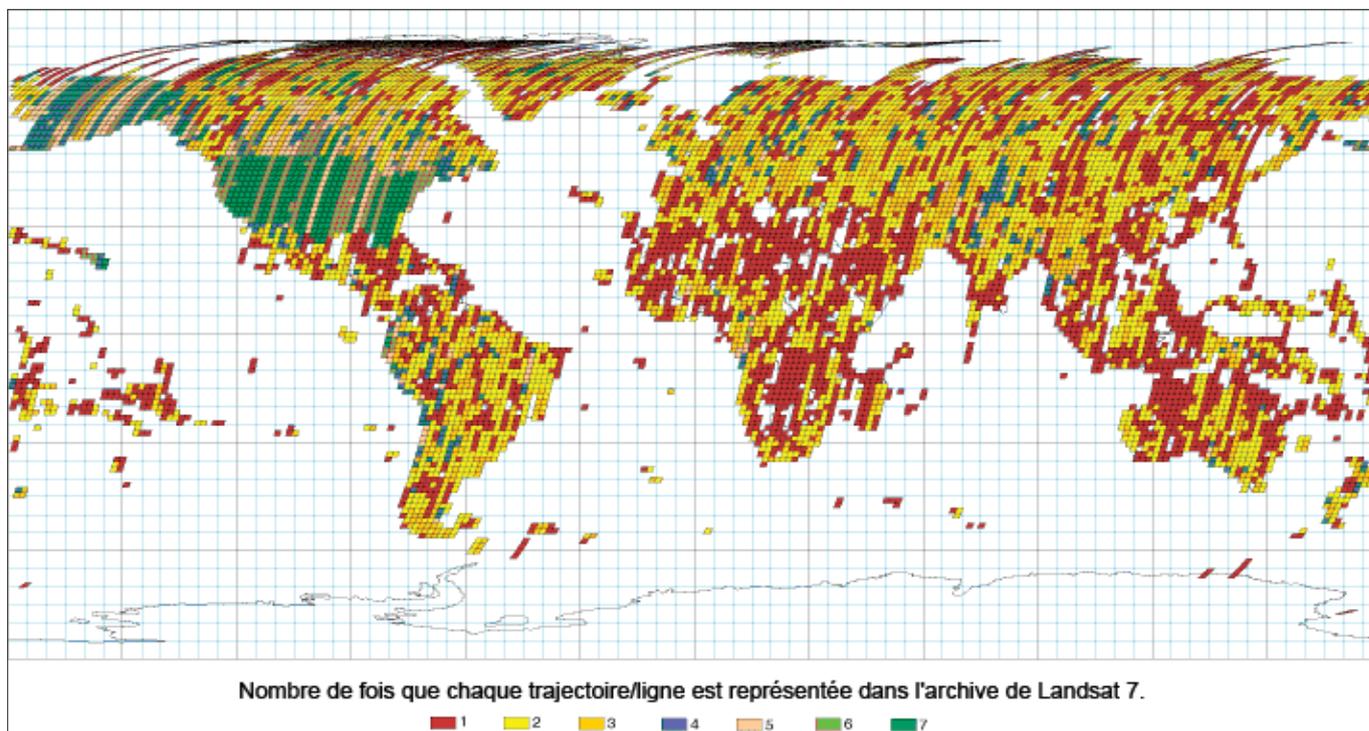
Les images sont des Big Data que les utilisateurs de SIG ont toujours eu des difficultés à gérer. Diverses approches permettaient autrefois de surmonter les obstacles considérables limitant le calcul et la gestion des données. Elles étaient nécessaires en raison des volumes gigantesques de données et du temps nécessaire pour collecter des images. Ce n'est que récemment, avec l'avènement de nouvelles architectures de calcul dans le cloud et les progrès des logiciels SIG, que les systèmes peuvent tirer parti des vastes opportunités que présentent les volumes d'images disponibles.

# Les images sont des Big Data

## C'est une question d'étendue et de richesse temporelles et géographiques

Presque 80 pour cent des données dans le monde entier peuvent être cartographiées sous la forme de couches de données dans votre SIG. Il s'agit d'images et d'informations de télédétection, d'un volume considérable de couches d'entités, de bases de données descriptives et tabulaires, de vidéos au format FMV, de collections historiques et en temps réel, de données recueillies par des capteurs et de nuages de points d'observation gigantesques. Ce que nous avons découvert avec surprise, c'est que la majeure partie de ces données proviennent d'images et de plateformes de télédétection (telles que les données Landsat présentées ci-dessous). Grâce aux nouvelles tendances en matière de calcul sur le Web et le cloud, la disponibilité des informations SIG dans le monde entier s'étend à un nombre croissant d'individus.

Nous exploitons tous un « SIG du monde » commun.



Chaque jour, la constellation mondiale de satellites d'observation de la Terre cartographie, surveille et mesure notre planète en générant des volumes considérables de données. Cette carte illustre le volume approximatif d'images archivées durant les 112 premiers jours de la mission Landsat 7. Même en début de mission, certaines tendances étaient évidentes. Les États-Unis (y compris l'Alaska) apparaissent principalement en vert, car chaque opportunité d'imagerie a été exploitée. L'Afrique du Nord, principalement constituée de déserts, apparaît en rouge, car peu d'images sont générées. Le nord de l'Asie apparaît principalement en rouge et en jaune en raison des contraintes d'enregistrement du calendrier d'acquisition des images par Landsat 7.

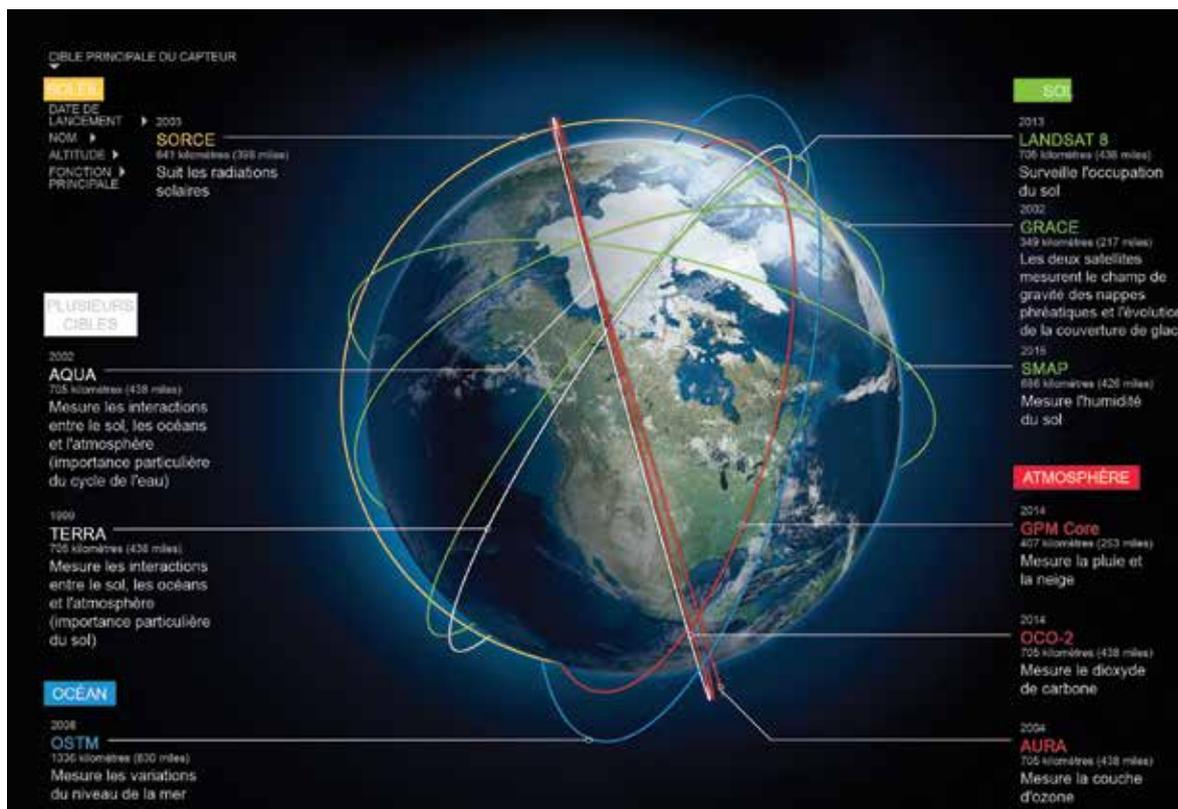
# Sondes d'exploration de la planète

Collecte de volumes d'informations considérables à partir du ciel

Depuis des dizaines d'années, nous surveillons et observons la Terre depuis le ciel. Elle est mesurée, captée et photographiée par des milliers de capteurs installés sur des satellites, des avions et des drones. Et nous constatons que ces opérations sont de plus en plus fréquentes. La NASA à elle seule gère 19 missions d'observation de la Terre (dont 10 sont décrites dans ce document).

Une profusion d'images est générée par cette constellation technologique. Des pétaoctets d'observations et de mesures scientifiques sont collectées, téléchargées et exploitées sous forme d'images dans des SIG à travers le monde entier.

Ces volumes sont en augmentation constante.



Chaque jour, des volumes gigantesques d'images et d'informations de télédétection sont collectées et exploitées par des centaines de milliers de systèmes SIG dans le monde entier.

# Le cloud fait toute la différence

Le cloud computing permet d'obtenir des images à la demande

Récemment, les méthodes de calcul ont été radicalement transformées suite à l'émergence et à l'adoption rapide du cloud computing, et à la révolution des applications pour smartphone. La complexité et le manque d'investissements nécessaires pour installer et mettre en œuvre des serveurs haute capacité dans votre organisation afin de gérer les images et les Big Data associées ont disparu. Grâce au cloud computing, il vous suffit d'activer un commutateur pour installer un nouveau serveur dans le cloud et y déployer toutes vos opérations de traitement.

Pour ce qui est des Big Data, une des grandes nouveautés est qu'ArcGIS peut se connecter directement et interagir avec un gigantesque référentiel collectif d'images SIG de référence. Le nouveau modèle SIG Web vous permet de manipuler vos informations géographiques, avec les couches géographiques de tous les autres utilisateurs, via la plateforme ArcGIS en ligne dans le cloud. Le cloud computing permet de stocker des volumes considérables de données et garantit une puissance de calcul très flexible adaptée à vos besoins. Il propose des outils destinés aux Big Data et une intégration à la demande.



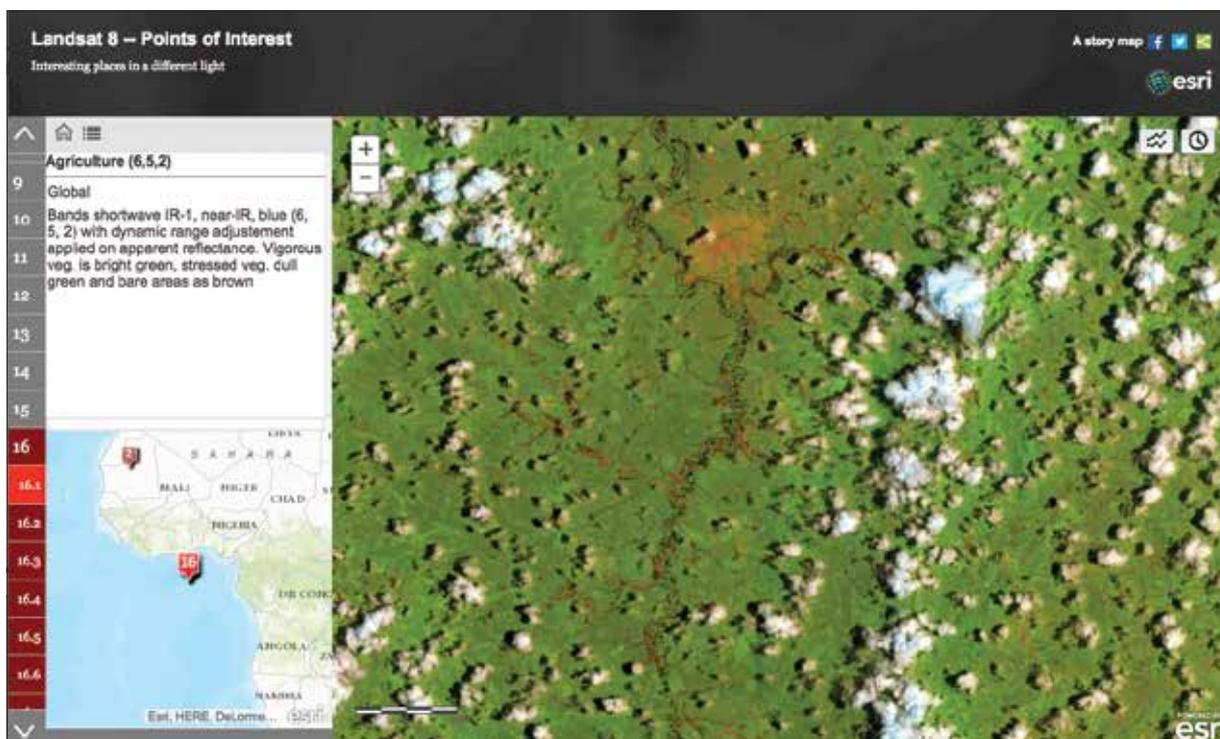
Au cours des quarante dernières années, Landsat a accumulé plus d'un pétaoctet de données, dont plus de quatre millions de scènes et ce n'est qu'un début. Il capture des images de chaque emplacement de la Terre environ tous les 16 jours. Récemment déployée sur le Web, l'archive de Landsat est accessible par un simple clic. Dans cette application, utilisez les icônes du panneau à gauche pour afficher diverses vues spectrales. Certaines affichent des combinaisons de canaux et d'autres représentent souvent des indices calculés. Comme ArcGIS optimise automatiquement l'image en fonction de votre vue active, essayez de zoomer et de vous déplacer. Vous pouvez également utiliser l'outil temporel (l'icône d'une horloge) pour explorer les diverses périodes disponibles correspondant à votre zone d'intérêt.

# Etude de cas : données Landsat sur AWS

## Un programme ambitieux pour partager des données Landsat

En 2015, Amazon a révolutionné l'univers des images satellite en annonçant la disponibilité d'images Landsat sur AWS (Amazon Web Services), sa plateforme de cloud computing. Dans le cadre de ce programme, Amazon va héberger un pétaoctet d'images Landsat.

Toutes les scènes Landsat 8 de 2015 et 2016 sont disponibles, ainsi que des scènes sans nuage datant de 2013 et 2014. Toutes les nouvelles scènes Landsat 8 sont proposées chaque jour quelques heures après leur capture. AWS propose gratuitement des données Landsat 8 sur Amazon S3, via ArcGIS, afin que tous les utilisateurs puissent exploiter les ressources de calcul ArcGIS à la demande pour effectuer des analyses et créer de nouveaux produits sans se préoccuper du coût de stockage des données Landsat en local, ni du temps nécessaire pour les télécharger.



Cette Story Map propose des liens vers des lieux intéressants à l'aide de diverses combinaisons de canaux d'images Landsat 8. Une description générale de chaque emplacement est proposée. Les cartes sont en direct, vous pouvez accéder à tout emplacement dans le monde et les canaux sont identiques. Ces cartes comprennent également plusieurs widgets qui vous permettent de sélectionner des scènes spécifiques provenant des images superposées et d'explorer le monde.

# Les débuts de l'imagerie

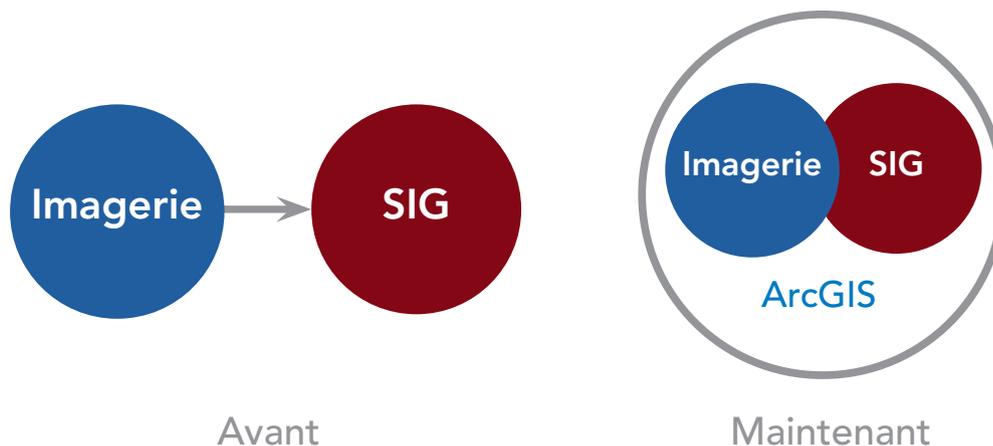
## Bref historique du SIG et du traitement d'images

Le domaine de l'imagerie a dû relever de nombreux défis depuis sa création, en raison des volumes considérables de données et du flux continu d'observations captées par divers satellites et avions. A l'origine, et jusqu'à récemment, la plupart des utilisateurs ne disposaient pas de suffisamment de puissance de calcul ou de capacité de stockage pour exploiter la totalité des Big Data. En outre, seuls quelques systèmes d'entreprise aux capacités très étendues présentaient la configuration nécessaire, en termes de stockage et de traitement, pour exploiter les images et en tirer le meilleur parti.

Pour des raisons pratiques, la plupart des spécialistes SIG et analystes d'images développèrent alors diverses procédures pour contourner les difficultés liées au calcul. Nombre de ces procédures sont encore utilisées à ce jour.

### Séparation du traitement des images et du SIG

Même si les rasters représentent un type de données SIG universel permettant d'exécuter des opérations sophistiquées de modélisation et d'analyse spatiale, les exigences des Big Data compliquaient l'interaction des systèmes de traitement d'images et du SIG. Souvent, lors de la mise en œuvre des systèmes, les systèmes de traitement d'images et le SIG étaient séparés.



*A l'origine, le SIG et les images étaient séparées, mais ils ont été intégrés à ArcGIS.*

Le traitement des images était effectué sur un système et les résultats étaient transmis à un SIG distinct. Dans bien des cas, le traitement et la préparation des images étaient assurés par des fournisseurs ne faisant pas partie de l'organisation SIG et qui communiquaient ensuite leurs résultats. La manipulation et l'intégration de plusieurs couches présentaient de grandes difficultés.

## Le partage de la plupart des couches d'images implique une compression dans un format avec pertes

Plusieurs techniques créatives permettaient d'intégrer des volumes considérables d'informations d'imagerie. L'autre approche courante consistait à compresser les données d'images et à pré-calculer les résultats, via la compression MrSID ou JPEG 2000, par exemple. Les utilisateurs de SIG pouvaient alors facilement déployer une couverture d'imagerie pour leurs zones d'intérêt. En fait, de nombreux utilisateurs utilisent toujours MrSID et JPEG 2000 à l'heure actuelle pour transmettre des collections d'images spécifiques à des équipes à distance.

Lorsque vous convertissez un fichier d'image en un format avec pertes, tel que MrSID ou JPEG 2000, vous vous débarrassez de certaines données non nécessaires à l'affichage des données. Le fichier résultant est de taille bien inférieure et plus facile à partager. Cependant, les données perdues sont parfois essentielles aux workflows d'analyse d'images.

Le problème du prétraitement et de la compression avec pertes est que les données d'origine sont nécessaires pour la plupart des opérations d'analyse. L'autre problème est que le prétraitement et la compression perturbent les opérations et que les utilisateurs ne peuvent alors plus gérer les flux de données continus.



*Images en couleurs vraies de la région aux alentours de Fenway Park à Boston, Massachusetts, à une résolution de 0,3 mètre, proposées sous forme de téléchargement par l'USGS et MassGIS. Cette image a été créée à l'aide de JPEG 2000 avec un taux de compression de 16:1.*



*Cette mosaïque d'occupation du sol globale réalisée via la compression MrSID permet de visualiser et d'étudier les variations d'occupation du sol via des produits et données satellite télédéteçtées. La compression MrSID permet de réduire la taille des données d'image d'au moins 20:1. Toutefois, cette opération ignore les canaux d'images d'origine en éliminant ainsi de nombreuses fonctionnalités d'analyse.*

# ArcGIS prend en charge des volumes importants d'images à la demande

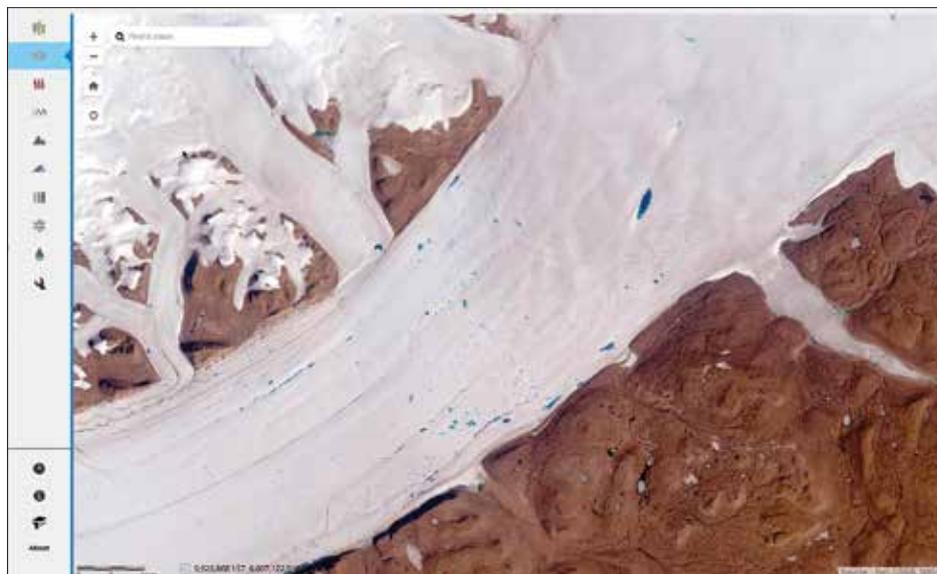
L'aboutissement de la révolution du traitement des images

Les images de la Terre présentent certaines difficultés en termes de calcul et notamment celui du stockage et du traitement de volumes importants, et qui augmentent de manière dynamique, de scènes individuelles dans l'espace et le temps. Le problème se résume donc à la gestion de plusieurs millions de scènes dont le nombre ne cesse de croître. Voici un bref aperçu des fonctionnalités clé qui permettent à ArcGIS de gérer et d'exploiter au mieux ces « volumes importants d'images ».

## Stockage d'images haute capacité grâce à des mosaïques

Les mosaïques permettent de stocker, de gérer, d'utiliser et de partager des collections de tailles variables d'images et de données raster. Une mosaïque permet d'assembler et d'utiliser, de manière flexible et évolutive, une collection de fichiers source d'images d'origine de petite taille ou extrêmement volumineuse. Par exemple, une mosaïque peut représenter une petite collection de quelques douzaines d'orthophotographies capturées lors d'une mission personnelle de drone effectuée la veille. Mais, il peut également s'agir d'une collection complète d'images continues du monde, comme la collection Landsat 8 entière stockée et proposée via Amazon Web Services ou les images du monde prélevées par le satellite Sentinel-2 dans le cadre du programme Copernicus. Des centaines de nouvelles scènes sont ajoutées tous les jours à ces deux collections. Les mosaïques permettent, en toute flexibilité, de stocker, de gérer et d'utiliser ces scènes sous la forme de collections d'images cohérentes.

Dans ArcGIS, les mosaïques polyvalentes et flexibles peuvent être actualisées à tout moment. Elles traitent et gèrent des millions de fichiers d'images sous la forme d'un jeu de données unique et intégré tout en assimilant des mises à jour et des ajouts constants résultant de la collecte ininterrompue de scènes supplémentaires. Puisque les mosaïques sont toujours disponibles et prêtes à l'emploi, elles représentent une source de données constamment à votre disposition. Ces caractéristiques sont essentielles compte tenu des volumes croissants de données provenant des nombreuses plateformes d'observation de la Terre. Vous pouvez gérer les images des systèmes de satellite et les diffuser ensuite via des mosaïques.



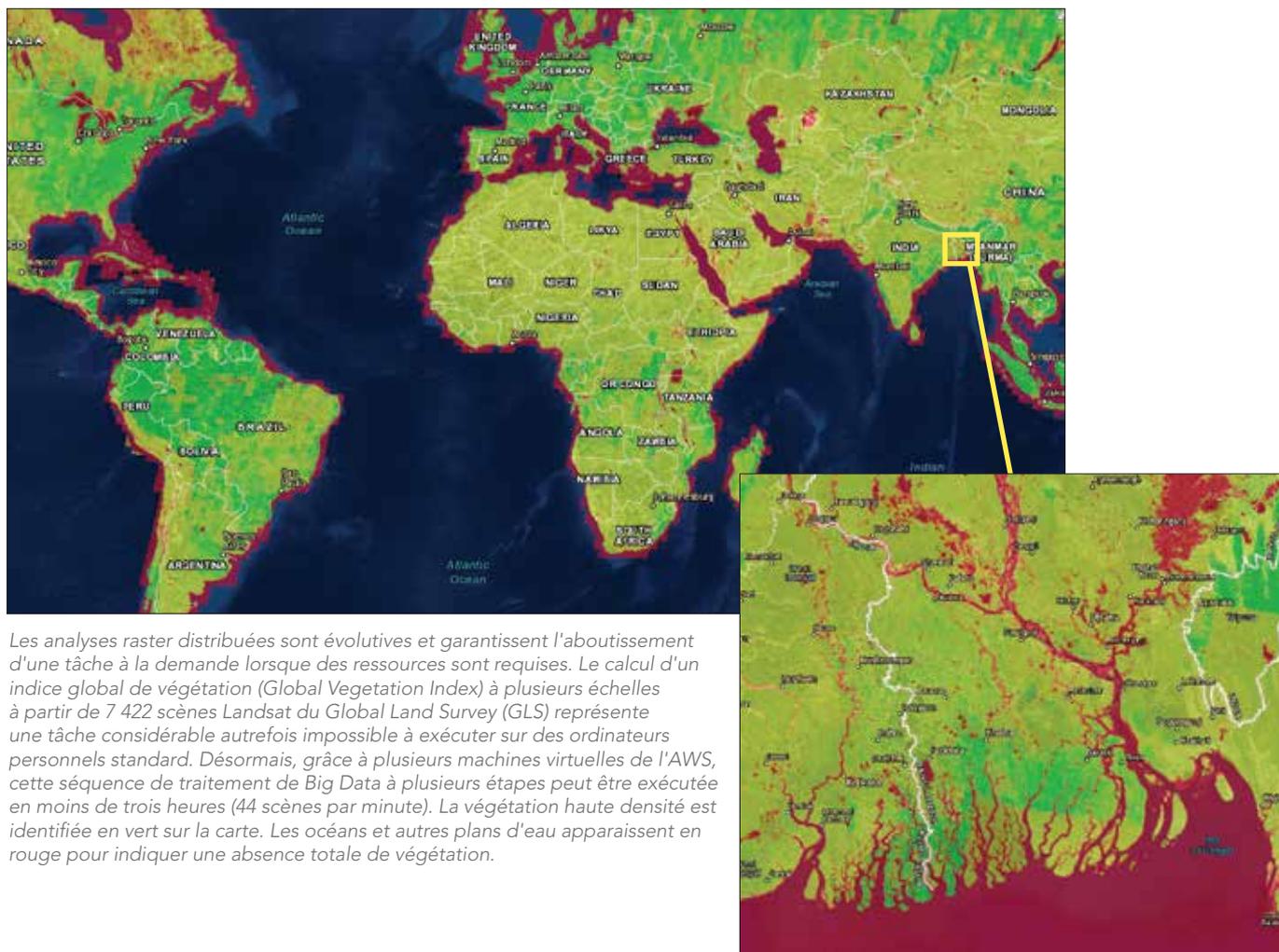
*Les mosaïques prennent en charge des jeux de données d'observation de la Terre en constante évolution, comme la collection Landsat d'images de l'Arctique. Alors que de nouvelles scènes sont ajoutées quotidiennement, la collection ne cesse de croître et de se diversifier. Vous pouvez appliquer un zoom en ligne sur une zone d'intérêt. Par exemple, ouvrez l'outil Chronologie, puis cliquez le long de la chronologie pour explorer la collection entière.*

## Stockage de données raster distribuées

ArcGIS peut exploiter de nombreux types de stockage de données évolutifs. Vous pouvez manipuler vos données d'images à partir de leur emplacement de stockage sur les ordinateurs et serveurs de votre organisation. Vous pouvez également utiliser un stockage de données distribuées dans le cloud tel qu'Amazon Web Services (AWS) ou Microsoft Azure. Ces options de stockage sont extrêmement évolutives.

## Analyses raster évolutives et distribuées dans ArcGIS

Dans ArcGIS, les analyses raster distribuées garantissent une puissance de calcul d'images flexible et haute capacité. Les analyses raster dans ArcGIS sont conçues pour s'adapter aux exigences de votre organisation. Des modèles d'analyse spatiale et des calculs de traitement d'images sont appliqués à l'emplacement de stockage de vos données, à savoir sur vos réseaux locaux, sur les serveurs des réseaux de votre entreprise ou dans le cloud, si vous souhaitez optimiser l'évolutivité des analyses d'images distribuées. Les résultats de vos analyses sont consignés en parallèle dans des stockages de données distribuées.



## Des volumes importants d'images à la disposition de tous les utilisateurs

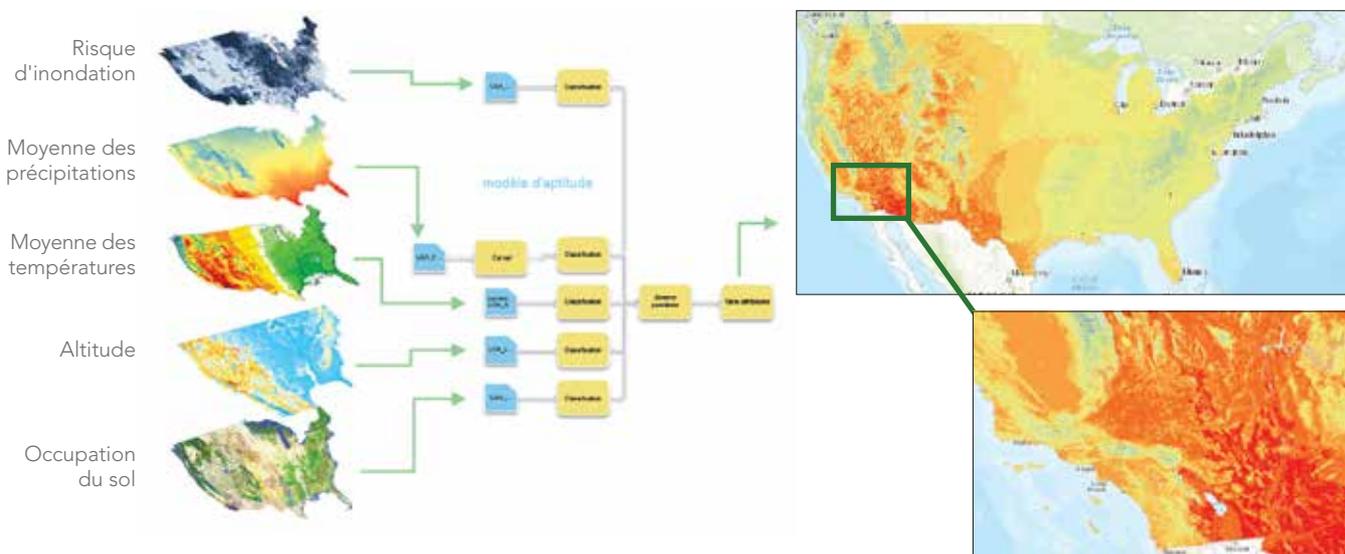
Les analyses raster distribuées d'ArcGIS vous permettent d'optimiser le traitement de volumes importants d'images lorsque vous en avez besoin. Alors que les volumes de données d'images augmentent, une seule machine ne suffit pas pour les stocker ou assurer un débit de calcul suffisant. ArcGIS est suffisamment flexible pour répartir le traitement de vos images sur d'autres serveurs si cela est nécessaire.

Dans ArcGIS, les analyses et stockages de données distribuées sont optimisés pour le calcul d'agrégats basé dans le cloud. Vous pouvez ainsi paralléliser le calcul intensif d'images en exploitant l'évolutivité qui caractérise les mosaïques. Les processus à grande échelle peuvent être répartis sur plusieurs machines en parallèle pour réduire considérablement la durée de traitement.

## Des connaissances à la mesure du nombre d'images

Le cloud computing et ArcGIS vous permettent de développer de manière dynamique l'exploitation des images. Pour de nombreux experts dans ce domaine, le propre du SIG est de découpler la puissance d'analyse et d'exploitation des images afin de générer des connaissances par le calcul et la modélisation. C'est la puissance du SIG. Ceci peut s'appliquer à des projets hyperlocaux, comme une mission de drone pour votre champ agricole. Le cloud computing et ArcGIS permettent aussi de répartir le traitement d'une collection entière d'images ou la modélisation sophistiquée d'une simulation de série chronologique pour des prévisions climatiques.

Les analyses distribuées font l'objet de plusieurs scénarios.



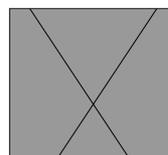
*Le calcul de rasters distribués est évolutif. Vous n'avez pas besoin de ressources de calcul considérables pour obtenir des résultats spectaculaires. Des configurations de serveur même modestes garantissent des performances étonnantes qui ne cessent d'évoluer. Mais avant tout, c'est la flexibilité qui compte et les utilisateurs d'ArcGIS peuvent adapter la puissance de calcul à leurs besoins.*

# Spécialiste : Kathryn Sullivan

Il y a vingt-quatre ans, je travaillais avec des responsables des secours d'urgence après le passage de l'ouragan Andrew qui a ravagé une grande partie des infrastructures en Floride. Nous sommes arrivés avec de grandes cartes en papier et avons passé plusieurs jours à éditer manuellement des données en localisant les nœuds téléphoniques, d'eau, d'évacuation et d'électricité pour les équipes d'intervention qui avaient besoin d'une vue d'ensemble de la situation. Nous avons en fait créé un SIG élémentaire à la main. Aujourd'hui, les plateformes Web nous permettent de synthétiser et de visualiser des données provenant de douzaines de sources de données en temps réel. Quel progrès ! Ces outils SIG permettent de prendre plus rapidement des décisions plus judicieuses et mieux informées pour des applications très diverses.

Aujourd'hui, nous comptons sur des volumes de données croissants pour étayer les connaissances environnementales essentielles pour protéger des vies, des moyens de subsistance et promouvoir la résilience économique. Mais, alors que les données alimentent les connaissances environnementales, ce n'est que le début. La difficulté consiste à connecter ces données à des besoins pratiques et à les exploiter à toutes les échelles pour que chacun d'entre nous puisse en bénéficier. Les données doivent être à la disposition du public ciblé, quand il en a besoin, à l'échelle et à la résolution adaptées. Les utilisateurs doivent pouvoir découvrir les données, les explorer et les récupérer. En bref, elles doivent répondre à vos besoins et à ceux de tous les utilisateurs.

Lorsque c'est le cas, elles présentent des avantages considérables. Grâce aux outils Esri et aux données NOAA, les agents de réassurance peuvent vérifier que les demandes d'indemnisation correspondent à des rapports d'intempéries précis. Les Story Map d'Esri interprètent à des fins pratiques les prévisions d'orage et leur intensité, l'élévation du niveau de la mer, l'impact des pêcheries, et bien plus. NOAA multiplie par 700 les capacités de prévision des niveaux des fleuves en Amérique, pour cibler 2,7 millions d'emplacements supplémentaires. Les données scientifiques alimentent tous ces produits générateurs de connaissances environnementales. Elles permettent d'être prévoyant pour éviter les risques. Et elles nous donnent les moyens de comprendre notre planète pour y adapter notre mode de vie.



*Kathryn D. Sullivan, sous secrétaire au Commerce pour les océans et l'atmosphère, administratrice de la NOAA et ancienne astronaute de la NASA.*

Pourtant, des volumes importants de données fédérales essentielles pour générer des connaissances environnementales restent inexploitées. A elles seules, les observations de NOAA représentent l'équivalent de 20 téraoctets de données par jour : deux fois le volume de données de la totalité de la collection imprimée de la bibliothèque du Congrès. Pourtant, seul un infime pourcentage est accessible au public. En tant qu'agence américaine des connaissances environnementales, NOAA s'efforce de diffuser davantage de données. Nous voulons extraire les données des laboratoires et des disques durs pour les confier aux personnes qui ne demandent qu'à les transformer en produits, services et prévisions, c'est-à-dire des sources de valeur ajoutée pour tous les secteurs. Ces données représentent une valeur économique et environnementale potentielle considérable.

NOAA collabore avec Amazon, Microsoft, IBM, Google et Open Commons Consortium pour exploiter ce potentiel. Esri participe également activement à cette entreprise. Nous pouvons imaginer une société de prévision météorologique privée, qui, en combinant des flux de données auparavant distincts, introduit un modèle de vulnérabilité et augmente sa valeur de 2 à 20 milliards de dollars. Imaginez comment la conversion de millions de points de données provenant de satellites en prévisions de précipitations à long terme pourrait aider les fermiers et entreprises dont l'activité est ralentie par la sécheresse.

Il y a 20 ans, nous percions encore les points de données à la main. Il y a cinq ans, 90 pour cent des données actuelles n'étaient pas encore générées. Aujourd'hui, nous innovons dans le cloud et examinons la Terre avec un objectif plus puissant et sous des angles nouveaux. Des opportunités dynamiques pointent à l'horizon. Nous espérons que vous nous aiderez à les façonner.



[Regardez la vidéo de Sullivan  
Donner vie à la science](#)

# Galerie d'images

Cette galerie illustre le type d'images et d'informations de télédétection qui sont collectées chaque jour. Elle confirme les opportunités fantastiques que présente l'imagerie lorsque vous la mettez au service de votre SIG.

## Sentinel-2



Sentinel-2 Bands	Central Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

La mission Sentinel-2 organisée par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), la Commission européenne et un grand nombre d'entreprises du secteur, comprend deux satellites identiques positionnés à 180 degrés l'un de l'autre. Sentinel-2 procède à des observations de la Terre dont les résultats sont exploités dans les domaines de l'agriculture, de la cartographie de l'occupation du sol et de la détection des variations, de la foresterie et de la gestion de l'environnement. Les données multispectrales comportent 13 canaux et la résolution spatiale de ces canaux varie entre 10, 20 et 60 mètres, comme l'indique la table à droite. Chacun des deux satellites revisite les sites d'observation tous les 10 jours. Ainsi, chaque emplacement de la Terre est revisité tous les cinq jours.

## Océans



La cartographie détaillée de la planète ne se limite pas aux confins de la terre ferme. Avec l'augmentation constante du nombre de missions d'évaluation du niveau de la mer, une carte souterraine précise émerge peu à peu.

## Drones

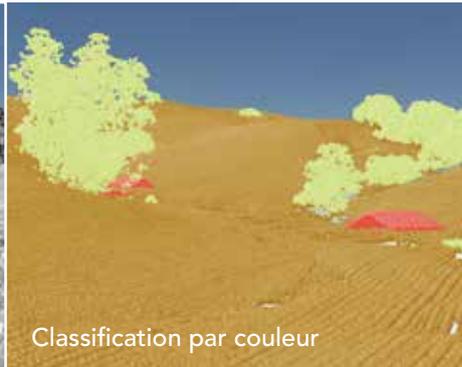


Les drones survolent la Terre à basse altitude et collectent une multitude d'images haute résolution. C'est Drone2Map qui assure la gestion et le stockage difficiles de ces données.

## Radar optique (LIDAR)



Données brutes



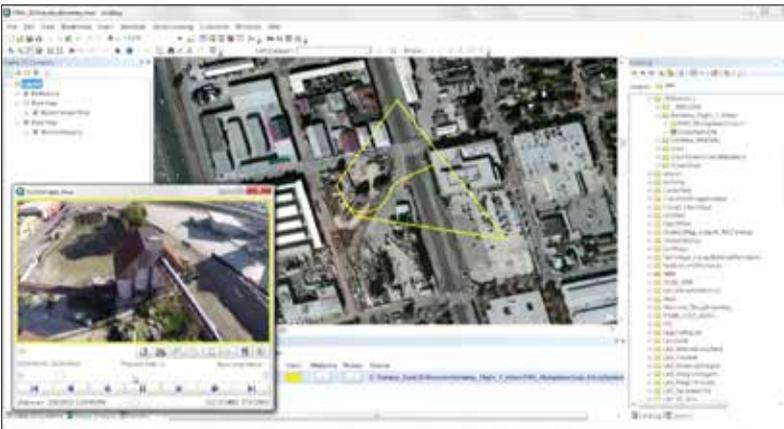
Classification par couleur



Affectation de valeurs RVB aux points

Les données Lidar représentent un défi unique en termes de Big Data en raison du nombre très élevé de points que comporte même une petite scène, lequel est alors considérablement plus élevé pour des zones d'étude plus étendues. La situation est d'autant plus complexe que de nombreux produits Lidar sont nécessaires, chacun d'eux présentant ses propres caractéristiques et se prêtant à des applications spécifiques.

## Full Motion Video



Qu'elle soit capturée par un dispositif sans pilote à bord (UAV) ou un avion, une vidéo est une source de données précieuse qui présente une vue dynamique d'événements qui se déroulent, ainsi que l'état des entités au sol. Dans ArcGIS, les capacités FMV (Full motion video) vous permettent d'afficher, de gérer, d'analyser et de partager du contenu vidéo, y compris des flux en direct.

## Collections de photos aériennes historiques



Les premières photographies aériennes de l'Etat d'Illinois furent acquises de 1937 à 1947. Cette collection contient environ 33 500 photographies sur papier qui furent numérisées et converties en images numériques.

# Démarrage rapide

## Couches de jeu de données de la mosaïque

Pour gérer des images ArcGIS Pro, vous devez commencer par utiliser une mosaïque. C'est un catalogue de données qui vous permet de gérer, d'analyser et de cartographier toutes les scènes de votre collection.

Les mosaïques résident dans une géodatabase et comportent trois couches : limite, emprise et image.

- La couche de limite indique l'étendue de tous les jeux de données raster présents dans la mosaïque sous la forme d'un seul polygone ou d'un polygone multi-parties si votre collection d'images n'est pas contiguë.
- La couche d'emprise indique l'étendue de chaque élément individuel de la mosaïque sous la forme d'un polygone distinct. La table attributaire d'emprise représente le catalogue de toutes les images de la mosaïque en plus des aperçus associés. Dans cette table, vous pouvez trier vos images en fonction d'attributs tels que la couverture nuageuse, la date d'acquisition ou une des caractéristiques du capteur.
- La couche d'image contrôle la gestion, l'analyse et l'affichage de la carte de la mosaïque sous la forme d'une couche raster intégrée. Des propriétés d'affichage et de rendu telles que l'étirement, la combinaison des canaux, le rééchantillonnage et la méthode de mosaïquage sont appliquées à la mosaïque.

Les mosaïques peuvent effectuer un traitement dynamique et à la volée. Puisque les images sont traitées lorsque vous y accédez, vous pouvez créer plusieurs produits à la volée à partir d'une source unique. Vous pouvez prélever des images à partir de plusieurs sources, à des résolutions diverses, et créer une mosaïque quasi transparente. Tous les rasters individuels qui, une fois regroupés, constituent la mosaïque sont accessibles via une base de données pour vous permettre de contrôler l'affichage des rasters superposés.

Imagerie et raster  
dans ArcGIS Pro

Gérer une collection d'images  
et des jeux de données raster

# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Télécharger des images à partir d'une base de données en ligne

Dans cette leçon, vous serez un urbaniste à la recherche d'images de Singapour, une gigantesque métropole limitée par les confins d'une petite île. La forte densité de la population de Singapour (presque 8 000 habitants par kilomètres carré) nécessite un contrôle strict du développement de la ville. A l'aide de l'application LandsatLook, vous allez rechercher dans les bases de données de l'USGS une image relativement récente avec une couverture nuageuse minimale. Vous allez télécharger l'image et l'ajouter à une carte dans ArcGIS Pro. Vous allez ensuite modifier la combinaison des canaux par défaut pour afficher l'image plus clairement.

### ► Vue d'ensemble

Le programme satellite Landsat, dirigé par l'USGS (United States Geological Survey) et la NASA (National Aeronautics and Space Administration), collecte en continu depuis 1972 des images de la surface de notre planète. Cette imagerie peut se télécharger gratuitement sur le site Web de l'USGS. Toutefois, avec un choix de plus de quatre millions d'images Landsat, il est parfois difficile de trouver l'image la mieux adaptée à vos besoins.

### ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

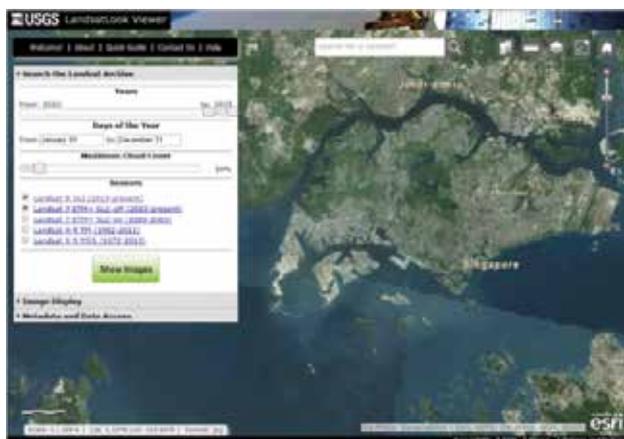
- Recherche et téléchargement de données Landsat
- Affichage de données Landsat dans ArcGIS Pro

### ► Vous avez besoin des éléments suivants :

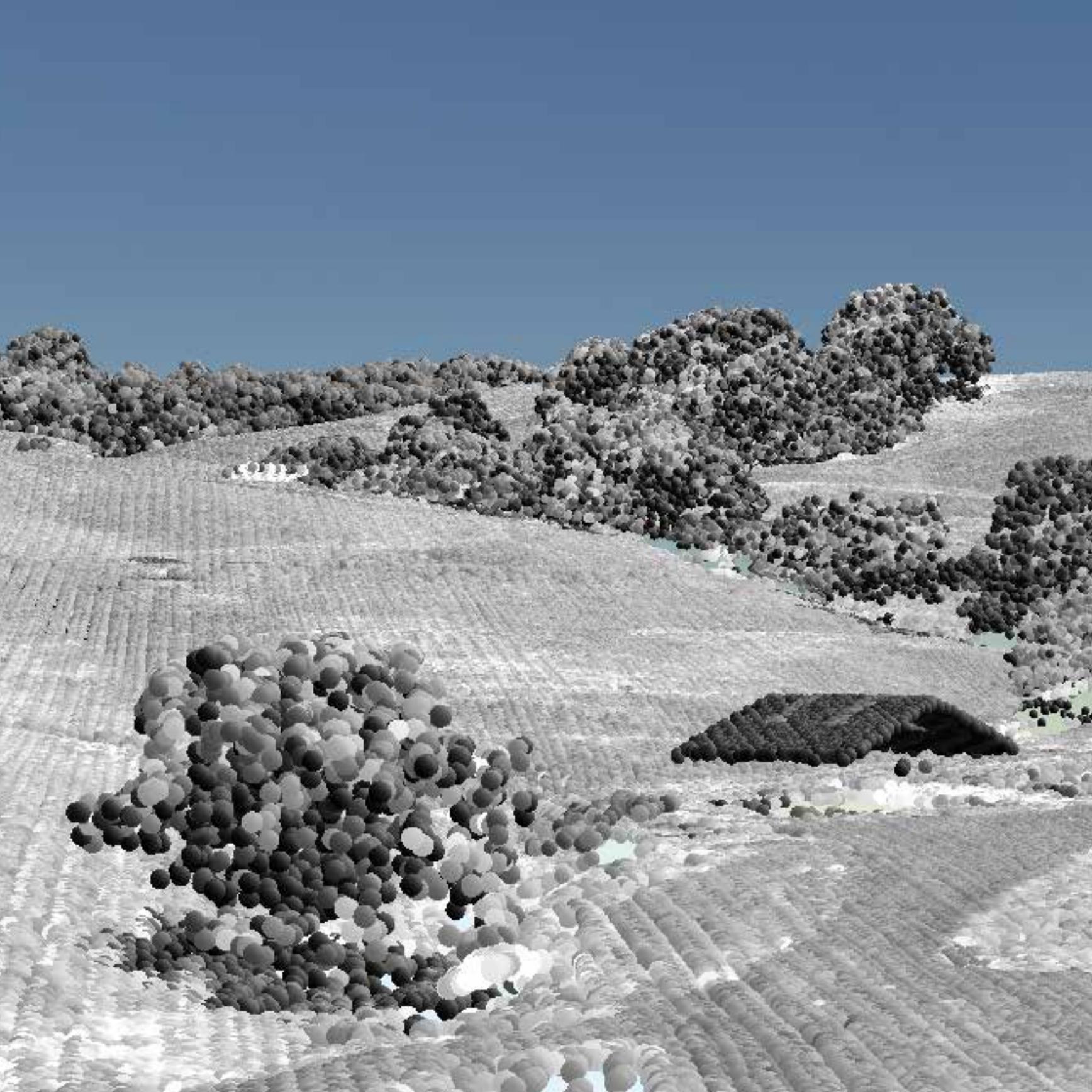
- ArcGIS Pro
- 900 Mo d'espace sur le disque dur
- Durée estimée : 1 heure

## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter8\\_Lesson](https://esri.com/imagerybook/Chapter8_Lesson)



*L'utilisation de données Landsat a toujours été limitée à la communauté des scientifiques et des techniciens. L'option d'image Natural Color du produit LandsatLook a été créée pour fournir des images Landsat dans un format simple, convivial et facile à visionner, selon des canaux spécifiques sélectionnés et organisés pour simuler une couleur naturelle. Ce type de produit permet de visualiser facilement l'image Landsat archivée sans logiciel spécialisé, ni expertise technique.*



## Le futur commence maintenant

La carte du futur est une image intelligente

Si vous avez lu les chapitres précédents, vous savez que le SIG et l'imagerie connaissent une transformation sans précédent. La communauté SIG en plein essor n'a jamais eu accès à autant de flux d'informations géographiques et d'images, et ce, sans aucune limite de calcul ni de stockage. C'est le cas non seulement pour les grandes entreprises dotées de configurations informatiques puissantes, mais aussi pour tous les utilisateurs qui exploitent ArcGIS dans le cloud. Seule votre imagination fixe les limites du possible.

# Avènement de l'ère du SIG

Avec l'essor du cloud computing, les progrès d'ArcGIS et l'explosion de l'imagerie et des flux de télédétection, tout est désormais possible pour les utilisateurs du SIG. Une grande transformation est en cours. Le SIG devient plus social, plus accessible et plus efficace. Chaque jour, nous constatons les avantages du SIG et son impact sur notre vie quotidienne, en termes de perception du monde. Le SIG devient une activité humaine : les utilisateurs exploitent ArcGIS comme une structure leur permettant de collaborer entre eux, de travailler plus efficacement, de prendre de meilleures décisions, de mieux communiquer et se comprendre et de transformer le monde intelligemment. Et l'imagerie joue un rôle important dans cette transformation.

On remarque que ces nouveaux environnements favorisent et encouragent, et certains diront même exigent la collaboration et le partage d'informations entre les organisations et les communautés. Les opportunités sont si vastes que le concept et la vision du SIG ont incontestablement changé pour toujours. Lorsque vous travaillez sur le SIG de votre entreprise, vous enrichissez également le « SIG mondial ».

Votre SIG représente tout simplement votre contribution dans ce système collaboratif bien plus vaste. On peut l'assimiler à une rue à double sens de circulation. Vous exploitez des informations essentielles provenant d'autres utilisateurs et alimentez à votre tour l'écosystème en fournissant des informations utilisées ensuite par d'autres organisations.

Cela confirme bien que l'imagerie révolutionne le partage et l'utilisation d'informations.



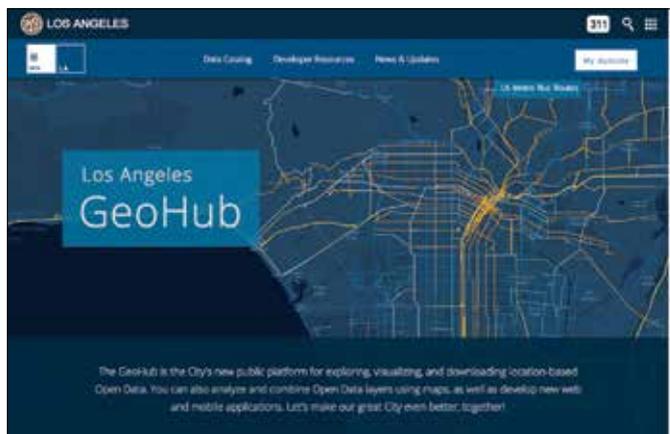
*Le volume d'images disponibles dans ArcGIS ne cesse d'augmenter depuis que le SIG est dans le cloud où chacun peut fournir des données Open Data. Selon les prévisions du ministère américain du Travail, dans les dix années à venir, le SIG fera partie des trois secteurs générant le plus d'emploi dans les domaines technologiques et informatiques.*

# L'imagerie alimente le SIG mondial

Un SIG moderne repose sur la participation, le partage et la collaboration

Désormais utilisé par plus de 350 000 entreprises dans le monde entier, le SIG est appliqué dans presque tous les domaines d'activité. L'imagerie qui alimente le SIG est de plus en plus utilisée partout dans le monde. C'est le pouvoir des images, qui nous permet de comprendre un phénomène quand nous pouvons le voir.

Depuis les balbutiements du SIG, les utilisateurs ont compris qu'il leur fallait des données et des images non disponibles dans leurs groupes de travail pour réaliser leur travail. Ils ont rapidement identifié le besoin de partager les données. Un SIG ouvert et le partage de données ont rapidement pris de l'ampleur au sein de la communauté SIG et ils restent indispensables à la mise en œuvre du SIG.



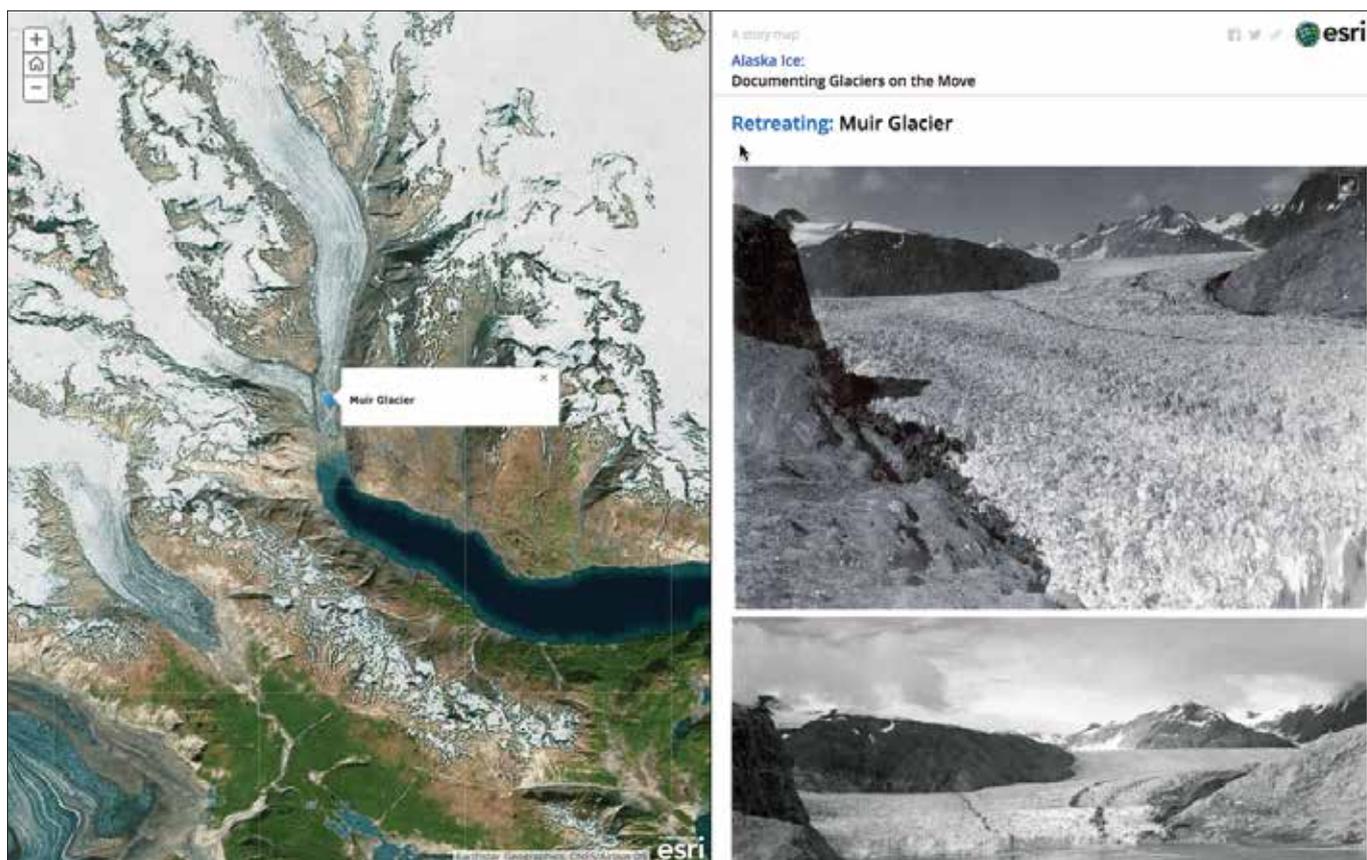
*De nombreux gouvernements donnent accès à leurs informations géographiques, notamment à leurs collections d'images, car ils savent que tous leurs citoyens peuvent en tirer parti.*

## SIG : le moteur d'intégration

Le SIG propose une sorte de moteur d'intégration et ce concept est fondamental. Lorsque nous développons nos propres systèmes d'information géographique, nous élaborons ce SIG complet, très prometteur, pour le monde entier, lequel s'enrichit chaque jour. Une collection mondiale d'informations d'imagerie est ainsi constituée et actualisée chaque jour. Ces flux et services d'informations sont alors améliorés par l'ensemble de la communauté SIG, sous la forme d'une série de couches d'informations qui correspondent à des références sur la Terre et facilitent l'intégration d'informations provenant de plusieurs sources.

# Accès aux images et au SIG sur le Web

Le SIG est désormais dans le cloud, ce formidable réseau informatique qui permet d'accéder à ces vastes collections d'informations. Chaque couche correspond à une URL, c'est-à-dire une adresse Web, facile à trouver et qui permet d'exploiter les données. Il vous suffit désormais de référencer l'URL d'une couche de données pour l'intégrer à votre SIG et l'utiliser dans le cadre d'un projet. Assemblez des couches provenant de différentes sources, enregistrez-les dans une carte Web et publiez le résultat sous forme d'application, et en un rien de temps vous avez créé un nouveau produit puissant de diffusion d'informations que vous pouvez partager avec pratiquement tout le monde. Ces nouveaux outils de création d'informations géographiques permettent de présenter et d'étayer une idée et de persuader, puis d'influencer d'autres personnes.



Cette carte très spécifique illustre les effets évidents du réchauffement climatique en Alaska. Les images et applications SIG partagées par la communauté SIG sont extrêmement variées. Ces ressources permettent à des milliers d'organisations d'exploiter, dans leur travail quotidien, le contenu partagé par la communauté SIG. Avec ArcGIS, vous constaterez rapidement les avantages que présente le partage d'informations au sein de la communauté et dans quelle mesure il peut enrichir votre travail.

# Imaginer le SIG du futur

## Le futur commence maintenant

Imaginez un futur où chaque utilisateur du SIG a accès à un catalogue d'images, d'informations de télédétection et d'autres couches géographiques sur toutes les régions du monde que se partagent ensuite de nombreuses organisations. Imaginez également que tous les jours de nouvelles scènes viennent s'ajouter à ce catalogue d'images, que tous les jours de nouveaux capteurs de données soient lancés, et qu'une grande partie de ces informations soient partagées avec le public. Le futur commence maintenant.

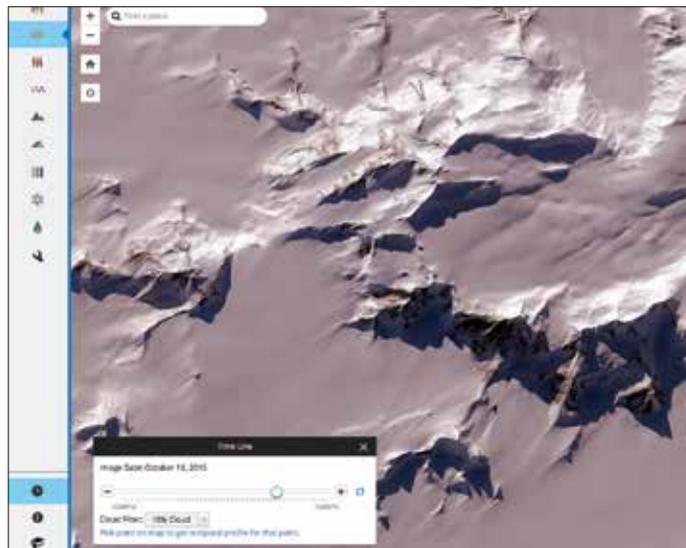
Ce SIG moderne qui a vu le jour est participatif et social. Alors que la société est constamment en quête d'informations, ces systèmes modernes n'encouragent pas seulement la participation, mais les utilisateurs la réclament. Il faut reconnaître que ces avancées sans précédent nous permettent d'envisager, comme jamais auparavant, les vastes possibilités qu'offre la synergie de l'imagerie et du SIG.

### Stockage des données et calcul illimités

Le SIG et l'imagerie dépendent non seulement des Big Data, mais ils nécessitent une puissance considérable de calcul. Les systèmes cloud actuels, disponibles à la demande, ne présentent aucune limite de calcul. Vous pouvez ainsi réaliser des analyses sophistiquées là où se trouvent vos données. La capacité de stockage est quasiment illimitée et totalement adaptée à vos besoins. Les utilisateurs achètent rarement des systèmes dotés d'une configuration étendue, puisqu'ils peuvent utiliser le cloud computing.



*Cette carte représente une petite partie des milliers de scènes Landsat recueillies et assemblées au fil du temps en une mosaïque d'images pour la région Antarctique.*



*Vue agrandie de certaines images disponibles sur l'Antarctique. Vous remarquerez le contrôleur temporel (activé avec l'icône représentant une horloge) qui vous permet par un simple clic de passer d'une image à la suivante. Les scientifiques n'ont jamais eu autant de données exploitables à portée de main.*

## Partage public d'images

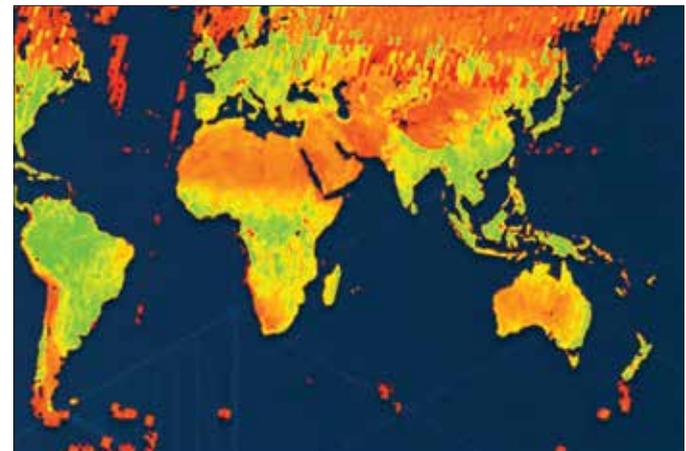
Alors que le traitement d'images n'en était qu'à ses débuts, il fallait des mois pour collecter des sources d'images et le coût était élevé. A l'heure actuelle, de nombreux satellites et plateformes transmettent des informations de grande valeur à l'aide de capteurs multicanaux, de radars optiques (LIDAR) et d'autres sources de données, et l'avenir est prometteur. Les utilisateurs s'attendent désormais à pouvoir exploiter des images parfaitement adaptées pour enrichir leur travail. Tout comme les GPS sur les smartphones qui nous montrent le chemin, ou les grands écrans de qualité cinéma dans le salon, on veut désormais pouvoir accéder 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 à toutes les images disponibles sur le monde. L'impact de cette transformation commence tout juste à être perçu.



*La ville de Berlin, en Allemagne, tout comme des centaines d'autres gouvernements et organisations dans le monde entier, a partagé son orthoimagerie haute définition, constamment actualisée, pour enrichir la collection de fonds de cartes de la communauté ArcGIS.*

## Analyses prêtes à l'emploi

Le SIG utilise des modèles d'analyse intelligents pour effectuer des analyses et combiner plusieurs couches. ArcGIS propose une multitude d'outils d'analyse variés pour faciliter votre travail et vous aider à résoudre des problèmes. Vous pouvez analyser des données où qu'elles se trouvent, sur des ordinateurs de bureau personnels, des ordinateurs d'entreprise ou dans ArcGIS Online dans le cloud. L'analyse d'images est l'une des fonctionnalités qui connaît la plus forte expansion dans le traitement de volumes importants d'images.



*Les analyses d'images sont disponibles partout. Ce sont les analystes d'images, de plus en plus nombreux, qui composent et partagent des modèles pour une grande variété de traitements d'images. Ils sont alors proposés dans des bibliothèques pour la communauté SIG très variée et en plein essor.*

## Missions personnalisées hyperlocales

L'ère des drones est arrivée et nous pouvons désormais lancer nos propres missions aériennes pour cartographier la géographie à des échelles locales et appliquer le SIG de façon totalement différente pour résoudre de nouveaux problèmes. Il permet en outre d'évaluer des trottoirs, de survoler des corridors d'utilités publiques, d'étudier l'habitat des espèces animales à des fins de préservation, d'intervenir dans des situations d'urgence et lors de catastrophes naturelles, de surveiller l'évolution du climat, les forêts et les terres agricoles et enfin de gérer nos microgéographies.



*De nombreux utilisateurs réaliseront leurs propres missions locales aériennes pour en exploiter les résultats dans leurs applications SIG. Avec Drone2Map, vous pouvez créer presque instantanément une base pour un fond de carte SIG de la zone que vous étudiez, puis y ajouter diverses couches SIG pour les analyser ; c'est ce que l'on appelle le « SIG instantané ».*

## Missions satellite personnalisées

De nouveaux capteurs sont lancés chaque jour pour nous aider à constituer des collections d'images spécialisées. Ces capteurs sont équipés de canaux spectraux qui permettent, lors du traitement des analyses, de prédire des informations et résultats pour nous permettent de mieux contrôler et gérer nos opérations et missions.



*Des satellites de la taille d'une boîte à chaussures sont lancés depuis la station spatiale internationale. Cette flotte de nanosatellites, utilisée dans le cadre d'une mission collective menée par le US National Laboratory, NanoRacks et Planet Labs, a pour objectif de transmettre des clichés quotidiens de la Terre pour diverses applications.*

# Convergence de tendances technologiques

## Des analyses intégrées permettent d'accéder à des images brutes et traitées

A l'avenir, vous pourrez non seulement télécharger des images brutes prélevées de satellites, mais également des images traitées qui sont analysées à la volée pour faciliter vos travaux d'imagerie.

ArcGIS intègre des fonctions d'analyse que vous pouvez déployer presque partout, du capteur à votre ordinateur local, pour traiter des images intelligentes dans le cloud. De plus, ce traitement analytique s'effectue en temps quasi réel. Par conséquent, les flux d'informations qui proviennent de ces plateformes ne se limitent pas à des flux de données d'images brutes. Ils représentent des images intelligentes converties en informations utiles pour faciliter vos opérations et activités.

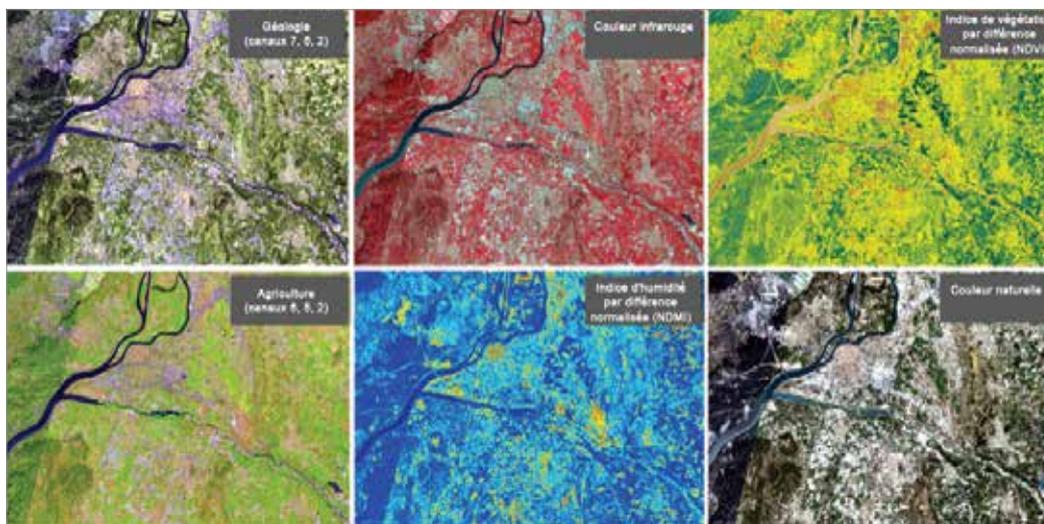
## Fin des limites de calcul

Selon vous, combien de personnes ont accès à plus de 10 000 ordinateurs, comme c'est le cas de Google ? Et qui en a les moyens ? En fait, tous les utilisateurs d'ArcGIS peuvent accéder à des ressources informatiques considérables dans le cloud pour stocker et analyser des données raster distribuées.

## L'émergence du SIG mondial va générer un macroscopie de la Terre

Le SIG et l'imagerie proposent un moteur d'intégration en combinant des couches d'informations géographiques très variées. Alors que les contributions de la communauté, ainsi que le partage d'informations entre des milliers d'entreprises et d'organisations, ne cessent de croître, les couches d'informations et d'images du SIG mondial ainsi enrichies deviennent de plus en plus utiles. ArcGIS et le cloud computing nous aident à découvrir notre planète.

Il permet aux utilisateurs d'intégrer ces couches visuellement et sous formes d'analyses pour révéler davantage d'informations et perspectives, jusqu'alors inconnues, qui nous permettent de mieux comprendre et gérer notre monde.



Les images multispectrales, disponibles directement à la volée depuis la plateforme de détection, peuvent être traitées et présentées à des fins diverses. Il suffit d'appliquer des algorithmes de traitement aux images brutes pour obtenir un aperçu du résultat que vous souhaitez exploiter. Dans cet exemple, les scènes provenant de Landsat 8 sont interprétées et transmises simultanément, en temps réel, sous la forme d'images.

# A travers la technologie, le futur offre une réponse personnelle



*Cette scène Web 3D que vous pouvez parcourir représente une balade en vélo. Les informations de vitesse et de fréquence cardiaque relevées par un appareil GPS sont présentées sous forme de graphique spatial 3D déployé sur une image haute résolution présentant de grandes variations d'altitude.*



*Les technologies convergentes annoncent une ère où l'interaction immersive avec la géo-imagerie aura une portée inimaginable. De nouvelles applications pour casques 3D comme Oculus Rift promettent de redéfinir notre relation avec le monde qui nous entoure et que nous comprendrons mieux. Préparez-vous à être émerveillé.*

# Génération de données SIG à partir de drones

## Bibliothèque 2D

Les photos et vidéos provenant de missions aériennes réalisées par des drones sont prises verticalement afin de créer des produits de cartographie orthorectifiés, ou avec des angles obliques, généralement utilisés pour inspecter des bâtiments ou d'autres infrastructures. Les deux approches génèrent des données que le SIG peut exploiter immédiatement. Cette page présente des exemples d'images 2D SIG générées à partir de sessions Drone2Map et la page suivante affiche des images 3D.

### Orthomosaïque



*Pour les utilisateurs de SIG, une orthomosaïque représente la réalité sur le terrain. Les orthomosaïques permettent de valider des entités cartographiques existantes et d'en créer de nouvelles en procédant à une numérisation manuelle ou par balayage, puis de générer le fond de carte SIG adapté à la zone d'étude, à une très haute résolution.*

### MNS



*Un MNS, présenté ici à côté d'une orthomosaïque des mêmes bâtiments près du lac Léman en Suisse, donne un aperçu brut de la forme réelle des choses au sol. Un moteur de rendu d'ombrage lui est appliqué.*

# Génération de données SIG à partir de drones

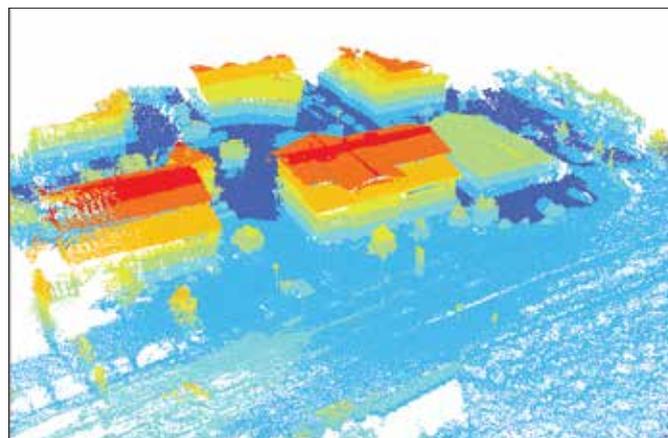
## Bibliothèque 3D

### Données LAS rendues en RVB



Un fichier LAS présente un format standard permettant de stocker des données Lidar aéroportées. Dans ce rendu, une valeur RVB est attribuée à chaque point à partir de la photo source, pour créer un effet photoréaliste.

### Données LAS rendues en altitude



Le même nuage de points LAS peut également être rendu en fonction des attributs que présentent les données, comme l'altitude, dans cet exemple. L'altitude la plus élevée est représentée en rouge dans la scène.

### Maillage 3D



Le maillage 3D est composé de tous les points reliés entre eux dans une constellation de triangles ou de facettes pour produire une scène 3D dans laquelle il est possible de naviguer.

### Photos obliques



Les photos obliques brutes prises par la caméra sont exploitées à des fins diverses. Tout d'abord, elles constituent la source des couches de données 3D et chaque photo sert de moyen d'inspection autonome.

# Spécialistes : Kathryn Keranen et Lyn Malone

## La technologie SIG transforme l'apprentissage

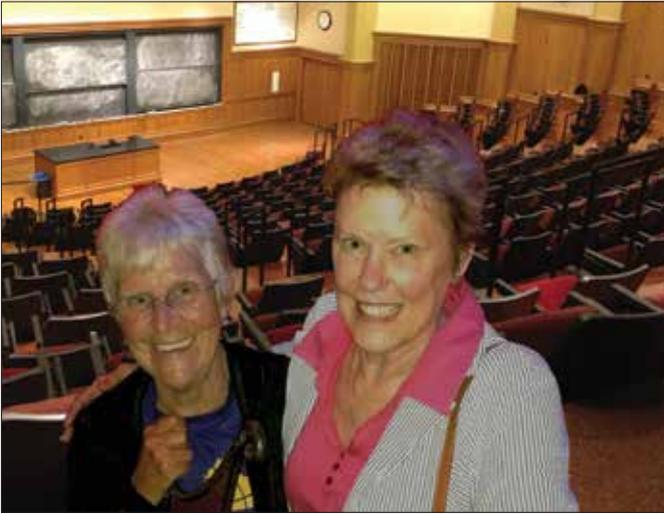
Vous avez certainement déjà entendu des « immigrants dans le monde numérique », c'est-à-dire des personnes nées avant l'apparition en ligne des technologies sociales, dire quelque chose comme « mon neveu de 5 ans a dû me montrer comment utiliser une application sur mon smartphone ». Aujourd'hui, pour la majorité des étudiants, la vie sans smartphone, ordinateur de bureau, tablette, ordinateur portable ou appareil GPS est inimaginable. Ils ont presque toujours été connectés au monde via Internet, la technologie mobile et les réseaux sociaux et sont par conséquent les véritables natifs du numérique (ou « digital natives », un terme utilisé par la Pew Foundation), car ils n'ont jamais eu à s'adapter aux technologies numériques. Cela a transformé la manière dont les étudiants modernes interagissent entre eux, mais aussi leur vision du monde et leur utilisation de la technologie. Le fait de grandir dans le monde numérique a également bouleversé leur manière d'apprendre.

Le SIG, les systèmes GPS et les systèmes de télédétection bouleversent la manière dont les étudiants découvrent le monde. Pour découvrir et résoudre en classe les problèmes du monde réel, les étudiants utilisent les mêmes outils que les agences gouvernementales, les entreprises, les groupes environnementaux et le secteur de la santé utilisent pour résoudre des problèmes et prendre des décisions dans leurs domaines d'activité respectifs.

Le SIG est un outil qui permet de résoudre les problèmes du monde réel. C'est pour cette raison que les utilisateurs de SIG en dehors du système éducatif (dans le secteur public, le monde de l'entreprise, le domaine de la gestion des ressources naturelles, le secteur de la santé, etc.) utilisent cette technologie puissante. Elle est de loin le moyen le plus efficace et polyvalent de résoudre des problèmes. Qu'ils étudient les sciences, les mathématiques ou l'économie et quel que soit le niveau d'enseignement (primaire, secondaire ou universitaire), avec le SIG, les élèves ou les étudiants apprennent à utiliser la technologie efficacement pour répondre globalement aux questions qui leur sont posées et ils sont mieux préparés à relever les défis de la vie quotidienne et professionnelle au vingt-et-unième siècle.

Les responsables pédagogiques préconisent depuis longtemps une approche d'apprentissage par la résolution de problèmes. Ce type d'apprentissage est ouvert. Il s'agit d'un processus de questionnement qui examine les alternatives et les possibilités plutôt que de mémoriser une seule solution correcte. L'utilisation du SIG dans la salle de classe permet de développer l'aptitude à résoudre des problèmes, notamment en posant des questions pertinentes, en rassemblant des données pour répondre à ces questions, en observant et en analysant des tendances dans ces données, en tirant des conclusions de l'analyse des données et en appliquant les résultats des recherches. Le SIG prépare les étudiants au monde du travail où la capacité à résoudre des problèmes est essentielle. Une salle de classe dotée d'un SIG est un tremplin pour l'avenir. Le SIG est, par nature, interdisciplinaire et il constitue un outil idéal pour assimiler des connaissances et des compétences dans diverses matières essentielles. Dans le SIG, les mathématiques et la géographie fusionnent pour former une base à partir de laquelle il est possible d'examiner et d'analyser des données de différents domaines d'étude, notamment l'histoire, l'éducation civique, la science de l'environnement, la biologie, la science de la Terre, la sociologie, la linguistique, la littérature, et bien d'autres. Grâce à l'analyse interdisciplinaire, le SIG favorise non seulement le transfert de connaissances dans divers domaines, mais il renforce aussi l'apprentissage dans chacun de ces domaines en justifiant l'applicabilité et la pertinence.

Au cours des 20 dernières années, nous avons constaté un changement radical dans le SIG, lequel a profondément influencé l'apprentissage dans les salles de classe. Il y a 20 ans, le SIG était un logiciel de bureautique. Pour l'utiliser dans les salles de classe, les éducateurs devaient résoudre les problèmes que présentaient son installation et le stockage des données. Le partage et la collaboration entre les étudiants pouvaient également présenter des difficultés. Aujourd'hui, grâce à ArcGIS Online, les éducateurs et les étudiants n'ont plus ces problèmes. Ils peuvent enrichir leurs données avec des ressources Open Data illimitées, effectuer des analyses, partager des données et collaborer entre eux, grâce aux fonctionnalités puissantes d'une organisation ArcGIS. En outre,



*Kathryn Keranen est une enseignante retraitée du comté de Fairfax dans l'Etat de Virginie aux Etats-Unis. Elle est actuellement formatrice adjointe à l'Université James Madison et a enseigné la technologie géospatiale aux étudiants et aux formateurs pendant plus de 20 ans. Elle a rédigé avec Robert Kolvoord une série de quatre livres intitulée Making Spatial Decisions. Lyn Malone est une conseillère pédagogique spécialiste de l'application en classe des technologies géospatiales. Elle est également l'auteur d'un ouvrage intitulé Mapping Our World : GIS Lessons for Educators and the Teachers Guide to Community Geography.*

*Kathryn Keranen et Lyn Malone ont rédigé ensemble le guide Instructional Guide for the ArcGIS Book publié par Esri Press.*

grâce aux nombreuses applications de collecte de données pour appareils mobiles, les étudiants peuvent désormais appliquer leur SIG à des zones d'étude dans le monde réel.

Le SIG stimule les étudiants comme aucun autre outil d'apprentissage n'est jamais parvenu à le faire. Avec le SIG, les étudiants sont capables de résoudre des problèmes au sein de leurs propres communautés et d'en aborder d'autres qui leur tiennent à cœur. Le SIG leur permet d'être maître de leur apprentissage. Avant de formuler des conclusions reposant sur des données, le workflow du SIG les oblige à traiter les informations qu'ils ont auparavant collectées, évaluées et analysées pour répondre aux questions posées. Comme le souligne un professeur, « c'est en créant une carte qu'un étudiant apprend ».

Selon l'organisation publique-privée Partnership for 21st Century Skills constituée en 2002 pour promouvoir un nouveau modèle d'apprentissage, il existe un fossé profond entre les connaissances et les compétences que la plupart des étudiants acquièrent au cours de leur scolarité et celles dont ils ont besoin sur le lieu de travail et dans la société du 21e

siècle. L'intégration de technologies de pointe (et du SIG en particulier) au cursus scolaire permet de combler ce fossé.

Voici trois recommandations. Premièrement, tenez compte des réactions de vos étudiants. Vous devez passer du temps à observer et interpréter leurs réactions lorsque vous leur présentez un nouveau logiciel et un nouveau programme. Tenez également compte du fait que les attentes et les compétences de ces étudiants sont totalement nouvelles. La première fois que nous avons présenté aux étudiants *Le livre d'ArcGIS : 10 notions liées à l'application de la géographie au monde*, dans les 20 minutes suivantes, plusieurs d'entre eux avaient ouvert la version PDF du livre sur leur téléphone pour utiliser l'écran de leur ordinateur portable uniquement pour des tâches de cartographie en ligne. En nous regardant, nous nous sommes demandés si ça allait marcher. Et 5 minutes plus tard, la plupart des étudiants faisaient la même chose. Deuxièmement, tirez parti des connaissances des étudiants. Etant donné qu'ils savent parfaitement se servir des applications de leurs appareils mobiles, vous n'avez pas besoin d'écrire des pages d'instructions. Et enfin, encouragez surtout les étudiants à poser des questions.

# Démarrage rapide

## Liste de contrôle de la mission de drone

La Federal Aviation Administration (FAA) recensait plus de 400 000 pilotes de drones aux Etats-Unis en mars 2016. A l'échelle mondiale, ce nombre dépasse probablement un million. Par conséquent, à l'heure où le pilotage de drones en tant que hobby et activité professionnelle a le vent en poupe, il est essentiel d'en connaître les règles. Chaque pays a ses propres règles, ou n'en a pas. Contactez les autorités locales de l'aviation civile avant de préparer une mission de drone. La liste partielle suivante est fournie par 3DR, leader du marché des petits drones commerciaux et civils.

- ✓ Avant de commencer votre mission, vérifiez que votre contrôleur, votre drone et vos appareils mobiles sont chargés et prêts à l'emploi. Si vous prévoyez d'utiliser votre GoPro®, vérifiez que sa batterie est entièrement chargée.
- ✓ Sur le terrain, vérifiez que la zone à inspecter n'est pas fréquentée. Que vous soyez un pilote débutant ou expérimenté, ne faites jamais voler un drone au dessus d'une zone fréquentée. Des incidents imprévus peuvent se produire à tout moment et vous êtes responsable de votre propre sécurité et de celle des autres.
- ✓ Les petits drones (comme le drone 3DR Solo) ne sont pas conçus pour voler par mauvais temps. Si le vent souffle, s'il neige, s'il pleut ou si les conditions météorologiques ne sont pas favorables, remballiez votre matériel et attendez que le temps s'améliore.
- ✓ Tenez-vous éloigné d'au moins 8 kilomètres de tout aéroport.
- ✓ Ne vous approchez pas des secteurs Wi-Fi denses. Si vous vous trouvez dans une zone qui abrite de nombreux réseaux Wi-Fi différents, votre connexion sans fil au drone risque de ne pas être fiable. Tenez-vous également éloigné d'objets hauts tels que les poteaux téléphoniques et les antennes relais, car ils causent des interférences Wi-Fi.
- ✓ Pour faciliter le décollage, choisissez un terrain plat et dur. Vérifiez que vous disposez d'un espace d'au moins 6 mètres dans chaque direction pour le décollage et l'atterrissage du drone.



La campagne d'informations Know Before You Fly a été lancée par les deux principales organisations impliquées dans la sécurité des systèmes aériens sans pilote, à savoir l'association AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) et l'académie AMA (Academy of Model Aeronautics). L'agence FAA collabore avec ces organisations pour informer le public en lui communiquant les règles de sécurité en matière de pilotage de drones.

# Leçon Apprendre à utiliser ArcGIS

## Prise en main de Drone2Map

Au cours de cette leçon, vous allez effectuer une mission complète d'inspection et de cartographie d'un immeuble de bureaux à Etterschlag en Allemagne. Pour cela, vous devez télécharger la version d'essai de Drone2Map, ainsi que l'échantillon de données. Vous traiterez ensuite avec le logiciel les données brutes transmises par le drone. Vous allez définir les paramètres nécessaires pour générer des sorties 2D et 3D, notamment une orthomosaique, un maillage 3D, un modèle numérique de surface et un document spécifique à partager, au format PDF 3D. Pour terminer, vous publierez le service de tuiles de données sur ArcGIS Online.

### ► Vue d'ensemble

Les drones permettent, à moindre coût, de capturer des images de sites et de caractéristiques terrestres naturels et créés par l'homme qui peuvent être difficiles d'accès ou à couvrir entièrement, en raison de leur taille ou de la nature du terrain. L'inspection d'infrastructures essentielles à l'aide de drones est une pratique de plus en plus courante qui facilite l'examen d'immobilisations, y compris celles qui s'étendent sur de vastes étendues.



### ► Développez des compétences dans les domaines suivants :

- Utilisation de Drone2Map
- Publication de données 3D

### ► Vous avez besoin des éléments suivants :

- Durée estimée : 60 minutes
- Rôle d'éditeur dans une organisation ArcGIS

## Commencer la leçon

[Esri.com/imagerybook/Chapter9\\_Lesson](https://www.esri.com/imagerybook/Chapter9_Lesson)



*A partir de cet échantillon de données haute résolution capturées par ce drone 3DR Solo à quatre rotors et équipé d'une caméra, vous allez créer des produits de données SIG 2D et 3D.*

# Contributeurs et remerciements

## Contributeurs

Editeur du volume : Clint Brown, Christian Harder  
Editeur de la série : Christian Harder

Chapitre 1 : Clint Brown  
Chapitre 2 : Christian Harder  
Chapitre 3 : Steve Kopp, Melanie Harlow  
Chapitre 4 : Gerry Kinn, Cody Benkelman  
Chapitre 5 : Nawajish Noman, Vinay Viswambharan  
Chapitre 6 : Brian Sims, Craig McCabe  
Chapitre 7 : Kevin Butler, Daniel Siegel  
Chapitre 8 : Mike Muller, Gerry Kinn, Peter Becker  
Chapitre 9 : Christian Harder, Clint Brown, Tony Mason

Autres contributeurs : Eric Rice, Greg Allord, Jamie Ritchie, Kass Green, Kathryn Keranen, Kathryn Sullivan, Lawrie Jordan, Lyn Malone, Matt Artz, Mark Romero, Sarah Parcak

## Remerciements

Ce livre présente le travail de plusieurs cartographes et chercheurs d'Esri. Merci à Aileen Buckley, Allen Carroll, Andrew Skinner, Jennifer Bell, Jim Herries, John Nelson, Kenneth Field, Lisa Berry, Nathan Shephard, Sean Breyer et Richie Carmichael.

Les membres de l'équipe Apprendre à connaître ArcGIS sont Bradley Wertman, Brandy Perkins, John Berry, Kyle Bauer et Riley Peake.

Nous remercions plus particulièrement Betty Martinez, Candace Hogan, Catherine Ortiz, Chris Andrews, Claudia Naber, Clayton Crawford, Cliff Crabbe, Dan Hedges, Dan Zimble, Dave Boyles, Dawn Wright, Eleanor Haire, Eric Laycock, Gisele Mounzer, Jeff Liedtke, Jeremy Schuyler, Jie Zhang, John Calkins, Kathleen Morgan, Kevin J. Butler, Michelle McDaniel, Mike Kataoka, Mike Livingston, Peng Gao, Renee Brandt, Sandi Newman, Steve Pablo, Veronica Rojas et Wei Ying pour leur assistance, leurs commentaires et leurs contributions au cours de ce projet.

Enfin, nous remercions la communauté mondiale des utilisateurs de SIG et d'imagerie pour leur travail remarquable avec la technologie ArcGIS.

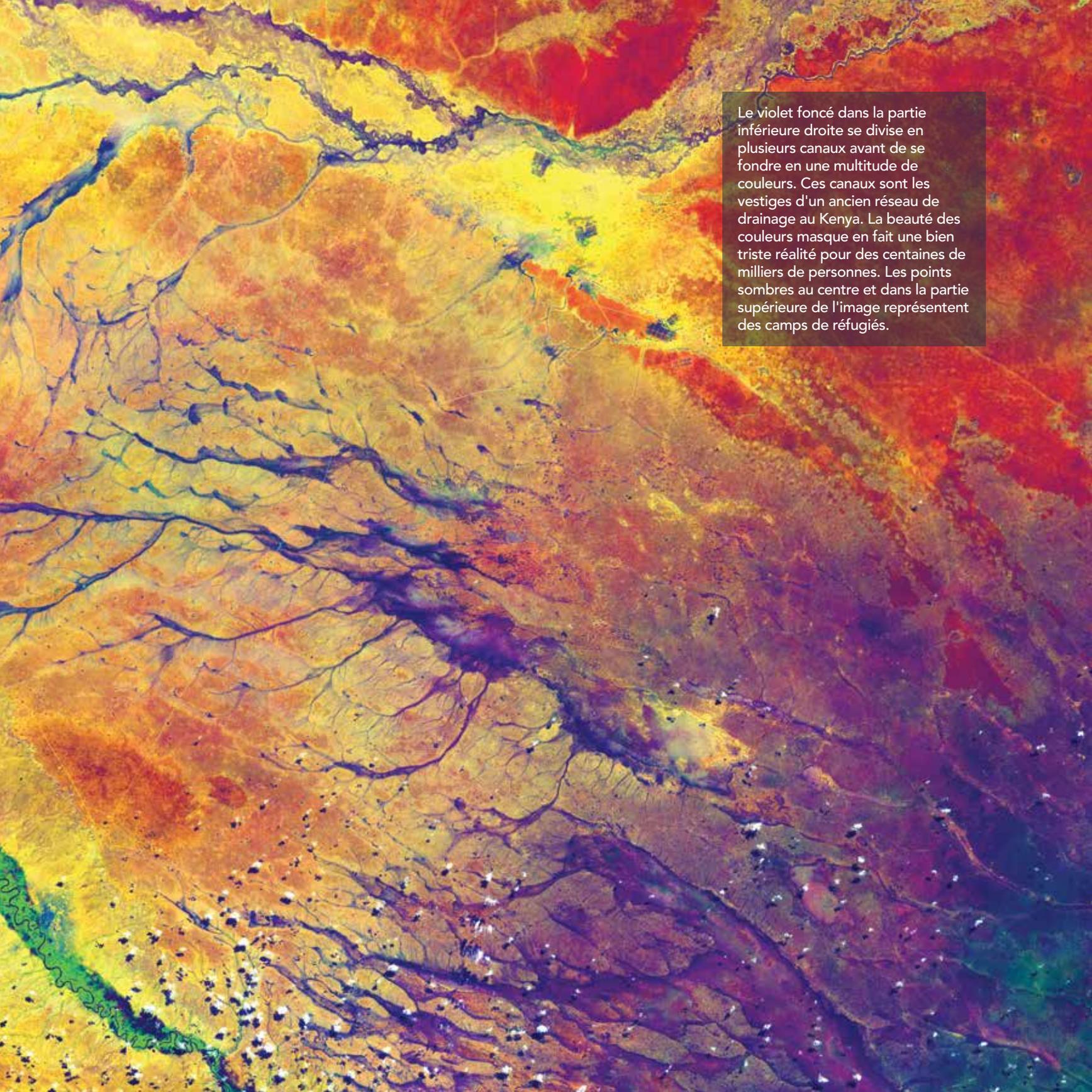
# Crédits

## Page Crédits

viii, ix	Ombres de nuages étranges : USGS, Landsat 8.	24	Véhicule HERE équipé de GPS, LIDAR et caméras : © Nokia HERE.
1, 2	L'imagerie, une intelligence visible : image reproduite avec la permission de DigitalGlobe.	24	The Blue Marble : membre de l'équipage NASA/Apollo 17 ; photo prise par Harrison Schmitt ou Ron Evans.
3	Imagerie stéréoscopique : photo du documentaire Operation Crossbow : How 3D glasses helped defeat Hitler : Source - BBC News / BBC Sport / bbc.co.uk - © 2011 BBC.	25	Grands trous : Esri, Earthstar Geographics, National Geographic (le contenu risque de ne pas être conforme à la réglementation actuelle sur les cartes de National Geographic), DeLorme, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, Increment P Corp.
4	The Blue Marble : membre de l'équipage NASA/Apollo 17 ; photo prise par Harrison Schmitt ou Ron Evans. Buzz Aldrin sur la lune : équipage NASA/Apollo 11 ; photo prise par Neil Armstrong.	25	Zones forestières en Europe © EEA, Copenhagen, 2012 ; EEA, Copenhagen, 2014 ; Esri ; DigitalGlobe ; GeoEye ; Earthstar Geographics ; CNES/Airbus DS ; USDA ; USGS ; AEX ; Getmapping ; Aerogrid ; IGN ; IGP ; swisstopo ; HERE ; DeLorme ; MapmyIndia ; © les contributeurs OpenStreetMap et la communauté des utilisateurs de SIG.
4	Neil Armstrong : un premier petit pas sur la lune : photo provenant de thenatman.	25	Les peuples déracinés : Esri, UNHCR, Airbus Defense and Space, PesentiStory.
5	Fond de carte ombré de Landsat : Esri, United States Geological Survey (USGS), National Aeronautics and Space Administration (NASA).	26	Impact d'El Niño en Floride : ministère américain du commerce/NOAA, National Weather Service Tampa Bay/Ruskin, FL.
5	Landsat : Découvrez les secrets de la Terre : Esri, HERE, DeLorme, NGA, United States Geological Survey (USGS), National Aeronautics and Space Administration (NASA).	26	Reproduit avec la permission de Kentucky Geological Survey à l'université du Kentucky.
6	Image haute résolution : Esri, Earthstar Geographics, HERE, DeLorme.	26	En construction : projets de développement en cours dans la ville de Pflugerville, Texas : Esri.
7	Plages de respiration : Esri, Visible Earth, NASA.	26	Observatoire urbain : © 2014 Esri, Richard Saul Wurman & RadicalMedia.
7	Indice d'humidité : degré d'humidité ou de sécheresse : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, USGS.	26	Ouragan Sandy : les ravages : Esri, Microsoft, NOAA, HDDS, USGS, HERE, DeLorme, MapmyIndia, © les contributeurs OpenStreetMap, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, et la communauté des utilisateurs de SIG.
8	Carte pour informer le public sur les intempéries : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, USGS, EPA, NPS   AccuWeather, Inc.   © 2013 Esri.	27	Fond de carte Imagerie mondiale : Esri, Earthstar Geographics, HERE, DeLorme.
8	San Francisco en 1859 et aujourd'hui : Esri, SFEI & Quantum Spatial, USDA FSA, Microsoft, Collection de cartes historiques de David Rumsey.	27	Imagerie haute résolution : Esri   Earthstar Geographics
11	Occupation du sol à l'échelle mondiale : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS   Source : MDAUS   Esri, HERE.	27	Panaches derrière les îles Sandwich du Sud : Earthstar Geographics,
12	Lieux intéressants : Esri, USDA, FSA, Microsoft.	27	Nous confirmons l'utilisation d'images résultant de la capacité d'analyse en temps quasi réel du sol-atmosphère pour le système EOS (LANCE) et les services GIBS (Global Imagery Browse Services), tous deux gérés par la NASA/GSFC/Earth Science Data and Information System (ESDIS, <a href="http://earthdata.nasa.gov">http://earthdata.nasa.gov</a> ) et financés par la NASA/HQ.   Esri, HERE, DeLorme.
12	Ombrage facilement exploitable : Esri, USGS, NOAA, DeLorme, NPS, CGIAR.	27	Image Landsat multispectrale : Esri, USGS, AWS, NASA.
12	Scène 3D de Pictometry : Esri, USDA, FSA, Microsoft.	27	Image Landsat panchromatique : Esri, USGS, AWS, NASA.
13	Delta du fleuve Léna en Russie : USGS, Landsat NASA, Esri, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS.	28	Visionneuse de données Lidar Dogami : Esri, HERE, DeLorme, MapmyIndia, © les contributeurs OpenStreetMap et la communauté des utilisateurs de SIG.
14	Volcan Colima : Esri, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, United States Geological Survey (USGS), National Aeronautics and Space Administration (NASA).	28	Données sonar de colonnes d'eau : National Geophysical Data Center (2014) : collection de données sonar de colonnes d'eau. National Geophysical Data Center, NOAA.
14	Himalaya : Esri, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS.	28	ArcGIS Viewer for Flex : Esri ; service de réflexion radar WMS reproduit avec la permission de l'université de l'Etat d'Iowa.
14	Rio Negro, Brésil : Esri, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS.	29	Carte satellite : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, NASA.
15	Lever de Terre : NASA.	30	Vue au niveau de la rue : Mapillary.
16	Découverte d'eau liquide sur Mars : Esri, NASA, JPL-Caltech, Université d'Arizona.	30	Reality Lens : HERE.
16	Nouveaux horizons : les secrets de Pluto : Esri, NASA.	31	Résolution de l'hôtel Mission Inn : Esri, Riverside, Microsoft.
16	Y-a-t-il de la vie sur Mars ? : Ken Field, Esri, Instrument Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) sur le MGS (NASA/JPL/GSF) à environ 463 m/px. Nomenclature IAU/USGS officielle approuvée du laboratoire SIG MRCTR (USGS). Données du site d'atterrissage de la NASA.	31	Résolution de l'hôtel Mission Inn : Esri, USDA Farm Service Agency.
17	Apprendre à utiliser ArcGIS : Esri.	32	Photo prise par Jim Block.
18	Prise en main de l'imagerie, Apprendre à utiliser ArcGIS : Esri.	32	MODIS : Vue de la Terre : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, USGS   Nous confirmons l'utilisation d'images résultant de la capacité d'analyse en temps quasi réel du sol-atmosphère pour le système EOS (LANCE) et les services GIBS (Global Imagery Browse Services), tous deux gérés par la NASA/GSFC/Earth Science Data and Information System (ESDIS, <a href="http://earthdata.nasa.gov">http://earthdata.nasa.gov</a> ) et financés par la NASA/HQ.
19, 20	Vol de reconnaissance de l'armée américaine : archives nationales américaines.	33	Atlas mondial dynamique : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
21	Avion du RFC avec caméra de reconnaissance aérienne : Royal Flying Corps.	33	Landsat : Découvrez les secrets de la Terre : Esri, HERE, DeLorme, NGA, United States Geological Survey (USGS), National Aeronautics and Space Administration (NASA).
22	San Francisco en ruines depuis le ballon captif de Lawrence à 609 m au-dessus de la baie de San Francisco : photo de Geo. R. Lawrence Co., Panoramic photographs, Library of Congress, Reproduction number LC-DIG-ppmsca-07823 DLC.	33	GLDAS : Nouveau regard sur le cycle de l'eau sur la Terre : Esri.
22	MRBM Site 1, San Cristobal, Cuba, 23 octobre 1962 : Image de reconnaissance du gouvernement américain.	34	ArcGIS Earth : Esri.
23	Landsat 8 : NASA/US Geological Survey, Ministère de l'intérieur.	35	Définition de l'imagerie : image reproduite avec la permission de DigitalGlobe.
23	Helios : NASA.	38	Précipitations GLDAS : Esri, HERE, FAO, NOAA, NASA.
23	Syncom : NASA.	38	Occupation du sol aux Etats-Unis en 2011 : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
23	La Terre vue d'Apollo 17 : NASA.	38	Images de la Nouvelle-Zélande : Esri, obtenues auprès de LINZ Data Service et cédées sous licence pour être utilisées sous la licence Creative Commons Attribution 3.0 Nouvelle-Zélande.
24	Lockheed SR71 Blackbird : Tsgt. Michael Haggerty, USAF.		
24	Drone privé 3DR Solo : © 3DR.		
24	Véhicule aérien sans pilote RQ-2B Pioneer de la marine américaine : photo prise par Daniel J. McLain.		
24	Hélicoptère : cédé sous licence CC-by-1.0.		
24	Cessna 172 modèle R182 D-FRZE © Nick Dean.		

- 38 Landsat 8 (onde courte infrarouge) : Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.
- 38 Histoire des inondations à Charleston, Caroline du Sud : USDA FSA, DigitalGlobe, GeoEye, Microsoft, CNES/Airbus DS, NOAA Office for Coastal Management, Esri, HERE, DeLorme.
- 38 Fond de carte d'un relief ombré : © 2014 Esri ; Sources : Esri, DeLorme, USGS, NPS.
- 39 Photo prise par Christian Harder.
- 41 Fond de carte ombré de Landsat : Esri, United States Geological Survey (USGS), National Aeronautics and Space Administration (NASA).
- 41 Changements saisonniers : Earthstar Geographics | Esri, HERE, DeLorme
- 42 Image orthorectifiée : World Elevation Service, Esri, NASA, NGA, USGS.
- 43 Landsat 8 (Limite Terre/Eau) : ville de la Nouvelle Orléans, Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS, NASA.
- 43 Landsat 8 (Infrarouge proche, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Intermap, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.
- 43 Landsat 8 (Couleur vraie) : ville de Huntsville, comté de Montgomery, Esri, HERE, DeLorme, Intermap, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.
- 43 Landsat GLS (Analyse de la végétation) : ville de Huntsville, comté de Montgomery, Esri, HERE, DeLorme, Intermap, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS, NASA.
- 44 Imagerie NAIP USA : VITA, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, METI/NASA, EPA, USDA | Esri, USDA Farm Service Agency | VITA, Esri, HERE, DeLorme
- 44 Explorateur de cartes topographiques historiques de l'USGS : ville de la Nouvelle Orléans, Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.
- 44 Explorateur et découverte de données scientifiques : Esri, GEBCO, IHO-IOC GEBCO, NGS, DeLorme.
- 47 Fond de carte de l'océan Arctique : Esri, DeLorme, GEBCO, NOAA NGDC, NOAA, National Geographic, HERE, Geonames.org, et d'autres contributeurs.
- 47 Fond de carte de l'océan Arctique (étendue de la glace sur la mer) : Esri, DeLorme, GEBCO, NOAA NGDC, National Snow and Ice Data Center, National Geographic, HERE, Geonames.org, et d'autres contributeurs.
- 48 Jack Dangermond et Professeur Dawn Wright—2012 Esri Oceans Summit : Esri.
- 49 Images Landsat/Access Image Services : Esri, USGS, Landsat NASA.
- 51, 52 Images Landsat/Access Image Services : Esri, USGS, Landsat NASA.
- 53 Volcan Momotombo : Esri, HERE, DeLorme, USGS, METI/NASA.
- 54 Un univers de cercles - Egmont National Park, Nouvelle-Zélande : Esri, Earthstar, CNES/Airbus DS.
- 54 Images du monde—Newfoundland : St. John's, DigitalGlobe, GeoEye | Esri, HERE, DeLorme, NRCAN.
- 56 Images Landsat 8 panchromatiques & affinées : IGN, Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA.
- 56 Landsat GLS (Agriculture) : Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA, NASA.
- 56 Indice d'humidité : degré d'humidité ou de sécheresse : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, USGS.
- 57 Dynamique et risques côtiers : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS | ROLNP, 2014.
- 58 Surveillance de graves inondations : © CNES 2013-2014, Distribution Airbus DS.
- 58 Images d'exploitation minière pour la détection de variations minérales : Digital Globe ; Images traitées par MDA Information Systems LLC.
- 59 Copernicus : © CNES 2013-2014, Distribution Airbus DS.
- 60 Photo de Landsat 8 : NASA.
- 60 Photo de Landsat 8 : NASA.
- 60 Présentation de la mission Landsat de continuité des données : NASA.gov.
- 61 Sentinel-2 capte l'œil du cyclone et la concentration d'algues : ESA.
- 62 Bordure rouge : MicaSense, ville de Saskatoon, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, USGS, EPA, USDA, AAFC, NRCAN.
- 64 KyFromAbove-Altitude : comté de Montgomery, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, METI/NASA, EPA, USDA | KYAPED Partners, DGI.
- 64 Balayage 3D avant et après le glissement de terrain à Oso : Puget Sound Lidar Consortium avec des images d'ArcGIS Online. (Surfaces collectées au milieu de l'année 2013), WSDOT, USGS.
- 65 Dynamique et risques côtiers : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS | ROLNP, 2014.
- 65 NEXRAD Hawaï : Earthstar Geographics | Esri, HERE, DeLorme.
- 66 Imagerie infrarouge thermique : MRLC, Bureau of Land Management, State of Oregon, State of Oregon DOT, State of Oregon GEO, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, METI/NASA, EPA, USDA, US Forest Service.
- 66 Vidéo 2—New Porter Ranch Gas Leak Timelapse (12/10/15) : mforthepeople.
- 67 Signatures hyperspectrales d'échantillons de sable : Esri ; Donna Selch, Caiyun Zhang, Anton Oleinik et Hannah Cooper, Florida Atlantic University.
- 68 Vue en 3D d'une carte 2 µm du taux vibratoire de minéraux de la région drapée sur la topographie de Google™ Earth orientée NO vers les zones d'altération de Cuprite (exagération verticale multipliée par 3 ). L'image AVIRIS ne s'étend pas vers les montagnes au nord-ouest des régions Cuprite et Goldfield Hills et les couleurs proviennent des images de base de Google™ Earth.
- 68 Sarah Parcak : photo du haut prise par Louise Bray, BBC et photo du bas prise par Ryan Lash @ TED.
- 69 Vue de Drone2Map for ArcGIS : Data © 2015 Falcon Eye Drones. Tous droits réservés. Drones Delair-Tech DT-18.
- 70 Complément FMV (Full Motion Video) d'ArcGIS, Esri, présenté à GEOINT 2015 : GPS World.
- 71 Atlas mondial dynamique : Esri.
- 72 Le barrage des Trois-Gorges sur le fleuve Yangtsé, en Chine : photo prise par Le Grand
- Portage sous licence CC-by-2.0.
- 72 Lac Poyang asséché : photo prise par Xinhua/Zhou Ke © 2014 Xinhua, english. news.cn. Tous droits réservés.
- 73 Transformation de l'imagerie en informations : USGS.
- 75 Les couloirs des couguars au sud de la Californie : comté de Los Angeles, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Intermap, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.
- 76 Occupation du sol du couvert forestier : ville et comté d'Honolulu, Esri, HERE, DeLorme, USGS, METI/NASA, NGA, EPA, USDA | DPP, Holis, laboratoire d'analyse spatiale de l'université de Vermont en collaboration avec l'USDA Forest Service Northeastern Research Station.
- 76 Bordure rouge : Micasense, ville de Saskatoon, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, USGS, EPA, USDA, AAFC, NRCAN.
- 76 Rapport d'occupation du sol de la région des Grands Lacs : Earthstar Geographics | NOAA Office for Coastal Management | Esri, HERE, DeLorme.
- 77 Nouvelle vie d'un fleuve : Esri.
- 77 Surface de coût : Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.
- 78 Explorez la diversité écologique du monde : Esri, GEBCO, DeLorme, NaturalVue, Metzger et al., 2012, ESA, GEO, USGS, WorldClim.
- 79 Analyse de surface imperméable : comté de Montgomery, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, EPA, USDA.
- 79 Global Forest Watch Commodities : Esri, HERE, DeLorme, MapmyIndia, © les contributeurs OpenStreetMap et la communauté des utilisateurs de SIG.
- 80 Utilisation des données d'occupation du sol pour déterminer la qualité de l'eau : Earthstar Geographics | Department of Commerce (DOC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Ocean Service (NOS), Office for Coastal Management (OCM) | US Census Bureau | Esri, HERE, DeLorme.
- 80 Potentiel solaire dans le Minnesota : mn.gov/solarapp.
- 81 Analyse du champ de vision de Swift Wind Farm : DoBH, OS, Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA.
- 81 Moments décisifs de la bataille de Gettysburg : Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, METI/NASA, EPA, USDA.
- 82 Modélisation de crues éclair dans des bassins semi-arides non jaugés, USGS The National Map : National Boundaries Dataset, National Elevation Dataset, Geographic Names Information System, National Hydrography Dataset, National Land Cover Database, National Structures Dataset et National Transportation Dataset ; US Census Bureau—TIGER/Line ; HERE Road Data.
- 82 Fréquence d'inondation du sol aux Etats-Unis : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS | Esri, HERE | Source : USDA NRCS.
- 83 Sols de Panoche Hills : Esri, HERE, DeLorme, Increment p, NGA, USGS, USDA - NRCS, NGA, NASA, CGIAR, NCEAS, NLS, OS, NMA, Geodastatyselsen, GSA et la communauté des utilisateurs de SIG.
- 85 Ecoulement des précipitations : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, NASA.
- 85 Exploration scientifique de l'océan Pacifique : Esri.
- 86 L'autoroute North Carolina Highway 12, à l'extrémité nord de Rodanthe sur l'île Hatteras, fut inondée par l'ouragan Irene le dimanche 28 août 2011. Steve Earley | *The Virginian-Pilot*.
- 86 011 NOAA National Geodetic Survey (NGS) LIDAR de la Caroline du Nord : Produit de cartographie pour l'intervention d'urgence suite au passage de l'ouragan Irene : NOAA's Ocean Service, Coastal Services Center (CSC).
- 87, 89 Charlotte, Caroline du Nord, Surfaces imperméables : Jefferson County (KY) Property Valuation Administrator.
- 92 Nuage de points Lidar avec des bâtiments texturés de San Francisco : Esri, EagleView Pictometry, NOAA.

93	Visualisation de nouveaux développements : MRLC, Oregon Metro, Bureau of Land Management, State of Oregon, State of Oregon DOT, State of Oregon GEO, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, EPA, USDA, US Forest Service.	126	Avant et après les tornades de 2015 dans l'Illinois : Microsoft   National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Ocean Service (NOS), National Geodetic Survey (NGS), Remote Sensing Division   Esri, HERE, DeLorme, iPC.
95	3D à toutes les échelles : Esri.	126	Prévisions de précipitations aux Etats-Unis : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
96	Echelle globale : Esri, NASA.	126	Katrina dix ans après : 10 ans de changements à la Nouvelle-Orléans : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
96	Campus Esri en 3D : ville de Redlands, comté de Riverside, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, METI/NASA, USGS, EPA, USDA.	127	Atlas mondial dynamique : Esri.
96	Montréal, Canada, Scène : Esri, USDA FSA, DigitalGlobe, GeoEye, Microsoft, CNES/Airbus DS.	128	Atlas d'une planète qui change : Esri
96	Campus Esri en 3D : ville de Redlands, comté de Riverside, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, METI/NASA, USGS, EPA, USDA.	128	Suivi des variations de l'occupation du sol dans le Connecticut : université du Connecticut, Center for Land Use Education and Research (CLEAR).
97	Nuage de points du barrage de Grand Coulee par code de classe LAS : Esri, NOAA Coastal Services Center.	128	Projet Marées hautes : Esri, NOAA, Earthstar Geographics.
97	Données Lidar détaillées collectées pour des sections de Petaluma en Californie, par l'équipe SIG dans le comté de Sonoma : NOAA.	129	Précipitations sur 72 heures du service national américain de météorologie : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
100	Scène My Topo : Esri, HERE, DeLorme, USGS, GA.	129	Scénario 8.5 de prévision des températures mondiales pour 2050 : Esri, GEBCO, DeLorme, NaturalVue, HERE, IPCC.
100	Image My Scene : Esri, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS.	130	Impact de l'élévation du niveau de la mer et des inondations côtières : NOAA National Ocean Service.
101	Séparation de la biomasse de végétation de la surface de la terre nue : Fugro Geospatial, EarthData.	131	Dévastation au Népal : Katmandou avant et après le tremblement de terre d'avril 2015 : Esri, CNES/Airbus DS   Airbus Defense and Space.
101	Comparaison par Drone2Map : Data © 2015 Falcon Eye Drones. Tous droits réservés. Drones Delair-Tech DT-18.	131	Assassinat d'Abraham Lincoln : Esri.
102	Images Landsat aux couleurs naturelles : Esri USGS, NASA, Landsat.	131	Prévisions pour les villes européennes : augmentation des températures et vagues de chaleur prolongées : Esri.
102	Carte du monde de National Geographic : National Geographic, Esri, DeLorme, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCnn, GEBCO, NOAA, INCREMENT P.	132	Samut Songkhram, Evolution historique de la Thaïlande : Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA.
102	Modèle de bâtiments en 3D : Esri, Pictometry International.	133	Carte d'une mine de cuivre près de Salt Lake City. Un SIG repose sur des couches : une couche de fond de carte, une couche du sol, une couche du climat, etc. : Esri.
103	Emprises de bâtiments : Esri.	135	Calendrier d'acquisition de données par Landsat 7 : USGS.
103	Modèle d'arbre 3D : Esri.	136	Flotte d'observation de la Terre par la NASA : NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio.
107	Photo texturée et réaliste du Mont Blanc dans les Alpes françaises : Esri France, SRTM, NASA, Landsat, USGS.	137	Application Landsat : ville de Riverside, comté de Riverside, Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
107	Scène 3D de Pictometry avec des couches de scènes 3D d'Indianapolis et de Philadelphie : Esri, Pictometry International.	138	Landsat 8—Points d'intérêt : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA.
113	Katrina 10 ans plus tard : NOAA, département du commerce.	140	Orthoimagerie en couleur du Massachusetts 2013-2014 : USGS, MassGIS, Esri.
116	Changements saisonniers : Earthstar Geographics   Esri, HERE, DeLorme.	140	Global Land Cover Facility : université de Maryland, NASA, GOF-C-GOLD.
116	Moments décisifs de la bataille de Gettysburg : Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, METI/NASA, EPA, USDA.	141	Application polaire Landsat : Earthstar Geographics, Esri, USGS, NASA.
116	Drought Tracker : Esri, HERE, FAO, NOAA   © 2015 National Drought Mitigation Center   © 2013 Esri.	142	Landsat Global Land Survey : Esri, USGS, NASA Landsat.
117	Images de la transformation de Dubaï : Farsi Geotech, HERE, DeLorme, USGS, METI/NASA, NGA.	143	Landsat Global Land Survey : Esri, USGS, NASA Landsat.
117	Mile 216,3, Confluence du fleuve Colorado et de la rivière Green, vue en amont de la rivière à droite (repère 2429), 31 mai 1889. Photo prise par Franklin A. Nims, 57RS35, reproduite avec la permission de The National Archives.	144	Donner vie à la science, Dr. Kathryn Sullivan (vidéo) : Esri.
117	Mile 216,3, Confluence du Fleuve Colorado et de la rivière Green, vue en amont de la rivière à droite (repère 2429), 24 mars 1997 : photo prise par Robert H. Webb, reproduite avec la permission de l'USGS.	144	Photo de NOAA.
118	Ouragan Katrina : NOAA (vidéo).	147	Données Lidar brutes : OpenTopography comme sous-ensemble du jeu de données du comté de Sonoma.
118	Copie d'un prélèvement de l'humidité du sol par GLDAS : Esri, Earthstar Geographics, NASA.	147	Data Lidar en couleur classées : OpenTopography comme sous-ensemble du jeu de données du comté de Sonoma.
118	Katrinahd1080.mp4 : NOAA.	147	Affectation de valeurs RVB aux points Lidar : OpenTopography comme sous-ensemble du jeu de données du comté de Sonoma.
119	Les activités humaines remodelent la surface de la Terre : fond de carte Imagerie mondiale d'Esri, image Landsat 1990.	147	Complément FMV (Full Motion Video) : Esri.
119	Loupe sur le passé : USDA FSA, Microsoft   Collection de cartes historiques de David Rumsey.	149	Télécharger des images à partir d'une base de données en ligne : Esri, USGS, NASA Landsat.
122	Collection de cartes historiques de David Rumsey : www.davidrumsey.com.	153	Hub de LA : plan : Esri.
122	Afrique 1787 : Collection de cartes historiques de David Rumsey.	153	Site Web National Map : gouvernement australien.
122	Cartes historiques de Pittsburgh : université de Pittsburgh.	155	Berlin DOP20 : Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, AeroGRID, IGN, IGP, swisstopo   Geoportal Berlin, DigitalGlobe, Microsoft   iPC.
122	1942 Théâtre de guerre en Europe, en Afrique et en Asie occidentale : Esri, © National Geographic Society.	156	Copie de cartes d'orthomosaïques créées avec Drone2Map et Solo : ville d'Olympia, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, EPA, USDA.
123	Explorateur de cartes topographiques historiques : ville de la Nouvelle-Orléans, Esri, HERE, DeLorme, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS.	157	Couches Landsat : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.
124	Cartes historiques des Pays-Bas : Tijdsreis.	158	Activité GPS 3D : ballade en vélo de 33 km, 1,31 minute : Esri, USDA, FSA, Microsoft.
125	Image d'Oklahoma City et de Moore prises le 22 mai 2013 après la tornade : parcs & faune du Texas, Esri, HERE, DeLorme, Intermap, USGS, NGA, EPA, USDA, NPS   Arpentage de forêts (http://www.btls.us/), Esri, Etat d'Oklahoma.	158	Oculus Rift - premier essai (Esri CityEngine SIGGRAPH 13, Autobrine).
125	Potentiel des feux de forêts aux Etats-Unis : Esri, HERE, DeLorme, FAO, NOAA, USGS, EPA   Source : Fire Modeling Institute (FMI), USDA Forest Service, Esri.	159	Comparaison d'un MNS avec une image d'orthophotographie : Crédits : DigitalGlobe, Microsoft   Salzburger Geographisches Informationssystem (SAGIS).
126	Prévisions de précipitations du service national de météorologie : Esri, HERE, DeLorme, NGA, USGS.	159	Cartes d'orthomosaïques créées avec Drone2Map et 3DR Solo : ville d'Olympia, Bureau of Land Management, Esri, HERE, DeLorme, Increment p, Intermap, USGS, EPA, USDA.
		163	Kathryn Keranen et Lyn Malone : photo reproduite avec la permission de Keranen et Malone.
		164	Drone Solo : 3DR.



Le violet foncé dans la partie inférieure droite se divise en plusieurs canaux avant de se fondre en une multitude de couleurs. Ces canaux sont les vestiges d'un ancien réseau de drainage au Kenya. La beauté des couleurs masque en fait une bien triste réalité pour des centaines de milliers de personnes. Les points sombres au centre et dans la partie supérieure de l'image représentent des camps de réfugiés.



# L'imagerie dans ArcGIS

Nouvelle vue. Nouvelle vision.

Découvrez comment l'imagerie et la télédétection optimisent le SIG moderne. Grâce au Livre d'ArcGIS sur l'imagerie, vous allez retrouver vos manches et rapidement commencer à utiliser l'imagerie de manière plus intelligente et judicieuse avec votre SIG.

Même les géographes « de salon » apprécieront ce livre et son complément électronique accessible ([www.TheArcGISImageryBook.com](http://www.TheArcGISImageryBook.com)) pour le grand nombre d'images magnifiques, inspirantes et parfois troublantes, ainsi que les liens vers des cartes et applications Web reposant sur l'imagerie qui élaborent des récits passionnants sur notre planète et les problèmes que nous rencontrons.

Convient aux personnes expertes en systèmes d'information géographique et à celles qui n'en ont jamais entendu parler.

Interagissez avec ce livre en ligne sur  
[www.thearcgisimagerybook.com](http://www.thearcgisimagerybook.com)



 **esri** PRESS

147951 DUAL20M6/16sp  
Imprimé aux Etats-Unis

Catégorie : système d'information géographique/technologie

