

Exemples d'applications de l'observation de la Terre par satellite pour aider les autorités à exécuter leurs tâches

Analyse des applications en Autriche, en Norvège et en Grande-Bretagne
10 juillet 2017



Mosaïque d'images satellitaires de la Suisse reposant sur les données modifiées d'un satellite Sentinel du programme Copernicus (2016), traitées par la société GeoVille - © ASE

Mandant :

Office fédéral de l'environnement (OFEV), Section Observation de l'environnement, CH-3003 Berne
L'OFEV constitue un service du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Mandataire :

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Téléphone +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Auteurs :

Tamara Dousse
Christina Dübendorfer
Ivo Leiss
Risch Tratschin

Suivi de l'OFEV : Markus Wüest, chef de la section
Observation de l'environnement

Remarque : cette étude / ce rapport a été rédigé/e sur mandat de l'Office de l'environnement (OFEV). Seul le mandataire est responsable du contenu.

Table des matières

1.	Introduction	7
1.2	Situation initiale	7
1.3	Objectifs de l'analyse	7
1.4	Procédure et documentation	7

2.	Recours à l'observation de la Terre par satellite	9
2.1	Autriche	9
2.1.1	Aperçu	9
2.1.2	Application 1 : Land Information System Austria (LISA)	10
2.2	Norvège	16
2.2.1	Aperçu	16
2.2.2	Application 1 : surveillance et détection précoce de dangers naturels	19
2.2.3	Application 2 : surveillance des modifications des glaciers	24
2.3	Grande-Bretagne	27
2.3.1	Aperçu	27
2.3.2	Application 1 : cartographie des plantes cultivées (Crop Map)	30
2.3.3	Application 2 : inventaire national des forêts (National Forest Inventory)	35
2.4	Synthèse	41

3.	Structuration de l'analyse	44
3.1	Positionnement de la Suisse	44
3.2	Potentiel des applications pour la Suisse	46
3.3	Recommandations	49

Annexe

A1 Modèle de structuration des exemples d'application

A2 Aperçu des partenaires

Abréviations et termes techniques

AEE	Agence européenne pour l'environnement
ASAP	Austrian Space Applications Programme (programme autrichien pour les applications spatiales)
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Bureau fédéral de la métrologie et de la topographie), Autriche
bmvit	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Ministère fédéral des transports, de l'innovation et de la technologie) en Autriche
CORINE	Coordination of Information on the Environment (coordination de l'information sur l'environnement)
Defra	Department for Environment, Food & Rural Affairs (Ministère de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales), Grande-Bretagne
DEM = MNA	Digital elevation model (modèle numérique d'altitude)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt (Centre allemand pour l'aéronautique et l'aérospatiale)
EA	Environmental Agency (agence de l'environnement), Grande-Bretagne
EAGLE	Groupe d'experts techniques, chargé de la couverture du sol de l'institution de référence nationale des États membres de l'UE incluant la Suisse (WSL) ¹⁾
EODIP	Earth Observation Data Integration Pilot (modèle d'intégration de données d'observation de la Terre), Grande-Bretagne
fr.	franc suisse
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques)
EUR	Euro
EUROSTAT	Office statistique de l'Union européenne
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (Société autrichienne de soutien à la recherche)
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems (Réseau mondial des systèmes d'observation de la Terre)
GMES	Global Monitoring for Environment and Security (surveillance mondiale de l'environnement et de la sécurité)

1) <http://land.copernicus.eu/eagle/general-information> [03.03.2017]

InSAR	Interferometric Satellite Aperture Radar (radar satellitaire à synthèse d'ouverture interférométrique)
JNCC	Joint Nature Conservation Centre (commission mixte pour la sauvegarde de la nature), Grande-Bretagne
LiDAR	Light Detection and Ranging (détection et localisation par la lumière)
LISA	Land Information System Austria (système d'information sur le territoire autrichien)
LMCS	Land Monitoring Core Service (Service central de surveillance du territoire) du GMES
LPIS	Land Parcel Information System (système d'identification des parcelles terrestres), Grande-Bretagne
NFC	National Forestry Commission (Commission nationale des forêts), Grande-Bretagne
NFI	National Forestry Inventory (inventaire forestier national), Grande-Bretagne
NGU	Norwegian Geological Survey (Commission géologique de Norvège, siège à Trondheim)
Norut	Northern Research Institute (Institut de recherche nordique, Norvège)
NPI	Norwegian Polar Institute (Institut polaire norvégien)
NPOC	National Point of Contact (point de contact national), Suisse
NSC	Norwegian Space Center (Centre spatial norvégien)
NVE	Norwegian Water Resource and Energy Directorate (Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie)
OGD	Open Government Data (données gouvernementales ouvertes)
ÖREK	Österreichische Raumordnungskonferenz (Conférence autrichienne sur l'aménagement du territoire)
PPP	Public Private Partnership (partenariat public-privé)
RPA	Rural Payment Agency (agence de paiement pour le développement rural), Grande-Bretagne
SAR	Synthetic Aperture Radar (radar à synthèse d'ouverture)
SPOT	Satellite pour l'Observation de la Terre
TOPS	Terrain Observation by Progressive Scan (observation du terrain par balayage progressif)
UE	Union européenne
UiO	Université d'Oslo

WSL Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und
Landschaft (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la
neige et le paysage), Suisse

1. Introduction

1.2 Situation initiale

C'est à partir du début de 2014 que l'Union européenne (UE) a mis en service un système destiné à l'observation de la Terre sous l'appellation « Copernicus ». En tant que pays non-membre de l'UE, la Suisse n'a pas participé jusqu'à présent au programme Copernicus. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a pris l'initiative d'examiner l'intérêt de la Suisse à prendre part au programme Copernicus.

Une éventuelle participation de la Suisse permettrait aux autorités, à l'économie et à la recherche en Suisse d'avoir pleinement accès aux données et aux services Copernicus. De nouvelles possibilités s'ouvriraient ainsi. Afin de pouvoir mieux apprécier les avantages d'une adhésion au programme Copernicus pour mener à bien les activités et les tâches des autorités, les expériences d'autres pays doivent être recueillies et analysées.

Dans ce contexte, l'OFEV a chargé l'EBP de dresser l'aperçu des possibilités d'application disponibles et planifiées de l'observation de la Terre par satellite s'offrant aux autorités dans des pays européens sélectionnés sur la base des fondements existants.

1.3 Objectifs de l'analyse

Le but vise à analyser les applications existantes et envisagées de l'observation de la Terre à partir d'un satellite, notamment sur la base des données ou des services Copernicus dans différents pays européens. Les pays considérés sont l'Autriche, la Grande-Bretagne et la Norvège. L'analyse doit fournir une vue d'ensemble de la pratique dans ces pays et aborder en profondeur des possibilités d'application mises en œuvre au cas par cas ou planifiées. En outre, le potentiel de ces applications doit être évalué pour la Suisse.

1.4 Procédure et documentation

L'analyse repose sur les principes suivants :

- Entretiens menés spécialement avec des organismes et des acteurs impliqués en décembre 2016
- Matériel mis à disposition par les partenaires interrogés
- Informations accessibles au public sur Internet

Le fil conducteur de l'entretien figure dans l'annexe A1, les partenaires de l'entretien et leurs organisations étant présentés dans l'annexe A2. L'analyse explore les aspects suivants :

- Tour d'horizon des applications planifiées et existantes de l'observation de la Terre assistée par satellite, telles qu'elles sont exploitées par les services publics dans les trois pays

- Présentation de cas d'application isolés dans les trois pays, ainsi que de la capacité fonctionnelle et des produits, de la genèse et des premières expériences acquises avec l'application
- Positionnement approximatif de la Suisse en comparaison avec les trois pays analysés s'agissant de l'application concrète de l'observation de la Terre assistée par satellite et évaluation du potentiel des applications pour la Suisse

2. Recours à l'observation de la Terre par satellite

2.1 Autriche

2.1.1 Aperçu

Selon les déclarations des partenaires interrogés, la plupart des innovations techniques en matière d'observation de la Terre se déroulent dans le cadre de projets de recherche en Autriche. Ces derniers sont encouragés par le programme autrichien pour les applications spatiales ASAP (Austrian Space Applications Programme) ou par le 7^e programme-cadre de l'UE. Le programme spatial ASAP est exploité par la Société autrichienne de soutien à la recherche (FFG).

Les partenaires interrogés ne connaissent aucun service opérationnel ou quasi opérationnel (planifié) relevant des autorités autrichiennes, qui fait appel à la télédétection par satellite.

Des applications satellitaires sont développées et mises en œuvre dans le cadre de projets pilotes et de recherche orientés vers les applications dans les domaines thématiques suivants :

1. **Utilisation du sol et aménagement du territoire** : une équipe placée sous la responsabilité de la société GeoVille (www.geoville.com) a mis au point un modèle de données sous le nom « Land Information System Austria » (LISA – système d'information sur le territoire autrichien) sur mandat de l'Office de l'environnement. Des services de cartographie sont mis en place sur cette base afin d'analyser et de représenter tant l'état que la modification de l'utilisation du sol et de la couverture du sol en Autriche.
2. **Hydrologie dans l'arc alpin** : des applications visant à mesurer la couverture neigeuse et à prévoir les capacités de rétention d'eau dans l'espace alpin ont été réalisées sous la direction de la société Enveo (www.enveo.at). Le groupe cible est formé notamment par les exploitants de centrales hydrauliques. Les organes responsables relevant des autorités sont les services hydrographiques des Länder (régions).
3. **Gestion des forêts et irrigation des terres agricoles** : menés à l'Institut de mensuration, de télédétection et d'information terrestre de l'Université d'agronomie de Vienne et financés par l'ASAP, des projets de recherche (EO4Water, EO4Forest) s'attachent à mesurer la biomasse, à détecter les dommages dans les forêts et les régions agricoles ou à modéliser les besoins en eau d'irrigation à l'aide de l'humidité du sol mesurée.
4. **Gestion des catastrophes** : le Ministère de l'Intérieur (BMI), concrètement le centre fédéral d'alerte, a besoin de disposer d'une vue d'ensemble spatiale dans le cas d'événements présentant une zone sinistrée étendue ou des mouvements de fuite. Les services et les images satellitaires Copernicus complètent précieusement les autres systèmes de saisie de données, p. ex. au moyen de drones.

La majorité de ces applications ne se situent pas dans le cadre des activités exécutées par les autorités. L'exemple de l'application la plus évoluée tant sur le plan opérationnel que technique est le système LISA, mis en lumière plus en détail ci-après.

2.1.2 Application 1 : Land Information System Austria (LISA)

Arrière-plan et facteur déclencheur

L'Office fédéral de l'environnement ainsi que les offices de l'aménagement du territoire des neuf Länder ont évalué les services Copernicus existants pour recueillir des informations terrestres comme CORINE Land Cover, Urban Atlas, Natura 2000 et ils ont considéré qu'ils n'étaient pas optimaux. Les déficits de ces services tiennent à l'échelle trop approximative, à la collecte de classes incorrectes, à l'absence de normalisation internationale ou au manque d'actualité.²⁾

Description

Le système LISA a pour objectif de fournir des informations géographiques actuelles et détaillées sur l'état et l'évolution de la couverture du sol et de l'utilisation du sol en Autriche à l'administration publique et au secteur privé. Les déficits des enquêtes existantes doivent être ainsi comblés. LISA constitue donc la principale contribution de l'Autriche au système de surveillance satellitaire du territoire (Land Monitoring Core Service, LMCS) de l'UE.

En outre, LISA répond au besoin d'information de divers domaines spécialisés tels que l'aménagement du territoire, l'agriculture, la sylviculture et la gestion des eaux, la gestion des risques naturels ainsi que la protection de l'environnement et de la nature. Le système comporte les produits et prestations de service figurant ci-après, présentés sur la Figure 1.³⁾

- **Couverture du sol** : enregistrement harmonisé de la couverture du sol à partir de données satellitaires ; orthophotographies réalisées à partir d'un avion ; données altimétriques découlant de données recueillies par balayage laser et/ou de photographies aériennes. Tous les trois ans, l'actualisation des données s'effectue au moyen du programme BEV parallèlement à l'établissement des orthophotos.
- **Utilisation du sol** : cartographie de l'utilisation du sol à l'aide d'une combinaison de données satellitaires et d'orthophotos prises à partir d'un avion avec des géodonnées spécialisées de l'administration publique. Le cycle d'actualisation n'est pas encore défini.

2) GeoVille (2012) : Land Information System Austria. Surveillance normalisée de l'utilisation du sol et de la couverture du sol en Autriche. LISA, Innsbruck. Disponible sur le site : http://www.landinformationssystem.at/Portals/0/Dokumente/LISA_Brochure_de_2012_en_version_longue_comprimée.pdf [03.03.2017]

3) <http://www.landinformationssystem.at/de-at/kartierungsdienste/allgemein.aspx> [03.03.2017]

- **Modification du sol** : enregistrement automatisé des modifications de la couverture du sol.
- **Généralisation** : méthodes d'agrégation de la couverture du sol / l'utilisation du sol LISA en vue d'applications au niveau de l'UE (p. ex. CORINE).

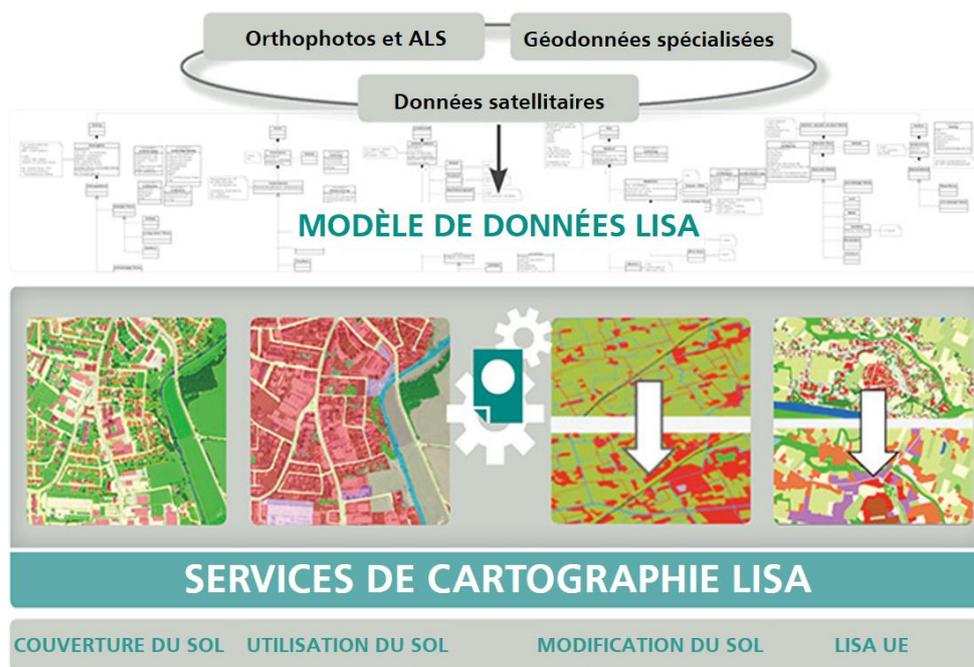


Figure 1 : Les services de cartographie LISA sont constitués sur la base du modèle de données LISA au moyen de chaînes de processus servant à l'analyse automatisée des orthophotos et des données issues d'images satellitaires⁴⁾

Les catégories d'utilisation du sol et de couverture du sol du modèle des données suivent une approche orientée objet. Les objets ne sont plus alors attribués à une seule catégorie dans une nomenclature hiérarchique mais décrits par de multiples attributs. Le projet LISA est ainsi compatible avec les normes régionales et européennes majeures.

Le système LISA se caractérise par⁵⁾ :

- Nombre élevé de catégories thématiques : treize catégories de couverture du sol et 23 catégories d'utilisation du sol
- Large éventail d'attributs d'objet : douze attributs de couverture du sol et 72 attributs d'utilisation du sol

4) GeoVille (2012) : Land Information System Austria. Surveillance normalisée de l'utilisation du sol et de la couverture territoriale en Autriche. LISA, Innsbruck. Disponible sur le site : http://www.landinformationssystem.at/Portals/0/Dokumente/LISA_Brochure_de_2012_en_version_longue_comprimée.pdf [03.03.2017]

5) GeoVille (2012) : Land Information System Austria. Surveillance normalisée de l'utilisation du sol et de la couverture territoriale en Autriche. LISA, Innsbruck. Disponible sur le site : http://www.landinformationssystem.at/Portals/0/Dokumente/LISA_Brochure_de_2012_en_version_longue_comprimée.pdf [03.03.2017]

- Approche de cartographie à deux niveaux : couverture du sol et utilisation du sol
- Haute précision thématique (ou sémantique) des résultats

Les données de couverture du sol sont déduites directement des prises de vues en missions optiques, tandis que les catégories d'utilisation du sol sont établies en s'y référant et à l'aide de géodonnées spécialisées (cf. Figure 2).

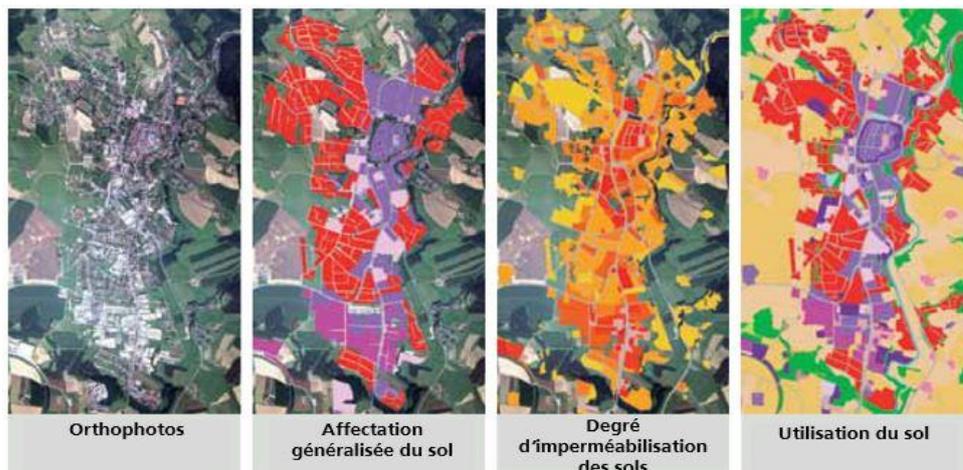


Figure 2 : Élaboration d'une carte d'utilisation du sol (à droite) reposant sur les données d'observation de la Terre et les données géographiques spécialisées. Les orthophotos peuvent aussi être remplacées par des données satellitaires optiques.

Au cours de la seconde phase du projet (cf. le chapitre

Organisation et processus de développement ci-dessous), des services opérationnels ont été soumis à la réflexion et planifiés dans les domaines d'application suivants :

- L'aménagement du territoire, en particulier l'établissement du bilan des terrains à bâtir. L'actualisation obéit aux lois sur l'aménagement du territoire des Länder, lesquelles préconisent un cycle de deux à trois ans.⁶⁾
- La planification de l'infrastructure, notamment l'examen de la fonctionnalité de l'infrastructure et des bâtiments s'accompagnant d'une actualisation permanente.
- La protection contre les dangers naturels, en particulier l'identification de zones dangereuses (crues, glissements de terrain) et les infrastructures dans ces zones de danger.
- La protection de la nature comme p. ex. la saisie d'éléments marquants du paysage, associée à une actualisation annuelle.
- La sylviculture, notamment la déduction des indicateurs forestiers servant à l'inventaire forestier avec un inventaire répété tous les six ans.

6) cf. aussi <http://www.oerok-atlas.at/#indicator/70>

Mais aucune autre application LISA de ce genre n'est disponible à ce jour sur le plan opérationnel (situation en décembre 2016).

Organisation et processus de développement

Conçu comme un processus en plusieurs étapes, le projet LISA a été mis au point dans le cadre de deux phases de projet entre 2009 et 2012.

— LISA-1 : phase de développement (mai 2009 – 2010)

— LISA-2 : phase d'achèvement (novembre 2010 – juin 2012)

Le projet a été financé par le Ministère fédéral des transports, de l'innovation et de la technologie (bmvit) et par le programme autrichien pour les applications spatiales (ASAP) de la Société autrichienne de soutien à la recherche (FFG). Les offices fédéraux compétents (Ministère fédéral de l'agriculture et de la sylviculture, de l'environnement et la gestion des ressources en eau, l'office fédéral de l'environnement), la société Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH et les représentants des différents Länder ont été impliqués dans l'élaboration du projet.

Le modèle de données LISA a été mis au point au cours d'un processus itératif. Le point de départ a été constitué par les expériences tirées des projets GMES internationaux (service central de surveillance du territoire), nationaux (p. ex. Allemagne DE-Cover phase 2, Espagne SIOSE⁷⁾) et de projets régionaux (p. ex. cartographies de la couverture du sol des Länder) ainsi que les réactions émanant des Länder à l'occasion d'un atelier de deux jours avec des utilisateurs (Salzbourg, septembre 2009).⁸⁾

De premières analyses couvrant quasiment l'ensemble du territoire et reposant sur la méthodologie LISA ont été exécutées dans l'espace habitable permanent des Länder de Salzbourg et du Tyrol jusqu'en 2012 et cofinancées par ces Länder.⁹⁾ En outre, le modèle de données et les résultats de la cartographie ont été contrôlés par un comité consultatif, scientifique et technique (Institut autrichien de technologie de l'Université d'agronomie de Vienne et de l'Université technique de Vienne). La société GeoVille d'Innsbruck a assuré la coordination du projet.

La constitution de services administratifs opérationnels, fondés sur le modèle de données LISA n'a pas été accomplie jusqu'à aujourd'hui (situation en décembre 2016). Par contre, le projet de recherche « CadasterENV Austria » financé par l'ASE se déroule sous la direction de

7) Le « Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España » (SIOSE) étant opérationnel depuis déjà plusieurs années, un échange d'expériences a eu lieu dans la phase de développement du système LISA. (Informations consultables en espagnol sur le site : <http://www.siose.es/web/guest/aplicaciones> [03.03.2017].)

8) Grillmayer, R. et al. (2010) : Land Information System Austria (LISA) : modèle de données orienté objet servant à représenter la couverture territoriale et l'utilisation du sol.

9) GeoVille (2012) : Land Information System Austria. Surveillance normalisée de l'utilisation du sol et de la couverture territoriale en Autriche. LISA, Innsbruck. Disponible sur le site : http://www.landinformationssystem.at/Portals/0/Dokumente/LISA_Broschuere_2012_Langversion_komprimiert.pdf [03.03.2017].

GeoVille depuis 2012 et a pour objectif de faire évoluer les possibilités d'application LISA. Le projet est divisé en deux phases :

- 2012 - 2015 : intégration d'images des satellites Pléiades de missions optiques de haute résolution (résolution spatiale de 50 cm) assurant la couverture du sol, le développement d'une méthodologie pour cartographier des zones comparativement plus grandes (analyse de points chauds « hot spot »)
- 2015 – 2017 : intégration des données de la mission Sentinel-2 dans le système LISA

En plus de l'achèvement de la cartographie de la couverture du sol, des types de modification temporels¹⁰⁾ doivent être également saisis dans le projet en cours :

- Modifications à long terme (p. ex. des routes et des bâtiments de construction récente)
- Modifications saisonnières (p. ex. agriculture : assolement ou rotation des cultures, stades de fauche)
- Modifications continues (p. ex. croissance des forêts, état des écosystèmes)

Évaluation et conclusions

Les expériences acquises à l'issue du processus de développement actuel et le succès du projet ont été résumés par les partenaires interrogés¹¹⁾ de la manière suivante :

- La disponibilité des données est satisfaisante et ne constitue aucun facteur limitatif.
- L'esprit de coopération des acteurs est encourageant. L'entente avec les représentants des Länder est ainsi louée dans le cadre du partenariat de l'ÖREK¹²⁾.
- Pour intégrer le système LISA dans des services opérationnels incluant le financement correspondant, des prescriptions réglementaires (normes appelées ÖNORM¹³⁾) ou des engagements politico-stratégiques

10) Banko, G. et al. (2016) : LISA 4D – Intégration d'informations temporelles provenant des données de la mission Sentinel-2 dans le système d'information sur le territoire autrichien. Disponible sur le site : http://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/AGIT_2016/537622015.pdf [03.03.2017].

11) Reposant sur l'entretien mené avec Thomas Geist de la FFG, le 8.11.2016 (cf. annexe A2).

12) Cf. à ce sujet les informations de la Conférence autrichienne sur l'aménagement du territoire, relatives au partenariat ÖREK de surveillance et de gestion du territoire. Source : <http://www.oerok.gv.at/raum-region/oesterreichisches-raumentwicklungskonzept/oerek-2011/oerek-partnerschaften/abgeschlossene-partnerschaften/flaechenmonitoring.html> [03.03.2017]

13) L'élaboration d'une norme ÖNORM ou d'une réglementation ÖNORM a été recherchée dès 2012. Celle-ci met à disposition les spécifications détaillées du produit. Source : GeoVille (2012) : Land Information System Austria. Surveillance normalisée de la couverture territoriale et de l'utilisation du sol en Autriche. LISA, Innsbruck. Disponible sur le site :

(problématique de l'œuf et de la poule) en facilitant l'instauration font défaut à l'heure actuelle. Il semble en ce moment que l'application et la réglementation vont de pair et que l'introduction d'applications satellitaires paraît donc réaliste à moyen terme. Il faudrait néanmoins un acteur donnant la première impulsion (« *First-Mover* »).

- De l'avis de la FFG, le caractère novateur du processus en tant qu'élément constitutif majeur dans le système d'innovation n'est pas encore assez prononcé, c'est-à-dire que le passage de l'innovation technique à l'innovation de processus (pour intégrer la technologie et la méthodologie dans l'environnement opérationnel) est encore trop peu soutenu.

Pour assurer la délégation extensive du système LISA, sa continuation et son achèvement réussi, Grillmayer et al.¹⁴⁾ évoquent les points critiques suivants :

- L'abaissement des coûts de production au moyen de l'élévation du degré d'automatisation p. ex. à l'aide d'autres données de télédétection (LiDAR), surtout lors de l'élaboration de la couverture du sol.
- La formulation exacte de la réglementation applicable aux catégories d'utilisation du sol ainsi que sa transposition si possible automatisée dans les services de cartographie.

http://www.landinformationssystem.at/Portals/0/Dokumente/LISA_Broschuere_2012_Langversion_komprimiert.pdf [03.03.2017].

14) Grillmayer, R. et al. (2010) : Land Information System Austria (LISA) : modèle de données orienté objet servant à représenter la couverture territoriale et l'utilisation du sol.

2.2 Norvège

2.2.1 Aperçu

En plus des données optiques utilisées (provenant des missions Landsat) depuis les années 1970, la Norvège a établi d'importantes applications opérationnelles à l'aide de données de satellites radars et elle a investi, notamment au cours des dernières années, dans la mise en place d'applications dotées de la technologie InSAR (radar à synthèse d'ouverture interférométrique) (cf. l'encadré d'information « La Norvège et la technologie InSAR »). Outre les données satellitaires optiques, de plus en plus de données de satellites radars sont employées de nos jours dans le cadre des services opérationnels, dispensés par les autorités.

Encadré d'information « La Norvège et la technologie InSAR »

Depuis les années 1980, la Norvège a accompli un travail de pionnier dans le domaine des satellites radars (radar à synthèse d'ouverture RSO ou SAR en anglais). En raison des mauvaises conditions météorologiques et des hivers longs dans l'Arctique, cette technologie a servi à la navigation, à la surveillance des icebergs ou des banquises flottantes ainsi qu'à la détection des marées noires. Moyennant un accord conclu avec l'agence spatiale canadienne, le Centre spatial norvégien de droit public (NSC) a assuré l'utilisation des données Radarsat¹⁵⁾. En outre, la Norvège exploite un propre nanosatellite AISSAT-1 pour surveiller les zones côtières.

En 2004, une carte du port de Trondheim reposant sur les données d'un satellite radar (Radarsat) a fait apparaître le net affaissement de la zone portuaire remblayée durant la période de 1992 à 2003. Du fait de ces travaux, la Norvège a décidé de promouvoir le savoir-faire dans le domaine de la technologie InSAR.¹⁶⁾ Depuis lors, la Norvège investit dans la recherche et le développement de solutions orientées vers les applications de la technologie InSAR. Au cours du processus décisionnel quant à sa participation au programme Copernicus, la Norvège a établi un rapport détaillé sur les éventuelles applications Copernicus en 2014, axé sur les possibilités d'application de la technologie InSAR¹⁷⁾. En outre, une politique de données gratuites, librement accessibles a été poursuivie (incluant l'infrastructure), et une « équipe de projet InSAR » très spécialisée a été mise sur pied.

15) Données Radarsat-1 recueillies depuis 1995 et Radarsat-2 depuis 2002.

16) Norsk Romsenter (2014) : Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk. Rapport NRS (2014)2. Disponible sur le site : <http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Kartlegging-og-overvaaking-av-skredfare-og-infrastruktur-ved-bruk-av-radarsatellitter-og-InSAR-metodikk>. [03.03.2017].

17) Norsk Romsenter (2014) : Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk. Rapport NRS (2014)2. Disponible sur le site : <http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Kartlegging-og-overvaaking-av-skredfare-og-infrastruktur-ved-bruk-av-radarsatellitter-og-InSAR-metodikk> [03.03.2017].

Si le savoir-faire technique relève des autorités en particulier du service géologique (Norwegian Geological Survey, NGU), la responsabilité d'applications concrètes se situe toutefois dans le domaine de l'environnement, incombant en particulier à la Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (Norwegian Water Resource and Energy Directorate, NVE). Notamment la coopération avec l'Institut de recherche nordique (Norut, faisant partie de l'Université de Tromsø) s'est révélée importante pour le développement technique. La NVE emploie par ailleurs des radars interférométriques terrestres de la société suisse GAMMA Remote Sensing (www.gamma-rs.ch).

Le Tableau 1 donne un aperçu des domaines thématiques, dans lesquels des applications sont planifiées ou bien déjà mises en œuvre et opérationnelles.

Domaine thématique	Application	Niveau de développement
Éboulement, stabilité des pentes	Cartographie des risques et des dangers, détection de nouvelles zones dangereuses. Base de données : données de radar (technologie InSAR) Surveillance de la stabilité des pentes pour protéger des infrastructures (routes, voies ferrées). Base de données : données de radar/technologie InSAR	Opérationnel En combinaison avec des mesures locales, opérationnel
Surveillance d'infrastructures, assurances	Détection de phénomènes de tassement et modifications de terrain dans des zones bâties (analyses avant-après). Base de données : données de radar (technologie InSAR)	Disponible, pas encore opérationnel
Glaciers/avalanches	Surveillance des glaciers (modifications des glaciers et des lacs glaciaires). Base de données : données optiques (Sentinel-2 et Landsat-8) en combinaison avec des mesures locales Détection de cônes d'avalanche pour optimiser les prévisions d'un risque d'avalanche. Base de données : données de radar (Sentinel-1)	En cours de construction Phase de recherche (Norut)
Navigation, transport maritime	Surveillance des plates-formes pétrolières, détection de fuites de pétrole. Base de données : données de radar (technologie InSAR) Surveillance de la pêche : détection de mouvements suspects / d'itinéraires de circulation des bateaux	Tous les deux opérationnels
Forêt	Cartographie des forêts, surveillance de l'état des forêts (gestion forestière en bioéconomie). Base de données : données optiques en combinaison avec des données de radar	Produits intermédiaires existants, disponibles en vue de diverses applications

Domaine thématique	Application	Niveau de développement
Qualité de l'eau	Surveillance de la couverture de glace en hiver et des températures de l'eau en été. Base de données : données de radar et données SST (Sentinel-1 et Sentinel-3) Surveillance de la coloration de l'eau pour détecter la prolifération d'algues. Base de données : altimètre radar (Sentinel-3)	Phase de recherche
Chimie de l'atmosphère, qualité de l'air	Prévision de développement dans la chimie de l'atmosphère. Base de données : Sentinel-3 et -5 Surveillance de polluants atmosphériques (couplage de modèles locaux, régionaux et européens)	« Projets de plan d'action »
Aviation	Observation et prévision de nuages de cendres volcaniques. ¹⁸⁾ Base de données : Sentinel-3 et -5, SEVERI et MODIS	Opérationnel, fondé sur les événements Aéronautique, Avinor et Met Office ¹⁹⁾

Tableau 1 : Aperçu des applications planifiées et opérationnelles en Norvège

Outre la promotion d'applications concrètes, la Norvège a mis en place une plate-forme Sentinel nationale permettant aux utilisateurs nationaux de consulter des données brutes prétraitées ainsi que des jeux de données analysés plus en détail ou des services (<https://satellitdata.no/>). Les données disponibles doivent être nettement étoffées jusqu'en 2017. La plate-forme Sentinel est exploitée par le Centre spatial norvégien (NSC) et par l'Institut météorologique norvégien.

Les deux applications de la technologie InSAR décrites ci-après et illustrées par des exemples ont réussi la transition jusqu'à une utilisation opérationnelle.

18) Lors de l'éruption du volcan Grimsvötn en mai 2011, l'analyse des données satellitaires a permis d'éviter de fermer inutilement les aéroports de Haugesund, de Stravanger et de Kristiansand.

Source : <http://www.nilu.no/Nyhetsarkiv/tabid/74/CategoryId/102/NewsId/267/Gode-askedata-berget-Flytrafikken.aspx> [06.03.2017].

19) Reposant sur l'entretien mené avec D.A. Moldestad, NSC, le 24.11.2016 (cf. annexe A2).

2.2.2 Application 1 : surveillance et détection précoce de dangers naturels

Arrière-plan et facteur déclencheur

Les éboulements et les glissements de terrain peuvent endommager l'infrastructure publique telle que des routes et des voies ferrées, en restreindre l'exploitation ainsi que déclencher des tsunamis dans les fjords. Depuis les années 1990, deux zones de danger sont donc surveillées en permanence à l'aide d'instruments de mesure in situ avec le soutien de la commission NGU.

Le progrès technique a également permis d'intensifier cette surveillance au cours des dix dernières années. De nos jours, sept zones sont constamment observées en Norvège, sachant que les instruments utilisés jusqu'ici ont été complétés par des capteurs plus modernes.

Description

Le principal produit de ces applications est constitué par les cartes d'affaissement du sol, présentant les tassements et les soulèvements du sol à une grande échelle, ainsi que des cartes (indicatives) des dangers (*hazard maps, susceptibility maps*) couvrant les dangers naturels gravitationnels comme une chute de pierres ou un glissement de terrain sur de grandes surfaces. Ces cartes sont dressées à la demande de l'Administration nationale des routes.²⁰⁾

La commission NGU focalise son intérêt sur trois des 19 provinces administratives. Deux personnes sont impliquées au sein de la commission NGU dans le traitement et la préparation des données issues de l'observation de la Terre.

Servant de données d'entrée, les données de radar de la mission Sentinel-1 sont engendrées en continu sur une largeur de 250 kilomètres par le balayage de la surface terrestre au moyen de la technique d'enregistrement « Terrain Observation by Progressive Scan » (TOPS). Une mesure d'altitude est alors effectuée tous les cinq mètres transversalement à la direction du vol, la résolution s'élevant à 20 mètres parallèlement à la direction du vol.

Lors de la mise en œuvre de la technologie InSAR, des interférogrammes visualisent les différences entre deux jeux de données Sentinel-1, enregistrés à partir de positions orbitales, légèrement différentes et à des moments différents. Il se forme une sorte de caméra de radar stéréoscopique.²¹⁾ Les différences relevées lors de l'acquisition des puissances de réception des signaux revenant du terrain permettent de distinguer les déformations du terrain de l'ordre de quelques millimètres.

20) La commission NGU fournit toute une série de cartes, de jeux de données et de services de cartographie Web dûment préparés sur sa plate-forme en ligne. Consulter le site <http://www.ngu.no/en/topic/maps-and-data> [03.03.2017].

21) Pour en avoir une illustration, consulter l'article « Die Topografie der Erde als farbige Muster » (La topographie de la Terre sous la forme d'un modèle en couleurs), publié par l'hebdomadaire Spiegel en ligne, le 30.08.2014 et disponible sur le site : <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/satellitenbild-der-woche-sentinel-1-schafft-interferogram-a-988847.html> [03.03.2017].

La Figure 3 et la Figure 4 montrent les images visualisées correspondantes. Les points représentés matérialisent les différences de distance de chaque point d'objet par rapport aux positions des deux satellites ; l'ampleur des différences est visualisée par la couleur. Un cycle de couleur équivaut alors à une variation de la différence de distance d'une demi-longueur d'onde, soit 2.8 centimètres²²⁾.

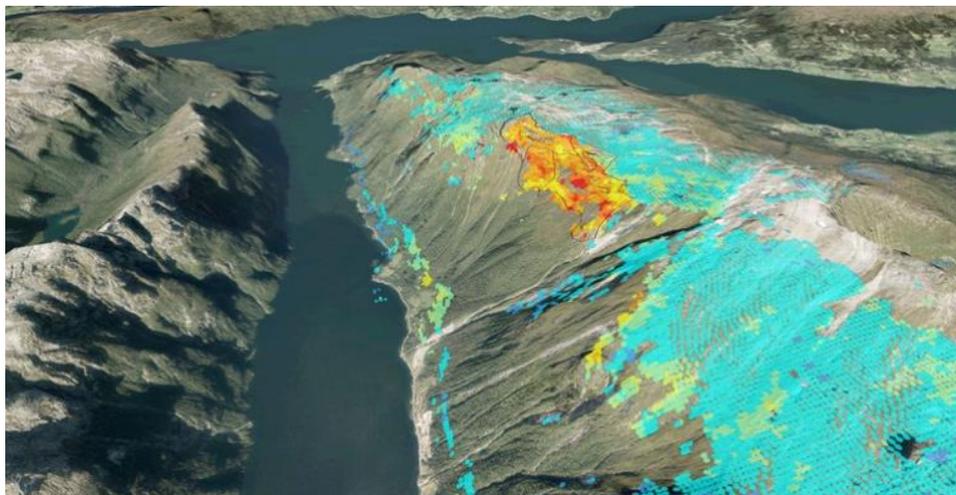


Figure 3 : Les données recueillies lors des missions Sentinel-1 et TerraSAR-X ont permis de déceler une grande paroi rocheuse instable dans le fjord à Hyen. Les points bleus clairs révèlent un mouvement faible à nul, tandis que les points jaunes et rouges indiquent un déplacement pouvant atteindre cinq millimètres par an²³⁾.

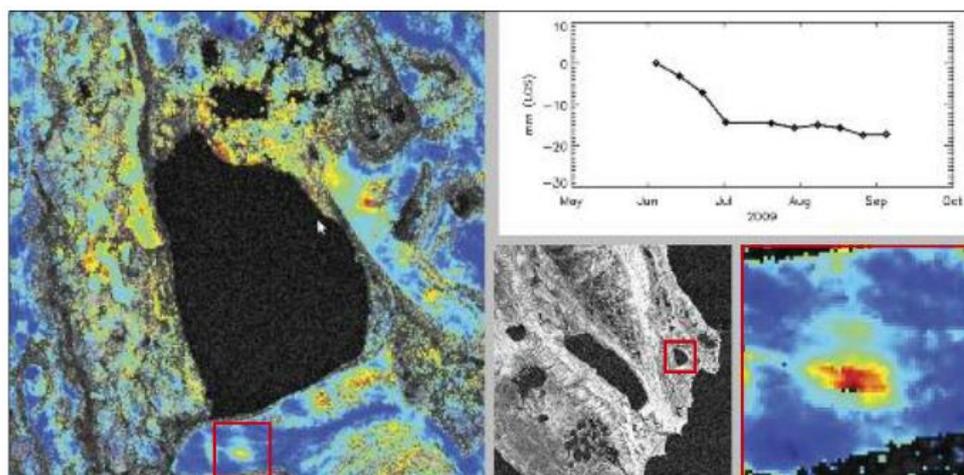


Figure 4 : Carte de l'affaissement du sol dans le pergélisol sur l'archipel du Svalbard. Au milieu : image radar offrant une vue d'ensemble de l'archipel du Svalbard. À gauche : fragment d'image agrandi. En bas à droite : carte d'analyse interférométrique : les teintes rouges signalent des

22) Article du Spiegel en ligne, « La topographie de la Terre sous la forme d'un modèle en couleurs » (La topographie de la Terre sous la forme d'un modèle en couleurs), paru le 30.08.2014 et disponible sur le site : <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/satellitenbild-der-woche-sentinal-1-schafft-interferogram-a-988847.html> [03.03.2017].

23) Source : <https://www.ngu.no/en/topic/insar> [03.03.2017].

zones présentant un affaissement de sol élevé, les teintes bleues repérant par contre des zones stables²⁴⁾.

Le lancement de la mission Sentinel-1b a eu pour effet de réduire le taux de répétition de ces relevés de douze à six jours, ce qui traduit une amélioration notable de la surveillance des phénomènes environnementaux spatiaux. En outre, des anomalies constatées lors de l'évaluation de la cohérence des données d'images ont pu être résolues²⁵⁾. Les points de mesure de référence s'avèrent particulièrement intéressants, car ils permettent aux analystes de détecter l'état de la surface avant un événement et ses impacts directs.

Il y a déjà des réflexions et des activités visant à étendre les applications InSAR existantes, p. ex. pour surveiller les modifications du pergélisol, ce qui doit permettre au final de diagnostiquer précocement les effets négatifs exercés sur l'infrastructure (p. ex. les ponts) (situation en 2014).²⁶⁾

D'ici 2018, la Norvège aspire à fournir à l'échelon national des cartes d'affaissement du sol présentant jusqu'à 500 millions de points InSAR (cf. Figure 4 et Figure 5)²⁷⁾. Chaque point individuel renseigne sur le degré de la déformation. L'outil de traitement et de visualisation est mis au point actuellement par l'équipe norvégienne InSAR (la commission NGU, les laboratoires de traitement des observations planétaires PPO.labs et l'Institut de recherche nordique (Norut)), les données de la mission Sentinel-1 étant utilisées en l'occurrence.

24) Norsk Romsenter (2014) : Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk. Rapport NRS (2014)2. Disponible sur le site : <http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Kartlegging-og-overvaaking-av-skredfare-og-infrastruktur-ved-bruk-av-radarsatellitter-og-InSAR-metodikk>. [03.03.2017].

25) Wegmueller, U. et al. (2015) : On the Estimation and Interpretation of Sentinel-1 TOPS InSAR Coherence. Proceedings Fringe 2015 Workshop, Frascati Italy. Disponible sur le site : <http://proceedings.esa.int/files/89.pdf> [03.03.2017].

26) Projet « PERMASAT – Satellites servant à mettre en évidence les modifications du paysage de pergélisol dans les régions arctiques » (cf. à ce sujet : Norsk Romsenter (2014) : Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk. Rapport NRS (2014)2. Disponible sur le site : <http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Kartlegging-og-overvaaking-av-skredfare-og-infrastruktur-ved-bruk-av-radarsatellitter-og-InSAR-metodikk>. [03.03.2017]).

27) Reposant sur l'entretien mené avec John Dehls de la commission NGU, le 19.12.2016 (cf. annexe A2).



Figure 5 : Carte de l'affaissement du sol de la gare centrale d'Oslo. Les prises de vues réalisées lors de la mission Sentinel-1, le 26.12.2014 et le 28.10.2016, visualisent un affaissement annuel de la gare centrale variant de 12 à 18 millimètres.²⁸⁾

Organisation et processus de développement

Depuis 2005, le Centre spatial norvégien (NSC) cofinance le développement et l'application de la méthodologie InSAR. Pour ce faire, la commission NGU coordonne le développement technique. Elle est secondée dans sa tâche par des experts externes comme l'institut Norut ou les laboratoires PPO.labs. La commission NGU compte près de 220 collaborateurs, dont 65 % exercent des activités dans la recherche.²⁹⁾

En sa qualité d'utilisateur final des applications (détection précoce d'éboulements et d'autres dangers menaçant son infrastructure), l'Administration nationale des routes (National Road Administration) a été impliquée très tôt dans la phase de développement, mais elle n'a contribué que marginalement au financement.

Suite à une réorganisation en 2008, la Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (NVE) a assumé la responsabilité politique de la prévention et de la surveillance des glissements de terrain, dévolue initialement aux communes. Dans le même temps, elle a endossé également la responsabilité financière incombant d'abord aux autorités civiles, compétentes en matière de sauvetage et de sécurité (*Defence et Emergency Services*). La commission NGU a conservé son rôle consistant à dispenser des conseils techniques pour cartographier les risques géologiques.

Si le centre NSC subventionne le développement d'autres applications InSAR, aucun autre service opérationnel n'est cependant en service à ce jour (situation en décembre 2016).

28) Source : http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Satellites_confirm_sinking_of_San_Francisco_tower [03.03.2017].

29) Source : <http://www.ngu.no/en/page/about-ngu> [03.03.2017].

Évaluation et conclusions

Lors de la mise au point d'applications visant à détecter précocement et à surveiller les dangers naturels, les connaissances et les facteurs de réussite primordiaux sont :

- Les données de la mission Sentinel-1 se prêtent très bien à la détection continue de zones dangereuses (hot spots) à une grande échelle.
- Les zones de danger identifiées peuvent être analysées ponctuellement avec une meilleure précision à l'aide de données commerciales de haute résolution (p. ex. issues de la mission TerraSAR-X) qu'au moyen de la mission Sentinel-1. Un processus en plusieurs étapes peut être configuré de manière plus économique que des mesures au sol.
- La technologie InSAR fonctionne moins bien dans les zones couvertes de végétation. En outre, la précision de mesure des modifications peut se révéler moins précise sur l'axe est-ouest que sur l'axe nord-sud, ce qui tient aux particularités techniques de la méthodologie InSAR.
- Pour permettre davantage d'applications profitables, fondées sur la technologie InSAR, il est nécessaire d'acquérir constamment des données sur une longue période. Pour couvrir utilement une zone explorée, certaines applications requièrent des séries chronologiques de 20 à 25 images de radar moyennant l'utilisation du même mode d'image et du même angle d'incidence.³⁰⁾
- La technologie TOPS pose de hautes exigences techniques au traitement interférométrique des données que seules quelques équipes de par le monde maîtrisent jusqu'à présent. La société suisse GAMMA Remote Sensing (www.gamma-rs.ch) fait figure de numéro un dans ce domaine.³¹⁾ Il est aussi indispensable d'élargir en conséquence les capacités et les compétences au sein des services de l'administration ou dans les entreprises nationales.
- L'association précoce de l'Administration nationale des routes (National Road Administration) en sa qualité d'utilisateur final des applications était importante pour assurer des résultats axés sur la demande (extrants).

D'une manière générale, les partenaires interrogés estiment que la mise à disposition de prestations de service de base contribue énormément à stimuler d'autres applications. Il faut donc une plate-forme opérationnelle pour commercialiser des prestations de service de base (images, mosaïques, séries chronologiques orthorectifiées, produits de rétrodiffusion), profitables et librement accessibles sans frais à divers groupes d'utilisateurs.

30) Norsk Romsenter (2014) : Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk. Rapport NRS (2014)2. Disponible sur le site : <http://www.romsenter.no/Aktuelt/Publikasjoner/Kartlegging-og-overvaaking-av-skredfare-og-infrastruktur-ved-bruk-av-radarsatellitter-og-InSAR-metodikk>. [03.03.2017].

31) Reposant sur l'entretien mené avec D.A. Moldestad du centre NSC, le 24.11.2016 (cf. annexe A2).

2.2.3 Application 2 : surveillance des modifications des glaciers

Arrière-plan et facteur déclencheur

Les glaciers revêtent une grande importance sur le territoire norvégien pour la production d'énergie hydraulique, la climatologie et le tourisme. Mais ils peuvent aussi déclencher des dangers naturels. L'influence des glaciers sur les réseaux hydrographiques ainsi que sur la production d'énergie hydraulique et son infrastructure nécessite une surveillance continuellement des régions glaciaires.

Depuis le début du 20^e siècle, la surveillance se fait à l'aide de bilans de masse. Les enregistrements les plus anciens de la Norvège, consacrés à la superficie et au volume des glaciers, remontent à 1962.³²⁾ Depuis les années 1970, la NVE utilise des données satellitaires optiques, ce qui a considérablement amélioré la disponibilité des informations. Les mesures locales n'ont pas été remplacées pour autant, mais elles continuent de servir précieusement au calibrage.

Les nouvelles possibilités de la technologie radar ainsi que la meilleure précision de prévision, la fréquence des relevés, la libre disponibilité et la couverture sur une grande surface au moyen de données optiques et de données de radar du programme Copernicus constituent les facteurs déclencheurs du développement actuel des services de surveillance des glaciers.

Description

Les services opérationnels, planifiés pour surveiller les glaciers sous les auspices de la NVE (pour le continent norvégien) ainsi que l'Institut polaire norvégien (NPI) (s'agissant de l'île de Spitzberg et de l'Antarctique norvégien) comprennent cinq produits, devant être mis à disposition à un rythme d'actualisation différent. Ce sont :

- **L'extension des glaciers** : actualisation envisagée tous les cinq à dix ans s'appliquant à tout le pays, fréquence plus élevée du front de vêlage et glaciers évoluant rapidement (cf. l'exemple sur la Figure 6)
- **Type de surface de glacier et ligne de névé** : actualisation une fois par an
- **Vitesse d'écoulement de la glace** : actualisation tous les cinq à dix jours (cf. l'exemple sur la Figure 7), mais en fonction de la couverture nuageuse
- **Crevasses glaciaires et avancée du glacier** : fréquence d'actualisation pas encore définie à ce jour
- **Inventaire et localisation des lacs glaciaires** : actualisation tous les cinq jours, mais en fonction de la couverture nuageuse

32) Reposant sur l'entretien du 21.12.2016 mené avec R. Engeset de la NVE au département de glaciologie (cf. annexe A2). Cf. également : WGMS (2015) : Global Glacier Change Bulletin, N) 1 (2012-2013). Disponible sur le site : http://wgms.ch/downloads/WGMS_GGCB_01.pdf [03.03.2017].

Ces produits font usage des données optiques issues des missions Sentinel-2 et Landsat-8, de divers modèles d'altitude locaux et du modèle national, d'orthophotos ainsi que de mesures sur le terrain dans un cadre restreint. L'ajout de données de radar est encouragé actuellement.

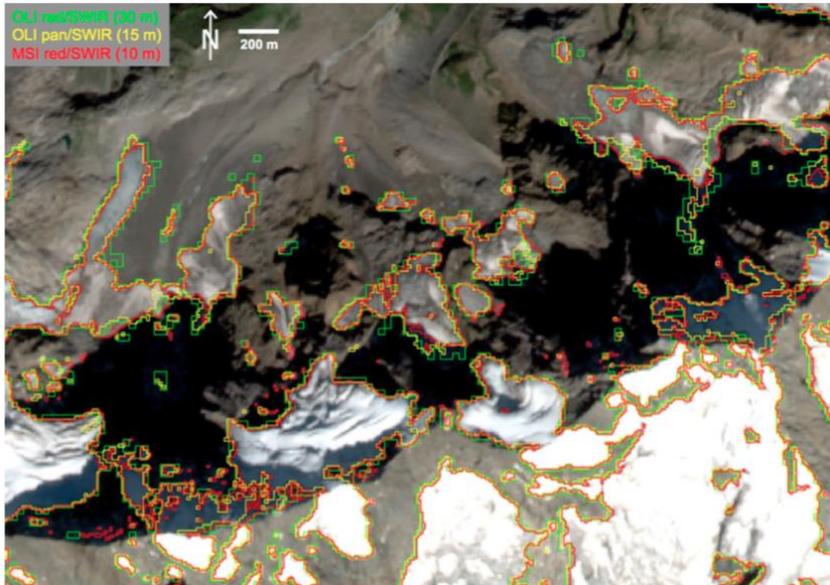


Figure 6 : Données de la mission optique Landsat servant à visualiser l'extension des glaciers³³⁾

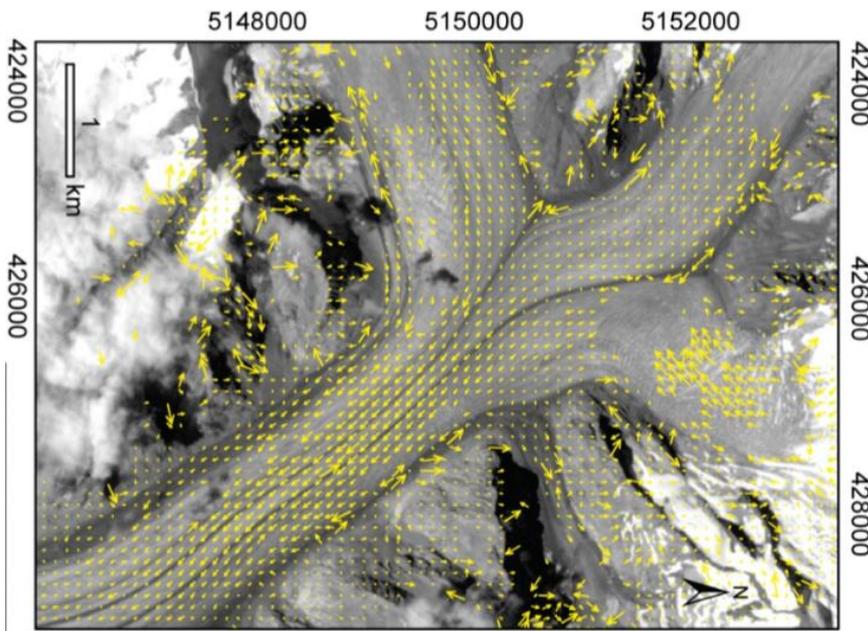


Figure 7 : Image acquise lors de la mission Sentinel-2 servant de base pour mesurer la vitesse d'écoulement de la glace³⁴⁾

33) Paul, F. et al. (2016) : Glacier Remote Sensing Using Sentinel-2. Part II : Mapping Glacier Extents and Surface Facies, and Comparison to Landsat 8. Remote Sens. 2016, 8, 575. Disponible sur le site : https://www.nve.no/Media/4851/2016_paul_Sentinel2_remotesensing-08-00575-v2.pdf [03.03.2017].

34) Kääb, A. et al. (2016) : Glacier Remote Sensing Using Sentinel-2. Part I : Radiometric and Geometric Performance, and Application to Ice Velocity. Remote Sens. 2016, 8, 598.

Les produits élaborés doivent être mis à disposition sous la forme de services de cartographie Web par le portail de données géographiques « Norge Digitalt »³⁵⁾ ainsi que par le portail CryoClim³⁶⁾. En outre, les données sont partagées comme par le passé avec le GLIMS (www.glims.org), un centre international d'archivage de données satellitaires sur les glaciers, et avec l'observatoire mondial des glaciers (www.wgms.ch) de l'Université de Zurich.

Les applications se réfèrent tant à des événements isolés, p. ex. pour analyser les dangers imminents, liés à des lacs glaciaires ou en présence de glaciers menaçant de s'effondrer qu'à des modifications à long terme, p. ex. des études de longue durée pour mettre en évidence le changement climatique. Ce dernier cas représente encore jusqu'à aujourd'hui l'application la plus fréquente.

Les groupes d'utilisateurs sont constitués par les milieux universitaires (étudiants, chercheurs), par les entreprises hydro-électriques, par le bureau météorologique, par la NVE ainsi que par les médias à des fins d'illustration. Les applications destinées aux exploitants d'installations hydro-électriques sont encore très sporadiques. Leurs modèles hydrauliques sont actualisés pour le moment tous les cinq ans, les informations d'une résolution temporelle supérieure n'étant pas exploitées systématiquement.

Organisation et processus de développement

L'autorité publique d'inspection des ressources en eau et de l'énergie (NVE) et l'Institut polaire norvégien (NPI) sont responsables de la surveillance des glaciers en Norvège et sur l'île du Spitzberg (l'archipel du Svalbard). Ils sont aussi chargés de traiter les données.

Depuis 2016, la NVE travaille avec le NPI et l'Université d'Oslo (UiO) sur le projet Copernicus Glacier Monitoring visant à améliorer le suivi des glaciers.³⁷⁾ Réalisable sur trois ans, le projet auquel est alloué un budget de près de 1,1 million CHF est financé pour moitié par le Centre NSC et pour moitié par les trois partenaires du développement (NVE, NPI, UiO). Au total, neuf personnes (trois de la NVE, quatre du NPI, deux de l'UiO) œuvrent à ce projet.

Évaluation et conclusions

Les connaissances les plus importantes découlant de la surveillance des mouvements des glaciers sont :

Disponible sur le site : https://www.nve.no/Media/4852/2016_kaab_sentinel_remotesensing-08-00598.pdf [03.03.2017].

35) Cf. : www.geonorge.no [03.03.2017].

36) Cf. : http://www.cryoclim.net/cryoclim/subsites/data_portal/ [03.03.2017].

37) Site du projet sur Internet : <https://www.nve.no/hydrology/glaciers/copernicus-glacier-service/> [03.03.2017].

- La plus haute résolution spectrale et temporelle de la mission Sentinel-2 offre de nouvelles possibilités lors de l'observation de glaciers assistée par satellite. Pour des raisons liées au système, la couverture nuageuse entraîne l'allongement de l'intervalle entre les relevés. La résolution temporelle supérieure a toutefois pour effet d'atténuer de nouveau cet inconvénient.
- Les données de radar proposaient jadis des séquences de clichés trop brèves dans le même mode de prise de vues, tandis que le traitement des données s'avérait complexe et chronophage. Les deux inconvénients ont pu être réduits au cours des dernières années. Cependant, il est encore possible de nos jours d'améliorer l'automatisation du traitement des données.
- Il faut remédier à la disponibilité lacunaire et à la faible qualité du modèle numérique d'altitude (MNA), notamment au nord de la Norvège, afin que des prestations de service fondamentales utilisables comme des images ou des mosaïques orthorectifiées puissent être dispensées.

Même dans le cas d'application portant sur les modifications des glaciers, la fourniture de prestations de service de base (données brutes prétraitées) est jugée importante (cf. le chapitre 2.2.2).

2.3 Grande-Bretagne

2.3.1 Aperçu

En Grande-Bretagne, dans le passé, des données optiques, en particulier des images aériennes numérisées et à haute résolution et aussi en partie des données de Quickbird et Ikonos ont été utilisées. Cependant, en raison de la couverture nuageuse fréquente sur les îles britanniques, il y avait peu d'enthousiasme pour l'observation de la Terre par satellite..

Cette situation a changé ces dernières années : la résolution spatiale et temporelle supérieure des capteurs ainsi que notamment la mission d'imagerie radar Sentinel-1 permettent de nouvelles applications très prometteuses. Par la suite, l'agence britannique pour la protection de l'environnement, le Department for Environment, Food & Rural Affairs (Defra), a dressé une feuille de route pour recourir à l'observation de la Terre.³⁸⁾ Le développement d'applications opérationnelles est favorisé dans le cadre de cette stratégie d'observation de la Terre assortie d'un plan d'action. Ce dernier est dynamisé par une équipe interdisciplinaire, chargée de l'observation de la Terre (Defra's Earth Observation Centre of Excellence) au sein du Defra.

38) Defra (2015) : Roadmap for the use of Earth Observation across Defra 2015 to 2020. Department for Environment, Food and Rural Affairs. Disponible sur le site : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/488133/defra-earth-obs-roadmap-2015.pdf [03.03.2017].

Earth Observation Data Integration Pilot (EODIP)

Le modèle « Earth Observation Data Integration Pilot » (EODIP) est le premier projet phare de l'Earth Observation Centre of Excellence du Defra et a été lancé en 2015. Le projet doit démontrer l'utilité des données libres et ouvertes, issues de l'observation de la Terre. Des produits et outils de données intégrés sont alors mis au point pour contribuer à la gestion des ressources naturelles et au développement du milieu rural. Ces produits comprennent :

- La carte d'état-major (Ordnance Survey Master Map), Royaume-Uni
- La carte de niveaux intégrée de l'agence de l'environnement (Environment Agency's Integrated Height Map), Angleterre, Pays de Galles
- L'inventaire forestier national de la Commission des forêts (Forestry Commission's National Forest Inventory), Royaume-Uni
- La carte de la couverture du territoire du Centre d'écologie et d'hydrologie (Centre for Ecology and Hydrology's Land Cover Map 2007), Royaume-Uni
- Les cartes vivantes du comté de Norfolk (Livings Maps for Norfolk)
- Les cartes vivantes du comté de Northumberland (Livings Maps for Northumberland)
- Les habitats naturels prioritaires de l'Angleterre (Natural England's Priority Habitats)
- La mission Landsat (7 et 8)
- Les données satellitaires de l'ASE provenant des missions Sentinel-1 et -2 (ESA's satellite data from Sentinels 1 and 2)

Le Ministère (*Department for Environment, Food & Rural Affairs*), la commission mixte pour la sauvegarde de la nature (*Joint Nature Conservation Committee, Natural England*) et l'agence de l'environnement (*Environment Agency*) disposent d'un accès en ligne à cette infrastructure. Les domaines d'application de ces produits et outils de données englobent l'agriculture, la qualité de l'eau, la gestion des crues, les budgets alloués à la limitation des émissions de carbone, la protection de la nature, le paysage et les espaces de délasserment ainsi que la santé des végétaux.

Le Tableau 2 donne un aperçu des domaines thématiques, dans lesquels l'application de l'observation de la Terre par satellite est planifiée ou bien déjà opérationnelle en Grande-Bretagne.

Domaine thématique	Application	Niveau de développement
Agriculture	Cartographie des plantes cultivées (<i>Crop Map</i>) pour surveiller les prétentions à l'obtention de subventions ; inventaire du périmètre et de la superficie des champs, contrôle des plantes cultivées ; Actualisation une fois par an, deux fois au sein du Defra ³⁹ . Base de données : mission Sentinel-1 (mise à disposition par l'agence RPA), limites de champs (numérisées par la société indienne Cyient)	Opérationnel au Defra depuis 2016 (service également mis à la disposition du secteur privé)
Gestion des catastrophes	Cartographie de l'ampleur de l'inondation (fondée sur les événements)	Opérationnel auprès de l'agence de l'environnement ⁴⁰ . Des photographies aériennes sont également analysées.

39) Reposant sur l'entretien mené avec Jon Stiles du Defra, le 02.12.2016 (cf. annexe A2).

40) Source : http://www.eurisy.org/good-practice-cabinet-office--environment-agency-use-of-copernicus-emergency-service-and-charter-in-the-flooding-of-2014_128 [03.03.2017]

Domaine thématique	Application	Niveau de développement
Biodiversité, écologie	Cartographie et surveillance de l'habitat en coopération avec la commission mixte <i>Joint Nature Conservation Centre</i> ⁴¹⁾ . Base de données : données du satellite SPOT.	Opérationnel, applicable à la région du Pays de Galles ⁴²⁾ . Tests avec les missions Sentinel-1 et -2 planifiés à partir d'avril 2017.
Forêt, comptabilisation du carbone	Inventaire des forêts, détection de maladies, pratiqués par la Commission nationale des forêts (<i>National Forestry Commission</i>) Inventaire du peuplement arborescent ou de zones tourbeuses pour évaluer la séquestration du carbone (carbon sequestration), détection des dégâts causés par des tempêtes (fondée sur les événements)	Inventaire des forêts opérationnel, tous les 10 à 15 ans. Tests avec les missions Sentinel-1 et -2 destinés à l'actualisation annuelle
Météorologie	Prévisions météorologiques, pratiquées par le <i>service de météorologie (Met Office) du Royaume-Uni</i>	Opérationnel
Océans	Surveillance des océans	Opérationnel
Qualité de l'eau	Détection de pollutions, notamment de la pollution diffuse des eaux d'origine agricole, coordonnée par l'agence de l'environnement (<i>Environment Agency</i>).	Prototype, dont le perfectionnement est testé dans le cadre d'un projet pilote.

Tableau 2 : Aperçu des applications planifiées et opérationnelles en Grande-Bretagne

Au sein du Defra, environ 20 collaborateurs (sur un effectif total de près de 2000) s'occupent des données relatives à l'observation de la Terre. Ils travaillent dans les organisations rattachées suivantes : ⁴³⁾

- *Rural Payment Agency (RPA)*, agence de paiement pour le développement rural, autorité d'exécution du Defra : de trois à quatre personnes
- *Joint Nature Conservation Centre (JNCC)*, commission mixte pour la sauvegarde de la nature : de deux à trois personnes chargées en particulier de la cartographie des habitats
- *National Forestry Commission (NFC)*, commission nationale des forêts : de une à deux personnes chargées notamment de l'inventaire national des forêts
- *Environment Agency (EA)*, agence de l'environnement : six personnes s'occupant principalement de cartographier l'ampleur des événements de crues

41) Des informations détaillées sont disponibles sur le site : <http://jncc.defra.gov.uk/page-6279> [03.03.2017].

42) Source : <https://www.aber.ac.uk/en/iges/research-groups/acsem/case-studies/phase-1-mapping/> [03.03.2017].

43) Reposant sur l'entretien mené le 02.12.2016 avec Jon Stiles, Defra, et Lawrence Way, JNCC (cf. annexe A2) ainsi que sur la communication électronique du 07.02.2017 avec Alison Matthews, EA.

La plupart de ces collaborateurs ne travaillent pas exclusivement avec des données d'observation de la Terre issues de satellites, mais aussi avec des données LiDAR et des photographies aériennes.⁴⁴⁾ Les relevés fondés sur les événements, p. ex. l'évaluation des dommages causés par des tempêtes, utilisent également des données d'observation de la Terre.

La Grande-Bretagne va probablement mettre en place un service pilote de cartographie sur Internet destiné aux données Sentinel à partir de mars 2017. Présentant une haute précision de positionnement dans l'espace, les images prétraitées des missions Sentinel-1 et -2 y sont mises à disposition entre autres pour comparer des séries chronologiques. Il est prévu que la phase pilote dure une année⁴⁵⁾.

Vu que la Grande-Bretagne exploite les données de la mission Sentinel dans divers domaines sur le plan opérationnel, il va être intéressant de voir comment l'accès aux données peut être assuré après sa sortie de l'Union européenne (Brexit).

Les deux applications présentées ci-après peuvent être considérées comme étant particulièrement bien avancées sur la base des entretiens⁴⁶⁾ ainsi que de l'analyse des études disponibles en regard d'autres applications en Grande-Bretagne.

2.3.2 Application 1 : cartographie des plantes cultivées (*Crop Map*)

Arrière-plan et facteur déclencheur

Depuis 1992, l'Union européenne (UE) promeut l'application de l'observation de la Terre en plus des inspections sur le terrain pour vérifier la légitimité de l'attribution de subventions agricoles.⁴⁷⁾ L'UE exige concrètement des autorités nationales qu'elles procèdent à un contrôle détaillé d'au moins 5 % des demandes de subventions agricoles par an.⁴⁸⁾ L'agence RPA en fournit la preuve en Grande-Bretagne.

L'agence RPA exploite le système d'identification des parcelles terrestre ou Land Parcel Information System (LPIS) pour valider les demandes de subvention. Le système LPIS sert, d'une part, à la *localisation* formelle de toutes les surfaces agricoles éligibles à une aide à l'intérieur des parcelles de référence et, d'autre part, au *calcul* de leur superficie maximale

44) LiDAR est l'acronyme de « Light Detection and Ranging » (détection et localisation par la lumière) désignant une technologie semblable au radar, sachant que des faisceaux laser sont employés (au lieu des ondes radio dans un radar).

45) Reposant sur la communication électronique du 22.12.16 avec Lawrence Way, JNCC.

46) Reposant sur l'entretien mené le 02.12.2016 avec Jon Stiles du Defra et Lawrence Way, JNCC (cf. annexe A2).

47) Environment Systems (2016) : EODIP 7 – Innovative processing to aid RPA remote sensing payment checking. Report prepared for Defra.

48) Source : <http://www.spaceforsmartergovernment.uk/case-study/remote-sensing-applications-consultants-and-airbus-ds-sentinel-1-in-support-of-cap-compliance-checks/> [03.03.2017].

subventionnable. En définitive, le système constitue aussi la base des contrôles accomplis sur place par l'organisme payeur.⁴⁹⁾

Jusqu'en 2015, l'agence RPA a employé à cette fin uniquement des données satellitaires optiques.⁵⁰⁾ L'intérêt était alors centré sur les délimitations des parcelles, mais non sur les objets à l'intérieur des parcelles ou sur les propriétés des cultures.

En 2015, un nouveau système de subvention est entré en vigueur dans le cadre de la politique agricole commune de l'UE, posant de nouvelles exigences à la culture intercalaire (dérobée), à la diversification des cultures produites et à l'établissement de surfaces d'intérêt écologique. L'agence RPA a alors ressenti le besoin de mesurer plus précisément et de classifier les types de cultures.

Description

Plusieurs prises de vues réalisées au cours du cycle de développement (cf. la Figure 8) doivent aussi permettre désormais de déterminer la plante cultivée à l'intérieur d'une parcelle.



Figure 8 : Signal rétrodiffusé d'une plante cultivée sur une image de satellite radar au cours du cycle de développement du blé d'hiver.⁵¹⁾

L'agence RPA espère réduire les coûts induits par les inspections sur le terrain en utilisant les nouvelles données de la mission Sentinel. Dans ce but, le processus existant doit être adapté ponctuellement (cf. Figure 10).

Les données issues de la mission Sentinel-1 (mission d'imagerie radar SAR en bande C) présentant une résolution spatiale de 20 mètres et une

49) Cour des comptes européenne (2016) : le système pour identifier les parcelles agricoles. Rapport spécial n° 25. Union européenne : Luxembourg. Disponible sur le site : <http://www.eu-umweltbuero.at/inhalt/eu-rechnungshof-kritisiert-systeme-zur-kartierung-von-landwirtschaftlichen-flaechen?ref> [03.03.2017].

50) Environment Systems (2016) : EODIP 7 – Innovative processing to aid RPA remote sensing payment checking. Report prepared for Defra.

51) Source : <https://defradigital.blog.gov.uk/2016/05/26/satellite-data-in-defra-collaboration-innovation-and-leading-the-way/>

résolution temporelle de douze jours (de six jours à compter de 2017) en ont constitué le fondement. En complément, les données optiques des satellites Sentinel-2 et WorldView-2 sont utilisées. Les données satellitaires ont été comparées aux données collectées localement sur la croissance de cultures sélectionnées et calibrées au moyen de données pédologiques.⁵²⁾

Les huit plantes cultivées, identifiées durant la première année opérationnelle (2015) étaient les suivantes : blé d'hiver, orge d'hiver, orge de printemps, colza, féveroles, pommes de terre, betteraves sucrières et maïs ainsi que prairie.⁵³⁾ D'autres céréales (petits pois, pommes de terre nouvelles, maïs précoce et légumes) ainsi qu'un petit nombre de parcelles non classifiables ont été regroupées dans la catégorie « autres » (Figure 9).⁵⁴⁾

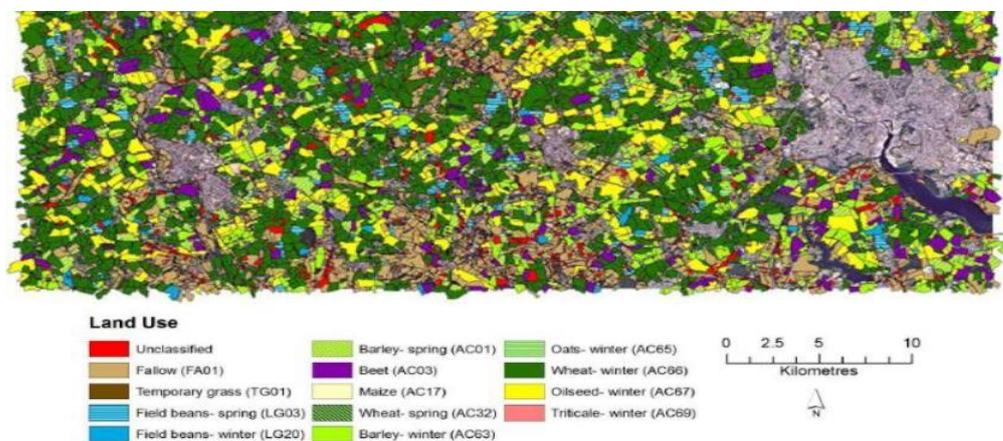


Figure 9 : Carte d'utilisation du sol établie en 2015, reposant sur les données des missions Sentinel-1 et Worldview-2. La précision de la classification se situait entre 60 et 98 pour cent selon la culture.

Les résultats sont pris en compte, d'une part, dans le système LPIS, où chaque parcelle supérieure à 2 ha est enregistrée. D'autre part, l'agence RPA établit la cartographie des plantes cultivées en Angleterre (*Crop Map for England*). Ce produit devait être fourni pour la première fois en décembre 2016, mais il ne devait être mis tout d'abord à la disposition qu'au sein du Defra.⁵⁵⁾ Il est envisagé d'actualiser la cartographie *Crop Map for England* deux fois par an et de rendre public le jeu de données à une date ultérieure.

52) Source : <http://www.ceh.ac.uk/crops2015> [03.03.2017].

53) Source : <http://www.spaceforsmartergovernment.uk/case-study/remote-sensing-applications-consultants-and-airbus-ds-sentinel-1-in-support-of-cap-compliance-checks/> [03.03.2017].

54) Source : <http://www.ceh.ac.uk/crops2015> [03.03.2017].

55) Reposant sur la communication électronique du 19.12.2016 avec Lawrence Way, JNCC/Defra.

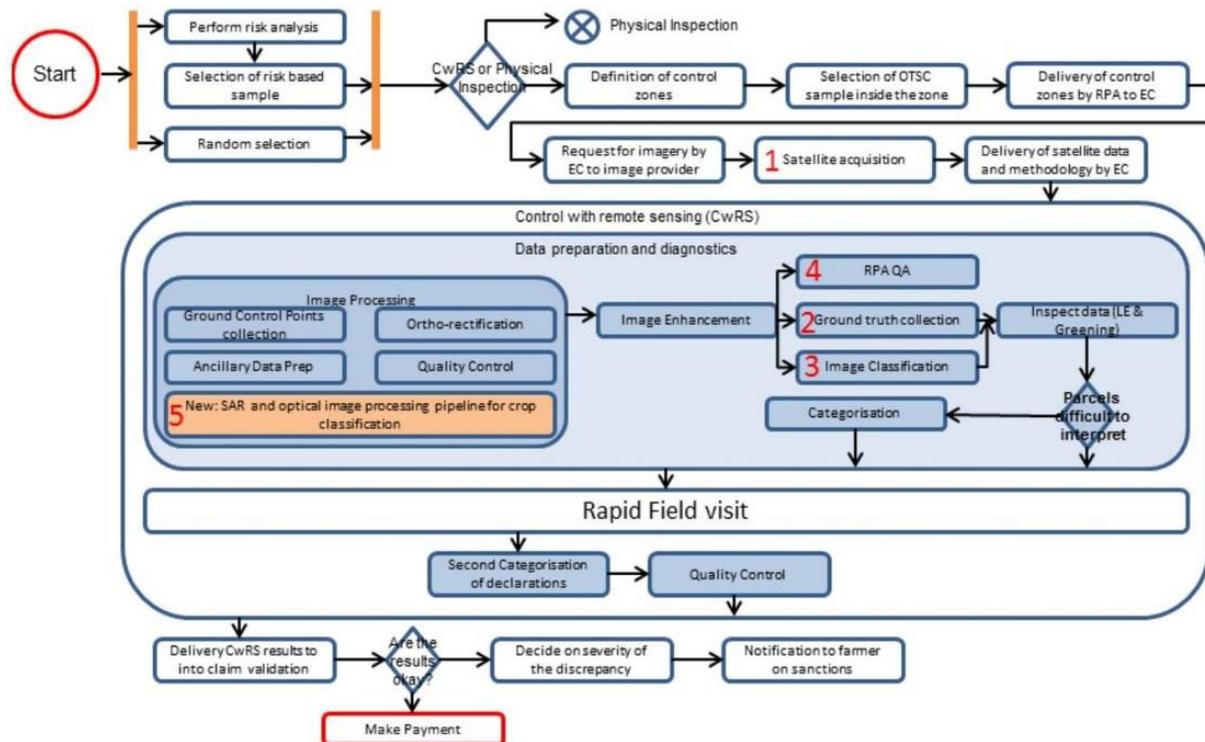


Figure 10 : Le processus de contrôle par télédétection « Control with Remote Sensing (CwRS) ». L'intégration des données de la mission d'imagerie radar SAR et de la mission optique Sentinel nécessite des adaptations lors des étapes de 1 à 5. RPA QA : contrôle de qualité supplémentaire.⁵⁶⁾

56) Environment Systems (2016) : EODIP 7 – Innovative processing to aid RPA remote sensing payment checking. Report prepared for Defra.

Organisation et processus de développement

L'application a été mise au point par la société *Remote Sensing Applications Consultants Ltd.* (www.rsac1.co.uk). Le même prestataire de services propose également une *Crop Map* commerciale, la CEH Land Cover plus. La carte des plantes cultivées en 2016 comptant deux millions de parcelles doit paraître en janvier 2017.⁵⁷⁾

La cartographie des plantes cultivées en Angleterre « Crop Map of England » publiée en interne au sein des autorités est dressée sous licence par le Defra.

Évaluation et conclusions

Selon le Defra, les enseignements majeurs à tirer réunissent les points suivants :

- Le jeu de données déjà existant relatif au cycle de développement de diverses cultures s'est avéré important (données recueillies in situ).
- Les avantages des données du programme Copernicus résident dans le degré de détail supérieur, dans la plus grande automatisation du traitement et dans la disponibilité plus rapide des informations.
- Les données de la mission Sentinel-1 ont constitué un facteur de succès décisif (les données de satellite radar utilisées par le passé étant trop onéreuses ou ayant une couverture insuffisante).
- Simplifié par la boîte à outils Sentinel-1 et les algorithmes mis à disposition par l'ASE, le traitement des données peut être exécuté par l'équipe interne de l'agence RPA⁵⁸⁾.
- La résolution spatiale des données de la mission Sentinel-1 convient à cette application (surfaces des champs au Royaume-Uni).

Un rapport spécial de la Cour des comptes européenne a décrit le système LPIS en Grande-Bretagne (Écosse) ainsi que dans quatre autres États membres de l'UE, à savoir l'Autriche, l'Allemagne (Sarre et Rhénanie-du-Nord-Westphalie), l'Irlande et la Pologne.⁵⁹⁾ Il parvient à la conclusion que le système LPIS représente un instrument utile pour déterminer l'éligibilité des surfaces agricoles à une aide, mais que sa gestion doit être encore améliorée. Le rapport évoque ainsi des lacunes quant à la fiabilité et à la clarté de l'analyse. En outre, la Cour des comptes européenne déplore l'absence d'informations sur les coûts de création et d'exploitation, qui permettraient d'évaluer les améliorations réalisées en matière d'efficacité.

57) Application commerciale : <http://www.ceh.ac.uk/crops2015> ; reposant sur la communication électronique du 19.12.2016 avec Lawrence Way, JNCC/Defra.

58) Reposant sur l'entretien mené le 02.12.2016 avec Jon Stiles, Defra, et Lawrence Way, JNCC.

59) Cour des comptes européenne (2016) : le système pour identifier les parcelles agricoles. Rapport spécial n° 25. Union européenne : Luxembourg. Disponible sur le site : <http://www.eu-umweltbuero.at/inhalt/eu-rechnungshof-kritisiert-systeme-zur-kartierung-von-landwirtschaftlichen-flaechen?ref> [03.03.2017].

2.3.3 Application 2 : inventaire national des forêts (*National Forest Inventory*)

Les informations relatives à cette application proviennent en premier lieu du rapport EODIP 9⁶⁰⁾ ainsi que des renseignements accessibles au public concernant l'inventaire national des forêts *National Forest Inventory* (NFI).⁶¹⁾

Arrière-plan et facteur déclencheur

Responsable de la gestion des forêts en Angleterre et en Écosse couvrant une zone de 700 000 ha, la Commission nationale des forêts (NFC) s'avère le plus grand gestionnaire foncier de Grande-Bretagne. Depuis 1919, la Commission NFC procède tous les 10 à 15 ans à l'inventaire national du peuplement forestier (*National Forest Inventory*, NFI). Ce relevé est enregistré et présenté dans l'inventaire national des terres boisées et des arbres (*National Inventory of Woodland and Trees*). C'est en 2009 que la plus récente de ces saisies périodiques a commencé.

L'inventaire du peuplement forestier se révèle entre autres important pour quantifier le carbone lié (*carbon accounting*), surveiller la biodiversité et exploiter les forêts. L'inventaire NFI répertorie toutes les surfaces boisées en Grande-Bretagne d'une superficie minimale de 0,5 ha, d'une largeur minimale de 20 m et d'un couvert arboré (ensemble de la cime des arbres) de 20 %.

La situation et l'étendue de toutes les régions forestières sont enregistrées sous la forme de cartes forestières numériques et tenues à jour. Des séries chronologiques permettent de formuler des avis sur l'évolution des forêts ainsi que d'obtenir une image précise des surfaces boisées et de leur état (Figure 11).

60) Environment Systems (2016) : EODIP 9 – Innovative application of remote sensing to forestry management and monitoring. Report prepared for Defra.

61) Cf. à ce propos : Forest Research : About NFI, disponible sur le site : <https://www.forestry.gov.uk/fr/bee-h-a3gf9u> [03.03.2017].

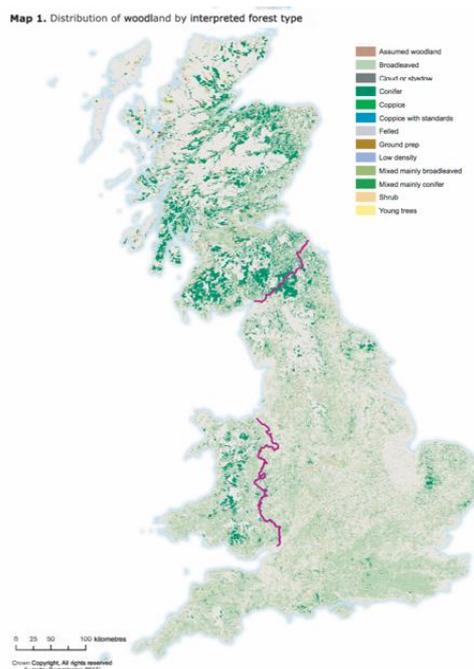


Figure 11 : En plus de l'étendue des régions boisées en Grande-Bretagne, l'inventaire NFI renferme aussi des informations sur le type et l'état des forêts.⁶²⁾

La carte forestière numérique est actualisée tous les ans à l'aide des prises de vues aériennes les plus récentes, de l'interprétation d'images satellitaires optiques ainsi que des enregistrements administratifs de zones nouvellement plantées. Les données actuelles sont disponibles sur les sites de téléchargement de la Commission NFC⁶³⁾.

En plus du relevé couvrant tout le territoire, 15 000 régions forestières d'une superficie de 1 ha, réparties dans toute la Grande-Bretagne, sont surveillées au moyen d'inspections sur le terrain. Ces surfaces représentatives sont observées sur une période de cinq ans ; des caractéristiques tant qualitatives que quantitatives sont ainsi recueillies (cf. le NFI Survey Manual⁶⁴⁾).

Le besoin d'améliorations⁶⁵⁾ de la méthodologie actuelle de relevé a été cerné dans les domaines suivants :

- Les dégâts dus à des maladies et à l'infestation par la peste doivent être décelés plus précocement, afin que des interventions rapides puissent être planifiées.

62) Forestry Commission (2013) : NFI 2011 woodland map GB. Disponible sur le site : [https://www.forestry.gov.uk/pdf/NFI_GB_REPORT_010813.pdf/\\$FILE/NFI_GB_REPORT_010813.pdf](https://www.forestry.gov.uk/pdf/NFI_GB_REPORT_010813.pdf/$FILE/NFI_GB_REPORT_010813.pdf) [03.03.2017]

63) Accès au téléchargement des données : <http://www.forestry.gov.uk/datadownload> [03.03.2017].

64) Téléchargement du NFI Survey Manual : <http://www.forestry.gov.uk/fr/infd-9m8f6p> [03.03.2017].

65) Environment Systems (2016) : EODIP 9 – Innovative application of remote sensing to forestry management and monitoring. Report prepared for Defra.

- Les tempêtes et les dommages causés par le feu doivent être détectés plus vite et plus précisément (même en hiver), afin que les travaux de déblaiement puissent être projetés plus efficacement et au meilleur coût.
- Le déboisement illégal doit pouvoir être dépisté sans inspections sur le terrain.
- L'appréciation de l'état des forêts doit être améliorée à l'aide des propriétés de la couverture des couronnes.
- Les taux de déboisement et de reboisement doivent être mieux surveillés en permanence, afin que la compétitivité de la sylviculture soit maintenue en Grande-Bretagne.
- La sélection d'échantillons représentatifs servant aux inspections sur le terrain doit se dérouler plus efficacement.

Ces besoins ont engendré le projet pilote « Earth Observation Data Integration Pilot 9 – Innovative application of remote sensing to forestry management and monitoring », EODIP 9 en abrégé. Le centre d'excellence en matière d'observation de la Terre (EO Centre of Excellence) du Defra y explore les possibilités offertes par les missions Sentinel-1 et Sentinel-2 du programme Copernicus en vue d'améliorer la méthodologie actuelle pour recenser le peuplement forestier.

Description

Le projet EODIP 9 examine l'aptitude des données de la mission Sentinel pour accomplir les tâches concrètes suivantes :

- Distinction entre surfaces boisées / non boisées
- Différenciation entre forêt de feuillus, forêt mixte et forêt de résineux
- Santé du peuplement arborescent
- Hauteur des résineux
- Structure des couronnes d'arbres
- Perturbations provoquées par un coup de vent, un incendie ou une tempête

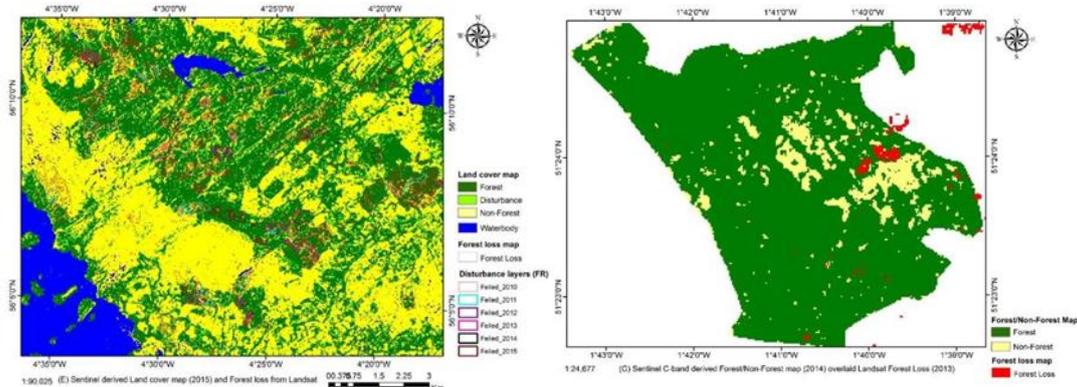
Le projet pilote a porté sur deux zones d'essai : (1) Aberfoyle (région de Cowal et Trossachs) en Écosse présentant des forêts modérément résineuses et (2) Savernake en Angleterre possédant des forêts mélangées. En outre, la région étudiée d'Aberfoyle se caractérise par de grands dommages causés par les tempêtes.

Pour enregistrer les modifications du couvert forestier, la Commission NFC a utilisé jusqu'à présent l'algorithme Change-Detection-Service LandTrendr de l'Université de l'État de l'Oregon⁶⁶). Ce service repose sur divers indices de végétation (l'indice différentiel normalisé de végétation = Normalised Difference Vegetation Index NDVI, l'indice de végétation ajusté au sol = Tasseled Cap ou l'indice estimant la sévérité des feux = Normalised Burn

66) Source : <http://landtrendr.forestry.oregonstate.edu/>

Ratio), calculés à l'aide des données satellitaires optiques (DigitalGlobe, Landsat). Des prises de vues réalisées dans un ciel sans nuages constituent cependant une condition préalable à cette fin. Du reste, le traitement de plusieurs indices au niveau national s'est déroulé au moyen de la plate-forme Google Earth Engine⁶⁷⁾ axée sur l'infonuagique. L'ajout de la mission Sentinel-2 permet de fournir davantage de données à la méthode actuelle, ce qui améliore la qualité de la collecte.

Pour distinguer les surfaces boisées / non boisées, l'équipe de projet a employé des données de la mission Sentinel-1A (C-band Radar Backscatter) et elle est parvenue à des précisions de classification de 56 % (à Aberfoyle pour les catégories Forêt, Sans forêt, Zones perturbées et Plans d'eau) et de 79 % (à Savernake pour les catégories Forêt et Sans forêt).



Ressource (input): images de radar du satellite Sentinel-1A (HH ; VV ; HV), 2014, mode interférométrique à large fauchée (IW), 20 m

Ressource (input) : images de radar du satellite Sentinel-1A à polarisation verticale et horizontale (HH ; VV ; HV), 2014, mode interférométrique à large fauchée (IW), 20 m

Figure 12 : Résultats de la classification de la couverture du sol au moyen des données de la mission Sentinel-1A. Gauche : région d'essai d'Aberfoyle. Droite : région d'essai de Savernake.⁶⁸⁾

L'équipe de projet évalue l'emploi du satellite Sentinel-1A comme étant un « outil robuste », bien que les précisions de la classification obtenues soient encore relativement modestes. Elle espère parvenir à d'autres améliorations moyennant l'adjonction des données de la mission Sentinel-1B.

Pour déterminer la hauteur des résineux, la technologie InSAR reposant sur le satellite Sentinel-1A (en bande C) a été mise en œuvre. Le prétraitement des données de radar SAR a été réalisé avec la boîte à outils Sentinel-1. L'équipe de projet a pu démontrer une forte corrélation entre la phase InSAR et la hauteur de l'épicéa de Sitka à Aberfoyle, se traduisant par des écarts maximaux de 6 m.

67) <https://earthengine.google.com/> [03.03.2017]

68) Environment Systems (2016) : EODIP 9 – Innovative application of remote sensing to forestry management and monitoring. Report prepared for Defra.

Enfin, des recherches ont été également exécutées pour représenter les causes des modifications à l'aide de méthodes d'analyse orientées objet (p. ex. modèles spatiaux réguliers en cas d'évolutions de forêt à sans forêt signalant un déboisement)⁶⁹). Toutefois, les résultats ne sont pas encore disponibles.

Organisation et processus de développement

Autorité non ministérielle, la commission NFC est l'organisme chargé d'établir l'inventaire NFI. Des activités de recherche figurent néanmoins aussi au nombre de ses tâches pour améliorer constamment les bases de la planification. La commission NFC exploite à cet effet son propre service de recherche forestière (Forest Research).

L'autorité ministérielle Defra est responsable de la protection de l'environnement naturel. Depuis 2015, ce ministère gère une équipe interdisciplinaire d'observation de la Terre (*Defra's EO Centre of Excellence*). Le modèle d'intégration *Earth Observation Data Integration Pilot* (EODIP) constitue un instrument à la disposition de cette équipe d'observation de la Terre. Ce projet forme le cadre des divers projets pilotes devant démontrer l'utilité des données libres et ouvertes, issues de l'observation de la Terre.

En novembre 2015, le Defra a lancé un appel d'offres public autour du projet EODIP 9 sur le thème « *Innovative application of remote sensing to Forestry management and monitoring* ». Le service Forest Research en a alors obtenu l'adjudication ; faisant partie du consortium, l'Université de Leicester et l'Université de Swansea l'assistent dans le traitement des données satellitaires. Le projet a démarré en avril 2016, et le rapport final a été publié en octobre 2016.⁷⁰

Évaluation et conclusions

D'après les auteurs, les principales connaissances acquises peuvent être résumées comme suit :

- Indépendant des conditions météorologiques, le satellite Sentinel-1 s'avère particulièrement précieux dans les régions présentant fréquemment des nuages, comme c'est le cas des îles Britanniques.
- La technologie InSAR déploie son potentiel pour déterminer la hauteur des résineux, mais elle doit encore faire l'objet d'études plus poussées.
- Le traitement axé sur l'infonuagique permet d'exploiter rapidement de grandes quantités de données telles que les séries chronologiques des missions Landsat et Sentinel. Il sert à actualiser continuellement les données au niveau national.
- Les techniques d'observation de la Terre assistées par satellite ne remplaceront jamais totalement le travail de terrain, mais elles

69) Kennedy et al. (2012) : Spatial and temporal patterns of forest disturbance and regrowth within the area of the Northwest Forest Plan, *Remote Sensing of Environment*, 122 : 117-133 ; Kennedy et al. (2014) : Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(6) : 339-346.

70) Environment Systems (2016) : EODIP 9 – Innovative application of remote sensing to forestry management and monitoring. Report prepared for Defra.

complètent utilement les missions sur le terrain existantes, réduisant ainsi le temps consacré à celles-ci et les coûts induits⁷¹).

71) Reposant sur l'entretien mené le 02.12.2016 avec Jon Stiles, Defra, et Lawrence Way, JNCC, (cf. annexe A2).

2.4 Synthèse

Le Tableau 3 indique comment les trois pays pris en considération utilisent actuellement les données d'observation de la Terre acquises par des satellites.

	Autriche	Norvège	Grande-Bretagne
Applications opérationnelles (situation en décembre 2016)	<ul style="list-style-type: none"> — Aucune — Modèle de données LISA (servant de base à différentes cartographies LISA et applications) bien développé 	<ul style="list-style-type: none"> — Mouvements du sol / cartographies des dangers (exploitant : NGU) — Modifications des glaciers (exploitant : NGU) 	<ul style="list-style-type: none"> — Cartographie des plantes cultivées (exploitant : RPA) — Inventaire des forêts (exploitant : National Forestry Commission) — Prévisions de la qualité de l'air (exploitant : UK Met Office)
Systèmes et technologies appliqués	<ul style="list-style-type: none"> — Satellites radars (Sentinel-1), données satellitaires optiques (Sentinel-2, Pléiades) 	<ul style="list-style-type: none"> — Application de longue date de données de satellites radars (Sentinel-1, Radarsat, European Remote Sensing ERS), complétées en partie par des données optiques (Sentinel-2, Landsat-8) — Compétences très évoluées dans la technologie InSAR 	<ul style="list-style-type: none"> — Traditionnels, surtout des données optiques — Depuis quelques années, de plus en plus de satellites radars, complétés en partie par des données optiques. — Boîte à outils Sentinel
Facteurs clés / déclencheurs des applications	<ul style="list-style-type: none"> — Relevés existants (p. ex. couverture du sol CORINE Landcover) insuffisants pour répondre aux exigences nationales — Besoin de données transnationales (de l'UE) — Nouvelles possibilités d'application offertes par l'accès gratuit aux données 	<ul style="list-style-type: none"> — Possibilité d'enregistrement permanent, indépendamment des nuages (Sentinel-1) — Besoin de protection accru de l'infrastructure et des êtres humains — Bonne couverture temporelle, supérieure à la moyenne grâce à des orbites quasiment polaires 	<ul style="list-style-type: none"> — Disponibilité gratuite du satellite Sentinel-1b servant d'alternative au satellite Radarsat onéreux — Nouvelle politique agricole de l'UE — Charge de travail élevée, induite par les inspections sur le terrain

	Autriche	Norvège	Grande-Bretagne
<p>Obstacles, défis existants</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sur le plan technique - Sur le plan organisationnel - Sur le plan financier 	<ul style="list-style-type: none"> — Passage de l'innovation technologique à l'intégration opérationnelle — Manque de fondements réglementaires — Système LISA pas bien ancré au sein des autorités (manque d'appropriation « Ownership ») 	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle d'altitude médiocre pour traiter les produits de base (orthophotos/ mosaïques) - Établissement opérationnel des services 	<ul style="list-style-type: none"> — Couverture nuageuse constituant un facteur limitatif (dans le cas de données optiques) — Responsabilités institutionnelles différentes en Angleterre, en Écosse et au Pays de Galles — Conséquences du référendum sur le Brexit pesant sur la sécurité de la planification (continuité des séries de données)

Tableau 3 : Représentation structurée de l'exploitation de l'observation de la Terre par satellite dans les trois pays considérés.

Se fondant sur ces connaissances, il est possible de dégager les points communs suivants :

- L'implication précoce des utilisateurs finaux constitue un facteur de réussite majeur.
- L'utilisation des données d'observation de la Terre acquises par des satellites se déroule presque toujours en combinaison avec d'autres collectes (p. ex. des relevés de terrain) et des données supplémentaires (p. ex. modèles d'altitude).
- De nouvelles applications emploient les données de divers systèmes satellitaires et améliorent ainsi la qualité de leur relevé (meilleure couverture, plus de prises de vues par période, caractéristiques variées). Cela est favorisé par la fourniture gratuite de données brutes et de produits de données, comme il est de règle dans le cas du programme Copernicus.
- De nombreuses applications exploitent l'avantage de « l'enregistrement permanent » découlant de l'observation de la Terre assistée par satellite, que ce soit pour observer des évolutions sur une période prolongée (p. ex. changement de l'état des forêts) ou pour détecter des altérations à court terme (p. ex. une marée noire en mer).
- Il existe des équipes spécialisées et des centres de compétences (auprès des autorités ou des entreprises) dans tous les pays étudiés, possédant le savoir-faire et l'infrastructure (matérielle et logicielle) pour constituer un service opérationnel à partir des données d'observation de la Terre acquises par des satellites.
- Les applications opérationnelles se distinguent souvent par un haut degré d'automatisation. Compte tenu de la disponibilité des données fortement croissante du fait du programme Copernicus (p. ex. utilisation de plusieurs images par mois), l'analyse automatisée va encore gagner en importance à l'avenir.

- Cela exige une responsabilité clairement définie et des conditions-cadres appropriées (p. ex. des objectifs fixés en conséquence sur le plan stratégique, des prescriptions réglementaires), afin que les applications puissent passer du stade du développement à celui du fonctionnement opérationnel.
- Si une analyse exacte coût-utilité est souhaitée concernant une certaine application de l'observation de la Terre par satellite, il faut disposer d'indications fiables sur l'avantage obtenu ou les améliorations réalisées. Mais il serait également nécessaire de recueillir des précisions fiables sur les frais de développement et d'exploitation d'une application. Ces renseignements font fréquemment défaut, notamment en ce qui concerne les coûts de développement.

3. Structuration de l'analyse

Ce chapitre positionne d'abord la Suisse par rapport aux trois pays examinés à propos de l'application concrète de l'observation de la Terre assistée par satellite. Il évalue ensuite le niveau du potentiel des applications existantes ou planifiées, destinées aux autorités suisses. Il en tire finalement des recommandations.

3.1 Positionnement de la Suisse

Il apparaît dans les pays étudiés que la plupart des applications mises en œuvre par les autorités concernent des validations de principe (études de faisabilité) et des projets pilotes. Le nombre des applications opérationnelles est encore faible.

En regard des trois pays analysés, la Suisse peut donner lieu à l'estimation suivante :

- Le stade de développement des services administratifs opérationnels en Suisse est comparable à celui constaté en Autriche. Diverses possibilités d'application ont été présentées en Autriche dans le cadre de projets de recherche et de développement, mais elles ne se sont pas matérialisées à ce jour sur le plan opérationnel sous la forme d'un service administratif. Les autorités compétentes de l'Autriche ont été néanmoins mobilisées dans le cadre du processus de développement du système LISA ; une communauté d'utilisateurs de cartographies LISA a vu le jour. L'Autriche possède ainsi une petite longueur d'avance sur la Suisse.
- Les autorités en Grande-Bretagne, en particulier le Defra, ont mis en service un premier service opérationnel depuis 2016 en établissant la *Crop Map*. Il est évident en l'occurrence que le service a été instauré notamment en raison des exigences posées aux autorités britanniques dans le cadre de la politique agricole de l'UE. Les données issues de la mission Sentinel-1 ont permis de rendre le service opérationnel sur le plan technique, bien qu'encore entaché de faiblesses. Toute une série de projets de développement très prometteurs sont en cours dans le droit fil de la feuille de route et de la création d'un centre de compétences interne au Defra. La Grande-Bretagne devance donc largement la Suisse.
- Les autorités norvégiennes exploitent déjà les applications SAR sur un plan opérationnel. Cela est imputable notamment à la promotion stratégique de la technologie InSAR et à la constitution des compétences professionnelles correspondantes. Il faut souligner en l'occurrence le rôle crucial de la commission NSC (cofinancement) et des services spécialisés par thèmes (NGU, NVE et NPI), mais aussi la bonne participation précoce des utilisateurs finaux comme dans le cas des dangers naturels (administration nationale des routes).

Nous avons essayé ci-après de comparer les conditions-cadres organisationnelles du développement d'applications d'observation de la Terre par satellite en Suisse avec celles des trois pays considérés. Certaines déclarations et questions résultantes reflètent le point de vue des auteurs et devraient être vérifiées par des entretiens avec les représentants suisses.

- Les milieux universitaires en Suisse devraient être considérés comme meilleurs par rapport aux pays étudiés. Notamment les écoles polytechniques fédérales de Zurich et de Lausanne ainsi que les universités de Zurich et de Berne pourraient constituer de très bons partenaires lors de la mise au point de nouvelles applications dans le domaine de l'observation de la Terre assistée par satellite. En outre, elles lancent constamment sur le marché de nouveaux spécialistes, dotés d'excellentes connaissances dans le traitement des données satellitaires. En outre, il est surprenant de constater que les instituts publics d'enseignement et de recherche n'ont participé activement à la phase de développement que dans de rares cas, mais qu'ils ont surtout concouru à la recherche se référant à un thème donné.
- Le Bureau suisse des affaires spatiales « Swiss Space Office » (SSO) soutient financièrement entre autres la recherche et le développement d'applications spatiales, tandis que la plate-forme « AP-Swiss » (*Ambassador Platform of ESA's ARTES Applications programmes in Switzerland*) promeut spécifiquement le développement d'applications satellitaires dans le secteur privé en collaboration avec l'ASE.⁷²⁾ Le Bureau SSO est ainsi comparable p. ex. à la Société autrichienne de soutien à la recherche (FFG) et à son programme spatial autrichien (ASAP). En outre, il existe une coopération entre les deux pays visant à encourager l'innovation. Il ne peut être apprécié toutefois dans le cadre de cette analyse, si la promotion de l'observation de la Terre en Suisse fait l'objet d'autant d'attention (d'un point de vue financier) que dans les pays considérés.
- Les conditions-cadres organisationnelles émanant des autorités semblent être moins bien développées en Suisse que dans les pays étudiés. D'une part, il n'y a aucun centre de compétences comparable, consacré à l'observation de la Terre auprès des autorités suisses (situation en décembre 2016), comme c'est le cas en Norvège et en Grande-Bretagne. Le « groupe de travail interdépartemental de télédétection » (IDA Fern) n'assume que des tâches de coordination. Exploité de nos jours par swisstopo en collaboration avec les laboratoires de télédétection de l'Université de Zurich, le NPOC suisse focalise son attention sur la livraison de données d'images, sur l'assistance technique et sur l'entretien des archives iconographiques.⁷³⁾ Même s'agissant de l'utilisation de l'infrastructure (matérielle et logicielle), il n'existe guère de coopération à l'heure actuelle.

72) Cf. à ce propos : <https://www.ap-swiss.ch> [03.03.2017].

73) Source : <https://www.npoc.ch/en/about/background-motivation.html> [03.03.2017].

- L'accès à un personnel bien formé ainsi qu'à une infrastructure informatique performante compte cependant aussi parmi les conditions-cadres organisationnelles. À ce sujet, la Suisse est très bien positionnée par rapport aux trois pays considérés. Les approches les plus récentes en vue du traitement automatisé des données (p. ex. l'apprentissage automatique, les approches multisensorielles) posent justement de hautes exigences aux deux critères constitués par un personnel qualifié et par une infrastructure informatique. De surcroît, l'automatisation croissante de l'analyse des données d'observation de la Terre par satellite remédie à un inconvénient de la Suisse jusqu'à présent : les coûts élevés du personnel.
- Les exemples d'applications opérationnelles en Norvège et en Grande-Bretagne mettent en exergue le rôle important joué par les prestataires de services du secteur privé intermédiaire, tels que la société GeoVille, l'Institut de recherche nordique Norut ou la société Remote Sensing Applications Consultants. Il existe certes en Suisse des prestataires de services du secteur intermédiaire de renommée internationale comme la société GAMMA Remote Sensing (www.gamma-rs.ch) et la société Sarmap (www.sarmap.ch), qui seraient en mesure de mettre en place des services opérationnels pour les autorités suisses. Or, ces prestataires de services exercent de nos jours leurs activités plutôt à l'intention d'autorités étrangères et de projets de recherche de l'ASE.

3.2 Potentiel des applications pour la Suisse

L'aperçu suivant évalue le potentiel des applications satellitaires, décrites au chapitre 2, pour la Suisse (Tableau 4). Cette appréciation présente le point de vue des auteurs et prend en considération,

- la pertinence du domaine thématique respectif pour les autorités suisses ainsi que les facteurs institutionnels en Suisse, et
- la transférabilité des méthodes assistées par satellite, compte tenu des nouvelles possibilités offertes par le programme Copernicus et de la situation géographique de la Suisse.

Un potentiel élevé pourrait signifier qu'une autorité devrait réfléchir à vérifier le recours à l'observation de la Terre assistée par satellite ou à le réévaluer, au cas où un projet de recherche aurait déjà été exécuté par le passé.

Exemples d'application dans les pays étudiés	Potentiel de l'application pour la Suisse / les autorités suisses
Autriche, application 1 : Land Information System Austria (LISA)	<p><u>Statistique de la superficie concernant la couverture du sol et l'utilisation du sol</u> (BFS) : potentiel moyen</p> <p>À l'heure actuelle, la statistique de la superficie est établie à peu près tous les 12 ans. D'une part, l'intervalle du relevé pourrait être raccourci ou les coûts pourraient être réduits, dans la mesure où l'observation de la Terre par satellite permettrait d'éliminer les zones où des modifications ont effectivement eu lieu (Change Detection). D'autre part, certaines catégories issues du relevé existant pourraient être améliorées.</p> <p>Un inconvénient résiderait toutefois dans le fait qu'une méthodologie et un mode de relevé d'un genre nouveau altéreraient la comparabilité avec des collectes de données antérieures.</p> <p><u>CORINE Landcover</u> (OFEV) : potentiel moyen</p> <p>Le relevé servant à contribuer au jeu de données européen est déjà établi aujourd'hui, à l'aide de l'observation de la Terre par satellite.</p>
Norvège, application 1 : surveillance et détection précoce de dangers naturels	<p><u>Détection et surveillance de zones dangereuses</u> (OFEV) : potentiel moyen</p> <p>Les éboulements, les glissements de terrain, les modifications du pergélisol, les ruptures de lacs glaciaires et les effondrements de glacier constituent des dangers pertinents en Suisse. Une application servant à la détection précoce pourrait compléter les instruments existants de gestion des dangers naturels.</p> <p><u>Surveillance des infrastructures critiques</u> (OFPP, OFEN, OFEV, CFF, OFROU) : faible potentiel</p> <p>Domaines d'application possibles : barrages, centrales nucléaires, grands chantiers de construction.</p>
Norvège, application 2 : surveillance des modifications des glaciers (Norvège)	<p><u>Modifications des glaciers</u> (OFEV, MétéoSuisse) : faible potentiel</p> <p>La Suisse dispose déjà d'une vaste surveillance des glaciers déployée sur le long terme. Tout au plus, un relevé plus fréquent couvrant tout le territoire pourrait être complété.</p>
Grande-Bretagne, application 1 : cartographie des plantes cultivées (Crop Map)	<p><u>Saisie automatisée des demandes de subvention dans l'agriculture</u> (OFAG) : potentiel élevé</p> <p>Les possibilités d'utilisation des données satellitaires sont restreintes en raison des petites parcelles. L'observation de la Terre assistée par satellite pourrait cependant aider les agriculteurs lors de l'enregistrement de demandes de subvention en proposant automatiquement des cultures. En outre, ceux-ci pourraient donner des renseignements aux contrôleurs des communes et des cantons sur les surfaces devant être inspectées avec des méthodes plus précises. Mais aucune directive émanant de l'UE ou de la Confédération n'existe actuellement à ce sujet</p> <p><u>Optimisation de la gestion des engrais dans l'agriculture</u> (OFAG) : potentiel élevé</p> <p>La surveillance de l'épandage de lisier en présence de sols gelés, trempés ou enneigés n'est pas parfaitement résolue de nos jours. L'observation de la Terre par satellite pourrait jeter les fondements d'un système d'information des agriculteurs permettant de déterminer le moment approprié de la fertilisation en fonction du lieu. Elle pourrait servir également aux organes de contrôle à détecter rapidement des cas problématiques.</p>
Grande-Bretagne, application 2 :	<p><u>Forêts</u> (OFEV) : faible potentiel</p> <p>L'inventaire forestier national suisse a été initialement renouvelé</p>

Exemples d'application dans les pays étudiés	Potentiel de l'application pour la Suisse / les autorités suisses
inventaire national des forêts (National Forest Inventory)	tous les dix ans. Le quatrième inventaire actuel a fait place désormais à un relevé en continu (1/9 ^e de la Suisse par an). En plus de vastes relevés de terrain, des analyses de photographies aériennes sont prises en compte. Le cas échéant, les collectes de données pourraient être objectivées et accélérées. Un nouveau mode de relevé romprait toutefois la méthodologie, ce qui entraînerait la perte de comparabilité avec des relevés antérieurs.
D'autres applications dans les pays examinés	<p><u>Statistique des zones à bâtir (ARE)</u> : faible potentiel Le relevé est réalisé de nos jours par la compilation des données cantonales env. tous les quatre à cinq ans. L'intervalle de la collecte pourrait éventuellement être raccourci.</p> <p><u>Prévisions météorologiques (MétéoSuisse)</u> : potentiel moyen Des données satellitaires sont d'ores et déjà utilisées. Les méthodes peuvent être cependant encore affinées. De même, la recherche est déjà pratiquée dans la climatologie satellitaire appliquée.</p> <p><u>Détection de pollutions de l'eau (OFEV)</u> : faible potentiel Il existe un réseau de mesure de base destiné à l'observation permanente ainsi que des programmes complémentaires de surveillance spéciale, et la coopération avec les cantons est bien rodée. L'utilisation de procédés assistés par satellite serait envisageable pour superviser des cours d'eau grands et moyens. La surveillance exige toutefois une meilleure résolution temporelle.</p> <p><u>Mesure de la qualité de l'air (OFEV)</u> : potentiel moyen Un réseau d'observation très évolué des polluants atmosphériques est disponible, tandis que la coopération avec les cantons et les villes est bien rodée. La Norvège et la Grande-Bretagne entrevoient un grand potentiel, si les missions des satellites Sentinel-3 et -5 sont pleinement exploitées.</p> <p><u>Observation et prévision de nuages de cendres volcaniques (OFAC)</u> : faible potentiel De bonnes possibilités d'utilisation, mais revêtant une moindre importance du fait de la grande distance jusqu'aux zones problématiques sur le plan géologique (p. ex. l'Islande, la Sicile) et de la faible probabilité d'occurrence en Suisse.</p> <p><u>Analyse de l'ampleur d'inondations ou de dommages causés par des tempêtes (OFPP, OFEV, aide en cas de catastrophe)</u> : potentiel moyen La cartographie rapide assistée par satellite se prête à l'emploi en Suisse surtout dans le cas d'événements nationaux et donc rares (dommages causés par des tempêtes, grandes avalanches, incendies de forêt, tremblements de terre). Des applications de cartographie rapide à l'étranger (aide en cas de catastrophe) sont déjà en partie mises en œuvre aujourd'hui, mais elles pourraient dispenser de meilleurs services à l'avenir.</p> <p><u>Surveillance des plates-formes pétrolières, détection de fuites de pétrole</u> : faible potentiel Sans pertinence pour les autorités suisses.</p> <p><u>Surveillance de la pêche</u> : faible potentiel Sans pertinence pour les autorités suisses.</p>

Tableau 4 : Évaluation du potentiel en Suisse des applications développées ou faisant déjà l'objet d'un usage opérationnel dans les pays considérés

3.3 Recommandations

L'utilité de l'observation de la Terre par satellite pour les entreprises suisses est présentée dans le rapport d'expertise sur l'avantage économique d'une participation de la Suisse au programme Copernicus⁷⁴). La présente étude se concentre sur les avantages de l'observation de la Terre assistée par satellite pour les autorités suisses.

Le recensement des applications opérationnelles et des projets pilotes dans les pays regroupant l'Autriche, la Norvège et la Grande-Bretagne a révélé plusieurs possibilités d'utilisation également potentiellement exploitables par les autorités suisses (Tableau 4). Les coûts élevés ainsi que la résolution temporelle et spatiale limitée des données satellitaires pourraient avoir empêché jusqu'à présent un emploi fructueux et économiquement avantageux. La meilleure disponibilité des données pédologiques et satellitaires, recueillies dans le cadre du programme Copernicus, est censée changer cette situation. Les possibilités d'utilisation doivent donc être réévaluées dans les circonstances actuelles. L'OFEN fait élaborer en ce moment divers moyens auxiliaires à cette fin.

Au cas où une autorité suisse déciderait de compléter ou même de remplacer un relevé existant ou un service disponible par l'observation de la Terre assistée par satellite, les expériences variées, issues des pays examinés devraient être exploitées (cf. respectivement le paragraphe « Évaluation et conclusions » dans les chapitres 2.1.2, 2.2.2, 2.2.3, 2.3.2 et 2.3.3).

Enfin, les auteurs estiment qu'il faudrait prendre de surcroît les mesures organisationnelles suivantes :

— Différents services de l'administration ont acquis de l'expérience avec les applications existantes des données d'observation de la Terre (assistée par avion ou par satellite) et ils ont constitué un précieux savoir-faire au cours des dernières années : swisstopo pour établir des orthophotos, des modèles d'altitude de haute résolution et cartographier le pays, MétéoSuisse pour analyser les données en temps réel servant aux prévisions météorologiques, l'OFS pour établir la statistique de la superficie, le FNP (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) pour dresser l'inventaire forestier national suisse. En rapport avec les analyses de mégadonnées et les méthodes d'apprentissage automatique, il faudra une plus forte mutualisation des ressources dans un avenir proche. Cette mise en commun concerne, d'une part, l'infrastructure (matérielle et logicielle), mais aussi les

74) Ernst Basler + Partner (2016) : Avantage économique d'une participation de la Suisse au programme Copernicus, rapport d'expertise sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEN). Disponible sur le site : https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/daten-karten/externe-studien-berichte/copernicus_2016-10-05.pdf.download.pdf/Copernicus_2016-10-05.pdf [03.03.2017].

services partagés⁷⁵). Mais, d'autre part, elle peut également porter sur les ressources humaines et le savoir-faire associé. Le Defra a ainsi pourvu à ce besoin en formant un centre de compétences inter-autorités (cf. le chapitre 2.3.3).

- En développant de nouvelles applications, les autorités dépourvues jusqu'à présent d'expérience dans la gestion des données d'observation de la Terre devraient se charger de leur appropriation (ownership). Il est primordial qu'elles fassent part de leurs exigences, qu'elles guident les différents partenaires (hautes écoles, prestataires de services du secteur intermédiaire) et qu'elles contribuent ainsi à la réussite des projets de développement. À notre avis, pour que les autorités assument ce rôle de dirigeant, il leur manque aujourd'hui, d'une part, des objectifs stratégiques définis en conséquence et, d'autre part, les capacités requises (en ressources et en savoir-faire technique). Cette lacune pourrait être comblée par la formation mentionnée précédemment d'un centre de compétences, au sein duquel des spécialistes chevronnés aideraient les services fédéraux possédant eux-mêmes un trop faible savoir-faire technique.
- Les hautes écoles suisses peuvent apporter un précieux concours dans la phase de développement de services assistés par satellite. Les prestataires de services du secteur intermédiaire et les exploitants ultérieurs devraient être cependant aussi impliqués à temps dans la perspective du fonctionnement opérationnel à venir.
- Même s'agissant de l'infrastructure informatique, une centralisation s'impose pour répondre aux exigences d'un flux de données toujours plus grand et d'une analyse automatisée (p. ex. moyennant l'apprentissage automatique). À cet égard, le Centre Suisse de Calcul Scientifique (CSCS) situé à Manno pourrait jouer un rôle actif. Mais des solutions PPP (de partenariat entre le secteur public et le secteur privé) avec des entreprises telles que Swisscom ou Equinix pourraient aussi offrir une alternative. Le fait toutefois qu'il y ait de nombreux utilisateurs désireux d'exploiter les hautes performances de calcul, mais que seul un petit nombre d'entre eux soient aussi disposés à payer en contrepartie, en l'occurrence, pourrait également représenter un obstacle.

75) Se référer également à ce sujet au postulat 12.4021 du regroupement des laboratoires de la Confédération. Meilleure utilisation des ressources, chiffre 2 (<https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefft?AffairId=20124021>)

A1 Modèle de structuration des exemples d'application

Paragraphe	Questions directrices
Arrière-plan et facteur déclencheur de la nouvelle application	<ul style="list-style-type: none"> - Pourquoi l'application existe-t-elle ? Mandat légal, défi - Quel acteur en est à l'origine ? - Comment a-t-il été procédé jadis / jusqu'à présent ? (Données, processus de traitement, produits) - Quels étaient les facteurs clés et déclencheurs des modifications ? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Facteurs clés : possibilités techniques (données plus actuelles, plus précises, plus pertinentes, mieux disponibles) ▪ Facteurs déclencheurs : nouvelle loi, décision politique etc. - Alternatives éventuelles à une nouvelle application satellitaire
Description de la nouvelle application	<div style="text-align: center;"> <pre> graph LR A[Data] --> B[Analysis] B --> C[Products] </pre> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. Données et instruments (données et services Copernicus) 2. Processus de traitement (Quel logiciel ? Mandats externes ? Assurance-qualité des produits ?) 3. Produits incluant le canal de distribution, la « politique d'utilisation » et la commercialisation, exploitants
Processus de développement de la nouvelle application	<ul style="list-style-type: none"> - Procédure ? Et partenaires de développement - Y avait-il différentes variantes possibles de la configuration du système ? (P. ex. étude de faisabilité ?) - Expériences éventuellement tirées d'applications pilotes - Financement : modèles de financement, p. ex. partenariat public-privé (PPP), frais d'investissement approximatifs et frais d'exploitation annuels en CHF, dont respectivement une contribution publique en %
Évaluation et conclusions	<ul style="list-style-type: none"> - Quels étaient les défis et comment ont-ils été relevés/surmontés ? (Savoir-faire technique, mise en évidence p. ex. des avantages coût-utilité, sur le plan institutionnel p. ex. contrats/coopération entre les divers acteurs, adaptations organisationnelles). - Forces et faiblesses de la nouvelle application en rapport avec l'efficacité et la qualité, coût-utilité, effets sur la société et l'environnement - Facteurs de succès et entraves au processus, « Conseils et astuces », p. ex. mesures d'encouragement (activités d'adoption par les utilisateurs) - La méthode est-elle aussi utilisable dans d'autres domaines spécialisés ?

A2 Aperçu des partenaires interrogés

	Nom	Organisation	Pays	Date
1	Dr Thomas Geist	Agence de l'aéronautique et de l'aérospatiale au sein de la Société autrichienne de soutien à la recherche (FFG), http://www.ffg.at	A	08.11.2016
2	Dr Herbert Haubold	Recherche sur les écosystèmes et gestion des informations en matière d'environnement, Office de l'environnement d'Autriche, http://www.umweltbundesamt.at	A	06.12.2016
3	Dag Anders Moldestad	Centre spatial norvégien (NSC), département des applications spatiales, Senior Advisor en matière d'observation de la Terre	N	24.11.2016
4	John Dehls	Commission géologique de Norvège (NGU), www.ngu.no/en	N	19.12.2016
5	Rune Engeset	Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (NVE), département de glaciologie, www.nve.no/en	N	21.12.2016
6	Jon Styles	Defra, expert dans le domaine de l'observation de la Terre et du programme Copernicus	GB	02.12.2016
7	Lawrence Way	Defra, directeur du programme responsable de la surveillance et du suivi auprès de la commission mixte pour la sauvegarde de la nature	GB	02.12.2016