

SCIENCE connection

62

Avril - Mai 2020

Le magazine de la POLITIQUE SCIENTIFIQUE FÉDÉRALE



www.scienceconnection.be
paraît quatre fois l'an
ISSN 1780-8456

Politique scientifique fédérale



.be

La Politique scientifique fédérale, outre la Direction générale 'Recherche et Spatial' et les Services d'appui, regroupe des Établissements scientifiques fédéraux et des Services de l'État à gestion séparée.

Établissements scientifiques fédéraux



Archives générales du Royaume
Archives de l'État
dans les provinces

www.arch.be



Bibliothèque royale de Belgique

www.kbr.be



Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique

www.fine-arts-museum.be



Musées royaux d'Art et d'Histoire

www.mrah.be



Institut royal du Patrimoine artistique

www.kikirpa.be



Institut royal des Sciences naturelles de Belgique

www.sciencesnaturelles.be



Musée royal de l'Afrique centrale

www.africamuseum.be



Observatoire royal de Belgique

www.astro.oma.be



Institut royal météorologique de Belgique

www.meteo.be



Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique

www.aeronomie.be



Planétarium de l'Observatoire royal de Belgique

www.planetarium.be



BELNET

www.belnet.be

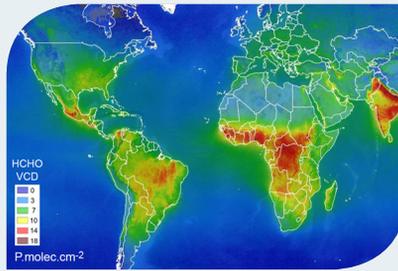
4



Entre prévention et sécurité

L'approche belge dans la lutte contre la radicalisation.

8



Zoom sur la qualité de l'air dans le monde avec TROPOMI

16



Les poumons de notre planète ont-ils atteint leurs limites ?

La capacité des forêts tropicales à capturer du CO₂ de l'atmosphère diminue plus rapidement que prévu

24



Cent ans d'ouvrages historiques sur la Première Guerre Mondiale en Belgique

Une publication de référence désormais disponible

30



L'innovation collaborative a-t-elle atteint ses limites ?

37



Lancement du nouveau navire de recherche

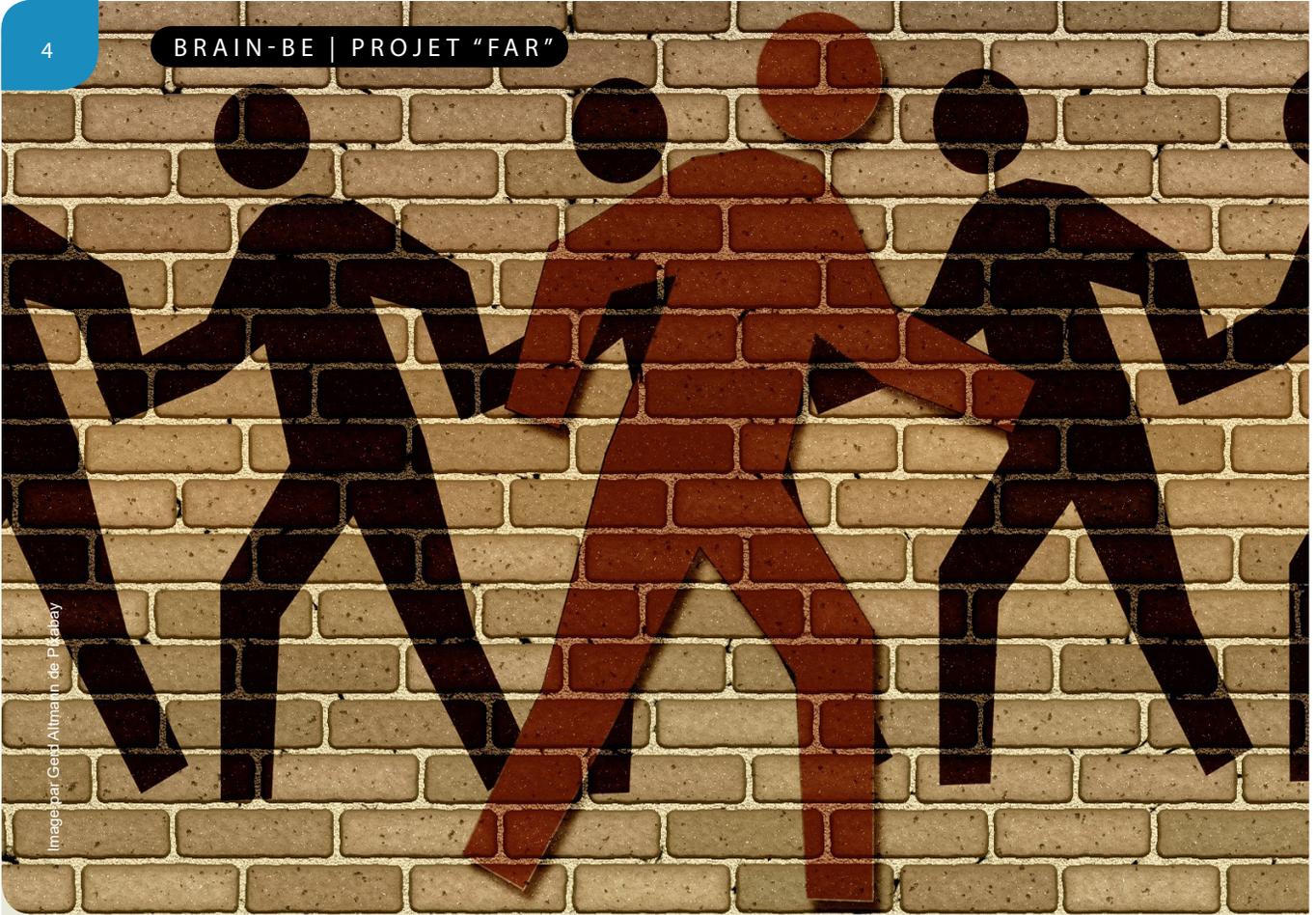


Image par Cerd Altman de Pixabay

ENTRE PRÉVENTION ET SÉCURITÉ

L'APPROCHE BELGE DANS LA LUTTE CONTRE LA RADICALISATION

Silke Jaminé et Nadia Fadil

Le thème de la radicalisation semble aujourd'hui s'inviter à tous les débats publics et politiques. Pourtant, le développement du thème et de la politique est relativement récent dans le contexte belge. Le premier rapport du projet FAR (qui signifie 'Folk Authority and Radicalism'), 'Entre prévention et sécurité. L'approche belge dans la lutte contre la radicalisation', explique les différentes mesures politiques et met en avant l'interaction entre la prévention et la sécurité qui est au centre de cette politique. Le présent article permet d'expliquer brièvement le contexte de la naissance de cette politique en Belgique ainsi que la manière dont elle continue à être développée.

L'introduction du thème radicalisation

La notion de radicalisation a été introduite en Belgique et sur le plan international par l'intermédiaire des services de sécurité intérieure néerlandais, les Nederlandse Binnenlandse Veiligheidsdiensten (BVD, plus tard rebaptisés Algemene Inlichtingen- en Veiligheidsdienst, AIVD) dans les rapports d'analyse de la menace de 2001 et 2004. Dans la première définition du terme, la radicalisation repose surtout sur ce qui est compris comme 'une tendance croissante à aspirer à et/ou à soutenir des changements profonds dans la société qui vont à l'encontre de l'ordre juridique démocratique et/ou qui mettent en œuvre des moyens antidémocratiques'.⁽¹⁾

Le développement de la lutte contre la radicalisation aux Pays-Bas est étroitement lié au débat sur l'intégration né dans les années 90 et qui visait surtout l'intégration dite 'ratée' de minorités ethnoculturelles principalement d'origine marocaine et turque. Ce débat social suscitera une modification drastique du fonctionnement des services de sécurité néerlandais durant la deuxième moitié des années 90 : petit à petit, la problématique de l'intégration y fera l'objet d'une attention croissante. Dès la deuxième moitié des années 90, le BVD vise 'le signalement précoce et (l'aide à) la lutte contre les menaces du processus d'intégration' et la notion d'intégration figure systématiquement dans ses activités⁽²⁾. Dans le rapport de 2000, le lien entre intégration et sécurité est même établi de manière explicite en ces termes, où il est stipulé que 'le BVD accorde une attention particulière à l'intégration des minorités en vue de protéger les droits fondamentaux et dans un souci de sécurité' (traduction libre). Ce lien entre les débats en matière d'intégration et la perspective de sécurité est étroitement lié au phénomène de radicalisation puisque cette notion fait allusion tant à un risque pour la sécurité qu'à des problèmes de société.

Au niveau international également, le développement de la politique de déradicalisation a connu un important virement de cap si l'on se remémore le fossé qui existait à l'origine entre l'approche européenne et celle des États-Unis en matière de terrorisme. Alors que les États-Unis avaient tout d'abord préconisé une réponse militaire au terrorisme, un volet davantage préventif est venu compléter cette politique à partir de 2005 sous la forme d'initiatives CVE (Countering Violent Extremism).

Ce large éventail d'actions préventives ne concernera pas la sécurité et la surveillance mais visera plutôt à empêcher les processus antérieurs

à l'apparition de violence⁽³⁾. Cette focalisation sur la prévention constituera un volet central de la politique en matière de déradicalisation⁽⁴⁾. Dans cette optique, la radicalisation est vue comme un développement progressif dans lequel l'indignation ou l'insatisfaction sociale peut aboutir à la participation ou à l'organisation d'actions violentes. Cette vision graduelle de la violence est dès lors l'un des points de départ sous-jacents de toutes les mesures de déradicalisation en Belgique et à l'étranger : elle permet de partir du principe qu'il est possible d'intervenir précocement, avant même qu'il y ait des signes de violence et qu'il est également possible d'inverser le processus. Cette vision graduelle fait cependant l'objet de critiques scientifiques détaillées. Plusieurs chercheurs pointent le manque de précision de cette notion et soulignent que la reconnaissance de 'signaux' de radicalisation reste arbitraire et abstraite (Kundnani 2012, Sedgwick 2012, Fadil *et al* 2019).

La radicalisation en tant que réalité politique

La lutte contre la radicalisation a surtout occupé le devant de la scène au printemps 2013, lorsque de nombreux jeunes hommes et femmes sont partis vers la Syrie. Auparavant, la politique se limitait surtout à un certain nombre d'initiatives politiques fédérales. En 2002, notre pays a repris la définition néerlandaise de 'radicalisation' dans le Plan M (Plan Mosquées). Ce plan a été rebaptisé en 2005 Plan R et vise surtout la surveillance d'un certain nombre de groupes militants tels que le Groupe Islamique Combattant Marocain (GICM). En outre, c'est également à cette période qu'a été créé l'Organe de coordination pour l'analyse de la menace (OCAM). Cet institut jouera un rôle central dans l'échange d'informations entre les différents niveaux de politique, ainsi que dans l'élaboration de mesures de sécurité et d'action de prévention⁽⁵⁾.

Bien que le Plan R existe depuis 2005, les actions locales en matière de radicalisation telles qu'aux Pays-Bas n'ont pas eu lieu pendant longtemps. Ce n'est qu'à partir de 2012 et 2013 que la politique en matière de radicalisation est devenue une réalité locale. Le départ de jeunes gens en Syrie fut l'impulsion cruciale pour le développement des premières initiatives politiques menées principalement par les autorités locales. En 2013, Anvers, Maaseik, Malines et Vilvorde se positionnaient dans le top des villes adoptant un rôle de leader dans l'élaboration de la politique. Ces communes ont également pu développer cette fonction d'exemple par la grande liberté que connaissent les pouvoirs locaux en Belgique et par l'investissement traditionnel des acteurs locaux dans la politique sécuritaire.

En 2014, l'Autorité fédérale a adopté un Plan R revisité, se concentrant principalement sur la coordination entre les divers niveaux politiques. Ensuite, de nouvelles initiatives ont vu le jour, telles que les CSIL-R (Cellules de Sécurité Intégrales Locales-Radicalisation) ou les NTF (National Task Forces) qui visent toutes deux à faciliter le flux d'information entre les divers niveaux de pouvoir et les acteurs politiques (services de sécurité et police locale, fonctionnaires et acteurs de milieu de terrain).

Les communautés et régions ont à leur tour mis sur pied diverses initiatives politiques. En raison de la répartition des compétences, ces mesures insisteront davantage sur une approche sociale préventive face à la radicalisation. Bien qu'il existe de grandes différences dans les actions que développent les communautés et régions, certaines tendances communes émergent également. L'accent visé au niveau local en est un premier exemple. Les autorités locales ont reçu un rôle de premier plan dans la lutte contre la radicalisation et sont impliquées de manière active en tant que partenaires de discussion ou exécutant de la politique. En outre, la Flandre et les Communautés française et germanophone s'investissent dans le soutien des individus qui courent un risque de radicalisation. Enfin, l'essentiel des actions décrites est constitué de projets préventifs qui s'adressent à des groupes-cibles spécifiques via les actions ou organisations en faveur des jeunes, ou encore l'enseignement.

Le programme BRAIN-be (Belgian Research Action through Interdisciplinary Network) est un programme-cadre de recherche en réseau multidisciplinaire mis en œuvre par BELSPO en 2012.

Il est composé de 6 axes thématiques et de projets pionniers portant sur l'étude du vivant et de l'univers en passant par de la recherche stratégique en soutien aux politiques publiques fédérales, l'étude du patrimoine culturel, historique et scientifique et la gestion des collections.

Actuellement, plus de 150 projets de recherche ont été financés.

Pour en savoir plus: www.belspo.be/brain-be

Deux visions de la radicalisation

Dans le développement et la définition du terme radicalisation et de la politique à ce sujet, deux visions de la sécurité et de la violence semblent se manifester. Une première vision associe radicalisation à des formes violentes de militantisme et de groupes d'action (tels que le salafisme). Une deuxième vision voit par contre le radicalisme comme un processus social de distanciation et de manquement. Ici, l'attention se porte surtout sur l'insatisfaction sociale qui peut mener au refus, voire à l'attaque de la société actuelle.

Ces deux visions créent une tension qui influence également les diverses initiatives politiques. Lorsque la politique a fait son entrée en 2002 au niveau fédéral, l'optique privilégiée était celle de la sécurité. Elle mettait l'accent sur la surveillance et le contrôle (comme la focalisation sur les groupes militants GICM ou, plus tard, Sharia4Belgium). Le départ d'un nombre considérable de jeunes gens vers la Syrie en 2013, dont bon nombre n'étaient pas membres d'une association, a par contre entraîné la diffusion d'une vision plus large et davantage graduelle de la radicalisation parmi les pouvoirs locaux. Ainsi, la radicalisation a surtout été vue comme un phénomène qui touche surtout de jeunes musulmans vulnérables et l'accent a été mis sur des mesures sociales préventives.

Cette dernière vision graduelle de la radicalisation a néanmoins fait en sorte que des phénomènes sociaux - tels que traîner dans certains groupes ou tenir des discours sur les attentats dans les écoles - sont approchés d'un point de vue davantage sécuritaire. Les thèmes de sécurité et de prévention sociale sont donc étroitement liés. Notre étude montre que plusieurs fonctionnaires interrogés mettent en garde contre les effets contre-productifs qui pourraient survenir sur le terrain. Ainsi par exemple, les agents de police sont de plus en plus souvent supposés endosser un rôle social en tant qu'*information officer*, notamment pour des écoles et faire du *community policing*. En outre, les travailleurs sociaux pourraient se voir chargés de collaborer dans la lutte contre la radicalisation violente dans le cadre de partage d'informations sensibles qu'ils rencontreraient dans leur travail quotidien. La coexistence de ces deux logiques implique néanmoins un risque, à savoir que les projets sociaux ne soient plus justifiés dans leur existence dans une logique purement sociale, mais qu'un agenda sécuritaire (notamment pour prévenir la radicalisation) devienne une condition impérative pour obtenir un soutien.

Des frontières floues, un mandat incertain

C'est dans les Cellules de Sécurité intégrales locales en matière de radicalisme, d'extrémisme et de terrorisme (CSIL-R) que ce manque de clarté et ces incertitudes auprès des fonctionnaires interrogés devient le plus flagrant. Les CSIL-R ont été créés en 2015 par une circulaire ministérielle dans le but d'instaurer une collaboration institutionnelle plus aisée entre les acteurs sociaux (tels que les CPAS, les PMS et les travailleurs de la jeunesse) et la police afin de surveiller les personnes radicalisées. Depuis 2018, la création d'une CSIL-R est légalement obligatoire pour chaque commune.

Les acteurs sociaux interrogés sont nombreux à souligner la difficulté d'une collaboration structurelle avec la police. Cela pourrait en effet mener à troubler les relations de confiance avec les groupes sensibles, ce qui nuirait également à leur relation d'assistance. Ils craignent en outre que ce type de collaboration puisse signifier une violation du secret professionnel ou du devoir de discrétion. Les fonctionnaires qui sont chargés de l'organisation d'une CSIL-R pointent quant à eux du doigt un rôle qu'ils estiment trop vague. Bien qu'ils se réjouissent de l'autonomie dont ils disposent et qui leur permet d'élaborer une politique adéquate et sur mesure, ils mettent en garde contre les incertitudes en matière de partage d'informations qui comportent un risque éventuel.

Différents acteurs sur le terrain mettent également en garde contre l'émergence croissante d'une 'approche sécuritaire' au sein de la société. Les décideurs politiques et les acteurs sociaux soulignent l'importance d'agir de manière vigilante avec ce développement qui pourrait avoir des effets contre-productifs et générer davantage de méfiance. Ils craignent également que le travail social et les actions en faveur de la jeunesse ne soient plus reconnus pour leur fonction intrinsèque de soutien des groupes sensibles, mais surtout pour le rôle qu'ils peuvent jouer dans la prévention de la radicalisation. Ces diverses inquiétudes témoignent de la difficulté de ce dossier, et surtout de la nécessité de distinguer clairement la politique de sécurité du travail social et ce de manière adéquate et ferme.

Le rapport de recherche complet est disponible en ligne.

www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/FAR_FinRep_fr.pdf

www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/FAR_FinRep_nl.pdf

Cette enquête fait partie du projet FAR (Folks, Authorities and Radicalism: between polarization and social construction) dans le programme Brain.be avec le soutien de Belspo. Le FAR est une collaboration entre la KULeuven, l'ULB et l'INCC.

Notes

(1) Algemene Inlichtingen- en Veiligheidsdienst (2004). *Van dawa tot jihad*. Consultable via <https://english.aivd.nl/publications/publications/2005/03/30/from-dawa-to-jihad>.

(2) Fadil, N. (2017). *Tegen radicalisering: Pleidooi voor een postkoloniaal Europa*. Bruxelles: VUBPress. p. 19

(3) Kundnani, A. (2012). Radicalisation: the journey of a concept. *Race & Class*, 54(2), 3–25. doi: <https://doi.org/10.1177/0306396812454984>; Kundnani, A., & Hayes, B. (2018). *The globalisation of Countering Violent Extremism policies* (nr. 48). Amsterdam: Source.

(4) Colaert, L. (red.). (2017). 'Deradicalisering'. *Wetenschappelijke inzichten voor een Vlaams beleid*. Bruxelles: Vlaams Vredesinstituut. pp. 28–31

(5) Jaminé, S., & Fadil, N. (2019). *(De-)radicalization as a negotiated practice: An ethnographic case study in Flanders*. In N. Fadil, F. Ragazzi, & M. de Koning (red.), *Radicalization in Belgium and The Netherlands: critical perspectives on violence and security* (pp. 169–193). Londres: I.B. TAURIS. p. 174

Zoom sur la qualité de l'air dans le monde avec TROPOMI

Michel Van Roozendael

Introduction

Copernicus est le programme européen de surveillance de la Terre. Il s'intéresse à notre planète et à son environnement en offrant, au bénéfice de tous les citoyens européens, des services d'information basés sur l'observation de la Terre par satellite et à partir de réseaux de mesure au sol. Grâce à Copernicus, la Commission Européenne a mis sur pied un ensemble de satellites appelés 'Sentinelles' conçus pour scruter la Terre afin de fournir des données essentielles sur le climat, l'exploitation des sols, les ressources naturelles, la hauteur des océans et des glaces, etc. L'Agence Spatiale Européenne (ESA) est chargée de bâtir le segment spatial en support des six services Copernicus concernant respectivement les milieux atmosphérique, marin et terrestre ainsi que le changement climatique, la sécurité et la gestion des urgences.

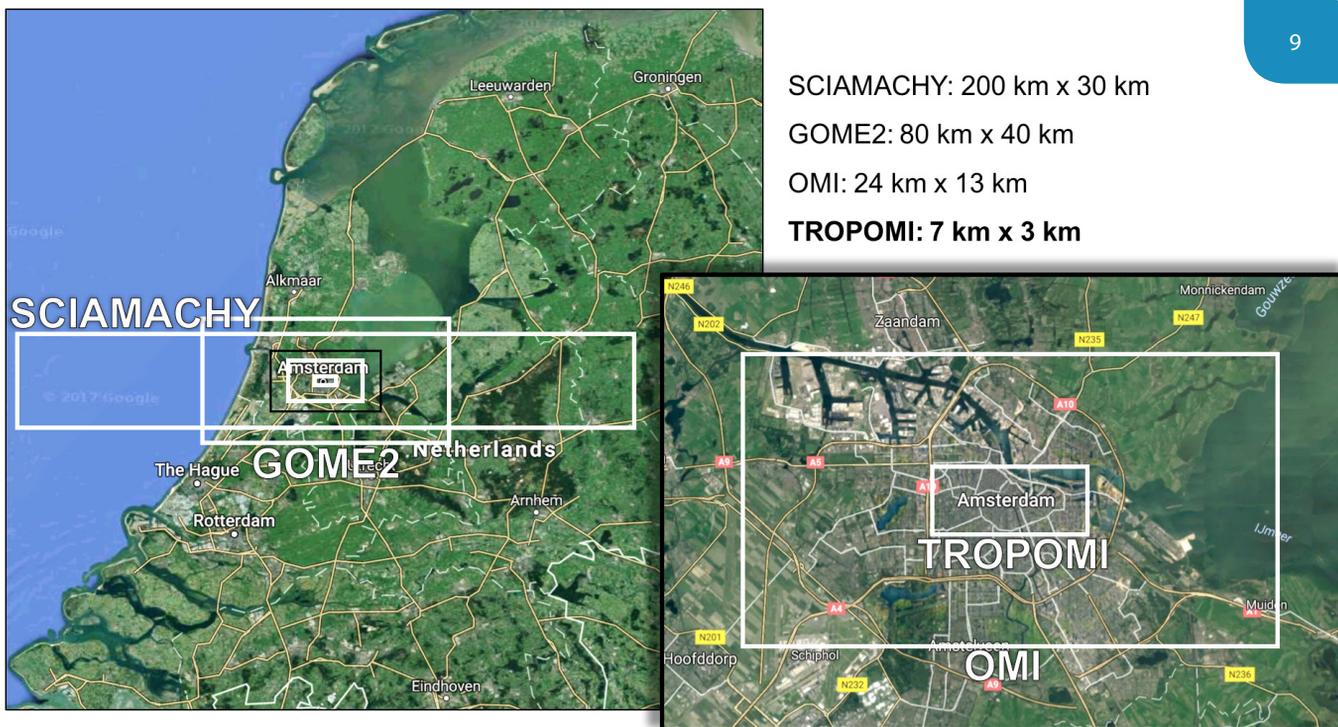
Lancé le 13 octobre 2017 sur une orbite polaire héliosynchrone, le satellite Sentinel-5 Precursor est la première mission Sentinelle dédiée à l'observation de la pollution de notre atmosphère. Comme son nom l'indique, Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P) est le précurseur des trois satellites de composition atmosphérique Sentinel-5 qui seront lancés à

l'horizon 2021-2035, assurant la continuité de la surveillance globale de l'atmosphère jusqu'en 2042. Grâce à son instrument TROPOMI, le spectromètre d'imagerie multi-spectrale le plus sophistiqué à ce jour, Sentinel-5P fournit des données sur la composition de l'atmosphère avec un niveau de détail et de précision jamais atteint.

Avec ses canaux dans l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge proche, TROPOMI mesure l'abondance de plusieurs constituants clés de la pollution atmosphérique tels que l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2), le méthane (CH_4), le formaldéhyde (HCHO) ainsi que les aérosols et les nuages. Au côté de différents partenaires européens impliqués depuis le début de la mission en 2009, l'IASB a joué un rôle important dans le développement des algorithmes de restitution des molécules SO_2 , HCHO et ozone. Il occupe également une place centrale dans le programme de validation de la mission et contribue à l'analyse scientifique des données, notamment à l'aide de modèles mathématiques de l'atmosphère. Au total, la mission Sentinel-5P mobilise environ 20 personnes à l'IASB. Cet article illustre par le biais de quelques exemples l'apport principal de la mission et la contribution belge.

Objectif de la mission

Selon un rapport récent de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), chaque année la pollution de l'air est responsable du décès de 400 000 personnes en Europe et 7 millions dans le monde, dû à l'inhalation d'un air trop chargé en particule fine et/ou d'autres espèces polluantes. C'est davantage que les morts cumulés du sida (1,1 million), de la tuberculose (1,4 million), du diabète (1,6 million) et des accidents de la route (1,3 million). L'OMS reconnaît également que la pollution de l'air représente un facteur de risque à l'origine de maladies non-transmissibles, telles que le cancer du poumon, l'accident vasculaire cérébral ou encore l'infarctus. La mission Sentinel-5P participe à une stratégie globale de mitigation des risques associés à la pollution de l'air et au changement climatique, sachant que les deux problématiques sont intimement liées. Son objectif principal est de fournir une cartographie globale de l'état de la pollution et de son évolution, et de contribuer à un système d'observation intégré combinant mesures sol, mesures satellitaires et modélisation, tel que développé au sein du Service de surveillance de l'atmosphère du programme Copernicus (CAMS) (voir <https://atmosphere.copernicus.eu>).



SCIAMACHY: 200 km x 30 km

GOME2: 80 km x 40 km

OMI: 24 km x 13 km

TROPOMI: 7 km x 3 km

Figure 1: Délimitation approximative d'un pixel au sol des instruments satellitaires SCIAMACHY, GOME-2, OMI et TROPOMI. La région illustrée couvre les Pays-Bas et est centrée sur la ville d'Amsterdam. Le gain de résolution apporté par TROPOMI est spectaculaire et permet, pour la première fois, la mesure de polluants troposphériques à l'échelle sub-urbaine. © KNMI

L'instrument TROPOMI

Sentinel-5P embarque à son bord un instrument unique - TROPOMI (pour 'Tropospheric Monitoring Instrument') - développé par plusieurs instituts de recherche hollandais en particulier l'Institut royal météorologique des Pays-Bas (KNMI), le centre de recherche spatiale hollandais (SRON) et le centre de recherche appliquée (TNO). D'une masse totale de 220 kg, il se compose de deux spectromètres à réseau imageurs dans une configuration 'en peigne' (pushbroom en anglais) couvrant une bande spectrale allant de l'ultraviolet à la lumière visible et deux canaux dans l'infrarouge proche. Ces bandes ont été sélectionnées pour optimiser la détection des différentes espèces chimiques recherchées. La fauchée a une largeur de 2 600 km et la résolution spatiale au nadir est de 3,5 x 7 km² (3,5 x 5,5 km² depuis le 6 août 2019). Par rapport à ses prédécesseurs SCIAMACHY, GOME-2 et OMI (voir figure 1), le gain en résolution apporté par TROPOMI est considérable et permet pour la première fois de résoudre la pollution à l'échelle des villes.

La conception de TROPOMI se base sur l'héritage de l'instrument OMI en orbite sur le satellite AURA de la NASA depuis 2004. Elle s'en différencie cependant par nombre d'améliorations techniques

dont l'addition de canaux infrarouges utilisant une technologie innovante de réseaux de diffraction immergés et la réalisation d'une optique de forme libre pour le télescope d'entrée. Ces caractéristiques font de TROPOMI l'instrument le plus abouti jamais réalisé dans son domaine, ses performances atteignant et dépassant souvent les exigences définies initialement pour la mission. Bien que cette réalisation soit à mettre au crédit des Pays-Bas, notons que le Centre Spatial de Liège (CSL) a joué un rôle important dans la phase de préparation, en fournissant la plupart des équipements de calibration optique au sol et en menant une série de tests dans des conditions spatiales strictes durant plus de 130 jours.

Lancé le 13 octobre 2017 depuis le cosmodrome de Plessetsk en Russie, le satellite est placé sur une orbite héliosynchrone à une altitude de 824 kilomètres pour une durée de vie prévue de 7 ans. Du fait de la largeur de la fauchée, l'ensemble de la surface terrestre est balayée en 24 heures. L'heure locale de visite est 13h35.

Cartographie des sources de pollution urbaine et industrielle

Malgré les efforts entrepris ces dernières années pour développer de nouvelles sources d'énergie verte, l'activité anthropique dans le monde et les besoins énergétiques associés dépendent principalement de sources d'énergie fossile non-renouvelables, telles que le pétrole, le gaz et le charbon. La combustion de ces énergies fossiles est responsable de l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère, qui est une des causes principales du changement climatique. Outre leur effet sur le CO_2 , les processus de combustion à l'œuvre dans les moteurs thermiques, le chauffage ou la production d'électricité émettent également d'autres espèces chimiques polluantes. L'une d'elles, le dioxyde d'azote (NO_2) – gaz réactif irritant pour les bronches et impliqué dans la formation d'ozone et de particules fines – est un marqueur efficace de l'activité anthropique dans les régions industrialisées et à forte densité de population.

Les mesures globales de NO_2 fournies par TROPOMI (figure 2) montrent de façon très démonstrative la prépondérance des émissions polluantes au-dessus de l'Europe, le Moyen-Orient, le sud de l'Afrique et l'est des Etats-Unis. Les sources naturelles liées aux feux sont également visibles ainsi que l'impact des

routes maritimes. Mais l'apport exclusif de TROPOMI se révèle encore mieux à l'échelle des régions, où la résolution spatiale de l'instrument permet, pour la première fois depuis l'espace, d'identifier avec précision et au jour le jour les sources locales comme Bruxelles ou Anvers en Belgique et l'influence du transport par les vents (figure 3).

Une autre espèce polluante mesurée par TROPOMI est le dioxyde de soufre (SO_2). Outre les volcans dont nous parlerons un peu plus loin, le SO_2 est produit lors de l'utilisation de combustibles fossiles riches en impuretés soufrées (comme le charbon et certains types de fuels) ainsi qu'en relation avec l'exploitation de divers minerais. Si la pollution au SO_2 , responsable de pluies acides délétères, a pu être maîtrisée dans nos régions grâce à l'amélioration des carburants ou la désulfuration des fumées des installations de combustion, elle continue à sévir dans certaines régions du monde, en particulier en Inde où le charbon constitue la source d'énergie principale et dans les exploitations pétrolières du Moyen-Orient. Malgré des mesures d'assainissement importantes réalisées ces dernières années, la Chine reste elle-aussi une source significative (figure 4). Les mesures de pollution fournies par TROPOMI

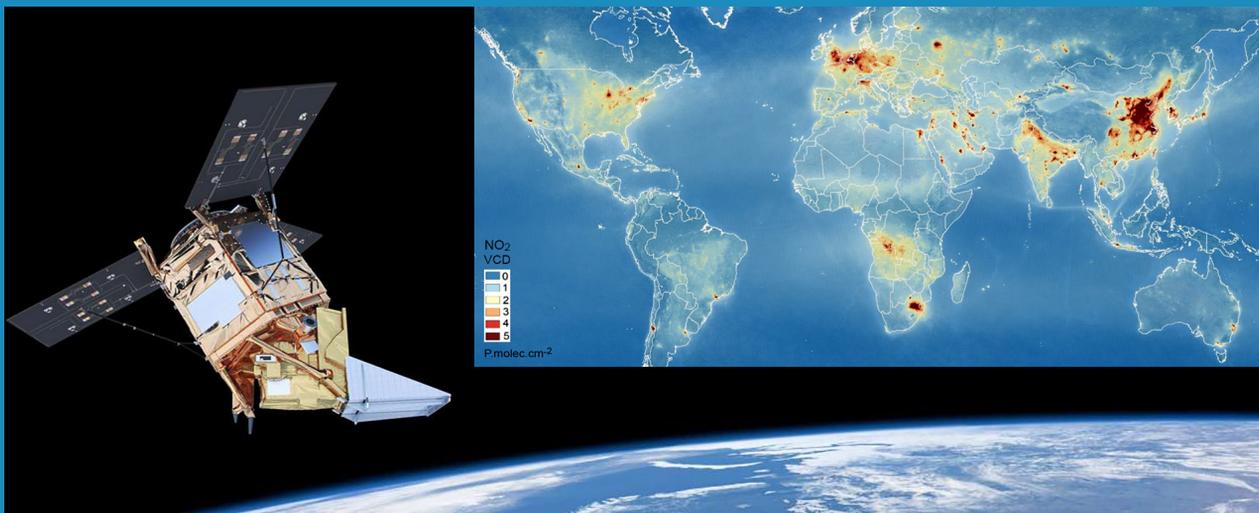


Figure 2: Représentation d'artiste du satellite Sentinel-5 Precursor sur une orbite située à 824 km d'altitude. À son bord, l'instrument TROPOMI observe le rayonnement solaire réfléchi par la terre et/ou les nuages et en déduit l'abondance de molécules atmosphériques, notamment le dioxyde d'azote (NO_2) un polluant présent dans une couche d'environ un kilomètre d'épaisseur à la surface de la terre. La carte montre la distribution moyenne sur un an des sources de pollution dans le monde. Celles-ci sont principalement dues aux activités anthropiques, notamment trafic routier ou maritime et industrie.

et d'autres senseurs satellitaires dans ces régions généralement mal couvertes par les systèmes d'observation au sol sont essentielles et permettent un suivi de l'évolution des émissions dans le temps, ainsi que (via leur publication) d'une prise de conscience de l'importance de mettre en œuvre des mesures d'assainissement adéquates.

Pollution naturelle et anthropique : les composés organiques volatils

Si l'abondance du NO_2 dans l'atmosphère résulte principalement des activités humaines et industrielles, d'autres polluants sont à la fois émis par des sources anthropiques et naturelles dans des quantités comparables. C'est le cas notamment des composés organiques volatils (COVs) qui proviennent de la végétation et des feux de forêt, mais sont aussi produits par l'industrie et le transport. Ces dernières sources sont souvent majoritaires en milieu urbain. Les COVs sont très importants dans le bilan de la pollution atmosphérique, car leur dégradation s'accompagne notamment de la formation d'ozone

et de particules d'aérosol.

La plupart des COVs ne peuvent pas être observés depuis l'espace, cependant TROPOMI permet de mesurer le formaldéhyde (HCHO), un produit de dégradation commun à un grand nombre de COVs. Combinées avec l'utilisation de modèles de chimie-transport développés à l'IASB, ces mesures fournissent une contrainte très utile pour optimiser les inventaires d'émission des différents COVs, et par là améliorer notre compréhension du bilan de l'ozone. Comme le NO_2 , le HCHO a un temps de résidence très court dans l'atmosphère (quelques heures) et sa mesure permet donc de localiser et quantifier les sources de pollution sans interférence avec le transport par les vents. La figure 5, produite à l'IASB, montre la distribution moyenne du HCHO au cours d'une année complète. On y décèle les différentes sources liées à la végétation principalement en Amérique du Nord, Afrique Centrale, Inde et Amazonie, les feux en Afrique, Amérique Centrale et Indonésie et la pollution en Asie de l'Est (Chine).

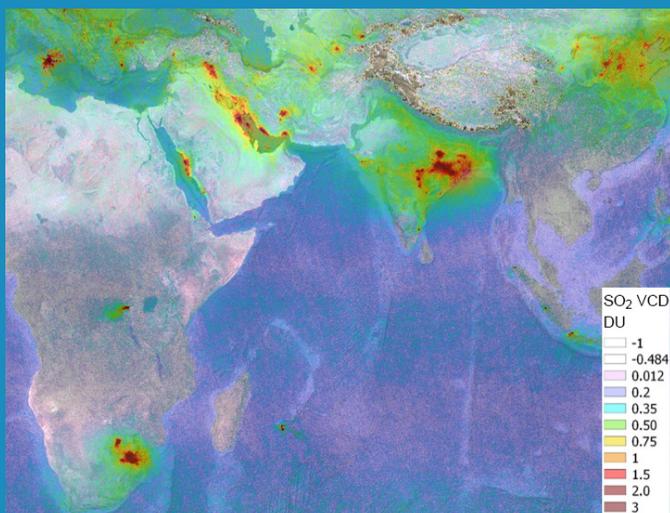
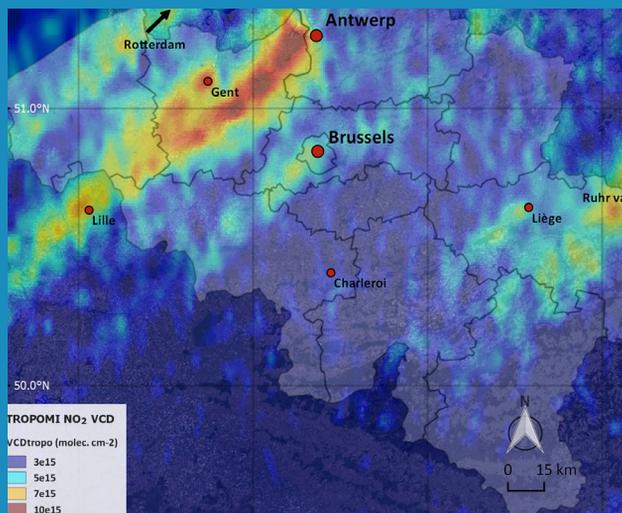


Figure 3: Distribution spatiale de la colonne troposphérique de dioxyde d'azote (NO_2) au-dessus de la Belgique, mesurée par TROPOMI le 27 juin 2019. Le transport, sous l'effet du vent de Nord-Est, de la pollution en provenance des sources urbaines d'Anvers, Bruxelles, Gand et Liège est évident. La figure montre également la pollution affectant le territoire belge en provenance de l'Allemagne (vallée de la Ruhr) et des Pays-Bas (Rotterdam). © BIRA-IASB/ESA

Figure 4: Moyenne annuelle des colonnes troposphériques de dioxyde de soufre (SO_2) dans les régions du Moyen-Orient, la Chine et l'Afrique. Les sources de pollution observées résultent soit de centrales électriques au charbon mal ou non-désulfurisées, soit d'exploitations pétrolières (notamment au Moyen-Orient) ou encore de l'industrie minière. Les abondances élevées dans le sud de l'Italie sont dues au volcan Etna. © BIRA-IASB/ESA/DLR

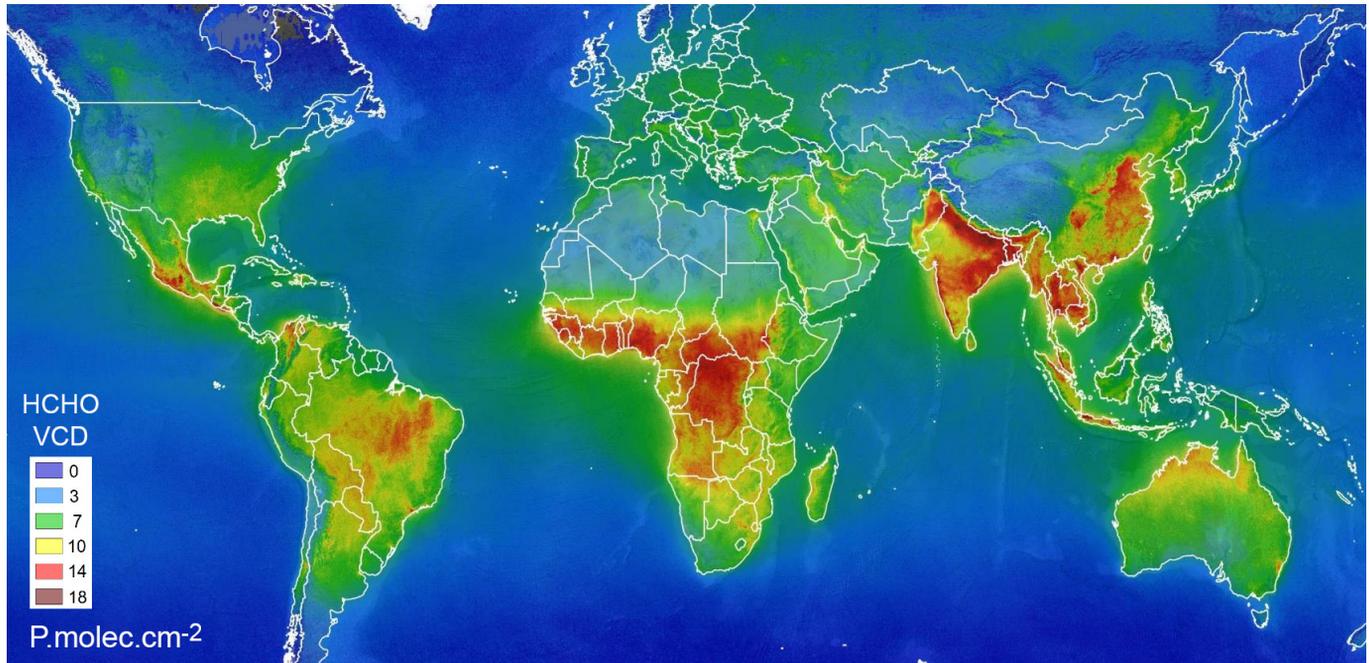


Figure 5: Carte des colonnes troposphériques de formaldéhyde (HCHO) montrant la distribution moyenne annuelle des sources de composés organiques volatils (COVs) dans le monde. Ces émissions sont soit d'origine naturelle liées aux cycles de la végétation, soit produites dans des feux de forêts principalement en zone tropicale, soit dues à la pollution anthropique (notamment en Chine). © BIRA-IASB/ESA/DLR

Comment TROPOMI mesure-t-il l'abondance des gaz atmosphériques ?

Contrairement aux instruments utilisés dans les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, qui se basent généralement sur l'analyse chimique, les satellites utilisent des méthodes de télédétection qui exploitent le rayonnement solaire réfléchi par la terre et/ou émis thermiquement par celle-ci pour en déduire l'abondance des molécules présentes dans l'atmosphère. La méthode utilisée est celle de la spectroscopie d'absorption, qui consiste à résoudre la lumière solaire en ses différentes composantes de longueur d'onde (c'est-à-dire en ses différentes couleurs).

Comme chaque molécule possède un spectre d'absorption qui lui est propre (en quelque sorte son empreinte digitale), il est possible d'identifier lors de l'analyse quelles sont les molécules présentes dans l'atmosphère et en quelle quantité. Dans les régions de l'ultraviolet, du visible et du proche infrarouge mesurées par TROPOMI, de nombreuses molécules peuvent ainsi être détectées sans ambiguïté et, à l'aide d'algorithmes mathématiques complexes qui décrivent le transfert de la radiation solaire dans l'atmosphère, leur abondance est quantifiée et rapportée sous forme numérique ou en code de couleur comme dans les cartes de cet article.

Basé sur l'héritage de plusieurs autres missions européennes lancées depuis 1995, les chercheurs de l'IASB ont acquis une expertise de renommée internationale dans ce domaine, ce qui les a amenés à contribuer au développement des processeurs de données de TROPOMI depuis les premières phases de la mission jusqu'à aujourd'hui, au sein du Sentinel-5P Mission Performance Center (MPC).

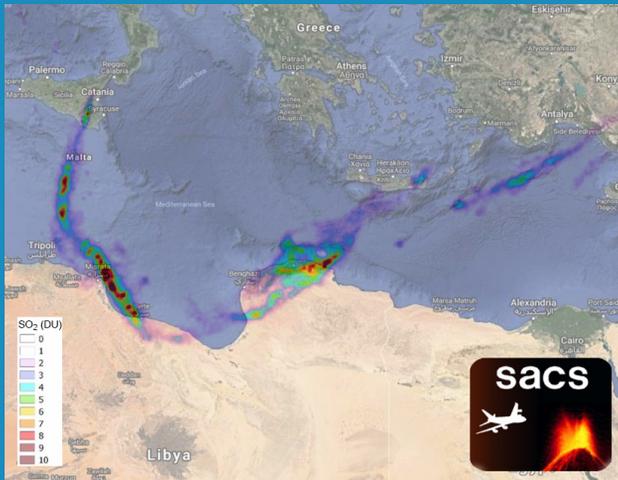


Figure 6 : Panache de dioxyde de soufre (SO_2) éjecté par le volcan Etna dans le sud de l'Italie le 26 décembre 2018. La carte montre la dispersion du panache sous l'action des vents dans la basse atmosphère. Ces données sont utilisées comme un indicateur de la présence de cendres volcaniques dans le cadre du service de support au contrôle de l'aviation (SACS) développé à l'IASB pour informer sur le danger volcanique. © BIRA-IASB/ESA/DLR

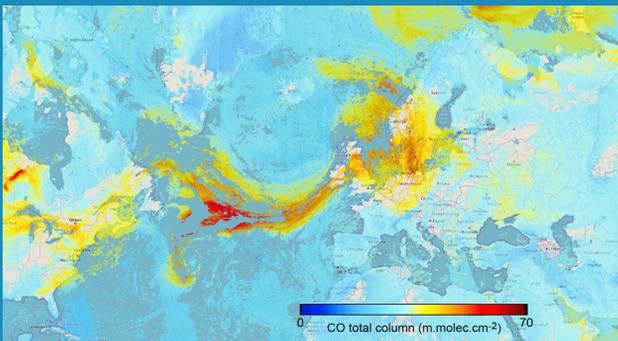


Figure 7 : Panache de monoxyde de carbone (CO) émis le 15 août 2018 par des feux de forêts intenses localisés en Californie et transporté par les vents à travers l'atlantique jusqu'en Europe du Nord. Les mesures de CO de TROPOMI montrent bien l'impact du transport à large échelle sur la pollution de l'air.

© KNMI/ESA

Risques naturels : les volcans et les feux de forêt

Outre sa résolution spatiale élevée, TROPOMI dispose également d'un système de traitement de données performant et rapide, très utile pour les applications en temps réel. Grâce à cette rapidité d'action, TROPOMI peut notamment détecter les épisodes soudains de pollution et contribuer à la gestion des risques associés.

Un exemple est celui des volcans dont les éruptions (environ 50 par an en moyenne dans le monde) émettent dans l'atmosphère de grandes quantités de cendres et de gaz corrosif susceptibles d'endommager les moteurs d'avion. Compte tenu du trafic aérien en constante augmentation, le risque lié au volcanisme est pris très au sérieux par les compagnies d'aviation et fait l'objet de centres spécialisés, les VAACs (Volcanic Ash Advisory Centers). En support aux VAACs, l'IASB a développé le service SACS (Support to Aviation Control Service, <http://sacs.aeronomie.be>) qui utilise les données de différents satellites, dont TROPOMI, pour détecter les éruptions volcaniques et informer au mieux les instances concernées. La figure 6 montre un exemple de panache de SO_2 (utilisé ici comme indicateur de la présence possible de cendres) mesuré par TROPOMI le 26 décembre 2018 suite à une éruption de l'Etna dans le Sud de l'Italie. Grâce à sa résolution spatiale élevée et sa grande sensibilité, TROPOMI permet aussi de surveiller le dégazage régulier de volcans en activité, ce qui permet d'aider à la prévision de possibles éruptions futures.

Un autre exemple concerne les feux de forêt dont l'actualité récente a montré la recrudescence, notamment en Australie et aux Etats-Unis. La probabilité que de tels événements se multiplient dans les prochaines années est élevée, car en asséchant la végétation, le changement climatique entraîne une augmentation du danger de feux avec un impact environnemental important. Suite à la combustion de la biomasse, les feux de forêts émettent de nombreux polluants dans l'atmosphère dont plusieurs (notamment NO_2 , HCHO, CHOCHO, HONO, CO et les aérosols absorbants) peuvent être quantifiés par TROPOMI, ce qui aide à mieux cerner l'impact des feux sur la qualité de l'air environnant, mais aussi sur l'impact du transport de cette pollution à plus longue distance. La figure 7 montre comment les mesures de monoxyde de carbone (CO, une molécule dont le temps de résidence dans l'atmosphère est de plusieurs mois) permettent de suivre l'évolution du panache de pollution sur de très longues distances, ici depuis la Californie jusqu'au Nord de l'Europe.

La gestion de l'incertitude, une spécialité développée à l'IASB

Sans une évaluation appropriée de sa qualité et une estimation précise de son incertitude, aucune donnée ne peut être utilisée avec confiance. Ceci est particulièrement vrai pour tout nouveau système de mesure, en particulier pour TROPOMI. Copernicus et l'ESA ont par conséquent élaboré et implémenté un programme de vérification et de validation exhaustif adressant toutes les composantes de la mission, depuis la radiance solaire directement mesurée par les spectromètres jusqu'aux produits géophysiques dérivés par analyse mathématique, c'est-à-dire l'abondance de colonne des différentes molécules.

Tandis que l'instrument lui-même est surveillé aux Pays-Bas par les concepteurs de TROPOMI, un système automatisé hébergé à l'IASB (<http://s5p-mpc-vdaf.aeronomie.be>) surveille en continu les performances des données de TROPOMI. Cette analyse est soutenue par un éventail d'activités de validation approfondies spécifiques. Les mesures corrélatives fournies par les réseaux opérationnels d'observation (tels que le NDACC, TCCON, PGN, GAW, etc.) et les données d'autres satellites servent de référence indépendante. Les analyses se basent sur de nombreux outils, la plupart développés à l'IASB, dont notamment des modèles numériques simulant l'atmosphère et capables d'ingérer intelligemment les données, par exemple dans des schémas de modélisation inverse.

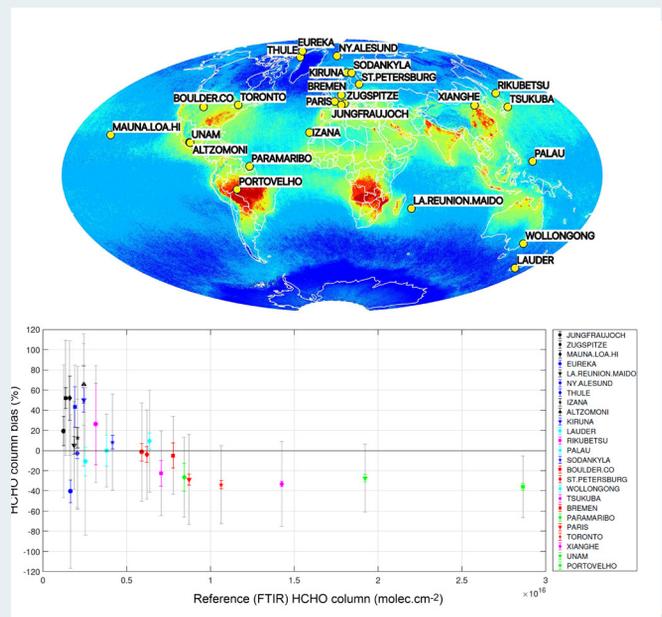
L'ensemble de ces études résulte en une estimation fiable des incertitudes liées à chaque donnée, ainsi qu'en recommandations utilisées pour améliorer les algorithmes produisant ces données.

Figure 8: Comparaison entre les colonnes troposphériques de formaldéhyde (HCHO) de TROPOMI et des mesures de référence obtenues à l'aide du réseau de spectromètres à transformée de Fourier (FTIR) du NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change). Les résultats montrent que TROPOMI tend à surestimer les abondances de HCHO pour les faibles valeurs et à sous-estimer pour les valeurs élevées. De tels résultats de validation sont très utiles pour progresser dans l'amélioration des algorithmes de traitement de données du satellite. © BIRA-IASB/NDACC

Le méthane, un gaz à effet de serre empreint de mystère

Après le CO_2 , le méthane (CH_4) est le deuxième gaz à effet de serre anthropogénique. Bien que son abondance dans l'atmosphère soit moindre que celle du CO_2 , son pouvoir de réchauffement par molécule est beaucoup plus élevé ce qui explique son importance relative. Par rapport au CO_2 , le CH_4 se dissipe également beaucoup plus vite dans l'atmosphère (environ en 10 ans, contre 100 ans pour le CO_2), ce qui implique qu'une réduction de l'abondance de cette molécule aura un impact plus rapide sur le bilan radiatif de la terre. Comme le CO_2 , le CH_4 a été à la hausse tout au long des décennies 80 et 90, mais il semblait s'être stabilisé au tournant du millénaire... jusqu'à ce que son abondance se remette à croître depuis 2007, pour des raisons qui actuellement restent mal comprises et mobilisent une très large communauté de scientifiques dans le monde.

Si la distribution globale du CH_4 a été mesurée dans le passé à l'aide de plusieurs satellites, dont SCIAMACHY sur la plateforme ENVISAT ou le satellite japonais GOSAT, TROPOMI est le premier instrument spatial permettant de cartographier cette molécule à haute résolution avec une couverture globale journalière et une précision inférieure au pourcent. Pour atteindre de telles performances, TROPOMI utilise une technologie instrumentale innovante mais également des algorithmes de restitution complexes nécessitant l'utilisation de données auxiliaires sur les nuages, fournies par le satellite américain S-NPP qui vole en tandem avec Sentinel-5P dans le cadre d'un accord de coopération ESA-NASA. Quant à elle, la Belgique joue un rôle important dans la validation, particulièrement critique, de ces données (voir encart).



Conclusions

Sentinel-5 Precursor/TROPOMI est la première mission du programme européen Copernicus dédiée à la surveillance de la composition atmosphérique. Lancée avec succès en octobre 2017, elle totalise plus de deux années d'observation dont dix mois en phase opérationnelle. La plupart des produits géophysiques (NO_2 , CO , HCHO , SO_2 , O_3 , CH_4 , nuages et indices d'aérosol) ont atteint le statut opérationnel et sont distribués en accord avec la politique de Copernicus qui autorise l'accès gratuit et inconditionnel aux données d'observation.

Les performances remarquables de TROPOMI, démontrées par le système de validation opérationnel développé à l'IASB, permettent une détection plus détaillée de la pollution au niveau des villes et des grands axes de transport, des sources naturelles et anthropiques, et des risques environnementaux liés aux éruptions volcaniques et aux feux de forêt. Sentinel-5P fournit non seulement une contribution majeure au service Copernicus de surveillance de l'atmosphère (CAMS) mais il est également utilisé dans un nombre croissant de services environnementaux en Europe et dans le monde, notamment aux Etats-Unis, en Chine et au Japon. En Belgique, les données de TROPOMI sont en cours d'intégration dans le système TERRASCOPE qui rassemble les données d'observation de la terre à l'attention des utilisateurs belges (voir <https://terrascope.be/en>).

Avec ses partenaires du consortium TROPOMI, l'IASB contribue activement à la recherche scientifique nécessaire pour développer de nouveaux produits géophysiques (par exemple, la possibilité de mesurer le HONO, une molécule importante dans la chimie des feux de forêt, a récemment été démontrée par nos chercheurs) et pour améliorer la précision et la fiabilité des produits existants. Il s'investit également dans l'exploitation scientifique de la mission, par exemple en intégrant les données dans des modèles numériques de l'atmosphère.

Conçue comme le précurseur de Sentinel-5, Sentinel-5P prépare l'avènement d'une ère nouvelle pour l'observation de l'atmosphère qui reposera sur une constellation composée de trois satellites en orbite géostationnaire, proposant des mesures horaires de la composition atmosphérique respectivement au-dessus de l'Europe, l'Asie et les Etats-Unis, complétés par plusieurs satellites offrant une couverture journalière globale en orbite basse. Sur base de ses acquis, l'IASB ambitionne de fournir une contribution importante à la mise en œuvre et l'exploitation de ce système.

REMERCIEMENTS

La recherche et les développements réalisés à l'IASB en support de la mission TROPOMI sont financés par la Politique scientifique fédérale (Belspo) dans le cadre du programme PRODEX (projets TRACE-S5P et TROVA) ainsi que par l'ESA au sein du Sentinel-S5P Mission Performance Center et du programme Sentinel-5P Innovation. Nous remercions nos partenaires internationaux de l'Institut Météorologique Royal et de l'Institut de Recherche Spatiale des Pays-Bas (KNMI et SRON), l'Agence Spatiale Allemande (DLR), les universités de Bremen et de Thessalonique, le Rutherford Appleton Laboratory au Royaume Uni, et l'institut Max-Planck de Mainz.

L'AUTEUR

Michel Van Roozendaal est chef de division et responsable du groupe de recherche UV-Vis DOAS à l'IASB. Il a commencé sa carrière au début des années 1990 en étudiant la problématique de la destruction d'ozone et en développant les observations de spectroscopie UV-Vis de l'institut. A partir des années 2000, il a monté son propre groupe de recherche focalisé sur la cartographie satellitaire des gaz en trace dans la troposphère ainsi que le développement de la technique MAX-DOAS. Il est impliqué dans différents comités de support scientifique aux missions de l'ESA et auteur ou co-auteur de plus de 200 articles dans des revues internationales à comité de lecture.

Les poumons de notre planète ont-ils atteint leurs limites ?

LA CAPACITÉ DES FORÊTS TROPICALES À CAPTURER DU CO₂ DE L'ATMOSPHÈRE DIMINUE PLUS RAPIDEMENT QUE PRÉVU

Wannes Hubau, Simon Lewis, Corneille Ewango, John Tshibamba Mukendi, Hans Beeckman et Jonas Van de Voorde

Les forêts tropicales intactes sont connues comme étant des 'éponges à carbone' qui freinent le réchauffement climatique en absorbant du dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère et en le stockant dans les arbres. La plupart des modèles climatiques globaux estiment que ces éponges à carbone tropicales continueront à fonctionner à plein régime pendant des décennies. Cependant, des chercheurs du Musée royal de l'Afrique centrale, de l'Université de Leeds (Royaume-Uni) et d'un consortium international d'instituts de recherche ont démontré que cette estimation est fautive. La séquestration de carbone par les forêts tropicales intactes a atteint un pic dans les années 1990 et diminue rapidement depuis. Ces résultats alarmants suggèrent que la neutralité carbone doit être atteinte encore plus rapidement que prévu.

Le cycle global du carbone

Afin de bien saisir l'importance des résultats, nous présentons rapidement le cycle global du carbone (Figure 1). Notre planète héberge quatre grands réservoirs de carbone. La croûte terrestre constitue le réservoir le plus important. Elle détient des quantités gigantesques de carbone fossile (100 000 000 milliards de tonnes), dont environ 15 000 milliards de tonnes sont accessibles par l'homme à la surface (sous la forme de pétrole, de gaz naturel, de charbon, etc.). Les océans sont le deuxième réservoir le plus important. Ils contiennent près de 38 000 milliards de tonnes de carbone. La surface terrestre occupe la troisième place. Elle est composée de différents types de végétation (allant de la toundra à la forêt tropicale humide) et des couches superficielles que recouvre cette végétation (la majorité du carbone superficiel réside dans les deux premiers mètres). Ce réservoir détient près de 2300 milliards de tonnes de carbone. Enfin, l'atmosphère est également un réservoir. Elle contient une infime partie du carbone sur Terre (760 milliards de tonnes). Des flux de carbone s'opèrent continuellement entre ces trois derniers réservoirs. La majorité du carbone de la croûte terrestre et des fonds des océans est stockée de manière permanente, mais les eaux superficielles en contiennent environ 1000 milliards de tonnes (sur les 200 premiers mètres), en contact avec l'atmosphère. Nombreux sont également les échanges entre l'atmosphère et la végétation terrestre. Depuis la dernière glaciation (il y a environ 11 700 ans), ces échanges étaient en équilibre et les réservoirs n'ont pratiquement pas changé. La révolution industrielle a chamboulé cet équilibre.

Ces 250 dernières années, la combustion d'énergies fossiles (normalement stockées de manière permanente dans la croûte terrestre) a libéré du carbone supplémentaire dans le cycle 'rapide' du carbone. Dans un premier temps, ce carbone additionnel arrive dans l'atmosphère, sous forme de CO₂. En 2010, cette 'source' de carbone représentait environ 9 milliards de tonnes par an (Figure 1) ⁽¹⁾. À cela il faut ajouter encore 1 milliard de tonnes en raison du changement d'occupation des sols. Il s'agit principalement de la déforestation, comme les incendies récents en Indonésie (2015), en Amérique

du Sud (2019) et en Australie (2020). Mais où va ce carbone? Heureusement, les océans et la surface terrestre ne sont pas uniquement des réservoirs, mais aussi des 'éponges à carbone', dénommées 'puits de carbone' par les climatologues. Ensemble, ces deux réservoirs capturent près de 5,6 milliards de tonnes de carbone par an (Figure 1). En faisant la balance, cela signifie que, depuis 2010, l'atmosphère s'est enrichie chaque année de 4,4 milliards de tonnes de carbone (bilan net : 9+1-3-2,6 = 4,4 ; Figure 1). Ce chiffre augmente chaque année – c'est ce qu'on appelle 'le graphique en crosse de hockey'. Depuis le début de la révolution industrielle, la quantité de carbone dans l'atmosphère a augmenté de 40 % (comparé à l'année de référence 1750). Cette situation est problématique puisque le CO₂

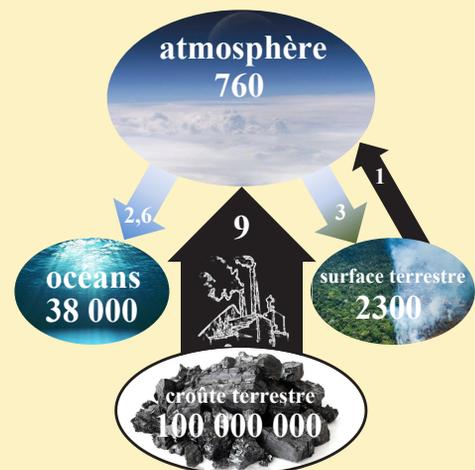


Figure 1: Le cycle global du carbone. Notre planète héberge 4 réservoirs de carbone : la croûte terrestre (100 000 000 milliards de tonnes de carbone), les océans (38 000 milliards de tonnes), la surface terrestre (végétation + sol, 2300 milliards de tonnes) et l'atmosphère (760 milliards de tonnes). Des échanges de carbone s'opèrent entre ces réservoirs : chaque année, 10 milliards de tonnes de carbone arrivent dans l'atmosphère en raison de la déforestation (1) et de la combustion d'énergies fossiles (9) ; 2,6 milliards de tonnes de carbone sont capturées chaque année par les océans et 3 milliards de tonnes par la surface terrestre. Néanmoins, la composante tropicale de cette dernière 'éponge à carbone' s'affaiblit rapidement, suite à une mortalité croissante des arbres et à la déforestation.

présent dans l'atmosphère empêche le rayonnement thermique du Soleil de retourner dans l'espace après avoir été réfléchi sur la surface de la Terre. Ceci entraîne un réchauffement progressif de la surface terrestre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre.

Des accords internationaux aux expérimentations dans la forêt

L'accord de Paris sur le climat a comme objectifs de 'contenir d'ici à 2100 le réchauffement climatique nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C'. Pour ce faire, les émissions de CO₂ doivent considérablement diminuer. Les mesures à prendre afin d'atteindre cet objectif sont basées sur des modèles climatiques qui permettent d'estimer l'évolution du bilan carbone. Ces modèles sont revus en permanence selon les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ces modèles sont donc d'une importance capitale. Mais à quel point sont-ils fiables ?

Pour tester les résultats des modèles mathématiques, des données précises sont nécessaires. Un des défis majeurs est de mesurer les échanges de carbone entre les forêts tropicales et l'atmosphère. Les forêts tropicales sont connues comme étant les 'poumons de notre planète'. Elles capturent 20 % (1,1 milliard de tonnes de carbone par an) de tout le carbone absorbé par la surface terrestre et les océans. Les arbres absorbent ce carbone via leurs feuilles (sous

forme de CO₂). Ils conservent le carbone (C) pour la formation de leurs tissus (essentiellement du bois) et rejettent le dioxygène (O₂) dans l'atmosphère via leurs feuilles. Pour bien évaluer l'effet de ce processus (photosynthèse), il faut cartographier la croissance des arbres.

La pratique s'avère un peu plus compliquée (Figure 2). Tout d'abord, les forêts tropicales figurent toujours parmi les zones les moins accessibles au monde. Leur végétation dense les rend difficilement pénétrables et mesurer les arbres tropicaux est loin d'être évident : les troncs sont parfois complètement recouverts de lianes, de figuiers étrangleurs ou d'épiphytes. La forme des arbres eux-mêmes les rend parfois difficiles à mesurer (contreforts, racines aériennes, cavités, etc.). Des conventions claires sont donc nécessaires pour la mesure des arbres et pour la répétitivité de ces mesures. La présence d'animaux (abeilles, guêpes, scorpions ou serpents) rend l'approche de certains arbres délicate. De temps en temps, les chercheurs sont chassés (ou pire) par des éléphants, des gorilles ou d'autres grands animaux, tandis que de minuscules parasites rendent ces endroits parfois littéralement invivables. Enfin, la situation politique d'un pays rend la recherche parfois impossible. Les forêts du Libéria et de Sierra Leone sont ainsi restées inaccessibles durant les années 1990 et 2000 en raison de guerres civiles et en 2014-2015 suite à l'épidémie liée au virus Ebola. La recherche de terrain est donc loin d'être idyllique et comporte certains risques.



Figure 2: Les défis de la recherche de terrain en forêt tropicale humide. En haut à gauche : les mouches et autres bestioles sont omniprésentes ; en bas à gauche : certaines parcelles de recherche sont traversées par des pistes utilisées par les éléphants (l'arbre sur la photo est souvent utilisé par des éléphants pour se gratter) ; à droite : certains arbres ont des formes particulières ou sont recouverts de lianes, d'épiphytes ou de termitières.

Mesurer, c'est savoir

Les forêts tropicales sont essentiellement localisées en Amazonie (756 millions d'hectares en 2010) et en Afrique centrale (478 millions d'hectares). Une plus petite partie se trouve en Asie du Sud-Est, mais ces forêts disparaissent à un rythme particulièrement élevé (alors qu'il y avait encore 234 millions d'hectares en 1980, il n'en restait plus que 118 millions en 2010). Pour évaluer la quantité totale de carbone stockée dans ces forêts, les chercheurs font de plus en plus d'analyses sur base d'images satellitaires. Mais l'interprétation correcte de ces images dépend de mesures de référence exactes réalisées sur le terrain. Par ailleurs, l'évolution à long terme du stock de carbone forestier est difficilement mesurable sur base d'images satellitaires. C'est pourquoi les gouvernements et les scientifiques du monde entier ont investi dans des réseaux de parcelles de forêt permanentes, dans lesquelles la biomasse de chaque arbre est calculée au cours du temps.

En général, ces parcelles de recherches (dénommées 'plots') ont une superficie d'un hectare et une forme carrée (100 m x 100 m). Elles sont subdivisées en parcelles plus petites de 20 m x 20 m, de sorte que chaque arbre puisse être localisé plus facilement. Chaque arbre porte une plaquette d'identification, généralement fixée avec un clou (en aluminium, pour ne pas intoxiquer l'arbre). Le diamètre de chaque arbre est mesuré 'à hauteur de poitrine', ce qui correspond à 1,3 m au-dessus du sol (*Figure 3*). L'endroit où l'arbre a été mesuré est marqué par une ligne de peinture. Les plots sont visités régulièrement et la marque de peinture permet de



Figure 3: À quoi ressemble un plot d'inventaire forestier? À gauche : carte de terrain d'un plot typique d'un hectare (100 m x 100 m), avec les subdivisions et quelques données topographiques (pente et chemin forestier). Au milieu : sur le terrain, les subdivisions de 20 m x 20 m sont délimitées par des cordes. À droite : chaque arbre reçoit une plaquette d'identification en aluminium et une marque de peinture indiquant l'endroit où le diamètre a été mesuré.



Figure 4: Une tonne de carbone. Ces rondelles sont celles d'un géant de la forêt, l'Afromosia, en République démocratique du Congo. Cet arbre avait un diamètre de 1,5 m, une hauteur de 50 m et contenait plus de 15 tonnes de carbone stocké. Il se trouvait dans une concession gérée par la Compagnie forestière de Transformation (CFT), la seule entreprise congolaise de ces 10 dernières années à avoir reçu un certificat international pour leur gestion forestière. Cet arbre a été abattu en 2015 à des fins commerciales. L'Afromosia est souvent utilisé pour des parquets, des châssis de fenêtres et des meubles. La partie inférieure du tronc, qui contient 1 tonne de carbone, a fait l'objet d'un don au Musée royal de l'Afrique centrale, à des fins éducatives.

répéter les mesures exactement au même endroit de l'arbre. La différence entre les mesures successives du diamètre de l'arbre nous révèle son rythme de croissance. En moyenne, les plots sont visités tous les 4 ans, même si certaines parcelles sont visitées plus fréquemment (chaque année par exemple). Les circonstances (guerres ou autres) font que d'autres parcelles sont visitées moins souvent.

La hauteur de chaque arbre du plot est également déterminée. Diamètre et hauteur permettent, via un modèle mathématique (spécifique à une région tropicale), de calculer le volume total de bois (en m^3). Chaque espèce est identifiée et des échantillons de bois sont récoltés afin de mesurer la densité du bois (en kg par m^3) de chaque essence. En multipliant volume et densité, on obtient la masse totale, ou biomasse, d'un arbre (en kg ou en tonnes ; *Figure 4*). Environ la moitié de cette biomasse correspond à du carbone. Ces 50 dernières années, 365 000 arbres ont ainsi été suivis (165 000 en Amazonie, 135 000 en Afrique centrale et 67 000 à Bornéo), dans 636 plots permanents (321 en Amazonie, 244 en Afrique et 71 à Bornéo ; *Figure 5*). Au total, ce sont plus d'un million de mesures qui ont été réalisées, par plus de 300 scientifiques.

Puits de carbone

Outre la croissance des arbres, la mortalité est également mesurée. En région tropicale, un arbre mort est rapidement décomposé et la majeure partie de sa biomasse est restituée à l'atmosphère sous forme de CO₂ (environ 85 % dans les 10 années suivant la mort d'un arbre). En tenant compte à la fois de la croissance et de la mortalité, le bilan carbone annuel peut être calculé pour chaque plot. Ce bilan est exprimé en tonne de carbone par hectare et par an. S'il est positif, le plot agit comme 'éponge', ou puits de carbone ; s'il est négatif (en raison d'une mortalité accrue), le plot agit comme source de carbone. Mais quel est le bilan total de tous ces plots ?

Nous savions déjà que le bilan global est positif : la surface terrestre absorbe chaque année 3 milliards de tonnes de carbone (Figure 1), dont plus d'un tiers est stocké dans les forêts tropicales, alors qu'elles occupent moins de 10 % de la superficie terrestre. Dans la pratique, cela signifie que la biomasse forestière augmente : les arbres augmentent en nombre et/ou en volume. Mais comment évolue ce bilan sur le long terme ? Un réservoir de carbone peut-il croître indéfiniment ? En d'autres termes : quand les poumons de la planète auront-ils atteint leurs limites ?

Les arbres entre bonobos et paons du Congo

En collaboration avec l'Université de Leeds et la branche congolaise de la Wildlife Conservation Fund (WCS-Congo), le service de Biologie du bois du Musée royal de l'Afrique centrale (MRAC) a organisé en 2014 une expédition dans le Parc national de la Salonga, en République démocratique du Congo (RDC). Ce parc est constitué de deux parties qui, ensemble, ressemblent à une paire de poumons (Figure 5). La Salonga est une des zones les plus reculées au monde. Il s'agit d'un des derniers refuges pour de nombreux bonobos et paons du Congo, deux espèces vivant exclusivement en RDC et que peu de biologistes ont étudié dans leur habitat naturel. Ces deux espèces n'ont été décrites par les scientifiques qu'au 20^e siècle (en 1936 pour le paon du Congo et en 1954 pour le bonobo). Dirk Draulans, biologiste et journaliste belge, consacrait en 1997 un livre aux bonobos (De mens van morgen). Bien que ces primates soient nos plus proches cousins, peu de choses sont encore connues à leur propos. Une vingtaine d'années plus tard, les scientifiques du MRAC ont suivi les traces de Dirk Draulans avec un objectif tout aussi spectaculaire : mesurer près de

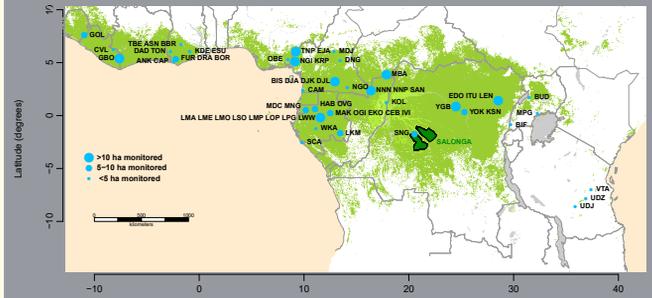


Figure 5: Le réseau de 244 plots permanents en Afrique centrale. Le Parc national de la Salonga est indiqué, tels deux poumons en plein milieu du bassin du Congo. Le fond vert est la forêt tropicale humide (532 millions d'hectares). Les cercles bleus correspondent aux plots. La taille des cercles indique le nombre total d'hectares étudiés. Les plots couvrent 11 pays (d'ouest en est : Sierra Leone, Libéria, Ghana, Nigéria, Cameroun, Gabon, République du Congo, République démocratique du Congo, République centrafricaine, Ouganda et Tanzanie).

4000 de ces arbres qui abritent bonobos et paons du Congo.

De Mbandaka, capitale provinciale située le long du fleuve Congo, il faut compter une bonne semaine pour atteindre le Parc national de la Salonga. Chargés d'un stock de riz, de haricots, de manioc et de poisson mariné, les scientifiques ont remonté la rivière Ruki, un grand affluent du fleuve Congo, à l'aide de deux pirogues motorisées (Figure 6). Ils ont ensuite emprunté les rivières Momboyo et Luilaka afin d'atteindre Monkoto, un petit village riverain du Parc de la Salonga. Une équipe y a été recrutée, composée essentiellement d'écogardes du parc de la WCS-Congo. Ensemble, ils ont pénétré le parc en empruntant de petites rivières sinueuses. La dernière partie était parcourue à pied – une journée de marche à travers marécages et forêts primaires impressionnantes. L'équipe a atteint un vieux campement le long du cours d'eau Nguma, où des prédécesseurs avaient installé en 2008 neuf plots permanents. Après quelques jours de recherche à l'aide de GPS et de boussoles, les neuf parcelles ont toutes été retrouvées. L'équipe a installé un camp permanent et y a séjourné pendant deux mois, parmi les géants de la forêt, les cris des bonobos, les éléphants qui passaient la nuit en cassant des branches et de grands groupes de singes qui, tous les jours, observaient, depuis la cime des arbres, les chercheurs prendre leurs mesures. Chaque nuit, un couple de paons du Congo laissait entendre sa parade nuptiale.

Mortalité des arbres, sieste et poumons de fumeur

Les résultats des mesures effectuées dans la Salonga et dans tous les autres plots répartis dans les forêts tropicales du monde ont révélé une réalité moins réjouissante. Suite à une mortalité croissante des arbres, la capacité globale des forêts tropicales à capturer le carbone de l'atmosphère diminue (*Figures 7 et 8*). Cette mortalité (*Figure 7*, graphiques du bas) est le résultat de plusieurs facteurs complexes. Tout d'abord, elle correspond à un effet retardé de la forte croissance des arbres durant les années 1980 et 1990 (*Figure 7*, graphiques du milieu). Cette croissance accélérée est la conséquence d'une 'fertilisation par le carbone' : les concentrations croissantes en CO₂ dans l'atmosphère ont un effet similaire à celui de l'augmentation d'une source alimentaire chez les animaux. Au début, elle ne pose pas de problèmes, mais si l'augmentation est excessive, le résultat peut être catastrophique. De la même manière qu'une surconsommation chez les animaux peut mener à des problèmes de santé, voire la mort, une croissance excessive des arbres peut mener, à terme, à leur mort, suite à une compétition accrue et d'autres facteurs (lumière, eau, espace). De plus, la croissance des arbres a ses limites : l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère mène systématiquement à une hausse des températures. Les arbres ont un seuil de température qui, lorsqu'il est dépassé, entrave leur productivité. En d'autres termes, les arbres tropicaux entrent en sieste. Ce phénomène est visible dans les graphiques du milieu de la Figure 7 : la croissance des arbres en Afrique et surtout en Amazonie a considérablement augmenté dans les années 1980 et 1990, mais cette croissance diminue maintenant de manière progressive.



Figure 6: L'expédition vers le Parc national de la Salonga. À Monkoto, des écogardes du WWF ont été recrutés afin de solliciter leur aide pour les inventaires forestiers (en bas au milieu). Une fois mariné, le poisson se conserve longtemps et constitue donc une source de nourriture importante lors de longs séjours dans la forêt (en bas à droite).

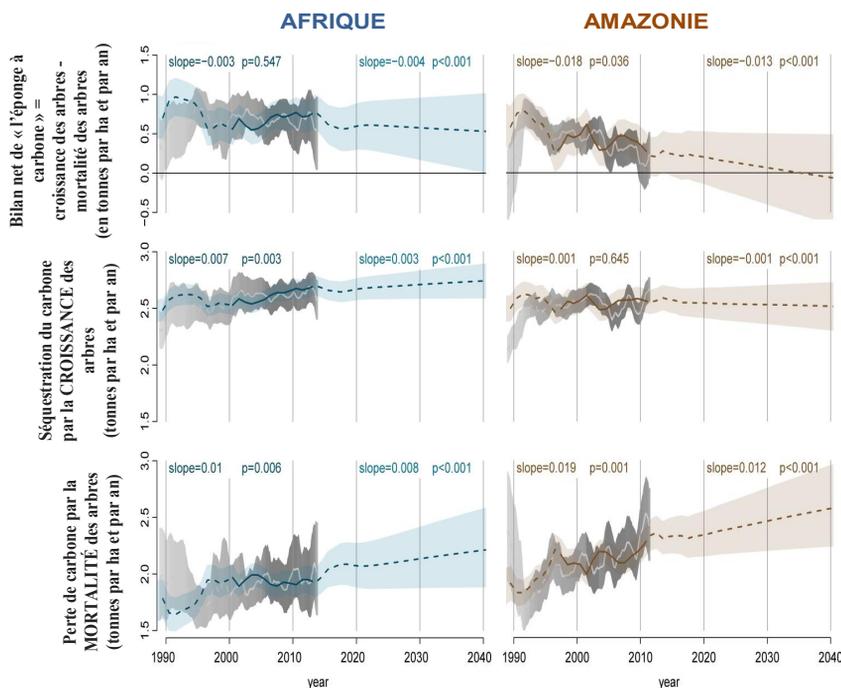


Figure 7: Évolution de la capacité des forêts tropicales d'Afrique (en bleu) et d'Amérique du Sud (en brun) à séquestrer du carbone de l'atmosphère (graphiques du haut). Cet effet 'éponge à carbone' est exprimé en tonnes de carbone par hectare et par an. Sur les deux continents, la tendance est à la baisse ; la diminution est plus rapide en Amazonie. Cette tendance est la conséquence d'une mortalité accrue des arbres (graphiques du bas) et une séquestration de carbone par la croissance des arbres plus faible (graphiques du milieu). Ces graphiques présentent les résultats de mesures exactes des années 1990 jusqu'en 2015 (lignes grises), sur base de 565 plots. Un modèle de prédiction présente les tendances des années 1990 jusqu'aux années 2040 (lignes colorées). Le modèle correspond bien aux mesures de la période pour laquelle des données sont disponibles (1990-2015).

En résumé, la fertilisation au carbone a accéléré et intensifié la dynamique des forêts tropicales : le cycle de croissance, de mortalité et de régénération, qui se produit naturellement dans chaque forêt, a atteint des proportions sans précédent. À long terme, les forêts ne s'en remettront pas. Des recherches scientifiques montrent que les forêts d'Amazonie évoluent vers des types de forêts plus sèches, qui résistent mieux au nouveau régime climatique. Les forêts diversifiées et riches en carbone sont donc en train de disparaître tout doucement. Les scientifiques parlent d'un 'brunissement' des forêts tropicales. La planète a des poumons de fumeur.

Conclusion : l'homme a poussé les poumons de la planète à leurs limites !

Les tendances présentées dans la Figure 7 montrent que la capacité des forêts tropicales intactes à capturer du CO₂ diminue (diminution de 33 % depuis les années 1990). À cela, il faut ajouter la déforestation de plus en plus intense : depuis 1990, 19 % de la surface de forêts tropicales ont disparu. Les émissions de carbone ont, quant à elles, augmenté de 48 % sur la même période. Ceci a conduit à une grosse perte de la quantité de CO₂ capturée par les forêts tropicales intactes : de 17 % dans les années 1990 à seulement 6 % dans les années 2010 !

Les menaces immédiates auxquelles font face les forêts tropicales sont la déforestation, l'exploitation et les incendies. Ces menaces nécessitent une action immédiate. Si leur capacité à capturer du carbone s'affaiblit, ces forêts demeurent néanmoins des réservoirs à carbone considérables. Rien que dans leurs arbres, elles stockent 250 milliards de tonnes de carbone.

Les recherches menées par le MRAC dans les Réserves de Biosphère de Luki et de Yangambi (RDC)

Depuis 2004, le MRAC étudie la séquestration de carbone et la croissance des arbres dans les forêts du bassin du Congo. Les projets de recherche, souvent financés par Belspo, sont réalisés en collaboration avec le Jardin botanique Meise et les Universités de Gand, de Bruxelles (ULB) et de Liège (Gembloux Agro-Bio Tech). Grâce au soutien de la Coopération belge au Développement essentiellement, des efforts considérables sont menés pour le renforcement des capacités en matière d'écologie forestière et d'étude du carbone en RDC. Dans le cadre du projet FORETS mené par CIFOR et financé par la Commission européenne, le MRAC a ainsi inauguré un laboratoire de biologie du bois à Yangambi, au cœur de la forêt congolaise. Ce laboratoire est équipé de la dernière technologie et dispose de tout le matériel de mesure et d'analyse.



Figure 8: Un géant mort dans la forêt tropicale africaine

Cette masse équivaut à 90 ans d'émissions contemporaines d'énergies fossiles. Outre la conservation des forêts, la stabilisation du climat sur Terre est capitale si l'on veut stabiliser le bilan carbone des forêts tropicales intactes. Pour éviter que ces forêts ne deviennent elles-mêmes une source importante de carbone, nous devons atteindre la neutralité carbone encore plus rapidement que ce qui était prévu depuis les accords de Paris. Des actions urgentes sont nécessaires pour éviter ce scénario catastrophe.

Dans son livre *Order out of Chaos*, le prix Nobel bruxellois (1977) Ilya Prigogine faisait une comparaison macabre. Il y a 3 milliards d'années, l'atmosphère était essentiellement constituée de CO₂, jusqu'à ce que des cyanobactéries commencent à produire du dioxygène (O₂). Cette 'révolution oxygène' a causé une extermination : pratiquement toutes les formes de vie, qui dépendaient du CO₂, ont disparu. Suite à cette extinction massive, de nouvelles formes de vie ont émergé, dépendantes du dioxygène. L'homme descend de ces créatures. L'homme, dont le cerveau est composé de milliards de cellules, est en train de réaliser la même erreur que ces organismes unicellulaires il y a des milliards d'années : nous polluons notre atmosphère et signons ainsi notre propre arrêt de mort. Nous dirigeons-nous vers une 'extermination carbone'?

Épilogue: investir dans le monitoring des forêts !

La capacité des forêts à freiner les changements climatiques est un élément crucial pour le fonctionnement de la planète. Afin de comprendre comment fonctionne ce mécanisme, il est important de mesurer la quantité de carbone que séquestre la surface terrestre et qui est relâchée dans l'atmosphère. Une surveillance continue des forêts tropicales intactes est nécessaire pour suivre les effets des changements environnementaux accélérés. Cette surveillance est de plus en plus importante, dans la mesure où les dernières grandes forêts tropicales de notre planète sont plus que jamais menacées.

Note

(1) Les quantités de carbone échangées annuellement entre les réservoirs évoluent au cours du temps. Nous présentons ici les valeurs calculées pour l'année de référence 2010. Elles proviennent de la publication souvent citée *Global Carbon Budget 2015* (Le Quéré et al. 2015 *Earth System Science Data*).

RÉFÉRENCE

Ces recherches ont été publiées le 5 mars 2020 par des scientifiques du Musée royal de l'Afrique centrale, de l'Université de Leeds et d'un consortium international d'instituts de recherche dans *Nature*, la plus grande revue scientifique multidisciplinaire au monde.

Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests, *Nature*, Volume 57 (DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>)

EN COLLABORATION AVEC

www.forestplots.net,
Leeds University
African Tropical Rainforest
Observation Network (AfriTRON),
Leeds University (www.afritron.org)

LES AUTEURS

Wannes Hubau, écologie forestière au MRAC

Simon Lewis, professeur en écologie forestière tropicale à l'Université de Leeds

Corneille Ewango, professeur en écologie forestière tropicale à l'Université de Kisangani (RDC)

John Tshibamba Mukendi, professeur en écologie forestière tropicale à l'Université de Mbuji-maji (RDC)

Hans Beeckman, écologie forestière et chef du service Biologie du bois du MRAC

Jonas Van de Voorde, communication scientifique, MRAC



L'inondation en Flandre, passerelle sur pilotis, 1914. AGR-AR, P-IcôneWW1, 1627. © AGR-AR

CENT ANS D'OUVRAGES HISTORIQUES SUR LA PREMIÈRE GUERRE MONDIALE EN BELGIQUE

UNE PUBLICATION DE RÉFÉRENCE DÉSORMAIS DISPONIBLE

Sofie Onghena et Pierre-Alain Tallier

La Première Guerre mondiale fascine. Cela fait maintenant plus d'un siècle qu'elle est le sujet de plus d'un ouvrage par jour dans le monde. Une recherche bibliographique menée aux Archives générales du Royaume en dresse désormais un panorama complet pour la Belgique.

Une nouvelle bibliographie consacrée à la Première Guerre mondiale

En novembre 2019, dans le cadre de la clôture des commémorations du centenaire de la Grande Guerre, le troisième tome de la bibliographie rétrospective consacrée au premier conflit mondial a été présenté à la presse. Cet outil, destiné aux chercheurs amateurs et professionnels, a été rédigé et publié par les Archives générales du Royaume en collaboration avec la Commission royale d'Histoire et avec le soutien du Commissariat général à la Commémoration de la Première Guerre mondiale et de la Loterie nationale. La recherche en histoire repose non seulement sur l'analyse des sources, mais aussi sur l'étude approfondie de la littérature y afférente. Les ouvrages bibliographiques de référence constituent dès lors des outils incontournables, permettant de débusquer systématiquement les publications liées à un thème ou à une époque précise. D'où l'utilité, voire la nécessité, de ce troisième volume de la bibliographie de la Première Guerre mondiale.

L'ouvrage recense pas moins de 14.000 publications, réparties dans deux tomes totalisant 1312 pages. Ce volumineux outil bibliographique constitue un complément aussi exhaustif que possible à la première bibliographie sur la Grande Guerre, publiée en 1987 sous la direction de Patrick Lefèvre et Jean Lorette. Il a pour ambition de recenser tous les livres et articles consacrés aux Belges et à la Première Guerre mondiale et parus tant en Belgique qu'à l'étranger entre 1985 et 2018 inclus. Cet ouvrage vient donc clôturer un cycle complet allant de 1914 à la fin des commémorations intenses et multiformes du conflit qui ont eu lieu dans nos régions ces dernières années. La structure générale et le type de présentation utilisés dans le 'Lefèvre – Lorette' et son premier complément ⁽¹⁾ ont servi de modèle. Ils ont toutefois subi certaines modifications, rendues indispensables à la fois par l'accroissement exponentiel du nombre de publications et par les profondes mutations des champs et des thèmes de recherche relatifs à la Première Guerre mondiale au cours des trois dernières décennies.

Abondance de biens ne nuit (presque) jamais

L'ampleur de la littérature consacrée à la Première Guerre mondiale disponible à travers le monde a fait dire à l'historien australien Christopher Clark '... qu'aucun historien (pas même un être imaginaire maîtrisant toutes les langues nécessaires) ne peut espérer la lire au cours de sa vie' ⁽²⁾. Ce qui est vrai à l'échelle du monde, l'est également pour la Belgique. Les chercheurs qui travaillent sur l'histoire du premier conflit mondial croulent littéralement sous les publications. Dans un premier temps, ce sont surtout les témoins et acteurs qui prirent la plume pour témoigner de leur participation au conflit, tenter de l'expliquer, de se justifier et parfois d'atténuer les névroses qui en découlèrent. Le relais fut ensuite pris par les journalistes, les chroniqueurs et les hommes politiques, puis par les historiens professionnels et amateurs, dont les ouvrages furent accueillis par de nombreux lecteurs animés par une forme de fascination et de questionnement permanent pour ce moment clef de l'histoire du XX^e siècle. Une guerre mondiale chassant l'autre, le poids du souvenir passa de la première à la seconde. Durant plusieurs décennies, la plupart des académiques se détachèrent du sujet. Seuls quelques érudits et chercheurs locaux continuèrent à se passionner pour cette matière. Dans l'introduction de leur ouvrage, Lefèvre et Lorette constataient d'ailleurs que 'la production historique relative au sujet est vieillie et dépassée, quand elle n'est pas inexistante. [...] La Seconde Guerre mondiale a occulté la Première!' ⁽³⁾.

À partir de la fin des années 1990, la recherche sur la Première Guerre mondiale connaît un réveil académique. Depuis lors, l'intérêt n'a cessé de croître. Cette recherche s'est en outre profondément diversifiée au sein de différentes disciplines académiques, donnant lieu au développement de véritables écoles historiographiques internationales permettant la mise en œuvre d'approches comparatives. À cet égard, le rôle central de la Belgique – presque entièrement occupée – au cœur du conflit a suscité un vif intérêt auprès des chercheurs étrangers, conférant à la nouvelle

bibliographie un caractère nettement international, d'autant qu'elle répertorie soigneusement les ouvrages des spécialistes étrangers.

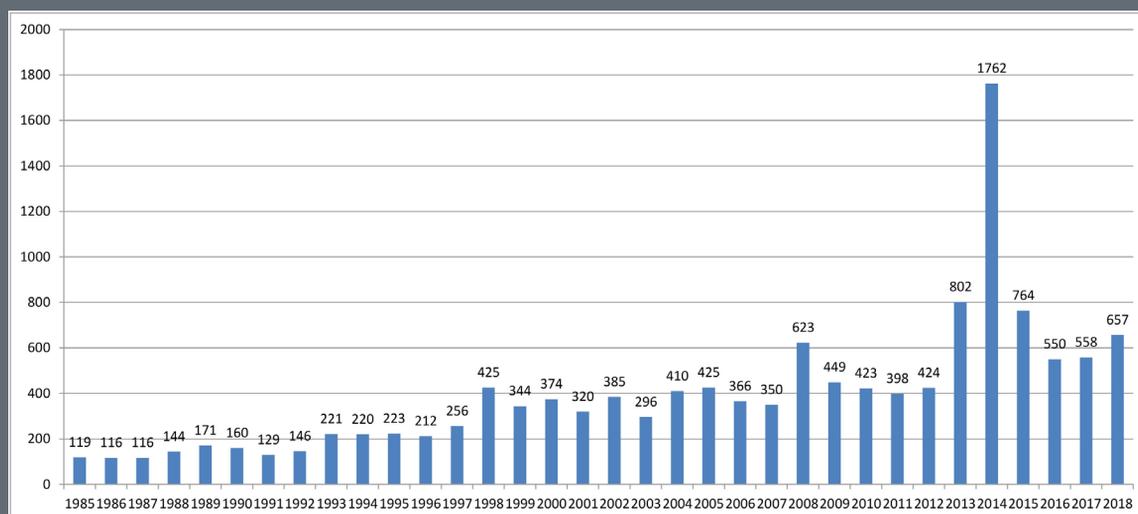
Reflet d'un intérêt largement partagé, la bibliographie contient autant de références de publications scientifiques (provenant d'éditeurs académiques ou de revues spécialisées) que de publications de vulgarisation destinées au grand public. La gamme des formats utilisés par les auteurs, qu'ils soient chercheurs professionnels ou amateurs, est aussi large que celle des genres : monographies, articles, ouvrages de référence et instruments de travail, éditions de sources, mélanges, actes de congrès, catalogues d'expositions, thèses et mémoires ; tous ont été listés. Les publications disponibles uniquement sous forme électronique – tels que les innombrables blogs et sites web dédiés – n'ont par contre pas été incluses, vu leur caractère bien souvent éphémère.

L'analyse du corpus rassemblé indique très clairement le lien de plus en plus étroit et évident entre la production historiographique et les anniversaires commémoratifs, mais aussi les politiques commerciales des éditeurs. Pour celles et ceux qui en doutaient encore, chercheurs professionnels et amateurs sont bel et bien entrés dans l'ère consumériste. Sujet 'grand public' par excellence, la Première Guerre mondiale a été mobilisée comme marché de niche par les grandes

maisons d'édition, mais aussi par de petits éditeurs qui ont largement étoffé leur catalogue à cette occasion. En effet, si l'on dénombre environ 11.500 publications pour la période 1914-1984 (70 ans), il y en a près de 13.338 pour la période 1985-2018, pourtant deux fois plus courte (33 ans). Le centenaire et son anticipation influent bien évidemment sur la moyenne : 5.093 contributions sont sorties de presse entre 2013-2018, avec un pic à 1.762 pour la seule année 2014 (voir graphique). Près de 8.250 ouvrages et articles ont cependant été publiés entre 1985 et 2013, période qui vit, il est vrai, les célébrations des 80^e et 90^e anniversaires du conflit. Des pics sont également constatés pour les années jubilaires 1998 et 2008. Ce phénomène éditorial et historiographique hors norme a provoqué un renversement de tendance qui se vérifie dans les derniers volumes de la Bibliographie de l'Histoire de la Belgique : le nombre de titres se rapportant à la Première Guerre mondiale dépasse largement celui des titres se rapportant à la Seconde Guerre mondiale. Il n'est pas certain que le 75^e anniversaire de la fin de la Seconde Guerre mondiale ait changé la donne (les chiffres doivent encore être établis).

Une grande diversité des thèmes de recherche

L'introduction fleuve qui agrémente la bibliographie offre un premier bilan historiographique. En chiffres absolus, l'armée belge et les opérations militaires en Belgique restent bien évidemment les



Graphique : Évolution par année du nombre de publications concernant la Belgique et la Première Guerre mondiale (1985-2018)

Source : Pierre-Alain Tallier et Sofie Onghena, avec la collaboration de Sven Soupart et Valentin Degrande, *1914-2018. Cent ans – et plus – d'ouvrages historiques sur la Première Guerre mondiale en Belgique*. Bruxelles, Archives générales du Royaume, 2019, Vol. 1 : p. 42.

principales bénéficiaires de l'intérêt renouvelé pour la Première Guerre mondiale, tout en intégrant des dynamiques novatrices : l'attention s'est moins portée sur 'l'histoire bataille', au profit d'études sur la vie quotidienne au front, avec un focus placé sur l'individu et un apport croissant de l'histoire culturelle et des mentalités. Dans la même veine, l'intérêt pour tous les aspects de l'occupation – et la Belgique représentée à cet égard un cas à la fois particulier et emblématique – s'est fortement accru. L'histoire locale, la vie quotidienne et les récits de gens ordinaires confrontés à ce conflit dévastateur ont également fait florès. Les cercles d'histoire locale ont bien évidemment joué un rôle moteur dans cette abondante production historiographique.

Le nouvel attrait pour l'histoire des groupes sociaux nés de la guerre – réfugiés, déportés, résistants – semble s'être développé au détriment de celui des figures dites marquantes. L'intérêt pour les 'grands hommes', les grands personnages, a fortement décliné ces dernières années. De la même manière, on constate une diminution de l'intérêt porté à l'histoire politico-diplomatique. Par contre, ces dernières décennies ont vu le formidable essor de nouveaux champs de la recherche historique en lien avec les tendances historiographiques internationales : histoire du genre, des femmes et des enfants, histoire de la médecine et des corps, de l'alimentation ou des animaux. Il était dès lors logique que la Première Guerre mondiale ne soit pas en reste et soit approchée sous ces angles novateurs et passée au crible de ces nouvelles grilles d'interprétation. Des témoins silencieux et stigmatisés, tels que les 'femmes à Boches' en Belgique occupée, sujet longtemps resté associé à la Seconde Guerre mondiale, ont aussi été mis en exergue. De même, des chercheurs se sont intéressés au sort des soldats invalides et des gueules cassées. Après avoir joui d'une forme de reconnaissance publique pour leur courage et leur esprit de sacrifice, ces derniers retombèrent rapidement dans l'oubli, victime d'une apparence qui en elle-même constituait un souvenir de guerre bien trop douloureux.

L'énorme accroissement des publications relatives à l'histoire des représentations, aux *memory studies* et aux pratiques commémoratives convient d'être souligné. L'attention s'est portée sur les noms de rues en lien avec le conflit, sur les monuments aux victimes civiles et militaires, ainsi que sur les significations changeantes des *lieux de mémoire*. Les champs du possible sont désormais beaucoup plus vastes, l'historiographie (inter)nationale récente de la Première Guerre mondiale ayant fait montre de multidisciplinarité et s'étant ouverte à l'archéologie militaire, à l'étude des photographies

aériennes et du patrimoine de guerre (cimetières militaires, monuments et vestiges des combats). L'anthropologie culturelle, la psychologie (l'attention portée aux émotions) et la linguistique ont également pleinement intégré les questionnements et permis de nouvelles avancées. Des spécialistes du cinéma, de l'histoire de l'art et de la littérature ont investi le terrain de la Première Guerre mondiale, apportant avec eux de nouvelles grilles de lecture. Notons, à ce propos, que le choix a été posé de ne pas prendre en considération les œuvres de fiction elles-mêmes pour s'en tenir uniquement aux publications qui en font la synthèse ou l'analyse. Les bandes dessinées consacrées à la Première Guerre mondiale constituent la seule exception à cette règle ; elles font l'objet d'une rubrique spécifique.

Ces dernières années, la nature multiculturelle de la guerre, marquée entre autres par le caractère international des troupes engagées, par le rôle des colonies et des unités coloniales ou encore par la présence de travailleurs chinois au front, a suscité un grand intérêt de la part des chercheurs et des médias. Il en va de même en ce qui concerne les documents iconographiques (affiches, photographies, cartes postales) et pour l'art des tranchées. Enfin, un attrait particulier pour les témoignages personnels se reflète dans le nombre considérable de publications de sources, journaux de guerre notamment, ainsi que des nombreuses rééditions d'ouvrages publiés dans l'entre-deux-guerres.



Une guerre éditoriale : le tir cadencé de publications concernant la Première Guerre mondiale. Caricature par Jean-François Meert.

© AGR - ARA

L'individu au centre de toutes les attentions correspond aussi à l'évolution de la société.

Ce remarquable renouvellement des recherches liées à la Première Guerre mondiale n'empêche pas certaines lacunes de subsister. Elles seront, espérons-le, comblées dans les prochaines années. C'est le cas notamment en ce qui concerne l'histoire financière, la démographie, l'impact de la guerre sur les mentalités et la société d'après-guerre.

Illustrations choisies

La bibliographie de la Première Guerre mondiale s'est voulue richement illustrée et contient à cet effet une centaine d'illustrations provenant pour la plupart de la riche collection iconographique relative à la Première Guerre mondiale conservée aux Archives générales du Royaume. Ces reproductions de photographies, cartes postales, affiches et dessins d'époque viennent à la fois briser la monotonie inhérente à cette longue énumération de titres, mais permettent aussi de rendre les références plus concrètes, plus évocatrices et plus incarnées. Les caricatures, tant contemporaines du conflit que récentes, confèrent parfois à l'ouvrage une touche d'humour (noir), dont les blagues des soldats belges au front furent par ailleurs souvent émaillées. D'autres illustrations participent quant à elle à l'évocation des multiples visages de la guerre : paysages dévastés, villes en ruine, soldats dans les tranchées, corps disloqués, cadavres d'animaux, réfugiés déguenillés, queues infinies de citoyens attendant la distribution de denrées alimentaires en territoire occupé. On perçoit cependant la mise en scène plus ou moins sophistiquée de nombreuses photographies et cartes postales, témoignant d'une construction délibérée de la propagande ou de la mémoire de guerre.

Un formidable tremplin pour des recherches novatrices et approfondies

Au-delà d'un instantané de la production historique passée, la bibliographie de la Première Guerre mondiale ambitionne également d'offrir à un public aussi large que possible un tremplin en vue de lancer de nouvelles recherches innovantes, particulièrement après les commémorations à grande échelle du centenaire du conflit (2014-2018). En effet, se pose maintenant la question de savoir quelle sera l'évolution future de l'historiographie. L'intérêt du grand public va-t-il s'éteindre ? La Grande Guerre restera-t-elle un sujet commercial intéressant pour les maisons d'édition ? Sur le plan local, le gisement des journaux de guerre,

des études développées et méticuleuses sur les villes et villages pendant les années de guerre, des biographies des 'héros' de guerre et des simples témoins se tarira-t-il ? La nécessité de préserver un espace mémoriel pour ce conflit majeur du XX^e siècle défiera-t-elle le temps sur les plans politique, sociétal et culturel ? La question se pose aussi à l'échelon de la mémoire familiale et collective, de plus en plus évanescence à mesure que passent les générations. La transmission de plus en plus courante des souvenirs de guerres depuis les patrimoines familiaux vers les musées ou services d'archives reflète-t-elle cette évanescence, ou doit-on plutôt y voir une volonté d'assurer une forme de visibilité durable à un ancêtre (lointain) qu'on n'a jamais connu ?

Quoi qu'il en soit, la recherche belge sur la Grande Guerre s'est désormais assurée d'une forme d'ancrage institutionnel ainsi que d'une infrastructure partagée entre les Archives de l'État et les universités. La série *Études sur la Première Guerre mondiale - Studies over de Eerste Wereldoorlog - Studies on World War One*, lancée par les Archives de l'État en 2001 dans le but de valoriser les sources relatives à la Première guerre mondiale ainsi que de diffuser les résultats des recherches dont elles font l'objet, en constitue l'une des pièces les plus visibles. La bibliographie de la Première Guerre mondiale, numéro 23 de cette série, constitue un outil indispensable à la recherche en répertoriant systématiquement l'ensemble des travaux qui lui ont été consacrés depuis 1985. Elle contribuera indéniablement à une meilleure connaissance et compréhension de la Première Guerre mondiale, mais aussi à la production de nouveaux ouvrages à son sujet.

Cette bibliographie ne prétend pas à l'exhaustivité. Des ouvrages nous ont échappé en raison de leur tirage limité (pour les publications à compte d'auteur plus particulièrement), d'une diffusion essentiellement locale ou familiale voire de périodiques difficile à tracer. En outre, les contingences éditoriales sont telles que les millésimes ne correspondent pas toujours aux dates effectives de mise en circulation des ouvrages, tandis que nous avons dû clôturer nos recherches début 2019 afin de pouvoir publier dans les délais impartis. C'est pourquoi, les dépouillements se poursuivant quotidiennement, une liste supplémentaire de références sera prochainement mise à disposition par voie numérique. Il n'en reste pas moins que près de 14.000 références sont déjà à découvrir dans *Cent ans - et plus - d'ouvrages historiques sur la Première Guerre mondiale en Belgique*.



Couverture de la nouvelle bibliographie de la Première Guerre mondiale, composée de deux volumes. © AGR - ARA

Références

- (1) Pierre-Alain Tallier & Sven Soupart, *La Belgique et la Première Guerre mondiale. Bibliographie. Tome 2 (Ouvrages édités de 1985 à 2000) = België en de Eerste Wereldoorlog : Bibliografie. Deel 2 (werken uitgegeven van 1985 tot 2000)*. Bruxelles, Musée royal de l'Armée, 2001, 195 p.
- (2) Christopher Clark, *Les somnambules. Été 1914. Comment l'Europe a marché vers la guerre*. Paris, Flammarion, 2013, p. 15.
- (3) Patrick Lefèvre & Jean Lorette (dir.), *La Belgique et la Première Guerre mondiale. Bibliographie = België en de Eerste Wereldoorlog. Bibliografie*. Bruxelles, Musée royal de l'Armée, 1987, p. XIII (Centre d'Histoire militaire. Travaux, 21).

LES AUTEURS

Docteur en histoire, Pierre-Alain Tallier est chef de Département 'Bruxelles' ff. et chef de la section *Archives contemporaines aux Archives générales du Royaume*. Licenciée en histoire, Sofie Onghena est collaboratrice scientifique en charge du projet 'Bibliographie de l'Histoire de Belgique' aux Archives générales du Royaume.

PLUS

Site internet des Archives de l'État :

www.arch.be

Retrouvez-y les archives, publications, projets et événements des Archives de l'État sur la Première Guerre mondiale (rubrique 'Ressources en ligne').

Site internet de la Commission royale d'Histoire :

<http://commissionroyalehistoire.be>

Commander la bibliographie

WWI : Envoyez votre commande par courrier électronique à

publicat@arch.be ou achat à la

boutique des Archives générales du Royaume (2-6 rue de Ruysbroeck à 1000 Bruxelles) :

Pierre-Alain Tallier et Sofie Onghena, avec la collaboration de Sven Soupart et Valentin Degrande, 1914-2018.

Cent ans – et plus – d'ouvrages historiques sur la Première Guerre mondiale en Belgique, Bruxelles, Archives générales du Royaume, 2019, 2 vol., 1312 p. (série Études sur la Première Guerre mondiale, vol. 23, publ. 6032)

(prix de vente : 50 euros).



L'INNOVATION COLLABORATIVE A-T-ELLE ATTEINT SES LIMITES ?

André Spithoven et Anneleen Bruylant

Pourquoi l'innovation est-elle si importante ?

L'innovation est un sujet brûlant tant pour les entreprises que pour les décideurs politiques. L'innovation permet aux entreprises de faire face à la concurrence, de viser une meilleure position sur le marché et de stimuler les perspectives de profits (Cho & Pucik, 2005). L'innovation peut permettre aux gouvernements d'améliorer le bien-être public et de relever des défis sociétaux tels que le changement climatique, l'extrême pauvreté et l'exclusion sociale. C'est pourquoi la promotion de

l'innovation est une priorité élevée dans les plans de recherche des entreprises et les programmes politiques des gouvernements.

Pour comprendre et suivre correctement le phénomène de l'innovation, deux questions doivent être abordées. Premièrement, une définition claire et sans ambiguïté de l'innovation est nécessaire. Il est déjà bien connu que l'innovation est une invention qui a été commercialisée. Mais en quoi

consiste l'innovation ? Quelles activités mènent à l'innovation ? Deuxièmement, pour suivre l'évolution de l'innovation, il faut la mesurer.

En outre, la nature de l'innovation elle-même change continuellement au fil du temps. La complexité de la société s'est accrue à mesure que le rythme du progrès technique et de la numérisation s'est accéléré, exigeant davantage de connaissances organisationnelles et scientifiques. L'innovation étant une activité fondée sur la connaissance et la proportion de personnes ayant un niveau d'enseignement supérieur étant en constante augmentation, la disponibilité des connaissances en dehors des murs de l'entreprise est devenue abondante par rapport aux dernières décennies du siècle précédent. En raison de la complexité accrue du processus d'innovation, les entreprises sont devenues de plus en plus tributaires des connaissances externes. Ou, dans le langage actuel, l'innovation est devenue plus ouverte (Chesbrough, 2003) ou distribuée (Lakhani & Panetta, 2007). Les entreprises collaborent donc de plus en plus avec d'autres partenaires pour innover. Mais cette division du travail peut-elle durer indéfiniment ? Cet article vise à examiner cette question à l'aide des résultats de l'enquête européenne sur l'innovation ('European community innovation survey', CIS).

Qu'est-ce que l'innovation ?

L'innovation est définie comme 'la mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode d'organisation dans les pratiques commerciales, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures' (Manuel d'Oslo, OCDE, 2005, p. 46). Le Manuel d'Oslo distingue quatre types d'innovation. L'innovation de produit désigne l'introduction d'un bien ou d'un service qui est nouveau ou sensiblement amélioré en ce qui concerne ses caractéristiques ou ses utilisations prévues. L'innovation de procédé couvre la mise en œuvre d'une méthode de production ou de livraison nouvelle ou sensiblement améliorée. Lorsqu'une nouvelle méthode de marketing impliquant des changements significatifs dans la conception ou l'emballage du produit, le placement du produit, la promotion du produit ou la tarification est mise en œuvre, on parle d'innovation de marketing. L'innovation organisationnelle se produit avec la mise en œuvre d'une nouvelle méthode d'organisation dans les pratiques commerciales de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures, à l'exclusion des fusions et acquisitions. Une entreprise innovante est donc une entreprise qui a mis en œuvre une innovation au

cours d'une période donnée, y compris celles dont les activités sont en cours ou abandonnées (OCDE, 2005).

Comment l'innovation est-elle mesurée ?

L'innovation en Belgique est mesurée par une enquête spécifique et volontaire, l'enquête européenne sur l'innovation (CIS). Les entreprises sont interrogées sur toute une série de sujets, dont la collaboration. Le CIS s'appuie sur les recommandations méthodologiques d'Eurostat, elles-mêmes basées sur le Manuel d'Oslo (OCDE, 2005). Le CIS a été lancé pour la première fois en 1992, et il a beaucoup évolué depuis lors pour s'adapter à la nature changeante de l'innovation et pour répondre aux demandes d'informations des décideurs politiques et des chercheurs.

La population de référence pour le CIS 2016 a été fournie par le registre du commerce de l'Office National de Sécurité Sociale (ONSS) et extraite le 31 décembre 2016. La population de base contient 14097 entreprises dont 7736 ont été échantillonnées. Le taux de réponse global était de 58,6 % (soit 4532 entreprises) et des extrapolations ont été faites pour représenter l'ensemble de la population.

Comme le CIS tire des échantillons stratifiés différents à chaque fois, les résultats ne sont, en principe, pas comparables dans le temps. Toutefois, comme les échantillons sont représentatifs de l'ensemble de la population, ces agrégats offrent néanmoins un aperçu de la tendance générale.

Le CIS est une enquête stratifiée. Chaque région échantillonne les entreprises selon la taille de l'entreprise (c'est-à-dire le nombre de salariés) et l'activité commerciale principale. En 2016, la plupart (77,4 %) des entreprises de l'échantillon sont petites (10-49 salariés), 18,5 % sont moyennes (50-249 salariés) et 4,1 % sont grandes (250 salariés et plus). Le CIS couvre également une grande variété de secteurs, bien que tous les secteurs ne soient pas couverts (par exemple la construction et l'éducation).

Combien d'entreprises en Belgique innover ?

La nécessité pour les entreprises d'innover pour accroître ou maintenir leur position concurrentielle ou pour améliorer leurs performances peut déjà être déduite de l'augmentation continue de la part des innovateurs de produits et/ou de procédés, qui est passée de 46,5 % en 2012, à 52,9 % en 2014 et à 62,1 % en 2016. Cela signifie, comme le montrent les données, que plus de la moitié

des entreprises en Belgique innovent. La prise en compte des entreprises qui ont introduit tout type d'innovation, y compris les activités d'innovation en cours ou abandonnées, fera encore augmenter ce pourcentage (Belspo, 2019).

La figure 1 présente un zoom sur les innovateurs de produits et/ou de procédés par classe de taille - petites, moyennes et grandes entreprises - et par secteur d'activité - manufacturier et services.

Les grandes entreprises, bien que moins nombreuses que les autres classes de taille, sont toujours les plus susceptibles d'être des innovateurs (86,1 % en 2016) et les petites entreprises sont moins susceptibles (58 %) de l'être. Les entreprises actives dans le secteur manufacturier sont plus enclines à innover que les entreprises du secteur des services. Entre 2012 et 2016, toutes les classes de taille et tous les secteurs ont enregistré une augmentation de plus de 10 points de pourcentage (p.p.) de leur part d'innovateurs, corroborant le fait que l'innovation s'est imposée comme une stratégie commerciale dominante en matière de compétitivité.

A l'exception des entreprises de taille moyenne (-0,1 p.p.) et de la faible croissance de la part des entreprises innovantes parmi les grandes entreprises (0,9 p.p.), la croissance de l'innovation entre 2012 et 2014 a atteint 6,4 points de pourcentage. Les entreprises actives dans le secteur manufacturier ont progressé avec 6,9 p.p., légèrement plus que celles actives dans les services (5,9 p.p.). Mais c'est après 2014 que toutes les classes de taille et tous les secteurs se sont réellement engagés dans l'innovation : la croissance a été de 9,2 points de pourcentage entre 2014 et 2016. Cette évolution s'est surtout produite pour les entreprises de taille

moyenne (+12 p.p.) et celles actives dans les services (+10,6 p.p.).

Avec quels pays la Belgique peut-elle être comparée ?

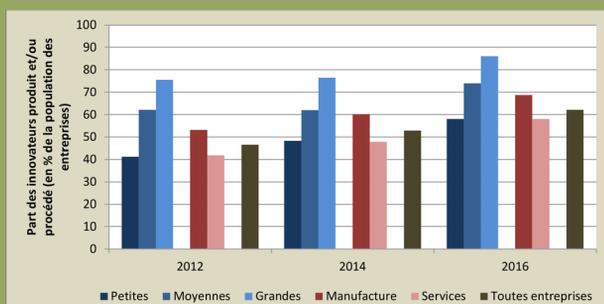
La sélection des pays pertinents est toujours quelque peu intuitive et dépend du sujet traité. Dans ce cas, la Belgique est comparée à d'autres petites économies ouvertes telles que l'Autriche, le Danemark et les Pays-Bas, ainsi qu'à ses principaux partenaires commerciaux européens, la France et l'Allemagne. Enfin, les chiffres de l'UE28 sont présentés afin de positionner les différents pays par rapport à la moyenne européenne.

La figure 2 montre l'évolution de ces pays au cours de la même période, illustrant une tendance similaire pour l'Autriche, la France et les Pays-Bas comme pour la Belgique, c'est-à-dire démontrant une part croissante d'innovateurs. La tendance s'écarte considérablement pour l'Allemagne où la part des innovateurs a diminué entre 2012 et 2016; sa part reste cependant bien supérieure à 60 %. Il est assez surprenant que la part des entreprises innovantes en Belgique surpasse celle de l'Allemagne en 2016, bien que dans une marge relativement faible. La part du Danemark semble osciller autour de 50 %, tout comme la moyenne de l'UE28.

Pourquoi les entreprises collaborent-elle en matière d'innovation ?

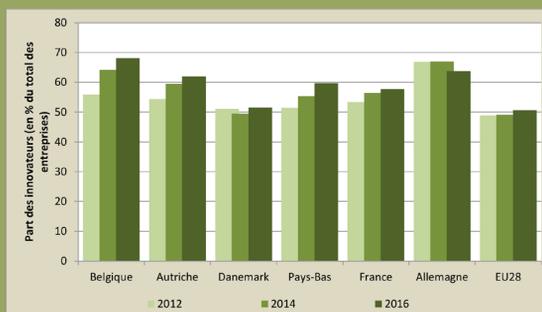
L'image d'un scientifique innovant dans la solitude est une image du passé. Un stéréotype similaire du passé est le département de R&D isolé rempli de scientifiques en blouse blanche. L'interaction avec des tiers est devenue un aspect commun

Figure 1
Part des innovateurs de produit et/ou de procédé, par classe de taille et par secteur



Source: CFS/Stat, calculs Belspo

Figure 2
Part des innovateurs, UE28 et pays sélectionnés



Source : Eurostat <https://ec.europa.eu/eurostat/web/science-technology-innovation/data/database>

de la stratégie des entreprises. La collaboration en matière d'innovation apporte de nombreux avantages aux entreprises, car elles peuvent avoir besoin de connaissances (scientifiques) spécialisées, de ressources humaines et financières, de compétences particulières, de connaissances du marché, d'informations sur les préférences en matière de produits, d'un accès à du matériel de recherche, etc. Toutes ces ressources ne sont pas nécessairement présentes dans les murs de l'entreprise elle-même. L'idée est que les entreprises sont de plus en plus actives dans la recherche de partenaires utiles pour contribuer à leurs activités innovantes (Radicic & Pinto, 2019).

D'autres motifs de collaboration sont : le partage des coûts considérables et des risques élevés liés aux activités innovantes et à l'accélération du processus d'innovation, la réduction des doubles emplois ou la promotion des normes industrielles (Tether, 2002).

Cependant, l'histoire de l'innovation collaborative n'est pas toujours positive et les dangers potentiels en font également partie. La collaboration peut entraîner une augmentation des coûts de surveillance, des fuites involontaires de connaissances et, par conséquent, la perte d'informations stratégiques; l'imitation par des partenaires collaboratifs; et la gestion des droits de propriété intellectuelle partagés tels que les brevets ou les droits d'auteur qui peuvent être exigeants, en particulier pour les petites entreprises.

La collaboration en matière d'innovation est-elle populaire ?

Compte tenu des remarques précédentes sur la nécessité de collaborer pour accéder à des

connaissances et à des capacités techniques supplémentaires, on peut s'attendre à ce que la collaboration devienne la norme pour les entreprises. En outre, de nombreuses initiatives politiques sont développées dans le cadre de la politique scientifique pour stimuler toutes les formes de collaboration.

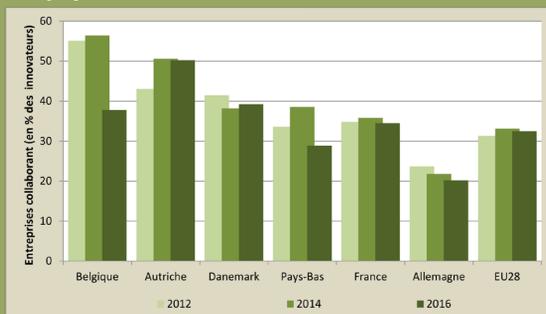
La figure 3 montre l'évolution entre 2012 et 2016 pour l'EU28 et les pays sélectionnés. En Europe (UE28), environ un tiers de tous les innovateurs collaborent à l'innovation en 2016. À l'exception de l'Allemagne et des Pays-Bas, les pays sélectionnés surpassent la part européenne et même la moitié des innovateurs autrichiens semblent collaborer.

Toutefois, la collaboration était également très populaire en Belgique. La part des innovateurs en Belgique collaborant sur les innovations semble être restée assez stable entre 2012 (55 %) et 2014 (56 %), mais a fortement diminué en 2016 (38 %). Et ce déclin inattendu se produit également, quoique dans une moindre mesure, aux Pays-Bas, en Allemagne, en France et en Autriche. La Belgique reste dans le trio de tête en matière de collaboration, mais elle est désormais dépassée par l'Autriche et le Danemark. Le Danemark est le seul pays qui s'écarte de la tendance à la baisse de la collaboration innovante.

Quelles sont les caractéristiques d'entreprise des innovateurs qui collaborent ?

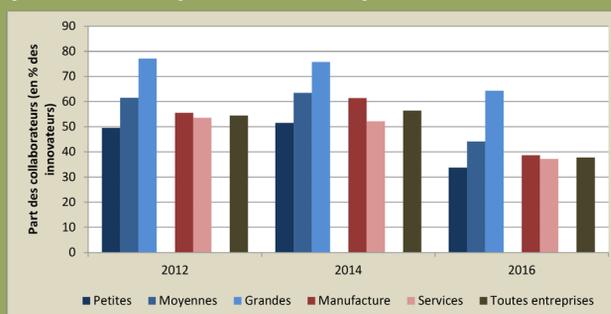
Il n'est pas évident de s'engager et d'organiser l'innovation collaborative. Le déclin après 2014 de la volonté de s'appuyer sur des partenaires extérieurs pour développer des innovations de produits et/ou de procédés est lié aux caractéristiques clés des innovateurs : leur taille et leur secteur d'activité. Les grandes entreprises peuvent disposer de plus de ressources internes pour la collaboration que

Figure 3
Innovation collaborative dans l'EU28 et les pays sélectionnés



Source : Eurostat <https://ec.europa.eu/eurostat/web/science-technology-innovation/data/database>

Figure 4
Collaboration en matière d'innovation (en % des entreprises innovantes)



Source : CFS/Stat, calculs Belspo

les entreprises plus petites, ce qui laisse penser que les grandes entreprises sont plus susceptibles de collaborer avec des partenaires externes en raison de leurs connaissances complémentaires. Cependant, les petites entreprises pourraient avoir davantage besoin de collaboration en raison de leur manque relatif de ressources.

Toutes les classes de taille contribuent à la forte diminution de la collaboration après 2014, comme l'illustre la figure 4. Cela implique que, comme de plus en plus d'entreprises s'engagent dans l'innovation (voir figure 1), soit elles développent de plus en plus ces innovations par elles-mêmes, soit elles externalisent le développement et/ou la mise en œuvre de leurs innovations.

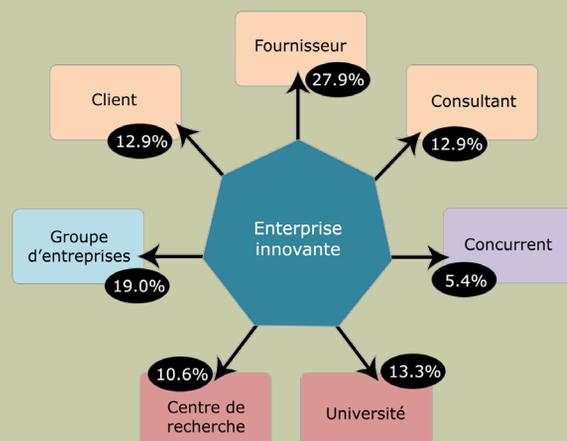
Entre 2012 et 2014, la part des collaborateurs a augmenté de près de 2 points de pourcentage pour atteindre un niveau record de 56,4 %, principalement en raison de l'augmentation des parts des petites et moyennes entreprises. La part des grandes entreprises collaborant diminue déjà légèrement de 1,3 point de pourcentage. Après 2014, toutes les classes de taille affichent des baisses similaires de plus de 10 points de pourcentage. Les moyennes (-19,3 p.p. à 44,1 %) et les petites entreprises (-17,7 p.p. à 33,8 %) sont particulièrement touchées.

En termes de secteur, les entreprises actives dans l'industrie manufacturière ont augmenté leur collaboration entre 2012 et 2014 de 5,9 points de pourcentage pour atteindre 61,4 % ; tandis que les chiffres pour les entreprises actives dans les services diminuent légèrement de 1,5 % pour atteindre 52,1 %. Après 2014, cependant, les deux ont fortement chuté : les entreprises manufacturières ont reculé de 22,8 p.p. pour atteindre 38,6 % en 2016 et celles du secteur des services à 14,9 p.p. pour atteindre 37,2 %.

Qui collabore en matière d'innovation ?

Les entreprises innovantes ont le choix entre de nombreux partenaires de collaboration potentiels. Le choix d'un type particulier de partenaire, ou d'une combinaison de partenaires, est motivé par le problème (technique) rencontré par l'innovateur (Tether, 2002). Les partenaires appropriés peuvent être trouvés dans le groupe dont l'entreprise fait partie, dans la chaîne d'approvisionnement d'une entreprise comme les clients, les fournisseurs et les consultants, dans d'autres entreprises comme les concurrents, et dans les partenaires techniques (publics) comme les universités et les centres de recherche. Ces types de partenaires sont illustrés dans la figure 5 avec la part des entreprises

Figure 5
Collaboration en matière d'innovation par type de partenaire (en % des innovateurs en 2016)



Source : CFS/Stat, calculs Belspo

Tableau 1
Types de partenaires pour la collaboration en matière

Volet A – Innovateurs ayant collaboré en 2016 (en % des innovateurs)						
Type de partenaire	Tous	Classe de taille			Secteur	
		Petites	Moyennes	Grandes	Manufacturier	Services
Entreprises du groupe	19.0	14.3	26.7	48.7	19.2	18.8
Client	12.9	10.0	17.9	29.5	13.8	12.2
Fournisseur	27.9	24.8	32.0	48.8	29.6	26.7
Consultant	12.9	10.3	16.5	33.2	13.4	12.6
Concurrent	5.4	4.3	5.8	17.6	4.8	5.9
Université	13.3	8.8	20.3	43.4	17.6	10.1
Centre de recherche	10.6	7.4	15.0	34.4	13.6	8.3

Volet B – Différence absolue 2012-2014 (en points de pourcentage)						
Type de partenaire	Tous	Classe de taille			Secteur	
		Petites	Moyennes	Grandes	Manufacturier	Services
Entreprises du groupe	0.3	0.4	-1.9	-1.7	-1.0	1.4
Client	-1.6	-1.3	-3.1	-0.9	-1.6	-1.6
Fournisseur	7.9	8.3	6.5	-5.4	8.9	7.0
Consultant	0.8	-0.2	1.5	5.4	2.1	-0.3
Concurrent	-5.6	-6.1	-2.8	-11.7	-5.7	-5.6
Université	1.9	1.8	1.5	2.5	4.0	0.1
Centre de recherche	0.1	0.4	-0.7	0.6	-0.3	0.5

Volet C – Différence absolue 2014-2016 (en points de pourcentage)						
Type de partenaire	Tous	Classe de taille			Secteur	
		Petites	Moyennes	Grandes	Manufacturier	Services
Entreprises du groupe	-4.4	-3.3	-3.8	0.9	-4.7	-4.2
Client	-8.1	-8.3	-5.8	-6.0	-9.4	-6.8
Fournisseur	-15.5	-15.3	-15.5	7.6	-16.9	-14.1
Consultant	-6.4	-4.8	-7.5	-10.1	-8.3	-4.7
Concurrent	-1.9	-1.7	-2.7	2.7	-2.6	-1.3
Université	-7.1	-7.6	-4.1	-1.6	-8.4	-5.4
Centre de recherche	-3.4	-4.6	0.5	1.0	-2.5	-3.8

Source : CFS/Stat, calculs Belspo

innovantes en 2016 qui ont fait appel à ces types de partenaires.

Les fournisseurs sont de loin le type de partenaire le plus important pour la collaboration en matière d'innovation, suivis par les autres membres du groupe, les universités, les clients, les consultants, les centres de recherche et les concurrents.

Le tableau 1 fait un zoom sur les évolutions qui ont précédé 2016 en prenant en compte les enquêtes de 2012 et 2014. Les données de la figure 5 sont reprises à gauche du volet A. Chaque type de partenaire est ensuite examiné pour les trois classes de taille et les deux secteurs agrégés.

Le volet A montre que les grandes entreprises collaborent principalement avec des entreprises de leur groupe. Cela est dû au fait que ces grandes entreprises font souvent partie d'entreprises multinationales. Les grandes entreprises utilisent également les connaissances universitaires pour développer des innovations. Environ un quart (24,8 %) des petites entreprises utilisent le savoir-faire de leurs fournisseurs pour innover. Le recours aux clients, dont il est assez souvent question dans la littérature, semble plutôt modeste lorsqu'il s'agit de collaboration en matière d'innovations, malgré le fait que les clients sont censés proposer des idées et fournir une connaissance du marché. Leur utilité immédiate pour fournir des aspects techniques sur l'innovation est peut-être plus limitée que celle d'autres partenaires.

La principale conclusion que l'on peut tirer de la partie gauche du volet B est qu'il offre des résultats mitigés dans l'évolution entre 2012 et 2014 : certains types de partenaires sont devenus plus populaires (par exemple, les fournisseurs utilisés par les petites et moyennes entreprises, les consultants par les grandes entreprises et les universités par toutes les classes de taille) et certains types de partenaires sont utilisés moins fréquemment (par exemple, les concurrents et les clients). Cela indique que les modèles de collaboration en matière d'innovation évoluent. Après 2014, comme illustré par le volet C, l'utilisation de tous les types de partenaires diminue fortement. Les centres de recherche pour les moyennes entreprises et plusieurs types de partenaires pour les grandes entreprises constituent de petites exceptions. Mais en termes de collaboration globale, tous les types de partenaires ont perdu en popularité.

En termes relatifs, c'est particulièrement le cas pour les concurrents et les clients. La collaboration avec les concurrents en 2016 a diminué relativement de plus de la moitié (moins 58 %) depuis 2012. Les

clients en tant que type de partenaire sont également 43 % moins utilisés qu'en 2012. La collaboration avec les membres du groupe d'entreprises et les fournisseurs a été relativement épargnée puisque leur fréquence a diminué respectivement de 18 % et 21 %. Une raison possible à cela est que l'entreprise innovante peut être dépendante des connaissances ou des capacités techniques disponibles chez ces partenaires.

Une question non résolue, qui doit être étudiée plus en profondeur, est la relation entre les activités de R&D et la collaboration en matière d'innovation. Des résultats provisoires suggèrent toutefois que les activités de R&D gagnent en importance au fil du temps dans l'innovation collaborative. En 2012, 67 % de l'ensemble des collaborateurs menaient des activités de R&D, part qui a augmenté de manière significative pour atteindre 70 % en 2014 et 75 % en 2016. C'est beaucoup plus que les 45 % d'innovateurs actifs en R&D qui n'ont pas collaboré en matière d'innovation. La R&D reste donc une condition essentielle de la collaboration, car elle contribue de manière significative au renforcement de la capacité d'absorption des entreprises.

Que pouvons-nous conclure ?

Plusieurs messages sont proposés par une analyse de l'enquête européenne sur l'innovation. Premièrement, les entreprises en Belgique deviennent de plus en plus innovantes, même si les entreprises du secteur manufacturier surpassent constamment celles des services et que les grandes entreprises sont plus innovantes que leurs homologues plus petites. Deuxièmement, les entreprises en Belgique se portent relativement bien par rapport aux pays de référence et à la moyenne de l'UE en ce qui concerne le caractère innovant des entreprises. Troisièmement, bien que la collaboration en matière d'innovation reste importante pour plus d'un tiers des innovateurs, son évolution est caractérisée par un déclin marqué après 2014. Entre 2012 et 2014, il existe un statu quo relatif pour la plupart des classes de taille et une croissance seulement des entreprises actives dans le secteur manufacturier ; mais après 2014, toutes les classes de taille et tous les secteurs collaborent moins. Le principal facteur de ce déclin est imputable aux petites entreprises, ce qui pourrait s'expliquer par le manque de ressources humaines et financières dont elles disposent. En outre, l'innovation collaborative peut avoir un coût en termes de coordination et de suivi qui sont moins présents dans les petites entreprises. Quatrièmement, cette tendance à la diminution de l'innovation collaborative est également présente dans d'autres pays européens (UE28), tels que les Pays-Bas et l'Allemagne ; tandis

que l'Autriche et la France restent plus ou moins stables. Cinquièmement, le déclin de la collaboration se produit indépendamment du type de partenaire et reflète donc une tendance générale qui n'est pas liée aux connaissances détenues par un type de partenaire spécifique, bien que les concurrents et les clients semblent être les plus touchés par la réduction de la collaboration. Enfin, les résultats provisoires soulignent le rôle de la R&D en tant que moteur de l'innovation collaborative, car elle crée une plus grande capacité d'absorption pour capter les résultats de la recherche externe au nom des activités innovantes.

Y a-t-il un rôle pour la politique ?

Comme la littérature scientifique sur la collaboration en matière d'innovation suggère un effet positif sur le renforcement de la compétitivité et de la performance des entreprises (Lii et Kuo, 2016), les agents politiques essaient de créer le bon ensemble de conditions-cadres pour encourager la collaboration. De nombreux efforts ont déjà été faits dans le passé ; notamment en ce qui concerne les relations entre l'industrie et la science. Étant donné que rien n'indique que les réglementations existantes ont été abolies, cela implique que la politique n'est pas responsable du ralentissement de la collaboration en matière d'innovation. Des résultats provisoires sur la relation entre les activités de R&D et la collaboration suggèrent toutefois que la politique publique doit maintenir l'accent sur la stimulation des entreprises à effectuer de la R&D. Dans cette optique, la mesure fiscale en Belgique en faveur des travailleurs de la connaissance peut contribuer à renforcer la capacité d'absorption comme condition à l'innovation collaborative.

Vous voulez en savoir plus ?

Cet article met l'accent sur l'innovation collaborative. Il ne s'agit pas d'un rapport complet de toutes les variables contenues dans le CIS2016. Les résultats agrégés avec un aperçu complet peuvent être consultés sur le site web de Belspo (www.belspo.be/belspo/stat/b23_en.stm) ou sont disponibles sur demande.

RÉFÉRENCES

Belspo (2019). www.belspo.be/belspo/stat/b23_en.stm

Chesbrough, H.W (2003). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Cambridge (MA), Harvard Business Press.

Cho, H. J., & Pucik, V. (2005). *Relationship between innovativeness, quality, growth, profitability, and market value*. *Strategic Management Journal*, 26(6), 555-575.

Lakhani, K. R., & Panetta, J. A. (2007). *The principles of distributed innovation*. *Innovations: technology, governance, globalization*, 2(3), 97-112.

Lii, P., & Kuo, F. I. (2016). *Innovation-oriented supply chain integration for combined competitiveness and firm performance*. *International Journal of Production Economics*, 174, 142-155.

OECD (2005). *Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data*. Paris, OECD.

Radacic, D., & Pinto, J. (2019). *Collaboration with external organizations and technological innovations: Evidence from Spanish manufacturing firms*. *Sustainability*, 11(9), 2479.

Tether, B. S. (2002). *Who co-operates for innovation, and why: an empirical analysis*. *Research policy*, 31(6), 947-967.

LES AUTEURS

André Spithoven et Anneleen Bruylant sont attachés au Service Monitoring et Evaluation de la Recherche et de l'Innovation de la Politique scientifique fédérale. André Spithoven est conseiller et est spécialisé dans l'analyse du système d'innovation. Anneleen Bruylant est attachée et responsable pour la rédaction des statistiques officielles de l'innovation en Belgique pour Eurostat et l'OCDE. Ce texte est l'expression de leurs propres idées et n'engage en aucune manière la Politique scientifique fédérale.



LANCEMENT DU NOUVEAU NAVIRE DE RECHERCHE

Après 36 ans de service, l'actuel navire de recherche océanographique belge A962 Belgica (construit en 1984) doit être remplacé. C'est pourquoi le gouvernement fédéral a pris la décision de faire construire un nouveau navire de recherche moderne. Le contrat pour la conception et la construction du navire a été attribué le 8 juin 2018, par le ministre de la Politique scientifique au chantier naval espagnol Freire Shipyard (Vigo), qui construit le navire d'après le design de la firme norvégienne Rolls-Royce Marine AS (qui fait partie maintenant de la société norvégienne Kongsberg Maritime). Le coût du projet est d'environ 54 millions d'euros.

Depuis l'attribution du contrat, beaucoup de choses ont été réalisées : les plans détaillés du navire ont été établis, des maquettes ont été testées et le 13 février 2019, les travaux de découpe de l'acier pour la construction du nouveau navire ont commencé.

Le nouveau navire de recherche Belgica a pu être réalisé grâce à la collaboration entre trois départements fédéraux, à savoir la Politique scientifique fédérale (Belspo), l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB) et le ministère de la Défense. Le nouveau Belgica sera la propriété de l'État belge, représenté par la Politique scientifique fédérale. La gestion opérationnelle sera assurée par l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique en collaboration avec la Défense et un opérateur privé.

De plus amples informations sur le nouveau RV Belgica et les spécifications techniques du navire peuvent être consultées sur le site www.belspo.be/NewRV, où le processus de construction peut également être suivi.

Le 27 mars 2019, la pose de la quille, qui équivaut à la pose de la première pierre d'un bâtiment, a eu lieu. Le 11 février 2020, moins d'un an plus tard, le nouveau RV Belgica a été mis à l'eau pour la première fois ! La cérémonie s'est déroulée en présence des différents partenaires du projet : le chantier naval, la Défense, l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB) et la Politique scientifique fédérale (Belspo). Le navire sera ensuite achevé et équipé de tout le matériel et l'équipement nécessaires. Comme prévu, il sera livré dans son port d'attache de Zeebrugge fin 2020 et il soutiendra la communauté scientifique marine pour les trente prochaines années.

Par rapport à l'actuel RV A962 Belgica, le nouveau navire sera plus grand (environ 71 m de long contre 50 m de long) ; il offrira plus d'espace aux scientifiques (un doublement de l'espace de laboratoire avec une capacité pouvant accueillir jusqu'à 28 scientifiques à bord). Il sera pourvu d'équipements scientifiques de pointe qui permettront, entre autres, de prélever des échantillons jusqu'à 5000 m de profondeur. Le nouveau navire sera également un navire silencieux (important pour la recherche halieutique, entre autres) avec un léger renforcement de glace pour pouvoir mener des recherches dans l'Arctique pendant l'été. Bien que la mer du Nord reste la principale zone d'intérêt du nouveau navire, la zone de recherche s'étend plus loin que l'actuel RV Belgica : vers le nord jusqu'au-dessus du cercle arctique, plus au sud en incluant la Méditerranée et la mer Noire et vers l'ouest jusqu'à l'océan Atlantique. Le navire aura une autonomie de 30 jours et effectuera jusqu'à environ 300 jours de recherche en mer chaque année.

**SCIENCE CONNECTION
EST LE MAGAZINE
GRATUIT DE LA POLITIQUE
SCIENTIFIQUE (BELSPO)**

EDITEUR RESPONSABLE :

Pierre Bruyere
WTC III
Avenue Simon Bolivar 30 bte 7
B-1000 Bruxelles

COORDINATION :

Patrick Ribouville
scienceconnection@belspo.be
www.scienceconnection.be

TIRAGE :

14.000 exemplaires
en français et en néerlandais.

ABONNEMENT:

www.scienceconnection.be

Tous les numéros sont disponibles
en format PDF. www.belspo.be

Une erreur à votre patronyme ?
Une adresse incomplète ? Un code
postal erroné ? N'hésitez pas à
nous le faire savoir par retour de
courrier électronique.

PHOTO COUVERTURE:

© Kath Jeffery

CONCEPTION GRAPHIQUE :

Politique scientifique fédérale

Ont collaboré à ce numéro :

Hans Beeckman (Musée royal de l'Afrique centrale), Joëlle Bertrand (Politique scientifique fédérale), Anneleen Bruylant (Politique scientifique fédérale), Laurence Burnotte (Politique scientifique fédérale), David Cox (Politique scientifique fédérale), Corneille Ewango (Université de Kisangani), Nadia Fadil (KU Leuven-Interculturalism, Migration and Minorities Research Centre/IMMRC), Stéphanie Fratta (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique), Wannas Hubau (Musée royal de l'Afrique centrale), Silke Jaminé (KU Leuven-Interculturalism, Migration and Minorities Research Centre/IMMRC), Simon Lewis (Leeds University), Jacques Lust (Politique scientifique fédérale), John Tshibamba Mukendi (Université de Mbujimaji), Sofie Onghena (Archives générales du Royaume), Patrick Ribouville (Politique scientifique fédérale), André Spithoven (Politique scientifique fédérale), Pierre-Alain Tallier (Archives générales du Royaume), Jonas Van de Voorde (Musée royal de l'Afrique centrale) et Michel Van Roozendaal (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique).

Les auteurs sont responsables du contenu de leur contribution.

La mission de la Politique scientifique fédérale (Belspo) est la maximalisation du potentiel scientifique et culturel de la Belgique au service des décideurs politiques, du secteur industriel et des citoyens : 'une politique pour et par la science'. Pour autant qu'elle ne poursuive aucun but commercial et qu'elle s'inscrive dans les missions de la Politique scientifique fédérale, la reproduction par extraits de cette publication est autorisée. L'Etat belge ne peut être tenu responsable des éventuels dommages résultant de l'utilisation de données figurant dans cette publication.

La Politique scientifique fédérale ni aucune personne agissant en son nom n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou des erreurs éventuelles qui, malgré le soin apporté à la préparation des textes, pourraient y subsister.

La Politique scientifique fédérale s'est efforcée de respecter les prescriptions légales relatives au droit d'auteur et de contacter les ayants droits. Toute personne qui se sentirait lésée et qui souhaiterait faire valoir ses droits est priée de se faire connaître.

© Politique scientifique fédérale 2020

Reproduction autorisée moyennant citation de la source.

Interdit à la vente.