

# SCIENCE connection

LE MAGAZINE DE LA POLITIQUE SCIENTIFIQUE FÉDÉRALE

66

janvier - février  
2022



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](http://www.arch.be)



Bibliothèque royale de Belgique  
[www.kbr.be](http://www.kbr.be)



Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique  
[www.fine-arts-museum.be](http://www.fine-arts-museum.be)



Musées royaux d'Art et d'Histoire  
[www.mrah.be](http://www.mrah.be)



Institut royal du Patrimoine artistique  
[www.kikirpa.be](http://www.kikirpa.be)



Institut royal des Sciences naturelles de Belgique / Muséum des Sciences naturelles  
[www.sciencesnaturelles.be](http://www.sciencesnaturelles.be)



Musée royal de l'Afrique centrale  
[www.africamuseum.be](http://www.africamuseum.be)



[www.belnet.be](http://www.belnet.be)



Observatoire royal de Belgique  
[www.astro.oma.be](http://www.astro.oma.be)



Institut royal météorologique de Belgique  
[www.meteo.be](http://www.meteo.be)



Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique  
[www.aeronomie.be](http://www.aeronomie.be)



Planétarium de l'Observatoire royal de Belgique  
[www.planetarium.be](http://www.planetarium.be)

# SOMMAIRE

04



Challenge Patrimoine

08

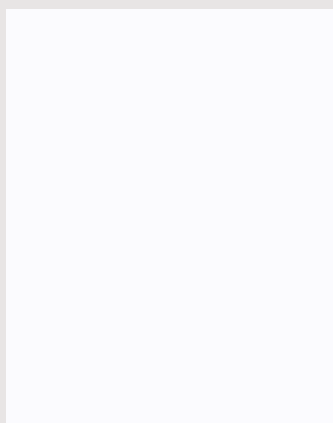
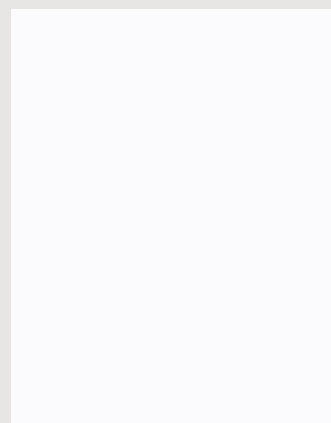


T. rex - Exposition au Muséum des Sciences naturelles

12



RESIST - Traquer les précipitations pour prévenir les glissements de terrain

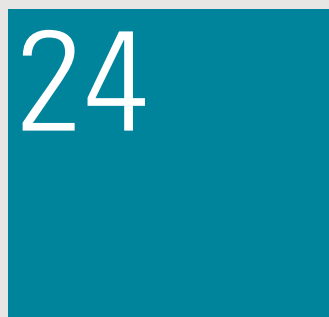


14



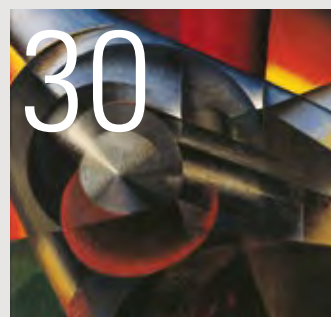
RUSTICCA - 20 ans d'observation avec le télescope Schmidt

24



Le coronavirus et la qualité de l'air dans le monde

30



Voies de la modernité

37



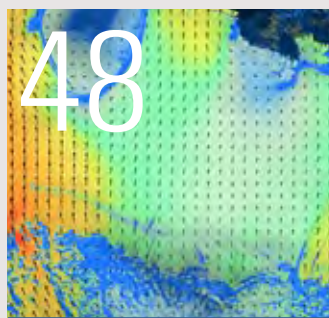
SODHA - Social Sciences and Digital Humanities Archive

44

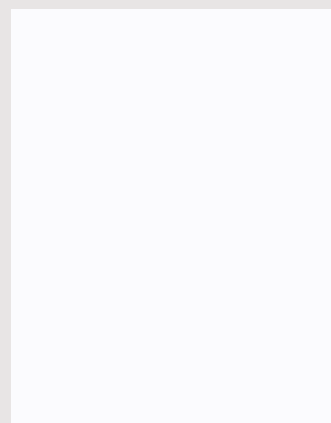


Sorcières avant la lettre

48



MIMO - Suivre le changement global en Antarctique grâce aux satellites





# Challenge Patrimoine

Un défi lancé aux Belges pour enrichir leur patrimoine

L'intérieur de la chapelle funéraire de Pierre Paul Rubens et de sa famille, Église Saint-Jacques, Anvers, 2e moitié du XVIIe siècle.  
Pierre Paul Rubens, *La Vierge à l'Enfant entourée de Saints*, v. 1630, huile sur panneau, 220 x 193 cm, Église Saint-Jacques, Anvers.  
© KIK-IRPA, Bruxelles

L'Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA) lance le Challenge Patrimoine, une puissante initiative qui vise à mettre à l'honneur les trésors artistiques et les monuments de notre passé pour leur offrir les meilleurs soins grâce à une large participation publique. L'église de son village natal, le tableau qu'on aime tant admirer, le phare qui guide nos pas, ce café avec son bel intérieur... Le patrimoine est présent partout autour de nous, dans les rues, les musées, jusque dans les endroits les plus insolites. Pour rendre toute sa splendeur au patrimoine et le transmettre aux générations suivantes, l'IRPA a invité chacun une première fois à voter pour son oeuvre préférée. D'ici 2030, année du bicentenaire de la Belgique, nous ferons resplendir chaque année une oeuvre patrimoniale dans le coeur des gens. Ainsi, nous enrichissons ensemble notre patrimoine.

## Six trésors patrimoniaux exceptionnels

Pour cette première édition, l'IRPA a sélectionné six joyaux du patrimoine issus de périodes et d'endroits en Belgique très divers. Chacun d'eux a une histoire, une apparence, un style et des besoins spécifiques. Ils incarnent la richesse et la diversité de notre patrimoine. Ils méritent tous les meilleurs soins.

À partir du 20 octobre, pendant un mois, chacun pouvait voter pour son candidat favori. Une commission composée de passionnés du patrimoine a choisi le projet gagnant parmi les trois premiers projets (un par Région) élus par le public. Cette année, le premier lauréat de cette initiative est la chapelle funéraire de Pierre Paul Rubens. Les experts de l'IRPA feront à nouveau resplendir ce trésor patrimonial en lui offrant les meilleurs soins : un traitement de restauration durable, l'optimisation de l'environnement de conservation, une exposition idéale...

Hilde De Clercq, directeur général a.i. de l'IRPA : 'Le patrimoine, c'est des oeuvres d'art, des objets, des monuments magnifiques qui ont une signification particulière pour chaque individu et pour la société. Nous voulons transmettre ces précieux présents du

## Les nominés pour le Challenge Patrimoine 2021

- Le sarcophage mérovingien de Chrodoara à Amay (v. 730) : une pure merveille, le seul au monde orné d'une figure humaine et d'une inscription
- L'intérieur de la chapelle funéraire de Pierre Paul Rubens dans l'église Saint-Jacques d'Anvers (XVIIe siècle) : un sublime ensemble baroque de peintures et de sculptures
- Les maisons Art Nouveau de Bruxelles (fin XIXe-début XXe siècle) : des oeuvres d'art uniques qui ont autrefois placé la jeune Belgique sur la scène internationale
- Les costumes de théâtre de James Ensor du Mu.ZEE d'Ostende (v. 1911-1932) : des costumes chatoyants conçus par Ensor pour son ballet *Gamme d'Amour*
- La gypsothèque de Constantin Meunier (Ixelles, 2e moitié du XIXe siècle-début du XXe siècle) : une collection de sculptures en plâtre fragiles qui illustrent le processus créatif du maître
- Les trésors de la cathédrale de Tournai (VIIe-XXe siècle) : une collection d'une richesse exceptionnelle d'oeuvres d'art et d'objets décoratifs d'Europe occidentale

Le sarcophage de sainte Chrodoara,  
Église Collégiale Saint-Georges-et-Sainte-Ode, Amay, v. 730.  
Sarcophage de Chrodoara (détail), v. 730, Pierre de Savonnières, 184 x 57 x 71 cm,  
Collégiale Saint-Georges-et-Sainte-Ode, Amay.  
© KIK-IRPA, Bruxelles



passé dans toute leur splendeur aux générations suivantes. J'ai le coeur brisé quand je vois l'ampleur des besoins et le peu d'attention et de moyens dont nous disposons. Grâce au Challenge Patrimoine, nous voulons changer cela.'

Ceux qui ont voté pour le projet gagnant ont peut-être eu la chance de remporter 'Le Ticket Éternel' : un accès gratuit intergénérationnel au trésor patrimonial lauréat pour une durée de 100 ans, qui peut être transmis de génération en génération. Nous voulons ainsi incarner le caractère éternel symbolique du patrimoine sous la forme d'un prix exceptionnel.

### Une commission passionnée par le patrimoine

Le Challenge Patrimoine est encadré par une commission de Belges issus d'horizons très divers qui partagent tous une véritable passion pour le patrimoine. Ils soutiennent la campagne et sélectionnent ensemble le projet gagnant parmi les trois premiers projets élus par le public. Pour ce faire, ils tiennent compte de l'urgence du traitement, de l'importance du projet pour la com-

munauté, de la participation locale et de la popularité du trésor patrimonial lors de la campagne de vote.

### Faire resplendir un joyau du patrimoine

Dès que le projet gagnant a été annoncé le 2 décembre, l'équipe interdisciplinaire de l'IRPA s'est mise au travail. Les experts détermineront les besoins spécifiques de l'oeuvre patrimoniale lauréate et proposeront un plan d'intervention concret au gestionnaire du patrimoine et aux autorités compétentes. Parallèlement, ils mettront sur pied un cercle d'amis pour rassembler la communauté locale autour du projet. Ensuite, ils mettront toute leur expertise au service de l'étude proprement dite, d'un traitement de conservation-restauration durable, de l'optimisation de l'environnement de conservation, d'une exposition idéale... L'ensemble du processus sera photographié et diffusé largement afin de partager avec le public notre passion pour le patrimoine et toutes les finesses de notre métier. La fin du projet sera célébrée par une grande fête organisée pour la communauté locale et tous les passionnés. Ainsi, les nombreuses nouvelles générations pourront à leur tour profiter de leur trésor patrimonial !

>>



Les costumes du ballet *La Gamme d'Amour* de James Ensor  
 Mu.ZEE, Ostende, v. 1911-1932 (?).  
 Jupe, coton peint à l'aquarelle, Mu.ZEE, Ostende  
 © Mu.ZEE, photo Danny de Kievith



Les trésors de la cathédrale Notre-Dame de Tournai, VIIe-XXe siècle.  
 Tapisserie avec *Ecce Homo*, Bruxelles, 1534, 112 x 87,5 cm, Cathédrale Notre-Dame de  
 Tournai.  
 © KIK-IRPA, Bruxelles

## Dix trésors patrimoniaux en dix ans

Jusqu'en 2030, un nouveau projet patrimonial sera lancé chaque année. À partir de la prochaine édition, en 2022, les gestionnaires du patrimoine pourront eux-mêmes proposer aussi des projets. Après une présélection effectuée en concertation avec les administrations compétentes, l'IRPA publiera chaque année une nouvelle liste pour la campagne de vote du public. Cette présélection tiendra compte de l'urgence du traitement de conservation-restauration, de l'importance supralocale du patrimoine, de l'adéquation avec l'expertise et la capacité de l'IRPA, ainsi que des éventuelles opportunités en matière d'innovation et de développement des connaissances. La durée du traitement dépendra toujours de l'oeuvre patrimoniale élue et de ses besoins spécifiques.

L'IRPA chérit tout le patrimoine et souhaite aider à préserver un maximum de trésors patrimoniaux. En fonction de la contribution des entreprises et du public, l'IRPA souhaite réaliser plusieurs projets par an. Ainsi, le Challenge Patrimoine vise à instaurer un cadre durable pour une large implication philanthropique dans la sauvegarde du patrimoine.

## Une initiative puissante

Le Challenge Patrimoine est une initiative de l'Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA, Bruxelles). Depuis 1948, cet établissement scientifique fédéral fait figure de pionnier dans le domaine de la préservation du patrimoine. Son équipe interdisciplinaire de scientifiques, de restaurateurs, d'historiens de l'art, de photographes et de spécialistes en imagerie étudie les trésors de notre

Le gypsothèque de Constantin Meunier, Musée Meunier Ixelles, seconde moitié du XIXe-début du XXe siècle.

Constantin Meunier, *Le débardeur* (détail), plâtre patiné, 220 x 124,7 x 93,5 cm, Musée Meunier (MRBAB), Ixelles.  
© MRBAB/CedricVerhelst

patrimoine belge, leur offre un traitement de conservation-restauration durable et les rend accessibles à tous les amateurs d'art.

L'IRPA est surtout connu pour l'excellence de ses restaurations, comme celle du polyptyque de l'*Agneau mystique* des frères Van Eyck, mais il coordonne également l'aide d'urgence apportée au patrimoine et préserve la mémoire visuelle collective grâce à sa base de données en ligne BALaT, qui contient plus d'un million de photos du patrimoine culturel ([balat.kikirpa.be](http://balat.kikirpa.be)).

Le premier partenaire fondateur du Challenge Patrimoine est la Loterie Nationale, dont nous remercions tous les joueurs. Le financement du traitement de l'oeuvre lauréate sera complété par une campagne de collecte de fonds menée auprès des entreprises, des fonds et du grand public. Le patrimoine appartient à tout le monde. L'implication directe de la société dans sa préservation accroît son importance individuelle et collective. C'est essentiel pour donner au patrimoine belge le soin qu'il mérite.

(Source : IRPA)

## Plus

L'Institut royal du Patrimoine artistique  
[www.kikirpa.be](http://www.kikirpa.be)



# T. rex

Exposition au Muséum des Sciences naturelles

Observez, analysez, manipulez et jouez pour découvrir tous les secrets de ce célèbre dinosaure. Glissez-vous dans la peau d'un paléontologue et apprenez tout ce que ses recherches peuvent dévoiler sur cet animal mythique. 12 interactifs jalonnent votre parcours : jeu électro, microscope, vidéos, quizz, touche-à-tout et défis. Apprenez à connaître ce dinosaure sous toutes ses coutures en jouant et en interagissant. Une expo particulièrement destinée aux enfants à partir de 5 ans, qui fera le bonheur de tous les mordus de dinos ! *T. rex* est une expo conçue par Naturalis (Leiden) et adaptée par le Muséum des Sciences Naturelles de Belgique.

Dès l'entrée, une femelle *T. rex* vous accueille en position d'attaque. Elle s'appelle Trix et a 67 millions d'années. Son squelette est juste époustoufflant. Découvert en 2013, dans le Montana aux Etats-Unis, il est complet à 70 %. C'est l'un des squelettes les plus complets et des mieux préservés sur la trentaine d'exemplaires connus en Amérique du Nord. Trix fait partie de la collection de Naturalis Biodiversity Center à Leiden, où elle a été exposée pour la première fois lors de l'exposition *T. rex in town*

de 2016 à 2017. Elle a fait ensuite le tour de l'Europe, en passant par Salzbourg, Lisbonne, Paris, Barcelone et Glasgow, pour enfin retrouver sa place à Naturalis.

L'impression 3D exposée ici est issue d'un scan de haute qualité scientifique du squelette de Trix. Prenez le temps d'observer son squelette 3D de près et découvrez tout ce qu'il peut nous dévoiler sur son histoire. Entrez ensuite dans le vif du sujet et apprenez à connaître Trix ! 5 interactifs vous aident à découvrir quel âge

Puzzle © Muséum des Sciences naturelles







Bébé dino © Muséum des Sciences naturelles

elle avait au moment de sa mort, comment fonctionnait son cerveau, de quoi elle se nourrissait, l'époque à laquelle elle vivait et l'origine de ses blessures. Autant de questions auxquelles vous répondrez en jouant et en examinant, comme les scientifiques, ses os fossilisés et les roches dans lesquelles ils ont été trouvés.

Dans un deuxième temps, étudiez le *T. rex* sous toutes ses coutures. Cette espèce à laquelle appartient Trix est la plus célèbre des dinosaures carnivores. A vous de tester votre agilité sur un chantier de fouilles. Imaginez quelle aurait pu être sa couleur de peau et créez un superbe graffiti ! Vivez avec lui le temps des amours au crétacé et séduisez-le par une danse... Sautez en selle pour défier le *T. rex* à la course. Une question persiste : auriez-vous été un repas suffisant pour lui ? Vous voilà enfin *T. expert* ! C'est en tout cas ce qu'il reste à vérifier : montez sur la plateforme du quizz hilarant grandeur nature et testez vos connaissances de paléontologue en herbe !

## Le métier de paléontologue Pascal Godefroit et Koen Stein

### La paléontologie, vaste sujet

Les dinosaures sont de véritables stars ! Ils émerveillent petits et grands dans les films, les jeux vidéo, les jouets pour enfants et même les musées. Le métier de paléontologue est souvent associé à l'étude de ces animaux extraordinaires. Mais en réalité, la paléontologie englobe bien plus que ce seul groupe. Cette science étudie tous les êtres anciens - animaux ou végétaux - qui ont vécu à la surface de la terre avant les temps actuels. En quelques sortes, les paléontologues étudient le vaste sujet de l'histoire de la vie sur terre, depuis l'apparition de la vie il y a 3 milliards d'années, jusqu'à il y a approximativement 10.000 ans.

Ce vaste sujet est repris au Muséum dans la Galerie de l'Évolution. Mais comment s'y prennent-ils ? Quelles sont les techniques utilisées et les sujets de leurs recherches ? Nous vous dévoilons ce que font les paléontologues de notre Institut des Sciences naturelles.



© Muséum des Sciences naturelles

### Les chantiers

Tout commence sur un chantier de fouille. Afin d'étudier des plantes ou animaux fossilisés, il faut d'abord les trouver dans la terre. Les paléontologues sont donc en quête de sites où de nouveaux fossiles pourront être trouvés. Ils savent généralement où chercher :

- il faut un terrain qui date de l'époque étudiée (qui n'est pas apparu ou formé par la suite) ;
- les terrains situés en milieu marin ou en ville sont exclus - la logistique serait trop complexe ;
- les terrains désertiques sont privilégiés, car ils sont dépourvus de végétation et prêts à être creusés.

Souvent, c'est par hasard que l'on tombe sur un site intéressant. Lorsqu'un fossile a été découvert, il y a de fortes chances que d'autres se cachent dans les alentours. Les paléontologues inves-

&gt;&gt;

tissent alors l'endroit afin de fouiller la terre. Malgré les nombreux chantiers qui ont déjà été réalisés, il reste encore un nombre incalculable d'endroits à fouiller. Même la Belgique a encore des secrets à nous livrer !

Nos paléontologues y sont allés :

- En Russie, en Chine (en Mongolie intérieure) et en Roumanie, sur les traces des descendants des Iguanodons de Bernissart et à la découverte des dinosaures à plumes (Pascal Godefroit, Thierry Smith)
- Aux Etats-Unis (dans le Wyoming), d'où ils ont ramené des squelettes complets de Diplodocus et d'Allosaure (Pascal Godefroit, Koen Stein)
- Au Pérou, pour y déterrer des baleines (Olivier Lambert)
- En Inde, Chine et au Wyoming, découvrir les plus anciens mammifères modernes (Thierry Smith)
- Près de Dinant, où a été découvert un gisement de poissons primitifs du Paléozoïque (Sébastien Olive)
- En Irlande, pour récolter de très anciennes plantes à graines (Cyrille Prestianni)

## Conditions extrêmes

Les fouilles peuvent durer plusieurs mois, voire plusieurs années ! Vu les endroits reculés dans lesquels ont lieu certains chantiers, les conditions de travail y sont parfois des plus extrêmes. Notre paléontologue Pascal Godefroit raconte par exemple comment il a dû embarquer sur un tank avec ses équipes pour atteindre un chantier en Sibérie. Le terrain, extrêmement accidenté, était impraticable en simple 4X4 ! Koen Stein, un autre de nos paléontologues, se souvient d'un chantier dans un désert du Nevada où il n'y avait ni eau, ni électricité. Les scientifiques devaient escalader 200m de dénivelé pour atteindre le chantier depuis leur campement. Avec un pick-up, ils se réapprovisionnaient en eau toutes les deux semaines pour boire, se laver et pour réaliser des moulages en plâtre de fossiles déterrés. Certains spécimens, trop lourds et volumineux pour être portés par les équipes, devaient être descendus par hélicoptère !

© Muséum des Sciences naturelles



Trouver un fossile © Muséum des Sciences naturelles

En 'huis clos' avec les équipes locales, dans des lieux souvent très isolés, les chercheurs ramènent de leurs chantiers d'innombrables anecdotes sur la culture locale, les défis du chantier et des rencontres inédites avec la faune sauvage locale. Vous pensiez qu'Indiana Jones n'était qu'une légende ? Détrompez-vous ! Les paléontologues sont de véritables aventuriers de l'extrême.

## La préparation des fossiles

Les fossiles, si vaillamment obtenus, ont une valeur inestimable, puisqu'ils peuvent dévoiler à la science tous les éléments de la vie passée sur terre. Une étape importante pour les étudier est donc leur préparation. Sur le terrain, ils sont généralement emballés dans du plâtre pour les protéger lors du trajet. Des techniciens spécialisés vont donc devoir retirer délicatement cette couche de plâtre, ainsi que la couche de sédiment qui entoure les fossiles. Un travail extrêmement long et minutieux, pour ne pas abîmer le fossile et risquer de perdre des informations précieuses. Parfois, la roche ou la terre dans laquelle le fossile a été trouvé peut elle-même être étudiée. Chaque élément extrait du sol a de la valeur.

## Des technologies de pointe

Les fossiles sont ensuite étudiés grâce à des technologies en constante évolution :

- l'analyse au microscope de tranches d'os d'1 micromètre d'épaisseur pour observer les cellules osseuses ;
- l'analyse des molécules d'ADN ;
- le scan 3D, permettant de visualiser un os sous toutes ses facettes sur un écran et de recréer un modèle 3D à échelle ou grandeur nature.

Un même fossile pourra dévoiler de nouvelles informations lorsqu'il est confronté à différentes technologies et recèle donc un savoir toujours renouvelé.

## Sujets spécialisés aux débouchés universels

Paradoxalement, aussi vaste que puisse être la paléontologie, les chercheurs attaquent souvent des sujets très pointus lorsqu'il s'agit d'étudier les fossiles. La spécialisation de Koen Stein en est un bon exemple : l'ostéo-histologie, ou étude des tissus minéralisés, comme les dents, les os ou les coquilles.

Analyser ces tissus permet cependant d'étudier des éléments clés, comme la taille des cellules osseuses, l'évolution de l'épaisseur des coquilles d'oeufs ou les lignes de croissance. Les scientifiques en retirent des informations importantes pour comprendre les grandes tendances dans l'évolution de certaines espèces, leur émergence ou leur extinction, mais aussi les changements dans les écosystèmes de l'époque, la biodiversité et le climat.

## Les mystères non résolus autour du *T. rex*

Le *T. rex*, bien qu'étant le dinosaure le plus étudié au monde, soulève encore des interrogations. Voici les 4 inconnues du *T. rex* :

### Des plumes ?

Pendant longtemps, l'apparence des dinosaures est restée une zone d'ombre dans la recherche paléontologique. Depuis plusieurs années, certains indices nous donnent une idée de plus en plus précise sur leur apparence physique. Il s'agit par exemple de fragments de peau fossilisée avec des écailles ou avec des plumes, ou encore la présence de mélanosomes (pouvant indiquer la teinte) sur des structures épidermiques comme les poils et les plumes. Des indices montrent que de nombreux dinosaures carnivores avaient bel et bien des plumes ! Mais nous ne savons pas si le *T. rex* en fait partie. A l'Institut, notre paléontologue Pascal Godefroit étudie l'apparition du vol et du plumage chez les dinosaures. Il réalise cette recherche sur des fossiles de dinosaures asiatiques qui ont vécu à la même époque que les Iguanodons de Bernissart.

### Des crocs apparents ?

Les paléo-dessins représentent les dinosaures en chair et en os, dans leur milieu naturel. Il s'agit d'hypothèses sur leur apparence, dérivées de la recherche scientifique à ce sujet.

Certains dessins montrent les *T. rex* avec des dents apparentes, ressortant de leurs lèvres. D'autres les montrent au contraire avec l'entièreté de leur dentition contenue à l'intérieur de leur gueule. Les paléontologues ne savent pas encore avec certitude laquelle de ces hypothèses est correcte.

### Les jeunes *T. rex*

Les scientifiques n'ont pas encore trouvé de squelettes de *T. rex* juvéniles. Ils n'ont donc aucune manière de savoir à quoi ressemblaient les jeunes ou comment se déroulait leur croissance. Par le passé, des scientifiques ont pu confondre des *T. rex* juvéniles avec des squelettes d'autres espèces de dinosaures, plus petits que le *T. rex* et aux proportions semblables. Il est pourtant tout à fait possible que les *T. rex* juvéniles aient eu des proportions différentes que celles des adultes, comme c'est le cas par exemple pour les humains.

### Le comportement social des *T. rex*

Les paléontologues ne savent pas à quoi ressemblait le comportement social des *T. rex*. Vivaient-ils en groupe ou en solitaire ? Se battaient-ils pour protéger leur terri-

toire ou pour une femelle ? Les traces de dents sur les os des *T. rex* prouvent qu'il se battaient avec leurs congénères, mais le contexte de ces affrontements n'est pas encore connu.

(Source IRSNB)

### Plus

Expo *T. rex* jusqu'au 7 août 2022 au Muséum des Sciences Naturelles (rue Vautier 29 à 1000 Bruxelles)  
Infos, tarifs et réservations sur [www.sciencesnaturelles.be](http://www.sciencesnaturelles.be), par mail à [reservations@naturalsciences.be](mailto:reservations@naturalsciences.be), par téléphone au 02/627.42.34 (en semaine, de 9h à 13h et de 14h à 16h30)

Graffiti © Muséum des Sciences naturelles



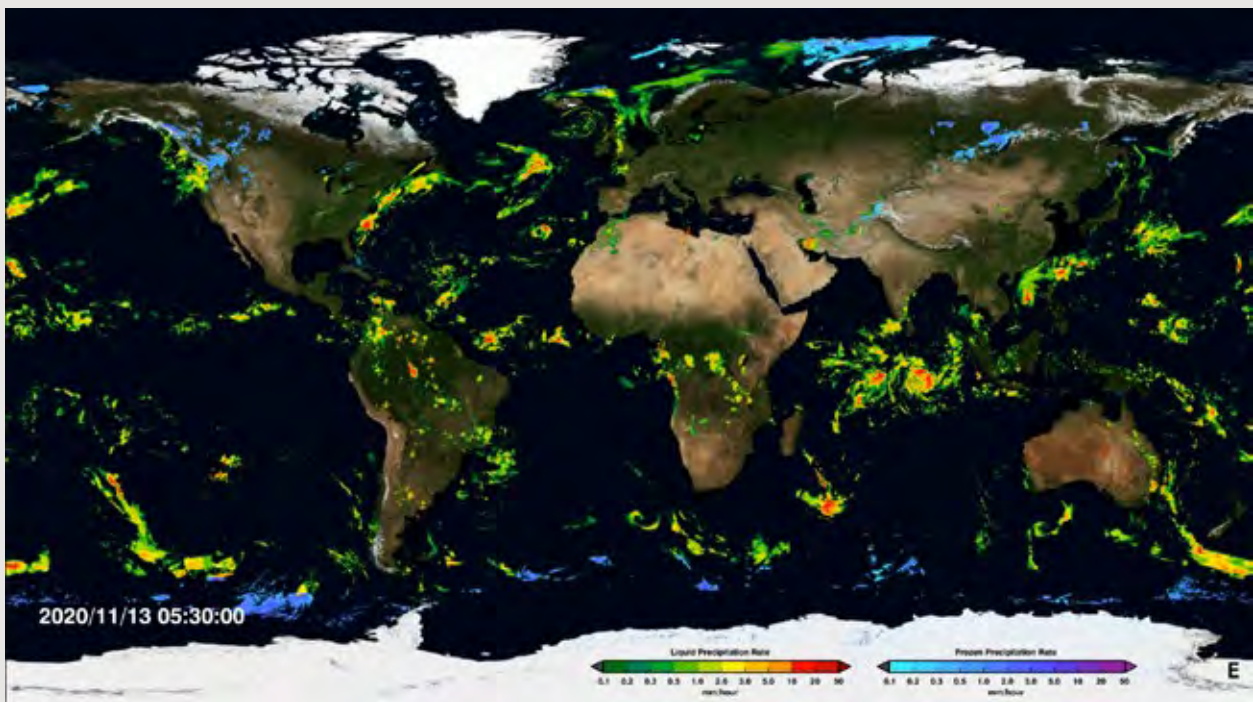
# RESIST

## Traquer les précipitations pour prévenir les glissements de terrain

**L**a partie Nord du rift Tanganyika-Kivu, dans le rift est-africain, est l'un des endroits au monde les plus exposés aux risques de glissement de terrain. Chaque saison des pluies déclenche des glissements de terrain dans cet environnement tropical très peuplé. Malgré les conséquences très souvent désastreuses de ces glissements de terrain, on sait très peu de choses sur les caractéristiques des précipitations qui les provoquent. De plus, il n'existe pas d'outils et de méthodes d'évaluation des risques de glissement de terrain adaptés à de telles régions où les données sont rares.

Le projet RESIST (REmote Sensing and In Situ detection and Tracking of geohazards), financé par le programme STEREO III et dirigé par le laboratoire 'Risques naturels et cartographie' du Musée royal de l'Afrique centrale (MRAC), avait pour objectif de caractériser les mécanismes à l'origine de ces glissements de terrain afin de pouvoir en détecter les signaux précurseurs. L'équipe du projet a pour cela combiné des relevés historiques, des données de terrain fournies par des réseaux d'instruments au sol et des données d'Observation de la Terre, parmi lesquelles des séries temporelles InSAR et des données TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission - <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>).

Plusieurs glissements de terrain (cicatrices non végétalisées en arrière-plan) ont été déclenchés par une pluie intense le 6 mai 2018 au Rwanda, faisant 18 morts et détruisant des dizaines de maisons.



Le cycle de l'eau est au cœur de notre système climatique. Les précipitations et la chaleur qu'elles dégagent contribuent à alimenter la circulation atmosphérique mondiale qui façonne à la fois le temps et le climat. TRMM est une mission satellitaire de la NASA conçue pour améliorer notre compréhension de la distribution et de la variabilité des précipitations sous les tropiques. De 1997 à 2015, elle a fourni des mesures de précipita-

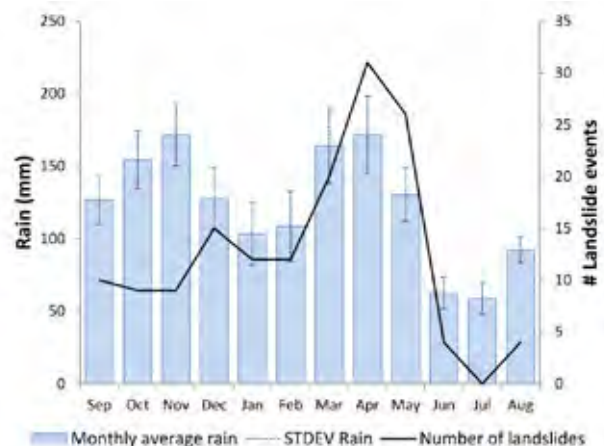
tions critiques dans les régions tropicales et subtropicales de notre planète. Et ceci grâce à un instrument radar (Precipitation Radar), qui scrute la colonne des précipitations pour mieux comprendre la structure et l'intensification des tempêtes tropicales, et à un imageur (TRMM Microwave Imager) qui mesure l'énergie micro-ondes émise par la Terre et son atmosphère pour quantifier la vapeur d'eau, l'eau des nuages et l'intensité des pré-

cipitations dans l'atmosphère. Les mesures de précipitations TRMM ont apporté une contribution essentielle à la prévision des cyclones tropicaux, aux prévisions météorologiques numériques et aux climatologies des précipitations. Le satellite GPM (Global Precipitation Measurement Core Observatory - <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>) assure dorénavant la relève en fournissant des mesures sur l'ensemble de la planète.

Le projet a réuni des chercheurs du MRAC, de l'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique, de la NASA et du Musée national d'Histoire naturelle du Luxembourg qui ont travaillé en étroite collaboration avec des universités et des instituts de recherche locaux du Burundi, de la RD Congo, du Rwanda et de l'Ouganda. Ils ont dressé un inventaire régional des glissements de terrain et établi un registre sans précédent de données pluviométriques pour la validation des estimations des précipitations par satellite. Ils ont également compilé les glissements de terrain sur près de 50 ans, de 1968 à 2016 et les données, libres de droits, sont répertoriées au sein du NASA's Global Landslide Catalog (<https://gpm.nasa.gov/landslides>).

L'analyse de toutes ces données a permis de calibrer les premiers seuils régionaux de précipitations pour l'Afrique centrale, outils fondamentaux pour caractériser le risque de glissement de terrain. À cette fin, une nouvelle approche statistique des seuils, basée sur la relation entre les précipitations et la distribution spatiale des glissements de terrain, a été développée.

Cette recherche pose les premiers jalons du développement d'un système d'alerte précoce aux glissements de terrain, basé sur des données pluviométriques satellitaires en temps quasi réel. Un tel système permettrait à terme de réduire les risques liés aux glissements de terrain dans la région.



Saisonnalité des précipitations et répartition des glissements de terrain datés au cours des deux dernières décennies. La pluviométrie mensuelle est basée sur les données quotidiennes de l'IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM), recueillies par satellite entre 2000 et 2019 et dont la moyenne a été calculée sur la zone d'étude.

## Plus

Projet STEREO RESIST (REmote Sensing and In Situ detection and Tracking of geohazards):

<https://eo.belspo.be/resist>

Sentinel Success Story sur le site de l'ESA :

<https://sentinels.copernicus.eu/web/success-stories/-/copernicus-sentinel-1-used-to-better-understand-active-volcanic-areas-and-landslide-mechanisms>. Cet article a été écrit avec l'aide d'Olivier Dewitte, chercheur au Musée royal de l'Afrique centrale (MRAC), section Risques naturels et cartographie.



# Le projet RUSTICCA

## 20 ans d'observation avec le télescope Schmidt de l'Observatoire royal de Belgique

Thierry Pauwels et Peter De Cat

### Les origines

L'Observatoire royal de Belgique a une longue tradition en astrométrie de pointe des corps célestes de notre système solaire, en particulier des astéroïdes et des comètes. L'astrométrie est la détermination de la position des objets dans le ciel. Elle est nécessaire pour calculer les orbites et les éphémérides des objets de notre système solaire, afin que les astronomes sachent où pointer leurs télescopes pour observer un objet particulier. Les astéroïdes et les comètes sont de petits objets qui, comme les planètes, tournent autour du Soleil. Leur diamètre varie de quelques milliers de kilomètres pour les plus grands à quelques mètres pour les plus petits qui peuvent être observés avec les moyens actuels. L'intérêt de ces objets est qu'ils nous révèlent des éléments sur la formation du système solaire. De manière plus pratique, il est aussi important de disposer d'une liste complète des orbites de ces objets, afin de pouvoir émettre des avertissements à temps et, si nécessaire, de prendre des mesures si l'un d'entre eux s'avère être sur une trajectoire de collision avec la Terre et donc constituer une menace pour l'humanité.

Les observations astrométriques de ces objets à Uccle commencèrent en 1924, d'abord avec le Triplet, un télescope photographique à grand champ mais doté d'une optique de qualité assez médiocre, et plus tard, à partir de 1933, avec le Double Astrographe, muni d'une optique bien meilleure et offrant un champ de vue encore plus grand sur le ciel. Les découvertes les plus marquantes faites avec le Double Astrographe furent l'astéroïde (2101) Adonis par Eugène Delporte en 1936 et la comète Arend-Roland en 1956, que l'on a pu admirer à l'œil nu en 1957. Adonis est un des premiers géocroiseurs découverts et fut mis en scène en 1953 par Hergé dans son album de Tintin *On a marché sur la Lune*.

Le télescope Schmidt, dans lequel est montée la caméra CCD du projet RUSTICCA. La caméra CCD est fixée au centre du tube, à mi-longueur, soit approximativement au niveau de l'ouverture circulaire visible ici sur le flanc du télescope.

>>

Durant les premières années, avec des temps d'exposition d'une heure, le fond du ciel était encore parfaitement transparent sur les plaques photographiques. Or, après la Seconde Guerre mondiale, la qualité du ciel se détériora rapidement en raison de l'augmentation de l'éclairage public, si bien qu'on dut raccourcir les temps de pose pour ne pas surexposer le fond du ciel dans l'image photographique. Dès lors, il devint impossible d'observer des objets peu lumineux, et la précision des positions mesurées en souffrait également. En effet, les plaques étaient encore mesurées visuellement sous un microscope, et, en raison du contraste réduit entre le fond du ciel et l'objet à mesurer, il devenait de plus en plus difficile d'estimer l'emplacement exact du centre de l'image. Entre-temps, ailleurs dans le monde, des télescopes plus performants étaient construits dans des lieux plus sombres et étaient utilisés pour balayer systématiquement le ciel à la recherche d'astéroïdes. Par conséquent, tous les objets qui étaient encore à portée du Double Astrographe étaient déjà découverts, et les objets connus étaient observés ailleurs avec beaucoup plus de précision. Les astronomes de l'Observatoire royal allaient donc observer depuis d'autres sites, tels La Silla au Chili, l'Observatoire de Haute Provence, ou Rozhen en Bulgarie. La dernière fois qu'un astéroïde fut découvert d'Uccle, c'était en 1965, et, même si des observations sporadiques ont été encore menées jusqu'à la première moitié des années 1990, les possibilités d'observation d'astéroïdes semblaient s'être épuisées à Uccle.

## 1993 : lancement du projet RUSTICCA

Le tournant se produisit en 1993, lorsqu'un subside du Lotto fut obtenu pour acquérir une caméra CCD. Observer avec une telle caméra, dotée d'un capteur électronique au lieu de la traditionnelle plaque photographique, ouvrait un monde de nouvelles possibilités. Comme le signal est électronique, il peut être traité par un logiciel. Le fond du ciel peut être soustrait de l'image et le contraste augmenté avec un simple clic de souris, révélant ainsi beaucoup plus de détails et d'objets moins lumineux. Encore mieux : on peut prendre plusieurs images successives et les additionner, ce qui permet d'augmenter le rapport signal/bruit et de révéler des objets encore plus ténus. En outre, le fait qu'un pixel d'un capteur CCD peut prendre 30 000 valeurs de gris, alors qu'un grain sur une plaque photographique ne peut être que blanc ou noir, donne lieu à beaucoup plus de nuances dans l'image. Enfin, comme la réponse d'une caméra CCD est linéaire en fonction de la quantité de lumière, il est possible de faire non seulement de l'astrométrie, mais aussi de la photométrie précise des objets célestes, c'est-à-dire la détermination de leur luminosité apparente.

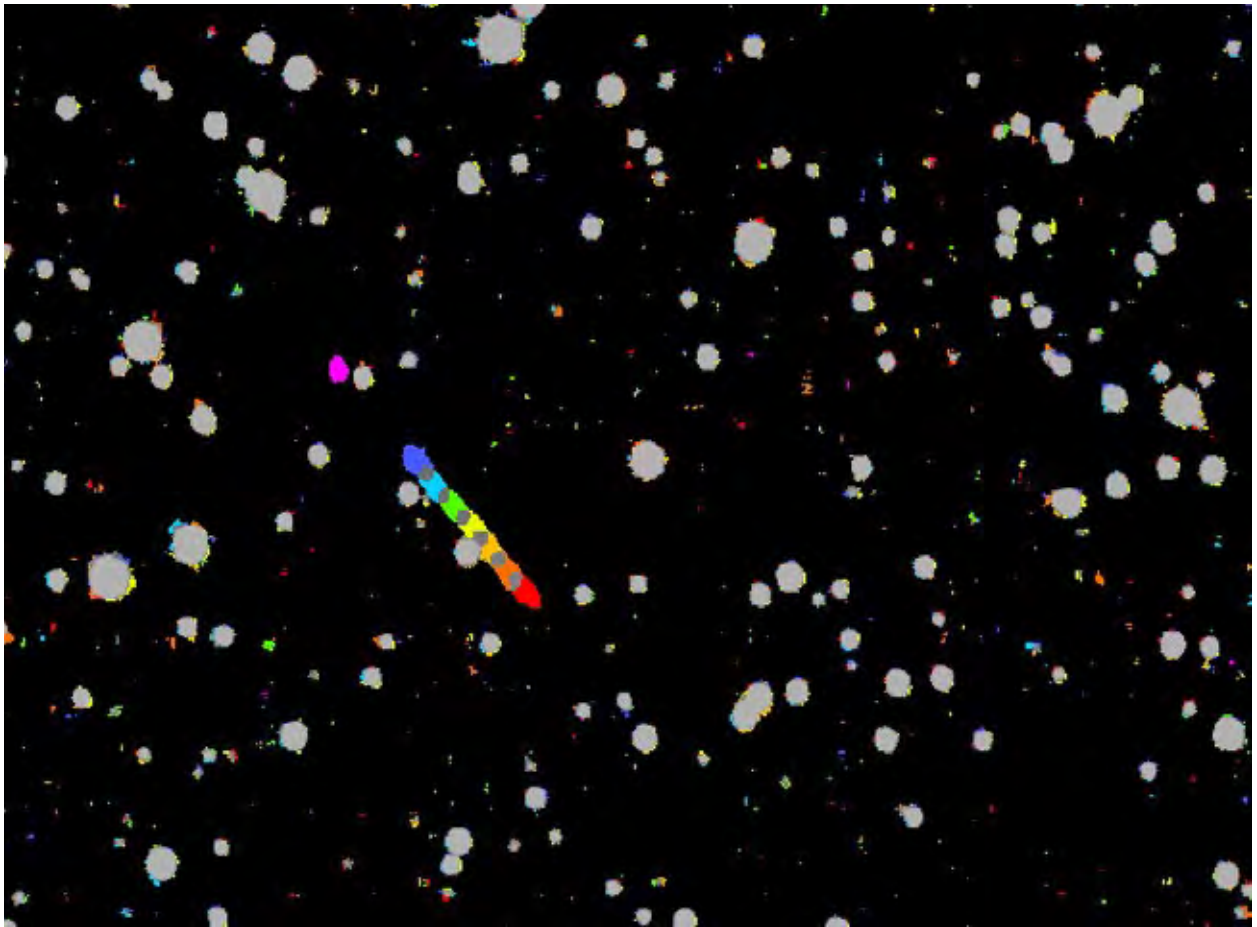
La caméra CCD ne fut pas montée sur le Double Astrographe. L'optique de ce dernier était optimisée pour produire des images assez nettes en lumière bleue, la couleur à laquelle les plaques photographiques de l'époque étaient sensibles, alors qu'un détecteur CCD est surtout sensible à la lumière rouge. Par conséquent, les images CCD prises au Double Astrographe auraient été complètement floues. En revanche, le télescope Schmidt n'était pas utilisé à l'époque, et la caméra CCD pouvait être montée sur celui-ci. Comme l'élément principal de ce télescope est un miroir

et non une lentille, il n'a pas de problème d'effets de couleur. De plus, par sa conception, un télescope Schmidt produit des images beaucoup plus nettes qu'un astrographe. Avec un miroir principal de 1,2 m de diamètre, dont l'ouverture est réduite à 85 cm par un diaphragme, le télescope Schmidt peut capter plus de quatre fois plus de lumière que le Double Astrographe et acquérir des images à une cadence plus que quatre fois plus rapide.

Le Double Astrographe, utilisé entre 1933 et 1995, avec lequel la comète Arend-Roland a été découverte.







Les astéroïdes sont indistinguables des étoiles sur les images brutes. Tous les deux sont des sources ponctuelles, et la présence des premiers n'est révélée qu'en mettant en évidence leurs mouvements dans le ciel. Plusieurs images sont donc prises l'une après l'autre, puis elles sont superposées et colorisées chacune avec un code de couleur différent, ce qui fait ressortir les objets en mouvement. Ainsi, les étoiles apparaissent sur cette image comme des cercles gris, et les astéroïdes comme un collier de perles aux couleurs de l'arc-en-ciel.

Le choix, la commande et la livraison de la caméra, la remise en service du télescope, l'installation de la caméra et la remise en fonctionnement du système prirent un certain temps, mais, dans le courant de l'année 1996, les véritables observations purent commencer. Les premiers tests après le démarrage du projet se révélèrent tout de suite très prometteurs. Les premières images montraient des objets plus de 200 fois moins lumineux que ce qui pouvait être observé avec le Double Astrographe. De plus, les positions mesurées des astéroïdes brillants étaient 20 fois plus précises. Ainsi, alors que les erreurs de positions mesurées sur les plaques photographiques du Double Astrographe pouvaient facilement s'élever jusqu'à 2 secondes d'arc, on atteignait ici une précision allant jusqu'à 0,1 seconde d'arc, ce qui pouvait à nouveau rivaliser avec les observations couramment réalisées ailleurs dans le monde.

De nouvelles découvertes redevinrent possibles. Au milieu des années 1990, on connaissait environ 20 000 astéroïdes, dont tout au plus quelques milliers étaient suffisamment brillants pour être observés avec le Double Astrographe. Mais une petite extrapolation montra qu'environ 300 000 astéroïdes devaient être

observables avec la nouvelle configuration. Cela signifie que, pour chaque astéroïde connu présent dans une image, on pouvait y découvrir environ 15 nouveaux.

Le projet fut nommé 'RUSTICCA', acronyme de 'Revalorising the Uccle Schmidt Telescope by Installing a Ccd CAmera', et son logo est entièrement construit à partir des lettres du mot RUSTICCA, représentant schématiquement le télescope et la caméra CCD. >>



Le logo de RUSTICCA est entièrement constitué des lettres du mot RUSTICCA et représente le télescope et sa caméra : R = colonne de la monture, U = la caméra CCD, S = la lame correctrice (en réalité, elle a la forme d'un double S), T = paroi droite du tube du télescope et bras de la monture, I = paroi gauche du tube du télescope, C = le contrepois, C = le miroir, A = fenêtre d'entrée et rayons lumineux convergeant vers la caméra.



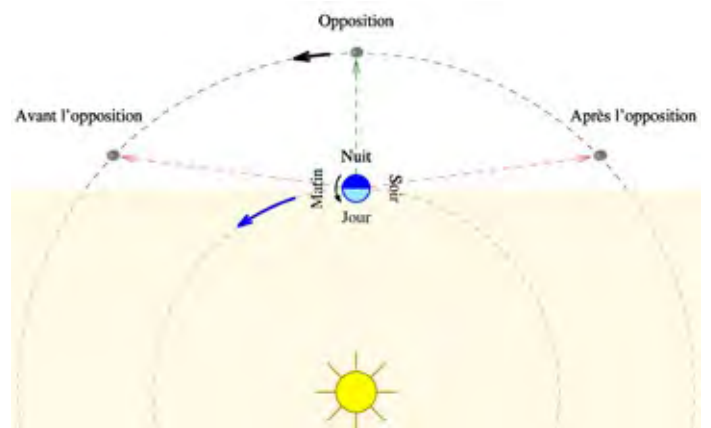
Vue aérienne du site d'Uccle avec les coupoles du Double Astrographe (1) et du Télescope Schmidt (2). © Régie des Bâtiments

## RUSTICCA en vitesse de croisière

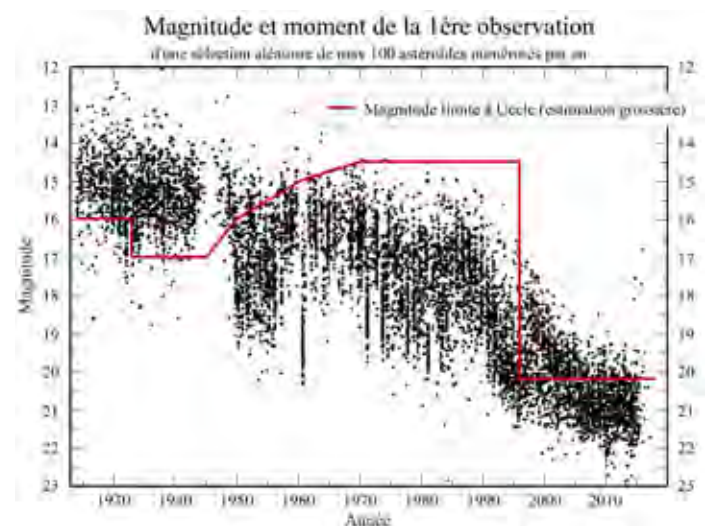
Peu après les premières observations opérationnelles, on détecte de nouveaux astéroïdes, qui furent immédiatement objets d'un suivi laborieux. En effet, pour pouvoir compiler des éphémérides, il faut calculer une orbite, ce qui nécessite un nombre d'observations suffisant. Si un objet inconnu n'est pas observé à nouveau dans les jours qui suivent, l'incertitude quant à sa position augmente rapidement et sa trace se perd, jusqu'à ce qu'il soit redécouvert par hasard. Bien que le champ couvert par la caméra CCD de RUSTICCA ne soit que de  $0,75^\circ \times 0,5^\circ$  (contre  $8^\circ \times 8^\circ$  pour les plaques photographiques du Double Astrographe), il n'était pas rare, dans les premières années du projet, de trouver 10 nouveaux astéroïdes sur une seule image. Ils devaient tous être suivis, mais, comme ils avaient chacun leur propre orbite dans le ciel, quelques jours plus tard, ils ne rentraient plus dans le même champ. Il fallait donc prendre plusieurs images de champs différents dans lesquels étaient entrés d'autres nouveaux objets, de sorte qu'un nombre toujours plus grand d'images était nécessaire pour suivre tous les nouveaux objets. Ce cercle vicieux ne prenait fin que lorsque la majeure partie de ces nouveaux objets avait disparu de la vue. Le temps nuageux belge et le fait que les objets moins lumineux ne sont pas détectables aux alentours de la pleine lune rendaient le défi de tout suivre encore plus difficile.

En effet, les astéroïdes sont observables de façon optimale lorsqu'ils sont en opposition, c'est-à-dire diamétralement opposés au Soleil dans le ciel, ce qui est aussi le moment où ils sont les plus proches de la Terre et donc les plus brillants. La période la plus favorable est d'environ deux mois aux alentours de l'opposition, après quoi ils sont difficiles ou impossibles à observer pendant environ 14 mois. Ils gravitent alors loin de la Terre, sont moins lumineux, et sont trop proches du Soleil dans le ciel. Au cours de cette période favorable, ils sont d'abord observables durant la seconde moitié de la nuit puis deviennent plus lumineux et sont observables au milieu de la nuit. Enfin, leur éclat retombe et ils ne sont plus observables qu'en début de nuit. Les objets trouvés durant la seconde moitié de la nuit peuvent donc être suivis plus longtemps que ceux trouvés avant minuit. Dès lors, il est important de faire suffisamment d'observations au cours des deux mois autour de l'opposition pour pouvoir retrouver l'objet 14 mois plus tard, lors de la prochaine opposition. Ce n'est que lorsque l'objet a été observé pendant au moins 4 oppositions et lorsque son orbite est déterminée avec suffisamment de précision (dans certains cas, seulement après 20 ans), qu'il est officiellement annoncé comme découvert, qu'un numéro permanent lui est attribué et que l'on détermine qui est le découvreur. La première personne qui a détecté un astéroïde mais qui n'a pas réussi à le suivre n'entre pas en ligne de compte pour être reconnue comme découvreur. Ceci afin d'encourager les découvreurs potentiels à suivre de près les objets nouvellement détectés et d'éviter que les catalogues soient remplis d'objets perdus.

>>

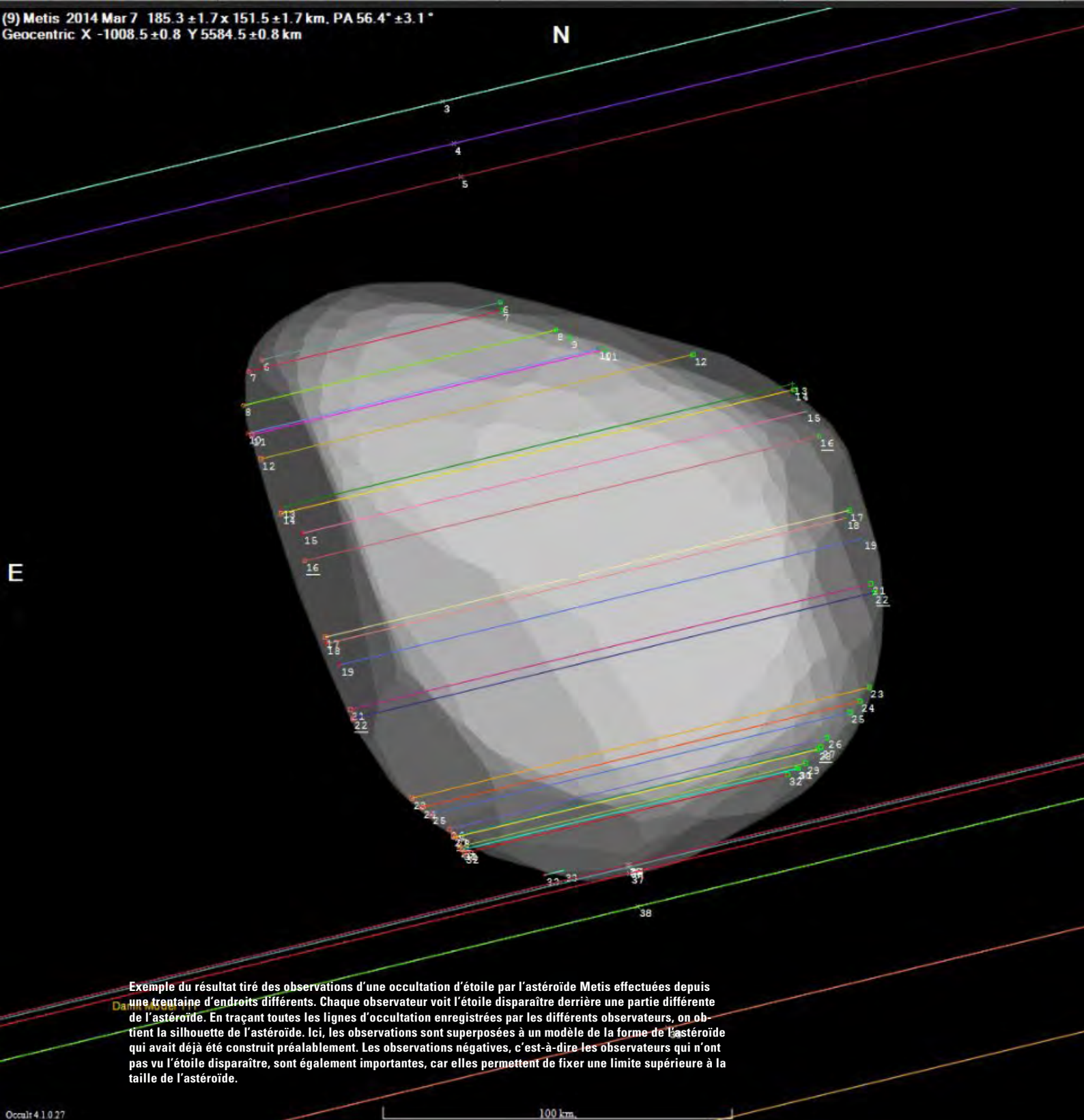


La Terre et l'astéroïde sont tous deux en orbite autour du Soleil. Les astéroïdes de la ceinture principale sont plus éloignés du Soleil que la Terre et gravitent donc plus lentement autour du Soleil que celle-ci. La Terre va donc dépasser l'astéroïde. Avant l'opposition, nous avons la configuration avec l'astéroïde à gauche dans la figure. L'astéroïde est encore assez éloigné de la Terre (flèche rouge) et est donc encore peu lumineux. Il est alors visible dans le ciel du matin. Quelques mois plus tard, la Terre a rattrapé l'astéroïde, et nous obtenons la configuration avec l'astéroïde au-dessus de la Terre (la flèche verte) et atteint donc sa luminosité maximale. Il se trouve à l'opposé du Soleil et peut être observé presque toute la nuit. Après quelques mois de plus, la Terre a dépassé l'astéroïde, et celui-ci se trouve derrière la Terre (à droite dans la figure). L'astéroïde s'est maintenant éloigné à nouveau de la Terre et sa luminosité décline. Il n'est plus visible que dans le ciel du soir, et il disparaîtra progressivement au crépuscule, s'il n'est pas déjà devenu trop peu lumineux pour être détecté. Dans toute la zone sur fond jaune, l'astéroïde est difficile ou impossible à observer, et il faudra attendre que la Terre ait fait une nouvelle révolution autour du Soleil pour le voir réapparaître dans le ciel du matin.



Cette figure montre, pour une sélection d'astéroïdes, la luminosité au moment de leur première observation. Pour chaque année, 100 astéroïdes ont été choisis au hasard. Pour la période 1930-1940, chaque point ne représente environ qu'un seul astéroïde, alors que, pour la période 2000-2010, les points représentent 100 astéroïdes ou plus, afin de ne pas surcharger la figure. Les astéroïdes nouvellement découverts sont de moins en moins lumineux, en partie parce que les plus brillants ont déjà été découverts, en partie parce que les télescopes deviennent plus efficaces. La ligne rouge est une estimation des limites de l'équipement d'Uccle : d'abord le Triplet, puis le Double Astrographe et enfin RUSTICCA. Jusqu'en 1950, on pouvait découvrir de nouveaux astéroïdes en abondance, mais, après cela, la situation s'est rapidement détériorée. Grâce à l'équipement de RUSTICCA, les nouvelles découvertes étaient à nouveau possibles jusqu'en 2015 environ.



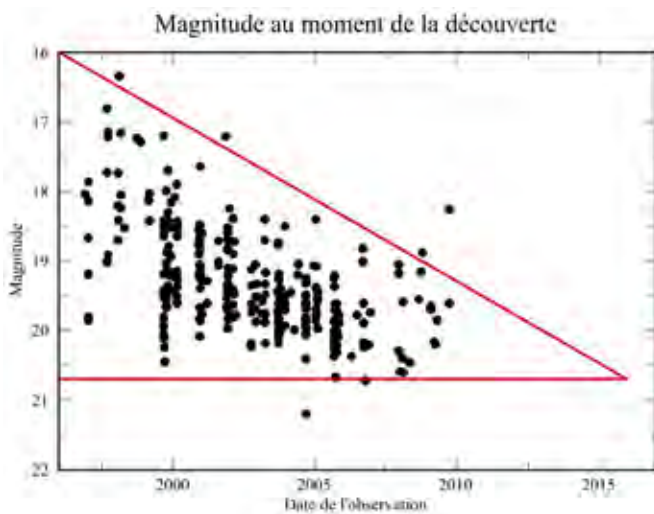


Exemple du résultat tiré des observations d'une occultation d'étoile par l'astéroïde Metis effectuées depuis une trentaine d'endroits différents. Chaque observateur voit l'étoile disparaître derrière une partie différente de l'astéroïde. En traçant toutes les lignes d'occultation enregistrées par les différents observateurs, on obtient la silhouette de l'astéroïde. Ici, les observations sont superposées à un modèle de la forme de l'astéroïde qui avait déjà été construit préalablement. Les observations négatives, c'est-à-dire les observateurs qui n'ont pas vu l'étoile disparaître, sont également importantes, car elles permettent de fixer une limite supérieure à la taille de l'astéroïde.

En revanche, l'observation des occultations d'étoiles par des astéroïdes, phénomènes qui durent quelques secondes, se montre un peu plus simple. Le chronométrage de tels phénomènes permet de déterminer très précisément la position de l'astéroïde. En outre, si un nombre suffisant d'observateurs ont noté les moments de disparition et de réapparition de l'étoile depuis différents endroits de la Terre, le long du trajet d'occultation, on peut obtenir la silhouette de l'astéroïde, et reconstruire sa taille et sa forme. Comme l'incertitude sur la position d'un astéroïde est souvent plus grande que son diamètre, l'endroit sur Terre où le phéno-

mène sera visible est difficile à prévoir avec précision, et chaque observateur n'a a priori qu'une chance limitée de se trouver dans la zone d'occultation. Malgré cela, nous avons pu déterminer les instants précis de disparition et de réapparition de l'étoile lors de huit occultations par un astéroïde entre 2003 et 2016, sur un total de 82 phénomènes de ce type observés dans le cadre du projet RUSTICCA.

>>



Évolution de la magnitude (luminosité) des astéroïdes découverts au cours du projet RUSTICCA en fonction du moment de la découverte. L'échelle de magnitude est logarithmique, ce qui signifie que si la magnitude augmente de 1, l'objet est environ 2,5 fois moins lumineux. La ligne horizontale inférieure montre la limite observable avec l'équipement RUSTICCA. Les objets situés en-dessous de cette ligne sont trop faibles et ont peu de chance d'être détectés par notre équipement. La ligne diagonale supérieure est la ligne de complétude. Les objets situés au-dessus de cette ligne sont déjà découverts, à part quelques cas passés entre les mailles du filet. Ces deux lignes se croisent autour de 2016. Mais dès 2010, on constate une diminution brutale des découvertes.

## Le crépuscule de RUSTICCA... et sa suite

RUSTICCA fut une mise à niveau à faible coût d'un télescope existant, qui serait sinon resté obsolète. Cependant, il était clair dès le départ que, en raison des conditions météorologiques et de la pollution lumineuse en Belgique, cet instrument ne pourrait jamais obtenir le même rendement qu'un télescope moderne placé dans un endroit sombre, au sommet d'une montagne dans un désert. RUSTICCA, en seulement un peu plus de 10 ans, a déterminé deux fois plus de positions qu'en 40 ans d'observations photographiques. Or, même cela n'était pas suffisant pour être compétitif. Au début du projet RUSTICCA, Uccle était encore le 17e site mondial, classé par le nombre d'astéroïdes découverts. Cependant, le projet RUSTICCA n'a pas pu empêcher Uccle de descendre peu à peu dans la liste, jusqu'à ne plus figurer dans le top 50 des sites produisant le plus de découvertes d'astéroïdes. Pourtant, Uccle avait réussi à détenir un autre record pendant un certain temps : avec des découvertes débutant en 1924 et se poursuivant jusque dans les années 2000, il était le seul site au monde où des astéroïdes avaient été découverts sur une période de près de 80 ans. Néanmoins, lorsque Heidelberg-Königstuhl, où des astéroïdes avaient été découverts de 1891 à 1962, redevint actif en 2003, Uccle perdit également ce record.

Après 2005, la productivité commença à baisser. Nous estimons qu'il y a environ 300 000 astéroïdes observables avec l'équipement RUSTICCA. Lorsque le projet avait démarré au milieu des années 1990, seuls 20 000 étaient connus. Aujourd'hui, on connaît de façon précise les orbites de plus de 500 000 astéroïdes. On peut donc dire que presque tout ce qui se trouve à portée de nos appareils a déjà été découvert. La précision des positions mesurées augmente également dans le monde entier. En particulier, la nouvelle norme sera établie par le satellite Gaia (voir plus loin), avec une précision 100 fois supérieure à ce qui est possible avec RUSTICCA.

Le projet connut un dernier événement marquant en 2012, lorsque nous avons détecté pour la dernière fois un objet inconnu, et ceci dans des conditions similaires à celles dans lesquelles Gaia ferait ses observations. Entre-temps, un réseau d'observateurs avait été mis en place pour suivre les astéroïdes inconnus qui figureraient dans les données de Gaia. Ainsi, près de deux ans avant le lancement du satellite, une occasion unique s'est présentée pour organiser une répétition générale du réseau d'observateurs, laquelle s'est déroulée avec succès.

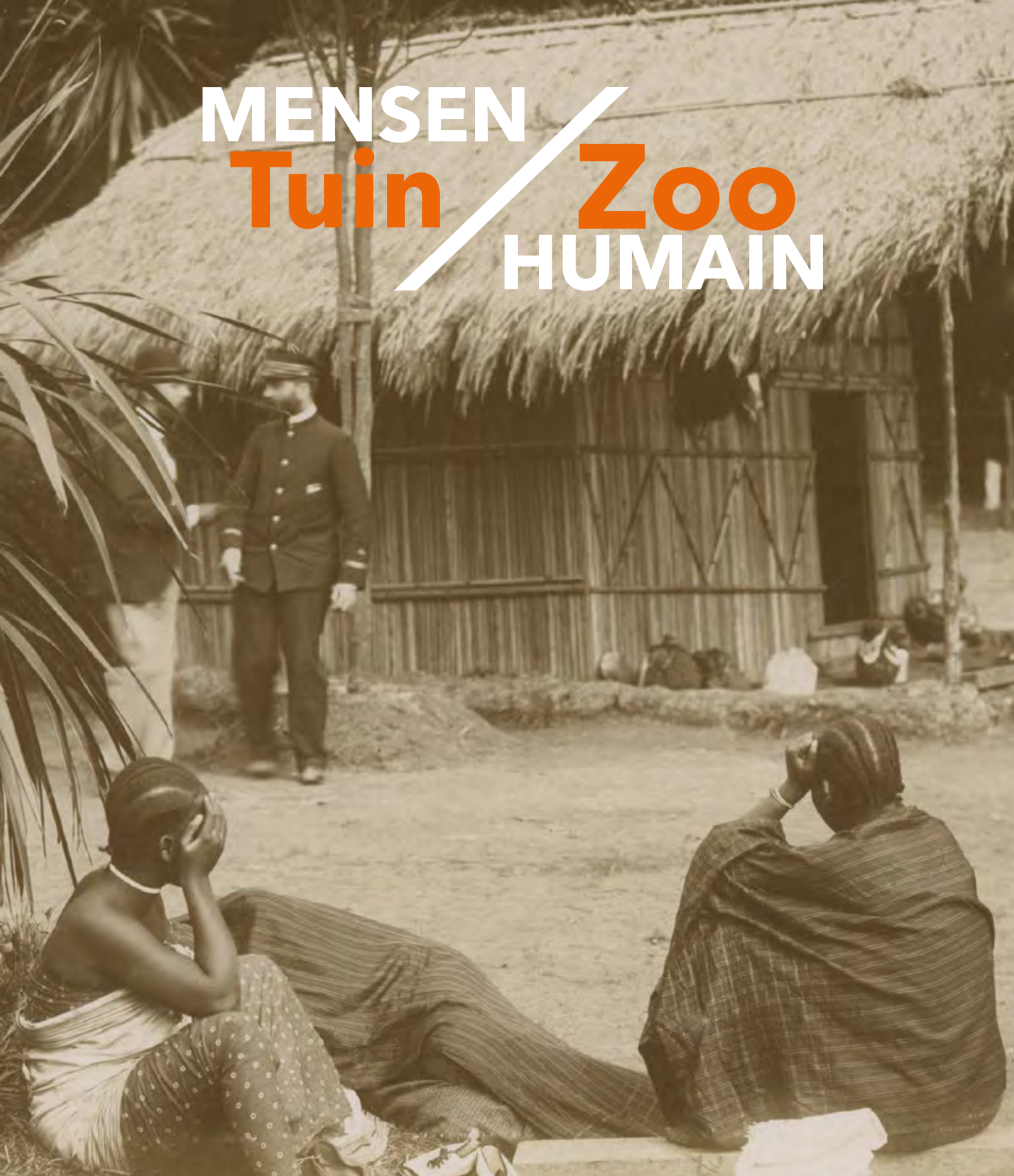
Le coup de grâce fut donné en 2017, lorsque le télescope resta inutilisable durant une année complète suite à des travaux de rénovation de la coupole. Les observateurs perdirent la routine, l'instrument ne fut plus entretenu, et, à la fin des travaux, le télescope ne fut plus mis en service. Les observations d'occultation d'étoiles par les astéroïdes sont les seules qui pourraient encore être utiles, mais les résultats scientifiques limités ne justifient plus le coût du maintien opérationnel de l'instrument.

Néanmoins, l'ensemble du projet s'est avéré très utile dans le cadre de la mission Gaia, un satellite de l'ESA, dont le but est de cartographier notre Voie lactée avec une extrême précision en trois dimensions. Comme Gaia balaie systématiquement le ciel, les astéroïdes entrent également dans son champ de vision, et une équipe du consortium de traitement et d'analyse des données de Gaia (DPAC en anglais pour *Data Processing and Analysis Consortium*) s'occupe du traitement des observations d'astéroïdes. L'expérience acquise au cours du projet RUSTICCA s'est avérée très utile, de sorte qu'un membre de l'équipe RUSTICCA a pu devenir le chef de l'unité de développement DU454 'Réduction astrométrique des objets du système solaire'. Ainsi, l'Observatoire royal a encore un rôle important dans l'astrométrie des astéroïdes.

### Les auteurs

Thierry Pauwels et Peter De Cat sont astronomes à l'Observatoire royal de Belgique.

# MENSEN Tuin / Zoo HUMAIN



Koloniale tentoonstellingen wereldwijd  
Au temps des exhibitions coloniales

EXPO 09/11/2021 - 06/03/2022

AFRICA  
museum

[www.africamuseum.be](http://www.africamuseum.be)



loterie nationale 6 nationale loterij



HANGART

# Comment la crise du coronavirus a affecté la qualité de l'air dans le monde

Maite Bauwens, Jenny Stavrakou et Jean-François Müller





## Une année exceptionnelle

La pandémie de COVID-19 règne sur le monde depuis presque deux ans. Les autorités du monde entier ont été contraintes de prendre des mesures pour limiter la propagation du virus. Au début de la crise, un peu partout, la vie à l'intérieur et à l'extérieur des villes a été plus ou moins paralysée. Même après l'assouplissement des mesures les plus strictes, la menace du virus a continué d'influencer nos comportements. 'Rester chez soi autant que possible' et 'se déplacer le moins possible' ont marqué 2020. Puisque la circulation automobile en milieu urbain est la principale source de pollution de l'air, nous nous attendons à un impact positif sur la qualité de l'air de ces changements de comportement. Jamais auparavant autant d'efforts n'avaient été déployés simultanément partout dans le monde avec pour résultat d'améliorer la qualité de l'air à une grande échelle. Les scientifiques de l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (BIRA-IASB) ont suivi de près la situation atmosphérique depuis le début de la crise, à l'aide d'observations satellitaires de  $\text{NO}_2$ .

## Que dit le $\text{NO}_2$ sur la qualité de l'air ?

Des concentrations élevées de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) peuvent affecter les voies respiratoires, en particulier les personnes souffrant de maladies pulmonaires chroniques (par exemple l'asthme). Bien entendu, le  $\text{NO}_2$  n'est pas le seul facteur qui influence la qualité de l'air. En Europe, les concentrations de 6 substances sont suivies pour calculer l'indice de qualité de l'air :  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , CO et les particules en suspension. Le  $\text{NO}_2$  est très réactif et influence fortement la composition atmosphérique. Par exemple, la formation d'ozone ( $\text{O}_3$ ) et des particules en suspension ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$ ), toutes deux encore plus nocives pour la santé humaine, est fortement influencée par les concentrations de  $\text{NO}_2$ . Il est également bon de savoir que d'autres substances nocives telles que les particules, le  $\text{SO}_2$  et le CO dans un contexte urbain, ont en partie les mêmes sources de pollution que le  $\text{NO}_2$ . En ce sens, la concentration de  $\text{NO}_2$  peut servir d'indicateur de la qualité globale de l'air, et les observations de  $\text{NO}_2$  à haute résolution de l'instrument satellitaire TROPOMI récemment mis en orbite, fournissent un ensemble de données unique pour surveiller la qualité de l'air dans le monde entier.

>>

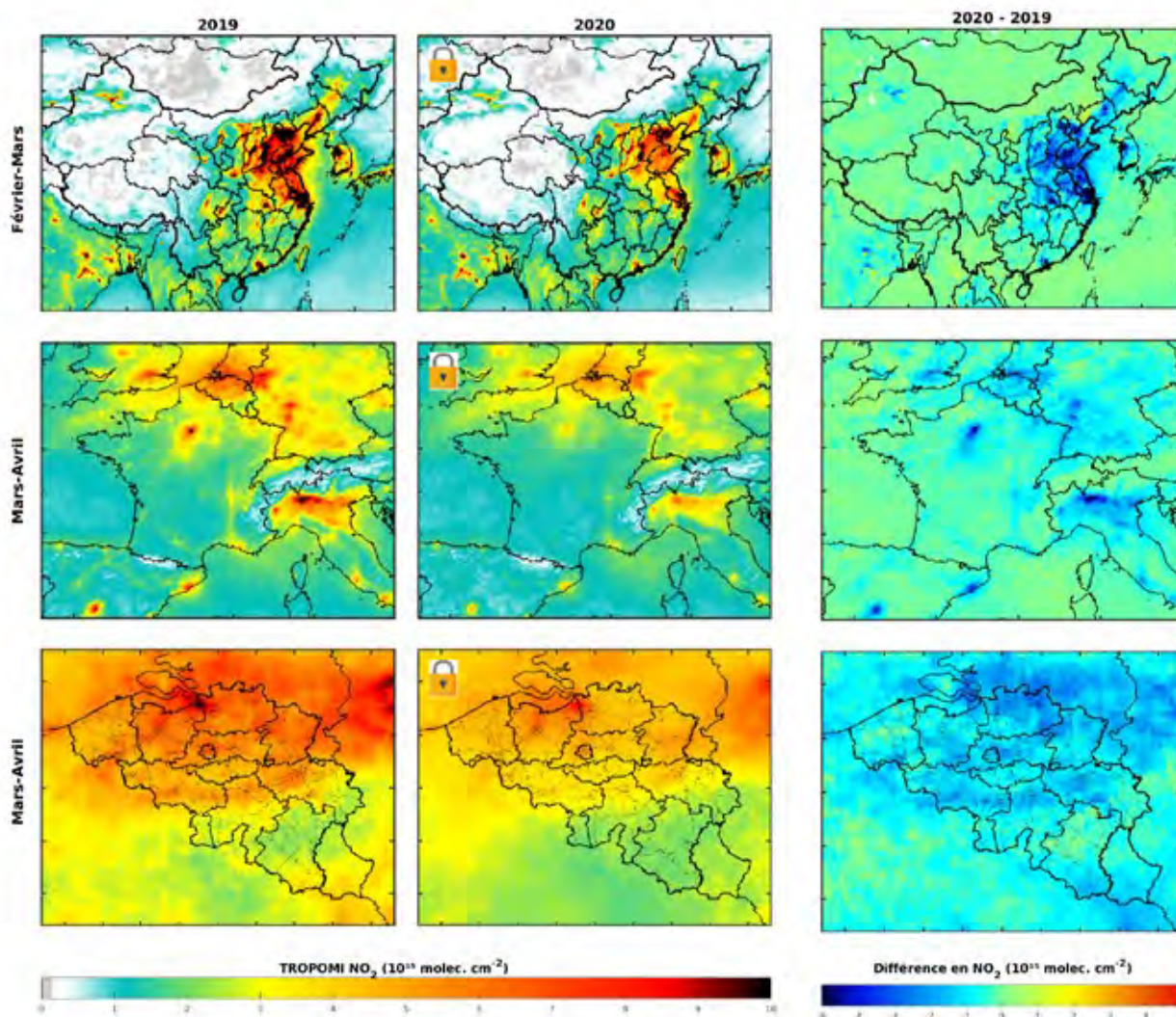


Figure 1 : A gauche : Concentrations de TROPOMI  $\text{NO}_2$  (en  $10^{15}$  molécules par  $\text{cm}^2$ ) sur la Chine, l'Europe de l'Ouest et la Belgique en 2019 et en 2020 pour les mois correspondant au début des mesures de la crise du coronavirus. A droite : Différence absolue de concentration de  $\text{NO}_2$  entre 2019 et 2020.

## Surveillance de la qualité de l'air depuis l'espace

Le 13 octobre 2017, un nouveau satellite, Sentinel-5-precursor, a été lancé dans l'espace à une altitude de 824 km sur une orbite héliosynchrone. L'instrument de mesure TROPOMI est situé à bord du satellite et mesure, entre autres, les concentrations de NO<sub>2</sub>. À l'heure locale de (environ) 13h35, l'instrument scrute la surface de la Terre chaque jour avec une résolution spatiale élevée allant jusqu'à 3,5 x 5,5 km<sup>2</sup>. Mesurer les concentrations de NO<sub>2</sub> avec des satellites n'est pas nouveau. Mais par rapport à ses prédécesseurs (SCIAMACHY, GOME-2 et OMI), la résolution spatiale offerte par TROPOMI est tout simplement impressionnante. L'instrument TROPOMI nous permet pour la première fois de surveiller quotidiennement la pollution de l'air à l'échelle urbaine dans le monde depuis l'espace. Grâce à la disponibilité en temps quasi réel ('near-real-time') de ces données à haute résolution, nous avons pu surveiller de près les concentrations de NO<sub>2</sub> depuis le début de la crise du coronavirus et voir comment les mesures de confinement ont affecté la concentration de NO<sub>2</sub> à travers le monde.

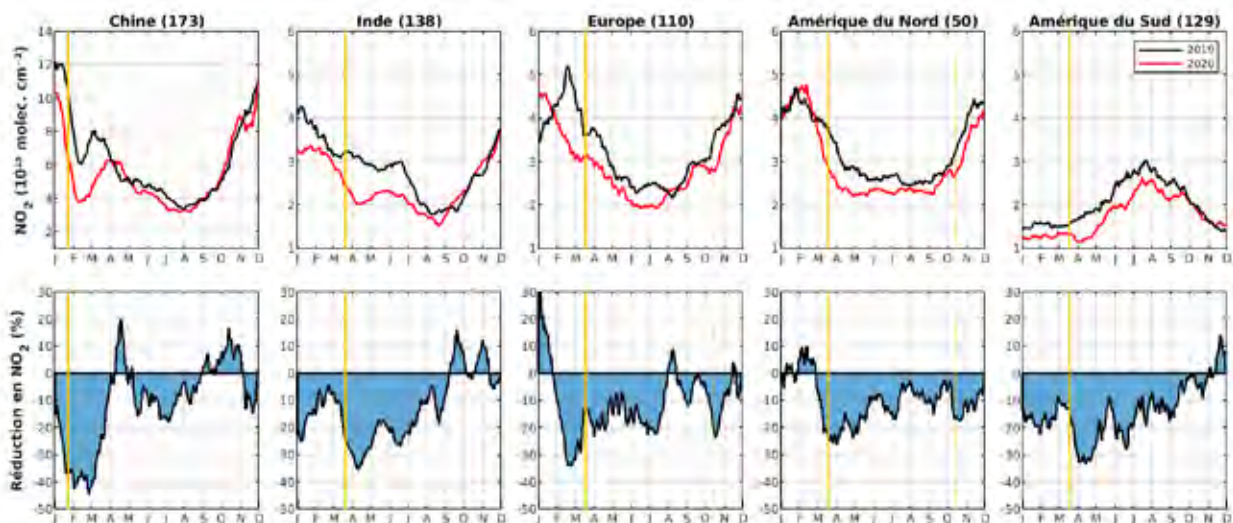
## La crise du coronavirus en image (satellite)

La figure 1 montre qu'au début de la crise, en février et mars 2020, les concentrations de NO<sub>2</sub> dans le nord-est de la Chine, densément peuplé, étaient jusqu'à 50 % inférieures à celles de la même période en 2019. Une situation similaire peut être observée un mois plus tard en Europe, où l'on observe de fortes diminutions des concentrations de NO<sub>2</sub> constatées dans toutes les grandes villes. Les mesures satellitaires montrent clairement que les zones les plus densément peuplées et les plus polluées de Chine et d'Europe connaissent la plus forte baisse de NO<sub>2</sub>. En effet, dans ces zones, la principale source de NO<sub>2</sub> est d'origine humaine

(principalement le trafic et l'industrie). Ce n'est généralement pas le cas dans les zones rurales et nous nous attendons donc à un impact beaucoup plus faible de la crise sur les concentrations de NO<sub>2</sub>. Pour illustrer cela, à la figure 1, nous examinons également le cas de notre propre pays, où les plus fortes baisses de NO<sub>2</sub> sont observées au-dessus des grands axes de circulation et au-dessus des zones industrielles. Par exemple, nous constatons des réductions de NO<sub>2</sub> d'environ 20 à 30 % au-dessus de l'E42 entre Mons et Liège et au-dessus du port d'Anvers, alors qu'on ne constate pratiquement aucune réduction au-dessus des zones rurales telles que les polders et les Ardennes.

La figure 2 illustre l'évolution des concentrations moyennes de NO<sub>2</sub> dans différentes grandes régions en 2020. Pour cela, seules des observations satellitaires ont été sélectionnées dans une zone d'environ 25 x 25 km<sup>2</sup> autour des centres-villes de plus de 300 000 habitants, avec l'intention de se concentrer sur les zones urbaines, où nous attendons le plus grand impact de la crise. Les panneaux inférieurs de la figure 2 montrent la réduction relative du NO<sub>2</sub> en 2020 par rapport aux observations sur la même période en 2019, dans les mêmes régions. On peut noter qu'au plus fort de la crise, des réductions moyennes de NO<sub>2</sub> allant jusqu'à 50 % ont été observées sur les villes chinoises, tandis qu'en Inde, en Europe, en Amérique du Nord et du Sud, les réductions de NO<sub>2</sub> variaient entre 20 et 35 % dans les premières semaines après la crise. Un assouplissement partiel des mesures liées au COVID-19 a entraîné une augmentation progressive du NO<sub>2</sub>. En Chine, il n'a fallu en moyenne que 2 mois pour atteindre les niveaux de NO<sub>2</sub> de 2019, tandis que dans les autres régions, les concentrations moyennes de NO<sub>2</sub> sont restées inférieures à celles de 2019 pendant plus de 4 mois. En Europe et en Amérique du Nord, l'émergence d'une deuxième vague de COVID-19 et le durcissement des restrictions qui a suivi en octobre 2020 ont conduit à de nouvelles réductions de NO<sub>2</sub>, qui sont toutefois relativement faibles par rapport à la première vague de la pandémie.

Figure 2 : Les figures du haut montrent les moyennes glissantes sur 28 jours des concentrations de NO<sub>2</sub> observées par TROPOMI dans une cellule de 25 x 25 km<sup>2</sup> autour de toutes les villes de plus de 300 000 habitants. Le nombre de villes utilisées pour calculer les moyennes est indiqué entre parenthèses pour chaque région. Les panneaux inférieurs indiquent la diminution relative du NO<sub>2</sub> en 2020 par rapport à 2019. Les lignes oranges indiquent le début d'une période de restrictions plus strictes ; notez que cette date n'est souvent pas identique pour toutes les villes d'une région, la ligne est donc une approximation.



## Au niveau urbain

Il est intéressant de nous focaliser sur plusieurs villes particulières pour illustrer le potentiel de la haute résolution spatiale de l'instrument TROPOMI. La figure 3 montre la réduction relative des concentrations de NO<sub>2</sub> dans 16 grandes villes du monde. La figure montre à quel moment les mesures les plus strictes ont été introduites. Il est clair que l'annonce des ordonnances de séjour à domicile dans le monde a eu un impact fort sur les concentrations de NO<sub>2</sub>. Cependant, on peut voir qu'il existe de fortes différences entre les différentes villes. Dans les villes où des mesures très strictes ont été imposées, comme à Wuhan, New Delhi, Manille, Lima et Madrid, on constate une très forte baisse des concentrations de NO<sub>2</sub> de 60 à 80 % immédiatement après l'annonce d'un confinement. En revanche, dans les villes où la première vague de la pandémie était moins perceptible, comme Sydney, Bagdad et Lagos par exemple, la diminution est plus modeste, environ 40 %, suivie d'un nivellement très rapide des concentrations. Dans la

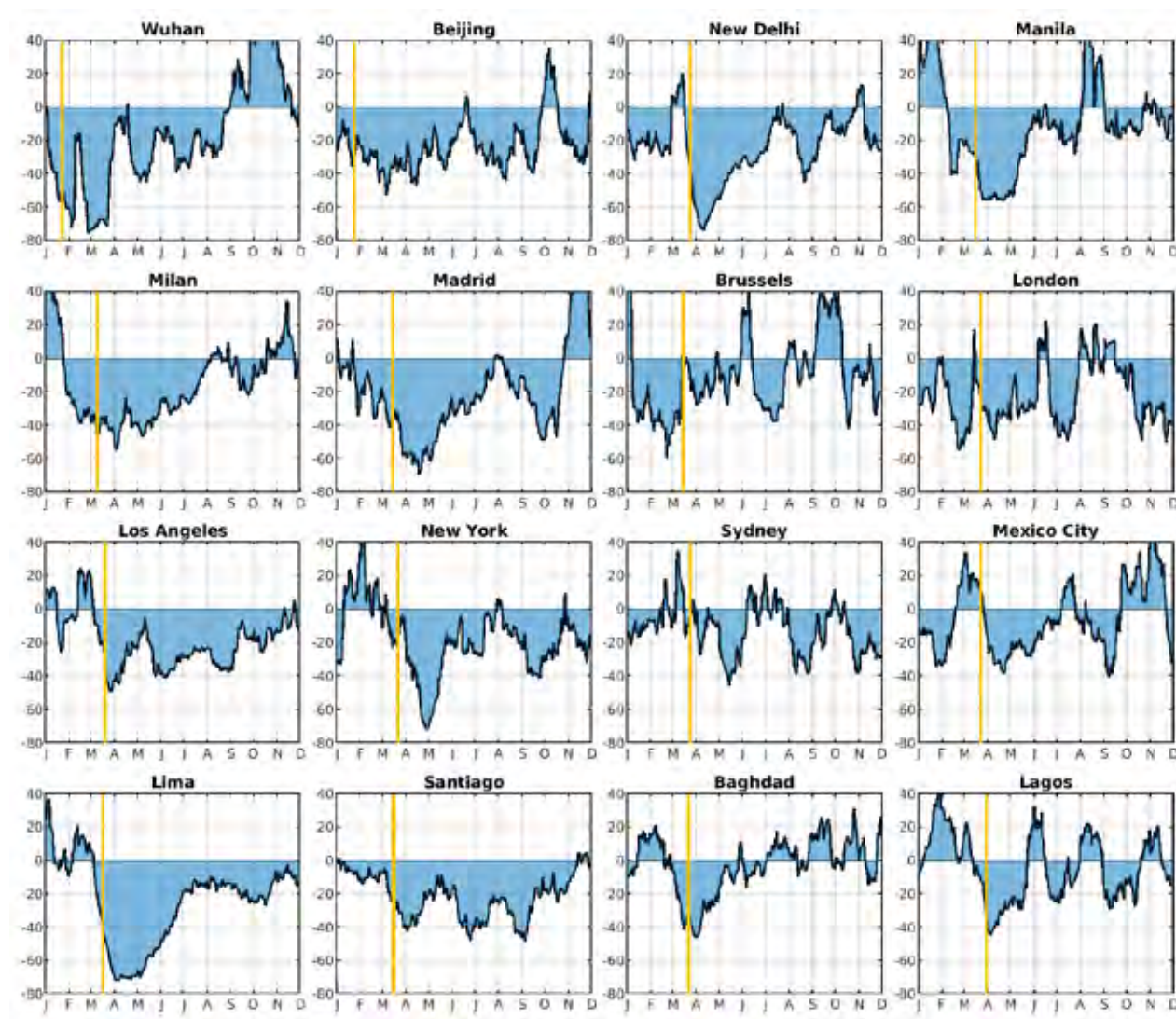
plupart des villes, cependant, une diminution des concentrations de NO<sub>2</sub> de 40 à 50 % est observée, suivie d'une longue période au cours de laquelle les concentrations étaient plus faibles qu'en 2019. Enfin, dans des villes comme Bruxelles et Londres, nous voyons que la diminution de NO<sub>2</sub> suivant les injonctions de séjour à domicile est du même ordre de grandeur que les variations naturelles qui se produisent également le reste de l'année. Ceci n'est pas seulement le résultat de mesures moins strictes mais aussi de conditions météorologiques particulières. Ce cas montre que l'interprétation des images satellites n'est pas toujours facile.

## Interpréter les observations satellitaires, pas si facile

La tentation est forte d'expliquer les différences d'observations de NO<sub>2</sub> entre 2019 et 2020 uniquement en raison de la crise du coronavirus. Mais en réalité, les concentrations de NO<sub>2</sub> sont influencées par de nombreux facteurs : processus météorologiques et

>>

Figure 3 : Baisse relative de TROPOMI NO<sub>2</sub> en 2020 par rapport à 2019 sur les grandes villes. Les lignes oranges indiquent le début d'une période de restrictions plus strictes.



chimiques et décisions politiques et sociales locales. Ci-dessous, la complexité de la chimie atmosphérique est illustrée au moyen de quelques exemples concrets, qui montrent que les modèles de transport chimique sont nécessaires pour une interprétation correcte des mesures satellitaires. Seuls ces modèles informatiques prennent en compte toutes les réactions chimiques connues et simultanément l'émission de précurseurs, la composition de l'atmosphère et les variables météorologiques.

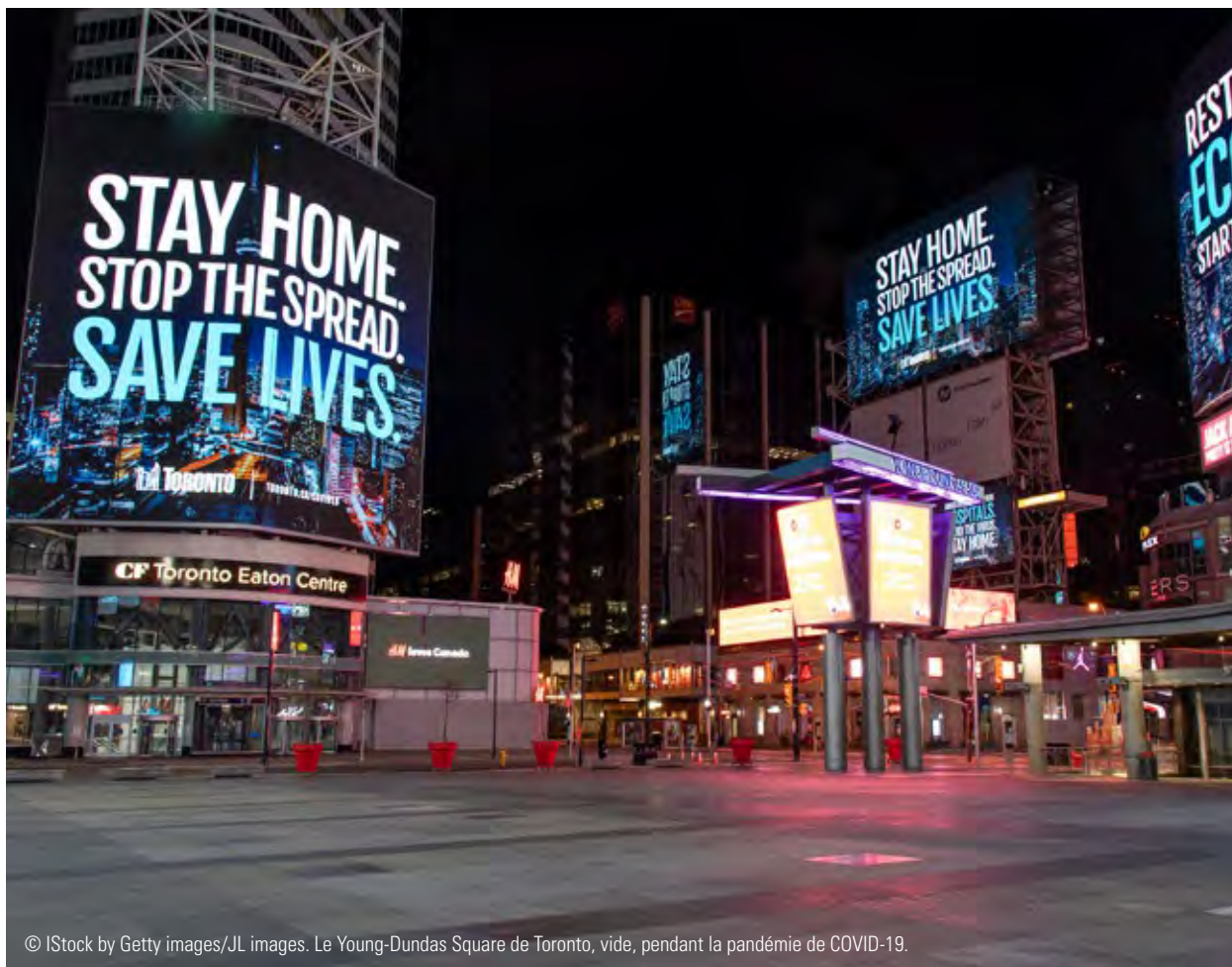
## La météo

En regardant attentivement la figure 2, on peut constater une forte réduction du  $\text{NO}_2$  en Europe déjà deux mois *avant* le début de la crise. Sur la figure 3, nous voyons que c'est le cas à Bruxelles, Londres et Milan. La réduction de  $\text{NO}_2$  observée ici n'est pas le résultat de changements de comportement. Les concentrations plus faibles de  $\text{NO}_2$  étaient dues à une période très ensoleillée dans une grande partie de l'Europe entre janvier et mars 2020. Étant donné que la lumière du soleil stimule diverses réactions chimiques menant à la destruction du  $\text{NO}_2$ , il y a moins d'accumulation de  $\text{NO}_2$  pendant les périodes ensoleillées et donc les concentrations sont plus faibles. Ce sont aussi ces réactions photochimiques qui sont responsables du cycle saisonnier également

visible sur la figure 2, où les concentrations de  $\text{NO}_2$  partout dans le monde sont sensiblement plus faibles en été qu'en hiver. En plus de la lumière du soleil, d'autres conditions météorologiques ont un impact. Le vent provoque un déplacement et une dilution des concentrations. Les changements de température affectent également les concentrations. Surtout lorsque nous étudions des villes individuelles comme à la figure 3, les paramètres météorologiques locaux peuvent provoquer de fortes variations dans les concentrations de  $\text{NO}_2$ , qui ne sont pas toujours faciles à interpréter. En Europe, on estime que 10 à 20 % des fluctuations de  $\text{NO}_2$  sont dues à des variations naturelles. Il est donc important de réaliser que les fluctuations plus faibles et locales des concentrations de  $\text{NO}_2$  ne sont le plus souvent pas expliquées par des changements dans les émissions de  $\text{NO}_2$ .

## A war on air pollution

En outre, il faut également garder à l'esprit que les diminutions des émissions de  $\text{NO}_2$  ne sont pas toujours le résultat de la crise du coronavirus. Les efforts politiques et sociaux visant à améliorer la qualité de l'air ont naturellement aussi un impact sur les émissions de  $\text{NO}_2$ . L'impact de ces efforts a déjà été quantifié sur la base de 10 ans d'observations de  $\text{NO}_2$  du satellite OMI qui a



© IStock by Getty images/JL images. Le Young-Dundas Square de Toronto, vide, pendant la pandémie de COVID-19.

été lancé auparavant. En Amérique du Nord et en Europe, où des efforts sont faits pour améliorer la qualité de l'air depuis plusieurs décennies, ces observations satellitaires nous apprennent que les réductions annuelles des concentrations de  $\text{NO}_2$  sont de l'ordre de 2 % par an, faibles donc par rapport aux réductions de 20-40 % observées pendant la première période de la crise du coronavirus. À la suite de la 'guerre' déclarée par la Chine contre la pollution atmosphérique, les réductions annuelles de  $\text{NO}_2$  en Chine ont été environ deux fois plus fortes que celles vues en Europe depuis 2011. Là encore, la réduction annuelle d'environ 4 % résultant de la politique d'amélioration de la qualité de l'air ne contribue donc que pour une faible part aux réductions des concentrations de  $\text{NO}_2$  (de 50 à 80 %) que l'on constate sur les figures.

## $\text{NO}_2$ et qualité de l'air, pas si simple

Bien que le  $\text{NO}_2$  soit un bon indicateur de la qualité globale de l'air, on ne peut pas supposer que tous les polluants évoluent comme le  $\text{NO}_2$ . La prudence est particulièrement recommandée pour les polluants dits secondaires tels que l'ozone et les particules en suspension, qui ne sont pas émis directement mais qui sont issus de réactions chimiques dans l'atmosphère. Beaucoup de ces réactions ne sont pas de nature linéaire et sont influencées par différents facteurs.

Par exemple, au début de la crise corona dans le nord de la Chine, une situation fascinante et contre-intuitive est apparue. Malgré la forte réduction des émissions dues aux activités humaines et les diminutions des concentrations de  $\text{NO}_2$  atteignant 50 % (Figures 1 et 2), on a observé des concentrations d'ozone jusqu'à 2 fois plus élevées qu'avant le confinement au cours de la même période dans le nord de la Chine. Pour comprendre cela, il faut savoir que l'ozone est formé par diverses réactions chimiques, qui dépendent donc de la composition de l'air. Dans une atmosphère limitée en  $\text{NO}_2$ , comme dans les zones moins polluées, la concentration d' $\text{O}_3$  diminue lorsque les concentrations de  $\text{NO}_2$  diminuent. Par contre, dans un environnement saturé en  $\text{NO}_2$ , comme dans le nord de la Chine, d'autres réactions conduisent à une augmentation des concentrations d'ozone. La chimie de l'ozone est étudiée depuis le début des années 1950 et est maintenant relativement bien comprise. En conséquence, les observations faites en Chine n'ont pas surpris les spécialistes.

Comme l'ozone, les particules en suspension sont pour une grande part des polluants secondaires. Leur formation est en revanche beaucoup plus complexe. Les particules en suspension comprennent différents types d'aérosol, comme les sulfates, les nitrates et les aérosols organiques, chacun formé par des processus divers. Ceux-ci sont influencés par des interactions mutuelles et par la météorologie, en particulier le transport car les espèces chimiques impliquées sont moyennement réactives. La recherche sur les particules est toujours en plein développement.

## La crise du coronavirus comme une expérience atmosphérique à grande échelle

Les exemples ci-dessus nous enseignent que la crise du coronavirus a induit une forte baisse des émissions de  $\text{NO}_2$  dans le monde. Cependant, nous avons également vu que ces efforts n'ont pas entraîné directement une diminution proportionnelle des polluants secondaires tels que l'ozone et les particules en suspension. Si nous voulons prendre des mesures à l'avenir pour améliorer la qualité de l'air dans son ensemble, une bonne connaissance de la chimie atmosphérique est cruciale. Les modèles de transport chimique peuvent déjà simuler avec succès et expliquer de nombreuses observations. Certaines incohérences entre résultats des modèles et observations indiquent des lacunes dans notre compréhension de la chimie atmosphérique, dont on peut espérer qu'elles permettront un jour d'accroître nos connaissances et améliorer les modèles. En un sens, la crise du coronavirus peut être considérée comme une expérience atmosphérique à grande échelle, qui, grâce aux observations satellitaires et aux mesures *in situ* de la qualité de l'air, a fourni une mine précieuse de données. Ces données fourniront fort probablement de nouvelles informations et conduiront ainsi à de meilleures stratégies en vue d'améliorer la qualité de l'air. Ceci est nécessaire, étant donné qu'en Europe, on estime qu'environ 400 000 décès prématurés sont le résultat d'une mauvaise qualité de l'air chaque année...

## Remerciements

Cette recherche est financée par la Politique scientifique fédérale (Belspo) dans le cadre du programme PRODEX (projets TROVA et TROVA-E2), et par l'ESA dans le cadre du projet ICOVAC. Nous remercions nos partenaires internationaux de l'Institut météorologique royal des Pays-Bas (KNMI) et de l'Agence spatiale allemande (DLR) pour avoir fourni les données TROPOMI  $\text{NO}_2$  sur <https://scihub.copernicus.eu>. Les données TROPOMI  $\text{NO}_2$  sont également accessibles au public sur <https://viewer.terrascope.be>

### Plus

Bauwens, M. et al., Impact of coronavirus outbreak on  $\text{NO}_2$  pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2020GL087978>, 47(11), e2020GL087978, 2020.  
Kroll, J. et al., The complex chemical effects of COVID-19 shutdowns on air quality, *Nat. Chem.*, 12, 777-779, [www.nature.com/articles/s41557-020-0535-z](http://www.nature.com/articles/s41557-020-0535-z), 2020.

# Voies de la modernité

Europalia Trains & Tracks



Claude Monet (1840-1926), *Arrivée du train de Normandie, gare Saint-Lazare, 1877*  
Huile sur toile, 60,3 x 80,2 cm  
The Art Institute of Chicago, Mr. and Mrs. Martin A. Ryerson Collection, 1933.1158  
© 2021. The Art Institute of Chicago / Art Resource, NY / Scala, Florence

L'exposition *Voies de la modernité*, aux Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique propose jusqu'au 13 février 2022, un parcours artistique et historique autour du thème du train, à travers des oeuvres d'artistes majeurs des XIXe et XXe siècles - tels que Monet, Caillebotte, Spilliaert, Boccioni, Severini, Léger, De Chirico, Mondrian, Servranckx, Cavigliani, Delvaux ou Magritte.

Plus de 120 oeuvres provenant du MoMA, de la National Gallery, du Musée d'Orsay, du Centre Pompidou et d'une trentaine d'autres prêteurs ont été rassemblées pour cette fascinante exposition. Dix thématiques abordent la peur et la fascination pour le 'cheval de fer' et explorent comment le train a inspiré plusieurs générations d'artistes. Une riche programmation d'activités accompagne l'exposition, ainsi qu'un espace co-créatif inédit qui accueille les publics pour une expérimentation artistique participative.

A ses débuts, le train est le symbole ultime de la modernité. C'est un outil majeur de la révolution industrielle. Il porte les espoirs de développement et d'enrichissement les plus fous, mais cristallise aussi les angoisses et le rejet du changement. Dès les années 1820, apparaissent les premières lignes de chemin de fer en Grande-Bretagne, nées des besoins de l'exploitation minière. La Belgique est la première à emboîter le pas et en 1835, Léopold Ier inaugure une ligne ferroviaire reliant Bruxelles à Malines.

Le train modifie la société en profondeur. Il bouleverse le rapport au temps et à l'espace. Partout il tisse sa toile : au sein des villes, où les gares, ponts de métal ou voies ferrées mordent toujours plus sur le tissu urbain ; mais aussi dans les campagnes où le train fait intrusion, déchirant le paysage. Il devient aussi un outil du tourisme naissant, promu à grand renfort d'affiches et décliné en trois classes, que des dessinateurs, tel Daumier, se régalaient à observer.

A la fin du XIXe siècle, les impressionnistes s'emparent de sujets modernes, dont celui du chemin de fer. Nuages de vapeur, mouvements des trains, lumières changeantes de la gare et de ses alentours sont autant d'aspects que Monet, Caillebotte, De Nittis ou Ottmann s'efforcent de restituer. A la même époque, les frères Lumière réalisent *L'arrivée d'un train en gare de La Ciotat*. Cinéma et photographie feront eux aussi la part belle à l'univers ferroviaire.

C'est également la société moderne - sa vitesse, sa violence et les sensations qu'elle génère - qui intéresse les futuristes comme Severini, Carrà, Russolo, Baldessari ou Sant'Elia. Boccioni sera quant à lui l'un des premiers à s'intéresser aux aspects psychologiques du voyage.

Les surréalistes adoptent le point de vue du voyageur : les aspects psychologiques prennent le pas sur l'attrait de la modernité. Freud et ses recherches sur le train et ses effets sur les passagers



Marianne Stokes (1855-1927), *Le Train qui passe*, 1893  
Huile sur toile, 61 x 76,2 cm  
Collection particulière

nourrissent leur travail. Max Ernst s'intéresse au microcosme du compartiment, Blaise Cendrars associe voyage et processus introspectif. De Chirico, Delvaux ou Magritte génèrent des images de réalités alternatives, peuplées de mouvements immobiles, de trains hors du temps, habitant un monde étrange, voire inquiétant.

L'intérêt porté au train par les artistes diminue à partir des années '50, mais il revient sur le devant de scène à une époque qui doit remettre modernité et environnement en adéquation. L'artiste Fiona Tan présente une installation sur cette thématique.

## Parcours de l'exposition

### Introduction

L'exposition *Voies de la modernité* offre une incursion dans l'univers des chemins de fer. Depuis son apparition au début du XIXe siècle jusqu'à la moitié du XXe siècle, le train a en effet constitué un sujet d'intérêt pour les artistes. Ses représentations font écho aux époques et aux sensibilités qui s'y expriment. Elles figurent l'angoisse et l'enthousiasme pour un monde nouveau, industriel, lancé à pleine vitesse mais désormais hors de contrôle. Elles étudient la gare et la ville qui se repense pour l'accueillir, les lieux nouveaux associés à la possibilité - tout aussi nouvelle - de voyager. Les artistes se fascinent pour les lumières et volutes de vapeur. Ils se laissent hypnotiser par la vitesse et la toute puissance de l'engin, en véritables technolâtres. Ils soulignent la beauté plastique de ses courbes, les pistons et la merveilleuse mécanique. Ils représentent l'outil et le fantôme, les pieds sur terre ou la tête dans l'univers onirique du voyage et de l'aventure intérieure. *Voies de la modernité* propose d'explorer ces univers, à travers les oeuvres d'artistes majeurs des XIXe et XXe siècles mais aussi à travers des oeuvres plus confidentielles, éclairant cette thématique de leur point de vue spécifique.

>>

Paul Delvaux (1897-1994), *Train du soir*, 1957  
Huile sur bois, 110 x 170 cm  
MRBAB, Inv. 6797

© MRBAB, Bruxelles / Fondation Paul Delvaux, Sint-Idesbald - SABAM  
Belgium, photo J. Geleyns - Art Photography



### Une invention qui fascine autant qu'elle effraie

Dès les années 1820, apparaissent les premières lignes de chemin de fer en Grande-Bretagne. Sur le continent, la Belgique est la première à emboîter le pas et, en 1835, Léopold Ier - soucieux de placer son jeune pays sur la carte internationale - inaugure une ligne ferroviaire publique entre Bruxelles et Malines. Le train est alors le symbole ultime de la modernité, et un outil majeur de la révolution industrielle et de la transformation des sociétés occidentales. Il est célébré, porteur des espoirs de développement et d'enrichissement les plus fous, mais il cristallise aussi les peurs et le rejet du changement. Le chemin de fer bouleverse la relation au temps et l'espace. Les destinations lointaines se rapprochent, le voyage semble possible, autorisé, là où il était auparavant une aventure dans laquelle seuls quelques-uns osaient et pouvaient se lancer. Le temps local - solaire, celui que l'on sonne aux clochers et qui diffère de quelques minutes de ville en ville - disparaît progressivement, incompatible avec l'accélération du rythme de vie avec la sécurité et le confort des voyageurs.

### Intrusion du train

Rapidement, le train modifie la société en profondeur. Il tisse sa toile au sein des villes, où les gares, ponts de métal et voies ferrées mordent toujours plus sur le tissu urbain ; mais aussi dans les campagnes où il s'impose, déchirant le paysage par ses tranchées et ses apparitions fugaces. Le train entre en collision avec la société traditionnelle. 'Vous étiez mêmes gens habitant un village, / Vous ne connaissiez rien que vos mêmes usages, / Et voici que le monde entier roule sur vous, / Ses tumultes et ses remous', écrit Emile Verhaeren (*L'Or*).

Anonyme, *Le 22 octobre 1895, le train Granville-Paris suspendu devant la gare Montparnasse, 1895*  
Épreuve sur papier albuminé contrecollée sur carton, tirage d'époque,  
16,5 x 12,2 cm  
Coll. Musée de la Photographie à Charleroi, MPC 2009/1075  
© Musée de la Photographie à Charleroi



A la fin du XIXe siècle, les impressionnistes s'emparent de sujets modernes, et le train occupe une place non négligeable dans leurs oeuvres. Nuages de vapeur, vitesse, mouvement et lumière changeante de la gare sont autant d'aspects que les peintres s'efforcent de restituer. En Italie, Giuseppe de Nittis insuffle vitesse et mouvement à ses toiles sans même y faire apparaître le train. Un peu plus tard, à Bruxelles, Henri Ottmann saisit la gare du Luxembourg, ses enchevêtrements de rails et la fumée de ses trains.

### Film et photographie

L'univers du train est éminemment cinématographique et le 7e art lui donne dès ses débuts une place de choix. On pense au film de 1897 des frères Lumière, *L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat*, ou encore à *La Roue*, réalisé par Abel Gance en 1923, où l'univers ferroviaire tient le premier rôle. Le train offre souvent un moment de transition dans le récit, entre deux villes, entre deux réalités. Mais la première expérience cinématographique n'est-elle pas celle vécue par le voyageur du XIXe siècle, avant même l'apparition du cinéma ? À bord du train, il expérimente le 'regard mobile' : son oeil doit s'exercer à interpréter des images en proie à la vitesse et au mouvement continu. Le train crée un nouveau mode de perception. Comme les impressionnistes et d'autres après eux, les photographes ont joué des trains et des qualités graphiques de la vapeur, des signaux ou des gares. On retrouve dans leurs clichés le lien à l'industrie, l'expression de la toute-puissance mécanique et la poésie des paysages ferroviaires.

### Modernité, vitesse et sensations

'Nous déclarons que la splendeur du monde s'est enrichie d'une beauté nouvelle : la beauté de la vitesse. (...) Le Temps et l'Espace sont morts hier', affirmait Filippo Tommaso Marinetti en 1909 dans son *Manifeste du futurisme*. C'est la société moderne - sa vitesse, sa violence et les sensations qu'elle génère - qui intéresse les futuristes. Et le train, bien qu'il ne soit déjà plus le moyen de transport le plus avancé technologiquement, occupe néanmoins une place symbolique cruciale dans les oeuvres de ceux qui veulent '(chanter) les ressacs multicolores et polyphoniques des révolutions dans les capitales modernes ; (...) les gares gloutonnes avaleuses de serpents qui fument ; les usines suspendues aux nuages par les ficelles de leurs fumées ; (...) les locomotives au grand poitrail qui piaffent sur les rails, tels d'énormes chevaux d'acier bridés par de longs tuyaux ; et le vol glissant des avions.'





Victor Servranckx (1897-1965), *Opus 11*, 1920  
Gouache sur papier, 30 x 30 cm  
Collection particulière  
© SABAM, Belgium, photo : Cedric Verhelst

### Pour le meilleur et pour le pire

Symbole de liberté, le train peut aussi incarner la guerre, l'oppression et l'exploitation. À la fin du XIXe siècle, les occidentaux développent - sous couvert de mission civilisatrice - des réseaux ferrés destinés à exploiter plus efficacement les ressources de leurs colonies. 'Sans le chemin de fer, le Congo ne vaut pas un penny', dit Stanley, qui colonise le pays pour Léopold II. Et au Congo, l'entreprise est colossale, le terrain particulièrement accidenté, la main-d'oeuvre soumise à des conditions de travail extrêmes et les pertes humaines considérables. Les intérêts et déséquilibres financiers portés par le rail sont aussi au coeur des revendications des cheminots français qui mènent en 1910 une grève de grande ampleur. Jules Grandjouan, affichiste militant, oppose sur ses dessins cheminots et directeurs, ceux qui risquent et ceux qui possèdent. La Première Guerre mondiale, que les futuristes exploitent picturalement, marque sans doute une prise de conscience plus large de la puissance de l'outil ferroviaire et des fins parfois néfastes auxquelles il peut être utilisé.

>>

Ivo Pannaggi (1901-1981), *Un Train en marche*, 1922  
Huile sur toile, 100 x 120 cm

Fondazione Cassa di Risparmio della Provincia di Macerata - Museo Palazzo Ricci, inv. X.2011.903  
© Archivio fotografico Fondazione Cassa di Risparmio della Provincia di Macerata



Les déportations massives vers les camps de concentration lors de la Seconde Guerre mondiale en sont l'exemple le plus connu, et le plus dramatique.

### Tourisme de luxe et tourisme de masse

Le tourisme naît au XVIII<sup>e</sup> siècle. Il est alors réservé à l'élite : les jeunes hommes de la noblesse et de la haute bourgeoisie - anglaise en particulier - se doivent de finaliser leur éducation par un voyage sur le continent européen. Ce voyage, appelé 'The Grand Tour' donne naissance en 1800 au terme *tourist*. Ce n'est qu'avec le développement des réseaux ferrés que naît le véritable tourisme de loisirs. Lui aussi est d'abord réservé à l'élite, celle qui dispose à la fois de temps et de moyens et qui peut donc jouir des palaces, stations balnéaires et thermales de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Les moins nantis s'échappent parfois à la côte le temps d'un dimanche, dans des 'trains de plaisir' bondés. Il faut attendre les années 1930 et l'avènement des congés payés pour voir le tourisme - national d'abord - changer de visage. Pour la première fois, le temps disponible dépasse le simple besoin de récupération des travailleurs, il libère du temps pour l'individu. Grâce à des tarifs réduits à l'attention des vacanciers, des milliers de familles peuvent partir, et le tourisme prend un essor considérable.

### Esthétique de la machine

Dans le diagramme qu'il publie en 1936 à l'occasion de l'exposition *Cubism and Abstract Art* présentée au Museum of Modern Art de New York, Alfred Barr, célèbre fondateur et premier directeur de l'institution, situe 'l'esthétique de la machine' comme l'une des influences clés ayant mené à l'art abstrait, au même titre que des influences extérieures, telles celles de la sculpture africaine ou des estampes japonaises. Même si le diagramme de Barr est à prendre avec réserve, en ce qu'il tend à présenter l'art abstrait comme un point culminant, il est tout de même révélateur de l'importance du vocabulaire pictural né de l'intérêt nouveau pour la machine. Cet intérêt se déploie à partir du milieu des années 1910. Jusque-là, la machine n'est pas un sujet de prédilection de l'avant-garde, qui a des aspirations différentes : les thèmes du paysage, de la vie rurale et la quête du primitif prennent de l'importance alors même que croît l'industrialisation.

Leo Marfurt (1894-1977), *Flying Scotsman*, 1928  
Lithographie sur papier, 101,5 x 126 cm  
MRBAB, Inv. 8328

© SABAM, Belgium / MRBAB, Bruxelles, photo : J. Geleyns-Art Photography





Fernand Léger (1881-1955),  
*Le passage à niveau (esquisse)*, 1919  
 Huile sur toile, 54,1 x 65,7 cm  
 The Art Institute of Chicago, Joseph Winterbotham  
 Collection ; gift of Mrs. Patrick Hill in memory of Rue  
 Winterbotham Carpenter, 1953.341  
 © 2021, The Art Institute of Chicago / ArT Resource,  
 NY / Scala, Florence



Leon Spilliaert (1881-1946), *La dame dans le train*, 1908  
 Lavis d'encre de Chine noire et brune au pinceau, craie  
 rouge et bleue, gouache bleue sur papier, 518 x 415 mm  
 Don de Mme Madeleine Spilliaert, fille de l'artiste,  
 Bruxelles, 1984  
 MRBAB, Inv. 10223  
 © MRBAB, Bruxelles, photo :  
 J. Geleyns-Art Photography

>>



Giorgio de Chirico (1888-1978), *La Matinée angoissante*, 1912  
Huile sur toile, 81 x 65 cm  
Mart, Museo di arte moderna e contemporanea di Trento e Rovereto  
Collezione  
VAF-Stiftung  
© MART-Archivio Fotografico e Mediateca Mart

Mais à partir des années 1910, la machine intègre la vie quotidienne : automobiles, bicyclettes, machines à coudre, à écrire et électricité envahissent les rues et les foyers. Certains artistes se servent désormais de la technologie qu'ils mettent au profit de leur art, en allié que certains finissent par admirer et intégrer à leurs oeuvres.

### Le compartiment

Dans la littérature et dans les arts visuels, le compartiment occupe une place particulière. À la fois public et semi-privé, il est souvent associé à la sexualité, comme dans le film *The Kiss in the Tunnel* (George Albert Smith, 1899), où le train devient symbole sexuel, pénétrant le tunnel et offrant de ce fait un moment de pénombre propice à l'embrassade. Alfred Hitchcock usera du même procédé soixante ans plus tard dans *North by Northwest* (*La Mort aux trousses*), film où la symbolique freudienne du train atteint son paroxysme lorsque Cary Grant et Eva Marie Saint s'allongent sur la couchette alors que le train entre dans le tunnel. Le compartiment est en outre souvent associé à des scènes de crime,

au danger, comme chez Max Ernst qui crée des compartiments étranges et décadents où s'expriment peur, menace et violence. Le compartiment peut aussi offrir de l'intimité, une solitude parfois propice à l'introspection et à la réflexion.

### Étrangeté et introspection

Avec les surréalistes, le lien entre mouvement et sentiment prend toute son importance. Ils s'intéressent au point de vue du voyageur : les aspects psychologiques prennent le pas sur l'attrait de la modernité et de la technologie, à laquelle ils ne prêtent guère intérêt, la Première Guerre mondiale ayant peut-être douché quelque peu les enthousiasmes.

Les recherches de Freud, qui s'intéresse au train et à ses effets sur les passagers, nourrissent leur travail. Le train et ses compartiments forment un véritable microcosme, qui devient un outil d'exploration du subconscient et de critique de la société bourgeoise. Blaise Cendrars, dans son poème *La prose du Transsibérien et de la petite Jehanne de France*, envisage le voyage comme un processus introspectif au gré duquel la pensée s'évade et évolue. Giorgio de Chirico ou Paul Delvaux nous proposent quant à eux des images de réalités alternatives, peuplées de mouvements immobiles, de trains hors du temps, habitant un monde étrange, voire inquiétant.

### Et après ?

Est-ce la récente hégémonie de la voiture ou la croissance du transport aérien ? En tout cas, le train perd un peu de sa superbe dans la seconde moitié du XXe siècle et les artistes se détournent progressivement de ce thème. Mais la modernité de l'outil revient sur le devant de la scène aujourd'hui, portée notamment par des considérations écologiques. Paradoxalement, le train, qui a rimé avec forte accélération de la société est désormais perçu comme un outil de décélération, permettant de revenir à une manière de voyager et de vivre moins effrénée.

(Source : MRBAB)

### Plus

Exposition *Voies de la modernité* aux Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique dans le cadre du festival Europalia Trains & Tracks jusqu'au 13 février 2022.  
[www.fine-arts-museum.be](http://www.fine-arts-museum.be)

# Social Sciences and Digital Humanities Archive

# SODHA

**La *Social Sciences and Digital Humanities Archive (SODHA)* est nouvelle dans le paysage belge des données. SODHA met l'accent sur l'accessibilité des données de la recherche belge dans les sciences sociales et humaines. Ce n'est pas un simple coffre-fort numérique. C'est bien plus que cela : une plateforme de recherche de haute technologie qui offre de nombreuses possibilités aux scientifiques belges, notamment une nouvelle opportunité de rejoindre le *European Open Science Cloud (EOSC)*.**

**S**ODHA est une initiative des Archives de l'État belge, de la Vrije Universiteit Brussel, de l'Université catholique de Louvain et de la Politique scientifique fédérale belge (BELSPO). SODHA offre un archivage sécurisé des données de recherche en sciences sociales et humaines via la plateforme en ligne [www.sodha.be](http://www.sodha.be). Ce site web permet de décrire des datasets et de les déposer dans une infrastructure d'archivage. SODHA garantit la préservation, l'accessibilité et l'interopérabilité, et permet la réutilisation des données. Avec la création de SODHA, la Belgique répond aux besoins des chercheurs. En effet, si depuis les années 1960, les experts étrangers en sciences sociales ont pu faire appel à leurs archives nationales respectives, en Belgique, les *Belgian Archives for Social Sciences (BASS)* créées en 1969 ont cessé leur activité en 1998 sans être remplacées par une autre infrastructure. Leur politique de collecte se focalisait d'ailleurs sur les données quantitatives au détriment des données qualitatives. Jusqu'à récemment, le besoin de construire une archive centrale de données de la recherche en sciences humaines ne s'est pas fait sentir de façon aussi aiguë, les chercheurs puisant une grande

partie de leurs données dans les collections d'institutions très diverses, publiques et privées, généralistes ou spécialisées, telles que les centres d'archives, les bibliothèques, les musées ou les administrations.

Les archives nationales de données de recherche en sciences sociales ont été les premières à prendre l'initiative d'unir leurs forces au niveau européen. Dès 1976 se constitue le *Consortium of Social Sciences Data Archives (CESSDA)*. Par ses développements dans le domaine de l'échange de données et de technologies européennes, CESSDA a été reconnu comme Consortium européen pour les infrastructures de recherche (ERIC). La participation à CESSDA permet aux archives nationales de données de partager leurs connaissances technologiques et leurs bonnes pratiques afin d'améliorer leur fonctionnement interne. En outre,

>>

L'équipe du projet SODHA. De gauche à droite : Freya De Schampelaere (Archives de l'État - AE), Rolande Depoortere (AE), Aziz Naji (BELSPO), Johan Surkyn (Vrije Universiteit Brussel) et Jean-Paul Sanderson (Université catholique de Louvain). © Social Sciences and Digital Humanities Archive - SODHA



les archives nationales de données collaborent au développement de l'infrastructure de recherche commune. Cette intégration des archives nationales de données offre beaucoup d'avantages aux chercheurs et à leur discipline. CESSDA informe les chercheurs sur la préservation sécurisée et la gestion efficace des données, ainsi que sur les potentialités de l'*open data*. Les chercheurs européens peuvent aussi obtenir en un clic de souris, via le catalogue de données de CESSDA, un aperçu des datasets pertinents enregistrés dans les dépôts de données nationaux et de leur potentiel de réutilisation. On évite ainsi de collecter deux fois des données identiques et la collaboration internationale entre les chercheurs est facilitée. La visibilité accrue de la recherche peut ainsi accroître la compétitivité internationale et les possibilités de financement des chercheurs.

Pendant longtemps, les données ont été considérées comme un simple moyen d'atteindre l'objectif de l'étude, et non comme un résultat scientifique valable porteur de potentialités propres. Avec la création de SODHA, la Belgique franchit une nouvelle étape importante vers la participation à des plateformes de coopération internationale. Le partage et la réutilisation des données permettent de réaliser des économies et de mener des recherches innovantes grâce à des économies d'échelle, suscitent davantage de possibilités de recherche sur la longue durée, de recherche comparative et transdisciplinaire, et rendent possible la réutilisation des données sur la base de nouvelles connaissances et de nouvelles techniques. Grâce à la plateforme en ligne [www.sodha.be](http://www.sodha.be), les chercheurs peuvent désormais obtenir facilement un aperçu des données de recherche disponibles en sciences sociales et humaines. SODHA permet d'accéder aux datasets librement réutilisables ou d'obtenir les informations sur la procédure d'obtention du droit d'accès. Grâce au financement de BELSPO, SODHA conserve les données gratuitement à long terme selon des méthodes d'archivage de pointe. Le chercheur conserve le contrôle sur les données qu'il dépose et décide du degré d'ouverture de ces données. La fiabilité des

données et des métadonnées déposées est garantie par l'attribution d'un identifiant unique d'objet numérique (DOI). Les datasets librement réutilisables peuvent être téléchargés immédiatement sur le site web. Pour les données plus sensibles, SODHA agit comme intermédiaire entre le déposant et les utilisateurs potentiels des données.

## Le défi relevé

Le développement d'une telle plateforme n'est pas simple tant sur le plan technique qu'au niveau du contenu. L'outil développé permet de déposer et valoriser les données de recherche et répond à de strictes exigences en termes de convivialité et de fonctionnalités techniques. Il est évolutif afin d'anticiper les besoins futurs. Les aspects juridiques tels que la question de la propriété intellectuelle des données archivées, leur réutilisation et la protection des données personnelles sont également pris en compte.

## Une plateforme en ligne simple et conviviale

L'infrastructure SODHA s'appuie sur le logiciel Dataverse qui est une application Web gratuite et *open source* développée par l'*Institute for Quantitative Social Science* (IQSS) de l'Université de Harvard pour la gestion et la valorisation des données de recherche. Ce logiciel est maintenant utilisé à cette fin dans toute l'Europe. Il dispose d'une interface intuitive et ergonomique, focalisée sur les deux principaux services que propose SODHA : le dépôt de données d'une part, et d'autre part la recherche et le téléchargement de données réutilisables. La plateforme SODHA se trouve à l'adresse [www.sodha.be](http://www.sodha.be). D'entrée de jeu, la page d'accueil de Dataverse propose à l'utilisateur une liste des dernières publications, un moteur de recherche et des facettes de navigation (voir ci-contre).

## Belgian Archives for Social Sciences (BASS)

SODHA n'est pas la première création d'une archive de données de recherche dans le domaine des sciences sociales. En 1969, un groupe de chercheurs créait les *Belgian Archives for Social Sciences* (BASS). Il s'agissait d'un organe interne à l'UCLouvain, plus précisément, les BASS étaient un organe facultaire de la Faculté des sciences économiques sociales et politiques. L'objectif était de préserver les données utilisées dans le cadre de recherches menées à l'UCLouvain et, le cas échéant, d'accueillir des données collectées par des institutions partenaires. Les BASS ont fonctionné de 1969 à 1998 et se sont arrêtées faute de financement. À cette date, ce ne sont pas moins de 478 jeux de données différents qui ont été déposés reprenant des données collectées par

des chercheurs de l'UCLouvain, des données obtenues auprès de différentes administrations belges (principalement de l'Institut national de Statistique, aujourd'hui StatBelgium) ou des données obtenues voire achetées auprès d'organismes étrangers. Fort heureusement, l'ensemble de ces données déposées pendant ces près de 30 années de fonctionnement des BASS n'ont pas été perdues après 1998 puisqu'elles ont été déposées au service des archives de l'UCLouvain. L'expérience des BASS met en évidence l'importance et le rôle d'une archive spécifique pour les données de recherche. D'une part, et c'est essentiel, il faut penser à l'évolution du support des données. En 1969, la plupart des données étaient stockées sur des cartes perforées ; dans les années 1990, elles ont

été transférées et stockées sur des bandes magnétiques ; aujourd'hui, elles sont stockées sur un serveur sécurisé. D'autre part, il est essentiel de bien documenter les données conservées si on veut permettre leur réutilisation. C'était sans doute l'un des points faibles des BASS car les personnes impliquées étaient des informaticiens et des spécialistes de l'analyse des données mais pas des archivistes. Actuellement, en accord avec l'UCLouvain, nous travaillons au transfert de ces données vers SODHA en reconstruisant la documentation nécessaire. Enfin, l'expérience avortée des BASS souligne l'importance de planifier la durabilité de l'infrastructure créée par SODHA, avec un *business model* rigoureux et le soutien financier volontariste de BELSPO.

The screenshot shows the SODHA homepage with a search bar at the top left and a 'Find' button. On the right, there is an 'Add Data' button. The left sidebar contains filters for 'Dataverses (2)', 'Datasets (42)', and 'Files (192)'. Below these are filters for 'Dataverse Category', 'Publication Year', 'Author Name', 'Subject', and 'Keyword Term'. The main content area displays '1 to 10 of 44 Results' and lists several datasets, including 'School Identity and Society Survey', 'State Archives Leuven / Rijksarchief Leuven. Databank van personen ingeschreven in de matrikels van de oude universiteit. 1453-1794', 'Belgian Archives for Social Sciences BASS', 'State Archives of Belgium', and 'Foreigners Police: Alphabetical file cards of the individual files opened between 1835 and 1912 (files nos. 1-999 999)'.

Page d'accueil de la plateforme SODHA avec focus sur la liste des derniers datasets publiés, la barre de recherche et les facettes de recherche.

The screenshot shows a dataset page for 'EOSC and SSHOC - the Belgian Link'. The page includes a breadcrumb trail: 'Social Sciences and (Digital) Humanities Archive - SODHA > State Archives of Belgium > EOSC and SSHOC - the Belgian Link'. It features a 'Contact Depositor' and 'Share' button. The dataset title is 'EOSC and SSHOC - the Belgian Link' with a 'Version 1.0' tag. The author is 'Van der Eycken, Johan; Chambers, Sally, 2020'. The description states: 'This dataset contains a presentation with a state of play regarding the involvement of Belgian projects in the social and human sciences with the European projects SSHOC and EOSC. The presentation was prepared for an event organized by Department of Economy, Science and Innovation (EWI) of the Flemish government, Belgian Science Policy (Belspo) and the Directorate General of Higher Education, Lifelong Learning and Scientific Research (DGENORS) of the Fédération Wallonie-Bruxelles. (2019-11-21)'. The subject is 'Arts and Humanities; Computer and Information Science; Social Sciences' and the keyword is 'Open science; European Open Science Cloud (EOSC)'. There is one file listed: '20191121\_presentation\_SSHOC\_The\_Belgian\_Link\_vdef.pdf' (Adobe PDF - 833.4 KB - Sep 25, 2020 - 9 Downloads). A 'Download' button is visible next to the file.

Exemple de page Web relative à un dataset publié sur SODHA.

Les utilisateurs peuvent ainsi parcourir les datasets publiés, éventuellement en modifiant l'ordre de présentation (de A à Z ou inversement, des publications les plus récentes aux plus anciennes et *vice versa*). Ils peuvent aussi renseigner des mots-clés dans la barre de recherche pour trouver des datasets en lien avec leur propre travail de recherche. Une fonction de recherche avancée est également disponible. Enfin, les facettes de recherche permettent d'affiner les résultats ou de les trier rapidement (ex. : tous les datasets en sciences sociales et humaines publiés en 2019).

Les datasets publiés dans SODHA reçoivent un DOI (*digital object identifier*) ce qui augmente considérablement leur visibilité en ligne. De plus, une référence bibliographique avec les informations relatives aux datasets est automatiquement générée (dans le cadre bleu) de sorte que les chercheurs peuvent facilement l'ajouter à la liste de sources consultées dans leurs publications (voir ci-dessus).

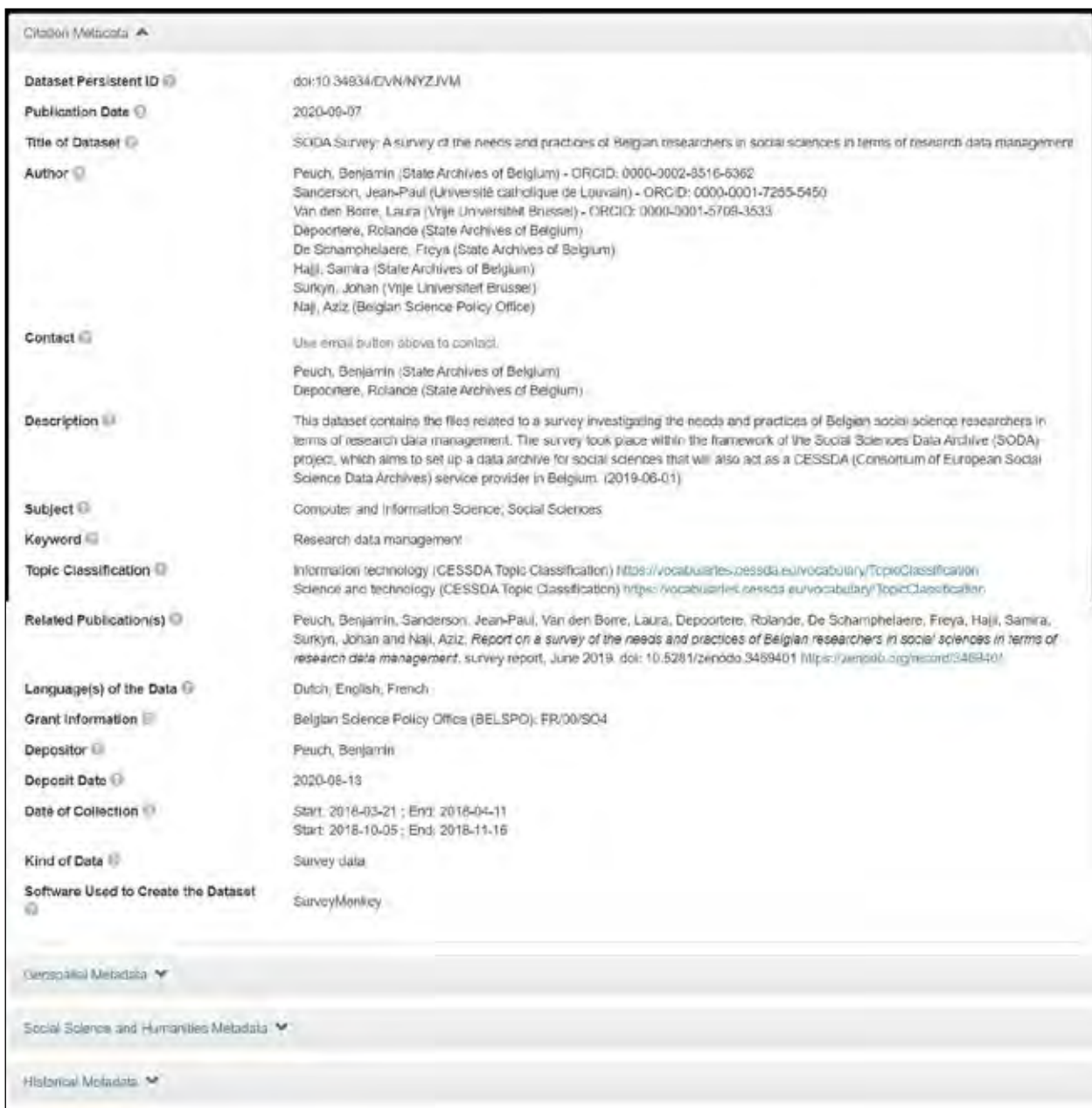
>>

L'onglet *Files* contient la liste des fichiers du dataset. Il est possible de restreindre l'accès aux fichiers déposés, au cas où par exemple

des chercheurs veulent demander aux futurs réutilisateurs de remplir un formulaire avant d'avoir accès aux données (voir ci-dessous).



Aperçu de la section Files d'un dataset publié sur SODHA.



Métadonnées d'un dataset publié sur SODHA relatif à une enquête sur les besoins des chercheurs en sciences sociales.



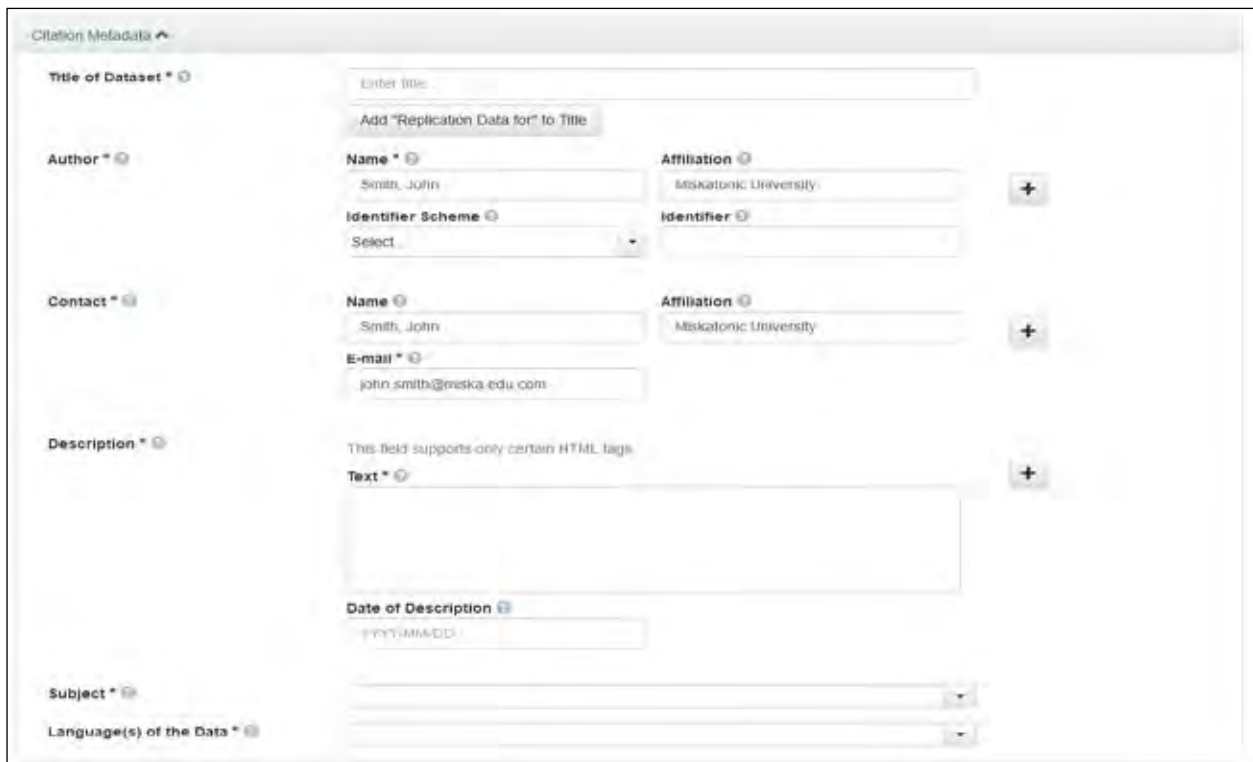
L'onglet *Metadata* contient toutes les informations relatives au dataset, avec la possibilité de détailler de nombreux aspects de la recherche effectuée. Ci-dessous, un exemple de dataset issu d'une enquête sur les pratiques et les besoins des chercheurs en sciences sociales en termes de gestion des données de recherche (*research data management*) (voir page ci-contre, en bas)

L'onglet *Terms* fournit des informations sur les conditions d'ac-

cess et de réutilisation des datasets, et l'onglet *Versions* recense toutes les versions publiées du dataset. Plusieurs versions peuvent coexister suivant les besoins des chercheurs.

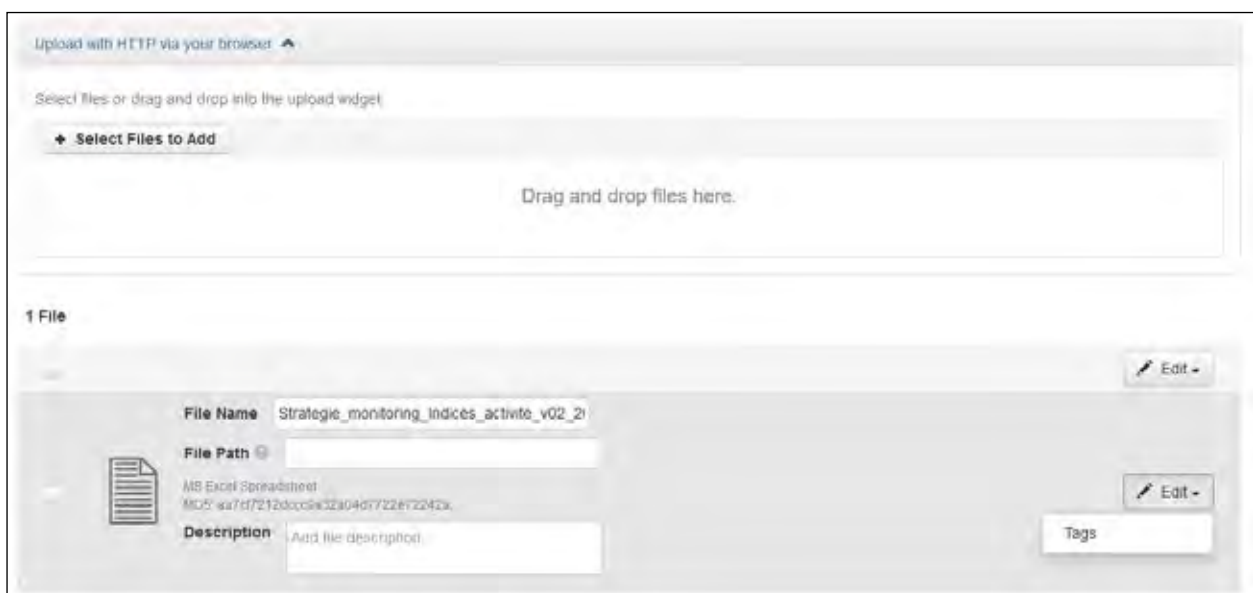
Pour déposer des données, il suffit de s'inscrire sur la plateforme puis de remplir un formulaire de métadonnées, afin de documenter les données de recherche avec des informations de base (voir ci-dessous).

>>



Extrait du formulaire de dépôt de données sur la plateforme SODHA.

Les chercheurs peuvent ensuite télécharger leurs fichiers de données et y ajouter des mots-clés (tags) et une description (voir ci-dessous).



Interface de téléversement de fichiers sur SODHA.

Il n'est cependant pas obligatoire de verser des données : créer des notices sur la plateforme SODHA pour signaler l'existence de données – qui, par exemple, ne peuvent pas être versées dans l'immédiat en raison d'un embargo ou parce que l'étude est encore en cours, que le dataset n'a pas été finalisé – est vivement encouragé. SODHA vise à devenir la plateforme belge d'information sur les données de recherche indépendamment de l'endroit où elles sont stockées.

L'interface de versement permet aussi aux déposants de choisir la licence la plus adaptée à leurs besoins. Par défaut, SODHA encourage la licence *Creative Commons Attribution* (CC-BY) pour garantir l'ouverture des données ainsi que la citation des auteurs d'une étude, mais il y a d'autres possibilités (voir ci-dessous pour plus d'informations). Par ailleurs, les informations sur les datasets publiés sur la plateforme SODHA sont automatiquement exportées vers le *CESSDA Data Catalogue*, un portail dont le but est de recenser tous les datasets en sciences sociales publiés à l'échelle européenne. Une extension vers d'autres portails (Google Scholar, Web of Science...) est prévue.

## Une plateforme qui offre toutes les garanties juridiques aux chercheurs

Le transfert de données de recherche dans SODHA est un dépôt au sens juridique, une pratique bien connue au sein d'autres archives de données de recherche. SODHA ne devient pas propriétaire des données. Lorsqu'elle accepte des données, SODHA a l'obligation de les conserver et de les restituer, à leur demande, aux chercheurs ou aux centres de recherche qui les ont déposées (article 1915 du Code civil). Le cadre juridique de ce dépôt est précisé dans une convention de dépôt, conclue entre le déposant et SODHA, qui est un service des Archives de l'État et agit en tant qu'intermédiaire entre le déposant et les réutilisateurs.

Dans cette convention, le rôle, la responsabilité et les obligations juridiques et techniques de SODHA sont clairement définis, afin d'assurer la conservation à long terme des données dans le respect des droits des déposants. La convention de dépôt fixe également un certain nombre de règles relatives à l'accès et à la réutilisation des données déposées. SODHA suit le principe 'aussi ouvert que possible, fermé si nécessaire', conformément à l'article 10 de la loi fédérale de 2016 sur la réutilisation de l'information du secteur public et à la directive européenne PSI. Concrètement, cela signifie que les données de recherche déposées dans l'infrastructure SODHA sont en principe accessibles sans restriction pour consultation et réutilisation, mais qu'il est néanmoins possible aux déposants de limiter l'accès à leurs données. Les chercheurs choisissent librement les conditions de consultation et de réutilisation des datasets qu'ils déposent. SODHA leur apporte d'ailleurs des conseils sur la protection des données à caractère personnel et des intérêts commerciaux, notamment en cas d'accord avec des tiers. SODHA ne peut être tenu responsable des conditions particulières fixées par le déposant.

SODHA propose trois régimes d'accès et de réutilisation, comportant différentes options en termes de citation des auteurs, d'accès et de réutilisation des données. Les déposants peuvent en outre fixer des conditions spécifiques d'accès et de réutilisation. En cas d'accès restreint, SODHA met les fichiers de données, ou des parties de ceux-ci, à la disposition des utilisateurs uniquement s'ils ont obtenu du déposant la permission d'accéder aux données. Le déposant peut imposer un embargo sur la consultation et la réutilisation de ses données de recherche pour une période fixe allant jusqu'à un an, par exemple en prévision d'une publication. Ce délai peut être renouvelé à la demande expresse du déposant. D'autres conditions de réutilisation peuvent être fixées, comme l'obligation de citer les auteurs des données, ce qui contribue à la transparence scientifique et à la reconnaissance du travail de recherche. Dans ce cas, une licence *Creative Commons Attribution 4.0* peut être choisie. Si la réutilisation des données de recherche n'est pas soumise à des conditions particulières, une licence *Creative Commons 0 1.0* sera applicable par défaut. Le déposant pourra par ailleurs limiter la réutilisation à la seule recherche scientifique. Dans ce cas, une licence spécifique 'Attribution – Uniquement à des fins de recherche scientifique' sera applicable. En bref, les trois régimes d'accès et de réutilisation des données sont : CC-BY ; *Scientific Purpose Only* ; CCO.

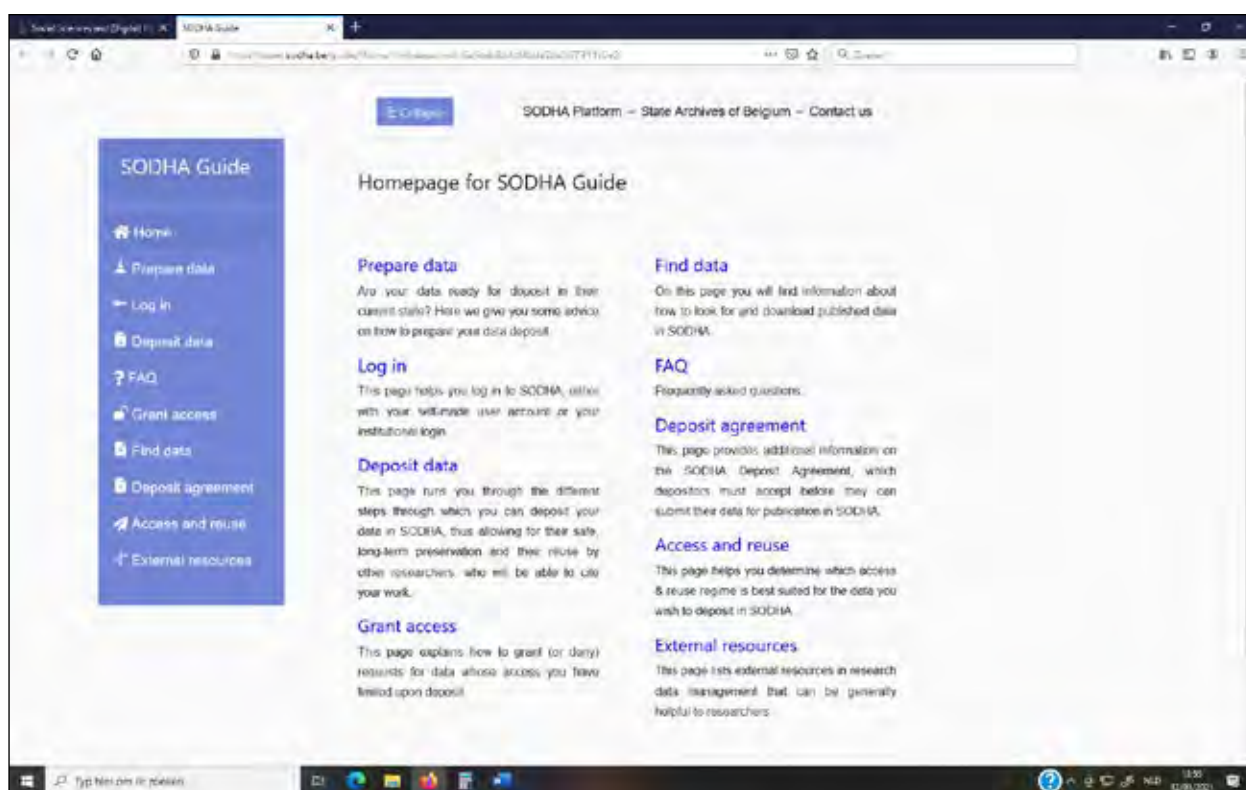
## SODHA est conforme aux exigences du RGPD

En tant que responsable du traitement des données, SODHA offre aux déposants toutes les garanties de protection des données personnelles tant en ce qui concerne les données relatives aux utilisateurs de la plateforme que par rapport aux données de recherche déposées. La responsabilité de signaler la présence de données personnelles dans un dataset incombe au déposant. Nous recommandons de déposer de préférence des données anonymisées ou pseudonymisées. Si tel ne peut être le cas, le consentement des personnes concernées doit être clairement mentionné. Une procédure distincte est d'ailleurs prévue pour déposer des données personnelles sensibles. Les métadonnées descriptives sont saisies directement dans Dataverse, mais les datasets eux-mêmes sont transférés via la procédure classique de dépôt électronique sécurisé mise en place par les Archives de l'État pour collecter les archives numériques des services publics.

Un manuel complet est disponible via un guide en ligne à l'adresse <https://www.sodha.be/guide/Home.html>. Ce guide est constamment mis à jour afin que l'utilisateur dispose toujours des informations les plus récentes.

## SODHA, built for the future

Maintenant que la plateforme SODHA est opérationnelle, nous encourageons les chercheurs à l'utiliser au maximum. Les garanties offertes par la plateforme devraient tempérer leur crainte d'une réutilisation à mauvais escient de leurs données. Bien que les organismes de financement de la recherche encouragent le dépôt



Page d'accueil du *SODHA Guide*, le manuel d'utilisation de plateforme SODHA.

de datasets dans des archives sécurisées de données, il reste encore beaucoup à faire pour informer et sensibiliser les chercheurs à l'importance du partage des données de la recherche et au rôle qu'une plateforme telle que SODHA peut jouer dans ce domaine.

Des travaux sont également en cours pour intégrer davantage SODHA dans les infrastructures et services de recherche nationaux et internationaux. Tout d'abord, une intégration dans le moteur de recherche des Archives de l'État est prévue, ce qui permettra de valoriser les métadonnées des datasets déposés dans SODHA via *Archives Portal Europe*, *Europeana* et *European Holocaust Infrastructure* (EHRI). Les chercheurs et les données qu'ils ont déposées pourront ainsi bénéficier d'une vitrine européenne via SODHA. L'échange automatique de données avec des infrastructures qui collectent des données relatives aux chercheurs, comme le portail FRIS flamand, est également en cours d'analyse. Cela permettra d'accroître la visibilité des données de recherche et des chercheurs dans les classements internationaux. La sécurité des données déposées est garantie par l'intégration dans le dépôt électronique des Archives de l'État et la plateforme de conservation à long terme financée par la Politique scientifique fédérale belge (BELSPO). Enfin, par le biais du projet BRAIN-be BISHOPS, BELSPO soutient la *finetuning* de SODHA en vue de répondre aux exigences spécifiques des sciences humaines. Une éventuelle extension à d'autres disciplines est également envisagée.

SODHA fera donc à terme partie d'un *Open Science Cloud* belge et européen et apportera ainsi une contribution importante à la recherche scientifique au niveau belge, européen et mondial.

## Conclusion

Depuis 2020, la Belgique dispose d'une plateforme durable pour le stockage sécurisé des données de recherche en sciences humaines et sociales. Cette plateforme donne aux chercheurs et aux institutions belges la possibilité de déposer de manière sûre leurs données, fruit d'un dur labeur, de les conserver pour l'avenir et de les mettre à la disposition de leurs collègues chercheurs à des fins de réutilisation. SODHA répond à toutes les exigences techniques pour préserver durablement les données déposées. Contrairement à certaines plateformes commerciales, SODHA est totalement transparente et s'inscrit dans un cadre juridique qui offre des garanties tant aux utilisateurs qu'aux déposants.

Nous vous invitons à visiter le site [www.sodha.be](http://www.sodha.be) et à y déposer vos données de recherche et à les ouvrir à la réutilisation.

SODHA organise régulièrement des webinaires où vous apprendrez comment trouver, télécharger et déposer des données sur la plateforme. Plus d'informations via notre site web, twitter : @SODHA\_BE ou linkedIn : Archives des sciences sociales et humaines numériques - SODHA ([www.linkedin.com/company/social-sciences-and-digital-humanities-archive-%E2%80%93-sodha](http://www.linkedin.com/company/social-sciences-and-digital-humanities-archive-%E2%80%93-sodha))



## Les auteurs

Rolande Depoortere, Freya de Schamphelaere, Laura Van den Borre, Benjamin Peuch, Jean-Paul Sanderson et Johan Van der Eycken

# SORCIÈRES AVANT LA LETTRE

## Une nouvelle sélection de manuscrits au KBR museum

Jusqu'au 24 avril 2022, le KBR museum présente une nouvelle sélection de manuscrits de la Librairie des ducs de Bourgogne ainsi qu'un focus thématique : *Sorcières avant la lettre*. Les documents exposés vous proposent de découvrir, de manière nuancée, les images et la réalité des femmes au XVe siècle, avant que ne s'impose dans nos contrées la figure sombre de la sorcière.

### Pas de chasse aux sorcières au Moyen Âge

*Sorcières avant la lettre* pointe du doigt un anachronisme bien ancré dans nos imaginaires. Au départ, un constat historique : la chasse aux sorcières au sens où nous l'entendons aujourd'hui - la persécution systématique des femmes sous prétexte d'association avec le diable et de pratiques obscures - n'est pas une réalité médiévale.



Au Moyen Âge, le crime d'hérésie n'est pas encore associé de préférence au genre féminin. La figure sombre de la sorcière commence à s'imposer à la fin du XVe siècle, notamment sous l'impulsion de traités de démonologie visant à reconnaître et éliminer physiquement la sorcellerie. La hantise cléricale des menées satanistes s'amplifie progressivement mais ce n'est qu'à partir du XVIe siècle, avec un pic au XVIIe, que les juridictions inquisitoriale et laïque mènent des milliers de procès, en grande majorité contre des femmes.

Les bûchers s'enflamment donc massivement en parallèle à la Renaissance, aux Temps dits modernes, qui prônent pourtant l'humanisme, la raison et la science. Il faut attendre le XVIIIe siècle pour que les dernières braises s'éteignent en Europe.

Le Moyen Âge précède donc la 'chasse aux sorcières' et le cortège de soupçons et de préjugés qu'elle fera peser sur les femmes même bien après sa fin. La collection des manuscrits bourguignons, avec ses miniatures, récits et témoignages, offre une fenêtre privilégiée sur la manière dont la condition féminine et la magie sont vues et vécues juste avant la hausse vertigineuse des procès et des condamnations.



Figure 1 : Jean Tinctore, *Invectives contre la secte de vauderie*. Pays-Bas méridionaux (Bruges ?), entre 1460 et 1467, ms 11209, fol. 3r. Scène de sorcellerie : des vaudois honorent un bouc, incarnation du diable. Dans le ciel, deux démons emmènent des adorateurs et des adoratrices de Satan pour assister aux maléfices. © KBR

La sélection de manuscrits fournit autant de pistes pour enquêter sur le terreau où s'enracinera la persécution des sorcières. 'Avant la lettre' donc avant l'état final, définitif, du stéréotype. Sur ces bases, se dessine un imaginaire qui pèsera finalement sur la liberté de toutes.

## Les angoisses d'une époque charnière

La répression de la sorcellerie, hérésie redoutée, concernait au XV<sup>e</sup> siècle à la fois des réputés sorciers et sorcières. Dans le ciel du *Traité contre la secte de vauderie* (figure 1), des hommes et des femmes volent vers le sabbat en chevauchant des démons.

La phobie du complot satanique s'accroît à la fin du siècle, menant à la réglementation autour de pratiques superstitieuses qui bénéficiaient jusque-là d'un certain flou. Ainsi, la divination et la cartomancie dont les manuscrits attestent la pratique tolérée, sont définies et condamnées car désormais associées au Malin.

En parallèle, la science institutionnalisée, apanage masculin, récupère l'autorité médicale : la méfiance envers celles qui connaissent les remèdes et les formules des soins s'ancre dans la société. Les autorités religieuses, étatiques et académiques dessinent progressivement le cadre de la chasse aux sorcières, déterminant la perte de nombreux droits sociaux et de nombreuses vies.

## Une mosaïque à recomposer

Les ouvrages exposés mettent en valeur des figures féminines brillantes, fortes, cultivées, inattendues ou tristement oubliées. Elles peuplent les Pays-Bas méridionaux avant la déferlante des dénonciations et procès. Multiples facettes d'un vaste spectre, elles vivent en communauté à l'intérieur des béguinages, travaillent et bénéficient d'une relative indépendance, s'affirment dans la politique, contribuent en tant que mécènes à l'épanouissement des arts. Elles détiennent des savoirs ancestraux incontestés et, en tant que guérisseuses et sages-femmes, font autorité en matière médicale. Elles commandent, lisent et collectionnent des manuscrits enluminés. Elles tiennent également la plume ou le pinceau.

Certes, ces privilèges n'étaient pas accordés équitablement à toutes les femmes, l'extraction sociale constituant toujours une contrainte de poids. Les représentations féminines issues de classes défavorisées restent rares et biaisées.

*'Le plus souvent dans l'histoire, 'anonyme' était une femme' - Virginia Woolf*

*Les documents d'archives témoignent de la présence d'apprenties et d'exercantes inscrites à la guilde des métiers du livre. Des copistes y côtoient des parchemineuses, des enlumineuses (le mot 'enluminesse' est attesté en français depuis le XIII<sup>e</sup> siècle) et des relieuses. À l'exception toutefois de récentes études, leur travail est largement resté dans l'ombre. Quand on énumère la longue série de noms attribués à des 'maîtres anonymes', il y a fort à parier que nombre d'entre eux sont plutôt des 'maîtresses'...*



Figure 2 : Jacques de Voragine, *Legenda aurea* (Version française de Jean de Vignay). France, début du XV<sup>e</sup> siècle, ms. 9228, fol. 48v. *Sainte Agnès* © KBR

## Proies et projections de l'imaginaire

Les personnages de fiction illustrent des représentations médiévales du féminin, dans des œuvres la plupart du temps écrites par des hommes. Dotées de pouvoirs plus ou moins surnaturels, certaines de ces figures interrogent la perception de la

puissance et du corps des femmes, entre peur et attrait, bénédiction et contrôle.

Sibylles, voyantes et magiciennes trouvent leur place au même rang que les prophètes bibliques. Des vies de saintes mettent en scène le courage et le martyre de femmes qui refusent le mariage,



Figure 3 : *Recueil d'histoires pieuses*. Pays-Bas méridionaux (Brabant), première moitié du XIVe siècle, ms. 9229-30, fol. 43r. *Miracle de Marie allaitant le religieux alité*. © KBR



Figure 4 : Christine de Pizan, *La Cité des dames*. Pays-Bas méridionaux, 1460-70, ms. 9235-37, fol. 3r. *Christine de Pizan lisant dans son cabinet de travail*. © KBR



Figure 5 : Christine de Pizan, *Le Livre de la Cité des dames*, France (Paris), début du XVe siècle, ms. 9393, ff. 2v-3r. *Apparition de trois dames couronnées, Droiture, Raison et Justice, à Christine de Pizan et construction de la Cité*. © KBR

à grand renfort d'épisodes magiques parfois spectaculaires tels que l'apparition d'une pilosité salvatrice (comme dans l'histoire de sainte Agnès, voir figure 2). La Vierge Marie, incarnation de la mère, se présente aussi comme une déesse dont la lactation est le superpouvoir (figure 3) ou comme une guerrière terrassant le diable.

Les exemples de misogynie abondent également. La tension autour du rôle et du statut des femmes est telle qu'elle va donner lieu au premier débat littéraire écrit de l'histoire francophone, portant sur les valeurs exprimées dans le célèbre *Roman de la Rose*. Cette 'Querelle des femmes' oppose clercs, écrivains et intellectuels. À la tête des 'Champions' des dames, l'écrivaine Christine de Pizan (figure 4), qui dédie toute son œuvre à la défense des femmes, leurs vertus, leur place dans le monde et prend ouvertement position face à la misogynie ambiante.

## Un Moyen Âge d'une étonnante actualité

Les manuscrits vous proposent une photographie de la fin du Moyen Âge dont le constat, tout en nuances et souvent étonnant, évoque les questions actuelles autour des rapports des genres. Au cours des mois à venir, une série de conférences, d'activités et d'ateliers permettront de nuancer les stéréotypes entourant encore la figure de la sorcière. N'hésitez donc pas à consulter régulièrement l'agenda de KBR via [www.kbr.be/fr/agenda](http://www.kbr.be/fr/agenda).

### Plus

Ce focus thématique vous est proposé au sein du parcours général du KBR museum. Parmi les 160 œuvres exposées, une quarantaine de manuscrits apportent un éclairage sur cette thématique.

Le focus thématique est compris dans le prix du billet d'entrée du KBR museum.

*Sorcières avant la lettre* fait écho à l'exposition *Witches* qui se tient à l'Espace Vanderborght à Bruxelles, organisée par ULB Culture, jusqu'au 16 janvier 2022.

*Sorcières avant la lettre* au KBR museum, Mont des Arts 28 à 1000 Bruxelles. Ouvert du mardi au dimanche de 10h à 17h. Fermé le lundi et certains jours fériés, infos et tickets sur [www.kbr.be/fr/museum](http://www.kbr.be/fr/museum)

# Suivre le changement global en Antarctique grâce aux satellites

Les pôles jouent un rôle primordial dans le système climatique et sont à la fois acteurs et particulièrement sensibles aux effets du réchauffement. Leur surveillance étroite est donc fondamentale. Le projet STEREO MIMO (Monitoring melt where Ice Meets Ocean), qui s'est achevé il y a quelques mois, avait pour objectif d'améliorer la surveillance de la calotte glaciaire de l'Antarctique dans le contexte d'un monde en mutation. Grâce à l'imagerie satellitaire SAR (Synthetic Aperture Radar), le projet a apporté des avancées majeures dans la quantification de paramètres utilisés dans les modèles de prédiction du comportement de la calotte glaciaire.

## L'énergie fossile, un luxe qui coûte cher

L'utilisation des énergies fossiles a marqué le début de l'Anthropocène. Bien que les énergies renouvelables soient en plein développement, les combustibles fossiles, émetteurs de gaz à effet de serre, représentent encore plus de 80 % de la consommation mondiale d'énergie.

Avec une population proche des 8 milliards d'habitants (toujours en croissance) et une émission annuelle de CO<sub>2</sub> (ou équivalent) autour de 6-7 tonnes par habitant (stable depuis 1970), l'humanité laisse une empreinte gigantesque. Le réchauffement dû à l'augmentation des gaz à effet de serre, connu depuis 125 ans maintenant, n'est depuis longtemps plus seulement une théorie ; nous l'observons et l'expérimentons au quotidien.

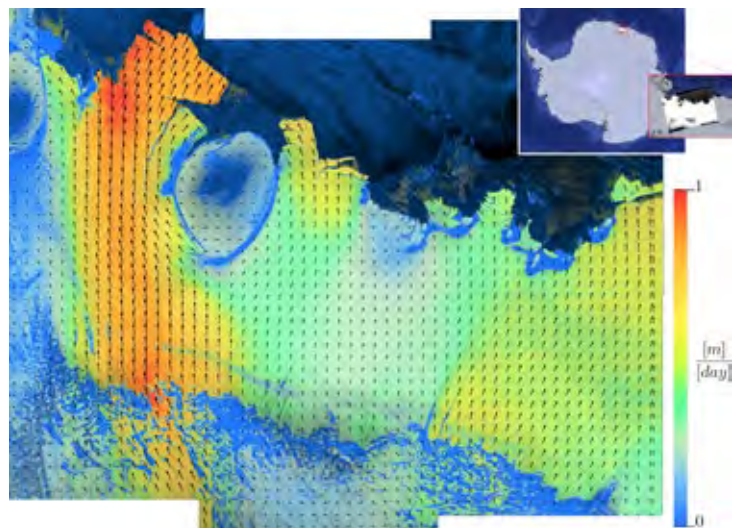
### Les excès de vitesse de la glace surveillés par l'interférométrie

Plusieurs techniques utilisant les images SAR permettent de cartographier les déplacements de surface de la glace et d'en déterminer les vitesses. L'une de ces techniques est l'interférométrie. Chaque pixel d'une image SAR contient une information d'amplitude, liée à la réflectivité du sol et une information de phase, liée à la distance entre le satellite et le sol. Un interférogramme est obtenu en soustrayant la phase de deux images prises à des dates différentes. Un déplacement provoquera un déphasage dans l'interférogramme.

Les océans absorbent une part importante du réchauffement et l'un des impacts les plus visibles et directs est l'élévation du niveau de la mer, dévastatrice alors que la majorité des grandes villes sont situées dans des zones côtières. Le réchauffement est amplifié dans les régions polaires et le dépassement de points de basculement critiques pourrait entraîner une fonte irréversible des calottes glaciaires (Groenland et Antarctique), qui provoquerait une élévation du niveau de la mer de plusieurs mètres au cours des prochains siècles.

## L'Antarctique, un barrage prêt à s'effondrer

L'Antarctique est la plus grande masse de glace sur Terre, posée sur un continent rocheux. Sous l'effet de la gravité, cette masse se déplace vers l'océan. À son contact, la glace se met à flotter et forme une plateforme de glace flottante. Ces plateformes, qui entourent 70 % de l'Antarctique, jouent un rôle important dans la stabilité de la calotte glaciaire. Elles constituent en quelque sorte la ceinture de sécurité de l'Antarctique. Elles agissent en effet comme des régulateurs de l'écoulement de la glace en exerçant ce qui est appelé un effet de contrefort (par des contraintes locales dans une baie ou via des éléments topographiques).



Vitesses de déplacements de la glace obtenues par interférométrie sur la plateforme de glace Roi Baudouin.



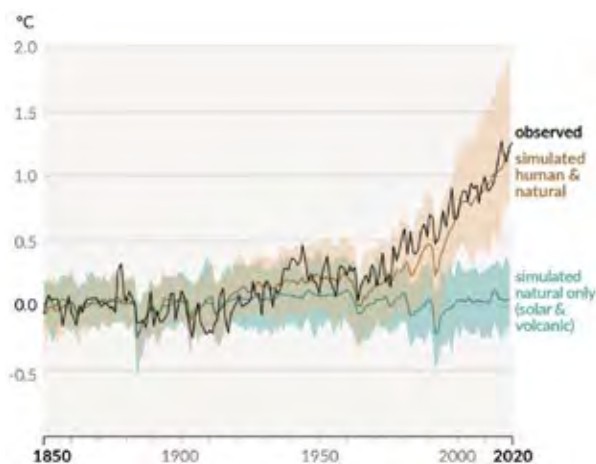
A l'équilibre, une plateforme de glace gagne autant de glace qu'elle n'en perd. En raison de facteurs comme l'augmentation de la fonte basale et du vêlage induits par le réchauffement, cette stabilité est compromise pour un nombre croissant de zones autour de l'Antarctique. L'amincissement ou l'endommagement des plateformes de glace provoque une accélération de l'écoulement de la glace et un recul de la ligne d'ancrage, c'est-à-dire de la limite entre la glace flottante et la glace sur terre.

L'Antarctique perd de la glace à un rythme croissant, passant de 40 Gt/an dans les années '80 à 250 Gt/an au cours de la dernière décennie. L'Antarctique est le plus grand contributeur potentiel à l'élévation du niveau de la mer. Sa contribution, qui était de 7 % pour la période 1971-2001, a atteint 14 % depuis 2016.

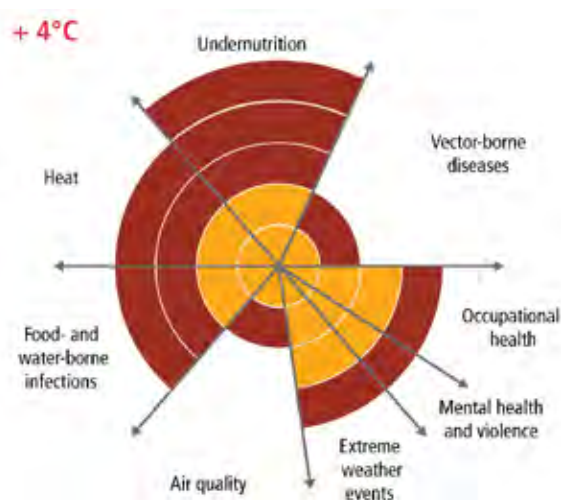
Contrairement à d'autres événements indésirables induits par le réchauffement climatique, l'élévation du niveau de la mer est irréversible à long terme et est susceptible de provoquer un bouleversement complet de la répartition géographique de la population mondiale. Comprendre les mécanismes du comportement des plateformes de glace est donc crucial pour l'étude des impacts du changement climatique. Le projet MIMO est né de cette perspective.

## La télédétection SAR, un couteau suisse pour surveiller les plateformes de glace

Les plateformes de glace sont soumises à de multiples phénomènes géophysiques qui régissent leur comportement et participent à leur déstabilisation. Certains modèles tentent d'estimer leur vitesse de déplacement et leur épaisseur à partir d'observations visuelles des dommages qu'elles subissent, plutôt que sur base de mesures quantitatives. De même, l'intégration de la propagation des crevasses n'est pas couplée à des observations. Les campagnes de terrain sont en effet difficiles en Antarctique ; limitées aux périodes estivales, en raison de l'hiver froid et sombre, leur couverture spatiale est souvent restreinte et leur résolution ponctuelle.



Le changement de température à la surface du globe observé et simulé à l'aide d'une combinaison d'éléments humains et naturels ou uniquement à l'aide d'éléments naturels. Source : GIEC, 2021.



Les conséquences du réchauffement global sont innombrables. Ci-dessus, un graphe montrant l'évaluation des risques liés au réchauffement climatique. Source : Rapport AR5 du GIEC, 2014.

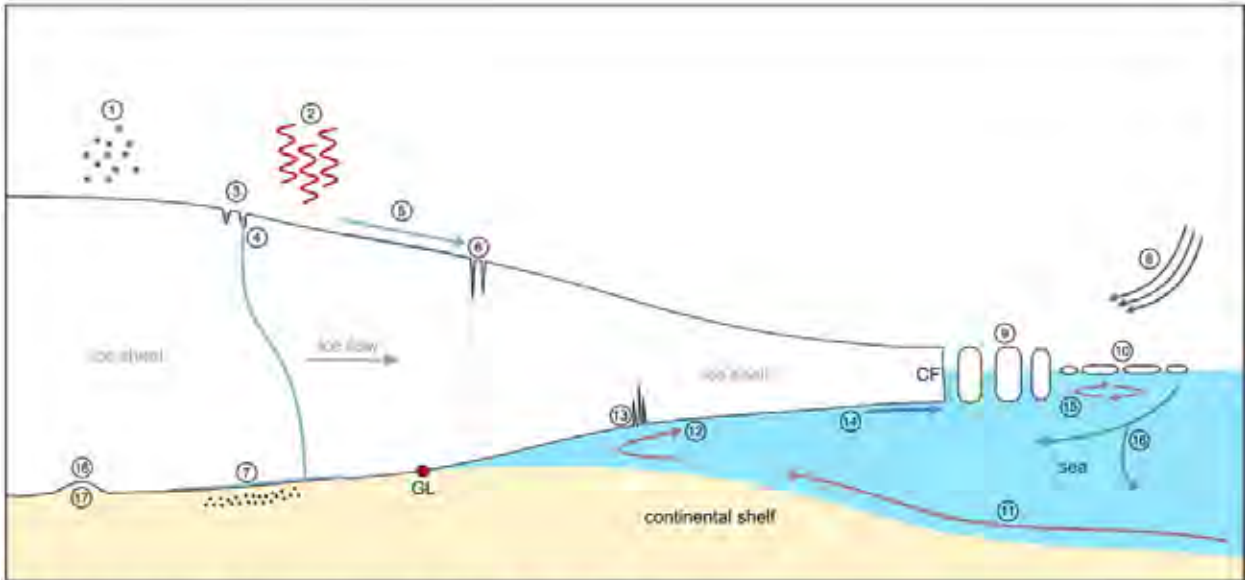
Grâce aux recherches menées dans le cadre de MIMO, il est désormais possible de combiner les produits de télédétection SAR avec des techniques conçues à l'origine pour l'imagerie médicale pour détecter automatiquement les fissures et surveiller la localisation du front de vêlage.

La technique a été testée sur le glacier de Pine Island qui souffre d'une dynamique forte, d'importants événements de vêlage et d'un recul général du plateau glaciaire. L'équipe a utilisé près de 200 acquisitions SAR du satellite Sentinel-1, de 2016 à 2020, avec 6 jours de décalage entre les images. La méthode nécessite une première étape comprenant une série robuste de prétraitements avec étalonnage des images, transformations logarithmiques pour améliorer le contraste, filtrage du speckle (bruit) et projection stéréographique polaire. Ensuite, le filtre SATO utilisé en imagerie médicale 3D et adapté par l'équipe aux données satellitaires, permet de détecter les pixels correspondant aux structures endommagées. Appliquée sur des images prétraitées, la méthode fournit comme résultat final la localisation des fissures et du front de vêlage et a permis de mettre en évidence des événements importants.

La technique développée par l'équipe du projet MIMO constitue donc une avancée majeure pour la surveillance des fractures et ouvre la porte aux résultats quantitatifs.

En conclusion, le projet MIMO a contribué à mieux caractériser l'impact des facteurs climatiques dans la surveillance de l'inlandsis. L'étude des changements à petite échelle (dans l'espace et dans le temps) sur les plateformes de glace sont maintenant possibles grâce aux images SAR et aux techniques développées.

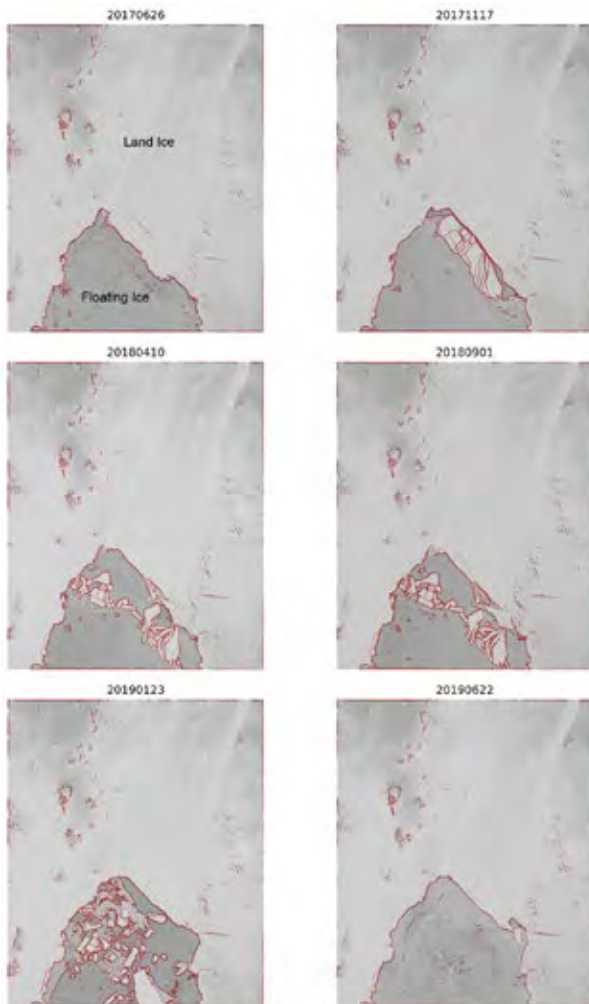
>>



**Processes and features of an ocean-terminating outlet glacier system**

- |                       |                    |                    |                       |                     |                         |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| ① Snow accumulation   | ⑤ Surface melting  | ⑧ Iceberg presence | ⑬ Basal crevassing    | ⑰ Bedrock geometry  | Disintegration scenario |
| ② Atmospheric warming | ⑥ Hydrofracturing  | ⑩ Sea ice presence | ⑭ Basal refreezing    | ⑱ Glacier geometry  |                         |
| ③ Supraglacial lakes  | ⑦ Basal conditions | ⑪ CDW upwelling    | ⑮ Tidal mixing        | GL = Grounding line |                         |
| ④ Moulin              | ⑧ Wind conditions  | ⑫ Basal melting    | ⑯ High-salinity water | CF = Calving front  |                         |

Exemples de processus géophysiques influençant les plateformes de glace : vêlage, hydrofracturation, crevasses, précipitations, fonte de surface/basale, remontée d'eau profonde circumpolaire, vent catabatique, mélange de marée, migration de la ligne d'échouage, etc. Source : Dirscherl, M. et al (2020 - [www.mdpi.com/2072-4292/12/7/1203](http://www.mdpi.com/2072-4292/12/7/1203)).



Les résultats obtenus durant le projet MIMO participent à une meilleure compréhension globale de la science physique du changement climatique. Les publications scientifiques qui ont découlé de cette recherche ont d'ailleurs d'ores et déjà été utilisées pour l'élaboration de documents officiels, tels que le récent rapport AR6 du GIEC, nécessaires à la production de documents techniques qui aident les décideurs politiques à prendre les bonnes décisions concernant l'Accord de Paris.

**Plus**

Projet STEREO MIMO (Monitoring melt where Ice Meets Ocean) :

<https://eo.belspo.be/mimo>

Cet article a été écrit avec l'aide de Quentin Glaude, assistant-doctorant au Laboratoire de Glaciologie de l'Université libre de Bruxelles (ULB) et au Centre Spatial de Liège (CSL).

Détection de la propagation des fissures et du front de vêlage à partir de la série chronologique 2017-2020.

# SCIENCE connection

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

## Editeur responsable :

Pierre Bruyere  
WTC III  
Boulevard Simon Bolivar, 30 - boîte7  
B-1000 Bruxelles

## Coordination :

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

## Ont collaboré à ce numéro :

Maite Bauwens (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique), Joëlle Bertrand (Politique scientifique fédérale), Laurence Burnotte (Politique scientifique fédérale), Peter De Cat (Observatoire royal de Belgique), Rolande Depoortere (Archives générales du Royaume), Freya de Schamphelaere (Archives générales du Royaume), Stéphanie Fratta (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique), Hanna Huysegoms (Bibliothèque royale de Belgique), Robrecht Janssen (Institut royal du Patrimoine artistique), Eglantine Lebacqz (Bibliothèque royale de Belgique), Jacques Lust (Politique scientifique fédérale), Jean-François Müller (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique), Thierry Pauwels (Observatoire royal de Belgique), Lê Binh San Pham (Observatoire royal de Belgique), Benjamin Peuch (Archives générales du Royaume), Patrick Ribouville (Politique scientifique fédérale), Jean-Paul Sanderson (Archives générales du Royaume), Jenny Stavrou (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique), Martine Stélandre (Politique scientifique fédérale), Laura Van den Borre (Archives générales du Royaume) et Johan Van der Eycken (Archives générales du Royaume).

Les auteurs sont responsables du contenu de leur contribution.

Photo de couverture: Les maisons Art Nouveau à Bruxelles, fin du XIXe-début du XXe siècle, nommées au premier Challenge Patrimoine. *Départ de l'escalier d'honneur*, bois et fer forgé recouvert d'une peinture dorée, Hôtel Solvay, Bruxelles, Victor Horta (architecte), 1894-1903. © KIK-IRPA, Bruxelles

Erratum: Science Connection 65, août-septembre 2021, p. 17. Une petite erreur s'est glissée dans la légende qui accompagne la photo introduisant l'article *Papy était-il un héros ?* En effet, le cliché illustre le travail clandestin du service de renseignements 'Marc', et non 'Mar'.

## Tirage :

12.000 exemplaires en français et en néerlandais.

## Abonnement :

www.scienceconnection.be

Tous les numéros sont disponibles en format PDF.

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.

## Conception graphique et impression :

Gevaert Graphics

Imprimé avec des encres végétales sur un papier respectueux de l'environnement.

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 2022

Reproduction autorisée moyennant citation de la source.

Interdit à la vente.



# WE ARE STARS



**NEW**

## NOUS SOMMES DES ÉTOILES

Bienvenue dans le chapiteau du temps pour découvrir l'histoire de l'Univers, la formation des étoiles et des planètes, les premières formes de vie et l'évolution des espèces vivantes jusqu'à aujourd'hui.

**NEW**

## WE ARE STARS

Welkom in onze Tijdtent voor een reis doorheen tijd en ruimte: het ontstaan van sterren en planeten, van het eerste leven op Aarde en de evolutie tot op heden.

**NEW**

## WE ARE STARS

Welcome on a journey through time and space : explore the secrets of our cosmic chemistry, and our explosive origins. Connect life on Earth to the evolution of the Universe.

[WWW.PLANETARIUM.BE](http://WWW.PLANETARIUM.BE)



.be