

SCIENCE connection

60

mai-juin-juillet 2019



www.scienceconnection.be
paraît cinq fois l'an
bureau de dépôt: Bruxelles X
/ P409661
ISSN 1780-8456



recherche



espace



nature



art

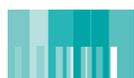


documentation

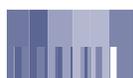


belspo .be

Le magazine de la POLITIQUE SCIENTIFIQUE FÉDÉRALE



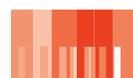
recherche



espace



nature



art



documentation

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.

Etablissements scientifiques fédéraux



Archives générales du Royaume
Archives de l'Etat dans les provinces
www.arch.be



Koninklijke Bibliotheek van België
Bibliothèque royale de Belgique

Bibliothèque royale de Belgique
www.kbr.be

CINEMATEK

Cinémathèque royale de Belgique
www.cinematek.be



Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique
www.fine-arts-museum.be



Musées royaux d'Art et d'Histoire
www.mrah.be



Institut royal du Patrimoine artistique
www.kikirpa.be



Institut royal des Sciences naturelles de Belgique / Muséum des Sciences naturelles
www.sciencesnaturelles.be



Musée royal de l'Afrique centrale
www.africamuseum.be



www.belnet.be



Observatoire royal de Belgique
www.astro.oma.be



Institut royal météorologique de Belgique
www.meteo.be



Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique
www.aeronomie.be



Planétarium de l'Observatoire royal de Belgique
www.planetarium.be

Institutions partenaires



Institut Von Karman
www.vki.ac.be



Fondation universitaire
www.fondationuniversitaire.be



Fondation Biermans-Lapôtre
www.fbl-paris.org



Academia Belgica
www.academiabelgica.it

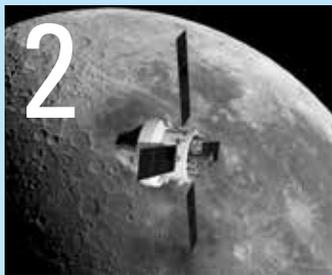


Académie royale des Sciences d'Outre-mer
www.kaowarsom.be



Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique
www.academieroyale.be

Sommaire



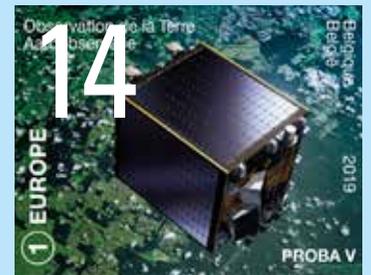
2
La Lune : entre rêve
et réalité

8

L'archéomagnétisme
et le patrimoine
culturel en Afrique
du nord



12
In memoriam
Jacques Wautrequin



14
Nouveaux timbres
*La Belgique dans
l'espace*

16

Quand l'Observatoire
royal bat la mesure



20
Trésors de
procédure



24
La Planeterrella

28

L'empreinte
écologique des
premiers hommes
modernes



30
Les petits arbres
sortent de l'ombre
des forêts



35
IDEALiC



38
InSight explore
l'intérieur profond de
Mars



42
Ours & Nounours



46
Demogen

La Lune : entre rêve et réalité

Vinciane Dehant Science et Culture au Palais royal 2019

Fig. 1 : Image de la Lune prise au moment de l'occultation de Aldébaran (Alpha Tau) le 23 février 2018 sur le site de la station scientifique de Humaïn (prov. Luxembourg). Un réfracteur $f/7$ de 18-cm d'ouverture équipé d'une caméra Nikon D810a a été utilisé avec un temps de pose de $1/50$ sec et une sensibilité ISO 800. © Observatoire royal de Belgique/Paul Van Cauteren & Patricia Lampens

Cet été, le Palais royal de Bruxelles ouvre ses portes au public du 23 juillet au 25 août et propose une nouvelle édition de *Science et Culture au Palais*. Imaginée par le SPP Politique scientifique fédérale (Belspo), soutenue par le SPF Chancellerie du Premier Ministre, l'exposition *La Lune : entre rêve et réalité* commémore les cinquante ans d'un des rêves les plus fous de l'Humanité : marcher sur la Lune !

Les dix Établissements scientifiques fédéraux (ESF) et l'Institut géographique national (IGN) participent à l'événement. Ils sont rejoints par le Centre belge de la Bande dessinée qui célèbre cette année ses trente ans et expose, tout au long du parcours, une sélection judicieuse de couvertures ou de planches de bandes dessinées, au format XXL, qui racontent la Lune à travers quelques auteurs belges du 9^e Art.

La Lune : entre rêve et réalité permet à Belspo de sensibiliser un large public aux activités de recherche scientifique et à celles de conservation du patrimoine dans les Établissements scientifiques fédéraux. Science et culture se rejoignent autour de la thématique lunaire par le biais d'une sélection multidisciplinaire. L'occasion de lever le voile sur un astre fabuleux qui n'a pas fini de nous surprendre...

Préambule

Depuis la nuit des temps, la Lune initie le rêve, l'évasion, le voyage imaginaire. Sa troublante lumière, mystérieux reflet des rayons solaires, suscite émerveillement et questionnement. Elle interpelle celui qui la regarde et l'observe.

Archétype universel, la Lune est omniprésente dans les mythes fondateurs, les légendes ancestrales, les croyances, les rites et les religions de nombreuses civilisations. Intrigante et captivante, elle est la muse secrète des artistes, poètes, écrivains ou philosophes. Dans l'imaginaire collectif, son image véhicule plusieurs symboles : féminité, fertilité, monde intérieur, naissance et mort, clarté et obscurité, éternel retour, sphère nocturne, etc. Le mysticisme qui l'entoure entretient des liens avec les fantasmes et la folie. Elle est l'astre incontournable des traités d'astrologie et d'alchimie. Elle inspire les voyages imaginaires de grandes œuvres littéraires, de *Cyrano de Bergerac* à Jules Verne.

Sur un autre registre, elle pique la curiosité des scientifiques. Croissante ou décroissante, tantôt majestueuse, discrète, voire invisible, la Lune nous offre des repères spatio-temporels essentiels à la mesure du temps. Déjà au IV^e siècle avant notre ère, Aristote relevait la soumission de la Terre à la cadence des cycles lunaires et au rythme de ses mouvements... Depuis les balbutiements de l'astronomie antique aux missions spatiales du XXI^e siècle, l'intérêt pour l'astre voisin de la Terre sera sans cesse ravivé. L'invention du télescope de Galilée au XVII^e siècle et les



Fig. 2 : Tomioka Eisen (1864-1905)
Jeune femme admirant la pleine lune (un *kuchi-e*)
Xylographie, encre et couleurs sur papier, vers 1900
Musées royaux d'Art et d'Histoire, Inv. JP.6156 (legs Ch. Lefébure, 1943)



Fig. 3 : Tambour à fente de divination- Yaka
N'Koku Ngoombu
Bois et acier (1912)
Africa Museum, Inv. MO.0.0.3410, coll. MRAC Tervuren,
photo J. Van de Vyver, MRAC Tervuren

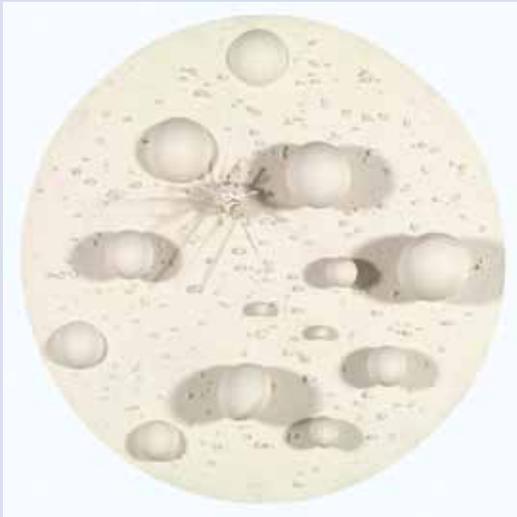


Fig. 4 : Paul van Hoeydonck, *Planetscape II*
Relief circulaire. Eléments de matière plastique et métal sur
panneau de bois peint en blanc, 1963
Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique, Inv. 7054



Fig. 5 : Le roi Baudouin, accompagné du prince Albert et du
prince Philippe au Musée des Sciences naturelles, admirant
le fragment de Lune apporté par l'équipage d'Apollo 11 (24
décembre 1970). Archives du Palais royal, Photos BF, enve-
loppe A901

perfectionnements qui suivirent y contribueront largement. L'Homme ne se lassera plus d'observer ses mouvements de rotation elliptique autour de la Terre, son interaction avec celle-ci, son relief ou ses cratères. Il perfectionnera les tables d'éphémérides, approfondira la compréhension de la mécanique céleste, imaginera des engins spatiaux pour mieux l'approcher, l'observer et l'étudier.

En 1969, lors de la mission Apollo 11, l'alunissage et le contact physique du sol lunaire révolutionnent la Conquête spatiale, initiant une nouvelle ère. Les premiers pas sur la Lune marquent l'Histoire incontestablement : ils dévoilent une partie de son mystère, tout en ravivant le rêve des chercheurs à poursuivre toujours plus loin.

Depuis le XX^e siècle, les créateurs de bandes dessinées racontent la Lune et leur vision de l'espace de leur propre point de vue. Colorées, empreintes d'un regard humoristique, réaliste ou visionnaire, leurs œuvres illustrent la conquête spatiale dans un espace où l'imagination et le réalisme scientifique se croisent de façon incessante. L'envie de décrocher la Lune ne nous rapproche-t-elle pas tous ? Enfants, artistes, chercheurs, philosophes, ... curieux ou tout simplement rêveurs de nature !

L'exposition

La thématique lunaire offre aux Établissements scientifiques et aux Musées fédéraux une belle occasion de magnifier leur pluridisciplinarité transversale. Chaque discipline, d'ordinaire centrée sur sa spécialité, est représentée ici par quelques pièces choisies : photos d'archives ou traités anciens, œuvres d'art, spécimens naturels, planches de bandes dessinées, maquettes d'engins spatiaux ou de corps célestes, instruments de mesure scientifique, etc. La scénographie leur donne sens à travers un parcours libre où des liens suggérés sont tissés entre des matières partageant a priori peu d'éléments communs. Ces disciplines artistiques ou scientifiques permettent au visiteur de voyager entre rêve et réalité, au fil d'un parcours l'attirant aussi bien vers une Lune imaginaire que réelle. Laissons-la exercer son pouvoir de fascination et dévoiler ses enchantements...

Présentés par établissement scientifique, dans une scénographie à livre ouvert, les objets ou les vidéos sont accompagnés de reproductions géantes de bandes dessinées qui leur répondent et leur donnent sens. Voici un avant-goût des évocations qui attendent le visiteur dans la Grande Galerie du Palais royal.

La fine délicatesse des estampes japonaises prêtées par les Musées royaux d'Art et d'Histoire (MRAH) traduit une subtile poésie féminine dans laquelle se fond l'astre lunaire. Le temps suspendu, délicatement couché sur papier, respire un parfum de Lune orientale. Au pays du Soleil-Levant, la célébration de la pleine Lune est bien ancrée dans la tradition. Lors de la fête du *tsukimi*, les japonais contemplant l'astre et le remercie pour ses bienfaits. La Lune est associée aux travaux de récolte et à la fertilité. Tout est calme, méditation et sérénité (fig. 2).

À des milliers de kilomètres de là, la Lune occupe une place centrale dans de nombreux rites africains. Nommé Séléné, en écho à la déesse lunaire grecque, la sœur d'Hélios, le dieu Soleil. Au sein de la tribu Yaka, à Kinshasa et au nord-ouest du Congo, le tambour divinatoire à fente (Africa Museum) rythme les chants de l'oracle divinatoire, les soirs de pleine lune. Il invite la clairvoyance à imprégner le culte et invoque la blancheur lunaire, symbole de fécondité, à éclaircir l'obscurité (fig. 3).

Les Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique (MRBAB) proposent deux œuvres contemporaines dont *Planetscape II* (1963, fig.4), un relief circulaire en métal et plastique sur panneau de bois : vision rêvée de la surface lunaire ? Elle est celle du sculpteur anversois Paul van Hoeydonck, artiste inspiré par le cosmique et l'utopie. C'est lui qui réalise le *Fallen Astronaut*, statuette en aluminium embarquée par la Mission Apollo 15, en 1971 et qui reste, à ce jour, la seule œuvre d'art présente sur la Lune.

Bien réels cette fois, de précieux fragments de pierre lunaire sont sortis des collections de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB) à titre exceptionnel. Rapportés par les astronautes de la Mission Apollo 11, leur étude permet aux scientifiques d'étudier les origines de la Lune, de la Terre et du système solaire en général. Offerts au royaume de Belgique par le Président des États-Unis Richard Nixon en 1969, ils ont par la suite été donnés à l'IRSNB par le Roi Baudouin, dont la fascination pour l'espace et les missions spatiales ne sont plus à rappeler.

Les Archives générales du Royaume (AG) conservent précisément au Palais royal plusieurs photos originales, à valeur historique : l'une montre le Roi Baudouin, les princes Albert et Philippe observant un

fragment de pierre de Lune (fig. 5). D'autres clichés illustrent la réception des astronautes de l'équipage Apollo 11 dans les salons du Palais royal de Bruxelles, en 1969 : Neil Armstrong (1930-2012), Buzz Aldrin (1930-), Michael Collins (1930-) et leurs épouses respectives sont officiellement reçus par le Roi Baudouin et la Reine Fabiola (fig. 6).

Dans un autre registre, prêté par l'Observatoire royal de Belgique (ORB), un gravimètre supraconducteur GWR mesure la pesanteur et ses variations sur la Terre, où le champ d'attraction d'une masse varie selon l'endroit où l'on se trouve. Il offre l'occasion d'établir un lien avec le phénomène des marées, directement influencé par l'attraction gravitationnelle de la Lune et du Soleil sur la Terre ainsi que des mouvements de ces corps célestes (fig. 7). Les recherches en sciences de la Terre menées à l'ORB ont inspiré Peyo, ami de l'ancien directeur de l'ORB, Paul Melchior (1925-2004). Le dessinateur des Schtroumpfs n'hésite pas à illustrer ces travaux de façon amusante, sur une série de cartes de vœux (voir aussi le *Science Connection* 58).

L'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique (IASB) nous conduit vers d'autres Lunes : Ganymède, Europa ou Callisto, les trois plus grands satellites qui évoluent en orbite, autour de la planète Jupiter, à plus de 600 millions de kilomètres de la Terre ! La mission JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer), programmée pour 2022 par l'Agence spatiale européenne (ESA), prévoit de les étudier de plus près. L'IASB



Fig. 6 : Le roi Baudouin et la reine Fabiola reçoivent au Palais Royal de Bruxelles les astronautes d'Apollo 11 et leurs épouses (9 octobre 1969). Archives du Palais royal, Photos BF



Fig. 7 : Le gravimètre à supraconductivité GWR a fonctionné à Uccle de 1982 à 2000. 1982, Observatoire royal de Belgique, Inv. 599

Le Centre Belge de la Bande Dessinée

Jean Auquier et Mélanie Andrieu

Situé au cœur de Bruxelles, dans le cadre majestueux d'un temple Art Nouveau créé par l'architecte Victor Horta (1906), le Centre Belge de la Bande Dessinée a été inauguré par le Roi Baudouin et la Reine Fabiola le 3 octobre 1989. Consacré à la bande dessinée, le musée met en valeur le patrimoine et la création d'aujourd'hui dans cette discipline artistique appelée communément le Neuvième Art. Il réunit tout ce qui traite de la bande dessinée européenne, depuis ses origines prestigieuses jusqu'à ses développements les plus récents.

Célébrant cette année son trentième anniversaire, ses expositions temporaires et permanentes lui ont déjà permis d'accueillir près de cinq millions de visiteurs. Elles contribuent à faire du musée un lieu vivant, dynamique et attrayant, mettant en lumière les talents d'hier et d'aujourd'hui, sans limite culturelle ou géographique. Mais le Centre Belge de la Bande Dessinée est d'abord un grand musée : son travail de conservation, ses initiatives en matière pédagogique et de soutien à la création, son centre de documentation et sa bibliothèque en font un outil de référence sur la planète BD.

Ambassadeur culturel, le Centre Belge de la Bande dessinée est un projet associatif original encouragé par les pouvoirs publics mais dont les moyens financiers proviennent essentiellement des visiteurs et de ses activités propres. Après trente ans, ses objectifs demeurent la conservation et la promotion de la bande dessinée... ainsi que la sauvegarde et la mise en valeur d'un patrimoine architectural remarquable, deux joyaux de la culture belge !

www.cbdb.be



Fig. 8 : Le satellite JUICE étudiera Ganymède, Callisto et Europa, trois lunes de Jupiter. © Spacecraft : ESA/ATG Medialab ; Jupiter : NASA/ESA/J. Nichols (University of Leicester) ; Ganymède : NASA/JPL ; Io : NASA/JPL/University of Arizona ; Callisto and Europa : NASA/JPL/DLR

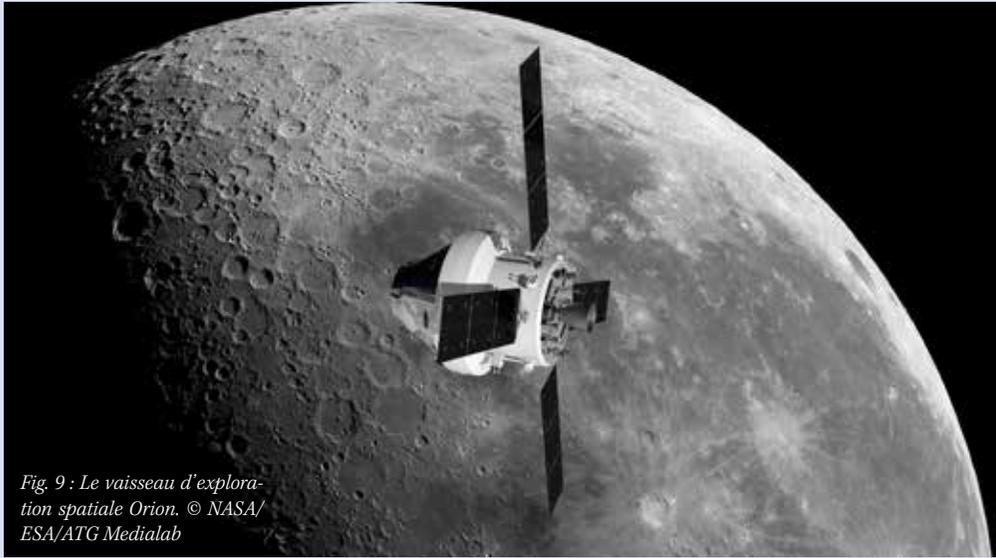


Fig. 9 : Le vaisseau d'exploration spatiale Orion. © NASA/ESA/ATG Medialab



Fig. 10 : Lune, soleil et soucoupe volante, à l'échelle microscopique ! Des champignons et micro-algues. © BCCM



Fig. 11 : Récepteur GPS Trimble Navigation 4000SL USA, 1988, Antenne (mod. 12333) et ordinateur (mod. 12331). Institut géographique national, Inv. G 206

travaille précisément sur un spectro-imageur hyper-spectral, MAJIS (Moons and Jupiter Imaging Spectrometer), un instrument embarqué destiné à observer les caractéristiques des nuages troposphériques, les espèces mineures ou encore les minéraux à la surface de ces lunes glacées (fig. 8).

Le vaisseau d'exploration spatiale Orion de la NASA, avec son European Service Module (ESM), prévoit d'emmener, dès 2022, des astronautes dans des zones spatiales inexplorées, au-delà de l'orbite terrestre basse. Cet engin est capable de gérer un abandon d'urgence, d'approvisionner l'équipage durant le voyage spatial et d'assurer une rentrée dans l'atmosphère, en toute sécurité. L'ESA participe plus spécifiquement à la conception de l'European Service Module (ESM) du vaisseau Orion : ESM fournira l'électricité, l'eau, l'oxygène et le nitrogène ; il gardera le vaisseau à bonne température et en mouvement. Notons que la Politique scientifique fédérale (Belspo) représente la Belgique auprès de l'ESA (fig. 9).

Une composition rassemblant d'étranges clichés de champignons et diatomées (micro-algues) en forme de Lune, de Soleil et de soucoupes volantes nous transporte dans une autre dimension. Ces organismes évoluent dans un espace microscopique, sorte d'univers parallèle, qu'ils racontent à leur façon, tel un voyage dans l'espace ! Ils sont rassemblés par des chercheurs appartenant au Consortium BCCM - Belgian Co-ordinated Collections of Micro-organisms - le centre de recherche de ressources microbiennes et génétiques belge, financé et coordonné par Belspo. Les chercheurs étudient un type de matériel biologique spécifique et ses fonctions au sein du vivant. Certains spécimens observés portent des

noms lunaires : *Idriella lunata*, *Synchaetomella lunatospora*, etc. (fig. 10).

Pendant des siècles, la géolocalisation, comme par ailleurs la mesure du temps, résultaient de l'observation de la Lune et du Soleil depuis la Terre. Au XX^e siècle, fin des années septante, l'envoi de satellites dans l'espace a modifié les enjeux. La Terre se mesurera désormais depuis l'espace. L'Institut géographique national (IGN) propose un appareil récepteur GPS (*Global Positioning System*) première génération, le *Trimble Navigation 4000SL*, destiné à capter des signaux codés émis par des satellites évoluant entre la Terre et la Lune. Utilisé en géodésie, la science qui mesure la Terre pour élaborer des cartes, l'appareil s'est amélioré pour une plus grande précision millimétrique et une correction des erreurs de réflexion et de réflexion d'ondes (fig. 11).

Et de cartes, il en est également question dans deux traités originaux du milieu du XVII^e siècle, prêtés par la Bibliothèque royale de Belgique (KBR) : l'*Atlas coelestis, seu armonia macrocosmica* de Andreas Cellarius (1660) et le traité *Selenographia* de Johannes Hevelius (1647). Ils témoignent de l'intérêt porté par les scientifiques de l'époque pour l'observation de l'astre lunaire et du système solaire en général, grâce à l'invention du télescope. Depuis la Terre, Hevelius représente scrupuleusement la surface lunaire avec un soin minutieux : mers, terres, monts, cratères, etc. Il mêle à ces surprenantes images de la Lune des passages d'auteurs classiques et chrétiens. Très fragiles, ces livres font l'objet de soins scrupuleux apportés à leur conservation (fig. 12).

Celle-ci constitue précisément la spécialité de l'Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA). Sa cellule Conservation-restauration est constituée de plusieurs ateliers dont l'un est précisément spécialisé dans le traitement des papiers. Les différentes étapes du travail de conservation préventive sont ici appliquées à une planche du *Cosmoschtroumpf* de Peyo. La Bande dessinée est elle aussi un ouvrage fragile, susceptible de se dégrader avec le temps, si un certain nombre de précautions ne sont pas prises. La cellule de conservation préventive de l'IRPA travaille actuellement à un projet de conservation, en collaboration avec le Centre belge de la Bande dessinée (fig. 13).

Plus loin, les climatologues de l'Institut royal météorologique (IRM) proposent un vitrail réalisé à l'occasion de l'année internationale de la géophysique, en 1957, installé au premier étage du bâtiment de l'IRM. Orné de motifs illustrant



Fig. 12 : Johannes Hevelius (Jan Höwelcke)
Selenographia sive Lunae descriptio (fig. R – pleine lune/nouvelle lune)
 Gravure sur cuivre (1647)
 KBR, Imprimés anciens et précieux, Inv. II 51.991 C



Fig. 14 : Oeuvre non signée
 Vitrail célébrant l'Année Géophysique Internationale (1957)
 Institut Royal Météorologique, Inv. N/A



Fig. 13 : Peyo, *Le Cosmoschtroumpf*
 © Peyo/IMPS

le Tout cohérent que constituent les sciences géophysiques qui étudient les caractéristiques physiques de la Terre ou d'autres planètes, le vitrail montre la Terre, le Soleil, l'Espace, les étoiles ainsi que la Lune. Au cœur de cette surface colorée représentant un espace réinventé, le Soleil a rendez-vous avec la Lune pour l'éclairer de ses rayons (fig. 14).

Présentées de manière informelle, toutes les pièces ou œuvres d'art de l'exposition nous proposent un certain regard sur la Lune, à travers le prisme de l'art, de la science et de la bande dessinée.

Les partenaires

L'exposition *La Lune : entre rêve et réalité* a vu le jour grâce au travail préparatoire des dix établissements scientifiques fédéraux : les Archives générales du Royaume (AGR), la Bibliothèque royale de Belgique (BR), l'Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique (IASB), l'Institut royal météorologique de Belgique (IRM), l'Institut royal du Patrimoine artistique (IRPA), l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB), l'AfricaMuseum (MRAC), les Musées royaux d'Art et d'Histoire (MRAH), les Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique (MRBAB) et l'Observatoire royal de Belgique (ORB).

Ils sont rejoints exceptionnellement cette année par le Centre belge de la Bande dessinée (CBBDD), l'Institut géographique national (IGN) et deux départements de Belspo : la Direction 'Recherches et applications spatiales' et la cellule de coordination du Belgian Co-ordinated Collections of Micro-organisms (BCCM consortium/MUCL). Ensemble, ils proposent un parcours diversifié où la convergence de plusieurs disciplines prend tout son sens, pour un rendez-vous inédit... au clair de Lune !



Plus

L'exposition *La Lune : entre rêve et réalité* du 23 juillet au 25 août 2019 au Palais royal de Bruxelles de 10h30 à 17h00 (dernière entrée : 15h45). Entrée libre.

www.royalbelspo.be



Site archéologique Volubilis protégé par l'UNESCO.

CONTRIBUTION DE L'ARCHÉOMAGNÉTISME À LA SAUVEGARDE DU PATRIMOINE CULTUREL EN AFRIQUE DU NORD

Souad Ech-chakrouni

Les conditions climatiques et environnementales qu'à connues l'Afrique du nord ont favorisé le développement de la culture humaine depuis des centaines de milliers d'années laissant ainsi un héritage culturel incontestable. Malheureusement, le développement d'infrastructure que connaissent les pays de l'Afrique du nord au nom des zones d'expansion touristique et des mégaprojets réalisés par les travaux publics et le secteur de la construction, principalement le long des côtes, empièteraient sans trop d'états d'âme sur des sites archéologiques précieux, aussi bien par leur grandeur que par la richesse de leur contenu, menant inévitablement à une perte de cet héritage culturel. Ce dernier est d'une valeur scientifique importante notamment pour une meilleure connaissance du champ magnétique terrestre dans le passé.

Champ magnétique terrestre dans le passé

Le champ magnétique terrestre défini par sa direction (inclinaison et déclinaison) et son intensité, varie aussi bien dans le temps que dans l'espace (figure 1). La détermination de ces variations à partir des mesures directes instrumentales n'a commencé qu'au 16^{ème} siècle pour la déclinaison (D), au 17^{ème} siècle pour l'inclinaison (I) et depuis 1832 pour l'intensité du champ (F). Mais pour les périodes plus anciennes, la connaissance de ces variations est possible grâce aux enregistrements du champ magnétique dans les terres cuites. En effet, dans les sites archéologiques, lors des fouilles archéologiques, des structures brûlées et des terres cuites tels que les thermes, fours et foyers se sont mis au jour. Ces terres cuites contiennent des minéraux magnétiques tels que les oxydes de fer capables d'enregistrer au cours de leur dernier refroidissement après chauffage le champ magnétique ambiant. Ce dernier est

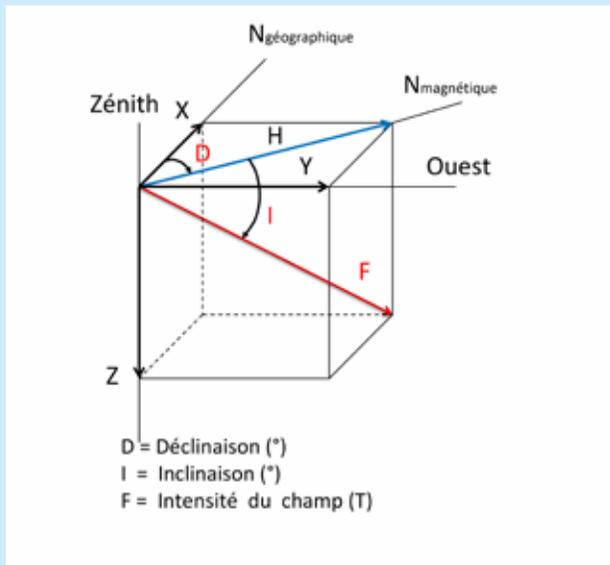


Figure 1 : les éléments du champ géomagnétique.



Figure 2 : magnétomètre cryogénique '2G Enterprises' pour mesurer la rémanence magnétique des terres cuites.

enregistré sous forme d'une aimantation dite aimantation thermorémanente. La détermination de la direction de cette aimantation permettra d'étudier le comportement du champ magnétique dans le passé - c'est le domaine de l'archéomagnétisme - et de déterminer éventuellement la chronologie du dernier refroidissement d'une structure brûlée - c'est la méthode de datation archéomagnétique.

Datation archéomagnétique

Cette méthode est basée sur nos connaissances de la variation du champ magnétique terrestre, en direction et en intensité, dans le passé et sur le fait que les terres cuites acquièrent et enregistrent, au cours de leur refroidissement après chauffage, une aimantation thermorémanente, parallèle et proportionnelle au champ agissant. L'importance et la nécessité de l'application de cette méthode pour préserver l'information géophysique irremplaçable, conservée dans les sites archéologiques a été reconnue en Europe. Preuve, sont les nombreuses publications parues à ce sujet et le support par la Commission Européenne dans le programme cadre 5 du projet AARCH (The European research training network Archaeomagnetic Applications for the Rescue of Cultural Heritage). Le réseau comprenait 12 laboratoires et institutions en Europe dont l'Institut Royal Météorologique (IRM) en Belgique. Ce projet a résulté d'une bonne synergie et coopération entre les communautés géophysiques et archéologiques dans la plupart des pays de l'union européenne et en particulier en Belgique ce qui a permis de valoriser entre autre le patrimoine culturel. La datation archéomagnétique est souvent un recours de l'archéologue quand d'autres méthodes de datation font défaut.

Archéomagnétisme en Afrique du nord

Comparée au nombre de données archéomagnétiques de l'Europe dans la base de données mondial GEOMAGIA V5, l'Afrique du nord ne possède qu'un nombre minime de 8 données réparties entre le Maroc et la Tunisie, malgré son potentiel en sites archéologiques couvrant toutes les périodes historiques et archéologiques. Le peu de données s'explique par le peu de connaissance de l'archéomagnétisme et aussi par le fait que les datations archéomagnétiques nécessitent un laboratoire équipé d'instruments de haute technologie très onéreux. Les pays de l'Afrique du nord ne disposent pas d'un tel laboratoire, ce qui oblige les chercheurs à se déplacer à l'étranger pour réaliser des analyses archéomagnétiques.

L'appel à proposition 2013 de Belspo dans le cadre de la mise en réseau international des Etablissements scientifiques fédéraux (ESF) était une grande opportunité pour la section Magnétisme Environnemental du Centre de Physique du Globe (CPG) de l'IRM, d'établir un réseau d'échange d'informations et d'expertises entre la Belgique et l'Afrique du Nord dans le domaine de l'archéomagnétisme et son application pour la sauvegarde du patrimoine culturel. La section Magnétisme Environnemental du Centre de Physique du Globe (CPG), renommée internationalement dans le domaine de l'archéomagnétisme dispose des équipements de haute qualité tel que le magnétomètre cryogénique de 2G Enterprises (figure 2). Cet appareil peut détecter la rémanence d'un échantillon de terre cuite de seulement quelques millimètres. Elle est aussi équipée d'un four non magnétique modèle MMTD80A pour désaimanter thermiquement les échantillons et déterminer la

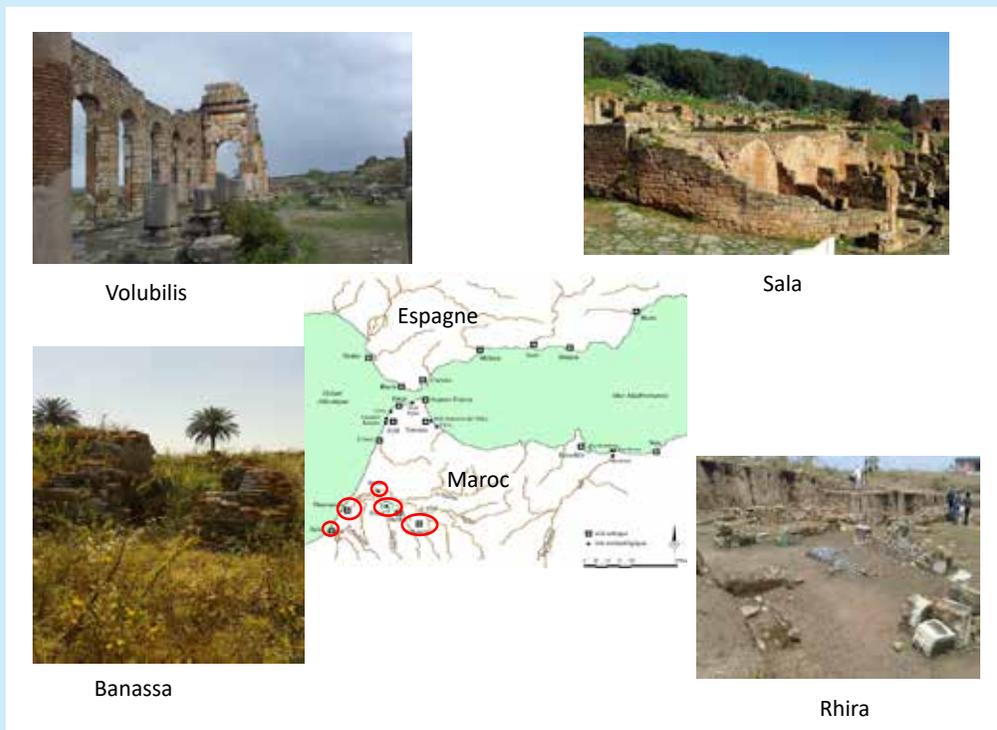


Figure 3 : localisation des sites échantillonnés dans la partie nord du Maroc avec des photos des sites.



Figure 4 : hypocauste échantillonné par la méthode archéomagnétique à Volubilis.

paléointensité du champ magnétique et d'un Magnétomètre MPMS3 de Quantum Design pour mesurer l'hystérésis en champ magnétique fort et à basse température.

Le projet a reçu l'acronyme RAPSCA 'Réseau en Archéomagnétisme pour la Sauvegarde du Patrimoine Culturel en Afrique du nord'. Le premier pays concerné par ce projet est le Maroc qui a montré vivement son intérêt par le biais de son Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine (INSAP) et par le département de physique de la faculté des sciences de l'université Mohammed V-Agdal de Rabat. Dans le cadre de ce projet, un accord de coopération entre l'IRM et les deux partenaires marocains a été signé en juillet 2014. Les objectifs à atteindre et les résultats attendus de ce projet sont :

- encourager l'échange libre d'informations et d'expertises entre la Belgique et le Maroc. Cet échange permettra de former une main-d'œuvre qualifiée capable de faire des prélèvements et les mesures d'échantillons prélevés dans des sites archéologiques, particulièrement ceux qui seront menacés ou inaccessibles dans le futur à cause du développement économique ;
- mettre à la disposition des jeunes chercheurs marocains notre expertise dans le domaine de l'archéomagnétisme et de les former ;
- optimiser les informations extraites des sites archéologiques et la rapidité avec laquelle elles sont obtenues sans retarder le développement économique ;
- créer une base de données de référence pour la datation archéomagnétique des sites archéologiques au Maroc et les pays limitrophes. Ces données agréeront la datation de matériaux et des événements archéologiques non datables par d'autres méthodes.

Ce projet permettra d'initier un tracé de la courbe de la variation séculaire du champ magnétique pour l'Afrique du nord.

Les recherches archéologiques menées dans différents sites sur plusieurs périodes au Maroc (Volubilis, Lixus, Banassa, Rhira, Sala, Zilil, Kouass, Sijilmassa, Igiliz, pour ne citer que les sites encore en cours de fouille), ont permis

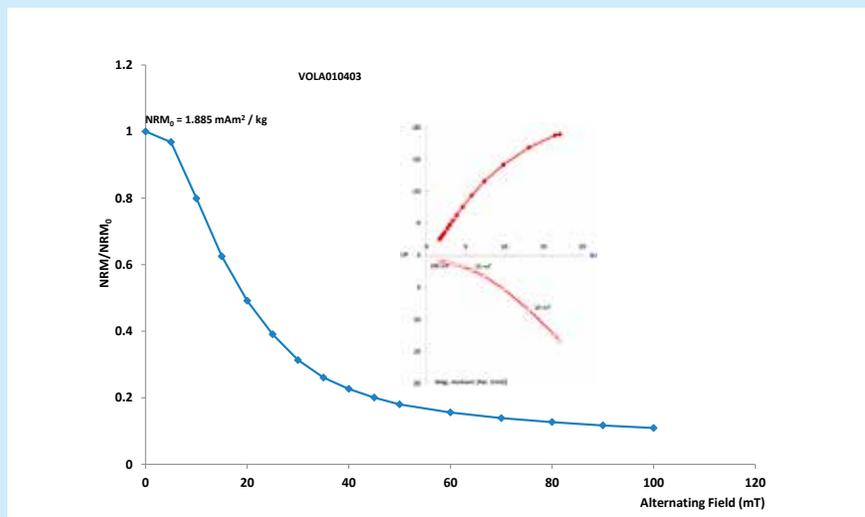
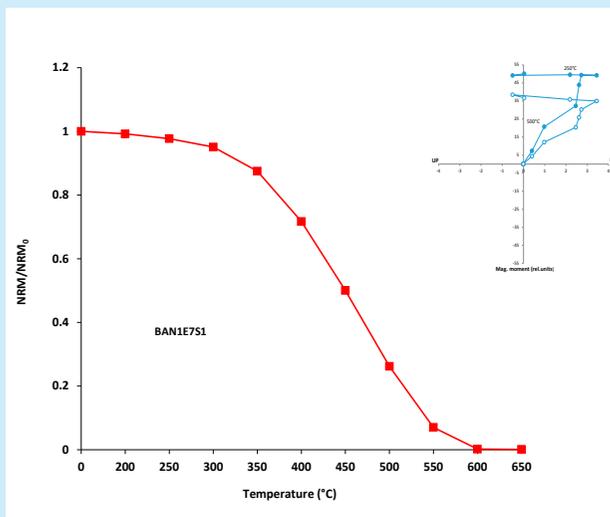


Figure 5 : exemple de désaimantation thermique (a) et par champs alternatifs (b) de deux échantillons prélevés dans des hypocaustes des sites archéologiques Thamusida et Volubilis. Les graphiques montrent le rapport de l'aimantation résiduelle à l'aimantation initiale (NRM/NRM0) pour chaque étape de désaimantation. En haut à droite, les Diagrammes de Zijderveld qui illustrent le comportement de la variation directionnelle de l'aimantation lors de chaque étape de désaimantation. Chaque point représente la projection orthogonale de l'extrémité nord du vecteur aimantation sur le plan horizontal (cercles pleins) et sur le plan vertical (cercles creux) passant par la direction W-E du site de prélèvement. Dans des champs et températures faibles, la trajectoire des points ne passe pas par l'origine tandis que dans des champs et températures intermédiaires et forts, les points forment un segment droit passant par l'origine. Cela indique la présence de deux composantes : une composante peu stable et une composante stable, appelée aimantation rémanente caractéristique (ChRM), qui décroît vers l'origine.

de renouveler et d'enrichir nos connaissances sur les différentes phases de l'histoire ancienne du pays et de mettre au jour un important et riche patrimoine archéologique et donc un important héritage culturel (figure 3).

Dans le cadre de RAPSCA, des missions des partenaires du projet ont eu lieu entre la Belgique et le Maroc, des séminaires ont été organisés, des exposés ont été donnés sur le thème de l'archéomagnétisme, l'archéologie et les applications physiques en archéologie. Des discussions ont été menées sur les priorités à donner aux sites archéologiques, la possibilité d'échantillonnage pour des études archéomagnétiques, puisque certains sites sont classés au patrimoine mondial de l'UNESCO (exemple site Volubilis). Les missions sur le terrain ont été organisées afin d'initier les étudiants de l'INSAP et du département de physique, à la technique d'échantillonnage archéomagnétique des structures brûlées sur le terrain. Un nombre total de 55 échantillons orientés par rapport au nord magnétique et au plan horizontal du lieu de prélèvement ont été prélevés dans les foyers des hypocaustes des thermes dans 5 sites romains importants de la partie nord du Maroc: Sala, Volubilis, Banassa, Thamusida et Rhira (figure 4).

Investigation archéomagnétique

Une grande partie des 55 échantillons prélevés des différents sites archéologiques a été analysée. A commencer par la mesure de l'aimantation rémanente naturelle pour chaque échantillon suivie des tests de stabilité magnétique. Ces derniers représentent une des tâches principales d'une analyse archéomagnétique. Ils consistent à déterminer l'intervalle des champs alternatifs et de températures permettant d'isoler l'aimantation caractéristique la plus stable (ChRM) qu'a enregistré le champ ma-

gnétique. Ceci, se fait par désaimantation, soit par champs alternatifs croissants à l'aide d'un démagnétiseur, soit thermiquement par étape croissante de température dans un four amagnétique. Après chaque étape de désaimantation, l'aimantation rémanente résiduelle est mesurée (figure 5a et 5b). Les résultats seront comparés aux courbes de référence ibérique de la variation de la déclinaison et de l'inclinaison du champ magnétique, centralisées à Madrid et qui peuvent être utilisées dans un rayon de 1000 km jusqu'au nord du Maroc, en attendant d'établir une courbe de référence pour l'Afrique du Nord.

Conclusion

Les progrès qu'ont connus les études archéomagnétiques au cours des dernières décennies ont confirmé l'importance de la datation archéomagnétique pour la reconstruction chronologique des matériaux cuits mis au jour dans les sites archéologiques. Sa contribution à l'archéologie et à la valorisation du patrimoine culturel est beaucoup plus importante de nos jours. Par ce projet RAPSCA, un premier réseau en archéomagnétisme a vu le jour qui contribuera certainement à la sauvegarde du patrimoine culturel en Afrique du nord.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent à Belspo pour le soutien financier de ce projet. Nous tenons à remercier également Mme Decadt pour son aide à ce que ce projet aboutisse. Nos sincères remerciements au professeur Jozef Hus pour son aide à la version en néerlandais.



In memoriam

Jacques Wautrequin (1933 – 2019)

Ir. Eric Béka

‘Le temps vient un jour d’évaluer le butin des idées que l’on a glanées au cours d’une vie’. C’est par cette belle phrase que débute l’essai philosophique que Jacques Wautrequin a écrit il y a une petite dizaine d’années¹. Il y cerne avec brio les évolutions sociétales et individuelles qui ont jalonné son existence. En particulier dans le domaine de la science et de la technologie, à laquelle il a consacré la quasi-totalité de sa vie professionnelle. Il nous a quittés le 19 février dernier à l’âge de près de 86 ans.

Avec ses diplômes de docteur en droit et de licencié en sciences commerciales et financières obtenus à l’Université Catholique de Louvain, Jacques Wautrequin, après quelques années passées comme avocat stagiaire au barreau de Bruxelles puis en tant qu’analyste financier au service d’études de la Banque Lambert, rejoint en novembre 1960 les structures naissantes de la politique scientifique, d’abord comme attaché au secrétariat du Conseil national de la Politique scientifique puis comme chargé de recherches dans ce qui est devenu entretemps une administration à part entière.

Pendant quinze ans, il y exercera les fonctions de chef du service de la technologie avant d’être nommé, en juin 1989, secrétaire général des *Services de programmation de la Politique scientifique*, qui - réformes institutionnelles obligent - seront élargis et rebaptisés *Services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles*. C’est avec maîtrise et souci d’anticipation qu’il assumera sa tâche de secrétaire général pendant près d’une décennie.

Tout au long de son parcours professionnel, l’engagement constant et déterminé qui animait Jacques Wautrequin a été mis au service des activités scientifiques en général et de la recherche en particulier, qu’elle soit menée dans les universités, au sein des diverses institutions publiques ou dans les entreprises.

Avec différents complices, au rang desquels Gilberte Dehoux², il donna consistance au concept de politique

scientifique - à la fois ‘une politique pour et par la science’³ -, concept théorisé quelques années auparavant par les secrétaires généraux André Molitor et Jacques Spaey.

En 1969, ce dernier avait fait appel à Jacques Wautrequin et à quelques-uns de ses collègues pour écrire un essai qui reste, aujourd’hui encore, une référence dans l’organisation publique de la politique scientifique⁴. On peut y lire : ‘La place qu’occupe la politique scientifique dans la politique générale d’un gouvernement sera, tantôt modeste et marginale, tantôt essentielle, mais elle sera toujours centrale parce qu’elle se situe au triple point des trois domaines principaux de l’action de tout gouvernement : l’éducation, l’économie et la politique étrangère’⁵.

La contribution de Jacques Wautrequin fut déterminante pour le développement en Belgique d’une politique scientifique moderne au service de la société. Dans le cadre de cet hommage, il est difficile d’évoquer cette contribution en détail ; je voudrais toutefois épingle

- sa capacité renouvelée à anticiper les grandes évolutions sociétales (développement durable, fracture numérique, cohésion sociale etc.) et à les faire étudier et accompagner par des programmes de recherche mobilisateurs, pluriannuels et, le plus souvent, transversaux⁶ ;
- son implication attentive dans le déroulement du programme d’actions de recherche concertées entre le gouvernement et les centres d’excellence des universités (à partir de 1970), puis dans la mise en place des pôles d’attraction interuniversitaires (1987) ;
- son rôle actif dans la mise en place en 1993 du réseau BELNET, qui allait permettre de relier le monde de la recherche belge aux ‘autoroutes de l’information’ alors en pleine construction ;
- son souci répété de prendre en compte les difficiles équilibres de toute nature inhérents à notre pays ;
- sa volonté constante d’ancrer la recherche belge dans le concert européen et mondial.

Et s'il y a un secteur dans lequel Jacques Wautrequin s'est investi sans compter, c'est bien celui de la collaboration scientifique internationale, nourri de l'expérience acquise lors de sa mission à la Direction scientifique de l'OCDE (1962-1963), pendant son mandat de chargé de cours au Collège d'Europe à Bruges (1972-1974) et lors de son détachement à la Direction générale des Télécommunications et des Industries de l'information de la Commission européenne (1986-1988). Retenons aussi sa fonction de chef de la délégation belge au sein du Conseil de l'agence spatiale européenne (1989-1998), dont il deviendra un des vice-présidents, confortant ainsi le rôle important joué par les scientifiques et industriels belges dans le concert spatial international.

Quasiment au moment où il accédait au poste de secrétaire général des Services de la Politique scientifique, Jacques Wautrequin avait écrit : 'La structure dont notre pays s'est doté pour sa politique scientifique a permis en diverses circonstances de compenser sur le plan international l'image rendue par le volume limité de ses moyens de recherche'⁷.

Après son admission à la retraite en mai 1998, son attention pour la gestion des affaires scientifiques ne faiblira pas et il apportera son expertise à plusieurs organismes nationaux et internationaux qui auront fait appel à lui⁸.

Et ce n'est pas sans inquiétude qu'il assistera de l'extérieur aux bouleversements qui accompagneront la réorganisation de l'administration fédérale, dite 'réforme Copernic'. Tout en étant convaincu de la nécessité de moderniser certains pans de l'appareil public - modernisation pour laquelle Jacques Wautrequin a d'ailleurs apporté des pierres à l'édifice -, il dénoncera fin 2000, dans un écrit prémonitoire, ce qu'il appellera 'la fausse vertu' et 'le péché par excès' de la réforme et il identifiera avec lucidité les faiblesses et les risques de la démarche⁹.

Enfin, je m'en voudrais de ne pas rappeler ici, pour celles et ceux qui ont eu le plaisir de travailler avec Jacques Wautrequin, son insistance pour que les diverses notes et projets de lettres soumis aux instances politiques soient ciselés et d'une précision chirurgicale, bien loin, il faut le reconnaître, des dossiers 'vas-y comme j'écris mon mail' que l'on peut souvent lire aujourd'hui !

Son engagement de tous les instants au bénéfice de la science et de la technologie, sa parole écoutée dans les cénacles internationaux, sa défense du rôle (pro)actif de l'Administration dans la gestion des affaires publiques, ses conseils pertinents à de nombreux jeunes fonctionnaires font de Jacques Wautrequin un très grand 'serviteur de l'Etat'.

Je me fais l'interprète de ses anciens collègues et collaborateurs ainsi que celui du personnel de l'actuel Service public fédéral 'Politique scientifique' et des Etablissements scientifiques fédéraux pour lui témoigner notre gratitude. Que ses enfants et petits-enfants et tous ses proches acceptent ici nos sincères condoléances et l'expression de notre reconnaissance et de notre sympathie.



Le Roi Albert II est accueilli par Jacques Wautrequin en 1998 lors d'une visite de travail dans les locaux qui occupait la Politique scientifique fédérale, rue de la Science à Bruxelles.

L'auteur

Ir. Eric Béka est secrétaire général honoraire des *Services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles* et ancien Haut Représentant de la Belgique pour la politique spatiale.

Notes

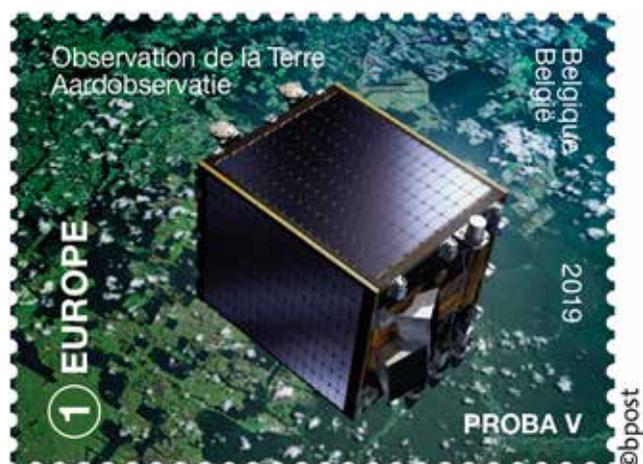
1. WAUTREQUIN Jacques, *60 ans de crises dans l'art, la science, l'éthique et l'existential*, Editions Le Bord de l'eau - Collection La Muette, Lormont (F), 2010.
2. Voir dans la *Nouvelle Biographie Nationale*, tome 11, pp. 85-86, la notice relative à Gilberte DEHOUX, rédigée par Jacques WAUTREQUIN.
3. WAUTREQUIN Jacques et alii, *Politique scientifique. Evolutions et perspectives*, S.P.P.S., Bruxelles, mars 1994, p. 2 : 'Au concept d'un simple 'encouragement' à la science se substitu[a] progressivement celui d'une 'politique' à la fois 'pour' et 'par' la science'.
4. SPAEY Jacques, avec la collaboration de Jacques DEFAY, Jean LADRIERE, Alain STENMANS et Jacques WAUTREQUIN, *Le développement par la science : essai sur l'apparition et l'organisation de la politique scientifique des Etats*, UNESCO, 1969.
5. Ibid., p. 103.
6. Au risque d'en oublier, citons les programmes 'nationaux' sur l'environnement (avec le développement du modèle mathématique de la mer du Nord et de l'estuaire de l'Escaut et l'apport du navire océanographique Belgica), l'informatique, l'insertion des sciences sociales dans la prise de décision, les énergies non nucléaires, le recyclage des déchets de production et de consommation, la microélectronique, la biologie fondamentale, les télécommunications, la télédétection par satellite, l'intelligence artificielle, les collections belges de micro-organismes, les technologies de l'information, le changement global, l'appui scientifique à la normalisation, la protection juridique du citoyen, le transport et la mobilité, le sida, les sciences de la mer ou encore les recherches en Antarctique ; ainsi que les participations belges aux programmes 'européens', tels AIRBUS, ESPRIT, FAST, EUREKA etc.
7. *Perspectives nouvelles de la politique de recherche, SPPS, 1988, introduction de Jacques WAUTREQUIN.*
8. Dont la Fondation Roi Baudouin, l'Institut von Karman de dynamique des fluides et le Centre commun de recherche de l'Union européenne.
9. WAUTREQUIN Jacques, *Copernic, un remugle des thèses thatchériennes*, La Libre Belgique, 28 décembre 2000.

Nouveaux timbres

La Belgique dans l'espace

La Politique scientifique fédérale (BELSPO) est très fière de s'associer à bpost pour vous présenter la nouvelle collection de timbres *La Belgique dans l'espace*, disponible depuis le 18 mars. Développée en collaboration avec la Direction 'Applications aérospatiales' de BELSPO, la série compte cinq beaux timbres.

De l'exploration de l'atmosphère de Mars avec l'instrument NOMAD à l'observation en continu de l'évolution de la végétation sur Terre avec PROBA-V, ces timbres mettent en évidence quelques-unes des principales contributions de la Belgique dans le domaine spatial. Pressé de découvrir les timbres et de les commander? Rendez-vous sur l'eShop de bpost (<https://eshop.bpost.be/fr>).



Deux nouveaux sites web pour l'observation de la Terre en Belgique

L'équipe du programme STEREO, le programme national de recherche en observation de la Terre de la Politique scientifique fédérale, vous invite à découvrir son nouveau site internet. Que vous soyez chercheur, étudiant ou Madame ou Monsieur tout le monde, ce site a pour objectif de vous guider dans le monde de la Télédétection.

Comment obtenir des informations utiles sur notre planète à partir de données enregistrées par des instruments embarqués sur des satellites

en orbite à plusieurs centaines de kilomètres d'altitude ? Quels sont les satellites utilisés ? Quelles études sont financées par la Belgique dans ce domaine ? Où trouver des images pour mon projet ?

Vous trouverez les réponses à toutes ces questions en visitant le site Belgian Earth observation (<https://eo.belspo.be>) et en vous abonnant à notre newsletter via <https://eo.belspo.be/fr/newsletter>.



Un autre portail dédié à l'observation de la Terre par satellite a également fait peau neuve : le site Belgian Pléiades Archive (BPA) devient Pléiades for Belgium (P4B). Vous y découvrirez la constellation de satellites jumeaux Pléiades et les images à très haute résolution qu'ils délivrent en continu. Téléchargez l'image de démonstration gratuite ou naviguez au travers des images achetées par les utilisateurs institutionnels belges. Ceux-ci peuvent, après inscription, télécharger gratui-

tement ces images ou acheter de nouvelles images Pléiades à des tarifs fortement réduits.

Vous travaillez pour une université, une administration, une organisation qui remplit une mission de service public et vous souhaitez utiliser des images satellitaires à très haute résolution pour vos projets ? N'hésitez plus, rendez-vous sur <https://www.pleiades4belgium.be>



L'île de Porquerolles (Var) vue par le satellite Pléiades 1A.

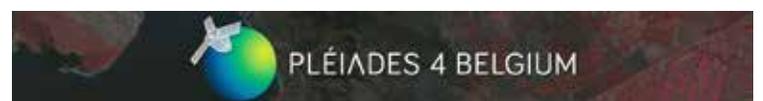




Fig. 1 : Image de synthèse de l'étalon international pour le mètre de 1889 à 1960. © NIST

Quand l'Observatoire royal de Belgique bat la mesure

Pascale Defraigne,
Michel Van Camp
et Bruno Bertrand

Une nouvelle définition des unités du Système International (SI) est entrée en vigueur au mois de mai 2019. Depuis toujours, l'Observatoire royal de Belgique contribue à la réalisation de certaines unités du SI et cette contribution sera encore renforcée avec la nouvelle définition du kilogramme.

Les unités de base du SI

Le Système International d'unités est incontournable, tant pour la science et l'industrie que dans la vie quotidienne. Les unités de base sont le mètre pour les longueurs, le kilogramme pour les masses, la seconde pour le temps, le kelvin pour la température, l'ampère pour le courant électrique, la mole pour la quantité de matière, et la candela pour l'intensité lumineuse. Toutes les autres unités de mesure comme le pascal pour la pression, le volt pour la tension électrique, le joule pour l'énergie... sont dérivées des sept unités de base du SI.

Histoire du SI

Le système métrique a vu le jour en France à la suite de la Révolution de 1789. Seules trois unités existaient à l'époque. La seconde était réalisée par des horloges à pendule, tandis que le mètre et le kilo recevaient leurs premiers étalons : une règle et un cylindre, tous deux en

platine (fig.2). Il s'agissait là d'étalons spécifiquement français. Ce n'est qu'en 1875 que différents pays entreprirent une uniformisation internationale des unités en fondant la Convention du Mètre, qui regroupait 17 nations dont la Belgique. Les états-membres organisent depuis des réunions régulières : les Conférences Générales des Poids et Mesures (CGPM). Lors de la première CGPM en 1889, le système d'unité MKS (Mètre-Kilo-Seconde) a été adopté, de même que de nouveaux étalons pour le mètre et le kilo, internationaux cette fois (fig.1). Par la suite, les avancées scientifiques requièrent l'introduction progressive de nouvelles unités, l'ampère, la candela, le kelvin et la mole, complétant le SI à sept unités de base.

Cependant, la précision toujours accrue des mesures a mené à la redéfinition de certaines unités sur base de phénomènes et constantes physiques. En 1960 déjà, une nouvelle définition du mètre envoya l'étalon de platine à la retraite. Le kilo demeure alors la seule unité basée sur un étalon matériel. Et son utilisation pose problème : sa stabilité à long terme n'est pas assurée, il peut être endommagé ou détruit, et il est inadéquat pour peser de très petites quantités de l'ordre de quelques milliers d'atomes seulement. En marge de la problématique du kilo, cer-

taines autres unités du SI reposaient sur des mesures très difficiles à réaliser avec précision en laboratoire. C'est donc dans l'optique de faciliter la réalisation des unités, d'améliorer leur précision, et de les lier à des phénomènes physiques bien compris, qu'il fut décidé en novembre 2018 de redéfinir les unités de base du SI.

Les unités de base et les sciences de la Terre

Initialement, les valeurs de la seconde, du mètre et du kilogramme furent déterminées au départ des mouvements et dimensions de la Terre.

La seconde

Depuis l'aube de l'humanité, la durée a été déduite des mouvements relatifs de la Terre, de la Lune et du Soleil (fig. 3). La seconde fut définie implicitement comme étant la 86400^{ème} partie du jour, un jour correspondant au temps écoulé entre deux passages successifs du Soleil à son élévation maximale dans le ciel. En 1967, la seconde reçut la définition qu'elle conserve de nos jours, basée sur une transition quantique de l'atome de césium (fig. 4).

Le mètre

Avant la Révolution Française, les longueurs étaient mesurées en référence à l'Homme (le pouce, le pied, la toise) mais un tel système était source d'injustices et d'inégalités. Pour disposer d'une unité universelle, on définit le mètre comme étant un dix-millionième du demi-méridien, allant de l'équateur au pôle. La longueur du méridien fut estimée entre 1792 et 1798 par Delambre et Méchain, par triangulation et mesures astronomiques depuis Dunkerque jusqu'à Barcelone (fig. 5). L'erreur finale fut de 10 m sur 1000 km, ce qui était remarquable. Afin d'améliorer la précision de mesure qu'offrait l'étalon en platine, la définition du mètre a connu plusieurs modifications pour arriver en 1983 à sa forme actuelle : le mètre égale la distance parcourue par la lumière en $1/299.792.458^{\text{ème}}$ de seconde. La nouvelle seconde et le nouveau mètre ont bien entendu été ajustés aux valeurs précédentes, et ils restent donc historiquement liés à la rotation et la mesure de la Terre.

Le kilogramme

En 1795, le kilogramme fut défini par la masse d'un décimètre cube d'eau pure à 4 °C. Il nous ramène donc indirectement à la mesure de la Terre puisqu'il dépend de la définition du mètre.



Fig. 3 : Le cadran solaire représentant l'état d'avancement du jour était utilisé par les civilisations anciennes (égyptienne, chinoise, babylonienne).



Fig. 4 : Horloge atomique à jet de césium à l'ORB. © ORB

Le nouveau SI

Lors de la Conférence Générale des Poids et Mesures de Versailles le 16 novembre 2018, de nouvelles définitions, toutes reposant sur les constantes fondamentales de la nature, ont été adoptées pour les 7 unités de base du SI. Les constantes fondamentales, comme la vitesse de la lumière, sont des paramètres qui restent invariables, dans l'état actuel de nos connaissances. Au départ, leurs valeurs étaient ajustées pour correspondre aux observations expérimentales dans un système fixe d'unités. Dans le nouveau SI, on réalise la procédure inverse : on fixe la valeur de certaines constantes fondamentales, exprimées dans les sept unités de base, et on en déduit la valeur des unités.

Ainsi, le mètre, le kilogramme, la seconde, et toutes les unités qui en découlent, sont à présent définis par les mouvements et l'énergie d'atomes et de particules. En effet, les



Fig. 2 : Le kilogramme Arago fourni par la France aux États-Unis en 1821 comme kilogramme-étalon. © NIST



Fig. 5 : Demi-méridien terrestre (en bleu) et mesure Dunkerque-Barcelone (en rouge) ayant permis de déterminer sa longueur.

atomes peuvent se trouver dans plusieurs niveaux d'énergie, la transition entre deux niveaux énergétiques s'accompagne de l'absorption ou de l'émission d'un rayonnement électromagnétique, dont la fréquence (nombre d'oscillations par seconde) est gouvernée par la différence d'énergie entre les deux niveaux concernés.

La première constante fondamentale fixée par le nouveau SI est la 'fréquence de la transition entre les deux niveaux d'énergie hyperfins de l'état fondamental de l'atome de Césium 133'. Elle s'exprime en hertz (ou l'inverse de la seconde, à savoir 1/s), si bien qu'en fixant cette valeur, on fixe la durée de la seconde : $f(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} = 9\,192\,631\,770\,1/\text{s}$. Ensuite, fixer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide, $c = 299\,792\,458\, \text{m/s}$, permet de connaître la valeur du mètre, puisqu'une vitesse s'exprime en mètre par seconde et que la seconde est connue.

Le kilogramme sera déterminé par la constante de Planck. Pour le comprendre, rappelons que les ondes électromagnétiques, caractérisées par leur fréquence, sont émises par petits paquets d'énergie appelés photons. La constante de Planck h est un facteur qui permet de faire le lien entre la fréquence f et l'énergie E des photons, selon la formule $E = hf$. Ainsi, plus la fréquence de l'onde est élevée, plus elle transporte de l'énergie ; c'est pour cette raison que les rayons ultraviolets sont bien plus dangereux que les infra-rouges. D'autre part, on sait aussi que toute particule de masse m au repos possède une énergie liée à sa masse $E = mc^2$, où c est la vitesse de la lumière. Ainsi la constante de Planck permet d'exprimer les échanges d'énergie entre matière et rayonnement. Sa valeur a été fixée à $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}\, \text{m}^2\, \text{kg/s}$, ce qui confère au kilogramme sa valeur, puisque le mètre m et la seconde s sont connus.

Et le SI continue ainsi de proche en proche, faisant intervenir d'autres constantes fondamentales de la nature

(fig. 6). Les valeurs numériques des constantes ont été choisies de manière à assurer la continuité avec l'ancien système. Ces unités gardent par conséquent leurs racines avec les sciences de la Terre. Le nouveau système est entré en vigueur le 20 mai 2019, à l'occasion de la Journée mondiale de la métrologie qui commémore la signature de la Convention du Mètre le 20 mai 1875.

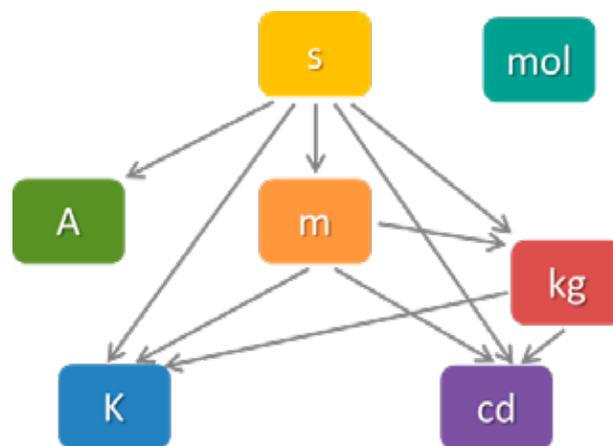


Fig. 6 : Dépendances des unités dans le nouveau système.

La contribution des activités à l'Observatoire royal de Belgique

La seconde est l'unité principale dont découlent toutes les autres, excepté la mole. Cette unité est celle qui est réalisée avec la plus faible incertitude, 10^{-18} , qui signifie que les meilleures horloges atomiques actuelles ne pourraient accuser une erreur d'une seconde qu'après au moins 10 milliards d'années. Pratiquement, la seconde est étalonnée avec le Temps Universel Coordonné (UTC), une moyenne d'environ 500 horloges atomiques réparties dans le monde, dont 4 à l'Observatoire royal de Belgique (ORB).

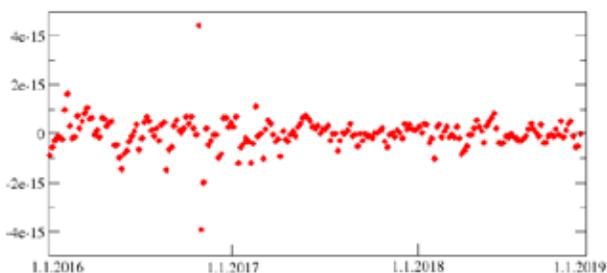


Fig. 7 : Différences entre la seconde telle que réalisée à l'ORB et la seconde internationale du UTC. Le symbole e-15 signifie une précision au millionième de milliardième de seconde.

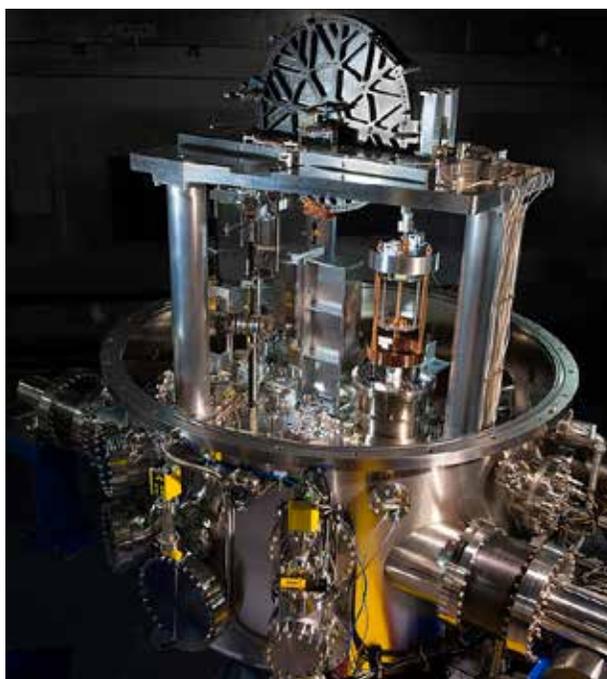


Fig. 8 : Balance de Kibble au National Institute of Standards and Technology (NIST, USA). © NIST

Cependant, l'échelle de temps UTC nécessite de collecter les mesures d'horloges et ne peut être calculée qu'a posteriori. Pour offrir des réalisations physiques en temps réel de la seconde aux utilisateurs, les laboratoires de temps comme celui de l'ORB maintiennent une horloge atomique aussi proche que possible de UTC. Régulièrement, le Bureau International des Poids et Mesures informe les laboratoires de temps au sujet de leur réalisation de la seconde par rapport à UTC. A titre d'exemple, la fig. 7 reprend les différences entre la seconde réalisée à l'ORB et la seconde internationale du UTC ces trois dernières années.

Pour réaliser le kilogramme, il existe deux méthodes. La première consiste à compter, par rayons X, le nombre d'atomes dans un cristal sphérique de silicium (^{28}Si), considérant que $6,022\ 140\ 76\ 10^{23}$ atomes de silicium 28 pèsent 28 grammes.

La deuxième méthode est la balance de Kibble, encore appelée balance du Watt, où l'on équilibre la puissance mécanique d'une masse en mouvement dans le champ de pesanteur à une puissance électrique (fig. 8). Connaissant le courant, la tension, le mouvement d'un bobinage qui bouge dans un champ magnétique, et la valeur locale de la pesanteur, on détermine la masse comme la quantité de matière nécessaire à équilibrer une quantité donnée de puissance électrique.

Ce dispositif expérimental exige de connaître la pesanteur g , mesurée de nos jours avec une exactitude du milliardième à l'aide de gravimètres absolus, où l'on observe le temps de chute d'une masse dans le vide : plus la pesanteur est forte, plus l'objet tombe vite. Au point de référence de l'ORB, g varie selon les saisons entre $9,811\ 116\ 660$ et $9,811\ 116\ 670\ \text{m/s}^2$. Ce degré de précision a été rendu possible grâce aux recherches menées, entre autres, à l'ORB depuis plus de 50 ans (voir *Science Connection* 56 et 58).

Les gravimètres absolus, dont celui de l'ORB, participent régulièrement à des campagnes de comparaison internationales, afin de s'assurer de leur cohérence et de leur exactitude (fig. 9).

Aujourd'hui, la mécanique et l'électronique se miniaturisent à l'échelle de l'atome, l'utilisation des systèmes de positionnement par satellite (GPS, Galileo, ...) requiert une précision de l'ordre du milliardième de seconde, tandis que l'échange de marchandises impose qu'à chaque maillon de la chaîne, l'on puisse reproduire le kilogramme de manière identique. Le nouveau SI répond donc aux besoins tant de précision que d'une réalisation pratique des unités.

Le nouveau SI témoigne également de l'état actuel de nos connaissances scientifiques. Ainsi, le SI repose désormais sur une série de constantes fondamentales dont la plupart étaient inconnues il y a 150 ans à peine et qui ne furent mesurées avec une précision suffisante que très récemment, avant d'être maintenant fixées. Il est donc fort à parier que ce système international évoluera encore au gré des futures grandes découvertes scientifiques et du développement des techniques. L'Observatoire entend bien prendre part à cette évolution.

Fig. 9 : Comparaison de gravimètres absolus à l'Université du Luxembourg, en novembre 2015. La flèche montre le gravimètre absolu FG5#202 de l'ORB. © ORB



Trésors de procédure

Laetizia Puccio

Les archives du Tribunal de la Chambre impériale conservées aux Archives de l'État à Liège (1495-1806)

Les dossiers du Tribunal de la Chambre impériale représentent des milliers de procès dont plus de 2.000 sont conservés aux Archives de l'État à Liège. Le 24 décembre 1944, le dépôt est touché par un bombardement allemand visant le réseau ferroviaire liégeois. Que reste-t-il de ces procédures ? Un financement fédéral, l'intervention du Fonds Baillet Latour et six années de recherche seront nécessaires pour que la conservation, la restauration et la pérennisation d'un de nos fonds les plus originaux, les plus riches et les plus précieux soient assurées, répondant par là même à l'une des principales missions des Archives de l'État.

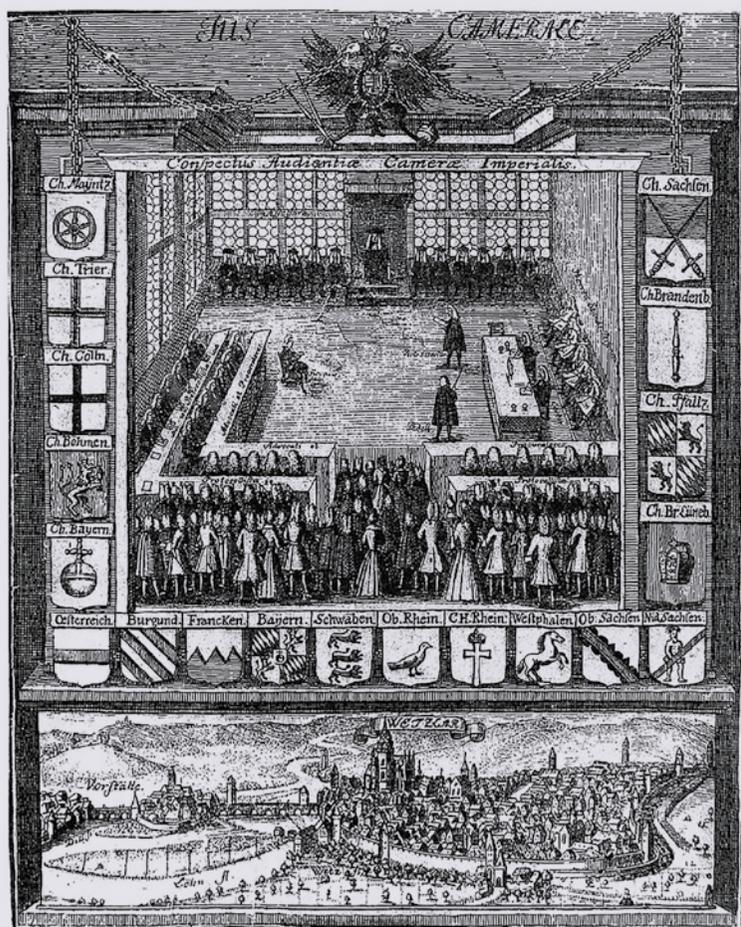
Le 1^{er} novembre 1495 s'ouvre à Francfort-sur-le-Main le Tribunal de la Chambre impériale, le *Reichskammergericht*. La création de ce collège s'inscrit dans une réforme globale de l'Empire germanique initiée la même année à la Diète de Worms par Maximilien d'Autriche (1459-1519), futur Maximilien I^{er}, en collaboration avec les États de l'Empire. L'objectif principal est de simplifier l'administration de la justice impériale et de permettre la levée d'un impôt. Ce projet réussit lorsque le roi proclame la Paix Publique perpétuelle et met fin à la guerre privée qui régissait jusqu'alors la justice du Saint-Empire. Les États sont désormais invités à régler leurs différends devant une nouvelle cour de justice, qui fait office de juridiction suprême en matière civile. Le Tribunal est dissous en 1806 au moment de la disparition du Saint-Empire romain de la Nation germanique.

Depuis 1400, l'Empire germanique, constitué d'un ensemble disparate de villes libres et de principautés laïques et ecclésiastiques, était en train de devenir une fédération de seigneuries souveraines avec la création des Cercles. En 1500, la principauté épiscopale de Liège et l'abbaye impériale de Stavelot-Malmedy intègrent le Cercle de Bas-Rhin-Westphalie. Les liens avec l'Empire sont renforcés et les deux territoires tombent très clairement sous la compétence de la Chambre impériale. En principauté de Liège, en matière de pouvoir politique et judiciaire, la Souveraine Justice des Échevins de Liège est de loin le plus important des tribunaux. Les Échevins de Liège vont fermement s'opposer à l'organisation de ce nouveau tribunal qui les prive de l'une de leurs prérogatives. Principalement au XVI^e siècle, l'Empereur va leur accorder des privilèges de *non appellando*, à savoir des conditions qui fixent les limites de la faculté d'appel. Ces restrictions n'ont toutefois pas empêché les Liégeois et autres habitants de nos régions à avoir recours à la Chambre impériale. Nous en voulons pour preuve plus de 3.000 dossiers d'archives qui ont été transférés aux XIX^e et XX^e siècles aux Archives de l'État.

Les archives de la Chambre impériale

À l'origine, les dossiers de procès de la Chambre impériale ont fait l'objet d'un inventoriage systématique qui s'avère aujourd'hui précieux dans la redécouverte de ce patrimoine. En outre, la procédure présente une grande stabilité à travers le temps et un autre avantage inestimable pour l'historien car tout y est rédigé.

Dès l'ouverture d'une affaire, le rapporteur résume très précisément et par écrit l'objet du procès et ses pièces justificatives dans un *protocole*. Il invoque les arguments juridiques, puis propose une décision par un vote. Les avocats transmettent par écrit leurs plaidoiries, les



Tribunal de la Chambre impériale siégeant
© Gesellschaft für Reichskammergerichtsforschung



Catalogue de Wetzlar des Archives de l'État à Liège © Archives de l'État



Un des rares clichés du dépôt liégeois après le bombardement de 1944 (Archives de l'État à Liège, Dossier central) © Archives de l'État

preuves en faveur de leurs clients. On peut, à l'oral, apostropher le Tribunal pour accélérer la procédure, mais celle-ci reste soigneusement consignée sur le papier. Si le procès est jugé en appel, le Tribunal peut requérir des cours précédentes les actes de première instance, souvent envoyés sous forme d'un volume. Quant aux sentences, elles ont été rédigées séparément et sont demeurées dans le fonds dit 'indivisible' des archives de la Chambre impériale conservées au *Bundesarchiv* de Berlin.

Les archives de la Chambre impériale sont déménagées lors de chaque déplacement de la cour. Au XVIII^e siècle, elles sont réparties entre Wetzlar, Francfort et Aschaffenburg, avant d'être réunies en 1806 à Wetzlar. À cette date, 77.800 dossiers de procès sont conservés dans la petite ville allemande. Les archivistes de la Chambre impériale se mettent à la rédaction d'un répertoire général appelé 'catalogue de Wetzlar'. Le registre est construit à partir de la description résumée dans le protocole qui précède chaque dossier. Entre 1847 et 1852, la *Reichskammergericht-Archivkommission* procède au tri des dossiers sur base de ce premier inventaire organisé d'après le pays d'origine des plaideurs. Le catalogue et les procédures sont ensuite envoyés aux États souverains des territoires héritiers du Saint-Empire. Près de cinquante dépôts d'archives en Allemagne et ailleurs en Europe sont aujourd'hui dépositaires de ces précieux documents. Ces sources, durant le XIX^e siècle et jusqu'au renouveau historiographique de la seconde moitié du XX^e siècle, n'ont intéressé qu'un nombre restreint de chercheurs.

Les 'péripiéties liégeoises'

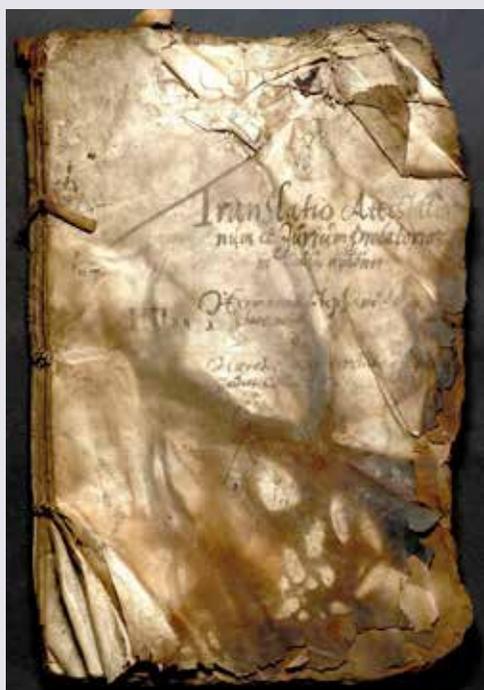
Retracer l'histoire de l'acquisition des dossiers de procès de la Chambre impériale de Wetzlar conservés aux Archives de l'État demande de consulter la correspondance et les registres d'acquisition des Archives générales du Royaume et des Archives de l'État à Liège. Le 20 juillet 1840, dix ans après l'indépendance de la Belgique, le premier archiviste général, Louis-Prospère Gachard, attire l'attention du ministre des Affaires étrangères sur la nécessité de revendiquer ces actes de procédure. Le 29 mai 1856, la Haute Diète germanique accorde leur transfert. Les dossiers en partance pour la Belgique sont

rangés et inventoriés selon l'ordre alphabétique des noms des personnes et des institutions. Au total, 2.785 procédures, placées dans vingt-cinq caisses, sont d'abord transférées à Cologne. L'agent central des chemins de fer de l'État belge les a ensuite fait parvenir jusque Bruxelles, le 13 octobre 1856, via Verviers. Le 17 août 1857, Gachard s'adresse à nouveau au ministre pour lui exposer les raisons – à savoir une majorité de procès relevant de la principauté de Liège – justifiant le transfert de ces archives aux Archives de l'État à Liège. Le 28 septembre, l'archiviste Mathieu-Lambert Polain est informé de cette décision et les archives sont arrivées au dépôt liégeois deux jours plus tard.

En 1856, en vertu du Traité de Vienne de 1815, Malmedy faisait toujours partie du royaume de Prusse. Les documents relatifs à la partie malmédienne de la principauté abbatiale de Stavelot ne faisaient donc pas partie du voyage et n'ont pas été enregistrés dans le registre belge. Ce n'est qu'en août 1948 que 148 procès ayant trait aux territoires rattachés à la Belgique en 1919 furent transférés du *Staatsarchiv Düsseldorf* aux Archives de l'État à Liège. Ils sont suivis de 7 autres dossiers renvoyés de Düsseldorf en 1983 et de Stuttgart en 1996. À ce relevé, viennent s'ajouter 74 liasses de procédure toutes incomplètes et non mentionnées dans l'inventaire de Wetzlar, bien qu'elles touchent des individus 'belges'. Il s'agit en fait de procès qui étaient encore en cours à la fin du XVIII^e siècle, au moment de l'invasion de la principauté de Liège par la France.



Quai de Meuse à Liège en 1661 (Archives de l'État à Liège, Fonds Wetzlar, procès n°1553) © Archives de l'État



Liasse calcinée (Archives de l'État à Liège, Fonds Wetzlar, procès n°360) © Archives de l'État



Carte tirée d'un procès du XVIII^e siècle, restaurée grâce au Fonds Baillet Latour (Archives de l'État à Liège, Fonds Wetzlar) © Archives de l'État

L'appel à l'Empire avait été lancé, mais l'affaire n'avait pas été jugée. Entre 1807 et 1812, ces documents semblent avoir été expédiés à la Cour impériale de Liège (nom que portait la Cour d'appel sous Napoléon), avant d'être transférés aux Archives de l'État.

3.051 dossiers de procès constituent 'virtuellement' le fonds liégeois des archives du Tribunal de la Chambre impériale. C'était sans compter les événements tragiques de Noël 1944. Nous sommes à la veille de la libération de Liège, le 24 décembre 1944, en pleine offensive von Rundstedt, le réseau ferroviaire liégeois est la cible d'un bombardement allemand et l'un des magasins des Archives est touché. Il contenait, entre autres archives d'Ancien Régime, les dossiers de procès de Wetzlar. Le feu provoqué par l'incendie, l'eau utilisée par les pompiers, la neige d'un hiver rigoureux, telles sont les conditions qui ont causé la perte de plus de la moitié du fonds. Ce n'est là toutefois qu'une grossière estimation, aucun recensement précis n'ayant été réalisé avant le début du XXI^e siècle vu l'état de conservation des documents. Entre 1944 et 2012, un inventaire sommaire donne la liste des numéros de dossiers qui ont été épargnés et qui sont donc consultables : ils représentent un tiers du fonds. Cependant, l'impossibilité de travailler de manière exhaustive sur ces affaires a freiné plus d'un chercheur et rares ont été, durant les septante dernières années, les commandes en salle de lecture.

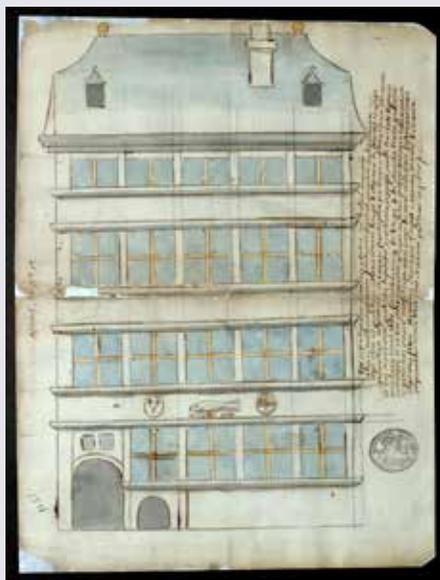
Les projets d'inventoriage et de restauration

Plusieurs étapes ont été nécessaires à la renaissance du fonds des archives liégeoises. En 2012, un projet de recherche soutenu par la Politique scientifique fédérale (Belspo) débute et trois années ont été nécessaires pour reclasser l'entièreté du fonds. Au préalable, le 'catalogue de Wetzlar' où étaient résumés les 2.785 dossiers liégeois, rédigé en latin, a été traduit en français et encodé dans une base de données. Ce travail présente un double avantage : la base de données va être convertie en un inventaire selon la forme et les normes établies par les Archives de l'État ; elle va également représenter un soutien inestimable pour identifier les archives calcinées dont le nom, l'origine, la date, l'objet du litige et le numéro du dossier sont enregistrés dans le répertoire à présent traduit. Sans ce précieux outil, l'identification des pièces et des procès endommagés, le plus important chantier de cette ultime phase, aurait été rendu encore plus long, voire impossible.

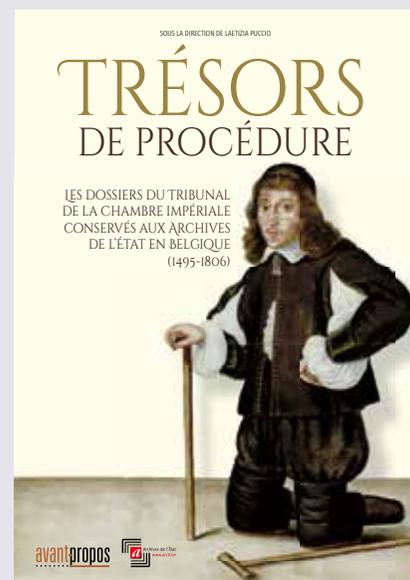
Au terme de trois années, l'inventaire ne peut pas être publié, car il demeure 10 % des dossiers en très mauvais état, calcinés, non identifiables, à peine manipulables. Pour les Archives de l'État, la mission



Dessin du retable de Stavelot, datant de 1666 (Archives de l'État à Liège, Fonds Wetzlar, procès n°1148) © Archives de l'État



Façade d'une maison située en Vinave d'Île, en 1660 (Archives de l'État à Liège, Fonds Wetzlar, procès n° 2516) © Archives de l'État



Couverture de l'ouvrage *Trésors de procédure*

n'était que partiellement réussie. La restauration de documents en papier ou en parchemin, mais aussi de sceaux, fait partie du devoir de conservation des Archives de l'État. Elle intervient en dernier recours lorsque les actions de conservation préventive n'ont pas permis de maintenir les archives dans un état matériel satisfaisant ou, comme ce fut le cas pour le fonds liégeois, lors d'événements plus catastrophiques. Les restaurateurs doivent présenter un rapport technique détaillé de leur intervention afin de garantir une restauration optimale selon trois critères, à savoir une restauration qui n'altère en aucun cas le document originel, qui favorise sa lisibilité et qui soit toujours réversible.

En 2015, les Archives de l'État introduisent une demande de subsides auprès du fonds Baillet Latour, qui finance depuis 2002 un programme d'action en faveur du sauvetage et de la conservation d'éléments importants du patrimoine culturel mobilier belge. Pour appuyer le dossier, nous disposons d'une documentation précieuse à plus d'un titre, de véritables trésors de procédure, puisque les avocats de la Chambre impériale ont pu soutenir leurs plaidoiries à l'aide de pièces justificatives dont l'aspect esthétique et iconographique ne laisse pas indifférent. Fort de ces arguments, de la richesse, de l'ancienneté et de la valeur historique de ces sources, les Archives de l'État à Liège ont obtenu un budget qui a permis de restaurer en deux étapes, entre 2016 et 2018, une bonne partie de ces archives. La campagne de restauration s'est intéressée d'abord aux dossiers. L'ensemble de cette étape a été confiée à Michel Fassin qui travaille à la restauration de livre et de papier depuis plus de trente ans. Environ 25.000 feuillets des archives de la Chambre impériale lui ont été remis, dont 200 parchemins. Au fur et à mesure du nouveau classement débuté en 2012, une liste de près de 50 pièces dites 'remarquables' a été établie. Au sein de celles-ci, certaines sont déjà connues, d'autres sont inédites et toutes ne nécessitent pas d'être restaurées. Quelque 28 pièces ont fait l'objet de soins particuliers, confiées à deux ateliers indépendants, l'un situé à Liège (Artbee), l'autre à Poperinge (Whyart). Elles ont également été numérisées et elles seront consultables en ligne dans nos salles de lecture. Parmi des arbres généalogiques, des livrets recouverts de parchemin, des cartes et des

plans, figurent des très beaux dessins dont le célèbre retable d'autel de Stavelot.

Aujourd'hui, le bilan établi au sortir de la guerre peut enfin être mis à jour. Sur les 3.051 dossiers qu'aurait dû compter le fonds de la Chambre impériale, deux tiers ont subsisté contre un tiers qui a définitivement disparu. Dans le courant de l'année 2019, l'inventaire des archives du Tribunal de la Chambre impériale conservées aux Archives de l'État à Liège va paraître en ligne. En octobre 2019, une journée d'étude et une exposition seront toutes deux organisées à Liège. En attendant, vous pourrez découvrir l'histoire de ces archives ainsi que quelques procès célèbres et très belles pièces dans les *Trésors de procédure*, édité grâce au soutien du Fonds Baillet Latour aux éditions Avant-Propos.

L'auteure

Docteure en histoire et assistante aux Archives de l'État, Laetizia Puccio a travaillé sur le projet des archives de la Chambre impériale de 2012 à 2015 grâce au financement de la Politique scientifique fédérale.

Plus

Puccio Laetizia (sous la dir.), *Trésors de procédure. Les dossiers du Tribunal de la Chambre impériale conservés aux Archives de l'État en Belgique (1495-1806)*, Bruxelles, Éditions Avant-Propos.

Site internet des Archives de l'État : www.arch.be



La Planeterrella

Les aurores au bout de vos doigts

Karolien Lefever
et l'équipe STCE

Peu de phénomènes naturels parlent autant à l'imagination que les aurores boréales. Voir les aurores boréales de ses propres yeux est sans aucun doute sur la liste de nombreux voyageurs et c'est quelque chose que vous n'oublierez jamais. Depuis des milliers d'années, de nombreux contes et légendes folkloriques sur la lumière polaire circulent. Le manque de compréhension de l'origine du phénomène était source d'anxiété et les peuples du Nord l'associaient souvent à la mort. Il y a à peine plus d'un siècle que l'humanité a réussi à déchiffrer le mécanisme à l'origine de ce mystérieux jeu de lumière. Le scientifique norvégien Kristian Birkeland a conçu une expérience qui jetterait les bases de la compréhension de la formation des aurores, bien avant de maîtriser le fonctionnement du Soleil et ses interactions avec notre Terre, son atmosphère et son champ magnétique. Un siècle plus tard, un autre scientifique, le Français Jean Lilensten, a redécouvert cette expérience historique. Il l'a modernisée afin de la présenter au grand public. L'expérience en question est la planeterrella, dont le Centre d'Excellence Terre-Soleil (STCE) à Uccle a maintenant développé deux copies.

Kristian Birkeland

Les aurores ne sont étudiées d'un point de vue scientifique que depuis le 17^e siècle. L'astronome français Pierre Gassendi (1592-1655) et l'anglais Edmund Halley (1656-1742) sont des précurseurs mais il a fallu attendre l'arrivée du norvégien Kristian Birkeland pour comprendre les bases de la formation des aurores.

Olaf Kristian Bernhard Birkeland est né le 13 décembre 1867 à Oslo en Norvège. Attiré par les sciences dès son plus jeune âge, il fait des études de sciences physiques et, à l'âge de 31 ans, il est nommé professeur de physique à l'Université d'Oslo par le roi Oscar II. Alors que les aurores boréales ont souvent fait partie de son environnement, ce n'est qu'à partir de 1895 que Birkeland s'intéresse véritablement au phénomène avec une approche scientifique. Il mène trois expéditions au Nord de la Norvège pour les étudier et fonde le premier observatoire permanent sur le mont Haddle, site privilégié à près de 1000 mètres d'altitude et à 70° de latitude Nord où la chance de voir des aurores est maximale. A côté des aurores, Birkeland étudie également les queues cométaires, les anneaux de Saturne, ainsi que la lumière zodiacale.

La terrella de Birkeland

En 1901, Birkeland débute les travaux sur la *terrella*. En faisant le lien entre l'activité des taches solaires et l'apparition d'aurores boréales, le physicien norvégien a en effet l'intuition que les aurores sont dues à une forme d'interaction avec les particules éjectées par le Soleil et le magnétisme qui pourrait être généré par le noyau terrestre... Spécialiste de l'électricité et du magnétisme, il entame alors la réalisation d'un outil permettant de recréer une Terre en modèle réduit qu'il baptise la *terrella* ('petite Terre' en latin).

La terrella est en réalité une sphère métallique électriquement conductrice, dans laquelle se trouve un petit aimant à tige, dotée d'un pôle Nord et d'un pôle Sud et placée dans une chambre à vide simulant ce qu'il considère comme le vide spatial. Au sein de cet espace vide, Birkeland envoie un flux d'électrons important (on parlait alors de faisceaux cathodiques). Mais bien sûr, dans cette chambre à 'vide', le vide n'est pas absolu, il reste toujours un peu d'air. Et par le plus grand des hasards, Birkeland recrée la haute atmosphère de la Terre (environ celle qui règne à 70 kilomètres d'altitude) avec juste ce qu'il faut de pression atmosphérique; un peu plus ou un peu moins et son expérience n'aurait donné aucun résultat probant.

Une fois l'expérience plongée dans une obscurité absolue, Birkeland et son assistant observent alors des lueurs cernant la terrella. Les deux scientifiques constatent que les pôles Nord et Sud de leur maquette sont épargnés et que les 'aurores' ne se produisent que dans un anneau autour. Ils comprennent que les lueurs apparues dans la chambre à vide matérialisent le chemin suivi par les particules électriques le long des lignes de champ magnétique, mais ils sont bien incapables, avec



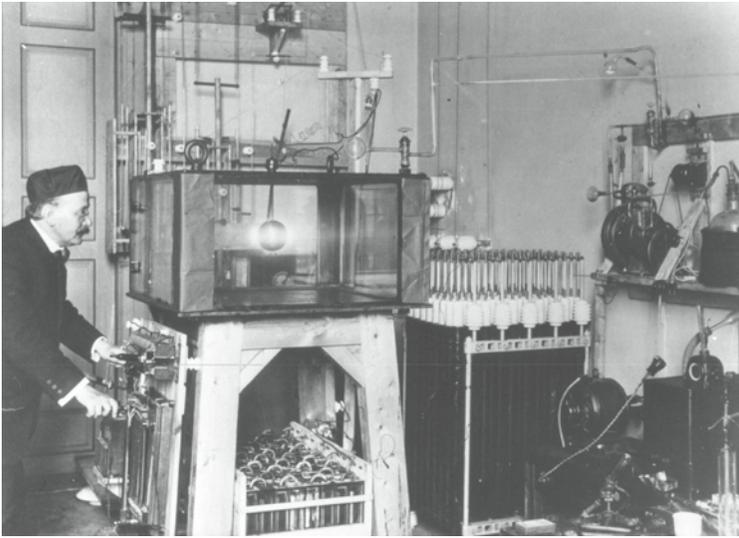
Birkeland dans son laboratoire vers 1900

les moyens scientifiques de l'époque, de comprendre et d'expliquer ce qu'ils ont sous les yeux.

Bien sûr, la terrella ne montre qu'un aperçu des influences entre le Soleil et le magnétisme de la planète Terre mais elle met déjà en évidence les fameux ovales auroraux. Il faudra environ un siècle pour que les premières images satellites réalisées au-dessus des pôles de la Terre viennent corroborer les observations de Birkeland.

Le mécanisme des aurores

Le mécanisme de formation des aurores polaires est très complexe. Il est dû à l'interaction du vent solaire avec la magnétosphère terrestre. Cette interaction entraîne des modifications des champs électriques et magnétiques autour de la Terre. En conséquence, les électrons de la magnétosphère sont accélérés vers la Terre. Ces électrons entrent en collision avec les atomes dans les couches supérieures de l'atmosphère. Pour revenir à leur état initial, ces atomes sont obligés de libérer l'énergie sous forme de photons. De la lumière est ainsi émise et produit des aurores que l'on peut apercevoir durant la nuit.



La *terrella* en fonctionnement dans le laboratoire de Birkeland



Aurore au-dessus de Skibotn, Norvège. Photo prise par le scientifique de l'IASB Gaël Cessateur le 7 mars 2019 (Canon 6D, 14 mm, F / 2.8, temps d'exposition 15s).



Jean Lilensten et sa *planetterrella*



Le logo du projet '*planetterrella*'

Plus l'activité solaire est forte, plus le vent solaire est variable et plus le phénomène de lumière polaire - qui est en fait permanent - montre une luminosité dynamique et s'étend aux latitudes plus basses. L'énergie des électrons qui bombardent l'atmosphère détermine à quelle hauteur le maximum de lumière est émis. Comme la composition de l'atmosphère change avec l'altitude, cela signifie que la couleur de la lumière polaire change également. Par exemple, les lumières vertes et rouges - les couleurs les plus courantes dans la lumière polaire - signifie que l'oxygène atomique est présent entre 100 et 250 kilomètres. Le violet (ou rose) est un révélateur de la présence d'azote moléculaire entre 70 et 100 kilomètres.

La *planetterrella*

Plusieurs *terrella* sont construites par Birkeland en Norvège. D'autres voient le jour un peu partout en Europe mais toutes tombent dans l'oubli, même celles de Birkeland... Jusqu'à ce que Jean Lilensten, directeur de recherche au CNRS, la remette au goût du jour un siècle plus tard. Jean Lilensten officie à l'Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG), il est l'un des pionniers de la météorologie spatiale en Europe et, dans le cadre de ses fonctions, se rend régulièrement près du cercle polaire arctique pour étudier les aurores. Lors d'une de ses missions, il entend parler de la remise en état de ce que l'on pense être la dernière *terrella* fabriquée par Birkeland, par un ingénieur local et spécialiste de l'histoire des sciences, Terje Brundtland.

Après avoir vu une démonstration de cette *terrella* historique, il imagine pouvoir développer un outil similaire. En utilisant des pièces de récupération, il entreprend la réalisation de la première *terrella* moderne. Rapidement, il améliore l'expérience originale, ajoute une seconde sphère et imagine plein d'autres configurations. Il est désormais possible de simuler les aurores d'Uranus et de Neptune, les influences de Ganymède - le plus gros satellite jovien - sur la planète Jupiter et, plus globalement, toutes sortes d'interactions entre une étoile et une planète disposant d'un champ magnétique, et donc aussi les aurores polaires sur Terre. L'expérience est finalement baptisée *planetterrella* en hommage à Kristian Birkeland.

Peu à peu, il implique également des amis et des collègues, dont Cyril Simon qui, alors qu'il est en poste comme scientifique à l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB), introduit l'expérience au Plateau d'Uccle. Cette première expérience, qui est encore utilisée à des fins scientifiques, a été un tel succès qu'une seconde version a rapidement suivi, développée à des fins purement éducatives. Celle-ci peut maintenant être admirée au planétarium de Bruxelles.

Admirez les aurores boréales en live à Bruxelles

La *planetterrella* au Planétarium a été conçue par le STCE à partir des plans fournis par Jean Lilensten, et notamment par Eddy Equeter, entretemps retraité, de l'IASB. Les scientifiques de l'IASB sont actifs dans divers domaines de la recherche sur la lumière polaire et s'intéressent donc particulièrement à la *planetterrella*. Le STCE regroupe l'expertise de scientifiques des trois instituts scientifiques fédéraux d'Uccle (l'IASB, l'Observatoire royal et l'IRM) en ce qui concerne les interactions entre l'espace, le Soleil et la Terre.

La *planetterrella* consiste en un dôme en verre, où nous aspirons (presque) tout l'air à l'aide d'une pompe à vide: il reste un gaz neutre très rare. Sous cette coupole en verre se trouvent deux sphères (une grande et une petite) et une tige. Ces trois objets métalliques peuvent servir d'électrodes. Pour que la *planetterrella* fonctionne, il faut une cathode

à charge positive et une anode à charge négative. En tant qu'anode, on choisit la sphère qui imite la Terre; comme cathode, on choisit soit la tige métallique, soit la seconde sphère. Dans les deux sphères, il y a un barreau magnétique avec un pôle nord et sud dégagé.

En connectant une haute tension de 500 à 1000 volts à ces électrodes, une différence de tension électrique est créée. La différence de tension provoque le détachement d'électrons chargés négativement de l'électrode négative et leur déplacement vers l'électrode positive. Lorsqu'ils se déplacent vers l'électrode positive, ils obtiennent une énergie supplémentaire - jusqu'à 500 à 1 000 volts - ce qui les accélère et leur permet d'entrer en collision avec les quelques molécules d'air encore présentes dans la planetterrella. En conséquence, ces molécules passent à un état d'énergie plus élevé. Ils donnent de la lumière quand ils reviennent à leur état énergétique normal. Chaque type de molécule a ses propres couleurs. Dans la planetterrella se trouve normalement de l'air ordinaire (azote moléculaire et oxygène) ce qui provoque une couleur violette. Des simulations d'atmosphères de composition chimique différente sont également possibles et peuvent provoquer d'autres couleurs.

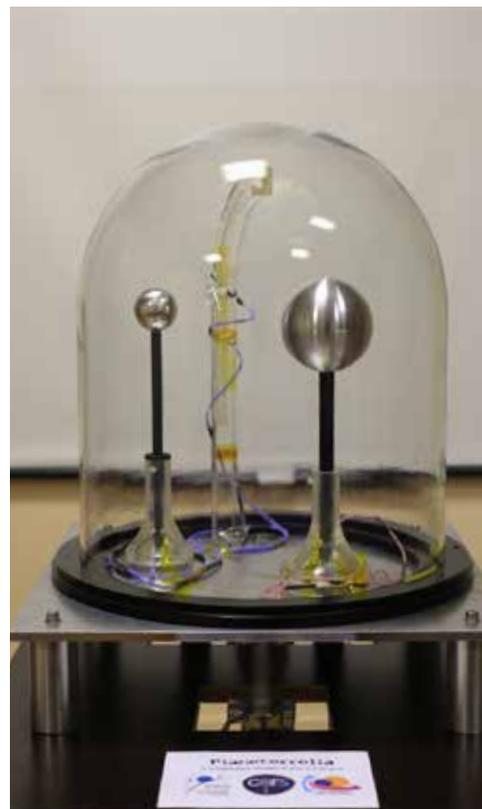
Cependant, il se passe encore autre chose dans la planetterrella. Il y a un aimant dans les électrodes de la planetterrella. Les électrons accélérés suivent les lignes du champ magnétique et la lumière est ainsi concentrée. Et c'est exactement ce qui se passe dans le champ magnétique autour de la Terre. La source d'électrons dans la magnétosphère terrestre se trouve généralement dans la queue de la magnétosphère, semblable à une queue de comète, située derrière la Terre et à l'opposé du Soleil. Cette source est autant plus puissante pendant les tempêtes géomagnétiques. En raison de la forme dipolaire du champ magnétique terrestre, ces électrons se retrouvent dans deux régions annulaires autour des pôles magnétiques de la Terre, les soi-disant ovales de lumière polaire, une pour les aurores boréales et une pour les aurores australes.

Tous ces effets font partie de la météo spatiale : le Soleil influence l'environnement de la Terre, avec des conséquences parfois dévastatrices pour les navettes spatiales et les astronautes, parfois aussi avec des conséquences négatives à la surface de la Terre, mais aussi avec de beaux phénomènes comme la lumière polaire.

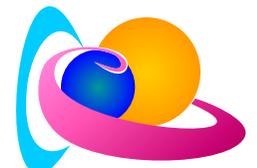
La planetterrella est non seulement pertinente sur le plan scientifique, elle est aussi spectaculaire à voir... et colorée! Autour des sphères magnétiques, une lueur aux reflets violacés et rouges donne à l'ensemble un aspect esthétique, voire artistique. Allez visiter le Planétarium de l'Observatoire royal au Heysel pour l'admirer en direct! La lumière polaire à Bruxelles, on ne voit pas cela tous les jours!



La Planetterrella en cours d'installation à Courrières en 2017.



La Planetterrella du Centre d'Excellence Terre-Soleil à Uccle, maintenant à admirer au Planétarium de l'Observatoire royal de Belgique au Heysel.



Le logo du STCE

Références

Un tout grand merci à Simon Lericque (GAAC). A l'occasion de notre collaboration dans le cadre des Rencontres Astronomiques de Courrières, il rédigea un article sur la Planetterrella dans 'La porte des étoiles n°37' (<http://astrogaac.fr/index.php?id=22>). Cette édition a servi de base à cet article.

Le site web de la planetterrella :

<http://planetterrella.osug.fr>

Le site web du Planétarium :

<http://planetarium.be>

Le site web du STCE :

<http://www.stce.be>

L'auteur

Karolien Lefever est chef du service de communication de l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique.

Le STCE est avant tout le centre belge Soleil-Espace-Terre. Les scientifiques tentent de comprendre le Soleil et de prédire comment les éruptions solaires traversent l'espace et influencent la Terre. Les chercheurs utilisent un certain nombre de satellites et de télescopes, qu'ils contribuent même à développer. Le STCE n'est pas seule, elle collabore avec des entreprises nationales et étrangères, des universités et d'autres institutions scientifiques.



Ossements de Néandertaliens trouvés dans la grotte de Spy © IRSNB

Les premiers hommes modernes en Europe avaient une empreinte écologique plus grande que les Néandertaliens

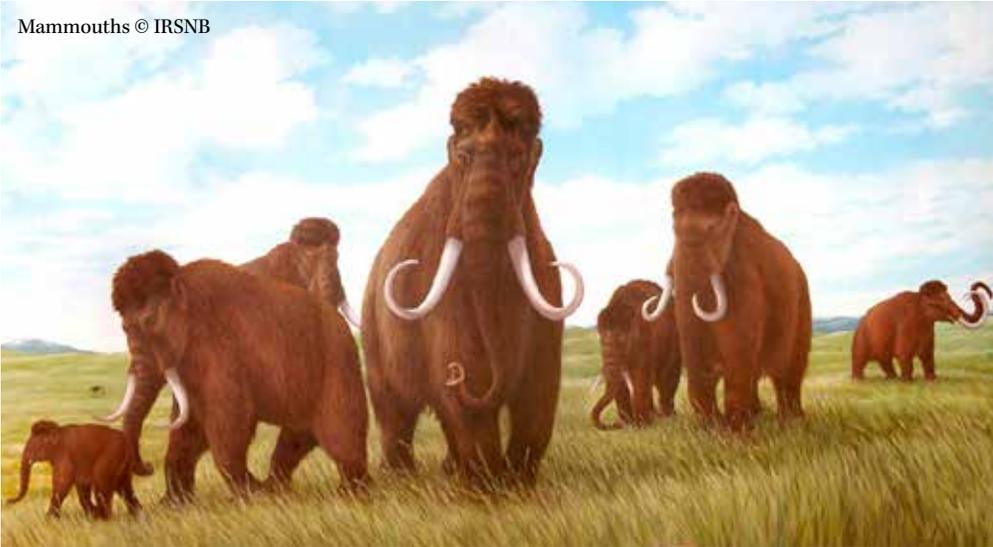
Les premiers hommes modernes en Europe ont fait trembler les écosystèmes il y a environ 40 000 ans. Les populations de mammouths en particulier ont alors considérablement diminué. Cela ressort d'une nouvelle étude sur des ossements de Néandertaliens, d'hommes modernes et d'animaux, provenant tous des grottes belges de Spy et Goyet. Les derniers Néandertaliens mangeaient aussi principalement du mammouth, mais sans que ses populations en soient impactées.

Comment se fait-il que les Néandertaliens aient disparu il y a environ 40 000 ans et que nous, les hommes modernes, ayons alors prospéré ? Des scientifiques tentent de répondre à cette question depuis des décennies. Était-ce lié

à un autre régime alimentaire ? Ou à un niveau de mobilité différent ? Une nouvelle étude publiée dans *Scientific Reports*⁽¹⁾ montre que les deux espèces humaines (*Homo neanderthalensis* et *H. sapiens*) mangeaient la même chose, essentiellement du mammouth et du renne, mais que les hommes modernes chassaient beaucoup plus intensément. Ils étaient aussi moins sédentaires.

Deux grottes belges, près de Namur, sont essentielles pour l'étude des derniers Néandertaliens : Spy et Goyet. Des ossements humains et animaux datant entre 40 000 et 45 000 ans y ont été mis au jour. La grotte de Goyet est même unique au monde, car elle a aussi livré des restes des premiers hommes modernes. Ces ossements, ajou-

Mammoths © IRSNB



tés à ceux des premiers *Homo sapiens* provenant de deux sites allemands, ont fait l'objet d'une étude comparative menée par une équipe de recherche internationale. Trois scientifiques de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique ont pris part à cette recherche.

Le même menu

Les scientifiques ont analysé les isotopes de carbone et d'azote contenus dans le collagène des os afin de déterminer ce que hommes et animaux mangeaient à l'époque. Il s'avère que les Néandertaliens avaient le même régime que les hommes modernes, à savoir principalement du mammoth et du renne. En outre, les deux groupes avaient également au menu du rhinocéros laineux, parfois un cheval ou un bison et, dans de rares cas, un ours des cavernes. 'Nous observons peu de différences dans le régime alimentaire des Néandertaliens et des premiers hommes modernes de nos régions', explique la paléontologue Mietje Germonpré (IRSNB), qui a examiné la mégafaune dans le cadre de cette étude. 'Les Néandertaliens n'ont donc peut-être pas disparu en raison d'un régime alimentaire moins riche, moins diversifié ou plus limité, comme on le pense souvent.'

Une empreinte écologique plus grande

Les chercheurs ont constaté, dans la composition isotopique des herbivores, que la population de mammoth était encore stable à l'époque des Néandertaliens. 'Mais cela a radicalement changé avec l'arrivée des hommes modernes en Europe', déclare Germonpré. 'Ces derniers chassaient beaucoup plus intensément les mammoths. Nous voyons que l'influence humaine sur l'écosystème s'est accrue une fois que l'homme moderne s'est installé en Europe. Les populations de mammoths ont commencé à souffrir de la pression de la chasse et les chevaux ont pris la niche écologique des mammoths.'

Des hommes plus mobiles

L'isotope stable du soufre dans le collagène osseux nous renseigne sur la composition du substrat local et fonctionne comme un 'traqueur' : les scientifiques peuvent en déduire

l'origine, locale ou éloignée, des hommes et animaux. Les Néandertaliens de Spy restaient sur le site et chassaient à proximité immédiate. Les Néandertaliens de Goyet trouvaient leurs proies hors de l'écosystème local. Mais, comme l'a montré une étude réalisée en 2016⁽²⁾, les os de ces derniers portent des traces de cannibalisme : coupures, cassures et impacts de percussion indiquent que les restes humains ont été dépourillés et les os brisés pour en extraire la moelle osseuse nutritive. De nombreuses questions à ce sujet restent en suspens, mais les chercheurs remarquent que ce sont précisément les Néandertaliens qui n'étaient pas de la région qui ont été victimes du cannibalisme.

Les Néandertaliens de Spy, nourris avec des animaux vivant dans la région, et les Néandertaliens de Goyet, bien qu'ils ne soient pas locaux, forment un groupe homogène sur base de leur régime alimentaire. Les hommes modernes de Goyet montrent eux des différences dans la mobilité. Les chercheurs soupçonnent que l'homme moderne occupait un territoire plus varié et plus étendu et exploitait l'environnement de manière différente. Il semble que les individus se soient joints à d'autres groupes et pourraient avoir échangé beaucoup plus d'idées. Peut-être était-ce la chose la plus importante qui différencie les Hommes modernes des Néandertaliens.

Dent de lait d'un mammoth trouvé dans la grotte de Goyet © IRSNB



Mietje Germonpré avec une dent de lait d'un mammoth © IRSNB



Références

- (1) www.nature.com/articles/s41598-019-41033-3
- (2) www.naturalsciences.be/nl/news/item/5986

Les petits arbres sortent de l'ombre des forêts

Wannes Hubau, Tom De Mil,
Bhély Angoboy Ilondea,
Hans Beeckman et Eline Sciot

Les arbres géants ont longtemps été considérés comme les plus vieux arbres de la forêt tropicale congolaise

Des scientifiques du Musée royal de l'Afrique Centrale (MRAC), de l'Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomique de la République démocratique du Congo (RDC) et d'un consortium international d'instituts de recherche ont cependant découvert que les arbres de petite taille vivent en moyenne plus longtemps que les grands exemplaires et qu'ils peuvent donc stocker du carbone pendant une plus longue période. Une découverte aux conséquences importantes pour la politique forestière.

Des archives en plein cœur de la jungle

Cette étude s'est appuyée sur les archives de l'Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomique (INERA), 'oubliées' dans la réserve de Luki (au sud-ouest de la RDC), au cœur de la jungle. La collection hétérogène de rapports, d'articles, de tableaux et de cartes recouverts d'une épaisse couche de poussière, s'est révélée regorger de précieuses observations botaniques datant de la période coloniale. Ces documents ont mis les écologistes forestiers du MRAC sur la piste du parc de Nkula, un site de recherche de 174 hectares, situé au cœur de la réserve, dans le bassin de la rivière Nkula. Dans ce parc, aménagé en 1947 sous la direction du botaniste Léon Toussaint, des scientifiques avaient enregistré et suivi de près la vitesse de croissance de quelque 6 315 arbres. Grâce à des sentiers d'observation sur une longueur de 29,2 kilomètres, les chercheurs de l'époque pouvaient facilement rejoindre ces arbres portant une plaquette d'identification numérotée.

Entre 1948 et 1957, le diamètre de tous les arbres répertoriés a été mesuré une fois par an. Le point de mesure – à une hauteur de 1,3 m – était marqué d'un trait de peinture au plomb. Les scientifiques de l'époque avaient également consigné très précisément les données relatives à la mortalité de ces arbres et effectuaient, une fois par semaine, des observations 'phénologiques'. Ils ont ainsi noté, pour les 6 315 arbres, la date du bourgeonnement, du débournement, de la floraison, de la fructification, de la dispersion des graines et de la chute des feuilles, afin de mieux comprendre le processus de croissance. Aujourd'hui encore, ce type de séries de données précises, intégrées et à grande échelle reste très rare dans les régions tropicales du conti-

nent africain. Les scientifiques ont déserté le parc de Nkula en 1957 mais les fiches de données ont été conservées dans la bibliothèque de la station INERA à Luki qui s'est peu à peu retrouvée coupée du monde, à mesure que la jungle conquerrait de nouveaux territoires.

Une carte au trésor et un détecteur de métaux pour retrouver la piste de ces arbres

C'est le botaniste congolais Papa Mbambi et Fils Mbungu Phaka qui ont signalé à l'équipe de biologie du bois du MRAC l'existence de ce riche matériel d'archives. Les scientifiques ont commencé par réexaminer ces anciennes données, ce qui les a conduits à une découverte inédite : une carte du parc de Nkula datant de l'année 1948, sur laquelle les sentiers d'observation, et même l'emplacement d'une série d'espèces remarquables, avaient été indiquées avec une grande précision (Figure 1). Lors d'une première expédition prospective sur le terrain en août 2014, cette carte a été numérisée à l'aide d'un GPS et d'un logiciel SIG. Les chercheurs ont pu ainsi déterminer l'emplacement (estimé) d'au moins 1 521 arbres recensés vivants lors des dernières observations, en 1957.

La carte étant suffisamment détaillée, les chercheurs sont parvenus à retrouver ces arbres lors d'une deuxième étude sur le terrain, en 2014. Plus de 60 ans après le départ des

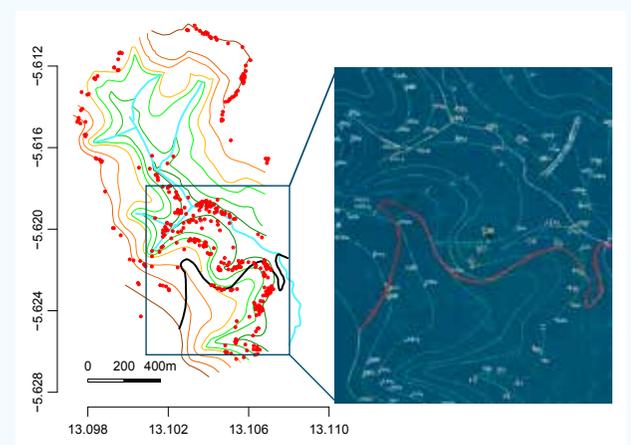


Figure 1 : Une 'carte aux trésors' datant de la période coloniale (à droite) a mis les chercheurs sur la piste des arbres recensés et numérotés (points blancs) dans le parc de Nkula. Ils y ont trouvé 450 arbres toujours en vie (à gauche, points rouges). © Tom De Mil

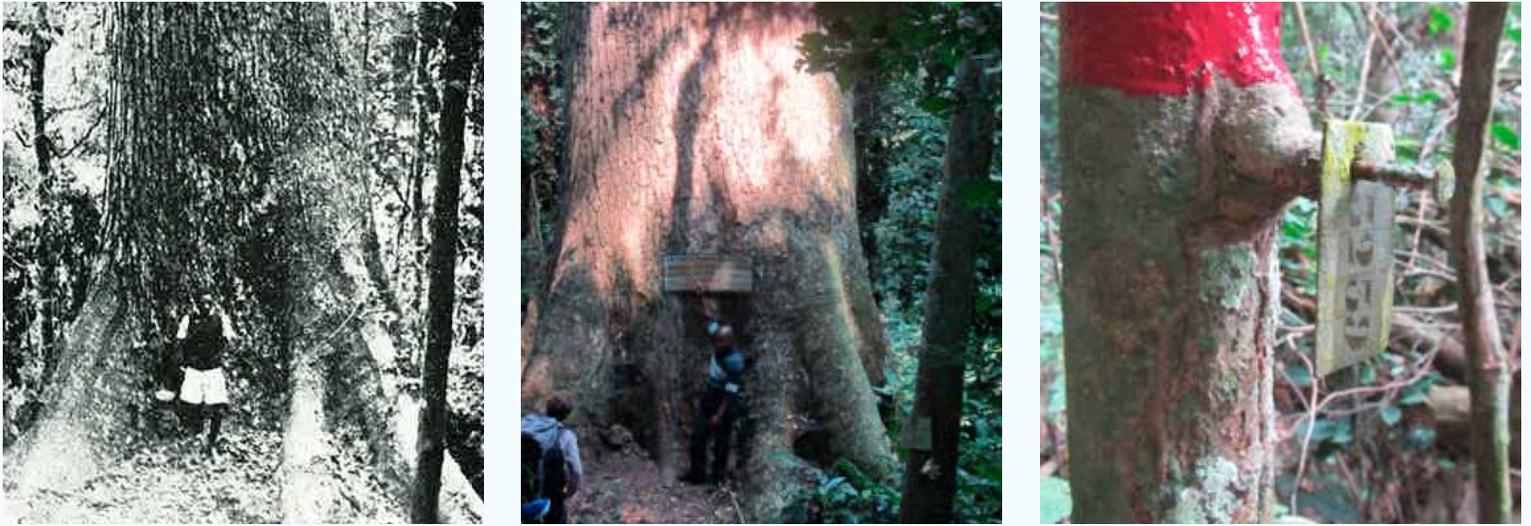


Figure 2 : Le diamètre de cet *Entandrophragma utile* émergent (photo de gauche) avait été estimé à 2,5 mètres en 1948. En 2014 (photo du milieu), son diamètre était de 3,2 mètres, au même endroit. Sur cette période de 66 ans, il a donc gagné 1 cm par an en moyenne. Si l'on prend pour hypothèse un taux de croissance constant pendant toute sa durée de vie, cet arbre aurait donc environ 300 ans. Le petit *Cola* (photo de droite), dont le diamètre était de 64 cm en 2014, n'a en revanche gagné que deux millimètres de diamètre en 66 ans. Il a donc un peu plus de 300 ans. © Camille Donis et Tom De Mil

scientifiques coloniaux, de nombreux arbres portaient encore une plaquette d'identification et des marques de peinture. Sur d'autres exemplaires, les chercheurs ont observé au niveau du tronc des cicatrices laissées par les clous des plaquettes. Armés d'un détecteur de métaux, ils ont retrouvé des clous, enfoncés parfois jusqu'à 20 cm à l'intérieur de l'arbre. D'autres plaquettes furent retrouvées entre les racines de certains arbres ou sous la couche d'humus à côté de l'arbre. Au total, 450 arbres vivants et 16 arbres morts ont pu être localisés. Nulle trace en revanche des 1 057 autres, probablement morts et entièrement décomposés. Fait étonnant, le groupe des arbres morts se composait majoritairement de très grands spécimens alors que les arbres de petite taille étaient encore pleins de vitalité. Ceux-ci semblaient avoir à peine poussé, comme si le temps avait arrêté leur croissance.

La marque de peinture utilisée pour la mesure était encore visible sur 95 % des arbres. Une chance exceptionnelle pour les scientifiques, qui ont pu ainsi déterminer leur vitesse de croissance sur une très longue période (plus de 60 ans), en reprenant simplement la mesure de leur diamètre, exactement au même endroit (Figure 2). Fait unique au site d'étude de Nkula, les cicatrices laissées dans le bois par les clous des plaquettes ont pu servir de point de repère extrêmement précis pour la modélisation de la croissance. Les variations du taux de croissance allaient donc pouvoir être étudiées avec une très grande précision.

Un arbre de petite taille n'est pas toujours un jeune arbre !

À cette fin, les chercheurs ont sélectionné cinquante arbres, à chacun des étages de la forêt. La classification des arbres par étage s'est faite sur la base de la quantité de lumière directe au niveau de leur couronne (Figure 3). On distingue ainsi les arbres de l'*étage inférieur*, qui vivent entièrement à l'ombre, les arbres de l'*étage intermédiaire*, qui sont des essences de demi-lumière, et les arbres de la *canopée* qui captent beaucoup de lumière. Les arbres de l'étage inférieur sont des espèces de petite taille, à crois-

sance lente, et capables de survivre à l'ombre, alors que ceux de la canopée se livrent une âpre concurrence pour recevoir toute la lumière dont ils ont besoin pour pousser et atteindre de grandes dimensions. Les forêts tropicales humides se caractérisent par la présence d'un étage supplémentaire ; celui des arbres *émergents* : ce sont les géants de la forêt qui culminent au-dessus de la canopée. Souvent les arbres de l'étage inférieur appartiennent à d'autres espèces que les arbres de la canopée.

Les scientifiques se sont ensuite attelés à mesurer la largeur des cernes de ces cinquante exemplaires. Ces mesures ont été effectuées sur des échantillons de bois – de la moelle à l'écorce – prélevés à l'aide d'une mèche creuse de 40 centimètres de long. Des 'carottes' cylindriques (5 millimètres de diamètre) ont ainsi été retirées à quelques centimètres au-dessus et au-dessous du clou, l'objectif étant d'identifier des traces de réaction entre le bois et le métal

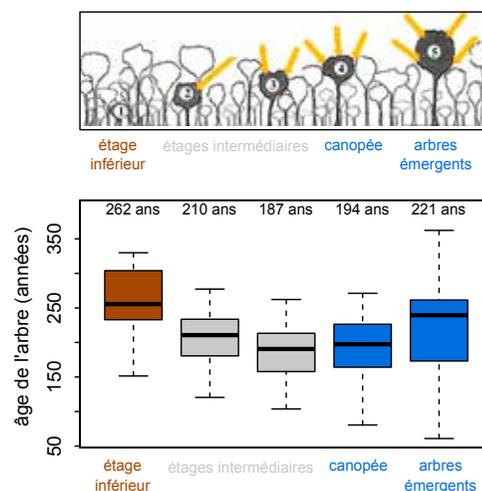


Figure 3 : Répartition et moyenne d'âge, par étage, des arbres du parc de Nkula et des 23 parcelles de recherche permanentes (en bas). Les différents étages et les angles d'incidence de la lumière du soleil sont représentés dans l'illustration en haut (flèches jaunes). © Wannès Hubau



Figure 4 : Prélèvement d'une carotte à l'aide d'une mèche creuse. © Tom De Mil

(Figure 4). Afin d'étudier ces réactions de manière encore plus précise, cinq arbres ont également été abattus. Une section de tronc a été ensuite été sciée au niveau du clou.

Les chercheurs ont utilisé des techniques d'imagerie très pointues pour analyser les carottes. Un scanner à rayons X, spécialement construit par l'Université de Gand pour la recherche sur le bois, a livré des clichés détaillés qui ont permis de mesurer les cernes de croissance. Sur chaque arbre, le cerne correspondant à l'année 1948 était clairement identifiable. En effet, lorsque les plaquettes d'identification ont été clouées sur les arbres, des vaisseaux ont été transpercés et des particules de fer ont pénétré dans la sève. Des réactions chimiques entre le fer et l'eau ont altéré la couleur des vaisseaux lésés. Cette coloration a permis d'identifier le bois déjà formé avant 1948. Le tissu cicatriciel qui s'est formé autour du clou signe aussi le cerne-repère de 1948. Il n'est en effet présent que sur le bois qui s'est formé après la 'plaie' (Figure 5).

En comptant les cernes formés après ce cerne-repère de 1948, les chercheurs sont parvenus à déterminer avec précision l'âge de chaque arbre. Cet âge était compris entre 129 et 452 ans. Ils ont ainsi mis en avant l'absence de corrélation linéaire entre l'âge d'un arbre et sa circonférence – une conclusion étonnante : un arbre de petite taille n'est donc pas toujours un jeune arbre et l'arbre le plus imposant n'est pas forcément le plus vieux, contrairement à ce qu'on pourrait penser de prime abord. Les arbres de petite taille de l'étage inférieur étaient même en moyenne plus âgés que ceux des étages intermédiaires. En outre, ils avaient aussi pratiquement le même âge que les géants de la canopée. Ainsi, malgré leur petite taille, les petits arbres peuvent atteindre un âge 'canonique'. Un petit arbre d'à peine 10 cm de diamètre était par exemple âgé de 329 ans, et avait ainsi 126 ans de plus qu'un arbre voisin d'un diamètre de 60 cm (203 ans seulement) (Figure 6).

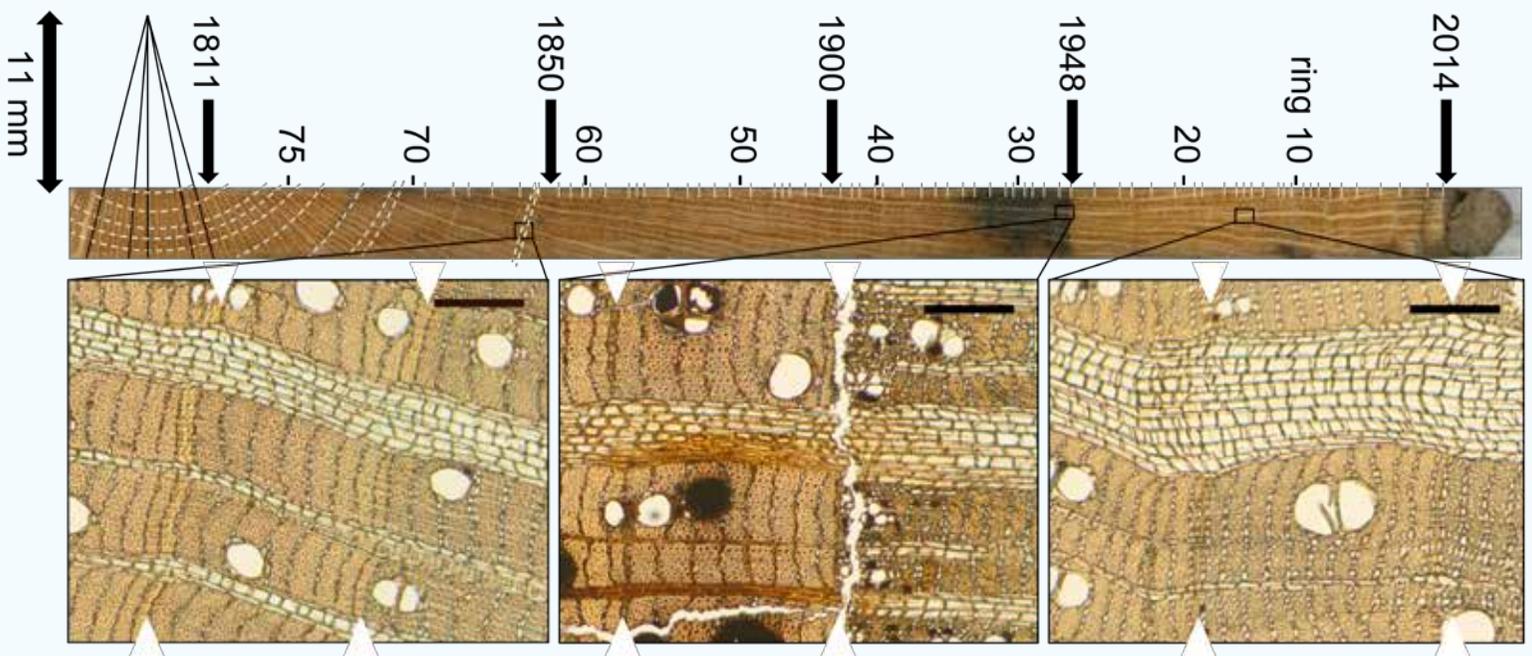


Figure 5 : Carotte (*Greenwayodendron suaveolens*) portant la trace d'un clou fixé en 1948. En haut, la carotte entière, avec les limites des cernes (lignes blanches), les cernes (comptés de l'écorce à la moelle), et les dates (flèches noires). L'écorce, à droite, indique l'année du prélèvement de l'échantillon (2014). Le noircissement des cernes 26 à 35 est dû à l'oxydation du clou de fer, les particules de fer ayant été transportées vers le haut et vers le bas dans les vaisseaux et les fibres lésés. Le bord droit de la zone noircie indique précisément le début de l'année 1948. Les 25 cernes entre l'écorce et ce point permettent de supposer qu'il a fallu en moyenne 2,6 ans pour qu'un cerne se forme. On peut donc en déduire que le rythme de croissance de cet arbre n'a pas été constant mais que sa croissance a régulièrement été interrompue. La structure des cernes a permis d'estimer l'âge de cet arbre : 224 ans (1790-2014). Les trois gros plans en bas illustrent les détails anatomiques des limites des cernes (triangles blancs). Les tirets noirs indiquent l'échelle de 0,2 mm. © Tom De Mil

De données comparées à celles de dizaines de milliers d'arbres

Ces données uniques issues de la forêt tropicale congolaise ont été comparées avec les données de croissance d'arbres d'autres forêts tropicales du continent. Depuis 1970, *L'African Tropical Rainforest Observation Network* (www.afritron.org) suit et enregistre la croissance de dizaines de milliers d'arbres de 11 pays d'Afrique centrale à l'aide de la mesure 'classique' du diamètre. Vingt-trois parcelles de recherche de la même région biogéographique que le parc de Nkula (Cameroun, Gabon, Congo Brazzaville et République démocratique du Congo) ont été sélectionnées aux fins de cette comparaison. Dans ces parcelles – un rectangle délimité d'1 hectare – une plaque d'identification est apposée sur chaque arbre. Le diamètre des arbres y a été mesuré au moins deux fois depuis 1980 (Figure 7) afin d'estimer le taux de croissance de chaque arbre. L'âge des arbres a été évalué en divisant le diamètre actuel (mm) par la vitesse de croissance (mm/an), en prenant pour hypothèse un taux de croissance constant pendant toute la durée de vie de l'arbre.

L'âge moyen des arbres des 23 parcelles était de 229 ans (Figure 3). L'âge moyen d'un arbre de l'étage inférieur a été estimé à 262 ans, un âge nettement plus élevé que l'âge moyen de tous les arbres des 23 parcelles mais aussi beaucoup plus élevé que celui des arbres de l'étage intermédiaire (187 ans), de la canopée (194 ans), et même des arbres émergents qui surplombent la canopée (221 ans). Ces résultats confirment l'observation faite dans le parc de Nkula, à savoir que les petits arbres peuvent être remarquablement âgés.

Et les champions du stockage du carbone sont...

Le climat de la Terre est en grande partie influencé par le taux de CO₂ dans l'atmosphère. Une concentration très élevée de CO₂ ralentit l'évacuation de la chaleur à la surface de la Terre et accroît ainsi l'effet de serre. La végétation joue un rôle essentiel dans la régulation du climat, en stockant l'excès de CO₂ dans l'atmosphère. Les végétaux extraient le carbone (C) du CO₂ pour assurer leur métabolisme tissulaire et rejettent l'oxygène (O₂) dans l'atmosphère. Les forêts sont les champions toutes catégories du stockage de carbone. La moitié du carbone végétal de la planète y est stockée. Il s'agit d'un stockage à long terme – principalement dans les troncs.

Investir dans la rétention du carbone dans les forêts constitue donc un volet important de toute stratégie de lutte contre le changement climatique. Pour préserver ces stocks de carbone forestier et accroître ce stockage, il est donc indispensable de protéger les forêts riches en carbone et d'étendre les surfaces boisées. Mais il faut aussi que les décideurs politiques et les gestionnaires arrivent à comprendre parfaitement la dynamique à long terme du carbone dans les forêts. Les questions clés sont ici : (1) Combien de temps le carbone reste-t-il stocké dans l'écosystème forestier ? (le 'temps de rétention du carbone'), et (2) Quels sont les arbres qui stockent le plus longtemps le carbone ?



Figure 6 : Les apparences peuvent être trompeuses : cet arbre de petite taille a plus de 100 ans de plus que son grand voisin. La petite section a été prélevée au niveau du tronc d'un petit arbre africain d'un diamètre de 7 cm seulement, mais qui n'en est pas moins âgé de 329 ans. Le clou et la plaque d'identification datent de 1948 ; le noircissement ne touche que les tissus ligneux formés avant 1948. La grande section a été prélevée sur un arbre de la canopée âgé de (seulement) 203 ans. © MRAC, photo Jo Van de Vijver

Le 'temps de rétention du carbone' est en corrélation directe avec la durée de vie des arbres : plus un arbre vit longtemps, plus il stockera du carbone. Les arbres les plus vieux se révèlent ainsi être les champions du stockage. Les scientifiques sont encore loin de s'être mis d'accord sur l'âge exact des plus vieux arbres des forêts tropicales, et les débats font rage : si certains parlent d'au moins 1 000 ans pour des feuillus, d'autres affirment que les plus vieux arbres auraient maximum 600 ans. Les études sont relativement peu nombreuses et souvent controversées. Par facilité, on a souvent émis l'hypothèse que les arbres les plus grands étaient aussi les plus âgés. De plus, si l'on s'en tient à une simple loi empirique, plus un arbre est grand, plus il contient de carbone. C'est la raison pour laquelle on a longtemps supposé que les plus grands arbres contenaient les plus grandes quantités de carbone – et aussi le carbone le plus ancien.

La recherche du MRAC montre toutefois que dans la nature, les choses ne sont pas si simples. S'il est vrai que les géants de la forêt constituent la plus grande partie de la biomasse forestière, il y a dans les arbres comme dans tout autre organisme vivant, un compromis spécifique entre croissance et durée de vie. Si les arbres de grande taille 'fabriquent' rapidement une importante quantité de biomasse, ils vivent aussi moins longtemps, et leur 'temps de rétention du carbone' est donc plus limité. Lorsqu'un arbre mort se décompose, la majeure partie du carbone qui y était stocké retourne dans l'atmosphère. La mort d'un seul géant a donc des conséquences dramatiques pour la totalité des stocks de carbone d'une forêt. Les arbres de petite taille sont en revanche bien armés pour (sur)vivre longtemps avec un minimum de lumière et d'eau. C'est donc dans les petits arbres de l'étage inférieur que se trouvent les stocks les plus anciens de l'écosystème forestier. En outre, vu que ces petits arbres sont très nombreux, la mort d'un exemplaire n'a pas d'impact majeur sur la totalité des stocks de carbone de la forêt.



Figure 7 : Mesurage d'arbres sur une parcelle de recherche permanente du Parc national de Salonga, RDC (à gauche), et dans l'aire protégée de Banyang-Mbo, Cameroun (à droite). © Wannes Hubau

Conclusion : ne surtout pas négliger les arbres de petite taille

Cette étude montre à quel point la question de la répartition par âge des arbres, de la répartition des stocks de carbone et du temps de rétention du carbone des espèces tropicales des forêts humides mixtes est complexe. Les arbres de petite taille contiennent peu de carbone, mais ils vivent longtemps et sont très nombreux. Les grands arbres sont plus rares et ont un cycle de vie plus court, mais certaines espèces peuvent stocker d'énormes quantités de carbone. Des études ont par ailleurs montré que les géants de la forêt sont les premiers à mourir lors des sécheresses extrêmes. Composé d'arbres plus résistants, l'étage inférieur des forêts tropicales est donc appelé à jouer à l'avenir un rôle de plus en plus important dans la stabilité à long terme du processus de stockage du carbone.

Une gestion éclairée et prospective des forêts tropicales, axée sur les impératifs du stockage du carbone, doit donc prendre en compte le rôle des différents étages du couvert. En matière de gestion forestière et de stockage de carbone, l'attention se concentre souvent sur les grands arbres. A tort, car les apparences sont trompeuses. Nous encourageons donc les scientifiques et les gestionnaires forestiers à prendre en compte non seulement la taille des arbres,

mais aussi leur durée de vie. Grands ou petits, les arbres jouent un rôle important dans le stockage à long terme du carbone. Il y a lieu de considérer les forêts comme un tout, chaque étage assurant des services spécifiques et essentiels qu'il faut préserver. Une telle gestion des forêts s'avère particulièrement importante en Afrique centrale, où l'étage inférieur est menacé par l'abattage de bois pour le chauffage et la production de charbon de bois.

Références

Cette étude, réalisée par des scientifiques du Musée royal de l'Afrique centrale, de l'Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomique et d'un consortium international d'instituts de recherche, a été publiée dans le numéro de février de *Nature Plants*. La photo de Jo Van de Vijver (photographe du MRAC) a été choisie comme photo de couverture.

The persistence of carbon in the African forest understory, *Nature Plants*, Volume 5, numéro 2 (mis en ligne le 21 janvier 2019)

DOI : 10.1038/s41477-018-0316-5

www.nature.com/articles/s41477-018-0316-5

<https://www.africamuseum.be/en/research/discover>

Recherche du MRAC dans les réserves de biosphère de Luki et Yangambi au Congo

Le programme de l'UNESCO sur l'Homme et la biosphère a pour mission d'améliorer la relation entre l'Homme et la nature. Son réseau mondial de réserves de biosphère concilie projets de protection de la nature et développement économique. Une réserve de biosphère se compose généralement d'une aire centrale qui doit être protégée dans son intégralité, d'une zone tampon où des expériences et des formations sont autorisées, et d'une aire de transition réservée à divers projets de développement durable. Les réserves de biosphère sont de plus en plus considérées comme des laboratoires de recherche sur l'impact du changement climatique et le développement durable. Deux réserves de biosphère ont été créées dans les forêts tropicales de la RDC : la réserve de Luki, dans la forêt de Mayombe, à l'ouest du pays, et la réserve de Yangambi dans la forêt tropicale des plaines, à 100 km au nord-est de Kisangani. Il s'agit là de deux sites privilégiés pour la recherche interdisciplinaire. Depuis 2004, le MRAC y étudie entre autres le stockage du carbone et la croissance des arbres. La plupart des projets de recherche sont financés par Belspo, et sont mis en œuvre en collaboration avec le Jardin Botanique de Meise et les Universités de Gand et de Liège (Gembloux Agro-Bio Tech).

Avec la coopération de :

Center for X-ray Computed Tomography (UGCT), Université de Gand (www.ugct.ugent.be)

African Tropical Rainforest Observation Network (AfriTRON), Université de Leeds (www.afritron.org)

Les auteurs

Wannes Hubau, écologiste forestier du MRAC

Tom De Mil, écologiste forestier du MRAC et de l'Université de Gand

Bhély Angoboy Ilondea, écologiste forestier du MRAC et de l'INERA

Hans Beeckman, écologiste forestier et chef du

Département de biologie du bois au MRAC

Eline Sciot, chargée de la communication scientifique du MRAC



IDEALiC

L'inclusion numérique par l'amélioration de l'autonomie et du pouvoir d'agir au fil du parcours de vie

CC-flickingerbrad-2.0

La recherche IDEALiC s'intéresse à l'incidence de la numérisation croissante des services et activités quotidiennes sur les conceptions de l'inclusion et de l'autonomie numérique. À l'heure de l'omniprésence des technologies numériques dans tous les domaines de la société, la digitalisation des services publics et privés constitue une réalité incontournable. Les discours d'accompagnement de cette transition numérique insistent sur le potentiel émancipateur des usages du numérique, censés apporter davantage d'autonomie, de pouvoir d'agir et de justice sociale. Cependant, des recherches récentes soulignent le risque croissant d'exclusion numérique que cette transition génère dans le grand public (Brotcorne, 2010; Schurmans & Mariën, 2013; Hargittai, 2013; Van Deursen & al., 2016). Elles montrent notamment que les caractéristiques socioéconomiques des individus ne suffisent plus à expliquer l'exclusion numérique et que celle-ci s'étend au-delà des groupes habituellement considérés comme vulnérables sur le plan socioéconomique.

Bien qu'un effort scientifique significatif ait été consacré à la recherche sur l'inclusion numérique en Flandre, en Wallonie et au niveau national, des lacunes persistent dans la compréhension des mécanismes par lesquels cette numérisation des services peut fragiliser la participation des individus aux différents domaines de la vie sociale.

L'ambition générale de la recherche IDEALiC est d'étudier les incidences de cette transition numérique sur l'autonomie et la capacité d'action des individus dans les divers domaines de la vie sociale, ceci dans le but de proposer des politiques et des initiatives en matière d'inclusion numérique pour contrer ces mécanismes émergents d'exclusion.

IDEALiC est un projet de quatre ans financé dans le cadre du programme de recherche BRAIN-be de la Politique scientifique fédérale (2015-2019). Il répond à l'un des grands défis de société actuels, l'e-inclusion, et offre un appui scientifique aux compétences de l'Autorité fédérale. Il est mené par la Vrije Universiteit Brussels (VUB) en partenariat avec l'Université Catholique de Louvain (UCLouvain) et la Fondation Travail-Université (FTU). Le projet repose sur une démarche interdisciplinaire, combinant la recherche qualitative et l'analyse de données quantitatives existantes. Il privilégie aussi une approche plurielle des acteurs concernés par les enjeux de l'inclusion. Usagers, services d'intérêt général, politiques publiques et acteurs associatifs constituent autant d'angles d'approche du projet.

Une perspective centrée sur les usagers

La 'perspective usagers' a été menée par le biais de deux études qualitatives complémentaires basées sur le parcours de vie des utilisateurs. Ce focus particulier sur les étapes de vie a permis une compréhension approfondie des perceptions des individus, de leurs utilisations des

TIC ainsi que de l'acquisition de compétences numériques, ceci tout au long d'étapes de vie. 85 entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de personnes âgées entre 18 et 70 ans et dont les degrés de familiarité avec les TIC étaient variables. Les expériences du numérique au fil de ces parcours de vie ont été abordées sous deux angles distincts.

Une première étude a analysé les différents usages et les expériences des TIC selon les étapes de vie, en comparant les individus appartenant à un même groupe d'âge. L'étude propose une réflexion sur la place des TIC dans le quotidien et les besoins qui en découlent, en envisageant l'autonomie numérique comme une marge de manœuvre par rapport à une injonction à l'usage. Les personnes appartenant à une même génération partagent des étapes de vie similaires (l'entrée dans la vie active, devenir parent, quitter la vie active, etc.), mais aussi des ruptures (maladie, perte d'emploi, etc.). À chacune de ces étapes, elles font l'expérience du caractère de plus en plus incontournable des TIC.

L'étude montre comment ces personnes négocient leurs choix d'utiliser ou non ces nouvelles technologies. Au-delà des objectifs concrets poursuivis, les usages sont également façonnés par des représentations plus globales de la numérisation et de ses impacts sur la société. Des perceptions ambivalentes se croisent ; elles révèlent une tension entre les impacts positifs et négatifs des usages au niveau individuel, les impacts négatifs laissant des capacités d'action limitée. Ensuite, en analysant les pratiques numériques dans le contexte de l'éducation, du travail et de la vie privée, l'analyse met en lumière les obstacles à la participation à la société numérique liés aux événements de vie. Indépendamment du groupe d'âge, des trajectoires de vie et du profil de compétence numérique, des situations à haut, moyen et faible risque d'exclusion numérique émergent. Enfin, l'analyse revient sur les normes d'usage et pointe des problèmes persistants d'accessibilité ainsi que de nouveaux questionnements plus critiques sur le sens que les individus donnent à la numérisation.

La deuxième étude qualitative dépasse les étapes de vie et examine les seuils et les contextes individuels qui permettent aux individus de tirer profit de leur utilisation des technologies numériques. Premièrement, il est clair que l'accès aux services est primordial pour l'utilisateur, peu importe la plateforme ou l'outil sur lequel le service est offert. Les gens veulent pouvoir utiliser un service, et qu'il soit offert via Internet, sur une tablette, sur un ordinateur portable, via un guichet ou via une application mobile est d'une importance secondaire. Deuxièmement, il est clair que la fluidité numérique et la maîtrise des enjeux liés aux données deviendront des compétences clés pour évoluer dans le monde numérique. La fluidité numérique fait référence à la capacité de passer en douceur d'une plateforme numérique à l'autre, ce qui est nécessaire, entre autres, pour l'utilisation de services qui sont de plus en plus offerts sur

différentes plateformes. La datafication du monde et de la vie quotidienne, comme l'offre d'un contenu personnalisé basé sur la collecte des données personnelles ou l'envoi de choix générés par des algorithmes basés sur des données, sont devenus des réalités. Faire preuve de data literacy, qu'il s'agisse de collecter des données, de savoir qui les utilise et pourquoi, qui les revend et dans quel but, est crucial afin de comprendre comment son propre comportement en ligne est contrôlé à partir de ces données.

Des études de cas au sein de trois organismes d'intérêt général

Un autre volet de la recherche adopte une perspective institutionnelle. Il examine la place et le rôle de l'inclusion numérique dans la numérisation de services d'intérêt général. Il s'intéresse notamment à la manière dont la perspective des usagers est intégrée dans le travail de conception. Trois études de cas ont été menées au sein d'organismes d'intérêt général actifs dans les domaines de la mobilité, de la santé et de l'administration. L'originalité de ce volet réside dans le fait d'appréhender les inégalités numériques par le prisme des fournisseurs de service d'intérêt général.

Pour comprendre l'influence des politiques de numérisation sur le maintien d'une offre accessible à tous les usagers, une dizaine d'entretiens ont été menés auprès des parties prenantes du processus de conception des services en ligne dans chaque cas d'étude.

Les résultats soulignent dans l'ensemble l'incertitude que représente la numérisation des services pour les organismes concernés. Bien que le déploiement du numérique paraisse aller de soi, cette injonction à la dématérialisation des services ne semble pas faire l'objet d'une stratégie clairement définie, coordonnée et partagée par l'ensemble des acteurs concernés. La certitude d'être face à un inéluctable processus de transformation laisse place à l'incertitude quant aux démarches à suivre pour y parvenir, ce qui rend difficile la mise en place d'actions en faveur d'une numérisation inclusive.

Derrière un consensus sur l'importance d'une numérisation inclusive des services se cachent des conceptions variées de ce que recouvre l'inclusion numérique. Cette juxtaposition de positions, parfois peu conciliables, donne naissance à des compromis entre les différentes logiques à l'œuvre : industrielle, marchande et civique. Ces compromis se concrétisent dans des dispositifs numériques 'composites' qui attestent d'une attention variable au principe d'intérêt général : appel vocal plutôt que visioconférence, chat plutôt que chatbot, application des normes d'accessibilité à la carte, design moins beau mais plus ergonomique, etc.

Les méthodologies visant à intégrer le point de vue usagers dans le travail de conception révèlent la difficulté d'assurer un équilibre entre ces différentes logiques tout en veillant à maintenir le développement de services



CC-MiikaS-SA-2.0

dans une optique inclusive. Dans l'ensemble, la conception des services apparaît centrée sur l'utilisateur. Mais si ces derniers sont placés au cœur du processus, c'est davantage en tant que consommateur / contributeur que véritable partie prenante d'une co-construction.

Par ailleurs, qu'il s'agisse de mobiliser des porte-paroles d'utilisateurs absents ou de les impliquer directement dans le travail de conception, les méthodologies de captation des points de vue d'utilisateurs semblent négliger la diversité des publics critiques face au numérique. L'image projetée des utilisateurs vulnérables au cours du développement des services apparaît relativement peu affinée, ce qui mène à sous-estimer le nombre et l'hétérogénéité des situations problématiques face aux services en ligne.

Pourtant, la représentativité de la pluralité des utilisateurs est cruciale dans le cas d'organismes d'intérêt général visant à mettre à disposition des services accessibles à tous les utilisateurs, sans discrimination. Il est dès lors essentiel que les concepteurs mettent en œuvre des méthodologies capables de mieux rendre compte de l'hétérogénéité des formes d'utilisation des services, y compris par les plus silencieux d'entre eux. Dans un contexte de dépendance accrue au numérique, le risque est de développer des services publics à deux vitesses : aux utilisateurs mobiles et connectés les services personnalisés, rapides, conviviaux, aux autres le service minimum, inconfortable et compliqué.

Un focus sur les politiques publiques

En troisième lieu, le projet IDEALiC explore plus en profondeur la perspective de la société civile et des acteurs politiques. Sur base d'une analyse documentaire, d'une enquête concise et d'ateliers participatifs en Flandre et en Wallonie, il examine comment l'inclusion numérique est actuellement définie, quelles actions sont organisées sur le terrain et quelles sont les difficultés auxquelles les acteurs de la société civile se heurtent lors de la réalisation d'actions relatives à l'inclusion numérique. Les résultats indiquent qu'il y a eu un changement important, principalement en Flandre, passant d'une action globale d'inclusion numérique à des actions plus précises qui se concentrent sur l'amélioration de l'éducation aux

médias, le codage et les programmes d'apprentissage. Il apparaît également que les acteurs en Flandre, et en particulier les villes et communes flamandes, s'organisent et coopèrent plus souvent et mieux, notamment grâce à l'engagement de Mediawijs, le Centre flamand de connaissances pour l'éducation aux médias, et de la cellule d'experts en e-inclusion entre autre dirigée par la VVSG (Association des villes et communes de Flandre). En outre, il y a un intérêt croissant pour l'inclusion numérique dans la région de Bruxelles-Capitale. Toutefois, les organisations de Bruxelles et de Wallonie en particulier font face à des difficultés pour mettre en œuvre leurs actions de manière durable en raison d'un manque de fonds structurels.

Le programme BRAIN-be (Belgian Research Action through Interdisciplinary Network) est un programme-cadre de recherche en réseau multidisciplinaire mis en œuvre par BELSPO en 2012. Il est composé de 6 axes thématiques et de projets pionniers portant sur l'étude du vivant et de l'univers en passant par de la recherche stratégique en soutien aux politiques publiques fédérales, l'étude du patrimoine culturel, historique et scientifique et la gestion des collections. Actuellement, plus de 140 projets de recherche ont été financés. Pour en savoir plus : www.belspo.be/brain-be

L'équipe de recherche

Promoteurs : Ilse Mariën (VUB-SMIT), Patricia Vendramin (UCLouvain-CIRTES)

Équipe de recherche :

- VUB-SMIT : Axelle Asmar, Willemien Laenens, Chantal Wauters

- UCL-CIRTES : Carole Bonnetier, Périne Brotschorn et Dana Schurmans

- FTU : Laura Faure

Contact : info@idealic.be

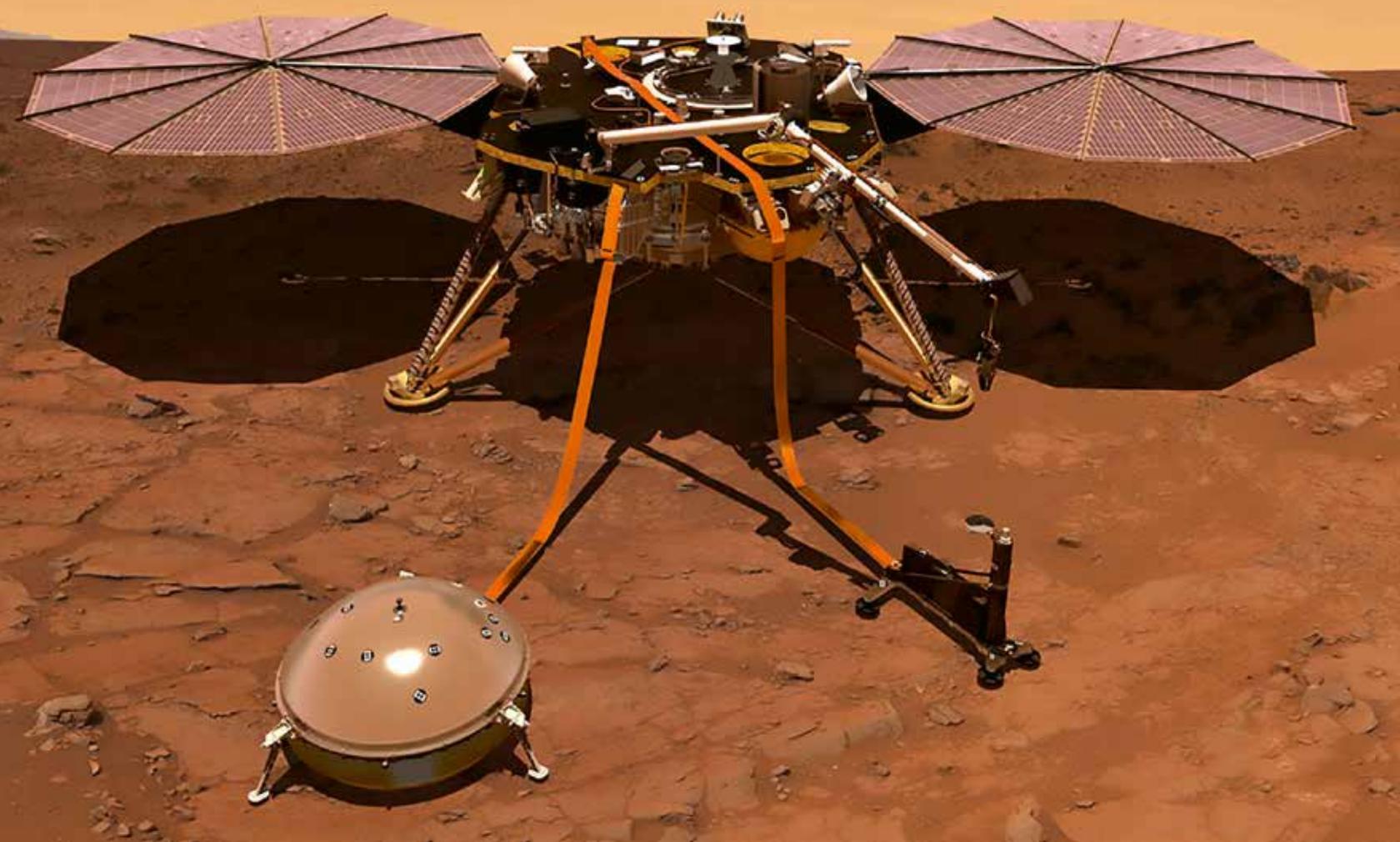


Illustration de la sonde InSight et de ses deux instruments déployés à la surface martienne. © NASA/JPL-Caltech

La mission InSight : un atterrisseur pour explorer l'intérieur profond de Mars

Marie Yseboodt,
Tim Van Hoolst,
Sébastien Le Maistre
et Véronique Dehant

La sonde InSight, qui a pour but de révéler les détails de la structure interne de la planète rouge, vient d'installer à la surface de Mars un sismomètre ultra-précis et constamment à l'écoute des tremblements de Mars. Ce petit bijou de technologie est accompagné d'une sonde de chaleur pouvant atteindre jusqu'à 5 mètres de profondeur et d'un instrument permettant d'effectuer des mesures de la rotation de Mars.

26 Novembre 2018, Elysium Planitia : pendant que les ingénieurs de la NASA sont sur le qui-vive et que les scientifiques de la mission croisent les doigts, la sonde martienne InSight entame une périlleuse descente dans l'atmosphère de Mars. Sept minutes de terreur pendant lesquelles, en toute autonomie et loin des regards humains, elle exécute un plongeon vertigineux à travers l'atmosphère de la planète rouge, à une vitesse avoisinant les 5 km par seconde. H-3 minutes : ouverture du parachute, H-2.7 minutes : lar-

gage du bouclier de protection thermique, H-1 minute : allumage des rétrofusées... Le scénario d'atterrissage, déjà testé avec succès en 2007 pour la sonde Phoenix, est reproduit pour InSight et c'est 20 minutes plus tard que les premières images nous arrivent sur Terre... 'Amarsissage' réussi ! Le vaisseau spatial s'est posé en douceur sur les plaines d'Elysium, près de l'équateur de Mars.

La mission InSight, acronyme pour 'Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport', a été sélectionnée en 2012, dans le cadre du programme Discovery de l'agence spatiale américaine. C'est un programme de développement de projets spatiaux caractérisés par un cycle de développement court et à coût modéré. Le lancement de InSight, initialement prévu en 2016, a été repoussé à la fenêtre de lancement suivante, suite à la découverte quelques mois avant le départ, d'une fuite dans le sismomètre. Le lancement a finalement eu lieu le 26 mai 2018 depuis la base militaire américaine de Vandenberg en Californie. C'était la première fois qu'une sonde interplanétaire était lancée depuis la côte ouest des Etats-Unis.

Les instruments à bord

Depuis la fin du siècle dernier, Mars accueille régulièrement des atterrisseurs, mais InSight est assez différent des robots précédents : ni roue, ni instrument qui recherche l'eau ou la vie, ni spectromètre, ... InSight est un atterrisseur fixe dont le but est d'étudier la géophysique de Mars et plus particulièrement son intérieur profond. L'instrument phare de la mission est le sismomètre principalement français de très haute précision, appelé SEIS et conçu pour mesurer pour la première fois les tremblements de Mars.

Le deuxième instrument est allemand et s'appelle HP³ (Heat flow and Physical Properties Probe). Il mesure le flux de chaleur qui s'échappe de la surface de Mars. Le troisième instrument scientifique, fourni par la NASA, est un appareil de radioscience appelé RISE (Rotation and Interior Structure Experiment). Il renvoie les ondes radio émises depuis la Terre, comme un miroir électromagnétique. D'autres instruments annexes ont également été placés sur la plateforme : des instruments météorologiques (effectuant des mesures de température, de pression atmosphérique et de vitesse du vent), un magnétomètre et deux caméras. Les caméras n'ont pas pour vocation de nous envoyer chaque jour un beau panorama martien en couleur; elles sont assez rudimentaires mais permettent le déploiement optimal de SEIS et HP³ sur le sol martien. C'est en effet grâce à ces caméras qu'une zone plane propice aux mesures a été sélectionnée par l'équipe, au sud de l'atterrisseur afin d'éviter des variations de température causées par l'ombre de la plateforme. Le 19 décembre 2018, le grappin placé sur le bras robotisé a soulevé le sismomètre et l'a déposé sur le sol à 1,6 mètres de la plateforme. Un cadran solaire placé au-dessus du sismomètre a permis de déterminer son orientation avec beaucoup de précision. C'est un système surprenant pour nous qui sommes habitués à la technologie du 21^e siècle, mais comme Mars n'a pas de champ magnétique global ni de réseau de satellites GPS en



Photo des instruments SEIS et HP³ sur la plateforme, avant leur déploiement, sur fond de paysage martien.
© NASA/JPL-Caltech

orbite, il n'est pas facile de savoir précisément où se trouve le Nord géographique. Vu que l'instrument SEIS est composé de 3 pendules qui bougent chacun suivant un axe, il faut connaître précisément l'orientation de chacune de ces directions privilégiées afin d'interpréter correctement les futures mesures de séisme et de localiser leur origine.

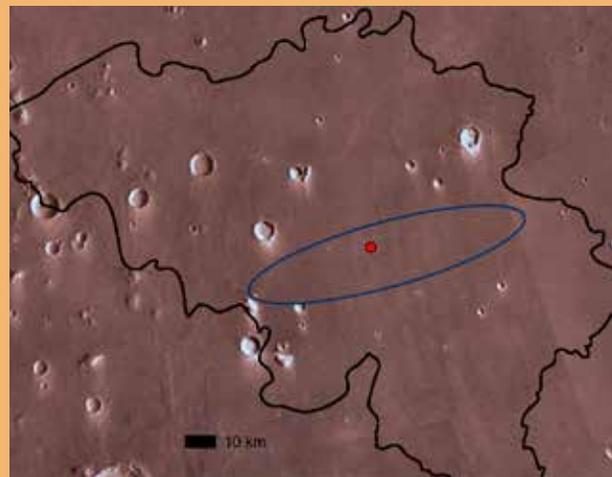
Ensuite le ruban plat qui permet d'envoyer l'électricité à l'instrument et de rapatrier les données vers l'atterrisseur a été positionné avec soin afin de ne pas transmettre les vibrations de la plateforme vers le sismomètre. L'instrument a été nivelé et les capteurs de SEIS ont été recentrés. Et finalement, le bouclier de protection éolien et thermique a été posé par-dessus le sismomètre afin de limiter les perturbations dues au vent et aux variations diurnes de la température. En effet le sismomètre étant une prouesse technologique très sensible à la moindre perturbation externe, il faut minimiser les effets de l'atmosphère afin d'écouter les tremblements du sous-sol.

Les scientifiques analysent les 'tremblements de Mars', qui sont principalement causés par les impacts de météorites et l'activité tectonique de la planète Mars. Bien que Mars ne possède pas de plaques tectoniques, elle subit des déformations tectoniques principalement liées au refroidissement de la planète et à l'existence de grandes montagnes telles que Tharsis. En outre, les scientifiques étudieront également les marées de Phobos, la plus proche des deux petites lunes de Mars. Le but ultime est de mieux visualiser l'intérieur de Mars.

La 'taupe'

Une fois le sismomètre déployé, les ingénieurs se sont focalisés sur le déploiement de la sonde HP³. Au programme pour la sonde : creuser le sol martien jusqu'à 5 mètres de profondeur et y mesurer le flux de chaleur ainsi que ses

Déploiement du bouclier thermique, qui protège le sismomètre des perturbations liées au vent et aux variations diurnes de la température martienne. © NASA/JPL-Caltech



Ellipse d'incertitude de la zone d'atterrissage (en bleu) dans Elysium Planitia, une zone proche de l'équateur. Le point rouge représente la localisation réelle de InSight. Le trait noir, représentant la Belgique, donne une idée de l'échelle. © NASA/ORB

variations. Pour ce faire, l'instrument enregistrera les températures et les propriétés du régolithe à diverses profondeurs.

Toutes ces manœuvres de déploiement ont duré environ trois mois, car les ingénieurs de la mission vérifient que chaque étape se déroule comme prévu grâce à des photos et mesures avant de passer à l'étape suivante. Ces procédures ont été mûrement réfléchies et répétées de très nombreuses fois à l'avance sur un module d'expérimentation terrestre, positionné de façon permanente dans le centre Californien de la NASA, le Jet Propulsion Laboratory (JPL). La communication avec la sonde demande actuellement une dizaine de minutes de trajet pour un aller simple et des contraintes de visibilité et de limitation de la puissance à bord de l'atterrisseur ne permettent pas un suivi continu de la sonde. InSight communique directement avec la Terre une heure par jour environ.

Mesure de la rotation de Mars

L'instrument de radioscience RISE permet non seulement de communiquer avec la Terre mais également de mesurer précisément les mouvements de chancellement de Mars dans l'espace et sa rotation propre, en réceptionnant et en envoyant des ondes radio directement vers la Terre, sans passer par des satellites relais. Les signaux sont émis depuis la Terre grâce à des antennes géantes (certaines faisant 70 mètres de diamètre) servant également à écouter le signal renvoyer par RISE. Ces antennes sont réparties sur trois continents différents afin de permettre la 'poursuite' des sondes spatiales à n'importe quel moment. Les oscillations de l'axe de rotation de Mars dans l'espace, appelées nutations, perturbent ce signal radio de façon différente selon l'état (liquide ou solide) et la taille du noyau. Leur mesure nous permettra donc de caractériser le noyau martien. L'instrument RISE est américain, mais les scientifiques de l'équipe de planétologie de l'Observatoire royal de Belgique (ORB), qui ont une grande expertise en

radioscience ainsi qu'en rotation et structure interne des planètes, sont fortement impliqués dans l'analyse des données ainsi que dans leur interprétation physique. Ils sont soutenus par le programme belge PRODEX (PROgramme de Développement d'Expériences scientifiques) géré par l'Agence spatiale européenne (ESA) en collaboration avec la Politique scientifique fédérale belge (Belspo).

Vu que les phénomènes recherchés ont des variations saisonnières et qu'une année sur Mars compte 687 jours terrestres, il faudra accumuler des données sur plusieurs mois avant de pouvoir extraire des renseignements concernant la structure profonde de Mars.

Où a-t'il atterri ?

Sélectionnée quelques années auparavant grâce aux photographies des satellites actuellement en orbite autour de Mars, la zone cible avait été choisie pour son relief sans escarpement et son altitude basse (-2500 mètres sous le niveau moyen de Mars), afin que l'atterrissage soit le plus sécurisé possible et que les parachutes aient suffisamment de distance pour ralentir l'atterrisseur dans cette atmosphère très ténue (la pression moyenne sur Mars est environ 170 fois plus faible que sur Terre).

L'ellipse d'incertitude de la zone d'atterrissage est principalement due à l'incertitude sur l'état de l'atmosphère à l'arrivée, sa densité locale ainsi que sur la force et la direction des vents. Cette zone de plus de 2000 kilomètres carré est un désert sec, plat et ennuyeux, peu intéressant pour les scientifiques à la recherche de traces d'eau à la surface de Mars, mais parfaite pour les observations géophysiques !

En utilisant les mesures de RISE acquises tout juste après l'atterrissage, les scientifiques de l'ORB et de la NASA ont calculé la position de l'atterrisseur réduisant la soixantaine de kilomètres d'incertitude à seulement quelques centaines de mètres. Grâce à une telle précision, la camé-

ra à très haute résolution du satellite Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) a pu prendre la première photo de InSight, en survolant la zone quelques jours plus tard.

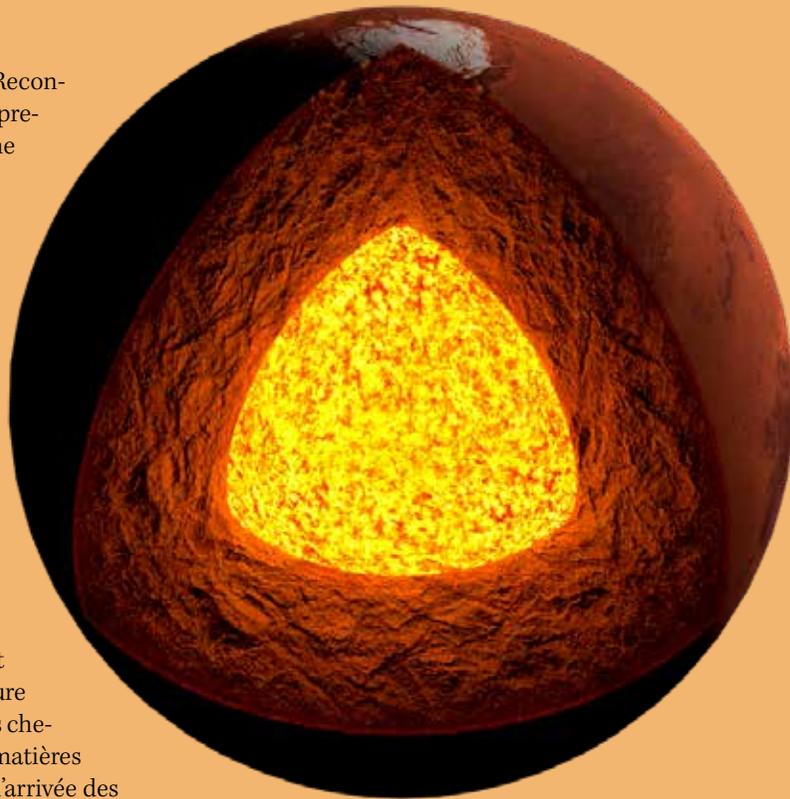
En quête d'intérieur

Les caractéristiques de la structure interne de Mars sont actuellement mal connues. La mission InSight a pour objectif principal de mieux connaître cette structure interne, dans le but de reconstituer son histoire. Les informations récoltées par les trois instruments scientifiques permettront également d'améliorer les modèles de formation et d'évolution des planètes telluriques qui composent notre système solaire. La sismologie est particulièrement bien adaptée à cette étude car les ondes se réfléchissent aux interfaces entre les couches de la structure interne de Mars et peuvent prendre différents chemins plus longs ou plus courts à travers les matières des différentes couches. Mesurer les temps d'arrivée des ondes sismiques nous permettra d'en savoir plus sur les couches traversées. Les autres instruments tels que l'expérience de radioscience ou la mesure du flux de chaleur nous apporteront des informations complémentaires sur les échanges de chaleur et sur l'état physique (liquide ou solide), la densité et les dimensions du noyau par exemple.

Souhaitons donc à cet explorateur géophysique de mesurer de nombreux séismes martiens et de survivre longtemps à la surface de Mars !



Photographie de la zone d'atterrissage de InSight vue depuis un satellite en orbite à quelques centaines de kilomètres d'altitude. Le point brillant est le bouclier de protection thermique qui recouvre le sismomètre. Sur Terre, il est assez rare de pouvoir photographier un sismomètre depuis un satellite, ces appareils de mesure étant généralement localisés bien à l'abri dans le fond d'une cave ou d'une grotte. Au moment de l'atterrissage, une couche de fines poussières a été soufflée par les retrofusées, ce qui a laissé une zone sombre autour de l'atterrisseur.
© NASA/JPL-Caltech/University of Arizona



Structure interne de Mars avec le noyau de fer, le manteau rocheux et la croûte. © ORB

Le futur

La Belgique construit un instrument de radioscience similaire à RISE. Il s'agit de l'instrument LaRa (Lander Radioscience) qui partira avec la mission ExoMars 2020.

Quelques chiffres

L'électricité nécessaire au fonctionnement de la sonde InSight provient de deux grands panneaux solaires d'environ deux mètres de diamètre. Ensemble, ils peuvent produire 4 500 wattheures par jour, ce qui est un record pour un atterrisseur martien. Cet engin spatial, de la taille d'une voiture si ses panneaux solaires sont déployés, pesait environ 700 kg avant son entrée dans l'atmosphère, et 360 kg une fois à la surface. A lui seul le sismomètre pèse près de 30 kg.

Plus

mars.nasa.gov/insight
www.seis-insight.eu
<http://marsatschool.ethz.ch>
twitter.com/LaraExoMars

Les auteurs

Marie Yseboodt, Tim Van Hoolst, Sébastien Le Maistre et Véronique Dehant travaillent dans l'équipe de planétologie à l'Observatoire Royal de Belgique et sont impliqués dans la mission InSight.



Ours brun
© IRSNB - Thierry Hubin

Ours & Nounours

Avec l'exposition *Ours & Nounours* au Muséum des Sciences naturelles, vous approcherez d'un peu plus près ces animaux sauvages et bousculerez votre imaginaire en rencontrant les huit espèces d'ours qui peuplent actuellement notre Terre. Quelles sont leurs caractéristiques biologiques, leurs divers habitats, leur histoire évolutive, leurs relations avec les hommes, les mythes et légendes qui leur sont associés ? Comment parler de ces animaux sans évoquer les menaces qui pèsent sur eux et les enjeux liés à leur conservation ?

Pour répondre à ces questions, des objets issus de différentes collections sont présentés dans l'exposition. Parmi eux, il y a 23 spécimens d'ours naturalisés (16 issus des collections du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, 3 prêtés par le Muséum de Toulouse et 4 appartenant à nos propres collections) et plus d'une douzaine de pièces ostéologiques (l'ostéologie désigne la science qui étudie la structure des os et plus généralement du squelette). Des restes d'ours des cavernes ont aussi été retrouvés dans plusieurs grottes belges. L'exposition *Ours & Nounours* présente deux squelettes de ces ours belges : un mâle adulte et un jeune.

Spécimens naturalisés et fossiles d'une incroyable richesse, accompagnés de multimédias, vidéos, installations interactives, reconstitutions 3D, sans oublier les quelques 650 ours en peluche dont un centenaire et les répliques des deux plus anciens nounours, vous entraînent à la rencontre de ces fascinants plantigrades.

5 zones : 5 sujets

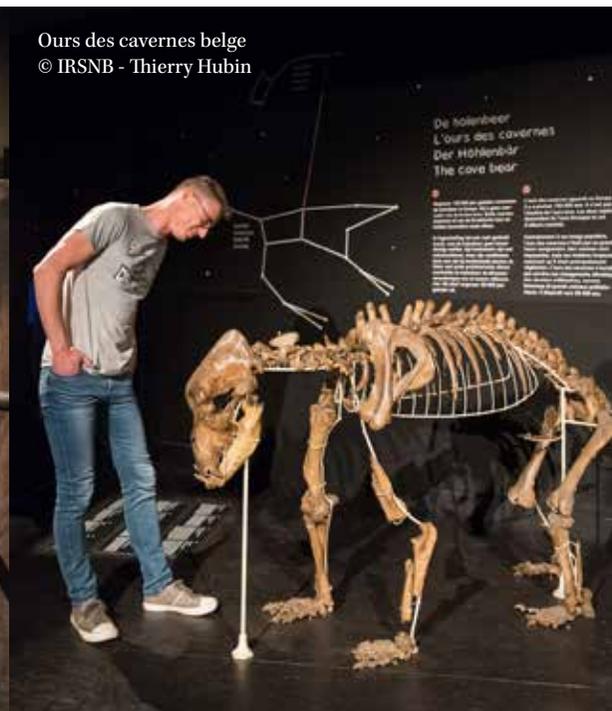
ZONE 1 - Une grande idée sur deux continents

Vers 1900, l'idée de l'ours en peluche est dans l'air du temps. L'Allemagne est leader mondial du jouet. Mme Steiff y fabrique des animaux en peluche, dont des ours. Son mari invente même un moyen d'articuler les pattes. Pendant ce temps, aux États-Unis, le président Theodore Roosevelt se fait remarquer : alors qu'il rentre bredouille d'une chasse à l'ours en 1902, on lui présente un ourson à abattre pour sauver la face. Roosevelt refuse ; la presse publie la chose et s'amuse de l'ours de Theodore (Teddy) : *Teddy's bear*. Les commerçants new-yorkais Michtom s'emparent de l'anecdote et commercialisent des 'Teddy-bears' en peluche. Leur concurrent Borgfeldt achète 3000 ours en peluche chez Steiff. C'est parti pour la gloire !



Il était végétarien
© IRSNB - Thierry Hubin

Ours des cavernes belge
© IRSNB - Thierry Hubin



ZONE 2 - Il était une fois... les premiers ours

Cette partie permet de répondre à de nombreuses questions sur la captivante histoire paléontologique et évolutive des ours. Qui sont les ancêtres des ours actuels ? Quand sont-ils apparus ? Comment se sont-ils déplacés pour être présents dans de si nombreux territoires aujourd'hui ? Des réponses sont ici apportées grâce à des reconstitutions, à la présentation de fossiles, de squelettes montés et d'arbres phylogénétiques mais aussi de bornes multimédias et de films d'animation retraçant notamment l'Histoire de la famille Ours.

Les plus anciens ours connus remontent à près de 35 millions d'années. Ils ont pour cousins les chiens, mais aussi les blaireaux, les rats-laveurs ou encore les phoques. À cette époque, leurs dents commencent à évoluer différemment de celles des autres carnivores : plus larges et moins tranchantes, elles s'adaptent à un régime omnivore. Ces premiers ours sont apparus en Asie et se sont rapidement répandus en Europe et en Amérique du Nord.

Premières rencontres

En Europe, les hommes et les ours coexistent depuis près de 400 000 ans. L'homme de Neandertal et *Homo sapiens* ont côtoyé l'ours des cavernes et l'ours brun. Mais leurs relations sont mal connues : les indices sont rares !

Les ours étaient peu chassés, mais les hommes ont parfois consommé leur viande, récupéré leur fourrure, utilisé leurs dents et,

Qui était vraiment l'ours des cavernes ?

L'imaginaire collectif associe généralement l'ours des cavernes à un ancêtre sauvage et vorace de l'ours brun. Cela est bien loin de la vérité. En effet, bien que très ressemblants avec leur stature imposante (l'ours des cavernes devait mesurer près de 3 mètres debout et peser près de 500 kg), ils sont en réalité cousins, descendants tous deux de l'ours étrusque. Apparu en Europe il y a environ 150 000 ans, l'ours des cavernes possède des molaires broyeuses, une caractéristique des espèces végétariennes. Son aire de répartition était très vaste sur le continent européen, allant du nord de l'Espagne à la chaîne de l'Oural en Russie. Disparu il y a 25 000 ans, il n'aurait pas résisté aux bouleversements environnementaux. La présentation dans l'exposition de trois squelettes – dont deux spécimens belges (Goyet) issus de nos collections, l'un adulte et l'autre jeune – permet aux visiteurs de mieux réaliser qui était vraiment cet ours un peu à part dans la culture populaire.

L'ours des cavernes belge

Des restes d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) ont été retrouvés dans de nombreuses grottes belges. L'exposition *Ours & Nounours* en présente deux squelettes : un mâle adulte et un jeune. Edouard Dupont les a découverts en 1868 dans la grotte de Goyet (Ardennes), avec les restes de plus de 130 autres ours des cavernes. Ce matériel est conservé depuis 150 ans déjà dans les collections de l'Institut.

Les ours des cavernes, qui avaient un régime essentiellement végétarien, vivaient en Europe et en Sibérie occidentale. Ils recherchaient des régions montagneuses avec de nombreuses grottes et cavernes, qu'ils utilisaient comme abris durant l'hiver. Bon nombre de ces ours mouraient durant l'hibernation, en particulier les animaux jeunes, malades et très vieux (ce qui explique le nombre important d'ossements découverts notamment à Goyet). Ils étaient souvent la proie du lion des cavernes, mais aussi de l'homme préhistorique. Leur nombre a diminué progressivement durant la dernière période glaciaire, sans doute en raison de la chasse par l'homme, combinée à un refroidissement du climat.

Bien que les ours des cavernes aient disparu il y a environ 25 000 ans, une partie de leurs gènes 'vit' encore. Des recherches récentes ont démontré que l'ADN de l'ours brun que nous connaissons aujourd'hui contient 1 à 3 % de l'ADN de l'ours des cavernes. Des croisements entre les deux espèces ont dû avoir lieu lors d'une précédente période glaciaire.



Grand Panda
© IRSNB - Thierry Hubin



Qui mange quoi ?
© IRSNB - Thierry Hubin



La famille ours
© IRSNB - Thierry Hubin

plus rarement, leurs os pour confectionner des parures et des outils. Quelle place les sociétés préhistoriques accordaient-elles alors aux ours ? L'existence d'un culte de l'ours des cavernes est contestée, son statut demeure ainsi incertain...

ZONE 3 - Les ours, aujourd'hui

L'ours blanc et l'ours brun sont bien connus mais cette famille compte aujourd'hui six espèces de plus. Pièces phares de cette partie : les quatre ours asiatiques avec le grand panda, l'ours à collier, l'ours malais et l'ours lippu, les deux ours américains avec l'ours noir et l'ours à lunettes, et enfin, les deux ours transcontinentaux avec l'ours brun et l'ours blanc. Clin d'œil : en plus des huit espèces actuelles, nous exposons quatre incontournables amis dont l'importance et l'affection ne sont plus à démontrer : Winnie, Baloo, Paddington et Kung Fu panda !

Ils sont partout... ou presque !

Excepté le continent africain, ces huit espèces se partagent le monde, principalement dans l'hémisphère Nord, mais pas seulement puisque l'ours à lunettes et l'ours malais se sont aventurés au sud de l'équateur. Le visiteur prend ici conscience de la diversité des habitats des ours : banquise, forêt tropicale, montagne, plaine... une myriade de milieux pour huit espèces, dont les caractéristiques biologiques communes sont pourtant nombreuses.

Que mangent-ils ? Comment se déplacent-ils ? Et les petits ?

Quels sont les points communs entre les huit espèces d'ours ? Leur régime alimentaire, tout d'abord, qui les placent parmi les 'omnivores opportunistes' capables de manger racines, insectes, fruits, petits ou grands mammifères, poissons... Mais il existe des contre-exemples, certains s'étant restreints à un régime unique (bambous, phoques).

Puis, tout comme l'homme, les ours sont plantigrades : ils posent toute la surface de leurs pattes sur le sol. Cette caractéristique morphologique leur donne leur stature imposante et leur permet de se tenir à quatre pattes comme debout, d'être stables et de se déplacer rapidement ! Enfin, de nombreuses caractéristiques entourent le développement des petits oursons qui naissent aveugles et sans poils.

L'hiver dans une tanière

L'hibernation : quel sujet ! Cette merveille de la nature permet aux ours de ralentir le fonctionnement de leur corps pendant l'hiver. Au fond de leur tanière, ils s'endorment mais leur température baisse peu et leur cerveau reste actif en cas de danger ou de redoux. Ils ne mangent pas, ils ne boivent pas et ne font pas non plus leurs besoins : ils diminuent ainsi drastiquement leurs dépenses en énergie et passent l'hiver sans encombre. Mais certaines espèces restent actives toute l'année...

ZONE 4 - Des ours et des hommes

Pour évoquer les relations complexes qu'entretiennent aujourd'hui les ours et les hommes, l'exposition propose 4 séquences distinctes permettant d'appréhender leur condition dans la nature, l'histoire de leur domination par l'homme, mais aussi le respect et l'admiration qu'ils inspirent, matérialisés par les contes et les fêtes.

Cette partie propose aussi de faire un état des lieux général des ours dans les Pyrénées, en Europe et dans le monde. Quelles espèces sont en danger ? Lesquelles se portent bien ? Quelles sont les principales menaces ?

Aujourd'hui, en ce début de XXI^e siècle, l'état des populations d'ours varie d'une espèce à l'autre. Certaines sont très menacées, comme le grand panda (1 800 individus), d'autres voient leurs effectifs baisser progressivement comme l'ours à lunettes et l'ours malais (10 000 individus chacun), l'ours lippu (20 000 individus), l'ours blanc (25 000 individus) ou l'ours à collier (40 000 individus). Enfin, l'ours brun se maintient malgré une tendance à la diminution (200 000 individus) tandis que l'ours noir est celui qui se porte le mieux avec ses 900 000 individus. Six espèces d'ours sur huit sont donc dans une situation préoccupante.

Les causes sont multiples mais la menace principale reste la destruction et le morcellement progressifs de leurs habitats en raison de l'expansion de l'agriculture, de la déforestation et de l'urbanisation. Aussi, leurs territoires de chasse et de reproduction s'amenuisent. Parmi les autres menaces, il y a aussi le braconnage, qui concerne quasiment toutes les espèces, le réchauffement climatique, dont l'un des emblèmes est le célèbre ours blanc, ou encore l'exploitation commerciale.

Un exemple parmi d'autres : le nombre total d'ours à collier a diminué d'environ 40 % en 30 ans. L'espèce est sérieusement menacée par la destruction de son habitat et par la chasse. De plus, la médecine asiatique prête de nombreuses vertus à la bile d'ours. Son utilisation dans la pharmacopée entraîne des captures alimentant des élevages pratiqués dans des conditions déplorables. Des voix s'élèvent néanmoins contre ces traitements !

De la gloire à la disgrâce : l'ours dominé

Durant l'Antiquité, l'ours suscite crainte, respect et admiration. Il est associé aux guerriers et aux puissants. Mais tout change au Moyen Âge. Avec l'expansion du christianisme, il faut discréditer cette figure des cultes païens, devenue incarnation du vice. Animal malfaisant et dangereux, concurrent de l'homme dans les forêts et les montagnes, il est diabolisé et impitoyablement exterminé. Il devient finalement une bête de foire ridiculisée, un animal de cirque, une créature de zoo, même à Bruxelles... Deux crânes d'ours exposés sont ceux d'anciens pensionnaires du zoo de Bruxelles (1851-1880). L'ours devient la bête à abattre et tout est bon pour l'exterminer : battue, poison, piège... La 'civilisation' n'aime pas l'ours !

Vous trouverez ici une maxi-borne multimédia : fête de l'ours, expressions, contes, rituels et folklore.

ZONE 5 - Des ours demain ?

Ne restera-t-il plus, demain, que des ours en peluche ? Si nous aimons vraiment les ours dans la nature, à nous de contribuer à leur avenir. Avant de découvrir le projet de protection des ours des Carpates, le final de l'exposition vous fait profiter d'un coin 'cococon' rempli de doudous de tous les styles, de toutes les tailles...

Ours & Nounours est une exposition adaptée des expositions conçues et réalisées par les deux partenaires français du Muséum des Sciences naturelles.

Le Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse, établissement public patrimonial qui s'inscrit comme un outil de production et de diffusion de culture scientifique, s'attache à cristalliser et déchiffrer pour les citoyens, petits et grands, les pistes de réflexion qui engagent la société autour des questions des relations entre l'homme et son environnement. Les nombreux dispositifs muséographiques de l'exposition d'origine de Toulouse présentés à Bruxelles ainsi que le prêt exceptionnel de Cannelle, dernier ours femelle de souche pyrénéenne, sont autant de gages de savoir-faire et de la qualité des productions du Muséum de Toulouse in situ et hors les murs.

Le Muséum national d'Histoire naturelle (Paris) fait partie des grands muséums mondiaux et dispose d'un large champ d'action, où l'étude du passé éclaire l'avenir, où se mêlent sciences de la nature et de l'Homme. Ses activités, parmi lesquelles la recherche fondamentale et appliquée, la conservation et l'enrichissement des collections ou la diffusion des connaissances, en font un acteur de référence depuis près de 400 ans. Avec pour vocation de rendre les connaissances sur la nature accessibles à tous et de sensibiliser le plus grand nombre à la protection de notre planète. Au service de cet objectif, l'expertise des services des expositions et de la médiation, qui ont adapté une première fois l'exposition d'origine de Toulouse, tandis que des prêts de collections exceptionnelles permettent aux visiteurs de découvrir une quinzaine de spécimens du Muséum, dont deux pandas et un rare ours 'endormi'.

VIENS AVEC NOUNOURS À L'EXPO !

Accompagnés de leur nounours et munis d'un badge spécial, les plus jeunes suivent en parallèle un parcours interactif – spécialement conçu pour eux – qui va les amener à observer, imiter, comparer et associer pour découvrir le monde des ours en s'amusant ! Le badge déclenche une vingtaine de bornes multimédias, projections et manipulations spécialement pensées pour les 4 ans et plus. Parents et enfants découvrent ainsi l'expo en famille... chacun à son niveau !

Est-ce que le panda hiberne ? © IRSNB - Thierry Hubin



PLUS

Exposition *Ours & Nounours* jusqu'au 1er septembre 2019 au Muséum des Sciences naturelles.

www.sciencesnaturelles.be



DEMOGEN

Le crowdsourcing, la généalogie et la démographie historique aux Archives de l'État

Koen Matthijs,
Eddy Put et
Patrick Trio

Le projet bénévole DEMOGEN mené aux Archives de l'État illustre à merveille l'importante plus-value sociétale pouvant être générée par le crowdsourcing. Il fournit de nombreuses données fiables tant pour l'histoire familiale que pour la démographie historique.

Les services d'archives font de plus en plus appel au grand public. Un pas important a déjà été effectué en ce sens ces dernières décennies. De nombreuses personnes, principalement des seniors, travaillent bénévolement pour collecter, classer et valoriser le patrimoine historique en général et les sources généalogiques en particulier. Après avoir effectué des recherches sur leurs ancêtres, ceux-ci souhaitent participer à un projet collectif plus large, en collectant et traitant notamment les informations historiques et généalogiques. Le fait de pouvoir disposer à cet effet de logiciels conviviaux a facilité la mise en place du projet et a permis de mobiliser de nombreuses personnes. La numérisation de registres paroissiaux, de l'état civil et d'autres séries d'archives a également été un incitant, d'autant plus que ces documents ont été mis à disposition en ligne.

Dans un récent article paru dans *Archival Science*, le théoricien de l'archivistique canadien Terry Cook explique que l'engagement de bénévoles est à l'origine des archives dites participatives. Au début, le secteur archivistique était plutôt réticent à l'idée de travailler avec des bénévoles. Leur engagement ne pouvait-il

pas être interprété comme une remise en question des compétences professionnelles des archivistes ? Et quid du contrôle de qualité ? Le travail des bénévoles doit-il figurer sur le site internet d'un service d'archives aux côtés de celui des archivistes ? Depuis, on s'est rendu compte que l'expertise des archivistes et les contributions des citoyens peuvent être parfaitement complémentaires. Les bénévoles s'occupent principalement de la numérisation et de l'encodage dans les bases de données descriptives. Les archivistes, quant à eux, restent responsables de l'inventariage et exercent de plus en plus un rôle d'encadrement.

DEMOGEN : antécédents et contexte

En 2007, les Archives de l'État à Louvain et le groupe de recherche *Family and Population Studies* (Fapos) de la KU Leuven ont lancé le projet bénévole DEMOGEN (contraction de 'démographie' et 'généalogie'). L'objectif était d'ouvrir à la recherche la totalité des actes de mariage du XIX^e et du début du XX^e siècle de la province du Brabant flamand et de la région de Bruxelles-Capitale. Plus de 150 bénévoles ont participé au projet. Début 2019, plus de 5 millions de noms de personnes, issus de quelque 600.000 actes de mariage et de divorce, ont été encodés. La base de données en ligne est disponible et consultable par toutes et tous. Les personnes qui la consultent sont des généalogistes ou des scientifiques qui s'occupent de l'analyse, de la reconstruction et de l'interprétation de processus historiques, démographies et culturels à long terme. Au rythme actuel d'environ 65.000 actes par an, le projet concernant la période 1800-1910 pourrait être finalisé dans un an.

Les démarches et les objectifs du projet DEMOGEN sont similaires à une initiative menée depuis 1999 aux Archives de l'État à Bruges. Ce second projet a commencé de façon plutôt modeste par l'ouverture à la recherche des actes de mariage du XIX^e siècle concernant la Flandre occidentale. Par la suite, les ambitions ont été revues à la hausse. Les registres de naissances et de décès ont également été dépouillés. À l'avenir, les informations des registres paroissiaux des Temps Modernes seront également incluses. En 2019, la base de données relative à la Flandre occidentale recensait 12,5 millions de noms extraits d'environ

4,5 millions d'actes. Quelque 200 bénévoles ont, au fil des ans, collaboré à ce projet.

Actuellement, le projet louvaniste DEMOGEN se limite aux actes de mariage de la période 1800-1910. Les actes de mariage contiennent, en effet, davantage d'informations que les actes de naissance ou de décès. À terme, l'objectif est d'élargir la collecte de données aux actes de naissance et de décès. Le projet a également pour ambition de s'étendre à des périodes plus récentes, d'autant que la loi du 21 décembre 2018 (Moniteur belge du 31 décembre 2018) a réduit les délais de publicité des actes de mariage de 100 à 75 ans. L'entre-deux-guerres et la Seconde Guerre mondiale (1918-1944) entreraient ainsi en ligne de compte pour l'analyse et l'encodage des données.

Pour pouvoir travailler rapidement et efficacement, il importe que l'encodage des données suive un schéma précis (voir l'illustration ci-contre). Les données récoltées sont mises à disposition via le moteur de recherche 'Rechercher des personnes' des Archives de l'État (<https://search.arch.be/fr/rechercher-des-personnes>). Cette base de données est très prisée par les personnes qui souhaitent reconstituer rapidement et efficacement leur histoire familiale.

Il est cependant difficile qu'une base de données ne comporte aucune erreur. Les documents originaux sont, en effet, des textes manuscrits anciens qui ne sont pas toujours complètement lisibles. L'encre est parfois ternie ou la reliure trop serrée. La qualité des scans n'est, quant à elle, pas toujours de qualité optimale, ce qui complique la lecture et conduit à des erreurs. Afin de les éviter au maximum, un système de contrôle de la qualité rigoureux a été mis sur pied. Il est conçu de façon à permettre de détecter également les erreurs commises par les agents de l'état civil qui s'occupaient de l'enregistrement, par exemple lorsqu'un acte mentionne que la mariée est plus âgée que son propre père.

DEMOGEN et la démographie historique

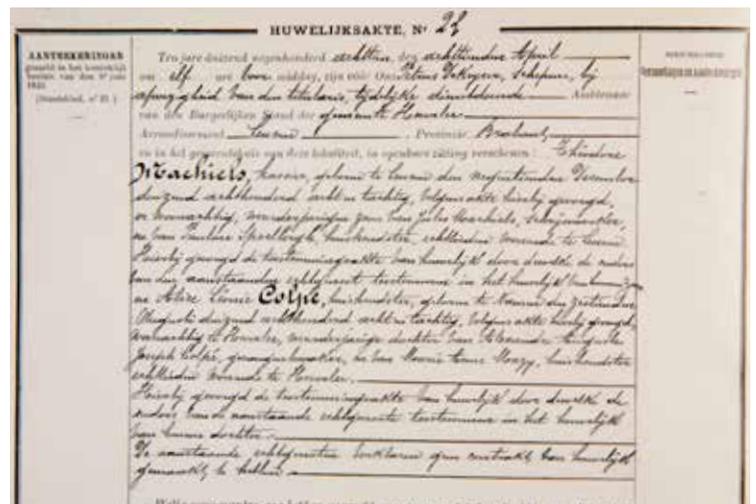
DEMOGEN offre de nombreuses opportunités pour la recherche scientifique en général et pour la démographie (historique) en particulier. Durant la dernière décennie, le groupe de recherche *Family and Population Studies* de la KU Leuven a publié de nombreux articles et rapports exploitant les données des projets bénévoles de la Flandre-Occidentale et du Brabant flamand.

Étudiées individuellement, les données généalogiques ont une valeur relativement limitée. Les noms des mariés et de leurs parents, la date du mariage, etc. ont essentiellement une signification émotionnelle pour les descendants. Mais si ces données sont cumulées et analysées dans un contexte plus large, elles révèlent des structures sociétales, des processus culturels, des rapports politiques et des évolutions économiques. Le contexte démographique (naissance, décès, migration, constitution et dissolution des couples) détermine en effet la façon dont une société se développe.

Le travail des généalogistes fournit de nombreux éléments d'étude. L'étape suivante consiste à relier toutes ces informations extraites d'actes d'archives individuels pour construire une grande base de données. Cette base de données permet de reconstituer le cours d'une vie puis d'interpréter les processus démographiques, économiques et culturels à long terme. Le mesurage, le recensement, le tri et le cumul de ces informations permettent à terme de réécrire l'histoire. Ainsi par exemple, il est possible d'étudier les probabilités concernant le mariage et l'âge moyen pour se marier. En démographie, le mariage est, en effet,

The image shows a complex digital form with multiple columns and rows of input fields. The form is organized into sections: 'GENERAL', 'EPOUX' (Spouse), 'EPOUSE' (Wife), 'PÈRE DE L'ÉPOUX' (Father of the Spouse), and 'MÈRE DE L'ÉPOUX' (Mother of the Spouse). Each section contains various fields for names, dates, addresses, and professions. At the bottom, there is a table with columns for 'Nom', 'Prénoms', 'Date de naissance', 'Lieu de naissance', 'Profession', and 'Statut', containing several entries.

Des bénévoles ont développé un logiciel pour faciliter l'encodage des données, comme ce formulaire complété l'illustre. © Archives de l'État



Extrait des archives de l'État civil d'Heverlee, en Brabant flamand, conservées aux Archives de l'État à Louvain. © Archives de l'État

un moment charnière durant lequel se constitue le ménage et à l'issue duquel peuvent naître des enfants. Il y a une différence selon que les femmes se marient à 18 ou à 28 ans. Dans le premier cas, la période de fécondité sera dix ans plus longue que dans le second. Le mariage tardif ou précoce est souvent lié aux besoins (économiques). L'écart d'âge entre conjoints est également significatif, notamment concernant l'évolution dans le pouvoir des genres. L'identité et l'âge des époux sont eux aussi révélateurs de l'écart social entre les partenaires. Les personnes issues de classes sociales supérieures se marient-elles avec des partenaires situés au bas de l'échelle sociale ? Comment cette donnée a-t-elle évolué dans le temps et selon les endroits ? La littérature historico-démographique s'intéresse également à la distance géographique qui sépare les futurs époux. Cet élément en dit long sur la mobilité, qui est à son tour tributaire des développements sociétaux, notamment dans les transports (routes, chemins de fer) et dans les communications (offices postaux, téléphonie). Les actes de mariage fournissent, en outre, des informations sur les témoins de mariages, les relations familiales et les réseaux sociaux : les témoins étaient-ils membres de la famille ou des étrangers, étaient-ce des hommes ou des femmes ? Enfin, un tiers des mariages du XIX^e siècle résultant d'une deuxième ou troisième union, des recherches peuvent être effectuées notamment sur le laps de temps qui s'écoule entre le veuvage et le remariage.

SCIENCE CONNECTION

est le magazine gratuit de la Politique scientifique fédérale (Belspo)

Editeur responsable :

Pierre Bruyere
WTC III
Boulevard Simon Bolivar, 30
1000 Bruxelles

Coordination :

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

Ont collaboré à ce numéro :

Bhély Angoboy Ilondea (Musée royal de l'Afrique centrale), Hans Beeckman (Musée royal de l'Afrique centrale), Eric Béka, Joëlle Bertrand (Politique scientifique fédérale), Laurence Burnotte (Politique scientifique fédérale), Pascale Defraigne (Observatoire royal de Belgique), Véronique Dehant (Observatoire royal de Belgique), Vinciane Dehant (Politique scientifique fédérale), Tom De Mil (Musée royal de l'Afrique centrale/UGent), Stéphanie Deschamps (Archives générales du Royaume), Souad Ech-chakrouni (Institut royal météorologique), Wannas Hubau (Musée royal de l'Afrique centrale), Karolien Lefever (Institut royal d'Aéronomie spatiale de Belgique), Sébastien Le Maistre (Observatoire royal de Belgique), Jacques Lust (Politique scientifique fédérale), Koen Matthijs (KU Leuven-Centrum voor Sociologisch Onderzoek), Lê Binh San Pham (Observatoire royal de Belgique), Laetizia Puccio (Archives générales du Royaume), Eddy Put (Archives générales du Royaume), Patrick Ribouville (Politique scientifique fédérale), Pieter Rottiers (Politique scientifique fédérale), Eline Sciot (Musée royal de l'Afrique centrale), Martine Stélandre (Politique scientifique fédérale), Patrick Trio (Archives générales du Royaume), Michel Van Camp (Observatoire royal de Belgique), Tim Van Hoolst (Observatoire royal de Belgique) et Marie Yseboodt (Observatoire royal de Belgique).

Les auteurs sont responsables du contenu de leur contribution.

Photo de couverture: Image de la Lune pendant l'éclipse lunaire totale du 21 janvier 2019, photographiée sur le site de la station scientifique de Humain (province de Luxembourg). Un réflecteur f/7 de 18-cm d'ouverture équipé d'une caméra Nikon D810a a été utilisé avec un temps de pose de 1/5 sec et une sensibilité ISO 3200. © Observatoire royal de Belgique/Paul Van Cauteren & Patricia Lampens

Tirage :

13.000 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 ou en nous renvoyant corrigée l'étiquette collée sur l'enveloppe contenant votre magazine.

Conception graphique et impression :

Bredero Graphics
www.drukbredero.be
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.

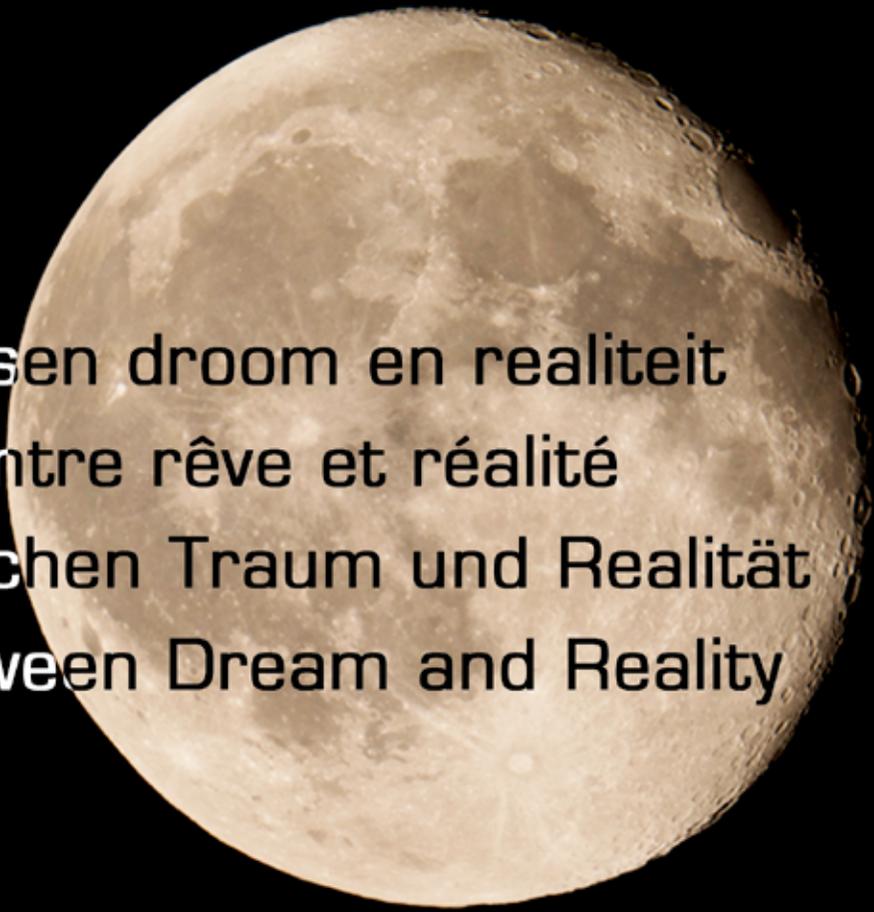
La Politique scientifique fédérale ni aucune personne agissant en son nom n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication ou des erreurs éventuelles qui, malgré le soin apporté à la préparation des textes, pourraient y subsister.

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 2019

Reproduction autorisée moyennant citation de la source.

Interdit à la vente.



DE MAAN: tussen droom en realiteit
LA LUNE: entre rêve et réalité
DER MOND: zwischen Traum und Realität
THE MOON: between Dream and Reality

TENTOONSTELLING - EXPOSITION
23.07.2019 > 25.08.2019
10:30 - 17:00

Wetenschap en Cultuur op het Koninklijk Paleis te Brussel
Science et Culture au Palais Royal de Bruxelles

KONINKLIJK PALEIS - PALAIS ROYAL
 Paleizenplein, Brussel - Place des Palais, Bruxelles
 (laatste ingang 15u45 - dernières entrées à 15h45)
 Gesloten op maandag - Fermé le lundi
 Gratis toegang - Entrée gratuite

Photo © KBR/OJB | Paul Van Cauderen - Patricia Lampens

www.monarchie.be - www.belspo.be - www.chancellerie.belgium.be



www.royalbelspo.be

