

Bureau de dépôt : 4031 Angleur
N°ISSN 0773-3429
N° d'agrément : P001593

Sommaire

- "Epoustousciences", notre prochaine expo est destinée aux élèves de 5 ^e et 6 ^e primaires	1
- Notre expérience du Fakir dans l'émission « Tout s'explique » à la télé	4
- Le CO ₂ de l'air de la grotte de Comblain-au-Pont (Jean Godissart et Camille Ek)	5
- Félix et la source invisible (Eric-Emmanuel Schmitt)	9
- L'air des grottes de Belgique s'enrichit en CO ₂ au fil des années. Quelle en est la cause ? (Camille Ek et Jean Godissart)	10
- Vous avez dit hologrammes ?... par Yvon Renotte	16
- Et les « vrais hologrammes », c'est quoi au juste ?... par Yvon Renotte	24
- « Carte blanche à Jean Englebert » en 30 minutes sur youtube	32

Le cameraman de RTL face à Nathan Soret ... pensif ! (p. 4)



SPW
Service public de Wallonie

Province
de Liège

FÉDÉRATION
WALLONIE-BRUXELLES

Publié grâce à l'appui :

- du Service Public de Wallonie
- du Service général Jeunesse et Éducation permanente,
Direction générale de la Culture de la Fédération Wallonie-Bruxelles
- du Service des affaires culturelles de la Province de Liège,

SCIENCE et CULTURE asbl

Président fondateur : Henri BRASSEUR

Science et Culture est une association sans but lucratif (a.s.b.l.) qui oeuvre à la diffusion des sciences et de la culture pour un public aussi large que possible.

Parmi ses activités principales, figurent l'organisation d'expositions scientifiques orientées vers le public des élèves de l'Enseignement secondaire et primaire ainsi que l'organisation de conférences pour le grand public. De plus, Science et Culture édite des livrets-guides de ses expositions ainsi qu'un bulletin bimestriel à l'attention de ses membres.

A.S.B.L. Science et Culture Quartier Agora, Allée du six août, 19 B-4000 Liège
: 04/366.35.85 • courriel : sci-cult@guest.uliege.be • site : www.sci-cult.ulg.ac.be

Cotisation 2019

Elle reste fixée à : 10,00 € pour les membres résidant en Belgique
15,00 € pour les membres résidant à l'étranger

Nous vous remercions de bien vouloir effectuer votre versement au compte **BE77 0000 0378 7242** (BPOTBEB1), intitulé Asbl Science et Culture, Allée du six août, 19, B-4000 Liège.

La cotisation comprend : • l'abonnement aux bulletins bimestriels
• l'accès gratuit à nos conférences et expositions
• l'accès gratuit à la Maison de la Science

Conseil d'Administration :

Président : Hervé CAPS, Chargé de cours au Département de Physique de l'ULg
Directeur de la Maison de la Science

Vice-Présidente : Brigitte MONFORT, Labo d'Enseignement Multimédia de l'ULg (LEM)

Secrétaire général : Roger MOREAU - ☎ 04/366.35.85 - rogermoreau@hotmail.com
Quartier Agora, Allée du six août, 19 - B-4000 Liège

Trésorier : Jean-Marie BONAMEAU, rue des Bedennes, 105, 4032 Chênée

Administrateurs : René CAHAY, Raphaël CLOSSET, Stéphane DORBOLO, Monique DUJCKAERTS, Michèle FAUVIAUX, Marcel GUILLAUME, Martine JAMINON, Claude MICHAUX, Luc NOIR, Bénédicte VERTRUYEN.

Comité de rédaction :

B. MONFORT, R. CAHAY et R. MOREAU.

Veuillez envoyer vos suggestions et projets d'articles à bmonfort@ulg.ac.be

LEM B7, ULg Sart Tilman, B-4000 Liège - ☎ 04/366.35.99

Mise en pages et traitement des images :

Aude LEMAIRE, Bernard GUILLOT et Roberto SAVO

18.02 >
01.03.2019

AU SART TILMAN

& 11.03 >
15.03.2019



ÉPOU STOU SCIENCES

DÉMONSTRATIONS INTERACTIVES
POUR LES 5^e & 6^e PRIMAIRES

INFOS & RÉSERVATIONS

SCIENCE & CULTURE
Domaine de L'ULiège
04 366 35 85
www.sci-cult.ulg.ac.be



Wallonie



Service public
de Wallonie



FÉDÉRATION
WALLONIE-BRUXELLES



LIÈGE
université



Province
de Liège
Culture

VENEZ COMPRENDRE LES PHÉNOMÈNES ÉTRANGES
QUI ANIMENT LES 4 SALLES D'UN MANOIR HORS DU COMMUN,
EN DÉJOUANT LA MAGIE GRÂCE À LA SCIENCE!

SALLE ARC- EN-CIEL

- | La lumière blanche révèle ses couleurs
- | Les ombres colorées
- | Éclater un ballon à distance
- | Des arcs-en-ciel plein les yeux
- | Des bulles de savon géantes
- | Des flammes colorées

SALLE FAN- TASTIQUE

- | Cocktails colorés
- | Des objets qui volent
- | Image d'un mouvement
- | La montgolfière
- | Les ronds de fumée

SALLE DES FRISSONS

- | Le bonhomme à la tête pleine...
de CO₂
- | Plongée dans l'azote liquide
- | Voir dans le noir
- | Le tatouage thermique
- | Le vaisseau volant

SALLE MYS- TÉRIEUSE

- | Le pendule lumineux
- | «Flash» le papier
- | Les clous du fakir
- | L'ombre piégée
- | Des illusions plein les yeux

L'expérience du fakir à la télé dans l'émission "Tout s'explique"

www.rtl.be/videos/page/a-propos-de-tout-s-explique/1211.aspx

Au cours de l'émission "Tout s'explique", 26 minutes le jeudi à 19h45 sur RTL, Thomas Van Hamme demande au journaliste Nathan Soret de relever un défi scientifique.

Le thème d'une des prochaines émissions étant « LA DOULEUR », le défi à relever était de taille : se mettre dans la peau d'un fakir pris en sandwich entre deux planches à clous !

Pour certains membres de notre équipe, au cours des années, la planche à clous est devenue un matelas « confortable » et c'est donc à eux que Nathan Soret s'est adressé pour obtenir quelques conseils. Le défi a été relevé et filmé sur la scène de l'exèdre Dick Annegarn, lieu habituel des expos de Science et Culture ; l'expérience du fakir y a déjà été présentée à de nombreuses reprises pour faire réfléchir les élèves sur le thème de la pression : 800 clous ... oui, 1 clou ... non !!!

Une expérience dont se souviendra Nathan car ne s'improvise pas fakir qui veut !!!



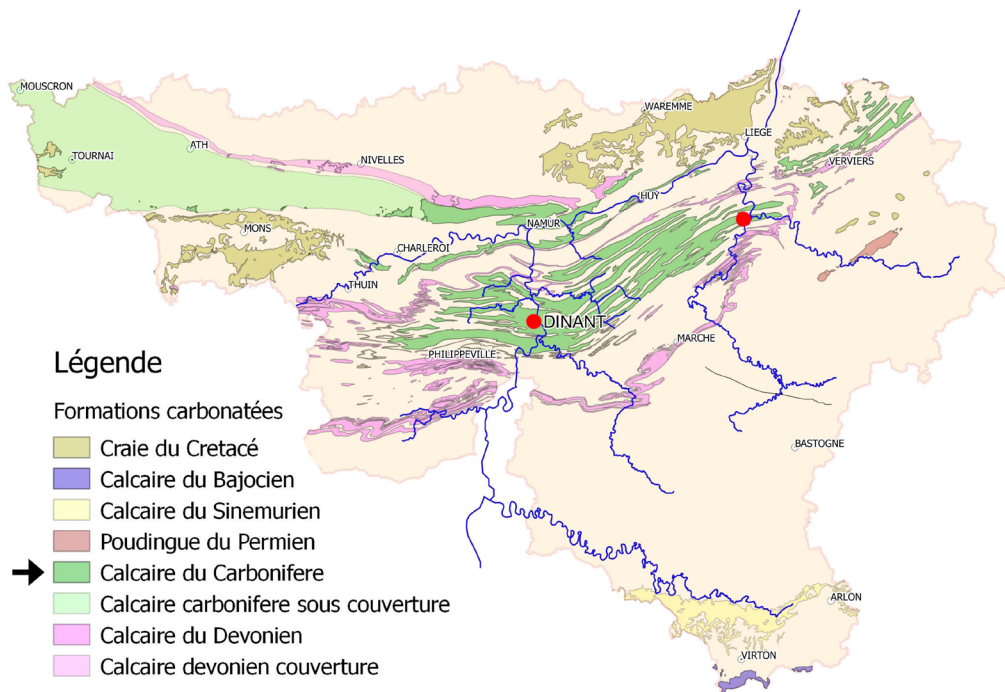
Nathan pensif, face au caméraman de RTL

Le CO₂ de l'air de la grotte de Comblain

Jean Godissart (godissart.jean@gmail.com) et Camille Ek (camille.ek@uliege.be)

Introduction

En Belgique, les grottes sont localisées majoritairement au sud du sillon Sambre et Meuse dans le bassin de Dinant (fig. 1).



Légende

Formations carbonatées

- Craie du Cretacé
- Calcaire du Bajocien
- Calcaire du Sinemurien
- Poudingue du Permien
- Calcaire du Carbonifère
- Calcaire carbonifère sous couverture
- Calcaire du Devonien
- Calcaire devonien couverture

Fig. 1. Carte géologique de la Wallonie : **localisation des calcaires.**

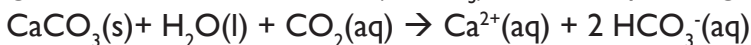
Les deux points rouges marquent l'emplacement de deux grottes que nous étudions situées dans le calcaire carbonifère :

- **la Merveilleuse à Dinant** sur la rive gauche de la Meuse et
- **la grotte-abîme de Comblain-au-Pont** sur la rive gauche de l'Ourthe.

A titre documentaire, la Wallonie contient actuellement quelque 200 grottes dont le développement se situe entre 200 mètres et plusieurs kilomètres, ainsi que nombre de cavités plus petites.

Comment se forment les grottes ?

Elles se forment grâce aux propriétés acides du dioxyde de carbone (CO₂) en solution. Présent dans l'atmosphère à raison de 400 ppm (parties par million), le CO₂ peut atteindre 30.000 à 50.000 ppm (soit 3 à 5%) dans les sols ce qui le rend capable de mettre en solution quelque 300 mg/L de carbonate de calcium (CaCO₃) suivant l'équation globale :



Le processus nécessite donc un acide, fabriqué en quantité dans les sols, de l'eau de pluie, une différence d'altitude entre entrée et sortie de l'eau, pour que celle-ci s'écoule, et un massif fracturé pour que l'eau puisse le parcourir.

Comment mesure-t-on le CO₂ ?

Les anciennes méthodes physico-chimiques telles que par exemple conductimétrie, pHmétrie, mesure de la conductivité thermique, électrolyse, sont aujourd'hui remplacées par des appareillages électroniques utilisant un capteur de rayonnement infra-rouge.



Fig. 2. L'appareil Dräger X-am 7000

Nous utilisons, au cours de nos mesures dans les grottes, les appareils X-am 7000 de Dräger (figure 2) et les appareils Vaisala MI 70. Les gammes de mesure s'étendent de 400 à 50.000 ppm et permettent l'enregistrement automatique des données.

Quelle est la dynamique du CO₂ dans la grotte de Comblain ?

L'atmosphère contient actuellement en moyenne 400 ppm de CO₂. Dans les sols forestiers de Comblain-au-Pont depuis 2011 jusqu'à 2018, nous avons mesuré des concentrations de 500 à 32.000 ppm (fig.3).

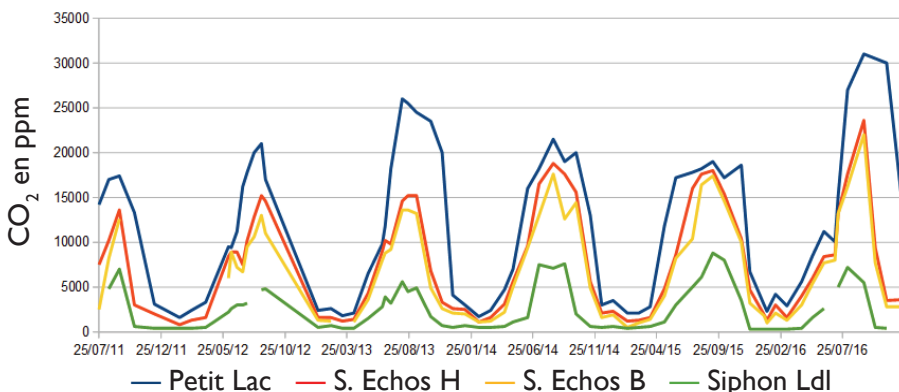
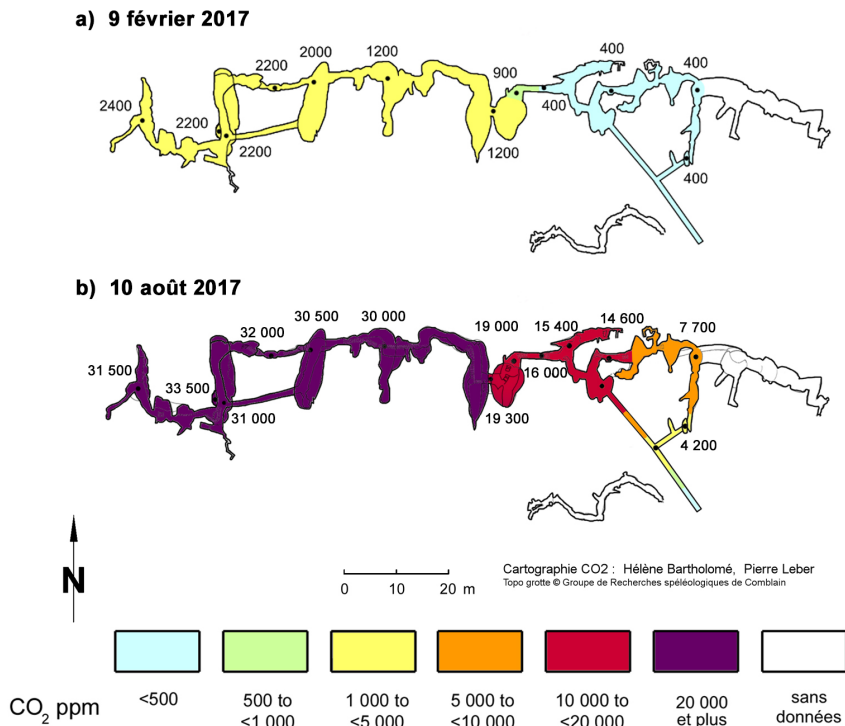


Figure 3. Teneurs en CO₂ à 4 stations dans la grotte de Comblain de 2011 à 2016.

La courbe bleue de la figure 3 représente les variations annuelles du CO₂ à la station du Petit Lac dans la partie distale, c'est-à-dire à l'extrémité de la grotte.

Les maxima se produisent en été et suivent les maxima dans les sols.

Les cartes des figures 4a et 4b donnent la répartition hiver/été du CO₂ dans les différentes stations de mesure de la grotte de Comblain-au-Pont.



Figures 4a et 4b. Teneurs en CO₂

4a) le 9 février 2017 (température moyenne diurne extérieure : 2°C)

4b) le 10 août 2017 (température moyenne diurne extérieure : 15°C).

La grotte de Comblain comporte deux entrées.
 La seule entrée naturelle est un puits (abîme) profond de 22 mètres.
 Pour faciliter l'accès de la grotte aux visiteurs, on a creusé un tunnel qui s'ouvre au jour 10 mètres plus bas que l'orifice du puits.

Pendant la période froide, lorsque les températures extérieures sont inférieures à 10°C, un tube à vent s'active.

Le mécanisme est le suivant : l'air extérieur froid (colonne bleue) est plus lourd que l'air de la grotte qui reste à la même température toute l'année, c'est-à-dire 10°C.

De ce fait, l'air froid descend dans la grotte chassant de celle-ci l'air plus chaud (colonne rouge) donc plus léger.

Le courant d'air ainsi créé s'appelle un **tube à vent**.

En été, lorsque la température de l'air extérieur est supérieure à celle de la grotte, cette circulation d'air n'existe pas.

Une tentative d'explication

La teneur de l'air en CO₂ qui est de 400 ppm dans l'atmosphère libre est beaucoup plus élevée sous terre, dans le sol comme dans les grottes. Ce sont :

- les racines des plantes,
- la microfaune du sol,
- la décomposition de la matière organique qui produisent le CO₂

L'activité végétale et celle de la microfaune étant beaucoup plus faibles en hiver, c'est donc en été qu'on observe les plus fortes teneurs en CO₂ dans les grottes, jusque 75 fois la teneur de l'air libre.

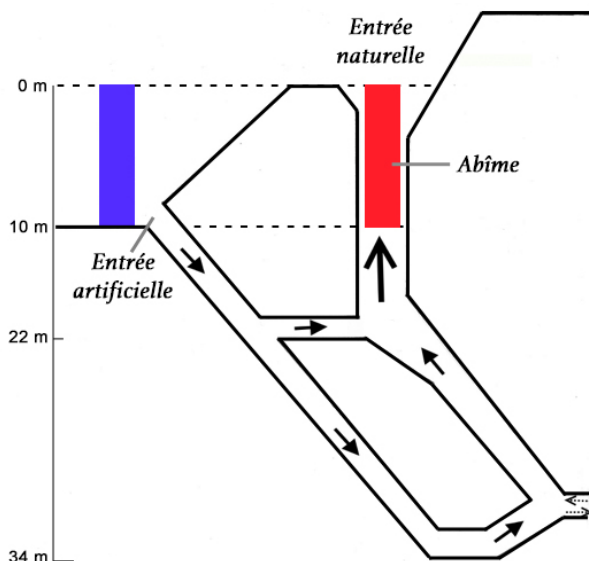


Fig. 5. Le tube à vent de la grotte de Comblain-au-Pont en régime hivernal.

Informations complémentaires

L'asbl "Les découvertes de Comblain" propose de diffuser des informations sur ce sujet auprès du public scolaire, grâce à une animation et à un dossier pédagogique.

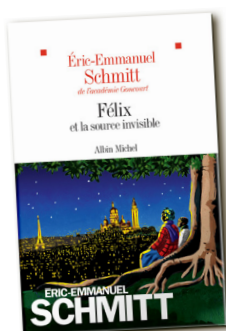
- Le **dossier pédagogique**, intitulé : "D'où vient et où va le CO₂ des grottes ?" peut être téléchargé à l'adresse :
www.grottedecomblain.be/wpcontent/uploads/2015/12/dossierpedagogiqueCO2.pdf

Il s'adresse surtout aux enseignants en charge des cours de chimie et d'écologie en 5e et/ou 6e secondaire, tous réseaux confondus.

- L'**animation** est détaillée dans un article paru dans le Bulletin de Science et Culture n° 473 p 83 et 84 "Le dioxyde de carbone sous terre : une sortie scolaire possible à Comblain-au-Pont" par Catherine Robinson - catherine.robinson@decouvertes.be

Il se trouve à l'adresse :

www.sci-cult.ulg.ac.be/wp-content/uploads/bulletins/Bulletin473.pdf



Félix et la source invisible

par Eric-Emmanuel Schmitt

Un livre plein d'humour, de poésie et d'humanité !

L'image de couverture, due à Marcelino Truong, illustre un moment très touchant et réjouissant de l'histoire.



L'air des grottes de Belgique s'enrichit en CO₂ au fil des années

Quelle en est la cause ?

par Camille Ek & Jean Godissart
camille.ek@uliege.be godissart.jean@gmail.com

Dans l'atmosphère libre, l'air comporte 400 parts par million (ppm) de CO₂. C'est beaucoup plus qu'en 1900, où on ne comptait que 300 ppm de CO₂. La concentration en CO₂ de l'air a donc crû de 33 % en un peu plus d'un siècle. Et cela continue.

Il en va de même dans les grottes de Belgique, mais l'augmentation est plus notable.

- **En juillet 1966**, nous mesurons dans la grotte de Comblain-au-Pont, au pied de l'abîme¹, 530 ppm de CO₂. C'était un peu plus que la teneur de l'air libre, qui était à cette époque d'environ 350 ppm.

- **En juillet 2012**, la mesure au pied du même abîme, était de 1400 ppm.

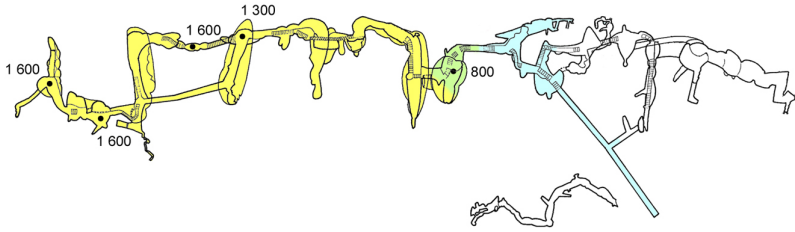
Il s'agit là de mesures ponctuelles, qui n'ont pas été refaites au cours du même mois ; nous n'en tirerons pas de conclusion quantitative précise, mais cela dénote certainement un enrichissement en CO₂ de l'air de la grotte au pied de l'abîme.

En 2011, nous avons commencé une série de mesures mensuelles à la grotte de Comblain-au-Pont, et, depuis 2012, nous cartographions chaque mois la quasi totalité de la cavité.

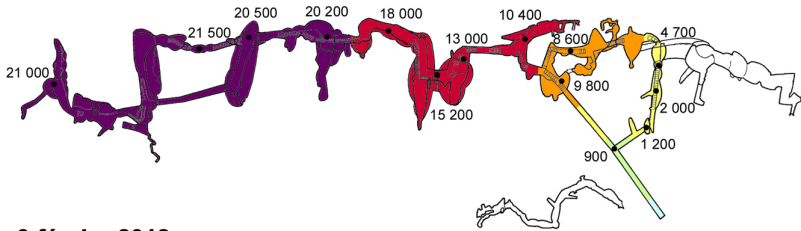
On trouvera ci-après, dans la figure 1, les cartes de la grotte en hiver et en été en 2012 et en 2018.

¹ Un abîme est un puits très profond. L'abîme de Comblain-au-Pont a 22 m de profondeur.

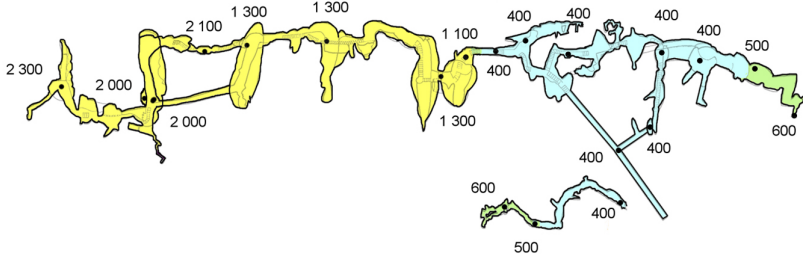
8 février 2012



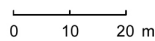
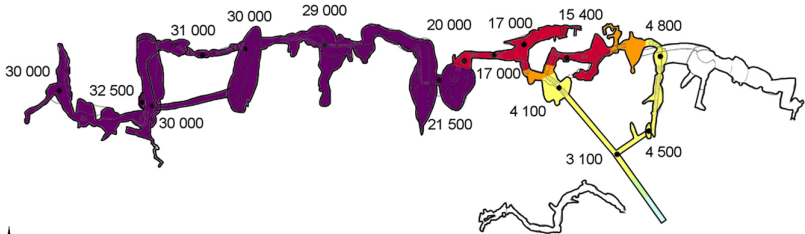
27 août 2012



9 février 2018



9 août 2018



Cartographie CO₂ : Hélène Bartholomé, Pierre Leber
Topo grotte © Groupe de Recherches spéléologiques de Comblain

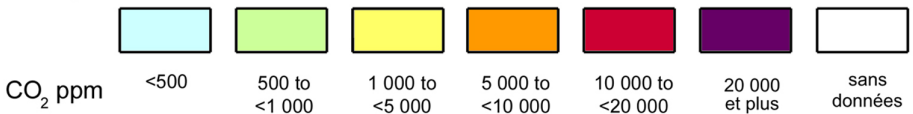


Figure 1 Teneur en CO₂ de l'air de la grotte-abîme de Comblain-au-Pont

On voit que la teneur en CO₂ est beaucoup plus modeste en hiver qu'en été. Nous pensons que c'est parce que, en hiver, les racines des plantes et la microfaune du sol sont moins actives, donc respirent moins et introduisent moins de CO₂ dans le sol. Du sol descend donc peu de CO₂ vers la grotte.

L'activité des arbres et de toutes les plantes est plus forte en été. Par leurs parties vertes, les plantes, au-dessus du sol, absorbent le CO₂ pour la photosynthèse. Mais dans le sol, il n'y a pas de lumière, donc pas de photosynthèse, mais tout ce qui vit (racines, microfaune,...) respire et produit du CO₂. Et nous voyons que, de 2012 à 2018, le CO₂ est devenu plus abondant : sa croissance continue.

Déjà en août 1990, dans la grotte Merveilleuse à Dinant, nous mesurons dans l'air de la grande salle 800 ppm de CO₂.

- en août 2008, 1100 ppm
- en août 2013, 1500 ppm
- en août 2016, 2100 ppm.

L'augmentation est drastique. La figure 2 représente la teneur en CO₂ de l'air dans cette grotte en différents endroits.

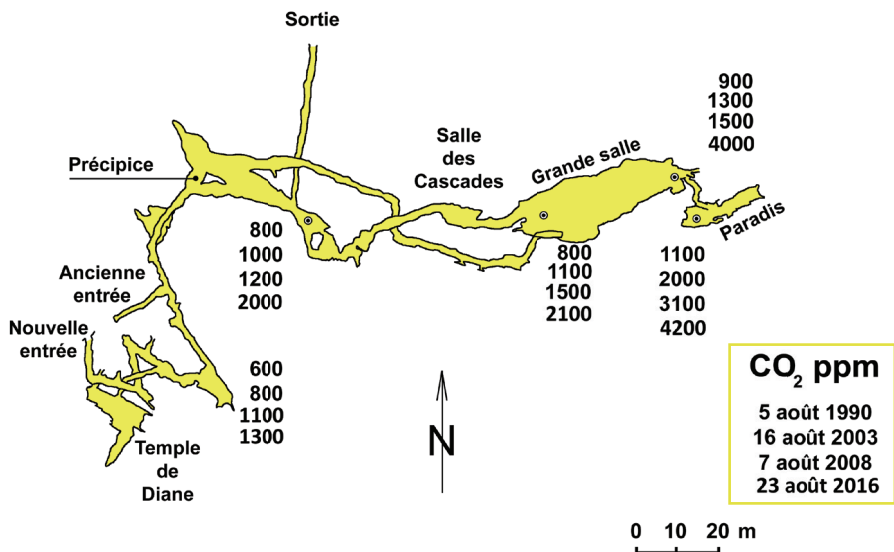


Figure 2: Grotte "la Merveilleuse" à Dinant.
Evolution de la teneur de l'air en CO₂ de 1990 à 2016.

Une question cruciale se pose : quelle est la cause de l'augmentation de la teneur en CO₂ dans les grottes ?

Nous ne le savons pas.

Ce n'est pas la respiration des touristes : les grottes de Dinant et de Comblain n'en attirent pas assez. Nous avons mesuré que les touristes augmentent la teneur en CO₂ de l'air, mais beaucoup trop peu et très temporairement. Dans une grotte beaucoup plus touristique, celle de Remouchamps, les touristes, en plein été, augmentent un peu la teneur en CO₂ mais de façon très temporaire et, avant la fin de la nuit, l'augmentation est tout à fait annulée.

Ce n'est pas l'industrie non plus sinon on mesurerait aussi la différence à l'air libre ; et l'industrie n'est vraiment pas en croissance dans les régions de Comblain et de Dinant.

Mais une chose nous frappe. Quand on compare le paysage de ces régions en 1900 et actuellement (figures 3 et 4) la couverture forestière est visiblement beaucoup plus dense aujourd'hui qu'au début du vingtième siècle.

Les arbres sont plus hauts, plus vigoureux, la canopée est plus dense. Nous montrons quatre photos ici, mais de très nombreux exemples indiquent que c'est une généralité.

Dans quelle mesure ce phénomène est-il lié à la gestion des boisements par l'homme et dans quelle mesure ceci est-il l'effet de l'évolution du climat ?

C'est un fait que l'**augmentation** actuelle de **température** est favorable à la végétation. La température a augmenté d'environ 1°C depuis 1900.

L'augmentation de CO₂ est, elle aussi favorable à la végétation en fournissant à celle-ci le CO₂ nécessaire à la photosynthèse. Rappelons que le CO₂ de l'air a augmenté de 33 % depuis 1900.

Dans quelles mesures ces deux facteurs agissent-ils ?

Sans exclure qu'il y en ait d'autres, leur influence nous paraît cependant très probable.

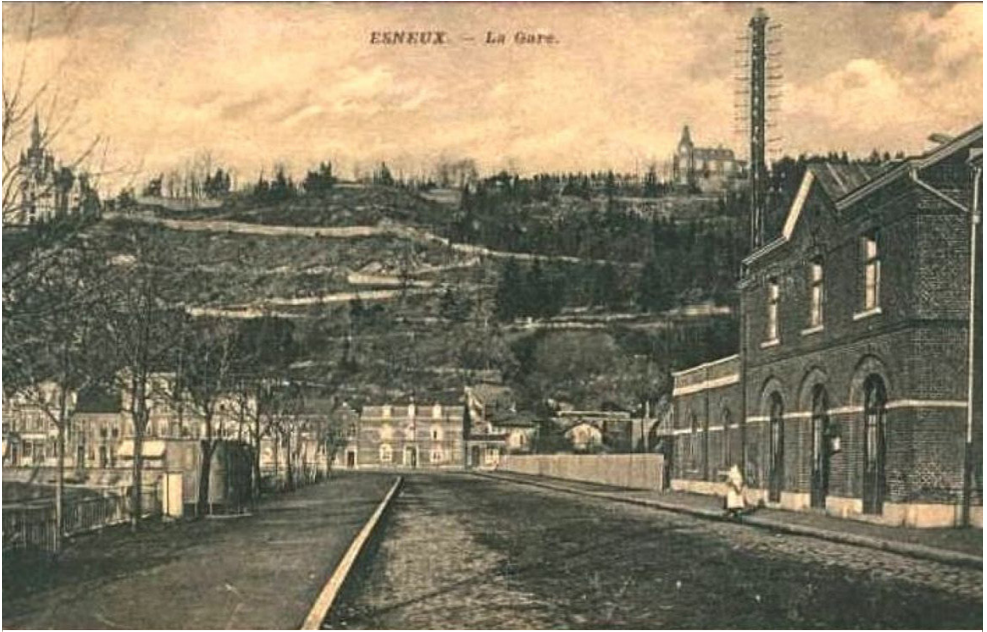


Figure 3 : un même paysage d'Esneux vers 1900 et en 2017.



Figure 4 : un même paysage de Comblain-au-Pont vers 1900 et en 2016

Vous avez dit "hologrammes" ?...

NDLR : Le langage des médias ... Nous avons déjà eu l'occasion, dans le bulletin de Science et Culture, d'évoquer ce sujet. Le langage de la vie courante ne rencontre pas toujours celui des scientifiques : capsules d'iode versus iodure de potassium¹ ...

Simplification et rigueur scientifique n'allant pas toujours de pair, l'important est d'en être conscient.

Aujourd'hui, c'est le terme d' "hologramme" qui est malmené ... merci à Yvon Renotte, spécialiste en cette matière, qui remet ici pour nous les pendules à l'heure !

Après les « fake news », voici... les "false holograms" !

par Yvon Renotte - y.renotte@uliege.be

www.hololab.ulg.ac.be



*Maria Callas en concert sous forme d'hologramme
à Bruxelles en novembre 2018 - © BELGA*

Je suppose que, comme moi, vous avez vu, ou du moins entendu parler de l'utilisation, lors de réunions politiques, de conférences et d'autres spectacles musicaux, d'"hologrammes" de personnalités diverses, disparues ou non.

¹ Corps simples, corps composé... Cherchez l'élément ! Bulletin 399, Janvier 2006, pp 15-19
www3.sci-cult.ulg.ac.be/wp-content/uploads/bulletins/Bulletin399.pdf

Sans avoir besoin de lunettes spéciales, le public découvre sur scène une image réaliste qui donne l'impression de relief (on dit de nos jours "3D") de chanteurs, de danseurs ou d'un candidat à l'élection présidentielle.

Un des exemples récents les plus médiatisés est sans doute le double meeting de Jean-Luc Mélenchon lors de la dernière campagne présidentielle française.

Le 5 février 2017, le candidat se trouvait physiquement sur scène à Lyon où il donnait un discours "en direct". Simultanément, son "hologramme" présentait le même discours, à près de 500 km de là, dans la banlieue parisienne² sur une scène à Aubervilliers.

Il réitère cet exploit technique le mardi 18 avril en parlant en chair et en os à Dijon et, via six clones numériques, à Nancy, Nantes, Clermont-Ferrand, Grenoble, Montpellier et Le Port (La Réunion).

Gros coup médiatique j'en conviens, mais surtout gros coup de bluff ... parce que d'**hologramme il n'y avait point** ... pas plus que lorsque l'on put voir à Londres un soi-disant hologramme du Prince Charles donnant au même moment une conférence à Abu Dhabi (2008)³, ou un "hologramme" de Clo-Clo (Claude François) dansant et chantant avec Michel Sardou en 2012, et sur la scène du Zénith de Lille en 2017 ... plus de 30 ans après son décès^{4,5}.

Les amateurs d'opéra, eux aussi, ont été comblés avec la réapparition de Maria Callas 40 ans après son décès !

À ce propos, je tiens à souligner que l'article n'émet aucun avis quant à l'intérêt ni la qualité artistique des spectacles évoqués qui peuvent ravir un large public. Je tiens simplement à souligner l'utilisation incorrecte d'une définition d'imagerie 3D qui qualifie abusivement d'holographique des reproductions qui ne le sont pas.

2 - J-L Mélenchon se dédouble en hologramme à Paris (2017), www.youtube.com/watch?v=EyB-NHspN-E

3 - Prince Charles speaks in Abu Dhabi via Hologram www.youtube.com/watch?v=qf5esT95Gw

4 - De Claude François à Michael Jackson, les artistes ressuscitent sur scène grâce aux hologrammes, www.bfmtv.com/mediaplayer/video/de-claude-francois-a-michael-jackson-les-artistes-ressuscitent-sur-scene-grace-aux-hologrammes-894435.html

5 - Cl. François et M. Sardou – France 2, 20-10-2011 - www.youtube.com/watch?v=3qETNAS4oD4

HIT PARADE "CLO-CLO" hologramme Lille Zénith - 29-4-2017 www.youtube.com/watch?v=I5c2yNwQKOY

Petite mise au point

Dans tous les cas il s'agit d'un abus de langage. On utilise à tort le terme d'hologramme : d'un point de vue scientifique, il s'agit plutôt d'une illusion d'optique en 2D (deux dimensions).

Belles prouesses de mise en scène et d'utilisation des techniques d'imagerie, mais au risque de me répéter : *les images que l'on vous montre ne sont pas des hologrammes.*

Techniquement et scientifiquement la vraie prouesse consiste à actualiser de vieux procédés déjà décrits par un érudit au 16^e siècle.

Hologramme versus photographie

Le mot "holographie" vient du grec "holos", en entier, et "graphein", écrire. Il signifie donc "message retranscrit en entier".

Contrairement à une **photographie** qui retranscrit une version "écrasée" de la réalité, l'hologramme reproduit également le *volume*. Apparue au début des années 60, **l'holographie est une méthode optique d'enregistrement et de reproduction d'images en trois dimensions**. Elle permet d'enregistrer le "relief vrai" et ainsi de reproduire la perspective "en plus" comme on le verra dans l'article suivant.

Il est évident que les pseudo-hologrammes évoqués en introduction ne répondent pas à ces caractéristiques. Ce sont en fait d'habiles projections d'images 2D, parfaitement bluffantes j'en conviens, pour qui n'y fait pas trop attention.

Il n'y a rien d'impossible à faire apparaître le "fantôme" de quelqu'un quelque part où il n'est pas et cela sans faire appel à l'holographie.

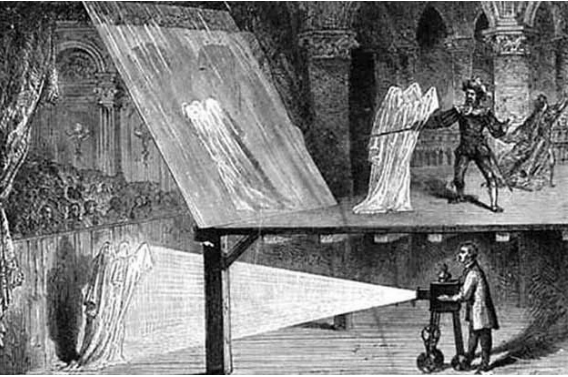
La technique, j'aurais tendance à dire le trucage, était déjà connu et utilisé aux 16^e et 17^e siècles pour faire apparaître des fantômes sur scène, par exemple celui du *Commandeur dans le Don Juan de Molière* (1665) ou celui de *Banco dans le MacBeth de Shakespeare* (~1603/06).

Il semble qu'elle soit apparue en Italie au 16^e, décrite dans un ouvrage daté de 1558, publié par un érudit italien⁶ particulièrement versé dans l'optique.

⁶ Giambattista della Porta (1535-1615), *Magia Naturalis* (1558) et *De refractione optices* (1593) qui développe le livre XVII de la *Magia Naturalis* sur l'optique

Comment ça marche ?

En 1860, à Londres, la Royal Polytechnic Institution, présente le "Pepper's Ghost" qui fait sensation



Vue latérale du trucage



Ce que voient les spectateurs

La figure ci-dessus montre une des méthodes de trucage très utilisée⁷. L'acteur, placé sous la scène dans une fosse côté spectateurs, reçoit un faisceau lumineux très intense provenant d'une grosse lanterne de projection équipée d'un système d'éclairage à arc électrique (l'illustration date des années 1860).

L'image du personnage est envoyée sur une glace (vitre) transparente inclinée à 45° qui la réfléchit vers les spectateurs. Bien entendu on dissimule les bords de cette glace au milieu de décors et d'accessoires.

⁷ Il en existe plusieurs variantes décrites dans des ouvrages spécialisés :

Olivier Gætz et Jean-Marc Leveratto, *Mise en scène et techniques de fabrication du fantôme dans le théâtre du XIX^e siècle*. in « François Lecerce et Françoise Lavocat, *Dramaturgies de l'ombre* » pp. 427-443, Presses Universitaires de Rennes, Open Edition Books (2016)

De nombreux ouvrages décrivent la technique du Pepper's Ghost ainsi que d'autres techniques. En voici quelques-uns :

- Jean-Eugène Robert-Houdin, *Magie et physique amusante*, Calmann-Lévy éd. (1877), œuvre posthume
- Julien Lefèvre, *L'électricité au théâtre*, Collection A. Grelot, éditions de l'Encyclopédie électrique (1894)
- Patrice Guérin, *Projection de Spectres vivants et de Fantômes au théâtre*, (2013),

<http://diaprojection.unblog.fr/2013/04/11/les-effets-speciaux-au-theatre-durant-le-xixe-siecle/>

Les éclairages de la scène et de la salle sont réglés pour que l'on puisse voir simultanément le spectre diaphane par réflexion sur la glace et les acteurs sur scène, à travers celle-ci, en ayant l'impression qu'ils sont dans le même espace.

On peut ainsi faire apparaître et disparaître le spectre en jouant habilement avec des éclairages adaptés.
La salle est plongée dans l'obscurité pour éviter tout reflet sur la glace.

Cette technique d'illusion d'optique communément appelée *Pepper's Ghost* (Fantôme de Pepper) a connu un essor considérable au milieu du 19^e siècle. Créée par l'ingénieur *Henri Dirks* (1806-73) vers 1850, elle fut perfectionnée et popularisée par un chimiste spécialiste et passionné par l'illusion, *John Henry Pepper* (1821-1900)⁸. Elle permet de faire croire que des objets apparaissent, disparaissent ou deviennent transparents, ou qu'un objet se transforme en un autre. Elle apparaît en France, au théâtre du Châtelet à Paris en 1863 et se répand sur le continent.

Évidemment les moyens de production de telles images ont considérablement évolué avec les technologies d'imagerie et de projection d'images, mais le principe de base reste. Il date d'environ un siècle avant l'invention de l'holographie.

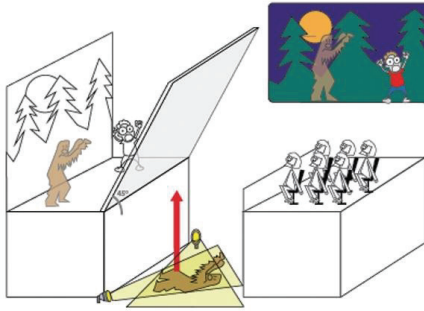
Les dispositifs se sont sophistiqués et utilisent aujourd'hui les techniques vidéos aussi bien pour faire réapparaître des personnes disparues (chanteurs et acteurs du monde du spectacle) que pour transmettre simultanément en un lieu des scènes filmées ailleurs (c'est le cas de Jean-Luc Mélenchon).

Dans le premier cas, les producteurs utilisent des images ou des films d'archives, éventuellement "corrigés". On notera que ces documents cinématographiques ou vidéos ont été enregistrés en 2D ce qui entraîne que leur reproduction le soit également.

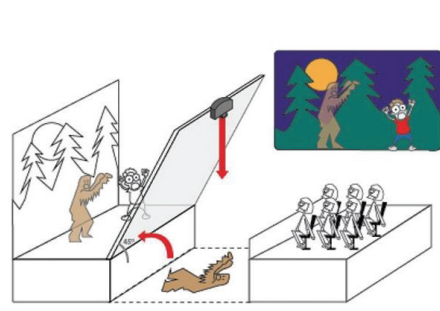
Dans le second cas, les informations sont traitées en temps réel et directement transmises par procédé classique du lieu de capture à celui de restitution. Plusieurs sociétés assurent actuellement ce type de service.

8 L'effet *Pepper's Ghost* dévoilé, *ShowTex amazing stage Fabrics in Motion*, (2015),

<https://www.showtex.com/fr/blog/produits-innovants/leffet-peppers-ghost-devoile>



Effet Pepper's Ghost original



Effet Pepper's Ghost avec projection



Extrait de www.youtube.com/watch?v=EyB-NH5pNtE

Jean-Luc Mélenchon se dédouble, depuis son meeting à Lyon, en « pseudo hologramme » à Paris

Quelques précautions permettent d'assurer la qualité du spectacle, précautions que l'on peut expérimenter aisément.

Ainsi, lorsque, une fois la nuit tombée, nous entrons dans une pièce dont les volets ne sont pas fermés, nous voyons très bien l'extérieur à travers la vitre dont nous pouvons même douter de la présence lorsqu'elle est parfaitement propre.

En revanche, dès que nous allumons la lumière dans la pièce, la fraction réfléchiée par la vitre (environ 8 %) est bien plus intense que la lumière qui nous parvient de l'extérieur. La vue de l'extérieur est alors remplacée par la vue de l'intérieur.

Nous savons maintenant que des images ainsi produites ne sont pas à proprement parler des hologrammes dont l'enregistrement et la reproduction auraient nécessité d'autres techniques, une quantité considérable d'énergie, et qui auraient surtout fourni *des images en 3D qui auraient pu être vues sous tous les angles.*

Vue de face
(AFP/Thomas Samson)



"Pseudo-hologramme" de Jean-Luc Mélenchon

Réexaminons le cas de Jean-Luc Mélenchon

Le Jean-Luc Mélenchon présent à Aubervilliers était une image projetée en 2D, une *illusion d'optique* qui n'est que l'adaptation du processus décrit plus haut.

Quelques effets assez aisément observables permettent de percevoir le caractère "non-holographique" de telles images.

Par exemple, le "personnage Mélenchon" a été filmé avec des caméras classiques sur un espace d'environ 4x4 mètres⁹.

Les images ont été retransmises sur des scènes distantes par projection sur des écrans horizontaux. Une glace inclinée à 45° en-dessous de chaque écran affichait en fait le

reflet d'une captation vidéo en 2D.

Dans l'image ainsi projetée il n'y a pas d'effet de relief, donc pas de rendu holographique.

Les spectateurs qui étaient à droite et ceux qui étaient à gauche ont tous vu J-L Mélenchon de la même façon. C'est ce reflet qui donne l'impression aux spectateurs que le personnage est bien là, debout, sur l'estrade. L'illusion ne fonctionne vraiment que pour le public installé en face de la scène. Vu de côté, le personnage filmé s'aplatit.

L'impression de 3D peut être améliorée par l'usage d'écrans transparents sans reflet, légèrement bombés.

Alors pourquoi avoir gardé ce terme d'hologramme ?

Simplement, peut-être pour sa magie et par ce qu'il évoque auprès du grand public.



à Aubervilliers le 5 février 2017

Pour en savoir plus

Plusieurs sites fort bien documentés décrivent, analysent et expliquent les tenants et aboutissants des opérations menant à la présentation de "pseudo-hologrammes" par exemple :

- www.bfmtv.com/planete/infographie-pourquoi-melenchon-exagere-avec-son-hologramme-1139672.html
- www.huffingtonpost.fr/2017/02/05/comment-fonctionne-lhologramme-de-jean-luc-melenchon_a_21707350/
- www.leparisien.fr/elections/presidentielle/l-hologramme-de-melenchon-mode-d-emploi-18-04-2017-6864120.php
- www.franceculture.fr/emissions/la-vie-numerique/lhologramme-de-melenchon-et-surgit-un-fantome

Un gadget amusant

Sur les principes décrits, plusieurs firmes proposent aujourd'hui des "projecteurs de pseudohologramme" pour smartphone fort amusants à utiliser : sorte de petits polyèdres à quatre faces en plastique transparent, que l'on pourrait d'ailleurs facilement fabriquer soi-même.

On en trouve un par exemple sur le site : <https://www.myxlshop.fr/>

9 Interview du Pr Pascal Picart, Université du Maine, École Nationale Supérieure d'Ingénieurs du Mans, 72085 Le Mans Cedex 9, France www.franceculture.fr/sciences/pourquoi-lhologramme-de-melenchon-nen-etait-pas-un

Et les « vrais hologrammes », c'est quoi au juste ?

par Yvon Renotte
(y.renotte@uliege.be - www.hololab.ulg.ac.be)

Comme expliqué dans l'article précédent, on utilise à tort le terme « hologramme » dans tous les cas largement évoqués par les médias : meetings politiques sans présence réelle des orateurs, galas d'artistes décédés, ...

Il s'agit, du point de vue scientifique, d'un abus de langage. On a plutôt affaire à une illusion d'optique en deux dimensions (2D) à partir de belles prouesses de mise en scène et d'utilisation de techniques d'imagerie sophistiquées.

Holographie, hologrammes et ... stéréoscopie

Apparue au début des années '60, l'holographie est une méthode optique d'enregistrement et de reproduction d'images en trois dimensions (3D). Comparée à la stéréoscopie, technique performante et plus courante, l'holographie est la seule technique qui permette d'enregistrer le « relief vrai » et ainsi de reproduire la perspective.

J'insiste sur la notion de « relief vrai » parce que les dernières années ont largement popularisé une autre technique, le « relief stéréoscopique ».

Hologramme en réflexion : type Denisyuk

*La perspective est parfaitement reproduite : tout se passe comme si l'objet était là. Lorsqu'on se déplace en regardant l'objet, la **perspective** change mais l'image n'est pas déformée.*

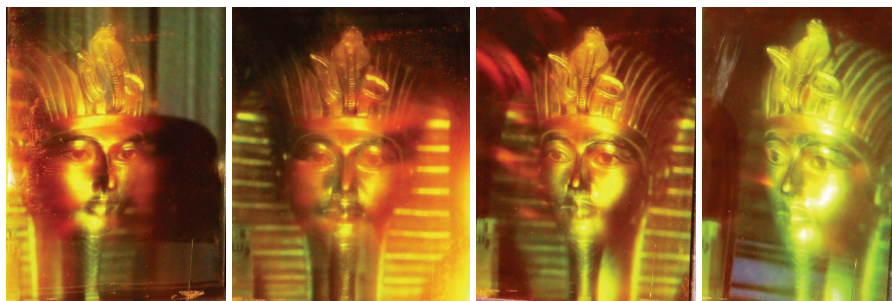


Photo par la droite

Photo de face

Photo par la gauche

id. plus à gauche

Si l'imagerie holographique n'est pas très populaire auprès du grand public, les applications de cette technique sont nombreuses et variées. Elles touchent des domaines aussi différents que :

- l'industrie (métrologie, mécanique, sidérurgique, photonique, ...)
- le monde médical
- la protection de l'art et du patrimoine
- la lutte anti-contrefaçon.

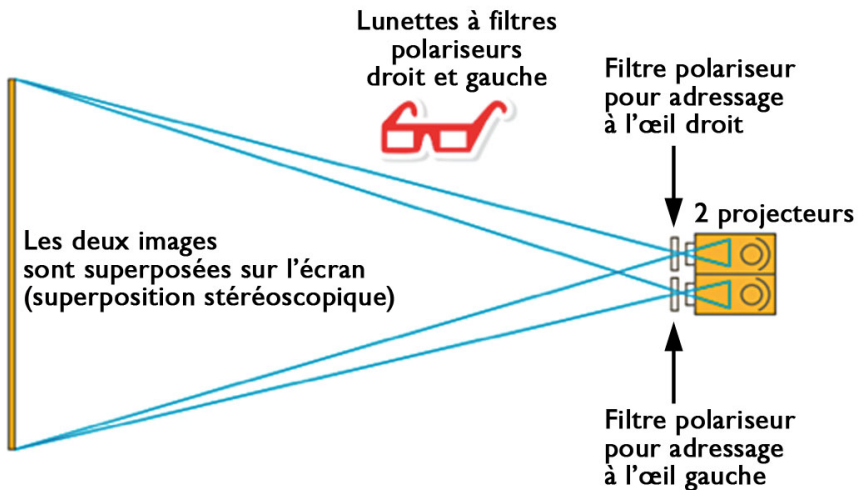
- La stéréoscopie

Elle est née au 19^e siècle, à peu près en même temps que la photographie. Cette technique spectaculaire a connu un succès foudroyant.

Rappelons l'immense engouement suscité par des films tels que "Les Dents de la Mer 3" (1983), "Jurassic Park" (2003, version 3D) et "Avatar" (2009).

Conceptuellement, la stéréoscopie est assez simple à mettre en œuvre (toutes difficultés techniques mises à part) puisqu'elle repose sur un principe qui consiste à adresser séparément, à chacun des yeux du spectateur, des images plus ou moins décalées de la scène enregistrée. Le cerveau fait le reste.

De nombreux moyens de séparation des images ont été inventés et les champs d'applications sont multiples et variés.



© Maison de la Science

Principe de la stéréoscopie : séparation par polarisation couramment utilisé en cinématographie 3D

Du point de vue de la physique, la stéréoscopie "souffre" d'un défaut rédhibitoire quant à la reproduction en relief des images : **elle ne permet pas de restituer la perspective de la scène enregistrée** ; l'image 3D est figée dans la perspective choisie par l'opérateur. L'observateur qui se déplace transversalement face à une projection stéréoscopique constate que la perspective ne change pas.

C'est une des différences fondamentales avec **l'holographie**. Celle-ci permet de "restituer" la perspective associée à la perception du relief. L'holographie est encore aujourd'hui la seule technique qui permette cette prouesse. Mais la possibilité d'y parvenir a un prix comme nous allons le voir.

- L'holographie

Le mot "holographie" vient du grec "holos", en entier, et "graphein", écrire. Il signifie donc "*message retranscrit en entier*".

Il ressort clairement d'une comparaison de ces deux techniques d'imagerie 3D (stéréoscopie et holographie) que du point de vue "grand public", l'avantage est nettement dans le camp de la stéréoscopie. Il le restera tant que l'holographie ne réussira pas à s'affranchir des contraintes lors de l'enregistrement et surtout de l'inconfort lors de la lecture. La qualité de l'image peut décevoir : la reproduction des couleurs et du mouvement n'est pas résolue.

Même si quelques rares exemples existent, ils sont restés confidentiels et le succès ne fut pas au rendez-vous.

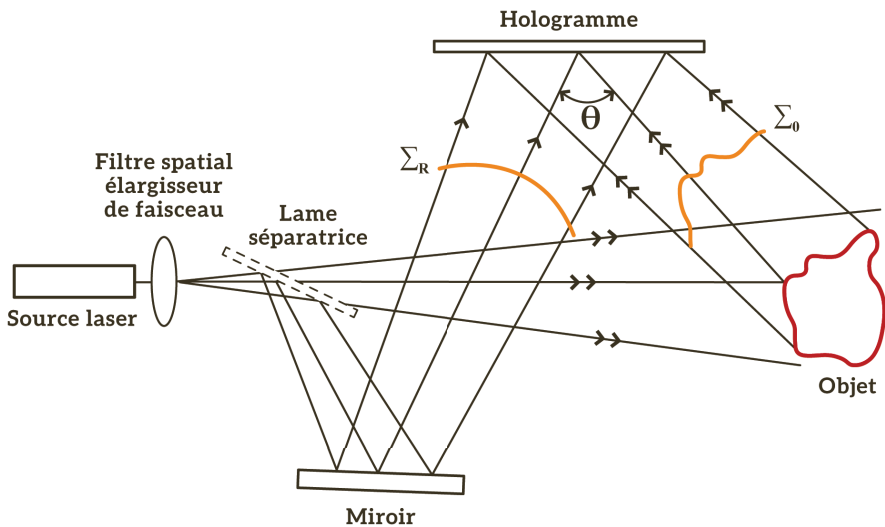
Bref, tous les éléments étaient réunis pour que le public finisse par boudier la performance scientifique et technologique à la base de l'imagerie holographique.

Réalisation d'un hologramme

L'holographie est donc une technique d'enregistrement et de reproduction complète des images ; le document obtenu par ce procédé est appelé hologramme. Physiquement là où la photographie capture uniquement la lumière, l'hologramme enregistre le chemin qu'elle a parcouru. Cette technologie permet ainsi de stocker une incroyable quantité d'informations.

L'holographie nécessite de travailler en deux temps.

Dans une première étape (enregistrement), on éclaire simultanément l'objet et un récepteur photosensible, avec un même faisceau de **lumière cohérente**. Le LASER est la seule source de lumière qui permette cette opération.



© Maison de la Science

Σ_R = front d'onde de référence

Σ_0 = front d'onde objet

θ = angle entre les deux faisceaux

*Hologramme de transmission "hors axe" (Leith - Upatnieks)
a) enregistrement*

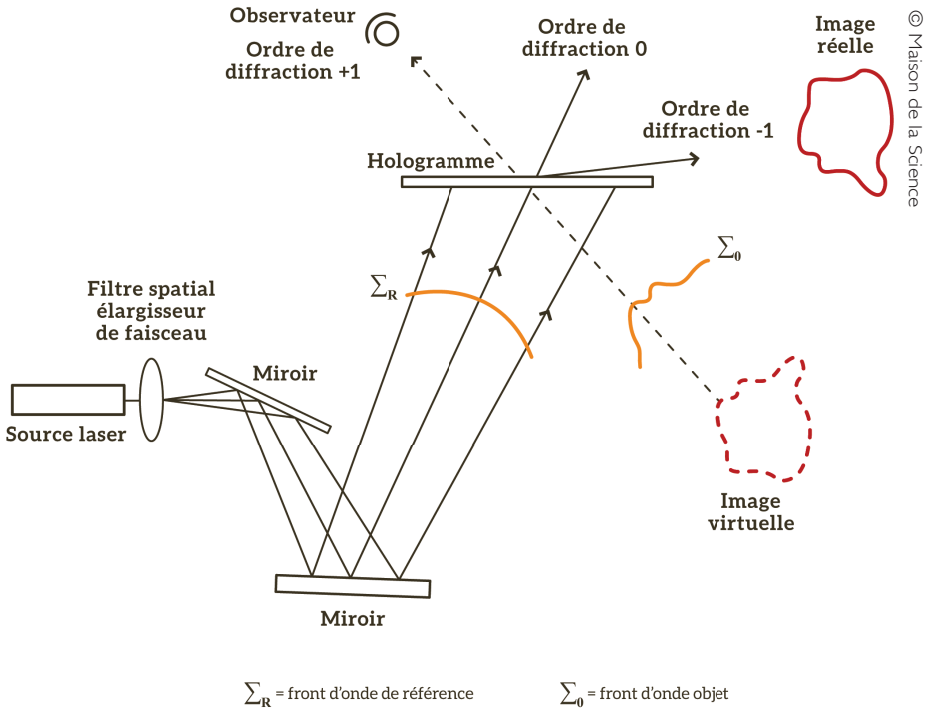
L'objet diffuse les ondes lumineuses qu'il a reçues vers le photorécepteur qui enregistre simultanément, sous forme d'interférences,

- l'onde directe (appelée "onde de référence") et
- l'onde diffusée (appelée "onde objet").

Après traitement de l'émulsion qui a été éclairée, on obtient un réseau de diffraction : l'**hologramme**.

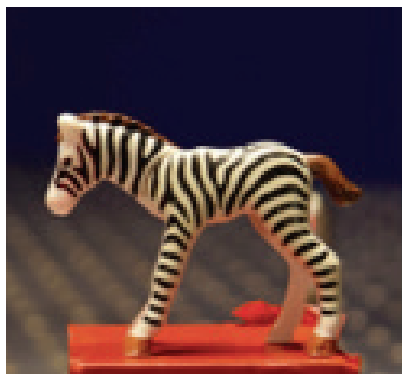
Celui-ci n'est pas directement lisible. Il apparaît sous forme d'une moirure complexe formée de zones plus ou moins claires et sombres. Il doit être décodé, **c'est la seconde étape (reconstruction)**. Pour reconstruire l'image de l'objet, il suffit d'éclairer l'hologramme à l'aide de la lumière LASER, sous l'angle initial d'incidence de l'onde de référence.

Hologramme d'amplitude en transmission
 (agrandi 2400 fois)
 © Alain Debay, Club Athena - asbl ICARE,
 Charleroi

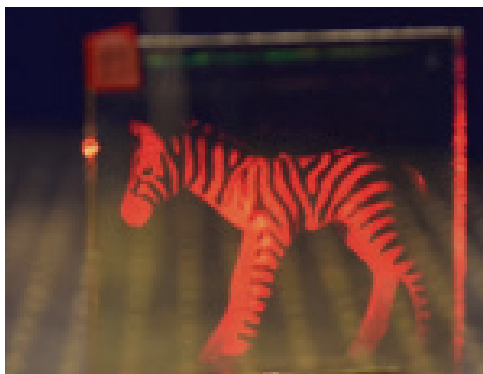


Hologramme de transmission "hors axe" (Leith - Upatnieks)
 b) Reconstruction

L'objet sur son socle



Son hologramme éclairé par le laser

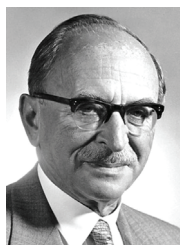


Hologramme de transmission effectué à l'ENSSAT - Lanion (Laser He-Ne 632,8 nm)
courtoisie du Dr Christiane Carré, chargée de recherche CNRS
Université de Bretagne Sud, Lorient.

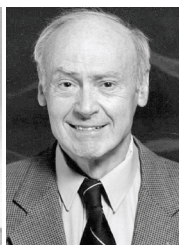
Depuis 1962, de nombreux progrès ont été réalisés et il est devenu possible de fabriquer des hologrammes lisibles en lumière blanche, c'est-à-dire sans l'obligation d'utiliser un LASER.

On imagine aisément que la technique holographique est loin d'être simple à mettre en œuvre mais la plupart des variables évoquées sont contrôlables et peuvent être ajustées par un holographiste expérimenté quoiqu'il faille souvent faire preuve de beaucoup d'imagination, jouer d'astuces et de savoir-faire.

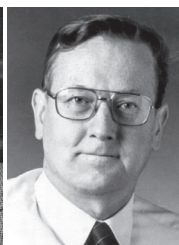
- Les pionniers de l'holographie



Dennis Gabor
(1900-1979)



Emmet Leith
(1927-2005)



Juris Upatnieks
(1936)



Yuri Denisyuk
(1927-2006)



Stephen Benton
(1941-2003)

Ils ont inventé l'imagerie holographique en une dizaine d'années

L'invention de l'holographie date de 1947 et est due au physicien Anglo-Hongrois Dennis Gabor (prix Nobel de Physique 1971). C'est après l'avènement du LASER (1960) qu'apparaissent les premières réalisations pratiques par Emmett N. Leith et Juris Upatnieks (USA), en 1962-63 et indépendamment par Yuri N. Denisyuk (URSS). Quant à Stephen Benton il introduit la possibilité de lire des hologrammes en lumière blanche.

En résumé,

si nous ne communiquons pas par hologramme comme dans Star Wars, c'est parce que de nombreux paramètres sont difficiles à gérer. Ce procédé coûte très cher (matériel spécialisé tel que les LASERs et autres composants optiques). Sans parler du coût de stockage, qui s'avère 3 à 4 fois plus élevé que celui du stockage d'images 2D. À cela s'ajoutent les limitations techniques évoquées précédemment :

- **l'absence d'instantanéité** : le passage du statique au dynamique a longtemps posé problème aux scientifiques. Ce n'est qu'en 2010 que des chercheurs de l'Université d'Arizona ont dévoilé un système holographique capable de transmettre une série d'images en quasi-temps réel. Mais malgré cette avancée, il reste difficile d'imaginer un flux vidéo créé en direct à partir d'hologrammes.

- **la reproduction des couleurs** : les LASERs n'ont qu'une seule longueur d'onde et enregistrent ainsi une image monochrome. Pour enregistrer une image en couleurs, il faut coupler plusieurs lasers, ce qui augmente considérablement le coût et la difficulté technique.

- Enfin, contrairement à ce qui est parfaitement possible en photographie 2D, on ne peut pas (ou très difficilement) projeter des images holographiques (3D), fixes ou en mouvement, donc ni ciné, ni TV holographiques¹.

Les productions 3D de ces types sont essentiellement stéréoscopiques comme signalé plus haut.

¹ Les films holographiques (reproduisant du mouvement et lisibles simultanément par plusieurs spectateurs) sont très rares. Les seuls cas qu'il m'a été permis de visionner sont une succession rapide d'hologrammes d'une scène dont les éléments sont légèrement déplacés, sorte de scopy-tones holographiques. Paul Smigielski (Université de Strasbourg) en a réalisé deux en 1985, dont «Christiane et les Holobulles», premier film holographique d'un personnage vivant. L'enregistrement est fastidieux, la lecture confidentielle (champ étroit) et le succès ne suivra pas.

Il est vrai que lors de l'apparition de l'holographie au début des années 1960, beaucoup ont cru à « la photographie 3D pour tout le monde » et même à l'avènement imminent du cinémascope en relief. Certaines revues spécialisées l'ont d'ailleurs annoncé en grande pompe. Après une dizaine d'années, l'engouement du grand public pour l'imagerie holographique est retombé, mais les industries et le milieu médical, notamment, continuent à bénéficier largement des techniques et des matériaux photosensibles développés pour l'holographie.

L'ensemble des considérations précédentes justifie a priori le fait que les images "dites holographiques" évoquées dans l'article précédent, pourraient difficilement être des hologrammes. Leur méthode de production et leurs caractéristiques ne correspondent en rien à celles des "vrais hologrammes".

Quelques références relatives à l'holographie et aux hologrammes

- Yvon Renotte, *Holographie, hologrammes et (quelques) Applications* ; in « Lumière, réflexion, application, émotion » (ouvrage collectif publié dans le cadre de '2015 déclarée Année internationale de la Lumière' par l'UNESCO), pp.64-77, éd. Embarcadère du Savoir, Maison de la Science – Liège, juin 2015
- Parameswaran Hariharan, *Basics of Holography*, Cambridge University Press (2002)
- Christiane Carré et al. (UMR Foton, CNRS / Université de Lorient), *L'holographie, une reconstruction par la lumière grâce à un matériau photostructurable*, L'actualité chimique (France) - juin-juillet 2015 - n° 397-398, pp. 102-107
- Paul Smigielski, *L'holographie industrielle*, éditions Technéa (1994)
- Hans Bjelkhagen and David Brotherton-Ratcliffe, *Ultra-Realistic Imaging - Advanced Techniques in Analogue and Digital Colour Holography*, CRC Press, Taylor & Francis Group (2013)

Note à l'attention des lecteurs

Je reste à la disposition de tout qui souhaiterait obtenir des informations complémentaires à propos de l'article, de l'holographie et de la stéréoscopie, et plus généralement de la perception et de la reproduction du relief. Vous pouvez me joindre par mon adresse courriel :

y.renotte@uliege.be

Carte blanche à Jean Englebert

En l'espace de plus ou moins 30 minutes, Jean Englebert évoque les différentes étapes de la carrière d'architecte qu'il mena en parallèle avec celle d'enseignant à l'Université de Liège.

L'interview qui eu lieu en 2003 est émaillée de photos de sa maison et de celles qu'il construisit ensuite. Elle se termine par le développement de sa vision des constructions modulaires... utopie en 2003 mais concrétisée de plus en plus aujourd'hui.



Un prototype de maison baptisé « SIB-CRAU », issu d'une recherche menée par Jean Englebert entre 1968 et 1972.

Le document est accessible sur internet à l'adresse :

https://youtu.be/TOE_Tc7retQ

PLACEMENTS - CREDITS - ASSURANCES



Eric Dupont SPRL
Banque & Assurances

CBFA : 100591A - cB

Rue Saint Léonard, 314
4000 Liège
☎ 04/227.54.34



Rue Saint Séverin, 40
4000 Liège
☎ 04/223.47.85

www.fintro.be

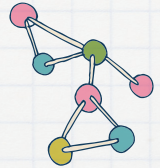
email : eric.dupont@portima.be

Du lundi au jeudi : de 9 à 12h30 et de 14h à 16h30.
Les vendredis jusqu'à 17 h ; les samedis uniquement sur RDV.

Le musée qui met la science en culture

Animations didactiques présentées par des animateurs scientifiques :
Électricité statique • Azote liquide • Optique • Son • Transformations d'énergie
• Polymères • Génétique...

Expositions temporaires • Patrimoine scientifique & didactique
Micro-Musée de science contemporaine : les chercheurs s'exposent
Ateliers pédagogiques pour l'enseignement primaire & secondaire
Stages d'éveil aux sciences • Visites guidées au Planétarium de Cointe
Partenariats avec d'autres acteurs culturels & centres de formation
Et bien d'autres encore :-)



* UN MONDE
DE COMMUNICATIONS

EXPO

DU 08.10
2018

AU 01.06
2019

PUBLICS SCOLAIRE & FAMILIAL



Embarcadère du Savoir
Culture Scientifique et Technique

MAISON DE LA SCIENCE

Quai Édouard Van Beneden, 22 • B-4020 Liège
T +32 (0)4 366 50 04 • maison.science@ulg.ac.be

www.maisondelascience.be

MAISON
DE LA
SCIENCE



« Salle de la Cascade » de la Grotte de Comblain-au-Pont
Photo extraite du livret-guide "La grotte et l'abîme de Comblain-au-Pont », page 81
Camille Ek & Jean Godissart, 2007.
édité par l'asbl "Les Découvertes de Comblain-au-Pont".
Photo : Michel Philippe.