



HAL
open science

Laboratoires d'histologie et impact environnemental: comment l'évaluer et quelles mesures mettre en œuvre pour assurer une recherche efficace et plus respectueuse de l'environnement ?

Emmanuelle Chiffolleau, A. Bencsik

► To cite this version:

Emmanuelle Chiffolleau, A. Bencsik. Laboratoires d'histologie et impact environnemental: comment l'évaluer et quelles mesures mettre en œuvre pour assurer une recherche efficace et plus respectueuse de l'environnement?. *Revue Française d'Histotechnologie*, 2022, 34 (1), pp.115-166. 10.25830/afh.rfh.2022.34.1.115 . anses-03709828

HAL Id: anses-03709828

<https://anses.hal.science/anses-03709828>

Submitted on 19 Dec 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

LABORATOIRES D'HISTOLOGIE ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL : COMMENT L'ÉVALUER ET QUELLES MESURES METTRE EN ŒUVRE POUR ASSURER UNE RECHERCHE EFFICACE ET PLUS RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT ?

Emmanuelle CHIFFOLEAU¹ et Anna BENCSIK²

1. *Anses Laboratoire de Fougères - Service de documentation*
14 rue Claude Bourgelat - PA de la Grande Marche - Javené
CS 70611 - 35306 Fougères Cedex - FRANCE
2. *Université Lyon 1 - Anses Laboratoire de Lyon*
31 avenue Tony Garnier - 69364 Lyon Cedex 07- FRANCE

Emmanuelle.CHIFFOLEAU@anses.fr

HISTOLOGY LABORATORIES AND ENVIRONMENTAL IMPACT: HOW TO EVALUATE IT AND WHAT MEASURES TO IMPLEMENT FOR AN EFFICIENT ACTIVITY MORE FRIENDLY ENVIRONMENTALLY ?

ABSTRACT

The climate change we are experiencing on a global scale is prompting us to find ways to reduce our environmental impact. The question must be considered whatever our activities, personal and professional. What about the activity in the context of a histology laboratory ? Has its environmental impact already been calculated ? On what basis could this calculation be made ? What actions should be put in place to reduce it ? Is this already done in laboratories, in research teams, in institutes, by technicians, engineers, researchers ? In this article, which gives some useful definitions to establish this subject, we present the synthesis of our bibliographic research that allowed us to identify the national and international context through the work of associations active in this field.

We present various aspects ranging from the eco-conception of the buildings to digital ecology and illustrate some concrete cases of a type of research activities concerned by this subject. Finally, in the more general question of the environmental impact of research activities, we focus more specifically on histology laboratories and good practices that can be used to reduce the environmental impact in this field.

KEY WORDS

carbon footprint; ecological footprint; energy; environmental impact; histology laboratory; office; plastic; research; researchers; science; scientists; telework; travel; waste; water

RESUME

Le dérèglement climatique que nous vivons à l'échelle mondiale nous incite à trouver des moyens pour réduire notre impact environnemental. La question se décline dans toutes nos activités personnelles et professionnelles. Qu'en est-il de l'activité dans le cadre d'un laboratoire d'histologie ? Son impact environnemental a-t-il déjà été évalué ? Sur quelle base ce calcul pourrait-il être fait ? Quelles actions mettre en place pour le diminuer ? Est-ce déjà fait dans les laboratoires, au sein des équipes de recherche, des instituts, par des techniciens, des ingénieurs, des chercheurs ?

Dans cet article, qui redonne quelques définitions utiles pour asseoir ce sujet, nous vous présentons la synthèse de la recherche bibliographique qui a permis de découvrir le contexte national et international à travers les travaux d'associations actives dans ce domaine. Nous abordons divers aspects allant de l'éco-conception du bâtiment, en passant par l'écologie numérique et nous illustrons quelques cas concrets de type d'activités de la recherche concernées par ce sujet. Enfin dans la question plus générale de l'impact environnemental de la recherche, nous traitons plus spécifiquement des laboratoires d'histologie et des bonnes pratiques qui peuvent être utilisées pour réduire l'impact environnemental des activités dans ce domaine.

MOTS CLES

bilan carbone; bureau; chercheurs ; déchets; eau; empreinte écologique; énergie; impact environnemental; laboratoire d'histologie; plastique; recherche; science; scientifiques; télétravail; transport

INTRODUCTION

Le réchauffement climatique est devenu un sujet incontournable dans l'actualité (**Figure 1**). Quelles que soient nos activités, qu'elles soient personnelles ou professionnelles, elles ont toutes potentiellement un impact bien réel sur le réchauffement climatique. Le dernier rapport du GIEC l'indique sans émettre le moindre doute [1]. Au-delà du réchauffement climatique, nos activités humaines ont un impact environnemental qui devient problématique pour tous les écosystèmes: par exemple on peut citer la pollution plastique, la baisse de biodiversité, la dégradation de la qualité de l'eau et de l'air, etc. [2]. Avec cette prise de conscience collective, certaines solutions sont mises en place, comme par exemple, le tri des déchets et le recyclage. Et nous avons tous, à notre niveau, l'opportunité d'agir pour réduire cet impact, y compris dans nos activités professionnelles.

Il est ainsi aujourd'hui possible de déterminer quelles activités ont un fort impact environnemental et quelles mesures mettre en place pour le diminuer, voire le supprimer. Différents secteurs d'activité se sont emparés du sujet, pour différentes raisons d'ailleurs, pour certains sous la contrainte réglementaire (par exemple au vu de son usage massif de plastiques, le secteur de l'agro-alimentaire se voit obliger de sortir du plastique jetable pour respecter la loi AGEC* [3]), pour d'autres par conviction de l'urgence d'agir (dans le secteur de la documentation, on peut citer comme exemple le groupe Serda Archimag qui s'engage à devenir une permaentreprise** [4]) ou parce que certains secteurs d'activité, acteurs de ces dommages environnementaux, mais aussi victimes, en subissent directement les conséquences et se décident donc à mettre en place des solutions durables. Par exemple, pour le secteur de l'agriculture directement impacté par le changement climatique mais aussi responsable d'émissions de gaz à effets de serre, le ministère de l'agriculture français tente d'en réduire les impacts environnementaux avec la mise en place dès 2021 d'une stratégie nationale bas carbone [5].

Et pour le secteur de la recherche, qu'en est-il de ses activités ? Son impact environnemental a-t-il déjà été calculé ? Sur quelle base ce calcul pourrait-il être fait ? Quelles sont les activités de recherche les plus impactantes ? Quelles actions mettre en place pour le diminuer ? Est-ce déjà fait à l'échelle des personnels, des

* Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire.

** La permaentreprise est un nouveau modèle d'entreprise qui s'inspire de la permaculture et de ses 3 principes éthiques : prendre soin des humains, prendre soin de la terre, savoir se limiter et redistribuer les richesses.



Figure 1 : Exemples de couvertures de journaux sur l'année 2021.

équipes, ou des instituts de recherche ? Et qu'en est-il des laboratoires en histologie ? Sont-ils concernés ? Et s'ils se sentent concernés, quelles actions peuvent être mises en place ?

Cet article a donc pour ambition de répondre à ces différentes interrogations. Nous commencerons par quelques définitions pour assoir notre sujet, ensuite sera présentée brièvement la démarche de la recherche bibliographique, puis le contexte national et international à travers les associations actives dans ce domaine. Pour finir, le cas particulier des laboratoires d'histologie sera développé avec la présentation des bonnes pratiques qui peuvent être mises en place pour réduire l'impact environnemental des activités de la recherche dans ce domaine.

METHODES

1.1. Définitions des termes techniques utilisés

Il est important de bien définir les termes utilisés dans cet article pour bien en comprendre le sujet [6].

Les plus importants, listés dans l'encadré 1 ci-dessous, sont présentés en fin d'article sous la forme d'un **PETIT DICTIONNAIRE DES TERMES UTILISES**.

ENCADRE 1 - LES TERMES À CONNAITRE

- Bilan carbone (*Carbon footprint*) ou Bilan GES
- Changement climatique (*Climate change*)
- Chimie verte (*Green chemistry*)
- Développement durable (*Sustainable development*)
- Écologie (*Ecology*)
- Ecoresponsabilité (*Eco-responsibility*)
- Effet de serre (*Greenhouse effect*)
- Effet rebond (*Rebound effect*)
- Empreinte carbone (*Carbon footprint*)
- Empreinte écologique (*Ecological footprint*)
- Environnement (*Environment*)
- Gaz à effets de serre (*Greenhouse gas*)
- Impact environnemental (*Environmental impact*)
- Réchauffement climatique (*Global warming*)
- Sobriété écologique (*Sufficiency*)
- Transition écologique (*Ecological transition*)



Encadré 1 : Liste des termes à connaître et expliqués en fin d'article dans le Petit dictionnaire des termes utilisés. Illustration : nuage de mots créé en ligne le 12/01/2021 avec l'outil <https://nuagedemots.co/>

1.2. Recherche bibliographique

La recherche bibliographique a été réalisée en interrogeant les bases de données scientifiques Scopus et Pubmed qui couvrent thématiquement ce sujet d'impact environnemental de la recherche. Un ensemble de termes en anglais, langue

d'interrogation de ces bases de données, a été listé et combiné pour diminuer le bruit (beaucoup de résultats mais peu pertinents pour notre sujet), et limiter le silence (des requêtes trop précises ne donnant rien). Ils sont répertoriés dans le tableau 1 ci-dessous. La difficulté a été de trouver des termes repris dans l'ensemble des articles traitant de ce sujet car ces termes ne sont pas communément repris, chaque auteur indexant selon une terminologie qui lui est propre. Ensuite ont été définies une requête pour collecter de l'information pour cet article et une autre pour surveiller ce sujet sur le long terme (veille bibliographique). Les articles sélectionnés l'ont été aussi en parcourant les bibliographies des articles et en utilisant les fonctions « *related articles* » de Scopus et « *similar articles* » de Pubmed. Les sélections de documents proposés par les associations spécialisées présentées au paragraphe suivant ont aussi été consultées.

Les références bibliographiques sélectionnées, principalement des articles, sont répertoriées sous un groupe Zotero consultable par tous sur Internet¹ :

Liste 1 Impact environnemental	Liste 2 La recherche	Liste 3 Réduction
Carbon footprint	Academic	Best practice
Climate change	Campus	Calculation
Ecological footprint	Clinical trial	Cost
Environmental footprint	Environmental science	Evaluation
Environmental impact	Green lab	Impact
Ecological impact	Green research	Reducing
Environment	Green science	
Environmental cost	Green chemistry	
Ecological cost	Histology	
Footprint	Histotechnology	
Global warming	Laboratory	
Green	Research	
Greenhouse gas	Researcher	
Low carbon research	Science	
Sustainable	Scientist	
Sustainable development	Sustainable science	
Sustainable trials	Sustainable research	
Water footprint	University	

Tableau 1 : Tableau regroupant en 3 listes l'ensemble des termes combinés pour réaliser la recherche bibliographique de cet article.

A noter que si on combine *histology* ou *histotechnology* avec les autres termes de la colonne 1, on recueille, entre autres, des articles utilisant l'histologie comme outil pour constater l'accumulation de polluants dans les organismes vivants mais pas d'articles traitant du développement durable dans ces laboratoires [7].

Le résultat global de ces recherches bibliographiques montre que l'industrie pharmaceutique et chimique s'est très tôt intéressée à la problématique environnementale sous l'angle de la nécessité d'une gestion économe de ressources limitées. Leur démarche leur a aussi permis de faire des économies financières, car le développement durable offre cet intérêt de moins dépenser du fait de moins consommer de ressources [8].

Le secteur de la santé (les hôpitaux), britanniques et américains ont aussi très tôt cherché à connaître leur empreinte écologique pour essayer de le diminuer dans un souci de préservation des ressources et de la planète [9, 10].

Les universités, surtout américaines dans un premier temps, se sont aussi emparées du sujet depuis une dizaine d'année [11], suivies par l'ensemble de la communauté mondiale de l'enseignement supérieur et de la recherche, dont la française [12, 13], avec de très nombreuses initiatives et le sentiment de l'urgence à agir et à former la nouvelle génération [14] pour l'aider à vivre dans ce nouveau monde qui est inexorablement et durablement changé [15, 16].

Une des difficultés rencontrées pour cette recherche bibliographique a été que les articles qui ressortaient de nos requêtes l'étaient parce que le terme « *sustainable* » qui y était présent l'était non pas en lien avec l'environnement mais avec un souci d'efficacité dans les processus [17, 18] ou sélectionnait des articles plus en rapport avec la recherche scientifique sur le développement durable que sur l'impact environnemental de la recherche.

Il a donc été très difficile de mettre en place des requêtes efficaces. Des requêtes plus larges ont donc été établies en utilisant les termes du thésaurus MESH (*Medical Subject Headings*) les plus probants de Pubmed et les *Scival Topics Prominence* de Scopus. Ces requêtes génèrent beaucoup de bruit mais ainsi elles ne laissent rien passer. Ensuite, dès qu'un article est pertinent, les articles similaires et la bibliographie sont systématiquement consultés.

Au bilan, que ce soit dans Scopus ou dans Pubmed, le sujet n'est pas encore clairement indexé, les termes « environnement », « développement durable », « science verte » renvoyant à d'autres sens que celui recherché pour cet article. A noter que Scopus a ressorti beaucoup plus d'articles que Pubmed ce qui s'explique par la couverture thématique plus générale de Scopus.

Une recherche libre sur Google, en français et en anglais, a aussi été menée et a permis de trouver d'autres articles, le sujet commençant à être bien traité par les organismes et les médias (associations, universités, organismes de recherche, etc.). Suite à ces recherches libres, des associations nationales, européennes et internationales qui se consacrent à ce sujet ont été sélectionnées pour leur pertinence et sont présentées au paragraphe suivant.

RESULTATS

1. LES ORGANISATIONS

A l'échelle nationale



Labos1point5

<https://labos1point5.org/>

Le hasard a fait que c'est cette même année, en 2019, où nous nous sommes questionnées sur le sujet, que le collectif Labos1point5 a été créé par deux chercheurs, Olivier Berné, chercheur en astrophysique à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (CNRS/Université Toulouse Paul Sabatier/Centre national d'études spatiales) et Tamara Ben Ari, chercheuse en agronomie globale à l'Inrae, actuellement au Centre international de recherche pour l'environnement et le développement (CNRS/École des Ponts ParisTech/Cirad/EHESS/AgroParisTech).

Le nom du collectif fait référence aux accords de Paris de 2015 qui a défini une hausse maximale acceptable de la température mondiale à 1,5°C par rapport aux niveaux de température d'avant la Révolution industrielle. Pour atteindre cet objectif, les pays signataires s'engagent à diminuer leurs émissions de gaz à effets de serre, responsable de ce réchauffement climatique [19]. Ces deux chercheurs ont créé ce collectif pour repenser les activités de la recherche au regard de leur impact environnemental, avec dans un premier temps une évaluation de cet impact, et dans un deuxième temps, la proposition de solutions pour le réduire.

« Un collectif de chercheurs de diverses disciplines, Labo1point5, s'est créé pour promouvoir des pratiques de recherche plus sobres et construire une autre éthique de la recherche [20]. »

Ce collectif a réalisé un immense travail jusqu'à aujourd'hui et a rassemblé énormément d'informations mises à dispositions sur leur site web. Vous y trouverez une présentation détaillée du collectif et des ressources (**Figure 2** : carte des laboratoires engagés dans cette démarche de réduction de l'impact environnemental de la recherche, le résultat d'une veille bibliographique active, des décryptages sur des points précis, une vidéo d'enseignement sur le réchauffement climatique et les présentations de leurs séminaires).

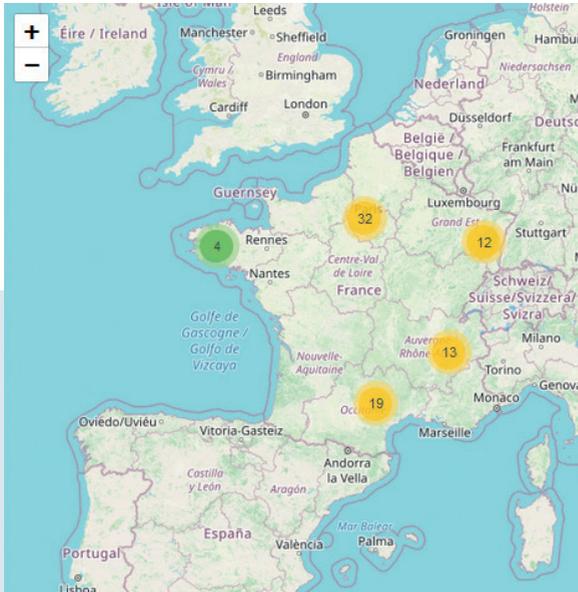


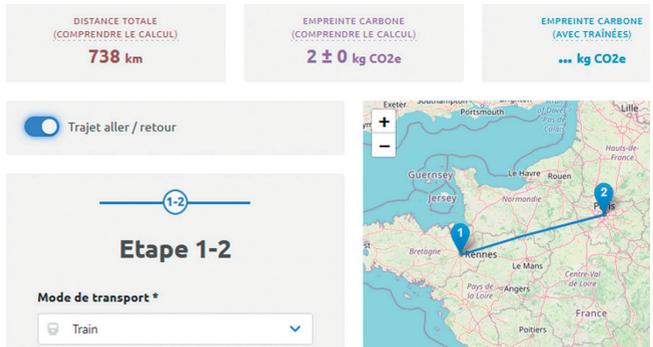
Figure 2 : Carte des laboratoires français engagés dans une démarche de réduction de l'empreinte environnementale de la recherche, 81 initiatives répertoriées, carte consultée le 13/01/2022, copie d'écran réalisée avec la permission de Labo1point5®

La rubrique « Ressources » liste aussi les documents en lien avec ce sujet, une veille bibliographique étant faite régulièrement. Vous accéderez aussi à des décryptages de publications scientifiques, un des objectifs de l'association étant de « faire progresser la réflexion individuelle et collective sur le sujet. »

Sur leur site web est aussi mis à disposition gratuitement un outil permettant aux laboratoires de réaliser leur bilan carbone : une simple inscription est nécessaire. Ensuite, deux niveaux d'engagement sont possibles : engagement de la Direction de votre laboratoire pour que vos données viennent alimenter l'ensemble des données des autres laboratoires participants ou un niveau plus simple où vous faites votre bilan carbone sans partager vos données avec le collectif. Cet outil s'appelle GES 1POINT5 (GES=gaz à effets de serre). Avec les données collectées, Labo1point5 pourra répondre à un de ses objectifs de « mener des études

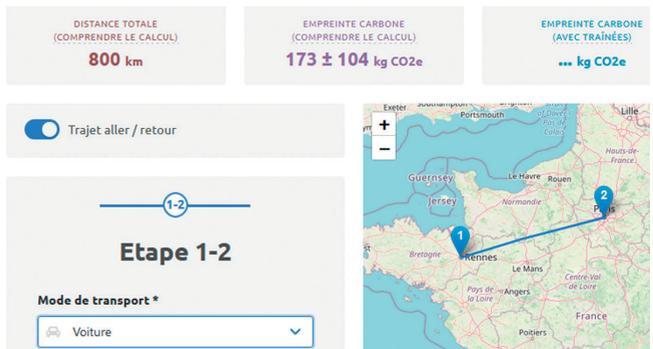
scientifiques relatives à l’empreinte carbone de la recherche publique française » [21]. Le bilan carbone réalisé répond aux exigences réglementaires françaises en la matière [22] et le périmètre couvre les bâtiments, les achats, le matériel informatique, les véhicules, les missions et les déplacements domicile/travail. A noter que deux simulateurs sont à votre disposition gratuitement : un pour les déplacements domicile/travail et un autre pour les missions.

Simulation d’un déplacement en train entre Rennes et Paris, aller-retour, réalisé le 13/01/2022



<https://labos1point5.org/commutes-simulator>

Simulation d’un déplacement en voiture entre Rennes et Paris, aller-retour, réalisé le 13/01/2022



<https://labos1point5.org/travels-simulator>

Figure 3 : Simulations de déplacements réalisées le 13/01/2022 avec l’outil en ligne de Labo1point5, copies d’écran obtenues avec la permission de Labo1point5®.

Vous trouverez aussi sur leur site web le résultat de l’enquête nationale menée en 2020 avec plus de 6000 répondants: « Les personnels de la recherche face au changement climatique²» et une bibliographie collective actualisée³.



POUR UNE INFORMATIQUE ÉCO-RESPONSABLE

EcolInfo : pour une informatique éco-responsable

<https://ecoinfo.cnrs.fr/>

Un autre collectif plus ancien du CNRS (2006) s'intéresse à l'impact environnemental et sociétal des technologies du numérique. Ce collectif part du constat que le numérique jouit d'une réputation d'une industrie non polluante alors que quand on s'intéresse au matériel qui supporte ce numérique on découvre un monde très polluant : ressources nécessaires pour la fabrication, le transport, l'utilisation et la gestion des déchets [23]. EcolInfo offre des services, des ressources pour aider à diminuer les impacts négatifs du numérique trop souvent ignorés par manque de connaissance ou d'intérêt. Il propose ainsi un service, EcoDiag [24] qui permet de réaliser le bilan carbone de ses équipements informatiques⁴.

Nous n'irons pas plus loin dans la présentation de collectifs français, ces deux collectifs assurant un bon suivi du sujet.

A l'échelle européenne

En 2020, la FELASA - *Federation of European Laboratory Animal Science* a demandé à ses membres de lui envoyer par email toutes les bonnes pratiques, idées, ressources existantes permettant de réduire l'impact environnemental de leurs activités liées aux sciences des animaux. Cette initiative a été relayée en France par l'AFSTAL - Association française des sciences et techniques de l'animal de laboratoire, membre de cette fédération européenne. Les exemples recueillis pouvant concerner aussi bien les animaleries, que les activités du laboratoire (gaz anesthésiant utilisé, empreinte environnementale d'un autoclave, etc.). Le résultat de cette collecte a ensuite été mise à disposition sur leur site web⁵:

<https://felasa.eu/about-us/library/3rs-reduce-reuse-recycle>

Cette page web de résultats n'est plus mise à jour mais donne de très bons exemples qui peuvent être repris. La rubrique « *How to use less plastic in the lab* », nous encourage à réfléchir à notre consommation de plastique surtout ceux à usage unique [25, 26]. La rubrique « *Publications on the environmental impact of gas anaesthetics* » fait part d'une bonne pratique concernant la température des congélateurs qui peuvent être réglés sans dommage pour la conservation de

certains échantillons à -70°C voir -60°C plutôt que -80°C. Ce nouveau réglage permet une économie d'énergie non négligeable s'il est réalisé sur le long terme et collectivement, et c'est un geste écologique et économique [25]. Des anesthésistes ont aussi fait part de leur bonne pratique en arrêtant l'utilisation du gaz comme le desflurane ou le protoxyde d'azote qui s'avèrent avoir des impacts environnementaux significatifs en tant que gaz à effets de serre [27, 28]. Nous vous encourageons à aller consulter cette page web. Nous ne passerons pas ici en revue toutes les bonnes pratiques indiquées sur ce site web, vous les retrouverez au paragraphe suivant.

A l'échelle internationale

Trois associations sont présentées dans ce paragraphe car elles travaillent spécifiquement sur la problématique de l'impact environnemental des activités de recherche des laboratoires de recherche.



I2SL - International Institute for Sustainable Laboratories

<https://www.i2sl.org/>

L'I2SL est une organisation internationale à but non lucratif fondée en 2004 par trois américains, Phil Wirdzek, employé pendant 27 ans à l'U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Beth Shearer, retraitée de l'U.S. Department of Energy's et Kate Williams, présidente de l'association à but non-lucratif World Green Building Council. En 2007 a été créé un comité de direction avec l'arrivée de nouveaux membres provenant du secteur privé ou public. L'objectif de l'association est d'amener plus de durabilité dans les laboratoires et ce à l'échelle mondiale [29]. Pour cela, ils mettent à disposition via leur site web des ressources (un guide, une *e-library* avec des références bibliographiques, etc.), des enseignements éducatifs, les présentations de leurs événements : webinaires, conférence annuelle, etc. A noter dans les ressources, la mise à disposition gratuite de leur outil que nous présenterons et utiliserons pour le dernier paragraphe de cet article : Smart labs toolkit [30]. Nous vous conseillons d'aller visiter leur site et de vous abonner à leur newsletter qui vous permettra de recevoir leurs informations riches d'enseignement⁶.



Labconscious

<https://www.labconscious.com/>

Labconscious est une association créée en 2015 par un ingénieur biomédical américain Joshua Resnikoff. L'association s'est renforcée avec l'arrivée d'autres scientifiques américains au fil du temps. L'association a pour objectif d'offrir des ressources libres sur Internet et d'être un lieu d'échanges via leur blog pour aider les laboratoires à réduire leurs déchets, à utiliser des produits chimiques moins polluants, et à réduire autant que possible les ressources naturelles telles que l'eau et l'énergie. L'abonnement à leur newsletter vous permettra de suivre leurs bons conseils et vous pourrez aussi y partager les vôtres.



My green lab

<https://www.mygreenlab.org/>

Nous finirons par la présentation de My green lab, association américaine à but non lucratif, créée « par des scientifiques pour des scientifiques », qui souhaitent aider les chercheurs à diminuer leur impact environnemental [31]. L'association développe et propose des normes, aide à leur implémentation dans les laboratoires de recherche et via leur site web partage des ressources et des bonnes pratiques directement en lien avec vos activités. Elle a aussi mis en place tout un parcours de certification permettant aux laboratoires d'avancer progressivement dans leurs démarches de développement durable et d'en faire un atout vis-à-vis de leurs partenaires. Nous vous encourageons à aller consulter leur site web et à vous abonner à leur newsletter, pourvoyeuse de bons conseils.

Nous avons découvert un nombre important d'associations, aux Etats-Unis mais aussi en Europe avec les universités britanniques et françaises impliquées fortement dans la réduction de leur impact environnemental. Ces différentes structures ont pris le sujet à bras le corps et offrent de réelles solutions pratiques pour nos laboratoires. Ce sont des actions qui peuvent se mettre en place progressivement

ce qui assure une bonne adéquation financière et un temps de prise en main par le personnel convenable. Il suffit donc de lancer le processus et petit à petit les laboratoires deviendront plus « verts ». Certaines de ces associations sont listées dans la bibliographie collective de Zotero¹.

2. POUR LE LABORATOIRE

Qu'en est-il dans les laboratoires d'histologie ? Quelles sont les bonnes pratiques qui peuvent être mises en place pour réduire l'impact environnemental des activités de la recherche dans ce domaine ? Dans ce paragraphe est proposée une démarche par paliers, en partant d'un état des lieux et en visant des objectifs réalisables à court, moyen et long termes.

ETAPE 1 : QUESTIONNEMENT

La première étape pouvant être mise en place pour diminuer l'impact environnemental de vos activités, est de réfléchir à ce qui est fait actuellement dans votre laboratoire. L'action écologique peut être menée à différentes échelles, individuelle, au sein de son unité, de son département, de son laboratoire, de son entité, de sa ville, nationalement, au niveau de l'Europe voire internationalement (Figure 4) [32].

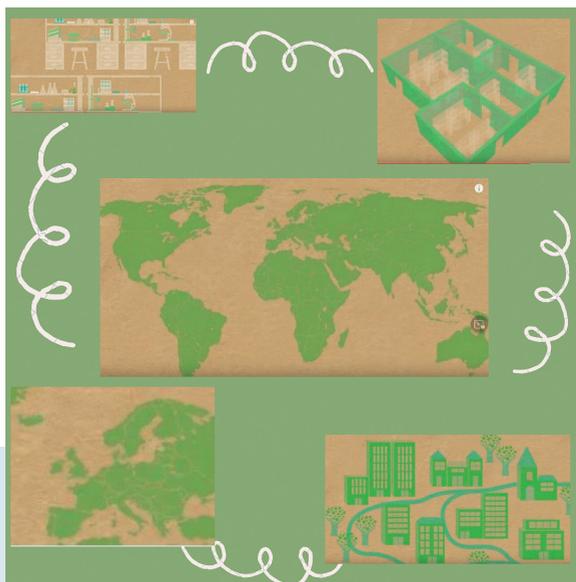


Figure 4 : © Adapted from www.labconscious.com (2022) with permission from New England Biolabs, Inc.

Pour commencer, vous pouvez rassembler des informations sur vos pratiques écologiques au travail : avez-vous déjà des pratiques écologiques ?

Exemples : Utilisation d'une tasse à café non jetable, réduction de sa consommation de papier, mise en place de déplacements doux (marche, vélo, transport en commun, covoiturage, etc.) pour ses missions ou ses déplacements domicile/travail.

Ensuite, vous pouvez vous questionner sur vos pratiques écologiques avec vos collègues avec qui vous travaillez au quotidien : pratiquez-vous une gestion des déchets au niveau de l'unité ? Avez-vous une bonne connaissance de ce qui peut être trié et donc recyclé ? Connaissez-vous votre consommation de plastique ou d'autres consommables (quels produits sont utilisés dans votre laboratoire) ?

Et au niveau de votre laboratoire, est-ce qu'il existe un groupe « Développement durable », une charte spécifique, des consignes précises, qui organise le tri des déchets ? L'énergie est-elle utilisée de façon parcimonieuse ? Le bâtiment répond-il à des normes environnementales spécifiques ?

Et vous pouvez enfin mener cette réflexion au niveau de toute votre entité.

Une fois l'état des lieux fait selon ces différentes échelles, il faut vous renseigner sur ce qui peut se faire de mieux, c'est l'objet des paragraphes suivants.

ETAPE 2 : PARTICULARITES D'UN LABORATOIRE

Les bâtiments des laboratoires scientifiques ne sont pas des bâtiments comme les autres (maison, bâtiment administratif, etc.) [33]. Ils disposent d'espaces hautement spécialisés permettant d'y effectuer des recherches aux conditions particulières [34]. Ces espaces sont le plus souvent équipés de systèmes de ventilation complexes permettant la protection des scientifiques d'éventuels contaminants en suspension dans l'air, voire de salles de dépression pour certaines disciplines [35]. De plus, les laboratoires disposent de gros équipements scientifiques gourmands en énergie et parfois en eau (comme par exemple certains automates de coloration) [34]. La consultation du service en ligne de l'I2SL, Smart Labs toolkit⁷, permet de visualiser rapidement et dynamiquement ces particularités. Des espaces de travail spécifiques doivent être construits : salle dépressurisée, chambre propre, atmosphère humide ou sèche, animalerie et des instruments et appareils scientifiques doivent y être installés (spectrophotomètres, hottes, microscopes, autoclaves, etc. [33]



Figure 5 : Copie d'écran issue de la vidéo Smart Labs Toolkit disponible gratuitement sur Internet, consultée le 18/01/2022, droit de reproduction obtenu auprès de l'éditeur I2SL®.

En conséquence, ces installations de recherche consomment en énergie de trois à six fois plus que les bâtiments commerciaux [36] et dix fois plus qu'un bureau « classique » [34] et ce en grande partie à cause des systèmes de réfrigération et de ventilation [37]. Leur impact environnemental est aussi important à cause d'une forte consommation en eau (quatre fois plus qu'un bureau) et d'une production de déchets très importantes [34].

Pour déterminer où agir en priorité pour réduire cet impact, il est important de connaître quelles activités sont les plus impactantes. La réalisation d'un bilan carbone peut être un point de départ utile, c'est ce qui est présenté au paragraphe suivant.

ETAPE 3 : BILAN CARBONE ET BILAN GAZ A EFFETS DE SERRE (BGES)

Un bilan carbone peut être un point de départ très intéressant car il permettra d'évaluer les activités ayant l'empreinte carbone la plus élevée et de mesurer dans le futur les effets des solutions appliquées pour diminuer cette empreinte. Pour le bilan carbone, il existe l'outil en ligne gratuit de Labo1point5 comme indiqué au paragraphe RESULTATS 1. Les organisations : application GES Labo1point5 (GES gaz à effets de serre).

<https://labos1point5.org/ges-1point5>

The screenshot shows the website interface for 'Labos 1point5'. At the top, there is a navigation bar with links for 'LE COLLECTIF', 'LES RESSOURCES', 'APPLICATIONS GES', 'NOS ENQUÊTES', and 'NOUS REJOINDRE'. Below this, the main content area is titled 'Introduction'. It describes the 'GES 1point5' tool as an open-source tool for calculating the carbon footprint and BGES of a laboratory. A list of objectives includes conducting scientific studies, focusing on French research, and reducing research activities' emissions. A 'How to cite' section provides a citation for the tool. At the bottom, there is a section titled 'Pourquoi utiliser GES 1point5?' with six icons representing: Contribuer (Contribuer à un champ scientifique émergent), Impliquer (Impliquer directement les personnels des laboratoires), Partager (Partager une méthodologie commune), Tenir compte (Tenir compte des spécificités des laboratoires de recherche), and Promouvoir (Promouvoir les outils numériques libres).

Figure 6 : Interface de l’outil en ligne GES 1point5 permettant de réaliser le bilan carbone d’un laboratoire, droit de réutilisation obtenu le 04/04/2022 auprès de Labo1point5®.

Sur le site Internet, vous trouverez la méthodologie utilisée dans l’outil avec une explication de la différence entre Bilan Gaz à Effets de Serre (BGES) et bilan carbone. L’outil permet de mesurer son empreinte carbone et de construire le BGES de son laboratoire, selon la réglementation française. Ce bilan prend en compte les données concernant les bâtiments (la consommation d’énergies et de fluides frigorigènes), les achats, les déplacements (professionnels et domicile/travail), le matériel informatique hors consommation électrique (PC, écrans, portables, serveurs, etc.) et les véhicules de l’entité évaluée. Les services internes qui détiennent ces informations et qui seront donc fortement sollicités sont les services des Affaires financières, des Ressources humaines, de l’Informatique et de la Maintenance, services de plus en plus souvent regroupés en Service des affaires générales (SAG). Il vous faudra choisir une année, sachant qu’avec la COVID, les années récentes n’offrent pas un fonctionnement en continu, il faudra donc prendre en considération ces périodes d’inactivité. Le bilan carbone et le BGES ne sont pas des sciences exactes, il est fort probable que vous ayez à faire à des chiffrages sans doute approximatifs, l’idée étant d’avoir une vision globale de ce qui impacte l’environnement en terme de gaz à effets de serre pour votre laboratoire.

Il existe d'autres méthodes pour se lancer dans l'évaluation environnementale de son laboratoire, l'Ademe les a recensées sur son site web⁸.

Par exemple, l'analyse du cycle de vie dont nous parlerons plus loin dans l'article, consiste à prendre en compte l'impact environnemental de la naissance à la fin du produit ou service évalué⁹.

Nous n'irons pas plus loin dans l'exemple de méthodes pour l'évaluation environnementales qui sont assez complexes et dépassent l'objectif de cet article. Nous allons aborder maintenant les bonnes pratiques existantes pour remédier à l'impact environnemental des activités liées à la recherche.

ETAPE 4 : BONNES PRATIQUES

POUR LE BATIMENT

Si le bâtiment n'est pas encore construit, il faudra penser à sa localisation géographique pour les déplacements domicile/travail et les missions du personnel : existence de transports en commun, possibilité de mobilité douce, etc. pour éviter autant que possible le tout-voiture [38].

Le terrain de construction sera aussi à choisir avec soin, le recul des terres agricoles étant dû de plus en plus au bétonnage sous de multiples formes [39], il faudra réfléchir à utiliser des terrains déjà occupés comme des friches industrielles par exemple [40].

Son orientation selon le soleil sera aussi très importante, en fonction de la Région, permettant des économies d'énergie (de chauffage ou de climatisation).

Le choix de matériau isolant sera à privilégier ainsi que la possibilité de végétaliser le toit et les murs. Pour un bâtiment existant, il peut être possible de mieux l'isoler avec un bardage extérieur.

Concernant l'énergie, le laboratoire peut devenir producteur d'énergie avec l'installation de panneaux solaires sur le toit du laboratoire ou au-dessus des parkings par exemple (couverts ou non, avec la mise en place d'ombrières) [41]. Etre producteur d'énergie permet de viser le zéro carbone : on produit ce qu'on dépense [38] et permet d'être résilient face à l'augmentation du prix de l'énergie et des risques de coupure, avec l'assurance d'être indépendant pour son propre fonctionnement. On peut récupérer la chaleur produite lors des activités du laboratoire et la réutiliser en interne [41]. Ou on peut installer de petites éoliennes

[42]. Tout ceci demande une expertise souvent extérieure et des aménagements faits par des professionnels [43].

Concernant l'eau, on peut récupérer l'eau de pluie avec un système de gouttières qui viendront alimenter des cuves enterrées. L'eau pourra ensuite être utilisée pour les toilettes par exemple ou l'arrosage des plantes décoratives. Et là aussi, vu la rareté de l'eau dans certaines régions, ce système peut amener à anticiper d'éventuelles restrictions ou coupures.

AU BUREAU

Une journée de travail au bureau n'est pas sans impact pour l'environnement. Le guide de l'Ademe, édition 2022, « Eco-responsable au bureau » [44] recense ce qui est coûteux pour l'environnement et donne des bonnes pratiques faciles à mettre en place. Quelques-unes sont citées ci-dessous :

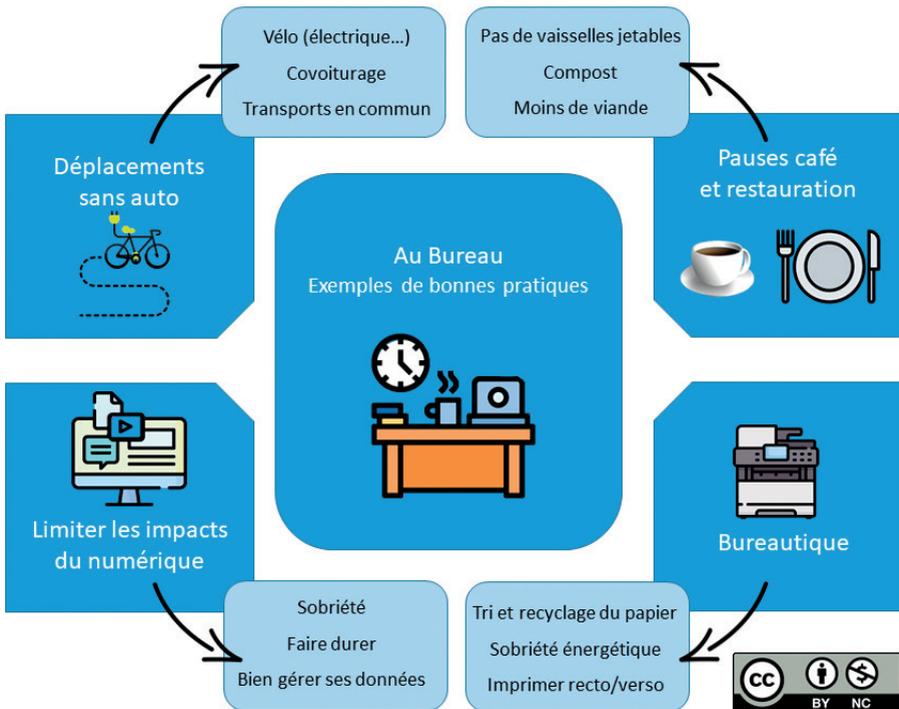


Figure 7 : Au bureau : exemples de bonnes pratiques, illustration créée à l'aide de Flaticon, Chiffolleau E. & Bencsik A.

Pour la partie appelée bureautique, on peut limiter la consommation des ressources utilisées :

- pour le papier par exemple, on peut organiser son recyclage et paramétrer en recto/verso par défaut les imprimantes ;
- pour l'énergie, on peut éteindre systématiquement ce qui peut l'être, utiliser les modes économes de nos appareils électroniques, adapter le chauffage et la climatisation aux besoins réels (en s'aidant de thermomètres par exemple pour connaître la température des pièces à vivre, les recommandations étant une température entre 19°C et 21°C en journée) ;
- pour les appareils électroniques : ordinateurs, smartphones, tablettes, etc., il faut les conserver le plus longtemps possible car on connaît maintenant le coût écologique énorme et en constante évolution lors de leur fabrication, de leur utilisation et bien après leur destruction [45].

Pour l'usage d'Internet et des emails, il a été montré que l'impact environnemental du numérique représente 4% des GES actuels et qu'en 2040 cela représentera le double [45]. Le numérique semble immatériel mais les informations que nous envoyons et recevons cheminent par des câbles, transitent par des routeurs, des serveurs, activent des logiciels, etc. ce qui nécessite de l'énergie (de l'électricité) pour fonctionner et de l'eau pour refroidir les systèmes qui chauffent ! L'impact environnemental est très grand et ne fait qu'augmenter :

L'ENVOI D'UN MAIL : COMMENT ÇA MARCHE ?

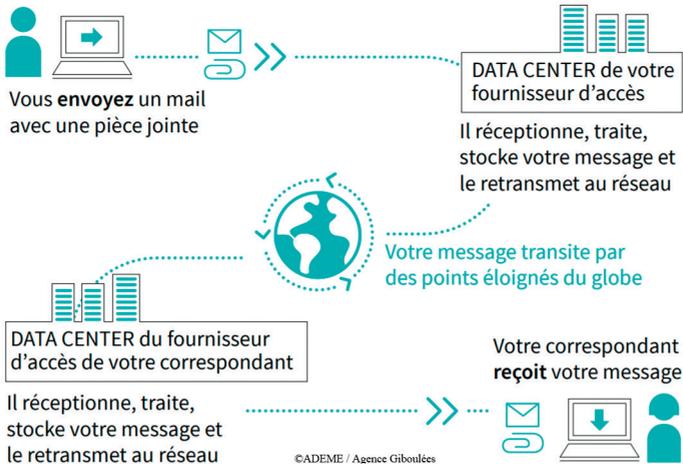


Figure 9 : L'envoi d'un email : comment ça marche ? Source "La face cachée du numérique"

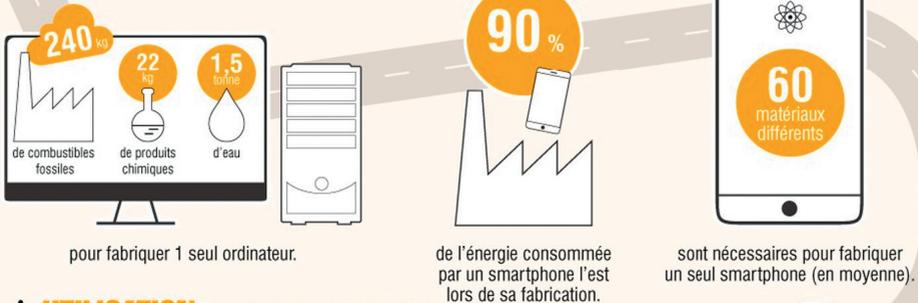
archimag²⁰²⁰ POLLUTION NUMÉRIQUE : LES CHIFFRES CLÉS

Zoom sur le cycle de vie de nos appareils électroniques

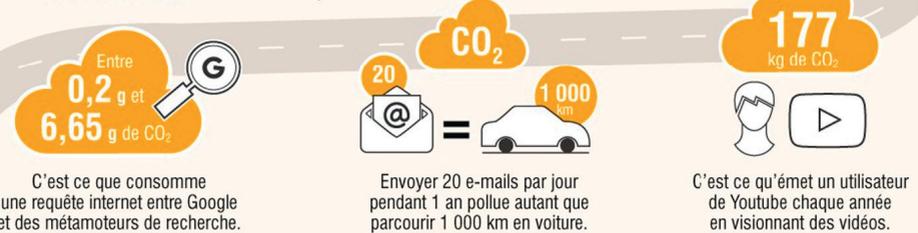
Le numérique mondial, c'est :



FABRICATION 45% de la consommation énergétique de la filière numérique



UTILISATION 55% de la consommation énergétique de la filière numérique



DESTRUCTION DEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques)



Sources : Green IT / Ademe / University of Bristol / United Nations University / Basel Action Network / Filière 3°

Figure 8 : Pollution numérique : les chiffres clés [46] droit obtenu auprès d'Archimag[®]

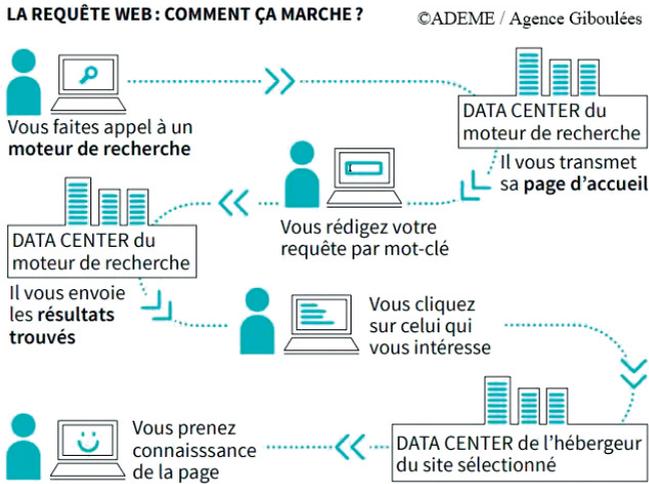


Figure 10 : La requête web : comment ça marche ? Source "La face cachée du numérique"

Heureusement des solutions existent : nettoyer régulièrement sa boîte mail (la suppression des courriels stockés permet une économie d'énergie [47]), éviter les pièces jointes (il est préférable de les déposer sur le serveur interne et de seulement les signaler par courriel), fermer les onglets non-utilisés des navigateurs, etc. [48].

Le télétravail, bien qu'économique pour la partie déplacement, a contribué à l'augmentation de l'usage du numérique, particulièrement avec la visioconférence très gourmande en énergie. On parle d'effets rebonds [49]. C'est pourquoi il est important d'en connaître les bonnes pratiques pour diminuer cet impact: éteindre sa webcam une fois les présentations faites, utiliser le wifi plutôt que la connexion mobile 4G ou 5G, déposer les fichiers sur des serveurs autres que l'espace proposé par le logiciel de visioconférence, choisir une résolution de vidéo réduite, etc. [50].

Il faut mentionner aussi la science ouverte et le partage des données de la recherche qui risquent d'amplifier cet impact avec une incitation voire une obligation du partage des données de la recherche en numérique par des dépôts sur des « data centers » externes aux établissements de recherche. Ces dépôts seront-ils des doublons de ce qui est gardé en interne ? Comment mesurer et contrôler leurs impacts ? Ce questionnement est à l'ordre du jour dans les établissements qui

mettent en place des groupes de travail qui devront apporter des réponses et des solutions très rapidement [51-53].

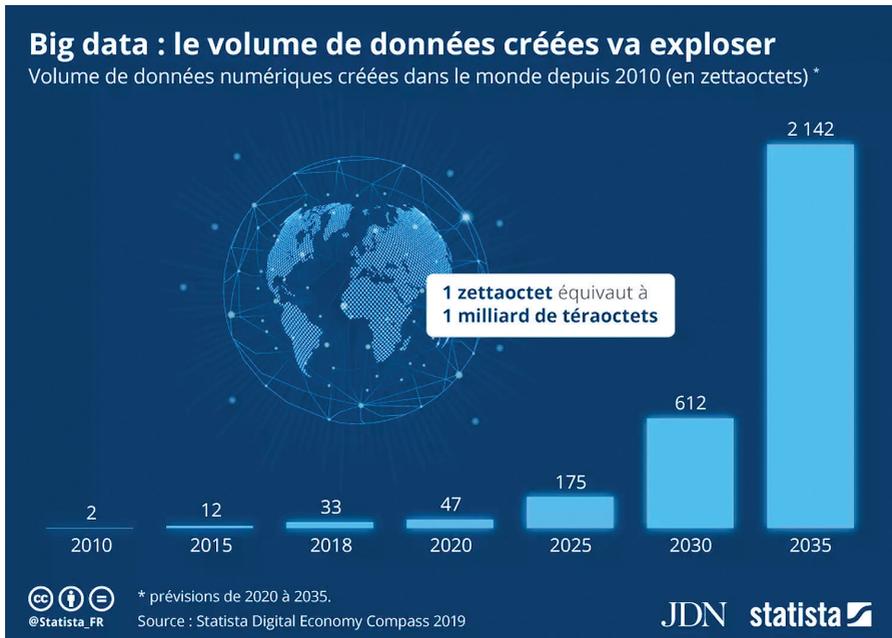


Figure 11 : « Big data : le volume de données créées va exploser » image statista libre de droit CC BY SA.

Concernant la propreté des locaux et des produits utilisés, il faut utiliser des produits écologiques et avec des conditionnements adaptés pour limiter la quantité de déchets.

Pour les pauses café et la restauration, on peut diminuer les déchets avec des emballages et des couverts non jetables, la tasse à café par exemple, et des achats de café en grand conditionnement. Un compost peut être mis en place, sur le lieu de la pause-café pour récupérer les « bio-déchets » (marc de café et les sachets de thé par exemple), ou près du lieu de restauration pour un compost plus grand. Pour le restaurant d'entreprise, on peut spécifier dans le cahier des charges des exigences simples : ajuster les proportions, organiser un compostage, demander de la nourriture issue de l'agriculture biologique, et plus de plats végétariens (l'élevage a un coût environnemental très important, mangez moins de viande réduit fortement son impact environnemental [54]), etc., sachant que pour 2023,

la loi relative à l'économie circulaire et à la lutte contre le gaspillage (loi AGEC), impose une obligation de tri à la source et de valorisation pour tous les producteurs de bio-déchets et d'huiles usagées [55-57].

Dans la vie d'entreprise, l'organisation d'un troc interne peut apporter aussi un moment convivial et écologique.

Pour vos déplacements domicile/travail, vous pouvez réfléchir à utiliser des transports « doux » : marche, vélo, vélo électrique, co-voiturage, transport en commun, etc. et ainsi bénéficier du financement qui lui est dédié « forfait mobilité durable » [58].

Vous pouvez utiliser le simulateur de Labo1point5 pour mesurer votre impact actuel et essayer de le réduire :

<https://labos1point5.org/commutes-simulator>

Pour vos déplacements professionnels (les missions) vous pouvez aussi les mesurer avec le simulateur de Labo1point5 et essayer de définir une stratégie à la baisse lors de la reprise d'activité hors-Covid : <https://labos1point5.org/travels-simulator>

AU LABORATOIRE

INTRODUCTION

Comme nous l'avons vu à l'étape 2-Particularités d'un laboratoire, les laboratoires de recherche ont une consommation d'énergie dix fois plus grande que celle de bureaux, quatre fois plus pour l'eau et génèrent des tonnes de déchets. Ceci est dû à leur espace de travail spécialisé et au matériel utilisé [59]. S'attaquer à ce problème pour rendre les laboratoires plus durables peut sembler très difficile, mais vous allez voir dans les paragraphes qui suivent que de nombreuses solutions voient le jour, et non seulement sont bénéfiques pour la planète en diminuant les ressources nécessaires aux activités de recherche, mais elles permettent aussi un gain économique, gain qui peut être réinvesti dans les solutions environnementales qui peuvent parfois nécessiter un effort financier [60].

Un exemple inspirant peut être celui des bonnes pratiques dans un espace particulier d'un laboratoire : les animaleries [61]. Citons une analyse environnementale très intéressante menée en 2013 en Suisse, par l'équipe du centre phénogénomique de l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne), accompagnée par le cabinet Quantis, qui aide les institutions à développer des solutions durables dans leur

entreprise. L'étude réalisée dans l'animalerie, est basée sur l'analyse du cycle de vie, méthode qui permet d'évaluer l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'une entité. L'objectif de l'étude était donc d'évaluer l'impact environnemental de l'animalerie de l'EPFL et de proposer ensuite des solutions pour le diminuer. L'encadré 2 résume les étapes et les points forts qui ont permis d'identifier les actions possibles.

ENCADRE 2

EXEMPLES DE BONNES PRATIQUES DANS UN ESPACE PARTICULIER D'UN LABORATOIRE : LES ANIMALERIES

- Etat des lieux de l'animalerie : une seule espèce (souris), surface 3900m² (espace P1 et P2), cages individuelles ventilées, cages et étagères lavées et autoclaves.
- Postes énergétiques (électricité) : production de la vapeur (gaz), pompe à chaleur, ventilation, éclairage, et divers.
- Activités auditées : partie administrative, élevage des souris, lavage et désinfection des cages et étagères, ventilation, import et export de souris, procédures scientifiques, management des déchets et déplacements du personnel.
- Indicateurs environnementaux considérés : changement climatique, santé publique, qualité de l'écosystème (eau, sol, etc.)
- Résultats : dépense en CO₂ liée au déplacement du personnel, impact en santé public et impact sur les écosystèmes => équivalents à 7 000 m² de déforestation.
- Le résultat est rendu visible sous forme de graphique avec la proportion par activité.
- Pour ces 3 indicateurs, les activités les plus impactantes sont le nettoyage des cages (nettoyage et autoclave utilisant du gaz) et l'élevage de souris (ventilation).

L'avantage de ce type d'étude est de permettre des comparaisons dans le temps, d'identifier les activités où il faut agir en priorité ici, la stérilisation et le nettoyage des cages, avec des cages sans produit toxique (polysulfone), ainsi que la gestion des déchets (biométhanisation de la litière et récupération de chaleur de la litière [62]).

En 2016, les mêmes auteurs ont complété leur analyse par une étude de cycle de vie portant spécifiquement sur les cages animalières (lavables et jetables) qui

ressortaient comme source principale d'impact environnemental afin de trouver des solutions concrètes pour le réduire. De façon intéressante, deux scénarios d'amélioration ont été identifiés selon les indicateurs « changement climatique » ou « santé humaine ». Il est parfois difficile de choisir un scénario plutôt qu'un autre, car au moins un des indicateurs environnementaux n'est pas bon. Au final, les auteurs ont opté pour baisser leur impact en diminuant l'énergie utilisée pour les cages lavables et en augmentant la durée de vie des autres cages. Ainsi, on voit qu'il est possible de tirer profit d'une telle démarche concrètement en réduisant l'impact environnemental et cela permet aussi de réaliser des économies financières non négligeables pour le laboratoire.

A l'exemple cité ci-dessus, il est envisageable d'insuffler une démarche respectueuse de l'environnement dans un laboratoire d'histologie aussi.

Comme le résume la figure 12, d'une façon générale, les postes sur lesquels il est possible d'agir sont l'économie d'énergie au niveau des équipements scientifiques, la gestion des déchets dont celle du plastique, la gestion des produits chimiques, et les économies d'eau.

LES ÉQUIPEMENTS

En fonction du laboratoire, les équipements, les usages peuvent varier. Il convient comme toujours d'abord de faire un recensement précis de ses équipements, de ses consommables et de ses modes opératoires habituels. Impossible d'être exhaustifs tant la diversité peut exister au sein des laboratoires, mais nous évoquerons ici quelques exemples concrets.

Il convient donc dans un premier temps de lister les équipements présents. Classiquement, dans un laboratoire d'histologie, on trouvera en plus des hottes, frigos, congélateurs, incubateurs, autoclave, four à micro-ondes, des équipements plus spécifiques, tels qu'un automate d'inclusion qui reste sous tension pour garder la paraffine liquide à 59°C, un poste d'enrobage, souvent couplé à une plaque de refroidissement, un poste de microtomie, motorisé ou pas, un cryomicrotome qui n'est autre qu'un congélateur ouvert dans lequel l'opérateur plonge littéralement pour effectuer des coupes congelées..., des bains maries, des automates de coloration, d'immunohistochimie, une colleuse de lamelles, une armoire ventilée de sécurité pour stocker les produits chimiques..., des microscopes, un scanner de lames, des PC, une imprimante... bref, des équipements énergivores. Voyons quelques exemples de principes applicables à quelques-uns de ces équipements.

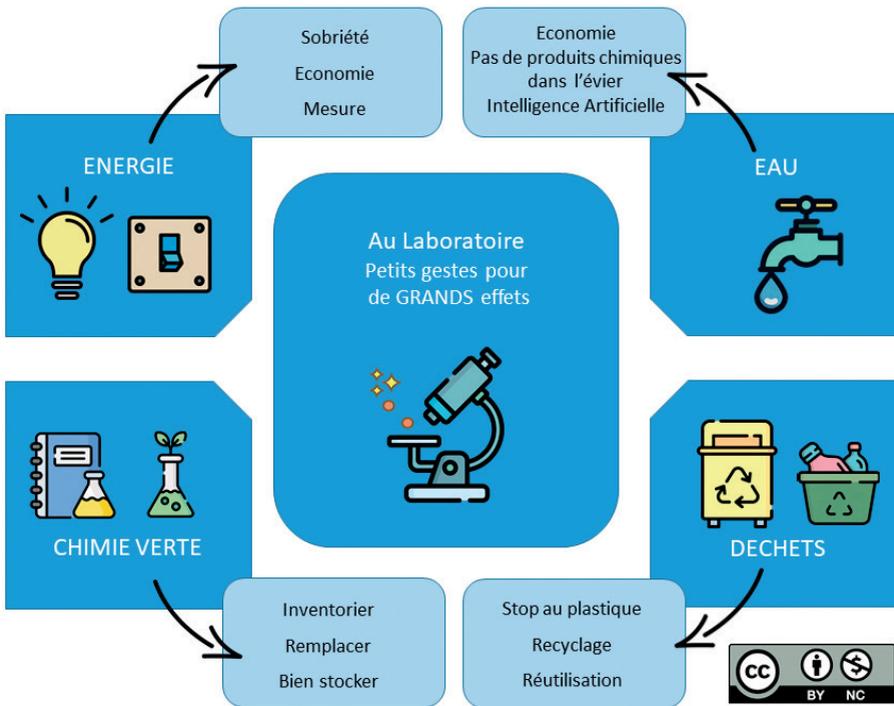


Figure 12 : Au laboratoire, petits gestes pour grands effets. Illustration créée à l'aide de Flaticon. Chiffolleau E. & Bencsik A.

Les hottes

Les équipements scientifiques les plus gourmands en énergie sont les hottes suivies de près par les congélateurs scientifiques (-80°C). Aujourd'hui et de plus en plus, le critère d'impact environnemental entre en compte dans les achats de nouveaux équipements scientifiques [36]. On peut équiper le laboratoire de hottes à haute performance qui permettent de déterminer le débit le plus faible tout en assurant la sécurité (le confinement, la dilution et l'élimination des contaminants dans la hotte) [30]. L'investissement dans des hottes à haute performance avec commandes à volume d'air variable (VAV) est rentable à long terme. Ces hottes haute performance permettent d'obtenir le débit le plus bas tout en maintenant la sécurité.

En attendant, il est toujours possible de mettre en place de bonnes pratiques comme bien refermer la hotte quand elle n'est pas utilisée [36], mettre des capteurs pour

signaler quand elle est restée inutilement ouverte, ce qui déclencherait inutilement la ventilation. On peut éteindre certains appareils (exemple une armoire ventilée) le week-end ou à certains moments de la journée [38], notamment en utilisant un programmeur journalier branché sur le secteur afin d'automatiser la mise en veille.

Il n'est pas toujours facile d'estimer le retour sur investissement lors d'achats d'équipements scientifiques plus onéreux mais énergétiquement plus efficaces. L'ISL a mis à disposition une base de données collaborative où sont indiquées l'efficacité énergétique des équipements scientifiques [63].

La réfrigération

Des détecteurs de température peuvent être installés pour aider la réfrigération à se mettre en route seulement en cas de besoin. Le laboratoire du MIT Labs (Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Cambridge en Angleterre) a fortement diminué sa consommation électrique en remontant la température de son congélateur de -80°C à -70°C [37]. Ceci est donc possible selon les échantillons que l'on souhaite conserver, et cela procure un gain énergétique important (de 20 à 50% sur une année [64]). Une autre pratique consiste à bien organiser ses frigos ou congélateurs pour en limiter le temps d'ouverture quand on y recherche quelque chose [36].

Les incubateurs : penser au cycle de décontamination

Dans les incubateurs, où la composition de l'air est importante, il convient d'avoir recours aisément à un processus de décontamination. Dans certains incubateurs, la décontamination dure une demi-journée à température élevée. Au lieu de cela, l'utilisation d'une méthode à base de vapeur de peroxyde d'hydrogène ne prend que quatre heures. Cela permet d'économiser de l'énergie et du temps. Ainsi, comme le révèlent les incubateurs, les économies d'énergie ne concernent pas seulement le fonctionnement ordinaire, mais également la consommation globale d'énergie pour toutes les opérations faites avec l'équipement scientifique concerné [36].

LES DÉCHETS

Le plastique

D'une façon générale, les laboratoires sont de très grands consommateurs de plastique jetable [25] et il y en a partout: boîtes de pétri, plaques et flacons de cultures cellulaires, tubes à essai, microtubes, flacons, portoirs de tubes/flacons,

une grande quantité de pipettes et d'embouts de pipettes, des pissettes, des bonbonnes, des coupelles de pesées, des cassettes à inclusion, des pinces jetables ...une multitude d'échantillons composés de différents types de plastique, PE-HD (Polyéthylène haute densité), PP (polypropylène), PE (polyéthylène) etc. [65].

Dans les équipements de protection individuelle (EPI) aussi : classiquement utilisés en laboratoire, ils vont se décliner de la tête aux pieds par une charlotte, des lunettes de protection, un masque, des bouchons d'oreille, les vêtements de protection jetables, des gants, des chaussures de sécurité ou des sur-chaussures pour ne citer que les principales catégories.

Des recherches menées récemment estiment la quantité de déchets plastiques générés par les laboratoires de recherche au niveau mondial à 5,5 millions de tonnes de déchets, par an [26, 66].

Selon le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), l'homme produit 300 millions de tonnes de déchets plastiques par an, dont 11 millions de tonnes finissent dans l'océan [67].



Figure 13 : Illustration du plastique utilisé dans un laboratoire de recherche médical, Medical supplies and equipment par DFID-UK Department for International Development, licence CC BY 2.0, téléchargée le 23/01/2022



Figure 14 : Image libre de droit illustrant la pollution plastique sur les plages, téléchargée le 21/01/2022

Ce matériau a sans aucun doute permis à la science d'avancer mais la connaissance de l'impact environnemental très couteux du plastique (grande consommation de ressources pour sa fabrication (pétrole), émission de CO₂, pollution de l'eau et de la terre, et même de l'air avec les microplastiques et des organismes vivants avec les nanoplastiques !) nécessite des changements urgents de pratique [68].

Par ailleurs, la pénurie de ces consommables habituels des laboratoires à l'occasion de la crise sanitaire provoquée par le virus SARS-Cov2 a souligné un autre intérêt majeur à réfléchir à des solutions alternatives, en revenant notamment sur des notions de recyclage par lavage suivi d'une stérilisation par autoclavage même pour certains matériels habituellement directement jetés à la poubelle après usage unique.

De plus, les recherches actuelles nécessaires à étudier et évaluer la toxicité de ces micro et nanoplastiques sur les organismes vivants sont dès à présent confrontées au problème de mener ces travaux sans biaiser les analyses par des contaminations possibles issues du plastique présent dans les consommables usuels du laboratoire [69, 70].

Aujourd'hui, la loi française AGEC du 10/02/2020 prévoit qu'à partir du 01/01/2022 l'Etat n'achète plus de plastique à usage unique en vue d'une utilisation sur les lieux de travail. Des dérogations sont possibles pour usage sanitaire ou de sécurité. Mais les laboratoires doivent donc en être informés et se prendre en main pour assurer cette transition écologique. Mais comment ?

Une des raisons de l'utilisation du plastique jetable au laboratoire est que le plastique utilisé peut être contaminé donc le jeter pour utiliser un nouvel emballage permet d'éviter le risque de contamination. Une autre raison réside dans le fait que si on utilise un plastique qui peut être lavé et désinfecté [26], il faudra le décontaminer et souvent cela passe par un autoclave qui est un processus de stérilisation long et gourmand en énergie et en eau [25]. Et puis tous les plastiques utilisés ne sont pas tous recyclables, décontaminables en fonction de leur nature chimique. Des laboratoires se sont penchés sur ces problèmes et ont trouvé des solutions.

Des chercheurs de l'université de York, située dans le Nord de l'Angleterre, ont constaté que tous les déchets plastiques utilisés ne nécessitaient pas une décontamination aussi poussée qu'avec un autoclave. Ils ont ainsi installé dans leur laboratoire une station de décontamination avec trempage de 24h dans une solution désinfectante, suivi d'un rinçage pour une décontamination chimique. Cette organisation est moins coûteuse pour l'environnement que l'autoclave [25].

Ils ont aussi acheté des plastiques pouvant être mieux recyclés. Ils ont ainsi sur une année grandement diminué leurs déchets plastiques non recyclables [25].

D'autres solutions ont été trouvées par des techniciennes de l'université de Bristol en Angleterre. Elles ont mis en place des dispositifs de tri et de recyclage des déchets de leur laboratoire et pris contact avec une société spécialisée dans le recyclage des plastiques contaminés [25].

Acheter en gros est aussi une solution pour diminuer le plastique des emballages, ainsi que d'utiliser de la verrerie ou juste des embouts plastiques jetables pour les pipettes par exemple [25].

Pour le remplacement par du verre, il faut prendre en compte le nouvel impact environnemental lié au lavage et à la désinfection de ce matériau, il faut donc comparer ce qui est le moins coûteux pour l'environnement. De plus, pour la culture des cellules, les réactifs développés l'ont été sur du plastique, par conséquent il faudra se réadapter en faisant des tests sur le verre. Cela demande nécessairement un temps d'adaptation d'où l'importance de commencer le plus tôt possible ce changement. Et de se faire aider, par des sociétés spécialisées qui peuvent réaliser des audits précis (exemple avec the Francis Crick Institute, un centre de recherche biomédical à Londres en Angleterre, qui va réaliser un audit pour les embouts de pipette, pour choisir le produit qui contient le moins de plastique [26]).

L'autre adaptation que nécessite le recours à de la verrerie est sa mise à disposition qui peut ne pas être immédiate, il faut attendre son lavage et sa désinfection, aussi il est indispensable de prévoir la quantité suffisante de verrerie en stock.

Au bilan, pour les laboratoires intéressés, ce changement nécessite une analyse qui prenne en compte le calcul des coûts sur toute la durée de vie du matériau choisi, des cabinets environnementaux proposant ce genre de services. Si le coût économique est trop élevé, il faudra une aide financière de l'Etat ou des financeurs de la recherche pour aider à respecter l'environnement avec des nouveaux matériaux plus écologiques [25]. Les laboratoires peuvent aussi s'adresser à des sociétés spécialisées dans le recyclage des déchets plastiques d'un laboratoire, ces sociétés ayant la connaissance de ce qui est dangereux ou non pour le recyclage [26].

Les laboratoires interpellent aussi de plus en plus les fournisseurs pour leur demander de leur proposer des emballages, des contenants sans plastique, c'est un travail collectif qui concerne toute la chaîne de fabrication à l'usage du plastique [26].

Pour finir, on peut citer la méthode des 5 R mise en place par trois chercheurs du département Bioscience de l'université d'Exeter en Angleterre permettant de réduire les déchets plastiques de leur laboratoire [65] : Refuser (Refuse), Réduire (Reduce), Réutiliser (Reuse or Repair), Reproposer (Repurpose), Recycler (Recycle). Bien entendu, cette méthode exclut tous les déchets dangereux et les articles contaminés qui doivent être décontaminés au préalable ou exclus de ce processus si

cela n'est pas possible. Ils ont ainsi planifié des expériences les moins gourmandes possibles en plastique, utilisé du plastique réutilisable (pouvant être décontaminé), acheté des produits « responsables » (avec le moins d'emballage possible et en rationalisant la livraison des produits nécessaires).

Nous finirons cette partie par une citation de Alice Bell, journaliste freelance pour le climat à Londres en Angleterre [71] :

“Start by doing something different, even if it feels like it's really small and really pointless. Even small actions like that can have a ripple effect.”

“Commencez par faire quelque chose de différent, même si vous avez l'impression que c'est vraiment petit et vraiment inutile. Même de petites actions comme celles-ci peuvent avoir un effet d'entraînement.”

Les autres déchets

L'analyse de réduction de l'usage du plastique peut se porter aussi sur les autres déchets du laboratoire, qui en général sont bien traités par la procédure déchets: les packs de gel réfrigérant, les caisses en polystyrène et les palettes encombrantes utilisées pour le transport des produits peuvent être collectés pour être réutilisés. Les boîtes pour pointes de pipettes sont également collectées (carton) après avoir été empilées et réutilisées dans les laboratoires eux-mêmes [26]. On peut citer l'exemple de l'équipe du laboratoire d'histologie de l'hôpital John Hopkins, situé à Baltimore dans le Maryland aux USA qui a réutilisé des conteneurs de lamelles jetables pour faire pousser des graines de tomates (**Figure 15**) [72].



Figure 15 : Réutilisation de conteneurs de lamelles jetables pour faire pousser des graines de tomates [72], droit d'image obtenu de la part du Département de pathologie, du laboratoire médical John Hopkins, Baltimore, MD, USA®.

Les emballages peuvent aussi être réutilisés pour l'envoi de vos propres colis ou utilisés comme glacière par exemple [60].

LA GESTION DES PRODUITS CHIMIQUES, LA CHIMIE VERTE (*GREEN CHEMISTRY*)

Réduire l'impact environnemental de son laboratoire consiste aussi à s'intéresser à l'impact environnemental des produits chimiques utilisés, c'est ce que propose de faire le mouvement de « chimie verte (*green chemistry*) » né aux Etats-Unis en 1990. Le concept de chimie verte recouvre 12 principes : Prévention, Economie d'atomes, Conception de méthodes de synthèse moins dangereuses, Solvants et auxiliaires moins polluants, Recherche du rendement énergétique, Utilisation de ressources renouvelables, Réduction du nombre de dérivés, Catalyse, Conception de produits en vue de leur dégradation, Observation en temps réel en vue de prévenir la pollution, une chimie fondamentalement plus fiable illustrée dans le tableau (**Figure 16**).

Beaucoup de solutions existent [73], nous allons seulement en citer quelques-unes.

Un premier exemple est issu de l'analyse bibliographique « spécial développement durable dans les sciences des animaux de laboratoire » indiquée par la FELASA (biblio 3Rs – Reduce Reuse Recycle), où sont cités 3 articles sur le problème des gaz anesthésiants. Il s'avère que ces gaz (protoxyde d'azote et les agents anesthésiques halogénés) ont un impact certain sur le réchauffement climatique [27]. Leur utilisation peut paraître insignifiante mais une étude récente montre que le marché global des gaz anesthésiques est conséquent et a un impact sur le réchauffement climatique [28]. Dans un de ces articles, est décrit une analyse de cycle de vie de 5 gaz (le sévoflurane, le desflurane, l'isoflurane, le protoxyde d'azote et le propofol) de façon à ce que les professionnels intègrent ce critère d'impact environnemental dans le choix du gaz anesthésiant et en aient un usage raisonné [74].

Pour l'histologie, de façon remarquable, des fournisseurs en réactifs proposent de plus en plus des produits substitutifs aux produits toxicologiques tels que le xylène ou le formaldéhyde, remplacé par des produits de toxicologie réduite voire nulle permettant de protéger les opérateurs [75]. Un autre exemple est issu de l'expérience du laboratoire d'histologie John Hopkins (Baltimore, Mariland, USA) qui s'est équipé d'un automate de coloration qui ne produit aucun déchet dangereux [72]. Il s'avère aussi que faire des choix plus respectueux de l'environnement dès le départ est plus efficace que d'essayer d'en gérer l'impact (par exemple, remplacer des produits chimiques dangereux tels que le bromure d'éthidium par un produit équivalent mais non mutagène tel que SYBR Safe ne se fait pas sans effort d'adaptation [60]).

The 12 Principles of GREEN CHEMISTRY

Green chemistry is an approach to chemistry that aims to maximize efficiency and minimize hazardous effects on human health and the environment. While no reaction can be perfectly 'green', the overall negative impact of chemistry research and the chemical industry can be reduced by implementing the 12 Principles of Green Chemistry wherever possible.

<p>1. WASTE PREVENTION</p>  <p>Prioritize the prevention of waste, rather than cleaning up and treating waste after it has been created. Plan ahead to minimize waste at every step.</p>	<p>7. USE OF RENEWABLE FEEDSTOCKS</p>  <p>Use chemicals which are made from renewable (i.e. plant-based) sources, rather than other, equivalent chemicals originating from petrochemical sources.</p>
<p>2. ATOM ECONOMY</p>  <p>Reduce waste at the molecular level by maximizing the number of atoms from all reagents that are incorporated into the final product. Use atom economy to evaluate reaction efficiency.</p>	<p>8. REDUCE DERIVATIVES</p>  <p>Minimize the use of temporary derivatives such as protecting groups. Avoid derivatives to reduce reaction steps, resources required, and waste created.</p>
<p>3. LESS HAZARDOUS CHEMICAL SYNTHESIS</p>  <p>Design chemical reactions and synthetic routes to be as safe as possible. Consider the hazards of all substances handled during the reaction, including waste.</p>	<p>9. CATALYSIS</p>  <p>Use catalytic instead of stoichiometric reagents in reactions. Choose catalysts to help increase selectivity, minimize waste, and reduce reaction times and energy demands.</p>
<p>4. DESIGNING SAFER CHEMICALS</p>  <p>Minimize toxicity directly by molecular design. Predict and evaluate aspects such as physical properties, toxicity, and environmental fate throughout the design process.</p>	<p>10. DESIGN FOR DEGRADATION</p>  <p>Design chemicals that degrade and can be discarded easily. Ensure that both chemicals and their degradation products are not toxic, bioaccumulative, or environmentally persistent.</p>
<p>5. SAFER SOLVENTS & AUXILIARIES</p>  <p>Choose the safest solvent available for any given step. Minimize the total amount of solvents and auxiliary substances used, as these make up a large percentage of the total waste created.</p>	<p>11. REAL-TIME POLLUTION PREVENTION</p>  <p>Monitor chemical reactions in real-time as they occur to prevent the formation and release of any potentially hazardous and polluting substances.</p>
<p>6. DESIGN FOR ENERGY EFFICIENCY</p>  <p>Choose the least energy-intensive chemical route. Avoid heating and cooling, as well as pressurized and vacuum conditions (i.e. ambient temperature & pressure are optimal).</p>	<p>12. SAFER CHEMISTRY FOR ACCIDENT PREVENTION</p>  <p>Choose and develop chemical procedures that are safer and inherently minimize the risk of accidents. Know the possible risks and assess them beforehand.</p>



© COMPOUND INTEREST 2015; WWW.COMPOUNDCHEM.COM
Shared under a CC Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.



Figure 16 : Les 12 principes de la chimie verte, poster sous licence CC BY NC ND.

Nous n'irons pas plus loin dans ces exemples d'alternatives, nous vous encourageons à parcourir la bibliographie pour vous aider à aller vers une chimie plus verte dans vos pratiques [73, 76].

LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE MAIS AUSSI D'EAU

L'ÉNERGIE

Comme nous l'avons évoqué en introduction de ce paragraphe AU LABORATOIRE, l'énergie peut y être économisée durant les activités quotidiennes mais aussi dans les périodes hors travaux scientifiques et techniques [75, 77]. L'installation d'une minuterie sur les prises de courant est un geste simple et efficace à mettre en place pour des bains-marie, armoires ventilées, micro-ondes, ou tout autre équipement qui le permet. Ainsi, ils ne s'allumeront automatiquement que pendant les heures normales de travail et économiseront de l'énergie aux autres moments [60]. Si des appareils doivent fonctionner pendant la nuit, il est parfois possible de modifier certains paramètres pour qu'ils arrivent sur le matin en une position moins énergivore. Notamment si cela s'y prête, en jouant sur le paramètre de la température, ainsi par exemple, pour un appareil de PCR, il peut être maintenu à 10°C plutôt qu'à 4°C [60]. Comme à la maison, un bon entretien des frigos et congélateurs du laboratoire assure une dépense énergétique efficace, s'assurer que leurs joints sont toujours bien étanches aussi [60]. L'une des principales sources de consommation d'énergie est une hotte ouverte, car lorsque le châssis est relevé, il aspire l'air ambiant dans la hotte tout en pompant simultanément de l'air extérieur reconditionné. La fermeture de la ceinture de la hotte est une solution simple mais a un impact énorme sur sa consommation d'énergie [60].

L'EAU

Bien qu'essentiel dans un laboratoire d'histologie, pour toutes sortes de réactions et de protocoles expérimentaux, la consommation d'eau peut facilement être réduite avec quelques changements simples. Fermez toujours les robinets correctement. Se détourner des automates qui fonctionnent avec un circuit d'eau ouvert, grand consommateur d'eau au profit d'automates intelligents contrôlant les rinçages à l'eau de façon limitée au strict nécessaire, notamment pour les moments de rinçage. Une économie d'eau dans l'usage du bain-marie en histologie est plus limitée du fait qu'il sert au recueil des coupes de bloc de tissu réalisées au microtome. Cependant, on peut garder en mémoire la possibilité de limiter les changements trop fréquents de l'eau du bain-marie en recueillant régulièrement en

surface les débris à l'aide d'un papier absorbant. Par ailleurs, il est intéressant de noter l'existence d'une alternative en cas d'usage du bain-marie pour des réactions contrôlées qui s'opèrent en tubes avec un système de bains de billes de verre.

En dehors de la limitation de la consommation d'eau, il convient aussi de penser à préserver la qualité des eaux, l'eau potable étant particulièrement menacée, en éliminant les produits chimiques de manière responsable : procéder au tri des déchets aqueux/non aqueux, si possible en évitant les mélanges, recueillir par exemple le formol, les alcools usagers/souillés dans des bidons séparés qui pourront être retraités par les sociétés spécialisées. Il est essentiel de garder en tête que nous pouvons toujours réduire notre impact environnemental sur l'eau en éliminant systématiquement les produits chimiques de manière appropriée et en ne les jetant jamais dans les égouts, ce qui participe à la contamination de l'eau potable [60].

L'Intelligence Artificielle (IA) comme outil favorisant la baisse de l'impact environnemental du laboratoire d'histologie ?

En ligne droite avec l'objectif de cet article visant à éclairer nos lecteurs sur les actions possibles à mettre en œuvre dès aujourd'hui au sein d'un laboratoire d'histologie pour limiter notre impact environnemental, il nous paraît aussi intéressant d'évoquer des évolutions originales qui pourraient peut-être un jour révolutionner nos pratiques. Ainsi, l'exemple de ce projet durable dont le but initial est de contrôler la variabilité des colorations, qui s'appuie sur les possibilités offertes par l'IA, propose de réaliser des colorations virtuelles équivalentes aux colorations chimiques, mais sans produits chimiques, uniquement à base d'IA. Ce projet permet d'entrevoir une alternative qui pourrait non seulement nous proposer des colorations virtuelles en remplacement d'une coloration chimique - qui au passage permet de potentialiser les colorations sur une seule et même coupe histologique - mais aussi nous aider à limiter notre impact et préserver notre santé en limitant l'usage de réactifs chimiques, d'eau et d'énergie.

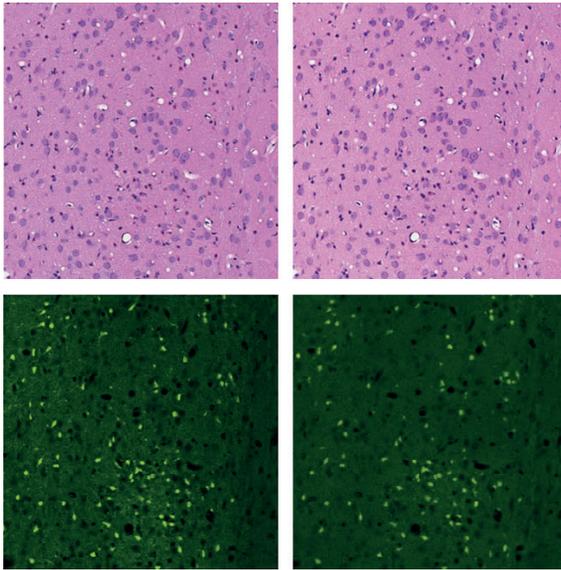


Figure 17 : A gauche : colorations standards à base de produits chimiques : en haut à l'aide d'hématoxyline et éosine (H & E) et en bas de fluorojade B (FJB) appliquées pour le diagnostic dans le cerveau de l'identification de lésions neuronales. A droite des marquages virtuels équivalents, obtenus sans produit chimique, à l'aide de l'IA [78, 79] © Droit de reproduction obtenu le 11/05/2022.

CONCLUSION

Le dérèglement du climat que nous connaissons aujourd'hui nécessite que nous réagissions tous en participant aux changements d'habitudes devenus inévitables et cela nous concerne aussi dans nos activités de la recherche qui ont aussi globalement un impact environnemental. Aujourd'hui, cet impact peut être mesuré ce qui permet d'agir immédiatement soit en priorité sur les activités les plus impactantes soit sélectivement sur celles les plus accessibles, selon le niveau d'engagement de chaque laboratoire. Ces solutions de transition ou de réduction sont relayées par des associations nationales voire internationales. Les médias en parlent aussi de plus en plus. Cet article rassemble ces informations, redonne des définitions et offre des pistes concrètes avec des clés offertes aux acteurs de la recherche pour les aider à s'engager sans plus attendre sur le chemin d'une recherche la plus durable possible :

« *Walk the talk* » (De la parole aux actes).

C'est pourquoi nous espérons que vous lecteurs aurez trouvé dans cet article les moyens d'agir avec moins d'empreinte irréversible de nos activités sur notre environnement et avec la prise de conscience que nous avons non seulement tous un rôle à jouer mais que nous en avons le pouvoir et la responsabilité.

Car au milieu de toutes les actions possibles, on l'aura compris, le changement repose d'abord sur chacun d'entre nous, et il est important d'identifier un autre levier d'action, celui concernant le personnel. Il est possible de démarrer même modestement une dynamique de groupe. Avoir un champion [30] et un manager de l'énergie [80] par exemple et mettre en place un groupe interne DD (Développement Durable) pour fixer un plan et fixer une feuille de route, peut s'avérer très efficace. Il faut assurer la communication (flyer, poster, café scientifique, webinaire) et des formations du groupe DD et du personnel ensuite [81]. Il faut mesurer pour pouvoir ensuite évaluer l'efficacité des actions mises en place et apporter de l'encouragement concret aux équipes impliquées (management par le succès [81]).

On peut citer comme exemple l'Institut londonien « *The Francis Crick Institute* » qui prend très au sérieux l'accompagnement au changement de comportement. Aux côtés de représentants, l'Institut propose aux employés des ateliers sur la durabilité et des formations sur les déchets. Il propose également un tableau de bord interactif qui permet aux équipes scientifiques de se comparer à d'autres laboratoires [26]. Le *benchmarking* sert ainsi de moteur de motivation. L'Institut a aussi organisé un salon d'approvisionnement écologique où les fournisseurs devaient répondre à un ensemble de critères de durabilité pour pouvoir y assister [26].

Au Green lab d'Ibrain, un laboratoire de recherche de l'Inserm à Tours, une équipe de chercheur.e.s s'est créée pour se former à la protection environnementale et sensibiliser ensuite leurs collègues. Ils encouragent maintenant le personnel à s'impliquer dans la transition écologique et à partager leurs bonnes pratiques en la matière [82].

Quant à l'équipe développement durable dans l'entreprise Proteinech Ltd, elle a mis en place des autocollants bienveillants à destination du personnel pour les aider à penser aux bonnes pratiques [60].

Certes, il peut être difficile de casser les habitudes et de mettre en place des changements mais aujourd'hui même les laboratoires de recherche ont le devoir et la possibilité d'agir pour limiter à travers leurs pratiques, leur impact

environnemental. Des gestes simples peuvent être mis en place, ils peuvent aider à faire des économies et aussi venir enrichir la cohésion au sein des équipes en fédérant les différents acteurs autour de ces gestes essentiels au moment où notre humanité doit faire face à de nombreux défis qu'ils soient sanitaires, politiques ou climatiques. Tous ensemble, nous pouvons y arriver.

Et au-delà de ces bonnes pratiques, on peut se demander si, à l'avenir, il ne sera pas nécessaire d'introduire cette question d'impact environnemental dès la genèse de tous projets scientifiques, tel que cela existe pour l'utilisation des animaux de laboratoire, avec le passage devant un comité d'éthique environnemental. C'est ce qui est proposé dans le dernier article du collectif Labo1point5 paru en ce début d'année [83]. Le débat est donc ouvert.

PETIT DICTIONNAIRE DES TERMES UTILISES

Bilan carbone (*Carbon footprint*) ou Bilan GES

« Le bilan carbone est un outil de diagnostic développé en 2011 par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) pour comprendre et analyser l'activité des particuliers, des entreprises, des collectivités et des administrations en termes d'émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre (GES)... Le CO₂ étant le gaz le plus répandu est donc devenu une référence lorsque l'on évoque les données du bilan carbone. En effet, les cinq autres gaz sont convertis en équivalent carbone et le résultat final du bilan carbone est exprimé en tonnes équivalent CO₂. »

<https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-le-bilan-carbone-et-comment-est-il-calculé-193832>

Changement climatique (*Climate change*)

Définition wikipédia : « Un changement climatique, ou dérèglement climatique, correspond à une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux. »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Changement_climatique

Définition Actu-environnement : « Le changement climatique « désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. »

https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/changement_climatique.php4

Chimie verte (*Green chemistry*)

« La chimie verte a pour but de concevoir et de développer des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses. »

<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-et-societe/environnement/introduction-a-la-chimie-verte>

Développement durable (*Sustainable development*)

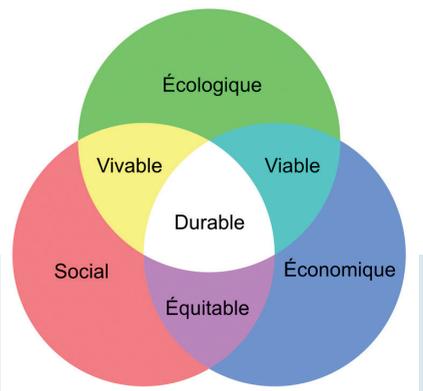
« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs », citation de Mme Gro Harlem Brundtland, Premier Ministre norvégien (1987).

En 1992, le Sommet de la Terre à Rio, tenu sous l'égide des Nations unies, officialise la notion de développement durable et celle des trois piliers (économie/écologie/social) : un développement économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable. »

https://books.google.fr/books?id=1ImmPT78kl0C&dq=Evaluation%20des%20impacts%20sur%20l'environnement&hl=fr&source=gbs_book_other_versions

<https://univ.scholarvox.com/catalog/book/docid/88883464>

<http://www.presses-polytechnique.ca/fr/evaluation-des-impacts-sur-l-environnement-l-4e-edition>



CC BY SA 3.0, Diagramme de Venn du développement durable, à l'intersection de trois préoccupations, dites « les trois piliers du développement durable », Vignerou, 2008.

Écologie (*Ecology*)

Sciences : « Étude des milieux où vivent les êtres vivants, ainsi que des rapports de ces êtres avec le milieu. »

Courant : « Doctrine visant à un meilleur équilibre entre l'homme et son environnement naturel ainsi qu'à la protection de ce dernier. »

Courant politique défendant ce mouvement.

<https://dictionnaire.lerobert.com/definition/ecologie>

Ecoresponsabilité (*Eco-responsibility*)

« Comportement responsable à l'égard de l'environnement. »

<https://dictionnaire.lerobert.com/definition/ecoresponsabilite>

Effet de serre (*Greenhouse effect*)

« L'effet de serre est une conséquence de la présence de gaz dans l'atmosphère qui absorbent une partie des rayonnements infra-rouges émis par le sol. Ce phénomène naturel permet d'avoir sur Terre une température favorable à la vie. Avec ses activités, l'homme émet des gaz à effet de serre en grande quantité dans l'atmosphère - principalement du dioxyde de carbone, du méthane et du protoxyde d'azote - et dérègle le fonctionnement très complexe du système Terre. »

<https://www.linfodurable.fr/environnement/lexique-le-changement-climatique-en-dix-mots-27835>

Effet rebond (*Rebound effect*)

« L'effet rebond... peut être défini comme « l'augmentation de consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation... ». Il en découle le corollaire suivant : les économies d'énergie ou de ressources initialement prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie sont partiellement ou complètement compensées à la suite d'une adaptation du comportement de la société. »

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_rebond_\(%C3%A9conomie\)#cite_note-1](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_rebond_(%C3%A9conomie)#cite_note-1)

Empreinte carbone (*Carbon footprint*)

« L'empreinte carbone d'une activité humaine est une mesure des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique, c'est-à-dire qui peuvent lui être imputées. Elle dépend des facteurs d'émission des intrants liés à cette activité et en particulier des facteurs d'émission associés aux sources d'énergie utilisées. Les facteurs d'émission associés aux sources d'énergie correspondent pour l'essentiel à des émissions de CO₂. Ils s'expriment en général en grammes d'équivalent CO₂ par kilowatt-heure (gCO₂eq/kWh); ils peuvent également s'exprimer en grammes d'équivalent carbone par kWh. »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Empreinte_carbone

Empreinte écologique (*Ecological footprint*)

« L'empreinte écologique ou empreinte environnementale est un indicateur et un mode d'évaluation environnementale qui comptabilise la pression exercée par les hommes envers les ressources naturelles et les « services écologiques » fournis par la nature. Plus précisément, elle mesure les surfaces alimentaires productives de terres et d'eau nécessaires pour produire les ressources qu'un individu, une population ou une activité consomme et pour absorber les déchets générés, compte tenu des techniques et de la gestion des ressources en vigueur. Cette surface est exprimée en hectares globaux (hag), c'est-à-dire en hectares ayant une productivité égale à la productivité moyenne. »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Empreinte_%C3%A9cologique

Environnement (*Environment*)

« Ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins. »

<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/environnement/30155>

Gaz à effet de serre (*Greenhouse gas*)

« Gaz d'origine naturelle (vapeur d'eau) ou anthropique (liée aux activités humaines) absorbant et réémettant une partie des rayons solaires (rayonnement infrarouge), phénomènes à l'origine de l'effet de serre. Les principaux gaz à effet de serre (GES) liés aux activités humaines sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) et des gaz fluorés : hydrofluorocarbure (HFC), perfluorocarbure (PFC), hexafluorure de soufre (SF₆)

et le trifluorure d'azote (NF₃). Les émissions de ces gaz sont pondérées par leurs potentiels de réchauffement global (PRG) et exprimées en équivalents CO₂ pour donner un total d'émissions en équivalents CO₂. Les six gaz à effet de serre (GES) suivis dans le cadre du protocole de Kyoto sont les suivants : dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O), hexafluorure de soufre (SF₆), hydrocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC). »

<https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1855>

Impact environnemental (*Environmental impact*)

« Le concept d'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa fin de vie. »

<https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/elements-contexte/impacts-environnementaux>

Neutralité carbone (*Carbon neutrality*)

« Selon la définition du Parlement Européen, la neutralité carbone est l'équilibre entre les émissions de carbone et l'absorption du carbone de l'atmosphère par les puits de carbone. »

<https://www.hellocarbo.com/blog/calculer/la-neutralite-carbone/>

Réchauffement climatique (*Global warming*)

« Le réchauffement climatique est un phénomène global de transformation du climat caractérisé par une augmentation générale des températures moyennes (notamment liée aux activités humaines), et qui modifie durablement les équilibres météorologiques et les écosystèmes. »

<https://youmatter.world/fr/definition/definition-rechauffement-climatique/>

Sobriété (*Sufficiency*)

« La sobriété en écologie vise à diminuer la consommation d'énergie et de ressources naturelles (matériaux). »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Sobri%C3%A9t%C3%A9_%C3%A9conomique

Transition écologique (*Ecological transition*)

« La transition écologique est une évolution vers un nouveau modèle économique et social qui apporte une solution globale et pérenne aux grands enjeux environnementaux de notre siècle et aux menaces qui pèsent sur notre planète. Opérant à tous les niveaux, la transition écologique vise à mettre en place un modèle de développement résilient et durable qui repense nos façons de consommer, de produire, de travailler et de vivre ensemble. La transition écologique recouvre plusieurs secteurs. »

<https://www.oxfamfrance.org/climat-et-energie/transition-ecologique/>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. COCHAUD-KAMINSKI E. 20 minutes. Nos choix d'aujourd'hui détermineront notre capacité à limiter la hausse des températures, 2021, Accessed date: 11/01/2021. <https://www.20minutes.fr/magazine/climato-actifs-mag/3129471-20210921-integralite-rechauffement-climatique-liee-activites-humaines>
2. Partie 1. Vue d'ensemble, in Bilan environnemental de la France. Edition 2020, edited by Ministère de la transition écologique, 2021: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/bilan-environnemental/parte1-vue-ensemble>
3. Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire. 2020,(0035) <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-anti-gaspillage-economie-circulaire-0>
4. Archimag. La Permaentreprise Serda Archimag, 2021, Accessed date: 11/01/2021. <https://www.archimag.com/tags/la-permaentreprise-serda-archimag>
5. Stratégie nationale bas carbone. Plan d'action climat du ministère de l'agriculture et de l'alimentation, Ministère de l'agriculture, 2021: 1-22 pages. <https://agriculture.gouv.fr/plan-daction-climat-du-ministere-de-lagriculture-et-de-lalimentation>
6. Le Monde. Vocabulaire. Le « réchauffement climatique » inquiète plus que le « changement climatique », 2014, Accessed date: 12/01/2021. https://www.lemonde.fr/big-browser/article/2014/05/28/vocabulaire-le-rechauffement-climatique-inquiete-plus-que-le-changement-climatique_6000095_4832693.html
7. NØRREGAARD R.D., BACH L., GEERTZ-HANSEN O., NABE-NIELSEN J., NOWAK B., JANTAWONGSRI K., DANG M., SØNDERGAARD J., LEIFSSON P.S., JENSSEN B.M., CIESIELSKI T.M., ARUKWE A. & SONNE C. Element concentrations, histology and serum biochemistry of arctic char (*Salvelinus alpinus*) and shorthorn sculpins (*Myoxocephalus scorpius*) in northwest Greenland. *Environmental Research*, 2022,**208** <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112742>

8. HOLLIDAY C. Sustainable growth, the Dupont way. *Harvard business review*, 2001, **79** (8), 129-162. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11550629>
9. The NIHR Carbon Reduction Guidelines, NHS, 2012: pages. <https://www.nihr.ac.uk/documents/the-nihr-carbon-reduction-guidelines/21685>
10. SUBAIYA S., HOGG E. & ROBERTS I. Reducing the environmental impact of trials: a comparison of the carbon footprint of the CRASH-1 and CRASH-2 clinical trials. *Trials*, 2011,**12** 31-31. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-12-31>
11. ROBINSON O.J., TEWKESBURY A., KEMP S. & WILLIAMS I.D. Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. *Journal of Cleaner Production*, 2018,**172** 4435-4455. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147>
12. Séminaire "Impacts des pratiques de la recherche sur l'environnement", 24/01/2020, Paris. In Séminaire "Impacts des pratiques de la recherche sur l'environnement", 24/01/2020, Paris, France, 2020. <https://seminaire-dd.sciencesconf.org/resource/page/id/2>
13. France universités. Avec et pour les étudiants, nous devons réussir la transition écologique et énergétique plutôt que la subir, 2022, Accessed date: 15/04/2022. <https://franceuniversites.fr/actualite/avec-et-pour-les-etudiants-nous-devons-reussir-la-transition-ecologique-et-energetique-plutot-que-la-subir/>
14. JOUZEL J. Sensibiliser et former aux enjeux de la transition écologique et du développement durable dans l'enseignement supérieur, Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2022: 1-90 pages. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/remise-du-rapport-sensibiliser-et-former-aux-enjeux-de-la-transition-ecologique-et-du-developpement-83903>
15. Au rythme actuel, nous aurons atteint les 1,5°C de réchauffement dans moins de dix ans. 2022, <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/au-rythme-actuel-nous-aurons-atteint-les-1-5-c-de-rechauffement-dans-moins-de-dix-ans-150678.html>
16. Rapport du Giec : pour réduire nos émissions, il faut allier technologies propres et transformation de nos modes de vie, 2022, Accessed date: 15/04/2022. <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/rapport-du-giec-pour-reduire-nos-emissions-il-faut-allier-technologies-propres-et-transformation-de-nos-modes-de-vie-150698.html>
17. ANZT H., BACH F., DRUSKAT S., LÖFFLER F., LOEWE A., RENARD B.Y., SEEMANN G., STRUCK A., ACHHAMMER E., AGGARWAL P., APPEL F., BADER M., BRUSCH L., BUSSE C., CHOURDAKIS G., DABROWSKI P.W., EBERT P., FLEMISCH B., FRIEDL S., FRITZSCH B., FUNK M.D., GAST V., GOTH F., GRAD J.N., HEGEWALD J., HERMANN S., HOHMANN F., JANOSCH S., KUTRA D., LINXWEILER J., MUTH T., PETERS-KOTTIG W., RACK F., RATERS F.H.C., RAVE S., REINA G., REIßIG M., ROPINSKI T., SCHAARSCHMIDT J., SEIBOLD H., THIELE J.P., UEKERMANN B., UNGER

- S. & WEEBER R. An environment for sustainable research software in Germany and beyond: current state, open challenges, and call for action [version 2; peer review: 2 approved]. *F1000Research*, 2021,9 %R 10.12688/f1000research.23224.2 (295), <https://doi.org/10.12688/f1000research.23224.2>
18. PACH D., ROGGE A.A., WANG J. & WITT C.M. Five lessons learned from randomized controlled trials on mobile health interventions: Consensus procedure on practical recommendations for sustainable research. *JMIR mHealth and uHealth*, 2021,9 (2), <https://doi.org/10.2196/20630>
19. United Nations Climate Change. L'accord de Paris, 2021, Accessed date: <https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/l-accord-de-paris/l-accord-de-paris>
20. Labo1point5. Texte fondateur, Labo1point5, 2019: 1-3 pages. https://labos1point5.org/static/Labos1point5_TexteFondateur.pdf
21. labo1point5. GES 1point5, 2021, Accessed date: <https://labos1point5.org/ges-1point5>
22. ADEME. Tous secteurs : Bilans GES réglementaires 2015, Accessed date: 13/01/2022. <https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/>
23. EcoInfo. Agir pour réduire les impacts environnementaux et sociétaux négatifs des technologies du numérique, 2006, Accessed date: 13/01/2022. <https://ecoinfo.cnrs.fr/ecoinfo/>
24. MONTBROUSSOUS B., BERTHOUD F., FELTIN G., MOREAU G. & SCHAEFFER J. Calculer le bilan carbone de votre parc informatique avec EcoDiag, un service EcoInfo. In JRES-Journées REseaux, 2019, Dijoin, France, 2019. https://conf-ng.jres.org/2019/document_revision_5159.html?download
25. BELL A. Can laboratories curb their addiction to plastic? *The Guardian*, 2019, <https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/10/research-labs-plastic-waste>
26. MULVEY L. Scientists, here's how to use less plastic. *Mosaic*, 2019,(05/11/2019) <https://mosaicscience.com/story/scientists-labs-sustainable-plastic-recycling-research/>
27. JONES R.S. & WEST E. Environmental sustainability in veterinary anaesthesia. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 2019,46 (4), 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.vaa.2018.12.008>
28. WHITE S.M. & SHELTON C.L. Abandoning inhalational anaesthesia. *Anaesthesia*, 2020,75 (4), 451-454. <https://doi.org/10.1111/anae.14853>
29. International institute for sustainable laboratories (I2sL). About I2SL, 2021, Accessed date: 16/01/2022. <https://www.i2sl.org/about/index.html>
30. International Institute for sustainable laboratory (I2sL). Smart Labs Toolkit, 2021, Accessed date: 07/05/2021. <https://smartlabs.i2sl.org/>

31. My green lab, 2021, Accessed date: 07/03/2021. <https://sustainability.virginia.edu/programs/green-labs>
32. Labconscious introduction animation. 2021: 1'29 <https://www.youtube.com/watch?v=d4iiafZ-M4>
33. Best practices guide: laboratory resilience, I2SL, 2021: 1-40 pages. https://www.i2sl.org/elibrary/documents/I2SLBestPractices_LaboratoryResilienceGuide_May2021.pdf
34. University of Virginia. Green Labs Certification by the UVA Green Labs Program, 2021, Accessed date: <https://sustainability.virginia.edu/programs/green-labs>
35. I2SL. Assess of laboratory systems, 2022, Accessed date: 12/04/2022. <https://smart-labs.i2sl.org/assess.html#general>
36. MAY M. Adding efficiency to general lab equipment. *Science mag*, 2016, (29042016), 614-616. <https://www.science.org/content/article/adding-efficiency-general-lab-equipment>
37. MADHUSOODANAN J. What can you do to make your lab greener? *Nature*, 2020,**581** (7807), 228-229. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01368-8>
38. A clean, green science machine. *Nature*, 2015,**519** (7543), 261. <https://doi.org/10.1038/519261a>
39. Terre de liens. Les terres disparaissent, mais où vont-elles ?, 2022, Accessed date: 04/05/2022. https://terredeliens.org/la_disparition_des_terres.html
40. Vie publique. Réhabiliter les friches : une opportunité environnementale et économique ?, 2021, Accessed date: 05/05/2022. <https://www.vie-publique.fr/en-bref/278496-rehabiliter-les-friches-un-levier-environnemental-et-economique>
41. Process alimentaire. Fleury Michon, lauréat du prix Energ'IAA 2021, 2021, Accessed date: 18/01/2022. <https://www.processalimentaire.com/vie-des-iaa/fleury-michon-laureat-du-prix-energ-iaa-2021>
42. L'énergie éolienne terrestre et en mer. Les avis de l'Ademe, Ademe, 2022: 1-11 pages. https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/2459-energie-eolienne.html#/44-type_de_produit-format_electronique
43. Ademe. Produire et utiliser les énergies renouvelables, 2022, Accessed date: <https://expertises.ademe.fr/energies/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage>
44. Ecoresponsable au bureau, Ademe, 2022: pages. <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5225-ecoresponsable-au-bureau-9791029718960.html>
45. JOST C. & TEXIER B. Archimag. Pollution numérique: infographie, chiffres-clés et conseils pour une dématérialisation plus verte, 2019, Accessed date: 31/03/2022. https://www.archimag.com/demat-cloud/2019/11/20/ecologie-numerique-chiffres-infographie-conseils-dematerialisation-verte?utm_source=OxiMailing%20-%20Newsletter%2005%20octobre%202020&utm_medium=e-mail&utm_campaign=Newsletter%20-%2005%20octobre%202020

46. GUERRE L. Archimag. Empreinte carbone et sobriété numérique, 2021, Accessed date: 10/05/2022. <https://www.archimag.com/demat-cloud/2021/10/07/empreinte-carbone-sobriete-numerique-comment-agir>
47. RTbf. Vider sa corbeille mails... Un geste éco-responsable !, 2021, Accessed date: <https://www.rtbef.be/article/vider-sa-corbeille-mails-un-geste-eco-responsable-9845589?id=9845589>
48. La face cachée du numérique, Ademe, 2019: pages. <https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/2351/guide-pratique-face-cachee-numerique.pdf?modal=false>
49. Weeedoit. Les effets rebond dans le numérique : les comprendre et les anticiper, 2021, Accessed date: 06/05/2022. <https://www.weeedoit.com/les-effets-rebond-dans-le-numerique-les-comprendre-et-les-anticiper/>
50. Ademe. 10 bons gestes numériques en télétravail, 2022, Accessed date: 25/01/2022. <https://agirpouurlatransition.ademe.fr/particuliers/bureau/10-bons-gestes-numeriques-teletravail>
51. Institut Pasteur. Big data : l'impact environnemental des données et du numérique, 2021, Accessed date: 25/01/2022. <https://openscience.pasteur.fr/2021/11/25/big-data-limpact-environnemental-des-donnees-et-du-numerique/>
52. BERTHOUD F. Les données, quels impacts environnementaux? In RDA, 11/10/2021, 2021. https://rdafrance2021.sciencesconf.org/data/pages/RDA_11_oct_2021_Fr_Berthoud_2.pdf
53. SAMUEL G. & LUCIVERO F. Responsible Open Science: Moving towards an Ethics of Environmental Sustainability. *Publications*, 2020, <https://doi.org/10.3390/publications8040054>
54. Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat. 4 scénarios pour atteindre la neutralité carbone, ADEME, 2022: 1-687 pages. <https://transitions2050.ademe.fr/>
55. Upcycle. Comprendre la réglementation sur le compostage de proximité, 2022, Accessed date: 13/04/2022. <https://www.upcycle.org/reglementation-compostage-de-proximite/>
56. HR infos. Newrest et les Alchimistes font décoller le compostage des biodéchets, 2022, Accessed date: 13/04/2022. <https://hr-infos.fr/newrest-et-les-alchimistes-font-decoller-le-compostage-des-biodechets/>
57. Ademe. Obligations particulières de tri pour certains déchets : biodéchets et tri 5 flux, 2022, Accessed date: 13/04/2022. <https://expertises.ademe.fr/entreprises-monde-agricole/reduire-impacts/reduire-cout-dechets/obligations-reglementaires>
58. Vie publique. Transports : le défi écologique des nouvelles mobilités, 2021, Accessed date: 25/01/2022. <https://www.vie-publique.fr/eclairage/279082-transports-le-de-fi-ecologique-des-nouvelles-mobilites>

59. My green lab certification, 2021, Accessed date: 07/03/2021. <https://sustainability.virginia.edu/programs/green-labs>
60. SZCZESNA K. Proteintech. 13 tips how to be more eco-friendly in the lab, 2021, Accessed date: 08/05/2021. <https://www.ptglab.com/news/blog/13-tips-how-to-be-more-eco-friendly-in-the-lab/>
61. GYGER M., WAROT X., NEMBRINI A., VOLLICHARD P., MAGAUD V. & COQUEREL C. Environmental impact of an animal facility: Life cycle assessment of the EPFL mouse facility. In 12th FELASA Congress, 2013, Barcelona, Spain, 2013. https://felasa.eu/Portals/0/Library/3R/P_146_FELASA_2013_Final.pdf?ver=hKM52BV4poK9cSkQs-2r0nQ%3d%3d
62. GYGER M., WAROT X. & MAGAUD V. Life cycle assessment of washable and disposal cages. In 13th FELASA Congress, 2016, Brussels, Belgium, 2016. https://felasa.eu/Portals/0/Library/3R/FELASA2016_poster_LCA.pdf?ver=UeY4cBCFoKZvDmD-0mm1FAg%3d%3d
63. I2SL. Laboratory benchmarking tool, 2021, Accessed date: 21/01/2022. <https://lbt.i2sl.org/operational-practices/charts>
64. MAY M. Labcompare. The -80 Takedown, 2017, Accessed date: 18/01/2022. <https://www.labcompare.com/342365-The-80-Takedown/>
65. University of Exeter. Reduce Single-Use Laboratory Plastics 2015, Accessed date: 23/01/2022. <https://www.exeter.ac.uk/about/sustainability/sustainablelabs/labplastics/>
66. URBINA M.A., WATTS A.J.R. & REARDON E.E. Labs should cut plastic waste too. *Nature*, 2015,**528** (7583), 479. <https://doi.org/10.1038/528479c>
67. Greenpeace. La pollution plastique représente un réel danger pour nos océans : Les chiffres parlent d'eux-mêmes, 2021, Accessed date: 04/05/2022. <https://www.greenpeace.org/africa/fr/les-blogs/14025/la-pollution-plastique-represente-un-reel-danger-pour-nos-occeans-les-chiffres-parlent-deux-memes/>
68. Le paradoxe du plastique en 10 questions, Ademe, 2021: 1-13 pages. <https://bibliothèque.ademe.fr/consommer-autrement/4967-le-paradoxe-du-plastique-en-10-questions-9791029710377.html>
69. KARLSSON T.M., VETHAAK A.D., ALMROTH B.C., ARIESE F., VAN VELZEN M., HASSELLÖV M. & LESLIE H.A. Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: Method development and microplastic accumulation. *Marine Pollution Bulletin*, 2017,**122** (1), 403-408. <https://doi.org/10.1016/j.marpollbul.2017.06.081>
70. LESLIE H.A., VAN VELZEN M.J.M., BRANDSMA S.H., VETHAAK A.D., GARCIA-VALLEJO J.J. & LAMOREE M.H. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 2022,**163** 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>

71. BELL A. CNN. Can science break its plastic addiction?, 2019, Accessed date: 24/01/2022. <https://edition.cnn.com/2019/11/05/world/science-research-labs-plastic-waste-partner-mosaic-scn/index.html>
72. The pathology blog. The Award-Winning "Green" Histology Lab: Lessons in Creativity, Sustainability, and Teamwork, 2013, Accessed date: <http://apps.pathology.jhu.edu/blogs/pathology/the-award-winning-green-histology-lab-lessons-in-creativity-sustainability-and-teamwork-2>
73. Mygreenlab. Green chemistry, 2021, Accessed date: 19/01/2022. <https://www.mygreenlab.org/green-chemistry.html>
74. SHERMAN J., LE C., LAMERS V. & ECKELMAN M. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Anesthetic Drugs. *Anesthesia & Analgesia*, 2012, **114** (5), <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31824f6940>
75. Histology Goes Green. Milestone products for a safer, environmental-friendly histology laboratory, Milestone, 2018: 1-8 pages. <https://www.milestonemedsrl.com/wp-content/uploads/2018/11/Histology-Goes-Green.pdf>
76. O'NEIL N.J., SCOTT S., RELPH R. & PONNUSAMY E. Approaches to Incorporating Green Chemistry and Safety into Laboratory Culture. *Journal of Chemical Education*, 2021, **98** (1), 84-91. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00134>
77. MULVEY L. Plastic. Meet the researchers making science more sustainable, 2019, Accessed date: <https://mosaicscience.com/story/scientists-labs-sustainable-plastic-recycling-research/>
78. KLEIN D. Charles River Laboratories. AI Drives Sustainable Histology at Charles River Laboratories, 2022, Accessed date: 04/05/2022. <https://www.criver.com/eureka/ai-drives-sustainable-histology-charles-river-laboratories>
79. PATRICK D., MOGHTADER J., WANG H., DE HAAN K. & RIVENSON Y. Deep Learning-Enabled Virtual H&E and Fluoro-Jade B Tissue Staining for Neuronal Degeneration. In 40th annual symposium, Baltimore, MD, USA, 2021. <https://websitev0.s3.us-west-1.amazonaws.com/path2021.pdf> - <https://pictorlabs.ai/publications>
80. I2SL. Laboratory benchmarking tool. Operational practices, 2021, Accessed date: 21/01/2022. <https://lbt.i2sl.org/operational-practices/charts>
81. International Institute for sustainable laboratory (I2sL). Introducing Smart Labs, 2022, Accessed date: 02/05/2022. <https://smartlabs.i2sl.org/introduction.html#champion>
82. Université de Tours. Une démarche en faveur du développement durable au laboratoire IBrain, 2022, Accessed date: 02/02/2022. <https://www.univ-tours.fr/1-universite/nos-valeurs/transition-ecologique/une-demarche-en-faveur-du-developpement-durable-au-laboratoire-ibrain>
83. Le monde académique doit définir une éthique environnementale de la recherche *Le monde*, 2022, https://www.lemonde.fr/sciences/article/2022/03/16/le-monde-academique-doit-definir-une-ethique-environnementale-de-la-recherche_6117692_1650684.html

RESSOURCES INTERNET - WEBINAIRES ET SITES WEB

1. Groupe Zotero sur internet : https://www.zotero.org/groups/2456339/empreinte_cologique_de_la_recherche_carbon_footprint_of_research/items/F6FH87NC/library
2. <https://labos1point5.org/les-enquetes>
3. Bibliographie collective actualisée proposée par Labo1point5 : <https://labos1point5.org/la-litterature>
4. Outil de diagnostic pour l'impact numérique de ses équipements informatiques : <https://ecoinfo.cnrs.fr/2020/05/06/ecodiag/>
5. Collecte de bonnes pratiques en animalerie par l'association FELASA : <https://felasa.eu/about-us/library/3rs-reduce-reuse-recycle>
6. Newsletter gratuite de l'association I2SL – International Institute for Sustainable Laboratories : <https://www.i2sl.org/resources/newsletter.html>
7. I2SL - International Institute for Sustainable Laboratories : <https://smartlabs.i2sl.org/>
8. Méthodes recensées par l'Ademe pour l'évaluation : <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-l'action/cadre-methodologique-ademe-levaluation-environnementale>
9. Analyse du cycle de vie, méthode d'évaluation environnementale <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-l'action/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv>
10. Figure 11 : image statistique libre de droit provenant de : <https://fr.statista.com/infographie/17800/big-data-evolution-volume-donnees-numeriques-genere-dans-le-monde>
11. Base de données collaboratives, mise à disposition par l'I2SL, permettant d'estimer le retour sur investissement lors d'achats d'équipements scientifiques plus onéreux mais énergétiquement plus efficaces. <https://lbt.i2sl.org/>
12. Figure 13 : Illustration du plastique utilisé dans un laboratoire de recherche médical : <https://www.flickr.com/photos/14214150@N02/15834977505>
13. Figure 14 : Image libre de droit illustrant la pollution plastique sur les plages : <https://pxhere.com/fr/photo/802303>
14. Figure 16 : Poster illustrant la chimie verte (green chemistry) : <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>