

- Russie, Sibérie, le site de Norilsk : mine de nickel et de palladium.
- Indonésie, le site de Grasberg : première mine d'or et 3^e de cuivre, située à 4000m d'altitude.

Les modes d'extraction

L'article ⁽²⁾ nous explique que d'un côté l'extraction et le raffinage des métaux nécessitent de l'énergie (souvent carbonée) et de grandes quantités d'eau. Cela contribue à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et au stress hydrique des pays producteurs.

De l'autre côté, la croissance de la consommation participe à l'augmentation des déchets. Depuis les années 2000, le remplacement des équipements électriques et électroniques ne cesse de progresser, jusqu'à atteindre 52 millions de tonnes en 2021 contre 45 millions en 2016. La plupart des déchets sont mis en décharge et donc brûlés. D'autres ont fait l'objet de commerce illégal avec un traitement non conforme aux normes. Cette absence de gestion de fin de vie est d'autant plus inquiétante que ces déchets sont dangereux et polluants.

La réponse traditionnelle à cette problématique est fortement corrélée aux politiques de recyclage. Néanmoins, si les grands métaux (cuivre, fer, etc.) et les métaux précieux (or, platine) sont relativement bien recyclés, la majorité ne le sont pas comme la quasi-totalité des petits métaux utilisés pour les fonctions *high-tech*.

Plusieurs raisons techniques ou économiques limitent le développement du recyclage de ces métaux. Les métaux présents en faible quantité sont utilisés sous forme d'alliages complexes. Or, si ces alliages permettent d'amplifier les performances énergétiques et rendent possible la miniaturisation des équipements, ils complexifient énormément le recyclage. L'industrialisation des processus de recyclage dans le numérique est complexifiée par la multiplicité des équipements. Les métaux subissant une dégradation avec l'usage, le métal recyclé perd une partie de ses performances technologiques.

Par ailleurs, du fait de la croissance de notre consommation et du décalage temporel et spatial entre production et recyclage, le recyclage de nos équipements ne permettra jamais de couvrir l'ensemble de nos besoins. Face aux enjeux environnementaux, le recyclage des métaux contenus dans les équipements numériques ne doit pas constituer l'unique réponse et doit s'accompagner de politiques visant à réduire notre consommation des matières premières.

Impacts

Le métal ne se trouve pas sous une forme pure mais emprisonné dans des minéraux imbriqués en minerais. 80% de la dépense énergétique d'une mine est dépensée dans le broyage afin d'extraire le métal. Le métal, entouré d'autres substances révèle des matières potentiellement dangereuses pour toute forme de vie. De plus, son raffinage comporte des étapes qui utilisent beaucoup d'eau douce et d'acides. Le recyclage de certains métaux est compliqué car il nécessite des techniques complexes.

Dans son article ⁽⁴⁾, Jane Da Silva, alerte que nos rêves du «tout digital» exigent d'énormes quantités de métaux et de ressources génératrices de millions de tonnes de déchets non dégradables. La pression minière de ces substances est telle que, pour répondre à la demande, les impacts environnementaux risquent d'être supérieurs aux effets que l'on tente d'éviter par des solutions dites «technologies renouvelables». Les enjeux environnementaux sont-ils en train de mettre un terme à notre futur «monde numérique» ? L'article suivant ⁽²⁾ nous apporte des éclairages intéressants.

Les mines sont la face cachée de la numérisation.

Références

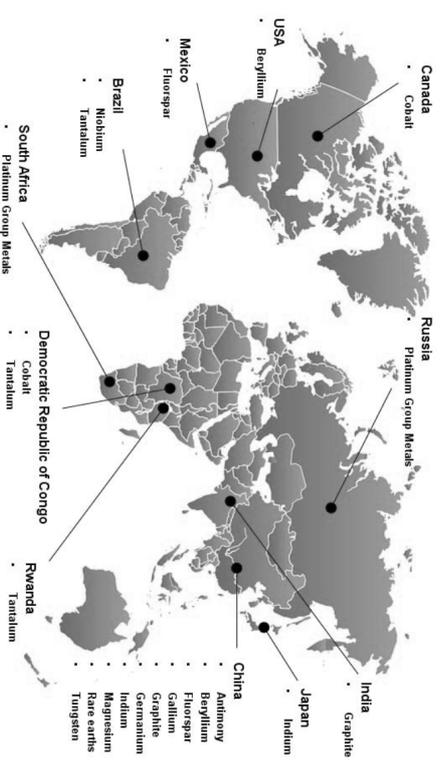
- (1) [«On va extraire autant de métaux dans les trente prochaines années que ce que l'humanité a extrait jusqu'à présent». Interview de Mareke Van Lichtenvelde \(liberation.fr, 20/06/2023\)](#)
- (2) [La consommation de métaux du numérique : un secteur loin d'être dématérialisé. Liliane Dedryver \(strategie.gouv.fr, 03/2020, pdf\)](#)
- (3) [Des matières en or \(eduscol.education.fr, pdf\)](#)
- (4) [L'avenir du numérique face à l'extraction des métaux. Jane Da Silva \(14/12/2022, mbamci.com\)](#)

Loi de l'image de secteur immatériel qui lui est trop souvent associée, le numérique alimente sa croissance exponentielle grâce à une quantité également croissante de métaux. Les réseaux sont ainsi de grands consommateurs de cuivre. L'ensemble de nos équipements nécessite pour leurs fonctionnement une quantité conséquente de petits métaux (tantale, gallium, germanium) et de métaux précieux (or, platine). Bien que consommés en très faibles quantités, ces métaux sont vite devenus indispensables, par leurs caractéristiques exceptionnelles, amplifiant les performances de nos équipements. Cette consommation s'inscrit dans un contexte de forte hausse de la demande mondiale de métaux, aussi bien en volume qu'en diversité des métaux consommés.

Lieux d'extraction des matières premières

Cette carte montre que les matières premières sont extraites pour la plupart en Asie, Océanie et en Afrique ⁽³⁾.

PRODUCTION DES MATIÈRES PREMIÈRES STRATÉGIQUES



Cartographie : [Commission européenne, 2010](#), licence CC

Les sites miniers les plus grands du monde sont liés à l'extraction de ces métaux :

- Afrique du sud, le site de Palabora : mine de cuivre à 360 km au nord-est de Pretoria qui mesure 2000 mètres de diamètre et 762 mètres de profondeur. Exploitée pendant 38 ans, l'exploitation à ciel ouvert a été abandonnée par ses propriétaires Rio Tinto en 2002, mais l'exploitation souterraine persiste. L'ampleur de l'impact environnemental est visible.

résistant aux torsions. Excellent conducteur de chaleur et d'électricité, transparent aux rayons X, résistant à la corrosion et aux acides. Ce métal est présent dans les fours micro-ondes sous forme d'oxyde de béryllium (magnétrons des micro-ondes) mais aussi dans nombre de circuits intégrés.

Le cobalt : Utilisé dans les batteries au lithium des ordinateurs portables et smartphones.

La fluorine : Utilisée pour produire un gaz de gravure des circuits intégrés ainsi que dans la production des batteries au lithium.

Le gallium : Utilisé dans les panneaux solaires, les circuits intégrés ou les cartes électroniques des consoles de jeu, par exemple. En 2008, 95 tonnes de gallium ont été produites. La France, les USA et le Japon en sont les principaux raffineurs.

Le germanium : Récupéré à partir du zinc. Les semi-conducteurs en germanium sont utilisés dans la composition des diodes électroluminescentes (LED).

L'indium : Métal rare extrait des mines de zinc, il est utilisé dans la fabrication des écrans plats.

Le niobium : En grande partie issu du minerai le pyrochlore. Sa production et sa consommation ont doublé en 10 ans. Il renforce l'acier. Utilisé pour construire des fusées, des pipelines ou encore des châssis d'automobiles. Il se retrouve aussi dans les micro-condensateurs utilisés dans des produits *high-tech* comme les appareils photos numériques par exemple.

Le platine : Rare métal précieux utilisé dans les surfaces des disques durs.

Le tantale : Utilisé pour fabriquer des condensateurs électrolytiques très performants, même miniaturisés. Présents dans de nombreux produits *high-tech* comme les téléphones portables, ordinateurs portables, appareils photos, caméras, consoles de jeux, mais aussi dans les nouvelles générations de lave-linge par exemple.

Les «terres rares» : Regroupement de 17 métaux proches dans leur composition chimique (scandium, yttrium, lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, prométhéum, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutécium.) La Chine est la seule nation à les exploiter. Les amplificateurs des écouteurs haut de gamme de l'ipod utilisent des aimants permanents en néodyme.

Le tungstène : Utilisé dans la fabrication de filament d'ampoules grâce à son point de fusion le plus élevé des métaux. Combiné à d'autres métaux il renforce les alliages. Utilisé dans de nombreux outils de forage et de découpage, comme les mèches et les forets de nos perceuses.

Produire

Les outils numériques que nous utilisons toutes et tous au quotidien contiennent nombre de circuits intégrés, microprocesseurs ou microcontrôleurs. Leurs lieux de production principaux ne se situent pas en Europe. L'usage de ces appareils, en forte croissance, nécessite une production de plus en plus importante, et par conséquent augmente les répercussions sur l'environnement.

Les lieux de production

En 2024, la majorité des designers de composants électroniques sont installés aux États-Unis et en Corée du Sud. Malgré cela, ce n'est pas dans ces pays que se fait la plus grande partie de la production mais en Chine et à Taïwan. On peut prendre l'exemple d'Apple, entreprise américaine, qui conçoit ses produits en Californie mais qui utilise un vaste ensemble de sous-traitants, principalement en Asie, pour produire les éléments de ses produits et les assembler. Mais cela n'a pas toujours été le cas !

En effet, dans les années 80, le Japon était considéré comme le leader de la production de semi-conducteurs et représentait la moitié du marché mondial. Mais avec l'éclatement de la bulle spéculative japonaise à la fin des années 80, il a perdu son rôle de leader au profit de l'Europe et des États-Unis. Ces deux nations contrôlaient chacune approximativement 40% du marché mondial au début des années 90.

En 2022, 70% de la production mondiale se trouve en Asie répartie entre la Corée du Sud, la Chine et Taïwan, suivie par le Japon (13%) et par les États-Unis (8%).

Pourquoi Taïwan ?

Cette île du Sud de l'Asie est devenue un des leaders mondiaux de la fabrication de composants électroniques. Mais cela ne s'est pas fait sans raison. Tout d'abord, Taïwan se situe dans un bassin économique très important dans le monde de l'électronique à proximité des pays consommateurs mais surtout, comme nous l'avons déjà évoqué, également producteurs de composants et extracteurs des matières premières essentielles à la fabrication. En outre, le gouvernement Taïwanais a mis en place une politique gouvernementale favorisant le développement du milieu éducatif et un fort investissement dans la recherche. Un rapprochement entre le milieu de la recherche universitaire et les entreprises privées a également été encouragé. Ces mêmes entreprises ont pu profiter d'une fiscalité incitative pour venir s'installer sur leur territoire. Les taïwanais ont mis à disposition des parcs industriels dédiés à la production de composants

électroniques. Des employés très qualifiés, des infrastructures de qualité et un coût en main d'œuvre moins élevé que celle des pays occidentaux ont fait de Taïwan un des leaders mondiaux de la production de semi-conducteurs.⁽³⁾

L'assemblage dans la chaîne de production

La création d'un produit électronique est divisée en trois grandes étapes : la conception (design), la fabrication des composants et l'assemblage. Cette dernière étape consiste en l'assemblage des composants électroniques par soudure sur une carte de circuit imprimé nue (PCB) qui passera ensuite par le contrôle qualité.

Certaines entreprises qu'on désigne comme *fabless*, comme NVIDIA ou Apple, sont spécialisées dans la conception électronique et sous-traitent le reste du processus. Les entreprises qui vont ensuite s'occuper uniquement de la production sont appelées *fonderies*. Certaines entreprises, comme Samsung et Intel, s'occupent de toutes les étapes de fabrication.⁽¹⁾

On retrouve ensuite ces PCBA (PCB assemblé) dans tous les domaines de l'électronique.

Les conditions de travail

L'assemblage des produits électroniques en Chine soulève beaucoup de critiques liées aux très mauvaises conditions de travail et aux violations du droit du travail : salaires très faibles, exploitation, horaires de travail extensifs, mauvaises conditions de sécurité, manipulations de produits toxiques, allant jusqu'à la tristement célèbre vague de suicide chez Foxconn en 2010. Ces mauvaises conditions de travail sont regroupées sous le terme *sweatshop*, qui les rapproche des conditions de travail en prison (ce terme est employé depuis 1850).

En 2021, Apple utilise des composants fabriqués dans 43 pays en les faisant assembler par des mégafirmes taiwanaises : [Foxconn](#) (dont le chiffre d'affaires en 2021 atteint 214 milliards de dollars US), [Pegatron](#), [Wistron](#) ou [Compal Electronics](#).⁽⁷⁾

La crise des composants électroniques

L'année 2020 a marqué le début d'une pénurie de semi-conducteurs à l'échelle planétaire qui durera plusieurs années. Avec la crise covid-19 de 2020, les confinements et la mise en place du télétravail ont généré une augmentation du besoin en ordinateurs, en écrans et en webcams. Mais ce n'est pas le seul facteur. Une augmentation du nombre d'accidents climatiques, liés à une dégradation globale du climat, impacte la production de semi-conducteurs. En 2021, la

Extraire

Nous nous sommes interrogés sur les métaux, indispensables à la fabrication des objets numériques. Ces métaux, matières premières souvent rares et précieuses, connaissent une demande croissante, ce qui provoque un impact économique, environnemental et humain inquiétant.

Dans le contexte actuel, les marchés des technologies de l'information et de l'économie verte ont créé des tensions sur certaines matières premières. Une grande partie d'entre elles entrent dans la composition des appareils électriques et électroniques. Dans une interview du 19 juin 2023, la géologue Marieke Van Lichtervelde nous alerte : «*On va extraire autant de métaux dans les trente prochaines années que ce que l'humanité a extrait jusqu'à présent*»⁽¹⁾

Pour notre sujet, articulons notre recherche sur 3 axes :

- Quels sont les métaux rares et précieux devenus des composants essentiels pour nos machines (ordinateurs, smartphones, etc...)?
- Quels sont les lieux et modes d'extraction de ces matières premières ?
- Comment ces matériaux sont extraits des mines et quels sont leurs impacts sur l'environnement, la santé des populations locales et les conditions de travail ?

Les matériaux rares et précieux comme composants essentiels pour nos machines

Les appareils électriques et électroniques sont des concentrés de technologies et de procédés innovants. Pour les fabriquer il faut de nouvelles matières premières, des métaux aux innombrables propriétés. Peu exploitées hier encore, elles sont aujourd'hui au cœur d'enjeux mondiaux.

Les matières premières critiques

Les 14 matières premières stratégiques sont l'antimoine, béryllium, cobalt, fluorine, gallium, germanium, graphite, indium, magnésium, niobium, platine, tantale, terres rares et tungstène. Ces 14 matières premières stratégiques sont particulièrement utilisées dans la fabrication d'appareils électriques et électroniques^(2,3).

L'antimoine : Élément d'alliage pour durcir d'autres métaux utilisés dans l'industrie des semi-conducteurs, dans les téléphones portables notamment.

Le béryllium : Plus léger que l'aluminium et plus rigide que l'acier, cela le rend très

Partenaires

Ce guide est réalisé grâce au soutien de la fondation AFNIC, dans le cadre de l'appel à projet [Ateliers numériques 2023](#) et la Région Bretagne, dans le cadre du programme [DEFFINOV](#).

La Fondation Afrnic pour la Solidarité Numérique a pour objet le soutien au développement d'un internet solidaire, la formation et la sensibilisation à ses usages, par le soutien des initiatives locales et structurantes de solidarité numérique et à des projets de recherche portant sur le thème de la solidarité numérique.

Le programme DEFFINOV de la Région Bretagne a pour objectif de promouvoir de nouvelles formes d'apprentissage innovantes et de faire lien entre tiers-lieu et organismes de formation. Dans ce cadre là, le fablab devient un espace d'expérimentation des pédagogies par le faire soi-même et le faire ensemble.



sécheresse à Taïwan bloque des usines de puces électroniques qui ont besoin de plusieurs dizaines de milliers de tonnes d'eau par jour pour fonctionner. Des usines américaines ont dû fermer à cause de coupures de courant pendant certaines tempêtes de neige.

L'augmentation des coûts de l'énergie, la guerre en Ukraine ou l'obstruction du canal de Suez suite à l'échouage d'un cargo font augmenter les coûts de production et de transport.

Parallèlement, l'accroissement de l'activité de « minage des cryptomonnaies », la croissance exponentielle des projets liés à l'intelligence artificielle, nécessitent énormément de semi-conducteurs et de nombreuses cartes graphiques récentes.

La fin de la crise commence à se faire ressentir en 2023 après beaucoup d'investissements dans le privé. Comme on vient de le voir, il s'agit d'un marché qui peut être très fluctuant. Pour éviter de nouvelles crises, plusieurs puissances économiques investissent également dans le développement de puces électroniques comme au États-Unis ou en Chine. L'Union Européenne, en 2023, a mis en place l'initiative *Chips for Europe* qui a pour objectif de doubler sa part dans la production mondiale de semi-conducteurs d'ici 2030, en la portant à 20%.⁽⁴⁵⁾

L'impact écologique de la production d'électronique

Le principal impact écologique de la conception de matériel électronique est l'émission de gaz à effet de serre qui est responsable de 4% des émissions totales (plus que l'aviation). En France, en moyenne, une personne utilise près d'une tonne de matériaux, dont 300kg de déchets par an pour son usage numérique. Mais c'est surtout la phase de production qui pollue le plus. Dans le circuit d'un produit, 78% de son impact environnemental est lié à l'étape de fabrication, 21% à la phase d'usage et 1% lors de son transport. En d'autres termes, lors de l'achat d'un produit neuf, avant la moindre utilisation, il est déjà générateur de 80% de l'ensemble de ses émissions de gaz à effet de serre. Parmi ces équipements, la production de moniteurs (écrans) représente l'impact environnemental majoritaire du numérique situé entre 65 et 90%. Ces chiffres rendent compte de l'intérêt écologique du réemploi.⁽⁶⁾

Références

- (1) [Qui se partage l'industrie des puces électroniques ?](#), Tristan Gaudiaut (fr.statista.com, 11/04/2023)
- (2) [Technologie : quels pays peuvent fabriquer le plus de puces électroniques ?](#), Tristan Gaudiaut (fr.statista.com, 6/12/2023)
- (3) [Pourquoi Taïwan fabrique des semi-conducteurs ?](#) (mercataiwan.fr)
- (4) [Pénurie de composants électroniques de 2020-2023](#) (fr.wikipedia.org)
- (5) [Le secteur européen des semi-conducteurs](#) (consilium.europa.eu)
- (6) [Etude ADEME – Arcep sur l'empreinte environnementale du numérique en 2020, 2030 et 2050](#) (arcep.fr, 13/03/2023)
- (7) [Apple Supply Chain](#) (en.wikipedia.org)

Démarches

Pendant 1 an, l'association les Portes Logiques a travaillé au projet « Planète numérique » aboutissant à la rédaction de ce guide. Cette recherche collective a été documentée au fur et à mesure des séances d'ateliers. Ce guide a été réalisé à partir des notes prises par les participantes, bénévoles et salariées et mises en forme collaborativement pendant un « édithaton » animé par Elisa de Castro Guerra de **FLOSS Manuals**. Pendant trois jours, les participantes ont synthétisé, organisé et rédigé le guide sur une plateforme de web2print. Vous tenez entre les mains le résultat de ce travail!

La meilleure manière de réduire notre empreinte écologique étant de faire durer le plus longtemps possible nos objets numériques, nous avons interrogé la réparabilité des machines électroniques et autres prothèses numériques afin d'en prolonger la durée de vie.

Maintenant, à vous de jouer!

Remerciements aux participantes des ateliers : Agnès, Alexandre, Alysea, Antufa, Christian, Cyril, Cyrille, Denis, Elisa, Fanny, Fatima, Florent, Gweltaz, Jade, Jean, Kaëna, Laure, Lewa, Lou, Loula, Martin, Olivier, Pascal, Patrick, Perrine, Pierre, Régis, Sofya, Thomas, Victor, Yann.

Remerciements aux rédacteur·rice·s : Alexandre, Christian, Elisa, Gweltaz, Laure, Loula, Martin, Pascal, Patrick, Pierre, Victor.

Les portes logiques

L'association « [Les portes logiques](#) », fondée en 2015 consacre ses activités à faire découvrir les cultures numériques, par une approche créative, ludique et critique des technologies. Depuis fin 2023, elle anime un fablab intégré au tiers-lieu [Flux](#), à Quimper, qui fait la part belle à la création protéiforme : textile, graphisme, son, code créatif et installation interactive. Nos projets sont documentés sur le [wiki](#) de l'association sous licence libre et utilisent des logiciels libres multiplateforme ainsi que du matériel électronique de réemploi.

FLOSS Manuals

FLOSS Manuals est une plateforme de partage et de co-création plurilingue, elle met à la disposition du grand public et des professionnel·le·s une collection d'ouvrages sur les logiciels, la culture libre et le matériel libre. Elisa de Castro Guerra, membre fondatrice de Floss Manuals Francophone, a animé au fablab l'édithaton.

Constats

Sur les questions de production, de consommation alimentaire et vestimentaire, sur les modes de déplacement, dans l'architecture et le bâtiment, la dimension écologique touche de plus en plus de personnes. Pourtant, peu de personnes ont une vision écologique du numérique, voire même, ils pensent parfois à tort que le numérique est écologique (car non palpable). Nous-même, en créant un projet de tiers-lieux (FLUX) dans lequel le fablab est installé, nous avons pensé à la dimension écoresponsable de la rénovation (choix des matériaux peu polluants et locaux, réemploi) mais la dimension écoresponsable de nos futurs usages numériques n'était pas une évidence pour toutes. Entre fausse croyance et méconnaissance, un numérique écoresponsable reste un objectif à atteindre.

Parallèlement à ce 1^{er} constat, depuis l'ouverture des temps d'accueil public en 2017 (tous les mardis de 15h à 20h30), le numérique reste une sorte de «boîte noire magique» pour les différents publics qui fréquentent le fablab. Cette «boîte noire magique» assez peu accessible et toujours mystérieuse quant à son fonctionnement, intéresse et soulève une multitude de questions : d'où viennent mes outils numériques du quotidien (ordinateur, smartphone, imprimante, etc.)? Comment fonctionnent-ils? Quelle est leur consommation? Que devient le portable qui dysfonctionne que j'ai déposé à la déchetterie? Pourquoi dois-je recharger mes batteries de téléphone si souvent? Ces questions, fréquemment posées lors des permanences hebdomadaires, révèlent une curiosité pour le sujet.

Enfin, tous les ans, des personnes franchissent la porte du fablab avec des demandes diverses concernant des outils numériques qui dysfonctionnent : écrans cassés, batterie défectueuse, disque dur planté, câble de chargeur coupé, impossibilité d'accès à ses mails, etc. Il y a des personnes aux moyens financiers limités et aussi des envies de réparer pour ne pas surconsommer. Mais comment faire? Comment s'y prendre pour démonter et remonter?

Diagnostic à poser et protocole à suivre pour réparer, il nous manquait LE manuel! Ce petit guide pratique qui accompagne chaque bricoleur-se en herbe ou confirmé-e à faire par soi-même et avec les autres. Un manuel reproductible et qui trouvera sa place dans toutes les bibliothèques des fablabs et autres lieux de cultures numériques.

Dépenser

Ordinateurs, smartphones, appareils connectés, services de streaming, sauvegardes sur le cloud, nos pratiques quotidiennes, au bureau comme à la maison, n'ont eu de cesse de se multiplier au cours de la dernière décennie et ont connu une nette augmentation avec le début de la pandémie et du télétravail généralisé. Certaines parties de la population sont plus concernées que d'autres. Commençons par imaginer plusieurs journées types.

Mathou

Dès le réveil, Mathou effectue une vérification systématique des outils de communication (avec le tour des e-mails), des réseaux de discussion instantanée et des réseaux asynchrones (dits «sociaux»). Puis, une vérification de l'agenda et des articles récents issus des sites d'information grand public, ou de niche, ont aussi fait partie de ce premier balayage.

Durant la journée, des vérifications régulières sont également effectuées sur cette même routine pour être certain de ne rien oublier. L'usage du numérique est également présent pour le travail professionnel quotidien, avec l'utilisation régulière de logiciels de documentation, de création, de suites bureautiques comprenant de nombreuses applications connectées à Internet et de plateformes en ligne. Sur les temps de pause, Mathou se connecte quotidiennement à son compte bancaire, à des magasins de-commerce en ligne. Mathou aime écouter de la musique en streaming ou regarder des vidéos en ligne. Pour le travail et le loisir, Mathou échange avec d'autres, via la visioconférence ou des messages vocaux asynchrones. Pour ses déplacements, aussi bien à pied qu'à vélo, Mathou privilégie l'utilisation de GPS pour être sûr-e de ne pas se perdre.

En soirée, Mathou aime se divertir en jouant aux jeux vidéos, parfois sur des jeux multijoueurs en ligne et parfois sur des jeux en solo, connectés ou non. Des passages en revue réguliers sont effectués pour vérifier l'arrivée de nouvelles informations sur la messagerie et les réseaux sociaux.

Les habitudes de Mathou impliquent d'autres outils numériques pour supporter ses différents usages. L'utilisation d'Internet nécessite une box ou un routeur branché en permanence. De nombreuses applications diverses sur ordinateur ou smartphone sont utilisées tout au long de la journée pour remplacer les pendents *low tech* ou déconnectés (stylo, crayon, calculatrice). De nouveaux objets connectés viennent compléter cet arsenal numérique divers, par exemple un déshumidificateur connecté qui transmettra des données téléométriques quotidiennes.

Sacha

La routine matinale de Sacha commence par une vérification des emails et des messageries instantanées. Un coup d'œil à l'agenda pour s'assurer du planning de la journée et une consultation des sites d'informations pour se tenir à jour.

La journée de travail n'est pas centrée sur l'ordinateur, néanmoins, un usage régulier est effectué de l'ordinateur pour vérifier les comptes bancaires, effectuer des achats en ligne et s'occuper de la correspondance scolaire des enfants du foyer. Sacha utilise également le smartphone pour passer des appels téléphoniques, des SMS et utiliser WhatsApp. Le GPS est fréquemment utilisé également pour trouver son chemin lors d'un nouveau trajet ou se repérer dans un dédale de nouvelles rues.

Le soir Sacha aime à retrouver du monde, ou à regarder en solo une série télévisée ou un film sur la télévision classique ou en streaming. Sacha a pris l'habitude de débrancher sa box avant de dormir.

Nos observations

Lors de nos ateliers, nous avons été surpris·es de constater de fortes similitudes dans l'utilisation du smartphone ou de l'ordinateur selon les générations. La distinction porte davantage sur les noms des applications et des logiciels que sur leurs usages. Nous avons également été surpris·es de l'impact, finalement mineur, du type de travail quotidien sur l'usage des outils numériques. Que le travail soit centré sur l'ordinateur, ou utilisé comme outil pour d'autres fins, les objets numériques sont néanmoins présents. Finalement, que cela soit par contrainte professionnelle, pression sociale ou effet de mode, le numérique est présent dans nos vies.

Comment évaluer notre consommation de numérique ? Il est plus facile d'évaluer la consommation électrique que notre usage du numérique. Les données dématérialisées sont plus difficiles à quantifier. Pourtant les acteurs du web doivent avoir de nombreuses informations sur notre consommation du numérique, mais comment y accéder ? Est-ce que les GAFAM^(*) entretiennent sciemment cette opacité ?

Des applications intéressantes commencent à émerger. Par exemple [Exodus Privacy](#) analyse les applications Android afin de lister les pisteurs embarqués. De nombreuses calculatrices de bilan carbone existent également. Ces applications ne répondent pas aux questions suivantes : Est-ce que toutes ces pratiques sont nécessaires ? Existe-t-il des alternatives moins énergivores? Réduire son impact environnemental individuel est-il suffisant, voire pertinent ?

- (*) GAFAM : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft

Introduction

Les enjeux environnementaux actuels révèlent des dysfonctionnements dans nos pratiques en général, le secteur du numérique n'en est bien évidemment pas exclu : obsolescence et surconsommation des outils numériques, extraction de minerais non renouvelables, besoins énergétiques toujours plus importants pour stocker nos données, etc.

Comment réduire au maximum l'empreinte écologique de nos pratiques numériques?

Vous vous demandez : comment et où sont fabriquées les technologies? Comment et où sont stockées nos données? Comment réparer en cas de panne pour que chacun·e, à son niveau, puisse œuvrer à une plus grande sobriété numérique?

Vous tenez entre les mains le guide qui vous accompagnera à explorer, diagnostiquer et éventuellement réparer vos outils numériques.

À travers ses différents chapitres, voyagez tout d'abord dans le contexte de production des appareils numériques depuis l'extraction des minerais jusqu'à l'assemblage du « produit » avant de découvrir les méthodes de réparation accessibles en fablab.

Un lexique ainsi qu'une bibliographie vous permettront de ne pas perdre le fil et de vous repérer tout au long de votre lecture.

À la fin du guide, six fiches d'ateliers sont à votre disposition pour animer, dans vos lieux, des temps de sensibilisation à notre environnement numérique.

NB : Sans souhaiter l'obsolescence de ce guide, nous sommes conscient·es de l'évolution extrêmement rapide des procédés de fabrication des outils numériques. Nous comptons sur vous pour actualiser ces recherches au gré du temps. N'hésitez pas à copier, coller, contribuer, pour toujours cultiver un regard curieux sur le monde numérique qui nous entoure.

Numériquement vôtre,
L'équipe des Portes Logiques
Quimper, octobre 2024

Ressources

- [Commissariat général au développement durable, Numérique et consommation énergétique \(2019\)](#), (consulté le 23 mai 2024)
- [Réseau de Transport d'Électricité \(RTE\), La part du numérique dans la consommation électrique des français \(2019\)](#), (consulté le 23 mai 2024)

Les ateliers	93
Vue exposée	94
Trésors numériques	97
Lithium impact	100
Hyper connecté	102
Recettes de fabrication	105
Le grand magasin	108
Colophon	111

Outiller	47
Équipements de protection individuels (EPI)	47
Démonter	47
Réparer	49
Instruments de mesure	51
Alimentation	51
Soudage	53
Dessoudage	55
Réparer	57
Une opération de base : le soudage / dessoudage	57
Nettoyage	60
Cas pratiques de réparation	60
Réparation d'une paire d'enceintes	60
Réparation d'un casque audio	64
Réparation d'une enceinte amplifiée	65
Remplacer	65
Pièces de remplacement	65
Composants électroniques	65
Refabrication	66
Réemployer	67
Cellules lithium	67
Réparer une batterie, une affaire complexe	68
Démonter une batterie hors-service	69
Batteries externes upcyclées	70
Recréer une batterie entièrement	71
Se débarrasser des vieilles cellules	72
Chargeurs	75
Prolonger	79
Durée de vie des batteries	79
Durée de vie des ordinateurs	80
Démarches éthiques	80
Règles de sécurité	83
Portez un équipement qui vous protège	83
Mettez en place un environnement adapté	83
Utilisez les outils adéquats pour l'usage prévu!	84
Si vous manipulez des circuits électroniques	84
Bibliographie	87
Réparation pratique	87
Électronique pratique	87
Réflexion	88
Lexique	89

Réduire

Comment adapter ses nombreux usages du numérique à un comportement qui allie à la fois la sobriété et la sécurité sans trop rogner sur la facilité offerte par notre appareillage numérique? Ce chapitre apporte quelques propositions de comportements pour limiter l'utilisation des ressources.

Matériel (hardware)

Il existe des bonnes pratiques d'utilisation de nos différents outils comme les téléphones, ordinateur portables etc.

- Branchez vos appareils tant que la batterie n'est pas complètement chargée, puis débranchez, cela augmentera la durée de vie des batteries;
- Achetez d'occasion des machines reconconditionnées. Ne pas rechercher absolument la nouveauté permet de réduire la pollution liée à la fabrication;
- Réduisez la taille des moniteurs et des écrans de smartphone, adaptez les écrans à vos besoins;
- Désactivez le Bluetooth et le wifi lorsque vous en avez pas besoin, passez en mode avion lorsque vous n'avez pas besoin d'être sur le réseau téléphonique;
- Coupez votre box internet lorsque vous ne vous en servez pas. Créez un planning de créneaux d'utilisation automatique;
- Évitez les gadgets connectés;
- Jouez à des jeux rétro, moins gourmand en énergie consommée ;)

Logiciel (software)

Il existe également des bonnes pratiques de comportement en ligne :

- Utilisez des services/logiciels en version locale (sur votre ordinateur) plutôt qu'en ligne;
- Réduisez la « qualité » (le poids) des contenus consommés. Cela améliore le streaming et le téléchargement des fichiers multimédias. Réduisez la résolution des vidéos pour rendre plus fluide leur visionnage;
- Téléchargez et stockez des fichiers compressés;
- Réduisez l'utilisation de VPN, contrôle à distance, ...
- Bloquez publicité et pop-up dans les navigateurs web;
- Désinscrivez-vous des infolettres qui ne vous intéressent plus;
- Bloquez les lectures automatiques de contenu sur le web;
- Stoppez votre caméra lors de visioconférence quand l'image n'est pas nécessaire;
- Supprimez les emails déjà lus;

- Faites le tri dans ses données stockées en ligne (cloud, « drives » et réseaux sociaux);
- Bloquez la télémétrie/collecte de données ou cherchez des alternatives (exemple: VSCodium à la place de VSCode, changer les paramètres de Firefox sur la collecte de données);
- Gérez les permissions sur les logiciels pour réduire les accès et les connections non sollicitées et parfois non nécessaires. Réalisable sur les applications Android. (paramètres / applis / autorisations)

Ressources

- [CGE \(Conseil Général de l'Économie\). Réduire la consommation énergétique du numérique \(economie.gouv.fr, 2019\)](#). (consulté le 23 mai 2024)
- [ARCEP. Pour un numérique soutenable \(arcep.fr, 2024, pdf\)](#). (consulté le 23 mai 2024)
- [Nothing to Hide](#) (film documentaire), réalisé par Marc Mellissoux et Mihaela Gladovic, 2017. 86 min. (visionable gratuitement en ligne sur plusieurs plateformes)
- [L'insoutenable usage de la vidéo en ligne \(thesnitproject.org, 2019\)](#)

Références

- (1) [L'ADN, le futur durable du stockage de données numériques ? \(biimedia.bpifrance.fr, 2/05/2023\)](#)

Table des matières

Introduction	7
Constats	8
Démarches	9
Extraire	11
Les matériaux rares et précieux comme composants essentiels pour nos machines	11
Les matières premières critiques	11
Lieux d'extraction des matières premières	13
Les modes d'extraction	14
Impacts	15
Produire	17
Les lieux de production	17
Pourquoi Taiwan ?	17
L'assemblage dans la chaîne de production	18
Les conditions de travail	18
La crise des composants électroniques	18
L'impact écologique de la production d'électronique	19
Dépenser	21
Mathou	21
Sacha	22
Nos observations	22
Réduire	25
Matériel (hardware)	25
Logiciel (software)	25
Démonter	27
Règles de sécurité	27
Organisation	27
Exemples	27
Reconnaitre et Identifier...	31
... Les éléments d'un ordinateur	31
... Les composants	32
Identifier visuellement les composants	33
Trouver de la documentation	38
Sur les composants	38
Sur les appareils	38
Diagnosticuer	41
Règles de sécurité	41
Par où commencer ?	41
Le cas particulier des ordinateurs	44

Démonter

Dans ce chapitre, nous explorerons les étapes essentielles pour démonter en toute sécurité divers appareils électroniques, que ce soit pour effectuer des réparations, récupérer des pièces ou simplement comprendre leur fonctionnement interne. Nous aborderons les outils indispensables, les précautions à prendre pour éviter d'endommager les composants sensibles, ainsi que les bonnes pratiques pour un démontage efficace et organisé.

Règles de sécurité

- Débranchez l'alimentation électrique de l'appareil : enlevez la batterie ou les piles, débranchez **ABSOLUMENT** la prise du secteur 240V
- Équipez-vous pour éviter les blessures : lunettes de protection, gants, etc.

Retrouvez les règles de sécurité complètes dans la rubrique dédiée : [Règles de sécurité](#)

Organisation

Prévoir un plan de table avec de la place et une bonne lumière.

Pour réussir à remonter l'appareil, il est utile de prévoir plusieurs contenants pour placer les vis et les petites pièces au fur et à mesure ainsi que prendre des photos au fil des étapes (un pilulier sera idéal!)

Matériel à prévoir :

- tournevis et une collection d'embouts,
- clés Allen,
- pince coupante,
- assortiment d'outils de démontage, si nécessaire (voir chapitre Outiller),
- une petite lampe de poche, ou une lampe frontale peuvent rendre service,
- ainsi qu'une loupe selon la taille de l'objet!

Exemples

Démonter un ordinateur, type «tour» : en général, un tournevis cruciforme suffit pour ouvrir et démonter les pièces internes de ce type d'ordinateur, et l'opération est assez simple. Parfois une pince coupante est utile pour enlever des colliers de serrage. Les connecteurs internes sont souvent sécurisés par un petit clip, il faut l'enlever avant de retirer le connecteur (nappes SATA, câbles d'alimentation)

Démonter un ordinateur portable : prévoir à portée de main un tournevis à embouts multiples, plutôt fins. Les vis utilisées sont de type plates, cruciformes, torx. Toutefois, pour bien se préparer avant de démarrer le démontage, on peut chercher le manuel de maintenance (voir : «Trouver de la documentation» à la fin du chapitre «Reconnaître / Identifier») ou un tutoriel de démontage car il est important de respecter les étapes dans l'ordre.

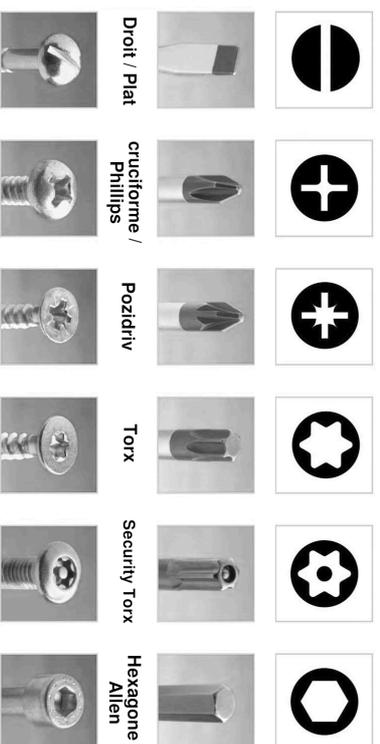
Démonter un téléphone / une tablette : les parties du boîtier sont en général «clipsées» ensemble, un ensemble d'outils de démontage en plastique peut rendre service pour maintenir au fur et à mesure du déclipsage. S'ils font défaut, on peut les remplacer par des médiateurs de guitare ou des pièces découpées dans des bouchons de bouteille de lait! Des petites cales de différentes épaisseurs peuvent aussi être utiles (carton, bois, gomme)

Démonter une console de jeu (ou une cartouche) : les fabricants de consoles de jeu utilisent parfois des vis aux têtes spéciales de type tri-wing, pentalobe, etc. qui nécessitent un jeu d'embouts spécifiques.

Parfois des vis se cachent sous les étiquettes et empêchent de démonter un boîtier, dans ce cas on peut sentir un creux en passant le doigt sur l'étiquette.

Diversité de vis

Il existe de nombreuses têtes de vis différentes ⁽¹⁾ qui vont nécessiter un embout adapté, chaque modèle est décliné en plusieurs tailles identifiées par des valeurs numériques (000, 00, 0, 1, 2, etc.)



Ressources

- ⁽¹⁾ [Inventaire des têtes de vis \(en.wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org)
- <https://fr.fixit.com/> plateforme collaborative de tutoriels
- <https://www.idoc.eu/guides/en/tutoriels/repair/smartphones>
- <https://www.manualslib.com/> collection de manuels d'utilisation et de réparation

GUIDE DE RÉPARABILITÉ À L'USAGE DES FABLABS

2024

1. La panne est-elle apparue en liaison avec un événement extérieur à l'objet?
 - orage, surtension secteur,
 - chute, chute dans une flaque (i)
2. La panne était-elle accompagnée de signes?
 - bruit suspect,
 - petite fumée malodorante ou odeur de brûlé,
 - message d'erreur ou code de panne, le cas d'échéant.
3. La panne était-elle due à un mésusage?
 - branchement d'un mauvais transformateur ou polarité inversée de piles.
4. L'appareil était-il utilisé régulièrement ou sorti d'un placard après plusieurs années d'oubli?
5. L'appareil comporte-t-il des pièces « consommables », par exemple la lampe d'un vidéoprojecteur ou une batterie interne.
6. Le dysfonctionnement a-t-il lieu?
 - par intermittence,
 - après X temps d'utilisation,
 - en déclenchant une fonction particulière,
 - en permanence,
 - en appliquant un mouvement particulier (par exemple: en jouant avec la prise de connection, ça marche plus ou moins)

Ensuite, une inspection de l'appareil peut aussi donner des indications précieuses, on pourra chercher :

- que l'appareil est bien complet! (manque t-il des éléments?),
- des connecteurs oxydés (en particulier dans les boîtiers de pile),
- des câbles endommagés (ce qui empêcherait la circulation du courant ou des signaux),
- des prises avec du jeu (ce qui indiquerait une soudure abîmée après de nombreux branchements / débranchements ou un choc),
- un gonflement : dans le cas d'un appareil avec une batterie interne, cela indique qu'elle est endommagée (et dangereuse!),
- un surplus de saleté : ventilateur encrassé, liquide séché qui bloque des boutons, etc.

Pour compléter tout ça, on peut tenter d'allumer l'appareil et essayer de le faire fonctionner en étant attentif aux signes de dysfonctionnements :

- bruits mécaniques,
- bruits parasites (pour les objets audio),
- odeurs de brûlé, chauffe excessive,
- comportement ou bruit anormal,
- fonction manquante.

Si'il ne s'allume pas, suivre le protocole ci-dessous.

Défauts d'alimentation

Dans le cas d'une alimentation par pile :

- Y a-t-il des traces d'oxydation dans le boîtier de piles?
- Les piles ont-elles coulées?
- Les piles sont-elles « bonnes » et correctement installées?

Dans le cas d'une alimentation par bloc transformateur ou chargeur :

- les connecteurs sont-ils en bon état?
- les connecteurs sont-ils bien fixés? (le contraire pourrait indiquer une soudure défectueuse)
- le bloc fournit-il la tension nécessaire? (à tester avec un multimètre).

Dans le cas d'un câble d'alimentation directement relié au secteur :

- est-il en bon état et correctement branché?

Dans tous les cas, il peut être utile de faire l'essai avec une pièce de remplacement identique. Les cables, audio en particulier, peuvent être testés avec un multimètre pour en vérifier la continuité.

Les réponses accumulées dans cet examen permettront déjà d'identifier les signes de la panne, un coup d'œil sur les manuels permettra peut-être de les relier à l'origine du problème.

Si ce n'est pas le cas, la prochaine étape consiste à démonter précautionneusement l'appareil pour un examen approfondi! Là encore, on peut s'aider d'une liste de questions pour identifier le problème :

- Y a-t-il un fusible amovible? Dans quel état est-il? Il est possible de le tester avec un multimètre (un fusible endommagé peut aussi être signe d'une autre panne);
- Les différents éléments internes sont-ils bien connectés?
- L'interrupteur d'alimentation est-il bien connecté?
- Les boutons fonctionnent-ils correctement? Ou sont-ils encrassés par la saleté, l'usure ou l'oxydation, certains boutons (par exemple dans les claviers) fonctionnent avec une membrane plastique qui peut s'être détériorée;
- Y a-t-il des traces visuelles d'un problème électronique: condensateur « éclaté » ou composant brûlé, traces de brûlures sur le circuit imprimé, traces d'eau (moisissures, etc.) ?

Cette étape peut nécessiter des compétences en électronique et s'accompagne d'un multimètre pour réaliser les mesures nécessaires. Si un composant hors d'usage est identifié il sera possible de le remplacer.

Certains appareils (lecteur de cassette, platine disque) peuvent aussi rencontrer des problèmes mécaniques: courroie rompue ou désagrégée, mécanisme encrassé ou grippé, usure, etc.

Le cas particulier des ordinateurs

Pour s'engager dans la réparation d'un ordinateur fixe, un petit stock de pièces interchangeables est très pratique : bloc d'alimentation, barrettes de mémoire RAM, pile pour l'horloge interne, etc.

Quelques cas communs :

Si rien ne se passe à la mise sous tension : tester après avoir changé le bloc d'alimentation interne.

Si l'ordinateur démarre et s'arrête : vérifier que les ventilateurs fonctionnent bien, qu'ils ne sont pas encrassés, etc.

Si l'horloge interne de l'ordinateur ne conserve pas ses réglages, cela indique que la pile de la carte mère doit être remplacée, il s'agit généralement d'une pile bouton CR2032.

Si l'ordinateur se met sous tension mais que rien ne s'affiche avec un écran et un câble vérifiés, il s'agit probablement d'un problème de carte graphique, il sera nécessaire de la remplacer pour aller plus loin.

Si l'ordinateur démarre et affiche des informations sur l'écran, il faudra être attentif à tous les messages indiquant des problèmes éventuels et démarrer l'ordinateur avec le minimum de périphériques qu'il faudra remonter progressivement (débrancher imprimantes, lecteurs internes, etc.). Dans ce cas, il faudra faire un examen plus ou moins approfondi pour trouver l'origine des dysfonctionnements, pour cela, on peut démarrer l'ordinateur sur un système LiveUSB et diagnostiquer les éléments un par un (mémoire RAM, disque dur ou SSD avec SMART, etc.). De surcroît un démarrage sur USB pourra aussi permettre éventuellement de récupérer les données d'un disque dur défectueux, selon la panne...

- [Créer une clé LiveUSB avec Ventoy](#)
- Système de diagnostic, par exemple : <https://www.system-rescue.org/>

Diagnosticuer

Comment déceler l'origine de la panne d'un appareil qui ne fonctionne pas? Avec curiosité et méthode, ce chapitre a pour ambition de vous accompagner à comprendre l'origine du problème. Mais avant, prenez les précautions nécessaires!

Règles de sécurité

- Avant d'inspecter l'intérieur d'un appareil, débranchez son alimentation électrique : enlevez la batterie ou les piles, débranchez **ABSOLUMENT** la prise du secteur 240V
- Équipez-vous pour éviter les blessures : lunettes de protection, gants, etc.

Retrouvez les règles de sécurité complètes dans la rubrique dédiée : [Règles de sécurité](#)

Par où commencer ?

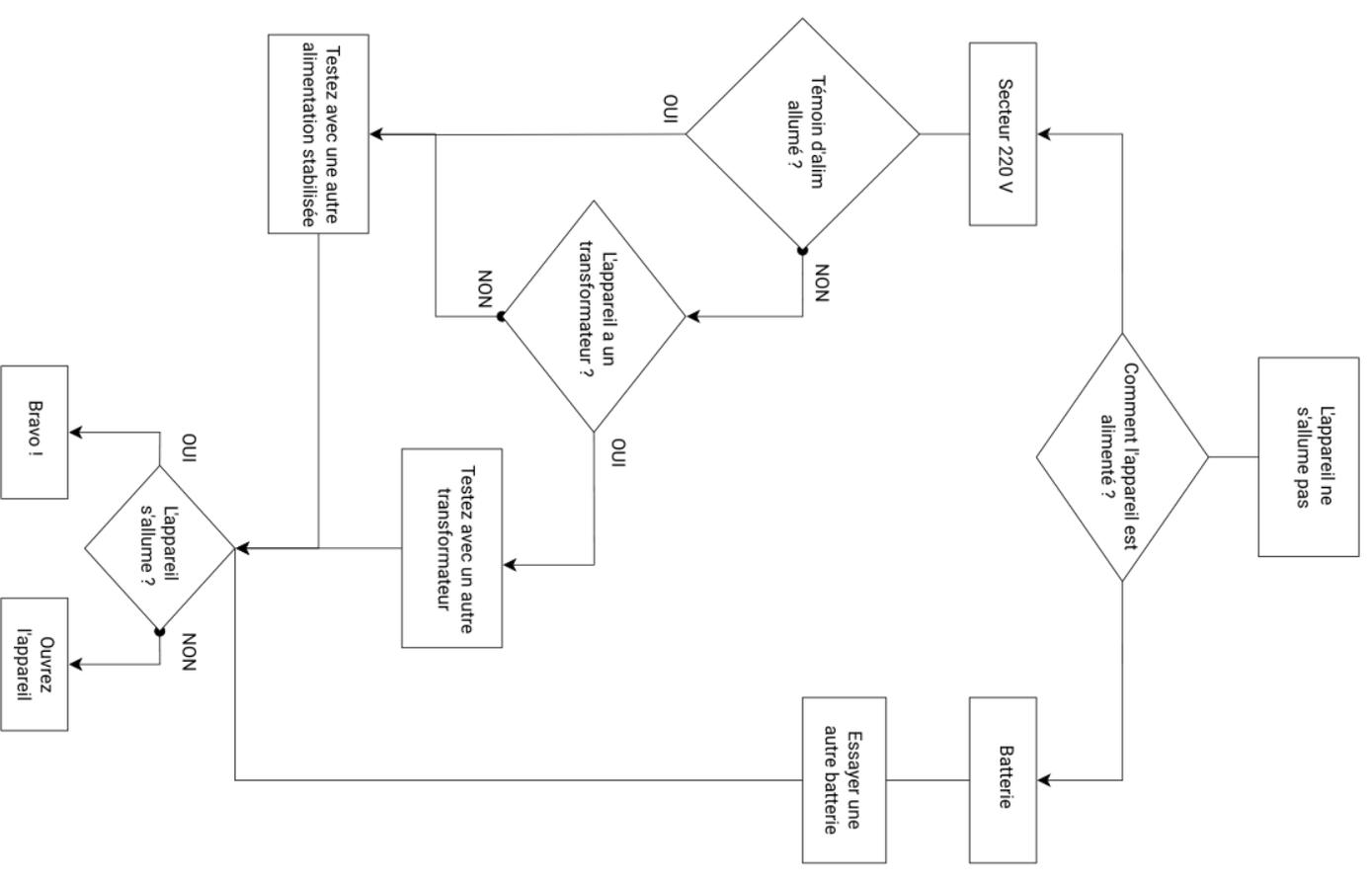
Poser un diagnostic, c'est identifier les dysfonctionnements et chercher leur origine. Les dysfonctionnements peuvent être de différent type : électrique, mécanique, électronique. Le diagnostic doit nous permettre d'identifier l'élément qui empêche le fonctionnement, le composant détérioré, la connexion qui manque, etc.

En préambule :

- Noter marque, modèle, référence de l'appareil;
- Récupérer le mode d'emploi et éventuellement le manuel de maintenance (voir section «trouver de la documentation»)
- Avoir à portée de main des pièces de remplacement fonctionnelles et vérifiées selon les cas (cables d'alimentation, cables audio, piles, bloc transformateur / chargeur si possible);
- Alimentation variable et stabilisée dite «alimentation de laboratoire»;
- Multimètre.

Chaque appareil peut avoir des dysfonctionnements qui lui sont propres toutefois les pannes d'alimentation sont assez génériques. Un premier examen doit nous permettre de réunir toutes les informations possibles sur le problème. Cela permet aussi de mettre des mots sur la panne et de trouver des informations plus facilement dans un moteur de recherche.

Pour cela, une série de questions peut nous aider à trouver des pistes :



Protocole de diagnostic

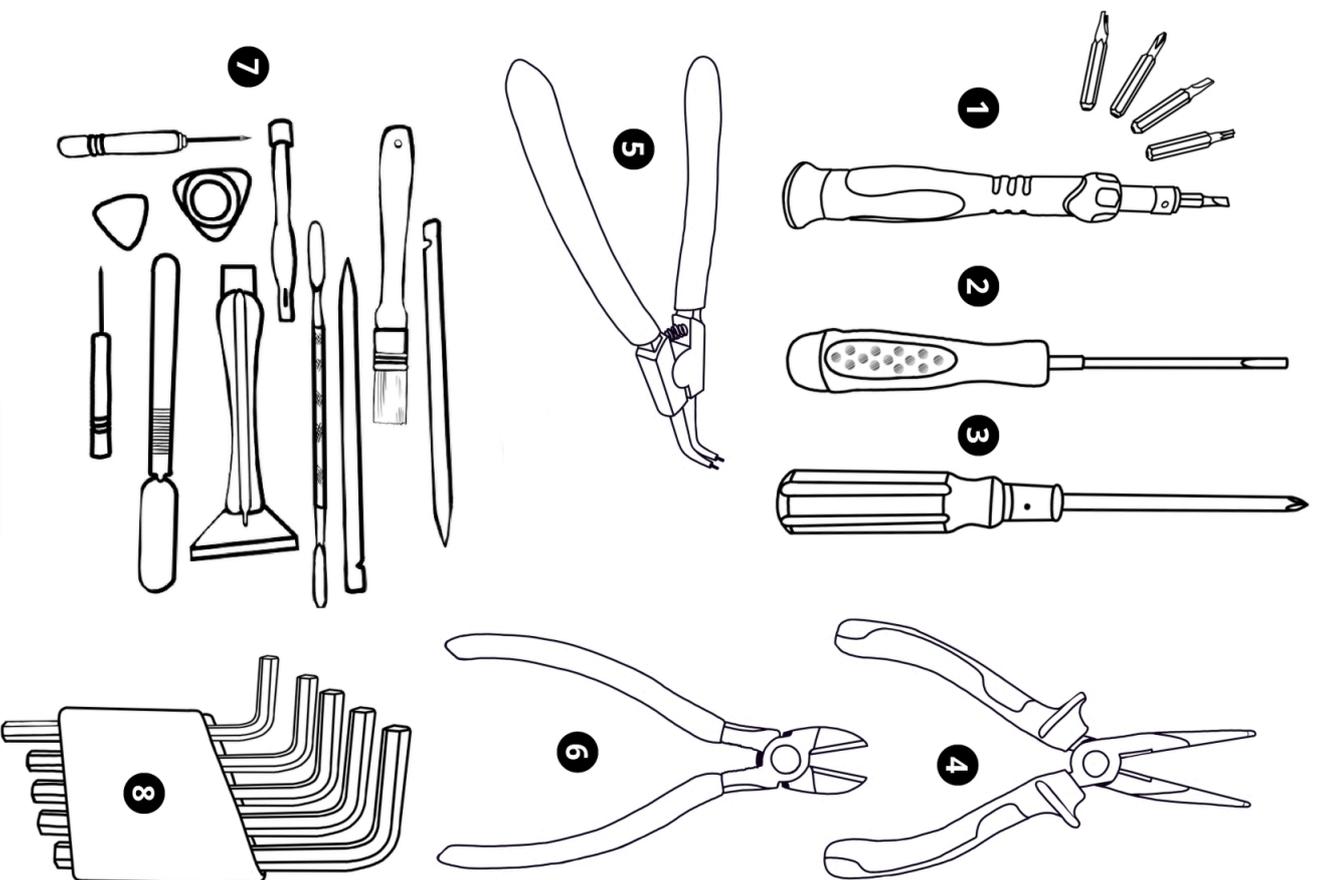
On peut restreindre la recherche en indiquant de quel site on souhaite obtenir des réponses, par exemple en ne cherchant que des vidéos hébergées sur YouTube :

[lenovo thinkpad T430 disassembly site:youtube.com](https://www.youtube.com/watch?v=...)

Enfin, de nombreux problèmes et de nombreuses pannes ont déjà été rencontrées, et les forums de discussions spécialisés regorgent d'informations utiles. Il est souvent préférable d'utiliser l'anglais pour faire une recherche, les anglophones étant plus nombreux. Vous trouverez peut-être que le sujet qui vous concerne a déjà obtenu des réponses ou sinon vous pourrez y exposer votre problème. Si vous identifiez un forum d'aide spécialisé avec moteur de recherche interne, utilisez-le, en effet les moteurs généralistes ne référencent pas toutes les pages d'un site web.

Pour faire une requête sur un site particulier depuis un moteur de recherche généraliste, on peut indiquer le site duquel on souhaite obtenir des résultats, de la manière suivante :

[synthesizer repair site:forum.vintagesynth.com](https://forum.vintagesynth.com)



Trouver de la documentation

Sur les composants

Les composants actifs (circuits intégrés, transistors, etc.) ont une **fiche technique** (datasheet en anglais) fournie par le fabricant, par modèle ou par gamme. Certains de ces composants sont fabriqués par différents fournisseurs. Une fois le modèle du composant identifié, vous pouvez chercher la fiche technique avec la requête suivante (sur un moteur de recherche) :

```
2N2222 datasheet filetype:pdf
```

Dans ce cas précis, il s'agit d'un transistor 2N2222

Sur les appareils

En indiquant la marque et le modèle précis de l'appareil (généralement indiqué par une étiquette sur l'appareil), cherchez d'abord le **manuel de l'utilisateur** (*user manual*). Pour les appareils électroniques (Hi-Fi, instruments de musique, etc.), les fabricants fournissent parfois un **manuel de maintenance** (*service manual* en anglais) aux professionnels de la réparation, on peut parfois les trouver sur le web.

```
korg 05RW service manual filetype:pdf
```

Ici, il s'agit du manuel de maintenance d'un synthétiseur (modèle 05RW) fabriqué par Korg.

Consultez le site web du fabricant, on y trouve parfois des rubriques de support, des manuels à télécharger ou des FAQ (Foire Aux Questions / Frequently Asked Questions) qui peuvent être utiles.

Ajoutez les mots-clés identifiés pendant le diagnostic, en identifiant le modèle de l'appareil et les éléments que vous avez identifié.

```
geminì xl-100 remplacement courroie
```

Pour le démontage, on peut trouver des tutos en ligne (texte et images ou vidéo). Par exemple, pour trouver une **méthode de démontage** pour un ordinateur portable Lenovo, modèle Thinkpad T430, on peut essayer la requête suivante, avec *disassembly* ou *tear-down* :

```
lenovo thinkpad T430 disassembly
```

Outiller

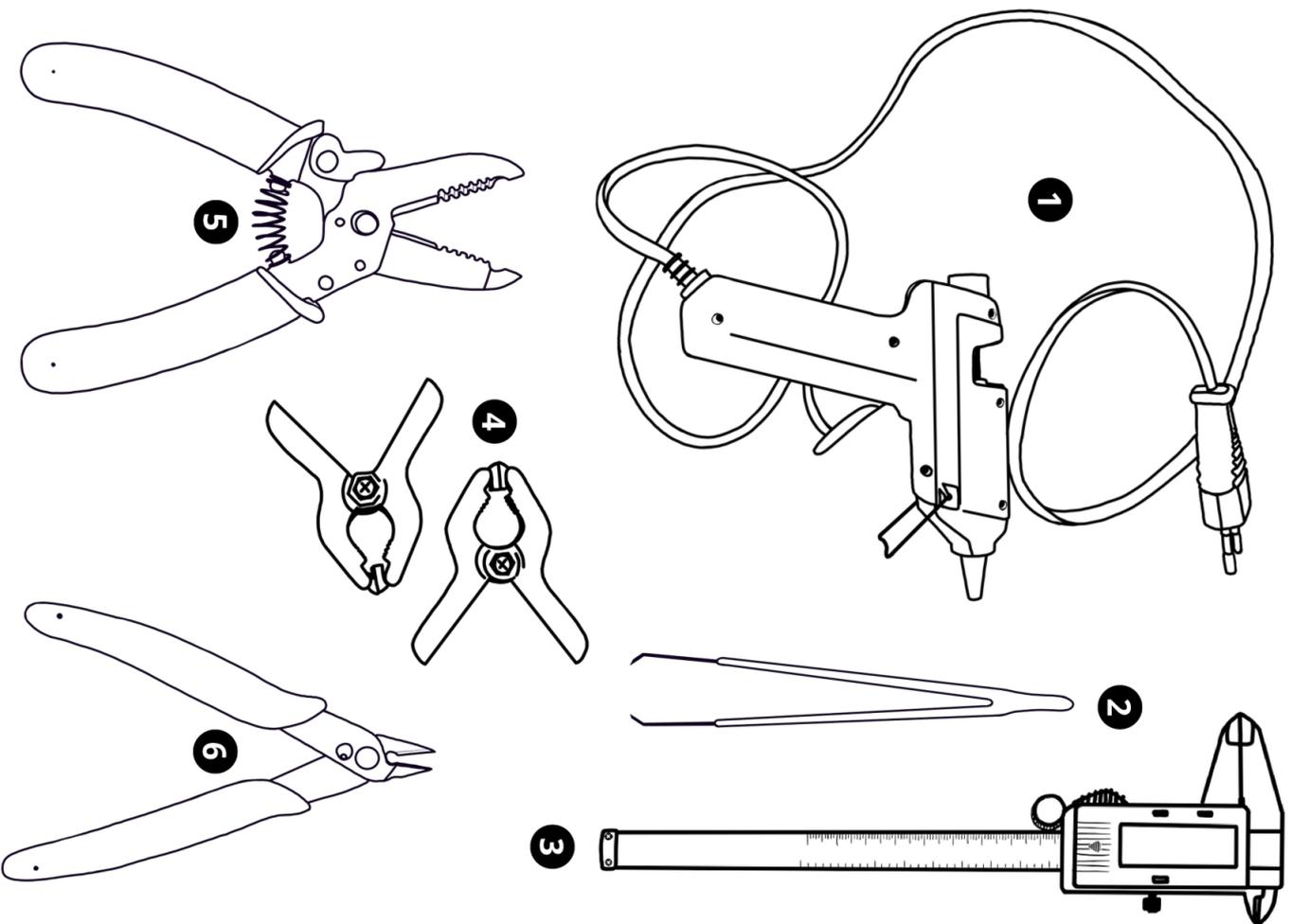
Ce chapitre est un guide visuel pour reconnaître les outils indispensables et leurs spécificités dans les différentes étapes du démontage à la réparation.

Équipements de protection individuels (EPI)

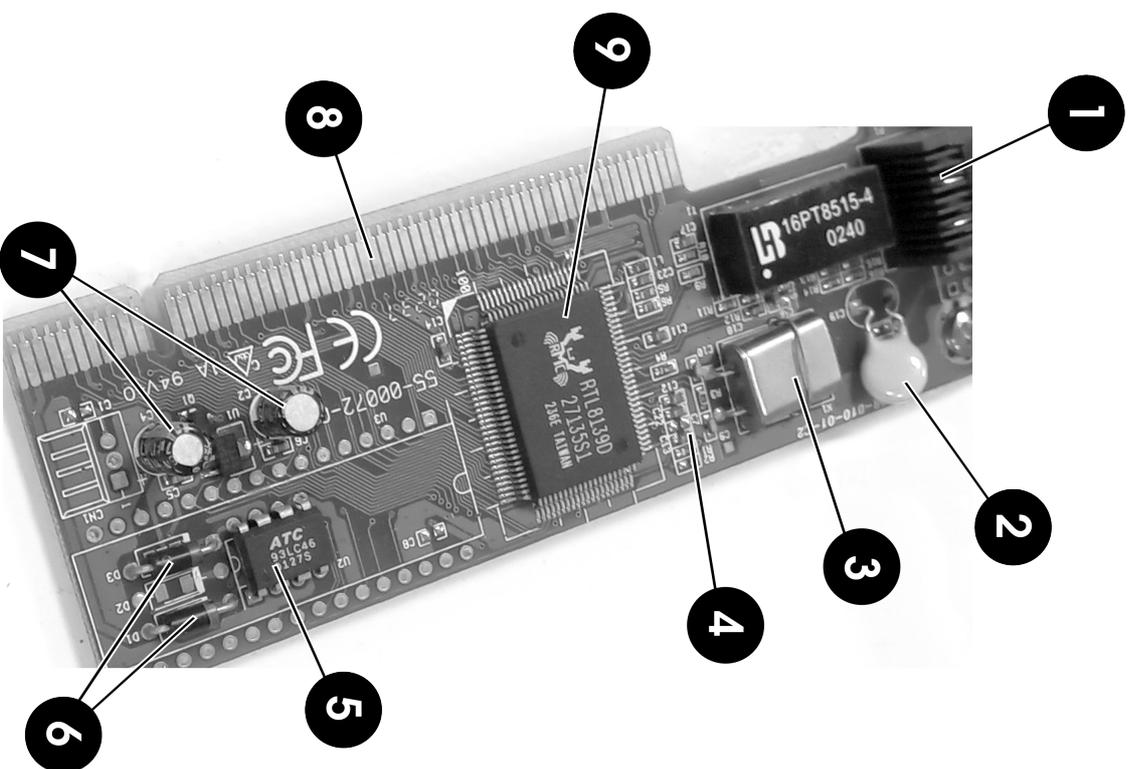
- **Lunettes de protection** : protéger ses yeux des projections,
- **gants de protection** : protéger ses mains (coupure, dérapage d'outil, etc.),
- **masque de protection** : se protéger des vapeurs (colle, résine, etc.)

Démonter

- (1, 2, 3) **tournevis** (et multiples embouts : cruciforme, plat, torx, etc.) : insérer et retirer des vis,
- (4) **pince à bec long**,
- (5) **pince circlip** : permet le démontage des petits anneaux métalliques appelés circlips,
- (6) **pince coupante** : couper des câbles, des fils électriques, des colliers de serrage,
- (7) **kit de démontage** : assortiment d'outils en plastique ou métal aidant à démonter des coques d'appareil (téléphone, tablette, ordinateur portable),
- (8) **clé Allen** : clé hexagonale, pour serrer ou desserrer des boulons et vis à têtes creuses.



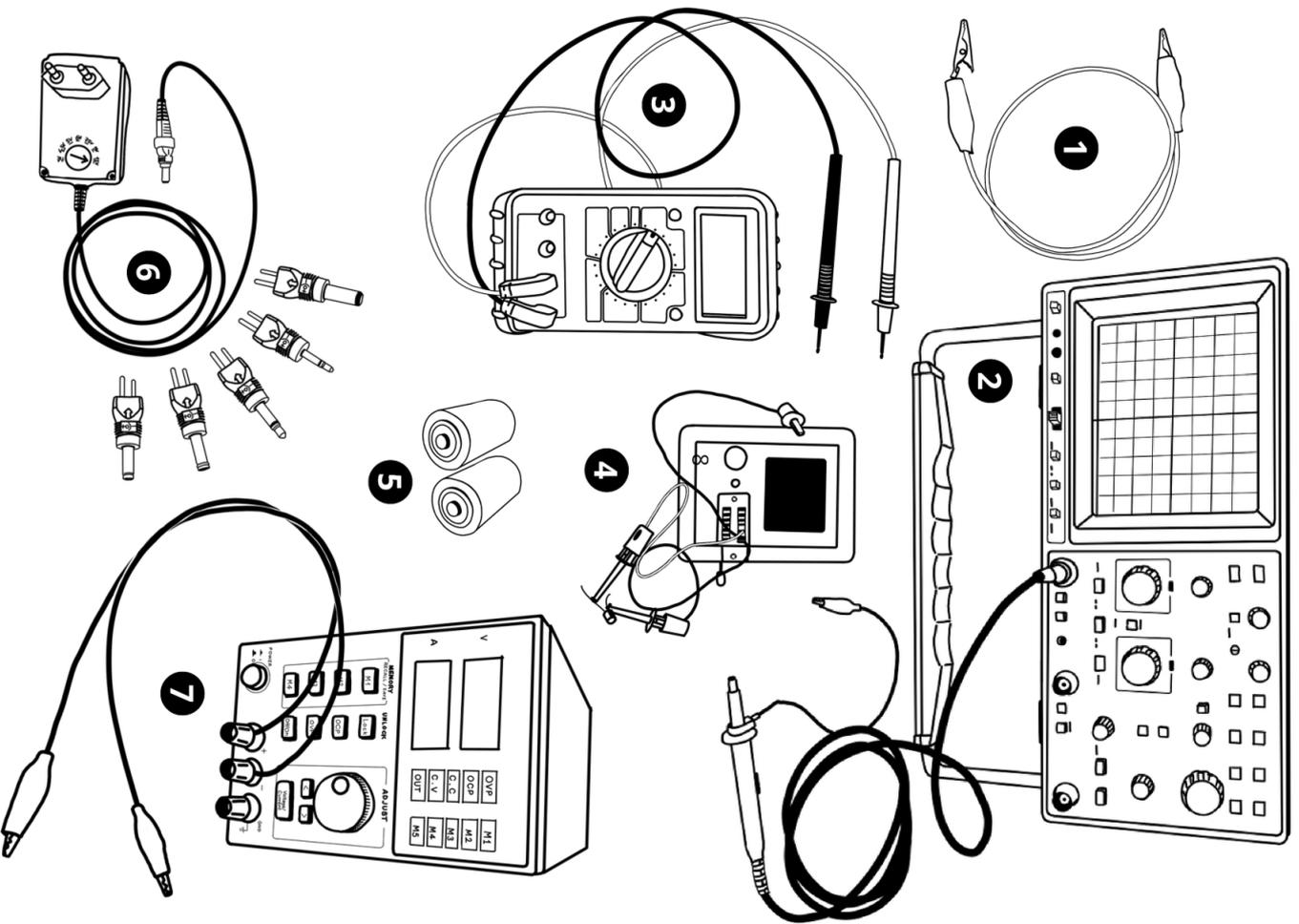
- (1) **soCLE connecteur RJ45,**
- (2) **condensateur céramique :** valeur indiquée par un code,
- (3) **quartz (ou cristal) :** référence ou valeur indiquée par un code,
- (4) **composants montés en surface :** résistances et condensateurs de différentes valeurs, valeurs indiquées par des codes,
- (5) **circuit intégré :** en boîtier DIP8, référence indiquée sur le composant,
- (6) **diode :** référence indiquée sur le composant,
- (7) **condensateur électrochimique :** valeurs imprimées en clair sur le composant,
- (8) **broches de connexion pour carte mère,**
- (9) **circuit intégré (CMS) :** référence indiquée sur le composant.



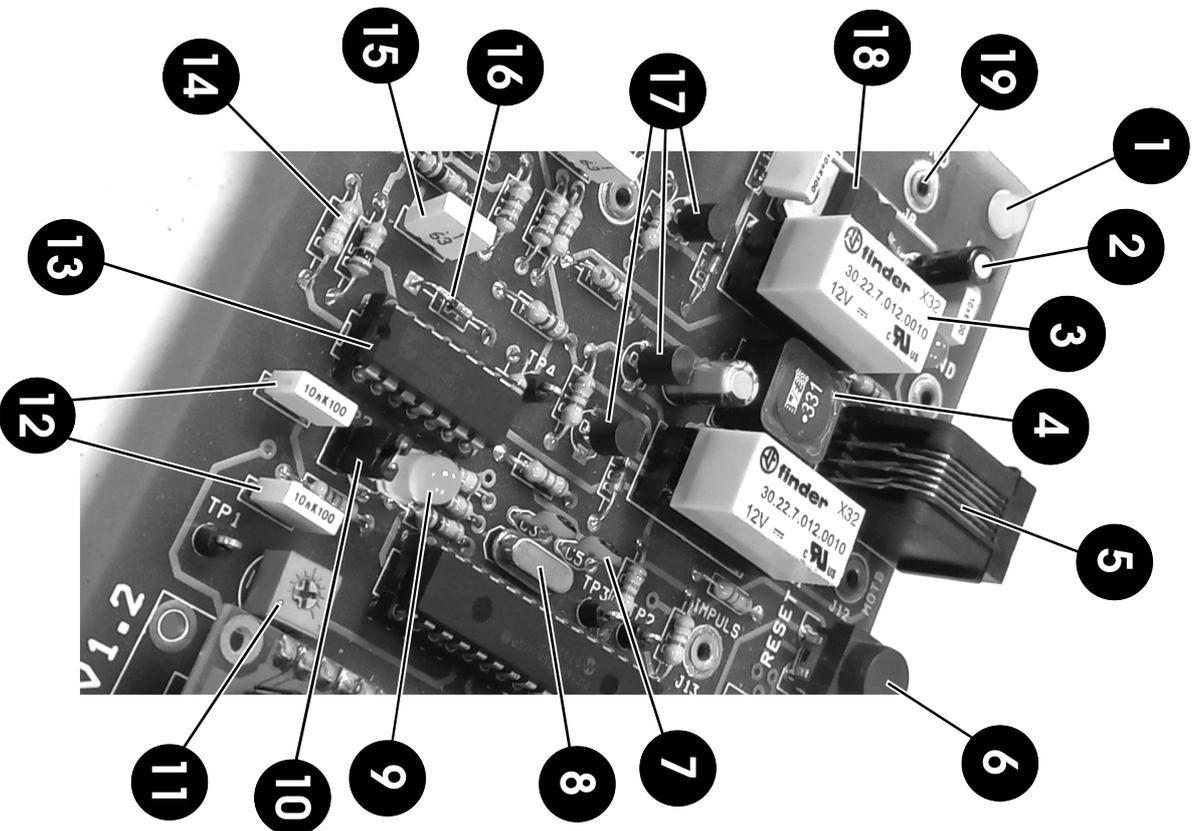
Carte additionnelle de connexion à un réseau ethernet

Réparer

- (1) **pistolet à colle chaude** : des bâtonnets de colle sont fondus pour produire une colle visqueuse qui assemble un peu tout matériau,
- (2) **brucelles** : pince à ressort qui permet d'attraper ou de maintenir des éléments petits et fins,
- (3) **pied à coulisse** : permet de prendre des cotes précises (diamètre, profondeur), existe en version manuelle ou numérique,
- (4) **pince serre-joint** (à machoire, à ressort) : pour maintenir des pièces, pendant le collage par exemple,
- (5) **pince à dénuder** : permet d'enlever la gaine plastique autour des fils conducteurs d'un câble électrique,
- (6) **pince à couper à ras** : par exemple pour couper les broches des composants une fois soudés sur le circuit imprimé,
- **règle** : utile pour la prise de cotes.



- (1) entretoise nylon : fixation à un boîtier,
- (2) **condensateur électrochimique** : valeur imprimée en clair sur le composant,
- (3) **relais miniature 12V** : on peut trouver ses caractéristiques par une recherche sur le web en se basant sur les inscriptions
- (4) **bobine d'inductance (CMS) ou self** : valeur indiquée par un code,
- (5) **soCLE connecteur RJ11**,
- (6) **bouton poussoir**,
- (7) **condensateur céramique** : valeur indiquée par un code,
- (8) **quartz (ou cristal)** : référence ou valeur indiquée par un code,
- (9) **LED bicolore** (3 broches) : aucune caractéristique n'est indiquée sur les LEDs,
- (10) **cavalier (ou jumper)**,
- (11) **résistance variable** : résistance maximale indiquée en clair sur le composant,
- (12) **condensateur plastique** : valeur indiquée par un code,
- (13) **circuit intégré** : référence du circuit imprimée sur le dessus du boîtier,
- (14) **résistance carbone** : 4 anneaux de couleur indiquent la valeur de résistance,
- (15) **condensateur plastique** : valeur indiquée par un code,
- (16) **diode** : référence identifiant le modèle indiquée en clair sur le composant (en tout petit!),
- (17) **transistor** : référence identifiant le modèle indiquée en clair sur le composant,
- (18) **transformateur de tension** : référence identifiant le modèle indiquée en clair sur le composant,
- (19) **soCLE connecteur «mini banane»**.



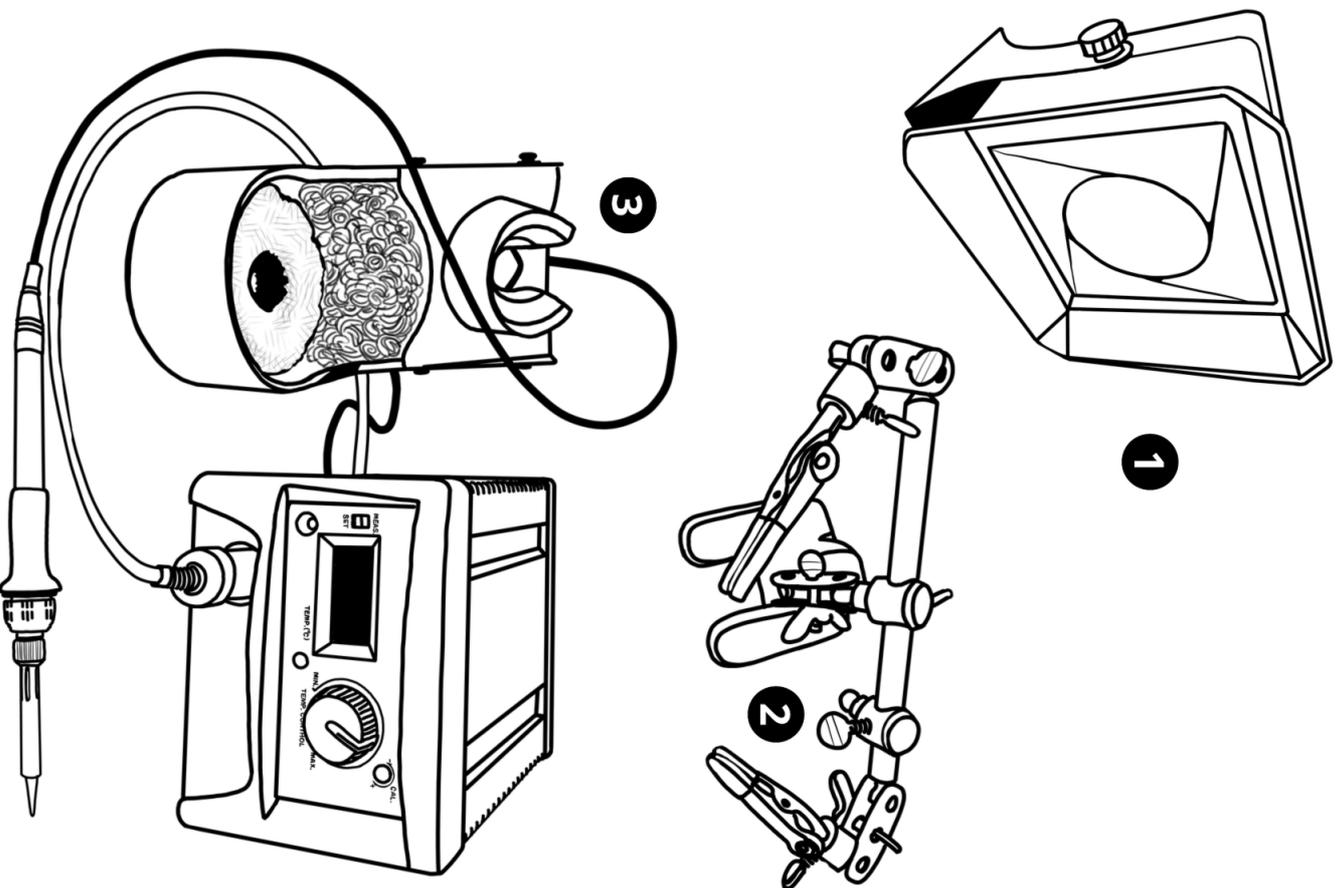
Instruments de mesure

- (1) **pince crocodile** : pour connecter deux éléments sans soudure : deux fils électriques, un fil et une broche de composant, etc.,
- (2) **oscilloscope** : mesurer des signaux électriques / afficher des valeurs de tension évoluant au fil du temps,
- (3) **multimètre** : mesurer une valeur de tension, de courant, mesurer une résistance, tester la continuité d'un circuit (un circuit ne fonctionne que si le courant électrique circule entre la borne + et la borne -), et plus selon le modèle. Certains multimètres ont une fonction d'autocalibration qui permet de ne pas avoir à choisir la gamme de test,
- (4) **testeur de composant** : identifier le type d'un composant / tester les caractéristiques réelles d'un composant : condensateur, diode, transistor, inductance, etc.

Tutoriel pour [utiliser un multimètre](#)

Alimentation

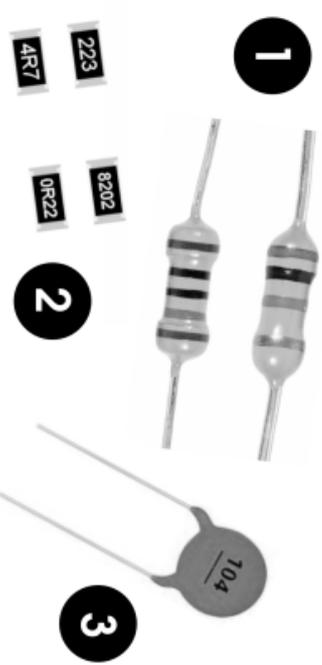
- (5) **piles** : pour tester des appareils fonctionnant sur piles, il est toujours utile d'avoir un jeu de piles de différents modèles,
- (6) **transformateur secteur** : appareil à brancher sur une prise murale 230V fournissant en sortie une tension inférieure (type : 5V, 9V, 12V), ils existent en version à tension fixe ou variable, avec différents embouts (voir la rubrique dédiée dans le chapitre [réemployer](#)),
- (7) **alimentation variable de laboratoire** : appareil d'alimentation électrique dont on peut fixer la tension et le courant fournis.



surface (ou CMS) qui sont soudés directement sur l'endroit. Ces deux techniques correspondent à des fabrications industrielles différentes mais ne donnent pas d'indication sur leur fonction : les mêmes composants peuvent exister sous les deux types. Les CMS sont aussi très miniaturisés.

Les composants s'identifient de différentes manières : par des bandes de couleur (résistances traversantes, certains condensateurs), par leur valeur indiquée en clair, par un identifiant (diodes, transistors, etc.) ou par une nomenclature particulière (circuits intégrés).

Identifier visuellement les composants



- (1) résistance traversante, leur valeur est identifiée par 4, 5 ou 6 bandes de couleur selon un code universel
- (2) résistance CMS, leur valeur est indiquée par une inscription, si elle est entièrement numérique le chiffre indiquera le nombre de zéros, si elle contient la lettre R celui-ci indiquera la virgule. Exemples :
 - 223 = 22000 Ohms (22K),
 - 8202 = 82000 Ohms (82K),
 - 4R7 = 4.7 Ohms,
 - 0R22 = 0.22 Ohms.
- (3) condensateurs céramiques, la valeur en picofarads est indiquée par un code, dont le dernier chiffre indique le nombre de zéros : 104 = 100000 picofarads = 100 nanofarads = 0,1 microfarads

Lire les marquages

- [Marquage des condensateurs \(fr.wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Marquage_des_condensateurs)
- [Code couleur des résistances traversantes \(fr.wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Code_couleur_des_r%C3%A9sistances_traversantes)
- [Marquage des résistances CMS \(fr.wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Marquage_des_r%C3%A9sistances_CMS)

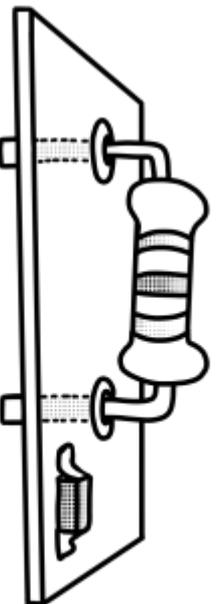
- (11) **carte mère** : circuit imprimé principal de l'ordinateur sur lequel sont reliés tous les autres composants
- (12) **ventilateur d'extraction** : aspire l'air chaud du boîtier et le rejette vers l'extérieur ...

... Les composants

Depuis l'invention des premiers composants au début du XX^e siècle, la fabrication électronique s'est transformée progressivement au gré des innovations et d'une miniaturisation croissante.

En voici une brève vue historique :

- **1907** : invention de la triode, début de la période de l'électronique à tube et analogique;
- **années 1950** : invention et développement du transistor, base de l'électronique numérique;
- **années 1960** : invention et développement du circuit intégré ou « puce » (plusieurs transistors dans un même boîtier), chacun de ces circuits intégrés réalise une fonction (portes logiques, amplificateurs opérationnels, bascules, etc.) qui permet le développement de l'électronique. Depuis : intégration d'un nombre croissant de transistors, miniaturisation. Début de l'utilisation des circuits imprimés (double-face);
- **années 1970** : invention et développement des microprocesseurs (CPU) et microcontrôleurs (MCU);
- **années 1980** : utilisation croissante des composants montés en surface;
- **années 1990** : développement des circuits imprimés multicouche (4 et plus).



On distingue deux types de composants pour l'assemblage sur circuit imprimé : les **composants traversants** dont les broches (ou « pattes») passent à travers le circuit imprimé pour être soudées à l'envers du circuit et les **composants montés en**

Soudage

- (1) **aspirateur de fumée** : retenir et filtrer les fumées émises lors du soudage / dessoudage,
- (2) **3^e main** : double pince sur pied qui permet de maintenir en place des éléments à souder, libérant les 2 mains de l'utilisateur-ice,
- (3) **fer à souder à température variable** : assembler des composants à un circuit imprimé, la température variable est utile en fonction de la taille des soudures à réaliser et permet de s'adapter à l'alliage de soudure,
- **étain pour souder** : alliage de métaux qui fond à basse température pour réaliser des soudures électroniques de fils ou de composants sur circuit imprimé (alliage d'étain, plomb, parfois argent ou cuivre),
- **gaine thermorétractable** : tube plastique souple qui permet de protéger une soudure entre 2 fils ou entre un fil et une broche de composants. Chauffé, le diamètre du tube rétrécit et s'ajuste précisément.

Reconnaître et Identifier...

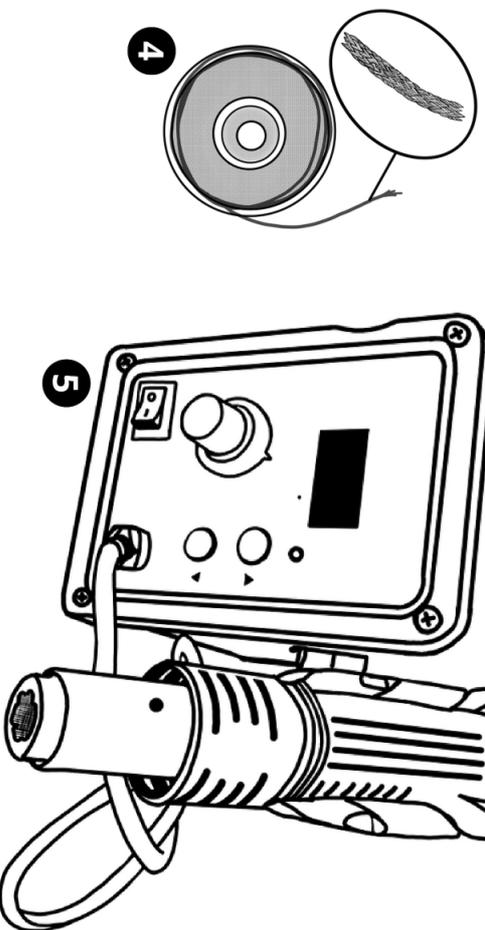
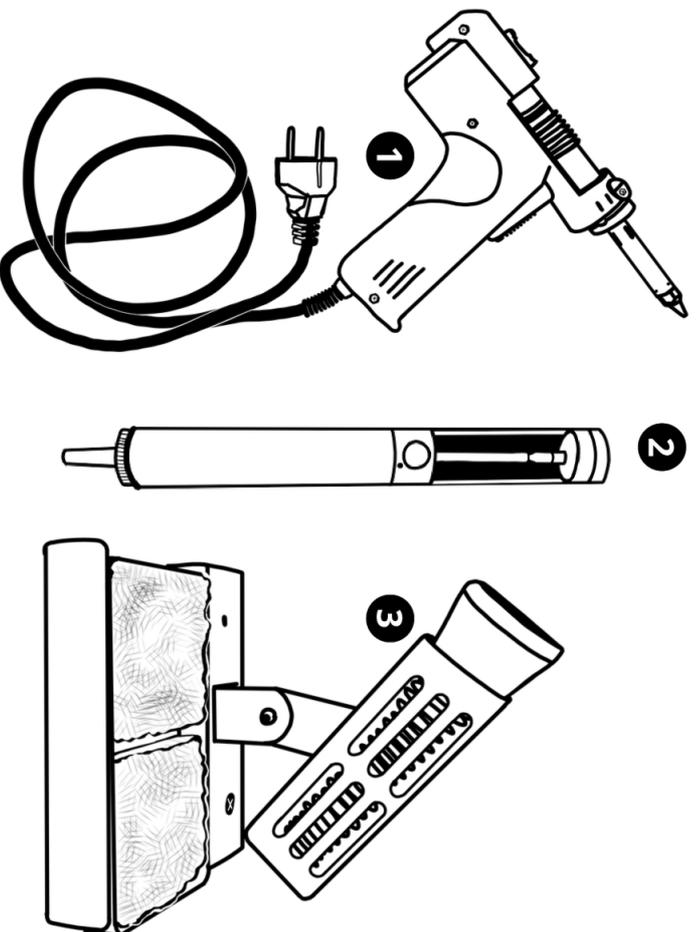
Démontez un ordinateur ou un appareil électronique, c'est super chouette! Comment comprendre ces nombreuses pièces imbriquées et reliées? Dans ce chapitre, vous allez apprendre à identifier les éléments principaux d'un ordinateur et les composants pour mieux ensuite diagnostiquer les problèmes et essayer de les résoudre.

... Les éléments d'un ordinateur

Chaque ordinateur «tour» est assemblé à partir d'éléments de même type, dont la plupart sont interchangeables, ce qui en fait des appareils faciles à réparer. Malheureusement de nombreux éléments sont frappés d'obsolescence technique par l'évolution des logiciels, les machines ont besoin de plus de mémoire ou d'espace de stockage, d'une carte graphique plus performante, etc. Dans ces conditions, même fonctionnels, plus personne n'en veut.

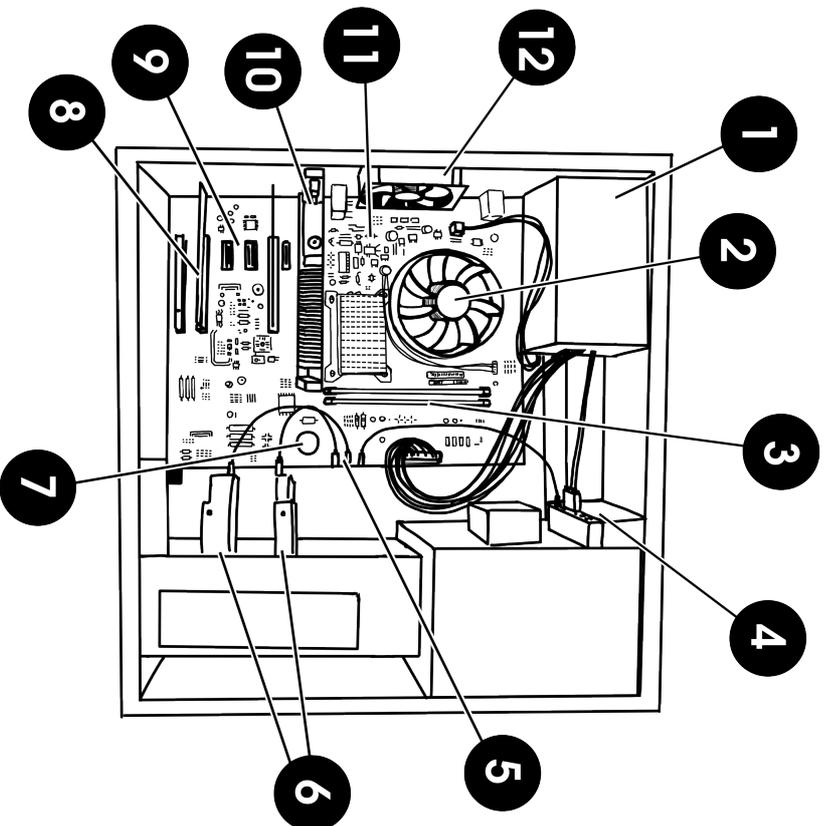
Les ordinateurs fixes sont en général plus faciles à ouvrir que les ordinateurs portables. Les composants sont identiques, mais seront miniaturisés et agencés avec précision dans un ordinateur portable.

- (1) **bloc d'alimentation** : fournit des courants adaptés à chaque composant de l'ordinateur.
- (2) **bloc microprocesseur** : le microprocesseur est maintenu dans son socle sur la carte-mère, recouvert par un dissipateur thermique en aluminium et un ventilateur qui en assure le refroidissement et la ventilation.
- (3) **barrettes de RAM** (Rapid Access Memory) : mémoire «vive» de l'ordinateur, la capacité totale varie selon l'usage de l'ordinateur.
- (4) **lecteur / graveur optique** : pour les CD, CR-Rom, DVD, etc.
- (5) **connecteurs SATA** : permettent de relier, par câble, des périphériques à la carte mère (disques durs de stockage, lecteurs optiques) pour les transferts de données et l'alimentation électrique.
- (6) **disques durs** : pour l'enregistrement des logiciels, des données. Il en existe 2 grands types : le disque dur magnétique (HDD, Hard Disk Drive) ou à mémoire flash (SSD, Solid State Drive), du même type que les clés USB.
- (7) **pile de sauvegarde du BIOS** : une pile lithium 3V, généralement de type CR2032, permet à la carte mère de conserver quelques données
- (8) **carte additionnelle** : ajout de fonctions additionnelles à l'ordinateur (numérisation vidéo, carte son pour la MAO, etc.)
- (9) **socles pour cartes additionnelles** : permettent d'ajouter d'autres cartes.
- (10) **carte graphique** : carte dédiée au calcul et à l'affichage graphique, elle comprend un GPU (microprocesseur dédié au traitement graphique) et de la mémoire RAM vidéo.



Dessoudage

- (1, 3) **pistolet à dessouder** : l'instrument idéal pour retirer un composant d'un circuit imprimé, il chauffe l'alliage de soudure pour le liquéfier et l'aspirer en une seule opération,
- (2) **pompe à dessouder** : aspire l'alliage fondu, en général par un fer, c'est la méthode manuelle la moins chère pour retirer un composant d'un circuit imprimé,
- (4) **tresse de dessoudage** : tresse de cuivre qui « capte » l'alliage fondu pendant le dessoudage,
- (5) **poste de dessoudage par air chaud** : utilisé pour dessouder des composants montés en surface (CMS), l'air chaud fait fondre l'alliage de soudure ce qui permet d'enlever le composant.





.

.

.

.

.

.

.

.

mAh, la cellule ne vous sera sans doute plus d'une grande utilité.

Batteries externes upcyclées

La solution la plus simple et intéressante pour réutiliser vos cellules est d'acheter un boîtier vide avec interface USB. Ils embarquent un circuit de protection, un régulateur de tension (5V) et un régulateur de charge qui permet de recharger la batterie en USB. On les trouve pour moins de 5€.

Cette solution a l'avantage de ne pas nécessiter de soudures et on pourra très facilement changer les cellules au fur et à mesure. L'assemblage de la batterie (en parallèle uniquement) évite les problèmes de déséquilibre des cellules, et permet même d'associer des cellules de capacité différentes.



Il existe également des boîtiers proposant des sorties avec des tensions différentes, en fonction de vos besoins.

Recréer une batterie entièrement

Les plus bricoleur-ses pourront s'amuser à recréer une batterie de toute pièce. Le type d'assemblage de la batterie (cellules en parallèle/série) dépendra de la tension finale à fournir. Si plusieurs étages de cellules sont utilisés en série, il faudra veiller à ce que chaque étage de cellules ait une capacité totale identique, pour éviter tout déséquilibre prématuré. N'associez que des cellules de même technologie entre elles !

Exemple : pour créer une batterie qui délivre du 12V, on pourra associer 4 cellules identiques en série. La tension nominale sera alors de 4x3,7V (14,8V) et variera entre 12V et 16,8V en fonction du niveau de charge. On ajoutera un abaisseur de tension (convertisseur buck) pour abaisser et stabiliser la tension à 12V. Abaisser une tension est généralement plus efficace que de l'augmenter (convertisseur boost). On protégera la batterie avec un BMS 4s (4 cellules en série).

Veillez à **dimensionner la section des bandes de nickel** en fonction du courant passant. Le(s) connecteur(s) d'alimentation doivent également être dimensionnés en fonction du courant (le connecteur XT60 est adapté à un courant de 60A, par exemple). Vous pourrez également augmenter la sécurité de la batterie en intercalant des **fils fusible (fuse wire)** entre chaque cellule et le conducteur principal (*busbar*).

Charger une telle batterie nécessitera un **appareil de charge adéquat**, respectant le programme de charge **CC/CV** adapté aux batteries lithium et capable de fournir la tension **adaptée à votre batterie**.



Se débarrasser des vieilles cellules

Pensez à **vider entièrement** vos batteries avant de les amener en déchèterie.

résultats... explosifs ! La soudure par point est la plus sûre, mais nécessite un équipement qu'on trouve rarement dans un fablab.

Si ces contraintes ne vous ont pas encore découragés, sachez que certains BMS, dit « intelligents », gardent en mémoire l'usure progressive de la batterie et ne détecteront pas le remplacement des cellules. Dans ce cas, le BMS pourrait continuer à considérer la batterie comme défectueuse. C'est le cas des BMS qu'on trouve dans les ordinateurs portables par exemple, ou de beaucoup d'appareils haut-de-gamme.

Attendez, ne partez pas! Tout n'est pas perdu pour autant, car il existe des solutions relativement simples et sûres pour donner une seconde vie à ces cellules orphelines.

Démonter une batterie hors-service

Petit rappel des règles de sécurité :

- Avant d'inspecter l'intérieur d'un appareil, débranchez son alimentation électrique : enlevez la batterie ou les piles, débranchez **ABSOLUMENT** la prise du secteur 240V
- Équipez-vous pour éviter les blessures : lunettes de protection, gants, etc.

(retrouvez les règles de sécurité complètes dans la rubrique dédiée : [Règles de sécurité](#))

La première étape consiste à ouvrir la vieille batterie pour récupérer les cellules. Si le boîtier de la batterie ne se démonte pas, il faudra l'ouvrir de force, avec précaution quand même! Le port des gants est vivement conseillé pour éviter les blessures.

Une fois les cellules exposées, coupez les différents fils du BMS. Arrachez ensuite les bandes de nickel qui unissent les cellules, à l'aide d'une pince et par un mouvement latéral, en faisant attention à vos mains, car le nickel est très coupant. Prenez garde à éviter tout court-circuit lors du contact avec les outils.

Une fois que toutes les cellules sont séparées, il faudra mesurer leur capacité individuellement à l'aide d'un chargeur adapté comme l'Opus BT-C3100. Il existe d'autres modèles capables de tester la capacité des cellules au lithium. N'oubliez pas d'écrire sur chaque cellule sa capacité mesurée, au feutre indélébile. Vous isolerez ainsi facilement la cellule défectueuse du reste. Sachez qu'on peut ainsi ressusciter des cellules qui ont subi des décharges profondes (< 2,5V), jusqu'à une certaine limite. Une cellule qui est descendue sous 1,5V ne sera probablement pas récupérable.

Triez vos cellules et grouperez-les en fonction de leur capacité. En dessous de 1500



Nous ne nous intéresserons, dans ce guide, qu'aux cellules cylindriques. Le reconditionnement des cellules en pochette étant plus difficile, du fait de leur fragilité et de la diversité de leurs formes.

Réparer une batterie, une affaire complexe

Afin d'éviter un prochain déséquilibre de la batterie, il est essentiel que toutes les cellules aient la même capacité (**mAh**) et les mêmes caractéristiques électrochimiques. Elles devraient donc idéalement provenir d'un même lot, ou au moins avoir fait l'objet d'une mesure de capacité réelle (les indications du constructeur n'étant pas forcément fiables). Il est également impératif que la cellule de remplacement soit au même niveau de charge (même **tension**) que le reste des cellules afin d'éviter un transfert d'énergie important lors de la mise en contact des cellules entre elles.

Une différence de plus d'un dixième de Volts peut se révéler dangereuse.

Souder les cellules n'est pas une mince affaire non plus. Laisser la panne d'un fer à souder trop longtemps sur une des bornes de la cellule peut provoquer un dégazage de celle-ci (vous sentirez une odeur de solvant) et même produire des

Réemployer

Vous avez déossé une machine dont il ne reste qu'une batterie ? Vous souhaitez réparer une batterie ? Dans ce chapitre vous apprendrez à mieux comprendre le fonctionnement, la réutilisation et la réparation des batteries lithium ainsi qu'à identifier et réutiliser les transformateurs secteur qui alimentent nos appareils électroniques.

Cellules lithium

Les batteries lithium qui alimentent les ordinateurs portables ou autres appareils électro-portatifs sont en réalité constituées d'un assemblage de cellules identiques. Un circuit de protection, appelé **BMS** (pour Battery Management System), est intégré à la batterie et a pour rôle de protéger les cellules des surcharges, des décharges profondes, et de garantir l'équilibre de la charge des cellules. Il suffit qu'une seule des cellules rencontre un problème pour que le BMS entre en défaut et mette la batterie entière hors service.

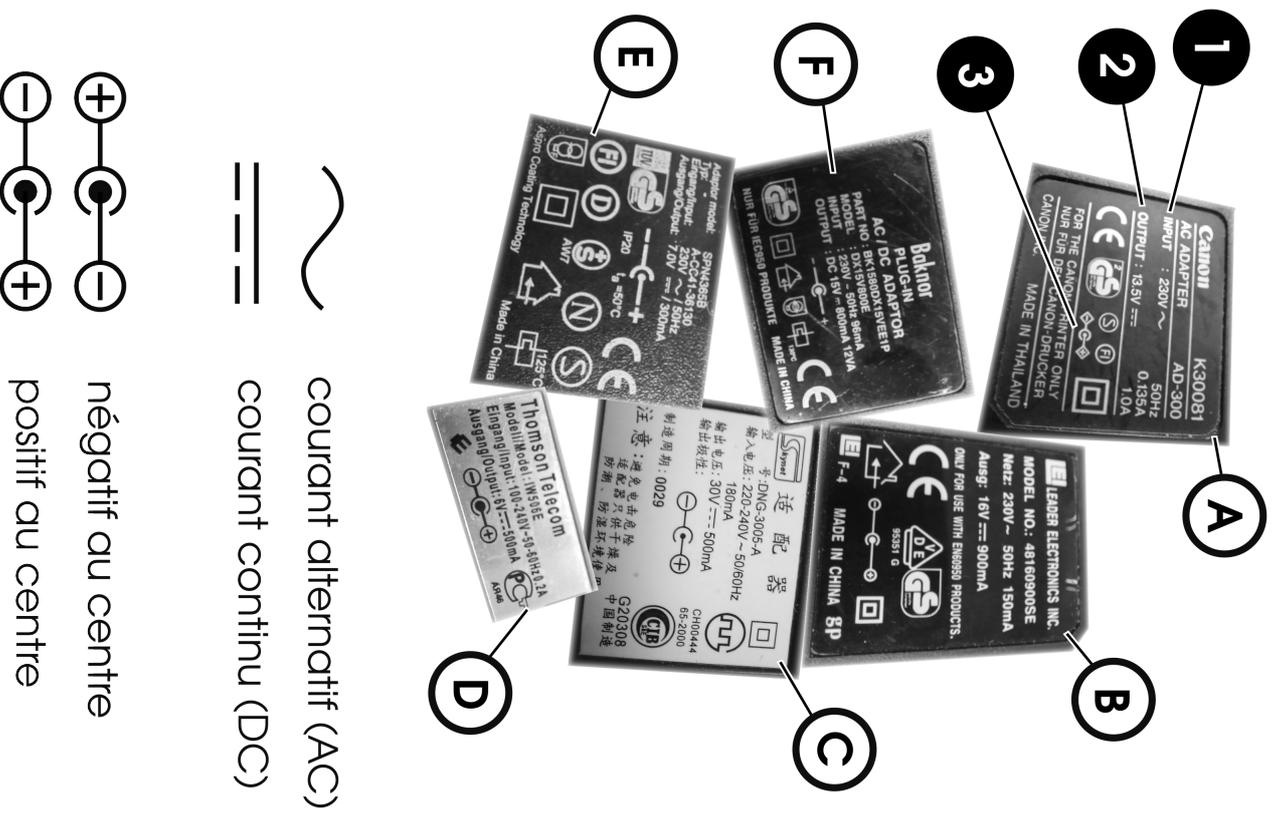
On pourrait alors imaginer pouvoir remettre la batterie en service en isolant la cellule défectueuse et en la remplaçant par une cellule neuve. Ce n'est malheureusement pas si simple !

On trouve généralement les cellules au lithium sous deux formes :

- Cylindrique (types **18650** ou **21700**, selon leur dimension)



- En pochette ("pouch") de tailles variées, qu'on trouve dans les téléphones portables, par exemple.



~ courant alternatif (AC)

≡ courant continu (DC)

⊖ ⊕ négatif au centre

⊖ ⊕ positif au centre

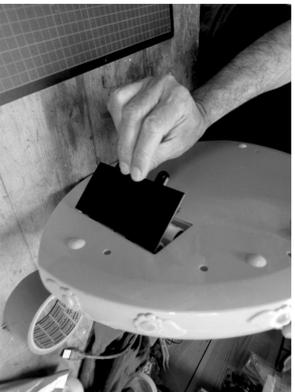
- <https://www.lextronic.fr/>
- <https://www.stquentin-radio.com/> (+ un magasin à Paris 10e)
- <https://www.comrad.fr/>

Revendeurs internationaux aux catalogues très fournis :

- <https://www.mouser.fr/>
- <https://www.digikey.fr/>
- <https://fr.farnell.com/>
- <https://fr.rs-online.com/web/>

Refabrication

Certaines pièces peuvent également être fabriquées par des machines de fablab, et avec un peu de chance une personne les aura déjà modélisées et mis à disposition (thingiverse.com, etc.). Par exemple, les cache-piles qui ferment un boîtier de pile. Le cas échéant, on peut aussi la modéliser et l'imprimer en 3D à la demande.

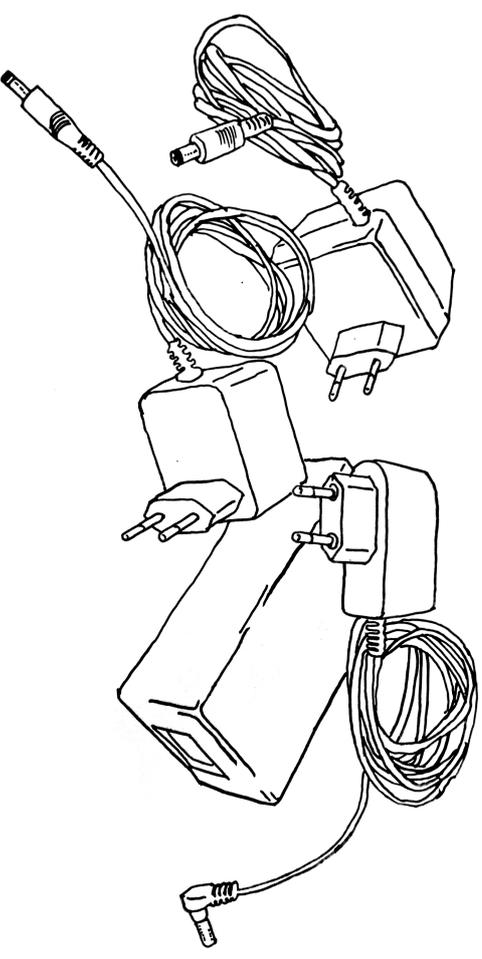


Voici deux exemples, le premier est un cache-pile pour un jouet sonore «Star Party», la pièce manquante a été modélisée sur opensCAD par nos soins d'après les mesures du jouet. Le second est un cache pile pour console Game Boy, un modèle déjà modélisé est téléchargé depuis le site thingiverse.com (plateforme de partage de modèles en 3D).

Une fois que le fichier 3D (.stl) est trouvé ou créé, il ne reste qu'à le préparer dans un logiciel « slicer » et l'envoyer à l'impression! Sans oublier de documenter l'ensemble pour que d'autres puissent le télécharger au besoin et participer à une grande communauté de réparation!

- [cache-pile Star Party](#)
- [cache-pile pour Game Boy](#)

Chargeurs



Les transformateurs secteur, aussi appelés chargeurs, font partie des résidus de notre consommation d'objets électroniques. Leur rôle premier est de transformer la tension du réseau électrique 230V en basse tension adaptée à un appareil, par exemple pour recharger la batterie interne d'un smartphone. Mais une fois cet appareil inutilisable, le chargeur associé est vite oublié au fond d'un placard alors qu'il peut encore rendre service. Encore faut-il pouvoir identifier les caractéristiques du chargeur (tension, courant et polarité de la sortie) :

Exemple du chargeur (A) sur l'illustration :

- (1) caractéristiques du courant d'entrée (la prise murale dite «secteur») : 230 volts, courant alternatif, 135 millampères,
- (2) caractéristiques du courant de sortie (vers l'appareil) : 13,5 volts, courant continu, 1 ampère,
- (3) polarité, le sigle indique ici que le centre (l'intérieur de l'embout) est positif.

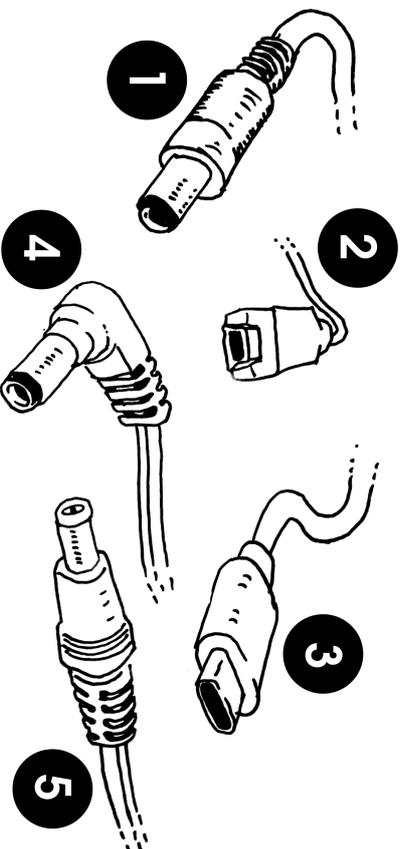
Essayez de déchiffrer les caractéristiques des transformateurs (B) à (F) (résultats en fin de chapitre)

courant continu / courant alternatif : le type du courant de sortie est indiqué par un sigle (voir illustration).

tension : la tension de sortie, en Volts, est indiquée clairement sur le chargeur. C'est une caractéristique à respecter absolument! Une tension trop élevée risquerait de «griller l'appareil», alors qu'une tension trop faible ne le ferait pas fonctionner correctement.

ampérage (ou courant) : cette valeur indique le maximum de courant fourni par le transformateur, en ampères (A) ou milliampères (mA, $1000\text{mA} = 1\text{A}$), cette valeur doit correspondre à la valeur requise par l'appareil, ou la dépasser, car l'appareil ne consommera que ce qui lui est nécessaire. Par exemple, un chargeur fournissant 1000mA peut alimenter un appareil nécessitant 500mA .

polarité : dans le cas d'un courant continu, la polarité indique le sens de circulation du courant, c'est à dire comment le plus et le moins du courant sont distribués sur l'embout. Elle est indiquée par un sigle représentant le connecteur central et les bords de l'embout. En pratique, le positif est généralement placé au centre de l'embout. La polarité peut-être confirmée avec un multimètre.



embout : il existe de nombreux types d'embouts. On peut éventuellement remplacer un embout réemployé depuis un autre chargeur moyennant quelques soudures.

- (1) embout « barrel jack » 5,5mm x 2,1mm (diamètre extérieur x diamètre intérieur),
- (2) embout mini-USB,
- (3) embout USB-C,
- (4) embout « barrel jack » 4mm x 1,7mm,
- (5) embout « barrel jack » 3,5mm x 1,3mm.

Réparation d'une enceinte amplifiée

Diagnostic

Un bruit de fond est présent lorsque l'enceinte est allumée. Le volume de réglage de l'enceinte n'a pas d'incidence sur le niveau du bruit de fond qui est toujours présent et constant. Ouverture de l'enceinte par le panneau arrière une fois l'enceinte débranchée. Observation des différents composants pour identifier la source de la panne. Le bruit ne vient pas du transformateur. L'un des condensateurs a une apparence gonflée.

Désassemblage complet : plusieurs composants sont identifiés comme étant en mauvais état : 2 condensateurs sont gonflés avec des traces de fuite et 2 diodes zener sont également détériorées.

Réparation

Après des recherches en ligne sur le modèle de l'enceinte, certains forums de réparation avec une panne similaire apparaissent et permettent de trouver une réparation possible ainsi que le schéma électronique de l'enceinte. Les noms des composants sont identifiés, ce qui permet de les remplacer par de nouveaux.

On enlève les composants usés à l'aide d'un pistolet à dessouder pour les remplacer.

Remplacer

Pièces de remplacement

Les pièces de rechange sont à chercher tout d'abord chez le fabricant de l'appareil, en particulier pour les ordinateurs portables ou sur ebay, pour des pièces neuves, reconditionnées ou «NOS» (traduire New Old Stock = des pièces neuves de stocks anciens!) ou sur des plateformes de seconde main. Certaines pièces (batterie, ampoule de vidéoprojecteur) sont également fournies par des boutiques spécialisées en ligne.

Composants électroniques

Les boutiques de composants électroniques se font rares mais il en reste quelques unes, alors peut-être dans votre ville! Pour des composants électroniques, il est préférable d'en acheter plusieurs exemplaires si le coût le permet (les frais de port sont en général bien plus cher qu'un composant!). On peut trouver des composants sur le web, dans des boutiques spécialisées ou sur des plateformes de boutiques virtuelles.

En France (liste non exhaustive) :

- <https://gotronic.fr/>
- <https://www.e44.com/> (+ un magasin à Nantes)

vérifier à quelle partie du jack est reliée chaque languette.

Tout sur la [prise Jack \(wikipedia\)](#)

Réparation d'un casque audio

Il s'agit d'un casque audio stéréo de marque inconnue avec un curseur de volume sur le fil et qui se connecte via une prise mini-jack 3,5 mm stéréo contact en 3 points.

1^{er} diagnostic

- Connexion du casque à un ordinateur : le casque est reconnu.
- Démarrer un morceau de musique en stéréo en vérifiant que le panoramique est bien distribué (oreille droite dans enceinte droite, etc) : son faible dans l'oreille droite et pas de son à gauche. Le variateur de volume semble aussi défectueux.
- Bouger la prise jack change le volume : la connexion est défectueuse.

1^{er} étape : remplacement du câble jack (voir ci-dessus)

Matériel : pince à dénuder, briquet, multimètres, pinces crocodile, fiche mini-jack mâle stéréo 3,5 mm

On coupe le câble jack, puis on le dénude. 3 fils apparents : cuivre pour la masse, rouge pour le canal droit et vert pour le canal gauche. Les fils étant vernis, on brûle le bout des fils avec un briquet pour enlever le vernis. On peut également légèrement gratter le cuivre ce qui facilitera la soudure.

On teste le jack de remplacement pour vérifier que l'on connecte bien nos fils au bon endroit. Pour cela nous utilisons un multimètre pour faire un test de continuité et vérifions les sorties pour les différents points de contact du jack. Ensuite on effectue les connexions à l'aide de pinces crocodile entre nos fils dénudés et le nouveau jack.

Malheureusement, l'enceinte gauche ne fonctionne toujours pas.

2^e étape

Démontage de l'oreille gauche du casque à l'aide d'un tournevis. On observe que 2 fils sont dessoudés.

3^e étape

On ouvre l'oreille droite pour comparaison et comprendre où il faut ressouder à gauche. On ressoude. L'oreille gauche ne fonctionne toujours pas. Test de continuité avec le multimètre : tout à l'air ok. On inverse le haut parleur gauche et le haut parleur droit (dessoudage/ressoudage) ☒ maintenant c'est à droite qu'il n'y a plus de son...

Conclusion

Il s'agit d'un problème interne du haut-parleur qui était à gauche initialement.

Solution : remplacer le haut parleur.

À noter qu'[à partir de fin décembre 2024, le chargeur universel \(type USB-C\) deviendra obligatoire en France](#) pour tout appareil rechargeable de petite et moyenne taille (téléphone, tablette, enceinte bluetooth, appareil photo, etc.).

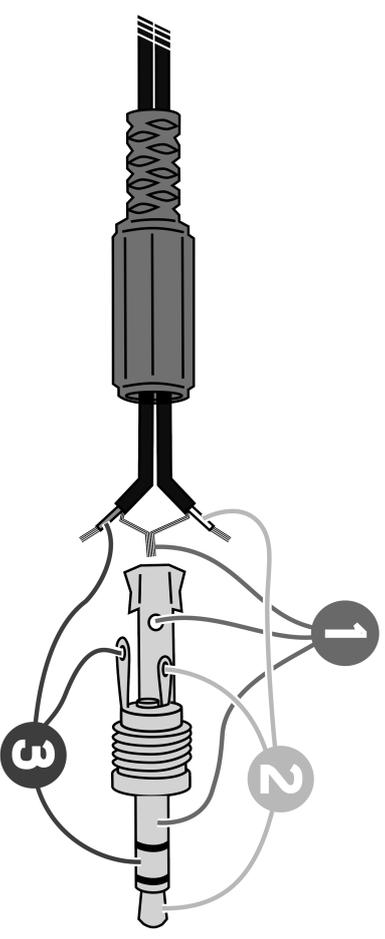
posifir eprtre ue eifros : F
eprtre ue eifros : E
eprtre ue eifros : D
eprtre ue eifros : C
eprtre ue eifros : B
eprtre ue eifros : A

Il s'agit d'une paire d'enceintes amplifiées souvent associée à un ordinateur. Elles sont alimentées par une prise secteur et reliées à l'ordinateur par une fiche *jack* par lequel circule les signaux sonores. Un diagnostic visuel rapide permet de constater que le câble de la fiche *jack* est très endommagé (figure B), il faut donc remplacer ce connecteur.

On peut trouver la pièce de rechange dans une boutique d'électronique en ville ou en ligne (entre 0.50€ et 1.00€). Il existe différentes tailles de fiches *jack*, ici c'est le format miniature de 3,5mm. Les anneaux séparent les parties conductrices de la fiche, dans ce cas on voit 2 anneaux donc 3 parties conductrices : une pour le signal sonore gauche, une pour le signal sonore droit et la dernière pour une masse commune. On parle aussi de *jack TRS* (pour *Tip, Ring, Sleeve*) qui identifie les 3 parties conductrices : extrémité, anneau, bague. Sur la figure C, on peut voir la pièce de rechange composée d'un manchon plastique vissé sur la fiche en métal.

Une fois le câble coupé (figure D), il faut dénuder et séparer les brins de fil conducteur, des gaines de couleur identifient les côtés droit et gauche : blanc pour le signal côté gauche, rouge pour le signal côté droit. Autour de ces fils colorés d'autres brins conducteurs composent la masse commune, il est nécessaire de les joindre avant de les souder.

Avant de souder, il faut glisser le manchon plastique du *jack* sur le câble (après ce sera trop tard!). Le schéma ci-dessous indique les points de soudure :



1. Masse commune : les deux ensemble de brins sont à souder dans la languette la plus grande de la fiche *jack* (reliée à la bague de la fiche).
2. Fil blanc (côté gauche) : à souder sur la petite languette reliée à l'extrémité de la fiche.
3. Fil rouge (côté droit) : à souder sur la languette reliée à l'anneau de la fiche.

Pour les signaux sonores stéréo, les connexions se font toujours de la même manière sur le *jack* et les fils de couleur permettront d'identifier chaque canal. Mais il est toujours possible de faire un test de continuité à l'aide d'un multimètre pour

Prolonger

Dans ce chapitre nous allons apprendre des astuces pour prolonger la vie de nos matériels électriques et électroniques.

Lors de l'achat de matériel neuf, privilégiez un matériel de qualité. Les produits d'occasion ou reconditionnés sont souvent de bonne qualité sinon il n'y aurait pas d'intérêt à les reconditionner. Une fois que vous avez votre matériel, entretenez-le en dégraissant et dépolisant régulièrement les surfaces et les écrans afin de prolonger leur vie et d'éviter la pénétration de résidus à l'intérieur des différents systèmes qui pourraient provoquer des montées en température néfastes.

Prolongez la vie de vos machines en remplaçant les pièces les moins performantes.

Sécurisez votre matériel en le protégeant des surtensions. Utilisez des parafoudres pour les ordinateurs et télévisions. Évitez de brancher vos appareils sur plusieurs multiprises à la suite, pour diminuer les risques d'incendie, d'échauffement et de court circuits.

Ne stockez pas vos machines à côté de source d'humidité ou de chaleur et tenez les éloignées des projections de liquide.

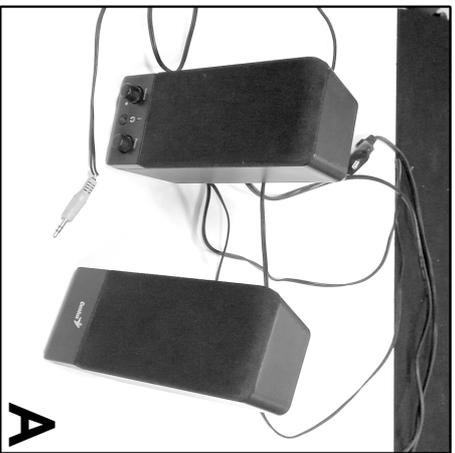
Protégez les écrans des smartphones, consoles portables et tablettes, il existe toutes sortes de coques ou de vitres de protection à cette fin.

Une fragilité importante des appareils portables rechargeables est la prise de charge USB, soyez délicats dans vos branchements. Et nettoyez les connecteurs de temps en temps.

Durée de vie des batteries

Une batterie s'use avec le temps, même lorsqu'elle reste sur une étagère, mais un mauvais usage peut la dégrader prématurément. Voici quelques conseils pour prolonger la durée de vie d'une batterie :

- N'attendez pas que votre batterie soit complètement déchargée pour la mettre en charge.
- Évitez de laisser votre batterie totalement chargée en permanence. Si vous utilisez votre ordinateur portable sur le secteur en continu, il est préférable de débrancher la batterie, si possible.
- Ne mettez pas votre batterie en charge lorsque la température descend sous 0°C. On peut toutefois décharger la batterie jusqu'à -20°C.



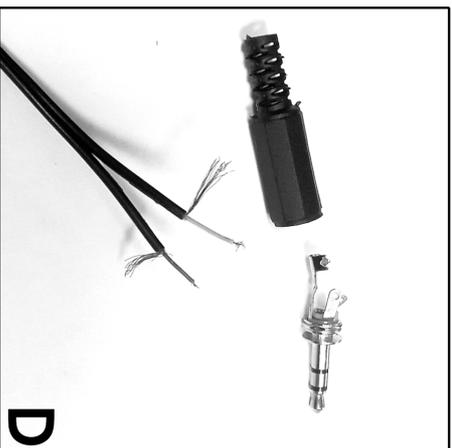
A



B



C



D



E



F

- N'exposez pas votre batterie à des températures trop élevées.
- Les charges/décharges rapides dégradent les batteries plus rapidement que les charges/décharges lentes.
- Évitez de remplacer votre batterie par une batterie bon marché (les escroqueries sont courantes).

Durée de vie des ordinateurs

- Ne laissez pas la poussière s'accumuler dans les ventilateurs.
- Remplacez les pièces usées, de nombreuses pièces détachées existent.
- Dans le cas d'un ordinateur assemblé, choisissez avec attention le bloc d'alimentation, un bloc d'alimentation de qualité contient des composants qui feront office de fusible en cas de surtension, ce qui protégera les circuits électroniques plus sensibles.
- Sauvegardez régulièrement vos données et vérifiez de temps en temps l'état des disques durs ou SSD en utilisant les outils logiciels SMART (Self-Monitoring, Analysis, and Reporting Technology) ou fournis par les fabricants.
- Utilisez un système d'exploitation moins «gourmand» qui pourra fonctionner sur un matériel moins puissant, comme le système Linux Debian avec le gestionnaire de bureau LXDE

Démarches éthiques

Prolonger la durée des appareils électroniques existants, fabriqués dans un contexte d'incitation au renouvellement et à l'achat, n'est pas suffisant pour mettre en place une électronique durable. C'est le point de vue que partagent plusieurs groupes de réflexion qui travaillent à repenser la culture informatique et s'inscrivent bien souvent dans une démarche politique plus globale : écologiste, décroissante et anti-capitaliste.

Le «**Damaged Earth Catalog**» recense ces initiatives proches et parallèles en décrivant leurs intentions et manifestes. Parmi ces initiatives on trouve le *permacomputing*, un concept autant qu'une communauté de pratiques et de réflexion qui propose une critique de la culture informatique actuelle et des pistes pour faire évoluer la conception d'objets informatiques plus durables, plus réparables, utilisant moins d'énergie et produisant moins de déchets, pour citer quelques principes.

Inspiré de la permaculture (forme d'agriculture s'inspirant du fonctionnement naturel des écosystèmes pour produire de façon durable, en privilégiant les outils manuels dits «low-tech» au tout-pétrole), le **permacomputing** propose de repenser entièrement l'informatique, de la dépendance aux infrastructures à la durabilité des langages de programmation, en passant par la hiérarchisation des usages.

Nettoyage

Plusieurs techniques permettent de nettoyer des contacts ou des connecteurs :

L'**aérosol à air comprimé** (ou un compresseur) : nettoyage des claviers, des contacts (il vaut mieux éviter de souffler dessus, ce qui apporterait de l'humidité et de l'oxydation).

L'**aérosol "nettoyant contact"** (comme le F2 de la marque KF/CRC) : désoxydation, nettoyage, lubrification. Par exemple pour nettoyer les potentiomètres linéaires d'une table de mixage, boutons de volume.

L'**alcool isopropylique à 95% ou 99%** permet de nettoyer les contacts « nus », type cartouche de jeu vidéo, carte SD, têtes de lecteur cassette. On peut le verser un petit chiffon non pelucheux (type linge optique) et frotter!

Le **papier de verre** fin permet aussi d'enlever les traces de coulures de pile sur les contacts.

Pour nettoyer les ventilateurs : bloquer le mouvement du ventilateur, « décrasser » délicatement avec un pinceau ou une brosse à dents tout en aspirant.

Pour nettoyer les pièces optiques, on peut utiliser du **papier Joseph** imbibé d'alcool isopropylique à 99%.

Pour aller plus loin

- [Nettoyer et entretenir les cartouches de jeu vidéo](#)
- [Produits d'entretien pour l'électronique](#)

Cas pratiques de réparation

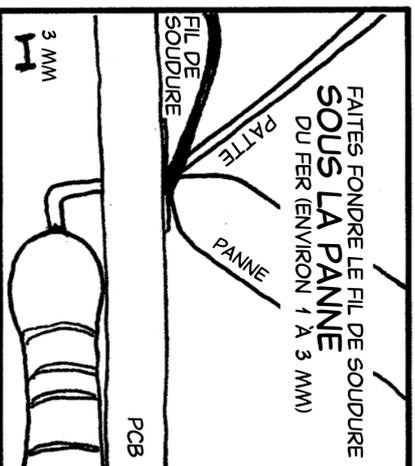
Réparation d'une paire d'enceintes

Un système de *permacomputing* se veut accessible et bien documenté, compatible avec une variété d'architectures, efficace en termes de ressources, flexible et modulaire, et principalement pensé pour un usage hors ligne.

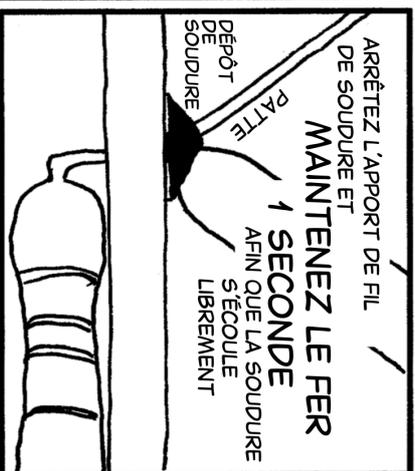
Comme la permaculture, le *permacomputing* ne se limite pas à une approche théorique, mais est déjà mis en pratique par une communauté, réduite mais active, qui conçoit, crée et partage des systèmes, des serveurs, des logiciels et des jeux.

Damaged Earth Catalog : <https://damaged.bleu255.com/>

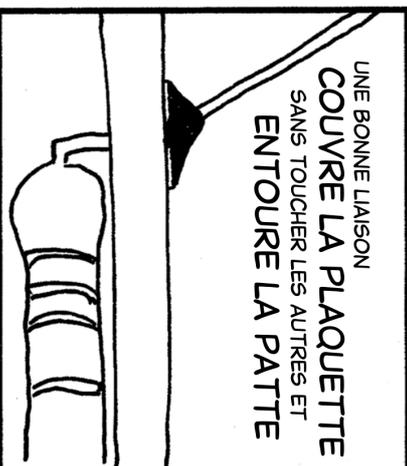
Permacomputing : <https://permacomputing.net/>



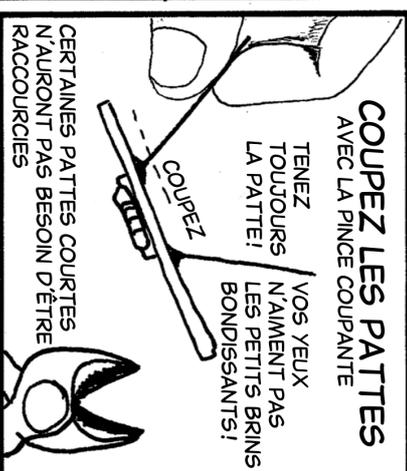
FAITES FONDRE LE FIL DE SOUDURE
SOUS LA PANNE
DU FER (ENVIRON 1 A 3 MM)



ARRÊTEZ L'APPORT DE FIL
DE SOUDURE ET
MAINTENEZ LE FER
1 SECONDE
AFIN QUE LA SOUDURE
S'ÉCOULE
LIBREMENT



UNE BONNE LIAISON
COUVER LA PLAQUETTE
SANS TOUCHER LES AUTRES ET
ENTOURER LA PATTE



COUPEZ LES PATTES
AVEC LA PINCE COUPANTE

TENEZ
TOUJOURS
LA PATTE!
VOUS YEUX
N'AIMENT PAS
LES PETITS BRINS
BONDISSANTS!

CERTAINES PATTES COURTES
N'AURONT PAS BESOIN D'ÊTRE
RACCOURCIES



LA FUMÉE DE SOUDURE
N'EST PAS TOXIQUE, ÉVITEZ
TOUT DE MÊME DE LA RESPIRER
EN SOUFFLANT DESSUS
PAR CONTRE, LE FIL DE SOUDURE
EST TOXIQUE
ET SE DÉPOSE SUR VOTRE
PEAU QUAND VOUS LE TENEZ

LAVEZ VOUS LES
MAINS À LA FIN!

CONTINUEZ À SOLDER LES COMPOSANTS À
LEUR PLACE. RAPPELEZ-VOUS QUE CERTAINS
DOIVENT ÊTRE PLACÉS DANS LE BON SENS!
**SI TOUTES LES CONNECTIONS
SONT BONNES, LE CIRCUIT
FONCTIONNERA!**

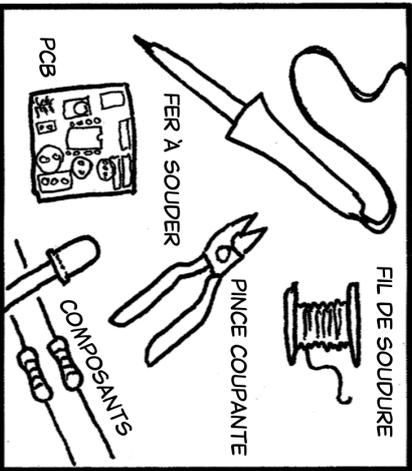
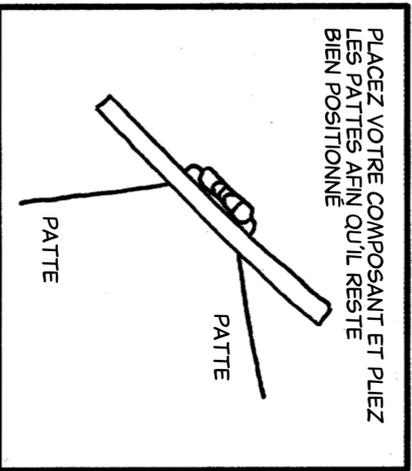
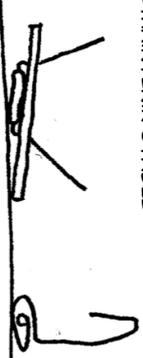
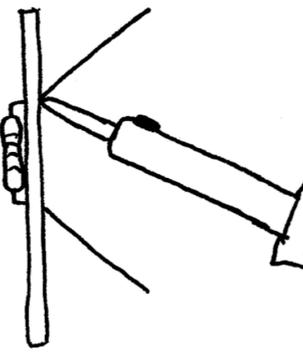
VOUS APPRENDREZ D'AUTRES TRUCS PAR LA
PRATIQUE, MAIS VOUS EN SAVEZ DÉJÀ ASSEZ
POUR FAIRE PLEIN DE CHOSES COOL

TUTORIEL DE SOUDAGE PAR MITCH ALTMAN
[HTTP://CORNFIELDELECTRONICS.COM](http://cornfieldelectronics.com)
ADAPTATION BD PAR ANDIE NORDBREN
[HTTP://LOG.ANDIE.SE](http://log.andie.se)
TRADUCTION PAR EMOC, [HTTP://EMOC.ORG](http://EMOC.ORG)

DOMAINE PUBLIC : UTILISEZ, COPIEZ, DIFFUSEZ

SOUDER, C'EST FACILE

VOILÀ COMMENT FAIRE

 <p>FIL DE SOUDURE</p> <p>FER À SOUDER</p> <p>PINCE COUPANTE</p> <p>COMPOSANTS</p> <p>PCB</p>	 <p>ATTENTION! LE FER EST TRÈS CHAUD</p> <p>VOTRE KIT COMPORTE UNE NOTICE DE MONTAGE EXPLIQUANT OÙ VA CHAQUE COMPOSANT ET DANS QUEL SENS!</p> <p>NETTOYEZ LA PANNNE DE VOTRE FER AVANT CHAQUE SOUDURE!</p> 
<p>PLACEZ VOTRE COMPOSANT ET PLIEZ LES PATTES AFIN QU'IL RESTE BIEN POSITIONNÉ</p>  <p>PATTE</p> <p>PATTE</p>	<p>RENVERSEZ LE PCB POUR SOUDER</p> <p>PRENEZ SOIN DE LA SURFACE DE LA TABLE!</p> <p>TROUVEZ UN BON MOYEN DE LE MAINTENIR STABLE</p>  <p>SI NÉCESSAIRE, FORMEZ UN SUPPORT AVEC LE FIL DE SOUDURE PLUTÔT QUE DE LE TENIR À LA MAIN</p>
<p>OK C'EST PARTI POUR SOUDER!</p> <p>CHAUFFEZ LA PLAQUETTE ET LA PATTE DU COMPOSANT ENVIRON 1 SECONDE</p>  <p>PATTE</p> <p>PLAQUETTE</p> <p>PSST! COMMENCEZ PAR NETTOYER LA PANNNE!</p>	 <p>APPUYEZ LE FER À LA FOIS CONTRE LA PLAQUETTE ET CONTRE LA PATTE</p>

Règles de sécurité

Avant tout démontage, diagnostic interne ou réparation, débranchez l'alimentation électrique de l'appareil : enlevez la batterie ou les piles, débranchez **ABSOLUMENT** la prise du secteur 230V. Et pour éviter de le brancher par mégarde, vous pouvez aussi enrouler la prise dans du scotch.

Utilisez des outils isolés électriquement (avec un manche en caoutchouc ou plastique) et assurez-vous d'avoir les mains sèches!

Avant de toucher un circuit électronique, il est conseillé d'éliminer l'électricité statique du corps en touchant un élément conducteur relié à la terre, comme les vanes en laiton d'un radiateur.

Portez un équipement qui vous protège

Protégez vos yeux avec des lunettes de sécurité.
Protégez vos mains avec des gants, en cuir idéalement, pour éviter de se pincer, de se piquer ou de se brûler avec un fer à souder.
Et pour le reste du corps portez des chaussures et des vêtements adaptés couvrant les bras et les jambes.
Évitez aussi de porter des bijoux : chaînes de cou, bracelets ou bague métalliques.

Mettez en place un environnement adapté

Installez un environnement de travail confortable, avec une bonne lumière et les outils dont vous aurez besoin à disposition, des petits bacs pour conserver les composants et faciliter les remontages. Choisissez une surface de table qui ne craint rien pour éviter les rayures ou protégez là avec du carton scotché.

Travaillez dans une atmosphère ventilée, si possible avec un aspirateur de fumées, les vapeurs de soudure sont irritantes pour les bronches.

Les soldures sur circuit imprimé utilisent du plomb, alors après avoir soudé ou manipulé des circuits imprimés, lavez vous les mains avec du savon et de l'eau chaude avant de commencer une autre activité. Évitez aussi de manger en faisant des soldures pour ne pas ingérer de plomb!

Laissez les boissons à distance, et autant que possible choisissez des contenants refermables (gourdes ou bouchons à vis).

Utilisez les outils adéquats pour l'usage prévu!

Il est parfois tentant de prendre le premier outil à disposition, mais choisissez plutôt l'outil adapté à un usage : une pince coupante pour couper des fils plutôt qu'un cutter!

Si vous manipulez des circuits électroniques

Certains appareils fonctionnent avec de très hautes tensions, comme les téléviseurs cathodiques, laissez ces réparations ou démontages aux professionnels qui sauront se protéger de ces tensions dangereuses.

Attention aux hautes tensions et courants forts! Même si l'appareil est débranché, les condensateurs peuvent conserver un fort niveau de charge et certains fonctionnent avec de forts niveaux de tension, en particulier dans les circuits d'alimentation, il faut les décharger avant d'intervenir sur le circuit.

La méthode la plus rapide : utilisez un tournevis isolé pour toucher simultanément les deux contacts du condensateur avec la partie en métal de l'outil, cela produira un court circuit et déchargera le condensateur. Toutefois cette méthode peut endommager le condensateur, il est plutôt conseillé de relier une ampoule à incandescence classique entre les deux pôles du condensateur, il se videra alors à travers l'ampoule. On peut ensuite mesurer la tension, à l'aide d'un multimètre, entre les deux pôles du condensateur pour vérifier qu'il est bien déchargé.

Réparer

Une fois le diagnostic établi, on peut procéder au nettoyage ou à la réparation. En électronique, cela consiste bien souvent à relier des connecteurs ou remplacer des composants, pour ces opérations le fer à souder est l'outil de base!

Une opération de base : le soudage / dessoudage

Le soudage consiste à appliquer un alliage de métal liquide entre deux parties pour assurer leur liaison et la circulation électrique. Par exemple : assembler des composants sur un circuit imprimé, relier des fils conducteurs aux broches d'un connecteur, etc.

L'alliage métallique est traditionnellement composé d'étain et de plomb auxquels peuvent être ajoutés de l'argent ou du cuivre; il fond à environ 200°C, pour cela on utilise un fer à souder dont l'extrémité (la panne) chauffe à 370°C environ, attention aux risques de brûlure. Depuis 2006, les alliages à base de plomb sont interdits (mais toujours en vente!) et sont remplacés par des alliages étain + argent + cuivre qui nécessitent une température de fer entre 350°C et 390°C (selon l'épaisseur des éléments à relier).

Le dessoudage permet de faire fondre une soudure afin de libérer un composant, pour le remplacer par exemple. On peut réaliser un dessoudage avec un simple fer et une pompe à dessouder manuelle. Il existe aussi de la tresse à dessouder que l'on chauffe pour absorber l'alliage de soudure. Ces opérations nécessitent un peu de pratique. Une alternative consiste à utiliser un fer à dessouder ou pistolet à dessouder qui aura la double action de chauffer l'alliage et de l'aspirer, c'est plus simple que l'opération manuelle.

Le tutoriel de la double page suivante vous permettra de réaliser vos premières soudures qui s'amélioreront avec un peu de pratique!

Il s'agit d'une traduction d'un tutoriel publié par Mitch Altman sous licence libre, traduit et remis en page pour ce guide.

Ce tutoriel est disponible en de [multiples langues](#) sur le site de l'auteur, il en existe aussi une version de 8 pages plus détaillée traduite en français par Lionel Delteil. Ainsi qu'un [article très détaillé sur le soudage](#)

Une version A4 du tutoriel est disponible, à imprimer, plastifier et disposer proche du matériel : [Soudier c'est facile \(pdf\)](#)

Déroulé de la séquence

Durée	Objectifs	Description	Approche pédagogique	Mots-clé
5 min	Se connaître	Tour de table de prénom et pronom des participant·es	Brise glace	Rencontrer
30 min	Définir les sujets de recherche	Disséquer un objet électronique pour en observer la complexité : identifier les marques (produit, composants), les matériaux, les traces des étapes de fabrication. Identifier les mots-clés qui feront l'objet des recherches (un fabricant, un matériau, un composant, un procédé, une origine géographique)	Réflexion collective	S'interroger, observer
45 min	Rassembler des informations pertinentes	À partir des mots-clés, dresser un « plan » d'enquête, chaque participant·e remonte une piste à partir de son mot-clé, en prenant des notes sur le pad collectif et/ou sur papier	Recherche en autonomie	Enquêter, rechercher
15 min	Se préparer à utiliser un outil de cartographie	Présentation d'Open Street Map et de l'application de cartographie Umap	transmission	Cartographier
1 h	Synthétiser collectivement la recherche, cartographier	Lecture des notes par chacun·e, discussion, synthèse en reconstituant la chaîne de fabrication, placement des sites identifiés sur la carte	transmission entre pairs, expérimenter la cartographie	trier, situer

Retour des animateur·ices

- **Les plus** : la première partie d'enquête permet aux participant·es de faire évoluer leur représentation des industries technologiques;
- **Les moins** : les sujets abordés sont très nombreux et des pistes de discussion sont abandonnées par manque de temps.

Retour des participant·es

- **Les plus** : meilleure compréhension du cycle d'existence d'un produit numérique;
- **Les moins** : frustration face à la difficulté de compléter la carte de façon exhaustive.

Ressources

- **umap** <https://umap.openstreetmap.fr/fr/>
- **tutoriel umap** : https://wiki.cartocite.fr/doku.php?id=umap:tutoriel_umap

Bibliographie

- Mc Lellan, Todd. *Things Come Apart*. London : Thames & Hudson, 2013. 128 p.
- Thwaites, Thomas. *The Toaster Project : Or a Heroic Attempt to Build a Simple Electric Appliance from Scratch*. Princeton Architectural Press, 2010. 192 p.
- Huang, Andrew "Bunnie". *The Hardware Hacker. Adventures in Making and Breaking Hardware*. No Starch Press, 2019. 424 p.

Lithium impact

Énergie et réemploi, expérimenter le réemploi de batteries lithium issues d'ordinateurs mis au rebut. Les participant·es apprennent à les démonter en sécurité afin de tester le réemploi de celles-ci.

Objectifs :

- Découvrir les différents composants qui constituent une batterie au lithium;
- Apprendre à tester les cellules;
- Entretien et bon usage des batteries.

Fabrication

- Une batterie externe reconditionnée

Durée totale de l'atelier : 2h.

Âge public : Plus de 16 ans.

Pré-requis : aucun.

Jauge max. : 6 personnes.

Nombre d'intervenant·es recommandé : 2-3 personnes.

Tarif : 5€ par boîtier de batterie externe.

Besoins en matériel :

- Gants de protection,
- Lunettes de protection,
- pinces coupantes,
- tournevis,
- chargeur(s) de cellules lithium (Opus BT-C3100 par exemple),
- boîtiers vide de batterie USB (1 boîtier par participant),
- lot de cellules triées et préchargées,
- les participant·es sont encouragés à amener leurs batteries HS.

On ne pourra pas réutiliser directement les vieilles cellules apportées par les participant·es : tester une cellule prends plusieurs heures avec le chargeur et rien ne garantit qu'elles seront en quantité ou en qualité suffisante.

Il est donc recommandé d'avoir suffisamment de cellules pré-chargées d'avance pour assembler les batteries reconditionnées.

On peut acheter des lots de cellules lithium d'occasion, triées, sur eBay par exemple. On peut aussi envisager de collecter les vieilles cellules apportées par les participant·es et les utiliser lors des prochains ateliers, après les avoir testées et chargées.

Trésors numériques

Découverte et cartographie des lieux d'extraction et de production des outils numériques. Les participant·es mènent une recherche collective et créent une carte collaborative grâce à Umap OSM (outil numérique libre de cartographie)

Objectifs

- Identifier les étapes de production des objets électroniques (de l'extraction de minerai à l'assemblage);
- Sensibiliser à la consommation de matières premières;
- Mener une recherche et produire un compte rendu collectif;
- Utiliser une application de rédaction collective (type etherpad / framapad);
- Utiliser une application web de cartographie (Umap + Open Street Map).

Durée totale de l'atelier : 2h30.

Âge public : à partir de 16 ans en autonomie.

Pré-requis : utiliser un navigateur web.

Jauge max. : 8-10.

Nombre d'intervenant·e : 1.

Besoins en matériel :

- Ordinateurs avec navigateurs web;
- Objets numériques, servant de point de départ;
- Vidéo projecteur ou écran de taille suffisante;
- Carte du monde en poster (optionnel) + épingles pour localiser les lieux.

Besoins immatériels :

- Pad (une page web dédiée sur framapad ou autre version d'etherpad);
- Un compte Umap;
- Connexion à Internet.

Besoins en espace :

- Espace assis pour le temps de recherche avec projection / écran

- [Les oubliées du numérique](#), Isabelle Collet, 2019.
- [Technologies & minorités](#), Ping, 2019.

Sur les techs en général :

- [Makery](#)

SONORE

- [Comment dresser son smartphone](#), Épisode 3 de *Vivons heureux avant la fin du monde*, Delphine Sattel, juillet 2021.
- [GAFA tes gosses](#), Épisode 8 de *Vivons heureux avant la fin du monde*, Delphine Sattel, juillet 2021.
- [Radio Contre-temps Mémoire collective](#), Ping, juin 2021.
- [GAFAM Fatal](#), Association Radio Pikezi, 2021
- [Entretien avec Bulot, cyber-féministe](#), Série Breton·nes et féministes, Aurélie Fontaine, 2021.
- [Les doigts dans la prise #12 : Un genre de lutte sur Wikipédia](#), Ping, mars 2020
- [Des ordis, des souris et des hommes](#), Les couilles sur la table, janvier 2020.
- [Le chant des machines](#), Lætitia Druart, octobre 2017.
- [Préhistoire numérique](#), Cécile Babiole, 28 mai 2013.

Déroulé de la séquence

Durée	Description	Objectifs	Mots-clé
15 min	Présentations. Explication du déroulé de la séance.	Faire connaissance.	Découverte
40 min	Désassemblage des batteries usagées et récupération des cellules.	Ouvrir les batteries sans s'abîmer les mains.	Surprise
20 min	Mise en charge, tri des cellules.	Constituer des lots de cellules aux mêmes caractéristiques.	Synecdoque
20 min	Explications sur la charge/décharge, entretien des batteries.	Apprendre à utiliser au mieux les batteries.	
10 min	Assemblage de la batterie USB.	Mettre les cellules dans le boîtier.	
15 min	Discussion à la cool pour conclure.	Au-revoir, merci, bisous.	

Retour des animateur·ices :

- **Les plus** : intérêt fort pour le réemploi lié à l'énergie;
- **Les moins** : les règles de sécurité doivent être scrupuleusement respectées pour ne pas mettre en danger le groupe.

Retour des participant·es :

- **Les plus** : donne de l'inspiration et des idées pour poursuivre des projets de réemploi et d'upcycling (batterie pour vélo électrique, lampe à recharge solaire, etc.);
- **Les moins** : difficultés à se mettre à l'aise avec la manipulation d'objets technologiques dangereux.

Hyper connecté

Comprendre nos comportements et notre consommation de données au quotidien. Les participant·es analysent leurs usages des outils numériques des réseaux sociaux, des emails, du stockage de données, etc.

Objectifs :

- Sensibiliser à la sobriété énergétique;
- Identifier l'utilisation personnelle des ressources numériques, et des infrastructures nécessaires;
- Découvrir le fonctionnement du web, les transferts de données nécessaires à l'affichage d'une page web, ainsi que la «face cachée de la navigation web» (cookies, trackers).

Mots clés : mesurer, sobriété numérique, protocole, datacenter, serveur, streaming, cloud, cookie, tracker

Durée totale de l'atelier : 2h00.

Âge public : à partir de 16 ans en autonomie.

Pré-requis : /

Jauge max. : 8-10.

Nombre d'intervenante : 1.

Besoins en matériel :

- Ensemble d'images et de datavisualisations illustrant les concepts technologiques abordés (voir mots-clés ci-dessus);
- Vidéo projecteur ou écran de taille suffisante;
- Papier / crayons.

Besoins immatériels :

- Navigateur firefox avec l'extension «monitorito»;
- Connexion à internet.

Besoins en espace :

- Espace assis pour le groupe avec projection / écran.

Déroulé de la séquence

Durée	Objectifs	Description	Approche pédagogique	Mots-clé
5 min	Se connaître	Tour de table de prénom et pronom des participant·es	Brise glace	Rencontrer
10 min	Se concentrer	Écriture personnelle et anonyme sur papier libre sur son propre rapport aux technologies. Le papier est plié et mis de côté dans un récipient, il peut être lu à haute voix en fonction du groupe à la suite de l'exercice ou en fin de séance	Auto-réflexion	S'interroger
1h30	Découvrir et apprivoiser	Démontage des outils numériques ensemble. Possibilité de proposer aux participant·es d'ouvrir un appareil à plusieurs. Les participant·es peuvent prendre des photos, dessiner des croquis issus de leurs observations	Observation et documentation	Disséquer
30 min	Lever les freins	Debriefing en reprenant les papiers et en échangeant avec les participant·es de l'impact sur soi de cet atelier dans l'appropriation des technologies	Analyse de pratique	S'approprier

Retour des animateur·ices

- **Les plus** : prise d'autonomie rapide dans la pratique du démontage, atelier facilitant la déconstruction du mythe des technologies fragiles et intouchables, les participant·es peuvent repartir avec une ou plusieurs pièces démontées de leur choix (objet totem permettant de se remémorer l'expérience vécue lors de l'atelier)
- **Les moins** : les appareils démontés sont rarement remontables!

Retour des participant·es

- **Les plus** : cet atelier permet de briser les barrières d'accès aux technologies, le fait qu'il n'y ait pas à remonter facilite et encourage à explorer les outils numériques sans frein;
- **Les moins** : certaine frustration ressentie face à la quantité de pièces inconnues et dont l'usage au sein de l'appareil n'est pas identifié.

Vue explosée

Démontage d'ordinateur pour sortir de l'image de la «boîte noire magique» et explorer le hardware. Les participant·es démontent seules ou à plusieurs une collection d'appareils numériques. Ils et elles analysent leur contenu.

Objectifs :

- Découvrir l'intérieur des outils numériques;
- Reconnaître les composants de ces outils;
- Lever les freins d'accès au numérique.

Durée totale de l'atelier : environ 2h.

Âge public : à partir de 6 ans (accompagné d'un adulte), à partir de 13 ans en autonomie.

Pré-requis : aucun.

Jauge max. : 10-15.

Nombre d'intervenante : 1 à 2.

Besoins en matériel

- tournevis cruciforme,
- tournevis plat,
- tournevis de précision,
- pinces de différentes tailles,
- ciseaux,
- pied de biche (au cas où),
- 3 caisses pour mettre les déchets (métal, plastique, divers),
- 1 caisse ou casier pour mettre les éléments récupérés,
- tables et chaises pour être confort pour bricoler,
- gants, lunettes et masques au besoin,
- accès internet pour permettre des recherches en ligne pendant l'atelier (et documenter),
- papier et crayon pour prise de notes / dessins pendant le démontage.

Besoins en espace :

- un espace pour y déposer le matériel à démonter,
- un espace par participant·e pour y démonter les objets choisis,
- un espace pour y installer des caisses de recyclage.

Déroulé de la séquence

Durée	Objectifs	Description	Approche pédagogique	Mots-clé
5 min	Se connaître	Tour de table de prénom et prénom des participant·es	Brise glace	Rencontrer
15 min	Démarrer	présentation de l'«expérience» : pendant toute la durée de l'atelier : désactivation des bloqueurs de pub, démarrage de l'extension monitorito de suivi des trackers et cookies, ouverture des outils web pour voir les volumes de données échangées.	Transmission	Web, navigation
45 min	Inventorier les pratiques numériques à partir des usages personnels	Sur papier, chaque participant·e décrit sa «journée numérique» du réveil au coucher, voire pendant la nuit! En détaillant appareil (smartphone, tablette, ordinateur, console, tv, objet connecté), contexte (familial, travail, loisir), usage (communication, réseau social et média numérique, jeu, divertissement) et l'application.	Auto-réflexion	Vie numérique, application, web
45 min	Prendre conscience de l'imbrication des réseaux numériques avec nos quotidiens et découvrir des usages alternatifs	Tour de table ou chacun·e raconte sa journée numérique (prise de note sur le pad), des questions apparaissent qui peuvent donner lieu à des recherches web de solutions alternatives, de données factuelles. Sensibilisation et propositions d'alternatives plus sobres.	transmission entre pairs, discussion	cloud, service numérique, streaming
10 min	Slinitier au fonctionnement du web	Conclusion de l'expérience avec monitorito	transmission	web, serveur, cookie, trafic des données

Retour des animateur·ices :

- **Les plus** : partir des expériences personnelles permet facilement de trouver une place, donne une position valorisante aux moins consommateur·ices d'outils numériques;
- **Les moins** : certaines mesures de consommation restent sans réponses car difficiles à faire une synthèse des sources d'information ou simplement pas d'information sur certains sujets.

Retour des participant·es :

- **Les plus** : permet de prendre conscience de ses usages quotidiens du numérique, d'encourager les bonnes pratiques;
- **Les moins** : sensation de ne pas avoir de prise sur les espaces de stockage.

- **extension monitorito** : <https://monitorito.github.io/>
- [vérifier les trackers d'une application android](#)
- [application exodus pour android](#)

Bibliographie

- Bortzmeyer, Stéphane. *Cyberstructure*. Caen : C&F Éditions, 2018. 268 p.
- Abiteboul, Serge ; Peugeot, Valérie. *Terra Data. Qu'allons nous faire des données numériques*. Paris : Editions Le Pommier, 2017. 338 p.
- *Atlas du numérique*. Paris : Presses de Sciences Po, 2023. 128 p.
- Wagon, Gwenola. *Planète B*. Cognac : 369 éditions, 2022. 280 p.
- Kaiser, Brittany. *L'affaire Cambridge Analytica*. New-York : Harper Collins, 2019. 450 p.
- *Guide d'autodéfense numérique*. Clermont-Ferrand : Éditions Tahin Party, 2017. 490 p.
- Laumonier, Alexandre. 6. Zones sensibles, 2013. 112 p.

Filmographie

- [Nothing to Hide](#) (film documentaire), réalisé par Marc Mellassoux et Mihaela Gladovic, 2017. 86 min. (visionnable gratuitement en ligne sur plusieurs plateformes)

Les ateliers

Cette partie du guide s'adresse à toutes celles et ceux qui souhaitent développer des ateliers de sensibilisation aux questions environnementales en lien avec le numérique dans leurs lieux.

Notre méthodologie : apprendre par le faire et l'essai-erreur.
 Dans ce processus d'essai-erreur, les participant-es testent une pratique en toute liberté et analysent le résultat de leur processus.
 Qu'il soit positif ou négatif, l'important est d'avoir essayé.
 Cette approche favorise la prise d'initiatives individuelles et collectives.

Nos outils : l'observation / la recherche en ligne / la veille / le bricolage / l'arpentage de textes / la découverte de logiciels libres / etc.

Voici les 6 fiches pratiques, prêtes à emploi !

Vue exposée

#reconnaitre
 Objectif : avoir une idée des matériaux utilisés dans les appareils numériques.

Trésors numériques

#situer
 Objectif : identifier la chaîne de production des outils numériques qui nous entourent.

Lithium impact

#réutiliser
 Objectif : apprendre à réutiliser du matériel numérique obsolète.

Nomades cyber-connectés

#mesurer
 Objectif : sensibiliser à la nécessaire sobriété énergétique.

Recette de fabrication

#diagnostiquer
 Objectif : être en capacité d'identifier un problème et définir des solutions de réparation.

Le grand magasin

#réparer
 Objectif : reconnaître les outils à disposition pour favoriser la réparabilité et le réemploi.

d'ordre) confie à une autre entreprise (appelée sous-traitant) la mission de réaliser pour elle une partie des actes de production et/ou de services dont elle demeure responsable.

Streaming : technique de diffusion et de lecture en ligne en continue de données multimédias pour éviter le téléchargement et permettre la diffusion en direct ou en différé (le plus souvent en différé).

Tantale : métal d'aspect similaire à de l'argent. Il est stable et conducteur. Élément clé dans l'utilisation des appareils électroniques, smartphones, ordinateurs et caméras.

Télémetrie : surveillance et analyse d'informations visant à suivre les performances et à identifier les problèmes de systèmes informatiques.

Terre rare : groupe de métaux aux propriétés voisines comme le scandium. Il ne s'agit pas de métaux peu répandus contrairement à ce que laisserait supposer leur nom.

Trillion: un milliard de milliard (10 puissance 18).

VPN: acronyme de l'anglais pour *Virtual Private Network* ou réseau privé virtuel pour créer des liens directs entre des ordinateurs distants.

Wiki: application web permettant de créer un site collaboratif et évolutif. L'exemple de plus connu en est «Wikipedia».

Zinc : métal présent dans les piles et les batteries.

Recettes de fabrication

Expérimenter des méthodes de diagnostic de panne. Les participantes sont mises face à des cas pratiques : l'appareil ne s'allume pas ou ne fonctionne pas correctement. Le groupe expérimente les outils afin de diagnostiquer la panne et envisage différentes possibilités de réparation.

Objectifs :

- Appréhender le diagnostic de manière ludique;
- Apprendre les règles de sécurité électrique;
- Identifier le fonctionnement global d'un appareil électronique (source d'alimentation, circuits actifs, éléments d'interaction);
- Trouver des indices de pannes par l'observation visuelle;
- Utiliser un multimètre pour mesurer la continuité électrique.

Durée totale de l'atelier : 2h00 (ou plus).

Âge public : à partir de 16 ans en autonomie.

Pré-requis : /

Jauge max. : 8-10.

Nombre d'intervenante : 2.

Besoins en matériel :

- Outils de la rubrique outiller/démonter de ce guide,
- multimètre,
- assortiment de piles,
- papier / crayon pour prendre des notes,
- appareil photo (des photos sont utiles pour le remontage),
- plusieurs petits bacs pour conserver les vis enlevées durant le démontage (pilulier),
- gants de protection,
- lampe de poche (pour éclairer les recoins),
- assortiment d'appareils en panne (6 minimum), éventuellement amenés par les participantes (de préférence fonctionnant sur pile).

Besoins en espace :

- Table de grande surface pour y placer outils et appareils et travailler confortablement;
- Bon éclairage de la pièce.

Déroulé de la séquence

Durée	Objectifs	Description	Approche pédagogique	Mots-clé
5 min	Se connaître	Tour de table de prénom et prénom des participantes	Brise glace	Rencontrer
15 min	Démarrer	Présentation des outils disponibles et des objets en panne ainsi que des règles de sécurité électrique	Transmission	Découvrir
5 min	S'installer	Choix de l'objet ou des objets à diagnostiquer en premier, selon le nombre de participantes, constitution de 2 groupes de 5 maximum		
20 min	Relever des indices, déduire des pistes des réparations	Chaque groupe démonte et cherche des indices sur la panne de l'objet choisi, en prenant des notes et des photos de documentation	Réflexion collective, observation et déduction	Manipuler, enquêter, rechercher
5 min	Compléter le diagnostic, évaluer si la réparation est possible	Mise en commun et discussion avec l'autre groupe, rédaction d'une fiche diagnostic pour l'atelier suivant	Transmission entre pairs	S'interroger, déduire
5 min		Remontage des objets	Pratique	Manipuler

Chaque groupe choisit un nouvel objet et reprend l'enquête afin de diagnostiquer 2 ou 3 objets au total, en échangeant les rôles (démontage, prise de notes, photos, tests)

Quelques questions basiques à se poser :

- Y a-t-il des marques de coulure ou d'oxydation dans le bloc piles?
- Un câble est-il dessoudé ou débranché?
- Des marques de brûlures apparaissent-elles sur les composants du circuit imprimé?
- Des composants sont-ils empêchés, cassés ou déplacés? (boutons, etc.)
- Trouve-t-on excessivement de poussière ou des marques d'eau, etc.?

Retour des animateur·ices :

- **Les plus :** partage de savoirs au sein du groupe de participantes valorisant leur place dans l'atelier;
- **Les moins :** difficulté à préparer en amont sans connaissance des pannes qui seront découvertes.

Retour des participantes :

- **Les plus :** encapacitation des participant·e·s à mener la réparation soi-même

client et serveur, contrairement au modèle client-serveur.

Podcast : diffusion permettant à l'utilisateur d'écouter ou de voir un programme en utilisant son propre matériel.

Prise jack : prise de forme spécifique au branchement d'une fiche de type audio.

Propylène (anciennes appellation) ou **Propène** (appellation actuelle) : hydrocarbure important dans l'industrie pétrochimique. Il est notamment utilisé pour la synthèse d'autres composés plus complexes tels le polypropylène (cf. « polyoléfines » ci-dessous).

Polyoléfines : les polyoléfines sont les polymères (groupements de composants dit « monomères » en chaînes plus ou moins longues) les plus courants. Ce sont des matériaux thermoplastiques appréciés pour leurs nombreuses propriétés, comme leur grande résistance chimique, leurs différentes caractéristiques mécaniques, ainsi que leur compatibilité avec les produits destinés à l'alimentation. Les représentants les plus connus de cette catégorie de « plastiques » sont le polyéthylène ou PE (obtenu par polymérisation du monomère d'éthylène) et le polypropylène ou PP (résine thermoplastique obtenue par polymérisation de monomères du propylène).

Photogravure : procédé utilisé pour imprimer des illustrations.

Puce : voir circuit intégré.

Résistance : composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance (mesurée en ohms) à la circulation du courant électrique.

ROHS : sigle anglais pour *Restriction Of Hazardous Substances* est une directive comprenant les dix matières dangereuses couramment utilisées dans les équipements électriques et électroniques.

Semi-conducteur : matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité de passage d'un courant électrique, quoique faible, reste suffisamment importante selon les conditions auquel il est soumis.

Silicium : corps simple dit « métalloïde » (dont les propriétés physiques et chimiques sont intermédiaires entre celles d'un métal et d'un non-métal). Utilisé dans les appareils électroniques.

SMD : Sigle anglais de *Surface Mounted Device*, voir CMS ci-dessus.

Software : logiciel.

Sous-traitance : une opération par laquelle une entreprise (appelée donneur

sa fabrication.

Firmware : programme faisant fonctionner un matériel électronique.

GPU : sigle anglais de *Graphic Processing Unit*, un composant spécialisé principalement utilisé pour le calcul d'image.

Hardware : désigne la partie matérielle d'un ordinateur.

Lithium : métal utilisé dans la conception de batteries, dont l'extraction est gourmande en énergie et en eau.

Métaux lourds : ce sont des métaux qui ont une masse volumique élevée (par définition supérieure à 5000kg/m³), comme le plomb, le mercure, le zinc, le chrome...

Microcontrôleur : circuit intégré extrêmement miniaturisé qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte et mémoire vive), unités périphériques et interfaces d'entrée-sortie.

Minage de cryptomonnaie : opération de création de nouvelles unités de cryptomonnaie.

Mineral : qui contient des substances que l'on peut extraire.

Multimètre: appelé aussi « testeur » est un appareil de mesure polyvalent qui regroupe, en un seul appareil, un voltmètre (mesure de tension électrique), un ampèremètre (mesure de l'intensité), et un ohmmètre (mesure de la résistance au passage d'un courant électrique dans un dispositif).

Obsolescence : devenir périmé, déprécié.

Or : ce métal est présent dans les puces des ordinateurs et des appareils électroniques.

OS : sigle d'*Operating System* en anglais traduit par système d'exploitation.

Pad : contraction pour Etherpad ou Framapad, petit nom pour désigner le type d'application web qui permet d'écrire en ligne à plusieurs sur une page web avec en général le minimum de formatage habituel des éditeurs bureautique.

PCB : sigle en anglais de *Printed Circuit Board*, traduit par circuit imprimé, c'est la carte électronique sur laquelle sont tracés les pistes de cuivre et disposés les composants.

P2P : acronyme de *Peer to Peer*, ou système d'échange «pair-à-pair». Il correspond à un échange en réseau où chaque entité (un ordinateur par exemple) est à la fois

et avec les autres;

- **Les moins** : blocage des réparations demandant des compétences électroniques avancées.

Bibliographie / Ressources

- <https://www.ifixit.com>
- ressources en ligne pour le démontage (voir rubrique «[Trouver de la documentation](#)»)

Le grand magasin

Découverte des outils de réparation disponibles en fablab. Les participantes ayant acquis une méthodologie de diagnostic des pannes, découvrent et testent différents outils disponibles en fablab pour réparer soi-même.

Objectifs :

- Apprendre les règles de sécurité électrique;
- Identifier les outils de réparation et leur usage;
- Apprendre à souder / dessouder.

Durée totale de l'atelier : 2h00 (ou plus).

Âge public : à partir de 16 ans en autonomie.

Pré-requis : /

Jauge max. : 8-10.

Nombre d'intervenante : 2.

Besoins en matériel :

- Outils des rubriques outiller/démonter, réparer, soudage/dessoudage de ce guide;
- Multimètre et autres appareils de mesure si nécessaire;
- Assortiment de piles;
- Papier / crayon pour prendre des notes;
- Appareil photo pour la documentation;
- Plusieurs petits bacs pour conserver les vis enlevées durant le démontage (pilulier);
- Equipements de protection (gants, lunettes);
- Lampe de poche (pour éclairer les recoins);
- Assortiment d'appareils à réparer (6 minimum), identifiés dans l'atelier précédé avec leur fiche diagnostic;
- Pièces / composants de rechange.

Besoins en espace :

- Table de grande surface pour y placer outils et appareils et travailler confortablement;
- Bon éclairage de la pièce.

Lexique

Autocomplétion : fonctionnalité qui propose de terminer la saisie à la place de l'utilisateur.

Cellule de batterie : une cellule est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux pour donner une batterie.

Chrome: navigateur web.

Circuit imprimé : il s'agit d'une plaque servant de support et de maintien pour relier des éléments électroniques reliés par des pistes de cuivre.

Circuit intégré : composant électronique dédié à une fonction, intégrant un grand nombre de transistors miniaturisés. C'est une «puce» dans le langage commun!

Cloud : désigne une plateforme en ligne qui héberge vos données.

Condensateurs : composant permettant d'accumuler de l'énergie électrique.

CMS : sigle de « Composants Montés en Surface ». Il s'agit d'une technique de fabrication pour poser et souder des composants électroniques sur la surface d'un circuit.

CPU : sigle de «*Central Processing Unit*» qui désigne le processeur de l'ordinateur.

Cuivre : ce métal est très utilisé pour son excellente conductivité électrique et sa meilleure résistance à la corrosion que d'autres métaux conducteurs.

Cyanure : groupe de composés chimiques hautement toxiques pour les organismes vivants.

Densité énergétique : la densité d'énergie représente l'énergie en une unité.

Effet de serre : phénomène naturel de l'absorption d'une partie du rayonnement solaire par les gaz présents (en particulier le dioxyde de carbone alias « gaz carbonique»).

Étamage : dépôt d'une couche d'étain de soudure sur une partie métallique pour la préserver de l'oxydation, ou sur un fil multibrin pour faciliter la soudure.

Éthylène : gaz incolore volatil et peu soluble dans l'eau, de densité proche de l'air avec lequel il forme des mélanges explosifs et qui affecte les plantes.

Fabless : désigne une société qui conçoit ses produits et sous-traite l'intégralité de

- Mc Lellan, Todd. **Things Come Apart : A Teardown Manual for Modern Living**, Thames and Hudson, 2013, 128 p.
- Oskay, Windell ; Schlaepfer, Eric. **Open Circuits The Inner Beauty of Electronic Components**, No Starch Press, 2022, 300 p.

Réflexion

- Illich, Ivan. **La convivialité** (Tools for conviviality), Harper & Row, 1973, 110 p.

NB : Des ressources bibliographiques sont également indiquées dans la partie «atelier» de ce guide en fonction du thème de chaque atelier.

Déroulé de la séquence

Durée	Objectifs	Description	Approche pédagogique	Mots-clé
5 min	Se connaître	Tour de table de prénom et prénom des participantes	Brise glace	Rencontrer
15 min	Démarrer	Présentation des outils disponibles, des règles de sécurité électrique et des objets destinés à être réparés	Transmission	Découvrir
5 min	S'installer	Selon le nombre de participantes, constitution de 3 groupes de 3/4 maximum, choix de l'objet à réparer.		
40 min	Réparer	Chaque groupe démonte et cherche des indices sur la panne de l'objet choisi en prenant des notes et des photos de documentation	Réflexion collective, observation et déduction	Manipuler, pratiquer
10 min	Conclusion d'étape	Mise en commun et discussion avec l'autre groupe, partage des difficultés et réussites	Transmission entre pairs	partager

Chaque groupe choisit un nouvel objet en échangeant les rôles (soudage, prises de notes, photos)

Retour des animateur-ices :

- **Les plus** : prise d'autonomie des participant-es dans le fablab, encourage le bon usage des outils du fablab.
- **Les moins** : manque de composants à disposition pour effectuer certaines réparations.

Retour des participant-es :

- **Les plus** : découverte de la palette d'outils à leur disposition au fablab, meilleure connaissance de leur usage.
- **Les moins** : manque de temps pour aller jusqu'au bout d'une réparation complexe (cas pratique : l'enceinte amplifiée).

Bibliographie

Réparation pratique

- Boyer, Jean. **Réparez vous-même vos appareils électroniques**, 2e éd., Eyrolles, 2019, 428 p.
- Boyer, Jean. **Réparer son électro-ménager et ses autres appareils électriques**, Eyrolles, 2022, 428 p.
- Orliac, Lucile. **Comment tout réparer (ou presque)**, Hachette, 2021. 224 p.

Électronique pratique

Deux ouvrages pour acquérir les notions de base de l'électricité et découvrir de manière progressive l'électronique analogique :

- Platt, Charles. **L'électronique en pratique vol.1, 36 expériences ludiques**, Eyrolles, 2013, 344 p.
- Platt, Charles. **L'électronique en pratique vol.2, 36 expériences ludiques**, Eyrolles, 2015, 354 p.

Pour aller plus loin, le même auteur a publié un guide en 3 tomes, richement illustrés, des principaux composants électroniques :

- Platt, Charles. **Encyclopedia of Electronic Components, vol.1. Power Sources & Conversion**, Makermedia, 2013, 272 p. (non traduit)
- Platt, Charles. **Encyclopedia of Electronic Components, vol.2. Signal Processing**, Makermedia, 2014, 284 p. (non traduit)
- Platt, Charles. **Encyclopedia of Electronic Components, vol.3. Sensors**, Makermedia, 2016, 228 p. (non traduit)

Pour découvrir l'électronique numérique, il faut se tourner vers les cartes arduino qui bénéficient d'une riche documentation en ligne et d'une littérature génèreuse.

- Banzi, Massimo. **Démarrez avec Arduino, 4e édition**, Dunod, 2023, 192 p.
- Margolis, Michael. **La boîte à outils Arduino, 2e édition - 120 techniques pour réussir vos projets**, Dunod, 2019, 480 p.

En anglais, on peut aussi signaler le livre de Bryan Bergeron qui part des objets pour analyser leur fonctionnement

- Bergeron, Bryan. **Teardowns: Learn How Electronics Work by Taking Them Apart**, MC Graw Hill, 2010, 352 p.

Ainsi que deux livres de photos d'objets démontés et de composants vus en coupe!

Colophon

La maquette du livre a été conçue avec un procédé de *web2print* permettant de rédiger, d'éditer les textes et la composition des pages de manière dynamique et collaborative. Pour cela nous avons utilisé le logiciel libre dokuwiki, hébergé sur un serveur web préparé pour le projet et augmenté des plugins dw2pdf, bookcreator et wrap en utilisant le thème graphique sprintdoc.

plateforme d'édition : <https://planete-numerique.eu>

dokuwiki par Andreas Gohr et la communauté dokuwiki

dw2pdf par Andreas Gohr et Gerrit Uitslag

bookcreator par Gerrit Uitslag et Luigi Micco

wrap par Anika Henke

sprintdoc par Jana Deutschländer, Andreas Gohr et Michael Große

La conception collaborative (écriture et illustration) s'est déroulée dans le cadre d'un éditathon guidé par l'expérience précieuse d'Elisa De Castro Gueira de FLOSS Manuals FR.

Les polices de caractères utilisées pour les en-têtes et le texte sont respectivement **Signika Negative** (par Anna Giedrys) et **Roboto** (par Christian Robertson). **IBS Cartooning** (par Ezel Burniest) a été utilisée pour le tutoriel de soudage.

Les illustrations au trait ont été réalisées par Loula Nguyn, en utilisant **Krita** et sont utilisables en respectant la licence [Creative Commons CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Les figures et graphes ont été réalisées avec **Inkscape** et **Mermaid**

Le fichier pdf de ce guide est diffusé en ligne à l'adresse suivante, accompagné d'une version imprimable à relier manuellement, ainsi que d'éléments complémentaires.

https://lesporteslogiques.net/wiki/projets/guide_de_reparabilite/

Cet ouvrage est diffusé sous licence [Creative Commons CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

•

•

•

•

•

•

•

■