

à quand des biomatériaux pour l'électronique ?



Priscilla Haring-Kuipers (Pays-Bas)

Une grande partie des dommages environnementaux imputables à l'électronique provient des matériaux utilisés. Sommes-nous prêts à adopter des biomatériaux plus respectueux de l'environnement ?

Recyclage

En électronique, le terme durabilité fait généralement référence au recyclage, et il y a effectivement beaucoup à faire de ce côté-là. Moins de 20 % des appareils électroniques sont recyclés de par le monde, et la plupart d'entre eux sont traités par des recycleurs de déchets électroniques peu transparents, voire par des ferrailleurs et des mineurs urbains [1]. Le proces-

sus de recyclage pourrait être amélioré dès l'amont, notamment en recourant à des biomatériaux adaptés à l'économie circulaire. Ce sont des matériaux propres, non toxiques, et plus faciles à traiter.

Les inconvénients du FR-4

La plupart des produits électroniques reposent sur des circuits imprimés composés de FR-4 et de feuilles de cuivre. Le FR-4 (de l'anglais *Flame Retardant class 4*) est une résine époxy renforcée par des fibres de verre. La résine elle-même est un polymère thermodurci dont la structure moléculaire contient des « anneaux époxydes » [2]. Elle est souvent obtenue à partir de dérivés du pétrole et possède une empreinte carbone conséquente (5,7 à 7,6 kg de CO₂ par kg) [3]. Sa fabrication peut provoquer de l'asthme professionnel et des lésions pulmonaires irréversibles. Sa grande viscosité à haute température ambiante requiert par ailleurs l'emploi de diluants à base d'hydrocarbures.

De la même façon qu'un gâteau cuit ne peut être ramené à ses ingrédients de départ, une résine époxy ne peut être décomposée en ses constituants initiaux qui, donc, ne peuvent être réutilisés. Le recyclage de la résine est très difficile en raison même de la réaction chimique qui lui a donné ses exceptionnelles propriétés physico-chimiques. « Il faudra davantage de recherches pour trouver des polymères biosourcés performants et recyclables à même de remplacer les polymères synthétiques des circuits imprimés » [4].

La fabrication, le traitement et l'élimination du FR-4 créent des problèmes que l'emploi d'autres matériaux pourrait éviter. Le goudron de houille, qui était un des ingrédients de base du FR-4, a ainsi déjà été remplacé par d'autres dérivés de combustibles fossiles. D'autres ingrédients sont à l'étude.

Des chercheurs ont par exemple conçu des matrices de résine biosourcées à base de papier et de lin, et contenant moins de retardateurs de flamme toxiques ; d'autres utilisent des substituts à base d'huile de soja et de chanvre. Contrairement au FR-4, ces bio-cartes ont l'inconvénient d'être sensibles à l'humidité.

Vers plus de bio

Le PLA, ou acide polylactique, peut être synthétisé à partir d'amidon de maïs et est biodégradable. Aussi séduisant soit-il, il résiste toutefois mal au stress thermique, une faiblesse incompatible avec les dépôts de métaux en phase vapeur, fours à refusion et autre soudage à la vague propres à l'électronique. Un traitement chimique est à l'étude pour le rendre plus résistant à la chaleur. Comme me l'a dit un chimiste : « Aujourd'hui nous savons faire croître toutes sortes de bioplastiques. Il vous suffit d'énoncer vos exigences. »

Les matériaux conducteurs à base de carbone sont plus résistants à la chaleur et ont une meilleure conductivité électrique. Un grand nombre peuvent être synthétisés à partir de sources renouvelables et pourraient donc remplacer divers métaux. Les nanotubes de carbone peuvent être obtenus à partir de pratiquement n'importe quel composé organique, et le graphène peut être fabriqué par exfoliation du graphite. Plusieurs universités américaines tentent d'utiliser de l'encre de graphène biosourcée pour imprimer des circuits sur des substrats eux aussi biosourcés,



« des outils qui pour l'instant n'existent qu'en laboratoire ou dans l'imagination des chercheurs ».

Des universités finlandaises cherchent quant à elles à fabriquer des capteurs piézoélectriques flexibles à partir de fibres de bois et de bactéries, des supercondensateurs à partir de pissenlit, et divers biocapteurs, électrodes et cartes à partir de « nouveaux matériaux verts » comme la cellulose.

La définition du terme « biosourcé » a évolué. Selon la FDA américaine (*Food and Drug Administration*), les bioplastiques comprennent désormais les produits fabriqués à partir de polymères dérivés du pétrole et mélangés à des fibres naturelles. N'étant pas biodégradables, ces matériaux ne correspondent sans doute pas à l'idée que vous vous faites d'un « bioplastique ».

Quelle durée pour le durable ?

Deux caractéristiques opposent les plastiques classiques et les biomatériaux : les uns durent, les autres sont biodégradables. Les premiers résistent même si bien aux agents de vieillissement naturels (comme l'humidité et la température) qu'ils finissent par former des montagnes de déchets électroniques que nous ne parvenons pas à recycler correctement. Les biomatériaux, eux, se dégradent avec le temps. C'est appréciable pour un produit en fin de vie, ça l'est un peu moins lorsque vous n'en êtes qu'au stade de la conception dudit produit.

La plupart des produits électroniques devraient en fait être dégradables. Certains sont à usage unique, les étiquettes RFID p. ex., et la majorité des autres n'a pas vocation à être utilisée durant des décennies. Alors peut-être la valeur par défaut devrait-elle être la biodégradabilité plutôt qu'une durée de vie illimitée. Si vraiment il vous fallait fabriquer un produit à partir de plastiques ou de résines non-dégradables, alors vous devriez aussi prouver que vous saurez offrir un service d'assistance technique couvrant au moins les 50 prochaines années.

Des initiatives comme la Loi sur le climat et le Pacte vert pour l'Europe permettront un usage plus responsable des matériaux. Les progrès de la science des matériaux laissent eux aussi espérer une « accélération de la mise en œuvre d'une économie biosourcée ». Si aucun de ces matériaux n'est à ma connaissance utilisable à grande échelle, la plupart des chercheurs semblent viser une mise sur le marché d'ici cinq ans. Je m'attends à de grandes bio-choses. ◀

(220556-04) — VF : Hervé Moreau



Source : Fukayamamo, UnSplash

**WORLD
ETHICAL
ELECTRONICS
FORUM**

Forum mondial de l'électronique éthique 2023

En novembre 2021, Elektor a lancé à Munich le **World Ethical Electronics Forum** (WEEF) avec pour objectif d'ouvrir un débat public sur l'éthique et les objectifs de développement durable. Parmi les intervenants figuraient, outre les ingénieurs et rédacteurs d'Elektor : Stefan Heinemann (Professeur d'éthique commerciale à l'école de commerce FOM), Paula Palade (PhD, Jaguar Land Rover), Margot Cooijmans (Directrice, Philips Foundation), ainsi que plusieurs autres spécialistes des questions d'éthique, dont Priscilla Haring-Kuipers. Pour en savoir plus sur le WEEF, visitez la page [elektormagazine.com/weef](https://www.elektormagazine.com/weef).

LIENS

- [1] eWaste Ben : <https://www.youtube.com/c/eWasteBen>
- [2] Custom Materials, Inc., Is Epoxy Resin Plastic?, janvier, 2022 : <https://www.youtube.com/watch?v=i8nEQQ9S0V0>
- [3] NIH, Bioplastics and Carbon-Based Sustainable Materials, Components, and Devices: Toward Green Electronics, 20 octobre 2021 : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8532127/>
- [4] O. Ogunseitan, et al, Biobased materials for sustainable printed circuit boards, Nature Reviews, 12 septembre 2022 : <https://www.nature.com/articles/s41578-022-00485-2#citeas>