

# L'ÉLECTRONIQUE, C'EST DE LA CHIMIE !

Patrice Bray, Odile Garreau, Jean-Claude Bernier

D'après l'article *De la chimie au radar du Rafale*  
de Bertrand Demotes-Mainard publié dans l'ouvrage « Chimie et technologies de l'information »  
EDP Sciences, 2014, ISBN : 978-2-7598-1184-7

Les émetteurs-récepteurs radiofréquences (fréquences inférieures à 300 GHz) se trouvent partout, dès que les fonctions de télécommunication sont sollicitées. On en trouve au moins un dans chaque téléphone portable [1], voire trois si l'on compte le wifi et le Bluetooth [2]. Des appareils comme les avions ou les satellites ne sont pas en reste. Embarquer l'électronique nécessaire dans ces appareils n'est cependant pas sans poser de problème. En quoi la chimie peut contribuer à les résoudre ?

## DES ANTENNES ÉNERGIVORES

L'électronique consiste, schématiquement, à mettre en mouvement des électrons. Selon le matériau traversé, les électrons vont entraîner des réponses différentes, par exemple l'émission de lumière dans les diodes électroluminescentes (LED) [3] présentes dans les écrans de smartphones ou de téléviseurs. Toutefois, ces réponses sont parfois invisibles, comme dans les cas du wifi et du Bluetooth. Ces deux technologies s'appuient sur des antennes qui peuvent émettre ou recevoir un signal électromagnétique. Des « émetteurs-récepteurs » se trouvent également dans le radar d'un avion Rafale, tout

comme dans les satellites de télécommunication ou dans les smartphones (voir l'encadré « un même composant, deux utilisations »).

Dans les smartphones, les antennes sont de la catégorie « un dixième de watt », c'est-à-dire à très faible consommation d'énergie électrique (Figure 1A) (voir l'encadré « Pourquoi préférer le Bluetooth au wifi pour les liaisons sans fil de courte portée ? »).

Dans un satellite comme celui de la constellation Iridium<sup>1</sup> (Figure 1) la puissance est d'une dizaine de watt par émetteur-récepteur ; pour faire une antenne active qui pointe directement la Terre (une antenne intelligente), il en faut quelques centaines.

Dans le cas du radar du Rafale (Figure 1C), des milliers d'émetteurs-récepteurs sont nécessaires. En effet, il faut pointer de façon « intelligente », avec une bonne portée et une grande précision, puisque c'est ce qui donne la qualité du radar. Cela requiert une très grande quantité d'énergie.

Cette consommation énergétique est souvent ce qui limite les performances d'un engin (satellite ou

1. « Iridium » est un système de téléphonie reposant sur un grand ensemble (constellation) de satellites.

### Un même composant, deux utilisations

Le système utilisé dans la conception des antennes qui équipent nos smartphones a la particularité de produire un signal électromagnétique lorsqu'il reçoit un signal électrique et de produire un signal électrique lorsqu'il reçoit un signal électromagnétique. Autrement dit, une antenne de smartphone est à la fois un émetteur et un récepteur de signal électromagnétique. Un même composant permet deux utilisations.

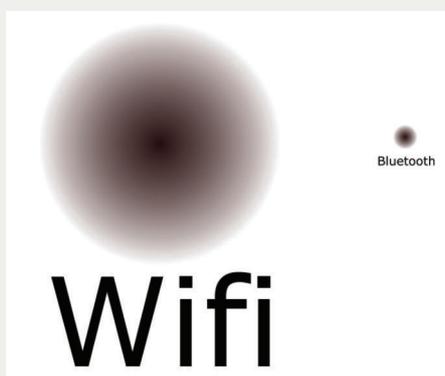
La fréquence des signaux émis et reçus par les smartphones est de l'ordre du GHz, que ce soit pour la 4G (plusieurs bandes entre 0,7 et 2,6 GHz) ou le wifi et le Bluetooth (2,4 GHz).



Figure 1 – Des émetteurs-récepteurs sous toutes les formes, à toutes les échelles : téléphone portable (A), satellite (B) et radar (C).

### Pourquoi préférer le Bluetooth au wifi pour les liaisons sans fil de courte portée ?

Pour pouvoir utiliser votre casque sans fil, veuillez activer le Bluetooth sur votre smartphone ! Pourquoi s'obliger à utiliser deux systèmes de communication à distance, même quand le wifi est déjà activé ? Il suffit de regarder les caractéristiques de chacun d'eux pour comprendre l'intérêt. Le Bluetooth a une portée de l'ordre de 10 m, le wifi de l'ordre de 100 m. Le signal électromagnétique est envoyé dans toutes les directions, il y aura donc une sphère électromagnétique de 10 m de rayon générée autour du smartphone pour le Bluetooth et une sphère de 100 m de rayon, soit une sphère d'un volume mille fois plus grand pour le wifi que pour le Bluetooth.



La valeur de l'énergie électrique nécessaire pour générer le signal wifi sera donc 1 000 fois plus élevée que celle pour générer un signal Bluetooth. L'utilisation du casque se faisant en général à proximité du smartphone, on économise de l'énergie à utiliser le Bluetooth. En revanche la connexion à une box internet se fait en wifi car il peut être nécessaire de s'éloigner de la box à plus de 10 m. 100 m semble une bonne alternative pour une habitation classique.

avion), qui doit avoir la capacité d'emporter suffisamment d'énergie pour le fonctionnement de tout le matériel qu'il embarque. Améliorer l'efficacité énergétique de l'électronique embarquée constitue donc un enjeu considérable.

### DES SEMI-CONDUCTEURS PLUS EFFICACES ?

#### Des associations électroniquement similaires

L'élément chimique emblématique de l'électronique est le silicium, il est au cœur de la conception des ordinateurs, smartphone et appareils de mesures embarqués dans les avions et les satellites. Son symbole chimique est Si (4). Il appartient à la même famille chimique que le carbone présent dans la colonne IV de la classification périodique des éléments chimiques. Ces deux éléments présentent donc des propriétés similaires, comme par exemple une structure cristalline très stable.

Le silicium a aussi des propriétés électriques intéressantes, c'est un semi-conducteur : sa conductivité électrique est intermédiaire entre un isolant et un

conducteur et on peut la contrôler par dopage. Ses propriétés sont à la base de nombreuses applications comme les transistors (5).

Pour améliorer les performances des appareils électroniques, d'autres semi-conducteurs ont été expérimentés. Les chimistes ont développé des mélanges équimolaires d'atomes :

- ▶ des colonnes III et V, comme l'arséniure de gallium GaAs, le phosphore d'indium (InP), le nitrure de gallium (GaN) (6) ;
- ▶ des colonnes II et VI.

Ces mélanges sont élaborés de telle sorte qu'ils aient le même nombre d'électrons interagissant que le silicium (voir Figure 2). Le plus adapté à la fabrication de transistors est l'arséniure de gallium (GaAs ou AsGa), l'antimoniure d'indium (SbIn) pouvant aussi être utilisé. Le nitrure de gallium (GaN) est quant à lui prometteur pour certaines applications, en particulier dans les diodes pour l'éclairage. La combinaison entre un élément de la colonne II et un élément de la colonne VI respecte elle aussi la règle de l'octet. Les composés correspondants peuvent

présenter des propriétés électroniques intéressantes pour quelques applications de niche, mais souffre d'une instabilité chimique trop grande pour être promises à un grand avenir.

|       |           |          |           |           |          |        |         |
|-------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|--------|---------|
|       | 13        | 14       | 15        | 16        | 17       | 18     |         |
|       | 5         | 6        | 7         | 8         | 9        | 10     |         |
|       | B         | C        | N         | O         | F        | Ne     |         |
|       | BORE      | CARBONE  | AZOTE     | OXYGÈNE   | FLUOR    | NÉON   |         |
|       | 13        | 14       | 15        | 16        | 17       | 18     |         |
|       | Al        | Si       | P         | S         | Cl       | Ar     |         |
|       | ALUMINIUM | SILICIUM | PHOSPHORE | SOUFRE    | CHLORE   | ARGON  |         |
| 12    | 30        | 31       | 32        | 33        | 34       | 35     | 36      |
| III B | Zn        | Ga       | Ge        | As        | Se       | Br     | Kr      |
|       | ZINC      | GALLIUM  | GERMANIUM | ARSENIC   | SÉLÉNIUM | BROME  | KRYPTON |
|       | 48        | 49       | 50        | 51        | 52       | 53     | 54      |
|       | Cd        | In       | Sn        | Sb        | Te       | I      | Xe      |
|       | CADMIUM   | INDIUM   | ÉTAIN     | ANTIMOINE | TELLURE  | IODE   | XÉNON   |
|       | 80        | 81       | 82        | 83        | 84       | 85     | 86      |
|       | Hg        | Tl       | Pb        | Bi        | Po       | At     | Rn      |
|       | MERCURE   | THALLIUM | PLOMB     | BISMUTH   | POLONIUM | ASTATE | RADON   |

Figure 2 – Le silicium, principal composant des semi-conducteurs, figure entre le carbone et le germanium dans la colonne IV du tableau périodique de Mendeleïev. Et si l'on essayait des éléments des colonnes III et V [arséniure de gallium (GaAs), phosphore d'indium (InP), nitride de gallium (GaN), etc.] ?

S'il est relativement facile d'obtenir un cristal pur monoatomique de silicium, l'obtention d'un cristal binaire constitué de deux éléments différents est plus complexe, car il faut réussir à intercaler deux éléments différents de manière très régulière. Pour la microélectronique, il est nécessaire de réaliser des composés ultra purs et bien cristallisés, ce qui nécessite des mélanges et des procédés adaptés.

### Les semi-conducteurs III-V peuvent faire plus que le silicium

Malgré une plus grande complexité de production et un coût plus élevé, le recours à des semi-conducteurs III-V peut présenter un intérêt.

Pour ces mélanges, on observe en effet en premier lieu une mobilité des électrons très supérieure à celle observée dans le silicium. Cette propriété permet aux transistors de fonctionner à des fréquences beaucoup plus hautes.

De plus, contrairement au silicium, les semi-conducteurs III-V ont la capacité d'interagir avec la lumière (émission et réception). Cette propriété est très utile pour les lasers solides inclus dans les applications comme un lecteur CD-DVD, pointeurs lumineux, etc. [7].

Enfin, une troisième propriété intéressante est la puissance, par exemple du nitrure de gallium GaN qui est plus de mille fois plus élevée que celle du silicium pour une même quantité de matériau : cette propriété est appelée haute densité de puissance. Ceci est particulièrement intéressant dans une optique de miniaturisation et de portabilité de l'électronique embarquée.

### CONCLUSION

À relativement court terme, les composés III-V seront utilisés pour l'éclairage à très faible consommation et très grand rendement. Ils le seront aussi pour les alimentations électriques compactes pour les ordinateurs. L'utilisation du nitrure de gallium pour la fabrication de panneaux solaires est également très prometteuse pouvant conduire à une meilleure qualité et un meilleur rendement. Cependant, ces applications sont encore en cours de développement. De nombreux obstacles se dressent avant que les procédés de fabrication soient rentables, et c'est à la chimie qu'il revient d'identifier les verrous technologiques et de les faire sauter.

### POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] Exploder un smartphone (Chimie et... junior) <http://www.mediachimie.org/node/1277>
- [2] L'électronique organique imprimée ; une nouvelle branche de l'électronique <http://www.mediachimie.org/node/723>
- [3] EnLEDisez-vous ! <http://www.mediachimie.org/node/1853>
- [4] Internet dans un grain de sable (Chimie et... junior) <http://www.mediachimie.org/node/1277>
- [5] Toujours plus petit (Chimie et... junior) <http://www.mediachimie.org/node/1278>
- [6] La chimie s'invite dans la guerre des téléphones <http://www.mediachimie.org/node/1689>
- [7] L'alchimie du laser (vidéo) <http://www.mediachimie.org/node/903>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS  
 Patrice Bray, professeur de physique chimie  
 Odile Garreau, professeure de sciences physiques de lycée, agrégée de physique  
 Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie