

# LES RADARS DES AVIONS RAFALE

**L**es radars sont des systèmes de télécommunications qui utilisent le principe de l'écho pour détecter les objets, leur position, vitesse, forme, taille ainsi que pour les avions, leur direction et leur altitude.

Pour les avions de chasse comme le Rafale, toutes ces informations doivent être très précises et obtenues en un temps très court. Oui mais comment ?

Figure 1



## Comment fonctionne un radar ?

### L'écho

Qui n'a jamais crié son nom dans la montagne afin d'écouter le retour de sa voix ?



Ce phénomène que l'on nomme écho, du nom de la nymphe grecque, est à la base du principe d'un radar. En effet, la voix qui est une onde sonore vient taper contre la montagne et revient vers nous comme une balle que l'on enverrait contre un mur (*Figure 2*).

De même, certains animaux comme la chauve-souris émettent des ondes dites ultrasonores (non perceptibles par l'oreille humaine) qui lui reviennent en écho. Ce système de localisation de l'écho lui sert non seulement à diriger son vol mais aussi à repérer les insectes dont elle se nourrit.

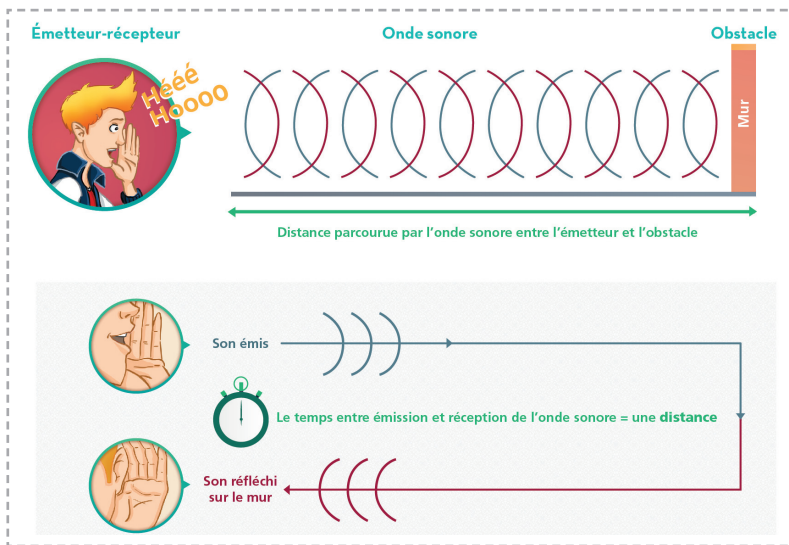


Figure 2

Le principe de l'écho : la voix, onde sonore, heurte l'obstacle qui réfléchit le son.

Dans ces deux exemples, il s'agit de l'écho d'une onde sonore, alors que pour les radars, on utilise le même phénomène avec une onde électromagnétique.

## Le principe

Le système radar émet des petits paquets d'ondes électromagnétiques (des impulsions) et utilise la propriété de ces impulsions de se réfléchir en totalité ou en partie sur un obstacle. Cet instrument de mesure détecte ensuite le retour de ces impulsions et la différence de temps entre l'émission et la réception de l'impulsion détermine la distance de l'objet (*Figure 3*).



### Remarque

Les ondes électromagnétiques sont décrites dans le chapitre « Internet dans un grain de sable ».

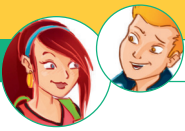


Figure 3

Le système radar émet et reçoit des ondes électromagnétiques, c'est ce qui lui permet de détecter les obstacles.

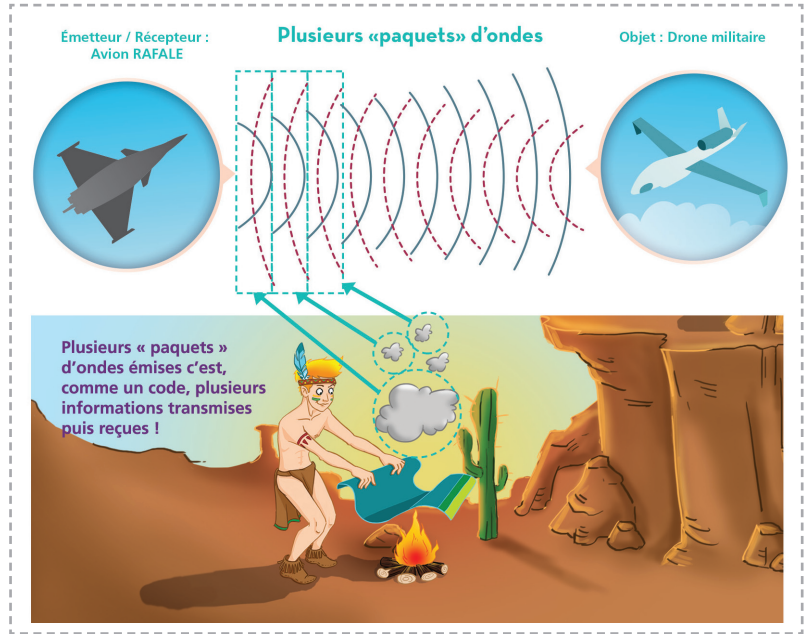
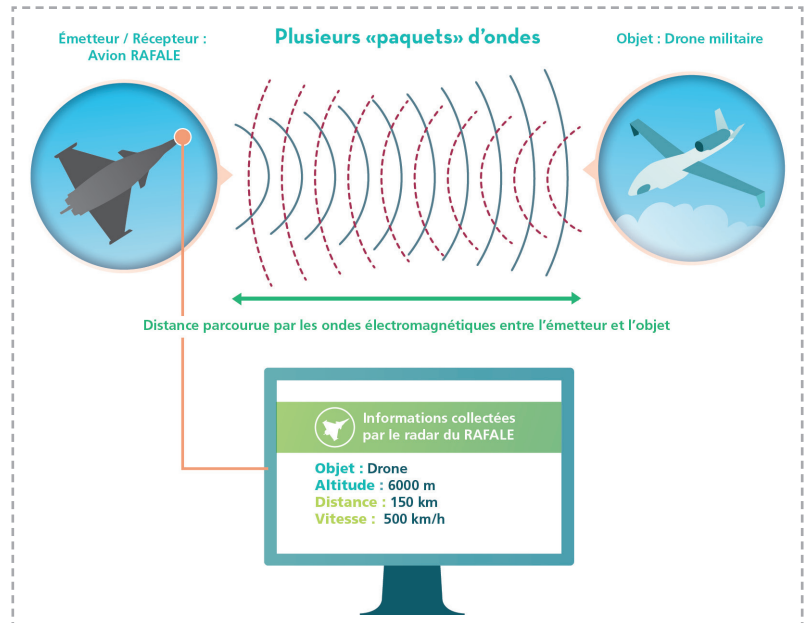


Figure 4

En plus de l'écholocalisation, la fonctionnalité de dialogue permet de collecter des informations détaillées de la cible.





Les radars modernes utilisent le principe du dialogue en plus de l'écho-localisation. Pour cela, ils émettent des suites d'impulsions de durée très courte et de grande puissance contenant des messages, ce qui en retour permet d'avoir plus d'informations sur les cibles rencontrées (Figure 4).

C'est un peu comme la communication des Indiens avec les nuages de fumée : un nuage n'apporte pas beaucoup d'informations, alors que plusieurs petits nuages peuvent contenir tout un message codé.

## Où est la chimie ?

La chimie joue un rôle clé dans la conception et dans la fabrication des émetteurs et des récepteurs que l'on trouve aussi bien dans le radar d'un Rafale que dans les satellites de communication ou dans les téléphones portables.

De même que la force de la voix est nécessaire pour obtenir un bel effet d'écho, l'émetteur du radar, en particulier celui du Rafale, doit avoir une bonne portée et cela exige une forte puissance des impulsions qu'il émet. Il faut donc emmagasiner beaucoup d'énergie, dans des volumes les plus petits possibles. C'est à ce niveau que les matériaux nécessaires à la fabrication de l'émetteur/récepteur rentrent en jeu.

Les nouveaux matériaux utilisés dans les radars modernes résultent d'une collaboration étroite entre les chimistes et les physiciens, et ce pour la mise au point de leur composition, fabrication et enfin leur intégration dans les composants électroniques dans lesquels ils sont utilisés.

## Quels sont les matériaux utilisés ?

Les matériaux utilisés doivent conduire l'électricité, c'est-à-dire que les électrons des atomes doivent pouvoir circuler facilement dans le matériau, tout en pouvant être contrôlés dans leur déplacement et même stockés.



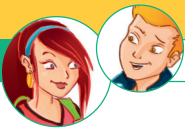
### Un système radar

est un ensemble complexe de composants dans lequel deux éléments sont indispensables : l'émetteur et le récepteur.



### Remarque

Dès que l'on veut télécommuniquer, il faut des émetteurs/récepteurs.



La *figure 5* permet de mieux comprendre. Elle représente l'énergie de liaison des électrons des atomes d'un solide dans trois cas différents.

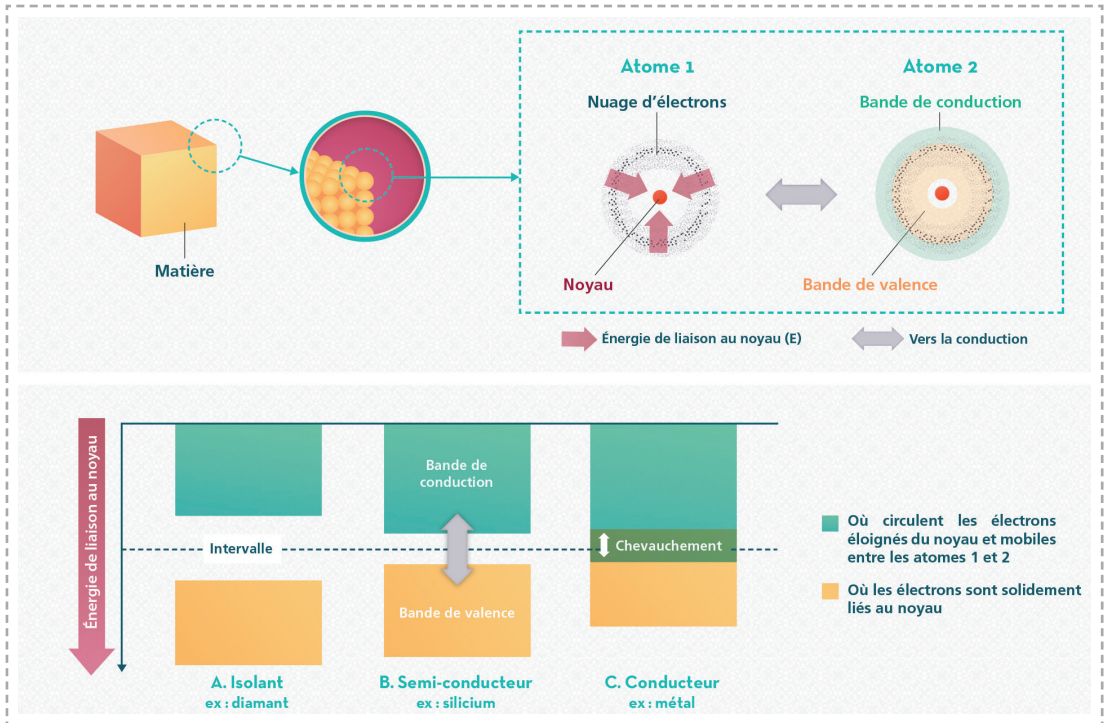


Figure 5

Énergie de liaison des électrons dans un solide.



### Remarque

Les électrons solidement liés à leur noyau sont tous dans une bande d'énergie caractéristique des électrons liés.

On peut, de façon très simplifiée, se représenter un atome comme un noyau central autour duquel se déplacent des électrons qui sont liés à ce noyau par une énergie de liaison  $E$ . Cette énergie de liaison est d'autant plus faible que les électrons sont loin du noyau. Ceux qui sont sur la couche externe (comme la pelure d'un oignon) sont les moins liés, et c'est l'énergie de liaison de ces électrons qui est représentée sur la *figure 5*.

Dans le cas de la *figure 6* en haut, l'énergie de liaison des électrons de la couche externe de chaque atome du matériau est élevée, les électrons restent donc solidement liés au noyau de leur atome et ne peuvent pas passer d'un atome à l'autre : ce sont des matériaux Isolants.

Dans le cas d'un semi-conducteur (au centre de la *figure 6*), les électrons de la couche externe des atomes sont capables de passer

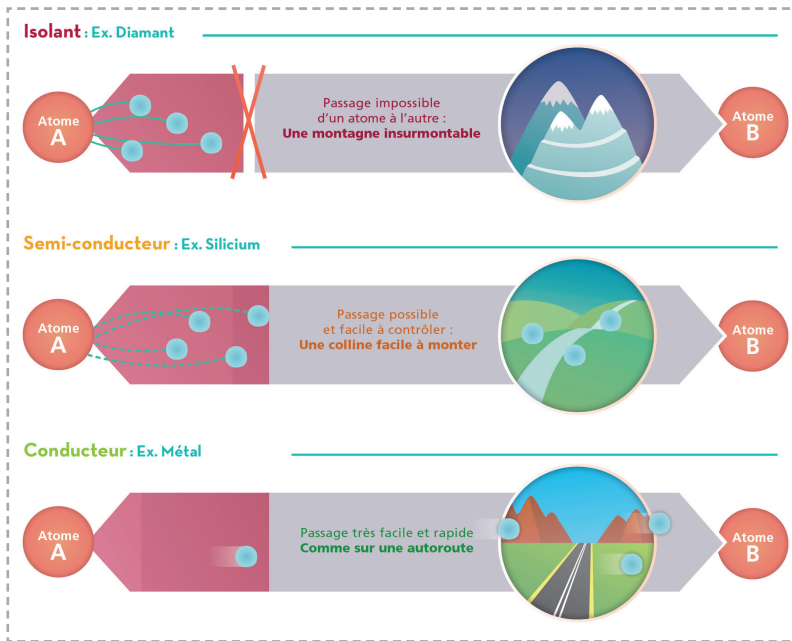


facilement d'un atome à l'autre. Ils sont situés dans une bande correspondant à une énergie de liaison plus faible appelée bande de conduction.

Dans le cas d'un isolant (*Figure 6* en haut), tous les électrons périphériques des atomes du matériau sont dans la bande des électrons liés. Il est impossible de leur fournir l'énergie nécessaire pour les faire passer dans la bande de conduction. C'est le cas du diamant qui est constitué d'atomes de carbone avec six électrons, dont quatre sont sur la couche externe. Ces quatre électrons ne peuvent passer d'un atome de carbone A à un atome de carbone B.



**La bande de conduction** est l'espace permettant aux électrons les plus éloignés des noyaux de deux atomes de passer d'un atome à l'autre.



**Figure 6**

Principe de circulation des électrons externes entre les bandes de valence et de conduction.

Les quatre électrons du diamant sont comme des cyclistes qui pour aller du point A au point B devrait passer par le sommet du Mont-Blanc.

Dans le cas d'un métal conducteur (*Figure 6* en bas), les électrons périphériques passent très facilement d'un atome à l'autre : la bande de conduction est pratiquement la même que celle des électrons liés. Ces matériaux sont conducteurs de l'électricité. C'est le cas d'un métal comme l'étain qui a aussi quatre électrons sur sa couche externe pouvant se déplacer facilement d'un atome à l'autre dans la bande de conduction, et 46 autres électrons dans les couches liées.



**Remarque**

Les électrons de conduction sont comme les cyclistes qui pour aller de A à B circulent sur une piste cyclable plate.





Le cas intermédiaire (*Figure 6*, centre) est celui où l'énergie qu'il faut fournir aux électrons de la couche externe pour passer dans la bande de conduction est faible, et il est assez facile pour les électrons d'un tel matériau de passer d'un atome à l'autre. Cependant on peut aussi facilement contrôler ce passage.

Ces solides font partie de la famille des métaux semi-conducteurs. C'est le cas du silicium qui, comme le carbone, a quatre électrons sur sa couche externe pouvant facilement passer dans la bande de conduction et dix autres électrons fortement liés qui restent localisés sur chaque atome.



### Remarque

Si nous reprenons l'exemple des cyclistes, les électrons de la couche externe sont comme les cyclistes qui montent facilement la petite colline pour aller de A à B.

## La famille des métaux semi-conducteurs

Cette famille des métaux semi-conducteurs est celle qui nous intéresse pour la fabrication des composants électroniques des émetteurs et des récepteurs et plus généralement de tous les composants électroniques.

Le silicium présente l'avantage, comme le diamant, de former des cristaux très stables chimiquement et très résistants, sans défaut, ce qui est important pour ses propriétés de conduire l'électricité : c'est comme le cycliste qui circule idéalement bien sur une piste cyclable parfaite et sans obstacle.

### Les semi-conducteurs III-V : c'est quoi ?

Pour améliorer les propriétés des composants électroniques, il faut enrichir le matériau afin par exemple d'augmenter la mobilité des électrons dans la bande de conduction ou pour les utiliser dans des émetteurs et des récepteurs d'ondes très différentes (radar, radio, laser...). Dans ce but, les chimistes ont réalisé des mélanges d'atomes possédant les mêmes propriétés de base que le silicium.

La *figure 7A* représente le cas (fictif) de deux atomes de silicium isolés dans un solide semi-conducteur, avec les huit électrons de la couche externe (électrons les plus éloignés du noyau) dans la bande de conduction.



### Remarque

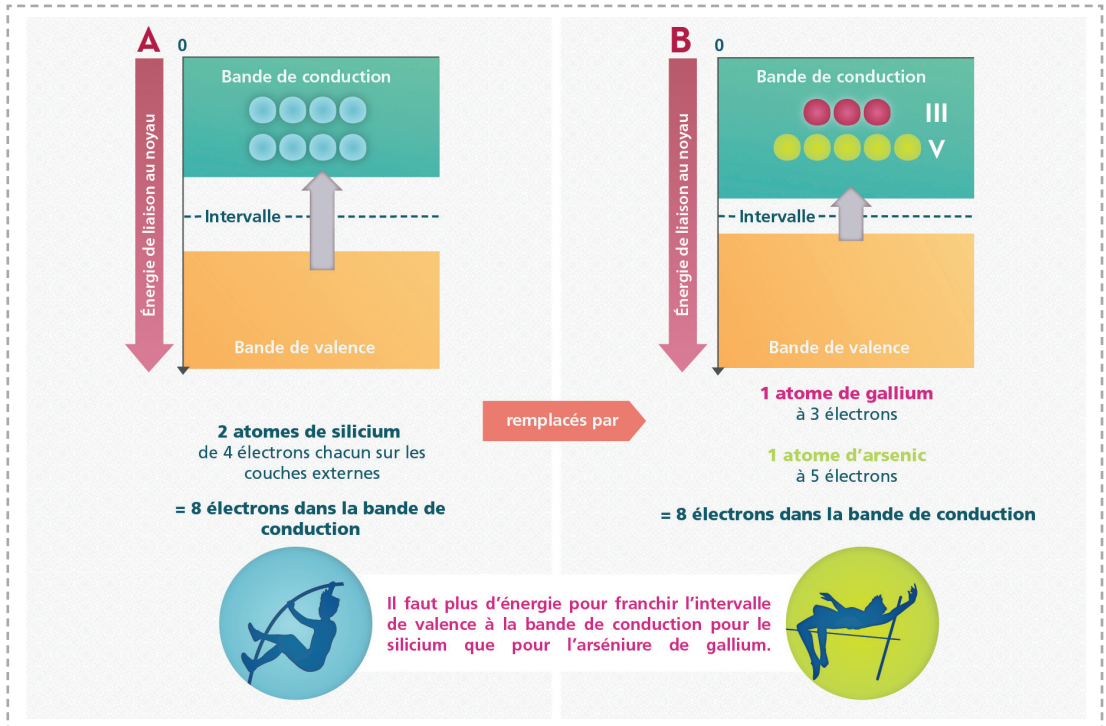
Le semi-conducteur le plus connu et le plus utilisé depuis plus de 60 ans est le silicium qui est le matériau emblématique des hautes technologies de la communication.



La **figure 7B** représente ce que l'on obtient quand on remplace les deux atomes de silicium par un atome de gallium qui a trois électrons (en rouge sur la figure) sur sa couche externe et un atome d'arsenic qui a cinq électrons (en bleu) sur sa couche externe.

**Figure 7**

Principe d'enrichissement d'un matériau pour le rendre semi-conducteur de type III-V.



On a alors le même nombre d'électrons dans la bande de conduction et la barrière à franchir pour les électrons, pour sauter dans la bande de conduction, est plus faible.

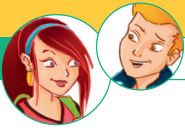
Sur ce principe, les chimistes ont fabriqué des solides bien cristallisés, sans défaut, résistants, en combinant des éléments avec trois électrons sur la couche externe (aluminium, gallium, indium) et d'autres qui ont cinq électrons périphériques (azote, phosphore, arsenic, antimoine).

Et cela a marché ! Par exemple, le nitrure de gallium a une densité de puissance 1 000 fois plus élevée que le silicium, ce qui est très important quand on recherche la performance et la miniaturisation en même temps.



Les électrons sont comme des cyclistes dans une équipe du Tour de France : pour franchir plus vite la colline, il vaut mieux des cyclistes avec des qualités différentes (par exemples les bleus qui poussent les rouges dans la côte) que des cyclistes avec tous les mêmes faiblesses.





# Du gaz au lingot : comment fabriquer les semi-conducteurs III-V ?

En micro-électronique, il faut réaliser des composés ultra-purs et bien cristallisés, sans défaut.

Pour cela et afin d'obtenir des produits purs à 99,9999 %, les chimistes doivent travailler sur :

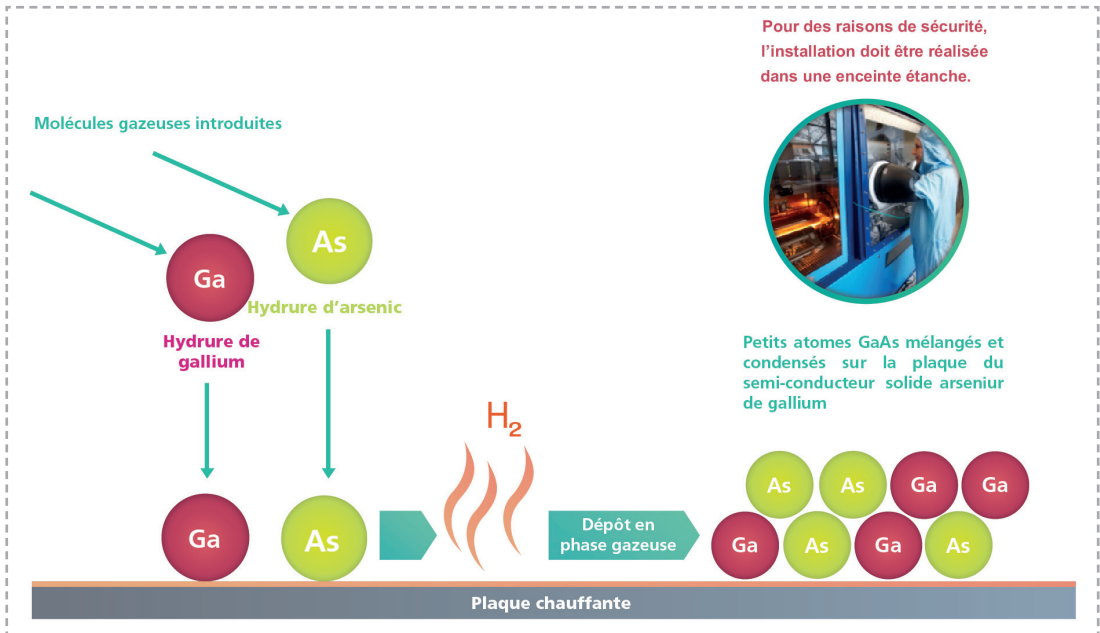
- le choix des mélanges de produits de départ ;
- le choix des procédés à utiliser.

Deux grandes méthodes sont utilisées.

La première est une réaction en phase vapeur : on mélange deux gaz A (hydrure de gallium) et B (hydrure d'arsenic) qui se décomposent en hydrogène (qui s'évapore) et en atomes d'arsenic et de gallium. Ces atomes se combinent sur la plaque en couche de semi-conducteur Ga-As.

Figure 8

La réaction en phase vapeur.

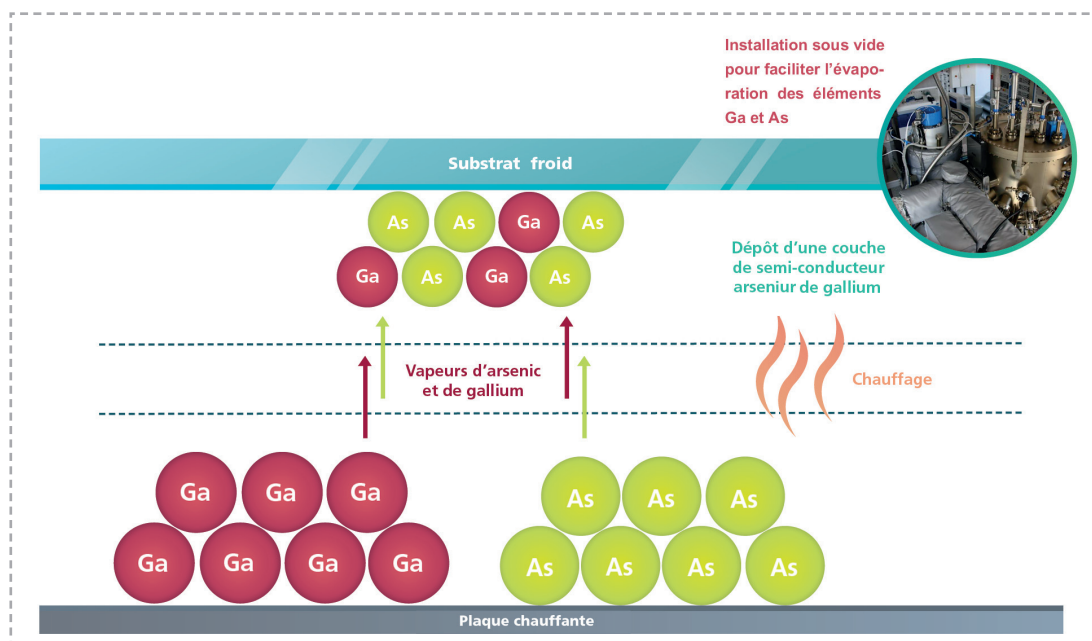




L'autre technique est le dépôt sous vide (Figure 9). De l'arsenic et du gallium sont vaporisés sur une plaque chauffante et vont se condenser sur un substrat froid en formant des couches d'arsenic et de gallium.

Figure 9

Le dépôt sous vide.



## Conclusion

### La chimie doit mettre au point les matériaux de demain.

Tous ces semi-conducteurs III-V déjà largement utilisés le seront encore plus demain car ils sont à la base du développement de l'Internet haut débit mondial.

Les développements ne sont pas encore tous accessibles, il reste toujours de nombreux verrous techniques que la chimie doit résoudre : les techniques de fabrication sous vide, les puretés extrêmement élevées, des solides sans défauts.

Aujourd'hui, on fabrique des quantités de l'ordre de quelques kilos. Elles sont déposées sur des surfaces de l'ordre du  $\text{cm}^2$  ; à l'avenir il faudra passer à la tonne et au mètre carré. On travaille pour le moment avec des métaux rares comme le gallium, mais il faudra changer d'échelle et le remplacer par d'autres éléments plus facilement accessibles.

Au travail les chimistes !