

Enseignes et afficheurs à LED

La diode à jonction : principes physiques



Prof. Alain Tiedeu

La diode à jonction : principes physiques



Prof. Alain Tiedeu

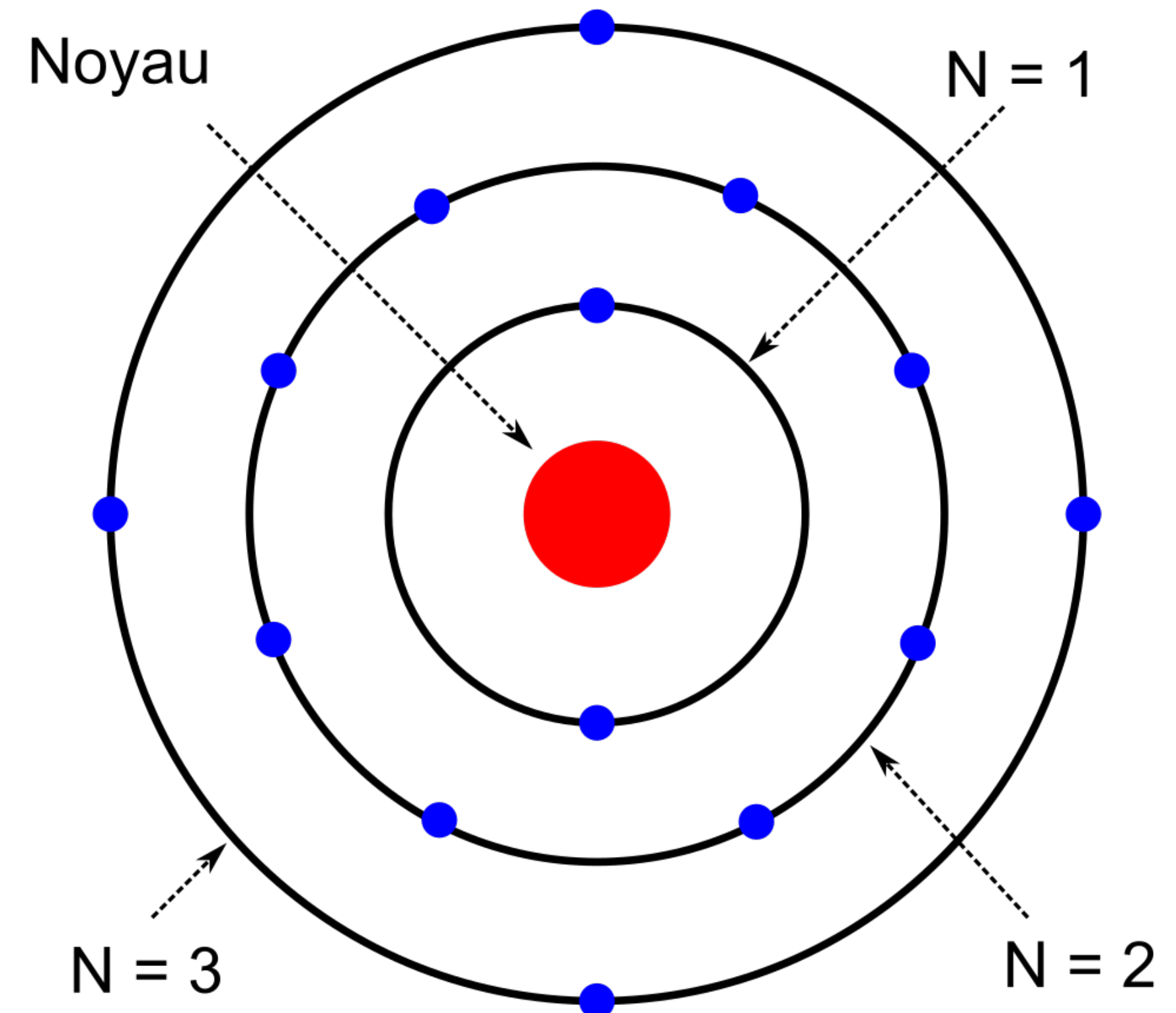
La diode à jonction : principes physiques



- Modèle de Bohr
- Niveaux d'énergie
- Semi-conducteurs intrinsèques
- Dopage N et P
- Jonction PN
- La diode à jonction

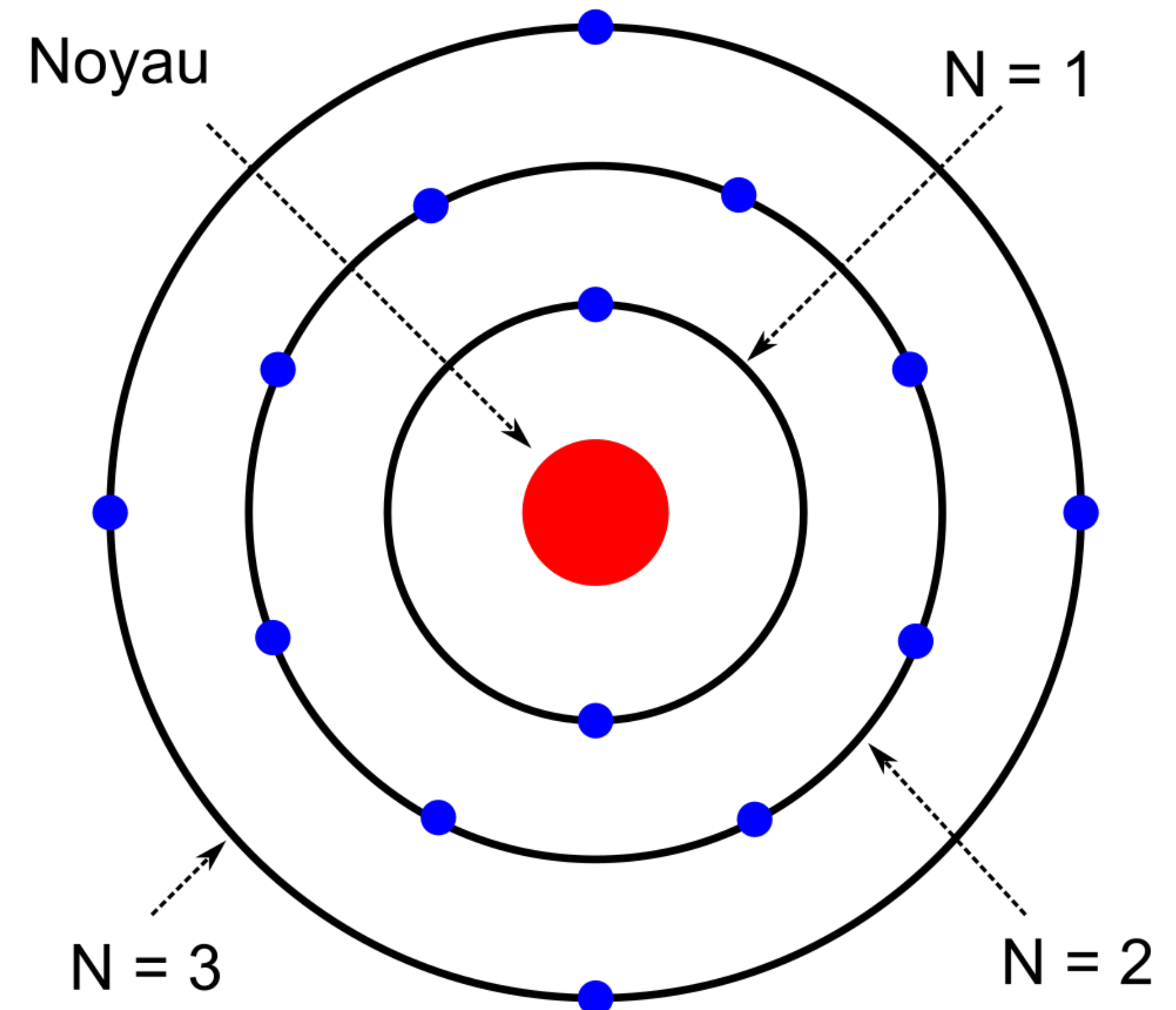
Modèle simplifié de l'atome : modèle de Bohr

- Noyau central



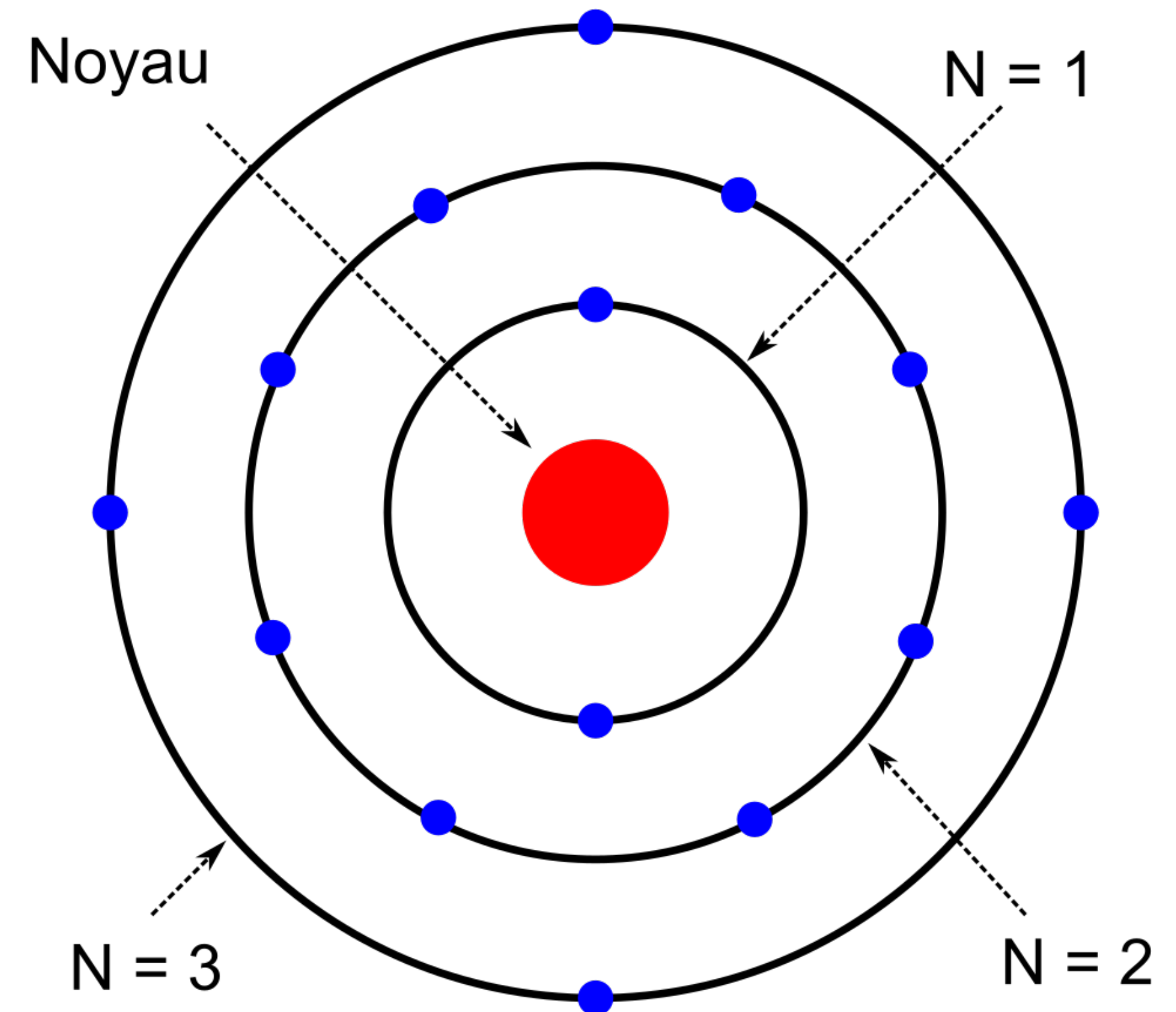
Modèle simplifié de l'atome : modèle de Bohr

- Noyau central
- Électrons sur trajectoires circulaires formant des couches autour du noyau



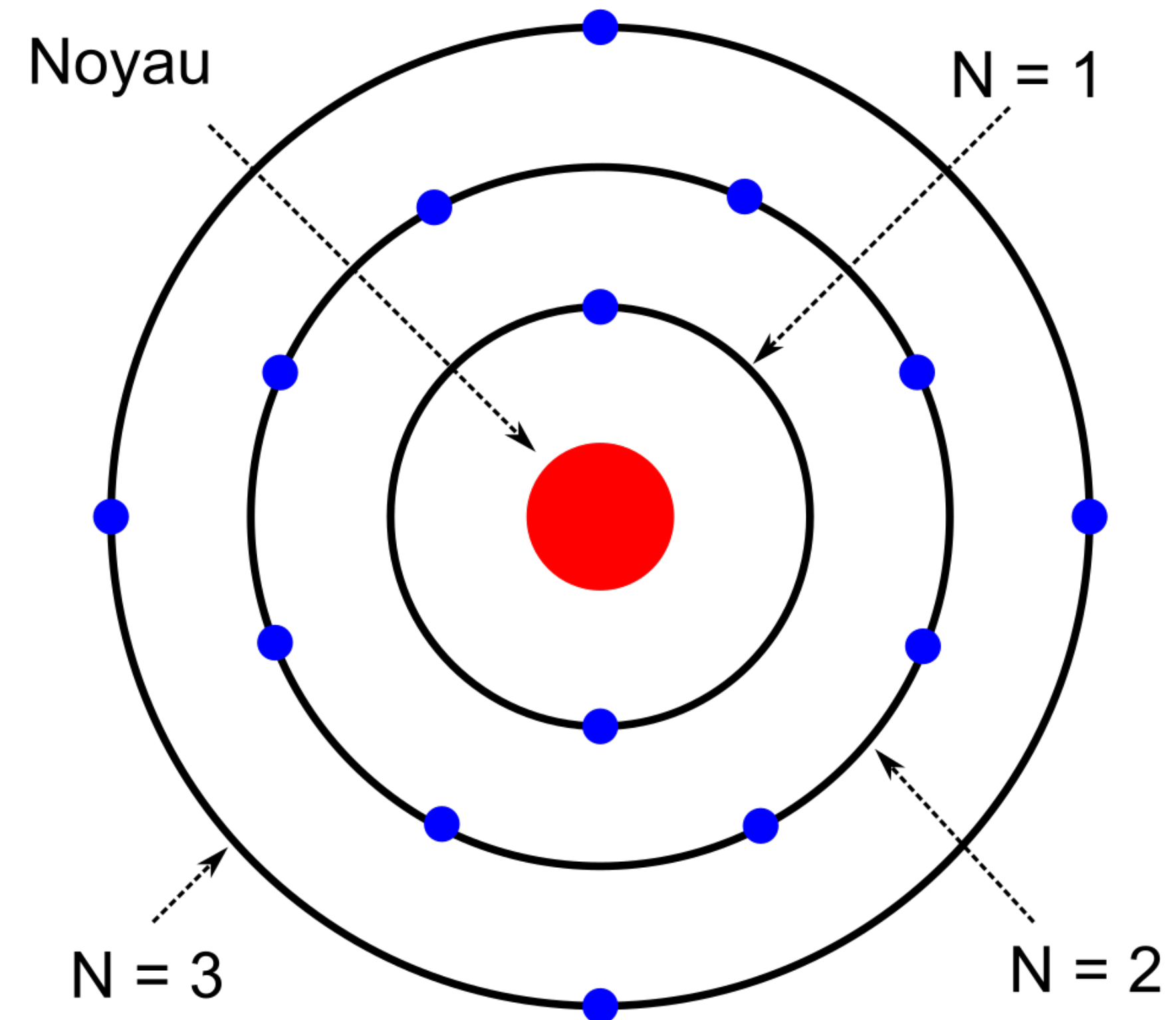
Modèle simplifié de l'atome : modèle de Bohr

- Noyau central
- Électrons sur trajectoires circulaires formant des couches autour du noyau
- Nombre maximal d'électrons sur une couche de numéro $n = 2n^2$



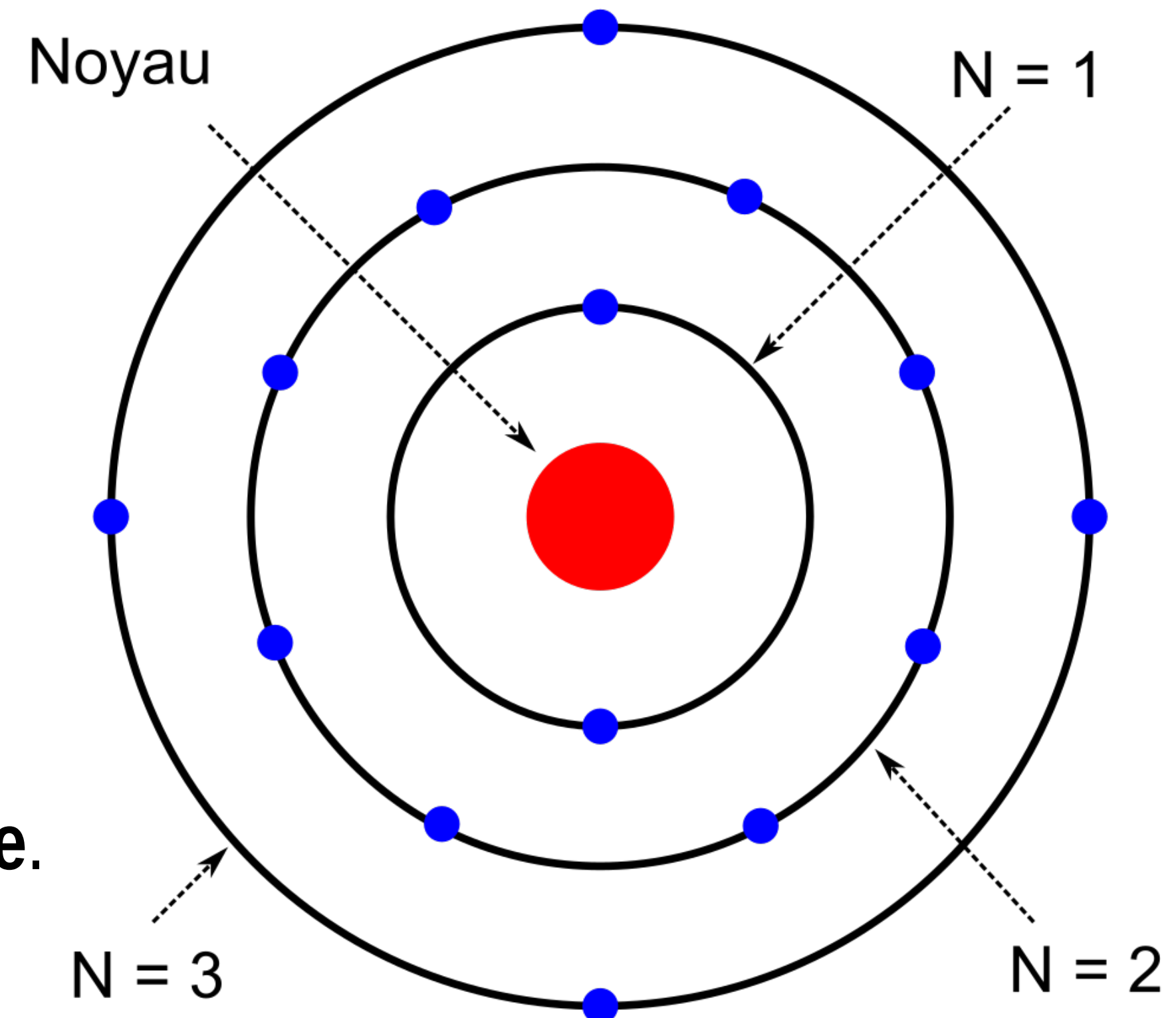
Modèle simplifié de l'atome : modèle de Bohr

- Noyau central
- Électrons sur trajectoires circulaires formant des couches autour du noyau
- Nombre maximal d'électrons sur une couche de numéro $n = 2n^2$
- Distribution des électrons de l'intérieur vers l'extérieur (n croissant)



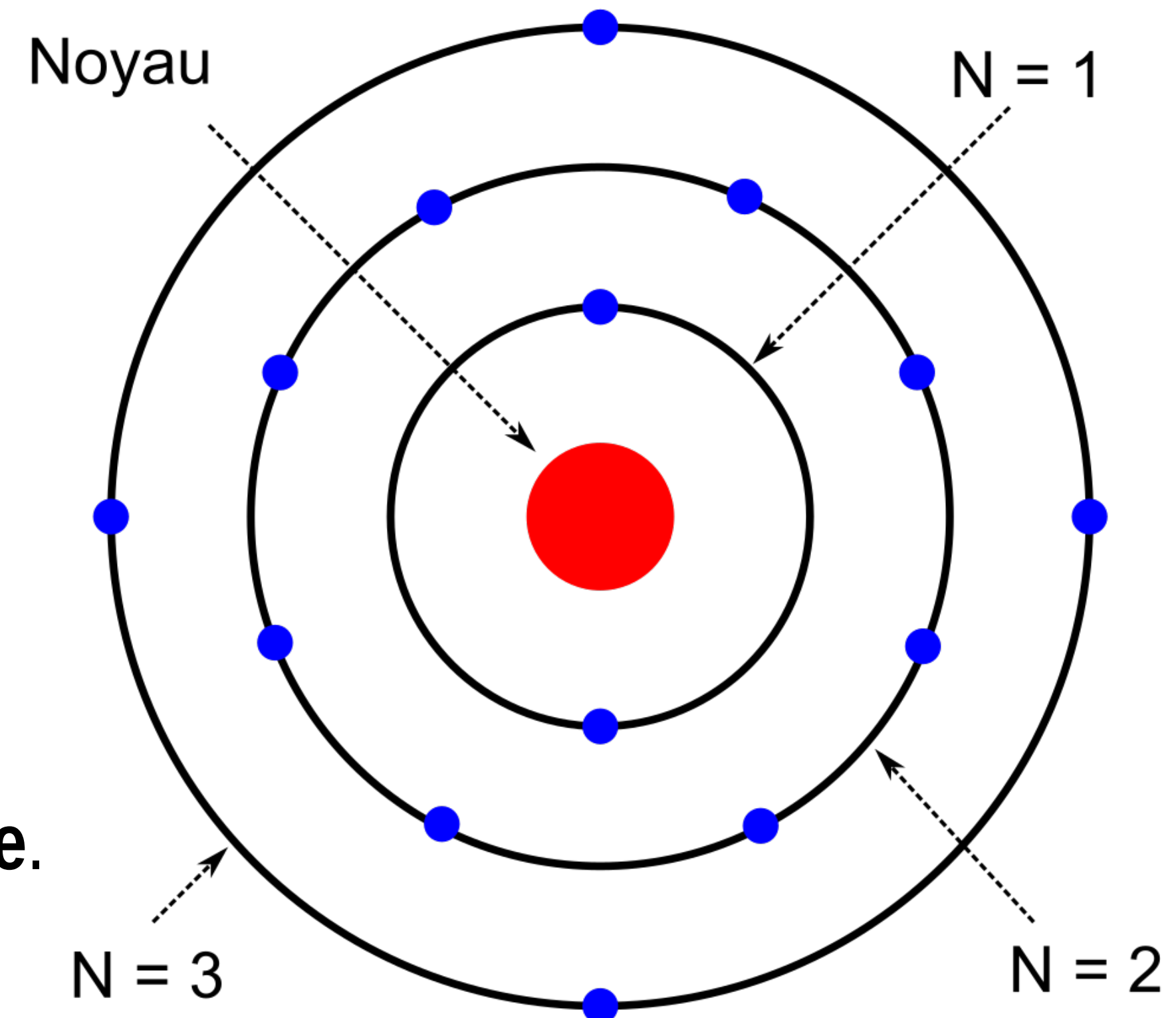
Modèle simplifié de l'atome : modèle de Bohr

- Noyau central
- Électrons sur trajectoires circulaires formant des couches autour du noyau
- Nombre maximal d'électrons sur une couche de numéro $n = 2n^2$
- Distribution des électrons de l'intérieur vers l'extérieur (n croissant)
- Couche la plus externe est appelée **couche de valence**. Elle contient les électrons qui participent aux liaisons



Modèle simplifié de l'atome : modèle de Bohr

- Noyau central
- Électrons sur trajectoires circulaires formant des couches autour du noyau
- Nombre maximal d'électrons sur une couche de numéro $n = 2n^2$
- Distribution des électrons de l'intérieur vers l'extérieur (n croissant)
- Couche la plus externe est appelée **couche de valence**. Elle contient les électrons qui participent aux liaisons
- Si électron quitte l'atome et devient **libre**, il passe dans la couche de conduction

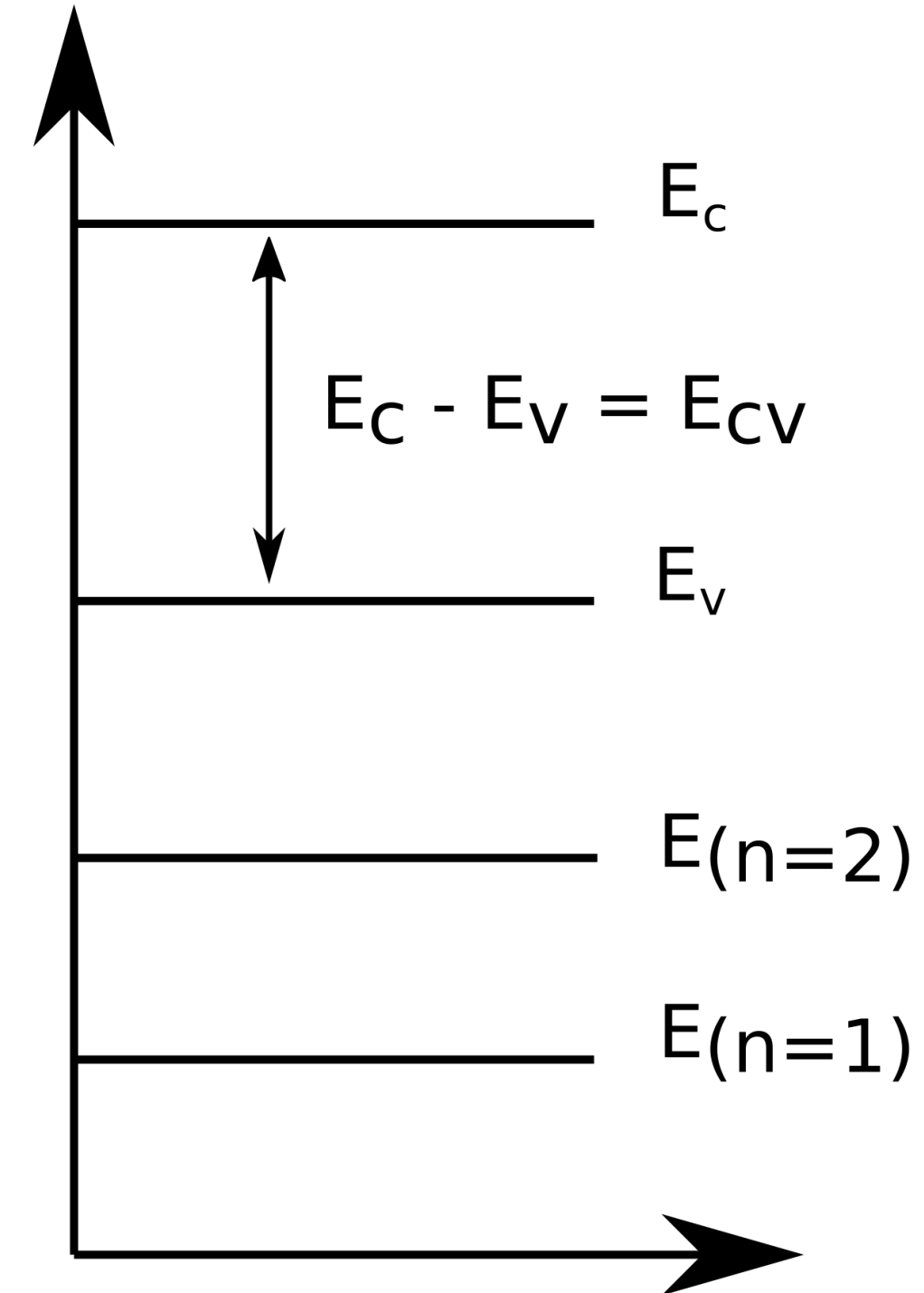


Modèle de Bohr : niveaux d'énergie



- Couche n correspond à un niveau d'énergie E_n

Niveaux
d'énergie

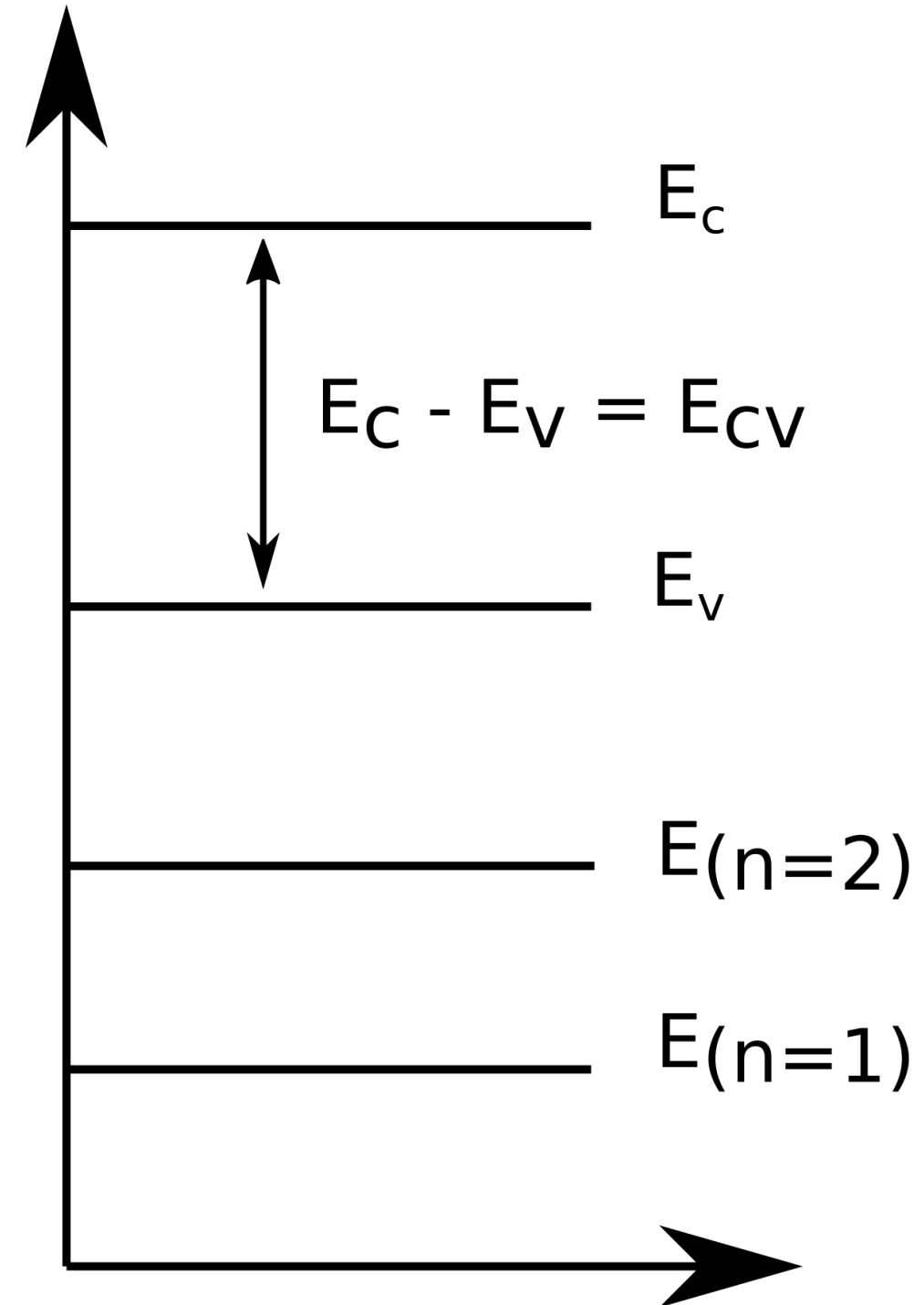


E_v : Energie de la couche de valence
 E_c : Energie de la couche de conduction

Modèle de Bohr : niveaux d'énergie

- Couche n correspond à un niveau d'énergie E_n
- Un électron passe d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau d'énergie supérieur en recevant de l'énergie

Niveaux
d'énergie

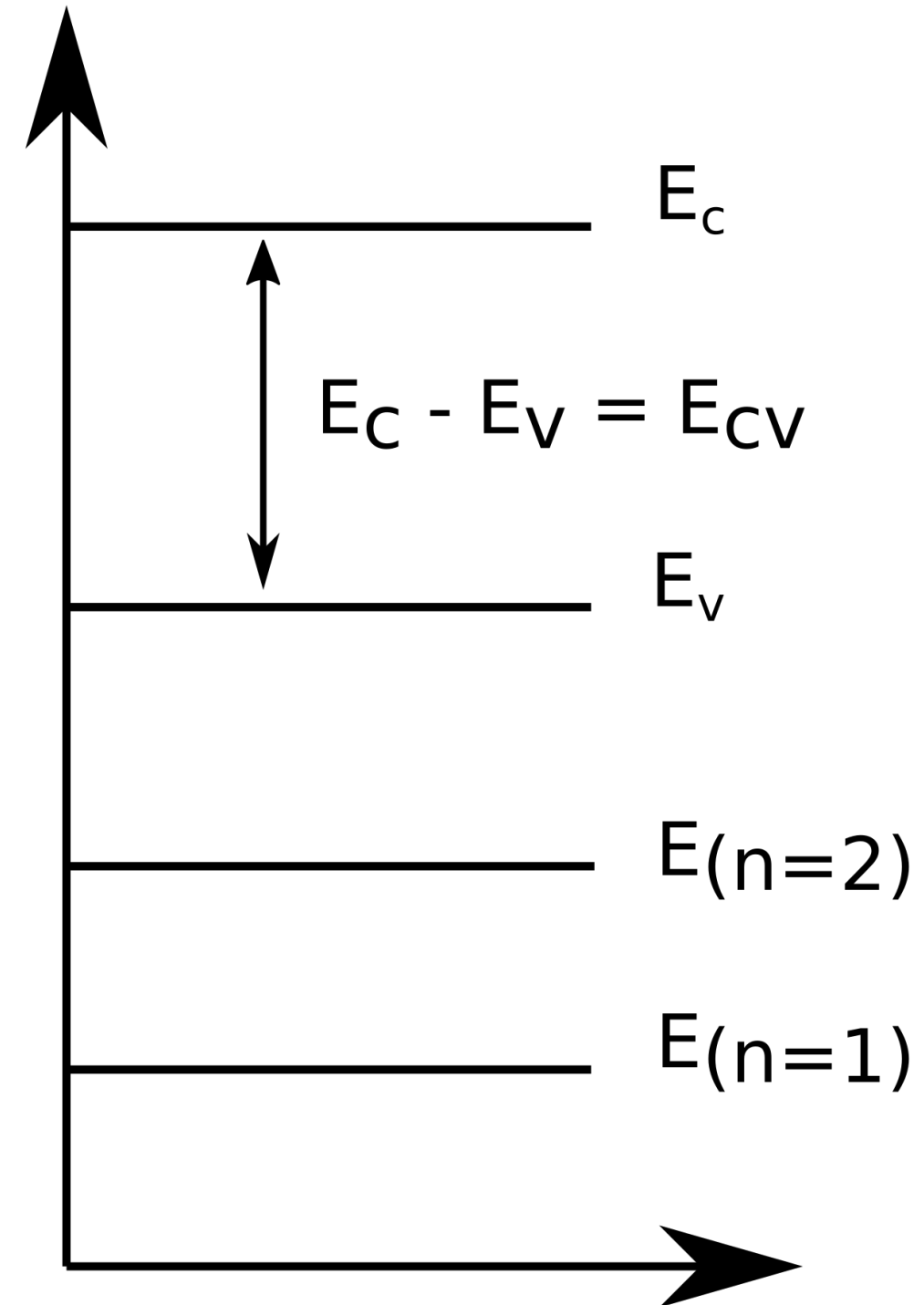


E_v : Energie de la couche de valence
 E_c : Energie de la couche de conduction

Modèle de Bohr : niveaux d'énergie

- Couche n correspond à un niveau d'énergie E_n
- Un électron passe d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau d'énergie supérieur en recevant de l'énergie
- Il fait l'inverse en émettant de l'énergie

Niveaux
d'énergie

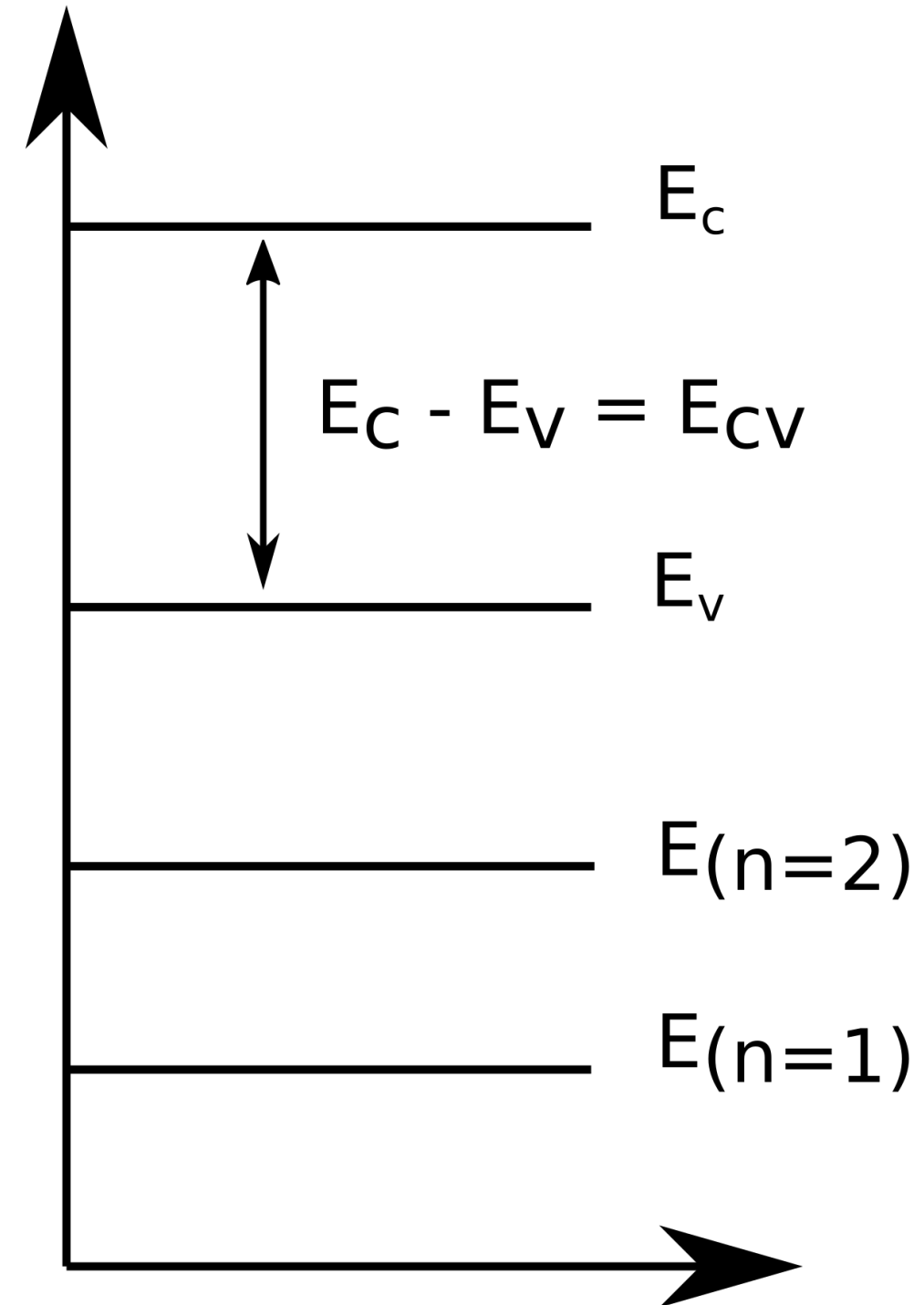


E_v : Energie de la couche de valence
 E_c : Energie de la couche de conduction

Modèle de Bohr : niveaux d'énergie

- Couche n correspond à un niveau d'énergie E_n
- Un électron passe d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau d'énergie supérieur en recevant de l'énergie
- Il fait l'inverse en émettant de l'énergie
- Énergie émise ou énergie reçue est égale à la différence d'énergie entre les 2 niveaux

Niveaux
d'énergie

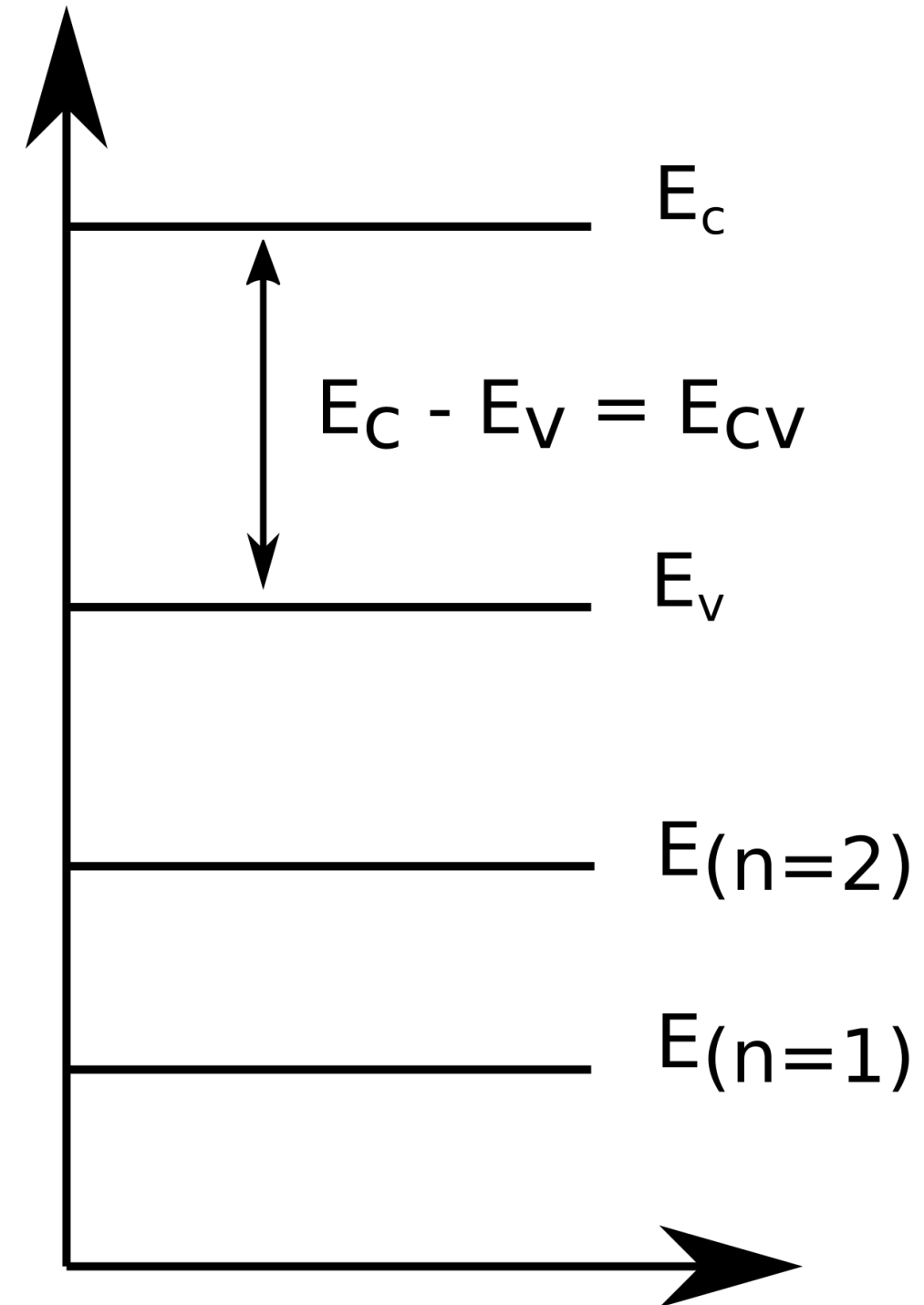


E_v : Energie de la couche de valence
 E_c : Energie de la couche de conduction

Modèle de Bohr : niveaux d'énergie

- Couche n correspond à un niveau d'énergie E_n
- Un électron passe d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau d'énergie supérieur en recevant de l'énergie
- Il fait l'inverse en émettant de l'énergie
- Énergie émise ou énergie reçue est égale à la différence d'énergie entre les 2 niveaux
- Énergie peut être émise par l'électron ou donnée à l'électron sous plusieurs formes

Niveaux
d'énergie



E_v : Energie de la couche de valence
 E_c : Energie de la couche de conduction

Semi-conducteur intrinsèque



- Élément de la colonne IV du tableau de classification périodique des éléments

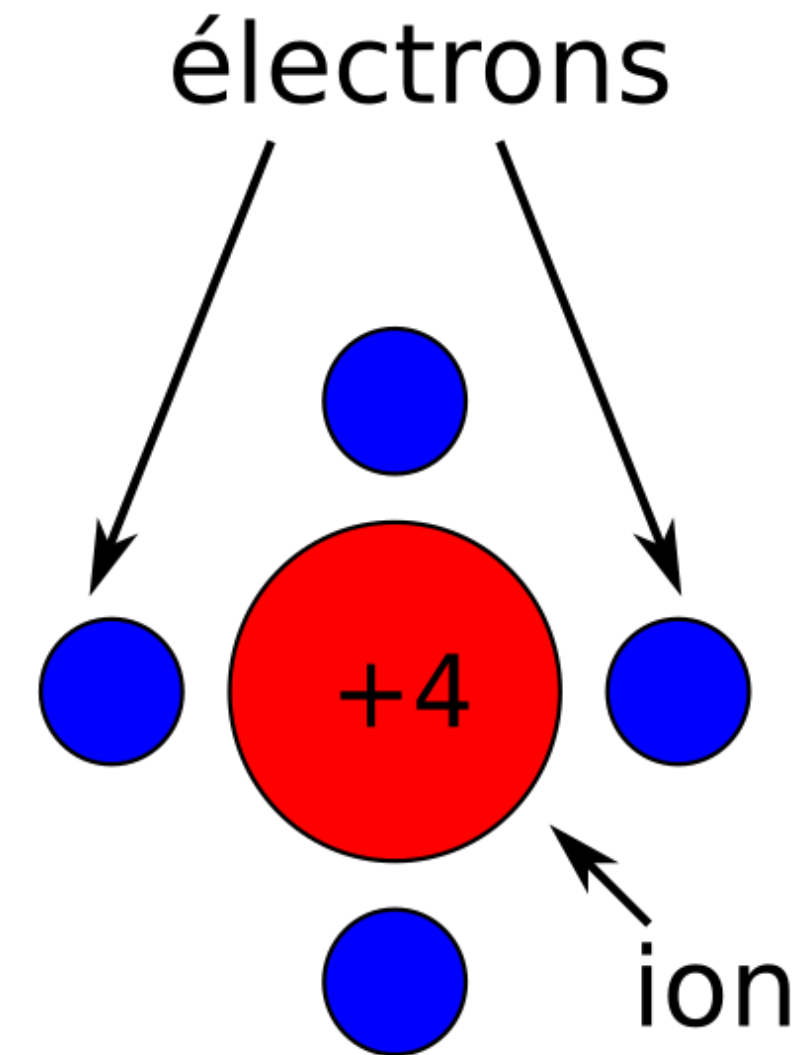
Semi-conducteur intrinsèque



- Élément de la colonne IV du tableau de classification périodique des éléments
- Intrinsèque = à l'état « pur »

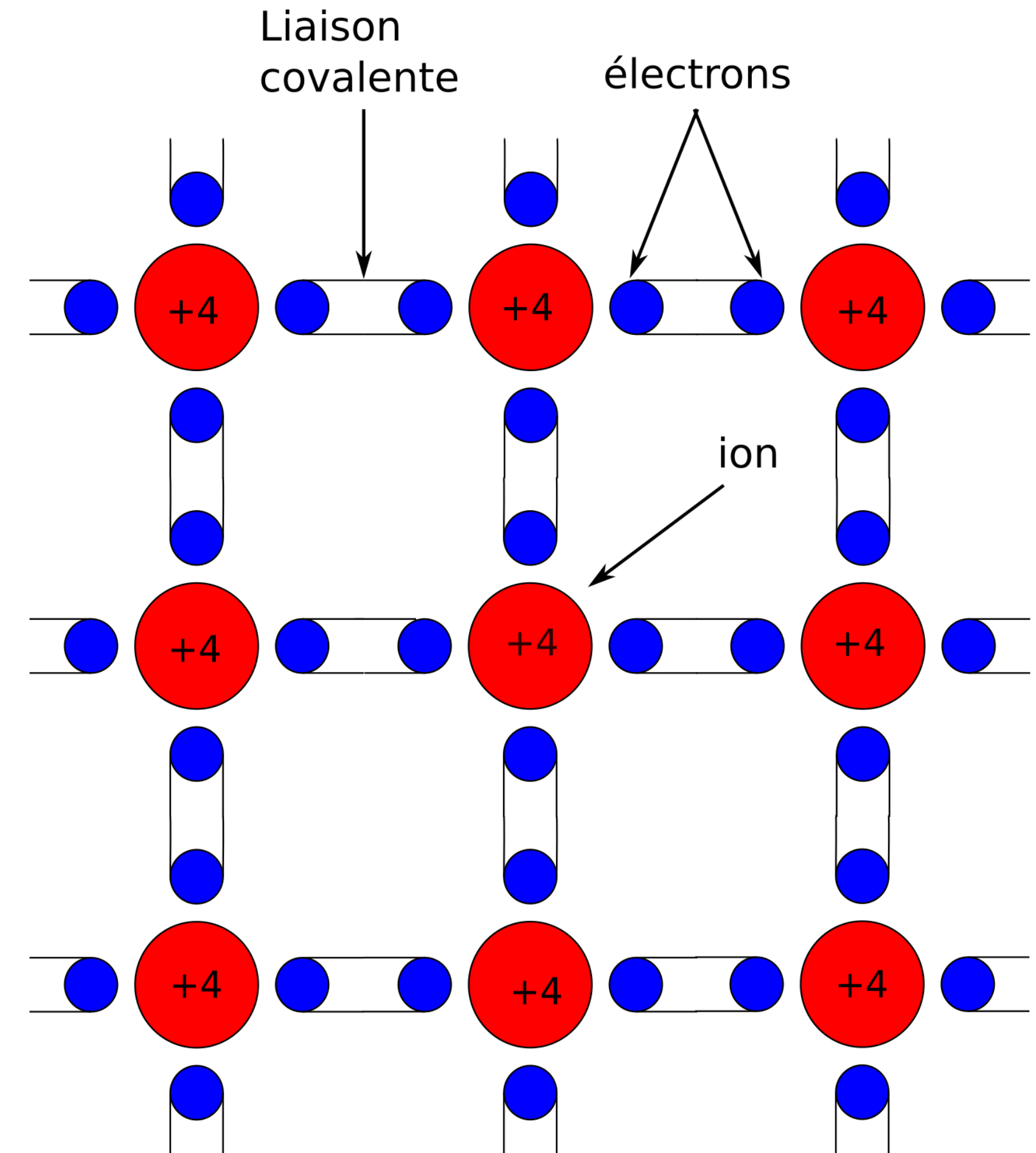
Semi-conducteur intrinsèque

- Élément de la colonne IV du tableau de classification périodique des éléments
- Intrinsèque = à l'état « pur »
- 4 électrons de valence



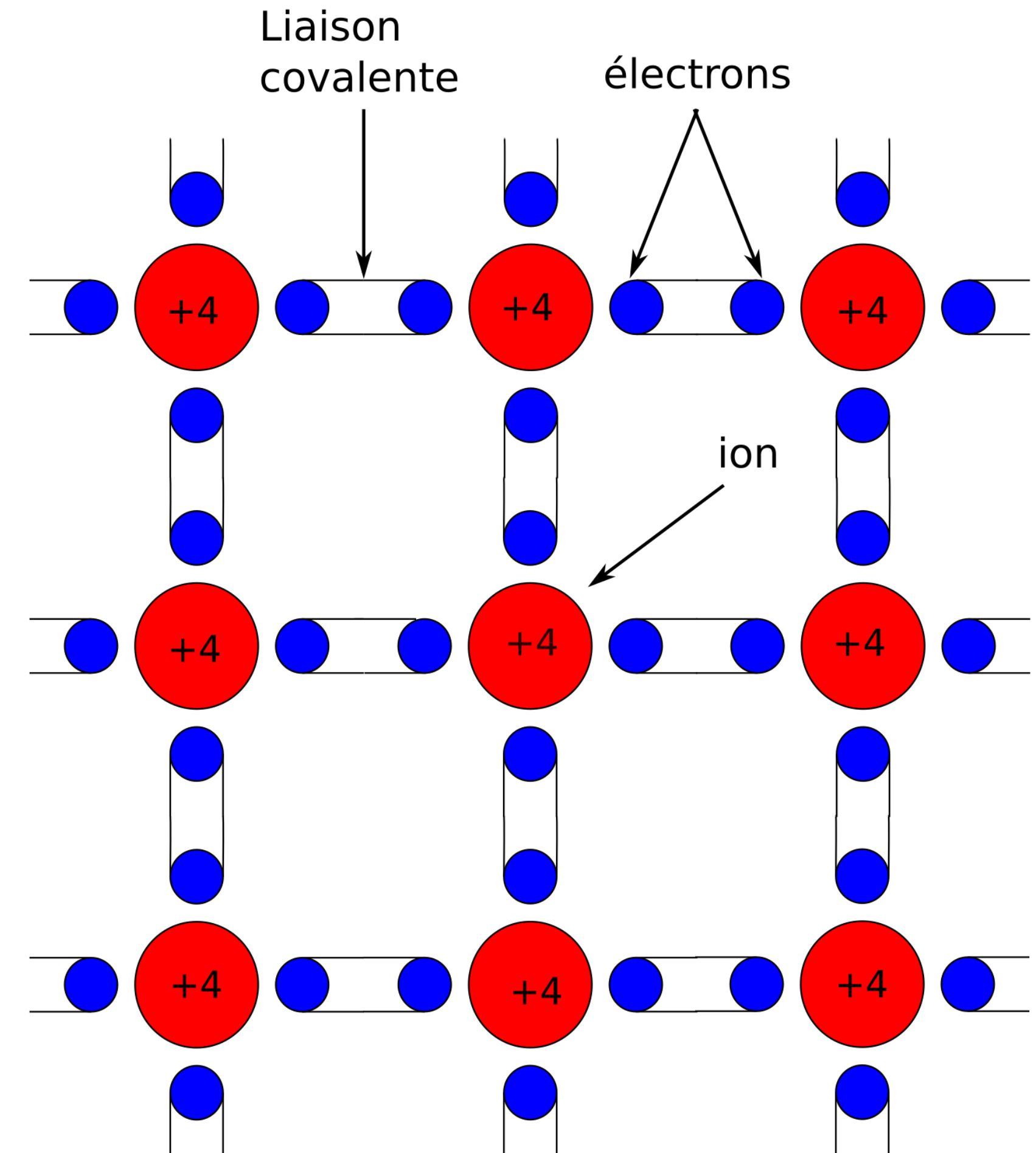
Semi-conducteur intrinsèque

- Élément de la colonne IV du tableau de classification périodique des éléments
- Intrinsèque = à l'état « pur »
- 4 électrons de valence
- Dans le cristal, les 4 électrons sont engagés dans des liaisons covalentes avec les 4 voisins



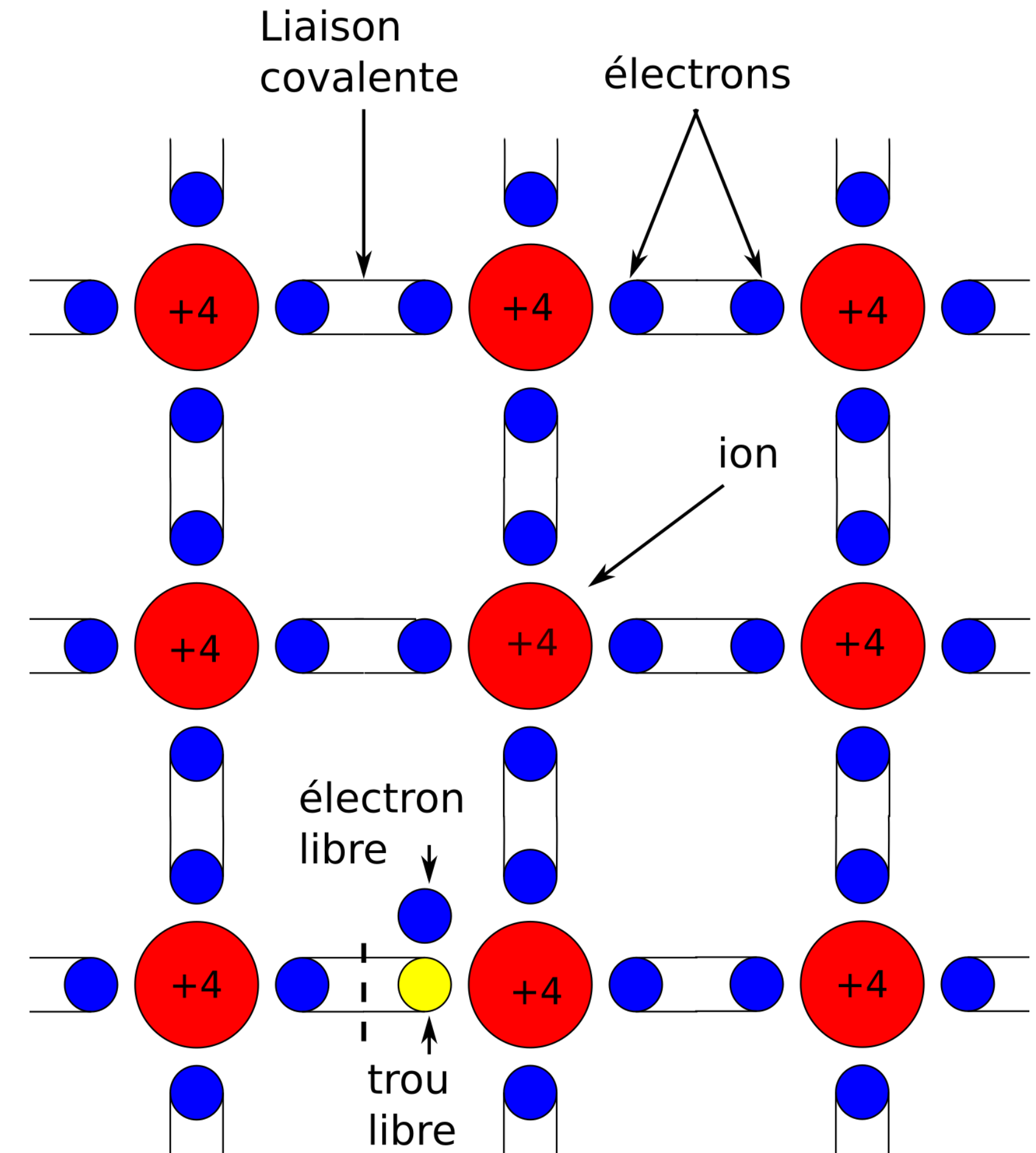
Semi-conducteur intrinsèque

- Élément de la colonne IV du tableau de classification périodique des éléments
- Intrinsèque = à l'état « pur »
- 4 électrons de valence
- Dans le cristal, les 4 électrons sont engagés dans des liaisons covalentes avec les 4 voisins
- Il n'y a donc pas d'électron libre et par conséquent pas de courant électrique



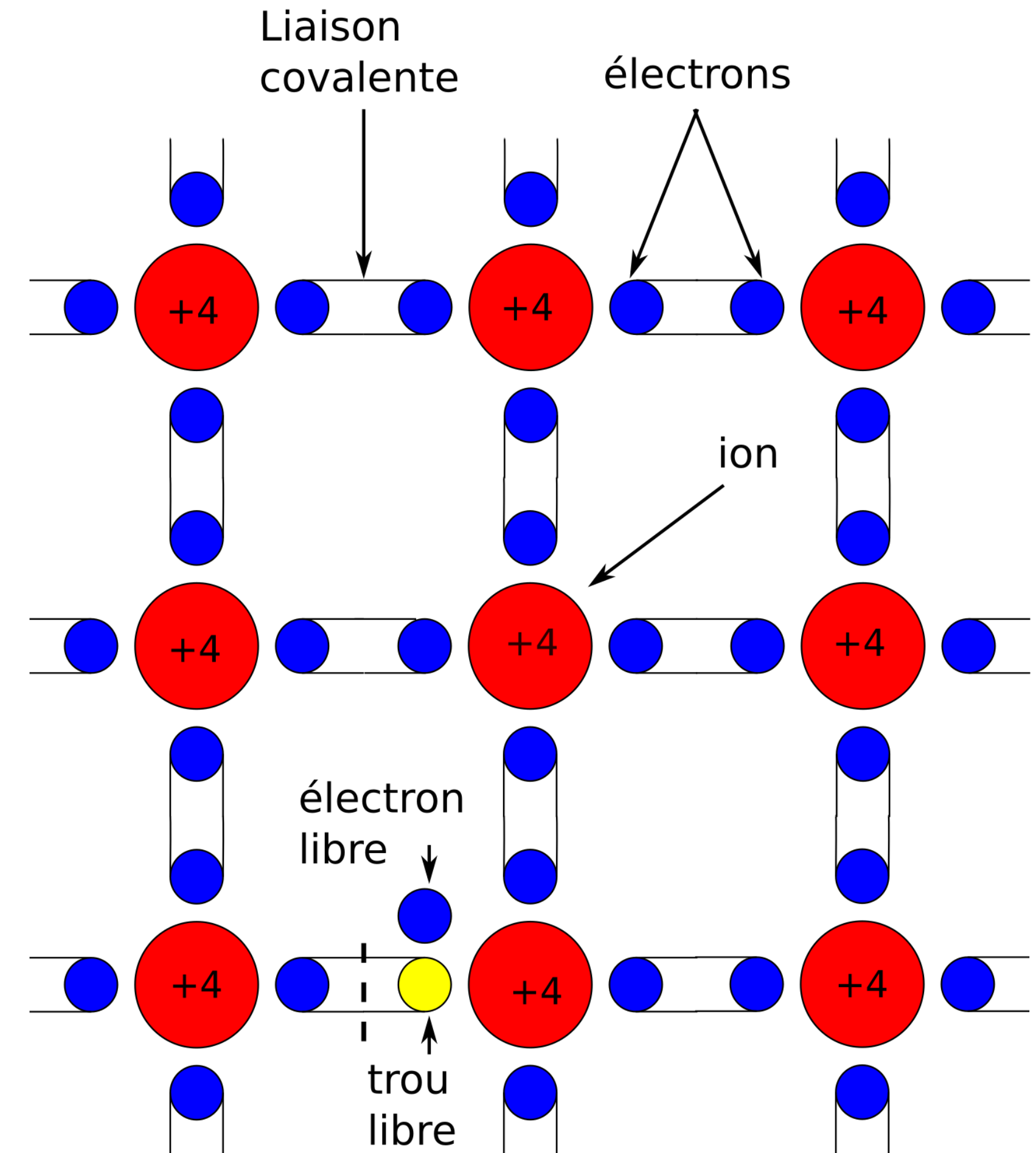
Conduction intrinsèque

- Communiquer de l'énergie à l'atome par un moyen quelconque (lumière, élévation de la température, etc...)



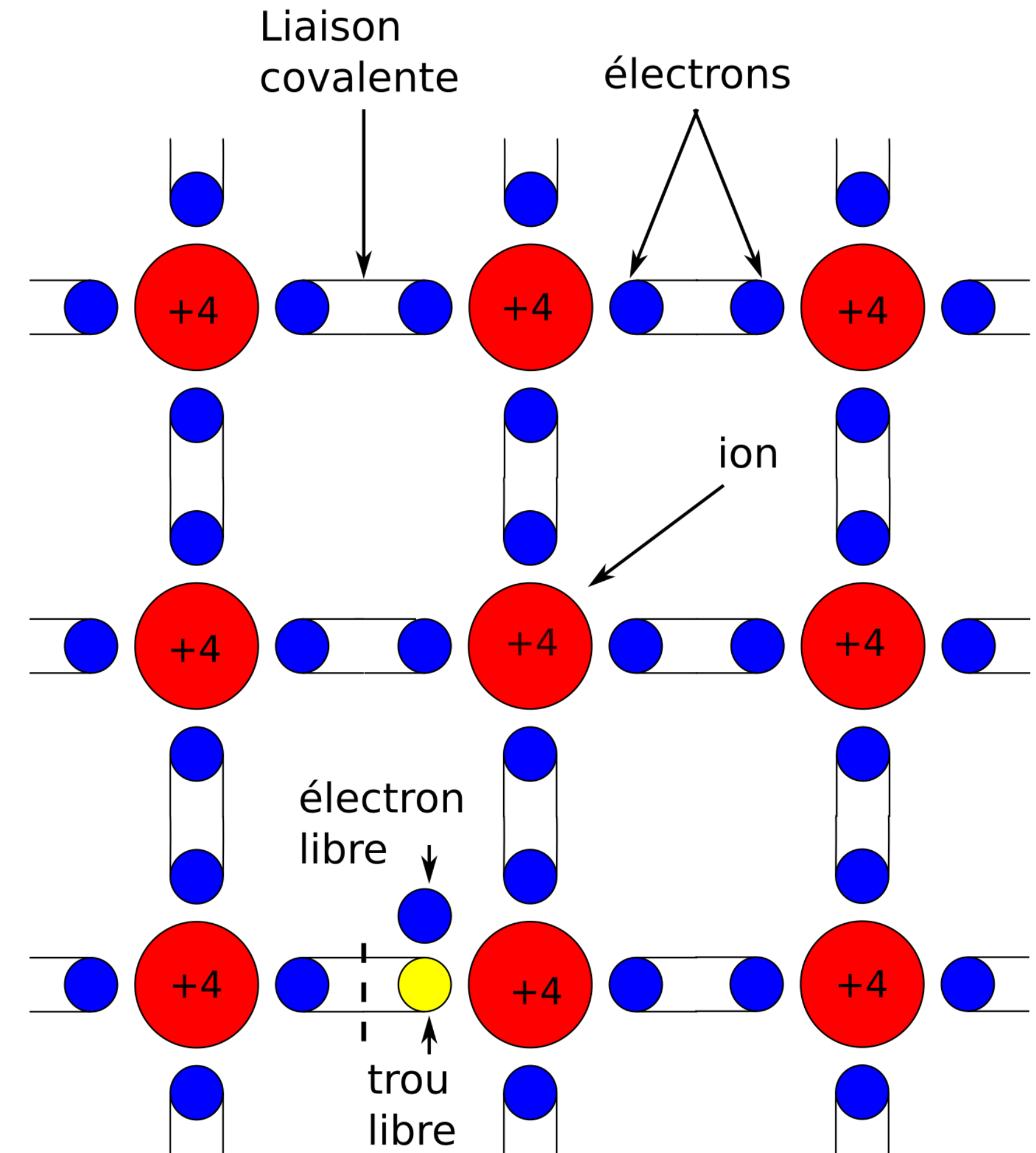
Conduction intrinsèque

- Communiquer de l'énergie à l'atome par un moyen quelconque (lumière, élévation de la température, etc...)
- Électrons de couche de valence s'en échappent, passent dans la couche de conduction et deviennent **libres**



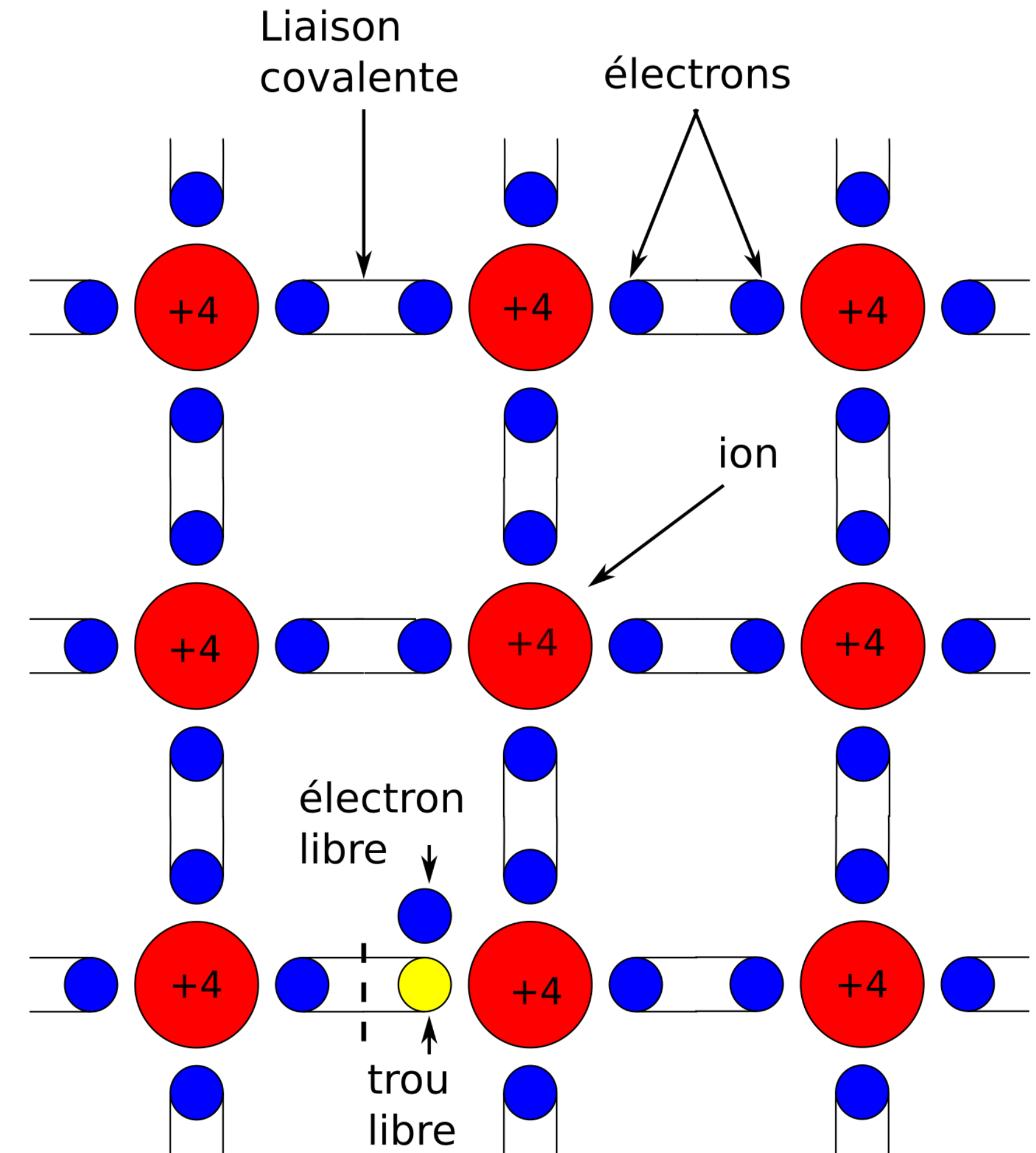
Conduction intrinsèque

- Communiquer de l'énergie à l'atome par un moyen quelconque (lumière, élévation de la température, etc...)
- Électrons de couche de valence s'en échappent, passent dans la couche de conduction et deviennent **libres**
- Leur départ laisse une charge positive de même valeur absolue appelée **trou**



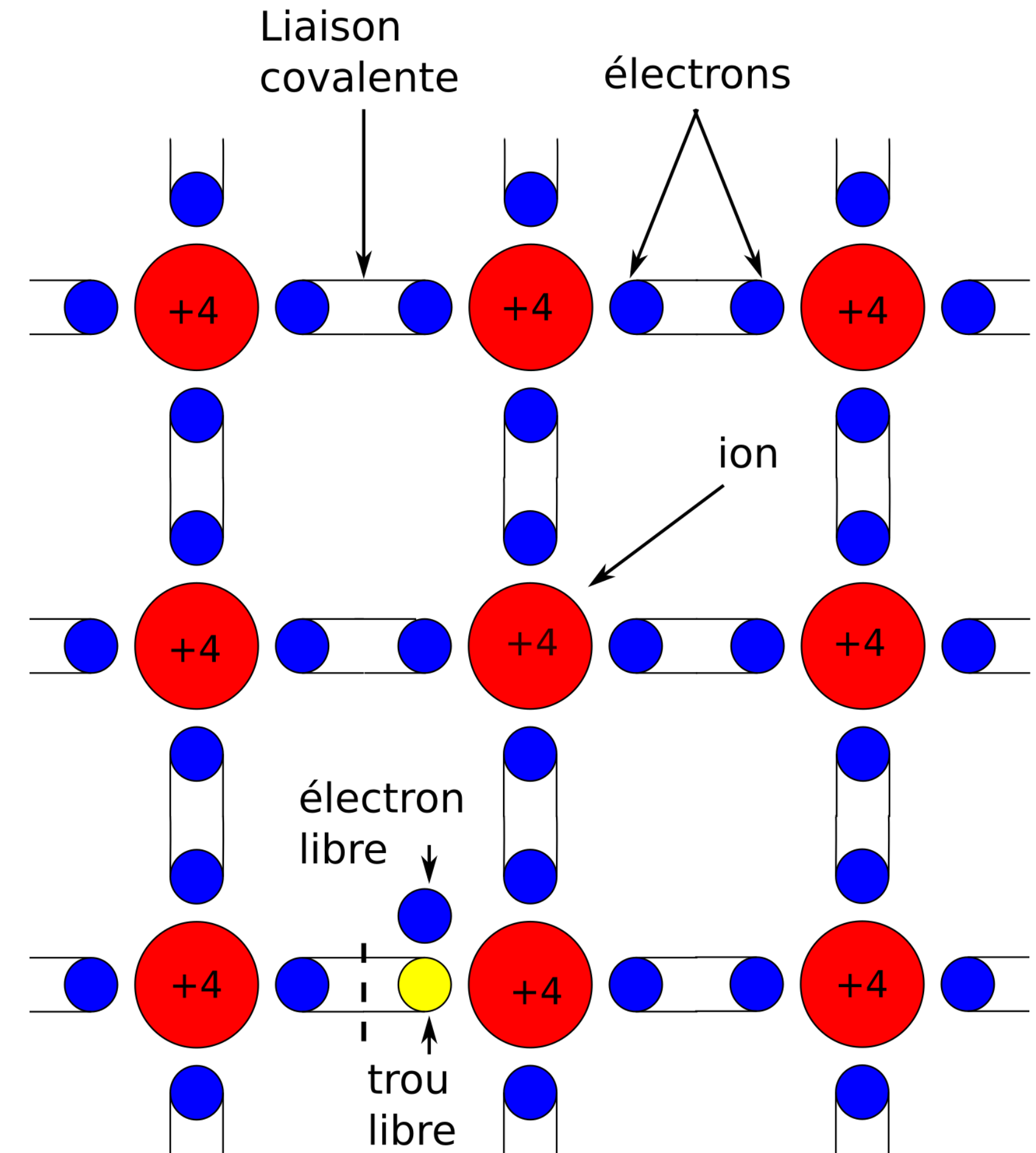
Conduction intrinsèque

- Communiquer de l'énergie à l'atome par un moyen quelconque (lumière, élévation de la température, etc...)
- Électrons de couche de valence s'en échappent, passent dans la couche de conduction et deviennent **libres**
- Leur départ laisse une charge positive de même valeur absolue appelée **trou**
- Une **paire électron-trou libre** est née !



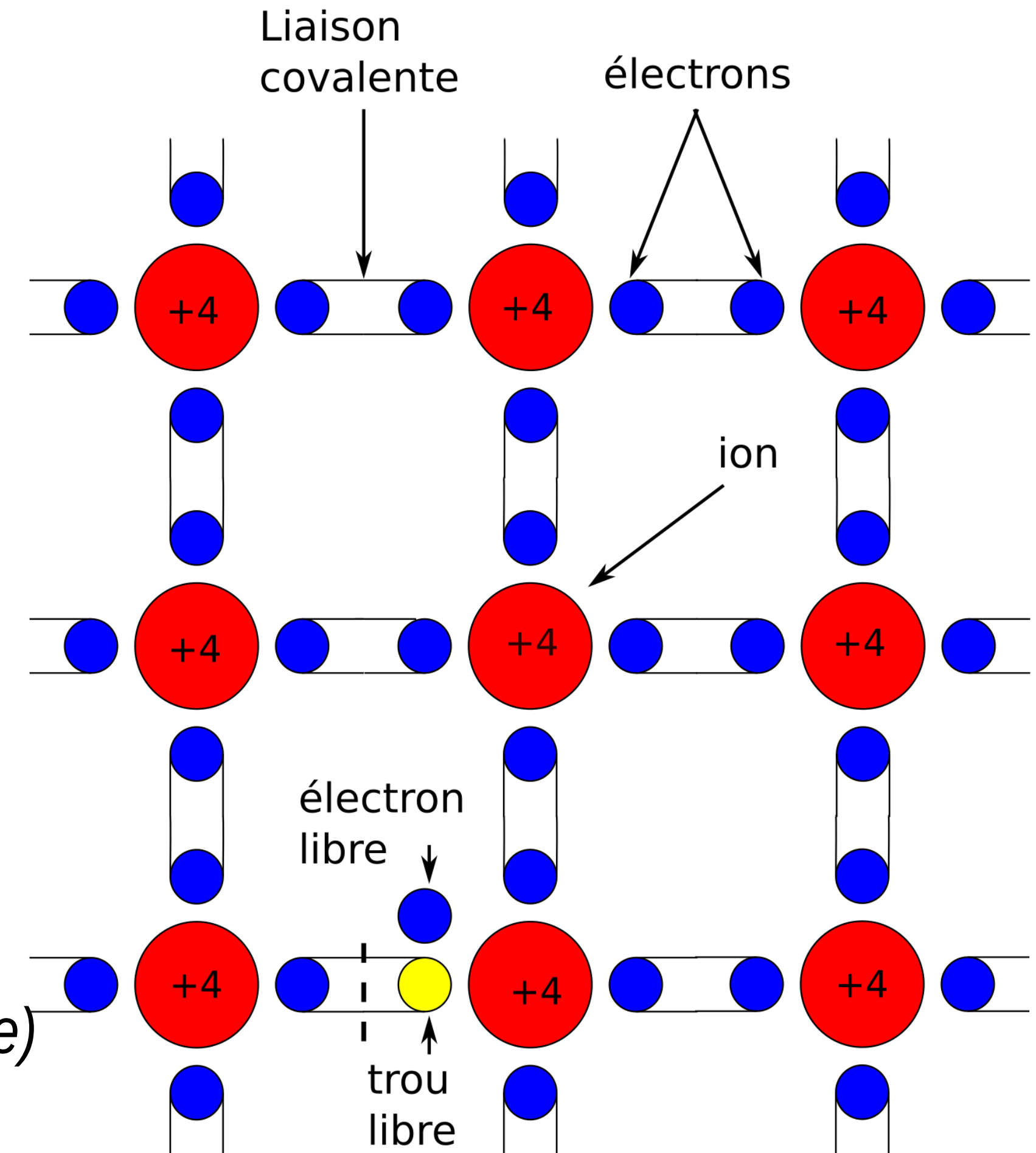
Conduction intrinsèque

- Communiquer de l'énergie à l'atome par un moyen quelconque (lumière, élévation de la température, etc...)
- Électrons de couche de valence s'en échappent, passent dans la couche de conduction et deviennent **libres**
- Leur départ laisse une charge positive de même valeur absolue appelée **trou**
- Une **paire électron-trou libre** est née !
- Charges positives et négatives se déplacent et créent un **courant électrique** dans le cristal



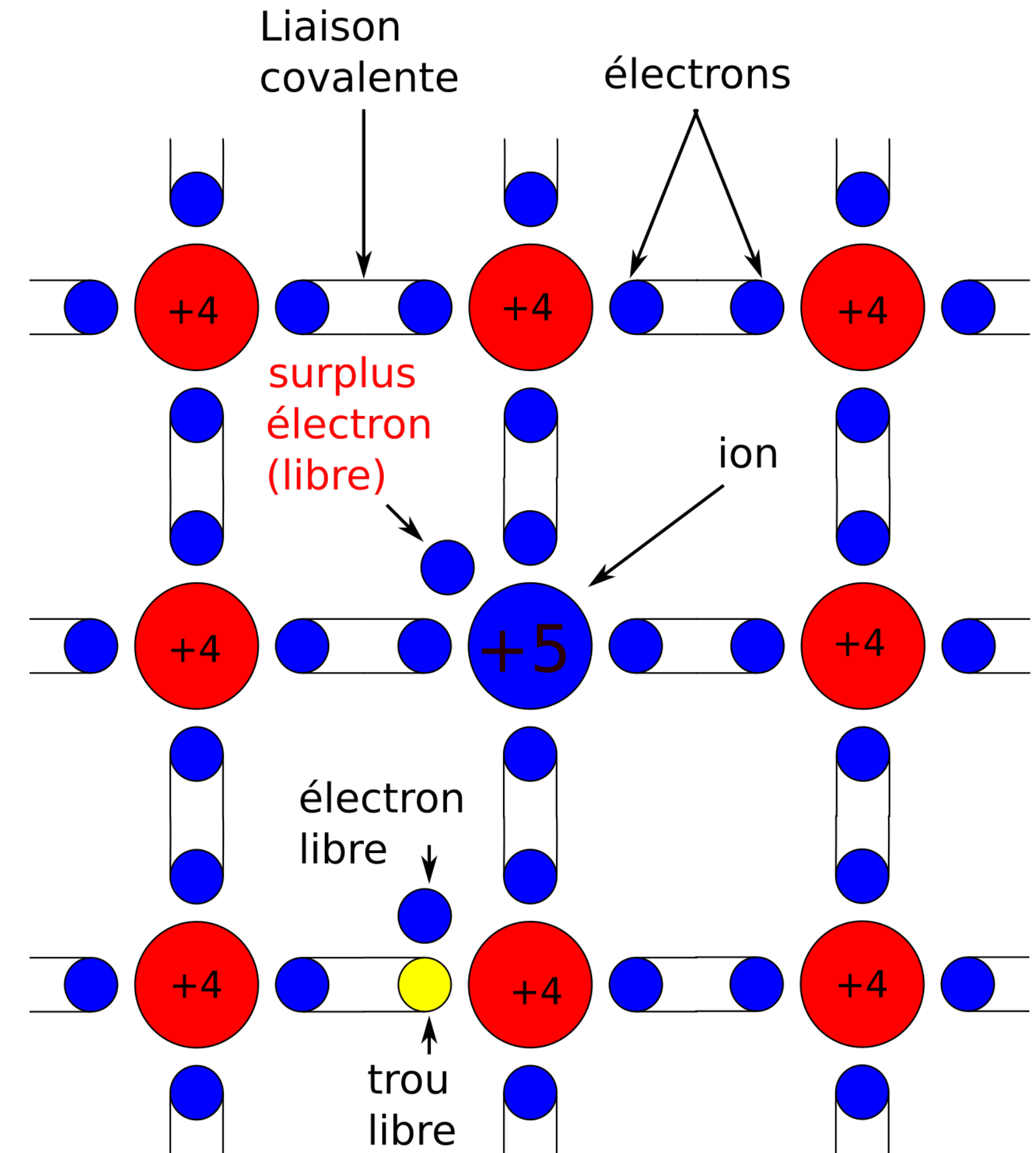
Conduction intrinsèque

- Communiquer de l'énergie à l'atome par un moyen quelconque (lumière, élévation de la température, etc...)
- Électrons de couche de valence s'en échappent, passent dans la couche de conduction et deviennent **libres**
- Leur départ laisse une charge positive de même valeur absolue appelée **trou**
- Une **paire électron-trou libre** est née !
- Charges positives et négatives se déplacent et créent un **courant électrique** dans le cristal
- Nombre de paires électron-trou : 10^{-13} par atome (*très faible*)



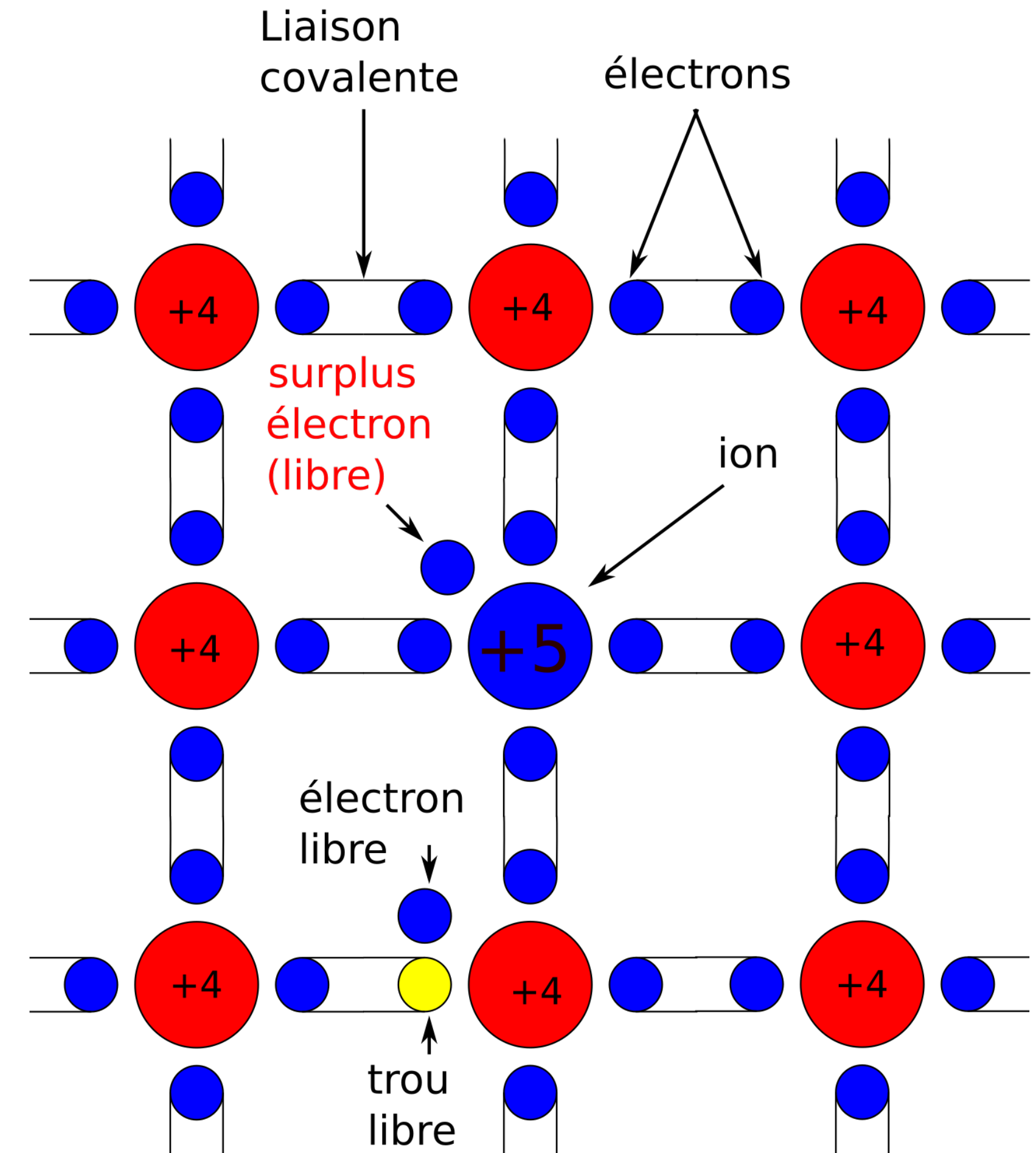
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)



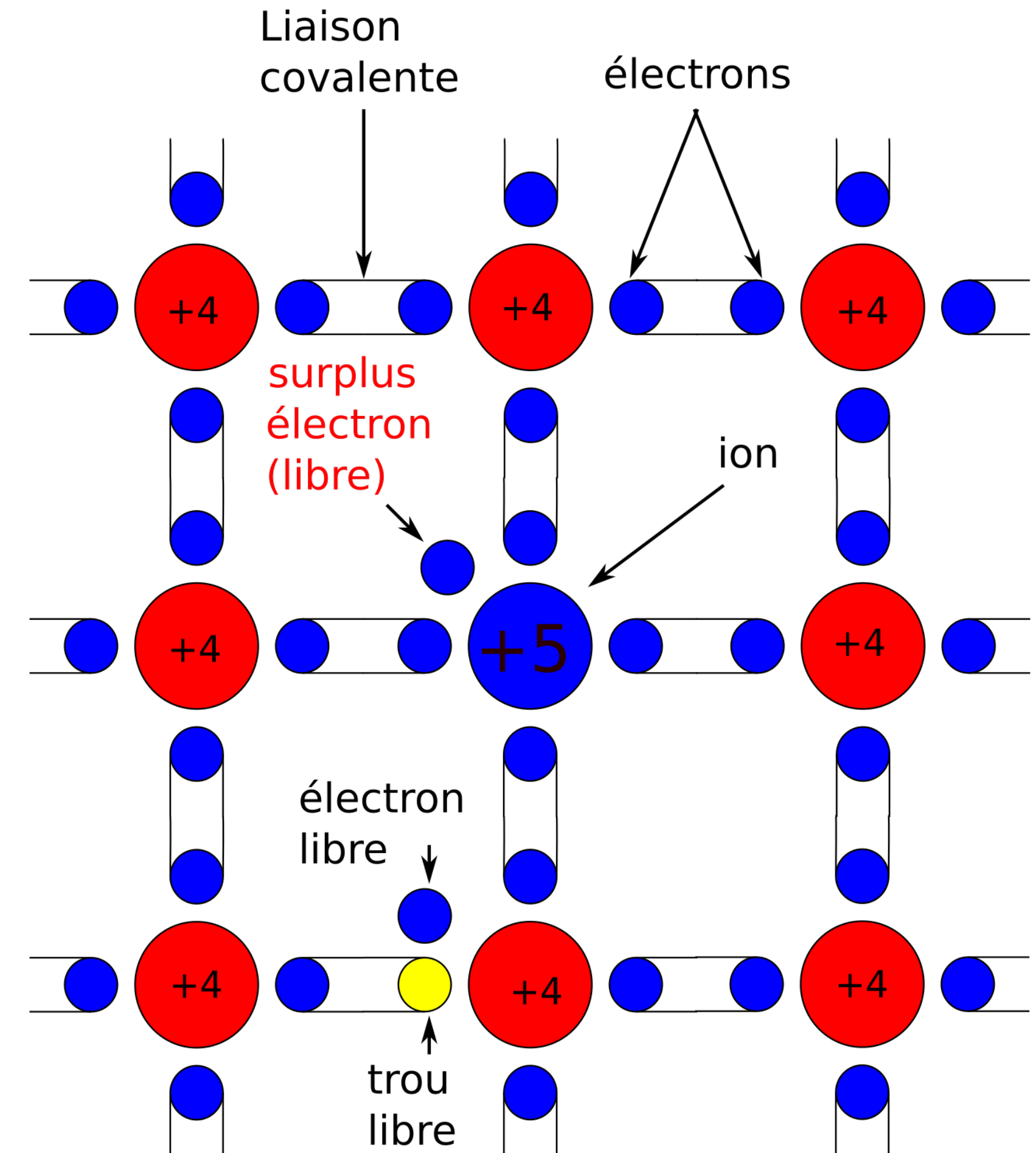
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**



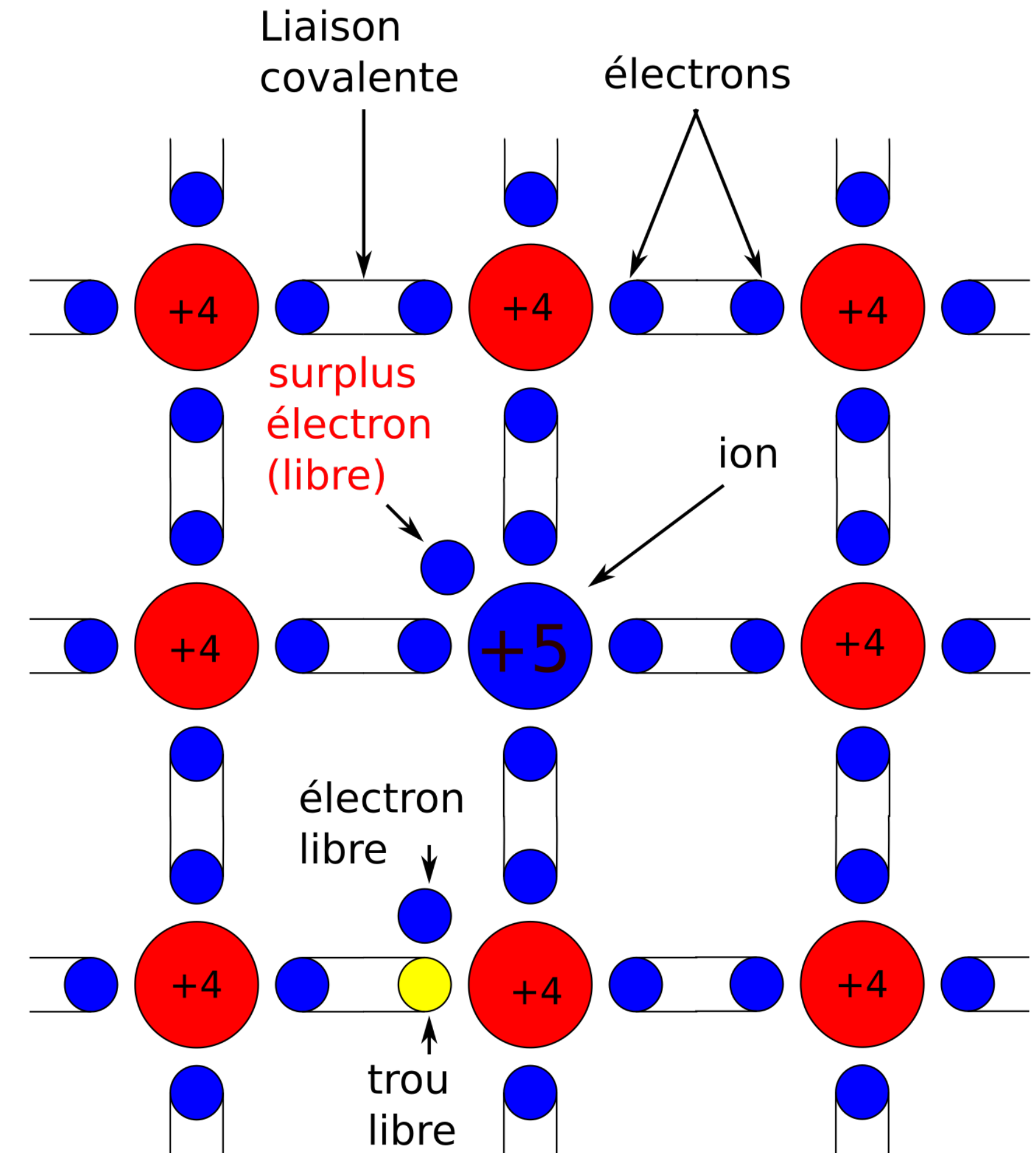
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)



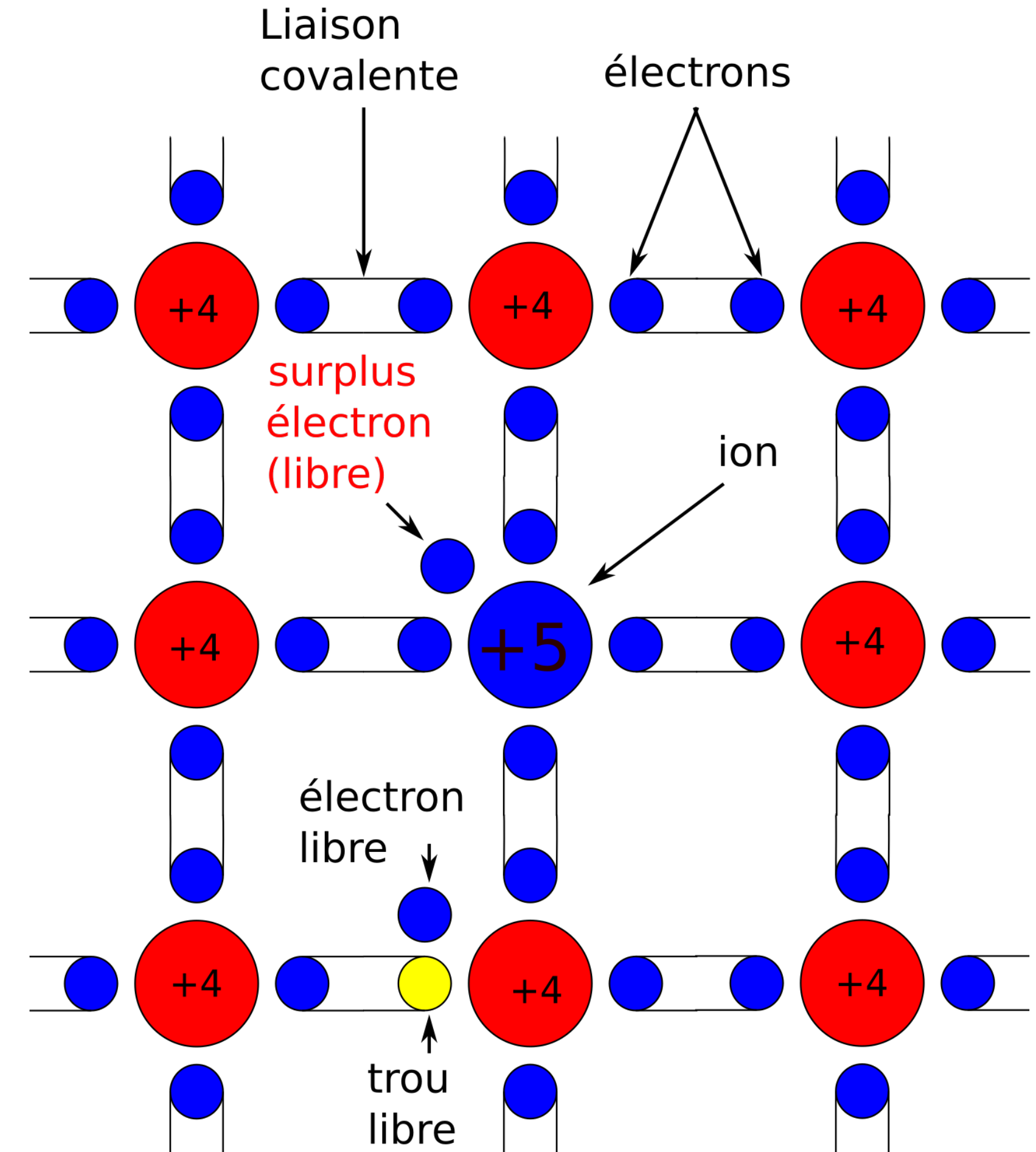
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents



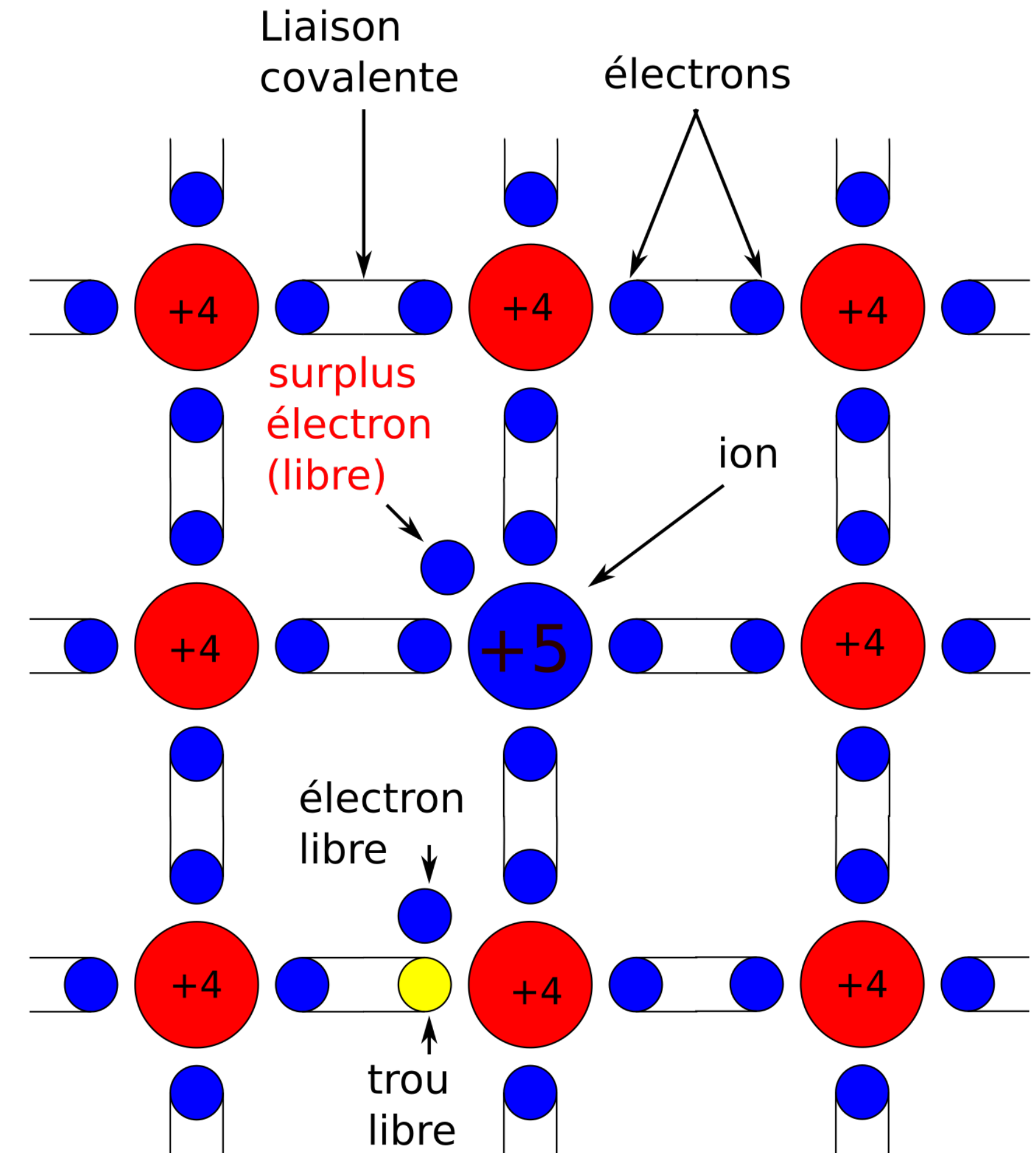
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :



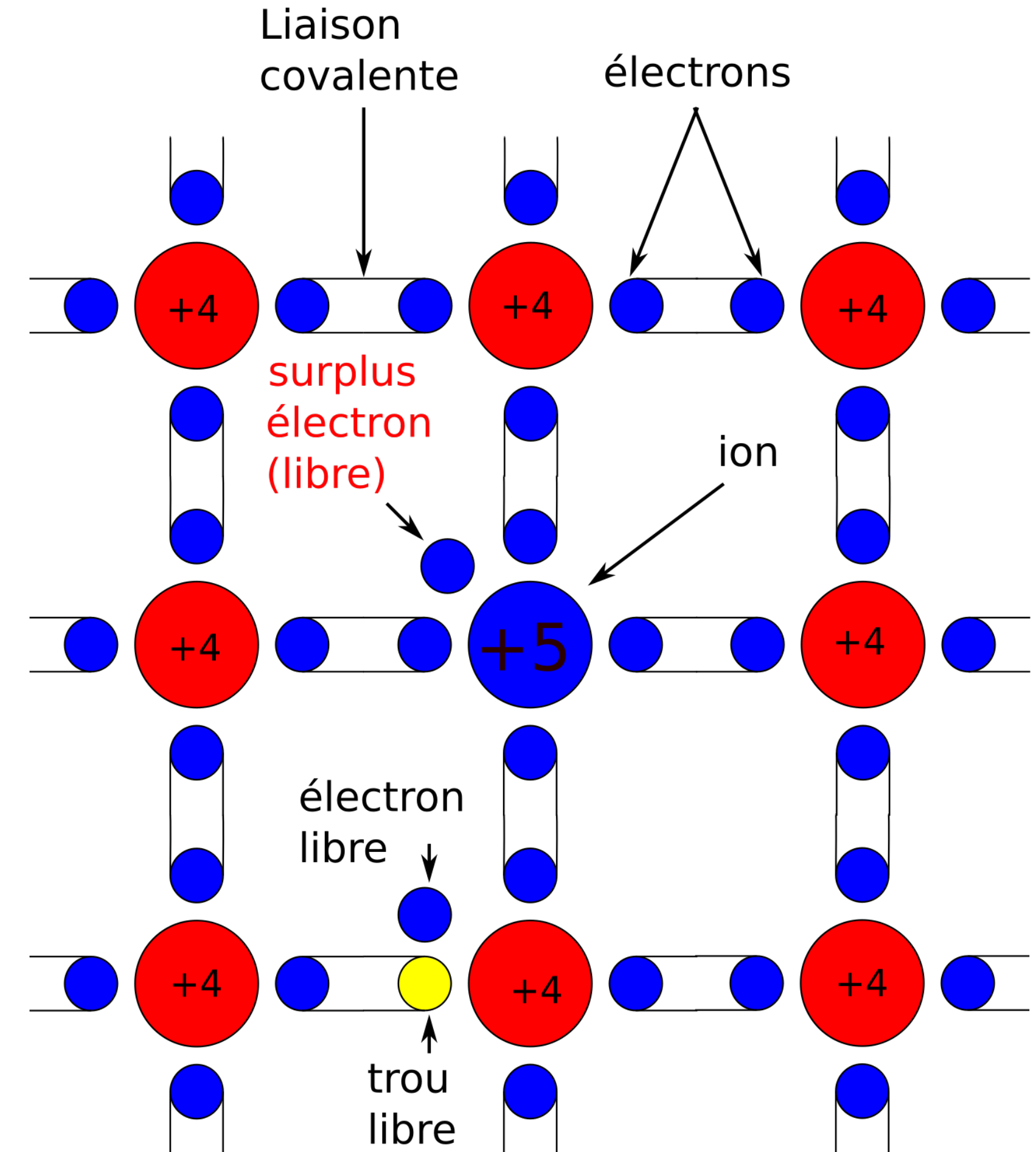
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)



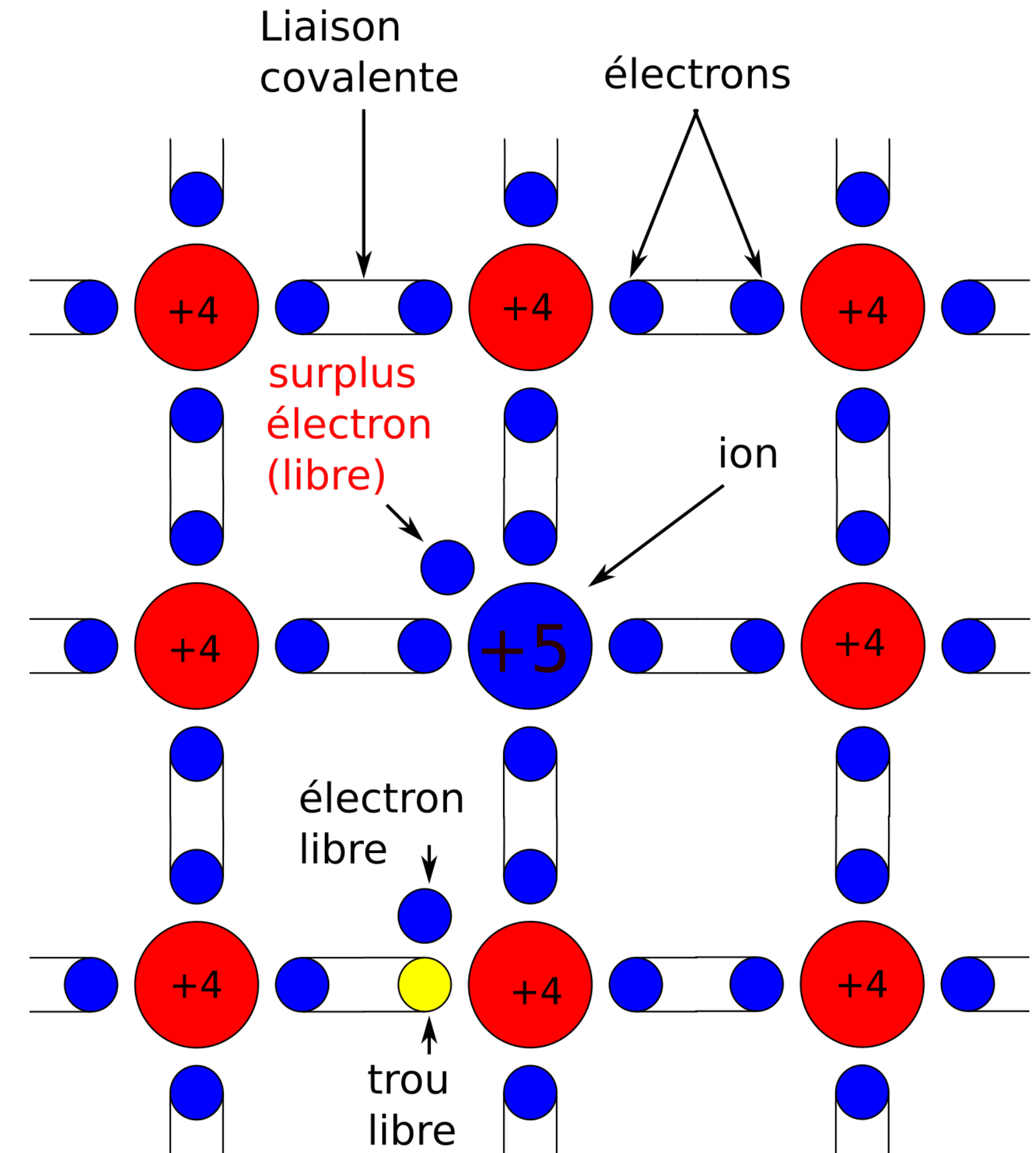
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)
 - 10^{-13} électrons (conduction intrinsèque)



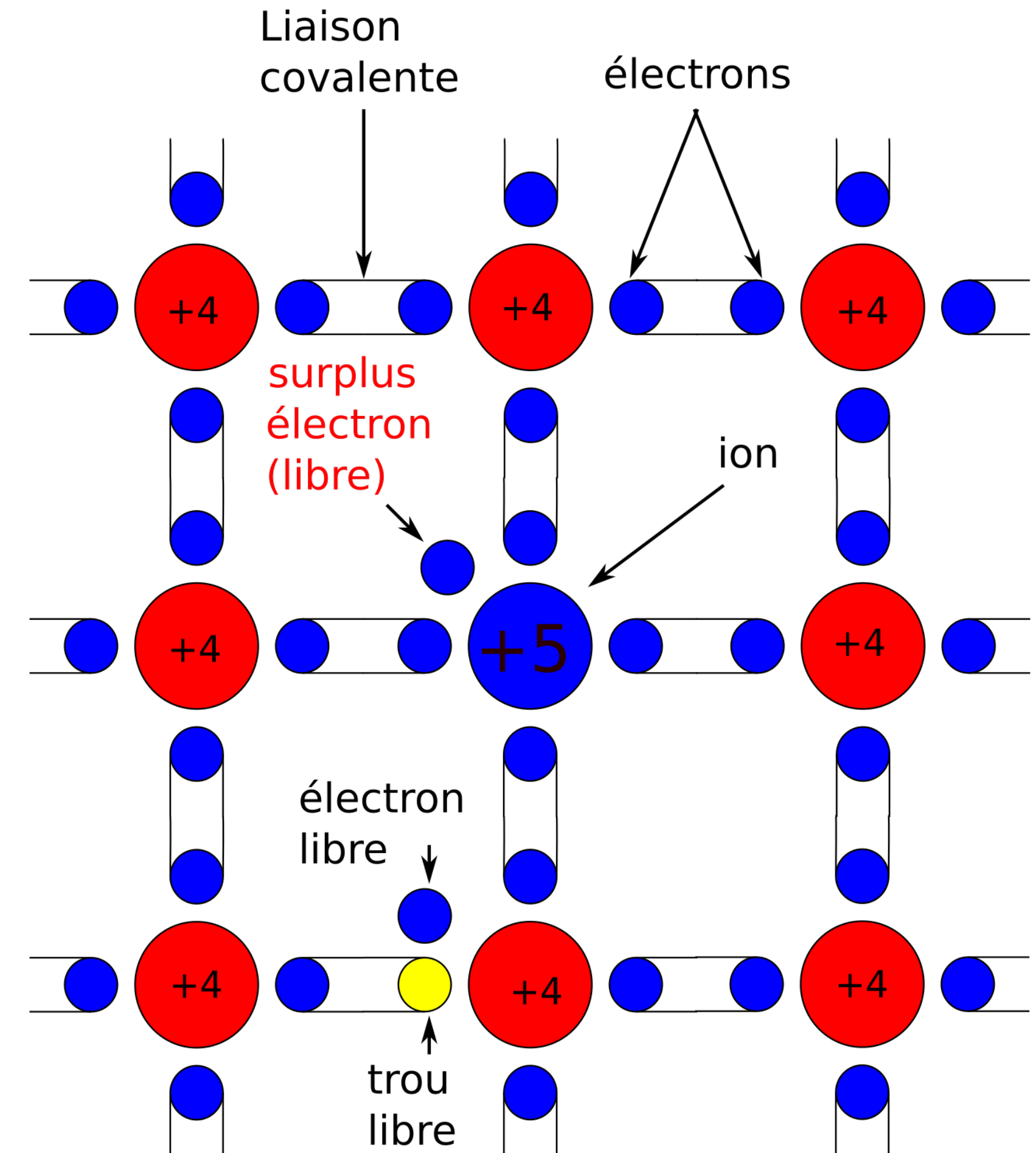
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)
 - 10^{-13} électrons (conduction intrinsèque)
 - 10^{-6} électrons (conduction **extrinsèque**)



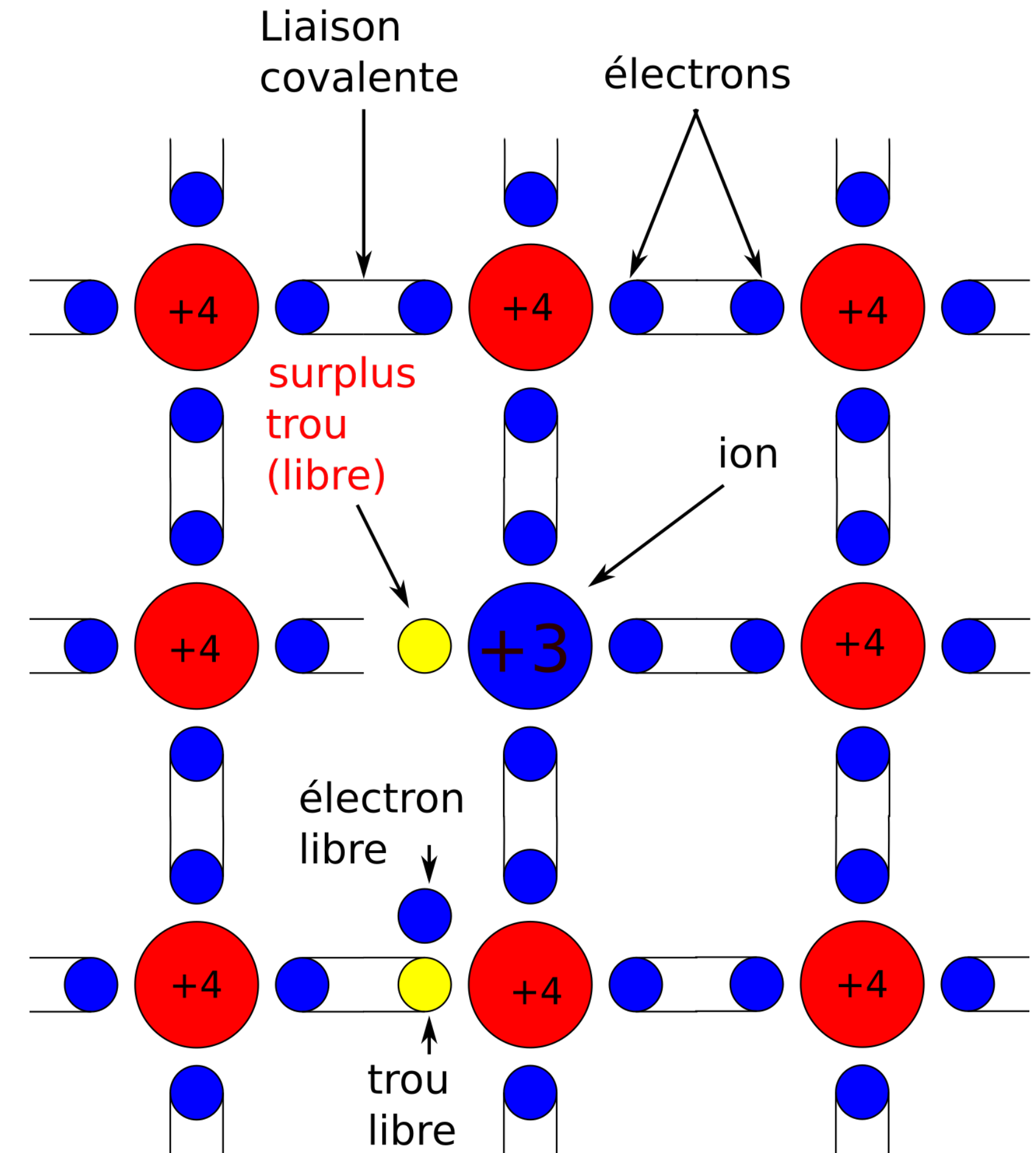
Semi-conducteur dopé de type N

- Injecter un élément de **valence 5** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé N**
- Surplus d'électrons : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)
 - 10^{-13} électrons (conduction intrinsèque)
 - 10^{-6} électrons (conduction **extrinsèque**)
- Conduction extrinsèque **largement dominante** !



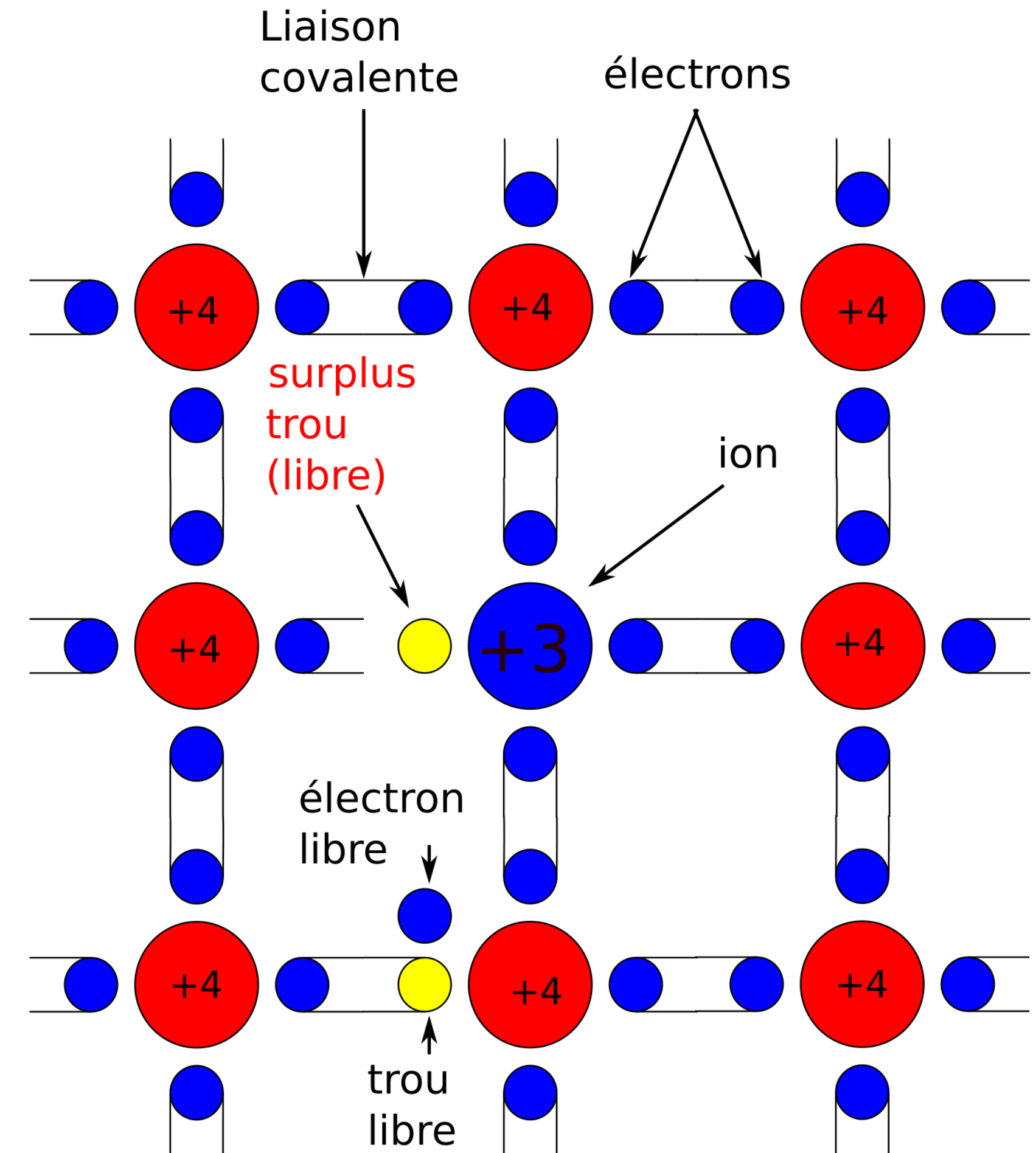
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)



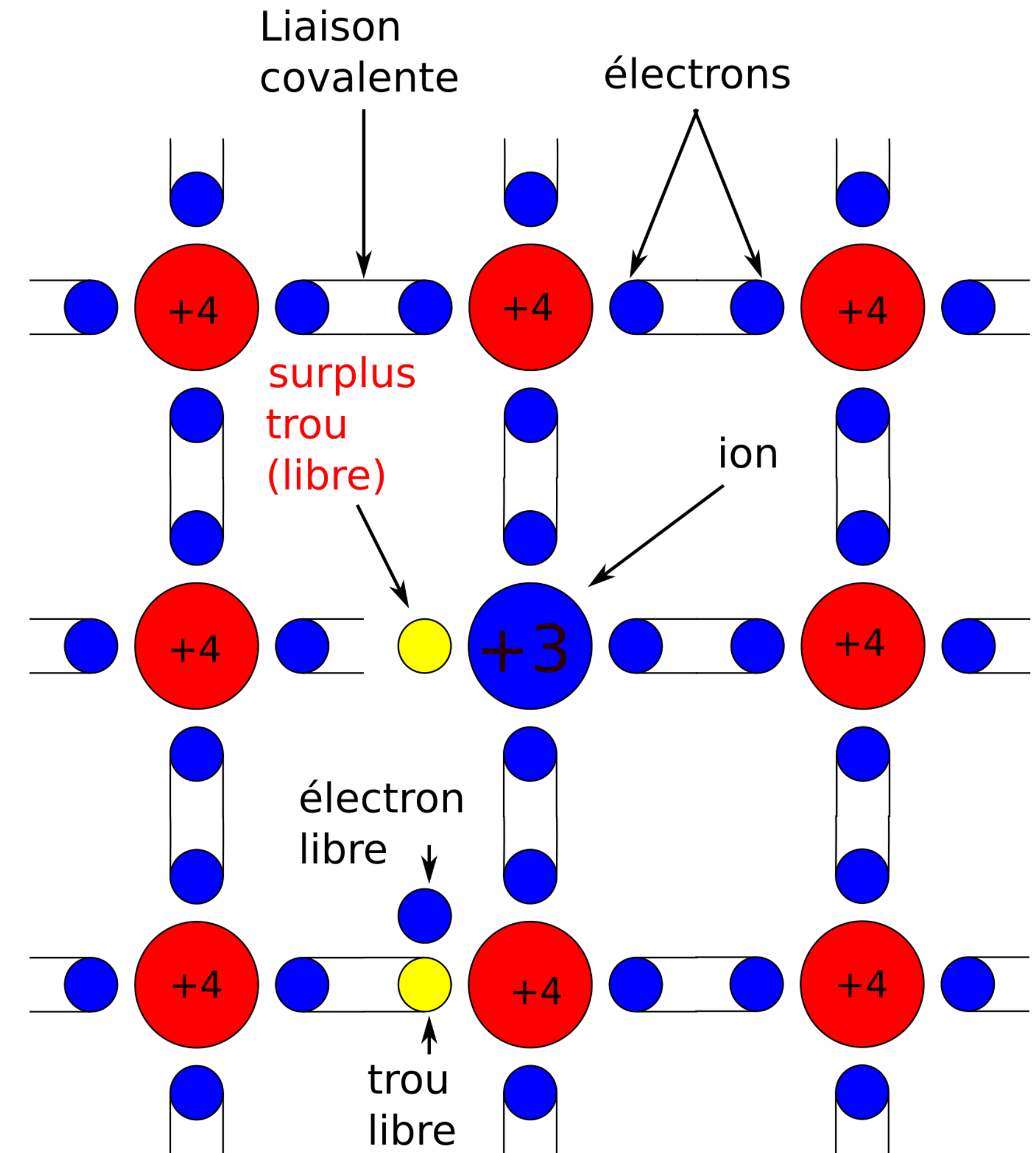
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**



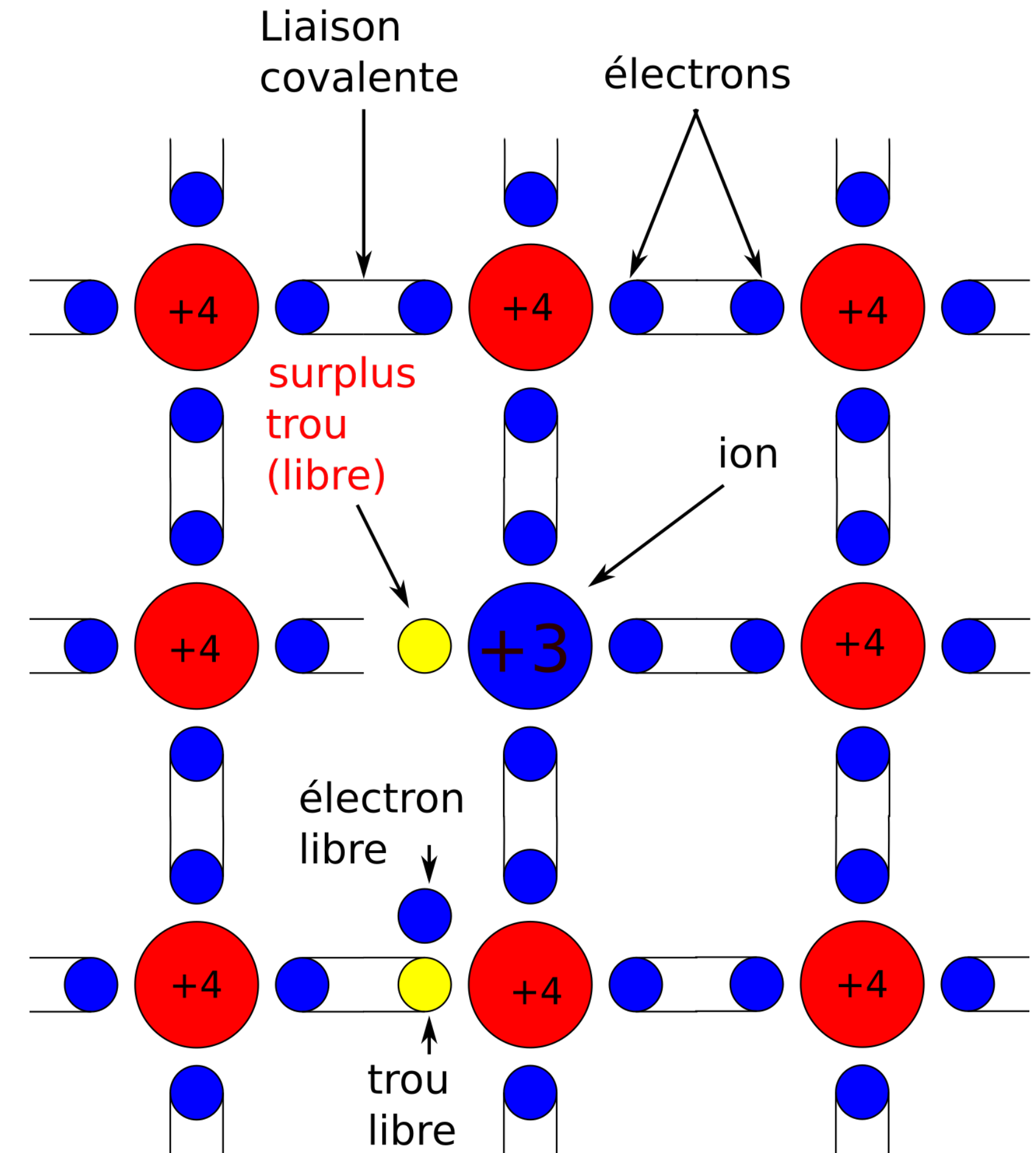
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)



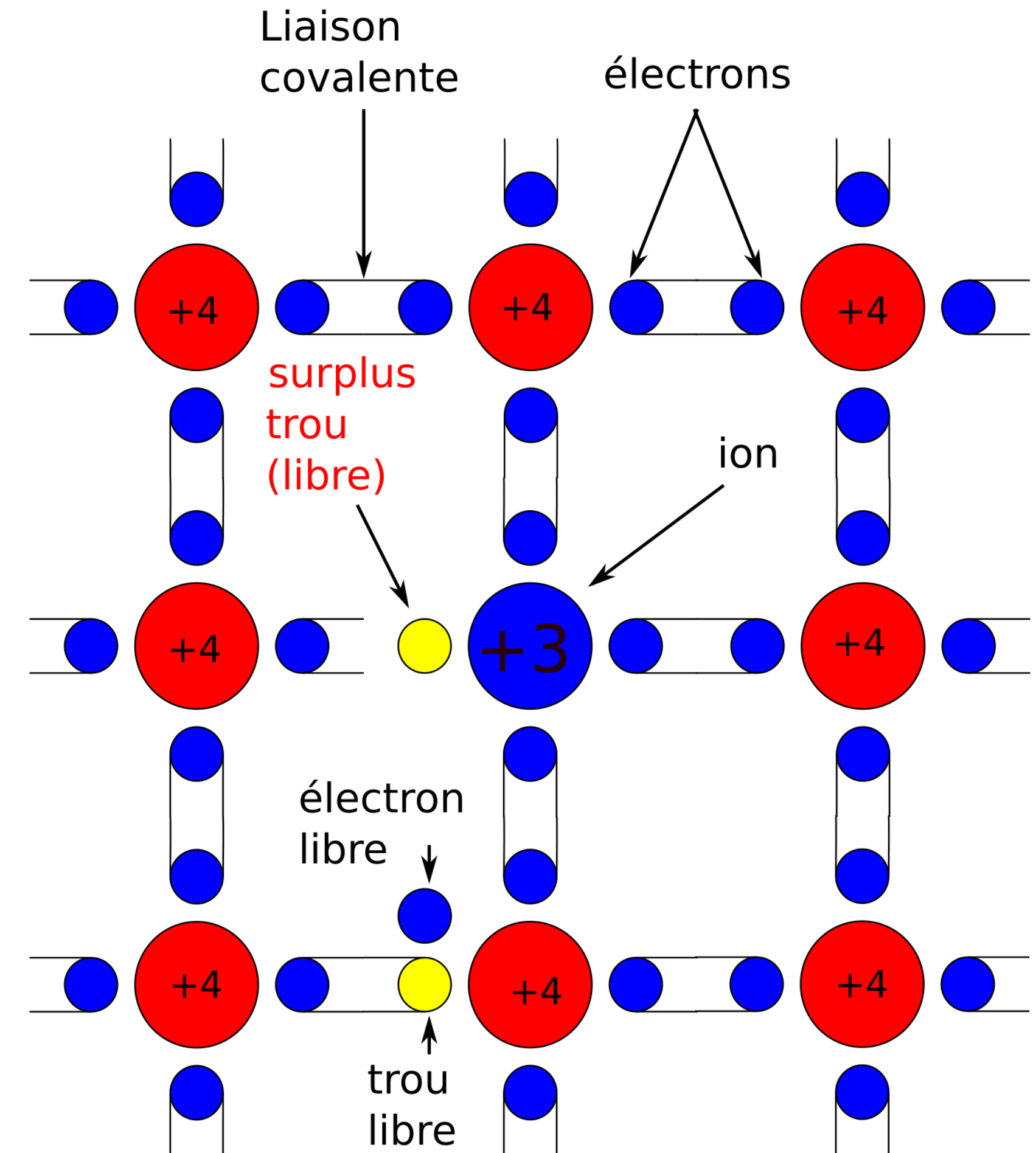
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents



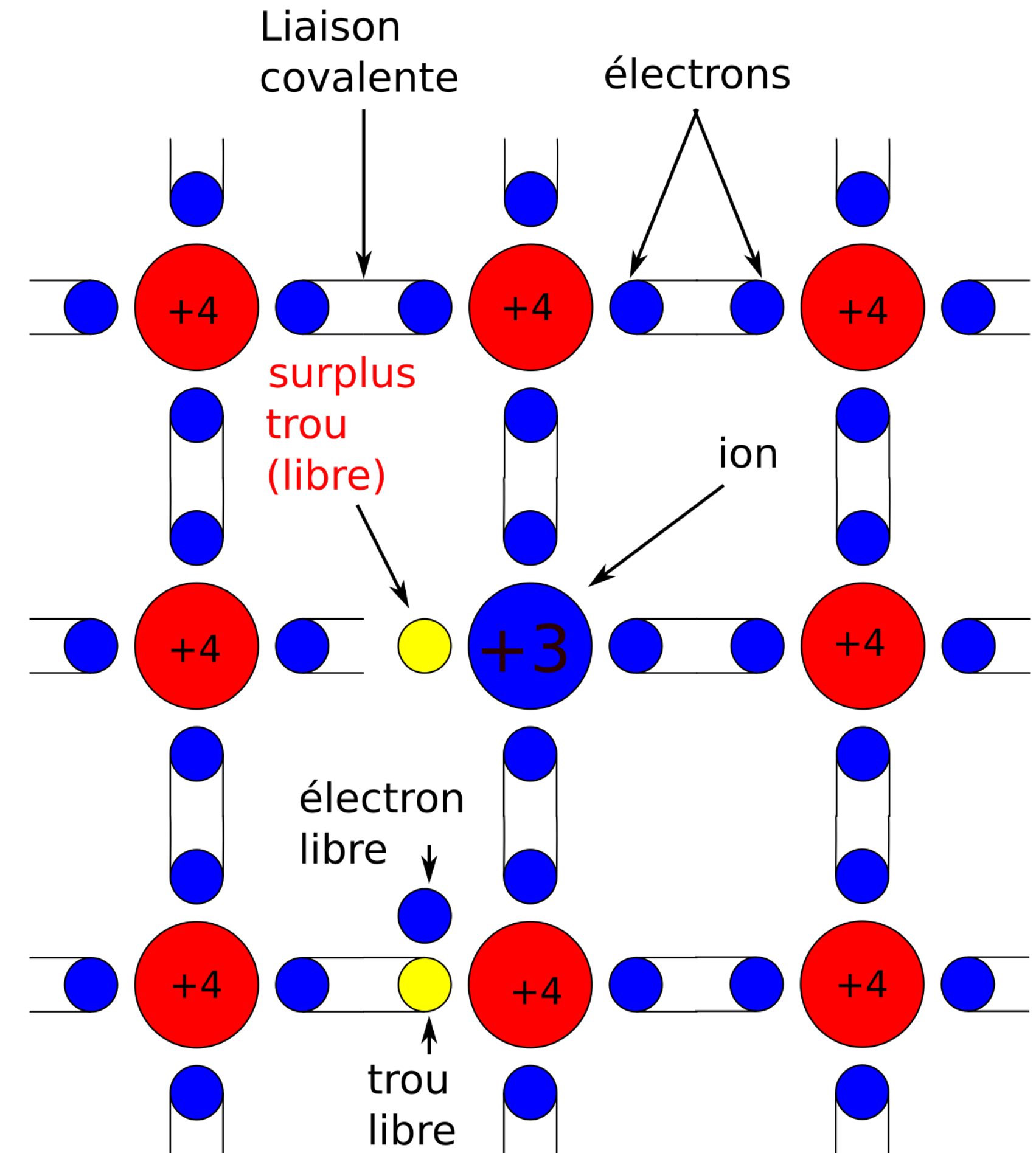
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :



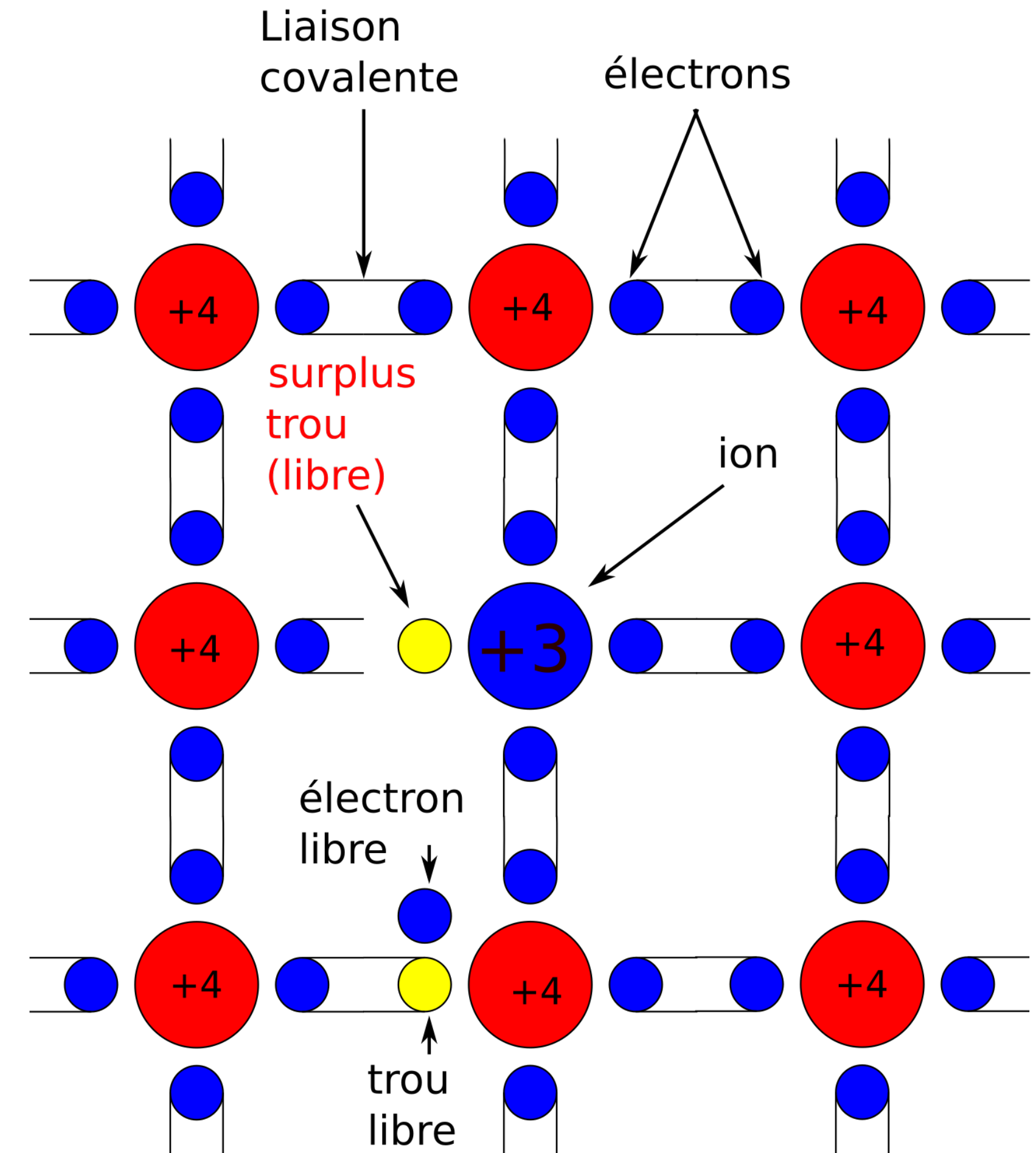
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)



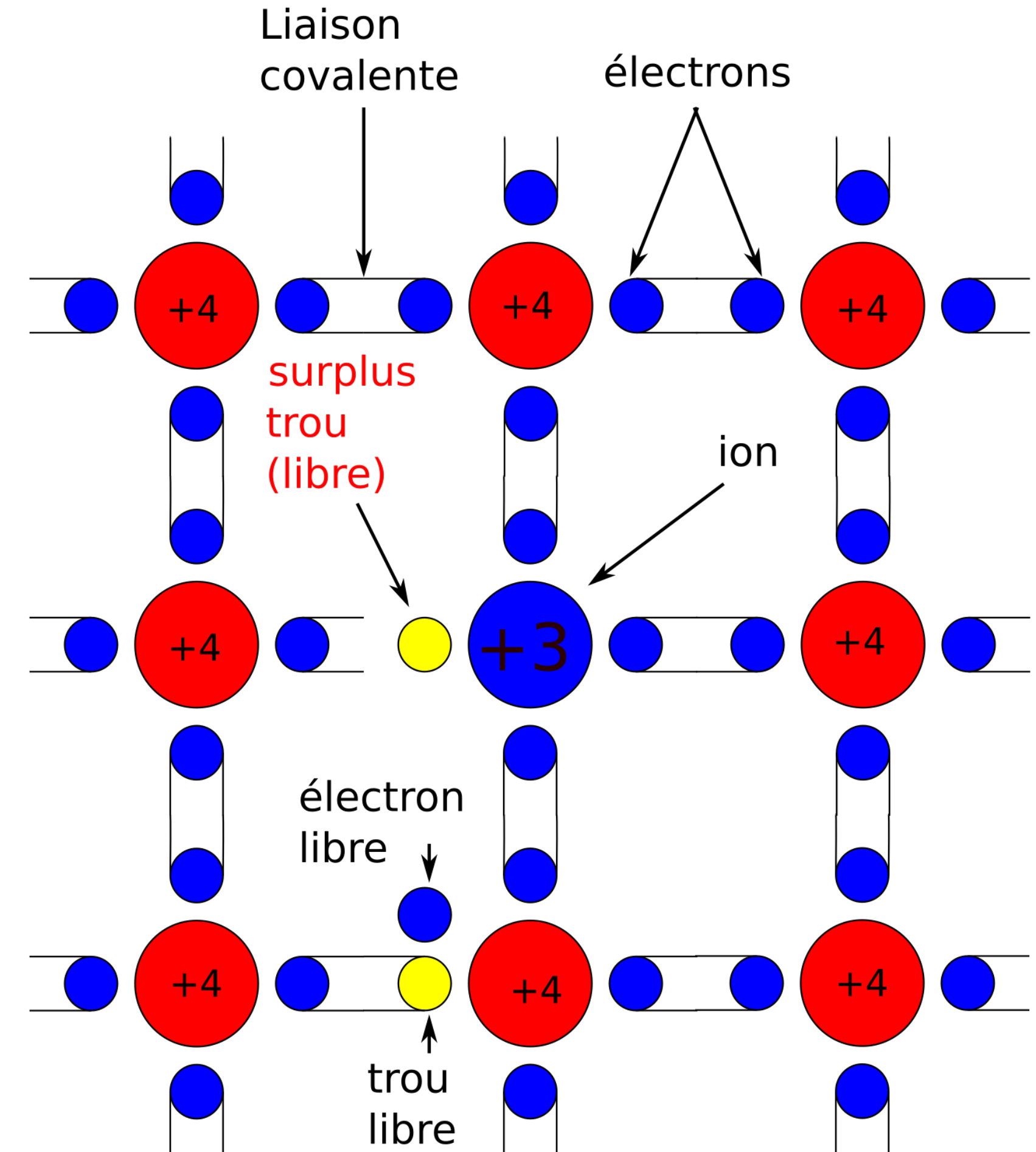
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)
 - 10^{-13} électrons (conduction intrinsèque)



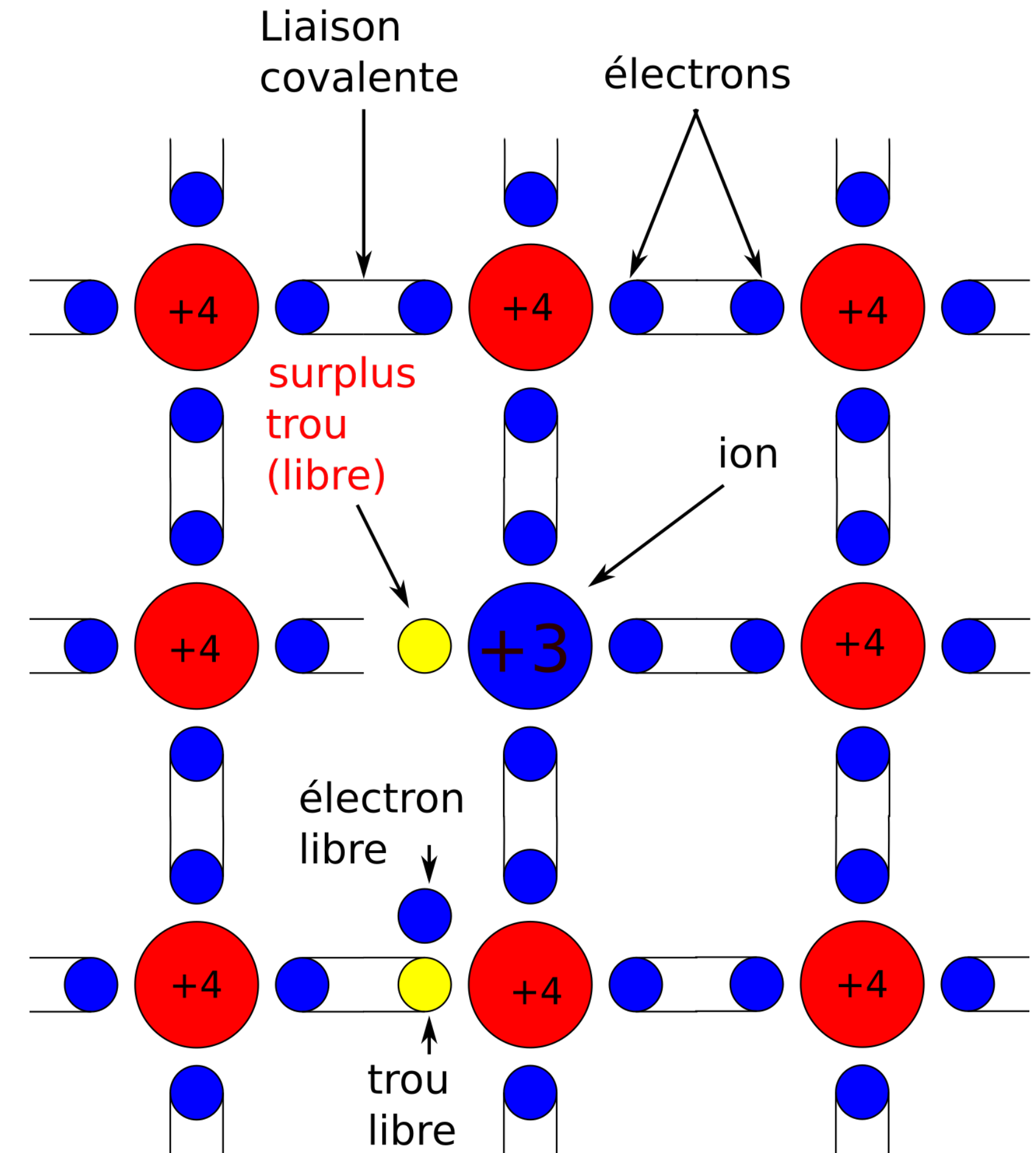
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)
 - 10^{-13} électrons (conduction intrinsèque)
 - 10^{-6} trous (conduction **extrinsèque**)



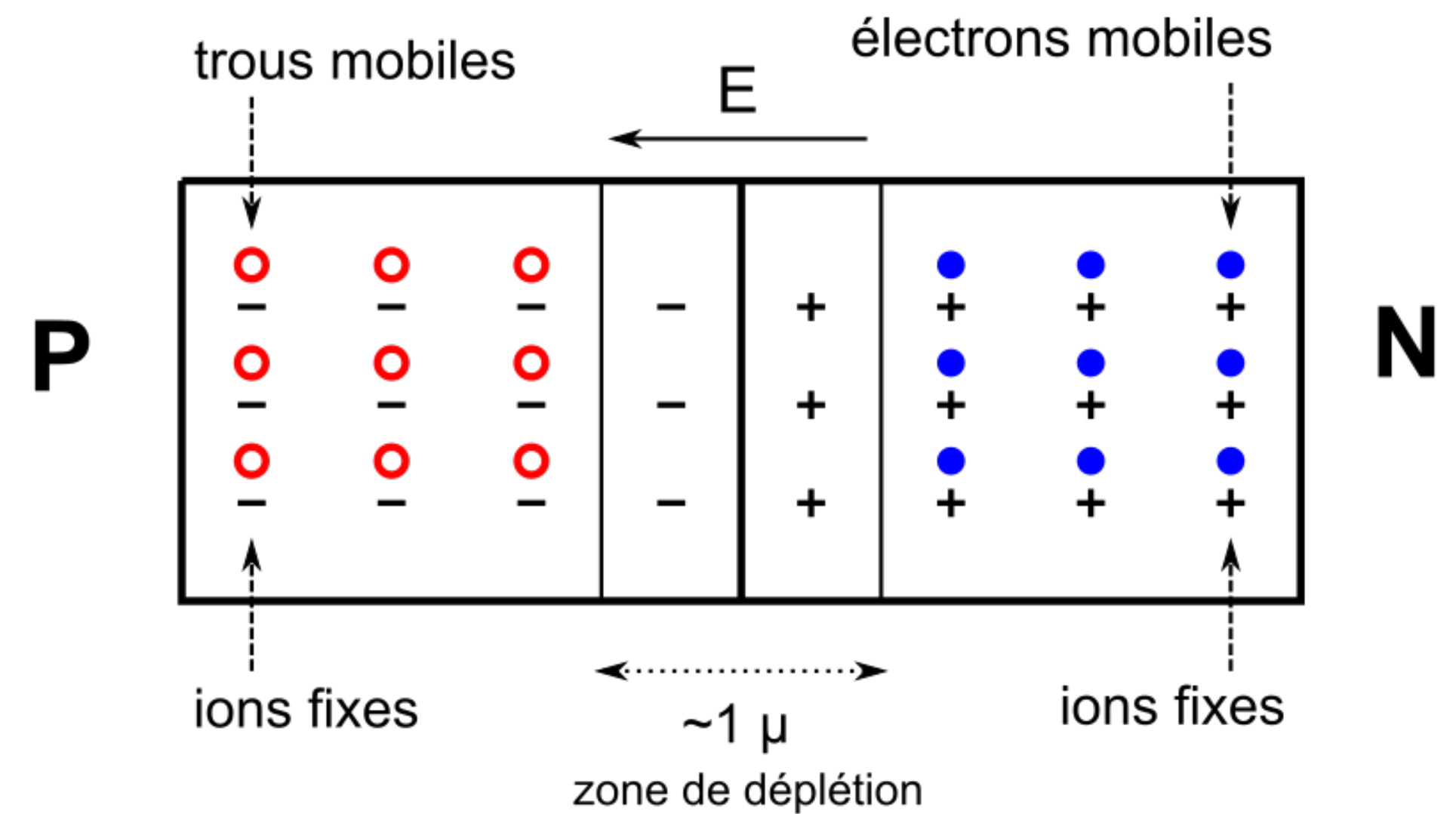
Semi-conducteur dopé de type P

- Injecter un élément de **valence 3** en faible quantité (10^{-6} par atome)
- Le cristal est **dopé P**
- Surplus de trous : certains sont d'office libres (10^{-6} /atome)
- Paires électron-trou libres également présents
- Conduction dans 1 atome de cristal assurée par :
 - 10^{-13} trous (conduction intrinsèque)
 - 10^{-13} électrons (conduction intrinsèque)
 - 10^{-6} trous (conduction **extrinsèque**)
- Conduction extrinsèque **largement dominante** !



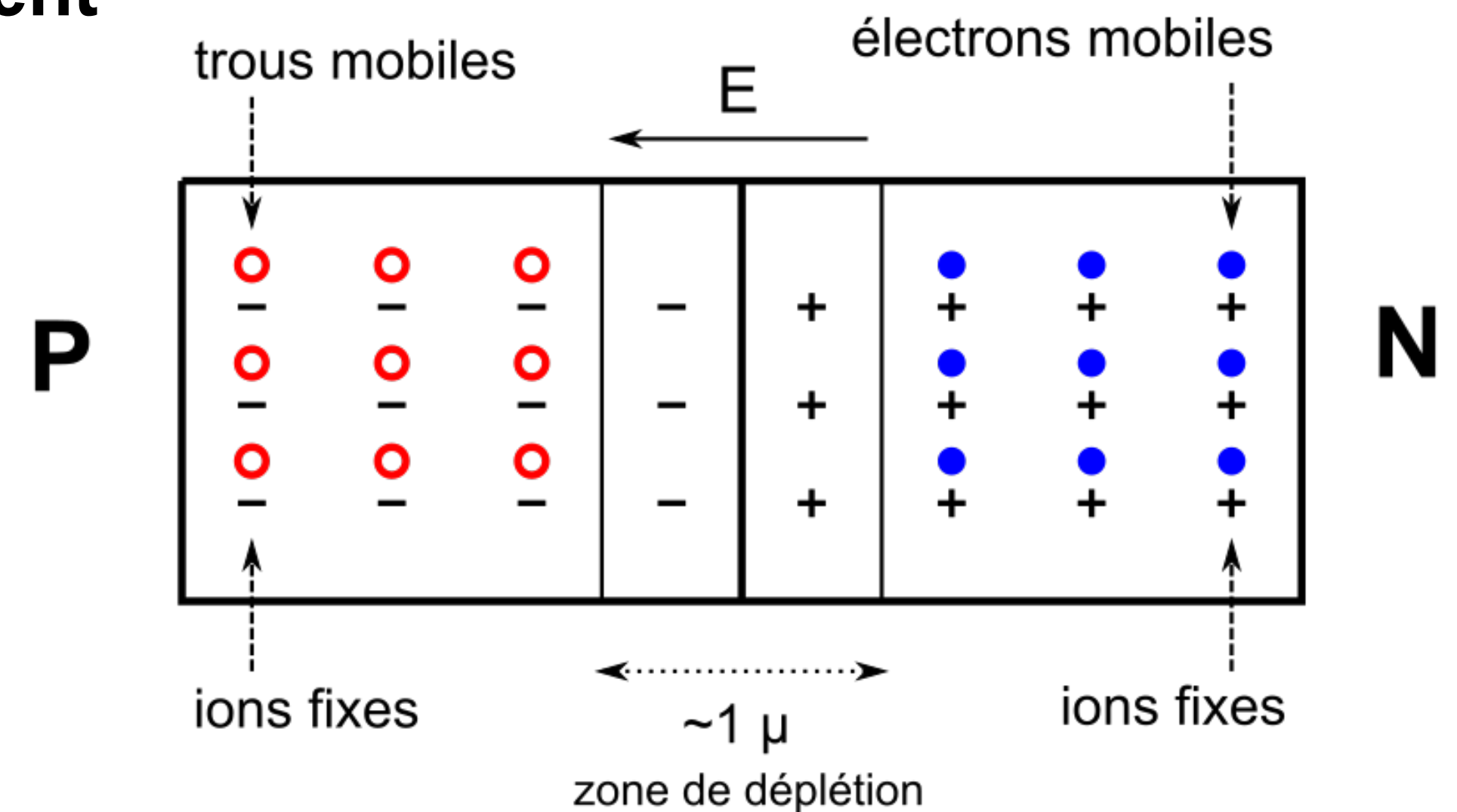
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N



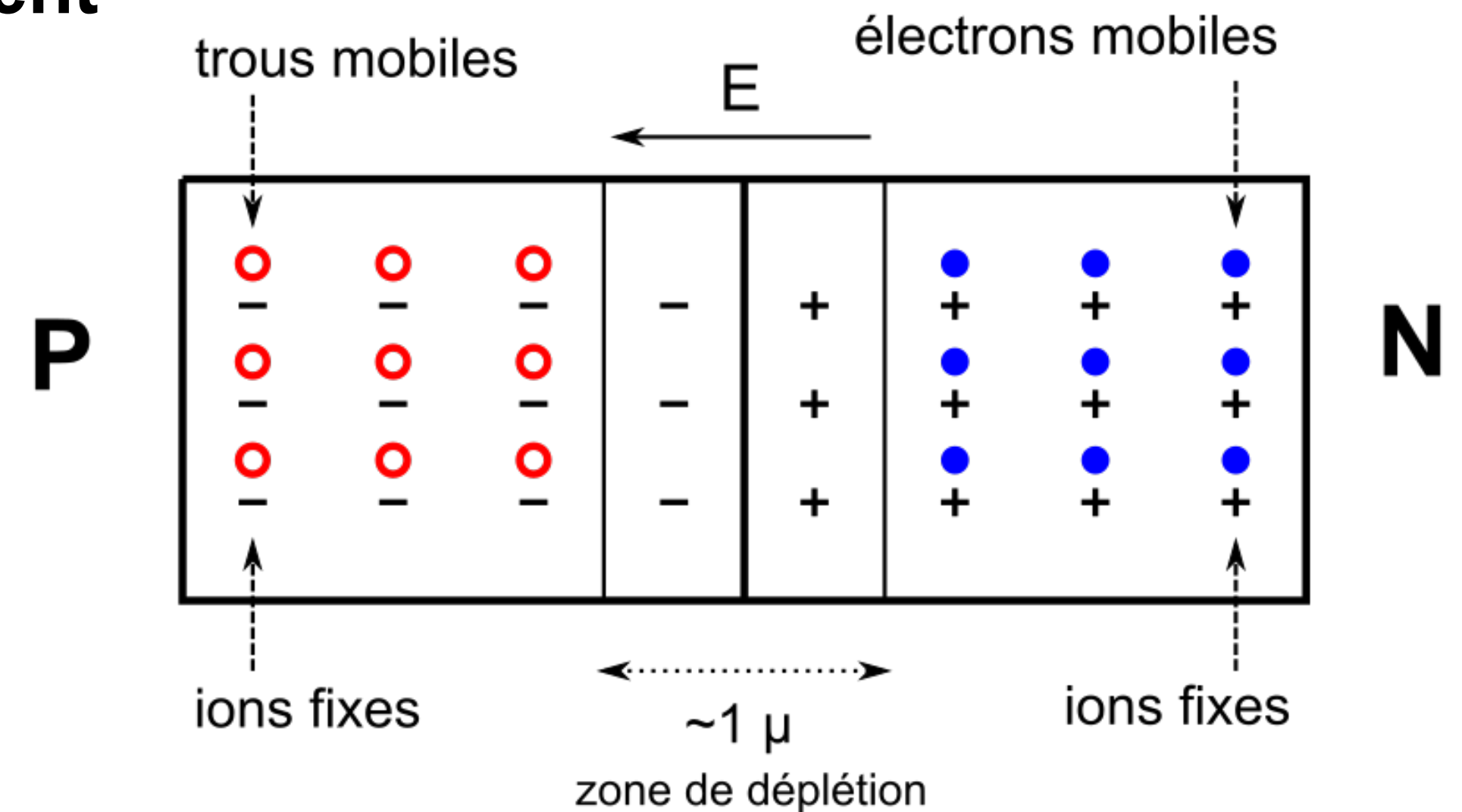
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**



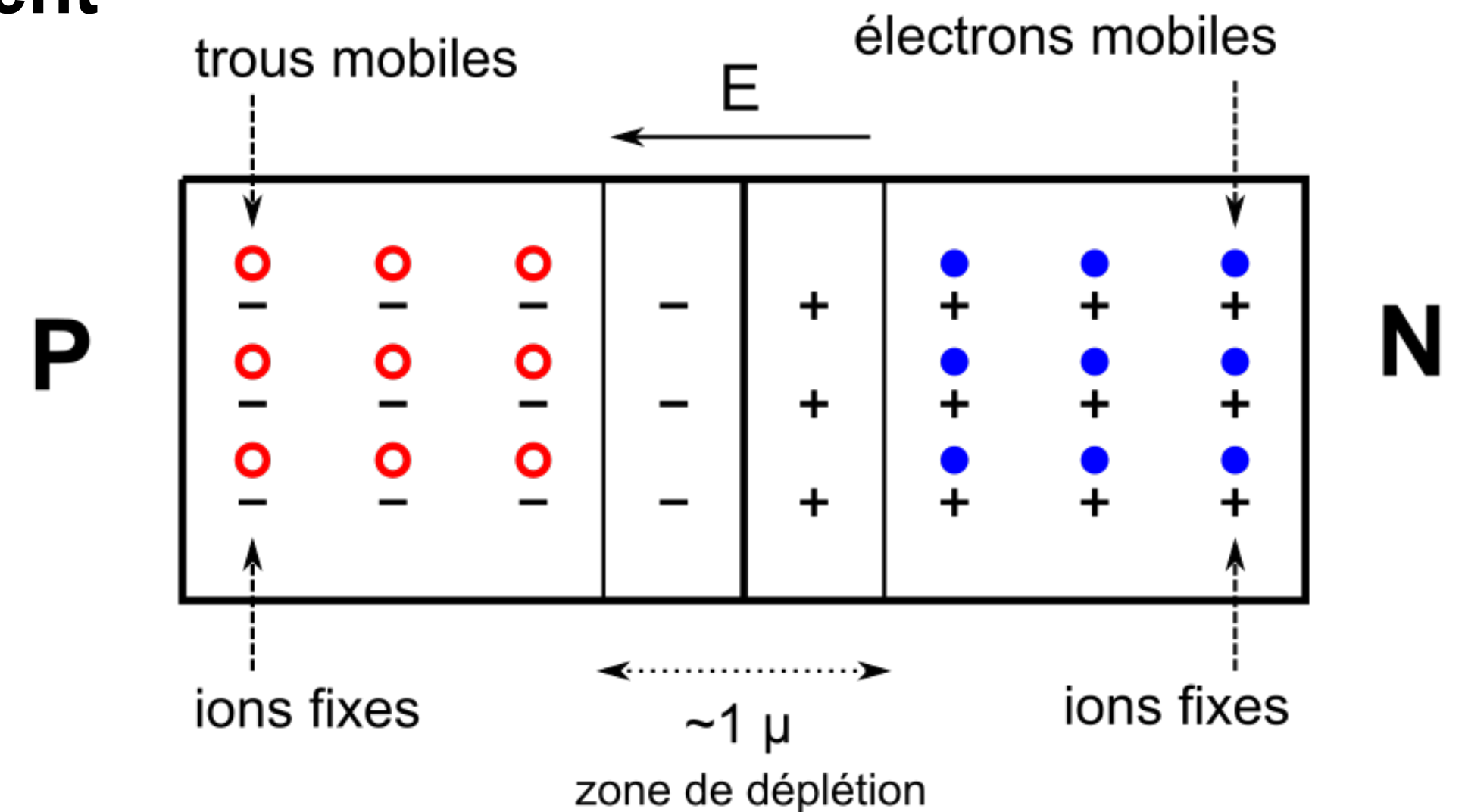
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**
- **Diffusion** de porteurs de charges



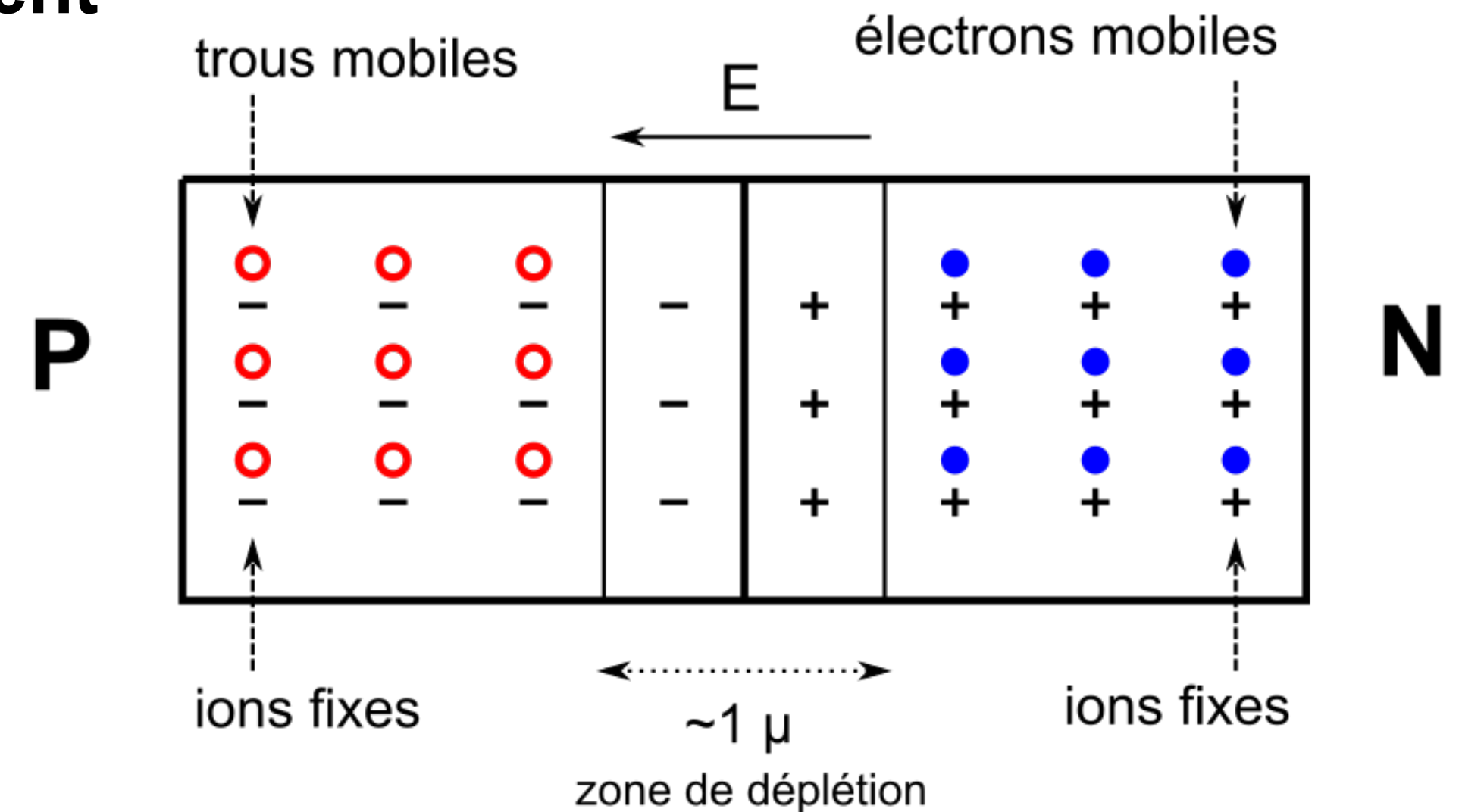
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**
- **Diffusion** de porteurs de charges
- **Neutralisation** mutuelle



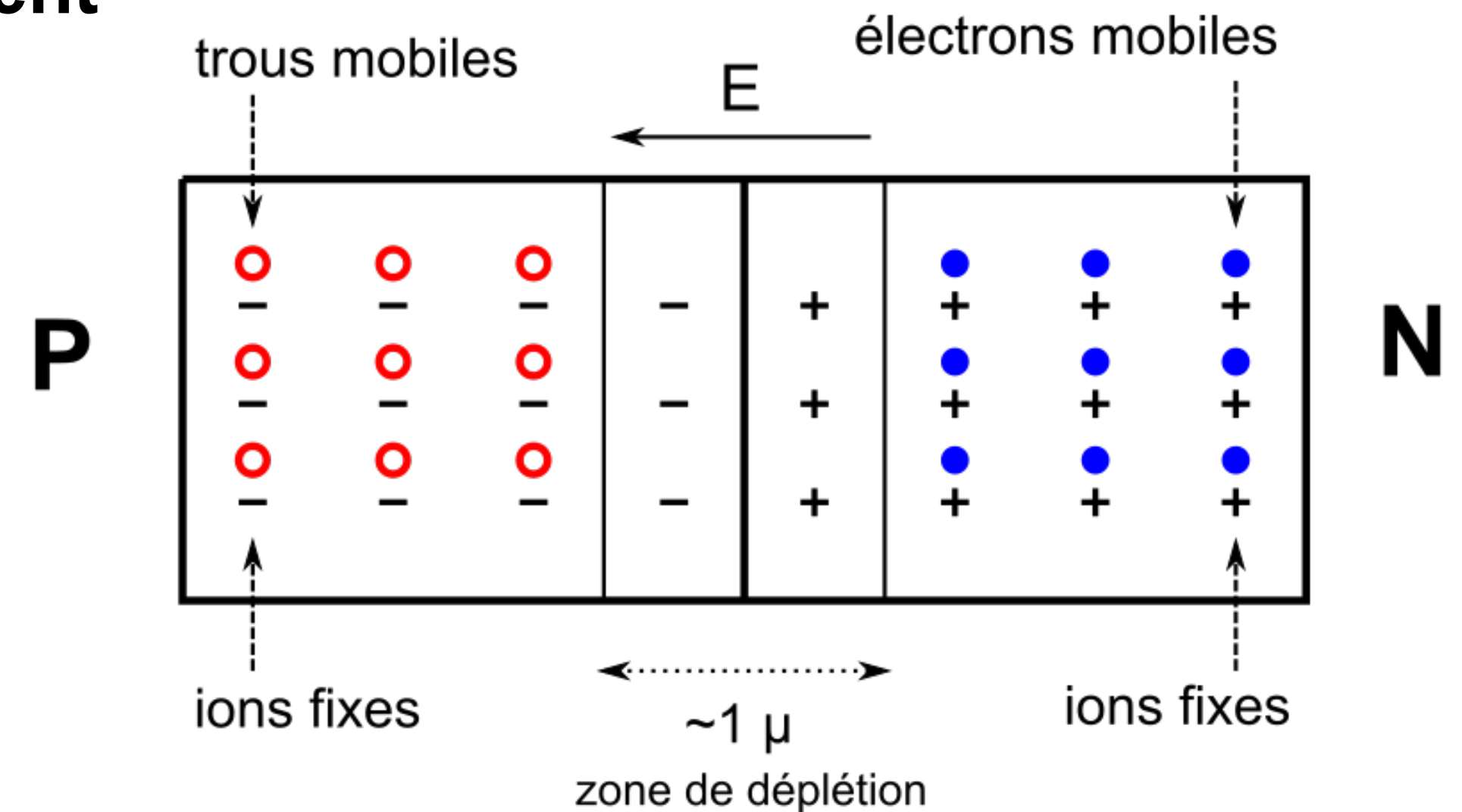
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**
- **Diffusion** de porteurs de charges
- **Neutralisation** mutuelle
- Zones de **déplétion**



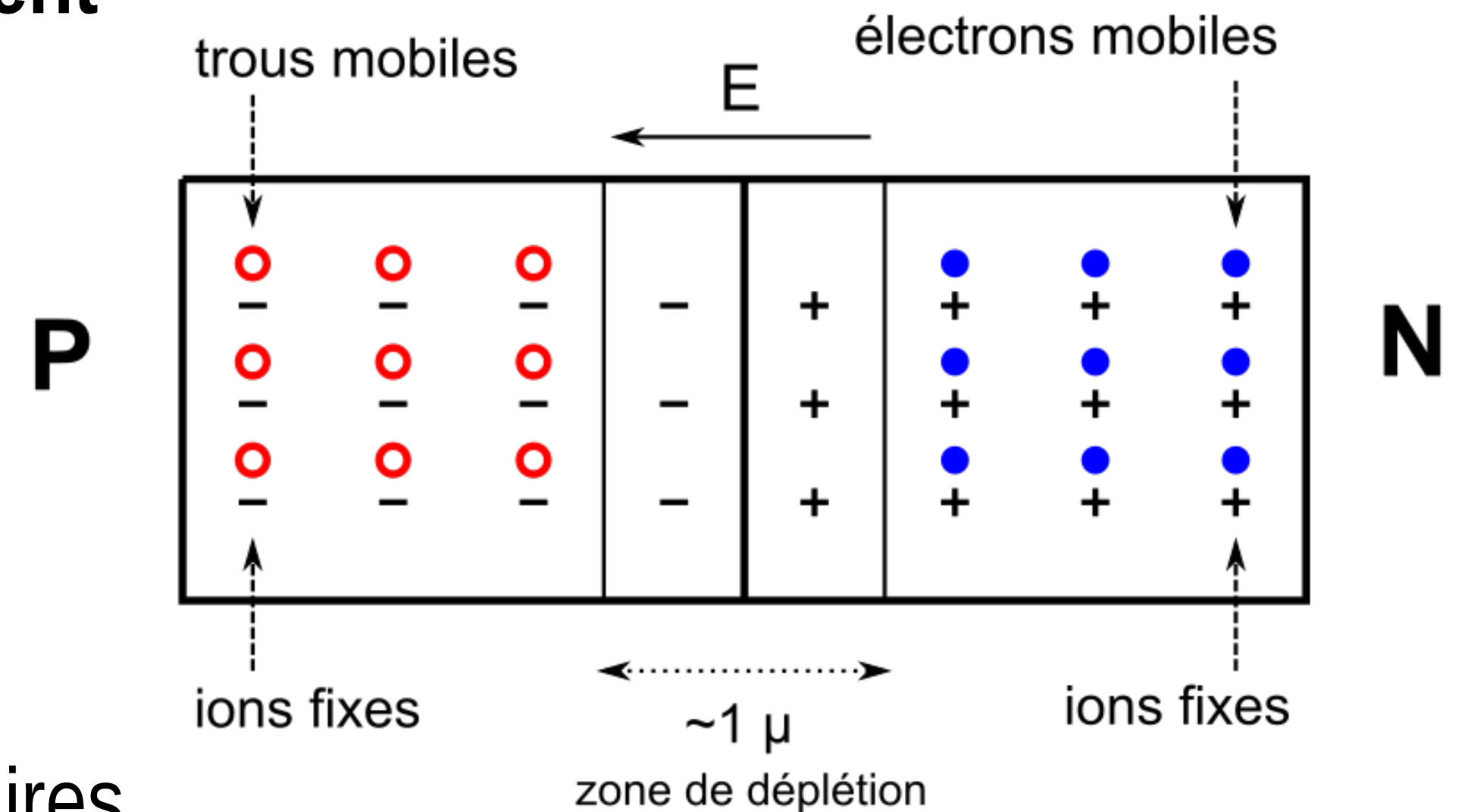
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**
- **Diffusion** de porteurs de charges
- **Neutralisation** mutuelle
- Zones de **déplétion**
- **Champ électrique** (barrière de potentiel)



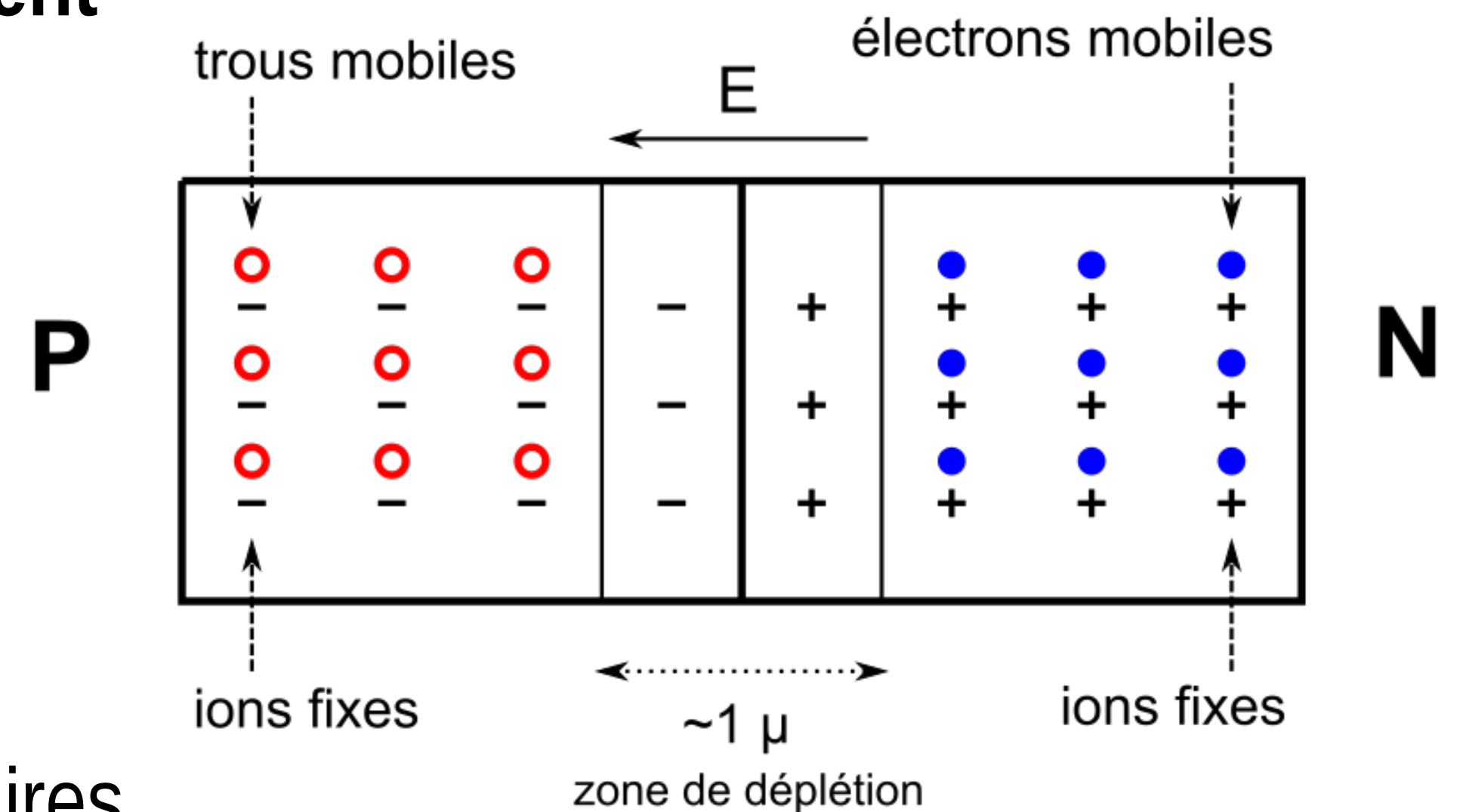
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**
- **Diffusion** de porteurs de charges
- **Neutralisation** mutuelle
- Zones de **déplétion**
- **Champ électrique** (barrière de potentiel)
- Champ **opposé** au passage des porteurs majoritaires



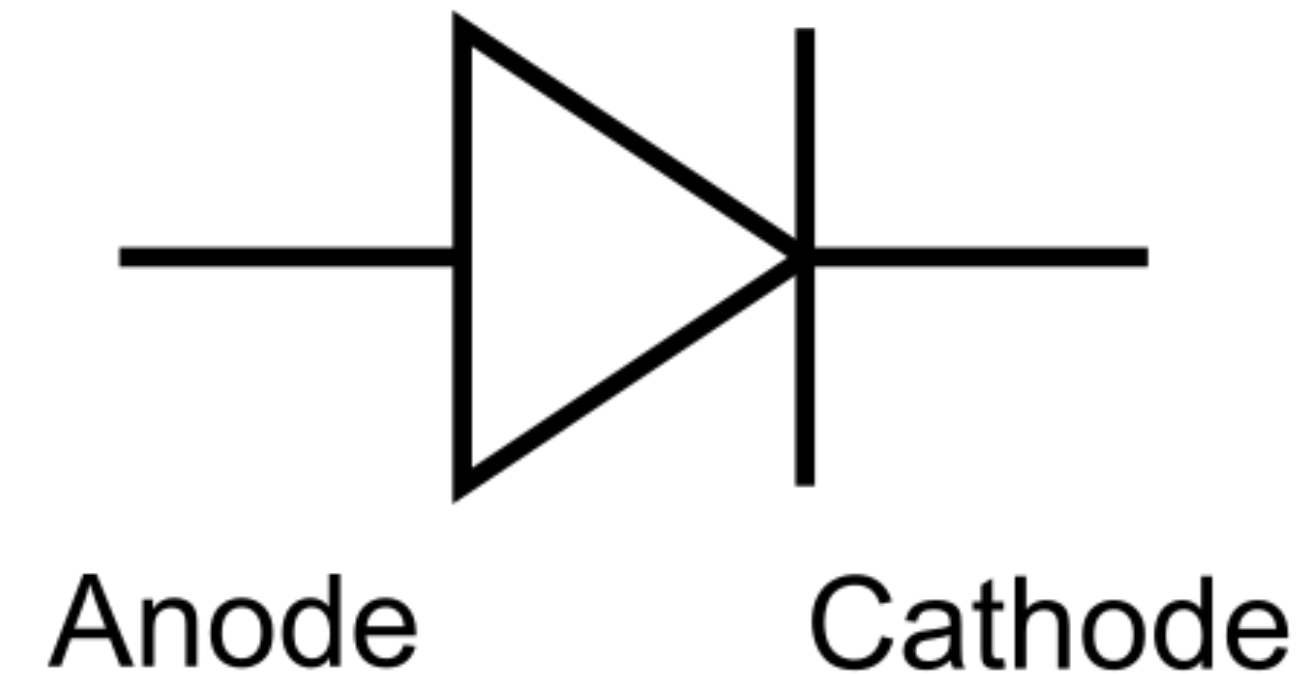
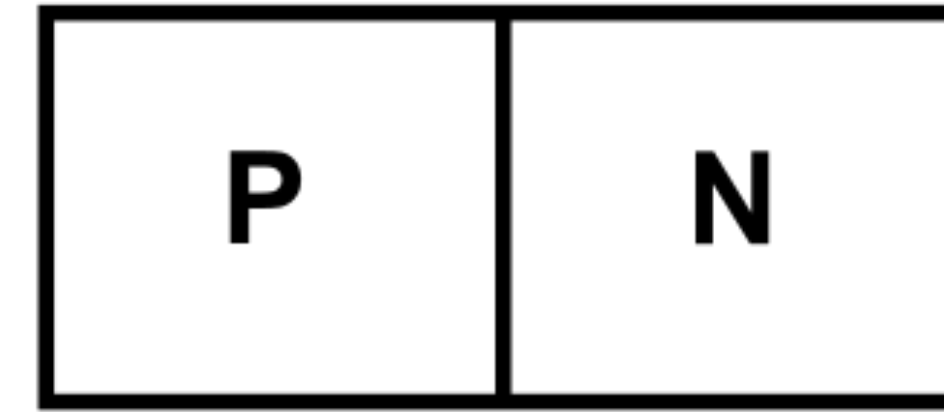
Jonction PN

- Mise en contact de semi-conducteurs dopés P et N
- Porteurs de charges de natures différentes **s'attirent**
- **Diffusion** de porteurs de charges
- **Neutralisation** mutuelle
- Zones de **déplétion**
- **Champ électrique** (barrière de potentiel)
- Champ **opposé** au passage des porteurs majoritaires
- MAIS : **favorise** le passage des porteurs minoritaires



La diode à jonction

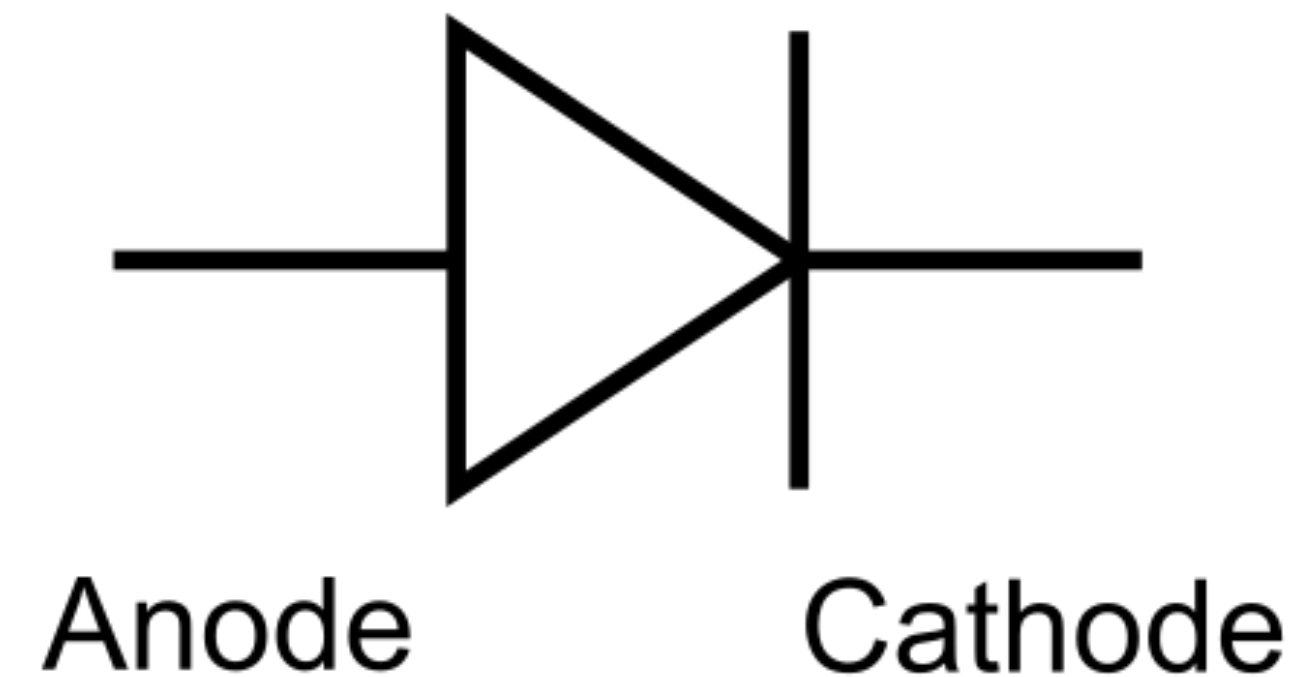
- Lorsqu'on soumet la jonction PN à une différence de potentiel, on réalise une **diode à jonction**



La diode à jonction



- Lorsqu'on soumet la jonction PN à une différence de potentiel, on réalise une **diode à jonction**
- Caractéristique de la diode



Caractéristique de la diode à jonction



- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes

Caractéristique de la diode à jonction



- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes
- Par application à la jonction de :

Caractéristique de la diode à jonction

- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes
- Par application à la jonction de :
L'équation fondamentale de la dynamique

Caractéristique de la diode à jonction

- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes
- Par application à la jonction de :
 - L'équation fondamentale de la dynamique
 - La loi de conservation de l'énergie

Caractéristique de la diode à jonction

- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes
- Par application à la jonction de :

L'équation fondamentale de la dynamique

La loi de conservation de l'énergie

La relation $E = - \overline{grad}(V)$

Caractéristique de la diode à jonction

- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes
- Par application à la jonction de :
 - L'équation fondamentale de la dynamique
 - La loi de conservation de l'énergie
 - La relation $E = - \overline{grad}(V)$
- On obtient l'équation différentielle qui régit le courant

Caractéristique de la diode à jonction

- Caractéristique c'est la relation entre le courant $I = f(V)$ qui traverse la diode et la tension à ses bornes

- Par application à la jonction de :

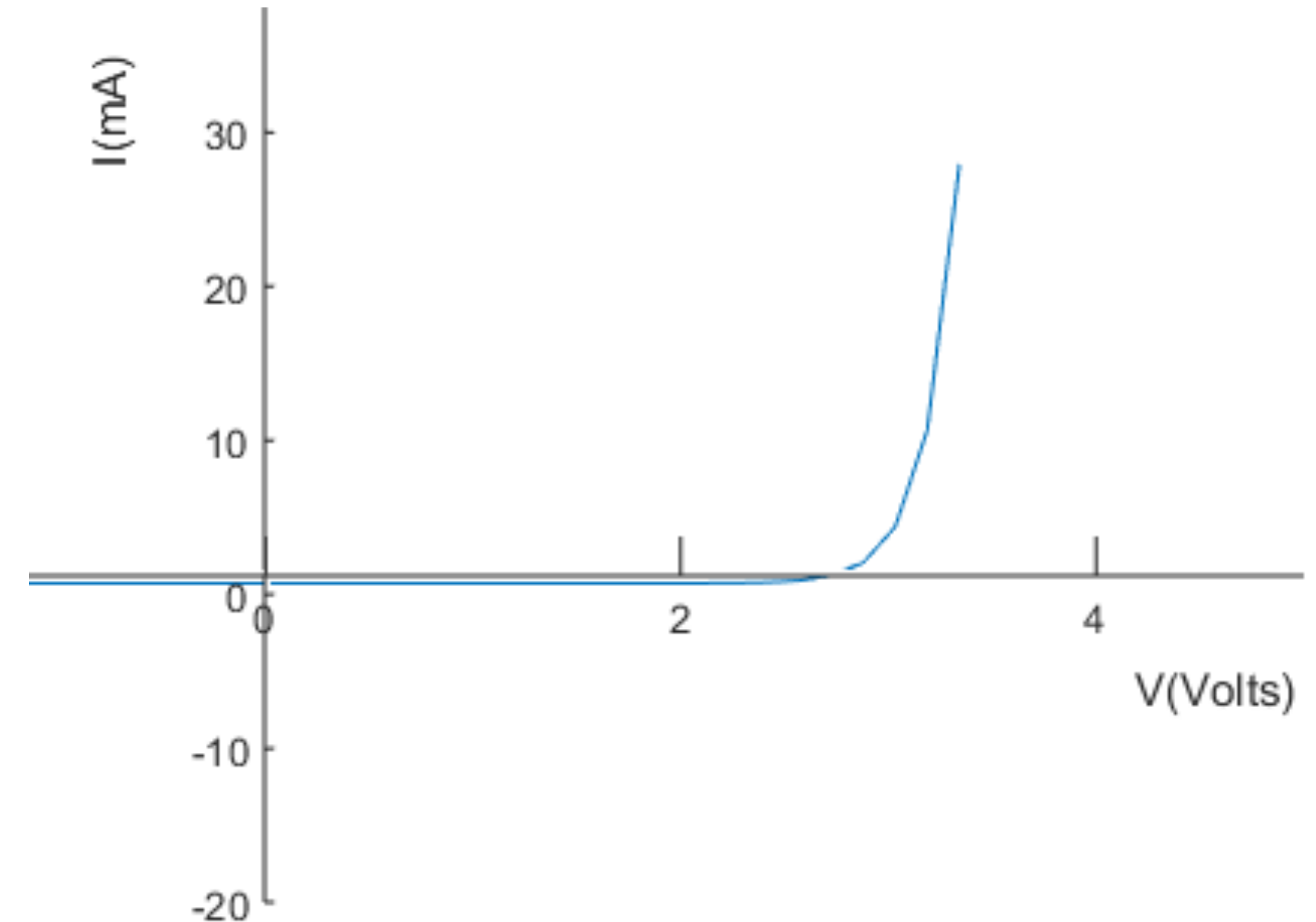
L'équation fondamentale de la dynamique

La loi de conservation de l'énergie

La relation $E = - \overline{grad}(V)$

- On obtient l'équation différentielle qui régit le courant

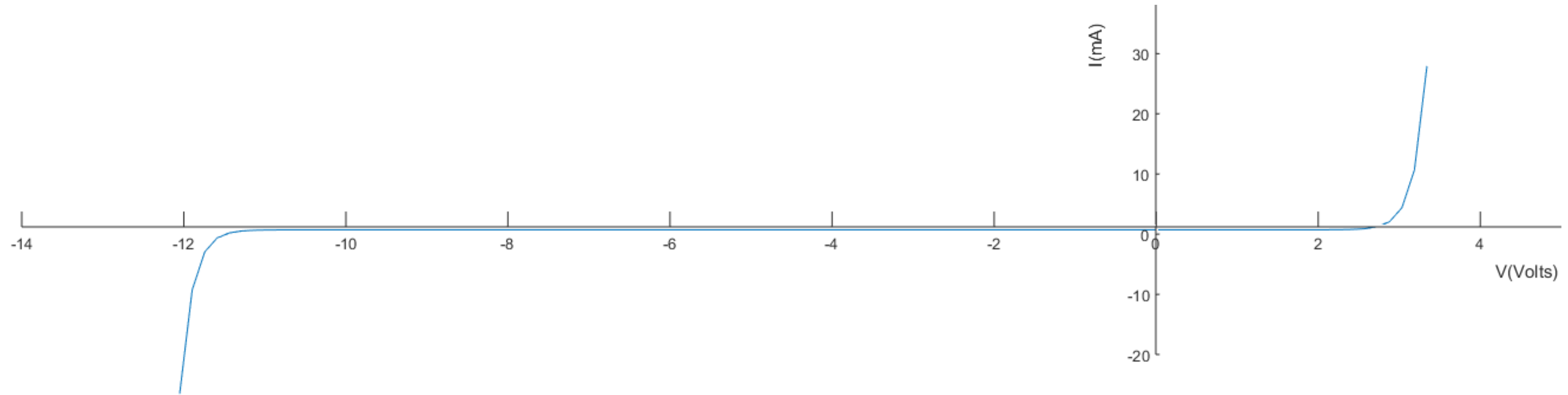
- La résolution de l'équation donne : $I = I_s (e^{\frac{eV}{\eta kT}} - 1)$



Caractéristique de la diode à jonction



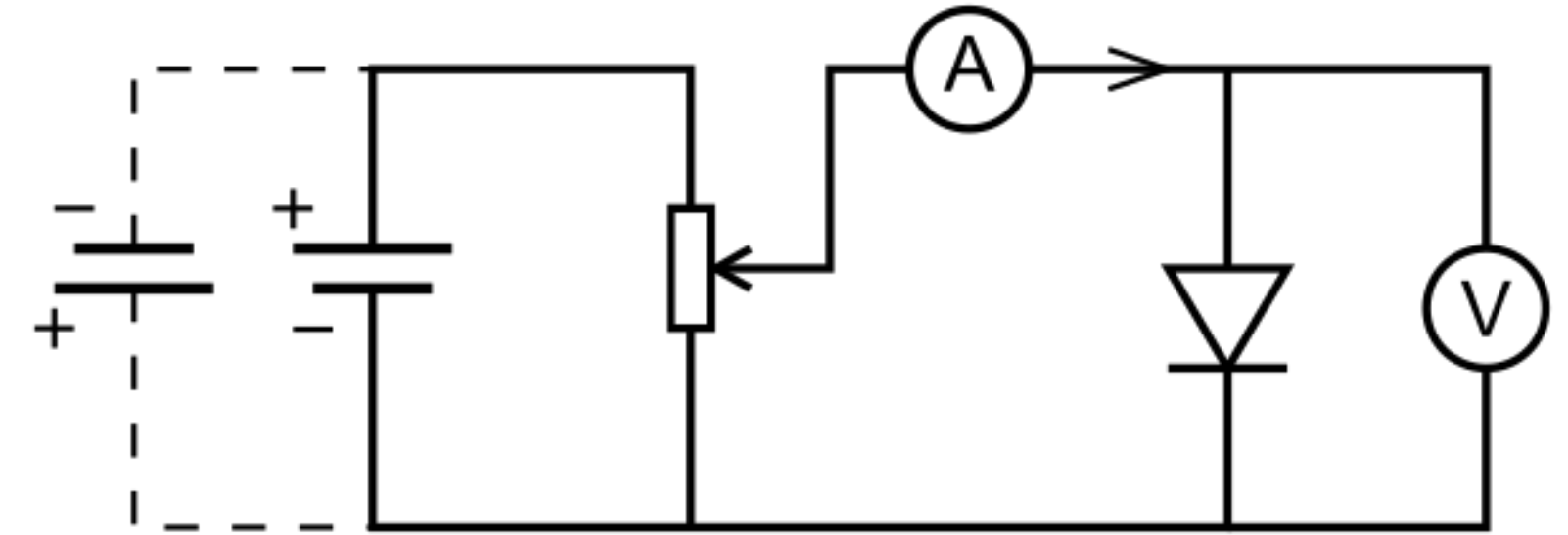
- Avec la partie négative :



Caractéristique de la diode à jonction



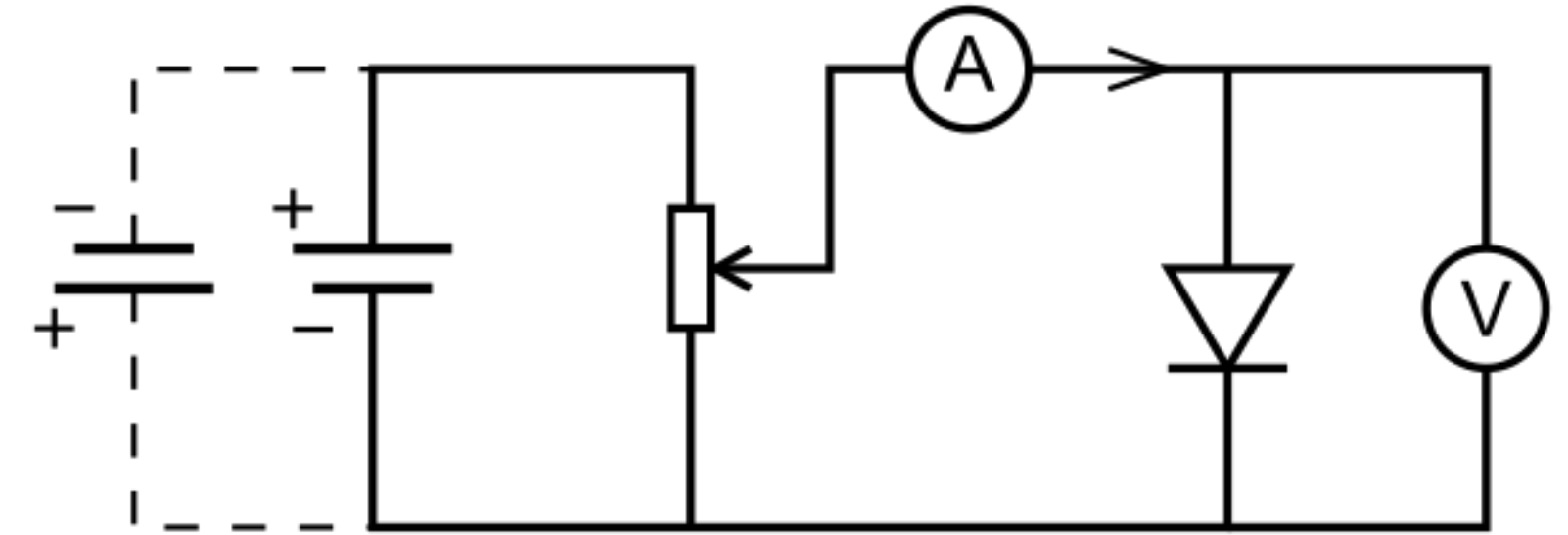
- Réaliser le circuit ci-contre :



Caractéristique de la diode à jonction

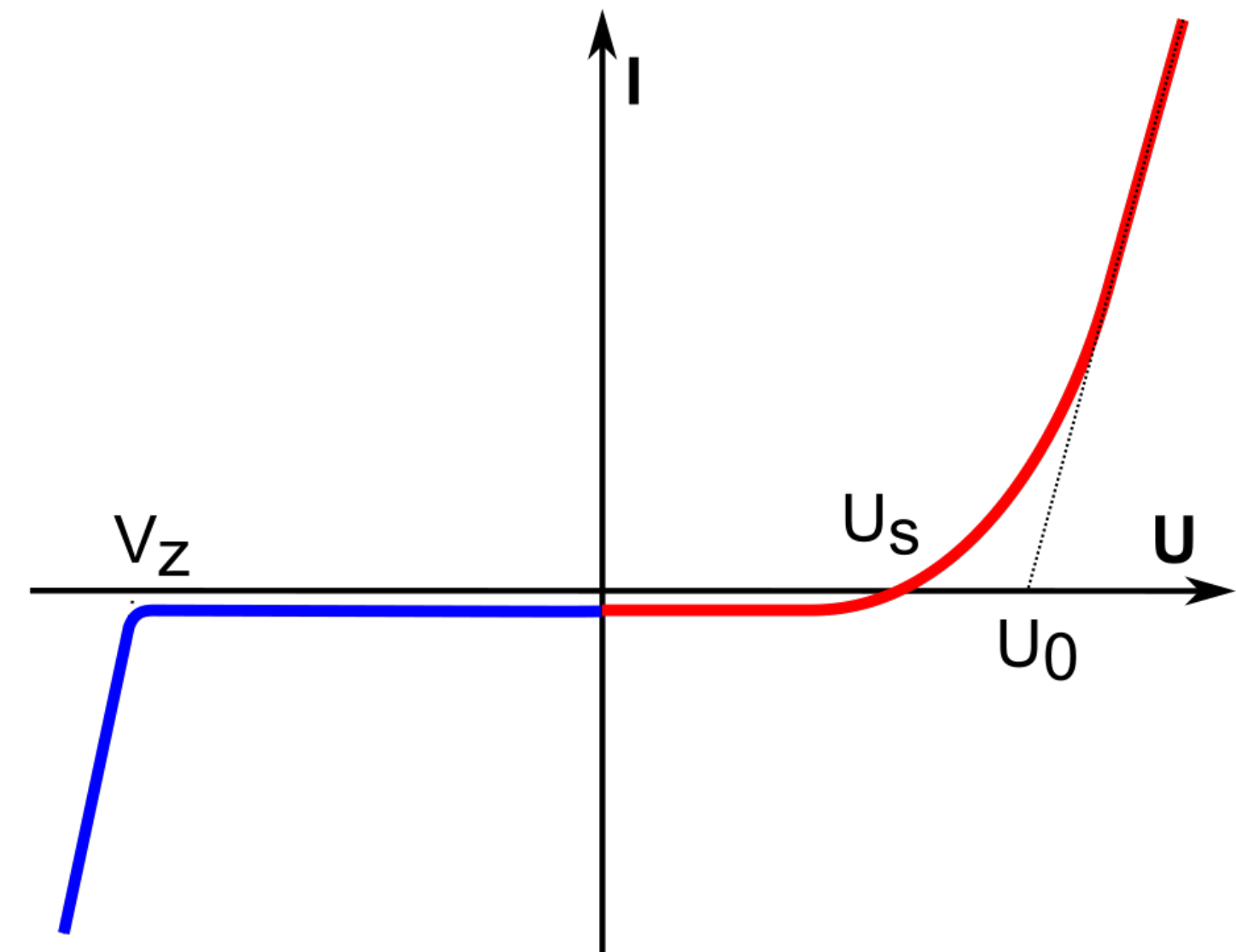
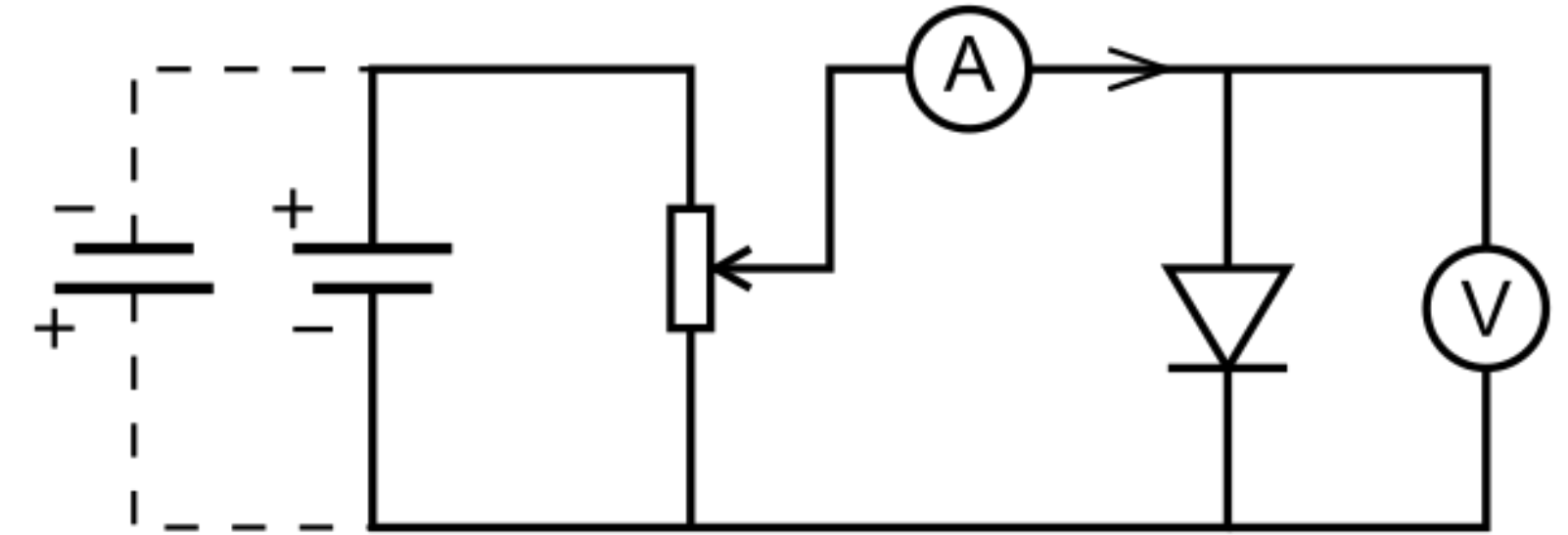


- Réaliser le circuit ci-contre :
- Relever dans un tableau la valeur de I pour chaque valeur de U



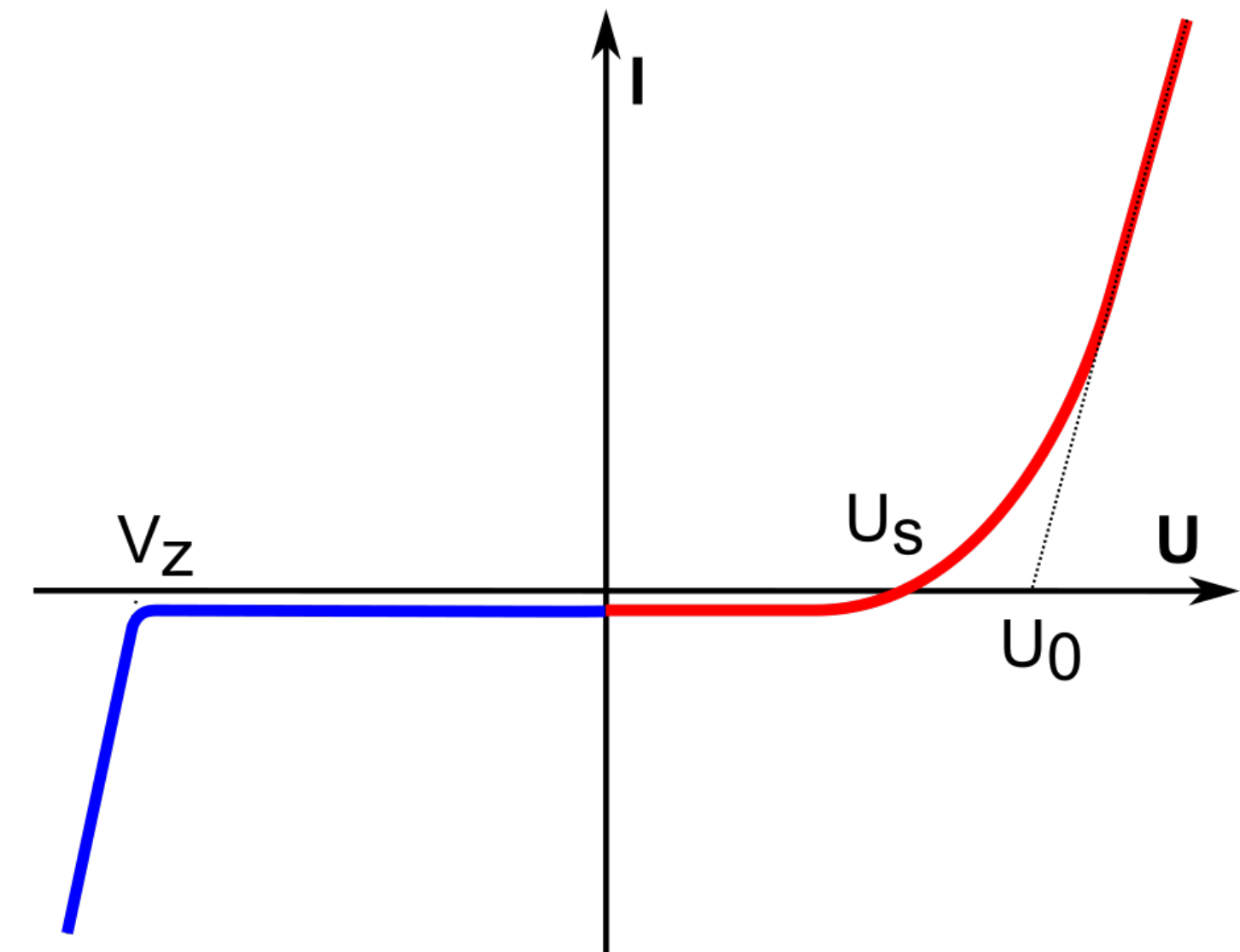
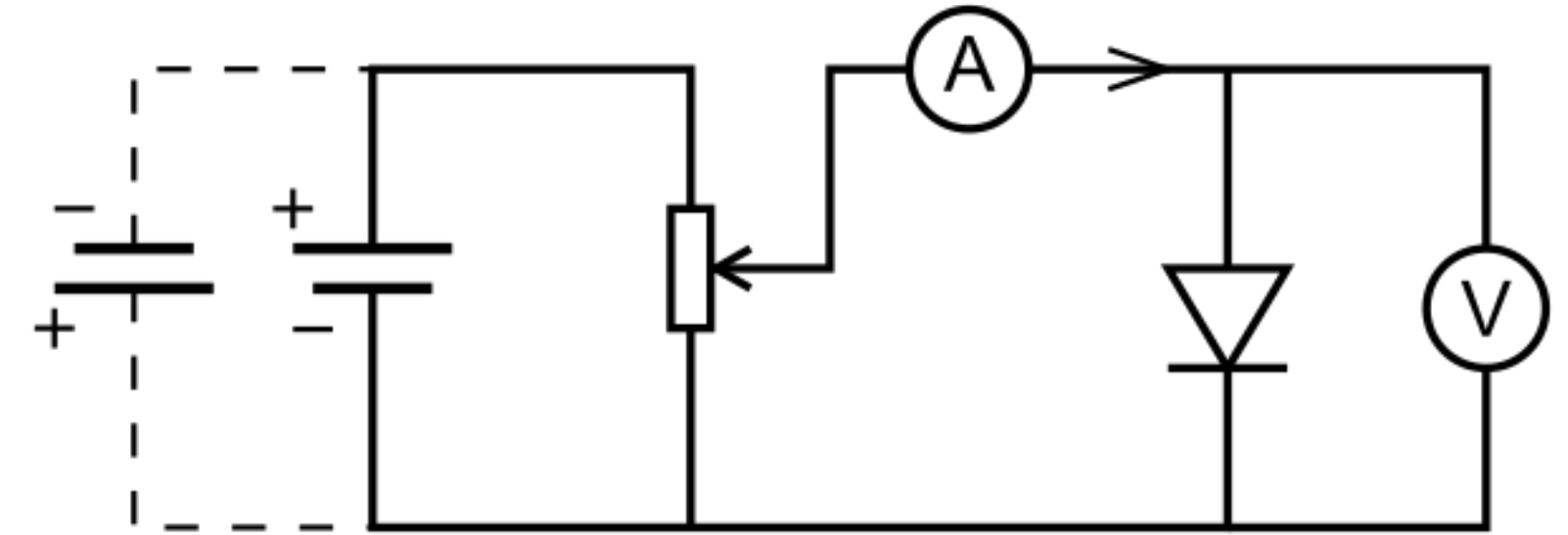
Caractéristique de la diode à jonction

- Réaliser le circuit ci-contre :
- Relever dans un tableau la valeur de I pour chaque valeur de U
- Tracer



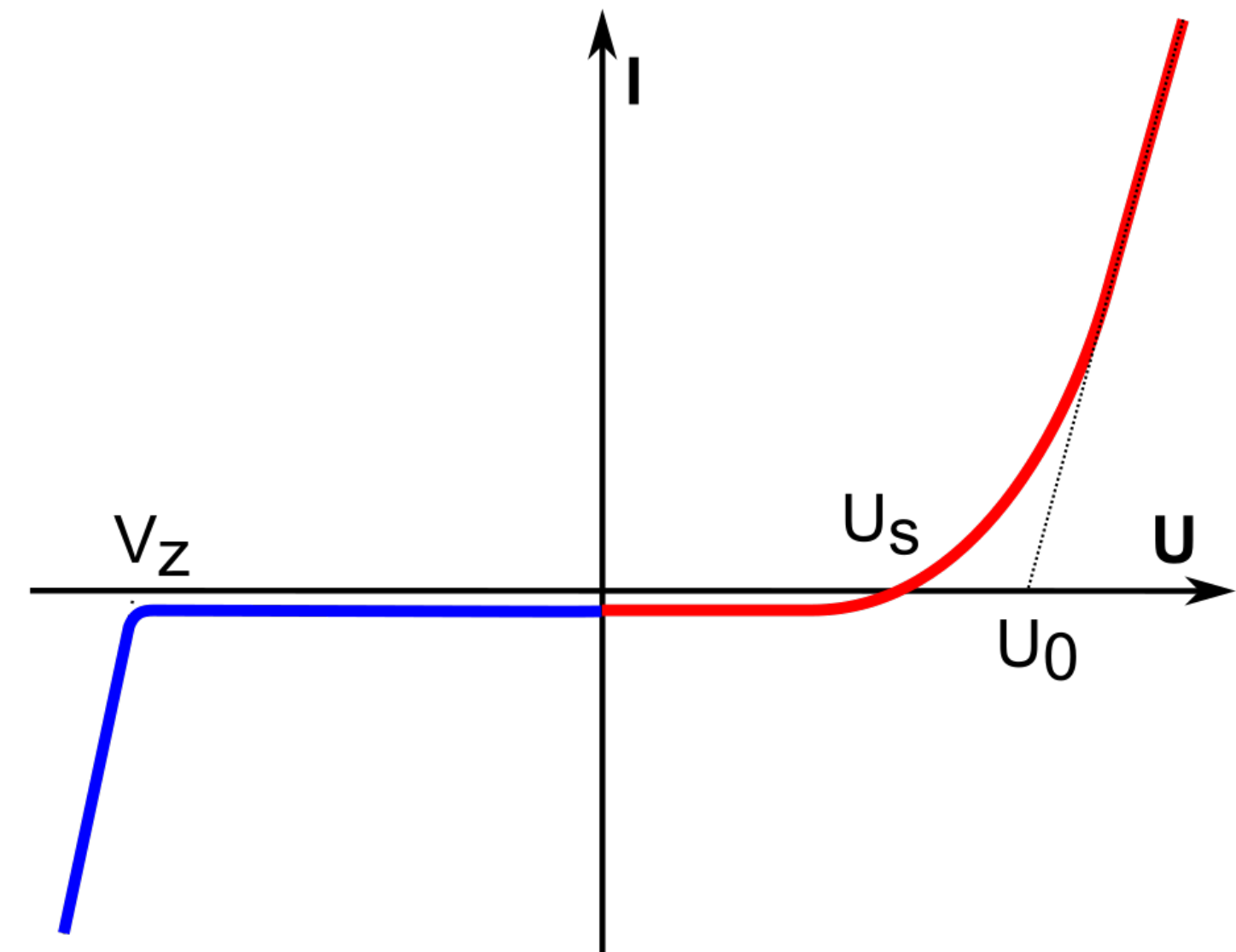
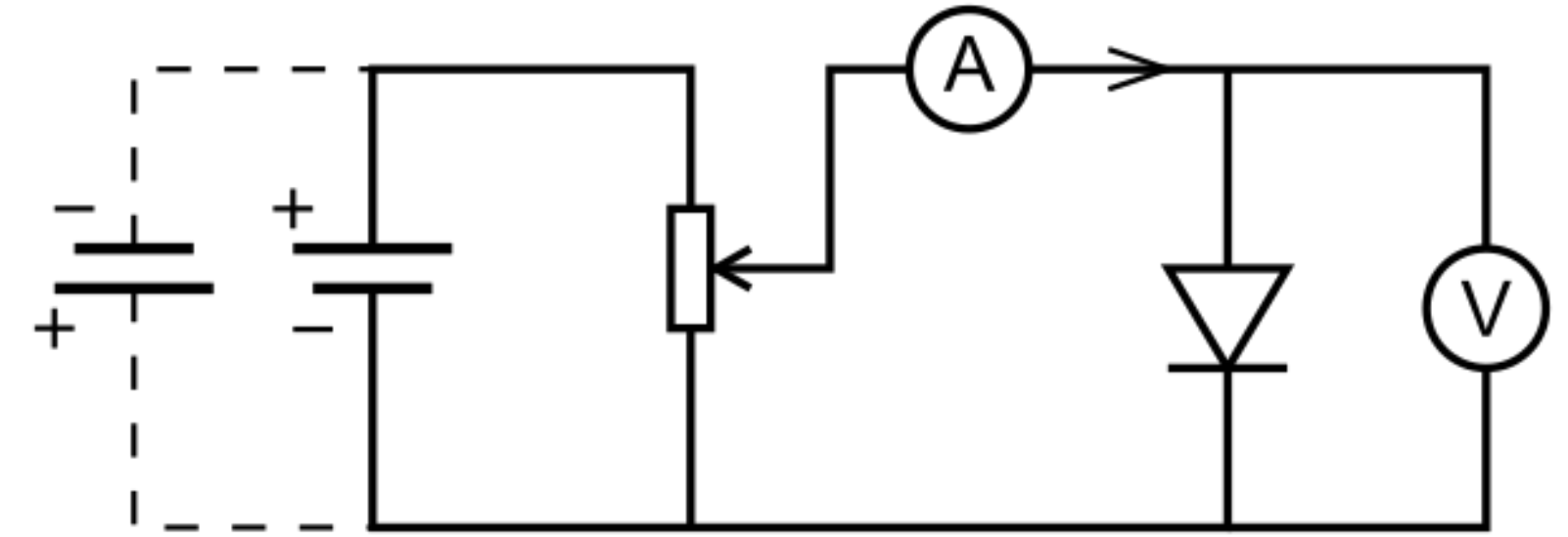
Caractéristique de la diode à jonction

- Réaliser le circuit ci-contre :
- Relever dans un tableau la valeur de I pour chaque valeur de U
- Tracer
- *Commentaires :*



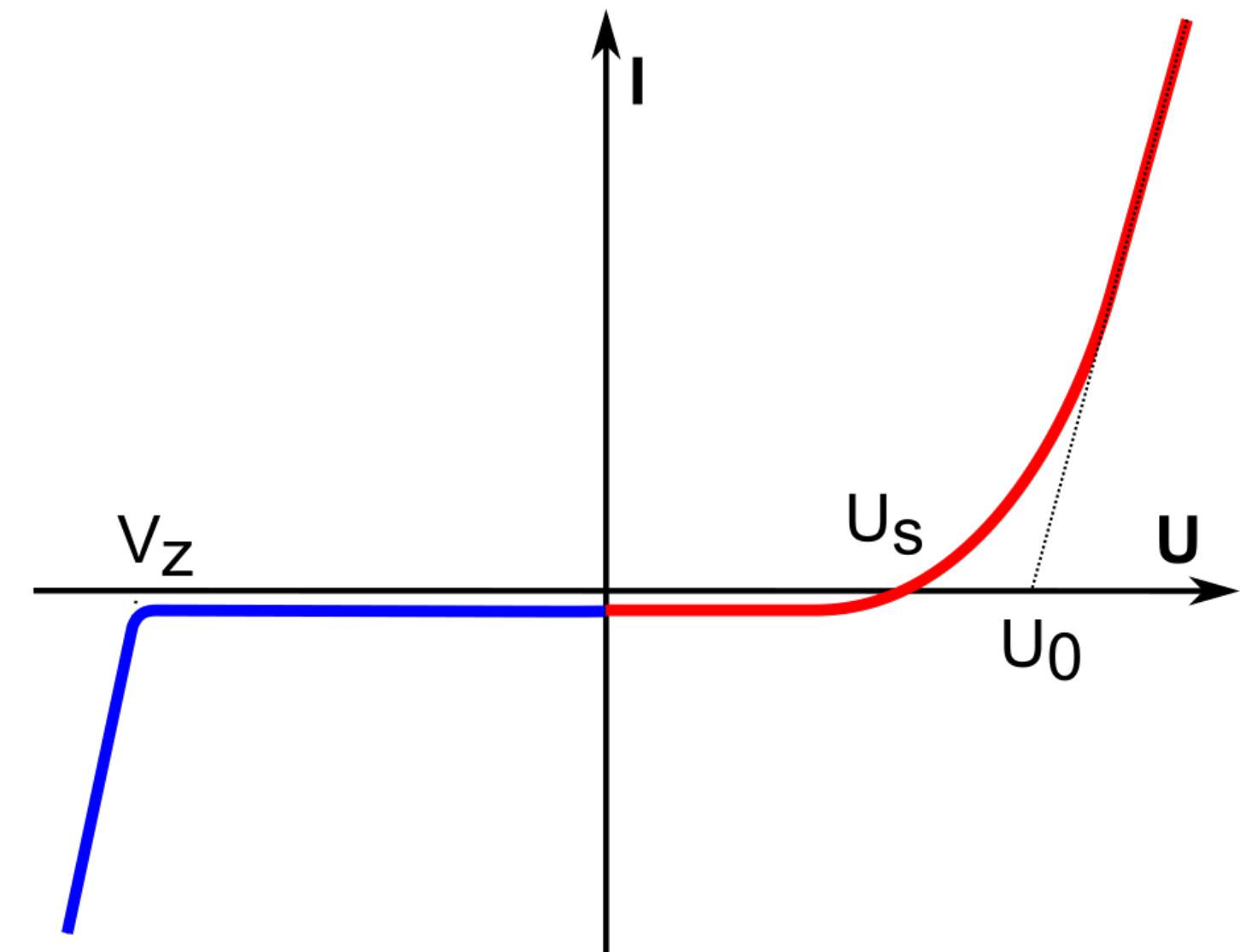
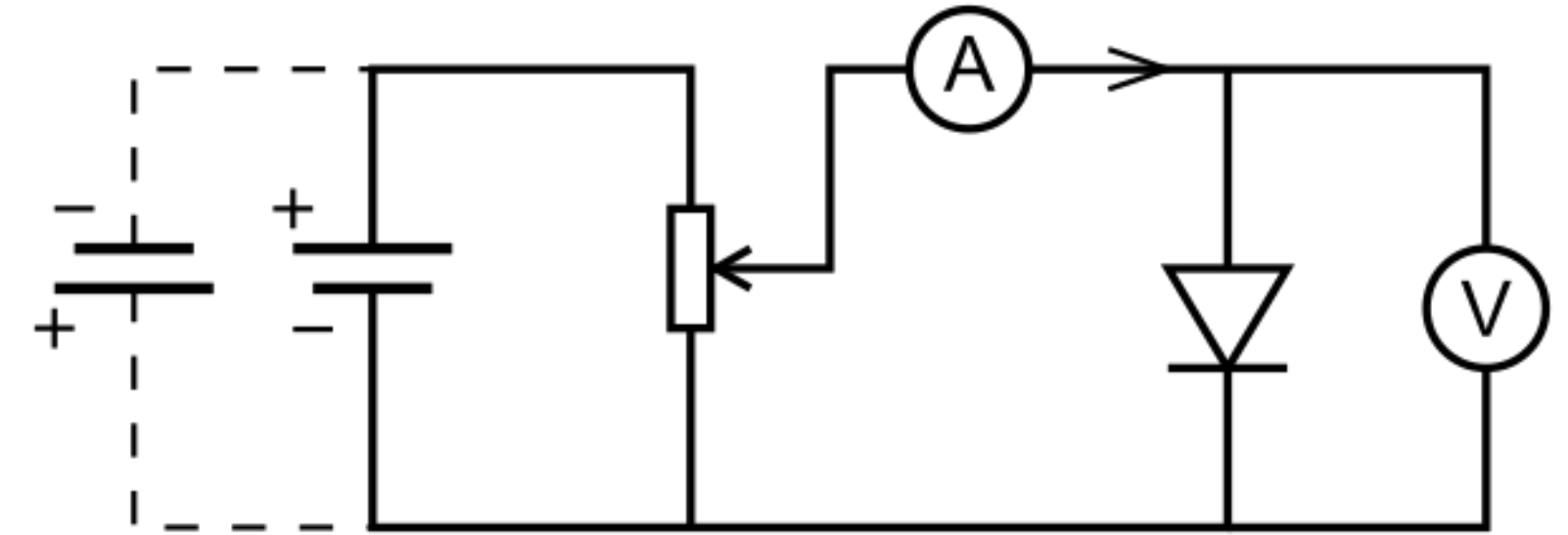
Caractéristique de la diode à jonction

- Réaliser le circuit ci-contre :
- Relever dans un tableau la valeur de I pour chaque valeur de U
- Tracer
- *Commentaires :*
 - Allure semblable à celle de la courbe théorique



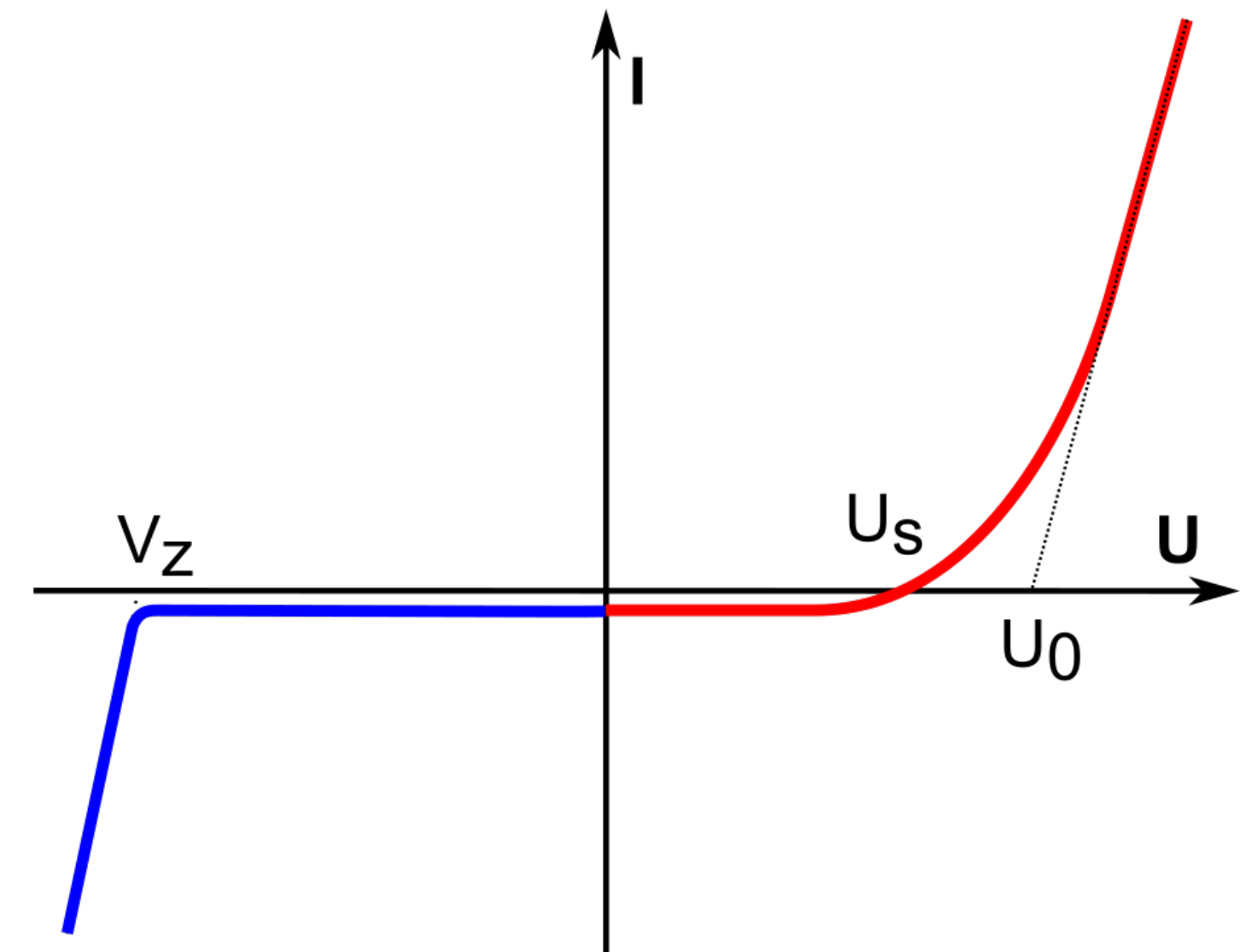
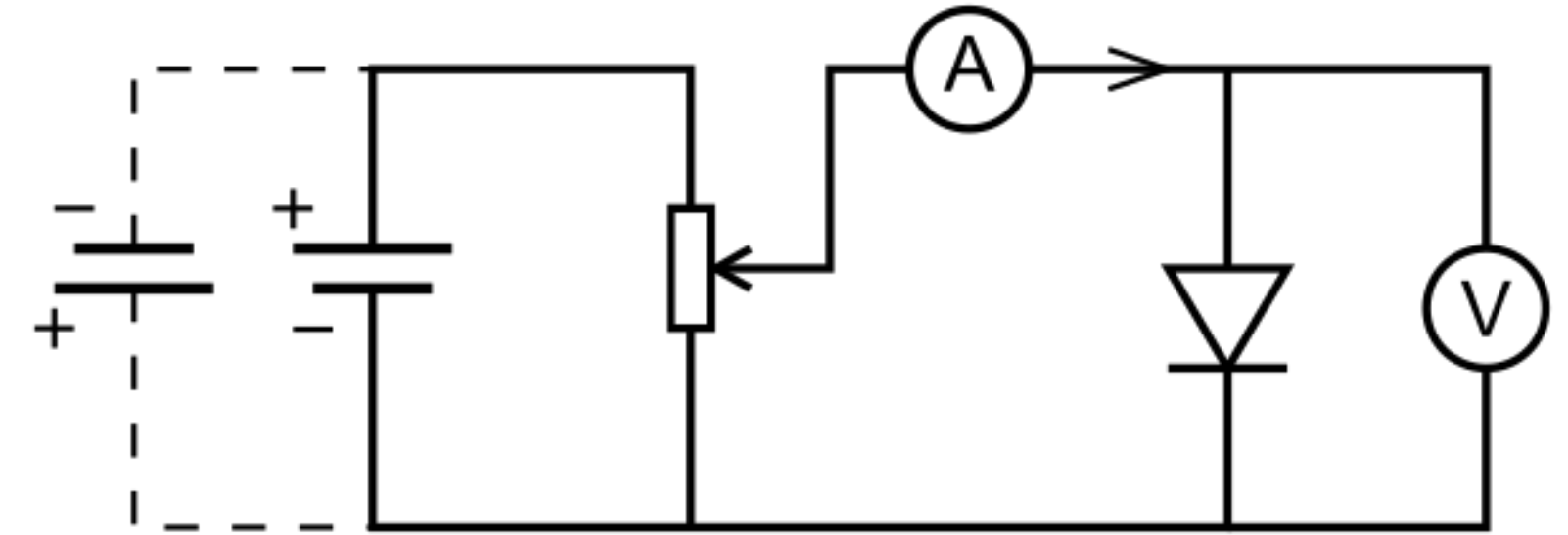
Caractéristique de la diode à jonction

- Réaliser le circuit ci-contre :
- Relever dans un tableau la valeur de I pour chaque valeur de U
- Tracer
- *Commentaires :*
 - Allure semblable à celle de la courbe théorique
 - Points particuliers: V_z , U_s , U_0



Caractéristique de la diode à jonction

- Réaliser le circuit ci-contre :
- Relever dans un tableau la valeur de I pour chaque valeur de U
- Tracer
- *Commentaires :*
 - Allure semblable à celle de la courbe théorique
 - Points particuliers: V_z , U_s , U_0
 - Notions de **Passante** et **Non passante**



La diode à jonction : principes physiques



- Modèle de Bohr
- Niveaux d'énergie
- Semi-conducteurs intrinsèques
- Dopage N et P
- Jonction PN
- La diode à jonction