

I.1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.

La conversion de l'énergie solaire par processus appelé couramment l'effet photovoltaïque nous permet d'avoir de l'énergie électrique dans une installation photovoltaïque.

Le photovoltaïque fut utilisé pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications.

Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques.

I.2 Le système photovoltaïque

1.2.1 Historique

Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties:

Photos : Lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta.

En plaçant deux électrodes métalliques dans le soleil qui est un conducteur et en exposant l'ensemble au rayonnement solaire, on peut mesurer une faible tension. C'est ainsi que fut découvert l'effet photovoltaïque en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel. Ce fut donc la première fois que l'énergie solaire fut transformée en énergie électrique. Dans les années 1880, l'américain (Charles FRITTS) mit au point les premières cellules solaires au sélénium. Les investigations sur le silicium, les tentatives pour l'isoler, le purifier, mettre en œuvre ses propriétés physiques, commencèrent avant 1910. Einstein en expliqua les mécanismes en 1912, mais ce n'est qu'entre 1930 et 1945 qu'un premier procédé industriel de purification par refroidissement progressif du silicium fondu fut mis au point. En 1954, deux chercheurs des laboratoires américains Bell, Darryl Chapin et Carl Fuller, annoncèrent au public que des cellules solaires à base de silicium avaient été obtenues avec un rendement de 6%.

Bien que ces deux scientifiques arrivèrent par la suite à fabriquer en laboratoire des cellules à 15% de rendement, ils rencontrèrent des obstacles économiques et les laboratoires Bell abandonnèrent leurs efforts de recherche pour diminuer les coûts de fabrication. L'énergie photovoltaïque eut un regain d'intérêt dans les années 1950 lors des premiers lancements spatiaux de satellites (Vanguard I, 1958). Les crises économiques des années 1970 (ambée des prix du pétrole, 1973) puis les accidents de centrale nucléaire est els ceux de Three Mile Island (USA, 1979)

Ou de Tchernobyl (URSS, 1986) renforcèrent l'intérêt envers les énergies renouvelables, en particulier l'énergie photovoltaïque qui s'impose commune des sources d'énergies renouvelables les plus Prometteuses. Deux types de technologie se partagent la quasi-totalité du marché mondial : les photopiles couches minces et les photopiles cristallines avec toujours le silicium comme matériau semi-conducteur. Les photopiles couches minces utilisent en grande majorité le silicium amorphe hydrogéné, les photo piles cristallines utilisent le silicium monocristallin et poly cristallin.

Actuellement, on peut citer quelques-uns des nouveaux axes de recherches dans le domaine de l'énergie photovoltaïque tels que :

L'utilisation des nanotubes de carbone pour un meilleur rendement.

Le recours à de nouveaux nanomatériaux pour une meilleure absorption des rayons du soleil.

La fabrication de cellules solaire flexibles [1].

I.2.2 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et 4.10^{-6} m. Sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbe. On distingue trois types de rayonnement solaire qui représente dans la figure I.13 global, direct, diffus et L'albédo[2].

I.2.2.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

I.2.2.2 Rayonnement diffus

Le rayonnement diffuse le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. Il peut être mesuré par un pyrano mètre avec écran masquant le soleil.

I.2.2.3 L'albédo

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

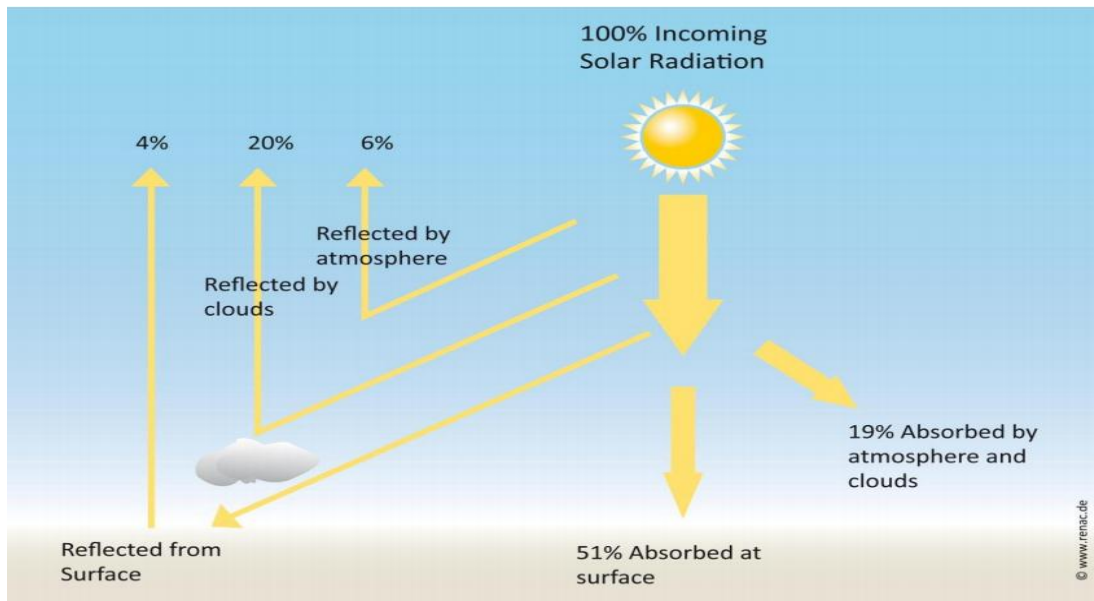


Figure I.1 :Vue schématique des différents types de rayonnements .

I.2.3 La cellule PV

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est réalisée à partir d'un matériau semi-conducteur et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Le courant et la tension fournis par une cellule PV dépendent de différents paramètres.

Le fonctionnement de la cellule PV est basé sur un phénomène physique appelé «l'effet photovoltaïque».

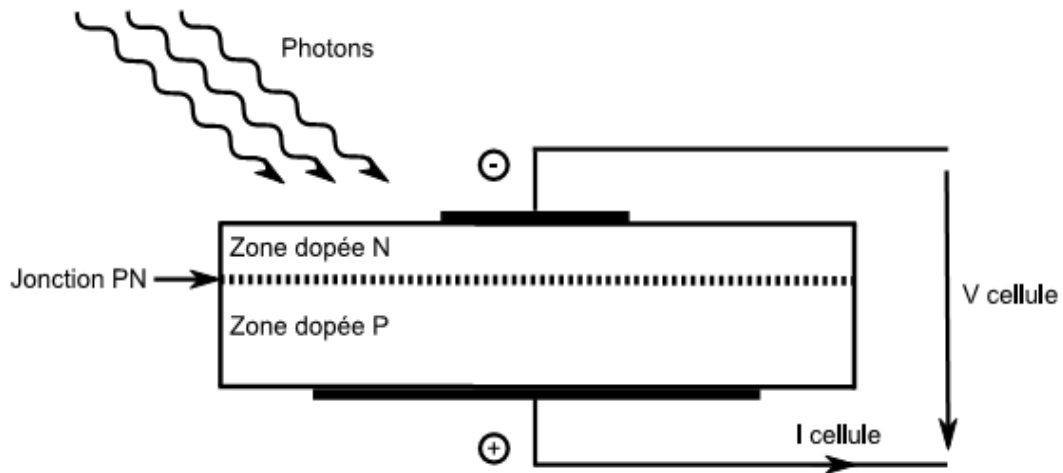


Figure I.2 : Coupe transversale d'une cellule PV.

I.2.3.1 Les différents types de cellules solaires et leur rendement

Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux semi-conducteurs. En réalité il existe aujourd'hui trois principales filières technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques, et autres technologies comme (cuivre-indium-gallium-sélénium (CIGS), cadmium Telluride(CdTe)).Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, car il est très abondant dans la nature[4].

Tableau I.1 : Rendement énergétique des trois principales technologies.

Type de cellule	Cellule à base de silicium monocristallin	Cellule à base de silicium poly cristallin	Cellule à base de silicium amorphe
Coefficient deperformancede la cellule (%)	15 –18	13 –15	5 –8

I.2.3.2 Circuit équivalent et modèle mathématique d'une cellule solaire

Le modèle mathématique du générateur photovoltaïque est basé sur le circuit équivalent. Ce circuit est représenté sur la figure I.3 par un générateur de courant I_{CC} , une diode et deux résistances R_s et R_p .

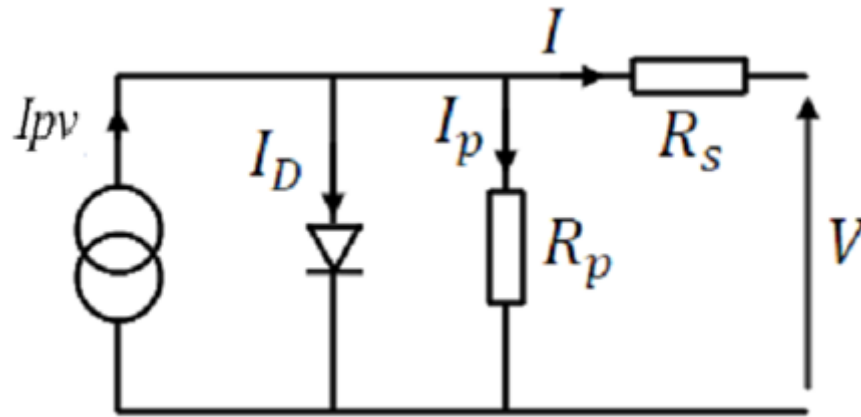


Figure I.3 : Schéma électrique réel d'une cellule photovoltaïque.

D'après la figure I.3 le courant débité par la cellule PV réel peut être donné par:

$$I = I_{PV} - I_D - I_p \quad (I.1)$$

Le courant délivré d'une jonction P-N en Silicium et la tension à ses bornes, est donnée par :

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (I.2)$$

Le courant I_p et donné par l'équation suivent

$$I_p = \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (I.3)$$

On remplace ces courants (I_d et I_p) par leurs équations dans l'équation (I.1) on obtient

$$I = I_{PV} - I_0 \left[\frac{q(V + R_s \cdot I)}{A \cdot K \cdot T} - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (I.4)$$

On suppose que $R_s \gg R_p$ ce que fait $I_p \approx 0$ On aura donc

$$I = I_{PV} - I_0 \left[\frac{q(V + R_s \cdot I)}{A \cdot K \cdot T} - 1 \right] \quad (I.5)$$

I : Le courant généré par la cellule [A].

I_D : Le courant de la diode [A].

I_{PV} : Le photo-courant généré par la cellule [A].

I_0 : Le courant de saturation inverse de la diode [A].

V : La potentielle thermodynamique [V].

q : La charge de l'électron ($1,60217646 \times 10^{-19} \text{C}$).

A : Le facteur de non idéalité de la jonction P-N ($1 \leq A \leq 3$).

K : La constante de Boltzmann ($1,3806503 \times 10^{-23} \text{ J/K}$).

T : La température réelle de la jonction [K] [4].

I.2.4.1 Les caractéristique d'une cellule solaires photovoltaïques

Les cellules (et modules) solaires se comportent de la même manière que les diodes et leurs caractéristiques électriques sont donc représentées à l'aide de courbes (courant - tension). La figure I.4 illustre la courbe I-V d'une cellule solaire et montre le comportement électrique des différentes plages de courant – tension.

I_{SC} : représente le courant de court-circuit, autrement dit la valeur pour laquelle le courant est au maximum et la tension est égale à zéro.

V_{OC} : représente la tension du circuit ouvert, autrement dit la valeur pour laquelle la tension est à son maximum et le courant est égal à zéro.

La ligne bleue représente la courbe de puissance résultante (puissance= courant x tension). Le point maximal de puissance MPP ("maximum power point") correspond à la valeur de courant et de tension pour laquelle la puissance de la cellule solaire est à son maximum. Le maximum de la ligne verte donne la valeur de courant du MPP (I_{mpp}) qui permet d'obtenir la valeur de tension du MPP (V_{mpp}), à partir de la courbe I-V.

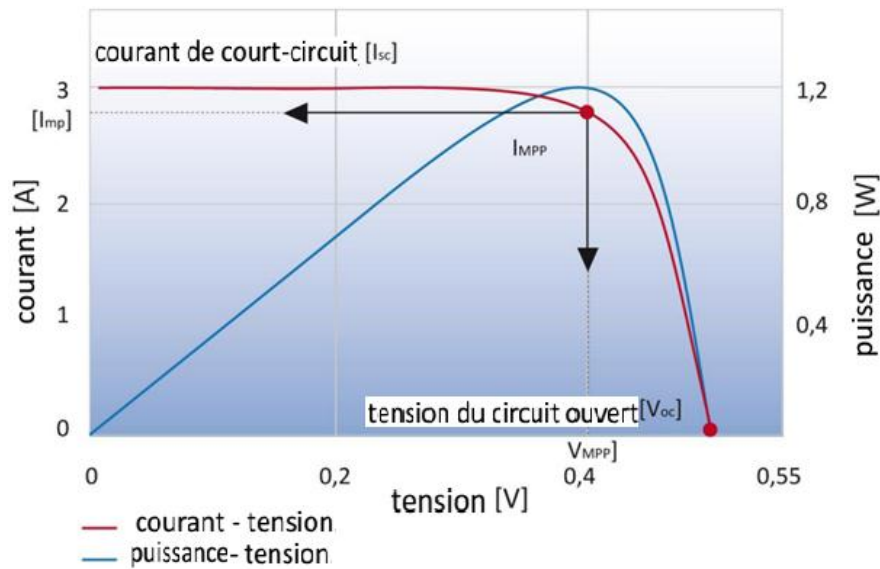


Figure I.4: Courbe des caractéristiques I-V et I-P d'une cellule.

I.2.4 Le module photovoltaïque

Un module PV est le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées et complètement protégées contre l'environnement. Généralement il contient également des protections pour protéger les cellules PV d'un fonctionnement qui peut être destructif. Les connexions peuvent être réalisées en parallèle ou en série[4].

Si on pose N_s , le nombre de cellules connectées en série et N_p , le nombre de cellules connectées en parallèle. On obtient un générateur photovoltaïque dont le modèle est le suivant:

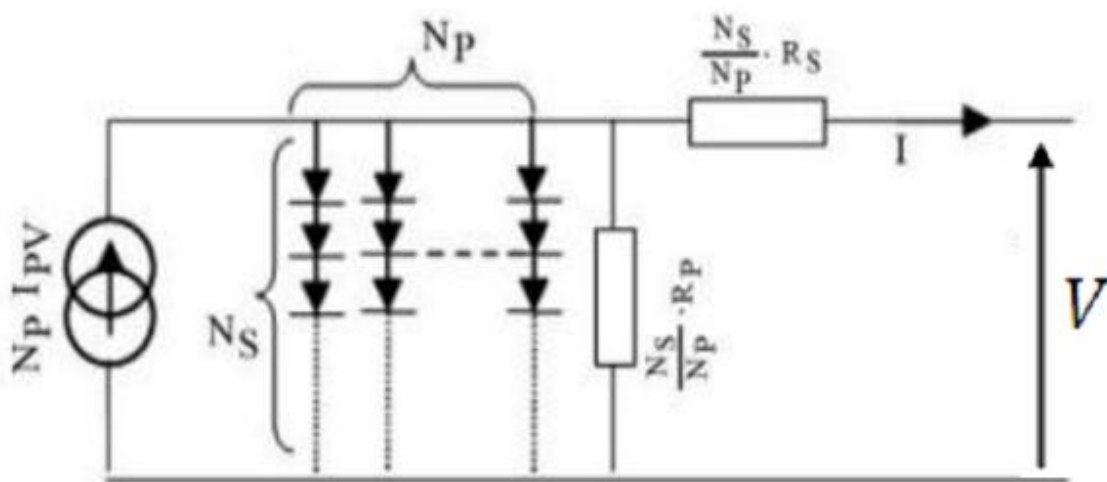


Figure I.5 : Schéma électrique asymptotique d'un module photovoltaïque.

L'association des cellules en série permet d'augmenter la tension et l'association parallèle des cellules accroître le courant.

La relation entre le courant et la tension dans un générateur photovoltaïque GPV, constitué de plusieurs cellules connectées en série et en parallèle, est donnée par l'équation suivante:

$$I = N_P \cdot I_{PV} - N_P \cdot I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(V + \frac{N_S}{N_P} R_S \cdot I \right)}{A V_t} \right) - 1 \right] \quad (I.6)$$

Avec $V_t = (N_S \cdot K \cdot T) / q$: La tension thermique

Le photo-courant I_{PV} de la cellule dépend de la température et de l'irradiation solaire, est exprimé par[8]:

$$I_{PV} = (I_{PVn} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (I.7)$$

$$\Delta T = T - T_n \quad (I.8)$$

$I_{PV,n}$: Le photo-courant généré dans les conditions nominales [A].

T_n : La température de la jonction dans les conditions nominales [K].

T : La température [K].

G : L'ensoleillement réel [w/m^2].

G_n : L'ensoleillement nominal [w/m^2].

Le courant de saturation inverse de la diode I_0 dépend fortement de la température.

Il est modélisé l'équation mathématique suivante :

$$I_0 = \frac{I_{S0,n} + K_i \Delta T}{\exp \left(\frac{V_{OC} + K_V}{A V_t} \right)} \quad (I.9)$$

$I_{S0,n}$: Courant de saturation en circuit ouvert dans les conditions nominales [A].

$V_{OC,n}$: La tension en circuit ouvert dans les conditions nominales [V].

K_n : Coefficient de voltage thermique [V/k].

Ce modèle sera utilisé pour simuler les variations des grandeurs électriques d'un générateur photovoltaïque en fonction des variations climatiques.

I.2.5 Le panneau solaire

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



Figure I.6: Panneaux solaires.

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie. Cette dernière dépend de la surface, de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux, et de l'intensité du rayonnement solaire, et par la technologie utilisée dans la construction (type de cellule solaire).

I.3 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Les principaux avantages de l'énergie photovoltaïque sont[9] :

- Sa gratuité.
- Pas de pollution.
- Sa fiabilité et la longue vie de l'installation.
- Sa structure fixe.
- Son coup de maintenance bas.
- Sa flexibilité (dimensionnement selon les besoins, modularité).
- L'installation ne produit aucun bruit.
- Son potentiel illimité 5% de la surface des déserts suffiraient pour alimenter la planète entière.

Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque sont :

- Le coût élevé de l'installation.
- Le rendement relativement bas de l'effet photovoltaïque.
- La puissance est réduite lorsque les conditions climatiques sont défavorables (nuages).
- Le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire pour une installation autonome.
- Même si l'électricité produite par une installation photovoltaïque est sans pollution, la fabrication, l'installation et l'élimination des panneaux ont un impact sur l'environnement.

I.6 Atlassolaire de l'Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution de rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire le dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire.

A cet effet concernant la mesure du rayonnement solaire en Algérie, le réseau de mesure est peu dense relativement à la superficie du territoire. Pour pallier les insuffisances des réseaux de mesures, des modèles sont proposés, ils sont basés essentiellement sur l'utilisation des données météorologiques en particulier la durée d'insolation.[7]

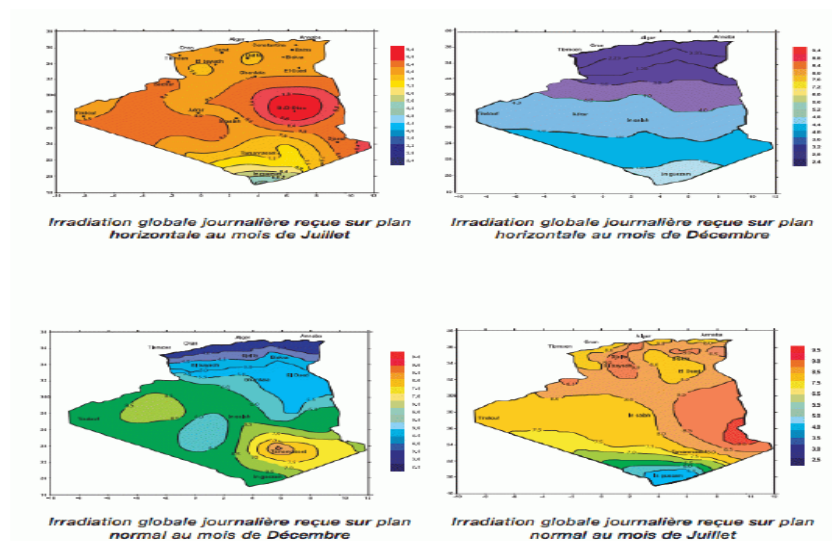


Figure I.7 : potentiel solaire en Algérie

Régions	Régions côtières	Hautes plateau	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne d'insolation (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau I.1: potentiel solaire en Algérie

Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque, les autres volets solaire, thermique et thermodynamique, restent toujours au stade expérimental. Toutefois, la complexité des procédés de fabrication des modules photovoltaïque et les rendements de production faibles entraînent des coûts élevés, ce qui freine son développement.[8]

I.7 Conclusion

Le monde de la conversion photovoltaïque, aussi bien au niveau de la recherche qu'au niveau de l'industrie connaît depuis quelques années une mutation profonde associée à l'intérêt croissant pour l'énergie photovoltaïque.

Une industrie majeure est en cours de constitution comme le montre l'analyse de la situation et des évolutions. De façon intéressante et exemplaire, les possibilités d'innovation sont très grandes, portées par le bouillonnement des recherches en vue d'améliorer les filières existantes, d'en consolider de nouvelles et de préparer les prochaines ruptures, notamment en matière de matériaux et de rendements.