

## Préface de Yvon Le Maho

Cette mise au point de Claude Grison, Lucie Cases, Mailys Le Moigne et Martine Hossaert-McKey sur la manière dont le développement d'une énergie renouvelable, le photovoltaïsme, pourrait s'inscrire dans une réelle transition écologique répond à un vrai besoin.

En effet, eu égard aux deux grands enjeux environnementaux majeurs de notre époque – la lutte contre le changement climatique et contre la réduction de la biodiversité –, nous nous trouvons face à ce qui apparaît comme un abus de langage qui cache un réel clivage. De quoi s'agit-il ? Dans le discours dominant, à l'enjeu du changement climatique est associée une « catastrophe écologique ». Certes, selon les scénarios les plus probables, le réchauffement climatique annoncé va se traduire à terme par une importante perte de biodiversité. Et cela implique que, pour éviter une telle issue, il faut lutter contre le changement climatique...

En fait, la gravité de ce pronostic est en grande partie liée au fait que le changement climatique va peser sur une biodiversité déjà très affaiblie. Car l'essentiel de la réduction déjà observée de la biodiversité, plus de 80 % de la diminution des populations d'espèces menacées d'après une récente étude du WWF, n'a rien à voir avec le changement climatique. L'artificialisation des terres, la surexploitation des ressources, l'agriculture intensive et le dérangement en sont les principales causes. C'est

donc deux actions parallèles, à la fois de lutte contre les facteurs humains du changement climatique, c'est-à-dire contre l'augmentation des gaz à effets de serre, et de reconquête de la biodiversité qu'il faut mener. Les indicateurs de meilleure santé de la faune qui ont fait suite à la récente période de confinement provoquée par la crise sanitaire de la Covid-19 l'ont mis en évidence : la diminution du dérangement induit par l'homme vis-à-vis des populations animales pendant leur période de reproduction a déjà des effets très positifs... Or l'enjeu de la lutte contre la réduction de la biodiversité n'est pas seulement patrimonial, il est également économique. L'importance cruciale des insectes pollinisateurs suffit à nous le rappeler.

À cela s'ajoute un clivage entre une recherche scientifique et technologique qui va de l'avant et une écologie qu'il est facile de tourner en dérision en la qualifiant de mouvement promouvant le retour au passé. Ce n'est qu'une forme adoucie de la parabole dans laquelle celui qui veut se débarrasser de son chien crie qu'il a la rage... Il est vrai que l'indifférenciation dans les termes entre une écologie militante et politique et l'écologie scientifique ne facilite pas les choses. Mais ce clivage entre une recherche synonyme de progrès et une écologie qui en serait le frein se retrouve jusqu'au niveau ministériel des principaux pays européens. C'est même le principal obstacle à l'élaboration de l'expertise sur la biodiversité, comme nous l'avions constaté avec Julien Boucher, maître des requêtes au Conseil d'État dans un rapport qui nous avait été commandé par le ministre de l'Environnement d'alors, Jean-Louis Borloo et la secrétaire d'État Chantal Jouanno, rapport que nous avons remis à Nathalie Kosciusko-Morizet qui leur avait succédé comme ministre de l'Écologie...

C'est donc à plus d'un titre que l'ouvrage de Claude Grison et ses collaborateurs répond à un réel besoin. Comme ces auteurs le montrent à l'évidence, les développements scientifiques et technologiques et les avancées en ingénierie ne doivent pas être menés séparément pour répondre aux enjeux du climat et de la biodiversité. Une optimisation doit être recherchée à travers une démarche qui ne peut être que pluridisciplinaire et interdisciplinaire pour concilier le développement du photovoltaïsme avec la nécessité d'économiser les réserves en eau

et d'enrayer le déclin de la biodiversité animale et végétale. Pour promouvoir cette approche pluridisciplinaire et interdisciplinaire, les auteurs de cet ouvrage disposaient à l'évidence de nombreux atouts. Ils décloisonnent en effet la science, à l'interface entre la chimie et l'écologie, une démarche qu'ils jugent indispensable à la transition écologique. Claude Grison, est directrice de recherche au CNRS et directrice du laboratoire Chimie bio-inspirée et innovations écologiques, un laboratoire qui réunit chimistes et écologues autour de thématiques communes. Elle a associé à cet ouvrage deux étudiantes du laboratoire, Lucie Cases et Mailys Le Moigne, qui partagent cette passion pour la recherche de solutions écologiques et innovantes dans la production d'énergie nouvelle. Par son expertise en écologie chimique, Martine Hossaert-McKey, directrice de recherche émérite au CNRS et chargée de mission pour la biodiversité, fait le lien entre le monde végétal et celui des insectes, en étudiant comment le langage chimique façonne ces interactions et structure les écosystèmes. Les auteurs de cet ouvrage ont pris grand soin à montrer non seulement les avantages mais aussi les limites des différentes techniques mises en œuvre en agrivoltaïsme et écovoltaïsme. L'objectif de cet ouvrage n'est donc pas de faire miroiter des objectifs irréalistes mais, en montrant les pistes actuellement explorées autour du photovoltaïsme, à inciter le lecteur à une réflexion sur les perspectives encore plus générales offertes par une ingénierie pluridisciplinaire susceptible de répondre à la fois aux enjeux du climat et de la biodiversité.

Yvon LE MAHO  
Directeur de recherche CNRS émérite  
Institut pluridisciplinaire Hubert-Curien  
Université de Strasbourg et Centre scientifique de Monaco  
Membre de l'Académie des sciences  
Membre associé, Académie nationale de pharmacie



## Préface de Thomas Lesueur

En réponse aux deux grands défis contemporains que sont la lutte contre le changement climatique et la préservation de la biodiversité, le présent ouvrage apporte un éclairage sur deux solutions innovantes et prometteuses : l'agrivoltaïsme et l'écovoltaiïsme, soit l'association, sur un même sol, de cultures à des fins alimentaires ou écologiques, et de panneaux photovoltaïques dans des conditions soutenables, voire régénératrices, pour la planète.

Les pages qui suivent offrent tout à la fois des repères, des leçons de l'expérience et des perspectives sur ces techniques, encore en devenir, combinant sur une seule terre production locale d'électricité d'origine solaire et pratiques agronomiques respectueuses de la biodiversité.

Des repères d'abord sur les impacts environnementaux des panneaux solaires : les principales études et synthèses valorisées ici sur le sujet – celles de l'ADEME notamment – nous rappellent que l'industrie du photovoltaïque peut encore progresser pour réduire son empreinte écologique. Trois points particulièrement sensibles sont portés à l'attention du lecteur : les conditions d'extraction, de transformation et de transport du silicium, les matériaux nécessaires à la construction des installations, et la recyclabilité du matériau en fin de vie.

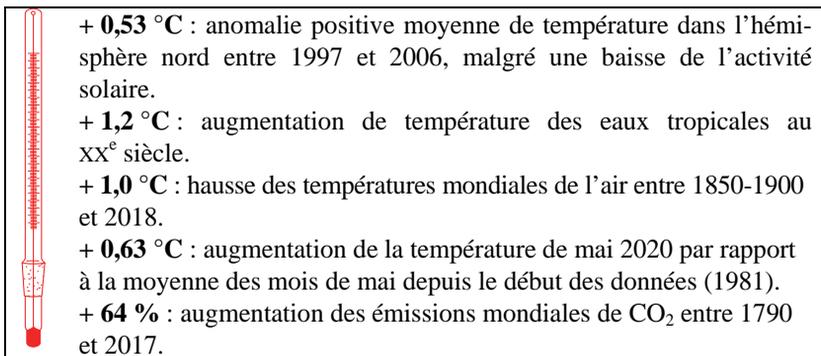
Des leçons de l'expérience ensuite : l'agrivoltaïsme et l'écovoltaïsme ont été testés ces dernières années à des échelles et suivant des modalités très diverses. Le tour d'horizon des initiatives menées en France et à l'étranger intégrant ces approches agro- et éco-énergétiques donne à voir l'une des difficultés majeures entravant leur déploiement : le manque de lumière naturelle pour les cultures protégées par les panneaux photovoltaïques.

Enfin et surtout, en écho à ces difficultés, des solutions sont esquissées et soumises à l'épreuve du terrain, en particulier la mise en culture de plantes choisies spécifiquement pour leur tolérance à un faible ensoleillement et leur intérêt alimentaire, médicinal, phytosanitaire ou écologique. Les premiers résultats engrangés sur ces cultures sont encourageants ; ils ont vocation à alimenter les réflexions sur le devenir de nos modèles agricoles.

Thomas LESUEUR  
Commissaire général au développement durable

## Introduction

Les chiffres préoccupants se multiplient et de nombreux indicateurs sont au rouge.



**Figure I.1.** *Quelques données numériques illustrant le réchauffement climatique*

La multiplication des phénomènes et anomalies climatiques extrêmes (sécheresse, vagues de chaleur intense, fortes pluies, inondations, etc.) est aujourd'hui admise par tous.

L'abondance énergétique croissante a engendré des déchets gazeux à effet de serre aux conséquences bien perceptibles. Selon Jancovici et

Grandjean (Jancovici et Grandjean 2006), 80 % de l'énergie consommée dans le monde participent au réchauffement climatique.

Face à l'urgence climatique, des décisions politiques nouvelles émergent progressivement.

La loi française du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte a été mise en place pour :

« instaurer un modèle énergétique robuste et durable face aux enjeux d'approvisionnement en énergie, à l'évolution des prix, à l'épuisement des ressources et aux impératifs de la protection de l'environnement. » (Legifrance, loi n° 2015-992)

Des objectifs précis ont été proposés pour réduire les émissions de gaz à effets de serre, réduire la consommation énergétique et favoriser les énergies renouvelables.

Plus récemment, l'Union européenne s'est engagée dans une politique climatique ambitieuse. En novembre 2018, la Commission européenne a présenté une stratégie à long terme pour atteindre une économie climatiquement neutre d'ici 2050, afin de mettre en œuvre les engagements pris dans le cadre de l'accord de Paris (Actualité Parlement européen 2018).

Cet accord a été adopté lors de la conférence de Paris sur le climat (COP21) en décembre 2015 (Commission européenne 2016). Il s'agit d'un événement historique, puisqu'il représente le premier accord mondial sur le changement climatique. Il a été signé par 195 pays, dont l'Union européenne. Comme l'a exprimé Laurent Fabius, il ne s'agit pas d'un accord politique, mais d'un accord pour le climat. Il passe par la responsabilisation de chacun.

Le pacte vert ou *green deal* pour l'Europe propose une feuille de route qui doit conduire à une neutralité carbone en 2050 (Commission européenne 2019).



**Figure I.2.** *L'accord pour le climat, Paris, décembre 2015*

Cet objectif est essentiel si l'on veut éviter un changement climatique dangereux.

Transition énergétique, réduction des gaz à effet de serre, compensation carbone, neutralité carbone et *green deal* sont des objectifs vitaux. Cependant, ils ne sont pas les seuls. Tout ne peut se réduire à un taux de carbone. La transition énergétique doit se faire de façon écologique, en s'en donnant les moyens scientifiques et économiques capables de

respecter la vie, qu'elle soit humaine, animale ou végétale. Il faut bien dire que là aussi, de nombreux indicateurs sont préoccupants :

- érosion de la biodiversité, destruction des habitats naturels des espèces sauvages, surexploitation des ressources naturelles, multiplication d'espèces animales et végétales envahissantes qui menacent des écosystèmes déjà fragilisés ;

- sixième extinction des espèces : un exemple démonstratif est la disparition massive des insectes, alors que 80 % de la reproduction des plantes à fleurs en dépendent ;

- pollution environnementale : atteinte des systèmes aquatiques menaçant la qualité des ressources en eau, dégradation de la qualité des sols conduisant à une réduction des surfaces cultivables alors que la pression démographique est galopante, diminution de la qualité de l'air s'accompagnant de l'émission de particules, composés organiques volatils et de gaz nocifs pour l'homme, les animaux, les espèces végétales.

Ces quelques faits prouvent clairement que la transition énergétique doit être écologique et environnementale. Tous ces problèmes sont étroitement liés et imbriqués.

## **Comment combiner transition énergétique et écologique ?**

Cet ouvrage propose de démontrer que la mise en place d'énergies renouvelables peut s'accompagner d'une transition agricole, mais peut aussi accélérer des programmes écologiques ambitieux et innovants en interaction harmonieuse avec de nombreux domaines d'activités (agriculture biodynamique, écologie de la santé, médecine douce, préservation de la biodiversité des insectes et enrichissement de la qualité de sols pauvres et peu fertiles, etc.). Cette transition s'insère dans les objectifs du développement durable (ODD), répondant notamment aux défis mondiaux d'une énergie propre et d'un coût abordable (ODD 7), la lutte contre les changements climatiques (ODD 13) et la préservation de la vie terrestre (ODD 15).



**Figure I.3.** Une transition énergétique et écologique nécessaire

Parmi les différentes énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique, biomasse (végétaux, déchets organiques), géothermique, marine), l'énergie solaire est la plus développée.

Le soleil, source d'énergie naturelle et renouvelable, peut conduire à deux usages :

- la production d'électricité (énergie solaire photovoltaïque) ;
- la production de chaleur (énergie solaire thermique) (Ministère de la Transition écologique 2020).

Dans cet ouvrage, nous nous intéresserons essentiellement à l'énergie solaire photovoltaïque qui transforme le rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules photovoltaïques intégrées à des panneaux photovoltaïques. Nous montrerons comment le développement des parcs photovoltaïques peut être intégré à des activités agricoles nouvelles (*agrivoltaïsme*) et écologiques (*écovoltaïsme*).

Cet ouvrage se décompose en trois grands chapitres :

- le [chapitre 1](#) introduit les notions de base sur le photovoltaïsme et la filière photovoltaïque à travers ses différents usages, sur toitures, friches industrielles et zones arides ; il aborde également le degré de maturité de la filière et le point épineux de l'analyse de cycle de vie (ACV) ;

– le **chapitre 2** aborde la cohabitation des activités entre photovoltaïsme et agriculture à travers l’agrivoltaïsme ; les enjeux de la cohabitation seront abordés sous différents angles ; une revue des différentes expériences combinant photovoltaïsme et activités agricoles est présentée ;

– le **chapitre 3** présente des initiatives récentes cherchant à associer une combinaison positive entre parc photovoltaïque et écologie active ; cette démarche originale, appelée **écovoltaïsme**, est abordée à travers un premier retour d’expérience de terrain.



**Figure I.4.** *Plan de l’ouvrage*