

Énergie solaire au Maroc : vers un leadership régional ?

Maryème Kettani*,
Jean-Guy Devezeaux de Lavergne**, Maria Eugenia Sanin***

@ 18235

Mots-clés : *hub solaire, électricité, transition énergétique, technologies solaires, Maroc*

Le Maroc entend porter la part des renouvelables à 52 % du mix électrique et vise une capacité installée de 2 500 MWc de solaire résidentiel en 2030. Dans cet article, nous explorons les stratégies possibles pour le développement du solaire au Maroc, dans la perspective d'un « hub » solaire. Nous proposons une définition de cette notion de « hub », axée sur l'international, et en présentons des formes possibles. Nous évaluons la maturité du Maroc au regard de l'objectif de long terme de devenir ainsi un « hub global », et proposons une typologie des trajectoires possibles.

Situation économique marocaine

Le Maroc disposait d'un PIB par tête de 3 000 \$ en 2020, un niveau légèrement inférieur à celui de l'Algérie et de la Tunisie. Depuis son indépendance en 1956, le Maroc a accompli deux phases principales de développement. La première, dite de développement protégé (modèle de l'import substitution, selon Friedrich List) a été suivie d'une phase d'ouverture économique à partir des années 1980. À la suite de réformes libérales successives, le secteur industriel s'est progressivement diversifié. En particulier, grâce à une politique très attractive pour les investissements étrangers et à un développement massif des infrastructures (autoroutes, ports...), le développement de filières industrielles telles que l'automobile et l'aéronautique a modifié la structure des

exportations marocaines, autrefois concentrées sur les phosphates, les produits agricoles et le textile. Le choix stratégique du Maroc de s'orienter vers les métiers mondiaux (automobile, aéronautique, électronique...) [OCDE, 2017] a permis d'améliorer la balance des paiements, de créer des emplois, de redynamiser les tissus économiques locaux et a ouvert l'opportunité au Maroc de construire un secteur industriel compétitif à l'échelle internationale [DEPF, 2013]. Au plan énergétique, le quasi-dénouement du pays en ressources énergétiques fossiles (à la différence de ses voisins, notamment l'Algérie) a d'abord poussé le pays à importer des hydrocarbures liquides, du gaz et du charbon. Aujourd'hui, ces contraintes rejoignent les préoccupations environnementales en faveur d'un recours aux énergies bas carbone telles que le photovoltaïque.

Néanmoins, le modèle de développement du Maroc semble atteindre certaines limites. Dans son dernier rapport, le Conseil Économique Social et Environnemental marocain

* CEA/I-tésé et Université Paris-Saclay, Univ. Evry, EPEE.

** I-tésé, CEA, Université de Paris Saclay.

*** Université Paris-Saclay, Univ. Evry, EPEE (cf. biographies p. 79-80).

(CESE) fait état de faiblesses à l'origine d'un certain essoufflement [CESE, 2019]. Le modèle de croissance actuel n'apparaît plus en état de garantir une évolution soutenue de l'activité économique capable de créer suffisamment de richesse et d'emploi, compte tenu des aspirations de la population. Avec une croissance moyenne de 3,6 % sur la période 2008-2018, cette dernière a été d'un niveau et d'une qualité insuffisante, comme en témoigne l'inertie dans la transformation structurelle de l'économie [Vergne, 2014]. Malgré la diversification sectorielle citée plus haut, l'évolution de la productivité reste limitée et la croissance économique toujours trop dépendante de l'agriculture. Cette dépendance rend d'autant plus le PIB du pays sensible au climat, et donc au réchauffement climatique. De plus, la tertiarisation de l'économie s'est faite au profit de secteurs majoritairement à faible valeur ajoutée. À ces faiblesses du modèle de croissance à l'échelle macroéconomique se rajoute une compétitivité encore insuffisante du tissu industriel (faible captation de valeur ajoutée dans les produits globalisés, faible orientation à l'exportation...). Le système d'éducation et de formation, malgré des avancées importantes, continue de pâtir de déficits majeurs (qualité de l'apprentissage, abandon scolaire, déséquilibre entre le nombre de formés de l'enseignement supérieur et le nombre d'emplois disponibles correspondant à leur qualification) [Ministère de l'Éducation nationale, de la Formation professionnelle, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, 2021], accentuant le phénomène de fuite des compétences vers l'étranger.

La crise de Covid-19 a révélé la fragilité à court terme de nos économies face aux chocs externes, mais aussi des capacités de rebond très significatives. Au Maroc, l'avènement de la pandémie de Covid a touché en particulier les secteurs clés de l'exportation et le tourisme [HCP et al., 2020]. L'impératif d'une relance économique conciliant des objectifs d'inclusion et de durabilité, en particulier au regard des engagements environnementaux, constitue dans ce pays un véritable défi dans un contexte marqué par de fortes incertitudes et des ressources budgétaires très limitées. Une

des questions posées en 2022 est la capacité à relancer l'économie tout en maintenant les objectifs énergétiques, en particulier en termes de développement des EnR... alors que la stratégie nationale est en cours de redéfinition depuis plusieurs années.

1. Profil énergétique du Maroc

1.1. Offre et demande d'énergie

Les fondamentaux du développement du secteur énergétique marocain ont été décrits par Richard Lavergne [2015], dans *La Revue de l'Énergie*.

Entre 2010 et 2018, l'approvisionnement total en énergie primaire a enregistré une croissance de 21 % sur la période, s'établissant à près de 20300 ktep en 2018 [IEA, 2020a]. Par source, la plus forte progression revient à l'éolien et au solaire dont la production est passée de 57 ktep à 578 ktep en 2018. Le charbon et le gaz ont aussi enregistré une forte hausse sur la période considérée, s'établissant en 2018 à 4940 ktep (+77 %) et 925 ktep (+62 %) respectivement. Enfin, malgré un effort de substitution de la production provenant du pétrole par le gaz naturel, la production pétrolière a elle aussi enregistré une progression (+8 %), s'établissant ainsi à 12400 ktep en 2018.

Ainsi, le secteur énergétique du Maroc est très intensif en carbone, les combustibles fossiles représentant près de 90 % de l'approvisionnement total en énergie primaire, et le pétrole représentant 61 % du total en 2018 (Figure 1). Presque tous les combustibles fossiles sont importés, car le Maroc ne produit ni charbon ni pétrole et seulement de petites quantités de gaz.

Entre 2010 et 2018, la consommation finale d'énergie est passée de 13220 ktep à 16290 ktep, enregistrant une croissance de 23 % en moins de 10 ans. La progression la plus forte de la demande en énergie provient du secteur agricole (+38 %), suivi du secteur des transports (+34 %) et enfin du secteur résidentiel

Énergie solaire au Maroc : vers un leadership régional ?

(+22 %). Moins prononcées, les croissances de la consommation énergétique du secteur commercial et du secteur industriel se sont établies à +15 % et +13 % respectivement.

La satisfaction de la demande finale en énergie au Maroc s'est accompagnée d'une progression forte de demande en gaz (+47 %), en électricité (+38 %), mais également en produits pétroliers (+26 %) [IEA, 2020a]. La demande finale en charbon et en biomasse a poursuivi en revanche une tendance baissière sur la même période, s'établissant à -5 % et -14 % respectivement. Ce qui s'explique par le fait que le charbon est essentiellement utilisé pour la production d'électricité et que l'énergie non commerciale (collecte de bois de feu, déchets animaux et végétaux) régresse. En 2018, la consommation finale d'énergie reste largement dominée par les produits pétroliers (75 %), suivis de l'électricité (17 %) et de la biomasse (8 %). Les émissions de CO₂ au Maroc s'établissaient à 1,7 tCO₂/tête en 2018 (vs 1 tCO₂/tête en 2000), soit un niveau plus bas qu'en Tunisie (2,3 tCO₂/tête) et en Algérie (3,3 tCO₂/tête) [IEA, 2020c].

Les plus grands consommateurs de produits pétroliers au Maroc sont le secteur des

transports, suivi par le secteur résidentiel et enfin l'industrie. Ces secteurs représentent respectivement 49 %, 21 % et 17 % de la consommation finale de ces produits en 2018. En particulier, le diesel et le butane représentaient cette année-là respectivement 51 % et 22 % de la consommation finale de produits pétroliers [IEA, 2020a]. Le diesel est la principale source d'énergie utilisée dans les transports alors que le butane est principalement consommé par le secteur résidentiel (cuisson et chauffage), ainsi que par le secteur agricole (pompage). Si le taux de croissance de la demande de pétrole s'est ralenti depuis 2013 suite à la suppression progressive des subventions, celui du butane a connu au contraire une forte progression (en particulier dans le secteur résidentiel) tirée par le maintien des subventions à cette énergie. Dès 2012, le gouvernement marocain a en effet entrepris une série de réformes visant à progressivement éliminer les subventions aux produits pétroliers. En 2015, les subventions à l'essence et au diesel ont été complètement supprimées et par conséquent les prix de ces produits énergétiques sont désormais indexés directement sur les prix internationaux. En revanche, le prix du butane est toujours subventionné. Au total, la charge de subvention du butane s'est élevée à 1,2 milliard de dollars

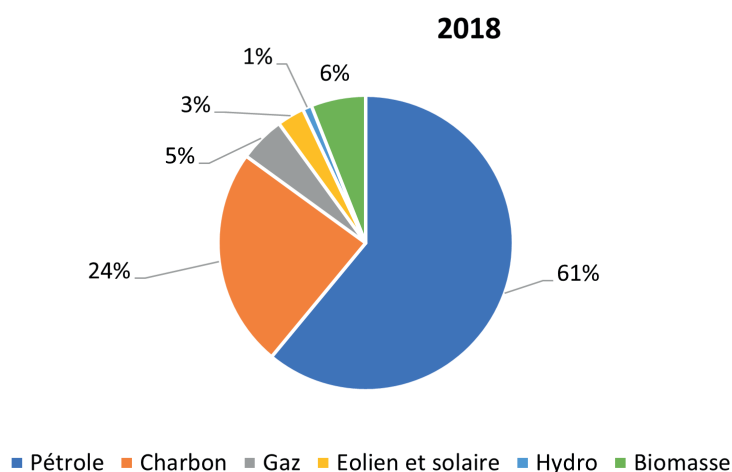


Figure 1. Part de chaque source d'énergie dans l'approvisionnement total en énergie en 2018

Source : IEA, 2020a

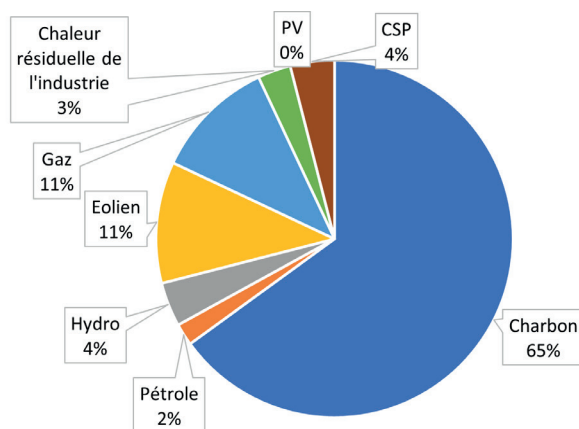


Figure 2. Mix électrique en 2019

Source : IEA, 2020b

la même année, soit environ 70 % de la charge totale de la caisse de compensation, tous produits confondus [Ministère de l'Économie, des Finances et de la Réforme de l'administration, 2020].

1.2. Offre et demande d'électricité

Entre 2010 et 2019, la production d'électricité est passée de 23,8 TWh à 41,6 TWh [IEA, 2020b], soit une progression de 74 % en moins de 10 ans. Le charbon importé reste de loin la source d'énergie dominante dans la production d'électricité, avec une part croissante qui atteint près de 65 % en 2019 (Figure 2). La production d'électricité provenant du pétrole a enregistré une forte baisse sur la période (-86 %) plafonnant à 0,8 TWh en 2019. Cette baisse s'explique par la substitution progressive du pétrole par le gaz. Concernant les EnR, la production d'origine éolienne a connu une très forte progression sur la période (x7) atteignant 4,7 TWh en 2019. La production provenant du charbon et du gaz a également connu une forte progression en presque 10 ans (x2,5 et x1,6 respectivement). La production d'origine solaire thermique à concentration (CSP) n'a enregistré une forte progression qu'à partir de 2016, grâce à la mise en service des centrales solaires à Ouarzazate (zone désertique au sud-est de Marrakech) dans le cadre du

programme solaire «Noor». Ainsi, la production d'origine CSP a-t-elle atteint 1,6 TWh en 2019, soit 4 % de la production d'électricité totale au Maroc cette même année. La contribution du solaire photovoltaïque (PV) reste quant à elle négligeable, essentiellement car les fermes solaires PV n'ont pas été privilégiées par la stratégie nationale (comparé à la technologie CSP). Le PV domestique est, en ce qui le concerne, peu développé et mal quantifié (autoconsommation). Son développement reste entravé par l'absence de cadre juridique pour la revente de l'électricité sur le réseau. Le texte du projet de décret en cours de circulation fin 2021 semble d'ailleurs très restrictif à ce sujet, puisqu'il fixe une limite de 10 % de la production à la revente. Enfin, la production d'origine hydraulique a enregistré une baisse de près de 54 % sur la période, se limitant à environ 1,6 TWh en 2019, pour des raisons climatiques. Malgré la baisse de l'intensité du secteur énergétique, et en dépit de la montée en puissance des énergies renouvelables et de la substitution du pétrole par le gaz, le mix électrique marocain demeure l'un des plus carbonés comparativement aux pays membres de l'Agence Internationale de l'Énergie [IEA, 2020c].

La consommation d'électricité a progressé de 38 % sur la dernière décennie, passant de 23,6 TWh en 2009 à 32,6 TWh en 2018

[IEA, 2020c]. La plus forte progression de la demande en électricité provient du secteur résidentiel (+42 %) dont la consommation s'établit à 11,1 TWh en 2018. Les trois secteurs industriel, commercial et agricole affichent des croissances dynamiques et très proches sur la période (+37 %, +36 % et +34 % respectivement). Enfin, le secteur agricole reste très minoritaire et peu significatif, compte tenu de la domination quasi exclusive des produits pétroliers. Sur la dernière décennie, la répartition de la consommation électrique par secteur est ainsi restée presque inchangée malgré les modifications sectorielles citées plus haut, les effets structurels ayant été compensés par des évolutions de l'efficacité électrique et des vitesses de substitution au sein des secteurs.

En 2018, le secteur industriel reste le premier consommateur d'électricité (37 %), suivi de près par le secteur résidentiel (34 %)¹. C'est là que se situent les principaux enjeux de décarbonation et de pénétration des EnR à court et moyen terme. À plus long terme, l'électrification des transports sera aussi appelée à jouer un grand rôle.

2. Promotion des EnR dans le cadre de la transition énergétique marocaine : quelle place pour le solaire dans la stratégie nationale ?

Tout comme beaucoup de pays, le Maroc a fait, largement par défaut, le choix du pétrole comme ressource énergétique primaire à la base de son développement historique. Cette énergie représentait plus de 80 % de son bilan primaire en 1980. À partir du milieu des années 1980, les premiers chocs pétroliers ont conduit l'Office national de l'Électricité et de l'Eau (ONEE) à augmenter la part du charbon dans le mix du pays [IEA, 2019]. Une décennie plus tard, lors de la crise d'approvisionnement des années 1990, le gouvernement a modifié l'organisation institutionnelle du secteur énergétique, notamment avec la privatisation de l'activité de raffinage du pétrole et l'introduction de la production privée dans le secteur de l'électricité.

Aujourd'hui, le marché marocain de l'électricité présente une structure hybride avec deux marchés principaux (Figure 3) :

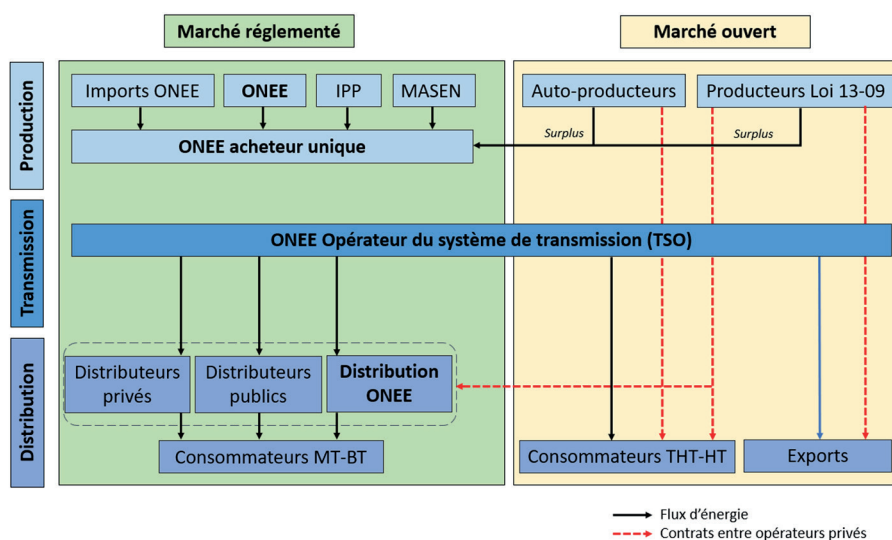


Figure 3. Structure du marché de l'électricité au Maroc

Source : Kettani, 2021

5 objectifs				
Sécurité d'approvisionnement	Accès généralisé à l'énergie à des prix raisonnables	Maîtrise de la demande	Préservation de l'environnement	Recherche, innovation et formation
5 orientations stratégiques				
Mix diversifié et optimisé autour de choix technologiques fiables et compétitifs	Mobilisation des ressources renouvelables domestiques	Priorité nationale à l'efficacité énergétique	Intégration régionale	Intégration industrielle

Tableau 1. Objectifs et orientations stratégiques de la stratégie énergétique nationale au Maroc

Sources : IEA, 2019; Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2012

- d'une part, il existe un marché réglementé de l'électricité comprenant la production propre de l'ONEE, celle des producteurs indépendants (IPP), et enfin celle issue des partenariats public-privé de Masen, l'agence chargée de piloter les énergies renouvelables au Maroc;

- d'autre part, il existe un marché ouvert ou «non réglementé» de l'électricité réservé aux autoproducteurs et aux producteurs d'énergies renouvelables en vertu de la loi 13-09 [Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2010]. En 2018, la production éolienne de l'ONEE représentait seulement 14 % de la production éolienne totale, contre 51 % pour la production loi 13-09 et 35 % pour les concessions [ONEE, 2018].

En 2009, le Maroc a adopté une stratégie énergétique nationale pour la transition vers un système énergétique à faible émission de carbone, conciliant à la fois le développement socio-économique et les objectifs environnementaux. La stratégie énergétique fixe cinq objectifs fondamentaux et repose sur cinq «orientations stratégiques» (Tableau 1) [IEA, 2019; Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2012].

Les principaux objectifs de cette stratégie, tels qu'exprimés dans la contribution déterminée au niveau national dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), se traduisaient comme suit lors de la COP22 à

Marrakech [Ministère délégué auprès du ministre de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement, 2016] :

- Atteindre plus de 50 % de la puissance électrique installée à partir de sources renouvelables à l'horizon 2025, dont 20 % en énergie solaire, 20 % en énergie éolienne et 12 % en énergie hydraulique;
- Réaliser une économie d'énergie de 15 % d'ici 2030, par rapport à l'évolution tendancielle;
- Réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments, l'industrie et le transport de 12 % à l'horizon 2020 et de 15 % en 2030. La répartition des économies d'énergie escomptées par secteur est de 48 % pour l'industrie, 23 % pour le transport, 19 % pour le résidentiel et 10 % pour le tertiaire;
- Installer à l'horizon 2030 une capacité supplémentaire de 3900 MW en technologie de cycle combiné fonctionnant au gaz naturel importé.

En matière d'atténuation, l'objectif conditionnel fixé par le Maroc à l'horizon 2030 est de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 17 % par rapport à un scénario tendanciel. Conditionnellement à un financement additionnel de la communauté internationale, cet objectif pourra être porté à 42 % à l'horizon 2030. Afin d'atteindre les objectifs qu'il s'est fixés à l'horizon 2030, le Maroc a mis en place un ensemble de programmes [Masen, 2020] visant à exploiter les ressources

Énergie solaire au Maroc : vers un leadership régional ?

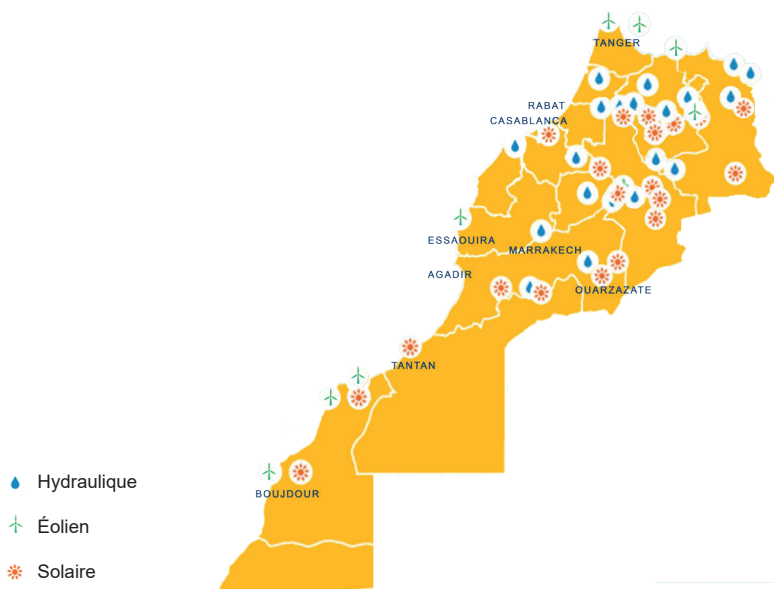


Figure 4. Carte des projets d'énergie renouvelable

Source : Masen, 2020

renouvelables domestiques dont il dispose, en particulier l'éolien et le solaire (Figure 4).

En dépit d'une forte irradiation solaire globale de près de 5,6 kWh/m²/jour, l'énergie solaire n'a été exploitée que dans le cadre du programme d'électrification rurale (kits photovoltaïques) pour alimenter en électricité les villages éloignés. En effet, depuis le lancement du programme d'électrification rurale (PERG) en 1996 à fin 2020 [ONEE, 2021], le PERG a permis de porter le taux d'électrification à plus de 99 %.

Le PERG a permis le raccordement au réseau de 41 146 villages regroupant 2 142 042 foyers et l'équipement par kits photovoltaïques² de :

- 51 559 foyers dans 3 663 villages durant la période 1998–2009,
- 19 438 foyers dans 900 villages dans le cadre du projet solaire INDH au cours de la période 2016-2018.

Le PERG s'est développé grâce au partenariat public-privé adopté par l'ONEE. Celui-ci repose sur une synergie entre le savoir-faire d'un spécialiste expérimenté dans l'installation

et la maintenance de systèmes *off-grid*, l'opérateur Temasol, et les compétences de l'ONEE qui assure, entre autres, la cohérence globale de l'électrification rurale et détermine avec une information précise les zones pour lesquelles la solution solaire est la meilleure. *Ex post*, l'ONEE contrôle le respect des engagements et mesure la satisfaction des clients solaires. L'ONEE apportait une subvention qui couvrait environ les deux tiers de ce coût, la part initiale du client représentant environ 10 %, Temasol finançait le solde, soit environ un quart. La KfW (banque de développement allemande) et l'Agence Française de Développement (AFD) ont participé au financement du programme [Temasol, 2006]. Le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) a financé une assistance technique pour la première tranche de ce programme. L'ADEME (Agence Française de l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie³) a conduit et financé, avec le ministère français des Affaires étrangères, le Programme Pilote d'Électrification Rurale (de 1989 à 2000), réalisé en coopération avec le CDER marocain (Centre de Développement des Énergies renouvelables, aujourd'hui AMEE).

Grâce à l'expérience qu'il a acquise avec son programme d'électrification rurale, le Maroc fut notamment sollicité par les institutions de développement, dans le cadre de projets régionaux d'amélioration des conditions d'accès à l'électricité, pour « exporter » son modèle d'électrification⁴. La diffusion de cette expertise constitue en elle-même la base d'une forme d'action de « diplomatie solaire » que le Maroc entend renforcer depuis maintenant une dizaine d'années. Cette diplomatie lui permet de contribuer à ses objectifs dans la région.

Au-delà de l'électrification solaire, le Maroc s'est également lancé dans le développement des technologies solaires à grande échelle, dans le cadre du Plan solaire marocain. Le financement de ce programme fait intervenir plusieurs investisseurs internationaux et nationaux, institutionnels et privés [Masen, 2019], en particulier : l'Agence Française de Développement (AFD), la Banque Africaine de Développement (BAD), la Banque mondiale, la Banque Européenne d'Investissement, le Clean

Technology Fund (CTF), la KfW, l'Union européenne, le GIZ, mais également le groupe Barid Al Maghrib, l'Attijari WafaBank, le groupe CDG. Les financements du Plan solaire marocain prennent différentes formes : prêts à taux préférentiels, garanties, dons...

L'objectif de la stratégie énergétique de 2009 était initialement d'atteindre une capacité solaire installée de 2000 MW à l'horizon 2020. Plusieurs sites de production ont été sélectionnés (Tableau 2), essentiellement dans le désert, faisant appel aux deux technologies solaires : PV et CSP. Masen est en charge du développement de ces projets solaires. L'ONEE a initialement développé plusieurs projets de centrales PV (Noor Tafilalt, Noor Atlas et Noor Argana) qui sont en voie de transfert à Masen conformément à la loi 38-16.

Le choix de la technologie CSP, largement majoritaire au Maroc pour la production centralisée et adoptée notamment pour les centrales solaires de Ouarzazate, a été justifié par

	Puissance (MW)	Technologie	Date de mise en service
Ain Beni Mathar	20	CSP/Gaz	2010
Noor Ouarzazate I	160	CSP + 3 h stockage	2016
Noor Ouarzazate II	200	CSP + 7 h stockage	2018
Noor Ouarzazate III	150	CSP + 7 h stockage	2018
Noor Ouarzazate IV	72	PV	2018
Noor Laayoune I	80	PV	2018

Tableau 2. Liste des projets solaires en exploitation au Maroc

Source : IEA, 2019

Coût de production	dh/kWh
Noor I	1,62
Noor II	1,38
Noor III	1,42
Prix de revente ONEE	0,85

Tableau 3. Comparaison entre le coût de production de l'électricité CSP et le prix de revente à l'ONEE

Source : CESE, 2020

sa capacité à fournir l'électricité pendant la période de pointe après le coucher du soleil, grâce au stockage thermique dont la durée a progressé de 3 à 7 heures entre la première tranche et les suivantes. En plus de ses avantages techniques (en plus de la possibilité d'un transfert technologique à court terme), et d'une opportunité de financement international de centrales solaires CSP à grande échelle, le Maroc semble avoir fait le choix de cette technologie en anticipant la mise en œuvre d'un projet de type «Desertec», visant l'exportation de l'électricité solaire produite dans le désert marocain vers l'Europe. Rappelons que Desertec fut développé à l'origine par la «Coopération transméditerranéenne pour l'énergie renouvelable» (TREC pour *Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation*). Ce projet de grande envergure prévoyait l'exploitation du potentiel énergétique solaire des déserts d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient afin d'approvisionner durablement les régions avoisinantes (en particulier l'Europe) en électricité renouvelable. Le développement de grandes centrales aurait pu largement contribuer à la réalisation de cette ambition, qui semble aujourd'hui compromise à court terme, mais qui reste néanmoins à l'ordre du jour. Ainsi, notamment dans le cadre de la SET Roadmap européenne [Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018], il est prévu d'intégrer des marchés renouvelables du Maroc avec quatre pays de l'Union européenne (France, Espagne, Portugal, Allemagne).

Le choix technologique du CSP a néanmoins été largement critiqué [CESE, 2020], principalement à cause du déficit annuel de près de 800 millions de dirhams (près de 75 millions d'euros) accusé par Masen, l'exploitant. Ce déficit s'explique en partie par les tarifs préférentiels pratiqués par Masen qui vend l'électricité à l'opérateur historique de l'électricité à un tarif inférieur à son coût de production (Tableau 3).

Au total, la puissance de pointe solaire au Maroc est actuellement de l'ordre de 700 MW, ce qui est significativement inférieur aux objectifs du Plan solaire. Des retards ont en effet été observés dans le déroulement des projets,

ce que la crise de la Covid a momentanément aggravé. La puissance installée et la production d'électricité éolienne s'établissent à un niveau nettement supérieur, comme nous l'avons vu précédemment.

En termes d'instruments publics de développement du solaire, le gouvernement marocain met en place des incitations depuis plus d'une dizaine d'années. C'est le ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement qui est en charge d'encadrer, notamment en application de la loi, le développement de cette énergie du côté de la production et de la demande (installations solaires). Les conséquences de l'action publique ont vocation à se déployer au sein des sphères publiques et privées en encourageant l'innovation, l'intégration industrielle et la recherche et développement (R&D). Cette dernière est principalement menée, avec l'appui du ministère ainsi que du groupe OCP (les phosphates marocains), par l'Institut de recherche en énergie solaire et énergies nouvelles (IRESEN), lequel mobilise actuellement près de 44 millions d'euros sur la période 2012-2017 dans la R&D solaire. L'institut mène des recherches sur des sujets prioritaires qui couvrent tous les maillons de la chaîne de valeur de la R&D, du composant de base jusqu'aux systèmes complexes, en recherchant en priorité l'adaptation des technologies au contexte marocain et africain (conditions semi-arides et désertiques) [*Énergie & Stratégie*, 2017]. La plateforme internationale de test, de recherche et de formation en énergie solaire, «Green Energy Park» de l'IRESEN, première du genre en Afrique, rassemble plusieurs chercheurs nationaux et internationaux sur des sujets tels que le traitement et le dessalement de l'eau, le développement de modules adaptés au désert, la conception de solutions de stockage thermique et électrique innovantes ou le développement d'applications industrielles du solaire thermique.

En plus de l'IRESEN et de l'écosystème de l'Université Mohammed VI Polytechnique Ben Guerir, plusieurs universités sont impliquées dans la recherche dans le secteur solaire. Les principaux domaines de recherche en énergie

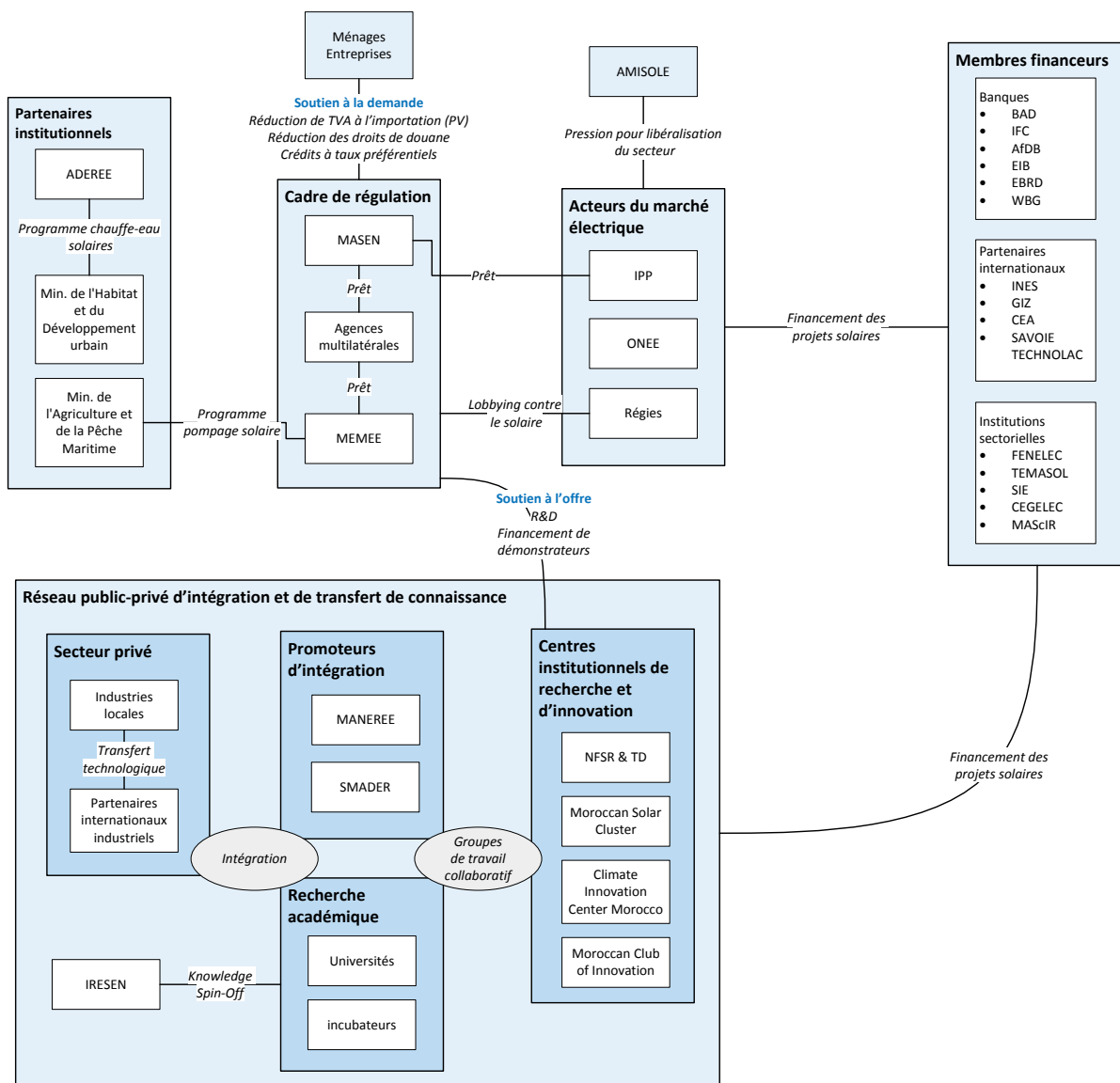


Figure 5. Acteurs principaux du développement du solaire au Maroc et leurs interactions

Source : cartographie des auteurs

solaire dans les universités marocaines sont la mesure de l'énergie, les matériaux pour les cellules, les systèmes d'énergie solaire et les applications de cette énergie.

L'ensemble forme ainsi un écosystème de recherche, principalement tourné vers l'aval

(les applications), au premier rang au Nord de l'Afrique.

Enfin, au sein d'un marché électrique centralisé, les difficultés de gouvernance, voire les conflits d'intérêts, peuvent freiner le développement à grande échelle du solaire et ralentir les effets de synergies avec le secteur privé (en

particulier le solaire décentralisé) envers qui les incitations sont aujourd'hui encore faibles. L'identification des relations entre les différents acteurs (Figure 5) et le circuit de l'information entre ces derniers apparaît nécessaire pour identifier, sur le moyen-long terme, des axes d'amélioration adaptés au contexte marocain en vue de la promotion du solaire au Maroc. Nous les précisons plus loin.

Quoi qu'il en soit, et malgré un bilan énergétique encore très carboné, les efforts du Maroc en matière de transition sont très visibles au plan international, de telle sorte que ce pays est reconnu comme particulièrement actif dans ce domaine. Il a par exemple été classé en 2021 au rang de meilleur élève africain et au quatrième mondial par le Réseau international d'Action pour le Climat et le New Climate Institute dans son indice de performance climatique.

3. Le Maroc comme « hub » régional de la production d'énergie solaire

3.1. Concept de hub solaire global

Les dirigeants marocains ont évoqué à plusieurs reprises la constitution par leur pays d'un hub solaire⁵, ce qui signifie d'abord une prise de leadership régional dans ce domaine. À ce stade, le concept reste toutefois encore flou, en particulier dans ses objectifs, sa formalisation organisationnelle et les moyens alloués. Il s'agit plus, au sein du gouvernement, d'un « concept valise » que d'un programme détaillé. Néanmoins, il nous a semblé pertinent de tenter de donner une consistance économique à cette vision stratégique en train de se faire. Dans ce but, nous avons introduit le concept de « hub solaire global ».

Nous proposons ici de définir la réalisation d'un hub solaire global via l'activation simultanée, et à un niveau jugé suffisant, de ce que nous nommerons des piliers [Kettani, 2021] :

- P1 : le déploiement quantitatif de l'énergie solaire,
- P2 : la progression le long de la chaîne de valeur des technologies solaires,

- P3 : la constitution de capacités (dont expertise) significatives et reconnues,
- P4 : l'influence régionale.

La première condition de réalisation du hub global repose donc sur une production massive d'électricité solaire, soit de manière centralisée (pour le marché intérieur et extérieur), soit de manière décentralisée (hors réseau dans les zones rurales et sur le réseau dans les zones urbaines), soit les deux (pilier 1). Au Maroc, c'est principalement la production décentralisée dans les régions à densité d'habitation forte et moyenne qui mérite maintenant un renforcement significatif. En outre, une réglementation favorable et des conditions avantageuses pour les entreprises pourraient jouer un rôle majeur pour soutenir la construction d'infrastructures de production solaire à grande échelle.

Outre le déploiement commercial, un hub solaire nécessite de disposer d'une main-d'œuvre qualifiée (pilier 3) à la fois dans l'exploitation et la maintenance solaire, mais aussi au sein de la R&D (dont la modélisation, notamment pour optimiser l'adéquation entre la production et la demande). Le positionnement dans les chaînes de valeur internationales (pilier 2) par la fabrication locale de pièces ou de composants du système solaire (PV/CSP) constitue un autre moyen possible pour un pays comme le Maroc pour devenir un acteur régional de premier plan dans le déploiement et la diffusion des technologies solaires. Le développement de centres de formation pour les services après-vente et, plus généralement, pour la mise à niveau des compétences locales (recherche, conception de politiques, exploitation et maintenance) pourra aussi constituer une étape importante dans l'intégration de l'énergie solaire dans un mix régional. Enfin, la notion de hub global que nous proposons repose aussi sur une stratégie de relations économiques et techniques régionales comprenant un volet actif en matière de technologie et de diffusion du solaire (pilier 4). Il s'agit donc ici d'une composante diplomatique (diplomatie du solaire).

Ces points sont examinés plus en détail dans la section suivante, avec des outils dédiés, en

tendant *in fine* une prospective des trajectoires selon lesquelles le Maroc pourrait atteindre ce statut de hub solaire global.

3.2. Diagnostic de la situation marocaine au regard de sa capacité à devenir un hub solaire : analyse SWOT et résultats d'enquête d'experts

Nous synthétisons les forces, faiblesses, opportunités et menaces pour le Maroc de devenir un hub au sein du tableau SWOT qui suit (Tableau 4).

Du côté des forces, le Maroc bénéficie d'excellentes ressources solaires (et éoliennes) et dispose d'un réseau physiquement interconnecté ainsi que d'une couverture électrique très complète (réseaux locaux), ce qui constitue une base solide pour le développement de projets solaires, que ce soit à l'échelle centralisée ou décentralisée, pour les marchés nationaux, mais aussi en visant l'exportation (exportations d'électricité solaire ou de matériel ou de savoir-faire). En outre, la grande disponibilité des ressources solaires rend le pays attrayant pour les investisseurs internationaux qui souhaitent investir dans ce type de projets (pas seulement pour la production d'électricité) et pour les industriels désireux de localiser une part de leurs activités dans la région. La stabilité politique et macroéconomique du Maroc et son environnement favorable aux investisseurs sont des facteurs internes qui

distinguent le Maroc des autres pays de la région disposant de ressources solaires similaires. Ces atouts font de ce pays un lieu bénéficiant d'une bonne attractivité pour les investissements directs à l'étranger (IDE) dans les projets solaires et ils facilitent l'accès aux financements internationaux. En outre, la construction déjà significativement avancée d'un cadre et d'une expertise solide dans les technologies solaires (projets multi-technologiques de référence, essentiel du cadre juridique, réformes énergétiques, agences dédiées pour la réglementation, le développement du marché, la R&D et la formation...) constitue un autre atout. Comme nous l'avons mentionné plus haut, le développement du complexe multi-technologique de Noor Ouarzazate, au cours de la dernière décennie, et les nouveaux projets solaires, en sus du programme d'électrification rurale réalisé précédemment, ont permis au Maroc de développer une expertise significative dans certains segments du développement des technologies solaires : technologie CSP, stockage thermique, R&D, constitution de micro et méso-réseaux, développement de l'aval de la chaîne de valeur PV, notamment. Enfin, le Maroc bénéficie d'une position géographique remarquable, permettant une liaison électrique (déjà en place à petite échelle) avec l'Europe, via le détroit de Gibraltar. Enfin et surtout, des liens très intenses se sont établis au cours des siècles passés entre ce pays et de nombreux pays européens tels que la France,

Forces	Faiblesses
• Climat des affaires favorable • Excellentes ressources solaires • Expertise dans les projets solaires multi-technologiques • Influence croissante dans la région	• Absence d'une stratégie nationale globale pour le développement industriel et technologique du solaire • Dépendance à l'importation des technologies • Dépendance aux financements extérieurs
Opportunités	Menaces
• Baisse des coûts des technologies solaires • Régionalisation des chaînes de valeur solaires • Forts besoins d'électrification en Afrique	• Pandémies et crises internationales • Conflits géopolitiques régionaux • Complexité technologique de certains composants solaires

Tableau 4. Analyse SWOT du Maroc en tant que potentiel hub solaire global

Source : Kettani, 2021

l'Espagne, l'Allemagne et le Portugal... Par ailleurs, la présence économique et diplomatique du Maroc s'intensifie sur le continent africain dans plusieurs secteurs d'activité.

Néanmoins, malgré ces atouts, plusieurs aspects internes peuvent entraver, ou à tout le moins ralentir, la réalisation d'un hub global de l'énergie solaire au Maroc. Les principales faiblesses concernent l'absence d'une stratégie nationale globale pour le développement industriel et technologique du solaire d'une part, et le manque de prévisibilité de la croissance du marché au-delà de l'objectif de 2 GW d'énergie solaire (production à grande échelle) d'autre part. Ceci principalement en raison de l'accumulation de retards réglementaires pour les petits et moyens projets solaires, mais aussi des retards mentionnés plus haut pour le solaire centralisé. En outre, l'absence d'une base industrielle solide (à l'exception des secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et de l'électronique) concomitante à une encore trop faible diffusion de la culture d'entreprise peuvent limiter le positionnement du Maroc dans la chaîne de valeur internationale des technologies solaires. En outre, malgré des efforts notables pour la mise à niveau industrielle et le renforcement des capacités, la dépendance à l'égard des importations de technologies, les dépenses de R&D publiques et privées qui restent encore faibles (au regard des grands pays technologiques) dans les technologies solaires, les limites de la main-d'œuvre qualifiée (positionnée surtout vers l'aval de la filière) et la faible coopération entre le monde universitaire et la sphère industrielle, constituent des facteurs adverses significatifs. Par ailleurs, la fuite des cerveaux et le chômage des jeunes et des personnes qualifiées sont des problèmes persistants que le Maroc n'a pas encore été en mesure d'éradiquer.

Ces constats ne sauraient cacher que le développement du solaire au Maroc fait face à un certain nombre de nouvelles opportunités. La baisse du coût des technologies solaires due aux améliorations technologiques et aux économies d'échelle augmente la rentabilité des projets solaires par rapport au réseau ou aux

sources d'énergies fossiles, ce qui influence positivement le déploiement de cette énergie (principalement le solaire PV). En outre, le développement du solaire s'inscrit dans un cadre qui dépasse de loin le jeu des marchés. D'une part, il est au cœur des actions en matière de transition énergétique du Maroc, d'autre part, sa dimension internationale s'inscrit aussi dans le cadre de la mitigation des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'échelle de la planète. Ainsi, la proximité avec l'Europe offre-t-elle la possibilité d'exporter des énergies propres, augmentant ainsi l'influence régionale du Maroc via son possible rôle dans la lutte de l'Europe contre le changement climatique (SET Roadmap). Ces opportunités d'exportation pourront davantage renforcer le rôle géostratégique du Maroc dans l'approvisionnement durable en énergie propre dans la région, si l'intégration du marché de l'énergie UE-MENA devient opérationnelle. En outre, cette intégration offre l'opportunité de nouveaux accords de coopération avec des partenaires internationaux pour le transfert de connaissances et de compétences et l'investissement (par exemple à des fins de réduction des coûts technologiques, de tests et de démonstrations de technologies). En ce qui concerne l'Afrique, la constitution d'une expertise dans le développement de projets solaires (construction, installation, maintenance, R&D) offre l'opportunité pour le Maroc de diffuser les connaissances et les compétences acquises dans le domaine de l'énergie solaire avec ses pays voisins dans des segments spécifiques de la chaîne de valeur, où le pays pourrait disposer d'un avantage compétitif (notamment par rapport aux acteurs déjà existants sur le marché africain en particulier les entreprises chinoises et indiennes). Ce partage d'expertise technique et de savoir est déjà en cours. Il pourra dans le futur bénéficier des avantages dont dispose le Maroc dans les segments suivants : ingénierie des petits réseaux, financement local, mise en place des structures locales (exploitation, lien avec la population, intégration dans des réseaux plus larges, optimisation offre-demande), PV décentralisé (installation, exploitation, maintenance), CSP (installation *pro parte*, exploitation, maintenance), R&D en matière d'«africanisation» des technologies,

réglementation, conduite de projets, planification... Nous verrons ci-après que le pays pourrait aussi développer une expertise différentiante dans le domaine du dessalement solaire. De la sorte, il deviendra possible de générer de nouvelles opportunités de marché à l'étranger en se concentrant sur une partie ou sur l'ensemble de la chaîne de valeur des technologies solaires.

Cependant, certaines menaces nouvelles, accompagnant un tel développement, doivent être soigneusement prises en compte. Les principales concerneraient le risque de rupture de la chaîne de valeur internationale (exacerbé par les crises économiques internationales et le risque de nouvelles pandémies), l'échec de l'intégration du marché euro-méditerranéen en raison de conflits géopolitiques (par exemple avec l'Algérie) et la dépendance à l'égard du financement international pour le développement des infrastructures énergétiques (électricité, voire hydrogène, avec l'Europe et l'Afrique). En outre, les points d'entrée limités sur le marché de la fabrication des composants solaires en raison de l'avantage concurrentiel de grands pays très bien établis (de la Chine en particulier) et leur haute complexité technologique pourraient réduire les possibilités de localisation des chaînes de valeurs solaires amont au Maroc ou en Afrique du Nord.

Enfin, il faut évoquer la difficulté actuelle (faiblesse) à dégager un modèle économique robuste et efficace pour le financement de la construction, mais aussi de l'exploitation des grandes centrales solaires marocaines. Les investissements ont bénéficié en partie d'effets d'aubaine dus aux capacités de la diplomatie marocaine. Mais il va falloir pérenniser ces montages dans la durée. Au plan du marché, il reste une marge significative de progrès, notamment pour définir le design et les conditions de vente, en particulier à long terme, à de gros consommateurs industriels ou tertiaires (avances *up-front*, PPA, mécanismes de couverture du risque), dans un cadre d'intégration au réseau de l'ONEE. On constate encore un relatif manque d'expertise appropriée chez les développeurs de centrales. Mais cette faiblesse peut

être aussi, comme souvent, considérée comme une opportunité, l'évolution en ce domaine pouvant être rapide.

En gras dans le Tableau 4, nous avons figuré les items sur lesquels le pays peut avoir une influence directe et significative, traduisant que ces paramètres pourront être actionnés, selon les stratégies (et les trajectoires) retenues. Par la suite, nous nous intéressons à la façon dont le Maroc peut travailler sur ces aspects pour en proposer des trajectoires alternatives pour le développement du hub solaire.

Afin de compléter le diagnostic de la situation du Maroc au regard de sa capacité à devenir un hub solaire global, diagnostic ici établi sur base statistique et de la littérature, nous avons établi un questionnaire auquel ont répondu des experts entre le 1^{er} et le 19 février 2021 [Ketani, 2021]. Le *focus group* est de relativement petite taille mais composé d'experts nationaux et internationaux et d'acteurs de premier plan (41 au total) de différents secteurs d'activités : 14 en R&D, 16 en industrie et 11 en conseil ou au sein d'agences (énergie, développement, stratégie).

Les experts ont notamment été conviés à évaluer, sur une échelle de 1 (faible) à 5 (fort) :

- L'impact des quatre piliers les uns sur les autres,
- Le niveau de maturité de chaque pilier au Maroc, en 2020, 2030 et 2040,
- Le niveau de maturité de la réglementation au Maroc, en 2020, 2030 et 2040,
- Le niveau de maturité des trajectoires au Maroc, en 2020, 2030 et 2040,
- Les impacts de la réglementation sur les piliers et vice versa,
- Les impacts des piliers sur les trajectoires.

Pour l'analyse des résultats, nous avons considéré, pour chaque question, le score moyen obtenu et l'écart-type associé (s), ce qui a permis d'estimer le niveau de consensus atteint (consensus ici lorsque $s < 1$).

Dans cette partie, nous allons présenter uniquement le niveau de maturité du Maroc aujourd'hui et à l'horizon 2040 au regard des piliers précisés plus haut. Nos résultats montrent que le déploiement de l'énergie solaire (P1) est le pilier le plus mature en 2020 et qu'il restera en tête en 2030 et 2040. Les scores moyens des trois populations d'experts sont convergents, avec un niveau de maturité passant de modéré en 2020 à fort en 2040. Ce résultat semble conforme au Plan solaire, malgré ses quelques retards. Il révèle également que les experts sont unanimement confiants en la capacité du Maroc à gagner en maturité dans le développement de projets d'énergie solaire. Le renforcement des capacités (P3) s'avère moins mature en 2020 mais disposerait d'un fort potentiel pour progresser jusqu'à une maturité assez forte en 2040. Les résultats présentent une plus grande dispersion des scores de maturité entre les populations d'experts, ceux issus de l'industrie étant les plus confiants au regard du renforcement des capacités et compétences, notamment d'ici 2030. L'évolution du niveau de maturité de l'influence régionale (P4) présente la plus faible progression entre 2020 et 2040 par rapport à tous les autres piliers. Les niveaux de maturité en 2020 et 2040 restent modérés, indiquant que les experts ne sont pas entièrement convaincus de la capacité du Maroc à devenir un acteur de référence régional de l'énergie solaire au cours des deux prochaines décennies. Cette tendance est clairement affichée, malgré la dispersion obtenue entre les scores de maturité des 3 populations d'experts, l'industrie étant la plus confiante sur l'évolution de l'influence régionale du Maroc, ceci même dès l'horizon 2030.

L'intensification de la chaîne de valeur (P2) est le pilier qui apparaît ici le moins mature en 2020. Les experts s'accordent sur un faible niveau de maturité actuel de ce pilier, lequel ne serait susceptible d'atteindre qu'un niveau de maturité modéré en 2040. Néanmoins, les résultats montrent que les experts sont confiants sur la capacité du Maroc à progresser, même si c'est à un rythme modéré, dans le développement de certaines capacités de production locales de technologies solaires.

En ce qui concerne la réglementation, les résultats montrent que son niveau de maturité actuel est considéré comme plutôt faible, mais qu'il pourrait atteindre un niveau plutôt fort en 2040. La pente de la progression serait plus forte entre 2020 et 2030, ce qui indique une forte attente pour la prochaine décennie. Le Maroc est en capacité de le réaliser.

Enfin, la maturité du «hub global», pris dans l'ensemble de ses composantes (les piliers), est considérée par les experts comme plutôt faible en 2020. Cependant, la pente de progression entre 2020 et 2040 pourrait s'avérer forte, ce qui montre une certaine confiance dans le développement de tous les piliers à un niveau régional significatif, jusqu'à un niveau de maturité assez élevé. Ce résultat suggère que pour atteindre l'ambition d'un hub global (et atteindre des niveaux de maturité forts à très forts), le Maroc devrait d'abord renforcer les piliers pour lesquels il a déjà une position forte comme le P1 (déploiement de l'énergie solaire) ou ceux pour lesquels il dispose d'un fort potentiel de progrès, comme le P3 (renforcement des capacités et des compétences), mais l'effort devra alors être de plus longue durée. Ce faisant, il devra également veiller à sélectionner les actions les moins onéreuses ou les plus efficaces à court terme pour accélérer le rattrapage des piliers moins développés. Ce n'est qu'à plus long terme que les actions de fond, qui peuvent aussi s'avérer coûteuses, pourraient se développer. Mais les règles de priorité ne sont pas immuables. Nous verrons en section suivante que des trajectoires différentes peuvent être tracées, lesquelles dépendent aussi du contexte international (économique, technique, politique).

Avant cela, un point essentiel concerne l'évaluation des capacités de développement de l'électricité solaire dans l'économie marocaine (une des deux matrices du pilier 1, avec les exports massifs), ce qui nous amène en section suivante à examiner deux secteurs clés.

3.3. Analyse de potentiel solaire : zoom sur deux secteurs

Nous avons identifié précédemment le développement de l'énergie solaire au Maroc même (centralisé et décentralisé) comme premier pilier de la construction d'un hub solaire global. Dans ce qui suit, nous proposons d'étudier le potentiel solaire dans deux secteurs qui pourraient s'avérer clés pour la suite, pour des raisons radicalement différentes : le résidentiel et le dessalement de l'eau de mer. Le premier est capital, car le niveau de demande y est élevé (l'un des principaux, comme nous l'avons montré plus haut) et car il concentre l'essentiel du potentiel du solaire décentralisé, l'un des enjeux majeurs du développement du PV (et du solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire). L'autre secteur illustre l'analyse des nouveaux usages de l'électricité qui auront aussi une influence croissante sur le mix, via leur dynamique propre, leur localisation, leur profil temporel.

3.3.1. Potentiel du solaire au sein du secteur résidentiel

En 2017, la consommation résidentielle au Maroc représentait 25 % (+26 % par rapport au niveau de 2007) de la consommation d'énergie, derrière les transports (35 %) et devant l'industrie (19 %) [IEA, 2020a]. Par ailleurs et comme précisé plus haut, la consommation d'électricité a augmenté en moyenne de 5 % par an entre 2007 et 2017 [IEA, 2020a]. Elle est l'une des plus élevées du Maroc, et ce secteur offre donc un intérêt de premier ordre pour évaluer les perspectives de pénétration du solaire.

Afin de préserver le pouvoir d'achat des ménages marocains, l'électricité au Maroc est subventionnée [Camos et al., 2018; Verme et al., 2014]. Les subventions à l'électricité ne figurent pas précisément dans les statistiques du gouvernement, et sont rarement abordées dans les publications de l'ONEE, mais on peut supposer qu'elles se situent entre 8 % et 40 % selon la catégorie de consommation du ménage [Verme et al., 2014]. Une façon pour les ménages de réduire leurs dépenses en électricité

est de produire leur propre électricité en utilisant des panneaux solaires. Non seulement cela peut permettre aux ménages les plus aisés de réduire leur facture (il faut donc examiner si le PV est déjà compétitif pour cette catégorie de consommateurs), mais aussi de prémunir l'ensemble des ménages contre une future augmentation des prix de l'électricité (plausible en raison de la situation financière de la compagnie nationale ONEE induisant des tendances fortes à la diminution des subventions). Par ailleurs, cette technologie peut également réduire la pauvreté énergétique. Par exemple, en Corée, le photovoltaïque solaire a contribué à réduire les coûts énergétiques des familles à faibles revenus, en particulier pour les ménages consommant moins de 280 kWh/mois [Lee, Shepley, 2020].

La pénétration de l'énergie solaire décentralisée est encore faible par rapport à ses voisins (Tunisie) ou même d'autres pays moins bien dotés en énergie solaire (Allemagne, France). Dix ans après la loi 13-09 sur les énergies renouvelables (2010), et après les amendements proposés dans la loi 48-15 (2016), le cadre réglementaire des énergies renouvelables décentralisées est encore incomplet. Les conditions d'injection de l'énergie excédentaire sur le réseau basse tension par les consommateurs résidentiels font toujours l'objet de débats entre la compagnie nationale ONEE, les ministères et les distributeurs, ce qui ralentit le décollage du solaire photovoltaïque en toiture [IEA, 2019]. Un nouveau décret est attendu à ce sujet en 2022. La complexité de la gouvernance (cf. Figure 5) freine les nécessaires ajustements. Ainsi, pour le moment, seule l'autoconsommation (donc sans revente de l'électricité) se développe, mais modestement.

Afin d'examiner l'attrait économique des installations solaires photovoltaïques pour les ménages marocains, nous avons calculé classiquement le coût actualisé de l'électricité (LCOE) dans quelques cas ciblés (niveau de consommation, localisation, type d'installation, financement...). Les résultats montrent que le LCOE du solaire décentralisé varie aujourd'hui entre 0,17 \$/kWh et 0,26 \$/kWh [Kettani, 2021].

En comparant le LCOE avec les prix de l'électricité par catégorie de consommation électrique, nous constatons que le PV atteint actuellement la parité réseau, mais uniquement pour les 2,5 % des ménages consommant plus de 500 kWh/mois. Ce résultat est valable pour des coûts d'investissement inférieurs à 2950 \$/kWc, ce qui est généralement vérifié au Maroc. Cependant, si l'on considère les prix de l'électricité sans subventions, le PV mis en place à ce coût d'investissement de 2950 \$/kWc devient intéressant pour encore plus de ménages, notamment les ménages consommant plus de 300 kWh/mois (tranches 4, 5 et 6, représentant actuellement 10 % des ménages).

Si maintenant on combine la baisse en cours du prix des modules PV et la forte probabilité d'une baisse des subventions (à tout le moins pour les ménages des catégories moyenne et supérieure), au cours de la prochaine décennie et au-delà, les résultats de Kettani [2021] montrent que l'autoproduction d'une plus grande partie de l'électricité domestique devient économiquement rentable. Cette part est difficile à apprécier avec précision, au-delà de l'analyse par les coûts [voir par exemple Agator & Devezeaux, 2018], en raison de la dynamique propre à la diffusion des nouvelles technologies et de l'importante variabilité des caractéristiques des ménages (même si nous avons pu en prendre en compte une partie sur la base d'une enquête récente), mais aussi car il ne faut pas ignorer les impacts importants des transformations de l'approvisionnement (l'autoconsommation ici étudiée) et de la demande (notamment la croissance en cours des besoins de climatisation) sur l'équilibre offre-demande du réseau national ou en local. Derrière ces phénomènes doivent en effet être analysées des questions complexes, notamment en termes d'évolution de la grille tarifaire de l'ONEE ou des régions. Ce travail reste à faire.

Pour apprécier le développement du solaire décentralisé dans le résidentiel, il convient donc de combiner les tendances d'évolution globale de la demande sectorielle avec la part que le solaire PV peut prendre. À cette fin, des scénarios ont été construits qui supposent plus

ou moins d'impact à long terme de la pandémie de Covid-19 [Kettani & Sanin, 2021]. La consommation électrique du secteur résidentiel pourrait croître nettement au cours de la prochaine décennie et excéder le niveau actuel de 30 à 70 % en 2030 [Kettani, 2021].

L'adoption des panneaux solaires par les ménages, et en particulier ceux de niveau de consommation inférieure à 500 kWh/mois, est tributaire de la publication des textes (décrets) permettant l'installation de dispositifs avec revente sur le réseau ainsi que la suppression des subventions. Pour ce qui est des classes les plus modestes (notamment celles avec un niveau de consommation inférieur à 200 kWh/mois, qui incluent près de 84 % des ménages), la difficulté est nettement plus grande, d'autant plus que les modifications tarifaires (prime fixe en particulier) joueraient fortement. Il faudrait en particulier considérer la possibilité de création de réseaux et d'interfaces adaptés dans les propriétés collectives, tant pour mutualiser les coûts que pour disposer des surfaces équipables en panneaux de façon organisée et équitable ou enfin pour gérer l'équilibre offre-demande local et les reventes sur le réseau ONEE (ou les régions) de façon efficace. Une prospective construite sur ces bases pour l'année 2030 nous conduit à situer la puissance installée au sein du secteur résidentiel dans une fourchette de 100 à 250 MW (pour fournir de 0,2 à 0,4 TWh utile de solaire). La valeur haute correspond à 160 000 ménages équipés d'une puissance moyenne de 1,5 kWc, soit un taux d'équipement de l'ordre de 2 % des ménages à cette date. En 2040, le scénario haut dépasserait largement le gigawatt installé.

L'autre volet de la pénétration du solaire dans ce secteur passe par le réseau et la production de masse (fermes solaires et installations CSP). Le secteur résidentiel ne se distingue alors des autres secteurs qu'essentiellement par sa courbe de charge, avec l'émergence de la climatisation, qui a le relatif avantage d'être plutôt synchrone avec la production solaire. Le chapitre qui suit traite d'un cas de production centralisée qui illustre en partie la

démarche. La conclusion en fournit une synthèse élaborée sous la forme de trajectoires.

3.3.2. *L'agriculture, les besoins en eau et le dessalement*

Comme évoqué précédemment, le deuxième secteur que nous détaillerons ici est celui de l'industrie du dessalement, du fait de l'importance que revêt l'approvisionnement durable en eau pour la population et le développement économique du pays et donc du potentiel de demande électrique nouvelle associé. Une analyse des autres secteurs de l'économie marocaine se trouve dans Kettani [2021].

Le Maroc fait partie des 45 pays confrontés à une pénurie d'eau [World Resources Institute, 2013]. En particulier, la région du Souss-Massa souffre d'un déséquilibre croissant entre la demande (principalement en provenance des activités agricoles) et l'offre d'eau, avec un déficit de plus de 200 Mm³/an [Elame et al., 2013].

Ce déficit hydrique s'explique par une dégradation des ressources locales et une surexploitation du sous-sol [Bouchaou et al., 2017]. Par ailleurs, les précipitations sont irrégulières dans l'espace et dans le temps. Elles peuvent varier entre 70 et 350 mm par an, et devraient diminuer en raison du changement climatique en cours [Seif-Ennasr et al., 2016] et de l'évapotranspiration. En l'état actuel de la gestion des ressources en eau, les effets de la pénurie d'eau dans la région peuvent entraîner une perte socio-économique considérable. En effet, la région du Souss contribue à 6,7 % du PIB national en 2014 (HCP), ce qui la place comme le deuxième contributeur régional au PIB du pays. Les principales activités économiques de la région sont, outre l'agriculture, la pêche et le tourisme. Ce dernier étant aussi un consommateur important d'eau.

Afin de préserver le développement économique de la région dont la dépendance aux ressources est importante, plusieurs options peuvent améliorer l'approvisionnement de la région. Parmi ces solutions, on peut citer la construction de barrages, le transfert d'eau

Nord-Sud, le traitement de l'eau et le dessalement de l'eau saumâtre ou de l'eau de mer. Cette dernière solution a particulièrement retenu l'attention des décideurs marocains à travers le projet de dessalement de Chtouka Ait Baha. La station de dessalement d'eau de mer de Chtouka (technologie de l'osmose inverse) est conçue pour une capacité de production de 275 000 m³ par jour [Chambre de Commerce d'Industries et de Services d'Agadir, 2017] dont 150 000 m³/jour pour les besoins en eau douce et 125 000 m³/jour pour l'irrigation (superficie de 13 000 ha).

Nous avons exploré les conditions de déploiement des technologies solaires (PV et CSP, avec solutions de stockage) dans l'industrie du dessalement, en prenant pour cas d'étude cette usine de grande échelle de Chtouka Ait Baha [Kettani, Bandelier, 2020].

Pour ce faire, ces auteurs ont construit un modèle global du coût de l'eau. Ils montrent tout d'abord que le dessalement, avec les dernières technologies en date, est abordable à un coût d'environ 1 \$/m³, avec une fourchette allant de 0,98 \$/m³ (solution PV + réseau) à 1,14 \$/m³ (PV + stockage + réseau). En effet, en évaluant l'impact du coût de l'approvisionnement en électricité sur le coût de l'eau dessalée, leurs résultats montrent que l'énergie solaire est aujourd'hui un moyen compétitif d'alimenter les installations d'osmose inverse de grande taille. Le PV sans stockage apparaît ainsi aujourd'hui comme la solution la plus compétitive. Il s'agit de grosses fermes solaires, dont une partie de la production peut être revendue sur le réseau de l'ONEE. Plus encore, l'analyse montre ainsi l'intérêt de bénéficier de fermes solaires construites à proximité des usines de dessalement (ou ailleurs, à un moindre degré, via le réseau HT).

Le CSP semble aujourd'hui plus coûteux, en partie à cause de la nécessité, dans le contexte marocain, de construire une ligne électrique à haute tension pour transporter l'électricité depuis le désert. Les miroirs des installations CSP s'accommodent en effet moins bien des situations costales des usines de dessalement.

Les résultats de l'analyse prospective à l'horizon 2030 montrent les avantages potentiels des alternatives CSP + stockage + réseau et PV + stockage + réseau même si la solution la plus compétitive reste PV + réseau à cet horizon. Les résultats sont compatibles avec le prix de vente de l'eau dessalée tel que retenu dans le cadre du projet (0,9 \$/m³, TVA incluse), en supposant une subvention publique de 20 à 30 %. Un tel niveau semble parfaitement compatible avec une compétitivité des technologies solaires pour le dessalement à court terme, progrès technique et effet d'échelle aidant.

Ainsi, les technologies PV et CSP pourraient toutes deux faire partie de la stratégie de dessalement marocaine dans un avenir assez proche. En effet, l'option PV + réseau apparaît régulièrement comme la meilleure solution, mais la technologie CSP n'apparaît pas beaucoup plus chère. De plus, la capacité de la CSP à stocker la chaleur à faible coût offre une importante source de flexibilité permettant de diminuer fortement la part de l'électricité du réseau dans la consommation totale. Enfin, avec un large déploiement d'usines de dessalement, il devient possible de construire des lignes électriques de forte puissance à moindre coût, pour transporter l'électricité du désert intérieur vers les territoires côtiers où la demande d'eau est maximale. Au-delà du choix technologique optimal, ces résultats plaident pour la nécessaire intégration en amont des besoins énergétiques du secteur de l'eau dans les futurs schémas de planification énergétique au Maroc.

En conclusion, un premier programme d'usines de dessalement basé sur le PV + réseau devrait être lancé, tandis qu'un second programme basé sur le CSP pourrait être préparé. Compte tenu des impacts socio-économiques de la Covid, les hypothèses de coûts retenues ici resteront probablement robustes, mais on peut s'attendre à des changements ou des retards dans la croissance économique et la demande en électricité et en eau, avec des inflexions majeures dans les politiques marocaines de l'eau et de l'énergie. À terme de 10 ans, l'enjeu du dessalement au Maroc représenterait de 40 MW à 200 MW en

puissance solaire installée [Kettani, 2021]. À l'horizon 2040, ce potentiel pourrait augmenter très significativement et dépasser les 500 MW, pour atteindre les objectifs du gouvernement, de dessaler jusqu'à plusieurs millions de m³/jour. Un tel objectif correspond à une énergie produite de l'ordre du TWh.

4. Quelles trajectoires pour le Maroc au regard de son ambition de hub solaire régional ?

Sur la base des différentes activités développées par le Maroc dans le secteur solaire et en tenant compte de l'ambition du pays d'accéder à un rôle central dans la région, nous avons identifié quatre trajectoires différentes que le Maroc pourrait suivre pour devenir une plaque tournante de l'énergie solaire. Ces trajectoires reflètent les formes possibles d'interaction externe du Maroc avec ses voisins du Nord et du Sud (respectivement l'Europe et l'Afrique), sur la voie de la construction d'un hub pour l'énergie solaire [Kettani, 2021]. Ces quatre trajectoires sont les suivantes :

Trajectoire 1 : Exportations massives d'électricité solaire vers les marchés étrangers

Cette trajectoire favorise les échanges transfrontaliers d'électricité solaire et la création de marchés régionaux pour l'énergie solaire. Elle nécessite un engagement politique fort et durable avec des partenaires fiables (souvent financeurs) pour renforcer les institutions régionales et les infrastructures de transmission, et un équilibre entre les besoins du marché intérieur et les exportations vers les marchés étrangers. En développant cette stratégie, le Maroc bénéficierait de son avantageuse situation géographique vis-à-vis de l'Europe. Les enjeux seraient aussi tournés vers l'Afrique. Peut-être même avec le voisin algérien : la baisse des tensions avec l'Algérie étant un facteur déterminant dans la réalisation d'un grand réseau THT circumméditerranéen, épine dorsale de nombreux projets européens. D'autres pays africains, plus au Sud, pourraient être aussi concernés dans un second temps.

Au total, l'enjeu est bien différent que de placer le Maroc dans la position des pays pétroliers du Golfe au début du xx^e siècle. Il s'agit de monter un véritable partenariat avec l'Europe, au-delà des exportations d'électricité : production locale de matériel, éducation, R&D... qui sont à même de renforcer les autres piliers. Cette trajectoire ressort essentiellement d'actions institutionnelles, mais est grevée par de fortes incertitudes sur lesquelles le Maroc n'a que peu d'influence (si l'on excepte la relation Maroc-Algérie) : voir la matrice SWOT. Exemple de telles initiatives : SET Roadmap (France, Espagne, Portugal, France, Maroc) et plus récemment Xlinks (Royaume-Uni, Maroc).

Trajectoire 2 : Exportations de services liés aux installations solaires

Dans cette trajectoire, le pays exporte le modèle marocain de déploiement de l'énergie solaire à ses voisins africains, dans ses différentes dimensions (technologie, électrification rurale et réseaux locaux, gestion de réseau centralisé, exploitation, maintenance, études et projets). Le volet technologique, dans un premier temps, serait le moins développé, au profit des services (en se différenciant de la trajectoire 3). En privilégiant cette trajectoire, le Maroc tenterait en priorité d'accroître son positionnement dans la diffusion des technologies solaires, soit par une collaboration directe avec les pays africains, soit dans le cadre d'initiatives régionales soutenues par les institutions de développement (voir le lien avec la trajectoire 1). Outre la construction et le raccordement d'installations, nous avons montré que le Maroc pourrait fournir une variété de services couvrant toutes les étapes des projets énergétiques mobilisant l'énergie solaire, sous toutes ses formes, centralisée ou non, notamment l'évaluation des ressources solaires et la sélection des sites, la structuration financière des projets solaires, l'assistance technique pour l'exploitation et la maintenance des centrales solaires ou la mise en place de la tarification et de la facturation. Comme nous venons de le voir, ce pays dispose d'un avantage spécifique en ce qui concerne la technologie CSP et pourrait se placer assez vite favorablement

en matière de dessalement par le solaire. En partageant les connaissances ainsi acquises, le Maroc peut renforcer sa position dans le transfert de savoir-faire et de compétences Sud-Sud (projets solaires centralisés et décentralisés dans le secteur de l'électricité et d'autres secteurs stratégiques comme l'agriculture et l'eau).

Trajectoire 3 : Exportations d'équipements de technologies solaires

Il ne peut être question pour le Maroc de rivaliser demain avec les grands pays producteurs d'équipements de production, en tout cas pour ce qui est des panneaux PV. Le cas du CSP est assez différent, car les technologies sont plus à sa portée (fabrication et installation des miroirs, mécanique de suivi éventuel, câblage, stockage de la chaleur et gestion des fluides, production d'électricité en aval; l'électronique de puissance est toutefois un domaine difficile à localiser sur place). Mais, dans tous les cas, la réalisation de programmes solaires significatifs (fermes solaires ou solaire décentralisé) mobilise des classes de matériels de technologies intermédiaires (mécanique, électricité, génie civil) qui sont maîtrisées par les entreprises marocaines et sont directement exportables. À un terme de 10 à 20 ans, cette trajectoire nécessite une forte capacité de recherche (voir trajectoire 4), des compétences techniques ainsi qu'un engagement politique fort et des moyens en proportion pour la mise à niveau industrielle des entreprises locales. Le Maroc pourrait alors progressivement devenir une plateforme pour l'approvisionnement régional en composants solaires, «fabriqués au Maroc», et contribuer à la construction de chaînes de valeur régionales pour les technologies solaires (avec l'Europe et les voisins africains). Le Maroc pourrait ainsi accéder en partie au statut de hub régional, avec un rôle de fédération d'une constellation de centres économiques, en commençant par l'aval des chaînes de valeur.

Trajectoire 4 : Collaboration internationale pour la R&D

Dans toutes les trajectoires précédentes, le Maroc se positionnerait en forte collaboration

avec des entreprises et des institutions internationales. Dans cette trajectoire, le Maroc a recours à une collaboration spécifique portant sur l'innovation et la R&D (en particulier la recherche appliquée) comme canal pour étendre sa «diplomatie solaire» en attirant des institutions de recherche internationales et des acteurs industriels majeurs dans le secteur du solaire. En poursuivant cette trajectoire, le Maroc deviendrait un pivot dans un réseau de plateformes régionales de recherche et de formation en matière d'énergie solaire, en coopération avec des acteurs européens et internationaux (pour le transfert Nord-Sud de compétences et de savoir-faire) et dans une logique de partage de ressources et de création de synergies avec des partenaires africains. Le développement de projets pilotes et de démonstrateurs contribuerait ainsi à l'émergence de solutions innovantes adaptées au contexte africain, pour le secteur électrique et dans d'autres secteurs pour lesquels les applications des technologies solaires apparaissent comme une solution attractive (durabilité des composants dans des conditions difficiles, performance des technologies et réduction des coûts, couplage solaire avec des unités de dessalement et pour l'agriculture...). De tels programmes s'inscrivent dans une logique de long terme (voir supra), mais pourraient bénéficier de la volonté de pays du Nord de mettre en place des collaborations fortes avec des pays du Sud, dans le cadre des actions de lutte contre le dérèglement climatique. Exemple de telles initiatives : Plateforme ivoirienne d'expérimentation, de recherche et de formation (en collaboration avec le Parc vert de l'énergie marocain).

Ces différentes trajectoires seront plus aisées à suivre dès lors que les marchés du solaire se développeront au sein de l'économie marocaine, renforçant ainsi une base de compétences et d'expérience, qui sera très utile au plan régional. L'analyse du potentiel du développement du solaire électrique évoquée plus haut nous a conduits à chiffrer un accroissement de l'énergie produite compris entre 2 et 5 TWh, soit de 4 à 10 GW à l'horizon 2040 (la fourchette haute incluant un programme de type Desertec, qui pourrait excéder encore ce

niveau, compte tenu de sa vocation majoritaire à l'export). Cette fourchette, dépendante de facteurs externes et de la stratégie marocaine à venir, permet d'envisager (essentiellement pour le haut de la fourchette) une dynamique attirant des moyens (talents, financement, mobilisation des acteurs de terrain et des territoires) qui positionnerait le pays dans une moyenne haute au regard de ses voisins africains. Bien sûr, le positionnement marocain comme hub en serait conforté.

Il serait fécond de croiser avec soin les résultats sectoriels de potentiel de développement du solaire et les technologies sous-jacentes, porteuses d'opportunités souvent différentes. Le Tableau 5 propose une analyse sommaire de ces relations, en illustrant les interdépendances entre filières d'offre et usages. Par exemple, il positionne le PV *off grid* comme bénéficiant d'un intérêt certain dans des usages aussi différents que le dessalement et l'alimentation plus classique des villages éloignés du réseau national. On constate aussi que le CSP apparaît légèrement moins bien positionné que le PV. Il ne faut toutefois pas oublier que ces moyens de production peuvent s'avérer complémentaires dans la perspective de la gestion du réseau. Ce type d'analyse, confortée par les perspectives correctes du CSP au plan économique (cf. supra), contribue à justifier un effort continu dans la filière CSP, laquelle constitue une des spécificités marocaines.

Une fois les trajectoires précédentes identifiées, nous avons sollicité les experts pour évaluer la maturité actuelle du Maroc, et son évolution à 2040, selon ces trajectoires. Comparativement aux résultats concernant les piliers évoqués plus haut, les résultats relatifs aux trajectoires sont plus dispersés entre les populations d'experts, mais font apparaître certaines tendances. Les quatre trajectoires proposées sont toutes considérées comme ayant une assez faible maturité aujourd'hui, mais avec un potentiel de progression d'ici 2040. L'évolution de la maturité des trajectoires 1 (exportations massives d'électricité solaire) et 2 (exportations de services solaires) suit un schéma assez similaire. Elles semblent être les trajectoires les plus

Secteurs	PV grandes unités <i>on-grid</i>	CSP grandes unités <i>on-grid</i>	PV petites unités <i>on-grid</i>	PV <i>off-grid</i>	CSP <i>off-grid</i>
Agriculture	+++	++	+	+	
Dessalement				+++	+++
Industrie	+++	++			
Tertiaire	+++	++	++	+	
Ville	+++	++	+	+	
Immeubles micro-réseaux	++	+	+	+	
Campagnes micro-réseaux	++	+	++	++	

Tableau 5. Lien entre développement de l'offre électrique solaire au Maroc et les opportunités de développement au sein des secteurs de demande

matures et crédibles. Au contraire, la trajectoire 3 (exportation de technologies solaires) semble être la plus faible avec les niveaux de maturité les plus bas en 2020 et 2040. Même si les résultats indiquent une certaine confiance dans le fait que le Maroc pourrait progresser pour devenir un exportateur d'équipements solaires, cette trajectoire n'atteindrait un niveau encore modéré de maturité qu'en 2040 et semble plus spéculative. En ce qui concerne la trajectoire 4 (plateforme internationale de R&D), les résultats montrent une dispersion assez importante entre les populations d'experts. Avec les experts en R&D, ceux des consultants et agences s'accordent sur un potentiel modéré à fort de cette trajectoire. Les industriels semblent, par contre, être plus prudents. Selon eux, le niveau de maturité de la trajectoire 4, très faible en 2020, atteindrait un niveau modéré en 2040. Ce résultat révèle une différence de vision entre les institutionnels, pour beaucoup en faveur de coopération à court terme, et les acteurs directs de la R&D ou en lien étroit avec elle, qui mesurent différemment les difficultés à monter des centres de recherches et des programmes d'ampleur.

Ces dernières analyses, comme celles proposées plus haut dans le présent article, ne permettent pas de construire une nouvelle stratégie pour le développement du solaire au Maroc, même si celle-ci s'avère nécessaire. En effet, la stratégie solaire de 2009 est déjà bien loin, et le

monde a depuis très fortement évolué, en particulier suite à la pandémie de Covid-19. Pour ce faire, il manquerait dans notre travail notamment des objectifs chiffrés en matière de développement des trajectoires. Il manquerait aussi une évaluation des moyens à mettre en œuvre, assortis de calendrier. Il manquerait enfin une analyse des facteurs externes, des « assurances » à prendre et des inflexions à prévoir en cas d'évolution significative hors du cadre choisi. Une autre difficulté, que nous avons rencontrée à plusieurs reprises, provient de l'état des statistiques officielles (complétude, mise à disposition, cohérence) qui ne permet pas toujours de construire des visions robustes des phénomènes étudiés. *In fine*, construire une stratégie n'est pas notre rôle, ce type d'exercice étant de la responsabilité du gouvernement. Il est ainsi seul à même d'articuler une stratégie solaire avec la stratégie énergétique et climatique du pays, en cohérence avec sa stratégie industrielle.

Toutefois, l'analyse qui précède, axée sur l'influence régionale du Maroc, est susceptible d'éclairer les décisions en gestation. C'est ce que tente de synthétiser la conclusion qui suit.

5. Conclusion : quelles actions possibles à court terme dans le contexte de sortie de la pandémie de Covid ?

Dans le travail ici présenté, nous proposons une définition, souple mais opérationnelle, du concept que nous avons appelé «hub solaire global». Celui-ci vise à saisir les différentes dimensions des ambitions des dirigeants marocains au plan régional, qui n'ont jusqu'à maintenant pas été précisées. Cette définition repose sur l'identification d'indicateurs que nous appelons «piliers» du hub global. Le statut de hub serait atteint dès lors que leur niveau

de développement apparaîtrait suffisant au regard de l'objectif.

Un premier résultat est que l'atteinte conjointe des niveaux de développement des piliers, suffisants pour que le Maroc joue un rôle de leader au plan régional, ne serait que difficilement envisageable (selon les stratégies et moyens mis en œuvre) avant deux décennies. C'est notamment via une analyse SWOT que nous obtenons ce résultat. Le Maroc dispose en effet d'avantages très significatifs, tels son ensoleillement, ses compétences techniques en CSP, son expérience du développement des réseaux locaux, les synergies possibles entre solaire et éolien ou sa position géographique clé, aux portes de l'Europe, sa

Actions	Stratégie offensive	Stratégie défensive
Élaborer une feuille de route à moyen et long terme pour l'énergie solaire (par segment de marché, domaine d'action politique et calendrier)	Très fort	Fort
Explorer les possibilités d'accélérer l'utilisation de l'énergie solaire au-delà de l'électricité (chauffage, climatisation)	Fort	Faible
Investir dans les interconnexions et les infrastructures de réseau (Espagne, Portugal, Mauritanie, voire Algérie)	Très fort	Faible
Continuer de développer le CSP	Fort	Faible
Introduire les technologies «intelligentes»	Fort	Fort
Développer des mini-grids (avec lien <i>on-grid</i>)	Fort	Fort
Développer des mini et micro-grids (<i>off-grid</i>)	Très fort	Fort
Intensifier la coopération au plan diplomatique avec l'Union européenne (voire travailler à apaiser le conflit avec l'Algérie)	Très fort	Faible
Diversifier la coopération solaire avec d'autres pays étrangers d'Europe ou de Chine (coentreprises, programmes de formation interentreprises)	Fort	Faible
Créer des centres d'excellence dans des technologies de niche telles que le dessalement solaire en partenariat avec un centre de recherche européen	Fort	Faible
Renforcer la formation des acteurs de la filière et développer la recherche (focalisées en priorité sur les niches supra)	Très fort	Faible
Encourager le secteur bancaire national à acquérir une expertise dans le financement des projets solaires (coopération avec les banques étrangères)	Fort	Fort

Tableau 6. Priorisation des actions à développer dans le cas de stratégies vers un hub solaire

capacité diplomatique de premier ordre dans la région. Mais des obstacles perdurent, outre une performance économique globale en demi-teinte, comme un niveau de formation encore insuffisant, une gouvernance du secteur électrique complexe, un cadre réglementaire encore incomplet, une réforme de la tarification de l'électricité qui tarde, des relations très dégradées avec son voisin algérien... Il faut toutefois noter que la majorité de ces obstacles est à la main du gouvernement.

Une fois ces constatations établies, ces définitions posées, et ces premiers résultats obtenus, 4 trajectoires ont été formulées pour le développement des piliers du hub global. Elles ne sont pas exclusives, mais leur examen, corroboré par une enquête auprès d'un panel d'experts de multiples origines, permet de privilégier des voies telles que la coopération internationale avec l'Europe — mais aussi les pays voisins — en exportant massivement de l'électricité verte, et la vente de services associés au solaire (conception, exploitation, maintenance, financement, insertion dans les réseaux, tarification et facturation en particulier) essentiellement dirigée vers les pays africains. Ce n'est qu'à plus long terme qu'apparaissent les trajectoires complémentaires (exportations d'équipements et constitution de plateformes régionales de R&D, notamment).

Pour finir, si la définition d'une stratégie en la matière n'est pas de notre ressort, il nous apparaît toutefois utile de proposer une priorisation des principales actions possibles, qui ont été décrites plus haut. L'esprit du Tableau 6 est de proposer pour la prochaine décennie une priorisation de ces actions, laquelle est structurée au regard de l'ambition (stratégie défensive ou stratégie offensive) que le gouvernement choisira pour sa stratégie solaire et son ouverture à la région.

L'examen de la future stratégie solaire marocaine pourra notamment être mené avec cette grille de lecture, laquelle devrait permettre d'en apprécier le volontarisme et peut-être même d'identifier une volonté spécifique au

plan régional, sur le chemin de ce que nous avons appelé le «hub global».

RÉFÉRENCES

- Agator, J.-M., Devezeaux de Lavergne, J.-G., 2018. Le solaire photovoltaïque à la lumière des sciences humaines et sociales : état des lieux et perspectives. In «Sciences humaines et sociales : Photovoltaïque», Agator & Devezeaux de Lavergne edtrs, collection Actes n° 1, 2018, ISBN 978-490369-00-3, pp. 7-31.
- Bouchaou, L., Choukr-Allah, R., Hirich, A., Ennasr, M.S., Malki, M., Abahous, H., Bouaakaz, B., Nghira, A., 2017. Climate change and water valuation in Souss-Massa region: Management and adaptive measures.
- Camos, D., Bacon, R., Estache, A., Hamid, M.M. (Eds.), 2018. Shedding light on electricity utilities in the Middle East and North Africa: insights from a performance diagnostic, Directions in development. Energy and Mining. World Bank Group, Washington, D.C.
- CESE, 2020. Accélérer la transition énergétique pour installer le Maroc dans la croissance verte.
- CESE, 2019. Le nouveau modèle de développement du Maroc.
- Chambre de Commerce d'Industries et de Services d'Agadir, 2017. Dossier de presse, Chtouka Ait Baha la nappe phréatique enfin protégée des abus.
- Elame, F., Doukkali, M.R., Fadlaoui, A., 2013. La gestion intégrée de l'eau à l'échelle du bassin de Souss-Massa : développement d'un modèle intégré de bassin.
- Énergie & Stratégie, 2017. Le Maroc à l'heure de la R&D en énergies renouvelables.
- HCP, 2014. Enquête nationale des dépenses de consommation des ménages 2013-2014.
- HCP, Système des Nations unies au Maroc, Banque mondiale, 2020. Note Stratégique. Impact social & économique de la crise du Covid-19 au Maroc.
- IEA, 2020a. World Energy Balances.
- IEA, 2020b. Electricity Information 2020.
- IEA, 2020c & 2021. IEA Data Services.
- IEA, 2019. Energy policies beyond IEA countries, Morocco 2019.
- Kettani, M., 2021. Le Maroc, hub du développement de l'énergie solaire en Afrique du Nord : scénarios et facteurs de succès (Thèse en Sciences économiques, Université Paris-Saclay).
- Kettani, M., Bandelier, P., 2020. Techno-economic assessment of solar energy coupling with large-scale desalination

plant: The case of Morocco. *Desalination* 494, 114627. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114627>.

Kettani, M., Sanin, M.-E., 2021. The Impact of the Covid Pandemic: What Can We Expect for Morocco's Energy Future? In *Energy Transition, Climate Change, and Covid-19*, Belaïd & Creti eds, Springer V. ISBN 978-3-030-79-713-3. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-79713-3>.

Lavergne R., 2015. Maroc : Une transition énergétique sans préjugé, *La Revue de l'Énergie*, n° 624, mars-avril.

Lee, J., Shepley, M., 2020. Benefits of solar photovoltaic systems for low-income families in social housing of Korea: Renewable energy applications as solutions to energy poverty. *J. Build. Eng.* 28, 101016. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101016>.

Lydec, 2012. Que comprend le montant de votre facture?

Masen, 2020. Cartes des projets ENR [WWW Document]. Masen. URL <https://www.masen.ma/fr/projets> (accessed 3.21.21).

Masen, 2019. Brochure institutionnelle de Masen.

Ministère de la Transition énergétique et du Développement durable, 2018. Le Maroc avance à des pas sûrs vers l'intégration régionale des marchés électriques.

Ministère de l'Économie, des Finances et de la Réforme de l'administration, 2020. Projet de Loi de Finances pour l'année budgétaire 2020. Rapport sur la compensation.

Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2012. Les énergies renouvelables au Maroc : stratégie et plan d'action.

Ministère délégué auprès du ministre de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement, 2016. 3^e communication nationale du Maroc à la Convention-cadre des Nations unies pour le changement climatique.

Nygaard, I., Dafrallah, T., 2016. Utility led rural electrification in Morocco: combining grid extension, mini-grids, and solar home systems: Utility led rural electrification in Morocco. *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* 5, 155–168. <https://doi.org/10.1002/wene.165>.

ONEE, 2021. Électrification rurale.

ONEE, 2014. ONEE tarifs.

Seif-Ennasr, M., Zaaboul, R., Hirich, A., Caroletti, G.N., Bouchaou, L., El Morjani, Z.E.A., Beraaouz, E.H., McDonnell, R.A., Choukr-Allah, R., 2016. Climate change and adaptive water management measures in Chtouka Aït Baha region (Morocco). *Sci. Total Environ.* 573, 862–875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.170>.

Temasol, 2006. Au Maroc, grâce à l'énergie solaire, les foyers les plus isolés accèdent au confort de l'électricité.

UNEP DTU, Partnership, 2017. Programme de déploiement à grande échelle de toits solaires photovoltaïques raccordés au réseau basse tension dans le secteur résidentiel. Volume 1 : Contexte, analyse économique et potentiel du marché.

Vergne, C., 2014. Le modèle de croissance marocain : opportunités et vulnérabilités.

Verme, P., El-Massnaoui, K., Araar, A., 2014. Reforming Subsidies in Morocco.

Verme, P., El-Mesnaoui, K., 2015. An Evaluation of the 2014 Subsidy Reforms in Morocco and a Simulation of Further Reforms.

World Resources Institute, 2013. Water stress by country.

NOTES

1. Il s'agit ici du résidentiel à proprement parler auquel s'ajoute la très faible consommation du secteur du commerce et des administrations.

2. Il n'y a pas de chiffres officiels sur la puissance installée en milieu rural grâce au PERG. Les foyers équipés de kits PV ont le choix entre deux systèmes : un premier d'une puissance de 75 Wc : 4 lampes et 1 prise (audio-visuel) ou un système 200 Wc : 4 lampes, 3 prises (audio-visuel et réfrigération). Il est difficile d'obtenir une information fiable sur la répartition des foyers équipés en fonction de la puissance installée.

3. Devenue depuis Agence de la Transition Écologique (en gardant le même sigle).

4. Exemple de la «Desert power initiative» portée par la Banque Africaine de Développement, qui vise l'installation de 10 000 MW d'énergie solaire à 2025 dans le groupe G5 du Sahel (Mauritanie, Tchad, Mali, Burkina Faso, Niger).

5. <https://aujourd'hui.ma/special/rachid-bouguern-le-maroc-dispose-d-un-gisement-solaire-considerable-101150>.

<https://leseco.ma/business/le-maroc-reaffirme-son-ambition-de-devenir-un-hub-energetique-africain.html>.

<https://afrique.latribune.fr/entreprises/industrie/energie-environnement/2020-02-03/le-maroc-tete-de-proue-d-une-integration-energetique-euro-africaine-838647.html>.

Les auteurs remercient les commentaires de plusieurs référés de *La Revue de l'Énergie* pour la pertinence de leurs commentaires, en particulier relativement au contexte réglementaire et commercial.

Maria Eugenia Sanin remercie le soutien de la Chaire Énergie et Prospérité.