

# Soutien à la révision des CDN

---

**Rapport final**



***Renforcement de capacités en  
modélisation énergétique à long terme***

**Mali**

**CAEP - Activité A446**

---

**Livrable de projet**

**IRENA**

# Avis de non-responsabilité

La présente publication et les éléments qu'elle contient sont fournis « en l'état ». L'IRENA a pris toutes les précautions raisonnables pour vérifier la fiabilité des éléments contenus dans la présente publication. Cependant, ni l'IRENA ni ses responsables, agents, fournisseurs de données ou autres fournisseurs tiers de contenus n'offrent une quelconque garantie, explicite ou implicite, concernant les conséquences éventuelles de l'utilisation de la publication ou des éléments qu'elle contient, et ils déclinent toute responsabilité à cet égard. Les informations figurant dans le présent rapport ne représentent pas nécessairement les opinions des membres de l'IRENA. La mention d'entreprises spécifiques ou de certains projets ou produits n'implique pas leur approbation ou leur recommandation par l'IRENA par rapport à d'autres entreprises, projets ou produits de nature similaire qui ne sont pas cités. Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, aucune prise de position quant au statut juridique des régions, pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

## Révisions du document

| Version | Date       | Préparée par    | Vérifiée par                       | Validée par  |
|---------|------------|-----------------|------------------------------------|--------------|
| 1       | 15/06/2021 | Sebastian Sterl | Simon Benmarraze,<br>Nopenyo Dabla | Asami Miketa |

## Remerciements

Cette étude est le résultat de la collaboration continue entre la Commission européenne et l'IRENA, mise en œuvre par le Fonds d'assistance technique (EU-TAF) pour l'énergie durable financé par l'UE. Les informations et les points de vue exposés dans cette publication sont ceux de l'auteur ou des auteurs et ne reflètent pas nécessairement l'opinion officielle de la Commission européenne. La Commission européenne ne garantit pas l'exactitude des données incluses dans cette publication. Ni la Commission européenne ni aucune personne agissant au nom de la Commission européenne ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans cette publication.



Experts EU-TAF : Federico Fische, Nicolas Fichaux, Alberto Ortiz, Ernesto Bonafe.

L'activité a été réalisée dans le cadre du *Climate Action Enhancement Package* (CAEP) du NDC Partnership et a été désignée avec l'identificateur A446 dans le cadre du CAEP.

NDC  
PARTNERSHIP

IN CONTRIBUTION TO THE NDC PARTNERSHIP



based on a decision of the German Bundestag

# Table des matières

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introduction.....   | 4  |
| 2     | Activité de formation .....                                     | 5  |
| 2.1   | Phase I.....  | 5  |
| 2.2   | Phase II.....   | 5  |
| 3     | Analyse du système électrique .....                             | 6  |
| 3.1   | Hypothèses de travail .....                                     | 6  |
| 3.2   | Intégration des énergies renouvelables .....                    | 7  |
| 3.2.1 | Réduction des coûts des énergies renouvelables .....            | 7  |
| 3.2.2 | Potentiel important des ressources renouvelables au Mali.....   | 8  |
| 3.2.3 | Rôle de la biomasse dans le secteur énergétique.....            | 10 |
| 3.3   | Scénario de base.....   | 10 |
| 3.4   | Scénarii alternatifs .....                                      | 13 |
| 3.5   | Le rôle futur du secteur hydroélectrique du Mali .....          | 18 |
| 3.6   | Considérations pour les autres sous-secteurs énergétiques ..... | 19 |
| 4     | Recommandations clés et leçons apprises .....                   | 20 |
| 5     | Références .....  | 21 |
| 6     | Appendice I : l’outil MESSAGE .....                             | 22 |
| 7     | Appendice II : séances de formation .....                       | 23 |
| 7.1   | Phase I.....  | 23 |
| 7.2   | Phase II.....   | 24 |

# 1 Introduction

Le soutien à la révision des Contributions Déterminées au Niveau National (CDN) de l'IRENA est une assistance non financière fournie aux pays membres qui prend la forme d'un partage d'informations et d'expertise et d'un transfert de connaissances et compétences pratiques, et peut également impliquer le transfert de données techniques. L'IRENA a acquis une vaste expérience sur de nombreux sujets techniques liés à la technologie des énergies renouvelables, sur la base de recherches publiées établies, d'enseignements et de formations, ainsi que d'outils et de bonnes pratiques qui peuvent être utilisés pour améliorer l'engagement climatique et mettre en œuvre des plans sectoriels climatiques nationaux.

L'assistance technique se concentre sur les besoins et priorités particuliers identifiés par les responsables nationaux et est réalisée par des experts reconnus pour examiner, aligner et soutenir la mise à jour et le renfort des objectifs actuels des CDN afin de combler les lacunes communes aux premières versions de CDN. Cela comprend, entre autres, un soutien à la quantification des options d'atténuation et d'adaptation, l'alignement des objectifs des CDN sur les politiques et stratégies nationales pertinentes, la mise à jour avec de nouvelles informations et données et la fourniture de formations sur la planification des systèmes énergétiques.

Dans le cadre de l'activité A446 du programme *Climate Action Enhancement Package* (CAEP) du *NDC Partnership* (NDCP), l'IRENA a proposé de soutenir le Mali en réalisant une étude technique du secteur de l'électricité (basée sur l'étude « *Planification et perspectives pour les énergies renouvelables: Afrique de l'Ouest* » réalisée par l'IRENA en 2018) et en organisant un programme de formation technique en modélisation énergétique, composé d'un cours à distance en autoformation et d'un atelier de formation en « semi-présentiel » à Bamako.

Ce soutien a pour but de soutenir les parties prenantes du Mali à identifier des priorités d'amélioration des mesures d'atténuation dans le secteur de l'électricité dans la préparation de la nouvelle version de la CDN malienne [1].

Ce document, qui constitue la dernière livrable de l'activité A446, décrit les étapes réalisées dans le cadre du programme de formation et les résultats du travail effectué, et fournit une liste de recommandations pour le sous-secteur électricité du volet énergie (voir l'Appendice I) de la nouvelle CDN proposées par l'IRENA et basées sur les résultats de la formation.

## 2 Activité de formation

### 2.1 Phase I

La première phase de la formation a eu pour objectif de familiariser les participants avec l'utilisation de l'outil de modélisation énergétique MESSAGE (voir l'Appendice II) et a eu lieu entre le 23 mars au 12 avril 2021. Il s'agissait d'une formation générale sur l'outil MESSAGE sous forme d'un cours d'autoformation à suivre par les participants.

Les sujets principaux ciblés dans les différents modules d'autoformation ont couvert, entre autres, une présentation générale de l'outil, les caractéristiques clés de l'outil, l'accès à l'outil et au soutien technique sur son utilisation, les principaux éléments d'une analyse, l'interface utilisateur, les entrées et extrants typiques, et des exemples d'analyses.

### 2.2 Phase II

La deuxième phase de la formation a eu pour objectif d'effectuer une analyse ciblée sur le secteur électrique du Mali afin d'élaborer quelques scénarii indicatifs pour éclairer les options dont le Mali dispose pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) à partir de la production d'électricité.

Cette phase a eu lieu le 17, 18, 19 et 20 mai 2021 sous forme d'un atelier de formation en « semi-présentiel » à l'hôtel Radisson Blu Bamako, avec participation virtuelle des intervenants de l'IRENA. L'atelier a consisté en plusieurs présentations de la part d'IRENA sur le sujet des énergies renouvelables et des sessions et exercices pratiques pour les participants pour approfondir leurs connaissances en modélisation énergétique.

## 3 Analyse du système électrique

### 3.1 Hypothèses de travail

Le point de départ de cette phase était une étude effectuée en 2018 par l'IRENA [2], en collaboration avec le Centre pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO (CEREEC), l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) et la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Parmi les participants aux sessions de formation organisées pour ladite étude figuraient des experts des bureaux de planification de ministères, d'entreprises de service public de distribution d'électricité et d'agences spécialisées de plusieurs pays ouest-africains, dont le Mali. La version du modèle du secteur électrique du Mali (développée avec l'outil MESSAGE) pour l'étude de 2018 a été mise à jour au cours de la formation de 2021, un processus guidé par le cadre de modélisation « *System Planning Test* » (SPLAT) de l'IRENA [3]. Il est à noter que la méthodologie SPLAT-MESSAGE a récemment été sélectionnée par l'agence AUDA-NEPAD de l'Union Africaine pour l'élaboration d'un Plan Directeur continental de transmission d'électricité.

Le modèle de départ (SPLAT-Mali) représente le parc de production d'électricité au Mali (à base de pétrole, de fioul lourd, d'hydroélectricité et de solaire photovoltaïque/PV), et comprend la production électrique alimentant le réseau au niveau de transmission, la production électrique au niveau de distribution, la production électrique hors réseau, et les importations d'électricité. La demande électrique est modélisée comme répartie sur quatre catégories avec des taux de croissance différents : urbain, rural, commercial et industriel. Il s'agit d'un modèle simplifié du secteur électrique du pays, dont l'objectif est d'identifier des opportunités les plus intéressantes en termes de coûts et de disponibilité, plutôt que de fournir une représentation complète du secteur électrique du pays.

La période historique du modèle couvre la période 2010-2020 et la période future s'étend à 2030. Un scénario conçu avec le modèle MESSAGE fournit une solution pour la production énergétique à travers la période future, en proposant des capacités d'approvisionnement qui contribueraient au mieux à l'atteinte d'un système à moindre coût sur l'horizon étudié, compte tenu des données d'entrée, telles que le taux de croissance de la demande.

Le modèle comprend un scénario de départ appelé « scénario de base », reflétant un scénario sans objectifs spécifiques relatives au secteur électrique. Dans le scénario de base, le taux de croissance de la demande électrique est supposé à 9% par an pour la catégorie *urbain*, 6% pour la catégorie *rurale*, et 10% par an pour les catégories *commercial* et *industriel*.

En terme de capacités additionnelles de production pour répondre à la demande électrique sur l'horizon de l'étude (2030), les options dont le Mali disposerait selon le scénario de base sont des nouvelles centrales/groupes thermiques, des centrales hydroélectriques (spécifiquement Gouina, Sotuba-II, Kénié et Taoussa), des nouvelles centrales solaire photovoltaïque (PV) ainsi que des systèmes PV connectés au niveau de distribution et hors réseau, des centrales éoliennes, et des centrales biomasse.

## 3. 2 Intégration des énergies renouvelables

### 3. 2. 1 Réduction des coûts des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables, notamment le solaire PV mais également l'éolien terrestre, ont connu une baisse prononcée de leurs coûts ces dernières années [4] (voir la Figure 1). Cette tendance se traduit par une forte baisse de coût de production (« *levelized cost of electricity* » ou LCOE en abrégé) des centrales électriques renouvelables qui approche de plus en plus les coûts des centrales thermiques les plus compétitives.

En conséquence de l'optimisation à moindre coût de l'approvisionnement énergétique effectuée par l'outil MESSAGE, la formation de l'IRENA a souligné l'importance d'utiliser des données mises à jour sur les coûts d'investissement et d'opération et maintenance des centrales électriques renouvelables.

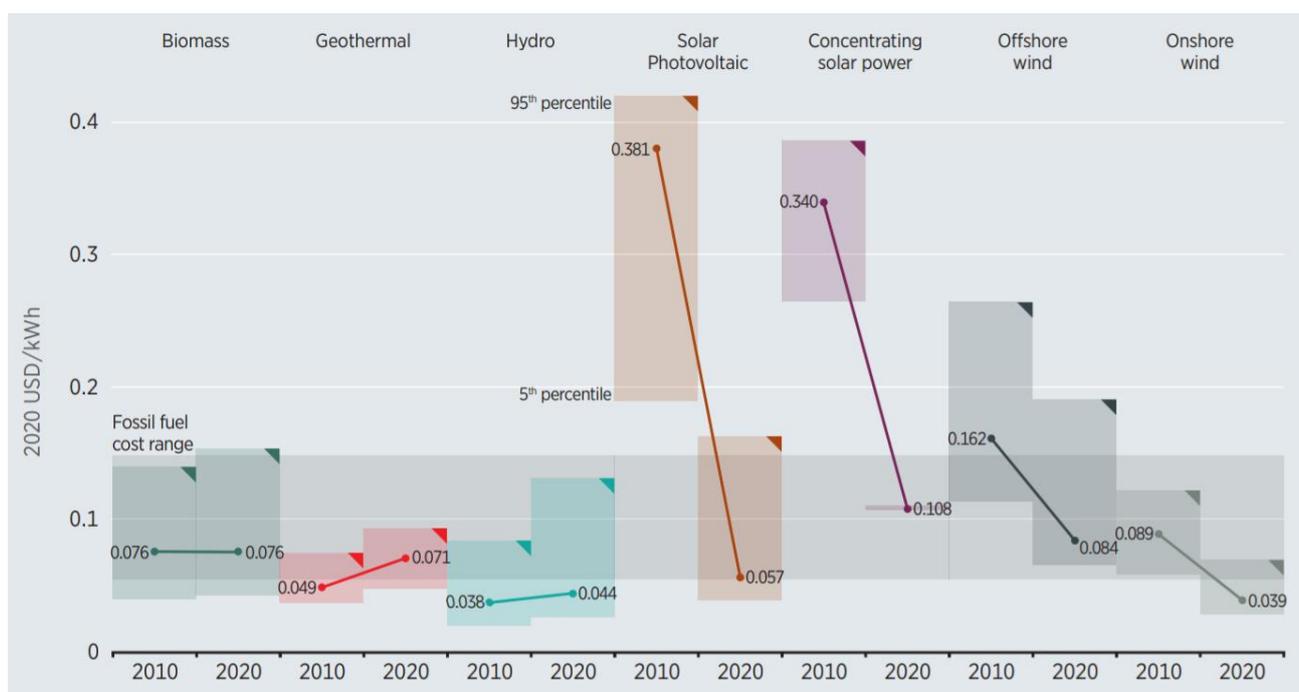


Figure 1 : Le développement observé récemment (2010-2020) des coûts des ressources renouvelables se traduit par une forte tendance à la baisse du coût actualisé de l'électricité (« *levelized cost of electricity* » ou LCOE en abrégé) qui approche de plus en plus les coûts des ressources thermiques les moins chères. La tendance a été la plus forte pour le solaire photovoltaïque. Source : référence [4].

Il a été montré que les résultats de la modélisation du scénario de base pour le Mali peuvent dépendre fortement des hypothèses notamment quant au développement des coûts d'investissement et d'opération et maintenance de centrales solaires et éoliennes.

L'un des exercices pratiques effectués pendant la formation avait pour objectif de comparer les résultats des scénarii basés sur des hypothèses optimistes concernant l'évolution des coûts des technologies renouvelables dans les années futures avec les résultats des scénarii basés sur des hypothèses pessimistes. Il a été démontré qu'un manque de prise en compte des tendances à la baisse des coûts des technologies renouvelables changerait largement les résultats du scénario de base en faveur des technologies non-renouvelables et polluantes. Par conséquent, l'IRENA a souligné l'importance de s'appuyer sur des données mises à jour reflétant au mieux les tendances à la baisse observées et projetées tout en représentant les conditions locales.

### 3. 2. 2 Potentiel important des ressources renouvelables au Mali

Une partie de la Phase II de la formation de l’IRENA a été dédiée à l’évaluation du potentiel solaire PV et éolien sur le territoire malien à travers différentes approches (modélisation, mesures, réanalyses météorologiques). L’importance de la résolution spatiale et temporelle ont été soulignées, et une liste de bases de données sur le potentiel solaire et éolien a été présentée. Le positionnement des différentes méthodes d’évaluation a également été éclairé dans le contexte de différentes étapes de planification énergétique – par exemple, le fait qu’une évaluation numérique suffirait pour alimenter des outils de planification à long terme, comme MESSAGE, mais serait insuffisante pour le développement et le financement de projets, pour lesquels des campagnes de mesures de la ressource seraient incontournables.

Pour appuyer le transfert de connaissances sur le potentiel de l’énergie solaire et éolienne sur le territoire malien, l’IRENA a présenté les résultats d’une analyse de zonage pour le Mali. Le zonage signifie une approche pour identifier les zones les plus adéquates pour les différentes énergies renouvelables et pour le développement de projets, compte prise de la qualité des ressources, de la présence des infrastructures (réseaux électrique et routier), ainsi que de l’exclusion de certaines zones en raison de la topographie, des aires protégées et de la couverture terrestre [5].

Les résultats du zonage pour le Mali sont présentés sur la Figure 2 (solaire PV) et la Figure 3 (éolien).

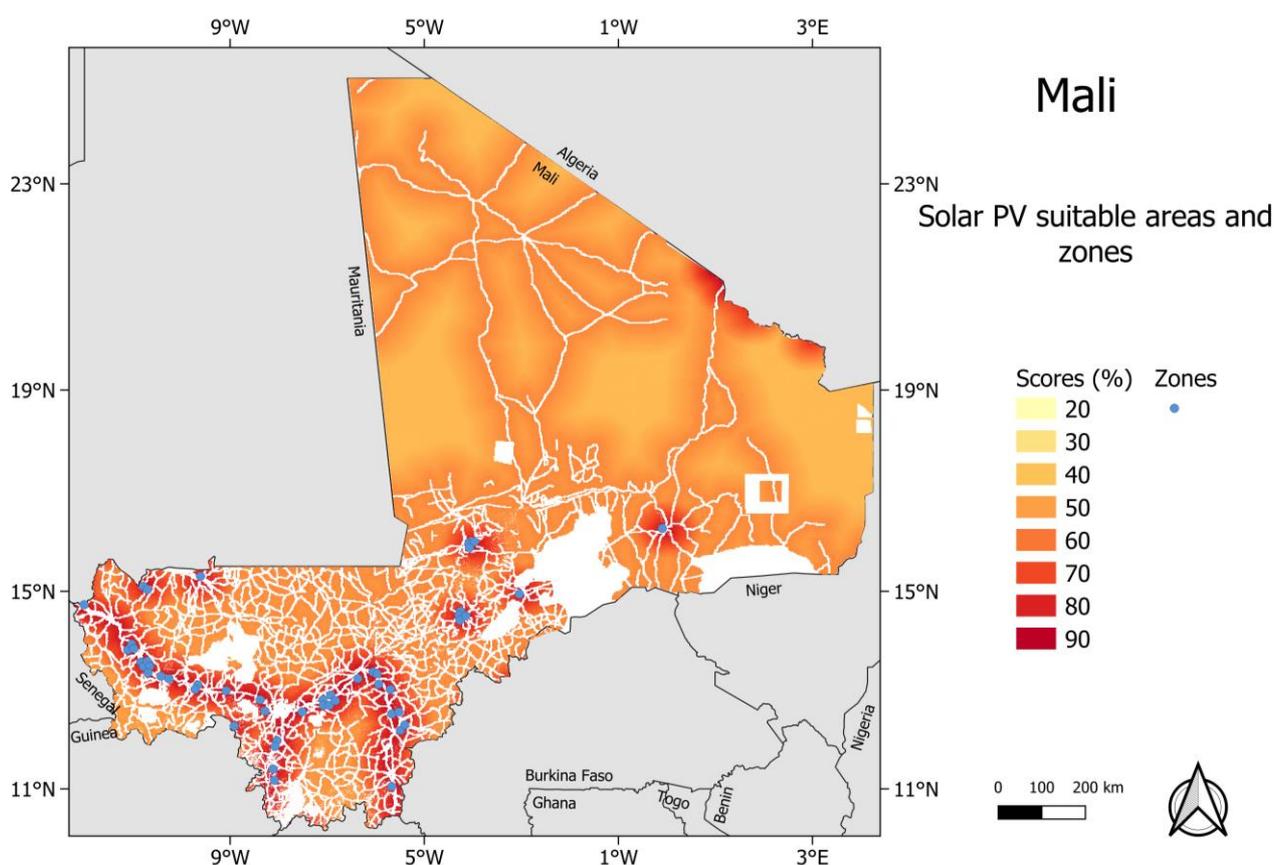


Figure 2 : Les résultats du zonage pour le solaire PV au Mali. Les couleurs (« scores ») font référence à l’aptitude de chaque région du Mali pour le développement des projets solaire PV. Les zones les plus propices identifiées sont indiquées par un marqueur bleu.

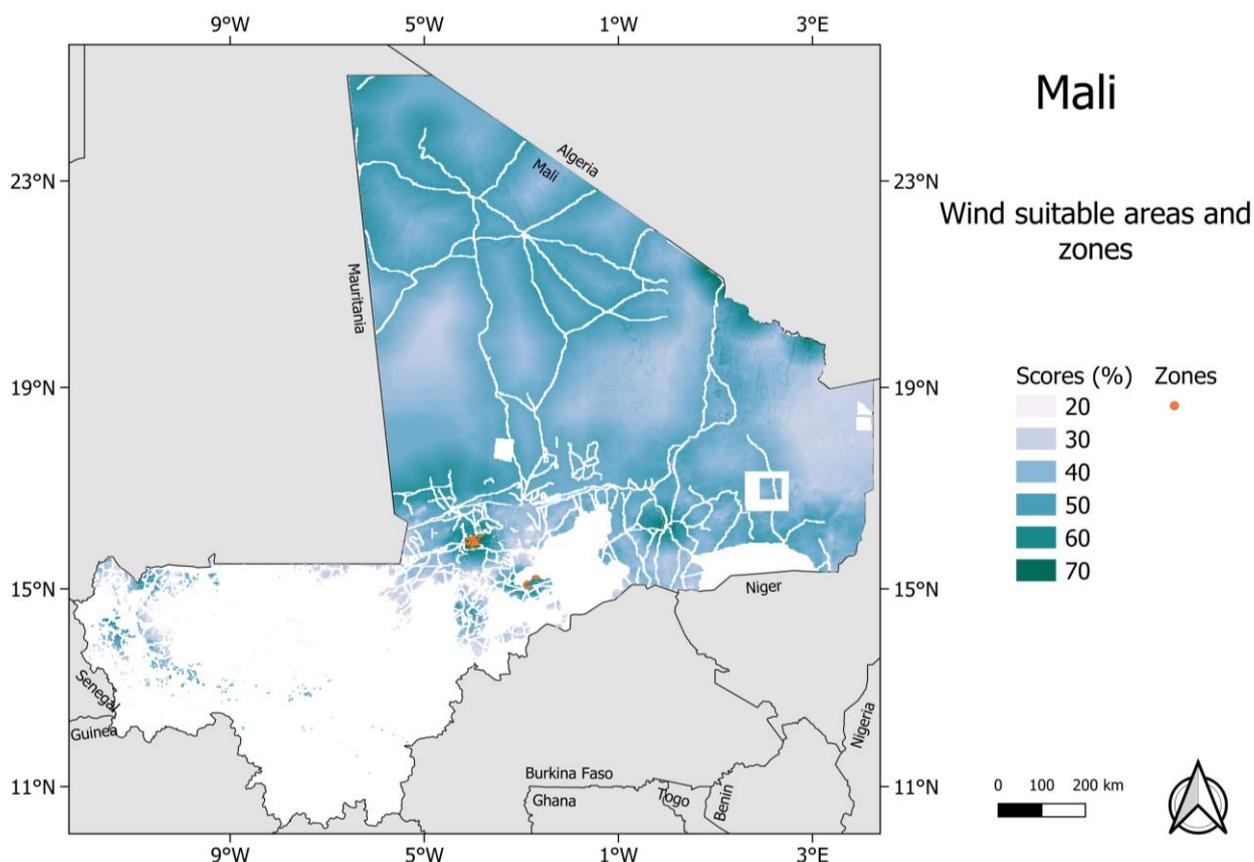


Figure 3 : Les résultats du zonage pour l'éolien terrestre au Mali. Les couleurs (« scores ») font référence à l'aptitude de chaque région du Mali pour le développement des projets solaire PV. Les zones les plus propices identifiées sont indiquées par un marqueur orange.

L'un des exercices de la formation s'est concentré sur l'analyse des résultats du zonage, qui fournit des séries temporelles à échelle horaire représentant la production électrique des centrales solaire PV et éolienne estimée pour les zones identifiées. Ces séries temporelles peuvent ainsi alimenter les modèles de systèmes électriques. Les participants ont appris comment de telles données peuvent être agrégées par tranche de temps saisonnière et journalière et entrées dans MESSAGE sous cette forme.

Un accent a été mis sur la variabilité journalière et saisonnière de la ressource solaire, dont le potentiel au Mali est extrêmement élevé. Elle jouera inmanquablement un rôle important dans les prochaines années mais son intermittence pourrait avoir des conséquences importantes sur le fonctionnement des réseaux électriques.

Dans ce contexte, la formation a souligné l'importance d'intégrer une résolution temporelle élevée dans la modélisation, notamment quand il s'agit de concevoir des scénarii dans lesquels les énergies variables notamment le solaire PV, pourraient jouer un rôle d'importance [6], [7]. Le modèle de départ avait une résolution temporelle de trois saisons, chacune avec trois ou quatre tranches de temps au niveau journalier. Il a été montré qu'en passant à dix tranches de temps, la modélisation du fonctionnement du système électrique pourrait être d'une bien meilleure qualité en mettant en lumière le rôle potentiel des différentes capacités pour répondre (i) à la charge de pointe et (ii) à la variabilité des énergies renouvelables. Il a été noté que l'éolien, dont le cycle diurne au Mali serait typiquement complémentaire à celui du solaire PV [2], [8]–[10], pourrait potentiellement jouer un rôle pour soutenir l'intégration du solaire PV dans le mix électrique. Cela ne peut être éclairé qu'en utilisant des données à haute résolution temporelle.

Finalement, l'importance du cycle saisonnier de la production hydroélectrique a été notée. Une séance de formation a été tenue autour du sujet de la modélisation des centrales hydroélectriques, distinguant entre centrales au fil de l'eau, centrales avec réservoir et systèmes en cascade. L'IRENA a également montré comment des données sur la saisonnalité de l'hydroélectricité (pour les centrales existantes ainsi que les centrales futures) peuvent être trouvées dans son nouveau Atlas de l'Hydroélectricité Africain [11].

### 3. 2. 3 Rôle de la biomasse dans le secteur électrique

Dernièrement, une discussion a été tenue autour du rôle potentiel que la biomasse pourrait jouer dans le secteur électrique (et énergétique plus largement dit) du Mali. D'après les scénarii élaborés avec MESSAGE par rapport aux autres ressources, elle pourrait jouer un rôle dans la planification énergétique, notamment quand il s'agit des scénarii avec des limites strictes sur les émissions de gaz à effet de serre. Ceci est grâce à la flexibilité des centrales à biomasse qui pourraient ainsi appuyer la stabilité du réseau dans le contexte d'un part important des ressources variables telles que le solaire PV et l'éolien, sans entraîner la combustion des ressources fossiles.

## 3. 3 Scénario de base

Les résultats du scénario de base, compte tenu de la mise à jour des coûts, des profils temporels des énergies renouvelables, et de la résolution temporelle, apparaissent sur la Figure 4 avec une estimation de la puissance installée et de l'approvisionnement électrique suggérés par le modèle comme meilleure option pour répondre à la demande durant la période 2020-2030.

Il est clair que le scénario de base fournit déjà quelques leçons importantes quant à la planification du secteur électrique afin d'atteindre un système le moins coûteux.

Premièrement, les résultats démontrent qu'une forte priorisation du solaire PV serait l'option la plus appropriée pour le Mali en raison de l'omniprésence de la ressource solaire et des coûts très compétitives des installations solaires PV.

Deuxièmement, le scénario de base suggère également que la présence continue des ressources thermiques dans le bouquet électrique serait nécessaire. Ceci servira à fournir la flexibilité d'acheminement requise pour soutenir l'intégration sur réseau de centrales solaires à caractère intermittent tant que le stockage électrique ne devienne pas plus abordable.

Troisièmement, le scénario confirme que la ressource éolienne, dont le Mali dispose d'un bon gisement mais qui reste moindre à celui du solaire, pourrait effectivement être un complément intéressant au solaire, notamment grâce à son cycle journalier complémentaire au cycle solaire (voir section 3. 2. 2) et ses coûts déjà très bas par rapport aux autres ressources thermiques et renouvelables (voir Figure 1). La biomasse apparaît également comme option additionnelle.

Une visualisation des résultats par tranche de temps permet de montrer comment (i) le solaire pourrait aider à réduire le recours aux importations et aux ressources thermiques pendant la journée, (ii) le réglage de l'hydroélectricité et des centrales thermiques au niveau journalier aiderait à gérer la variabilité de la ressource solaire, et (iii) les synergies entre le solaire et l'éolien seraient intéressantes à long terme. Cela est montré sur la Figure 5 (scénario de base, année 2030).

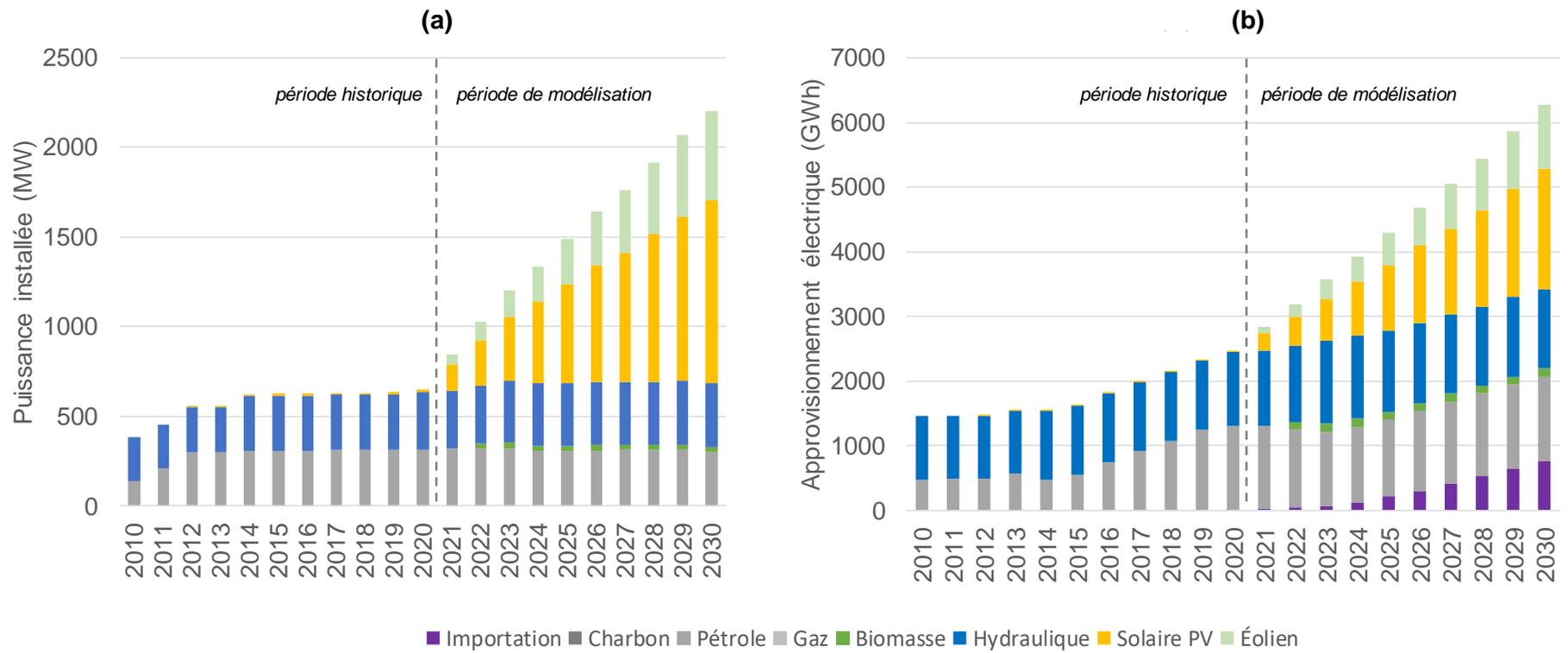


Figure 4 : La puissance installée (a, en MW) et l'approvisionnement électrique (b, en GWh) du Mali selon le scénario de base à l'horizon 2030.

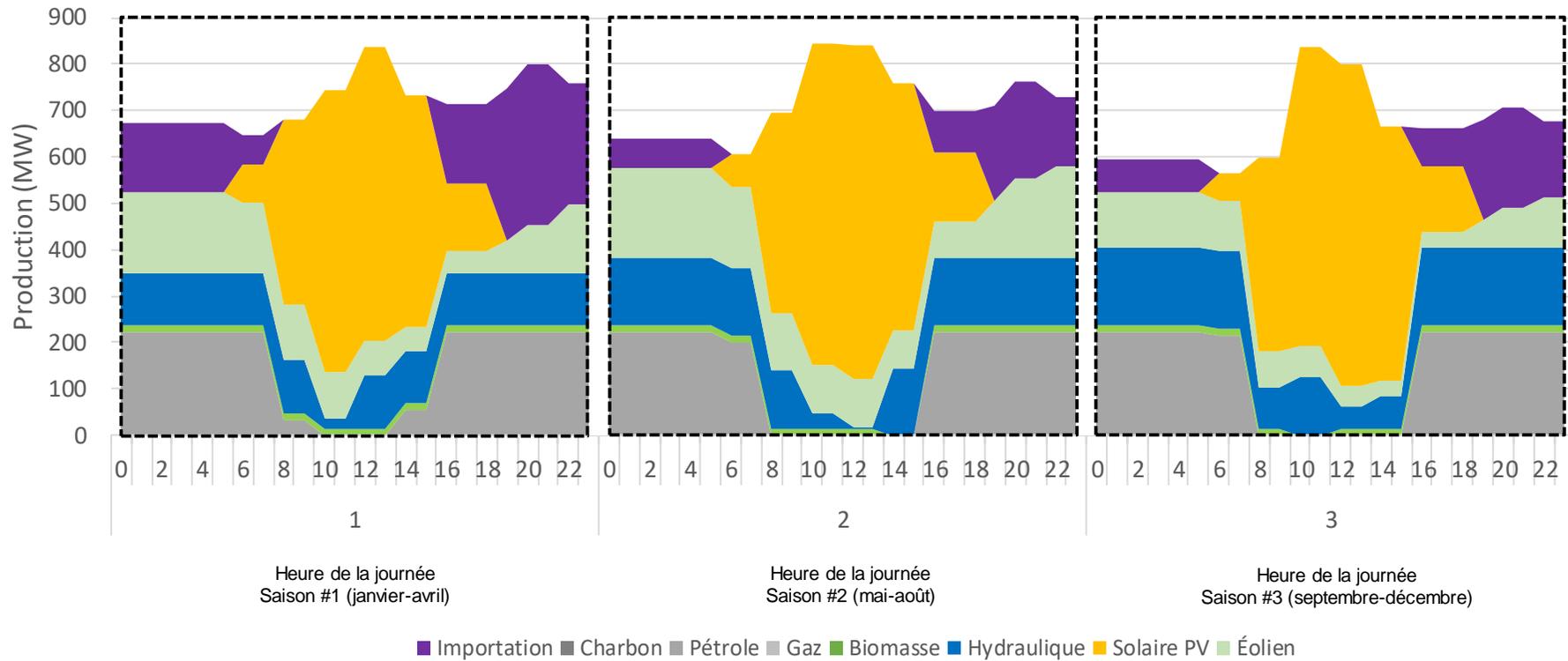


Figure 5 : La production électrique journalière typique, répartie par type d'énergie, pour chaque tranche de temps au fil des trois saisons pour l'année 2030 dans le cadre du scénario de base.

## 3. 4 Scénarii alternatifs

Les travaux associés à l'élaboration et de la révision des CDN doivent inclure le développement d'un scénario permettant l'évaluation d'un système électrique le moins coûteux intégrant les objectifs de politique environnementale et énergétique. Une session de formation a été dédiée à l'inclusion des contraintes dans la modélisation, portant sur, parmi autres, (i) les dates de mise en service des centrales thermiques ou renouvelables, (ii) des limites supérieures sur les émissions des gaz à effet de serre à partir de la production électrique, et (iii) des objectifs pour l'atteinte d'une part minimum ou maximum dans le mix électrique d'une certaine ressource, par exemple l'hydroélectricité ou l'ensemble des énergies renouvelables incluant le solaire et l'éolien.

Deux scénarii ont été présentées dans l'une des sessions pratiques de la formation. Le premier scénario (« *DD* », pour *développement durable*) a eu pour facteur d'optimisation une limite stricte sur les émissions de gaz à effet de serre à partir de la production électrique, dont le niveau ne peut pas dépasser 500 ktCO<sub>2</sub>e/a après 2025. Les résultats de ce scénario (visualisés par tranche de temps) sont illustrés avec la Figure 6.

Le second scénario (« *RElim* ») a eu pour facteur d'optimisation une limite supérieure de 7.5% des ressources intermittentes (solaire PV et éolien) dans le mix électrique à l'horizon 2030 afin de montrer les effets d'une telle limite sur les coûts du système ; les résultats par tranche de temps de ce scénario sont illustrés avec la Figure 7.

L'objectif de ces scénarii est d'éclairer, de façon globale, le potentiel des ressources renouvelables pour réduire les émissions de gaz à effet de serre sans entraînant des coûts additionnels par rapport au scénario de base (qui ne contient pas les contraintes).

Les émissions de GES d'ici 2030 sous chaque scénario sont énumérées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Le développement des émissions de GES dans les trois scénarii élaborés – Base, DD, et RElim – pour les années 2020 (dernière année de la période historique du modèle) et 2030 (horizon de l'étude), ainsi que la croissance des émissions dans la période modélisée (présent – 2030).

| Scénario | Émissions de GES de la production électrique – 2020 (ktCO <sub>2</sub> e/a) | Émissions de GES de la production électrique – 2030 (ktCO <sub>2</sub> e/a) | Croissance des émissions 2020-30 (%) |
|----------|---|---|--------------------------------------|
| Base     | 988   | 996   | +1%                                  |
| DD       | 988   | 500 ( <i>contrainte</i> )   | -49%                                 |
| RElim    | 988   | 2057  | +108%                                |

Il est clair que les émissions de gaz à effet de serre resteraient relativement stabilisées sous le scénario de base dans la période 2021-2030, conséquence d'un déploiement ambitieux de centrales solaires et éoliennes pour répondre à la demande croissante (Figure 4). En revanche, le scénario « *DD* », avec une limite de 500 ktCO<sub>2</sub>e/a en place à partir de 2025, s'avère réalisable en augmentant la puissance installée des centrales à biomasse et la part des importations dans le mix électrique par rapport au scénario de base (Figure 6).

Le scénario « *RElim* » aurait pour conséquence une augmentation considérable des émissions. Cela est dû au fait que les ressources renouvelables non-intermittentes (hydro et biomasse) ne seraient pas en mesure de couvrir toute la demande : le potentiel hydroélectrique au Mali n'est pas suffisamment élevé, et les coûts des centrales à biomasse seraient relativement élevés par rapport

aux ressources thermiques, qui sont par conséquent largement préférées par le modèle pour arriver à un système à coût optimisé (Figure 7).

Il est clair que toute contrainte additionnelle entraînerait des coûts supplémentaires par rapport au scénario de base. Comme le montre le Tableau 2, les mesures additionnelles sous « DD » pour réduire les émissions de gaz à effet de serre auraient un effet plus léger sur l'augmentation des coûts que « RElim ». Ce dernier scénario nécessiterait une croissance considérable de la consommation des combustibles thermiques pour répondre à la demande, ce qui entraînerait des surcoûts.

Ceci montre qu'un déploiement ambitieux de centrales solaires et éoliennes pour alimenter le réseau du Mali serait une option intéressante non uniquement d'un point de vue environnemental (réduction des émissions de gaz à effet de serre) mais aussi d'un point de vue financier.

Cependant, la part importante des ressources intermittentes dans les scénarii « Base » et « DD » exigerait des mesures additionnelles pour assurer la stabilité du réseau, comme la gestion flexible des centrales thermiques et hydroélectriques (voir la Figure 5 et Figure 6 en comparaison avec la Figure 7) ainsi que potentiellement le déploiement des batteries électriques pour compléter la production intermittente des centrales solaires et éoliennes.

*Tableau 2 : Les coûts de la production électrique cumulés sur la période 2021-2030 dans les trois scénarii élaborés – Base, DD, et RElim – et répartis par catégorie (investissement, gestion/entretien, combustibles d'entrée).*

| Scénario     | Coûts d'investissement (M USD) | Coûts de gestion et entretien (M USD) | Coûts de combustibles (M USD) | Total (M USD) |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| <b>Base</b>  | 1590.4                         | 1080.1                                | 1846.7                        | 4517.2        |
| <b>DD</b>    | 2259.2                         | 1495.1                                | 1257.6                        | 5011.9        |
| <b>RElim</b> | 1989.2                         | 820.8                                 | 3037.6                        | 5847.6        |

Le facteur de capacité et le crédit de capacité (qui correspond à la « puissance ferme » que peut remplacer une installation renouvelable nouvelle sans risque de défaillance du réseau) des centrales solaire PV et éolienne sont généralement moins élevés que ceux des centrales hydroélectriques [2] ou des centrales thermiques. Ainsi il est clair qu'un scénario avec une contribution importante des ressources intermittentes (en termes de GWh) nécessiterait forcément une augmentation considérable de la puissance installée sur le réseau (en termes de MW déployés) car en réalité chaque MW de solaire PV et/ou éolien ne remplacerait qu'une fraction de MW de puissance thermique et/ou hydraulique. Ceci est démontré par une comparaison de la puissance installée dans les trois scénarii (Tableau 3 ci-dessous).

*Tableau 3 : La puissance installée au Mali, présentement et dans les trois scénarii élaborés – Base, DD, et RElim – pour l'année 2030 (horizon de l'étude)*

| Scénario     | Année | Thermique (MW) | Hydraulique (MW) | Solaire PV (MW) | Éolien (MW) | Biomasse (MW) | Total (MW) |
|--------------|-------|----------------|------------------|-----------------|-------------|---------------|------------|
| Présent      | 2020  | 316            | 320              | 10              | 0           | 0             | 646        |
| <b>Base</b>  | 2030  | 298            | 354              | 1020            | 500         | 30            | 2202       |
| <b>DD</b>    | 2030  | 276            | 360              | 868             | 500         | 216           | 2220       |
| <b>RElim</b> | 2030  | 306            | 360              | 249             | 0           | 333           | 1248       |

Le Tableau 4 ci-dessous montre la composition du bouquet électrique du Mali sous les trois scénarii élaborés. Dans les scénarii « *Base* » et « *DD* », la part la plus élevée serait accordée au solaire photovoltaïque, appuyé par l'éolien, l'hydraulique et potentiellement la biomasse. Il est donc clair qu'un mix des différentes formes d'énergies renouvelables (*Base* et *DD*) serait propice pour arriver à un système à coût optimisé tout en stabilisant (*Base*) ou même réduisant (*DD*) les émissions de gaz à effet de serre pendant que la demande électrique du Mali continue à augmenter. En revanche, un système dominé par les énergies fossiles (*RElim*, avec une part de 44.5% des ressources fossiles en 2030) aurait des conséquences négatives pour le Mali en termes des dépenses exigées ainsi que des émissions.

*Tableau 4 : La composition du mix électrique du Mali d'ici 2030 selon les trois scénarii élaborés.*

| Scénario     | Année | Importations | Thermique | Hydraulique | Solaire PV | Éolien | Biomasse | Total |
|--------------|-------|--------------|-----------|-------------|------------|--------|----------|-------|
| <b>Base</b>  | 2030  | 13.0%        | 22.3%     | 13.9%       | 31.7%      | 17.0%  | 2.1%     | 100%  |
| <b>DD</b>    | 2030  | 15.3%        | 11.5%     | 14.4%       | 28.1%      | 17.4%  | 13.3%    | 100%  |
| <b>RElim</b> | 2030  | 5.4%         | 44.5%     | 16.3%       | 8.2%       | 0.0%   | 25.7%    | 100%  |

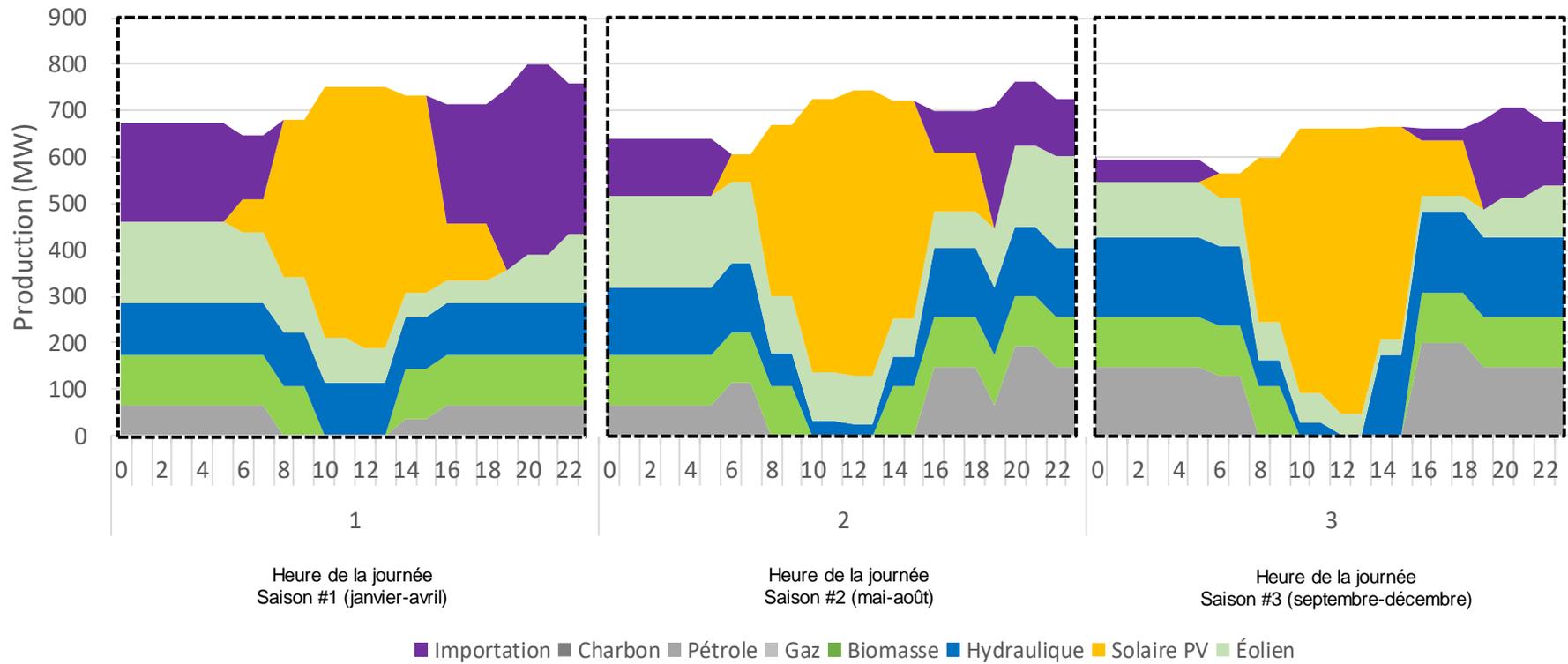


Figure 6 : La production électrique typique, répartie par ressource, pour chaque tranche de temps au fil des quatre saisons de l'année 2030 selon le scénario « DD » dans lequel une limite sur les émissions de gaz à effet de serre de 500 ktCO<sub>2</sub>e/a est en effet à partir de 2025.

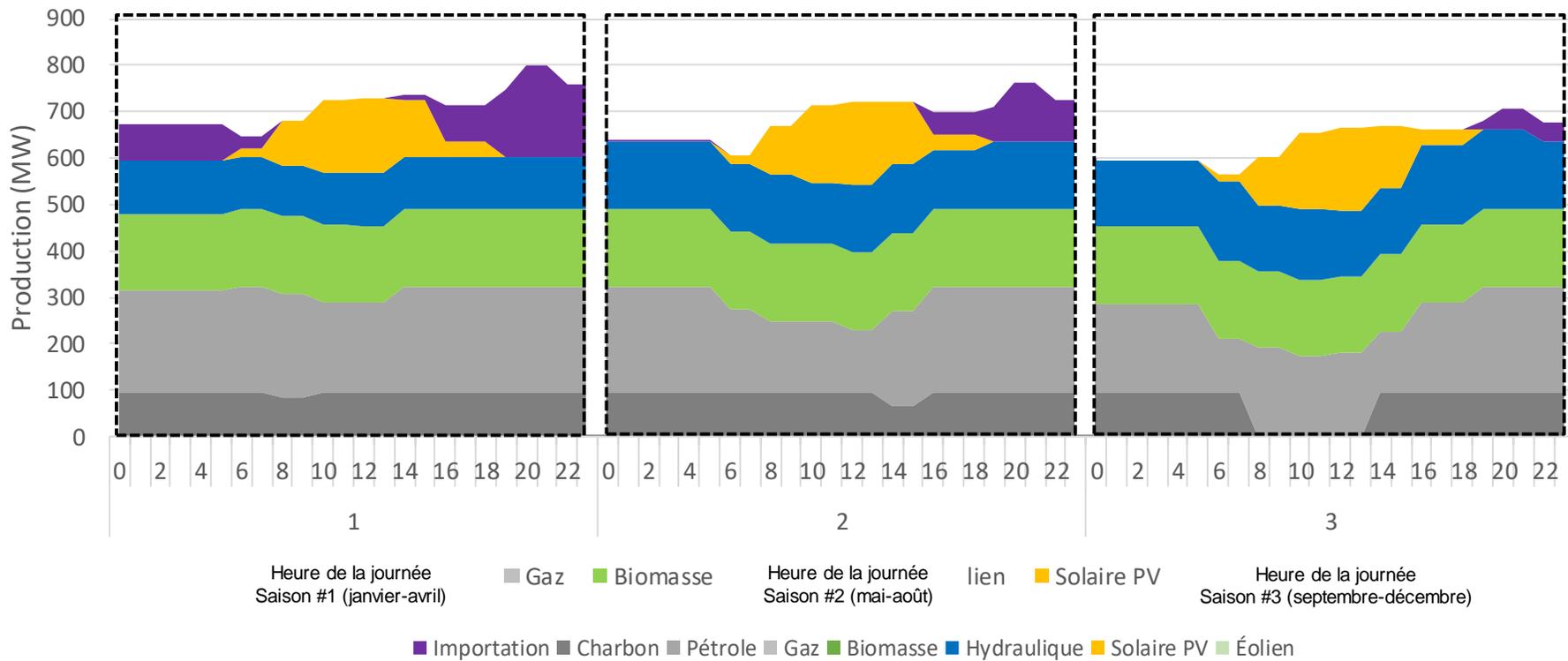


Figure 7 : La production électrique typique, répartie par ressource, pour chaque tranche de temps au fil des trois saisons de l'année 2030 selon le scénario « RElim » qui a pour contrainte de limiter la pénétration des ressources intermittentes à 465 GWh/an (7.5% de l'approvisionnement électrique) à l'horizon 2030.

## 3. 5 Le rôle futur de l'hydroélectricité au Mali

Aujourd'hui, l'hydroélectricité produite dans les bassins des fleuves Niger et Sénégal représente la ressource renouvelable la plus importante pour le secteur électrique du Mali. Néanmoins, en vue des résultats de modélisation obtenus et présentés dans les paragraphes précédents, il est clair que le rôle de l'hydroélectricité pourrait changer dans les années à venir, vers une source d'appui aux autres ressources renouvelables, notamment le solaire PV et l'éolien. Simultanément, les tendances climatiques pourraient impacter le potentiel hydroélectrique du Mali à court et à long terme. Pour mieux comprendre le nouveau rôle de l'hydroélectricité, une brève étude autour du rôle historique et futur de l'hydroélectricité au Mali a été réalisée par l'IRENA et présentée pendant l'atelier de formation. Les leçons apprises de ladite étude sont résumées ci-dessous.

Depuis 1900, les régimes pluviométriques affectant les bassins des fleuves Niger et Sénégal ont été caractérisés par des périodes extrêmement humides observées particulièrement dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle et des périodes extrêmement sèches enregistrées dans la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Les niveaux de précipitations ont eu un impact sur le débit des fleuves Niger et Sénégal. Sur la base des données historiques, une nette réduction du débit des deux fleuves a eu lieu entre 1950 et 2014.

En termes de tendances hydrologiques futures, pour le bassin du fleuve Niger, les prédictions convergent vers une augmentation de la température qui s'accroît vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Bien qu'il n'y ait pas d'accord clair sur les modèles de précipitations, les prédictions montrent une convergence sur l'augmentation prévue du débit du fleuve. Pour le bassin du fleuve Sénégal, il y a un accord clair sur une augmentation prévue de la température, qui sera exacerbée à la fin du siècle. En revanche, la littérature scientifique ne converge pas sur les régimes pluviométriques, mais il y a convergence sur une diminution du débit des fleuves, en particulier dans la première moitié du 21<sup>ème</sup> siècle.

Ces tendances hydrologiques suggèrent qu'au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, la ressource exploitable de l'hydroélectricité pourrait augmenter dans le bassin du fleuve Niger [12]–[14] alors qu'elle pourrait être réduite dans le bassin du fleuve Sénégal [14], [15].

Le Mali dispose actuellement d'une puissance hydroélectrique installée en service d'environ 300 MW et un certain nombre de nouveaux projets hydroélectriques sont en cours de réalisation ou planification, pour un total d'environ 900 MW. Entre 2010 et 2020, au niveau mondial, l'hydroélectricité a connu une augmentation du LCOE, contrairement à une tendance à la baisse observée pour d'autres technologies d'énergie renouvelable comme le solaire et l'éolien (voir la Figure 1). Malgré la tendance à la hausse observée du LCOE de l'hydroélectricité, le LCOE actuel reste intéressant pour fournir la charge de base, alors que le LCOE n'intègre pas d'autres avantages de l'hydroélectricité tels que la régulation de la fréquence ou de la tension, la réserve rapide, la montée en puissance rapide, la capacité de démarrage à froid et le fonctionnement efficace à charge partielle. Lors de l'évaluation des projets hydroélectriques, la capacité à fournir une flexibilité de production et des services auxiliaires doit être prise en compte, en particulier lorsque l'on envisage des scénarios de réseau avec une forte pénétration des énergies renouvelables et intermittentes telles que le solaire PV et l'éolien.

En ce qui concerne les synergies entre l'hydroélectricité et les autres énergies renouvelables, en plus des synergies à l'échelle temporelle (voir la Figure 5, Figure 6 et Figure 7), la possibilité réelle existe d'intégrer physiquement les systèmes hydroélectriques avec le photovoltaïque flottant (synergies à

l'échelle spatiale). L'intégration du PV solaire flottant aux systèmes hydroélectriques peut réduire la fluctuation de la production d'électricité due à la corrélation inverse partielle entre les ressources hydroélectriques et solaires, réduire l'évaporation de l'eau du réservoir (en particulier dans les zones arides), et réduire la lumière et la croissance des algues associées. D'autres avantages associés sont que l'infrastructure d'évacuation de l'électricité est partagée entre les deux technologies et qu'aucun terrain réel n'est utilisé par la ferme solaire.

## 3. 6 Considérations pour les autres sous-secteurs énergétiques

Le programme de formation de l'IRENA a eu pour objectif principal l'analyse de la production d'électricité à partir du cadre de modélisation SPLAT-MESSAGE au travers d'une optimisation linéaire du système énergétique du Mali. Lors de l'une des séances de formation, la modélisation des autres sous-secteurs énergétiques – les bâtiments, le transport et l'industrie – ont également été discutées.

Pour la modélisation ascendante de la demande énergétique, l'importance de trois types de données a été soulignée, à savoir :

- (i) L'activité dans chaque sous-secteur par catégorie de demande (par exemple, le nombre de ménages disposant d'une télévision, ou le nombre de véhicules à essence enregistrés) ;
- (ii) L'intensité énergétique de chaque activité (par exemple, la consommation typique en kWh/année des télévisions ou l'efficacité des voitures en litres de carburant par kilomètre) ;  
et
- (iii) La composition du mix des carburants utilisées pour chaque activité, et l'intensité carbone liée à chaque carburant.

Il a été souligné que des données de demandes sont les plus difficiles à obtenir car il s'agit des données à relever à partir des statistiques et enquêtes au niveau national, alors que pour les intensités d'énergie et d'émissions, il est possible de s'appuyer sur des sources de données normalisées.

Il existe des ressources potentielles pour la modélisation des différents sous-secteurs électriques, telles que l'outil de modélisation LEAP créé par le Stockholm Environment Institute, dont le Mali pourrait obtenir des licences gratuites, ou l'outil MAED développé par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique.

## 4 Recommandations clés et leçons apprises

À l'issue de la formation dispensée, une liste des recommandations à prendre en compte pour la révision du volet énergie de la CDN du Mali a été dressée par l'IRENA, prenant en compte l'avis des participants dans l'atelier de formation qui a fait l'objet d'un dernier exercice. La liste est fournie ci-dessous :

- Mettre un fort accent sur le développement de la filière solaire PV, qui s'avère être l'une des sources d'énergie les plus appropriées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre sans entraîner de surcoûts additionnels tout en réduisant les besoins d'importations à moyen et long terme. Les scénarii développés (*Base* et *DD*) suggèrent qu'une puissance installée d'environ 1 GW en centrales solaires serait nécessaire afin de répondre à la demande croissante à l'horizon 2030.
- Assurer que la flexibilité de la production électrique (à partir des groupes thermiques et hydroélectriques) soit suffisante pour soutenir au mieux les ressources renouvelables, notamment le solaire PV, afin d'assurer la stabilité du réseau et son bon fonctionnement pendant la nuit et pendant des périodes faiblement ensoleillées et sans vent.
- Effectuer des études plus détaillées sur le potentiel éolien dans la zone sahéenne et sahélo-saharienne, vu que le profil de la ressource éolienne suggère une forte complémentarité avec l'énergie solaire.
- Suivre étroitement le développement des coûts du stockage électrique. Bien que cela ne puisse que résoudre le problème de variabilité journalière et non de variabilité saisonnière des ressources renouvelables, le stockage pourra être un atout considérable pour mieux intégrer la ressource solaire PV dans le mix électrique.
- Effectuer des études approfondies sur la biomasse et son potentiel d'utilisation dans les secteurs énergétiques, y compris la production d'électricité mais également l'industrie.
- Mettre en œuvre des enquêtes détaillées sur l'activité et la demande énergétique dans les secteurs des bâtiments, du transport et de l'industrie afin de permettre une modélisation ascendante de la demande totale du pays en électricité et en chaleur.

## 5 Références

- [1] République du Mali, « Contribution Déterminée au niveau National - CDN du Mali », sept. 2016. [En ligne]. Disponible sur: [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Mali%20First/Mali\\_revised%20NDC.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Mali%20First/Mali_revised%20NDC.pdf)
- [2] IRENA, « Planification et perspectives pour les énergies renouvelables: Afrique de l'Ouest », International Renewable Energy Agency (IRENA), 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.irena.org/publications/2018/Nov/Planification-et-perspectives-pour-les-energies-renouvelables>
- [3] IRENA, « System Planning Test (SPLAT) Models for Africa ». <https://www.irena.org/energytransition/Energy-System-Models-and-Data/System-Planning-Test-Model>
- [4] IRENA, « Renewable Power Generation Costs in 2020 », International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>
- [5] IRENA and LBNL, « Renewable Energy Zones for the Africa Clean Energy Corridor - Multi-Criteria Analysis for Planning Renewable Energy », International Renewable Energy Agency (IRENA) and Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Abu Dhabi, UAE, oct. 2015. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA-LBNL\\_Africa-RE-CEC\\_2015.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA-LBNL_Africa-RE-CEC_2015.pdf)
- [6] IRENA, « Planning for the Renewable Future: Long-term modelling and tools to expand variable renewable power in emerging economies », International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.irena.org/publications/2017/Jan/Planning-for-the-renewable-future-Long-term-modelling-and-tools-to-expand-variable-renewable-power>
- [7] K. Engeland, M. Borga, J.-D. Creutin, B. François, M.-H. Ramos, et J.-P. Vidal, « Space-time variability of climate variables and intermittent renewable electricity production – A review », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, p. 600-617, nov. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.046.
- [8] S. Sterl, S. Liersch, H. Koch, N. P. M. van Lipzig, et W. Thiery, « A new approach for assessing synergies of solar and wind power: implications for West Africa », *Environ. Res. Lett.*, vol. 13, n° 9, p. 094009, sept. 2018, doi: 10.1088/1748-9326/aad8f6.
- [9] S. Sterl *et al.*, « Smart renewable electricity portfolios in West Africa », *Nat. Sustain.*, vol. 3, n° 9, p. 710-719, sept. 2020, doi: 10.1038/s41893-020-0539-0.
- [10] A. S. Oyewo, A. Aghahosseini, M. Ram, et C. Breyer, « Transition towards decarbonised power systems and its socio-economic impacts in West Africa », *Renew. Energy*, vol. 154, p. 1092-1112, juill. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.03.085.
- [11] S. Sterl, A. Devillers, C. Chawanda, A. van Griensven, W. Thiery, et D. Russo, « A spatiotemporal atlas of hydropower in Africa for energy modelling purposes », *Open Res. Eur.*, vol. 1, n° 29, 2021, doi: 10.12688/openreseurope.13392.1.
- [12] V. Aich *et al.*, « Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins », *Hydrol Earth Syst Sci*, vol. 18, n° 4, p. 1305-1321, avr. 2014, doi: 10.5194/hess-18-1305-2014.
- [13] A. Angelina, A. Gado Djibo, O. Seidou, I. Seidou Sanda, et K. Sittichok, « Changes to flow regime on the Niger River at Koulikoro under a changing climate », *Hydrol. Sci. J.*, vol. 60, n° 10, p. 1709-1723, oct. 2015, doi: 10.1080/02626667.2014.916407.
- [14] P. Stanzel, H. Kling, et H. Bauer, « Climate change impact on West African rivers under an ensemble of CORDEX climate projections », *Climate Services*, vol. 11, p. 36-48, 2018, doi: 10.1016/j.cliser.2018.05.003.
- [15] A. Bodian, A. Dezetter, L. Diop, A. Deme, K. Djaman, et A. Diop, « Future Climate Change Impacts on Streamflows of Two Main West Africa River Basins: Senegal and Gambia », *Hydrology*, vol. 5, n° 1, 2018, doi: 10.3390/hydrology5010021.

## 6 Appendice I : l'outil MESSAGE

Le modèle SPLAT-Mali utilisé dans le présent rapport a été élaboré à l'aide d'une plateforme logicielle de modélisation baptisée « modèle d'étude de stratégies d'approvisionnement énergétique et de leur impact général sur l'environnement » (MESSAGE), un modèle de système énergétique dynamique, ascendant et pluriannuel appliquant des techniques d'optimisation linéaires et à nombres entiers mixtes. À l'origine, cette plate-forme de modélisation a été mise au point par l'Institut international pour l'analyse appliquée des systèmes (IIASA), mais elle a été récemment perfectionnée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

La plate-forme de modélisation est un cadre souple dans lequel le modèle à proprement parler est mis au point. La plate-forme de modélisation MESSAGE est composée d'un ensemble de projections de la demande, d'une base de données des infrastructures de transport, des technologies d'approvisionnement énergétique caractérisées par des paramètres économiques et techniques, ainsi que d'informations concernant le stock de capital existant et sa durée de vie restante.

En partant des infrastructures électriques existantes dans la région, le modèle calcule une évolution des différentes options technologiques techniquement réalisables qui atteignent un objectif du moindre coût sur la période de planification (à savoir, les coûts minimaux actualisés totaux des systèmes, y compris les investissements, l'opération et la maintenance (O&M), les coûts des combustibles et d'autres coûts définis par l'utilisateur), tout en répondant à un certain nombre d'exigences des systèmes (par ex., offre correspondant à la demande à un moment précis, ressources et capacités suffisantes pour offrir le niveau de production souhaité) et de contraintes définies par l'utilisateur (par ex., marge de réserve, vitesse de déploiement des technologies, limites d'émissions, objectifs stratégiques).

Les intrants du modèle peuvent varier selon la préférence des utilisateurs, afin d'explorer différents scénarios d'évolution des systèmes en fonction d'ensembles d'hypothèses bien précis. La « solution » du modèle inclut, entre autres, les investissements dans les nouvelles technologies, la production, l'utilisation des combustibles et les échanges commerciaux. Les conséquences économiques et environnementales associées aux systèmes énergétiques au moindre coût qui ont été recensés peuvent être calculés facilement à l'aide du modèle.

## 7 Appendice II : séances de formation

### 7.1 Phase I

| Session | Sujet   | Contenu  | Date(s)                 |
|---------|---------|--|-------------------------|
| 1       | MESSAGE | Introduction de l'autoformation<br><a href="#">Lien vers la vidéo</a>                    | Mardi 23 mars 2021      |
| 2-5     | MESSAGE | Autoformation  | 23 mars – 12 avril 2021 |
| 6       | MESSAGE | Conclusions et leçons retenues sur l'autoformation<br><a href="#">Lien vers la vidéo</a> | Lundi 12 avril 2021     |

## 7. 2 Phase II

**Jour 1 – lundi 17 mai 2021 (9h30 – 17h30)**

[Lien vers la vidéo – première partie](#) | [Lien vers la vidéo – deuxième partie](#)

| Créneau (GMT) | Séance                    | Sujet principal  | Intervenants               |
|---------------|---------------------------|--|----------------------------|
| 9h30 – 10h00  | <i>Ouverture</i>          |  |                            |
| 10h00 – 10h15 | 0                         | Mots de bienvenue  | M. Sebastian STERL (IRENA) |
| 10h15 – 11h30 | 1.a                       | Introduction du template SPLAT-MESSAGE pour le Mali  | M. Sebastian STERL (IRENA) |
| 11h30 – 11h45 | <i>Pause-café</i>         |  |                            |
| 11h45 – 13h00 | 1.b<br>(session pratique) | Exercice : Visualisation des résultats du modèle   | Équipe malienne            |
| 13h00 – 14h00 | <i>Pause-déjeuner</i>     |  |                            |
| 14h00 – 15h00 | 2.a                       | Discussion des coûts des ressources renouvelables ; Réduction des coûts du solaire PV et de l'éolien | M. Michael TAYLOR (IRENA)  |
| 15h00 – 16h00 | 2.b<br>(session pratique) | Exercice : création d'un scénario « optimiste » et « pessimiste »                                    | Équipe malienne            |
| 16h00 – 16h15 | <i>Pause-café</i>         |  |                            |
| 16h15 – 17h00 | 2.c<br>(session pratique) | Exercice : création d'un scénario « optimiste » et « pessimiste »                                    | Équipe malienne            |
| 17h00 – 17h15 | 2.d                       | Conclusion et programme du lendemain   | M. Sebastian STERL (IRENA) |
| 17h15 – 17h30 | <i>Clôture du jour 1</i>  |  |                            |

## Jour 2 – mardi 18 mai 2021 (9h30 – 17h30)

[Lien vers la vidéo – première partie](#) | [Lien vers la vidéo – deuxième partie](#)

| Créneau (GMT) | Séance                             | Sujet principal  | Intervenants                    |
|---------------|------------------------------------|--|---------------------------------|
| 9h30 – 10h00  | <i>Ouverture</i>                   |  |                                 |
| 10h00 – 11h30 | 3.a                                | Inclusion des courbes solaire, éolien, hydraulique dans MESSAGE                              | M. Sebastian STERL (IRENA)      |
| 11h30 – 11h45 | <i>Pause-café</i>                  |  |                                 |
| 11h45 – 13h00 | 3.b                                | Évaluation du potentiel des ressources renouvelables (solaire PV, éolien) ; zonage           | Mme Imen GHERBOUDJ (IRENA)      |
| 13h00 – 14h00 | <i>Pause-déjeuner</i>              |  |                                 |
| 14h00 – 15h15 | 3.c<br>( <i>session pratique</i> ) | Exercice : extraction des données et agrégation des courbes temporelles solaire PV et éolien | Équipe malienne                 |
| 15h15 – 16h00 | 4.a                                | Estimation des courbes de charge et de la pointe   | M. Nicolas FICHAUX (EU-TAF)     |
| 16h00 – 16h15 | <i>Pause-café</i>                  |  |                                 |
| 16h15 – 17h00 | 4.b                                | Vulnérabilité du secteur hydroélectrique aux variations climatiques                          | M. Alberto PÉREZ ORTIZ (EU-TAF) |
| 17h00 – 17h15 | 4.c                                | Conclusion et programme du lendemain   | M. Sebastian STERL (IRENA)      |
| 17h15 – 17h30 | <i>Clôture du jour 2</i>           |  |                                 |

## Jour 3 – mercredi 19 mai 2021 (9h30 – 17h30)

[Lien vers la vidéo – première partie](#) | [Lien vers la vidéo – deuxième partie](#)

| Créneau (GMT) | Séance                                 | Sujet principal   | Intervenants                  |
|---------------|--|---|-------------------------------|
| 9h30 – 10h00  | <i>Ouverture</i>                       |   |                               |
| 10h00 – 11h30 | 5.a                                    | Objectifs de la politique énergétique ;<br>Exploration des scénarii CDN ;<br>Modélisation des contraintes               | M. Sebastian STERL<br>(IRENA) |
| 11h30 – 11h45 | <i>Pause-café</i>                      |   |                               |
| 11h45 – 13h00 | 5.b<br>( <i>session<br/>pratique</i> ) | Exercice : création des scénarii avec<br>objectifs/contraintes  | Équipe malienne               |
| 13h00 – 14h00 | <i>Pause-déjeuner</i>                  |   |                               |
| 14h00 – 15h00 | 6.a                                    | Rôle et importance de la résolution<br>temporelle   | M. Sebastian STERL<br>(IRENA) |
| 15h00 – 16h00 | 6.b<br>( <i>session<br/>pratique</i> ) | Exercice : Augmentation de la résolution<br>temporelle ; visualisation des résultats au<br>niveau des tranches de temps | Équipe malienne               |
| 16h00 – 16h15 | <i>Pause-café</i>                      |   |                               |
| 16h15 – 17h00 | 6.c<br>( <i>session<br/>pratique</i> ) | Exercice : Augmentation de la résolution<br>temporelle ; visualisation des résultats au<br>niveau des tranches de temps | Équipe malienne               |
| 17h00 – 17h15 | 6.d                                    | Conclusion et programme du lendemain  | M. Sebastian STERL<br>(IRENA) |
| 17h15 – 17h30 | <i>Clôture du jour 3</i>               |   |                               |

## Jour 4 – jeudi 20 mai 2021 (9h30 – 17h30)

[Lien vers la vidéo](#)

| Créneau (GMT) | Séance                      | Sujet principal  | Intervenants                  |
|---------------|-----------------------------|--|-------------------------------|
| 9h30 – 10h00  | <i>Ouverture</i>            |  |                               |
| 10h00 – 11h30 | 7.a                         | Centrales hydrauliques avec stockage   | M. Mario TOT<br>(AIEA)        |
| 11h30 – 11h45 | <i>Pause-café</i>           |  |                               |
| 11h45 – 13h00 | 7.b                         | Évaluation du potentiel : biomasse   | M. Seungwoo KANG<br>(IRENA)   |
| 13h00 – 14h00 | <i>Pause-déjeuner</i>       |  |                               |
| 14h00 – 15h00 | 8.a                         | Utilisation de l'outil LEAP pour la modélisation des autres secteurs énergétiques                                  | M. Sebastian STERL<br>(IRENA) |
| 15h00 – 16h00 | 8.b                         | Résumé des sessions ; positionnement de la formation dans le contexte de la planification des systèmes électriques | M. Sebastian STERL<br>(IRENA) |
| 16h00 – 16h15 | <i>Pause-café</i>           |  |                               |
| 16h15 – 17h15 | 8.c<br>(session pratique)   | Exercice : Recommandations pour la nouvelle CDN  | Équipe malienne               |
| 17h15 – 17h30 | <i>Clôture de l'atelier</i> |  |                               |