

Produire et stocker l'électricité pour décarboner les systèmes insulaires

Par **Thierry DÉAU**⁽¹⁾

Président-directeur général de Meridiam

En région outre-mer, le développement du réseau électrique est confronté à des contraintes majeures, notamment l'isolement géographique et une forte croissance démographique. Le déploiement de la Station de transfert d'énergie par pompage (STEP) en Martinique, présenté dans cet article, illustre comment ces contextes particuliers permettent la mise en œuvre économique et significative d'infrastructures énergétiques, même à petite échelle. Cette infrastructure hybride, combinant une technologie mature avec de nouveaux moyens innovants, contribuera dès 2024 à répondre aux nombreux défis de développement territorial en Martinique, tels que l'indépendance énergétique, la stabilité et décarbonation du réseau, ainsi que le développement de l'économie agricole locale et la sécurité incendie.

Dans cet article, nous présentons une solution pour la Martinique où le réseau électrique, pour se décarboner et faire face à sa croissance, doit développer des solutions de stockage innovantes. La solution technique de station de pompage n'est pas nouvelle, mais son dimensionnement en « micro-STEP » permet une adaptation à des géographies qui n'ont pas de capacité foncière à créer un réservoir naturel ou artificiel, et offre une solution pour des régions denses dont le réseau a avant tout besoin de stockage et d'inertie pour compenser l'insularité.

La solution décrite ci-après, développée avec notre partenaire Nature and People First, fait bénéficier ces îles des technologies les plus innovantes, pour accroître leur indépendance énergétique au meilleur coût.

Contexte : territoire isolé non interconnecté

Les territoires outre-mer se caractérisent en général par un contexte insulaire aux caractéristiques géographiques contraignantes à plusieurs titres (région montagneuse ou volcanique, forêt équatoriale...), avec des petits (ou très grands) espaces et une biodiversité riche les rendant particulièrement sensibles aux aléas climatiques. Étant donné leur éloignement géographique, ces territoires ne sont pas connectés à un réseau électrique englobant (Zone non interconnectée - ZNI), et sont fortement dépendants aux énergies fossiles importées représentant encore souvent plus de 80 % de la capacité de production. Qui plus est, les infrastructures y sont déficitaires, renforçant encore la fragilité du système électrique. L'ensemble de ces contraintes résulte en un coût d'approvisionnement en électricité supérieur à celui de la métropole, nécessitant la mise en place d'une péréquation tarifaire.

⁽¹⁾ Remerciements à Sarah FAVRE et Xavier PLOQUIN pour leur participation à la rédaction de cet article.

La loi de transition énergétique pour la croissance verte a fixé comme objectif d'atteindre 100 % d'énergies renouvelables (ENR) en outre-mer d'ici à 2030, avec un mix énergétique diversifié.

Malheureusement, le contexte d'« île énergétique » rend difficile l'intégration de larges proportions d'ENR dans le mix. De nouvelles sources de flexibilité apportant des services différenciés doivent donc être mises en place et développées, pour permettre d'assurer la stabilité du système et de garantir la sécurité d'approvisionnement, à un coût acceptable pour la collectivité nationale qui assure la péréquation tarifaire dans ces zones.

L'État a introduit la Contribution au service public de l'électricité (CSPE), payée par tous les Français, qui permet de financer la péréquation tarifaire. La Commission de régulation de l'énergie (CRE) est chargée de faire l'analyse coûts-bénéfices de projets, en s'assurant que le tarif réglementé pour le contrat d'achat d'électricité est inférieur au montant des surcoûts de production et de renforcement de réseaux évités.

Outre-mer : vitrine de la transition énergétique grâce à un contexte propice aux démonstrateurs

Dans ce contexte, les outre-mer constituent des terrains d'expérimentation des savoir-faire français et européen pour répondre à ces enjeux, du fait de :

- la taille réduite des territoires permettant l'expérimentation en vraie grandeur. Les réseaux sont limités en nombre de points desservis et en étendue géographique (à l'exception de la Guyane) ;
- la faiblesse de leur demande en énergie finale favorisant le développement de petits systèmes énergétiques (micro-production), en l'absence d'industrie lourde ;

- l'isolement, par rapport aux grands réseaux de distribution d'énergie, encourageant de développer des solutions locales autonomes et innovantes.

Cela présente l'opportunité de faire de la transition énergétique un levier d'innovation et de développement endogène et durable des outre-mer face au changement climatique, tout en stimulant le développement économique des territoires.

Meridiam, en tant que spécialiste des infrastructures de la transition, élabore actuellement deux projets dans les outre-mer : une centrale hydrogène en Guyane et une station de transfert d'énergie par pompage en Martinique.

Nous présentons ici le projet martiniquais, qui repose sur des technologies matures mais les replace dans un contexte de réseau du futur.

STEP : une solution pour décarboner les moyens de production de pointe

Contexte et enjeux du territoire

La mission de la CRE en Martinique a mis en évidence la fragilité du système électrique martiniquais (représenté dans la Figure 1), reposant principalement sur des moyens thermiques (centrales diesel et biomasse pour la base, turbines à combustion pour la pointe) et caractérisé en particulier par :

- un déséquilibre entre la localisation des moyens de production au Nord et au Centre et les principales zones de consommation au Sud ;
- un réseau HTB peu maillé avec un déploiement en antennes à ses extrémités, notamment au Nord de l'île ;
- la concentration des moyens de production sur seulement trois pôles (Bellefontaine, Pointe des Carrières et le Galion, depuis la mise en service de la centrale biomasse en 2018) ;
- un déficit d'énergie cinétique – autrement dit, le système électrique manque d'inertie –, ce qui se traduit par une forte sensibilité de la fréquence aux aléas, avec des régimes transitoires difficiles à maîtriser.

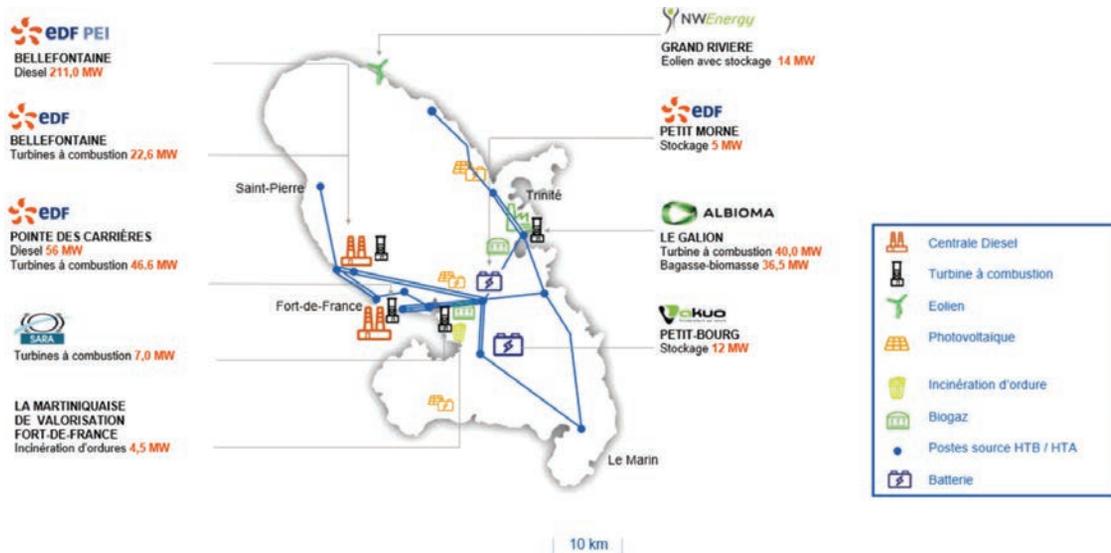


Figure 1 : Carte du système électrique de la Martinique au 31 décembre 2021 (Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en Martinique 2022 – EDF SEI).

La Figure 1 ci-après présente la répartition géographique des différents moyens de production.

Le réseau aujourd'hui limite la capacité d'intégration des ENR intermittentes à 25 %, empêchant l'atteinte de l'objectif de mix électrique 100 % ENR à l'horizon 2030. L'ADEME (l'Agence de la transition écologique) estime que cela est toutefois possible en satisfaisant l'ensemble de la demande électrique à tout instant – équilibre offre-demande –, moyennant un recours significatif à des capacités de stockage nouvelles.

Solution

Une solution long terme, renouvelable et locale

Alors que la consommation d'électricité de l'île pourrait croître significativement, avec notamment le développement des véhicules électriques, la future mise en service de la station de Transfert d'énergie par pompage (STEP) de Saint-Pierre apporte une solution concrète aux besoins en énergie propre et durable de l'île. Véritable moyen de régulation du réseau électrique, cette station permettra d'augmenter la production d'énergies renouvelables, et d'accompagner la transition énergétique tout en assurant la sécurité d'approvisionnement.

La STEP est une solution de stockage d'électricité d'une puissance de 7 MW en turbinage et 4 MW en pompage, permettant de fournir de l'électricité pendant quatre heures à Pmax (pour puissance maximale) et de recharger son stock en moins de dix heures pendant le pic de production solaire et éolien.

Le projet est situé dans la commune de Saint-Pierre en Martinique, sur les flancs de la montagne Pelée, en zone sismique et cyclonique. Il est situé sur des terrains agricoles, actuellement exploités principalement pour la culture de la banane, et ne nécessite pas de défrichage. Son emprise est limitée à cinq ha, qui feront l'objet d'une compensation collective agricole sous forme de soutien au développement de la filière agricole d'excellence (vanille, café et cacao) et de mesure de désenclavement afin de faciliter l'accès aux parcelles agricoles.

L'installation comprend deux bassins d'une capacité de 34 000 m³ reliés par une conduite forcée enterrée d'une longueur de 2 km et 400 m de hauteur de chute environ. L'usine de production est équipée d'une turbine Pelton associée à un banc de supercondensateur, pour améliorer le temps de réponse et offrir une réserve rapide. Le silo de pompage est équipé de trois pompes associées à des variateurs de fréquence, afin de pouvoir fonctionner en vitesse variable permettant une bande de réglage de fréquence. La centrale fonctionne en circuit fermé, et le remplissage initial du bassin et l'appoint pour compenser l'évaporation sont assurés par un forage dans la nappe phréatique.

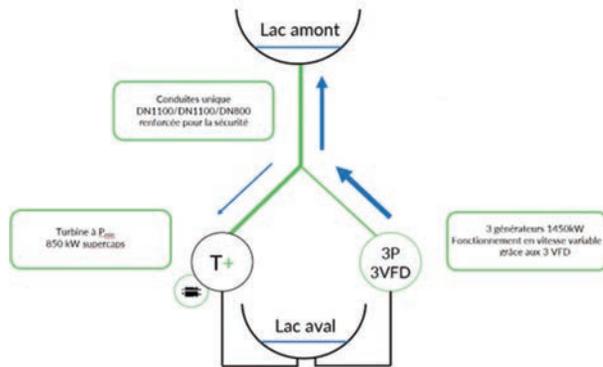


Figure 2 : Schéma de principe de fonctionnement de la STEP (Source : D. R.).

Il est également prévu d'installer des panneaux photovoltaïques flottant sur les bassins, afin d'optimiser l'utilisation du foncier et permettre une autoconsommation si nécessaire.

Deux centrales solaires seront implantées au droit du bassin supérieur et du bassin inférieur, permettant de fournir une puissance électrique de 1,3 MWc et produire plus de 2 GWh/an d'énergie photovoltaïque en moyenne sur trente ans. Les panneaux solaires flottants doivent être dimensionnés afin de pouvoir résister aux contraintes sismiques et cycloniques, avec une partie émergée (prise au vent) la plus faible possible et offrant une surface installée au m² maximale. Le système modulaire retenu est constitué d'unités photovoltaïques équipées de flotteurs qui créent un réseau structuré flexible et qui permettraient de supporter les panneaux solaires ainsi que les passerelles d'entretien, les voies d'accès et les fils électriques. Le système d'ancrage prend la forme de poteaux en berge, et les lignes d'ancrages seront arrimées sur les poteaux métalliques, eux-mêmes scellés dans des plots en béton fichés dans les corps de digue afin de ne pas fragiliser l'étanchéité des bassins. L'énergie produite dans chacune des deux centrales photovoltaïques sera reliée au poste de livraison EDF de 20 kV situé à proximité de la STEP.

Par ailleurs, l'installation permet également de fournir une réserve d'eau pour la sécurité incendie en reliant le bassin bas à deux poteaux d'incendie, et pourrait également servir pour l'irrigation des parcelles agricoles environnantes. La STEP est raccordée en HTA depuis

le poste de livraison au poste source. Le réseau entre Bellefontaine et Saint-Pierre étant saturé, il nécessite des travaux de renforcement du réseau.

Services rendus

La centrale apporte un service d'arbitrage qui permet de reconstituer les stocks au moment où la production d'électricité est excédentaire sur le réseau, et de fournir de l'énergie au réseau électrique quand la demande excède la production pendant la pointe du soir et le week-end notamment.

En complément, elle apporte des services d'inertie et de réserve rapide afin d'assurer la stabilité du réseau électrique et la sécurité d'approvisionnement. L'inertie, apportée par des machines tournantes mécaniques (turbines) en opération en compensateur synchrone, permet de maintenir la fréquence du système électrique lors de faibles écarts d'offre-demande. Le service de réserve rapide permet de rétablir la fréquence en cas de variation de tension et de fréquence à la hausse ou à la baisse lors d'écart plus important, notamment dans le cas d'un incident sur le réseau ou la perte d'un moyen de production.

Enfin, elle contribue également aux services de compensation du réactif du réseau, du réglage de tension et de la tenue au creux de tension.

La régulation de fréquence et de tension est d'autant plus importante que la centrale se situe en bout de réseau : en antenne, partie du réseau particulièrement sensible.

La disponibilité sera de l'ordre de 95 % et le rendement d'environ 70 %, variables selon les modes de fonctionnement de la STEP.

La STEP est entièrement pilotable par le gestionnaire du réseau de distribution, et offre une solution pérenne avec une visibilité sur les coûts sur trente ans d'exploitation.

Impacts du projet

Le projet de micro-STEP contribue à répondre aux besoins croissants en électricité propre et durable de la population martiniquaise, ainsi qu'à la sécurité énergétique en réduisant la dépendance aux énergies fossiles importées. Il contribue également à la sécurité incendie de Saint-Pierre et des populations, grâce à la création d'une réserve d'eau permanente qui répond aux normes de pression et de débit, contrairement au réseau d'adduction local. Le projet de micro-STEP permet également la réduction des émissions de CO₂ et autres polluants atmosphériques. Enfin, il renforce la production agricole locale via un projet de désenclavement, en facilitant l'accès à plus de 200 ha de parcelles agricoles et en soutenant le développement des filières d'excellence exploitées sous couvert forestier.

Surtout, dans un contexte de difficulté prévisible d'approvisionnement en certains métaux critiques, la micro-STEP de Saint-Pierre permet de mettre en place des systèmes de stockage souples et décentralisés n'utilisant pas – ou peu – de matériaux « critiques », offrant une véritable indépendance stratégique énergétique.

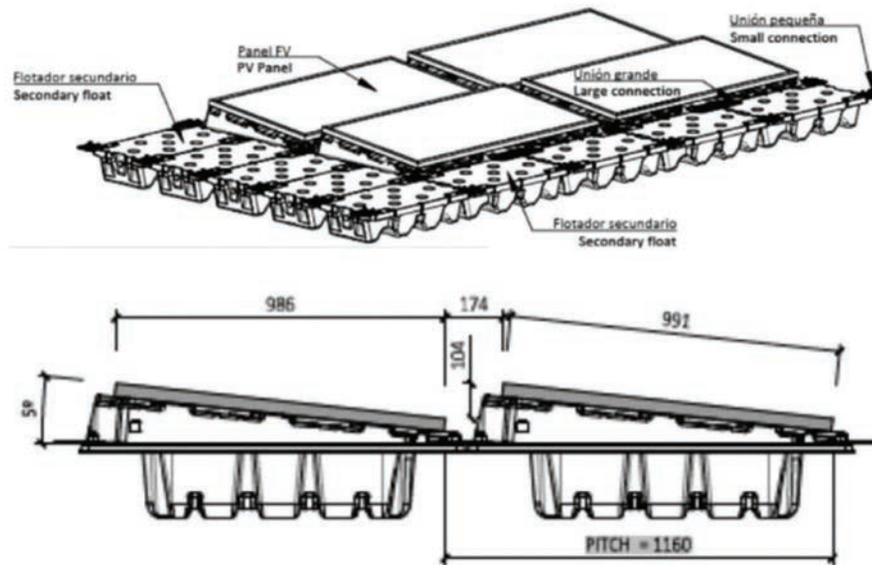


Figure 3 : Schéma de principe des unités photovoltaïques Isifloating (source : ISL Ingénierie).

Conclusion

Il existe des solutions technologiques pour décarboner, soit en mettant en œuvre des nouvelles technologies ou soit en réinventant des technologies matures délaissées en les adaptant aux contraintes du territoire.

Le développement de solutions hybrides est susceptible d'apporter des services différenciés et complémentaires de nature à maximiser l'efficacité du système électrique et générer ainsi des gains pour la collectivité.

Il paraît également stratégique de chercher à diversifier le mix de solutions de stockage, afin de pouvoir offrir l'ensemble des services réseaux nécessaires à la pénétration des ENR et dans une optique de minimiser les risques vis-à-vis de la disponibilité et de l'évolution des coûts des différentes technologies, en particulier les batteries lithium-ion.

Les zones non interconnectées sont un territoire où la contrainte fait avancer la technologie : ces laboratoires grandeur nature devraient pouvoir devenir les démonstrateurs du savoir-faire français, et générer des retombées économiques locales et nationales.



Figure 4 : Vue de l'implantation de la STEP sur le bassin versant (DAEU du projet de Station de transfert par pompage de Saint-Pierre).