

Résumé étendu de la thèse de Maya Julian

Titre

Evaluation et optimisation des stratégies visant à introduire les énergies renouvelables dans la production électrique pour l'habitat.

À l'heure actuelle, les prix du pétrole deviennent considérablement élevés et les émissions de CO₂ augmentent rapidement, l'exploitation du réseau devient encore plus multidimensionnelle compte tenu des politiques environnementales qui sont appliquées. Compte tenu de l'ensemble des objectifs découlant de l'accord de Kyoto et des initiatives telles que l'accord européen 20/20/20, des calendriers et des limites serrés sont dictés, pour tous les pays participants afin de réduire systématiquement leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) tout en intégrant davantage d'énergies renouvelables et en remplaçant les technologies de production lourde plus anciennes et polluantes par des technologies plus récentes et respectueuses pour l'environnement.

Ainsi, l'ensemble de la restructuration des systèmes énergétiques se concentre sur deux fronts afin d'atteindre les objectifs mentionnés, une intégration énergétique "plus propre" et une efficacité énergétique.

Afin d'obtenir une énergie plus propre, l'attention a été attirée sur les sources d'énergie renouvelables (RES), les unités de production combinée de chaleur et d'électricité (CHP) et les carburants alternatifs comme les unités au gaz naturel et les piles à combustible (FC).

L'installation d'unités supplémentaires de sources de production dispersées-DPS (PV, WT, FC, Micro_CHP, etc.) à proximité des consommateurs conduit à une nouvelle ère pour les systèmes énergétiques. Les micro-réseaux pourraient entrer en jeu pour aider le réseau à réduire les émissions de CO₂ tout en augmentant leur efficacité grâce à la production locale.

Les micro-réseaux sont définis comme des réseaux basse tension (BT) ou, dans certains cas, moyenne tension (MT), avec DPS, ainsi que des dispositifs de stockage et des charges contrôlables (par exemple, chauffe-eau, climatisation) avec une capacité installée totale de l'ordre de quelques kW à quelques MW. La caractéristique unique des micro-réseaux est que, bien qu'ils fonctionnent

principalement interconnectés au réseau de distribution de tension de niveau supérieur, ils peuvent être automatiquement transférés en mode îloté en cas de défauts dans le réseau en amont.

Cette thèse vise à développer des méthodologies et des techniques d'analyse basées sur l'étude numérique pour la quantification des avantages de l'intégration des micro-réseaux dans les applications résidentielles. De plus, un modèle de calcul approprié sur Matlab a été développé pour la vérification et la comparaison des coûts de consommation d'énergie entre les générateurs diesel et le micro-réseau.

Ce rapport est composé de 4 chapitres décrits ci-dessous :

Le premier chapitre est un état de l'art qui décrit les différents types de pollution de l'air produits, par ex. **Indoor et Outdoor**, et leur impact sur l'environnement, la santé, l'économie et le développement de l'écosystème.

La pollution de l'air à l'intérieur et sa présence dans notre environnement, notre zone de travail et nos maisons, ont été expliquées avec leurs symptômes qui apparaissent comme la fatigue, les irritations des yeux et du nez et la maladie la plus courante l'asthme.

La pollution de l'air à l'extérieur classée comme « la grande tueuse de notre époque » a également été étudiée en détail et ses principales causes ont été données comme : les activités agricoles, les opérations minières, les gaz d'échappement des usines et des industries, la combustion de combustibles fossiles.

Pour les deux sources d'émission (intérieure et extérieure), l'exposition à court terme est associée à des maladies respiratoires transitoires et à un taux élevé d'hospitalisation, tandis qu'une exposition à long terme entraîne de l'asthme chronique, une insuffisance pulmonaire, des maladies cardiovasculaires et une mortalité cardiovasculaire. Une autre question importante abordée dans ce travail est l'impact de la pollution de l'air sur l'économie de la société et l'influence sur leur développement durable.

Dans ce chapitre, nous avons accordé une attention particulière aux causes de la pollution de l'air au Liban, où les citoyens sont confrontés à des problèmes dangereux et graves liés à la pollution de l'air, pour remarquer que cette question s'est compliquée avec le temps, surtout lorsque le gouvernement ne prend pas de mesures adéquates envers tout type de solution. Le meilleur

exemple de ces problèmes massifs à long terme est Beyrouth, la capitale du Liban, qui fait face à une urbanisation non contrôlée.

Nous avons également exposé dans ce chapitre 1 le problème du secteur des transports publics qui n'existe presque pas au Liban, donc les citoyens dépendent de leurs propres voitures pour se déplacer, ce qui entraîne un flux de trafic élevé sur les routes et une augmentation du pourcentage d'oxydes d'azote, en outre, le grand nombre de voitures anciennes maintenues en circulation et la faible qualité des carburants utilisés conduisent à l'amplification du problème de la pollution.

Le cas particulier de la pollution de l'air au Liban produite par les générateurs diesel (DG) a été couvert, où ces générateurs électriques sont responsables de la production de dioxyde de carbone (CO₂), d'oxyde d'azote (NO_x) et de particules. Enfin dans ce chapitre nous avons mis en évidence la source de pollution provenant des déchets solides et organiques et les décharges illégales de déchets qui ne respectent pas les normes internationales en matière de santé et d'environnement.

Dans le chapitre 2, nous nous sommes concentrés sur les demandes énergétiques et les sources disponibles au Liban où 98 % de ses besoins énergétiques sont importés, ainsi investir dans les technologies des énergies renouvelables (TER) peut être d'un grand intérêt pour la prospérité économique et sociale, d'autant plus que la société libanaise est face à de nombreuses difficultés dues au niveau élevé de pollution résultant de l'utilisation de l'énergie combustible.

Les principales sources de production d'électricité au Liban, Electricité du Liban, EDL (secteur public) et les générateurs diesel (secteur privé), ont été étudiées et discutées en détail afin de comprendre les faiblesses et les problèmes existants de chaque secteur.

Il a été conclu qu'EDL fonctionne à 95% avec du mazout et que les générateurs diesel privés fonctionnent entièrement avec du diesel, où les deux sont une source constante de pollution de l'air dans le pays. Ainsi la nécessité d'intégrer des ressources renouvelables est une solution incontournable pour réduire les émissions polluantes.

Les objectifs du chapitre 3 sont de fournir une analyse scientifique complète de l'état actuel du secteur électrique au Liban en mettant l'accent sur son impact négatif sur la pollution de l'air et sur le développement des usines et des petites entreprises.

Les énergies renouvelables au Liban et plus particulièrement l'énergie hydraulique étaient prévues pour couvrir l'ensemble des besoins nationaux en électricité où 41,5% de l'électricité libanaise était

produite à partir de centrales hydroélectriques jusqu'au début des années 70. Plus tard, une régression a été constatée dans cette production propre en raison de l'instabilité du régime politique où les centrales électriques et les réseaux ont souffert de la destruction, du vieillissement, de l'augmentation de la demande, du piratage et de nombreux autres facteurs de détérioration. Ces derniers troubles ont transformé le secteur électrique au Liban en un problème majeur au niveau économique et environnemental.

Le problème du secteur électrique est essentiellement dû aux anciens réseaux facilement piratés, à la forte dépendance à l'électricité à base de carburant, ce qui entraîne une augmentation de la pollution de l'air sans répondre à la demande de consommation d'énergie.

La sous-production d'énergie électrique a conduit au développement d'un secteur privé électrique parallèle également basé sur la combustion de carburant, ce qui a aggravé les problèmes de pollution de l'air malgré toutes les mesures prises par les gouvernements pour passer à une production d'électricité plus verte.

Enfin, une étude de cas sur la consommation d'électricité dans différents endroits de Beyrouth est réalisée et une analyse numérique prouve que le passage de la production de carburant à la production solaire contrôlée par un micro-réseau réduira l'impact économique de l'électricité.

Le chapitre 4 traite de la question de l'efficacité énergétique au Liban qui est devenue également un enjeu majeur au cours de la dernière décennie pour réduire les émissions de CO₂ et limiter la dépendance énergétique au fioul du pays.

La politique d'efficacité énergétique au Liban reste relativement modeste malgré le grand potentiel d'économies d'énergie dans tous les secteurs de consommation. A mentionner que plusieurs initiatives ont été prises pour diffuser l'utilisation des chauffe-eau solaires, notamment des aides financières directes sous conditions et des prêts à taux zéro.

Pour encourager la mise en œuvre de projets d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables au Liban, de nombreux mécanismes financiers ont été mis en place, en collaboration avec l'Union européenne et l'association des banques libanaises. Des fonds ont été proposés pour des prêts à des taux d'intérêt très bas ou nuls pour financer des projets dans les différents secteurs, en particulier l'industrie pour une transition en douceur vers des sources d'énergie propres.

Au cours de ce travail, nous avons mis en évidence les causes de la pollution de l'air produite par des sources extérieures et intérieures, où nous avons discuté de l'impact négatif sur la santé publique et le secteur économique.

Il a également été mentionné que les pays en développement sont confrontés au taux le plus élevé des causes dommageables de ces sources plus que les pays développés, car les citoyens comptent toujours sur les méthodes traditionnelles dans la plupart des activités de leur vie, soit à l'intérieur de leurs maisons, comme l'énergie de la biomasse la production pour l'habitat ou à l'extérieur telle que la production d'électricité obtenue à partir d'un combustible fossile classique. Une conclusion évidente est que dans les deux cas, les citoyens subiront les conséquences les plus lourdes, que ce soit au niveau de la santé ou de l'économie.

Nous avons également montré qu'au Liban, il existe de nombreuses sources de pollution de l'air, où le trafic, les générateurs diesel et différents types de déchets sont les principales sources d'émission. Des solutions précises et durables, voire un point de départ vers un environnement libanais plus propre, deviennent une nécessité et une urgence afin d'éviter les catastrophes ultimes pouvant résulter de la pratique actuelle.

Il a été observé également qu'en l'absence d'un transport public efficace et fiable tout en s'appuyant entièrement sur le véhicule privé, le pays sera confronté non seulement aux problèmes de circulation routière, mais également à une augmentation significative du pourcentage de pollution atmosphérique émise par le diesel et l'essence. De plus, le secteur des transports publics peut bénéficier de la révolution des énergies renouvelables et remplacer le diesel ou l'essence par des bus ou des véhicules électriques qui contribueront en partie à la réduction des émissions.

En tant que solution efficace et durable aux problèmes du secteur des transports au Liban qui contribuera radicalement au plan vers un environnement plus propre, nous recommandons fortement :

- * Redynamisation du service commun de transport en commun
- * Appliquer des lois plus strictes sur le nombre exagéré de voitures importées qui dépasse la capacité du pays en termes de routes, d'émissions et de coûts
- * Augmenter les taxes et les frais de service sur les vieilles voitures responsables de la majeure partie des émissions de GES.

Une étude détaillée pour l'efficacité énergétique au Liban qui reste relativement modeste malgré le grand potentiel d'économies d'énergie dans tous les secteurs de consommation a été réalisée. Nous avons observé que plusieurs tentatives ont été faites mais toujours le pays n'atteint pas encore un niveau acceptable.

Le plan d'efficacité énergétique est fortement recommandé pour être officiellement adopté au Liban, où principalement le pays fait face à une inflation très importante de la consommation d'énergie primaire depuis 2011, la crise des réfugiés, qui a affecté l'ensemble des activités économiques du pays.

Lors de notre étude il a été très surprenant qu'au Liban l'énergie primaire soit consommée majoritairement sous forme d'énergie finale et partagée entre EDL (30%) et 70% pour les secteurs transport, résidentiel, industriel, tertiaire et agricole. Aussi a-t-il été constaté que les secteurs du transport et du résidentiel sont les principaux consommateurs avec respectivement 34% et 25% de l'énergie primaire importée par le pays. De plus, il a été détecté une croissance continue de la consommation d'appareils électroménagers, en particulier pour les climatiseurs. Ces tendances confirment fortement la nécessité de travailler sur des équipements plus performants au niveau des ménages mais aussi de réduire ces besoins par une meilleure isolation thermique des bâtiments et plus largement sur des solutions de rafraîchissement urbain.

En ce qui concerne le secteur de la production d'électricité au Liban, cette affaire a aussi son immense part de complications où deux sources principales, Electricité du Liban, (EDL : secteur public) et les générateurs diesel (DG : secteur privé), fonctionnent en parallèle pour remplir les besoins énergétiques des citoyens.

EDL, elle fonctionne à 95% au mazout tandis que la DG fonctionne entièrement au diesel et les deux sont une source constante de pollution de l'air dans le pays.

Concernant l'EDL, afin d'atteindre une production appropriée acceptable, il a besoin de réhabilitation, de mise à niveau et de passage de la combustion de combustibles fossiles à une combinaison de production avec des énergies renouvelables, nous recommandons donc fortement aux décideurs de ce secteur de :

Commencer par réactiver la production des centrales hydrauliques puisque des centrales existent déjà et que le pays est considéré comme très riche en sources d'eau. Cependant, le gouvernement

libanais ne devrait pas compter uniquement sur la production d'énergie hydraulique pour une production propre car cette dernière ne peut pas être une solution efficace à elle seule si l'on prend en considération le changement climatique au cours des 3 dernières décennies au Liban où nous sommes confrontés récemment à une diminution aléatoire des précipitations.

* Activer la récolte de l'énergie solaire, une ressource renouvelable précieuse et très efficace qui peut être capitalisée facilement au Liban puisque le pays bénéficie de plus de 3000 heures de soleil au cours de l'année. Une telle démarche de basculement vers l'énergie solaire a nécessité l'installation de fermes photovoltaïques sur les plans national et individuel, où l'intervention gouvernementale est fortement nécessaire aux niveaux financier et technique au début jusqu'à ce que le secteur solaire devienne auto-productif et satisfaisant en termes d'énergie et finance.

* Modifier les lois gouvernementales actuelles concernant la production d'électricité en permettant aux particuliers de vendre l'excédent d'énergie produite par les sources renouvelables au gouvernement (solution sur le réseau), un rythme qui peut avoir des avantages mutuels soit sur l'économie soit sur la réduction de la pollution, protection de l'environnement et avantage pour la santé.

En ce qui concerne les générateurs diesel (DG), cette tendance a été introduite au cours des 2 dernières décennies au Liban pour couvrir la pénurie d'EDL dans l'approvisionnement en électricité et les consommateurs libanais se sont retrouvés à payer deux factures d'électricité où la facture du DG est le double de celle de l'électricité publique et l'impact environnemental est très nocif.

Les deux sources, EDL et DG, ont un niveau très élevé d'émissions de GES où le niveau des émissions de CO₂ par PIB au Liban est supérieur à la moyenne mondiale. En fait, le secteur électrique libanais est responsable de 51 % des émissions totales de GES dans le pays et sur ces 51 %, l'EDL est responsable de 32 %, le DG de 16 %, tandis que le reste provient de la consommation de carburant pour la cuisson et le chauffage.

Afin de proposer un plan efficace et applicable pour la réduction de l'effet dangereux causé par EDL et DG de la manière classique de production d'électricité, nous avons exploré la possibilité d'intégrer un micro-réseau à usage résidentiel. Une étude de terrain a été réalisée pour la consommation électrique d'un ensemble de ménages libanais et couvre 4 saisons des années 2020-

2021, à l'aide d'une analyse numérique basée sur une mesure de données réelles et nous a permis de proposer quelques recommandations et solutions.

L'étude numérique nous a permis de faire une comparaison fiable entre l'approvisionnement des générateurs Diesel et le micro-réseau, probablement des sources propres alternatives, pour vérifier la possibilité de couvrir la pénurie de l'EDL. Les résultats obtenus ont clairement montré le bénéfique et les avantages du passage à la production d'énergie par micro-réseaux.

La nécessité de cette étude vient du fait que nous sommes confrontés au Liban à un passage brutal de l'énergie fossile à l'énergie verte sans réelle estimation des coûts et sans prise en compte de plusieurs aspects tels que l'investissement, les atteintes à l'environnement et les coûts de consommation. C'est pourquoi nous avons cherché à établir un plan économique de commutation de la production d'énergie entre le micro-réseau et le générateur de carburant sur 24 heures avec une demande d'énergie donnée par le développement et l'optimisation du modèle analytique considérant simultanément tous ces coûts.