



**HAL**  
open science

## Le marché des groupes électrogènes dans les Suds

Elvan Arik

► **To cite this version:**

Elvan Arik. Le marché des groupes électrogènes dans les Suds : [rapport dans le cadre de l'ANR Hybridelec]. [Rapport de recherche] Agence Française de Développement; CERI Sc Po Paris. 2019. hal-02064136

**HAL Id: hal-02064136**

**<https://hal.science/hal-02064136>**

Submitted on 21 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Le marché mondial des groupes électrogènes



Groupe électrogène Aksa sur le toit d'un immeuble d'Istanbul, 2011, Crédit : E.A.

Hybridelec-Programme soutenu par l'ANR

Contrat n°

Cette recherche a bénéficié du soutien  
de l'Agence française de développement

Etude rédigée par Elvan Arik

Supervision : Eric Verdeil

2019

## Résumé

Ce travail s'inscrit au cœur des réflexions menées par l'ANR Hybridelec autour de l'hybridation des systèmes électriques dans des villes de pays en développement et émergents. Il s'intéresse spécifiquement aux groupes électrogènes qui, dans ces pays où les réseaux conventionnels peinent à universaliser l'accès aux services essentiels, sont à la base de différentes configurations alternatives de production et de distribution d'électricité. Fixes ou mobiles, ces appareils sont principalement utilisés pour produire une source autonome d'électricité en complément ou de façon totalement indépendante aux réseaux. Cette fonction initiale subalterne vis-à-vis des modèles dominants de production et de fourniture d'électricité explique sans doute pourquoi ces petits objets ont été, à l'inverse, des macro-systèmes techniques, peu étudiés par les sciences sociales, y compris dans le champ des STS (*Science and Technical Studies*).

La première partie de l'étude présente les principales caractéristiques de fonctionnement de cette technologie méconnue. Quels éléments matériels et procédés techniques permettent aux groupes électrogènes de produire du courant électrique ? Quelles sont les propriétés différenciées de ce courant en fonction des combustibles utilisés et des contextes d'implantation des groupes électrogènes ? Quelles innovations ont-ils récemment connu ? Cette notice technique met en avant la capacité des groupes électrogènes et des fabricants industriels à s'adapter aux transformations contemporaines de la demande d'électricité (hausse des consommations, diffusion des appareils électroniques) ainsi qu'à l'inflexion de politiques énergétiques tournées vers la valorisation des énergies renouvelables. Aussi loin d'être obsolètes, les groupes électrogènes doivent être considérés comme des technologies modernes, flexibles (couplage avec différents types de flux et de systèmes techniques) et dont les dimensions relativement réduites, facilitent les possibilités d'individualisation de la fourniture d'électricité selon les besoins.

Une deuxième partie évoque l'émergence de petits systèmes électriques hybrides nés de l'association entre des groupes électrogènes, des sources d'énergies renouvelables et des unités de stockage. Cette forme d'hybridation présente l'avantage de minimiser les inconvénients respectifs des technologies combinées (principalement sous la forme de groupes électrogènes diesel avec du solaire photovoltaïque), c'est-à-dire la dépendance au carburant, à ses variations de prix et à la dégradation rapide du rendement de puissance dans le cas des groupes électrogènes et l'intermittence de la production dans le cas des ENR. Le couplage des deux est censé favoriser l'ajustement de l'offre d'électricité à la variation de la demande et ainsi réduire significativement la consommation de combustible (de 50 à 85% selon les contextes) et les émissions de CO<sub>2</sub>, tout en améliorant la qualité du service. Si la réduction drastique des coûts de production des batteries et des technologies renouvelables incite les industriels à investir dans ce secteur, le développement des mini-réseaux de distribution hybride est freiné par des difficultés d'ordre technique, économique et politique. La dynamique d'hybridation des groupes électrogènes est de fait encore marginale et reste cantonnée à des projets d'électrification rurale, notamment dans les régions fortement ensoleillées d'Afrique Sub-Saharienne et du Moyen-Orient.

Une troisième et dernière partie dresse un état des lieux de l'organisation mondiale du marché des groupes électrogènes alimentés au diesel, ces derniers représentant plus de 80% de la production et des ventes totales. Est ainsi proposée une lecture géographique et quantifiée des circuits d'importation et d'exportation des groupes électrogènes selon leurs usages finaux. Il ressort de cette analyse que les dynamiques structurant les modalités de diffusion et d'implantation des groupes électrogènes (fort développement du commerce mondial depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, position dominante des pays industrialisés au sein des filières de production et de distribution, montée en puissance des pays émergents en tant que producteurs et consommateurs) sont liées à un phénomène commun d'urbanisation planétaire. En effet, la forte croissance des usages des groupes électrogènes, directement visibles dans les pays du Sud où ils viennent pallier les coupures fréquentes de courant, mais dont l'encastrement, matériellement plus diffus et dissimulé, est non moins important dans les pays développés, est entièrement guidée par des réalités sociales, économiques et techniques en prise directe avec des espaces urbanisés. Qu'ils servent à sécuriser une fourniture d'électricité ininterrompue dans des infrastructures aussi diverses que des aéroports, *data-center*, complexes immobiliers, commerciaux ou industriels ou lors d'événements sportifs internationaux, les groupes électrogènes s'insèrent au final au cœur de configurations énergétiques typiquement urbaines.

## Méthodologie

Différents types de source, exclusivement de seconde main, ont été mobilisés pour construire cette courte étude. Les données techniques ont été synthétisées à partir de sites/blogs généralistes (<https://www.ooreka.fr/>, <http://energie-developpement.blogspot.com/>, Wikipedia) ou directement recueillis sur les sites des principaux industriels du secteur. Toutes les informations relatives aux innovations technologiques et à la situation du marché des groupes électrogènes proviennent soit :

- de magazines spécialisés : *Worldwide Independent Power*, *Technical Review Middle East*, *African Review of Business and Technology* ;
- d'études scientifiques ou de rapports commandités par des institutions internationales (IEA, Banque Mondiale, IRENA, ONG) ;
- d'articles de presse ;
- de deux bases de données statistiques :
  - o la première est produite par la Banque Mondiale (<http://www.enterprisesurveys.org/>) et indique le taux de pénétration des groupes électrogènes au sein d'un échantillon d'entreprises privées, officiellement enregistrées, de petite (5-19 employés), moyenne (20-99 employés) ou grande taille (+100 employés), actives dans le secteur industriel, commercial ou tertiaire des pays aux revenus bas ou intermédiaires
  - o la seconde est constituée des informations recueillies par la société de consulting [Mordor Intelligence](#) qui nous a livré un échantillon de données personnalisées présentant la valeur totale (en \$) des importations et des exportations de GE diesel de différentes puissances (< 75 kVA, entre 75 et 375 kVA, > 375 kVA) entre 1997 et 2017. Les données sont désagrégées à l'échelle de 26 pays dont 8 pays industrialisés (Etats-Unis, Grande-Bretagne, Canada, Allemagne, Australie, France, Norvège, Israël), 13 pays « émergents » (Inde, Pakistan, Afrique du Sud, Turquie, Russie, Emirats Arabes Unies, Indonésie, Mexique, Chine, Corée du Sud, Chili, Liban, Iran) et 5 pays pauvres : Nigéria, Bénin, Sénégal, Thaïlande, Bangladesh. Constitué des informations recueillies directement auprès des industriels du secteur, de recoupages d'expertises diverses ou de revues de presse, le rapport comporte par ailleurs une réflexion plus générale sur l'organisation de la filière industrielle, sur les perspectives de croissance du marché selon les régions du monde et les types de groupes électrogènes, sur le potentiel d'hybridation de cette technologie et présente certains acteurs dominant du marché (voir ci-après la description des objectifs et le plan du livrable mis à disposition).

## AIM AND OBJECTIVE OF THE STUDY

In order to identify and analyze factors that are instrumental in changing the Asia-Pacific and Middle East & Africa generator sets market scenario, along with important commercial developments, rising prospective opportunities, supply chain analysis, product life cycle analysis, potential for hybridization of generators with different technologies, competitive landscape, and to estimate current market size and demand forecast by fuel, till 2023.

### STUDY PERIOD

2016 - 2023

### BASE YEAR

2017

### GEOGRAPHICAL SCOPE – ASIA-PACIFIC, MIDDLE EAST & AFRICA



### SEGMENTS COVERED

- Market Dynamics 
- Market Segmentation, by Fuel Type 
- Competitive Landscape 
- Supply Chain Analysis 

Custom Report

Asia-Pacific, Middle East & Africa Generator Sets Market

 MordorIntelligence

## TABLE OF CONTENTS

 3 

### 1. EXECUTIVE SUMMARY

### 2. RESEARCH METHODOLOGY

- 2.1 Scope of the Study
- 2.2 Market Definition
- 2.3 Study Assumptions
- 2.4 Study Deliverables
- 2.5 Research Phases

### 3. MARKET OVERVIEW

- 3.1 Introduction
- 3.2 Generator Sets Market Size and Demand Forecast (2017-2023), in USD billion
- 3.3 Imports and Exports, in USD, 1997-2017
- 3.4 Government Policies and Regulations

### 4. MARKET DYNAMICS

- 4.1 Drivers
- 4.2 Restraints
- 4.3 Opportunities

### 5. SUPPLY CHAIN ANALYSIS

### 6. PRODUCT LIFE CYCLE ANALYSIS

### 7. MARKET SEGMENTATION AND ANALYSIS, BY FUEL (Introduction, Generator Sets Market Size and Demand Forecast (2017-2023), in USD billion)

- 7.1 Diesel
- 7.2 Gas
- 7.3 Other Fuels

### 8. DISCUSSION ON POTENTIAL FOR HYBRIDIZATION OF GENERATORS WITH DIFFERENT TECHNOLOGIES

### 9. DISCUSSION ON THE COMPANIES SHOWING INTEREST IN DEVELOPING THE HYBRIDIZATION IN SOUTHERN COUNTRIES

### 10. COMPETITIVE LANDSCAPE

- 10.1 Strategies Adopted by Leading Market Players
- 10.2 Analysis on Production / Distribution / Services After Sales / Rental Chains of Leading Players

### 11. FUTURE OF THE MARKET

Custom Report

Asia-Pacific, Middle East & Africa Generator Sets Market

 MordorIntelligence

## Sommaire

I. Caractéristiques techniques des groupes électrogènes .....	6
<i>Puissance</i> .....	7
<i>Monophasé – Triphasé</i> .....	9
<i>Combustibles traditionnels</i> .....	9
<i>Segmentation de l’offre</i> .....	12
<i>Innovations récentes</i> .....	12
II. L’hybridation des groupes électrogènes .....	14
<i>Les GE hybrides : une technologie émergente</i> .....	14
<i>Energy Storage System (ESS) : les batteries de stockage de l’électricité</i> .....	15
<i>L’exemple des GE diesel + panneaux photovoltaïques (+ batteries)</i> .....	16
<i>Profils de quelques fabricants de solutions hybrides dans les pays du Sud</i> .....	18
III. Le marché des GE diesel.....	21
<i>Etat des lieux d’une technologie mondialisée</i> .....	21
<i>Répartition des GE diesel selon les usages</i> .....	22
<i>Statistiques sur le commerce mondial des GE diesel : 1997-2017</i> .....	29

## I. Caractéristiques techniques des groupes électrogènes

Un groupe électrogène (parfois appelé « générateur » par une mauvaise traduction de l'anglais « *generator* ») est un dispositif autonome permettant d'obtenir une source de courant mobile ou fixe. Leur taille et leur poids varient de quelques kilos à plusieurs dizaines de tonnes. Les groupes électrogènes (GE) sont la solution la plus simple et la plus répandue lorsque le réseau électrique n'est pas accessible ou peu fiable. L'électricité est produite par une génératrice, soit un appareil qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Il existe deux types de génératrices :

- les dynamos qui transforment l'énergie mécanique par induction électromagnétique et qui produisent un courant continu (« *direct current* »), c'est-à-dire un courant non interrompu circulant dans un sens unique. Elles équipent souvent des appareils de petites tailles comme les générateurs de camping-car ou les recharges de batterie ;
- les **alternateurs ou moteurs thermiques** qui impulsent la rotation d'un aimant (rotor), celui-ci produisant un champ magnétique collecté par des bobines de cuivre (stator) qui le convertissent ensuite en courant électrique alternatif (« *alternative current* »). Ce courant est devenu dominant en raison de sa capacité à être facilement converti en très haute tension pour minimiser les pertes lors d'un transport à grande distance.

### *Puissance*

La puissance d'un GE s'exprime en VA (Voltampère), kVA (Kilovoltampère) ou MVA (Mégavoltampère). Cette « puissance de sortie » ne doit pas être confondue avec la puissance « réelle » ou « apparente » du moteur qui est mesurée en Watt (W) et qu'il faut multiplier par un « facteur de puissance », généralement de 0,8, pour obtenir la puissance réelle. Sauf indication contraire, pour passer d'une puissance en kVA à une puissance en kW, il faut donc retirer 20%. Par exemple, un GE de 500 kVa fournit 400 kW de puissance réelle.

La puissance d'un GE dépend aussi de la température et de l'altitude. En général, la puissance affichée par les fabricants est valable pour une altitude inférieure à 150 mètres et pour une température inférieure à 30°C. Lorsque l'altitude dépasse 150 mètres, un GE perd environ 1% de sa puissance tous les 100 mètres. Lorsque la température dépasse 30°C, un GE perd environ 2% de sa puissance par tranche de 5°C.

### Exemple

« Si on se trouve dans le Haut Atlas au Maroc, à une altitude d'environ 2000 mètres et avec une température qui peut facilement atteindre 45°C dans le local où se trouve le groupe électrogène, la puissance du groupe sera réduite de :

=>  $(45^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) / 5 \times 2 \% = 6 \%$  en raison de la chaleur

=>  $(2000 \text{ m} - 150 \text{ m}) / 100 \times 1\% = 18.5 \%$  en raison de l'altitude

Dans ces conditions, un groupe électrogène supposé fournir 10kW ne sera en fait capable de fournir qu'un peu plus de 7.5kW ! »<sup>1</sup>

Enfin, la puissance d'un GE varie selon la durée de son utilisation et de la charge électrique à supporter. Plusieurs normes internationales, souvent affichées sur les GE, uniformisent différents profils d'utilisation :

- *Prime Running Power* (PRP) : Charge variable / durée illimitée

Le GE peut fournir une puissance inférieure ou égale à la puissance affichée pendant une durée illimitée. Les surcharges sont possibles, toutefois, elles ne doivent pas être supérieures à 10% de la puissance maximale, ne doivent pas durer plus d'une heure (par fréquence de 12 heures) et ne doivent pas dépasser au total plus de 25 heures par an.

- *Continuous Operating Power* (COP) : Charge constante / durée illimitée

Le GE peut fournir la puissance affichée pendant une durée illimitée à condition que la charge soit constante, ce qui n'est en général jamais le cas.

- *Limited-Time running Power* (LTP) : Charge constante / Durée limitée

Le GE peut fournir la puissance affichée pendant au maximum 500 heures par an à charge constante. Si le GE ne s'arrête pas instantanément une fois ce seuil dépassé, son fonctionnement se dégrade très rapidement.

- *Emergency Stand-by Power* (ESP) : Charge variable / durée limitée

Le GE peut fournir la puissance affichée à une charge variable pendant au maximum 25 heures par an et à 80% au moins de cette puissance pendant au maximum 200 heures par an. Aucune surcharge n'est possible.

Les GE en LTP ou ESP sont destinés à prendre le relai du réseau électrique dans les installations sensibles (hôpitaux, *data center*) alors que les GE en COP ou PRP sont conçus pour être la source principale d'une installation.

---

<sup>1</sup> « Choisir la puissance d'un groupe électrogène », <http://energie-developpement.blogspot.com/2012/03/kva-kw->

### Exemple :

Un groupe électrogène 10 kVA PRP, pourra alimenter pendant plusieurs heures par jour une installation dont la consommation est variable et inférieure 10 kVA, il pourra même monter jusqu'à 11kVA si cette surcharge est très limitée dans le temps.

Si c'est 10 kVA ESP, le groupe électrogène n'est conçu pour fournir cette puissance que pendant 25h par an (un peu moins de 5 minutes par jour) et jusqu'à 8 kVA mais seulement 200h par an (soit une grosse demi-heure par jour)<sup>2</sup>.

Les GE, en particulier ceux dont la puissance est inférieure à 250 kVA (200 kW) connaissent des baisses de rendements importantes lorsqu'ils sont utilisés à faible facteur de charge (< 40%), c'est à dire que la consommation de carburant par kWh produit augmente. Par ailleurs, tous les moteurs de GE se dégradent progressivement après une utilisation répétée sur de longues périodes et à faible facteur de charge. La maintenance ou le remplacement des pièces est nécessaires à partir de 15 000 – 25 000 heures de fonctionnement.

### *Monophasé – Triphasé*

Selon la puissance nécessaire, le GE peut délivrer un courant monophasé ou triphasé. Le premier est une forme de courant alternatif, non continu, constitué d'une seule phase électrique et dont la puissance ne dépasse généralement pas 18 kVa. Un courant monophasé est suffisant pour l'alimentation d'un logement ou d'un petit chantier. Le courant triphasé permet de fournir une tension (exprimée en Volt) trois fois supérieure à celle du monophasé, qui s'avère nécessaire pour faire fonctionner des appareils relativement énergivores (moteurs électrique, appareils de chauffage, etc.).

Tous les GE triphasés sont capables de produire du courant monophasé. L'inverse est toutefois impossible. Les avantages du triphasé sont : moins de perte sur le transport d'électricité, une puissance plus importante et la possibilité de recourir aux différents types de tensions que l'on trouve dans le monde (120 V, 230 V, 400 V)<sup>3</sup>.

### *Combustibles traditionnels*

#### ➤ *Diesel*

Le diesel (ou gazole, gasoil), reconnaissable par son aspect jaunâtre et translucide, est un dérivé du pétrole brut. Contrairement à l'essence, issue également de la distillation du pétrole, le diesel est majoritairement composé de molécules d'hydrocarbures lourdes. Les moteurs à diesel n'utilisent pas d'étincelles pour démarrer (comme pour l'essence), mais réagissent à la compression de l'air à très haute pression. C'est elle qui crée la chaleur au contact de laquelle le diesel s'enflamme instantanément.

---

<sup>2</sup> « Quelle est réellement la puissance maximale de votre groupe électrogène », <http://energie-developpement.blogspot.com/2012/03/generateur-prp-esp-cop-ltp-puissance.html>

<sup>3</sup> Voir « 50 Hz ou 60 Hz, 220 V ou 110 V, l'électricité dans le monde », <http://energie-developpement.blogspot.com/2011/09/50hz-ou-60hz-220v-ou-110v-lelectricite.html>

En 2017, les GE diesel représentent 80% du marché mondial<sup>4</sup>, une domination qui s'explique :

- pour des raisons économiques et pratiques : le diesel est abordable et accessible partout dans le monde. Si les GE diesel sont plus chers à l'achat que les GE essence, leur utilisation est plus rentable sur la longue durée.
- pour des raisons techniques : les moteurs diesel ont des rendements supérieurs aux autres types de moteur et permettent une utilisation intensive. Ils sont donc adaptés à des phases de travail prolongées.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiabilité et puissance : entre 3,5 kVA et 3500 kVa</li> <li>- Facilité de ravitaillement</li> <li>- Usage longue durée</li> <li>- Temps de refroidissement espacé (toutes les 8-9h contre 3-4h pour le GE essence)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lourd et encombrant</li> <li>- Polluant (inadapté au milieu domestique)</li> <li>- Bruyant</li> </ul>

#### ➤ *Essence*

L'essence est un carburant « léger » issue de la distillation du pétrole brut qui alimente des moteurs à combustion interne. Les GE à essence sont exclusivement utilisés pour des usages domestiques car :

- ils produisent une puissance limitée (entre 0,7 et 7,5 kVA)
- ils ne génèrent que très peu de nuisances sonores (inférieur à 90 décibels)
- ils sont légers, compacts et polyvalents
- ils produisent exclusivement du courant monophasé

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapport poids/puissance</li> <li>- Facilité de ravitaillement</li> <li>- Pollution limitée</li> <li>- Compacité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible puissance</li> <li>- Forte consommation de carburant</li> <li>- Stockage délicat du carburant</li> </ul>

#### ➤ *Fioul lourd*

Le fioul lourd (ou mazout) dispose de caractéristiques similaires au diesel. Il est toutefois moins inflammable et légèrement plus efficace en termes de rendement calorifique grâce à une concentration plus élevée de soufre. Mais, il contient plus d'impuretés et de viscosités qui le rendent plus polluant et qui endommagent les composants des moteurs (filtres à particule, pompe à pression, etc.). Comparé au diesel, sa principale différence est son prix. Il bénéficie d'un allègement de taxes pour aider l'activité de certains secteurs économiques (transport routier, fluvial, aérien, exploitant agricole, pêche, industrie). En France, par exemple, la taxe prélevée par l'État sur le fioul s'élève à 11,89 centimes par litre en 2017 contre 53,07 centimes sur le diesel. Pour repérer les usages non autorisés du fioul et sanctionner ce qui est considéré comme de la

<sup>4</sup> « Worldwide Independent Power », Janvier-Février 2018, n°189, p.16.

fraude fiscale, les États ajoutent un colorant rouge au fioul pour le distinguer du diesel. D'où les expressions courantes : « utiliser du rouge », « rouler au rouge ».

Les GE à fioul lourd sont rares, souvent interdits par des réglementations nationales, en raison de la forte pollution occasionnée. On trouve principalement sur le marché des GE à fuel de marque chinoise comme par exemple à Gaza<sup>5</sup>. Le fuel « rouge », dont l'utilisation est compatible avec les GE diesel, est par ailleurs l'objet d'une importante activité de contrebande, en particulier dans les pays en développement<sup>6</sup>. Depuis quelques années, un « fuel vert », plus écologique (car déssouffré) et économique, a été mis sur le marché (en 2016 en France). En 2018, le gouvernement libanais a indiqué vouloir introduire ce nouveau carburant dans le pays pour remplacer le « fuel rouge »<sup>7</sup>.

### ➤ *Gaz naturel*

Technologies désormais maîtrisées par les industriels et entrées dans une phase de développement (production à grande échelle et économie d'échelle), les GE à gaz naturel concurrencent depuis peu les GE diesel. En 2017, ils représentent 9% du marché mondial<sup>8</sup> mais la montée des préoccupations environnementales et l'imposition des normes nationales d'émissions polluantes laisse entrevoir de fortes perspectives de croissance.

Les récentes politiques de développement des infrastructures gazières en Inde (« *Vision 2030* ») et en Chine (« *Natural Gas Infrastructure Development Strategy of China* ») ont eu pour effet d'accroître la pénétration nationale des GE gaz. Dans un souci de lutte contre la pollution atmosphérique, le gouvernement de Dehli aurait pour ambition de remplacer la flotte urbaine de GE diesel par des GE à gaz en octroyant une série d'avantages (économiques ?) aux industriels.

Le fonctionnement d'un moteur à gaz naturel est identique à celui d'un GE diesel. Celui-ci présente donc les mêmes caractéristiques de puissance. Il est toutefois plus avantageux en termes :

- de qualité environnementale : la combustion du gaz naturel émet moins de particules polluantes (nitrogène, sulfure, CO<sub>2</sub>)
- de réduction des nuisances sonores et olfactives
- d'efficacité énergétique : la combustion du gaz à haute température (1000 – 1200 degré Fahrenheit contre 500-700°F pour le diesel) réduit les dépôts de combustibles non brûlés et augmente donc le rendement des GE.
- de coût : le gaz naturel est souvent moins cher que le diesel

---

<sup>5</sup> « Des générateurs au fioul qui tuent... », L'Orient le Jour, 07/06/2010, [https://www.lorientlejour.com/article/660031/Des\\_generateurs\\_au\\_fioul\\_qui\\_tuent...html](https://www.lorientlejour.com/article/660031/Des_generateurs_au_fioul_qui_tuent...html)

<sup>6</sup> Voir le site <https://stopfuelsmuggling.com/>

<sup>7</sup> « Le Liban abandonne le fioul rouge pour le fioul vert, annonce Abi Khalil », L'Orient le Jour, 19/06/2018, <https://www.lorientlejour.com/article/1121629/le-liban-abandonne-le-fioul-rouge-pour-le-fioul-vert-annonce-abi-khalil.html>

<sup>8</sup> « Worldwide Independent Power », Novembre 2017, n°187, p.5.

Par contre, les GE à gaz naturel sont dépendants d'une alimentation par réseau. À ce titre, il serait intéressant de connaître les configurations sociotechniques existantes qui encadrent le fonctionnement de ces systèmes (types de contrats entre les propriétaires d'un GE et les opérateurs des réseaux de gaz naturel, modes de facturation, usages de l'électricité, etc.)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution réduite</li> <li>- Puissance et efficacité énergétique</li> <li>- Silencieux</li> <li>- Coût réduit du combustible</li> <li>- Pas de stockage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépendance aux réseaux</li> </ul>

Les GE alimentés par du propane (gaz liquéfié) sont quant à eux peu développés car très énergivores (consommation trois fois supérieurs à un GE diesel) et dangereux (risque d'explosion par inflammation). Ils se limitent à des usages domestiques.

### Segmentation de l'offre

Aucune classification standardisée ne semble exister pour distinguer la diversité des types de GE. La segmentation de l'offre diffère selon les critères employés :

- **puissance** : de 1 à 4000 kVA. La typologie la plus courante distingue des GE de puissance faible (0-75 kVA), moyenne (75-375 kVA) et forte (375 kVA et +) ;
- **secteur d'usage** : résidentiel, commercial, agricole, tertiaire, industriel, etc ;
- **périodicité et fonction** : secours (*back-up solution*), occasionnel (camping-car, chantier) ou production principale et intensive d'électricité ;
- **taille et mobilité** : portable de petite taille/fixe-stationnaire de taille moyenne à grande

### Innovations récentes

#### ➤ *Automatic voltage regulator (AVR) : GE avec régulateur de tension*

L'AVR est un système de régulation automatique de la tension en fonction de la charge appliquée au GE. C'est un condensateur qui stabilise l'écart de la courbe de charge par rapport à un courant parfait en agissant sur l'allumage et la rotation du moteur (vitesse entre 1500 et 3000 tours minutes). L'AVR équipe désormais la majeure partie des GE mais n'est toutefois pas assez efficace pour l'alimentation des nouveaux appareils électroniques.

#### ➤ *Inverted generator : GE avec onduleurs*

La diffusion massive des appareils électroniques dans la vie quotidienne a poussé les constructeurs à installer des onduleurs (« *inverter* ») au sein des GE pour fabriquer un courant très stable et approprié au besoin instantané des téléphones, ordinateurs portables, télévision, etc. Contrairement à l'AVR, les onduleurs ne corrigent pas le courant du moteur mais retraitent complètement son courant de base pour approcher du courant parfait. La fréquence du courant ne dépend plus de la vitesse du moteur mais d'une horloge électronique. En asservissant le régime du moteur à la demande de courant, celui-ci adapte automatiquement sa vitesse et ne

fonctionne donc jamais en sur-régime. D'où la réalisation d'économies de carburant, une autonomie augmentée des GE et des nuisances sonores réduites. Cette innovation a par ailleurs permis de produire des GE beaucoup plus petits, compacts et légers. Selon le directeur de Caterpillar, « *The seventy-year old 50 kVA generator set is about the same size as 250-300 kVA generator set today* »<sup>9</sup>. Ils sont toutefois plus onéreux que les GE classiques et équipent essentiellement pour l'instant des GE de faible puissance.

#### ➤ *Démarrage automatique*

Le démarrage classique du moteur est un démarrage manuel par lanceur. Les plus gros GE sont désormais équipés d'un démarrage électrique automatique qui, associés à un système de détection des coupures de secteur, permet une alimentation d'électricité en continu.

#### ➤ *Combustibles « verts » et possibilité de mix énergétique*

Encore en phase expérimentale ou de prototypage (donc non compétitif en termes de prix comparé aux GE diesel/gaz/essence), des GE dits « propres » ou « verts » sont récemment apparus sur le marché. Les innovations portent sur :

- l'alimentation des GE avec de nouvelles ressources énergétiques :

Une start-up française créée en 2017 (H2SYS) a inventé le premier **GE à hydrogène**<sup>10</sup>. Présent en abondance dans l'eau (extraction par électrolyse), dans les combustibles fossiles (gaz naturel/charbon/pétrole) ou nucléaires, l'hydrogène est un gaz léger qui concentre des molécules à fort rendement énergétique. Présenté comme non polluant, totalement insonorisé et de fiabilité égale aux GE diesel, le GE à hydrogène est composé de piles à hydrogène (alimentation par bouteilles indépendantes) associées à des batteries<sup>11</sup>. D'une puissance comprise entre 1 et 15 kW, il est adapté à des petits usages électriques. Parmi d'autres sources alternatives alimentant des GE (méthanisation des déchets agricoles ou domestiques), on trouve **les biocarburants**. La société française Gelec a par exemple développé un GE aux huiles végétales brutes ou recyclées qu'il est possible de faire fonctionner avec de l'huile de colza, de palme, soja, de tournesol<sup>12</sup> ;

- la possibilité d'utilisation alternée (« dual-fuel ») ou simultanée (« bi-fuel ») de deux combustibles :

Les GE sont capables d'alterner ou de mixer manuellement ou automatiquement entre deux sources d'énergie (couplage gaz/diesel ou diesel/biocarburant) selon leur disponibilité ou leur prix. Leur coût initial d'investissement est de 15 à 20 % plus élevés que les GE traditionnels. Il a toutefois été estimé que cette « semi-hybridation » réduisait *a posteriori* les coûts de maintenance (notamment de stockage des combustibles sur site)

- l'introduction de systèmes de cogénération :

La société Gelec a créé un groupe électrogène couplant diesel/biocarburant et un système de cogénération. Cette technologie permet de récupérer la chaleur dégagée par le fonctionnement

---

<sup>9</sup> *Worldwide Independent Power*, Septembre 2018, n°196, p.24.

<sup>10</sup> « H2SYS invente le groupe électrogène à hydrogène », Les Echos, 07/01/2018, <https://www.lesechos.fr/pme-regions/innovateurs/0600317254184-h2sys-invente-le-groupe-electrogene-a-hydrogene-2234230.php>

<sup>11</sup> <http://h2sys.webetdesign.com/wp-content/uploads/2018/07/Plaquette-12-pages.pdf>

<sup>12</sup> [https://www.groupeselectrogenes.fr/groupe-electrogenes-a-lhuile-vegetale/?\\_ga=2.172188839.564381590.1549018852-247766060.1549018852](https://www.groupeselectrogenes.fr/groupe-electrogenes-a-lhuile-vegetale/?_ga=2.172188839.564381590.1549018852-247766060.1549018852)

du moteur thermique par le biais d'un échangeur à eau. Entre 10 et 500 kW de chaleur peut ainsi être produite pour alimenter un système de chauffage central ou produire de l'eau chaude<sup>13</sup>.

## II. L'hybridation des groupes électrogènes

### *Les GE hybrides : une technologie émergente*

Un système de production hybride est un système combinant deux sources d'énergie ou d'avantage, utilisées conjointement, incluant souvent (mais pas nécessairement) une unité de stockage et raccordé à un micro-réseau local de distribution. Bien que récente et donc faiblement déployée, cette solution a créé de nouvelles opportunités sur le marché des GE, principalement pour l'électrification rurale et dans le secteur industriel/commercial. Les opérateurs miniers (en Afrique, en Australie) sont aussi très demandeurs. L'implantation de ces solutions s'effectue principalement dans les zones non-desservies par un macro-réseau d'électricité, d'où une absence en milieu urbain où la connexion avec le réseau traditionnel est semble-t-il non maîtrisée d'un point de vue technique et sans doute organisationnelle. La combinaison GE diesel/solaire est la plus courante dans les régions ensoleillées d'Afrique et du Moyen-Orient. On trouve quelques rares projets d'hybridation GE diesel/éolien (et éventuellement solaire) en Asie.

En mars 2017, le Sri-Lanka a inauguré sa première centrale GE diesel/solaire/éolien de 60 KW. Située sur l'île de Eluvathivu, la centrale a été financée par la Banque de Développement Asiatique et le Ceylon Electricity Board.

Les Iles Caraïbes ont initié plusieurs projets similaires. En Martinique ou au Samoa, le groupe français Vergnet a installé des fermes de 550 KW.

L'hybridation présente l'avantage de minimiser les inconvénients respectifs des technologies associées, c'est-à-dire la dépendance au carburant, à ses variations de prix et à la dégradation rapide du rendement de puissance dans le cas des GE et l'intermittence de la production dans le cas des ENR. La combinaison des deux permet d'ajuster l'offre d'électricité à la variation de la demande et ainsi de réduire significativement la consommation de combustible (de 50 à 85% selon les contextes) et les émissions de CO<sub>2</sub>, tout en améliorant la qualité du service. La durée de vie des GE est par ailleurs allongée en cas d'utilisation des batteries de stockage d'électricité qui peuvent prendre le relais de la distribution aux heures de faible demande.

L'onduleur est la technologie centrale du fonctionnement d'un système hybride. Il permet de convertir les différents courants (les ENR produisent du courant continu alors que les GE du courant alternatif), d'ajuster automatiquement la tension et la fréquence du mini-réseau et de réguler la production et le stockage en cas d'utilisation d'une batterie.

---

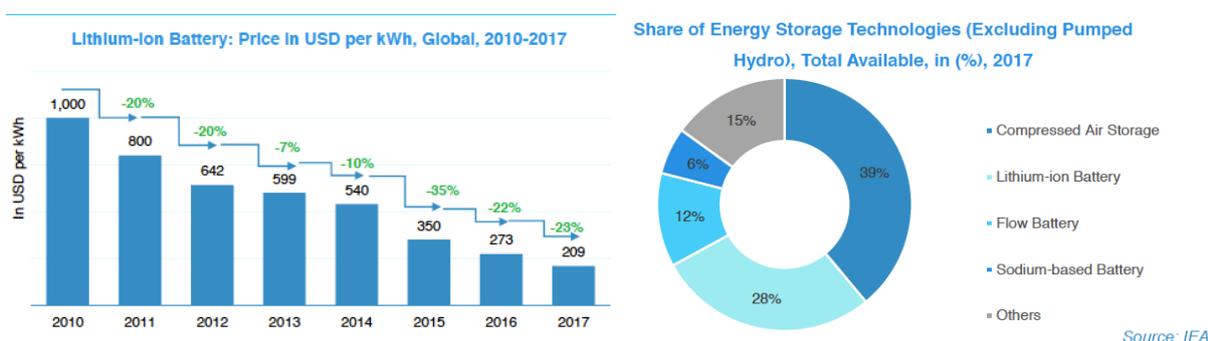
<sup>13</sup> <https://www.groupeselectrogenes.fr/groupe-electrogene-de-cogeneration/>

## Energy Storage System (ESS) : les batteries de stockage de l'électricité

La fonction principale des ESS est d'assurer la stabilité des micro-réseaux hybrides en :

- supportant la charge électrique durant les périodes de production intermittente
- en prenant le relais de la distribution en cas de rupture de courant

Selon l'IEA, les batteries les plus efficaces sont les batteries au acide-plomb (*lead-acid*) et lithium-ion. Le prix de ces dernières, qui a chuté de 22% entre 2016 et 2017, ne cesse de décroître depuis 2010. L'entreprise allemande Sonnen et l'entreprise australienne Natural Solar dominent actuellement le marché international. Les premiers ont ciblé le secteur commercial et industriel en Asie (Philippine, Malaisie) pour développer des batteries de 8 et 5 kW.



L'Asie et la région MENA devraient connaître le plus fort taux de développement des ESS d'ici 2025 et contracter en conséquence le marché des GE traditionnels. Il est attendu une croissance annuelle de 23% pour des projets *off-grid* et de 40% pour des *micro-grid* dans le secteur industriel et commercial<sup>14</sup>.

Toutefois, malgré la chute des prix des batteries, le coût de production d'électricité par des GE diesel reste encore plus compétitif, en particulier dans les pays où le prix du pétrole est fortement subventionné.

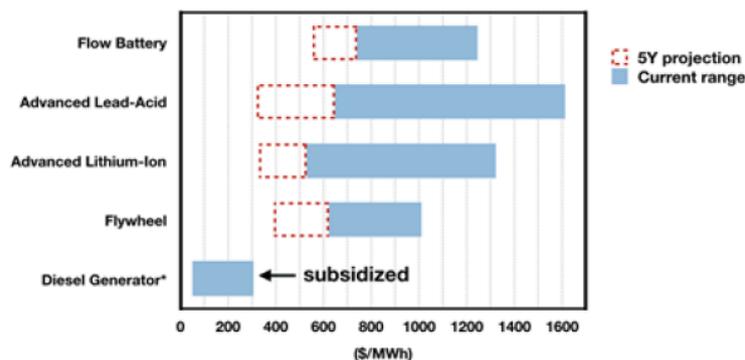


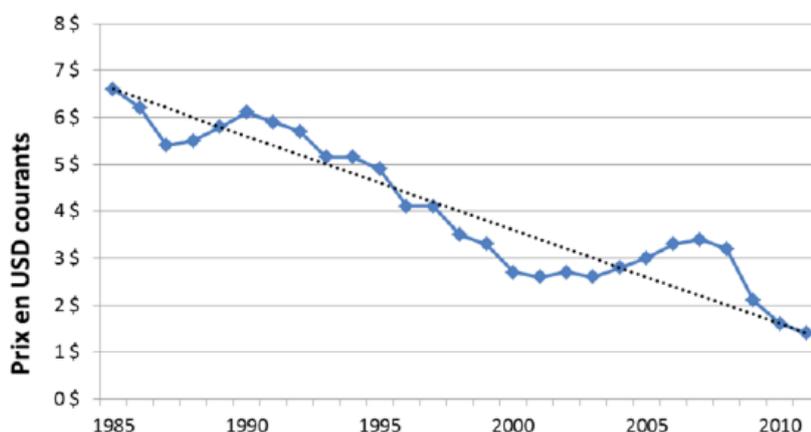
Figure 1: Levelized Cost of Storage in Distributed Systems for Industrial and Commercial Applications

<sup>14</sup> Ali Ahmad, « Prospects of energy storage in the Gulf », *Policy Brief*, 1/2019.

## L'exemple des GE diesel + panneaux photovoltaïques (+ batteries)

Avec la réduction importante du prix des panneaux solaires, la « solarisation » des GE soulève un intérêt de la part des institutions internationales et nationales en charge de l'électrification rurale. L'énergie solaire est considérée comme l'alternative la plus rentable dans les régions ensoleillées.

Évolution des prix des panneaux photovoltaïques entre 1985 et 2011<sup>15</sup>



Source : Données pour 1985-2010 de Paula Mints, analyste en chef, Programme des Services Solaires, Navigant. 2011 : Basé sur les données actuelles du marché.

En novembre 2012, le premier système *off-grid* en mégawatt GE diesel + PV est entré en opération dans la ville minière de Thabazimbi en Afrique du Sud. L'onduleur installé par la société française SMA a permis d'économiser 450 000 litres de diesel/an.

En novembre 2017, Vinci Énergies a été mandaté par la Société d'Électricité du Sénégal (Senelec) pour la construction de 7 centrales hybrides (Diesel/solaire de 2 MW) dans quatre régions du pays.

En 2011, Énergie du Mali (EDM-SA), en partenariat avec la Banque pour le Commerce et l'Industrie et l'entreprise privée ZED-SA a mis en place une centrale hybride de grande capacité pour alimenter la ville de Ouélessébougou. Le projet a consisté en l'hybridation de la centrale thermique diesel existante (2 X 275 kVA, 400 KW de puissance pointe) avec un champ photovoltaïque de 216 kWc et un parc de batterie OPzV de 1600 kWh. Le système UPS est composé de trois onduleurs Protect 4.33 de AEG Power Solutions, de 220 kVA chacun. Le système alimente environ 500 habitations. L'hybridation permet de mettre à l'arrêt les GE pendant la journée et de réduire leur temps d'utilisation de 75%. Budget du projet : 1,8 million d'euros<sup>16</sup>

En 2017, Enerwhere a installé un système hybride solaire/GE diesel/batterie (600 kVA, 200 kWh de stockage) au Moyen-Orient au sein du centre financier international de Dubaï (ICD Brookfield Place).

<sup>15</sup> « Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale », Rapport IEA-PVPS, T9-13, 2013, p.15

<sup>16</sup> *Ibidem*. Voir les nombreux autres exemples de petits systèmes hybrides installés en milieu rural dans les pays africains.

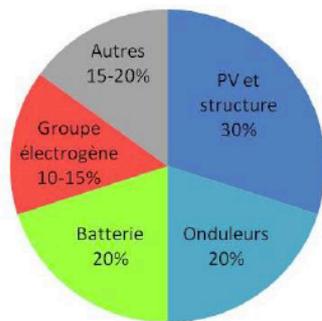
➤ *Les problèmes de conversion*

Le passage d'un système diesel traditionnel à un système hybride est entravé par<sup>17</sup> :

- un problème de financement :

« dans les pays où l'électricité est subventionnée, la transition d'un système diesel conventionnel à un système hybride induit un transfert des subventions auparavant consacrés aux coûts d'exploitation vers des subventions à l'investissement initial »<sup>18</sup>. Le coût moyen d'un système hybride PV-diesel varie entre 5500 et 9000 euros/kWc en Afrique et en Asie. Le temps de retour sur investissement dépend des économies de carburants engendrées par le système hybride. Selon l'IEA, il serait d'environ douze ans (contre 6 ans pour un système traditionnel). L'étude de marché Mordor estime plutôt que cette technologie est amortie en 4-5 ans.

**Coût des investissements d'un système hybride PV-diesel : répartition moyenne et cas Sénégalais/Cambodgien**



Lieu	Sénégal	Cambodge
<b>Capacité du champ PV</b>	<b>30 kWc</b>	<b>70.8 kWc</b>
Panneaux PV et structure support	56.600 €	141.700 €
Onduleurs	42.700 €	93.600 €
Parc de batteries	29.800 €	122.600 €
Groupe électrogène	21.400 €	84.600 €
Autres coûts (dont génie civil)*	24.000 €	98.400 €
<b>Total</b>	<b>174.500 €</b>	<b>540.900 €</b>
<b>Total / kWc PV</b>	<b>5.820 €</b>	<b>7.640 €</b>

\*Le coût n'inclut aucun réseau MT ou BT.

Sources : GIZ, IED

Source : « Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale », Rapport IEA-PVPS, T9-13, 2013, p.15

- des risques techniques et économiques :
  - Les PV ont une durée de vie longue (environ 20 ans) mais leur rendement diminue avec le temps. Il importe donc d'intégrer ce paramètre dans l'analyse économique initiale du projet ;
  - Les batteries acide-plomb perdent 15-20% de leur durée de vie pour chaque tranche de 5°C au dessus d'une température standard (25°C). Il faut également privilégier une décharge complète des batteries lors de chaque cycle d'utilisation afin de garantir dans le temps leur capacité. Étant donnée le coût des batteries (qui représente 20 à 30% du coût total d'un GE hybride), celles-ci sont généralement sur-dimensionnées par rapport au niveau de la demande locale afin d'accroître leur durée de vie.

<sup>17</sup> Informations issues de « Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale », Rapport IEA-PVPS, T9-13, 2013

<sup>18</sup> *Ibid.* p.20

- Les onduleurs sont une technologie de pointe qui nécessitent un personnel qualifié pour les réguler. Dans des régions pauvres et isolées, l'enjeu de l'accès à un service après-vente de qualité se pose.
- Une évolution significative de la demande peut affecter la part respective de chacune des sources d'énergie dans la production totale du système hybride : « une hausse très significative de la demande durant les heures où le parc de batteries et l'onduleur assurent la fourniture du service entraînera des appels de puissance et de courant élevés, avec pour conséquence des pertes accrues dans le cycle charge-décharge de la batterie »<sup>19</sup>

En définitive, étant donnés les coûts élevés d'investissement initiaux, « les zones où l'hybridation est économiquement justifiée se limitent actuellement aux régions où la ressource solaire est très abondante, ainsi qu'aux zones éloignées où le coût d'acheminement du diesel est très significatif »<sup>20</sup>.

### *Profils de quelques fabricants de solutions hybrides dans les pays du Sud*

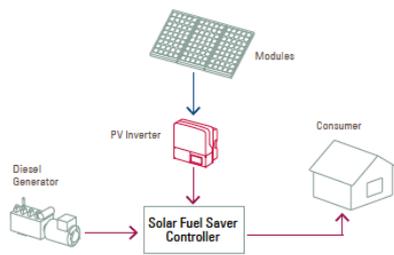
#### ➤ *Juwi*

Juwi est une société allemande fondée en 1996 dont le cœur de métier est la construction et la gestion de fermes éoliennes et solaires. Depuis 2016, Juwi développe des solutions *off-grid* hybrides de grandes et petites tailles. Elle a notamment réalisé pour le compte d'une société minière en Australie (site de DeGussa) le plus grand système hybride (10,6 MW) combinant 34 000 PV, une station de GE diesel (19 MW) et 6 MW de batteries Lithium-ion. Il est attendu une réduction annuelle de 12 000 tonnes de CO2 et une économie de 5 millions de litres de diesel. Juwy développe aussi des modules similaires de plus petites tailles (203 kW aux Maldives/ 2600 kW en Tanzanie) appelés « *Solar Fuel Saver* » qui peuvent produire une électricité à un coût inférieur à 10 centimes (\$) par kWh. La principale innovation de ces mini-systèmes est l'intégration d'une unité de contrôle qui réduit automatiquement la charge des GE (et donc la consommation de diesel) en fonction de la puissance produite par les panneaux solaires.

---

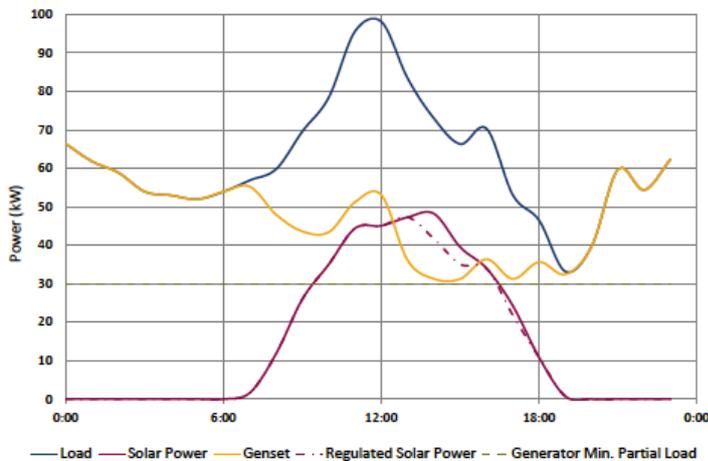
<sup>19</sup> *Ibid.* p.17

<sup>20</sup> *Ibid.* p.18



The Solar Fuel Saver acts as the interface between the solar plant and your diesel generator, regulating the solar power output to ensure an efficient operation of the diesel generator.

Source : « Industrial Solar Off-Grid Applications », Document Juwi<sup>21</sup>



This graph shows the interplay between the diesel generator and the solar power output as regulated by the Solar Fuel Saver. The diesel generator output approaches its minimum partial load, the solar output is throttled by the SFS. This temporary reduction of the solar power ensures the efficient operation of the diesel generator.

### ➤ Aggreko

Aggreko PLC est une entreprise britannique (fondée en 1962 aux Pays-Bas et installée en Ecosse depuis 1973), leader mondial sur le marché de la location de GE, de groupes de froid et tours de refroidissement. Aggreko dispose d'une flotte de 13 600 groupes électrogènes, d'une puissance de 15 kW à 2 MW, soit une capacité de 6 700 MW. Aggreko emploie plus de 3 800 personnes, réparties sur 148 sites à travers 34 pays. Parmi les clients d'Aggreko International (basée à Dubaï depuis 1999) figurent les sociétés nationales d'électricité de nombreux pays (notamment sur le continent Africain où la société réalise 17% de son chiffre d'affaire – 259 millions d'euros en 2014 – et dispose de 2000 MW d'installation), des sociétés pétrolières, des sociétés minières, et des sites industriels. Elle fournit également l'infrastructure d'électricité temporaire lors d'évènements sportifs, comme la Coupe du monde de football de 2002, ou encore les JO de Pékin en 2008. Elle a également été retenue pour assurer la fourniture d'électricité au sein des installations olympiques de Londres.

<sup>21</sup> [https://www.juwi.com/fileadmin/user\\_upload/01\\_Downloads/juwi\\_Off-Grid\\_industry\\_sector\\_brochure\\_FINAL\\_WEB.pdf](https://www.juwi.com/fileadmin/user_upload/01_Downloads/juwi_Off-Grid_industry_sector_brochure_FINAL_WEB.pdf)

Depuis 2017, Aggreko s'est orientée vers le développement de solutions hybrides. Elle a notamment acquis une société berlinoise (Yunicos), spécialisée dans les systèmes d'énergie intégrés et de stockage. La même année, elle a mis en service sa première centrale hybride solaire (7,5 MW) /GE diesel (22 MW) dans le cadre d'un contrat de 10 ans d'exploitation pour produire l'électricité d'une mine d'extraction de cuivre et de zinc en Erythrée.

➤ *Himoinsa*

Himoinsa est une filiale du groupe japonais Yanmar (fabricant de moteur diesel), spécialisée dans la production de GE diesel et gaz. La part des revenus d'Himoinsa issue de la région Asie-Pacifique a augmenté de 30 % entre 2012 et 2018. Après une réorientation de ses activités de R&D, la société s'est affirmée comme un leader sur le marché des solutions hybrides (micro-grid, off-grid), principalement sur le continent africain, en développant des systèmes GE diesel/solaire/batterie.

➤ *Siemens Gamesa*

Siemens Gamesa est né de la fusion en 2016 entre un groupe espagnol (spécialisé dans la fabrication d'éoliennes, 33 000 MW installés dans 44 pays) et le géant industriel allemand Siemens qui détient 59% des parts de la nouvelle société. Malgré un cœur de métier respectif centré sur l'éolien, le nouveau plan d'investissement de la société prévoit de pénétrer le marché des systèmes hybrides et compte s'appuyer pour cela sur le développement des technologies de stockage d'électricité de forte capacité. Siemens-Gamesa a récemment gagné un contrat pour développer un projet à grande échelle de centrale solaire/éolien d'une vaste zone commerciale en Inde (28,8 MW de panneaux solaires connectés à 50 MW d'un parc éolien à Karnataka).

### III. Le marché des GE diesel

#### *Etat des lieux d'une technologie mondialisée*

De l'aveu de l'un des dirigeants d'une des plus grosses sociétés du secteur (FG Wilson), « le marché des groupes électrogènes est saturé et impitoyable »<sup>22</sup>, et ce d'abord en raison de la nature d'une technologie dont le fonctionnement est relativement simple et donc facile à produire. Comme l'explique un directeur de Caterpillar, « *the basic technology in a generator set hasn't really changed for a long time [...] Engines have become more efficient and customers can work remotely with generator sets but really, the basic core product is the same. This means it's relatively easy for new generator set packagers to enter the market with similar products [...]* »<sup>23</sup>. Les fabricants des pays industrialisés (Caterpillar, Cummins, Rolls-Royce, Kohler-SDMO, Generac, Deutz, Honda, Mitsubishi), leader historiques sur ce marché et toujours en position de force sur le segment industriel (80% de leurs revenus), sont aujourd'hui concurrencés par les firmes de pays émergents, notamment venues de Chine (OEMS, Tiger, Firman), de Turquie (Aksa, Teksan) ou d'Inde. Le développement de ces nouveaux pôles manufacturiers est autant lié à la croissance économique de ces pays qu'à la forte croissance d'une demande interne d'électricité. En Inde, la structuration d'une industrie nationale de GE s'est traduite par une diminution de 74% de la valeur des importations de GE diesel (> 375 kVA) entre 2014 et 2017 pendant que les exportations ont augmenté de 17% sur la même période<sup>24</sup>. La puissance totale des GE diesel installés en Inde, principalement en milieu urbain et dans des quartiers aisés<sup>25</sup>, s'élève à 90 GW<sup>26</sup>.

Toutefois, la grande visibilité des GE dans les pays du « Sud » entraîne un biais de perception quant aux logiques de répartition mondiale d'une technologie, présente y compris dans les pays industrialisés, et qui enregistre un taux annuel de croissance supérieur à 5% ces deux dernières décennies. La valeur totale du marché s'élèverait à environ 21 milliards de dollars en 2018 et devrait atteindre 27 milliards de dollars d'ici 2023<sup>27</sup>. Les études de marché distinguent :

- **un marché mature et dynamique** au sein des pays riches (+3-5% de croissance annuelle) dominé par les Etats-Unis et le Canada (19,6% des parts de marché) et suivi par des pays d'Europe occidentale (France, Allemagne, Espagne, Italie) et central (Pologne, Russie). Ici, c'est le développement d'équipements ou d'infrastructures stratégiques sur un plan économique (*data-center*, services financiers, de télécommunication, d'assurance, etc.) qui déterminent principalement l'augmentation de la demande de GE. Ceux-ci sont utilisés comme une solution de secours en cas de pannes électriques. Selon le directeur de la branche irlandaise de FG Wilson : « *The costs of losing electric power are unthinkable for many*

---

<sup>22</sup> « Worldwide Independent Power », Septembre 2018, n°198, p.24

<sup>23</sup> « Worldwide Independent Power », Janvier-Février 2017, p.22

<sup>24</sup> « Custom Report », Mordor Intelligence, p.16

<sup>25</sup> « Off-Grid solar market trends report 2016 », Lighting Global Program, World Bank, p.9

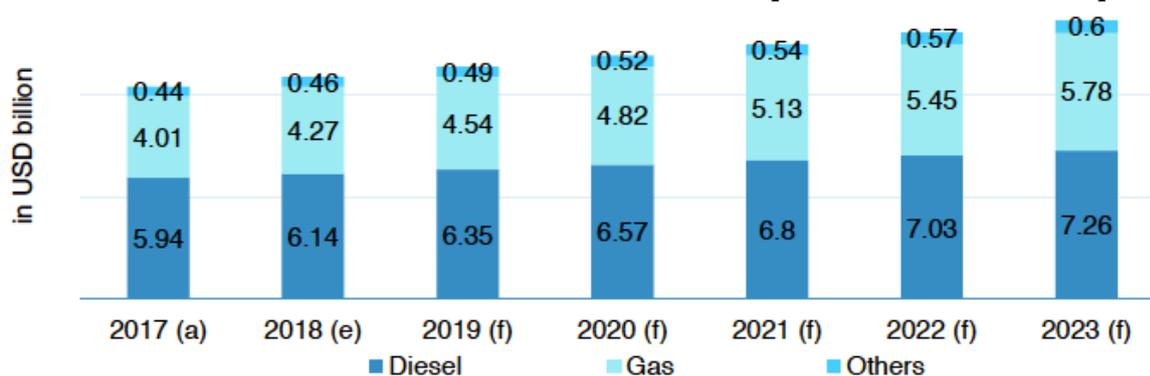
<sup>26</sup> « India Energy Outlook », Special Report, IEA, 2015, p.83

<sup>27</sup> « Worldwide Independent Power », Avril 2018, n°191, p.14

*businesses now. There's always been a need for reliable power for critical application but now there's an even greater edge to it and much of this is driven by increasing reliance on digital technology*»<sup>28</sup> ;

- **des marchés régionaux en très forte croissance** dans les pays en voie de développement. La région Asie du Sud représente le premier marché mondial d'installation des GE (26,8%), suivie de près par les pays du Moyen-Orient et d'Afrique (21,6%). La valeur totale du marché des GE s'élève à environ 10 milliards de dollars en 2017, dont presque 6 milliards pour les GE diesel. Le marché devrait croître de 4,6% par an jusqu'en 2023.

Taille du marché des GE selon les combustibles en Afrique, MENA et Asie-Pacifique



Source: Mordor Intelligence Analysis

La diffusion massive des GE dans ces régions est avant toute chose guidée par la défaillance ou l'absence des réseaux électriques conventionnels. Les études de marché établissent ainsi une corrélation directe entre la fréquence des coupures de courant et la pénétration des GE soit comme solution de secours, soit comme mode de production principale. Les autres facteurs de développement mentionnés sont l'urbanisation, la croissance démographique et la transformation des modes de vie ainsi que la multiplication des mégaprojets infrastructurels (aéroports, *data-center*, complexes hôteliers, zones industrielles, centres commerciaux, etc.) et l'organisation d'événements internationaux (coupe du Monde 2022 au Qatar).

## Répartition des GE diesel selon les usages

### ➤ Dans le secteur résidentiel

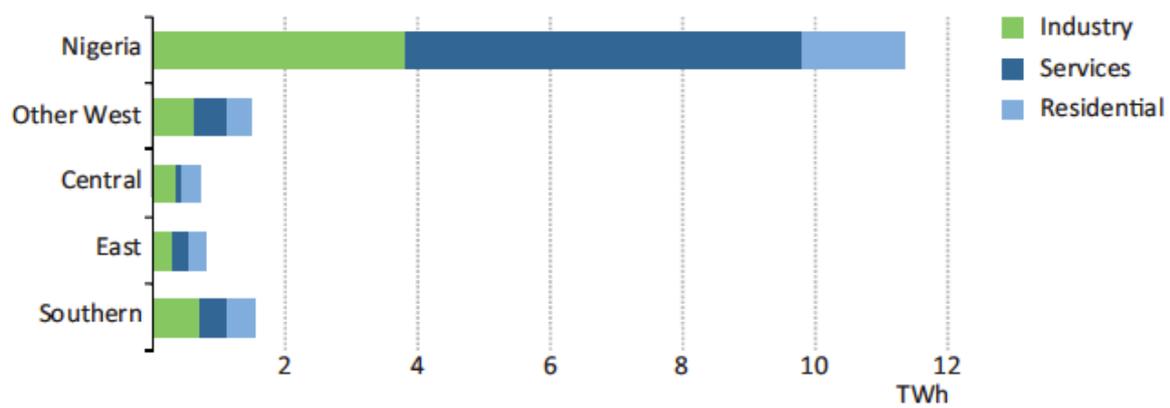
Il n'existe aucune base de données fiable et complète indiquant le taux de pénétration des GE dans le secteur résidentiel selon les pays et les catégories sociales d'utilisateurs concernés. Selon les chiffres issus d'un magazine professionnel, il y aurait 87% du total des ventes de GE (tout type confondu) qui seraient destinés à des usages résidentiels. En 2009, cela représenterait 9,3 millions d'unités vendues. Les 13% restant se partageraient entre le secteur industriel et tertiaire<sup>29</sup>. Cette

<sup>28</sup> « Worldwide Independent Power », Mars 2018, n°190, p.26

<sup>29</sup> « Worldwide Independent Power », Août 2017, p.12.

répartition à l'échelle mondiale ne correspond toutefois pas à la réalité de ce que les données produites par l'IEA suggèrent à propos du continent africain. Un rapport considère que sur les 16 TWh d'électricité générée par des GE diesel en 2012 dans les pays d'Afrique sub-saharienne, 80% était consommé dans le secteur industriel et tertiaire<sup>30</sup>. D'autres estimations nationales semblent plaider en ce sens. La quasi-totalité des firmes de télécommunication au Kenya, en Tanzanie ou en Uganda seraient dotées d'un GE diesel de secours (plus généralement, 69% des abonnés connectés au réseau électrique dans ces trois pays disposeraient d'un GE). Eskom, la compagnie nationale d'électricité d'Afrique du Sud, a évalué à 5000, le nombre de GE diesel privés détenus par des acteurs industriels ou commerciaux dans le pays<sup>31</sup>.

### Consommation d'électricité produite par GE par sous-régions d'Afrique Sub-Saharienne en 2012<sup>32</sup>



Source: IEA analysis and estimates.

Le Nigeria concentre à lui seul trois quart de l'électricité produite par GE à l'échelle du continent. Avec 100 000 unités estimées présentes sur le territoire national d'une puissance totale avoisinant les 10-15 GW (contre 4 GW délivrés par centrale électrique), le Nigeria possède le plus grand réseau mondial de GE diesel. La moitié de la population du pays en posséderait un.

Différentes organisations internationales promouvant l'électrification des pays en développement dénoncent la dépendance des sociétés publiques nationales d'électricité à l'égard des GE, au départ conçus comme des solutions temporaires pour compenser les sous-investissements dans les infrastructures électriques, mais qui, dans les faits, deviennent des systèmes permanents de production aussi bien pour alimenter le réseau électrique que comme configuration d'accès individuel : « *Whats starts as an emergency response invariably becomes a permanent facility for delivering high-cost base-load power* »<sup>33</sup>. À l'instar de ce constat réalisé par l'ONG Africa Progress Panel présidé par Kofi Annan, ce qui est critiqué c'est le coût supérieur de l'électricité produite par les GE comparé à d'autres technologies. Alors qu'un GE diesel fournit de l'électricité à un coût moyen

<sup>30</sup> « Africa Energy Outlook. A focus on energy prospect in sub-saharan Africa », World Energy Outlook Special Report, IEA, 2014, p.42

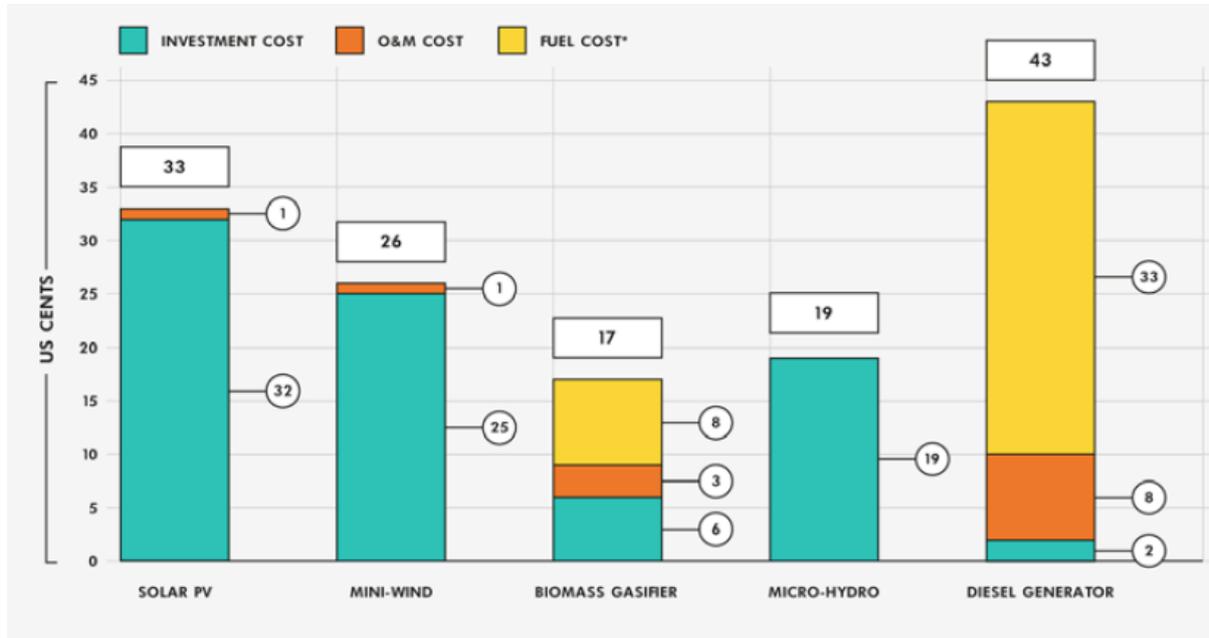
<sup>31</sup> « Africa's genset market is slow, but promising », African Review of Business and Technology, Octobre 2014, p.52

<sup>32</sup> « Africa Energy Outlook », *Op.Cit.*

<sup>33</sup> « *Power People Planet : Seizing Africa's energy and climate opportunities.* », Africa Progress Report 2015, p.61

de 0,43 centimes de dollars/kWh, l'électricité produite par mini-réseau alimenté par des ENR oscille entre 0,17 et 0,33 centimes de dollars/kWh. Dans le premier cas, le coût de l'électricité dépend en grande majorité du prix du diesel, qui fait souvent l'objet de subventions publiques. Dans le cas des ENR, le coût de l'électricité est déterminé par le montant des investissements initiaux.

#### Prix moyen par kWh de l'électricité produite par différentes sources d'énergie en mini-réseaux<sup>34</sup>



Source: Clean Energy Ministerial (2014)

Note: \* Dependent upon the price of diesel

O/M = « Operation and Maintenance »

#### Exemples de recours aux générateurs de forte puissance en cas de défaillance du réseau électrique national

En 2015, le gouvernement du Ghana a signé un contrat de 1,2 milliards de dollars avec une compagnie turque (Karadeniz Energy Group) pour la location d'une centrale flottante (6 GE diesel de 210 MW), censée produire 450 MW d'électricité pendant 10 ans.

En 2011, Aggreko a passé un contrat de 37 millions de dollars avec la compagnie d'électricité de Tanzanie (TANESCO) pour installer deux GE diesel de 50 MW chacun en réponse à une pénurie de production hydroélectrique.

En Février 2017, le fabricant espagnol Inmesol de GE a profité de la réduction de 600 MW d'électricité sur le réseau ghanéen pour transférer via son distributeur local (Johan Marby Limited) une flotte de GE diesel destinés à équiper des compagnies bancaires et financières situées à Accra<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> « Lights, power, actions : Electrifying Africa », African Power Progress Report, 2015, p.46.

<sup>35</sup> « Ghana mitigates power outages with independent gensets », Worldwide Independent Power, Janvier-Février 2017, p.26

➤ « *When power goes off, your business goes on* »<sup>36</sup>

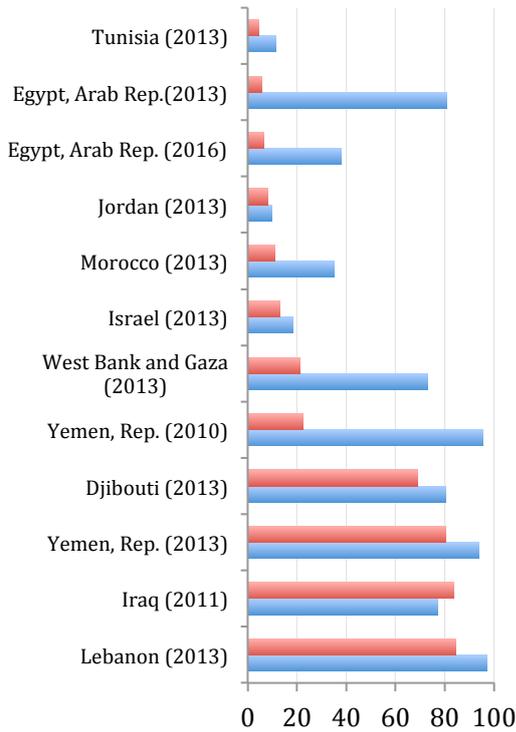
Les « Enquêtes Entreprises » (<http://www.entreprisesurveys.org/>) réalisées par la Banque Mondiale au sein de 142 pays aux revenus bas ou intermédiaires comportent un volet « infrastructurel » détaillant, entre autres, le taux de pénétration des GE au sein d'un échantillon d'entreprises privées, officiellement enregistrées, de petite (5-19 employés), moyenne (20-99 employés) ou grande taille (+100 employés), actives dans le secteur industriel, commercial ou tertiaire.

Régions	Échantillon		Coupures de courant		% des firmes ayant expérimenté des coupures	% des firmes possédant ou partageant un GE	Proportion moyenne d'électricité produite par un GE	% de firmes identifiant l'électricité comme une contrainte majeure
	Nb Pays	Nb Entreprises	Nb de coupures par mois	Durée moyenne (en heures)				
Europe & Asie Centrale	30	20 785	1,5	3,5	37,9	17,2	10,1	19,2
Amérique Latine & Caraïbes	31	14 470	1,7	3,0	57,0	19,8	11,4	32,5
Asie de l'Est & Pacifique	18	10 984	4,8	4,2	48,0	32,9	20,5	15,0
Moyen-Orient & Afrique du Nord	12	7 347	14,4	9,1	53,4	38,2	30,6	35,3
Asie du Sud	7	13 725	25,4	5,3	66,2	45,4	24,4	46,1
Afrique Sub-Saharienne	44	19 578	9,1	5,7	78,2	53,3	29,4	41,0
Total	142	86 889	7,2	4,8	57,4	34,7	20,5	30,4

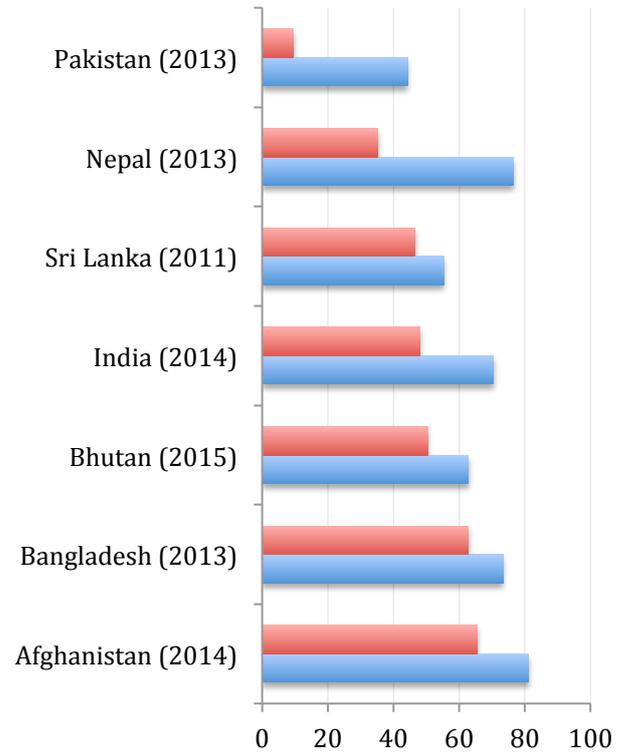
Une première analyse à l'échelle macro-régionale révèle que 34,7 % des entreprises possèdent un GE. Sans surprise, il y a correspondance entre les pénuries d'électricité et le choix des entreprises de s'équiper. Plus la fréquence et la durée des coupures augmentent et plus les entreprises touchées sont nombreuses, plus elles décident de recourir un GE. Plus de la moitié des entreprises d'Afrique Sub-Saharienne en sont équipés, environ 40% dans la région MENA et en Asie du Sud. Bien que ces systèmes sont vraisemblablement utilisés en complément d'une connexion aux réseaux conventionnels, ils représentent en moyenne entre 24 et 30% de l'électricité consommée par les entreprises de ces trois régions. En Amérique du Sud, Asie centrale et Europe, ce taux ne dépasse pas les 10%.

<sup>36</sup> Slogan de FG Wilson

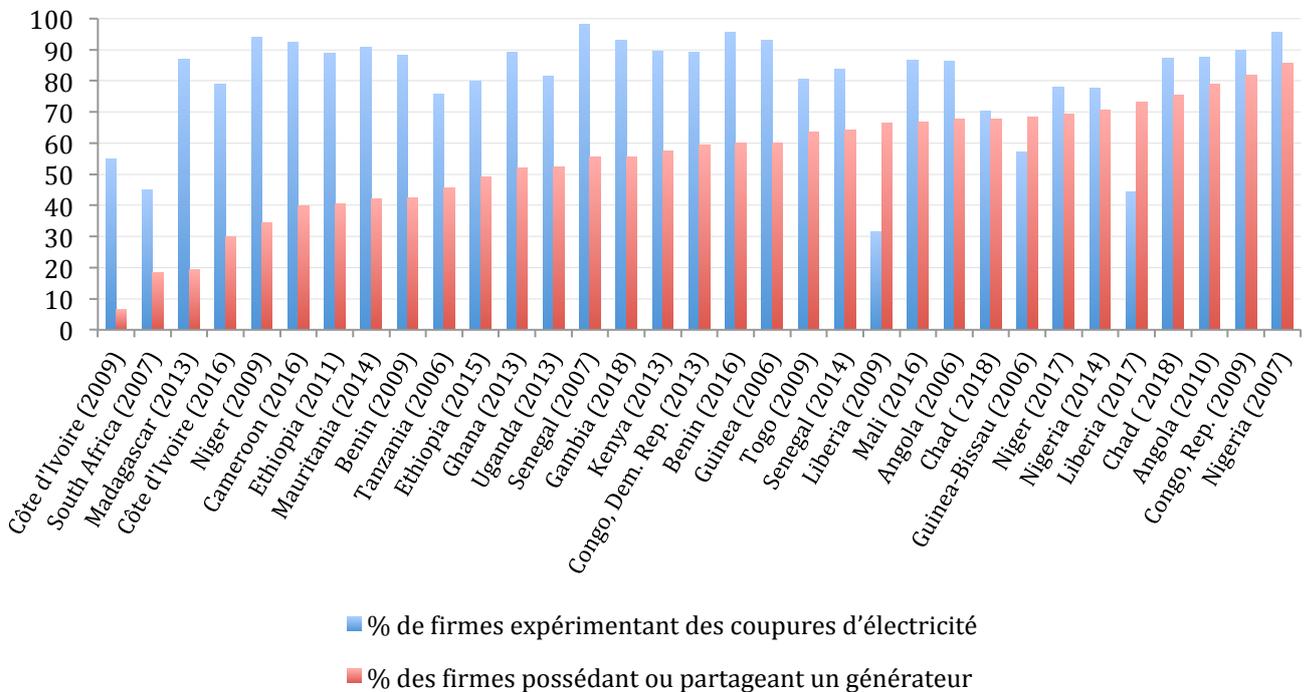
### M-O / Afr. du Nord



### Asie du Sud



### Afrique Sub-saharienne (sélection)



Si l'on se décentre des découpages macro-régionaux pour observer les situations nationales, d'importants contrastes apparaissent entre :

- des pays où le taux d'équipement en GE des entreprises est faible (< à 40%) : Tunisie, Égypte, Maroc, Israël, Pakistan, Népal, Côte d'Ivoire, Afrique du Sud, Madagascar. Paradoxalement, une grande majorité des entreprises de ces pays affirment subir des coupures régulières de courant. Disposent-elles d'autres solutions alternatives pour s'en protéger ?
- des pays où le taux d'équipement en GE varie entre 40 et 80% : Djibouti, Yémen, Inde, Bangladesh, Afghanistan, Ghana, Uganda, Sénégal, Niger, Mali...
- Des pays où la quasi-totalité des entreprises possèdent un GE (> à 80%) : Liban, Irak, Nigéria, Congo, Angola.

Par ailleurs, certaines enquêtes nationales réalisées à plusieurs années d'intervalles montrent des évolutions importantes et rapides, dont certaines sont contradictoires et difficilement compréhensibles. Deux situations paraissent logiques et confortent l'hypothèse d'une corrélation entre la possession d'un GE et la défaillance des réseaux électriques :

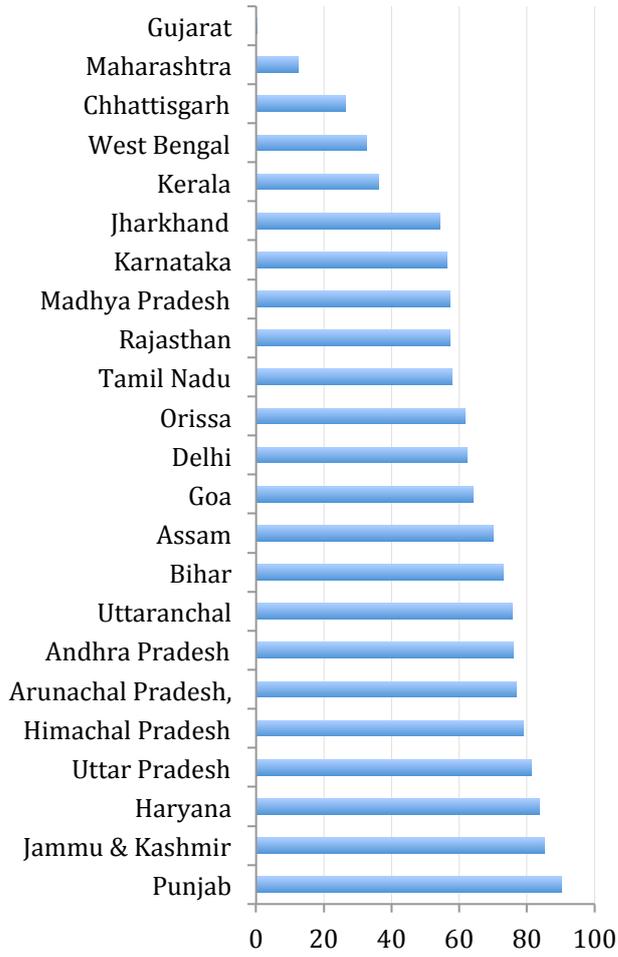
- les coupures d'électricité diminuent, le taux d'équipement en GE aussi : c'est le cas du Nigéria (le taux d'entreprises touchées par une coupure passe de 95% à 77% entre 2007 et 2014, le taux d'équipement chute de 85 à 70%). Le Cambodge, le Vietnam ont connu la même tendance ;
- les coupures d'électricité augmentent, le taux d'équipement en GE aussi : c'est le cas de la Zambie, de la Côte d'Ivoire ou du Mali dont le taux de possession d'un GE par les acteurs économiques passent de 23,8% en 2007 à 66,8% en 2016 pendant que le nombre d'entreprises se plaignant des coupures d'électricité grimpe de 71 à 86% sur la même période.

Il existe toutefois d'autres situations où le nombre d'entreprises touchées restent stables voire diminuent, pendant que le nombre d'entre-elles qui s'équipent d'un GE augmente fortement :

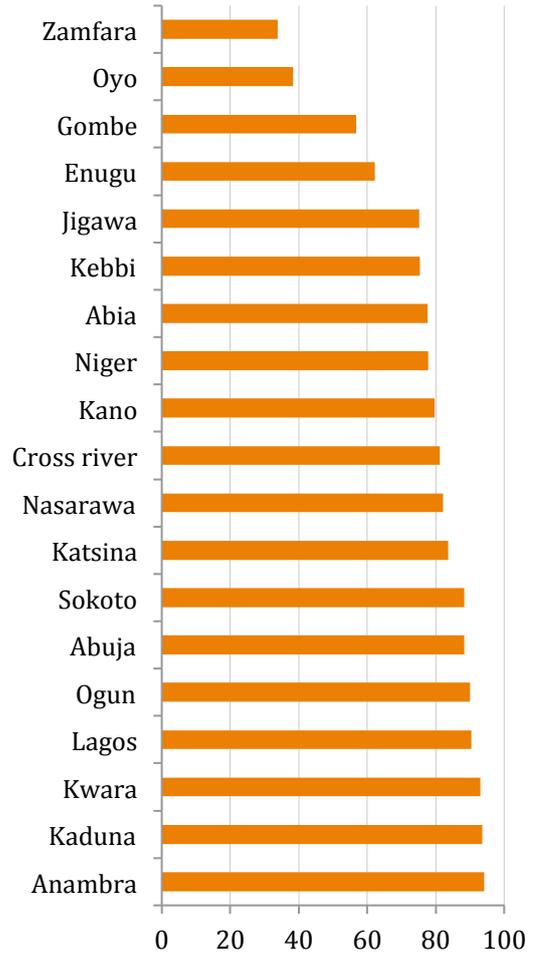
- Au Yémen, les firmes utilisant un GE passe de 22% à 80% entre 2010 et 2013 (une conséquence de la guerre civile ?)
- Situation similaire au Niger (de 34 à 69% entre 2009 et 2017) alors que les coupures d'électricité diminuent (de 94 à 78%).

Enfin, les données de la Banque Mondiale permettent de descendre à échelle infranationale et d'observer ainsi l'inégale répartition des entreprises dotées d'un GE à l'intérieur d'un pays. Pour le comprendre, il faudrait mettre en relation des données sur les logiques d'implantation spatiale des entreprises et les différenciations spatiales d'accès à une desserte fiable d'électricité. Les graphiques ci-dessous représentent la proportion des entreprises dotées d'un GE au sein des pays concernés par le projet Hybridelec :

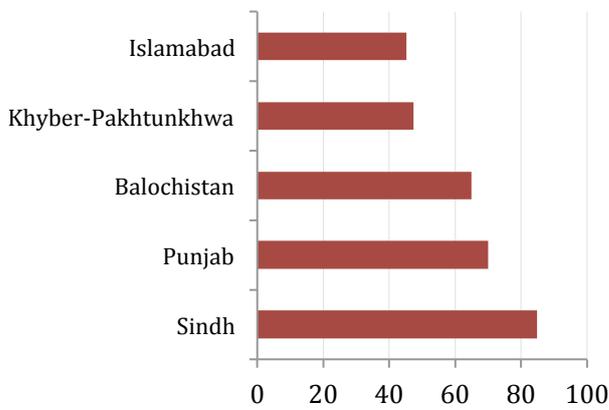
### INDE (2014)



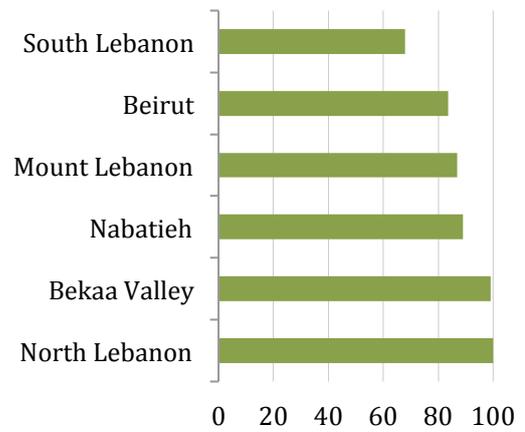
### NIGERIA (2014)

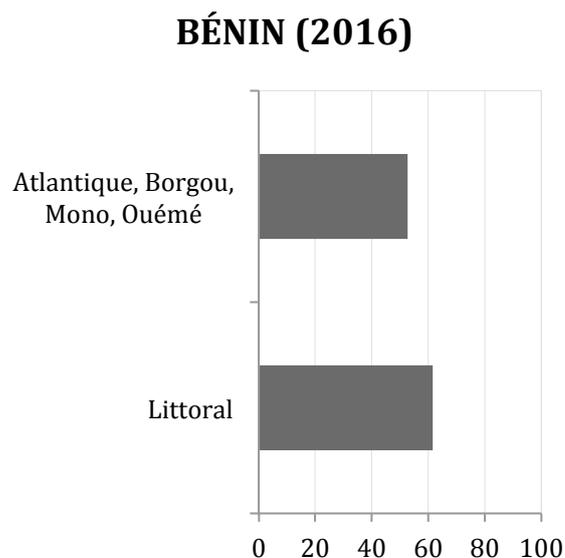
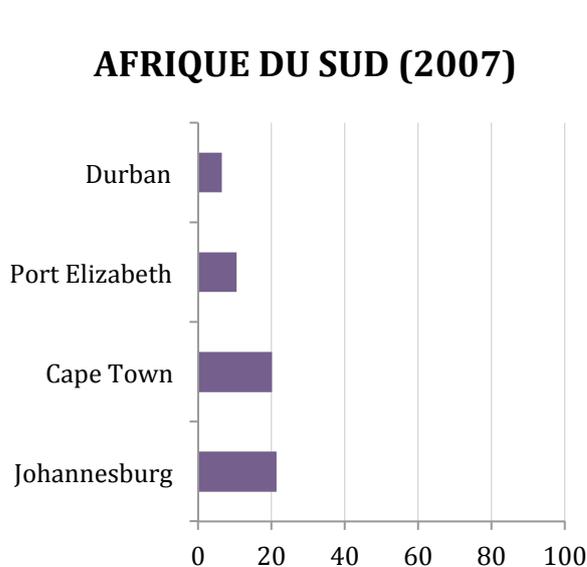


### PAKISTAN (2013)



### LIBAN (2013)





### *Statistiques sur le commerce mondial des GE diesel : 1997-2017*

La société de consulting Mordor Intelligence nous a livré un échantillon de données personnalisées présentant la valeur totale (en \$) des importations et des exportations de GE diesel de différentes puissances (< 75 kVA, entre 75 et 375 kVA, > 375 kVA) entre 1997 et 2017. Les données sont désagrégées à l'échelle de 26 pays dont :

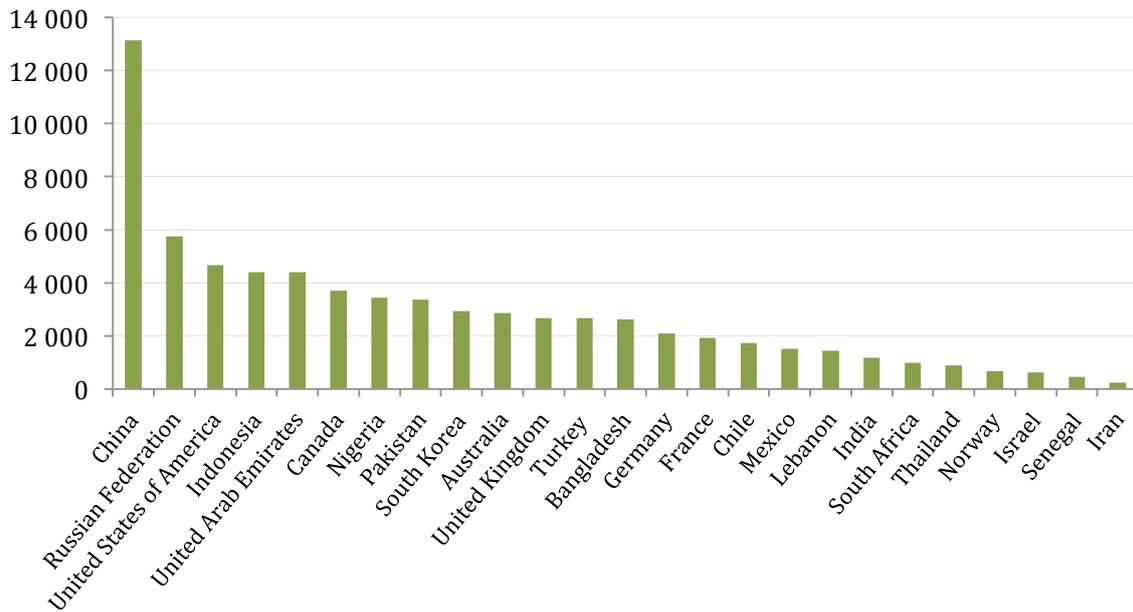
- 8 pays industrialisés : Etats-Unis, Grande-Bretagne, Canada, Allemagne, Australie, France, Norvège, Israël
- 13 pays « émergents » : Inde, Pakistan, Afrique du Sud, Turquie, Russie, Emirats Arabes Unies, Indonésie, Mexique, Chine, Corée du Sud, Chili, Liban, Iran
- 5 pays pauvres : Nigéria, Bénin, Sénégal, Thaïlande, Bangladesh.

#### **Marché des GE diesel en 2017 (en milliard de dollars)**

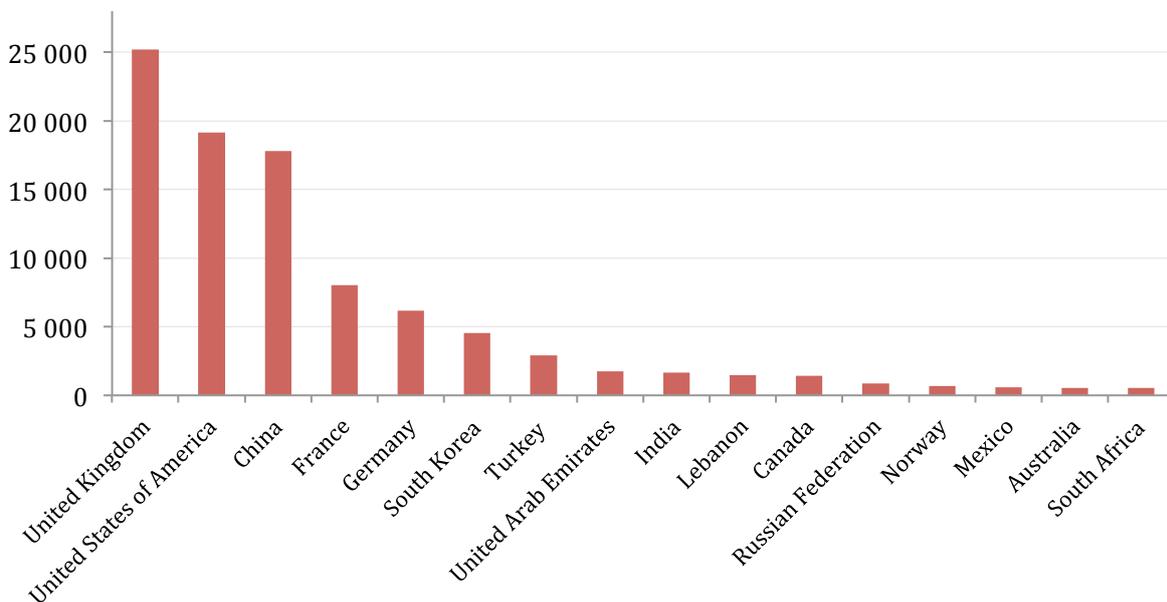
	< 75 kVA		75-375 kVA		> 375 kVA		Taux d'évolution depuis 1997
	Valeur	% total	Valeur	% total	Valeur	% total	
<b>Total Importation</b>	634	21,2%	548	18,3%	1 804	60,4%	150%
<b>Total Exportation</b>	1 080	23,1%	1 028	22,0%	2 573	55,0%	190%

Depuis 1997, le commerce des GE diesel entre ces pays est en pleine croissance. Le montant total des échanges est passé de 2804 milliards de dollars en 1997 à 7666 en 2017. L'offre est majoritairement constituée de GE d'une puissance supérieure à > 375 kVA.

Importation GE diesel entre 1997 et 2017 (en milliard de \$)



Exportation GE diesel entre 1997 et 2017 (en milliard de \$)



La comparaison des circuits d'exportation et d'importation montre clairement le maintien d'une division « Nord-Sud », avec d'un côté une filière industrielle dominée par une poignée de pays riches (Grande-Bretagne, USA, France, Allemagne) qui trouvent dans les pays peu ou mal électrifiés un marché de diffusion des GE, principalement en Russie, Indonésie, UAE, Nigéria, Pakistan, Bangladesh. Les fabricants occidentaux ont réorganisé leurs filières de distribution pour atteindre ces nouveaux marchés. C'est le cas par exemple de l'américain Cummins dont la

présence dans 190 pays repose sur l'acquisition de distributeurs locaux (en Chine, Russie, Brésil, Singapour, etc.). La société dispose également de partenariats privilégiés (joint-venture) avec 10 entreprises situées en Amérique du Sud, au Moyen-Orient, en Inde, Thaïlande et Singapour. De la même manière, l'entreprise espagnole Inmesol a récemment noué un partenariat avec de nouveaux distributeurs pour s'implanter dans les pays d'Afrique de l'Ouest (Belkom au Burkina Faso ou Cobetam au Bénin). Outre les logiques économiques d'implantation de ces acteurs industriels, le découpage géographique des marchés est aussi structuré par l'héritage des réseaux coloniaux (voir encadré ci-dessous). Par ailleurs, le principal segment de démarcation entre les différentes firmes se joue désormais sur le service après-vente et la capacité des entreprises à assurer à leurs clients une prestation de maintenance et de régulation des systèmes techniques<sup>37</sup>.

### CFAO Automotive

CFAO automotive, filiale du groupe CFAO (Compagnie Française de l'Afrique Occidentale), se présente comme le leader sur le marché de la distribution automobile en Afrique et dans les collectivités territoriales d'Outre-Mer. Elle est le relais principal des producteurs de GE français et japonais, notamment au Tchad, au Congo, et au Ghana<sup>38</sup>.

En 1887, les Établissements Verminck, créés à Marseille en 1852, prennent le nom de CFAO sous l'impulsion d'un armateur Frédéric Bohn. CFAO se spécialise alors dans le commerce de produits alimentaires et de consommation courante tels que les arachides, le cacao, le savon, les huiles, le caoutchouc, le café ou encore le cuir, le tabac et l'alcool. À partir de 1913, CFAO diversifie ses activités et se lance dans la distribution automobile et dans la production industrielle en Afrique. De 1950 à 1980, CFAO favorise le développement de la branche automobile et poursuit la diversification de ses activités. Elle distribue des produits en plastique et exploite des supermarchés en Afrique et en France. En 1990, Pinault prend le contrôle de CFAO qui devient une branche de Pinault SA, centrée sur les activités africaines. En 1996, elle se positionne dans le secteur pharmaceutique. A partir de 2000, le groupe ne cesse de se développer. Il s'implante dans 15 pays. Le 3 décembre 2009, CFAO est introduit à la bourse de Paris. En 2012, Toyota Tsusho Corporation (TTC) effectue une offre publique d'achat sur la Compagnie Française de l'Afrique Occidentale. TTC détient plus de 97% du capital de CFAO. En 2011, la Compagnie Française de l'Afrique Occidentale a réalisé un chiffre d'affaires s'élevant à 3,1 milliards d'euros<sup>39</sup>.

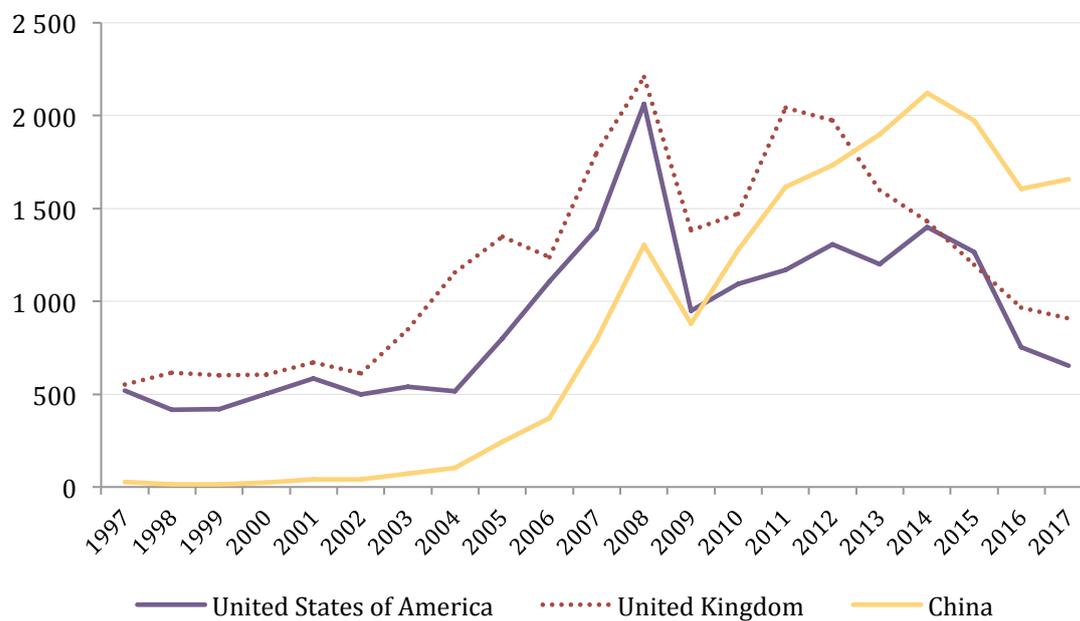
---

<sup>37</sup> Selon un directeur de Caterpillar, si la production des GE n'est pas compliquée à réaliser : « *what is much more difficult, is to build up distribution networks and be capable of supporting generator sets effectively and consistently on site. People who buy generator sets aren't buying metal, they are buying guaranteed power, and with that comes a responsibility that you will honour the trust customers give when they buy* », Worldwide Independent Power, Janvier-Février 2017, p.22

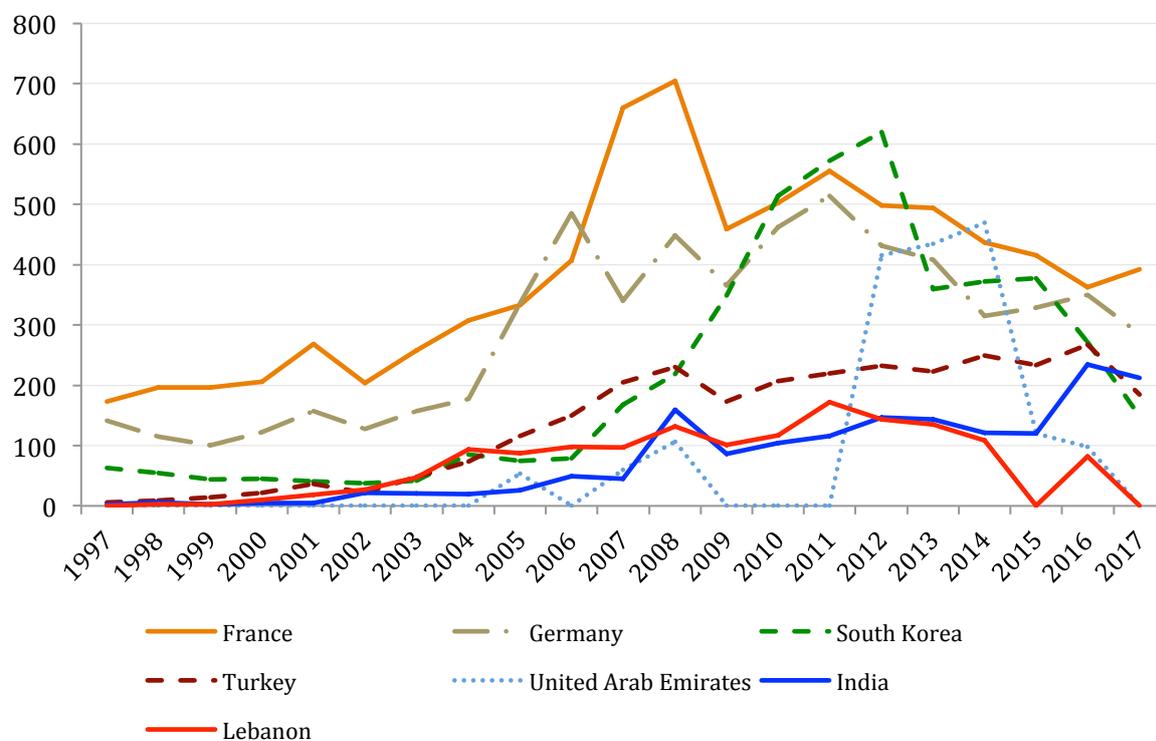
<sup>38</sup> Marion Douet, « En Afrique, les groupes électrogènes carburent à la crise », *Jeune-Afrique*, 5 août 2015.

<sup>39</sup> Voir notice Wikipédia [https://fr.wikipedia.org/wiki/CFAO\\_\(entreprise\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/CFAO_(entreprise)) et <http://cfao.dirigeants-entreprise.com/entreprises/cfao/>

Évolution exportation (1) GE diesel entre 1997 et 2017  
(en milliard de \$)



Évolution exportation (2) GE diesel entre 1997 et 2017  
(en milliard de \$)



On constate toutefois que les industriels occidentaux sont concurrencés depuis le milieu des années 2000 par la montée en puissance de firmes de pays émergents. C'est le cas en tout premier lieu de la Chine, devenu le troisième exportateur mondial (environ 25% du marché) et le premier pays importateur de GE diesel. En 2017, environ 60% des GE diesel exportés dans le monde viennent de Chine, qu'ils soient produits par des entreprises chinoises ou assemblés dans des usines étrangères présentes dans le pays<sup>40</sup>. Quatre autres pays tentent également de se faire une place, avec par ordre d'importance, la Turquie, les Émirats Arabes Unies, l'Inde et le Liban.

Ces pays comptent également parmi ceux dont la croissance des importations est la plus forte. La Turquie connaît par exemple la plus grosse demande de GE parmi les pays de l'OCDE depuis 15 ans. La courbe des importations dans les pays pauvres et émergents indique clairement que les GE sont des technologies modernes, qui se diffusent massivement à partir du début du XXI<sup>ème</sup> siècle. Il semble toutefois que les logiques de développement des GE ne répondent pas aux mêmes besoins selon les contextes nationaux. Certains pays, comme le Nigéria, le Liban, l'Inde ou le Pakistan privilégient l'importation de petits générateurs, contrairement à l'Afrique du Sud, les Émirats Arabes Unies, la Turquie, la Chine, le Bangladesh ou l'Indonésie qui investissent plus dans des GE de taille moyenne ou grande. Comprendre ces différences suppose une mise en relation avec la situation infrastructurelle, politique et économique de ces pays respectifs.

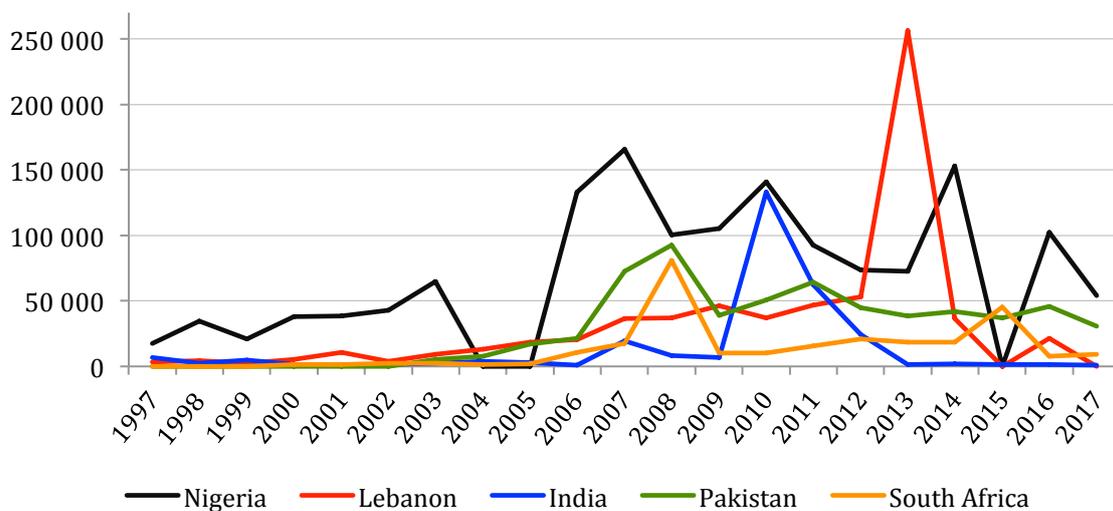
Bien que l'évolution des exportations et des importations dessine des courbes ascendantes depuis le milieu des années 2000, on constate aussi que le marché des GE est soumis à des périodes de récession. Les crises financières mondialisées comme celle de 2008 ou d'ampleur nationale (comme celle qui au Venezuela a réduit de 50% le volume des importations de GE) semblent jouer un rôle majeur. On suppose toutefois que d'autres facteurs comme l'évolution des prix des ressources (pétrole/gaz naturel), les montants des IDE, les politiques nationales et urbaines et d'autres dont il faudrait préciser la nature peuvent expliquer pourquoi par exemple entre 2016 et 2017, le marché des GE s'est contracté de 10% en Asie, de 4% en Amérique du Sud et de 18% en Afrique<sup>41</sup>.

---

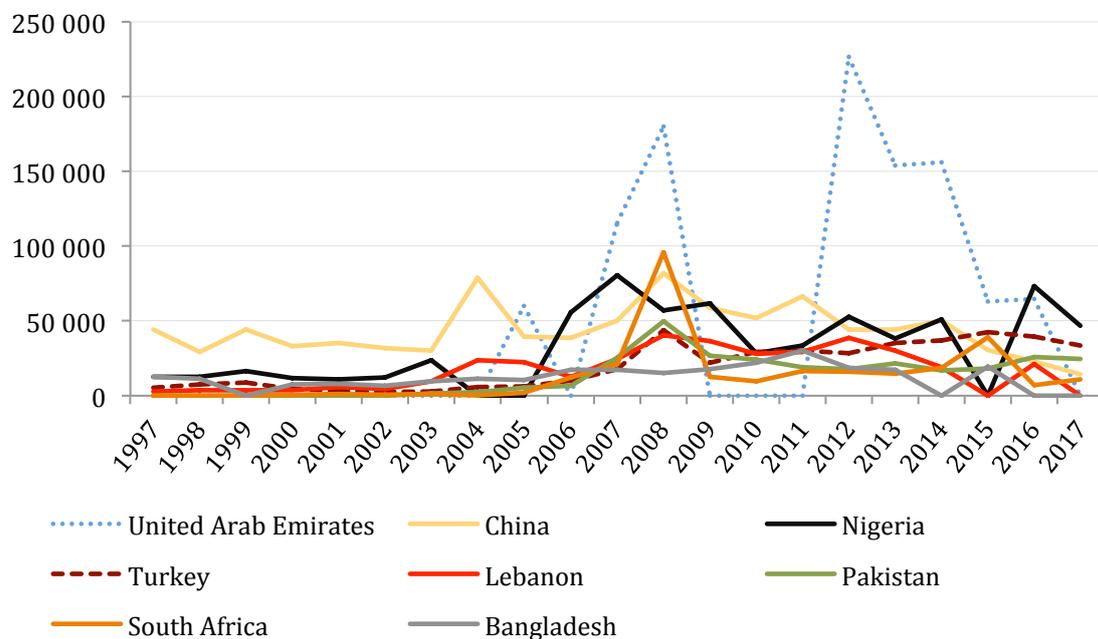
<sup>40</sup> Worldwide Independent Power, Avril 2018, n°191, p.14

<sup>41</sup> *Ibidem*.

Évolution des importations de GE diesel < 75 Kva entre 1997 et 2017 par pays (en millions de \$)



Évolution importation GE diesel > 75 Kva et < 375 Kva entre 1997 et 2017 par pays (en million de dollars)



Évolution importation GE diesel > 375 Kva entre 1997 et 2017 par pays (en million de \$)

