
Rapport de stage Individuel

4^{ème} Année

Analyse Coûts/Bénéfices de
la mise en place d'un
Réseau Électrique Intelligent
en Chine

EUAbout

Rue Charles Martel 54, 1000, Brussels, Belgium



Tuteur entreprise :

Paolo Sospiro
Director

Tuteur académique :

José Serrano

Prénom Nom

Adrien Dincq
IUT

2019-2020

Introduction

Contexte de réalisation du stage

Dans un monde où la gestion de l'énergie est primordiale pour limiter le réchauffement climatique, la Chine reste le premier pollueur mondial avec l'émission de 28,3% du CO2 mondial.

Cela est dû à la prédominance du charbon comme source d'énergie primaire. La Chine produisait encore 64% de son électricité à partir du charbon en Mars 2020 selon l'International Energy Agency (IEA).

En même temps, la part d'énergie renouvelable dans le mix énergétique ne cesse d'augmenter pour atteindre 28% en Mars 2020 toujours selon l'IEA.

Cependant, les énergies renouvelables sont une source d'énergie intermittentes qui ne permettent pas de faire face aux pics de demande d'électricité, faisant courir le risque de pannes électrique (Fault Current) voire de black-out.

C'est pourquoi, en plus du choix d'utiliser des sources d'énergie primaires propres, il est nécessaire de développer un réseau électrique performant afin d'éviter les pertes d'énergie électrique lors de la transmission et la distribution du courant. Les réseaux électriques intelligents (Smart-Grid) tentent de répondre à cette problématique.

En coopération avec l'Université Normale de Tokyo, l'union européenne vise à accompagner le gouvernement chinois vers la mise en place d'un Smart-Grid sur l'ensemble du territoire chinois. (Paolo Sospiro, 2020)

Les motivations sont la réduction de l'émission de gaz à effet de serre par l'utilisation d'énergies propres en même temps que la diminution des pertes électrique du réseau de transmission et de distribution.

C'est dans l'objectif de continuer ce projet de mise en place d'un Smart-Grid en Chine que l'entreprise EUAbout m'a accueilli pour ce stage.

EUAbout est une entreprise de consulting de projet européen, basée à Bruxelles en plein cœur du quartier européen où se trouvent les institutions européennes telles que la commission européenne ou le parlement européen.

Au sein de l'entreprise, nous sommes une équipe de 5 personnes travaillant chacun sur son propre projet. L'entreprise est une ONG qui travaille essentiellement avec des stagiaires et des collaborateurs venant du monde entier. Certains travaillent dans l'entreprise dont mon tuteur de stage Paolo Sospiro en présentiel et d'autres en télétravail comme mon collaborateur Lohint, venant d'Inde, que je forme actuellement.

L'organigramme de l'entreprise est disponible en annexe. (Annexe 1.)

Le modèle économique de l'entreprise se fonde sur la réponse à des « Calls » réalisés sur la plateforme Funding and Tender Opportunities de la commission européenne et ensuite de réaliser des « Proposals » qui seront validées ou non.

La plateforme est disponible à cette adresse : <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/home>

Dans le contexte de l'épidémie de Covid-19, mon stage s'est réalisé en deux phases : une première phase en télétravail (Smart-Working) a été réalisée en Mai et en Juin dont la fonction a été essentiellement pédagogique afin de comprendre les différentes composantes techniques d'un Smart-Grid.

La seconde phase de Juillet à début Septembre est consacrée à l'application des apprentissages, essentiellement à la recherche de données techniques et à la mise en place de scénarios pour le futur Smart-Grid.

Objectifs du stage

Dans le contexte de l'épidémie de Covid-19, mon stage s'est réalisé en deux phases : une première phase en télétravail (Smart-Working) a été réalisée en Mai et en Juin dont la fonction a été essentiellement pédagogique afin de comprendre les différentes composantes techniques d'un Smart-Grid.

La seconde phase de Juillet à début Septembre est consacrée à l'application des apprentissages, essentiellement à la recherche de données techniques et à la mise en place de scénarios pour le futur Smart-Grid.

L'objectif de mon stage est de construire une analyse coût/bénéfice (Cost-Benefit Analysis ou encore CBA) pour un futur projet de réseau électrique intelligent en Chine.

Pour cela il a été question de trouver les données électriques chinoises les plus récentes, les mettre en forme via le logiciel Excel afin de pouvoir appliquer l'outil informatique proposé par le département de l'énergie des Etats Unis (DOE) permettant de réaliser une CBA.

Missions réalisées

Ma première mission a été de chercher des sources de données fiables afin de mettre à jour les données électriques chinoises comme la production annuelle d'électricité par type d'énergie ou encore la longueur des lignes électriques chinoises.

Ma seconde mission réalisée a été la collecte de données des différents « Bénéfits » autrement dit avantages à la fois économiques, écologiques, de sécurité et de sûreté fournis par le réseau intelligent.

J'ai également réalisé un registre des sources utilisées : sites internet, papiers de recherches, guide d'utilisation. Ceci afin de pouvoir retrouver facilement la source d'une donnée.

Comme ces recherches se portent sur des données énergétiques techniques et sensibles, il est important de vérifier la crédibilité de la source. On retrouve, en effet, des cas où la valeur d'une même donnée diffère d'une source à l'autre. C'est la crédibilité de la source qui fait pencher la balance dans ce cas.

Pour pallier ce problème j'ai réalisé une échelle de confiance des sources que j'ai inclus dans mon tableau référence en fonction des avis de plusieurs ingénieurs que j'ai contacté.

Par la suite il sera réalisé, si le temps nous le permet, une modélisation de différents scénarios à l'instar de cet exemple sur la Pump Hydro Storage en Chine.

Finalement, je suis en train de réaliser une fiche méthode en parallèle de ce rapport de stage qui sera utile pour les futurs stagiaires de l'entreprise afin de continuer ce projet dans les meilleures conditions.

Différents rôles joués

J'ai été assigné sur le projet Smart-Grid en tant que Project-Manager Trainee.

J'ai donc été assigné sur le projet Smart-Grid à pleins temps, tout d'abord en télétravail où mon rôle a été de décortiquer le vaste sujet des Smart-Grid. Le but des deux premiers mois a été une auto-formation au vocabulaire et à la technicité des Smart-Grid.

Le défi a été d'être propulsé en autonomie et à distance sur le large sujet des Smart-Grid.

J'ai également eu le rôle d'aller contacter différents ingénieurs afin de leur demander de l'aide et des informations.

J'ai également eu l'occasion de prendre contact avec Mr. Lee, travaillant dans une société annexe de la State Grid Compagny en Chine qui m'a apporté des informations clés dont la mine d'or qu'est le site internet du National Bureau of Statistics (NBS)

J'ai donc été en charge de rechercher les données techniques et humaines afin de mener à bien le projet Smart-Grid. De faire le lien entre les différentes sources d'informations, à la fois des bases de données issus d'internet, ou des informations de personnes compétentes.

Dans la deuxième partie de mon stage, deux nouveaux stagiaires ont été assignés à mon projet : Rubèn étudiant en Écologie en Espagne et Lohint ingénieur en mécanique en Inde.

J'ai eu comme mission de les guider et de leur assigner des tâches pour m'aider dans le projet Smart-Grid en sachant qu'ils étaient en télétravail. J'ai expliqué via des meetings l'ordre des textes à étudier et mes méthodes de recherches de données.

À la fin de mon stage, mon tuteur professionnel Paolo m'a chargé de former un nouveau stagiaire indien, ingénieur en mécanique, travaillant en télétravail depuis l'Inde.

Cela s'est traduit par l'organisation de plusieurs meetings de formation que j'ai dirigé en autonomie exclusivement en anglais. L'idée directrice est que ce futur stagiaire en charge du projet Smart-Grid reprenne le flambeau après mon départ.

La première partie de ce rapport se consacrera à l'explication du fonctionnement d'un Smart-Grid ainsi que de sa caractérisation. Il s'en suivra l'explication du principe de la Cost-Benefit-Analysis. Enfin il s'agira de décrire mon protocole de recherche de données ainsi que les résultats trouvés.

Du réseau électrique (Grid) au réseau électrique intelligent (Smart-Grid)

Définitions

Réseau Électrique (Electric Grid) : L'ensemble des systèmes assurant la transmission et la distribution de l'électricité. Plus précisément il s'agit de l'ensemble des lignes électriques, des transformateurs et des postes électriques qui se trouvent entre la centrale électrique et les consommateurs final.

Voici une première définition qualitative d'un Smart-Grid provenant de l'Electric Power Research Institute (EPRI) :

Un **Smart-Grid** est un réseau électrique intelligent est un ensemble de technologies, de dispositifs et de systèmes qui fournissent et utilisent des informations en temps réel, des communications et des contrôles numériques pour optimiser l'efficacité, la fiabilité, la sûreté et la sécurité de l'acheminement de l'électricité.

Il peut être aussi vu comme un ensemble de technologies qui se trouvent sur le chemin de l'électricité, de la centrale électrique jusqu'au consommateur final.

Chaque technologie amène son ou ses propres avantages techniques qui peut être traduits en avantage financier ensuite.

C'est cette dernière définition qui colle le plus avec la démarche de réalisation de la Cost-Benefit-Analysis (CBA)

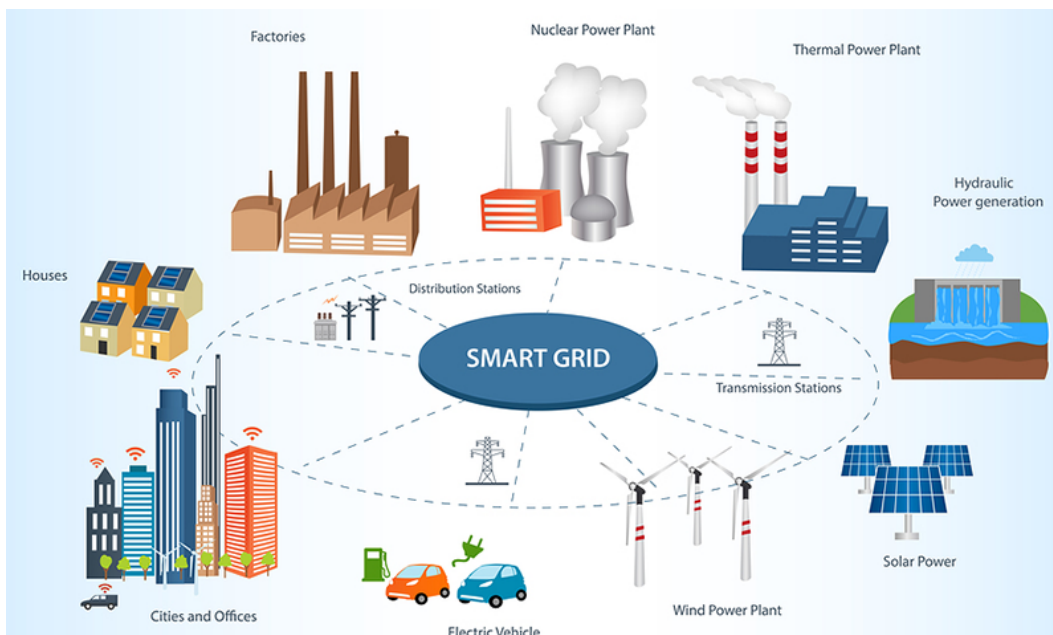


Figure 1. Représentation Schématique d'un Smart-Grid

Source : BBC

L'Analyse Coûts-Bénéfices - Cost-Benefit Analysis - CBA

L'objectif final du projet Smart-Grid est de réaliser une Analyse Coût Bénéfice de la mise en place du projet de Smart-Grid en Chine.

Pour calculer les avantages financiers apportés par le Smart-Grid il est nécessaire de rechercher deux types de données différentes.

À la fois les données Business As Usual (BaU) qui reflètent l'état du réseau actuel en Chine dans un scénario où un smart-grid ne serait jamais construit.

Également les données du projet qui décrivent l'état du réseau au fur et à mesure de la mise en place de la technologie Smart-Grid.

Notre projet vise à être réalisé pour 2040 alors le calcul des bénéfices financiers sera la différence calculée entre les données du projet sans Smart-Grid et celles du projet avec Smart-Grid de la période actuelle jusqu'en 2040.

Dans un second temps il s'agira de calculer les coûts de mise en place du Smart-Grid.

Contenu et Résultats du stage

D'après mon expérience de stage qui a débuté en totale autonomie sur le sujet des Smart-Grid, j'ai décidé de réaliser une démarche à suivre pour les futurs stagiaires de l'entreprise afin qu'ils puissent démarrer la recherche de données plus rapidement.

Première Phase d'autoformation

Comme des stagiaires se sont relayés sur le projet depuis quelques années, la première mission a été de chercher un cheminement dans la multitude des documents présents dans les dossiers de l'entreprise.

En effet, le dossier Smart-Grid de l'entreprise EUAbout est très dense en documents. Les sources d'informations sont multiples et il est facile de s'y perdre.

Document en question : **CN-SG CBA_Shared Folder**

Voici donc le chemin à suivre afin d'avancer par étape pour réaliser la Cost Benefit Analysis d'un Smart Grid en Chine.

Tout d'abord il s'agit de comprendre les bases techniques d'un Smart-Grid.

Pour cela il a été question de l'étude de la présentation de Giacomo Teluri, ingénieur à l'université de Florence.

Document : **BNU_Smart_Grid_TO - 20.02.2017_Rev02.pdf**

Ce document dresse un bilan technique des technologies présentes sur les Smart-Grid et à quels endroits elles agissent.

L'objectif des Smart-Grid est aussi d'intégrer des nouvelles sources d'énergie renouvelable dans le réseau en même temps que de nouvelle technologie d'information et de communication pour contrôler les pics de demande.

Concrètement il intègre des dispositifs de mesures en temps réel de la demande électrique (compteurs intelligents) ainsi que des possibilités de stockage de l'énergie électrique.

(Batteries, Voitures Hybrides, Pompage Turbinage)

Ceci dans le but d'améliorer la gestion de l'énergie électrique de sources intermittentes comme les panneaux solaires ou l'énergie éolienne.

Il permet, en outre, d'optimiser l'allocation de l'énergie électrique en évitant les pics de demande dangereux pour la sécurité du réseau électrique.

Source : NEA

Pourquoi avons-nous intérêt à mettre en place un Smart-Grid en Chine ?

- Permet la transmission d'information de la part des consommateurs sur leur consommation d'énergie, permettant de connaître la demande électrique en temps réel
- Inclus des dispositifs de stockage de l'électricité de nouvelle génération
- Permet de à l'offre de suivre plus fidèlement à la demande
- Évite les pics de demande électrique
- Permet un réseau électrique stable, c'est-à-dire que la tension électrique ne subit pas de variations importantes
- Augmente la durabilité des équipements électriques : c'est-à-dire les générateurs, sous stations électriques, réseau de transmission et de distribution
- Permet une plus grande résilience du réseau face aux perturbations : accidents, vols d'électricité

Ensuite, il s'agit de caractériser un Smart-Grid par ses technologies, les fonctions dont il dispose pour générer des avantages à la fois économique, écologique, de sécurité et de sûreté.

Chemin d'accès pour les prochains stagiaires :

CN-SG CBA_Shared Folder → CBA_Model materials →
US_DOE_Smart_Grid_Computational_Tool_User_Guide_Version_2.0.pdf

Liens entre Technologies (Assets), Mécanismes (Mechanisms), Fonctions (Functions), Avantages Associés (Bénéfits) et Valeurs Monétaire (Monetization Value)

Selon le département de l'énergie des États-Unis (DOE), un Smart-Grid peut être caractérisé par 15 types de technologies installées sur l'ensemble du réseau de transmission et de distribution. Les technologies produisent chacune une liste de fonctions (Fonctions) sur le réseau électrique. Ces fonctions sont ce que permet le réseau électrique électrique intelligent. Il permet par exemple aux fournisseurs de lire la consommation électrique en temps réel.

Ensuite ces différentes fonctions produisent des avantages positifs (Bénéfits) sur le réseau électrique. Ces avantages visent à être converti en valeur monétaire (Monetary Value) dans l'optique d'évaluer les économies qui pourrait être réalisées par un Smart-Grid

Prenons comme exemple les compteurs Linky en France pour illustrer notre propos.

En France, EDF cherche à installer des compteurs électriques intelligents sur le territoire.

La technologie (Assets) qu'on retrouve dans le rapport du DOE comme « Advanced Metering Infrastructure / Smart Meter » sont ici les compteurs Linky intelligents.

Les compteurs Linky génèrent deux **Fonctions (Functions)** :

- Le relevé en temps réel de la consommation électrique (« Real-Time Load Measurement and Management » et aussi
- L'adaptation de la tarification en heure pleine ou heure creuses (« Customer Electricity Use Optimization »)

Le mécanisme est ici la communication en temps réel, dans les deux sens. (« Two-times communication »)

La tarification dynamique en heure pleines ou heures creuses incite les utilisateurs à différer leurs besoins. Ils vont par exemple être incités à utiliser la machine à laver, gourmande en énergie, pendant les heures creuses du midi. Par cela, ils vont économiser de l'énergie tout en réduisant le pic de demande d'électricité de fin de journée.

Les avantages (Bénéfits) du Smart-Grid sont ici économiques, écologiques et de sûreté. Économiques par la réduction de la facture d'électricité pour le consommateur, écologiques par la moindre fréquence des interventions des techniciens (Truck-Roll) et également de sûreté par la réduction des pics de demande d'électricité. (Peak of Load)

Une dernière étape est d'évaluer **le gain monétaire (Monetary Value)** dû à ces avantages. Par exemple, sur une année, le foyer a économisé l'équivalent de 200€ d'électricité et le fournisseur d'électricité a économisé 200 000€ de frais d'entretien du réseau.

Le schéma issu du document du DOE résume la démarche pour passer des technologies aux valeurs monétaires en prenant l'exemple d'une autre fonction d'un Smart-Grid : la possibilité de réguler la tension électrique en temps réel.

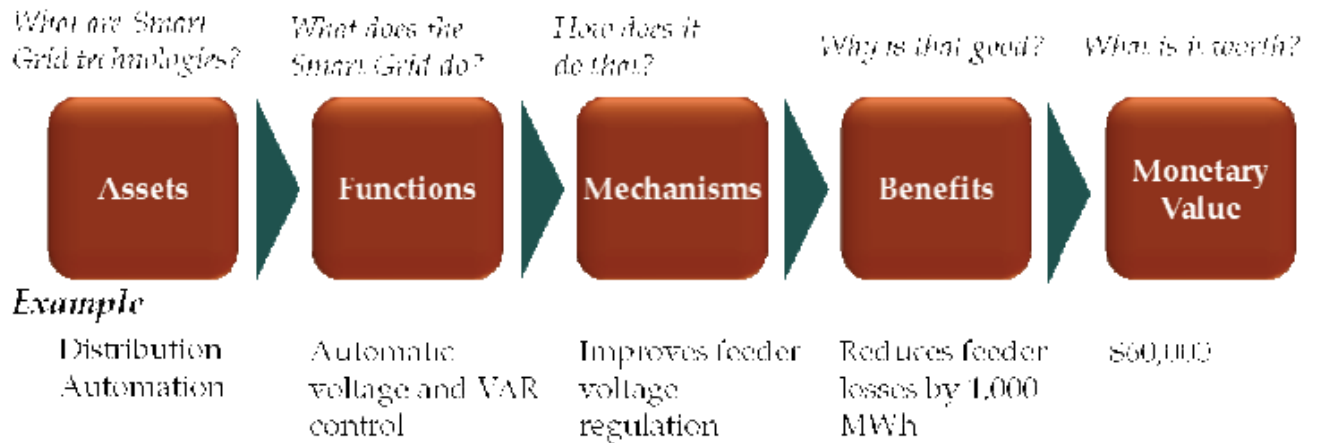


Figure 1. Passage des technologies d'un smart-grid à l'évaluation des bénéfices associés en équivalent monétaire

Le raisonnement a été effectué pour la technologie des compteurs intelligents, cependant il existe 22 technologies en tout présentes dans un Smart-Grid.

La liste des technologies se trouve sur le document ci-dessous colonne de gauche et les annotations indique le sens de lecture afin de déduire les fonctions associées.

Figure 1. Tableau reliant les technologies (Assets) aux fonctions (Functions) associées

Smart Grid Assets	Functions														
	Delivery								Use	Other					
	Fault Current Limiting	Wide Area Monitoring, Visualization, and Control	Dynamic Capability Rating	Power Flow Control	Adaptive Protection	Automated Feeder and Line Switching	Automated Islanding and Reconnection	Automated Voltage and VAR Control	Diagnosis & Notification of Equipment Condition	Enhanced Fault Protection	Real-Time Load Measurement & Management	Real-time Load Transfer	Customer Electricity Use Optimization	Storing Electricity for Later Use	Distributed Production of Electricity
Advanced Interrupting Switch															
AMI/Smart Meters															
Controllable/regulating Inverter															
Customer EMS/Display/Portal															
Distribution Automation															
Distribution Management System															
Enhanced Fault Detection Technology															
Equipment Health Sensor															
FACTS Device															
Fault Current Limiter															
Loading Monitor															
Microgrid Controller															
Phase Angle Regulating Transformer															
Phasor Measurement Technology															
Smart Appliances and Equipment (Customer)															
Software - Advanced Analysis/Visualization															
Two-way Communications (high bandwidth)															
Vehicle to Grid Charging Station															
Very Low Impedance (High Temperature Superconducting) cables															
Distributed Generator (diesel, PV, wind)															
Electricity Storage device (e.g., battery, flywheel, PEV etc)															

Le document suivant permet de relier les fonctions identifiées aux bénéfices associés qui en découlent.

Dans cet exemple, la fonction de mesure en temps réel de la consommation électrique (Real Time Load Measurement & Management) permet d'éviter des pertes électriques en même temps que d'éviter la dégradation du réseau (Reduced Ancillary Service Cost)

Benefits			Functions															
			Fault Current Limiting Wide Area Monitoring, Visualization, and Control	Dynamic Capability Rating	Power Flow Control	Adaptive Protection	Automated Feeder and Line Switching	Automated Islanding and Reconnection	Automated Voltage and VAR Control	Diagnosis & Notification of Equipment Condition	Enhanced Fault Protection	Real-time Load Measurement & Management	Real-time Load Transfer	Customer Electricity Use Optimization	Storing Electricity for Later Use	Distributed Production of Electricity		
Economic	Improved Asset Utilization	Optimized Generator Operation	•											•	•	•		
		Deferred Generation Capacity Investments												•	•	•		
		Reduced Ancillary Service Cost		•					•		•		•	•	•	•		
	T&D Capital Savings	Reduced Congestion Cost		•	•	•	•								•	•		
		Deferred Transmission Capacity Investments	•	•	•	•								•	•	•		
		Deferred Distribution Capacity Investments			•							•	•	•	•	•		
		Reduced Equipment Failures	•		•					•	•							
		Reduced T&D Equipment Maintenance Cost																
	T&D O&M Savings	Reduced T&D Operations Cost					•		•									
		Reduced Meter Reading Cost											•					
		Reduced Electricity Theft										•						
	Theft Reduction	Reduced Electricity Theft																
	Energy Efficiency	Reduced Electricity Losses			•				•		•	•	•	•	•	•		
Electricity Cost Savings	Reduced Electricity Cost												•	•	•			
Reliability	Power Interruptions	Reduced Sustained Outages				•	•	•		•	•	•			•	•		
		Reduced Major Outages		•				•			•	•						
		Reduced Restoration Cost					•	•	•		•	•						
	Power Quality	Reduced Momentary Outages									•				•			
		Reduced Sags and Swells										•			•			
Environmental	Air Emissions	Reduced CO ₂ Emissions			•		•		•	•		•	•	•	•	•		
		Reduced SO _x , NO _x , and PM-10 Emissions			•		•		•	•		•	•	•	•	•		
Security	Energy Security	Reduced Oil Usage (not monetized)					•			•		•			•			
		Reduced Widescale Blackouts		•	•													

Des précisions sur les mécanismes techniques reliant « Functions » et « Bénéfits » et des exemples d'applications dans des projets Smart-Grid se trouvent dans le document

1-CBA EPRI Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects.pdf

Ce document est considéré comme la bible du Smart-Grid par Mr. Teluri. Co concepteur du projet Smart-Grid

Mission Actuelle : Réalisation d'un CBA

La mission actuelle de l'entreprise est de calculer les gains monétaires (Monetization Value) que peuvent apporter les Avantages Associés (Bénéfits) du projet Smart-Grid

Il s'agit en somme de convertir des avantages (Bénéfits) d'ordre écologiques (réduction de CO₂), économiques (retarder les réparations) ou encore de sûreté (éviter les pannes électrique) en équivalent monétaire économisés.

Le document **US_DOE_Smart_Grid_Computational_Tool_User_Guide_Version_2.0.pdf** contient des formules qui prennent comme données d'entrée des valeurs monétaires (Monetization Value) comme la consommation annuelle d'électricité et le prix de l'électricité en Chine et en ressort un gain monétaire.

J'ai par exemple travaillé à rechercher les données pour le calcul de l'avantage « Optimisation du fonctionnement des générateurs » (**Optimized Generator Operation**)
Noté **C1** dans le document « **2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT** »

Les données monétaires à rechercher pour le calcul sont :

- Prix de l'électricité lors du pic annuel (USD/MW)
- Demande électrique des consommateurs lors du pic électrique (GW)
- Systèmes de stockage de l'énergie utilisé lors d'un pic (GW)
- Utilisation Locale de l'électricité au moment du pic (GW)
- Véhicule à Batterie utilisés comme moyen de stockage lors du pic (nombre)

Les Monetization Value se retrouvent dans le classeur C1 Base du document 2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT

Deferred Generation Capacity Investments	FUNCTIONS
Monetization Value	
	UoM
Price of Capacity at Annual Peak	\$/MW
Total Customer Peak Demand	GW
Energy Storage Use at Annual Peak Time	GW
Distributed Generation Use at Annual Peak Time	GW
PEV Use at Annual Peak Time	n
Benefit Value	\$

Qui se calcule selon la formule du document du DOE :

Benefit Value (USD) =

Price of Capacity at Annual Peak (\$/MW) * {Total Customer Peak Demand (MW) – Energy Storage Use at Annual Peak Time (MW) – Distributed Generation Use at Annual Peak Time (MW) – PEV Use at Annual Peak Time (MW)}

Les valeurs sont ensuite à entrer dans le classeur « **BaU_SC_Database** » du document « **2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT** » en précisant la source du document dans le classeur « **References** » afin qu'une vérification de la crédibilité de la donnée soit effectuée par la suite.

Protocole de recherche des données monétaires (Monetization Values)

La seconde phase de mon stage a été focalisée sur la recherche de données. J'ai eu pour mission de mettre à jour les équivalents monétaires en fonction des nouvelles données électriques chinoises de 2015 à 2020.

Rechercher des sources de données

Le premier défi a été de trouver des sources fiables de données. Les données électriques chinoises sont difficiles d'accès.

Dans un premier temps je vous conseille l'utilisation d'un VPN permettant de se connecter à un serveur de Hong-Kong lorsque les sites .cn ne sont pas accessibles

En ce qui concerne les articles de recherches disponibles sur les sites d'éditeurs, il s'agit de demander l'accès à Paolo Sospiro qui est également enseignant chercheur à l'Università Politecnica delle Marche et pourra vous fournir l'accès facilement.

Premiers Contacts

Pour commencer je tiens à fournir aux futurs stagiaires les contacts qui m'ont été très utiles pour trouver des sources fiables de données ainsi que pour m'aiguiller sur les questions techniques.

Paolo Sospiro	Directeur EUAbout – Enseignant chercheur	psospiro@euabout.eu	Travail initial à l'université de Tokyo
Giacomo Teluri	Ingénieur	giacomo.talluri@unifi.it	Createur du document 2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT
Lee Jack Collaborateur à l'organisme de gestion du réseau électrique en Chine mahone39@hotmail.com	Ingénieur	mahone39@hotmail.com	Collaborateur à l'organisme de gestion du réseau électrique en Chine (State Grid Compagny)
Marco Cisco marco_liscio.550474@unifg.it Auteur de la CBA sur la PHS (Pumped Hydro Storage en Chine	Ingénieur	marco_liscio.550474@unifg.it	Auteur de la CBA sur la PHS (Pumped Hydro Storage) en Chine

Registre de sources fiables

Voici également un registre qui regroupe les sources les plus fiables que j'ai pu utiliser, il est se trouve dans le classeurs **Sources** du document **2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT**

Le code couleur permet de faire le lien avec les données du classeur **BaU_SC_Database** afin de pouvoir relier et vérifier aisément la source de chaque donnée.

Color	Nom	Type	Domain	Access
	China Energy Portal	Official	.gov.cn	https://chinaenergyportal.org/e
	CPIA and CREIA, 2018	Research Paper		
	NBS National Bureau of Statistics of China	Official	.gov.cn	http://data.stats.gov.cn/english
	CEC China Electricity Council	Official	.org.cn	https://english.cec.org.cn/uploa
	NEA National Energy Administration	Official	.gov.cn	http://www.nea.gov.cn
	World Nuclear Association	Official	.org	https://www.world-nuclear.org
	IEA International Energy Agency	International Agency	.org	https://www.iea.org/data-and-s
	ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY	Research Paper	.org	https://www.osti.gov/servlets/p
	Light-duty plug-in electric vehicles in China: An overview on the market and its comparisons to the United States☆	Research Paper	.com	https://www.sciencedirect.com
	Automotive Data of China	Official	.info	http://www.catarc.info/cpsj/
	IEA International Energy Agency	International Agency	.org	https://www.iea.org/data-and-s
	Effectiveness of China's plug-in electric vehicle subsidy	Research Paper		https://www.sciencedirect.com
	Battery Energy Storage Systems as an alternative to gas turbines for the fast active disturbance reserve	Research Paper	.se	https://www.svk.se/siteassets/j

Les sources seront ensuite ajoutées au dossier **Bibliography** du dossier **CBA_Model materials** qui contient déjà toutes les références bibliographiques pour les données chinoises jusqu'en 2015.

Stratégie de recherche externe de donnée

Première stratégie naïve : Recherche directe de la Monetization Valueur une recherche avancée de Google.

Mr. Teluri m'a formé à la recherche avancée de données de Google qu'on peut retrouver à la page : https://www.google.com/advanced_search

J'ai par la suite utilisé la syntaxe de recherche avancée Google pour effectuer des recherches plus ciblées. Voici quelques astuces et exemples pour les futures recherches de données électriques en Chine.

La donnée à trouver pour calculer le bénéfice « **Optimized Generation Capacity** » est la production annuelle d'électricité pour chaque type de production électrique en Chine. Autrement dit, il faut chercher « **Annual Generation Cost** » pour l'énergie fossile (coal ou fossil fuels), l'hydroélectricité (hydro power) ou encore pour l'énergie solaire (solar pannels).

La recherche :

Annual Generation Cost China Hydropower

Sous-entend Annual ET Generation ET Cost ET China ET Hydropower

« Annual Generation Cost » China Hydropower

Permet de rechercher le terme exact « Annual Generation Cost »

Une astuce consiste à ajouter en mots clés **l'unité de mesure de la donnée** que l'on souhaite rechercher dans l'optique de trouver la valeur chiffrée de la donnée qui se trouve devant.

Dans cet exemple « Annual Generation Cost » (« **MWh** » OR « **GWh** ») China Hydropower

Permet de rechercher les textes qui contiennent exactement le terme Annual Generation Cost ainsi que l'unité MWh ou GWh dans la page

La recherche

« Annual Generation » * (« MWh » OR « GWh ») China Hydropower

Permet en plus de rechercher les termes exacts Annual Generation Cost et GWh qui se trouvent proche à l'échelle du paragraphe dans une page.

« Annual Generation » * (« MWh » OR « GWh ») China Hydropower **allinurl :.cn**

Permet de cibler les documents provenant de sites internet chinois uniquement.

Enfin en arrivant sur la page sélectionnée, **la recherche de l'unité MWh ou GWh ou GW ou MW permet d'arriver rapidement dans le paragraphe où se trouve la donnée recherchée.**

Cependant, cette recherche ne « repère » pas les données dans les tableaux et figures, on peut passer facilement à côté de données intéressantes.

Elle permet donc d'indiquer une zone dans laquelle chercher la donnée dans des documents qui font parfois plusieurs dizaines de pages.

Approximations

Lorsque la recherche de données directe de données chinoises ne donne pas de résultats probants, il est nécessaire de se rapatrier sur des approximations ainsi que des données provenant d'autres pays qui disposent du même mix énergétique. Il est nécessaire de faire des hypothèses en fonction des données dont on dispose.

Le mix énergétique représente les différentes sources d'énergie primaire d'où provient l'électricité produite. Pour la Chine il s'agit encore d'une production d'électricité qui provient en grande majorité du charbon. (Plus de 60% en 2020).

Les **États-Unis** et l'**Allemagne** sont deux bonnes sources d'approximations comme leur mix énergétique est sensiblement le même que celui de la Chine. Une dominance

Le mix énergétique aux États-Unis se rapproche de celui de la Chine c'est pourquoi des approximations de données chinoises par des données des États-Unis ont été utilisées.

Les États-Unis ont un mix énergétique assez proche de la Chine ce qui rend crédible l'utilisation d'approximation (proxys) provenant des États-Unis.

Il a fallu utiliser des données de l'Allemagne quand il n'y avait pas d'autres solutions disponibles.

Document : **CBA Monetization Benefits Steps** disponible dans le dossier **Selected Data**

Exemple pour l'avantage associé : C5 Deffered Transmission Capacity Investment Report des investissements sur les lignes de transmission

C.5. Deferred Transmission Capacity Investments

Monetization Value	Discount Rate	Source
Discount rate	4 %	Biblio 19 , this value represents the discount rate to implement renewables energies in Germany trying to establish a comparison about investment in China
Time Deferred	5 years	Biblio 10 , this value was taken due to the period of developing the investment

Un autre défi est le manque de donnée disponibles facilement accessibles comme le montre les données que j'ai mise à jour pour l'avantage **C2** du document **2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT**

	Monetization Value	Unité	2015	2016	2017	2018	2019	
C2	Price of Capacity at Annual Peak	USD/MW	2500,00		-	-	-	-
C2	Total customer Peak Demand	GW	1525,27	3782,00	-	-	-	4400,00
C2	Energy Storage Use at Annual Peak Time	MW	23,03		28,69	29,99	-	-
C2	Distributed Generation Use at Annual Peak Time	MW	4,22	76,31	129,42	-	-	-
C2	PEV fleet	n	350000,00	395500	649000	1497388	33500000	5000000

Pour cela il s'agit de trouver la donnée la plus récente possible dans un temps raisonnable.

Si la donnée chinoise n'est pas accessible directement et facilement. Se rapatrier sur une approximation de données chinoise.

Un exemple d'approximations est de considérer la puissance électrique disponible (**Installed Capacity ou Load Capacity**) plutôt que l'énergie générée (**Generation**)

Sinon rechercher des données issues des États-Unis ou de l'Allemagne qui ont des mix énergétiques similaires.

Comme le recommande le document de l'EPRI : **1-CBA EPRI Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects.pdf**

Lorsqu'une donnée n'est pas accessible ou peu fiable, il convient de ne pas l'ajouter au modèle. En effet il est fréquent de ne pas pouvoir considérer toutes les fonctions théoriques évoquées dans la Figure 2. dans un projet Smart-Grid concret.

Stratégie de recherche Interne de Données

Les Monetizations Values ne sont pas toujours les entités de bases, elles doivent être calculées à partir d'autres données brutes et de calculs.

C'est notamment le cas pour l'avantage **C5 Capital Carrying Charge of Transmission Upgrade** Qui ne peut être trouvé directement même via une recherche avancée et/ou des approximations.

Le document : **CBA Monetization Benefits Steps** présenté ci-dessous indique les démarches entreprises par les anciens ingénieurs et stagiaires.

Capital Carrying Charge of Transmission Upgrade	\$ 19.842.298.762,00 Summation investment transmission lines/km and substation taking into account 220-330-500-750-1000	Source: Biblio 27 view whole calculation in excel file “China transmission and substations investment”
---	--	--

Après une rapide recherche avancée, on retrouve rapidement que le document de la Biblio 27 **27. Transmission costs.pdf** de l’université du Texas (approximation des Etats-Unis) est toujours d’actualité et ne dispose pas de versions plus récentes facilement accessible dans un temps raisonnable.

Il en découle le document **China transmission and substations investment.xls** qui indique une méthode de calcul à partir des données électriques chinoises de 2015.

Une mise à jour des données électriques chinoises brutes en utilisant cette méthode de calcul issus de l’université du Texas et appliqué avec les données chinoises qui reste d’actualité permet d’obtenir la nouvelle valeur de **C5** mises à jour.

Transmission lines					Electricity Statistics (2015-year) 2020	SG TOOL
kv	Unit distance investment (CNY/km)	Order	Average (CNY/Km)	Unit distance investment (USD/Km)	Km	Capital Carrying
110	\$ 419 000,00	min val	\$ 884 500,00	\$ 126 483,50	23862,00	\$ 3 018 149 277,00
	\$ 1 350 000,00	max val				

La mise à jour des données électriques chinoises de 2015 est disponible dans le classeur **Basic Statistics 2015-19** du document **2019.06.20-CBA_Benefits_calculation_rev_GT**
Les données brutes sont désormais à jour jusqu’en 2018 et partiellement complètes pour 2019.
Les données pour 2020 ne sont pas encore disponibles sur les sites officiels.

Elles ont été extraites à partir de rapports annuels officiels chinois différents disponibles sur <https://chinaenergyportal.org/en/2019-electricity-other-energy-statistics-preliminary/>
Et mise en forme grâce à une macro liant Word et Excel pour importer le tableau de données de la page Web sur la feuille Excel **Statistics 2015-19**

En voici un extrait :

	2018	2019
Electric Power Production	6,994,700	7,325,300
Hydro Power	1,232,100	1,301,900
Of which : Pumped Hydro Storage	32,90	-
Thermal Power	4,924,900	5,045,000
Of which : Coal Fired	4,482,900	4,936,200
Gas	215,50	223,80
Oil	1,50	2,00
Nuclear Power	93,60	78,00
Wind Power	295,00	-

Figure . Extrait des données électriques brutes de la Chine

Source : China Energy Portal

On observe une tendance à l'augmentation de la production totale d'électricité en Chine et une augmentation de l'énergie issu de sources intermittentes comme le solaire ou l'éolien.
(Cela apparait dans le reste du tableau Excel qui ne rentrait pas dans le fichier Word)

Intérêt du stockage et illustration CBA PHS China

Ces sources d'énergies sont intermittentes, c'est-à-dire qu'on ne contrôle pas la production d'énergie émise dans le temps.

Ce manque de contrôle révèle l'intérêt du stockage de l'énergie électrique qu'on retrouve à travers les avantages associés du Smart-Grid :

- Reduced Momentary Outages – Réduction des effets de pannes momentanées
- Reduced Electricity Cost – Réduction du coût de l'électricité

En effet, lors d'une panne électrique, les systèmes de stockages de l'électricité comme les batteries attachées aux éoliennes et également les batteries des véhicules électriques reliées au réseau peuvent servir de système de secours pour des infrastructures sensibles comme les hôpitaux par exemple.

Un lien moins direct est la réduction du prix de l'électricité. Comme la production d'électricité par les utilisateurs (via éolienne ou panneaux photovoltaïques) peut être stockée dans des batteries au domicile. Comme elles seront reliées au réseau par le principe de transfert de données dans les deux sens (Two-Times Communication) ; elles pourront aisément revendre l'énergie accumulée au fournisseur d'électricité et, par cela, diminuer leur facture.

Un principe qui fut l'objet d'une ancienne CBA réalisé chez EUAbout est l'étude du système de Pumped Hydroelectricity Storage (PHS) en Chine.

Le Pompage-turbinage est un moyen de palier aux pics de demande d'électricité.

En effet le pompage turbinage permet de stocker de l'électricité en faisant remonter de l'eau d'un cours d'eau ou d'un bassin pour le stocker dans les bassins d'accumulations. Lorsque la production d'électricité est supérieure à la demande, c'est le pompage pour accumuler de l'eau en altitude.

A contrario, lorsque la demande d'électricité excède l'offre, on relâche de l'eau dans les turbines, c'est le turbinage.

Cette technologie permet d'adapter l'offre d'électricité à la demande.

Cette dernière partie expose les résultats d'une CBA réalisés pour l'implantation d'un réseau de PHS en Chine. Elle est indicative et permet de montrer la finalité d'un projet de CBA pour les futurs stagiaires.

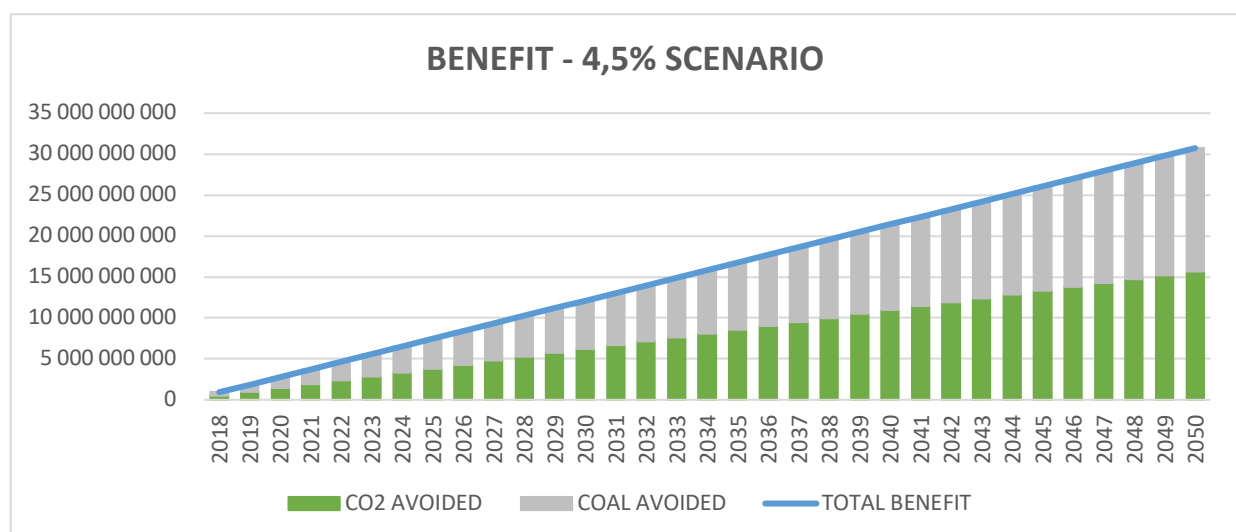


Figure 3. Résultats de la CBA des avantages associés à l'implantation de PHS en Chine

Au final, la CBA offre une prévision des économies en CO2 et en énergie primaire convertis en équivalent monétaire à partir de données de 2018 et jusqu'en 2050.

Conclusion

Avantages

Tout d'abord, dans ce contexte d'épidémie de Covid-19 je reconnais que c'est un privilège d'avoir réalisé 2 mois de stage en présentiel à Bruxelles.

Comme c'était ma première réelle expérience en entreprise, j'ai eu besoins de goûter à un cadre de travail.

Nous travaillions en petit comité de 5 personnes maximum en présentiel ce qui était parfaitement adapté à la réglementation belge actuelle concernant le Covid. Cela a en plus permis une ambiance de travail calme en petit groupe.

Paolo était parmi nous ce qui est un réel avantage pour pouvoir lui poser des questions en directs lorsqu'il est disponible. Il est toujours ouvert pour répondre à des questions précises sur lesquelles on a réfléchi. La proximité de mon tuteur de stage a été un vrai plus.

Dans le cadre du projet Smart-Grid, on m'a laissé en grande autonomie, j'étais le seul stagiaire assigné à pleins temps sur ce grand projet.

J'ai dû m'adapter aux anciens travaux réalisés par Paolo et son collaborateur ingénieur Giacomo ainsi que par le passage de plusieurs stagiaires qui ont travaillé sur le projet par morceaux.

Le projet est énorme et il m'a fallu un long moment pour m'adapter et comprendre toutes les données et les manière de travailler de chacun.

C'était difficile dans les faits, mais formateur pour la suite de mon avenir professionnel car les sources de données sont toujours plus nombreuses et de sources différentes.

J'avais en plus la casquette du chef de projet, j'ai cherché à créer du lien avec des personnes travaillant dans le domaine des Smart-Grid en Chine ainsi que plusieurs ingénieurs en Italie.

Il a fallu gérer tous les paramètres d'un projet, les données scientifiques, les partenaires et faire la synthèse pour trouver les éléments qui nous intéressent.

Un autre avantage est d'avoir pu travailler exclusivement en anglais, que ce soit à travers la lecture de textes de formations à la CBA en anglais dont le vocabulaire est très précis, l'abondance de papiers de recherche en anglais pour trouver les données des « Bénéfits » ou encore par les nombreux meetings de formation durant la période de télétravail.

Sans oublier la formation de Lohint, un ingénieur en mécanique que je forme actuellement pour qu'il reprenne le projet Smart-Grid.

Limites

L'immensité du projet et l'absence de deadline précises et régulières m'ont beaucoup perturbé, je ne savais pas si j'avancais assez vite ou pas assez. Il était difficile de m'évaluer sur la rapidité et la qualité de mon travail. Mon tuteur m'a répété de ne pas m'inquiéter car les deadlines étaient très lointains et cela renforçait le flou quant à mon efficacité.

J'étais donc perdu dans la gestion de mes tâches, je ne savais pas quel temps assigner à quelle tâche car chaque recherche de donnée a amené des difficultés supplémentaires que je n'avais pas perçu et qui nécessitait une demande d'aide ou une auto-formation à Excel.

J'ai souvent été confronté à des délais voire à une absence de réponses des collaborateurs qui me laissait parfois dans des phases où j'étais bloqué sans possibilités de pouvoir avancer.

Paolo m'a aidé sur des points précis mais j'ai eu du mal à m'adapter à ce grand sujet que sont les Smart-Grid. J'aurai eu besoins d'un accompagnement plus régulier avec quelqu'un qui travaillait en parallèle sur le sujet. Être le seul consacré à pleins temps sur ce grand sujet en complète autonomie a été perturbant.

Compétences acquises

Ce stage m'a permis de me lancer dans un projet que je ne connaissais pas, dont je n'avais pas nécessairement le background. Cela m'a montré qu'il était possible de se lancer dans tout type de projet en faisant l'effort de se former et de demander de l'aide si besoin.

J'ai maintenant des réflexes en ce qui concerne la recherche de donnée sur de multiples sources, des techniques directes comme le maniement des recherches avancées précises et indirectes en n'hésitant pas à considérer une approximation ou d'une source moins adaptée mais suffisante pour continuer à avancer.

J'ai également appris à mettre en forme des données sur Excel, à prendre le réflexe de mettre les tableaux sous la bonne forme afin d'accélérer la manipulation ensuite. J'ai découvert comment faire une macro sur Excel et Word pour mettre ne forme des données.

J'ai également pris le réflexe de comprendre la construction des travaux précédents sur Excel et d'en déduire la démarche pour avoir un regard critique dessus ensuite.

J'ai appris à communiquer en anglais dans le monde professionnel, à travailler dans un environnement en anglais.

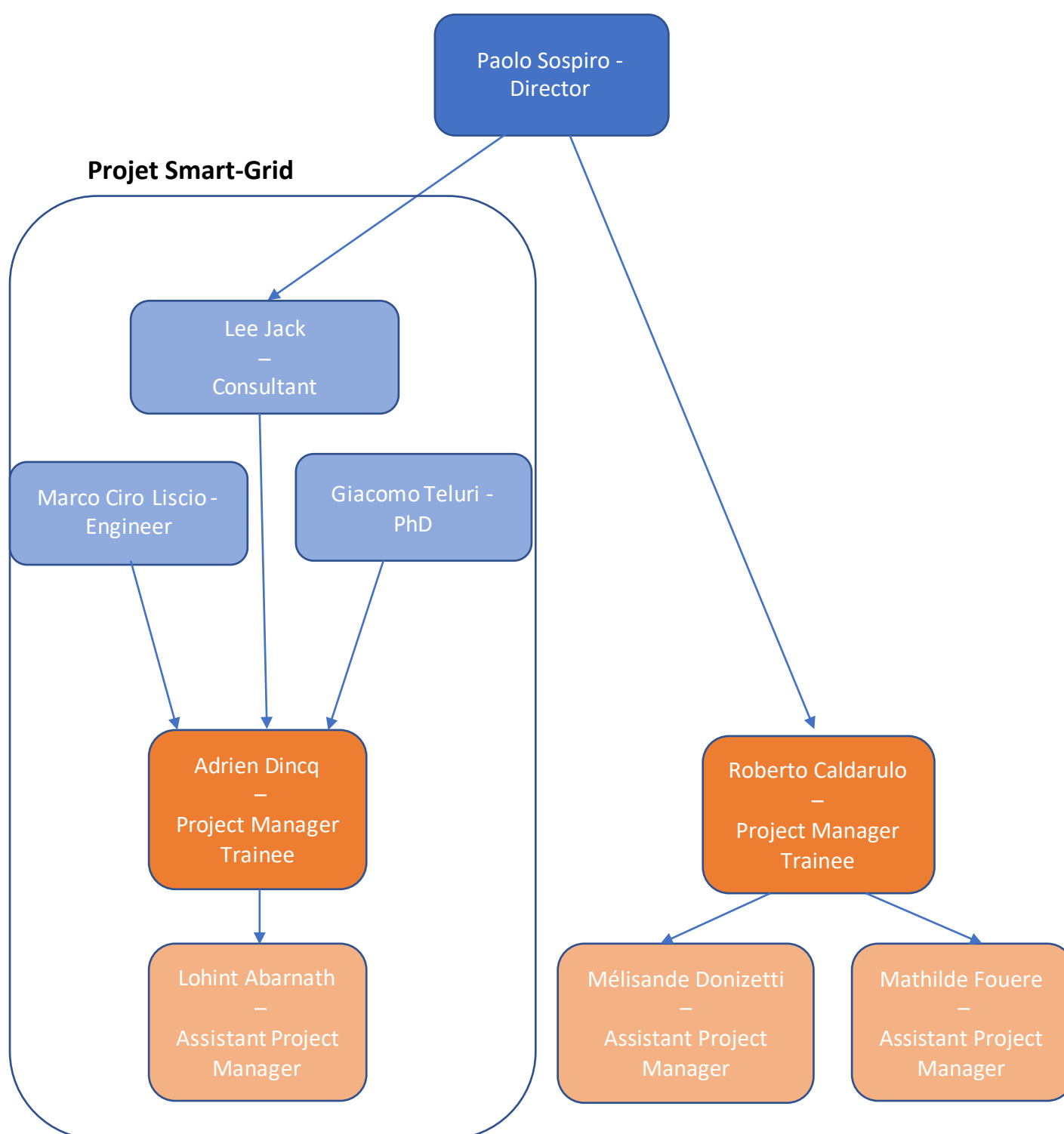
Il a également été question de formuler des questions précises à des acteurs spécialisés dans le domaine des smart-grid.

Enfin il s'agit de former un ingénieur en mécanique indien au monde des Smart-Grid exclusivement en anglais.

Annexes

Annexe 1. Organigramme de l'entreprise EuAbout lors de la période de stage

Organigramme de la firme EUAbout



Remerciements

Dans le contexte de l'épidémie de Covid 19, je reconnais que c'est un privilège de réaliser un stage à l'étranger qui plus est, en présentiel. Je remercie grandement Mme Nour, coordinatrice Erasmus de l'université de Tours pour m'avoir permis de réaliser les démarches administratives dans des délais très courts. J'oriente mes remerciements vers Mme Modaine, coordinatrice Erasmus de l'université de Lille qui m'a fourni toutes les informations nécessaires pour finaliser la démarche de stage via la plateforme EU4EU

Merci également à mon maitre de stage, Mr Paolo Sospiro pour son aide dans la réalisation de ce stage et tous ces petites anecdotes pleines de sens pour la suite de mon parcours professionnel.



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Prénom Nom

Adrien Dincq

2019-2020

Titre : Analyse Coûts/Bénéfices de la mise en place d'un Smart-Grid en Chine

Résumé : Formation et mise en place d'un protocole de recherche de données sur les équivalents monétaires des avantages écologiques, économiques et de sécurité des Smart-Grid dans l'objectif de réaliser la future CBA. Coordination des informations et des acteurs du projets. Formation des futurs stagiaires.

Mots Clés :

[FR] Réseau Électrique Intelligent, Analyse Coûts Bénéfices
[EN] Smart-Grid, CBA, Cost Benefit Analysis, China

EUAbout :

Rue Charles Martel 54, 1000, Brussels, Belgium

Tuteur entreprise :

Paolo Sospiro

Director

Tuteur académique :

José Serrano