

La digitalisation / les digitalisations du secteur électrique

Jean-Michel Glachant

Directeur 'Ecole de Florence de la Régulation'

Chaire "Gouvernance & Régulation"

Paris-Dauphine 23 Sept 2021



Aperçu

Digitalisation: définition intuitive = “Entrepris avec une infrastructure de techniques digitales”

1990-2020: 3 vagues de digitalisation du secteur électrique

1 Création de “marchés centralisés séquencés” (depuis 1990)

‣ marché de gros > ‣ marché d'équilibrage > ‣ marché de détail

2 “Réseaux intelligents” répondant aux nouvelles pratiques d'échange (depuis 2000)

‣ première génération: réseaux intelligents des échanges *centralisés*

‣ seconde génération: réseaux intelligents des échanges *décentralisés*

3 Emergence d'un univers électrique décentralisé “Derrière-le-Compteur” (depuis 2010)

‣ *Aggrégateurs, Gestion de la Demande ; Prosumeurs, Prosumageurs; V.Es; etc.*

‣ *“Partage entre Pairs”, Communautés, Plateformes, etc.*

1 Création de “*marchés centralisés séquencés*” - 1990

1^{ère} étape - Le marché de gros

1980-1990: marché de gros centralisé est dit “impossible”; coûts de transaction trop élevés

α **1er Avril 1990 “*Electricity Pool of England & Wales*”**

EDF partenaire extérieur (2000 MW – 17,5 TWh – 850m Euro annuels)

> Logiciel de dispatch des centrales du CEGB intégré > transformé en logiciel de marché calculant les équilibres prix / quantités entre offres et demandes du marché (bon ordinateur central + terminaux fiables chez les producteurs et les fournisseurs) > la clef est le digital !

α **Simplifié en 1993-96 par NordPool (Norvège-Suède)**

Pas besoin de dispatcher les centrales à l’intérieur du marché de gros (E&W 1990 ou PJM 1997). Marché NordPool calcule des prix crédibles qui incident à bien dispatcher les centrales. Modèle NordPool devient dominant en UE, y compris GB 2000 = UE marché digital

1 Création de “*marchés centralisés séquencés*” - 1990

2^e étape - Le marché d'équilibrage

Marchés de gros type “NordPool” ne gèrent pas la marche des centrales. NordPool marché purement digital, “commercial”, “notionnel”. Mais qui s'occupe vraiment des flux électriques ?

α **L'opérateur du système (le ‘SO’ du ‘T.SO’)**

En UE les “opérateurs du système” sont des agents assermentés dotés d'un pouvoir d'administration des flux électriques

Ils ferment le marché de gros à échéance convenue (“*Gate Closure*”) où tous les acheteurs & vendeurs doivent soumettre aux SO leurs bilans “Achat/Vente” pour le lendemain.

α **Marché d'équilibrage au Jour J, Heure H**

En “temps réel”, l'opérateur du système maintient l'équilibre réel du système des flux et gère les congestions du réseau. Au vu du comptage “temps réel” des injections / soutirages pour chaque agent du marché, un “règlement des écarts” est facturé aux créateurs des déséquilibres : c'est le “marché de l'équilibrage” raccordant le “physique” au “notionnel”

1 Création de “*marchés centralisés séquencés*” - 1990

3^e étape – Le marché de détail

Le marché de gros produit des prix garantis pour les échanges notionnels du lendemain; le marché d'équilibrage produit en temps réel un prix des écarts pour les déséquilibres physiques. Mais comment tout ceci arrive-t-il chez le consommateur final et sur sa facture ?

α **Les fournisseurs ... qui ne touchent pas aux flux physiques d'électricité**

Tous les flux physiques d'électricité sont gérés exclusivement par les producteurs, le réseau de transport, et les réseaux de distribution (y compris tous les comptages et compteurs)

α **... sont les détaillants des flux commerciaux “Marché de Gros & Equilibrage”**

Fournisseur = *Responsabilité* de payer les prix de gros, de payer aussi pour le règlement des écarts + *Droit* de refacturer ça à leur guise, aux quantités comptées comme “délivrées” par les compteurs du réseau de distribution.

α **... gèrent la couche commerciale dématérialisée du secteur : e-commerce d'électricité**

Avec monopole de fourniture : 1 seul fournisseur par client

Un e-commerce d'électricité ‘fermé’: sans plateforme

2 “Réseaux intelligents” et nouvelles pratiques d’échange – depuis 2000

Première génération: Réseaux intelligents des échanges centralisés

Le marché de gros ne gère pas la circulation des flux. Flux physiques & acheminement = responsabilité propre des réseaux, transport ou distribution. Les réseaux gèrent le physique. Les fournisseurs gèrent le commercial dématérialisé. Fournisseur = ‘Agence de voyage’ des flux

⌘ Les transporteurs passent de l’analogique au numérique dans la gestion des flux

Prévenir les congestions & Optimiser la capacité de transport

“Sensors” (capteurs d’information), “activators” (déclencheurs d’actions) + *unités de calcul* (algorithmes, traitement de données, ordres d’activation…) qui relie “sensors” et “activators”
 > Initiative commune forte de transporteurs européens: **couplage entre marchés de gros** ; en annonçant en J-1 une capacité d’interconnection garantie entre zones d’opération des réseaux

⌘ Les distributeurs commencent à numériser : compteurs intelligents

“Sensors primitifs”: captent informations de consommation et transmettent digitalement = information et communication passent d’analogique à numérique. **Couplage en temps réel du marché de détail avec marché de gros et marché d’équilibrage** : ce couplage en “temps réel” permet de nouvelles pratiques commerciales (contrats & tarifs) pour les fournisseurs.

2 “Réseaux intelligents” et nouvelles pratiques d’échange – depuis 2000

Deuxième generation : Réseaux intelligents des échanges décentralisés

Nouvelle donne pour les réseaux de distribution: ☒ sont “*passifs*” & “*fin de chaîne*” pour les échanges centralisés; ☒ mais “*première ligne*” à la nouvelle frontière décentralisée du secteur électrique : éolien et solaire ; stockage individuel ; gestion de la demande ; véhicules élec. ; etc

☒ Double sens de circulation des flux physiques & nouvelles complexités

Comme le transport auparavant, les réseaux de distribution font maintenant face à des flux plus complexes (flux à double sens + intermittence production + demande pro-active). Ici aussi, les “sensors”, “activators”, unités de calcul & contrôle permettent de **prévenir les congestions & optimiser la capacité des réseaux**. Les réseaux de distribution deviennent “**auto-cicatrisants**” = “intelligents” ; répondant d’eux-mêmes aux nouveaux défis de la complexité et des accidents.

☒ Les réseaux de distribution découvrent de nouveaux outils digitaux

“Data analytics”, “Geospatial intelligence”, “Digital Twins”, “Machine learning”, “Blockchains” etc. et cherchent ainsi de nouveaux couplages avec ce qui se passe “Derrière-le-compteur”.

2 “Réseaux intelligents” et nouvelles pratiques d’échange – depuis 2000

Les réseaux intelligents bougent toujours beaucoup

2018

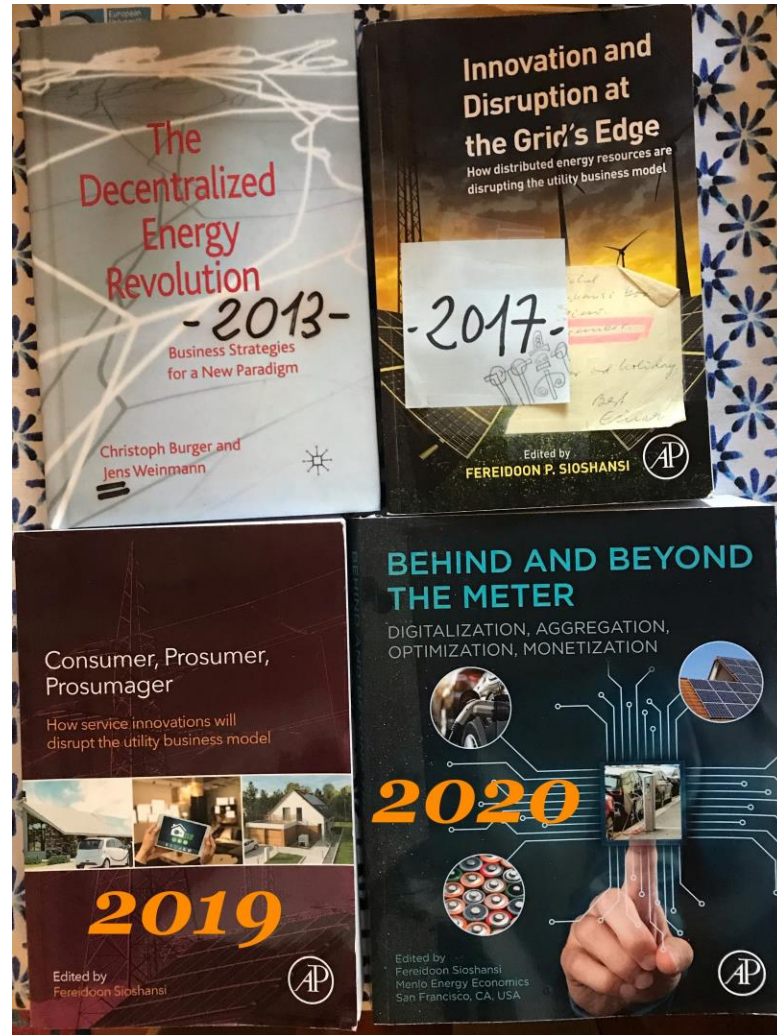
Redéfinis pour agir à la nouvelle frontière
(le décentralisé du secteur électrique)

2020

Repensés pour utiliser les **blockchains**



3 Emergence d'un univers électrique décentralisé "Derrière-le-Compteur"



3 Emergence d'un univers électrique décentralisé “Derrière-le-Compteur”

3.1 Les bases ‘réelles’ des échanges décentralisés

Nouvelle révolution du secteur électrique : beaucoup de “**décentralisé**” (très petite taille : 1kW à 1 MW vs CCGT 400 MW; EPR 1 650MW); ET qui arrive “**derrière le compteur**”, un territoire peu ou pas contrôlé par les marchés centralisés et par les “fournisseurs agréés”

⌘ **Gestion de la demande, et agrégateurs**

⌘ *Les Agrégateurs font un métier en sens inverse des “détaillants”*. Ils regroupent des variations volontaires de demande, pour les vendre comme produits sur les marchés de gros. Combine un suivi précis dans la couche digitale et dans la couche physique du secteur élec.

⌘ **Producteurs décentralisés et auto-consommation**

⌘ Petits producteurs éoliens, beaucoup de producteurs solaires (100 000 France; Allemagne 2m; Australie ~3m) autoconsomment = leur consommation nette à partir du réseau électrique varie; excédents vendus selon... Prosumeurs; avec stockage Prosumageurs.

⌘ **Véhicules él. (240m x 60kWh = 14 400GWh) (Conso J 7 000GWh) + “Immeubles interactifs”**

⌘ V.Es & “Immeubles interactifs” peuvent soutirer ou injecter, suivant les incitations

3 Emergence d'un univers électrique décentralisé “Derrière-le-Compteur”

3.2 Les bases ‘transactionnelles’ des échanges décentralisés

De nouvelles formes d'échange décentralisé émergent. Quelques exemples

α “Partage entre Pairs”

α *De Pair à Pair ; de Pair vers X*

α “Communautés”

α Au sein de la communauté (UE) : échanges d'énergie renouvelable, de services de stockage et de chargement des V.Es, plus gestion dynamique de la demande

α Bâtiments interactifs, comme forme pragmatique de “communautés” (USA - Rapport Rocky Mountain Institute : “*Grid-Interactive Efficient Buildings Made Easy*” 2021)

α “Plateformes”

α Marchés biface: “Pair à Pair” pour échanges d'énergie renouvelable

α Marchés en monopsonne: “Pair vers X” pour la fourniture de flexibilité aux gestionnaires de réseaux – gestionnaires de système

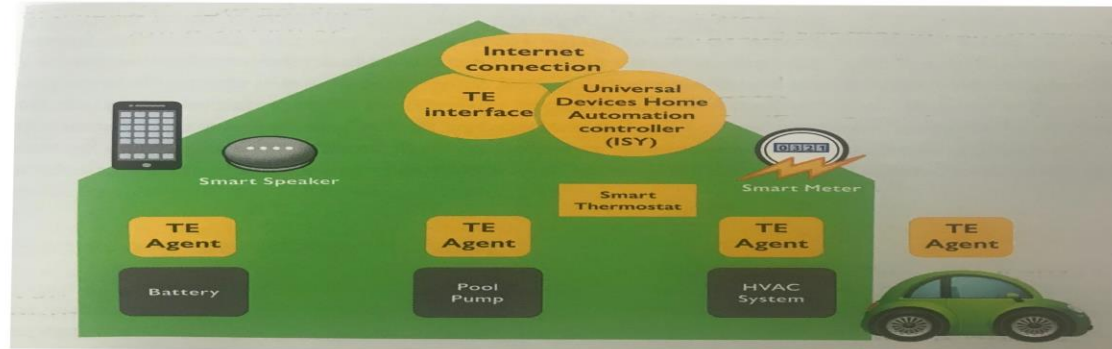
3 Emergence d'un univers électrique décentralisé "Derrière-le-Compteur"

3.3 Quelles infrastructures digitales pour les échanges décentralisés ?

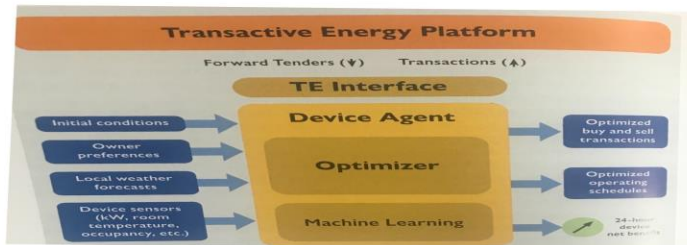
Un exemple d'infrastructures digitales fortes (Pilot 'RATES' en Californie)

Infrastructures digitales de type ("Capteurs" + "Activeurs" + "unité de calcul et contrôle") implantées au sein de chaque unité d'habitation ou professionnelle, commandant chaque équipement majeur : *chauffage & climatisation *véhicule électrique *piscine *stockage individuel; préfigurant *Internet des Objets & Machine Learning* appliqués aux consommateurs

1



2



3



3 Emergence d'un univers électrique décentralisé "Derrière-le-Compteur"

3.4 Les bases réglementaires des échanges décentralisés

Comment échanger en "décentralisé" alors que tous les marchés ont été conçus "centralisés"?

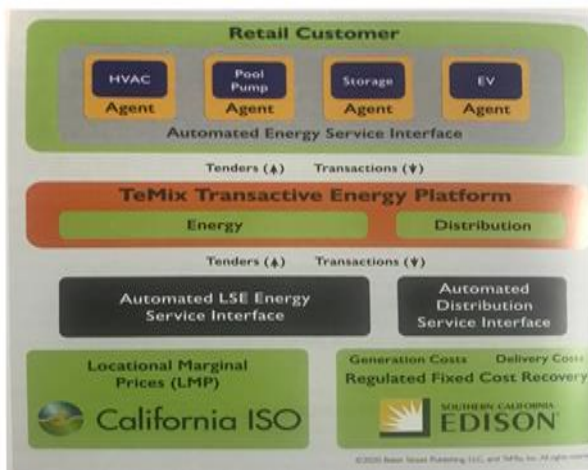
Une solution américaine ?

Interaction directe des échanges décentralisés avec marchés de gros: la "Transactive Energy"

α En Californie 30 000 personnes, banlieue de Los Angeles, pendant 3 ans : "RATES"

α Au Colorado 57 000 personnes, dans entreprise locale de forme coopérative : "TESS"

3



3 Emergence d'un univers électrique décentralisé “Derrière-le-Compteur”

3.4 Les bases réglementaires des échanges décentralisés

Comment échanger en “décentralisé” alors que tous les marchés ont été conçus “centralisés”?
Et que les fournisseurs “agrés” ont gardé le monopole de l'accès aux compteurs des clients?

Des solutions européennes?

PB de “Modèles d'affaire” et de “Cadre réglementaire” (accès aux marchés de gros; accès aux compteurs; “Fournisseurs multiples” vs “Fournisseur unique”) = tous des problèmes réglementaires digitalisables.

α Proposition forte du transporteur belge ELIA : le “Multiple à la carte” = donner accès digital au règlement des écarts à tous les fournisseurs “agrés” par les consommateurs eux-mêmes”

α Solutions plus pragmatiques : *Au seins des communautés, les échanges entre membres sont de droit; **Un fournisseur “agrée” peut aussi gérer les actifs décentralisés de ses clients volontaires (Supplier “Octopus” en Grande-Bretagne gère PV + EV + stockage garage, pour ses clients fortunés); ***Marchés locaux de flexibilité des réseaux de distribution (Pairs to X)

> Pas encore de modèle réglementaire fort et stable pour les échanges décentralisés

3 Emergence d'un univers électrique décentralisé "Derrière-le-Compteur"

Les bases 'transactionnelles' & réglementaires du décentralisé : pour aller plus loin

17. New business models in the electricity sector
*Jean-Michel Glachant**

1. INTRODUCTION

A new wave of deep changes is beginning to shake the electricity sector as we enter the third decade of the twenty-first century. Having an earlier wave in the last decade of the twentieth century, we already know that it can happen. In the 1990s, it was the combined cycle gas turbine (CCGT) and the open wholesale market – a new type of asset to generate electricity and a new framework to price and trade electricity between 'wholesale size' units. Today, key trends are represented, on the one hand by windmills and solar PV panels, and on the other hand by a deepening digitalization of price and trade electricity between 'retail size' units. Of course, these new trends are only beginning, and they will not present the same characteristics or occur at the same pace in different electricity sectors around the world. It will depend on what the former wave of change in electricity already did or did not do; whether wholesale and retail markets are open to entry and competition; whether vertically integrated companies and/or national governments control investments, technology choices, siting of new assets, tariffs and support schemes; and whether market and grid operations are ruled by a government administration, the industry itself or an independent body and so on.

Various chapters in this handbook explore concrete cases around the world, both in developed and developing countries. What the present chapter will concentrate on are new changes emerging in western countries that have already been implementing the open wholesale market model for 20 or 30 years. These new changes appear both on a large scale – such as the 'greening of electricity' – and on a smaller scale – such as the deepening digitalization of 'retail-size' units. While still being relatively new, post-2010, these changes are already significant enough to be of great interest, not only for the future of those electricity sectors that have been liberalized, but also for those that are not – or not yet – market based.¹

In a market-based industry, business models are key – as propellers for investments, for technology choices, for the definition of the characteristics of the products and for the siting and operation of the asset base. The business model literature identifies up to nine possible components of sophisticated business strategies (Osterwalder, Pigneur and Clark 2010). A simpler and still robust version can be built with only two pairs of components of business model differentiation: first can be the type of assets that are engaged and the revenue streams they can secure; second can be the definition of particular characteristics for the new products put on sale and the selection of customers especially targeted for that sale. This simple and basic framework of two models works well with the empirical evidence available until 2020. On the one hand, the greening of electricity is strongly characterized by the kind of assets it requires to generate power, as well as the types of revenue streams that allow it to grow. On the other hand, the ongoing digitalization of retail-size units is deepening because new products and new characteristics are

**New Transactions in Electricity:
Peer-to-Peer and Peer-to-X**

*Jean-Michel Glachant** and Nicolò Rossetto**

ABSTRACT

Peer-to-peer and peer-to-x open a new world of transactions in the electricity sector. This world is characterised by the active involvement of new players, both small in size and non-professional in nature, and by new combinations of the activities carried out behind and in front of the meter. Peer-to-peer refers to transactions in which both the seller and the buyer are small in size and non-professional, whereas peer-to-x refers to transactions where only the seller is small and non-professional while the buyer is a different type of actor. Observations from the world of practice reveal the existence of multiple forms of peer-to-peer and peer-to-x transactions. The first part of the paper identifies six typical forms of transactions and illustrates them with concrete implementation cases. The second part simplifies such diversity of types and distinguishes only four families of transactions. The third shows the importance of three components which are essential to the functioning of this new world. They are the matching loop, as small players cannot sell or buy from other peers so easily; the pricing mechanism, as existing wholesale and retail markets exert pressure on incentives for activating peers; and the delivery loop, as peers must deliver via existing grids and system operators, except when trading entirely within private networks.

Keywords: Peer-to-peer electricity, Transactive energy, Electricity markets, Digital platforms, Energy communities, Regulatory sandboxes

<https://doi.org/10.5547/2160-5890.10.2.jgl>

INTRODUCTION

Peer-to-peer (P2P) and peer-to-x (P2X) open up a new world of transactions in the electricity sector. We have already seen in the past business-to-business (B2B) with the wholesale markets, opening around 1990, and business-to-consumer (B2C) with the retail markets, opening around 2000 (Glachant et al. 2021). The new world of P2P and P2X electricity transactions has not yet been fully explored and characterized.¹ However, two key features of these new transactions are immediately notable. First, a particular set of players are involved. They are small in size and non-professional on both the supply and the demand side. This is why we call them 'peers'. This represents a striking novelty because the electricity industry has traditionally been dominated by the opposite: big and fully professional players. Second, the

See Rossetto (2019) and Glachant et al. (2020) for early observations of this new world.

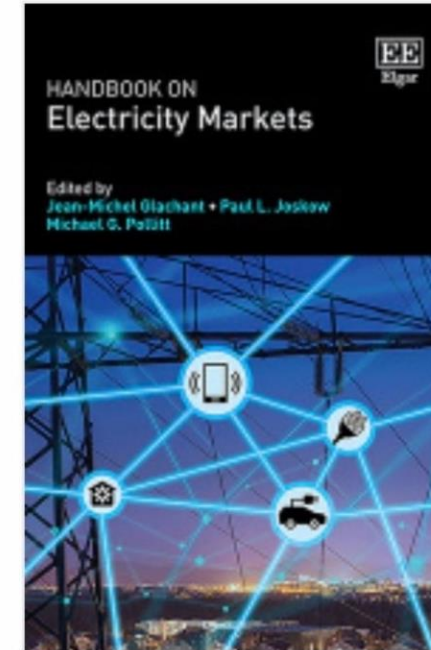
EUEP, 2021
Economics of Energy & Environmental Policy, Vol. 10, No. 2. Copyright © 2021 by the IAEE. All rights reserved.

Vol 10, N2

Add to Wish List ☆



*Nov.
2021*



Handbook on Electricity Markets

Edited by Jean-Michel Glachant, Paul L. Joskow, Michael G. Pollitt



3 conclusions

Il y a bien 3 digitalisations différentes du secteur électrique

- ⌘ Marchés décentralisés “séquencés” rebâtissent secteur électrique sur deux niveaux : *Niveau des flux commerciaux dans espace dématérialisé (e-commerce d’électricité)
**Niveau des flux physiques, fortement régulé comme transport & distribution
- ⌘ Les réseaux se sont fortement digitalisés eux-aussi, pour mieux gérer les flux physiques et les raccorder plus efficacement aux flux commerciaux dématérialisés
- ⌘ Les réseaux de distribution, première ligne face à la révolution du décentralisé “derrière le compteur”, commencent profonde mise à niveau pour répondre aux actions décentralisées & équipements décentralisés
- ⌘ Le monde des échanges décentralisés n’a pas du tout la maturité du monde des échanges centralisés, et tâtonne à la recherche de modèles d’affaire et de cadres réglementaires. Mais les jours du “fournisseur unique” semblent menacés - sauf pour les consommateurs inactifs c.a.d plus de la moitié des consommateurs ... jusqu’au jour où nous aurons 240 millions de véhicules électriques ...

Thank You for your attention!

Email : jean-michel.glachant@eui.eu

Site Web : <http://fsr.eui.eu/>

Sur Twitter : [@JMGlachant](https://twitter.com/JMGlachant) ~ déjà 99 000 tweets ...

Sur LinkedIn : [Jean-Michel Glachant](#)