



IL DIT QU'IL VOIT PAS LE RAPPORT, TAGADA TAGDA VOILA LES DALTON

Sexuel le rapport, sexuel.

23 avril 2015

Vincent DUFOUR-DÉCIEUX

Odilon FORMERY

Ahmed KRARTI

Louis LEGRAND

Augustin LENORMAND

Camille MASSET



INTRODUCTION

Nos habitudes de consommation d'énergie sont appelées à évoluer grandement dans les années à venir. En effet la prise de conscience écologique, la fluctuation des cours du pétrole et la baisse du coût des technologies durables doivent nous amener à transformer notre comportement. Par exemple dans le domaine du transport, de nombreuses études sont menées depuis une vingtaine d'années pour trouver un remplaçant aux énergies fossiles, tel que les biocarburants ou les moteurs à hydrogène. Au vu de l'orientation actuelle prise par les constructeurs il apparaît que le véhicule électrique est le meilleur concurrent des véhicules thermiques. Afin d'anticiper cette profonde évolution du marché de l'énergie il faut prévoir l'impact qu'aura ce changement de demande énergétique du pétrole vers l'électricité.

Faisons une expérience de pensée : supposons que les 38 millions de véhicules actuellement en France soient tous des véhicules électriques. Si toutes ces voitures se rechargent en même temps, en demandant une puissance de 3,5 kW, cela nécessite de produire une puissance totale de 133 GW. Sachant qu'une centrale nucléaire ne délivre qu'une puissance d'un gigawatt, il faudra trouver d'autres solutions pour répondre au problème. C'est pour cela qu'il faut prévoir et modéliser l'impact qu'aura la recharge des véhicules électriques sur le réseau. Cela nécessite non seulement de prévoir le nombre de véhicules électriques qui seront en circulation dans vingt ans, mais aussi de modéliser le comportement des utilisateurs de véhicules électriques.

En outre, on peut déjà supposer que cette recharge s'effectuera à partir de l'heure de retour du travail, entre 18 heures et 20 heures. Or c'est déjà l'heure du pic de consommation en France. Les fournisseurs d'énergie doivent donc augmenter la flexibilité de l'offre énergétique afin de s'adapter à cette nouvelle demande. Une des solutions peut être d'utiliser les batteries des véhicules électriques comme des « mini-centrales », capables lorsqu'elles sont branchées de fournir de l'énergie au réseau lorsque celui-ci en demande plus. On se place donc ici dans une problématique de *Smart-Grid* (réseau intelligent) et d'agrégateurs de flexibilité.

L'objectif de ce PSC est d'évaluer l'impact qu'aura la recharge des véhicules électriques sur le réseau dans quinze ans, et de voir quelles sont les solutions qui peuvent être utilisées dans le cadre du *Smart-Grid*. Pour cela nous avons mené une étude sur le comportement des utilisateurs de véhicules, afin de connaître leurs habitudes de recharge et de consommation, puis nous avons cherché à modéliser la diffusion des véhicules électriques en France afin d'avoir une idée de la taille du parc automobile en 2025. Enfin nous avons produit un programme informatique permettant de mettre en place le modèle et d'en obtenir des données sur la puissance demandée par la recharge des véhicules électriques.

1

CONTEXTE ET DONNÉES

1.1 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE

Dans cette partie, nous allons tout d'abord détailler la distribution grande échelle de l'électricité dans le but de comprendre les enjeux de l'étude qui va suivre. Celle-ci est motivée par le fait que la répartition de cette distribution n'est pas éparpillée tout au long de la journée mais dans des périodes précises que sont les pics de consommation et que nous étudierons ensuite. La solution proposée par GDF Suez concernant les pics de consommation est le *Smart-Grid* ; nous le détaillerons dans une troisième partie. Celui-ci peut être complété par un système qui s'appelle l'agrégateur de flexibilité et qui sera détaillé après. Enfin nous replacerons notre PSC dans ce contexte.

1.1.1 • DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Le prix de l'électricité, celui que les français peuvent lire sur leur facture, est composé de quatre parties (chiffres moyens en 2013) :

- la production (31 %) ;
- l'acheminement par le gestionnaire de réseau (30 %) ;
- la commercialisation par le fournisseur (8 %) ;
- les taxes et la contribution au service public de l'électricité (31 %).

Précisons ce qui se cache derrière ces parties. La production est l'étape de transformation des sources d'énergie en électricité. En France, la principale source d'énergie est le nucléaire (78 %) ; viennent ensuite les sources thermiques (charbon, gaz) et hydrauliques (9 % chacune), puis les énergies renouvelables intermittentes (éolien : 2 %, photovoltaïque : 1 %) ou continue (géothermie : 1 %).

Le nucléaire, l'hydraulique et la géothermie permettent une production continue (avec des ajustements possibles pour les barrages hydroélectriques), et constituent donc une base solide pour la production électrique en France. Les sources thermiques sont essentiellement utilisées en période de forte consommation, car il est très rapide de mettre en fonctionnement une centrale à charbon par exemple, mais de telles centrales sont très polluantes (rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère). Les autres sources d'énergie produisent en fonction des conditions climatiques (soleil, vent) et sont donc moins fiables. En particulier, on ne peut pas s'appuyer sur de telles sources d'énergies pour faire face à un pic de consommation.

L'acheminement consiste à amener l'électricité depuis la centrale de production vers le consommateur final. On peut décomposer cet acheminement en deux parties : le transport (lignes à haute et très haute tension) et la distribution (lignes à

moyenne et basse tension). Les gestionnaires de réseaux d'électricité sont chargés de l'entretien et du bon fonctionnement des réseaux (sécurité, dépannage, qualité, relevé des compteurs). Ils sont rémunérés par le Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Électricité (TURPE), fixé par l'État. Les gestionnaires de réseaux sont RTE pour le transport et ERDF et les ELD (Entreprises Locales de Distribution) pour la distribution.

La commercialisation est assurée par le fournisseur qui est le contact privilégié du client. Il est aussi en relation avec les gestionnaires de réseaux de distributions. Il répercute les prix de l'acheminement et les taxes dans ses tarifs. Le consommateur peut choisir entre des prix réglementés fixés par les pouvoirs publics et proposés par les distributeurs historiques (comme EDF) ou une offre à prix de marché (contrat).

L'électricité est soumise à quatre taxes fixées par les pouvoirs publics : la TVA, la Contribution au Service Public de l'Électricité (CSPE), la Taxe sur la Consommation Finale d'Électricité (TCFE) et la Contribution Tarifaire d'Acheminement (CTA). La CSPE permet essentiellement d'investir dans le développement des énergies renouvelables et de financer le surcoût de la production d'électricité dans les zones non connectées au réseau continental. La TCFE est perçue par les communes et les départements et permet de financer les travaux sur les installations électriques locales. La CTA finance partiellement les retraites des salariés des gestionnaires de transport. Les fournisseurs rencontrent des difficultés à répondre à la demande des clients pendant certaines périodes : les pics de consommation.

1.1.2 • PIC DE CONSOMMATION

Une pointe de consommation électrique est la consommation la plus élevée sur un réseau électrique. Elle peut résulter de plusieurs facteurs : temporels (heure de pointe), climatiques (forte chaleur, températures trop basses), ...

On en distingue trois types majeurs :

- les pointes journalières qui se produisent souvent en fin de journée un jour de semaine, lorsque les personnes rentrent du travail ; la pointe sera plus accentuée dans les réseaux où le chauffage de l'eau et les appareils électroménagers utilisent l'électricité plutôt que le gaz ;
- les pointes saisonnières peuvent survenir en été ou en hiver (cas de la France), mais dans les deux cas, les températures extrêmes influent sur la demande de climatisation ou de chauffage électrique des ménages ;
- certaines pointes sont aussi causées par les infrastructures d'utilités publiques telles que l'éclairage public ou le transport ferroviaire.

On observe en France que la pointe progresse plus vite que la consommation électrique : elle augmente de 3 %, alors que, dans le même temps, la consommation électrique connaît une hausse de 0,6 %. Plusieurs raisons en sont à l'origine, notamment la place du chauffage électrique et le développement de nouveaux usages de l'électricité (équipements électroménagers et informatiques, recharges multiples). Il est donc nécessaire d'agir rapidement pour lutter contre ces pics de consommation

qui coutent cher et ont un impact environnemental au travers des augmentations d'émission de CO_2 . Par exemple, la perte d'un degré de température se traduit en France en 2012 par une augmentation estimée d'électricité de 2300 MW contre 600 MW en Grande-Bretagne.

Quelles sont les solutions pour gérer ces pics ? Plusieurs moyens sont mis en œuvre par les gestionnaires de réseau. La solution la plus évidente et la plus ancienne consistait en l'augmentation de la capacité de production par le biais de construction de nouvelles infrastructures de production, de transport et de distribution. Mais cette solution a très vite atteint ses limites d'une part car elle présente des risques environnementaux (émission de CO_2) mais aussi des risques de *blackout* dus à la surcharge d'alimentation. Une autre solution consiste à baisser le niveau de la consommation en commandant à un opérateur dit « d'effacement » la coupure immédiate et coordonnée de certains postes de consommation ; tout cela est géré par des réseaux intelligents : les *Smart-Grids*.

1.1.3 • LES *Smart-Grids*

L'effacement résidentiel consiste à réduire temporairement la consommation d'électricité d'un grand nombre de petits sites, en particulier de logements, de façon à diminuer la demande. Il s'agit par exemple d'interrompre brièvement, mais de façon synchronisée, l'alimentation de radiateurs ou climatiseurs situés dans des logements pour, au total, réduire la consommation d'électricité d'une région ou du pays.

Cela se matérialise par la mise en place d'un boîtier (Linky) qui s'installe sur le tableau électrique et qui permet de mesurer et de commander certains usages en temps réel (par exemple, chauffe-eau et radiateurs). Un système d'information complète le tout en recueillant les données et générant les ordres de modulation. Le pilotage est effectué à distance par un opérateur et ne requiert aucune action directe des utilisateurs qui souscrivent à ce service. Un consommateur qui dispose d'une offre d'effacement se verra ainsi rémunéré pour le service qu'il apporte au système électrique

Avec le développement des nouvelles technologies, les gestionnaires du réseau (EDF, RTE, ERDF) ont mis à profit ces TICS pour moderniser leurs réseaux de distribution. Ces réseaux intelligents, les *Smart-Grids*, permettent de déconnecter des appareils électriques non primordiaux lors de fortes demandes en électricité. Ce nouveau réseau sert avant tout à limiter les risques d'apparition de pointes importantes de consommation électrique et à maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée.

Ces *Smart-Grids* permettent de tenir compte de la variabilité des sources de production d'électricité renouvelable, c'est-à-dire leur fluctuation en fonction des contraintes météorologiques (ensoleillement, vent, ...), ainsi que l'augmentation de la production dite décentralisée (parc éolien raccordé au réseau de distribution ou consommateur final disposant de panneaux photovoltaïques sur le toit de son ha-

bitat qui devient producteur d'énergie par exemple) et les ambitions de réduction des consommations d'énergie complexifient la gestion de l'équilibre entre production et consommation. En favorisant l'intégration des productions d'électricité à partir d'énergies de sources renouvelables, les *Smart-Grids* ont un impact fort sur la réduction d'émission de CO_2 .

Les effets de ces *Smart-Grids* peuvent être développés grâce à un agrégateur de flexibilité que nous allons maintenant présenter.

1.1.4 • L'AGRÉGATEUR DE FLEXIBILITÉ

L'agrégateur est une prestation complémentaire, un intermédiaire entre le système électrique et ses utilisateurs. Il crée de la valeur pour ses clients en revendant de la flexibilité au système électrique, ce que l'on qualifie parfois de « centrale électrique virtuelle ». Pour que tout cela fonctionne, il faut stocker de l'énergie pendant les périodes creuses pour pouvoir faire face aux pics. Ce stockage se fait au niveau :

- individuel : grâce aux batteries des VE, aux ballons d'eau chaude ;
- des bâtiments : inertie thermique, batterie chaude ou froide ;
- des collectivités : barrage électrique, château d'eau ;
- industriel : stockage de produits intermédiaires (cimenterie).

Cela nécessite :

- de rendre les immeubles et les sites industriels qu'il pilote « intelligents » ;
- de penser des modèles pour prévoir les résultats de son action ;
- de recueillir des informations pour anticiper les évolutions du marché.

Malheureusement tout cela est assez lent à mettre en place pour plusieurs raisons : la loi NOME ne permet pas la mise en place de ces réseaux avant 2016, de plus le consommateur doit avoir la possibilité de revenir en mode « normal » à tout moment, des études sur le comportement des utilisateurs doivent être faites pour pouvoir choisir les moments où effacer l'électricité ou non.

1.1.5 • NOTRE PSC ET SON INSCRIPTION DANS CE CONTEXTE

Des solutions au problème des pics de consommation ont été apportées à travers les *Smart-Grids* et l'agrégateur de flexibilité, cependant ces deux systèmes ont besoin d'informations sur la consommation d'électricité des clients pour soit effacer la consommation à travers les *Smart-Grids*, soit pour savoir quand l'agrégateur devra redistribuer l'énergie accumulée. Les fournisseurs, tels que GDF Suez, peuvent obtenir cela pour les habitudes actuelles car la consommation d'électricité vient principalement de l'électroménager, de la lumière et du chauffage. Mais un changement commence à s'opérer dans le quotidien des individus et il s'agit de la voiture électrique. En effet, celle-ci va amener des consommations supplémentaires d'électricité à travers sa recharge et prévoir comment cela va influencer sur les pics de consommation mérite une étude poussée. C'est là qu'intervient notre PSC : nous avons étudié le comportement des utilisateurs de véhicules électriques pour savoir

quand ils rechargeront leur véhicule et quel effet cela aura sur le réseau. GDF Suez souhaite aussi gérer intelligemment l'augmentation des pics de consommation dus aux véhicules électriques en apportant une nouvelle idée : lorsque le véhicule sera branché, il sera possible de ne pas le recharger pour repousser l'utilisation d'énergie à un moment où le réseau sera moins soumis à la demande ou même de fournir de l'énergie au réseau pour que l'effet bénéfique soit amplifié. Nous tenterons de prévoir le nombre de personnes intéressés par cette offre et comment elle influera sur le réseau au cours de notre étude.

1.2 DONNÉES COLLECTÉES

Nous avons donc cherché des informations sur le comportement des utilisateurs de véhicules électriques que nous analyserons ensuite. Malheureusement, puisque leur nombre est aujourd'hui peu conséquent (environ 30 000) il est difficile de trouver des études sur ce sujet. Nous avons cependant réussi à en réunir quelques-unes :

- une étude du Club Alsace Voiture Électrique sur les habitudes de ces utilisateurs. L'enquête nous donne des informations (fréquence des recharges des voitures, lieu d'utilisation des bornes, ...) et on peut la considérer comme représentative car elle a été faite auprès de 500 utilisateurs ce qui représente environ 3 % des utilisateurs totaux ;
- un échange avec La Poste nous a permis de recueillir des informations sur l'utilisation de leur flotte de 5000 véhicules électriques ;
- un échange avec *Autolib'* nous a permis d'avoir des informations générales sur ces véhicules qui représentent environ 3500 véhicules ;
- des données techniques sur les différentes marques principales de véhicules électriques (nombre, consommation, autonomie, ...).

Ces données nous ont été utiles mais nous ne pouvions pas déterminer à quelles heures les trajets étaient effectués, quelles distances ont été parcourues ou d'autres informations de ce type qui sont cruciales pour pouvoir modéliser la demande en électricité due aux véhicules électriques en fonction de l'heure de la journée. Malheureusement, nous n'avons pas réussi à trouver ces informations pour les véhicules électriques, nous avons donc décidé de considérer que les données des voitures à essence pouvaient être extrapolées aux véhicules électriques. Nous avons ensuite concentré notre étude sur les jours ouvrés et dans ce cas, les principaux trajets de la journée sont ceux entre le domicile et le travail. Nous avons donc trouvé les données suivantes :

- l'enquête « La circulation routière en Île-de-France en 2010 » réalisée par l'OMNIL qui possède une partie intéressante dans laquelle on voit le trafic routier en Île-de-France en fonction de l'heure de la journée. Nous avons trouvé de plus l'exploitation de cette enquête qui permet d'avoir accès aux informations de manière plus synthétique ;
- l'« Enquête auprès des salariés d'Île-de-France sur les transports en commun

domicile-travail » nous a permis d'en savoir plus sur ces trajets ce qui nous a été très utile pour la modélisation ;

- l'« Enquête nationale des transports et des déplacements réalisés en 2008 » qui nous a permis d'avoir accès à la distance moyenne des trajets et à leur durée moyenne.

Ces données sont suffisamment récentes pour être utilisées lors de notre modélisation.

2

DIFFUSION DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE

2.1 DIFFÉRENTS MODÈLES DE DIFFUSION

Le modèle de diffusion de Bass sert avant tout à prévoir l'évolution de l'adoption d'un nouveau produit dans une population donnée. Ainsi, il décrit l'intégration des innovations technologiques dans la population. Notre objectif est ici de déterminer le nombre de véhicules électriques en circulation en 2025. Étant donné qu'il existe peu d'études sur le sujet, il est judicieux d'adopter un modèle type Bass pour mesurer l'évolution de ce marché dans les prochaines années.

Selon la théorie de Bass, on peut classer les utilisateurs en grandes classes : les innovateurs, les *early adopters*, les *early majority*, les *late majority* et les retardataires. Cette classification, illustrée par la figure 1, se fait par l'intermédiaire de deux facteurs essentiels : l'hétérogénéité des agents sociaux (aversion au risque, milieu social), et la capacité intellectuelle de l'individu.

FIGURE 1 – Évolution du nombre d'utilisateurs d'une innovation technologique selon le modèle théorique de Bass.

Les modèles de diffusion peuvent être résumés dans une seule équation différentielle :

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t)(m - N(t))$$

où $N(t)$ est le nombre cumulé d'individus ayant adopté la technologie à la date t , m est le seuil maximal du nombre d'acheteurs potentiels, c'est-à-dire la taille du marché, et $g(t)$ le *coefficient de diffusion*.

En fonction de la valeur du coefficient de diffusion $g(t)$, on trouve 3 modèles essentiels :

1. modèle des influences externes : $g(t) = p = \text{cste}$. Dans ce modèle, le paramètre p peut être interprété comme l'ensemble des facteurs extérieurs qui agissent sur la prise de décision du consommateur (pouvoir des médias et des réseaux sociaux, par exemple) ;
2. modèle des influences internes : $g(t) = qN(t)$ où q est le *coefficient d'imitation*. Dans ce modèle, le paramètre q représente l'interaction entre les acheteurs potentiels et ceux qui ont déjà adopté la technologie, car pour un futur acheteur l'avis des autres consommateurs est primordial ;

3. modèle de Bass : $g(t) = p + q \frac{N(t)}{m}$. C'est un mélange des deux modèles précédents. Ainsi, sur un intervalle de temps Δt , le nombre d'individus qui adoptent la technologie est régi par deux phénomènes :
- contagion, fonction du nombre d'individus ayant déjà adopté l'innovation (terme $qN(t)(m - N(t))$) ;
 - saturation du fait de la présence du palier m .
- La solution à ce problème est :

$$N(t) = \frac{m - \frac{p(m - N_0)}{p + q \frac{N_0}{m}} e^{-(p+q)t}}{1 - \frac{q}{m}(m - N_0) \frac{N_0}{m} e^{-(p+q)t}}$$

avec $N_0 = N(t = 0)$.

Mais tous les modèles précédents supposaient l'existence d'une taille de marché m constante. Cependant, en général, ce n'est pas le cas : on peut considérer l'arrivée de nouveaux conducteurs, les voitures qui parviennent en fin de vie... C'est pour cette raison que l'on adoptera dans notre approche le modèle de Sharif et Ramannathan avec une taille de marché dépendante du temps : $m(t) = m_0 e^{gt}$.

La résolution mathématique de ce problème se présente sous cette forme :

$$N(t) = m_0 e^{gt} \frac{\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{2} - \Phi_3 \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2} e^{-\Phi_1 t}}{q + q \Phi_3 e^{-\Phi_1 t}} \quad \text{où}$$

$$\Phi_1 = \sqrt{(g + p - q)^2 + 4pq} \quad \Phi_2 = g + p - q \quad \Phi_3 = \frac{\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{2} - q \frac{N_0}{m_0}}{\frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2} + q \frac{N_0}{m_0}}, \quad (0 < N_0 \leq m_0).$$

2.2 UTILISATION DES MODÈLES DE DIFFUSION POUR LE MARCHÉ DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE

L'implémentation des modèles précédents pour l'étude du marché des véhicules électriques nécessite la détermination des paramètres p , q , N_0 et m (ou m_0 et g).

Pour ce faire, nous utilisons comme données d'entrée le tableau 1 page 14 qui est issu de chiffres préfectoraux :

Nous nous intéressons dans un premier temps au modèle classique de Bass, dans lequel le paramètre m ne dépend pas du temps.

La grandeur N_0 se lit directement sur la première ligne du tableau de données : en effet, les immatriculations de voitures électriques sont extrêmement faibles avant janvier 2011 et le volume de ces véhicules peut être considéré comme négligeable. Nous prenons donc $N_0 = 100$.

Les autres paramètres s'obtiennent par utilisation de la méthode OLS qui nous a paru la plus appropriée et la plus fidèle. Le tracé de $X(t) = N(t) - N(t-1)$ en fonction de $N(t-1)$ donne la courbe de la figure 2.

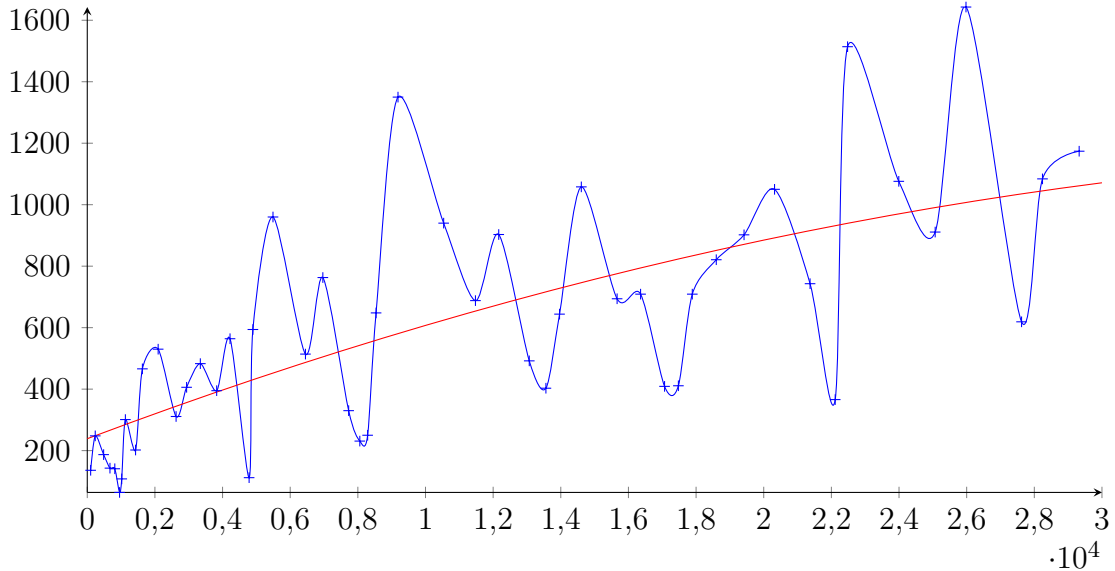


FIGURE 2 – Tracé de $X(t)$ en fonction de $N(t-1)$.

Une courbe polynomiale de second degré $X(t) = \alpha_1 + \alpha_2 N(t-1) + \alpha_3 N(t-1)^2$ s'ajuste au graphique obtenu avec les valeurs suivantes (coefficient de corrélation $R^2 = 0,49$) :

$$\alpha_1 = 238,79$$

$$\alpha_2 = 0,04141$$

$$\alpha_3 = -4,55 \cdot 10^{-7}$$

On obtient les paramètres suivants :

$$p = \frac{-\alpha_2 + \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2} = 0,0024743185$$

$$q = \frac{\alpha_2 + \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2} = 0,0438843185$$

$$m = \frac{-\alpha_2 - \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2\alpha_3} = 96507$$

L'ordre de grandeur de m paraît cohérent, le nombre de véhicules électriques roulant en 2014 étant d'environ 30000. Ceci nous permet d'obtenir le profil de diffusion de la figure 3 page suivante, dont la limite est égale à $m = 96507$.

Ce modèle semble avoir une durée de validité assez faible, puisque le palier $X = m$ est obtenu avant 2025. Essayons donc d'implémenter le modèle plus réaliste

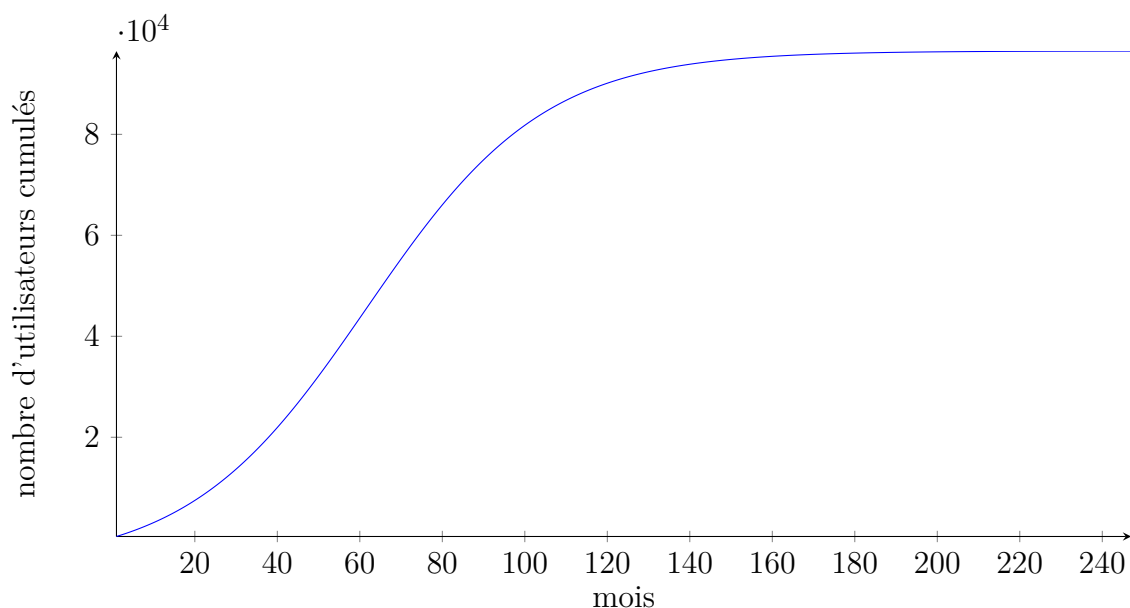


FIGURE 3 – Profil de diffusion selon le modèle de Bass.

de Sharif et Ramannathan, dans lequel la capacité globale du marché m dépend du temps, selon une loi exponentielle : $m(t) = m_0 e^{gt}$. Nous reprenons les mêmes coefficients d'innovation p et d'imitation q que précédemment. Il est également logique d'adopter $m_0 = 96\,507$ puisque $m(t=0) = m_0$. Reste enfin à trouver une valeur pour le coefficient g . N'ayant aucune méthode à notre disposition pour le déterminer, nous adoptons $g = 0,035$ ⁽ⁱ⁾. Le graphe obtenu présenté en figure 4 page suivante.

2.3 CONCLUSION

Les résultats obtenus sont insuffisants. Le premier profil montre une saturation trop rapide, le marché étant supposé de taille fixe m : le point d'inflexion est atteint à $t^* = -\frac{1}{p+q} \log \frac{p}{q} = 62$ mois.

En ce qui concerne le deuxième modèle utilisé, le profil obtenu ne correspond pas aux données que nous avons initialement. Le graphe de la figure 5 page suivante présente la divergence entre la réalité (courbe en pointillés) et la théorie.

De plus, la taille n'est pas illimitée comme le laisserait supposer l'exponentielle $m(t)$: en réalité, m augmente par paliers, correspondant par exemple aux innovations technologiques... Le temps caractéristique τ est de 29 mois, ce qui donnerait un modèle valable jusqu'en 2020 environ.

(i). Valeur utilisée dans une étude sur la diffusion de l'accès à Internet, au sein de la population française (A. Kijek, T. Kijek, *Operations research and decisions*, **2010**, 3-4, 53-68).

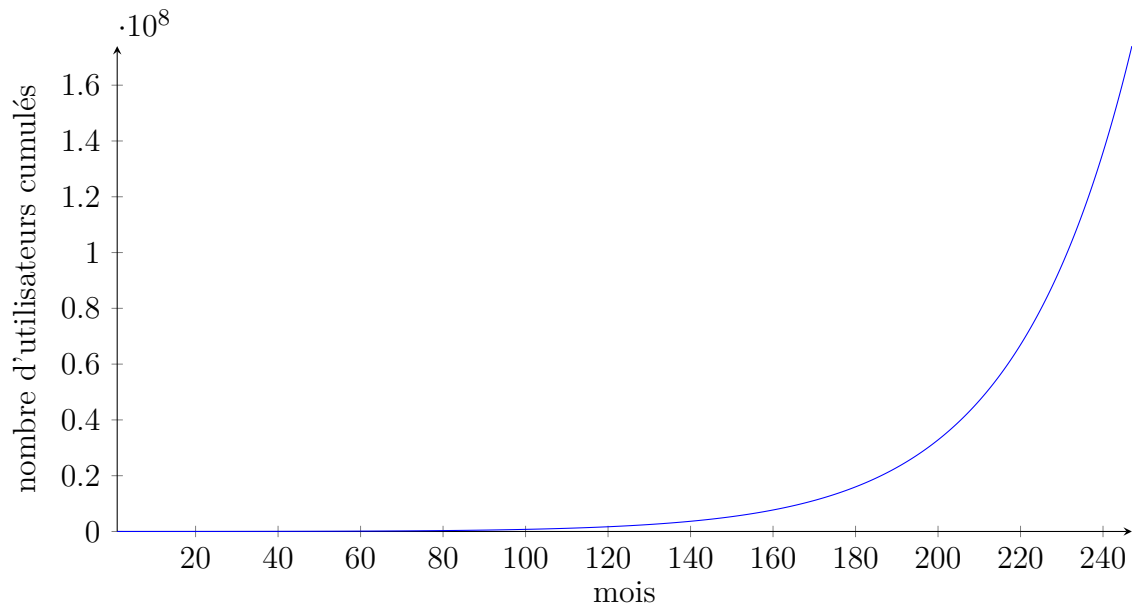


FIGURE 4 – Profil de diffusion selon le modèle de Sharif et Ramannathan.

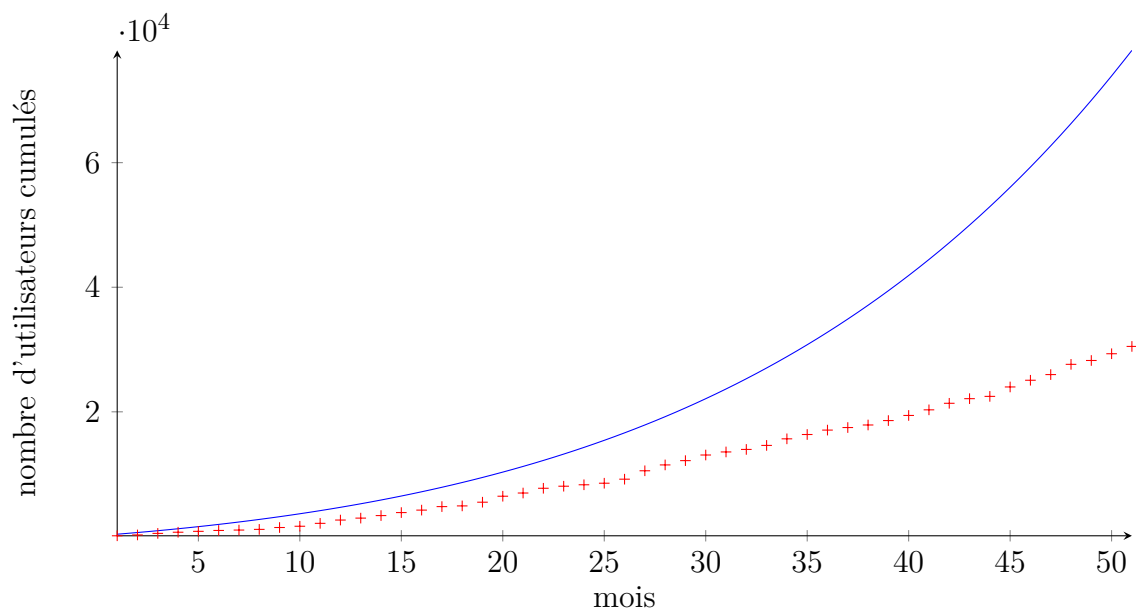


FIGURE 5 – Divergence entre la réalité et la théorie de Sharif et Ramannathan

L'extrapolation du premier profil (figure 6 page 13) jusqu'en janvier 2025 nous permet de supposer un nombre d'utilisateurs de véhicules électriques de $N = 163\,000$ environ. Nous conservons ce chiffre pour l'étude qui suivra.

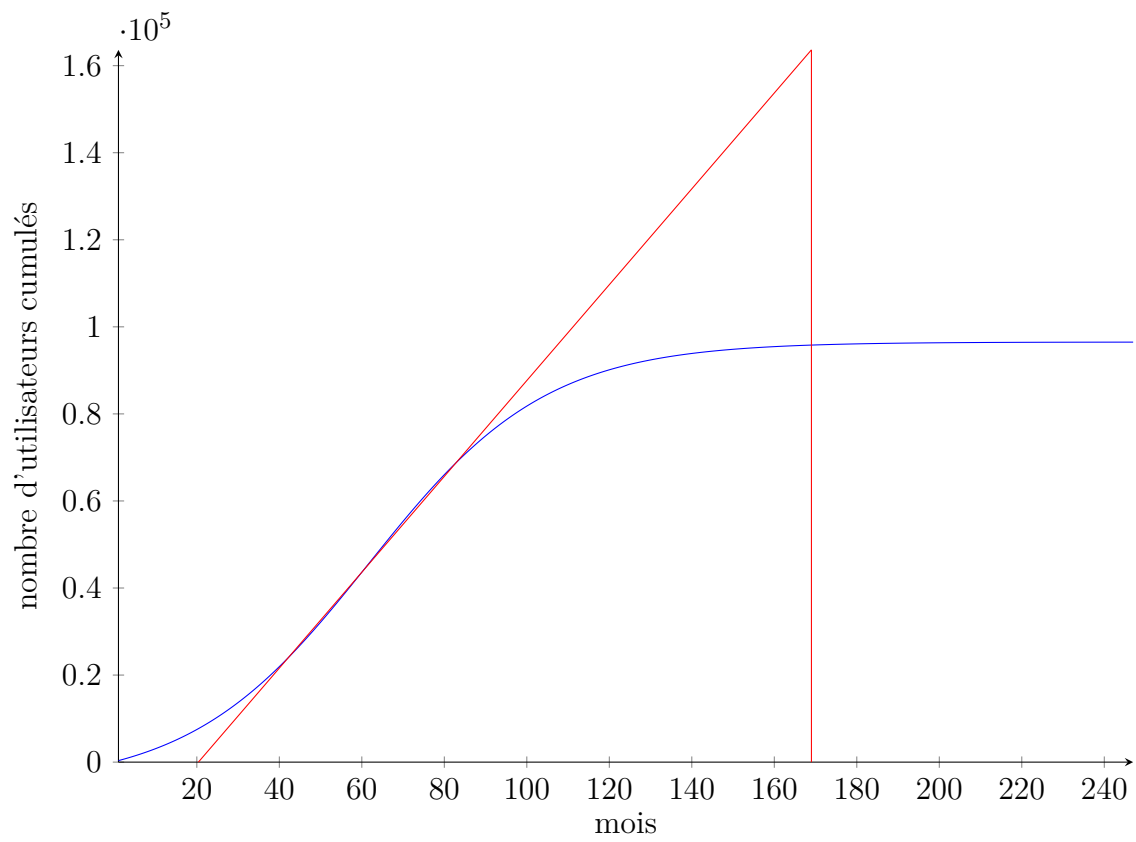


FIGURE 6 – Extrapolation à partir du modèle de Bass

Mois	Immatriculations de nouveaux VE
Janvier 2011	100
Février	136
Mars	248
Avril	187
Mai	143
Juin	141
Juillet	64
Août	108
Septembre	301
Octobre	202
Novembre	466
Décembre	530
Janvier 2012	311
Février	406
Mars	483
Avril	395
Mai	564
Juin	112
Juillet	594
Août	960
Septembre	514
Octobre	763
Novembre	330
Décembre	231
Janvier 2013	250
Février	648
Mars	1350
Avril	940
Mai	688
Juin	903
Juillet	492
Août	403
Septembre	644
Octobre	1058
Novembre	694
Décembre	709
Janvier 2014	409
Février	411
Mars	709
Avril	821
Mai	902
Juin	1050
Juillet	743
Août	366
Septembre	1514
Octobre	1076
Novembre	911
Décembre	1643
Janvier 2015	619
Février	1084
Mars	1174

TABLE 1 – Nombres mensuels d'immatriculations de véhicules électriques entre janvier 2011 et mars 2015.

bite