

# Travaux sur le marché intrajournalier

Thomas DESCHATRE

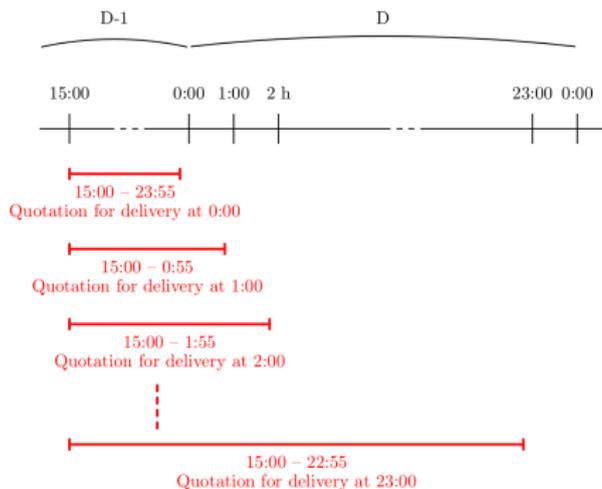
EDF R&D, Laboratoire FIME

22 septembre 2021

# Marché intrajournalier

Le marché intrajournalier EPEX :

- Est un marché de carnet d'ordres en continu ;
- Ouvre à 15:00 le jour précédant la livraison ;
- Possibilité d'acheter/vendre une livraison physique pour les 24 périodes 0:00–1:00, ..., 23:00–24:00 (produits demi-heure et quart d'heure aussi disponibles) ;
- Ferme 5 minutes avant le début de la livraison en Allemagne, 30 minutes en France.



- 1 Estimation de l'impact de marché (avec Pierre Gruet et Othmane Mounjid)
- 2 Modélisation des prix intraday à l'aide de processus de Hawkes marqués (avec Pierre Gruet)
  - Faits stylisés
  - Modèle

# Enjeux

- Rapport de la CRE septembre 2021 : *l'effet d'1 GW supplémentaire d'indisponibilité annoncée sur l'écart entre le prix infra-journalier et le prix day-ahead est estimé entre 0 et 2,3 €/MWh, ce qui pourrait être considéré comme peu « sensible » au sens du règlement REMIT<sup>1</sup>.*
- Considérons un producteur ayant accès au marché intraday pour équilibrer sa production ;
- Lorsqu'un de ses moyens de production devient indisponible, il peut acheter cette production manquante sur le marché ;
- Les autres acteurs sont informés de cette panne et peuvent tirer profit du besoin de rachat du producteur ;
- Comment quantifier l'impact sur les prix à la suite d'une panne de centrale ?

---

1. Règlement européen relatif à l'intégrité et à la transparence des marchés de gros de l'énergie

# Traitement des indisponibilités

Nous avons à disposition :

- les indisponibilités avec temps d'annonce, dates de début et de fin, et les volumes concernés ;
- les mises à jour concernant les dates et volumes ci-dessus.

Nous retenons

- uniquement les fortuits (indisponibilités inattendues) ([méthodologie CRE : toutes les indisponibilités](#)) ;
- uniquement pour le nucléaire (qui est presque toujours dans la monnaie).

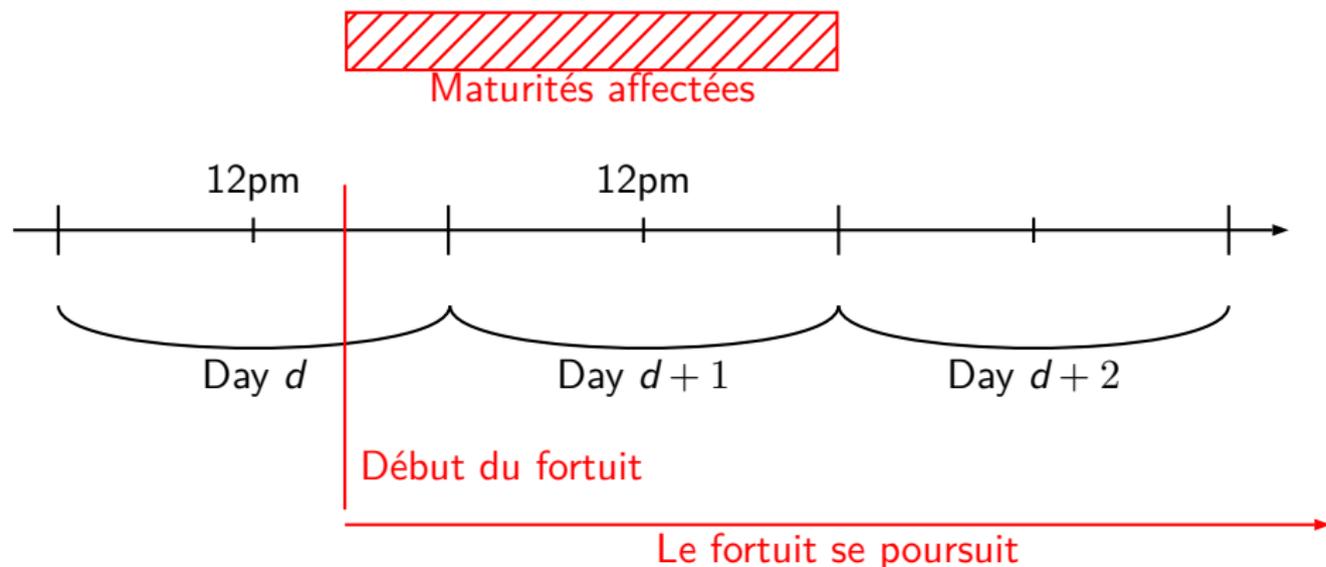
Nous considérons

- un nouveau fortuit si la date de fin d'un fortuit donné s'éloigne, avec une date d'annonce égale à la date de mise à jour du fortuit initial ;
- le volume maximal perdu dans le fortuit, si celui-ci a varié au cours des mises à jour.

## Méthode d'estimation

Pour chaque forfait, nous considérons les produits

- associés à des dates de livraison incluses dans celles du forfait ;
- telles que l'annonce du forfait se produit après l'enchère spot pour l'heure du produit concerné.



## Méthode d'estimation

Pour chaque fortuit et chaque produit, nous calculons

$$\Delta P_t = \frac{P_t - P_{t_0}}{P_{t_0}}, \quad \forall t \in [t_0, t_1],$$

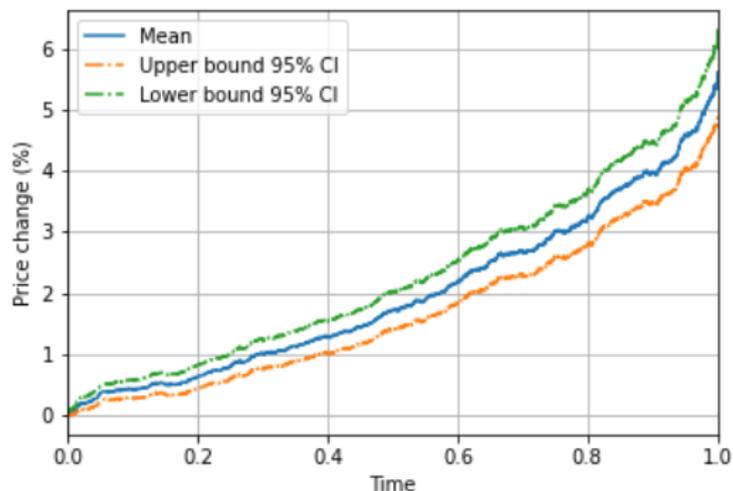
où  $P_t$  est le prix de transaction et  $t_0$  et  $t_1$  sont définis ainsi :

- $t_0$  est le temps de la première transaction après l'annonce du fortuit ;
- $t_1$  est le temps de la dernière transaction de la session de trading.

Méthodologie similaire à [Bacry et al., 2015]. (CRE :  $P_t - S$  avec  $S$  le prix spot pour l'heure de livraison considérée)

Données de prix utilisées : données de transactions Epex France de 2017 à septembre 2019 (CRE : 2015 à 2020).

# Profil de l'impact de marché



**FIGURE** – Allure de l'impact de marché : moyenne empirique de  $\Delta P_t$  en fonction du temps normalisé  $s(t) = \frac{t-t_0}{t_1-t_0}$  pour les maturités 18h, 19h, 20h

# Profil en fonction de l'ampleur du fortuit

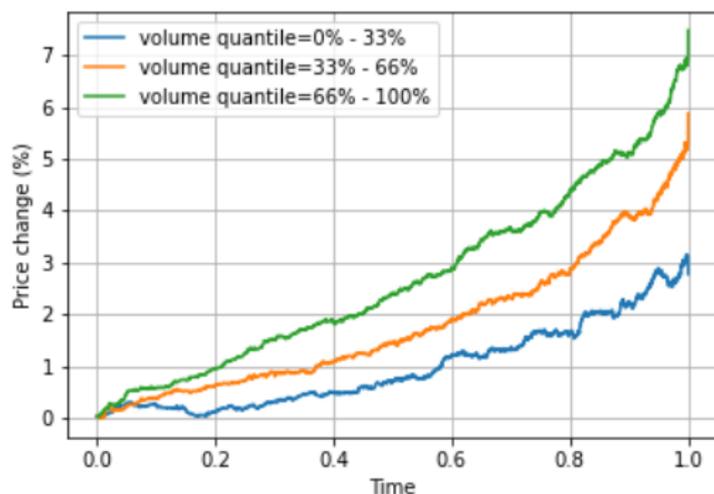


FIGURE – Allure de l'impact de marché pour différentes tailles de fortuits

# Impact en fonction de la taille du fortuit

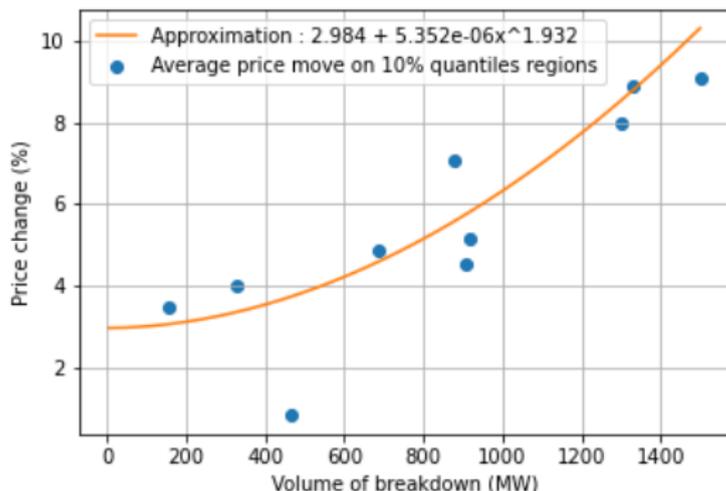


FIGURE – Moyenne empirique de  $\Delta P_1$  en fonction de la taille du fortuit

Pour un fortuit d'1GW, l'impact de prix est de 6,3%.

Avec un prix spot moyen de 42,8 €/MWh, on a une augmentation du prix de 2,7 €/MWh (valeur de la CRE : 2,3 €/MWh).

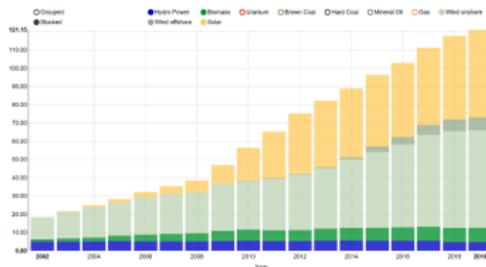
## Perspectives et conclusion

- L'impact de marché lors d'un fortuit est notable et dépend du volume du fortuit ;
- On retrouve des résultats similaires à ceux de la CRE, avec une méthode issue de la finance quantitative ;
- La mesure de cet impact pourrait permettre d'estimer un modèle d'impact classique (type Gatheral), lequel pourrait être plongé dans le formalisme d'un problème d'exécution optimale.

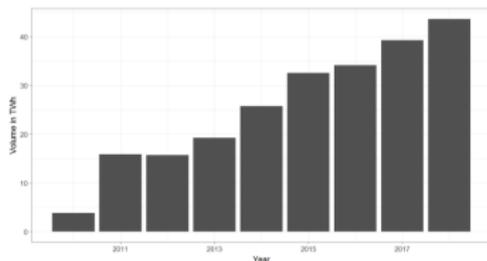
- 1 Estimation de l'impact de marché (avec Pierre Gruet et Othmane Mounjid)
- 2 Modélisation des prix intraday à l'aide de processus de Hawkes marqués (avec Pierre Gruet)
  - Faits stylisés
  - Modèle

# Motivation

- Renewable production increases in Europe.
- This production is difficult to forecast when the spot price is settled.
- Producers need to buy or sell electricity on the intraday market.
- Intraday markets also allow to increase the value of storage assets.



Renewable capacity evolution in Germany<sup>2</sup>



Yearly transaction volumes on the German intraday market<sup>1</sup>

---

2. Source : Auction and continuous market for power : organization and microstructure, Clara Balardy.

# Objectives

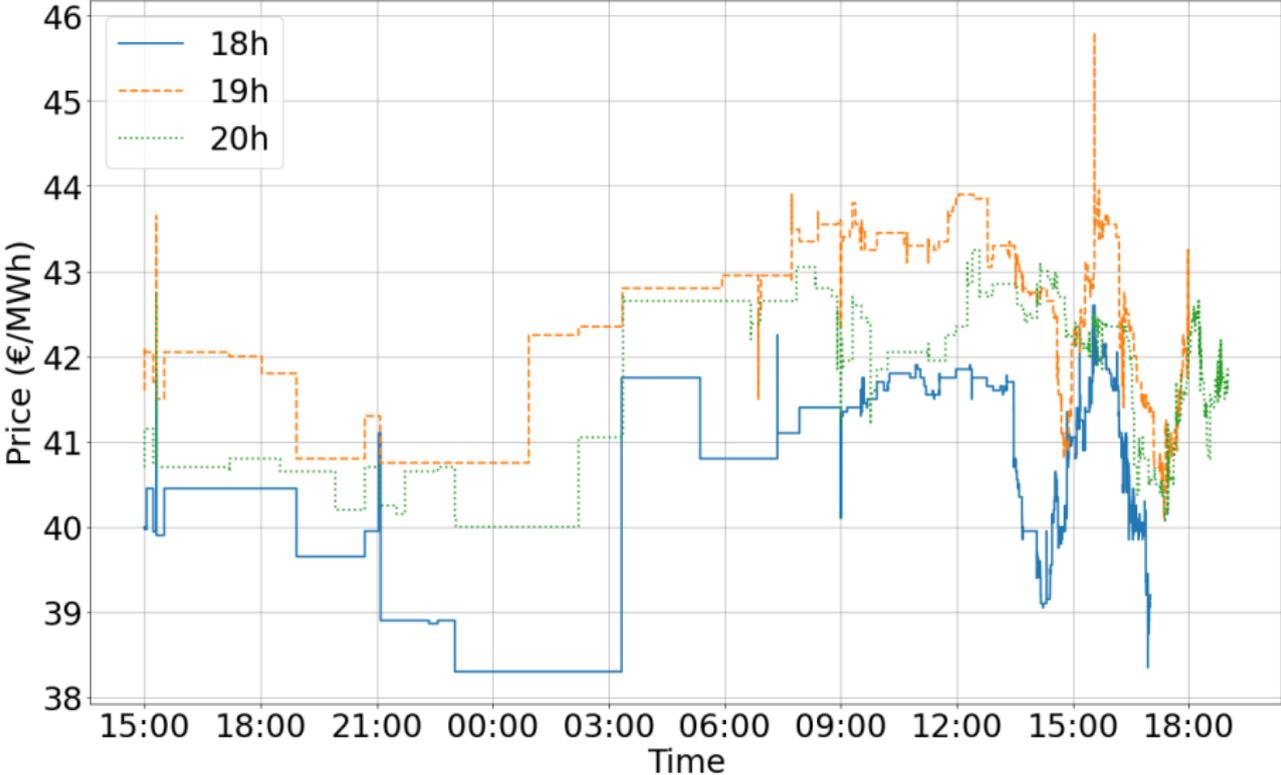
- To assess the quality of trading strategies or to value assets, need for a **price model** that captures risks on the market.
- Needs to represent different stylized facts that we identify.
- Few literature on intraday markets modeling :
  - ▶ [Favetto, 2019, Graf von Luckner and Kiesel, 2020] : order arrivals modeling
  - ▶ [Kiesel and Paraschiv, 2017] : econometric analysis
- We propose a price model with a focus on the representation of the **volatility**.

# Data

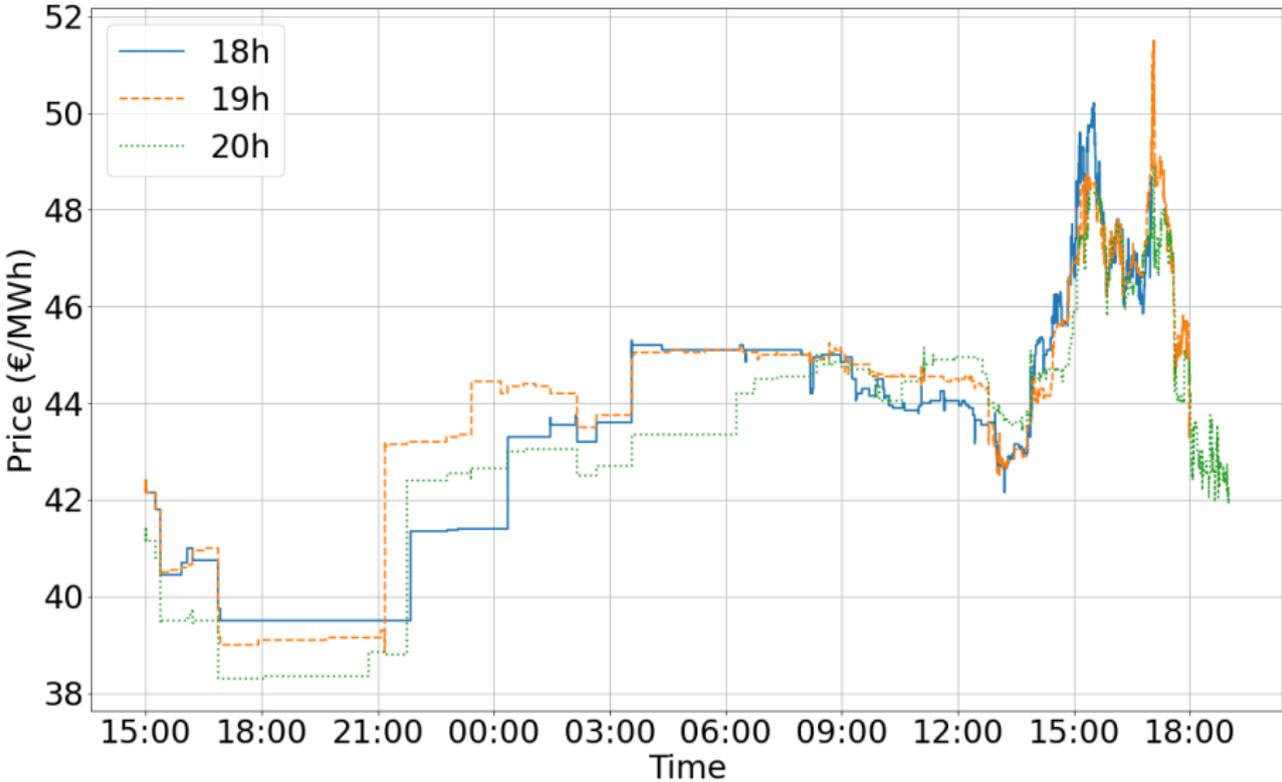
- German electricity intraday mid-prices between July and September 2017 for products with a delivery period of one hour.
- Mid-prices built using order book data from EPEX Spot.
- Mid-prices sampled at the second frequency for simplicity (available at milliseconds frequency).
- Market opens at 3 p.m. the day before delivery and closes 5 minutes before delivery...
- Yet, one hour before delivery, cross-border trading is not possible anymore.
- Also, thirty minutes before delivery, transactions are only possible into each of the four control areas in Germany and not across them.

⇒ We only consider prices until one hour before delivery.

Data : 2017-07-11

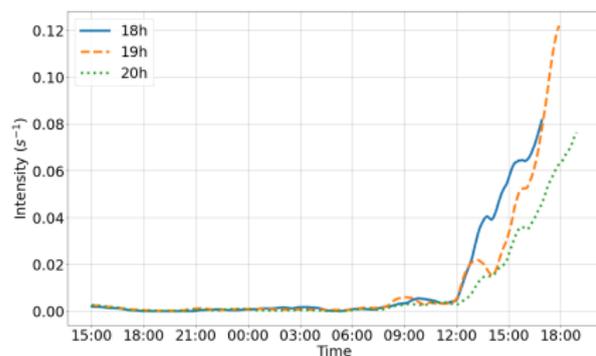


Data : 2017-08-30

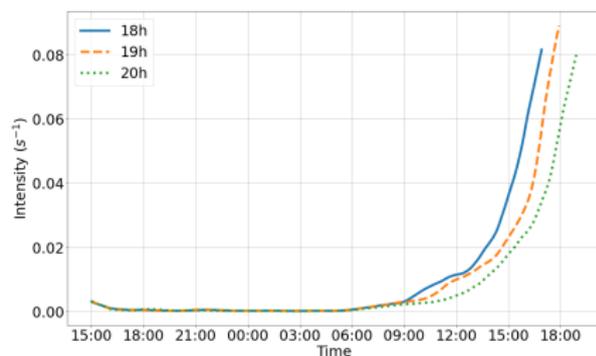


- 1 Estimation de l'impact de marché (avec Pierre Gruet et Othmane Mounjid)
- 2 Modélisation des prix intraday à l'aide de processus de Hawkes marqués (avec Pierre Gruet)
  - Faits stylisés
  - Modèle

# Increasing intensity of arrival price changing times



2017-08-30

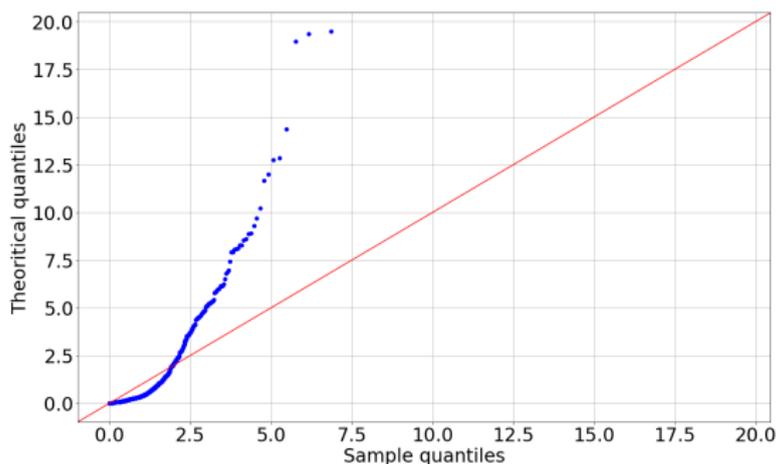


Average

Estimated intensity of price changing times with an Epanechnikov kernel and a window of 300 seconds

- Quasi null activity at the beginning of the trading session...
- then an exponential increase near the end of the trading period.

# Non Poissonian arrival price changing times



QQ-plot between the time-changed jump time intervals and an exponential distribution for the trading session of August, 30<sup>th</sup>, 2017 and for maturity 18h

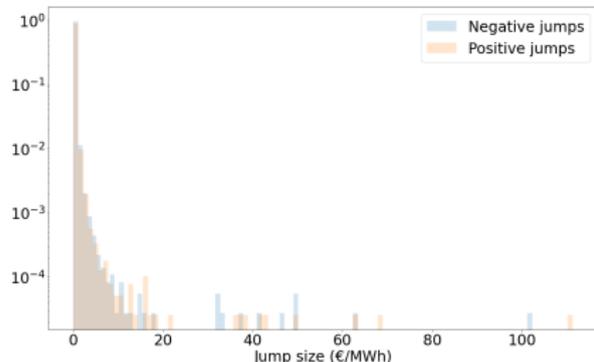
For an inhomogeneous Poisson process with cumulated intensity

$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(s) ds$  jumping at times  $(\tau_i)_i$ ,

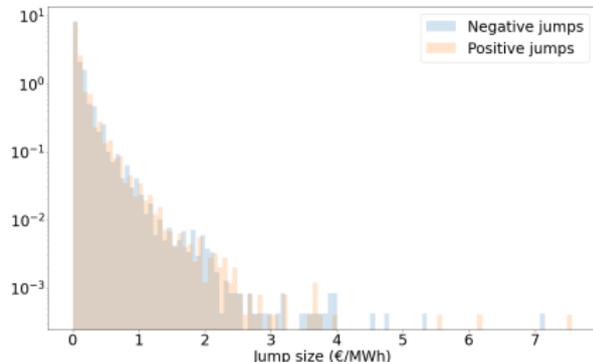
$$\Lambda(\tau_i) - \Lambda(\tau_{i-1}) \stackrel{iid}{\sim} \mathcal{E}(1).$$

- Inhomogeneous Poisson process modeling not suitable.

# Jump sizes distribution (1/2)



All trading session

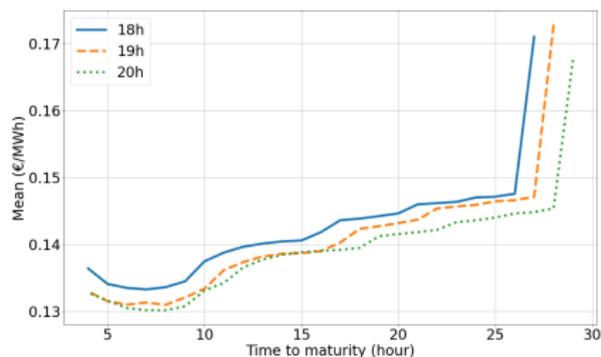


From 9 hours before maturity

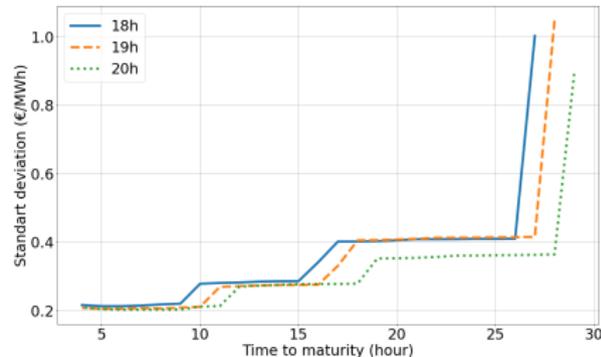
Positive and negative jump size distributions with a log scale on the y-axis, for maturity 18h

- Positive and negative jumps seem to have the same law (confirmed if we consider only the first two moments).
- Time dependency in the distribution of jumps with big jumps at the beginning, featuring a lack of liquidity.

## Jump sizes distribution (2/2)



Mean



Standard deviation

Mean and standard deviation of jump sizes (positive and negative considered indifferently) against time to maturity : x-axis corresponds to the number of hours before maturity at which the estimation starts

From now on, one considers only data from 9 hours before maturity.

## Volatility estimation

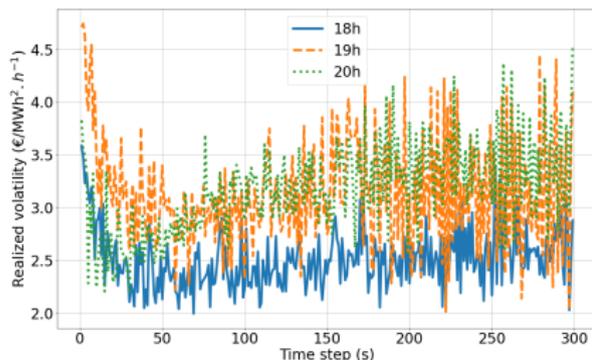
- Classical estimator of volatility of  $f_t = \int_0^t \mu_s ds + \int_0^t \sigma_s dW_s$  :

$$C(T, \Delta_n) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{T}{\Delta_n} \rfloor} (f_{i\Delta_n} - f_{(i-1)\Delta_n})^2 \xrightarrow{\Delta_n \rightarrow 0} \frac{1}{T} \int_0^T \sigma_s^2 ds.$$

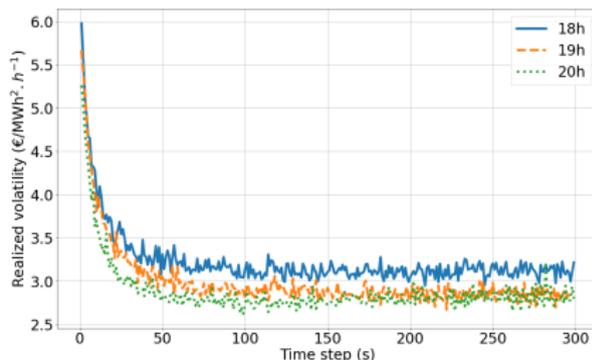
- One then wants to consider the highest frequency  $\Delta_n^{-1}$ .
- Presence of microstructure noise in high-frequency financial data :
  - ▶ volatility estimator unstable when frequency is very high ;
  - ▶ mean reverting behavior of price.

# Signature plot

$$\delta \mapsto C(T, \delta) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{T}{\delta} \rfloor} (f_{i\delta} - f_{(i-1)\delta})^2$$



2017-08-30



Average

- Same behavior than financial data, see [Bacry et al., 2013a].
- Instability at high-frequencies, fast decreasing then stabilization.

- 1 Estimation de l'impact de marché (avec Pierre Gruet et Othmane Mounjid)
- 2 Modélisation des prix intraday à l'aide de processus de Hawkes marqués (avec Pierre Gruet)
  - Faits stylisés
  - **Modèle**

# Point process modeling

- Consider a sequence of arrival times  $0 < \tau_1 < \tau_2 < \dots$  defined on  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$  endowed with a filtration  $(\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$  (complete and right continuous).
- Let  $(J_i)_{i \geq 1}$  be a sequence of positive i.i.d. r.v. defined on  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ , with  $J_i \sim J$  and  $\mathbb{E}(J^2) < \infty$ .
- Mark the arrival times  $(\tau_i)_i : (\tau_i^+)_i$  (price increase) and  $(\tau_i^-)_i$  (price decrease), associated with  $(J_i^+)_i$  and  $(J_i^-)_i$ .
- The intraday price is given by

$$f_t = f_0 + f_t^+ - f_t^- \text{ with } f_t^\pm = \sum_{i=1}^{N_t^\pm} J_i^\pm$$

- Probability to have a positive (resp. negative) jump between  $t$  and  $t + dt$  :  $\lambda_t^+ dt$  (resp.  $\lambda_t^- dt$ ).

# Hawkes modeling

Hawkes modeling with cross-excitation on  $[0, T]$  :

$$\lambda_t^+ = \mu e^{\kappa \frac{t}{T}} + \sum_{i=1}^{N_t^-} \alpha e^{-\beta(\tau_i^- - s)} J_i^-,$$
$$\lambda_t^- = \underbrace{\mu e^{\kappa \frac{t}{T}}}_{\text{increasing exogenous intensity}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_t^+} \alpha e^{-\beta(\tau_i^+ - s)} J_i^+}_{\text{cross-excitation}}.$$

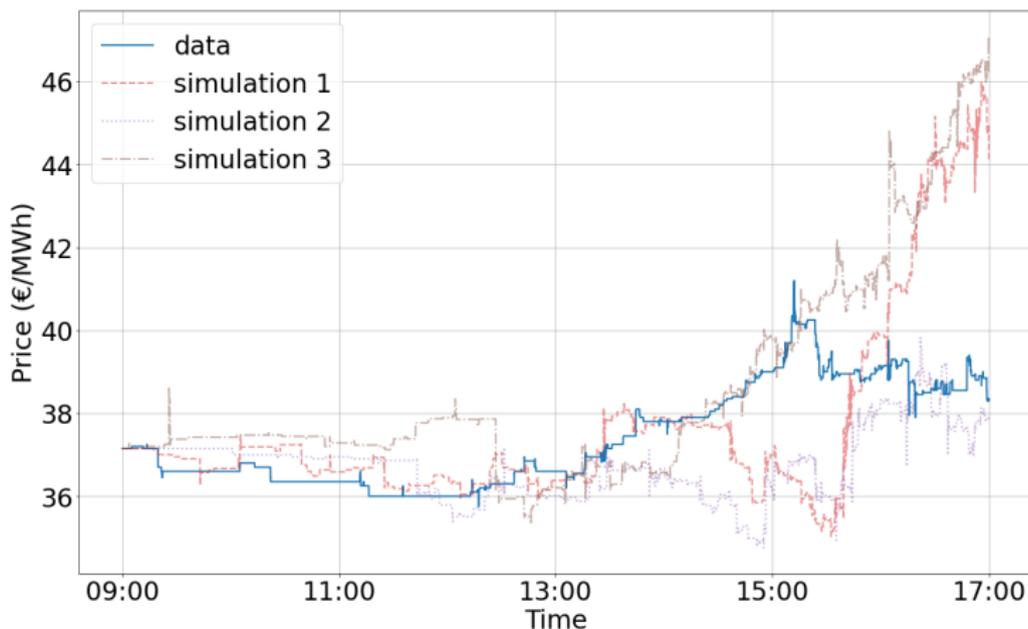
with  $\alpha < \beta \mathbb{E}(J)$  (stability condition).

A positive (resp. negative) jumps of size  $x$  at time  $t$  increases the probability to have a negative (resp. positive) jumps at time  $t + u$  by  $\chi \alpha e^{-\beta u}$ .

- Good candidate to represent the signature plot [Bacry et al., 2013a].
- Simple parameterisation with only four parameters.
- Tractable model with nice theoretical properties.
- A priori, allows to represent the different characteristics of the prices.

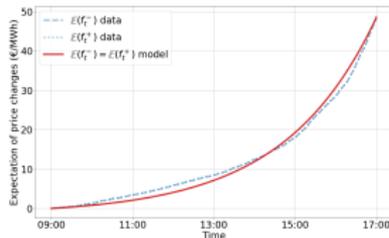
# Estimation and simulation

- Estimation : maximum likelihood for  $\alpha, \beta, \mu, \kappa$ . We do not estimate a parametric model on the law of  $J$ .
- Simulation : thinning algorithm [Ogata, 1981] bootstrapping jump sizes.

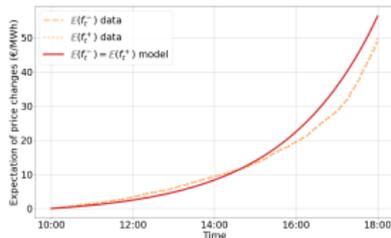


# Expectation

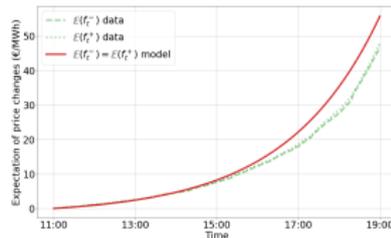
$$\mathbb{E}(f_t^+) = \mathbb{E}(f_t^-) = \mu_0 \mathbb{E}(J) \left( \frac{\beta + \frac{\kappa}{T}}{\frac{\kappa}{T} (\beta - \alpha \mathbb{E}(J) + \frac{\kappa}{T})} e^{\frac{\kappa}{T} t} + \frac{\alpha \mathbb{E}(J)}{(\beta - \alpha \mathbb{E}(J)) (\beta - \alpha \mathbb{E}(J) + \frac{\kappa}{T})} e^{-(\beta - \alpha \mathbb{E}(J)) t} - \frac{\beta}{\frac{\kappa}{T} (\beta - \alpha \mathbb{E}(J))} \right)$$



18h



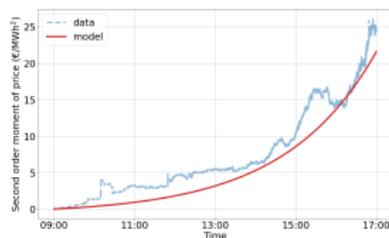
19h



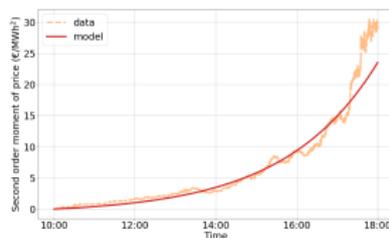
20h

# Second order moment

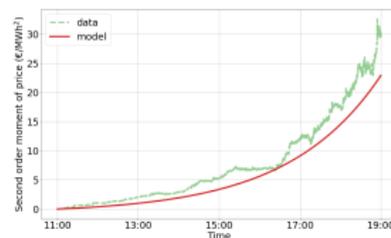
Closed formula for the second order moment.



18h



19h



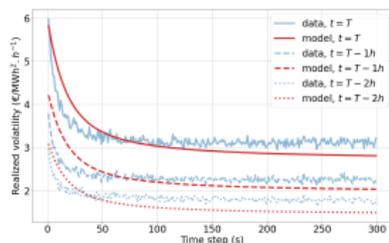
20h

Sketch of the proof :

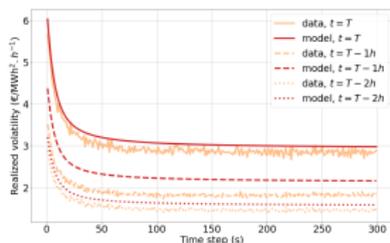
- Find integro-differential equation for characteristic function of  $(f_t^+, f_t^-)$  using cluster representation of Hawkes processes as in [El Euch and Rosenbaum, 2019].
- Then derive integro-differential equations for moments that can be solved.

# Signature plot

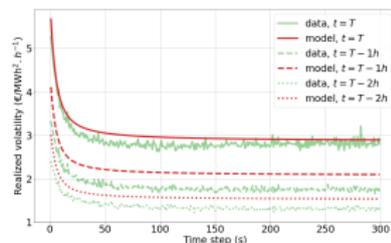
$$C(t, \delta) = \frac{1}{t} \left( \mathbb{E}(f_{\lfloor \frac{t}{\delta} \rfloor \delta}^2) - f_0^2 \right) - \frac{1}{t} \frac{(1 - e^{-(\beta + \alpha \mathbb{E}(J))\delta})}{(\beta + \alpha \mathbb{E}(J))} \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{t}{\delta} \rfloor - 1} \left( \frac{d\mathbb{E}(f_s^2)}{ds}(i\delta) - 2\mathbb{E}(J^2)\mathbb{E}(\lambda_{i\delta}^+) \right).$$



18h



19h



20h

- Generalization of the results of [Bacry et al., 2013a] : we include random jumps and time-dependent intensity baseline.
- Increasing of the signature plot when time approaches to delivery : Samuelson effect for each frequency.

## Signature plot : asymptotics

Microscopic scale :  $\delta \rightarrow 0$

$$C^{micro}(t) = 2\mathbb{E}(J^2) \frac{\mathbb{E} \left( \int_0^t \lambda_s^+ ds \right)}{t}.$$

Macroscopic scale :  $\delta \rightarrow \infty$ ,  $\frac{\delta}{t} \rightarrow 0$

$$C^{macro}(t) \sim \frac{2\mathbb{E}(J^2)}{\left(1 + \frac{\alpha\mathbb{E}(J)}{\beta}\right)^2 \left(1 - \frac{\alpha\mathbb{E}(J)}{\beta}\right)} \frac{\int_0^t \mu\left(\frac{s}{t}\right) ds}{t}.$$

When  $t \rightarrow \infty$ ,

$$C(t, \delta) \sim \frac{2\mathbb{E}(J^2) \int_0^t \mu\left(\frac{s}{t}\right) ds}{t \left(1 - \frac{\alpha\mathbb{E}(J)}{\beta}\right)} \left( R^2 + (1 - R^2) \left( \frac{1 - e^{-(\beta + \alpha\mathbb{E}(J))\delta}}{(\beta + \alpha\mathbb{E}(J))\delta} \right) \right)$$

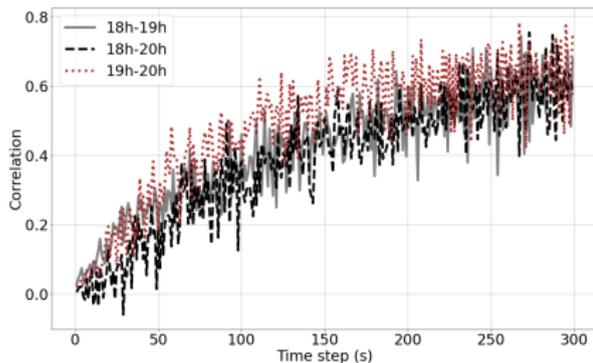
with  $R^2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha\mathbb{E}(J)}{\beta}\right)^2}$ .

# Conclusion

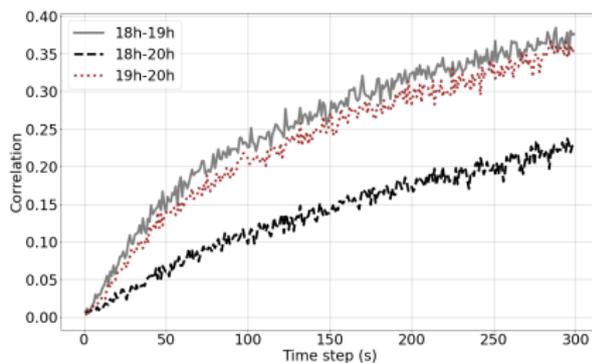
- Highlighting of the presence of microstructure noise in intraday electricity markets ;
- Proposition of a price model allowing to represent the different empirical stylized facts, in particular the signature plot ;
- Closed formula for moments and signature plot (at different dates) ;
- Diffusive limit at macroscopic scale ;
- Samuelson effect identified for each frequency and in the diffusive limit.

# Perspectives

- A more complete analysis and modeling of jumps distribution.
- **Multidimensional modeling** for the different maturities.



2017-08-30



Average

Epps effect

Merci !

# Bibliography I



Bacry, E., Delattre, S., Hoffmann, M., and Muzy, J.-F. (2013a).  
Modelling microstructure noise with mutually exciting point processes.  
*Quantitative finance*, 13(1) :65–77.



Bacry, E., Delattre, S., Hoffmann, M., and Muzy, J.-F. (2013b).  
Some limit theorems for Hawkes processes and application to financial  
statistics.  
*Stochastic Processes and their Applications*, 123(7) :2475–2499.



Bacry, E., Iuga, A., Lasnier, M., and Lehalle, C.-A. (2015).  
Market impacts and the life cycle of investors orders.  
*Market Microstructure and Liquidity*, 1(02) :1550009.



Daley, D. J. and Vere-Jones, D. (2003).  
*An Introduction to the Theory of Point Processes. Volume I : Elementary  
Theory and Methods, Second Edition.*  
Springer.

# Bibliography II

 El Euch, O. and Rosenbaum, M. (2019).  
The characteristic function of rough Heston models.  
*Mathematical Finance*, 29(1) :3–38.

 Favetto, B. (2019).  
The European intraday electricity market : a modeling based on the Hawkes process.  
Available on [hal.archives-ouvertes.fr](http://hal.archives-ouvertes.fr).

 Graf von Luckner, N. and Kiesel, R. (2020).  
Modeling market order arrivals on the intraday market for electricity deliveries in Germany with the Hawkes process.  
Available at SSRN.

 Kiesel, R. and Paraschiv, F. (2017).  
Econometric analysis of 15-minute intraday electricity prices.  
*Energy Economics*, 64 :77–90.

# Bibliography III



Ogata, Y. (1981).

On Lewis' simulation method for point processes.

*IEEE transactions on information theory*, 27(1) :23–31.