



NEEDS SYSTÈMES NUCLÉAIRES ET SCÉNARIOS

BILAN 2016 ET PROSPECTIVES



OPTIMIX

OPTIMISATION ET VALIDATION DE MIXOPTIM



MIXOPTIM team:

CEA - B. Bonin, G. Krivtchik, A. Laureau, H. Safa

CNRS - E. Merle

IRSN - O. Jacquet, J. Miss, Y. Richet

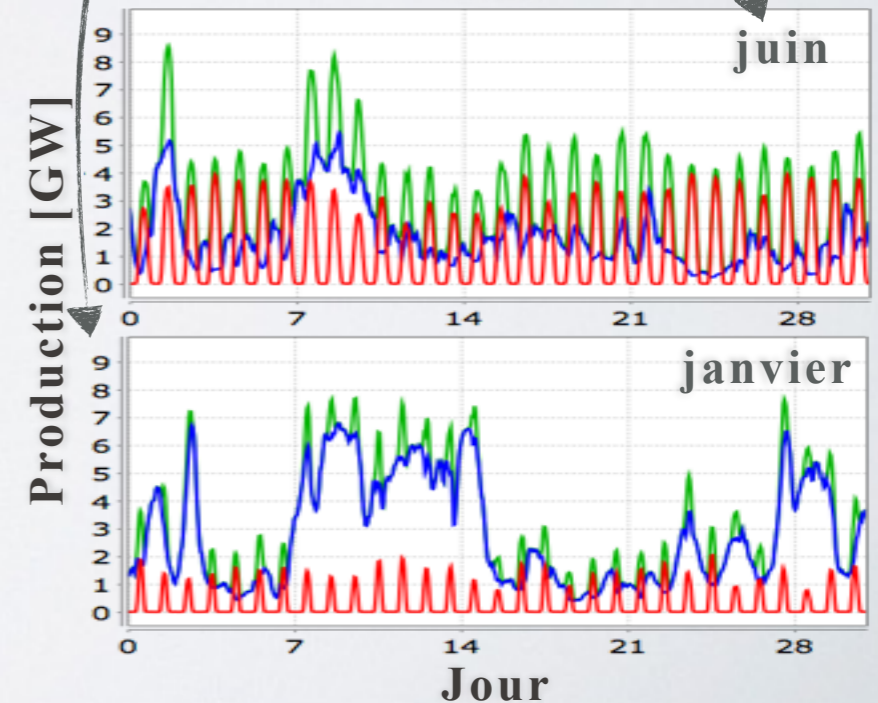
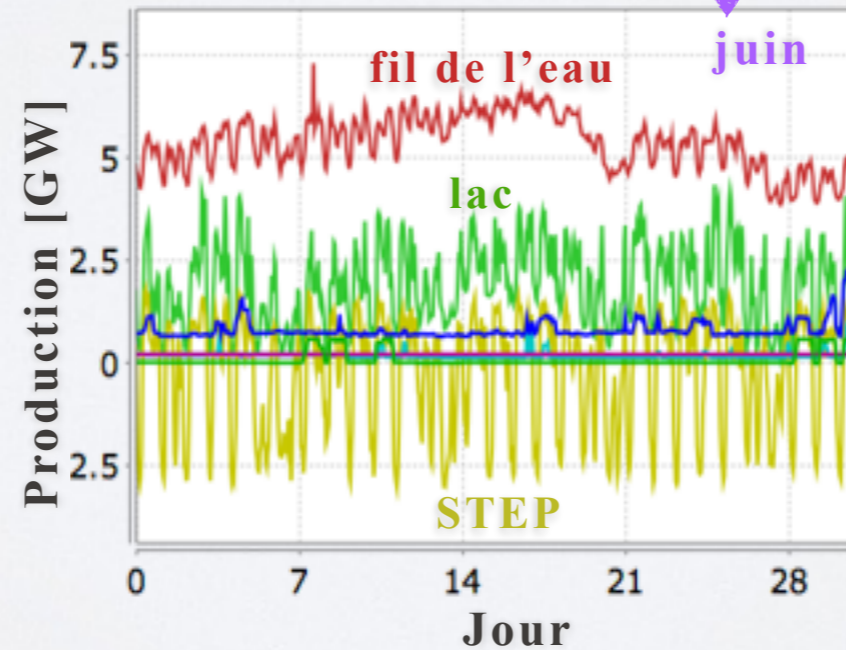
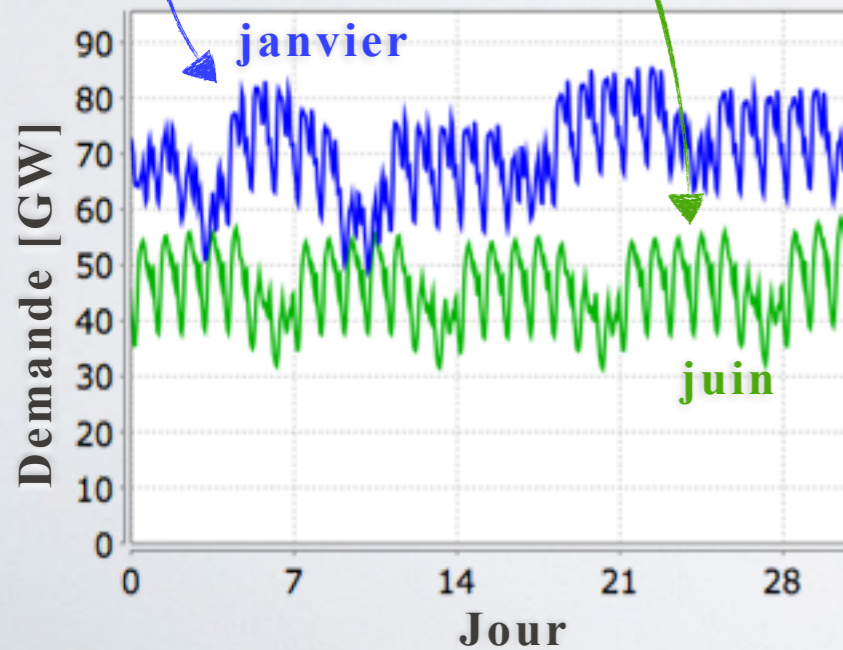
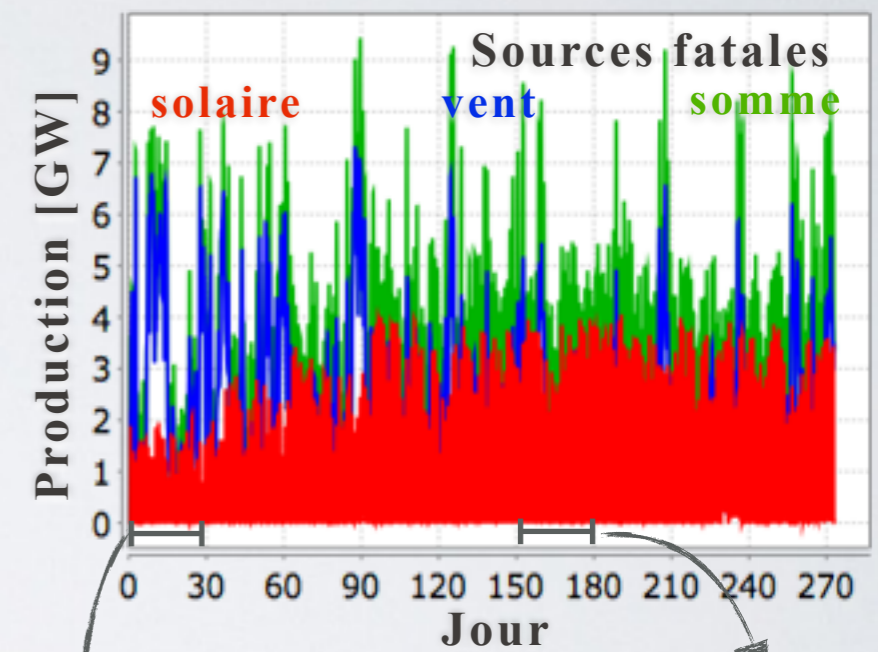
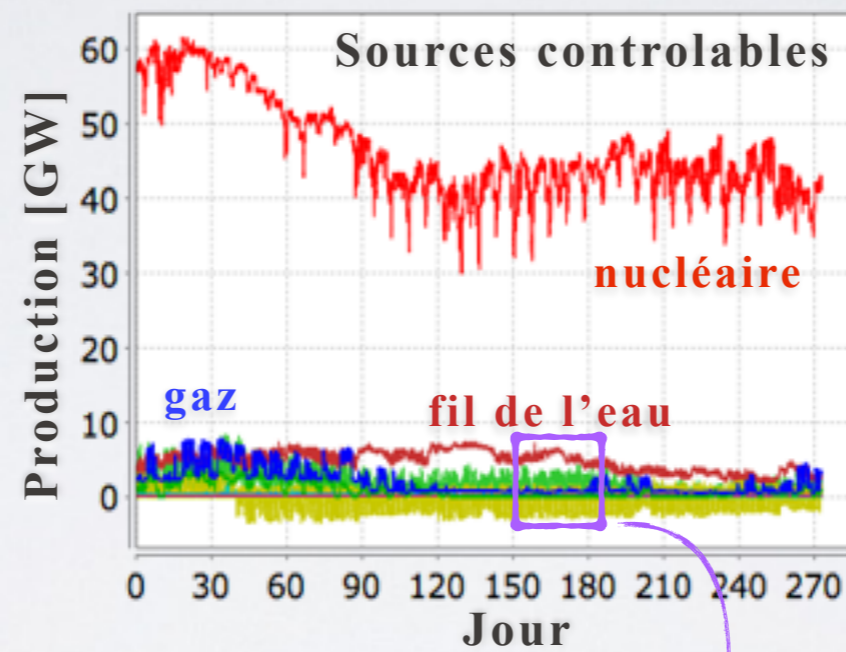
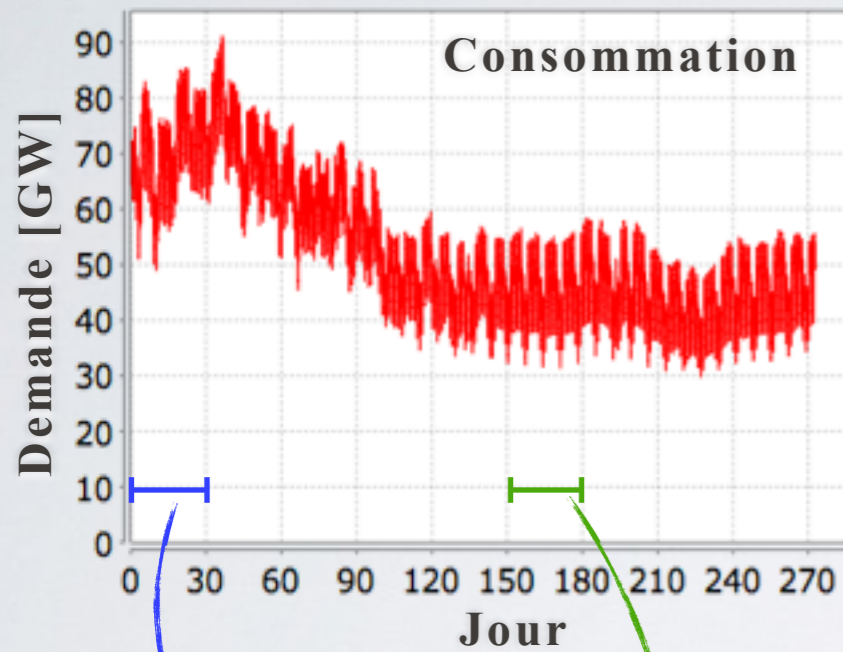


MIX ÉLECTRIQUE



Contexte :

- La demande doit être satisfaite à tout instant
- Différents producteurs répondent à cette demande

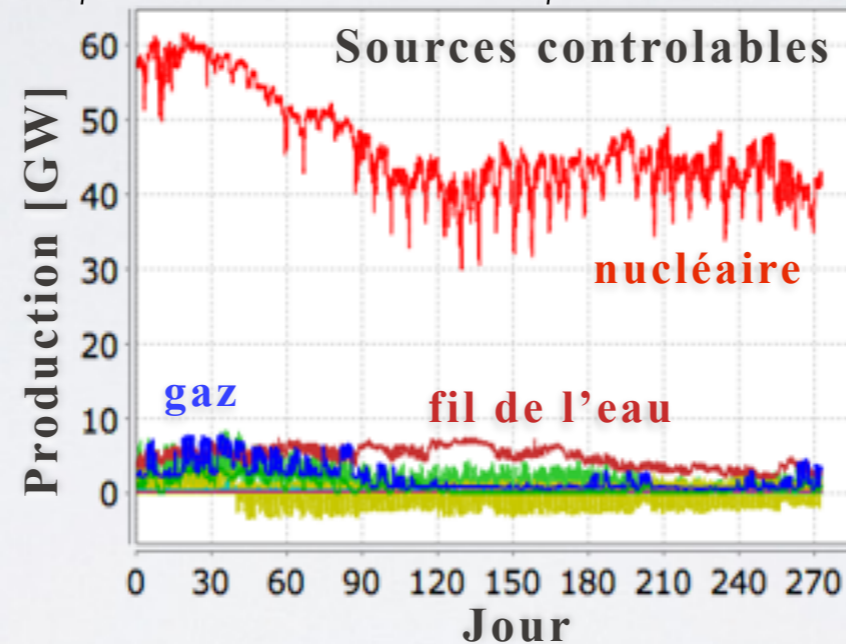


MIXOPTIM - APPROCHE GÉNÉRALE

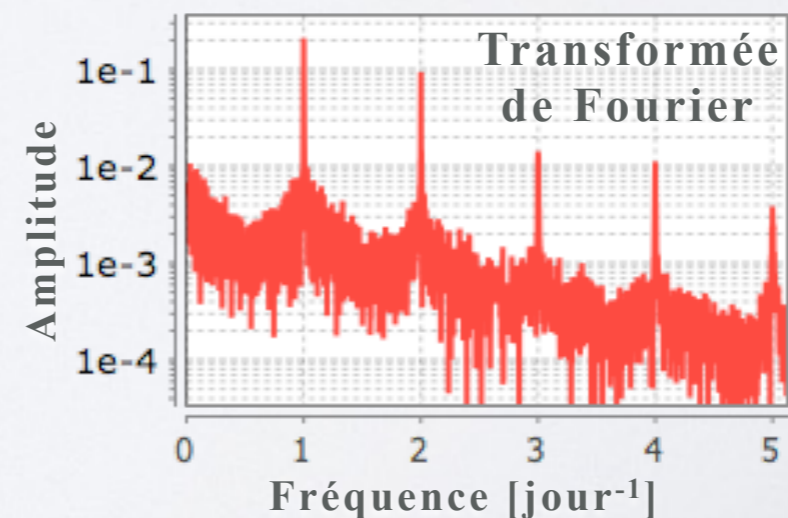
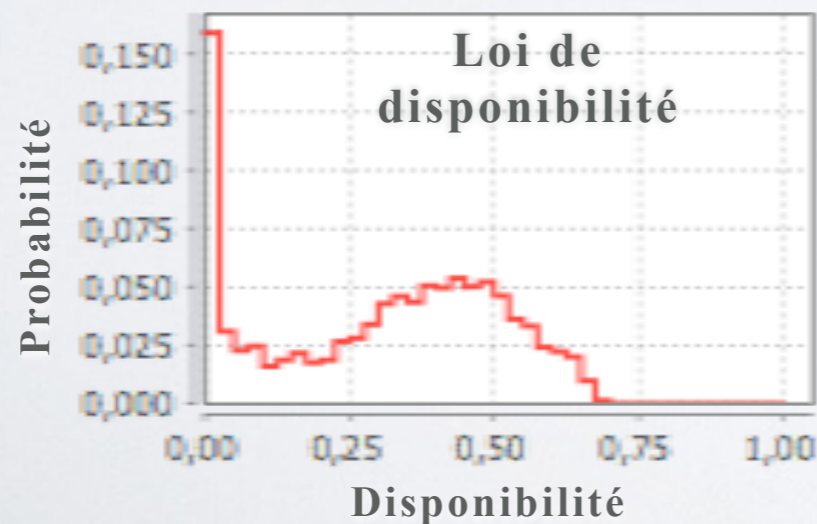
Objectif :

- Prédire le comportement d'un mix futur potentiel ...
- ... a partir d'un mix existant

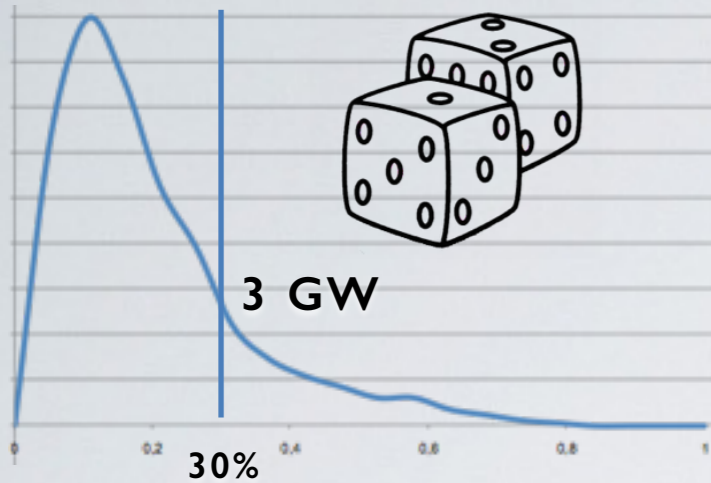
Les chroniques de **production** reflètent les événements passés, modifier l'historique d'une source impacte les autres...



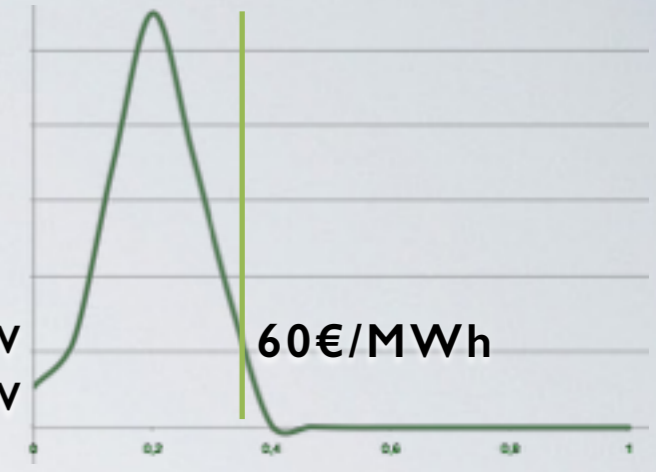
... tandis que les chroniques de **disponibilité** sont une donnée intrinsèque des sources



MIXOPTIM - APPROCHE GÉNÉRALE - PART 1/2 : ETUDE MONTE CARLO

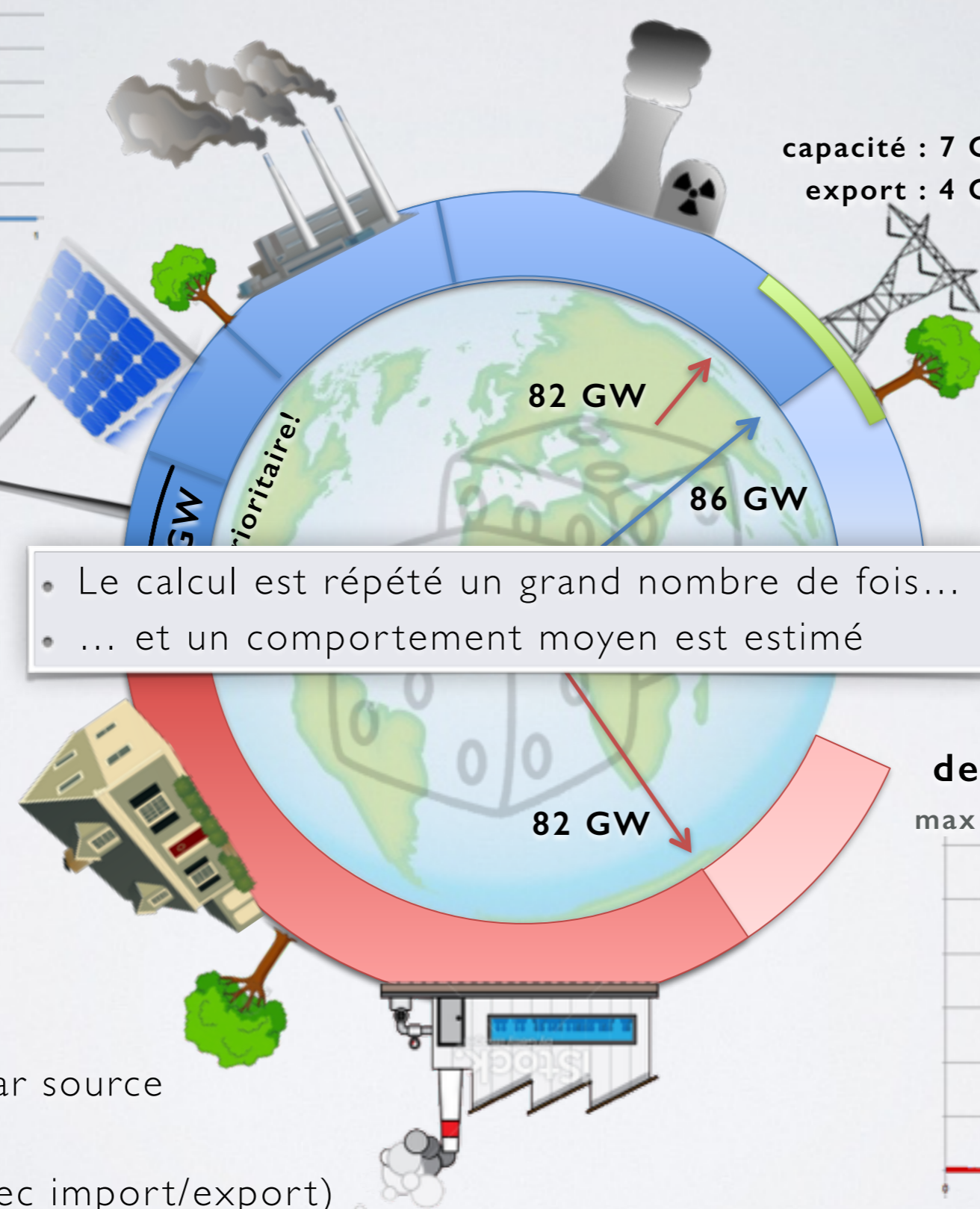


Loi de disponibilité éolienne



Loi de coût d'interconnexion

10 GW installés

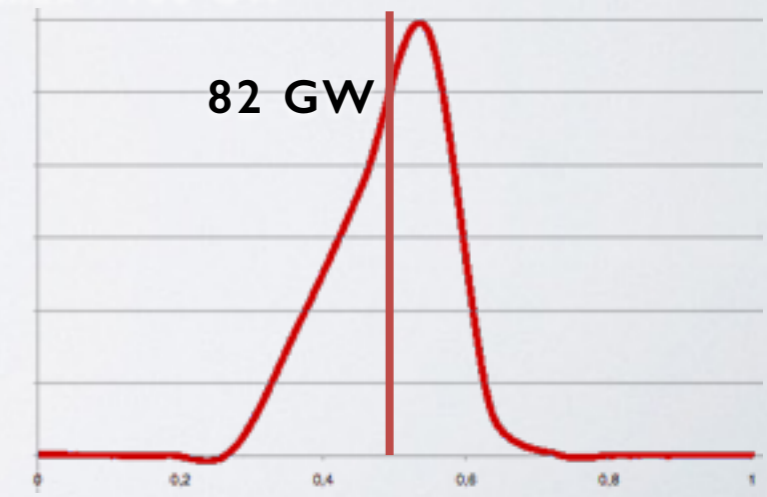


capacité : 7 GW
export : 4 GW

• Le calcul est répété un grand nombre de fois...
• ... et un comportement moyen est estimé

production
max : 130 GW

demande
max : 100 GW

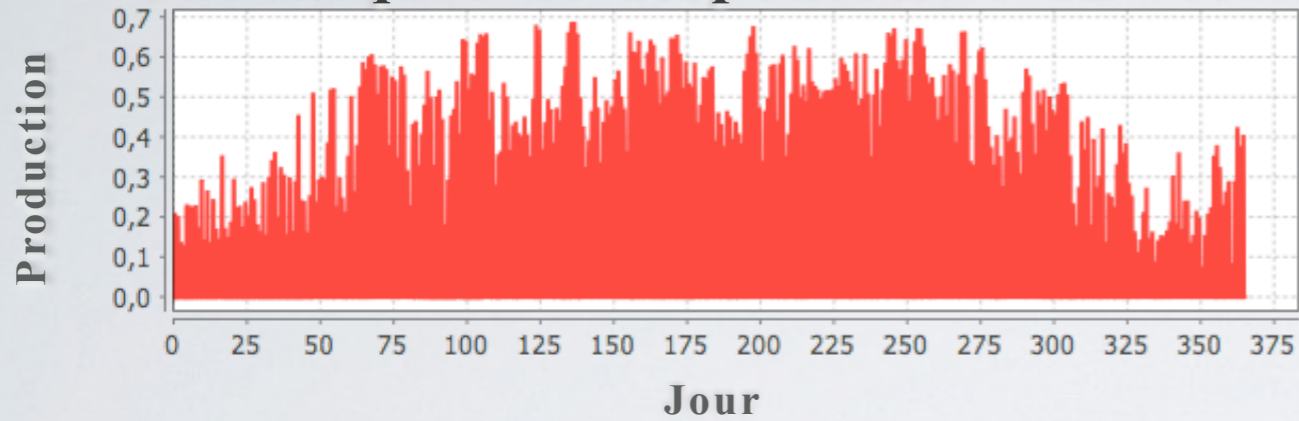


Loi de consommation

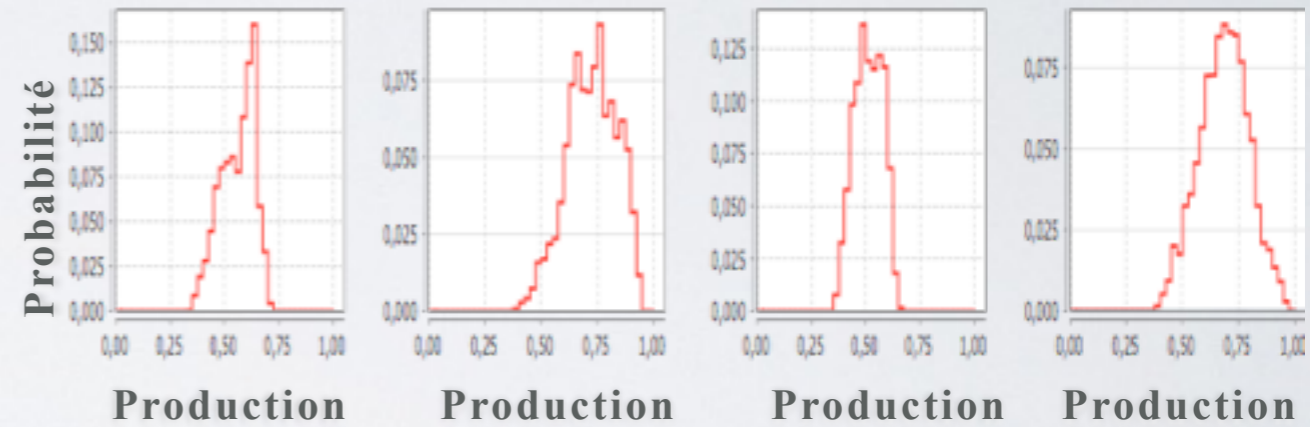
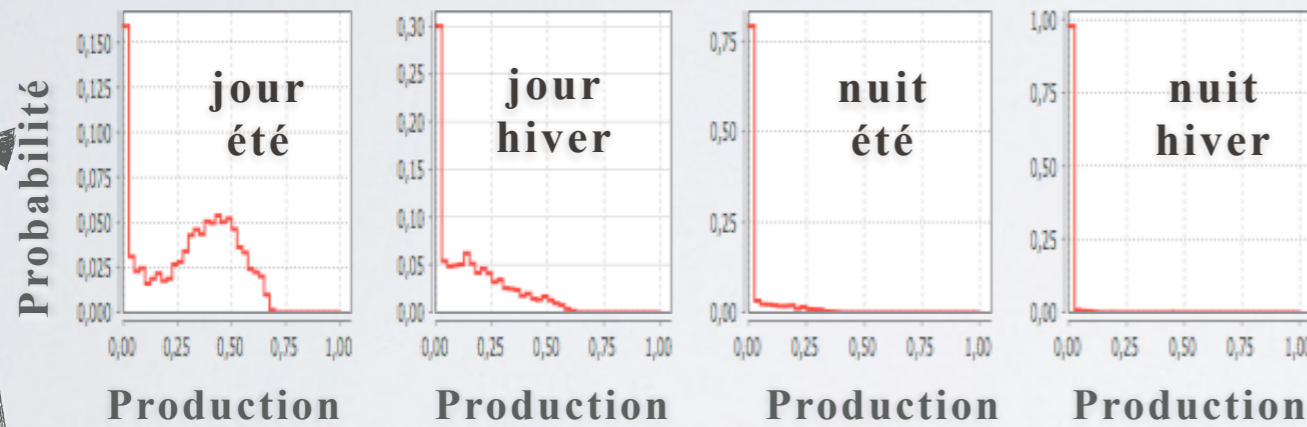
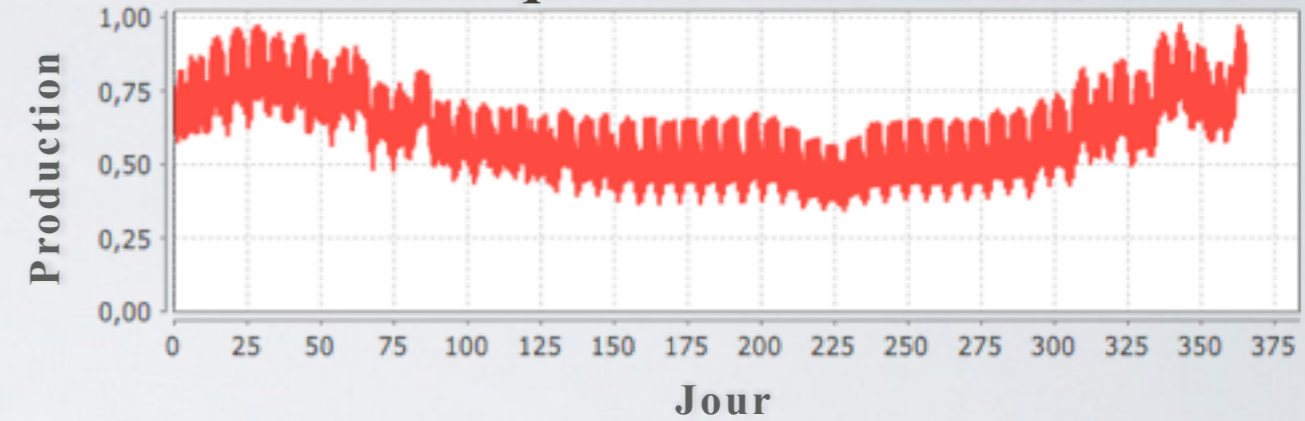
Sortie du calcul :

- production d'énergie par source
- production de CO_2
- coût de production (avec import/export)
- capacité à satisfaire (ou non) la demande

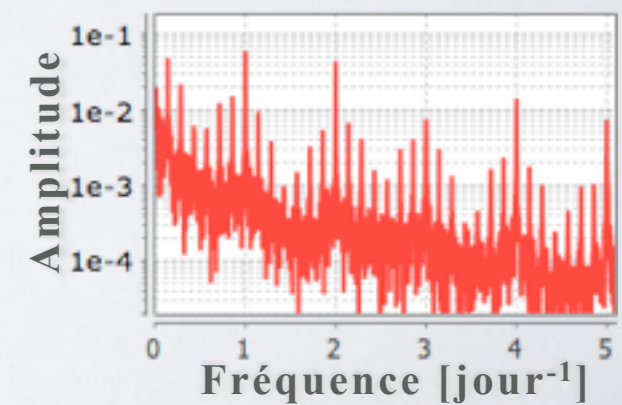
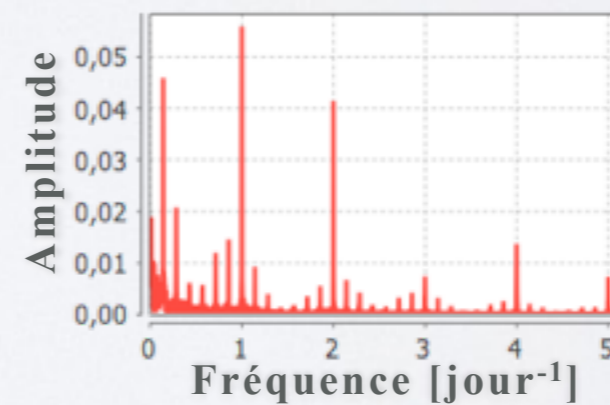
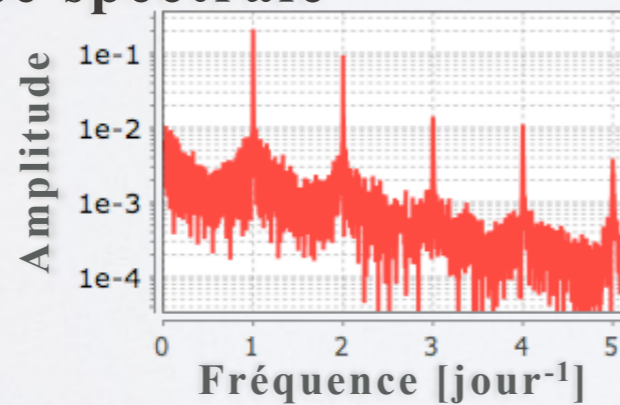
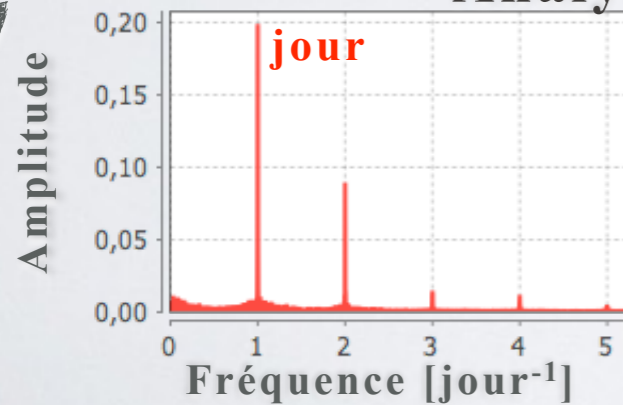
Chroniques de disponibilité du solaire



Chronique de consommation



Analyse spectrale



Données d'entrée au format xml :

```
(...)  
<pwr  
  marginal_cost="10."  
  fixed_cost="12."  
  marginal_co2="0."  
  fixed_co2="1.5e-3"  
  priority_order="4"  
  power="63130."  
  alias_availability_law="pwr_law"/>  
(...)  
<pwr_law>  
  <chronicle path="data/raw/pwr_data" nb_bin_per_day="48" nb_bin_in_law="100"/>  
  <loi_1    val="0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.11 0.22 1.22 8.80 9.80 0 0 0 0"/>  
  <loi_2    val="0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.88 1.60 1.86 2.60 5.60 4.60 2.54"/>  
  <loi_3    val="0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.11 0.22 1.22 8.80 9.80 0 0 0 0"/>  
  <loi_4    val="0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.88 1.60 1.86 2.60 5.60 4.60 2.54"/>  
</pwr_law>  
(...)
```

loi à calculer...

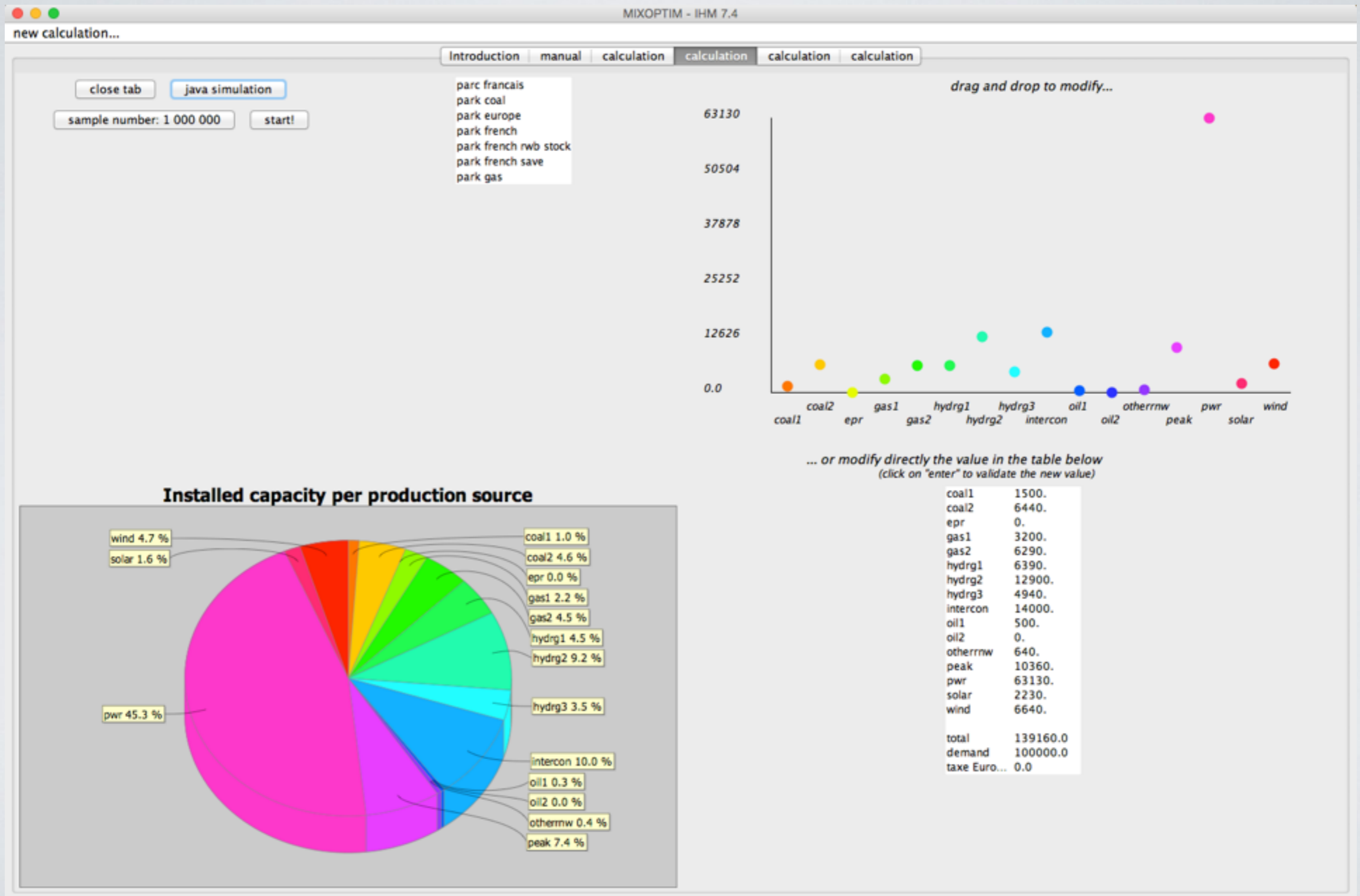


... ou directement fournie



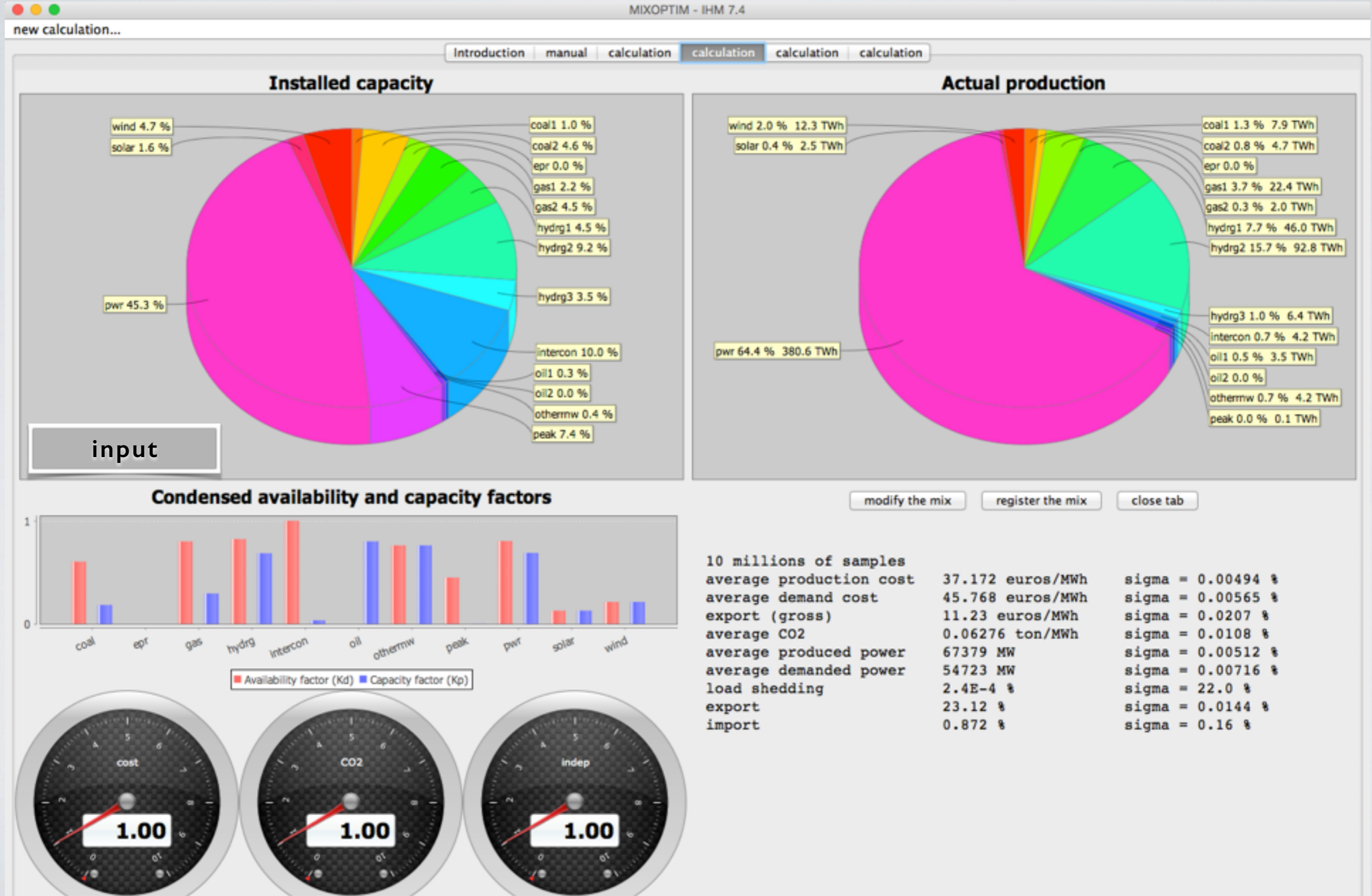
MIXOPTIM - ÉTUDE DE MIX ÉLECTRIQUE

Exemple du mix français



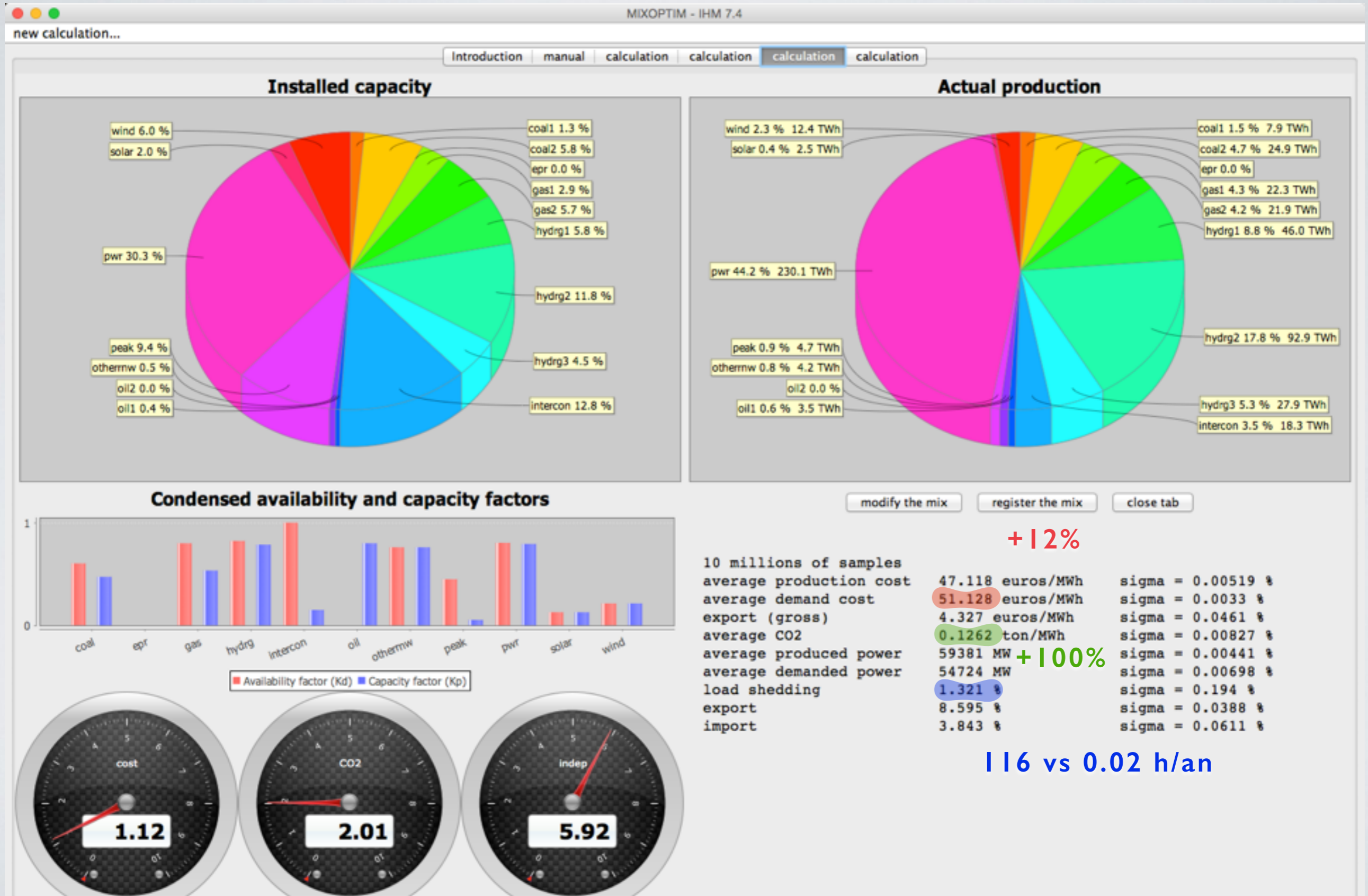
MIXOPTIM - ÉTUDE DE MIX ÉLECTRIQUE

Exemple du mix français



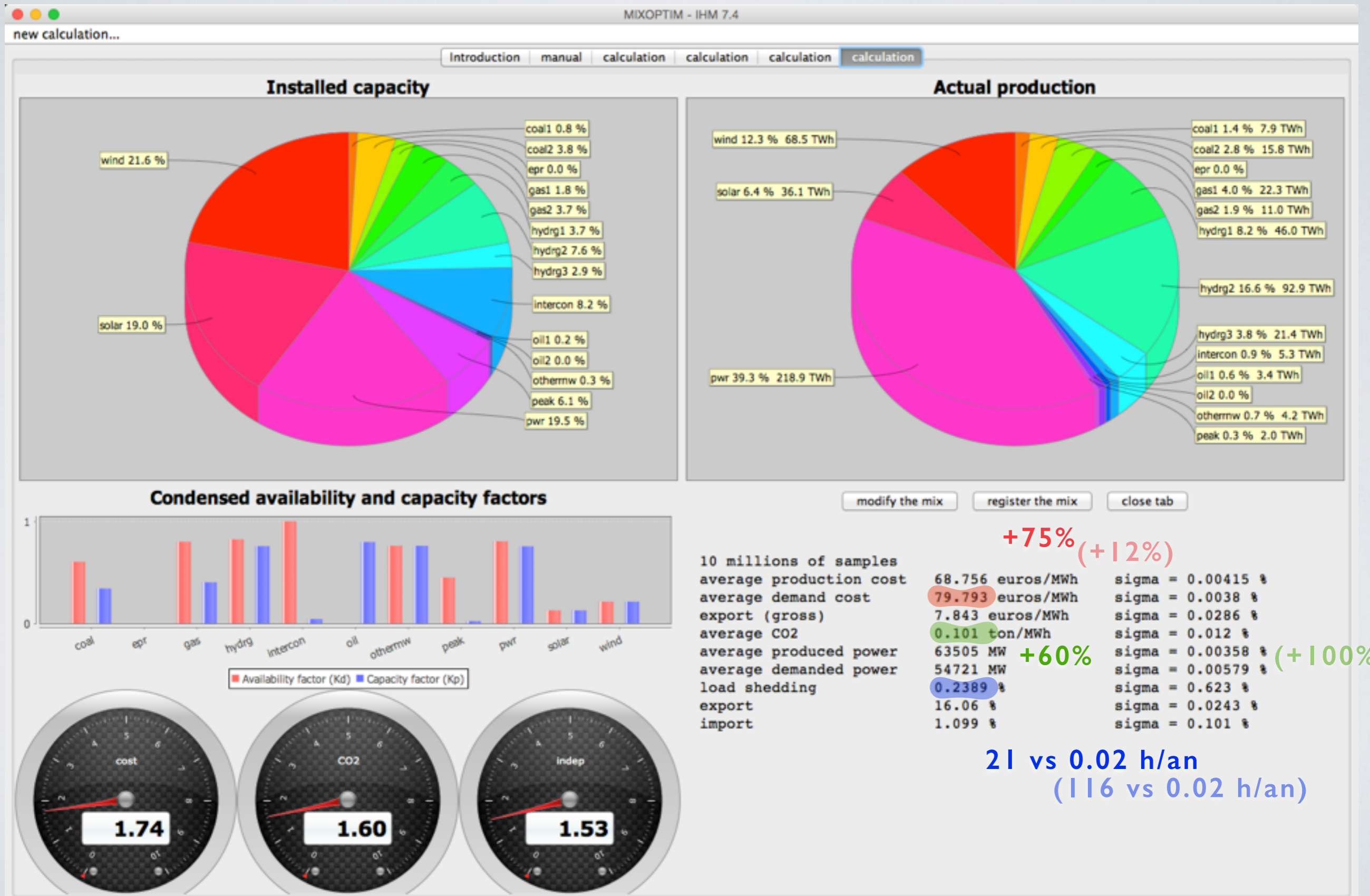
MIXOPTIM - ÉTUDE DE MIX ÉLECTRIQUE

Exemple du mix français - 30 GW REP sans compensation (parc sous-dimensionné)



MIXOPTIM - ÉTUDE DE MIX ÉLECTRIQUE

Exemple du mix français - 30 GW REP + 30 GW éolien + 30 GW solaire



L'étude d'une transition énergétique nécessite de faire évoluer le mix

Création par source année par année ...

... et calcul du coût fixe à la volée

annee	gen3
2012	0
2013	0
2014	0
2015	0
2016	0
2017	1.7
2018	0
2019	0
2020	0
2021	0
2022	0
2023	0
2024	0
2025	0
2026	1.7
2027	0
2028	0
2029	0
2030	0
2031	0
2032	0

$$F_i(t) = \frac{1}{\alpha_i} \cdot \int_{t-a_i}^t \beta_i(t' + \tau_c) \cdot \xi_i(t') \cdot \frac{x}{1 + \frac{x}{(1+x)^{a_i}}} dt'$$

historique de construction

temps de construction

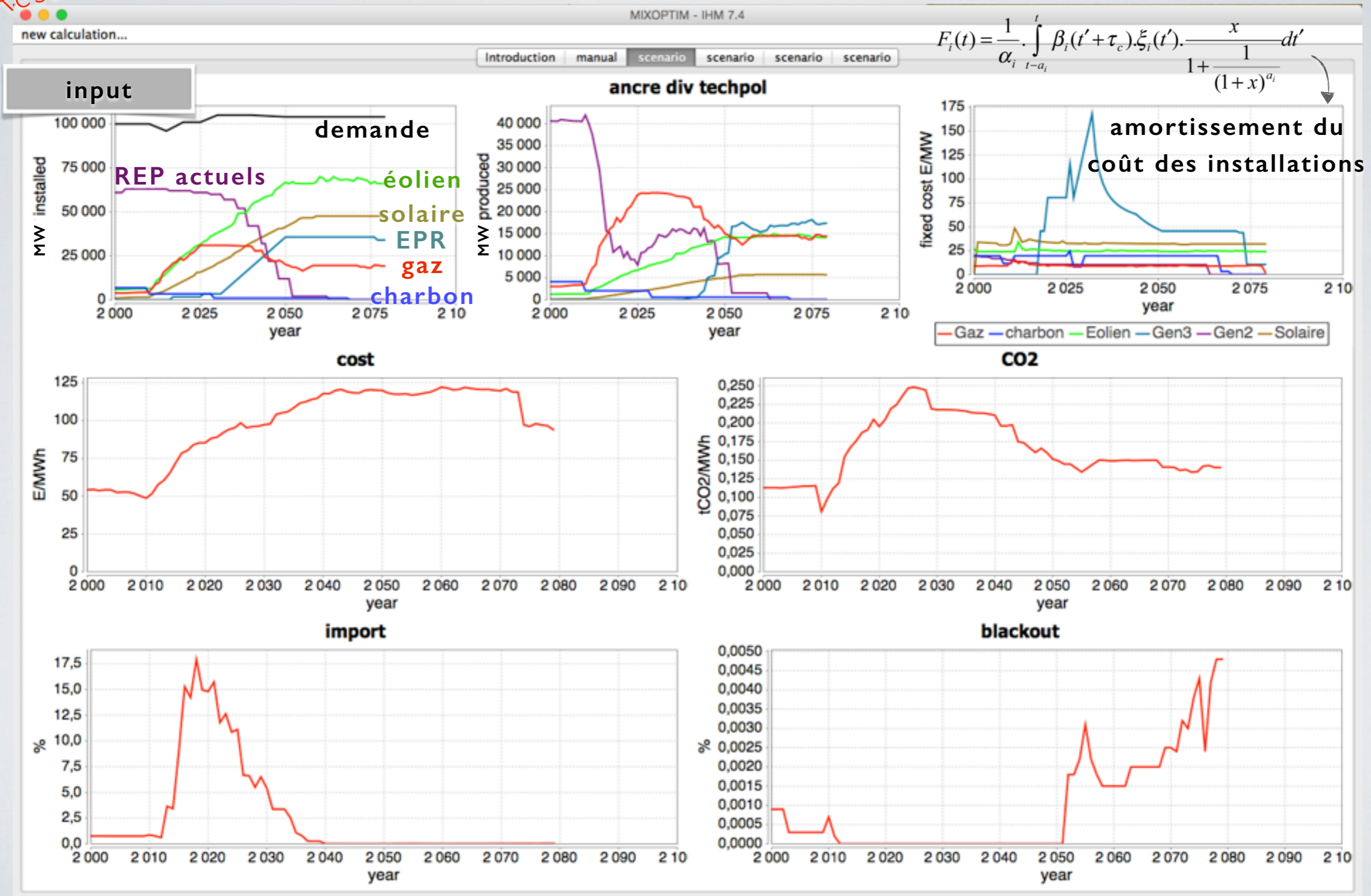
taux d'intérêt

durée d'amortissement

Résultats préliminaires

MIXOPTIM - ÉTUDE DE SCÉNARIO

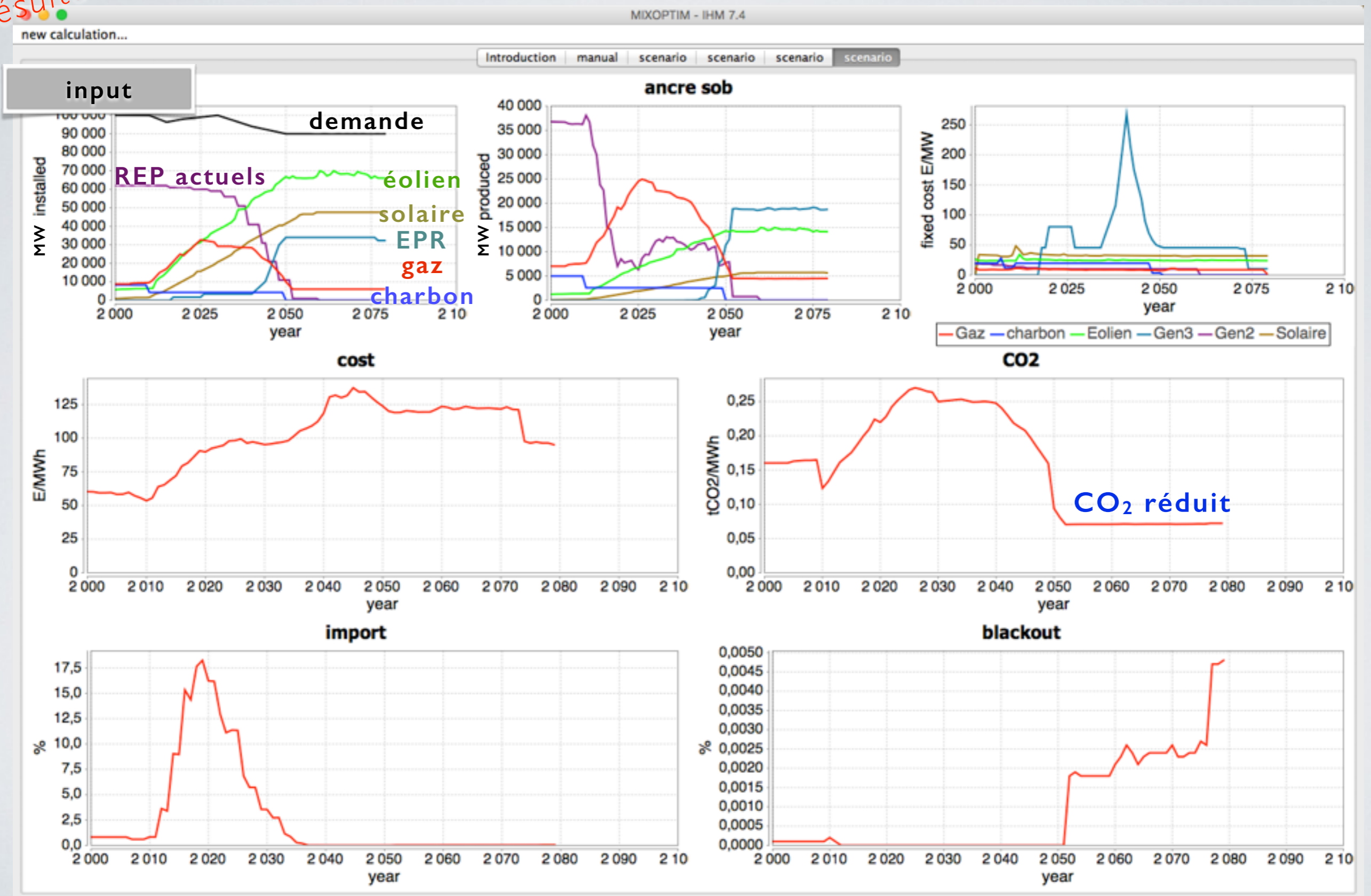
Scénario ANCRE DIV - diversification des sources + réduction de la consommation



MIXOPTIM - ÉTUDE DE SCÉNARIO

Résultats préliminaires

Scénario SOB - priorité aux renouvelables + réduction de la consommation



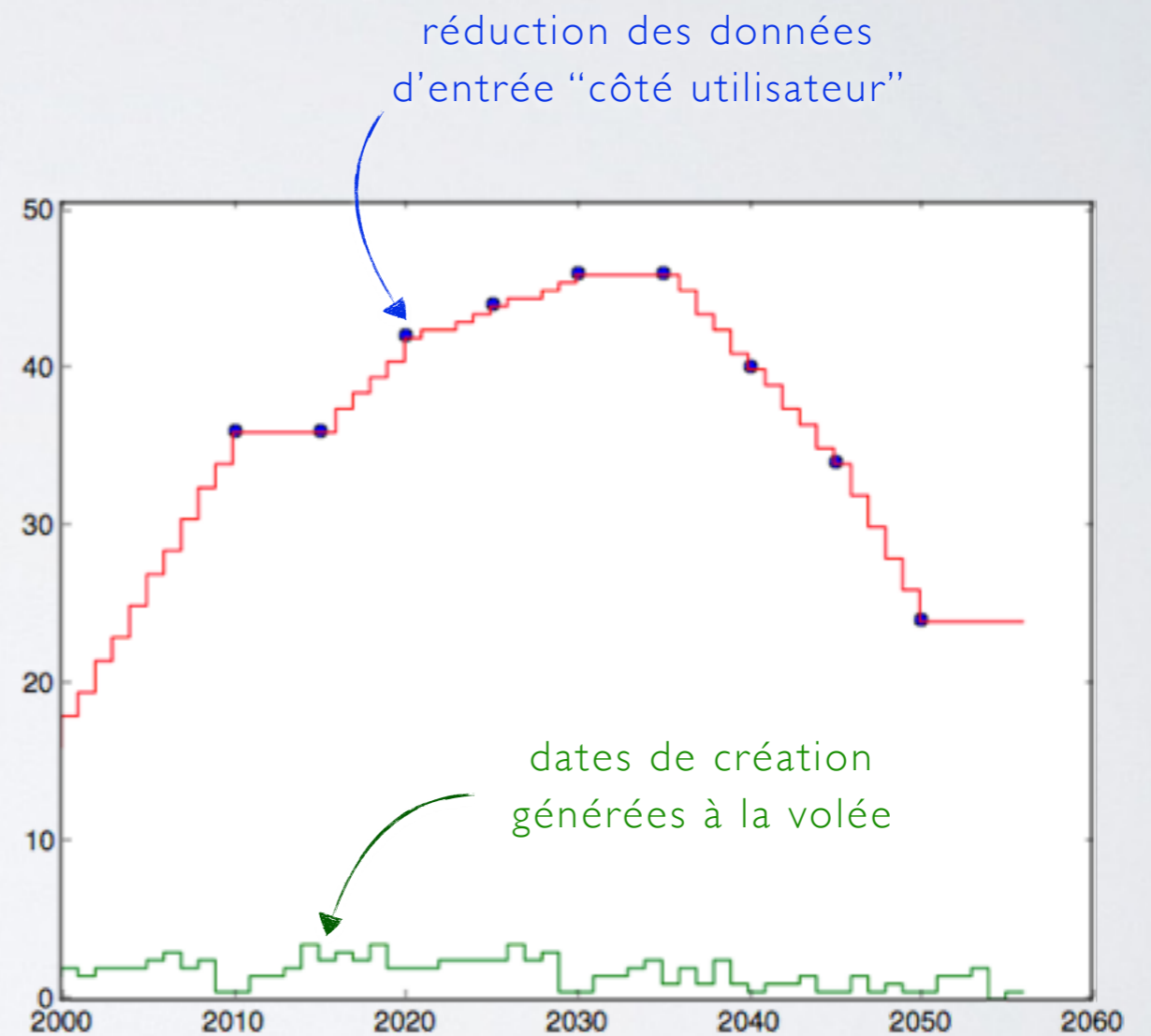
MIXOPTIM - ÉTUDE DE SCÉNARIO

L'étude d'une transition énergétique nécessite de faire évoluer le mix

Création par source année par année ...

annee	gen3
2012	0
2013	0
2014	0
2015	0
2016	0
2017	1.7
2018	0
2019	0
2020	0
2021	0
2022	0
2023	0
2024	0
2025	0
2026	1.7
2027	0
2028	0
2029	0
2030	0
2031	0
2032	0

... ou



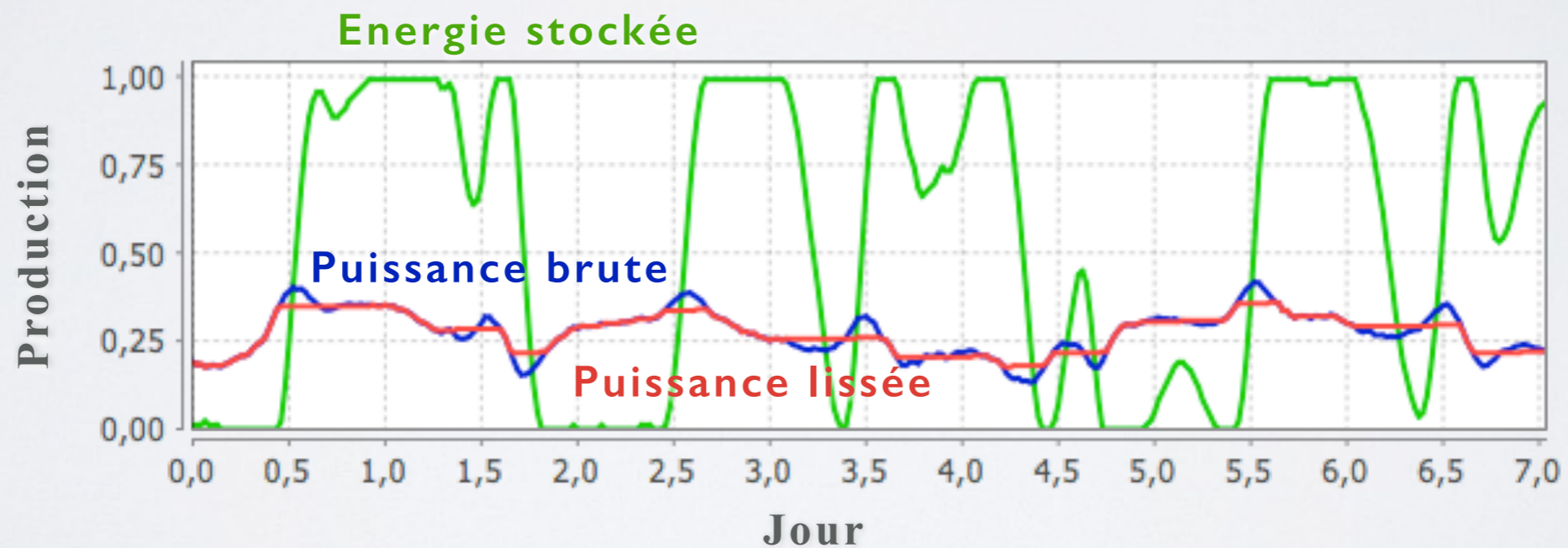
SUIVANT LE SCÉNARIO, UN STOCKAGE D'ÉNERGIE PEUT DEVENIR NÉCESSAIRE

Utilisation des chroniques et ajout d'un stockage :

Les sources fatales sont mélangées dans une macro-source

- hypothèse : préduction parfaite de la production future
- hypothèse (pour l'instant) : pas de rendement & rampe de puissance sur le stockage

0.5GW solaire + 0.5GW éolien + 0.17GWh stockage (1h de puissance moyenne)

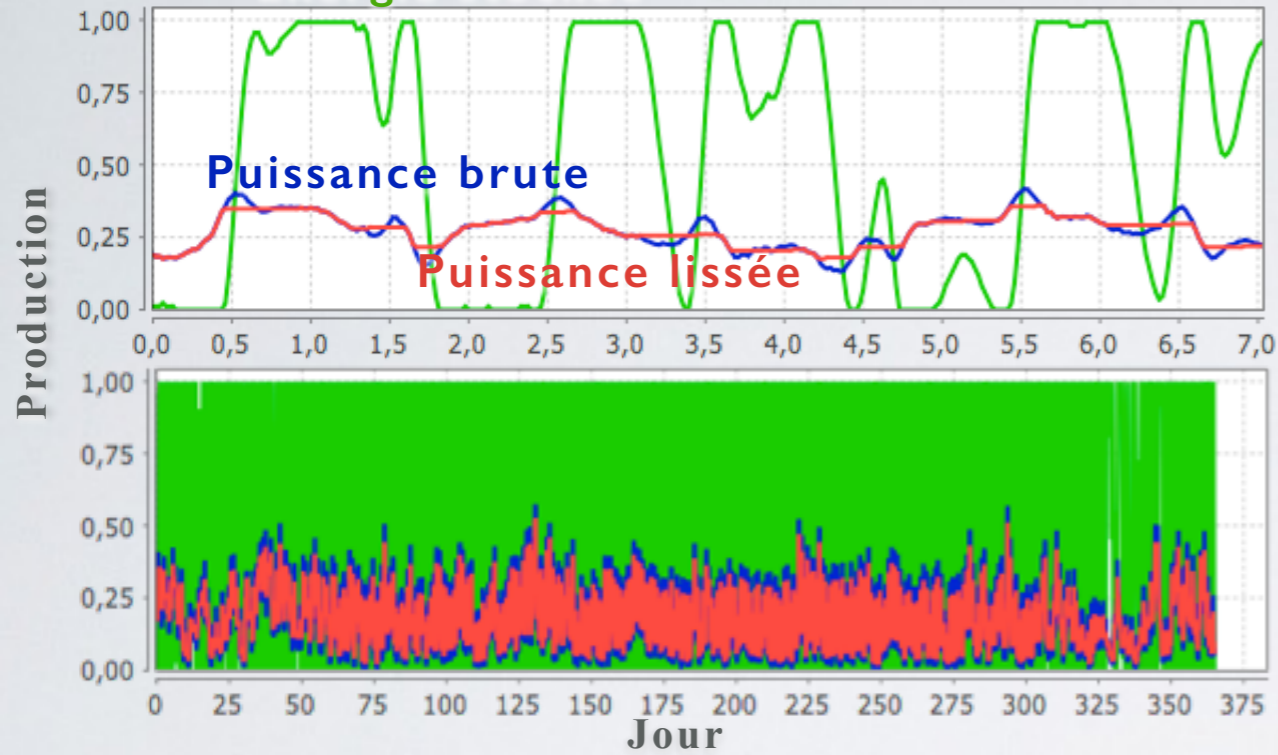


Les chroniques normalisées ne dépendent que des ratios vent/éolien et stockage/puissance

MIXOPTIM - MODÉLISATION DU STOCKAGE

**0.5GW solaire + 0.5GW vent +
0.17GWh stockage (1h de puissance moyenne)**

Energie stockée



**1.7GWh stockage
(10h de puissance moyenne)**

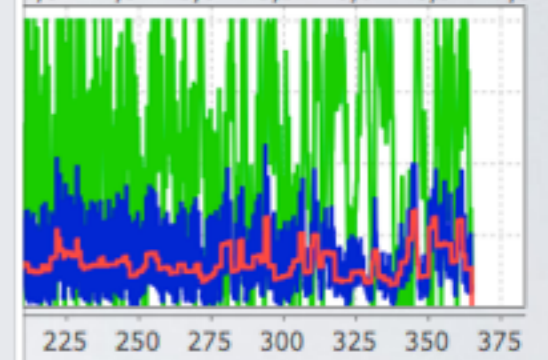
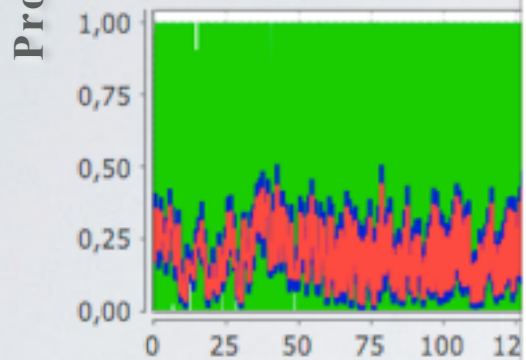
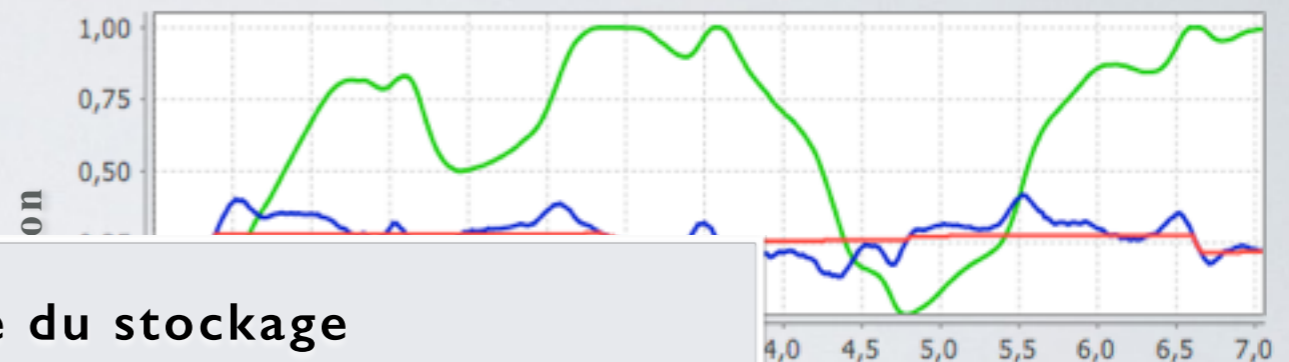
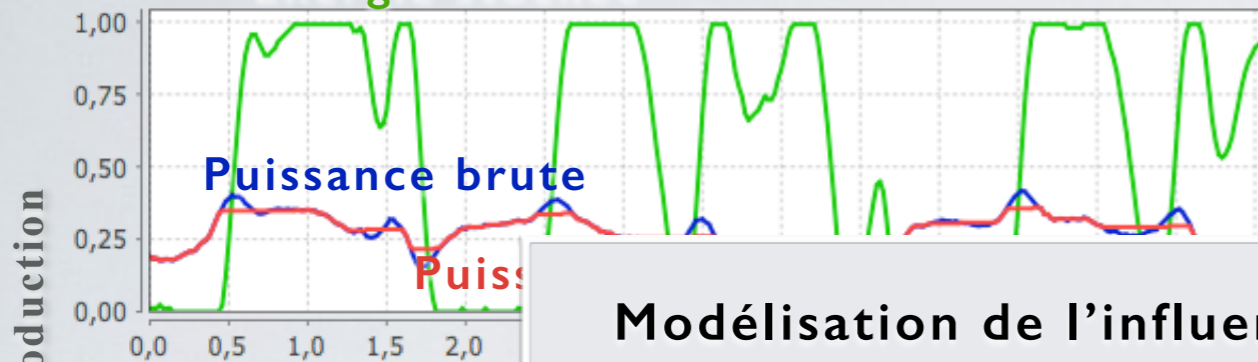


MIXOPTIM - MODÉLISATION DU STOCKAGE

**0.5GW solaire + 0.5GW vent +
0.17GWh stockage (1h de puissance moyenne)**

**1.7GWh stockage
(10h de puissance moyenne)**

Energie stockée

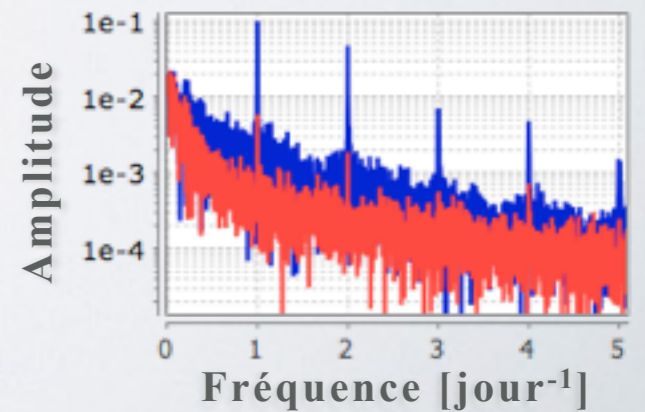
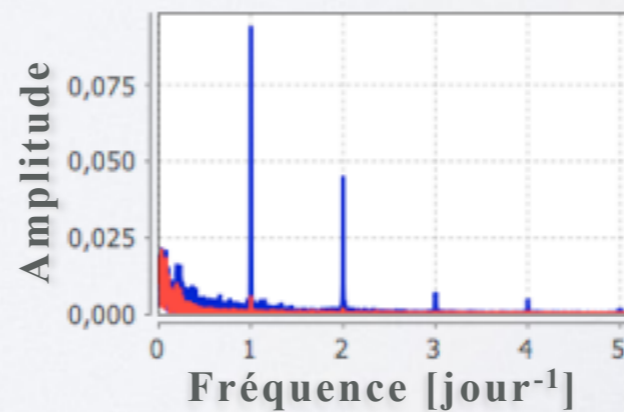
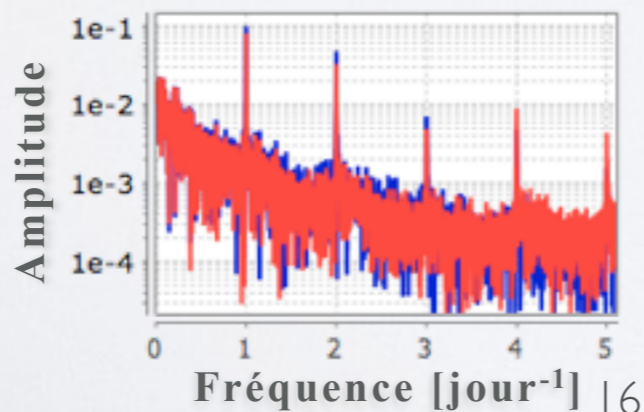
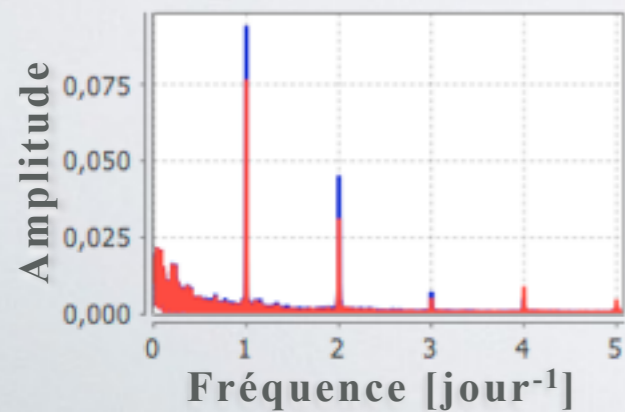
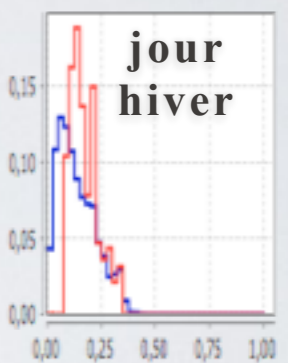
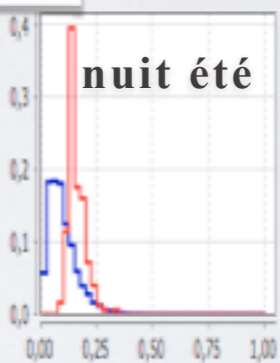
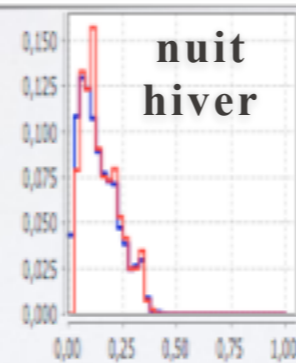
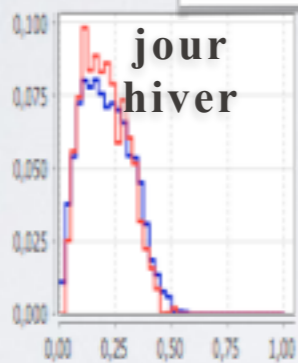


Modélisation de l'influence du stockage

- Loi de probabilité
- Analyse spectrale

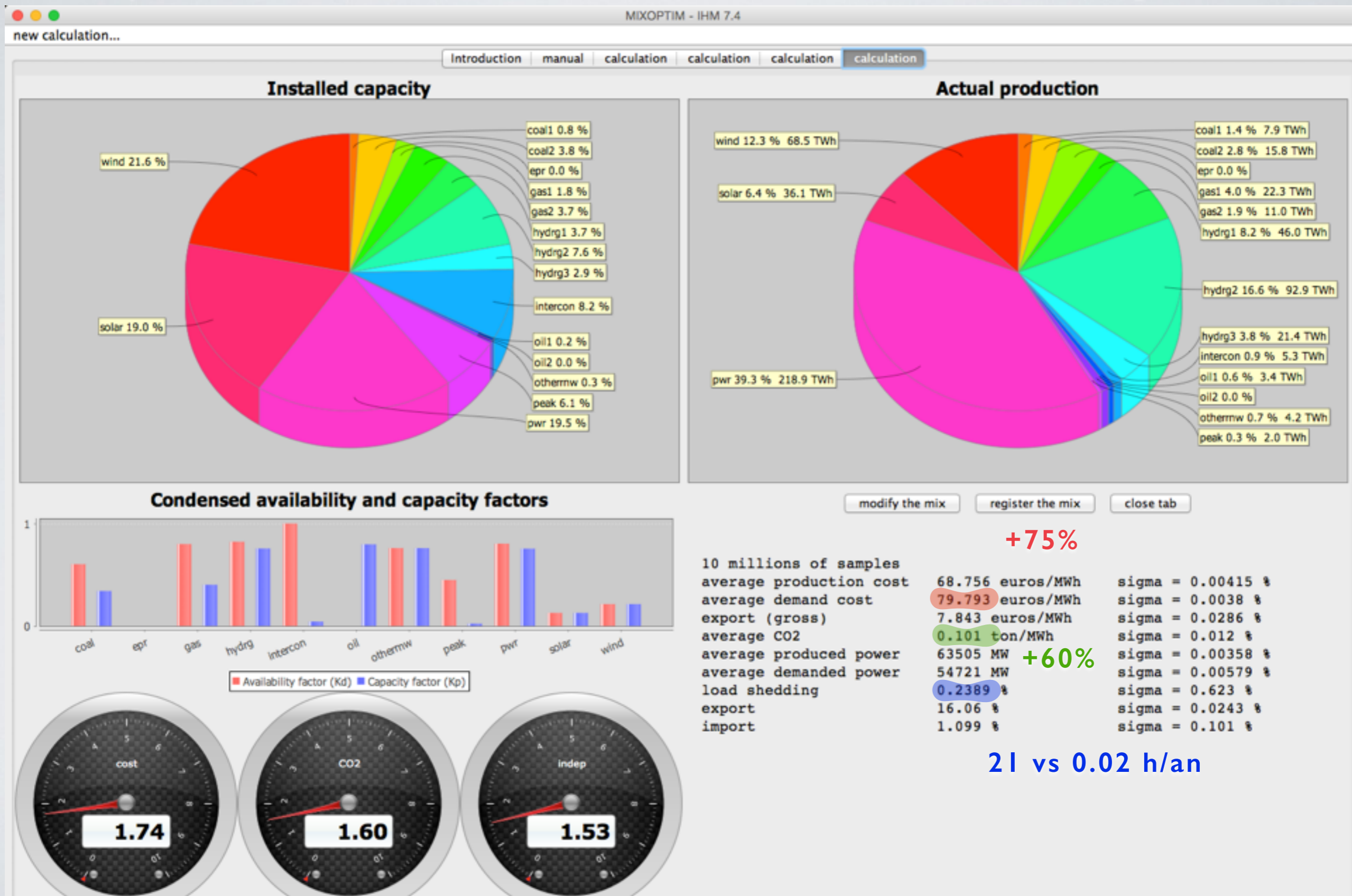
Observations

- stockage = resserrement de la densité de probabilité
- impact sur le mix ?



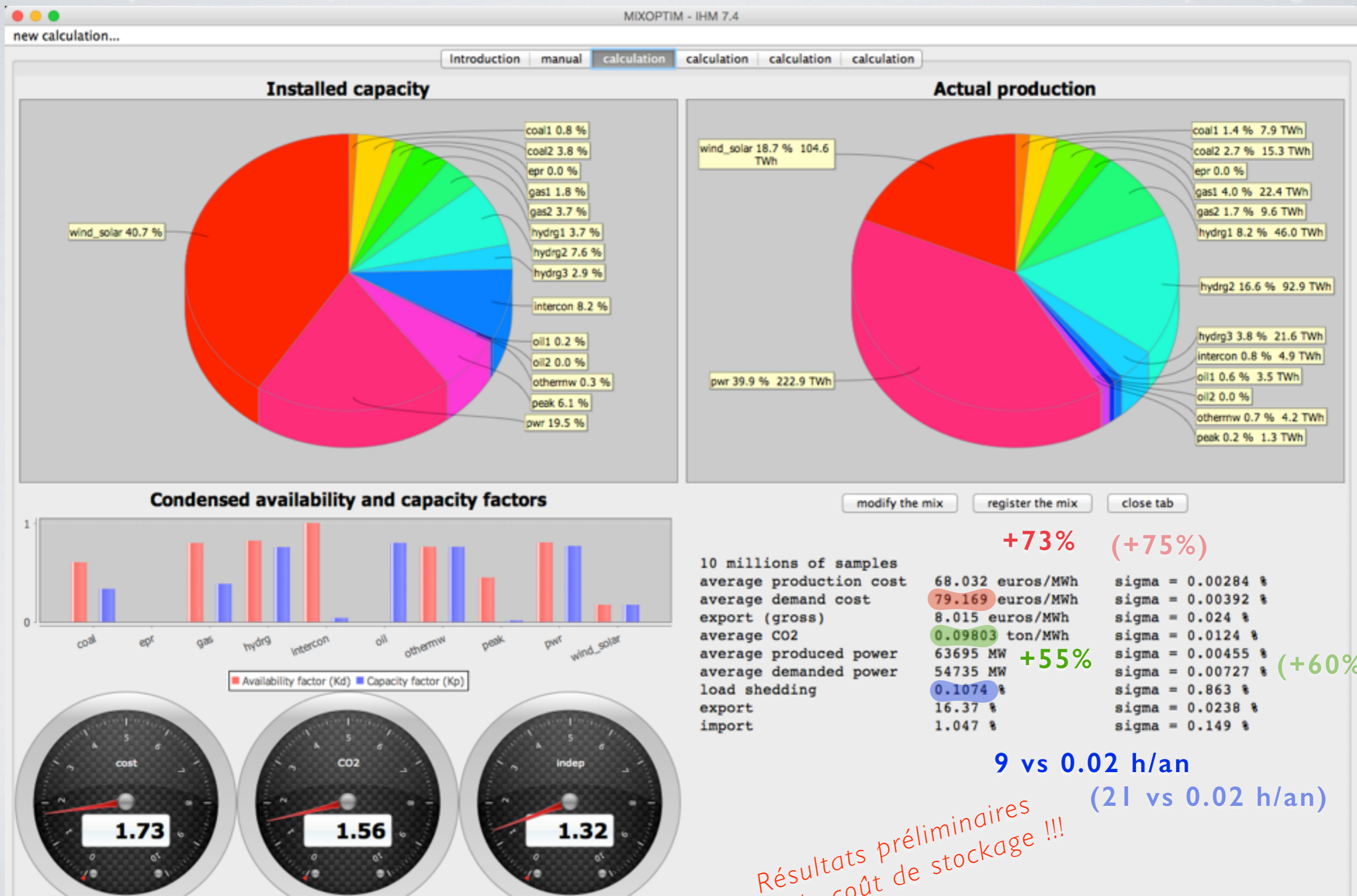
MIXOPTIM - ETUDE DE MIX AVEC STOCKAGE

Exemple du mix français - 30 GW REP + 30 GW éolien + 30 GW solaire + 0 stockage



MIXOPTIM - ETUDE DE MIX AVEC STOCKAGE

Exemple du mix français - 30 GW REP + 30 GW éolien + 30 GW solaire + 10 h de Pmoy stockage



Résultats préliminaires
pas de coût de stockage !!!

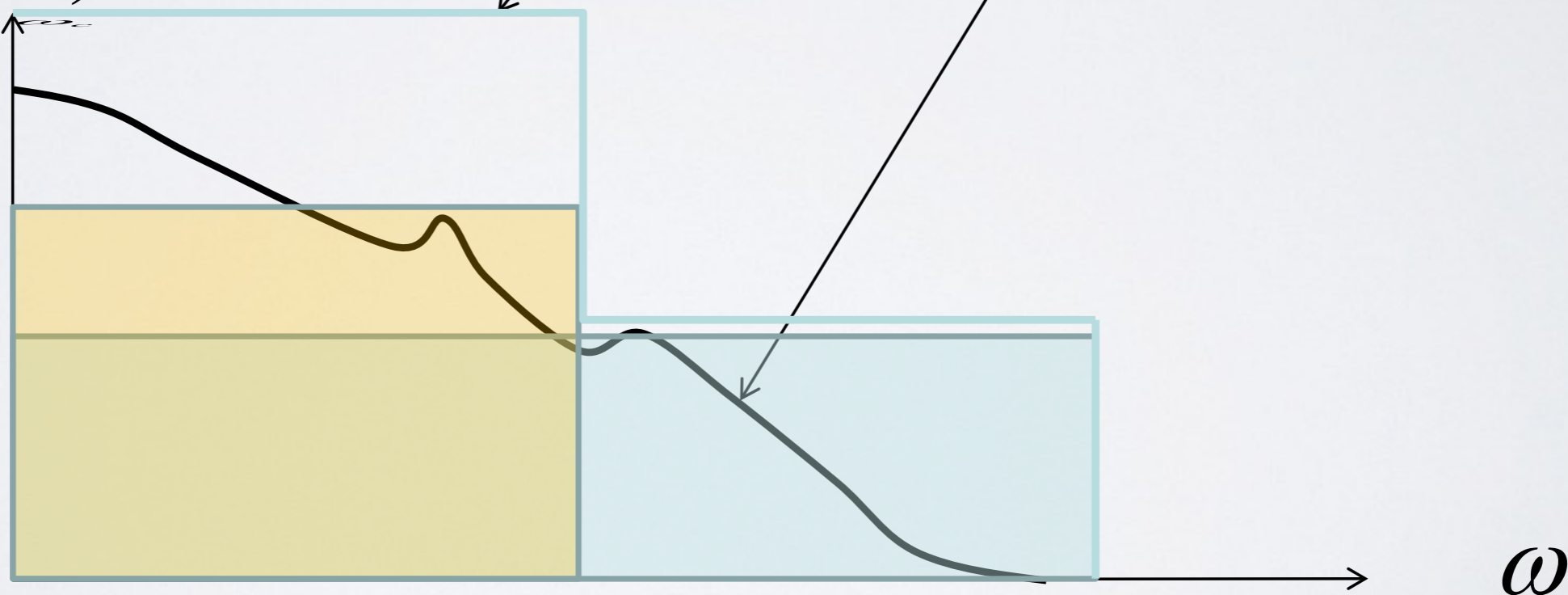
Gestion de l'intermittence et flexibilité temporelle des sources

Conditions nécessaires pour que le mix satisfasse la demande :

$$\sum_{\text{toutes sources}} \alpha_i \cdot Kd_i + \alpha_{imp exp} > D_{max}$$

$$\sum \alpha_i \cdot Kd_i \cdot c(\omega_{ci}) > 2\tilde{D}(\omega) + 2 \sum_{\text{fatales}} \tilde{P}_i(\omega)$$

$\tilde{P}, \tilde{D}(\omega)$

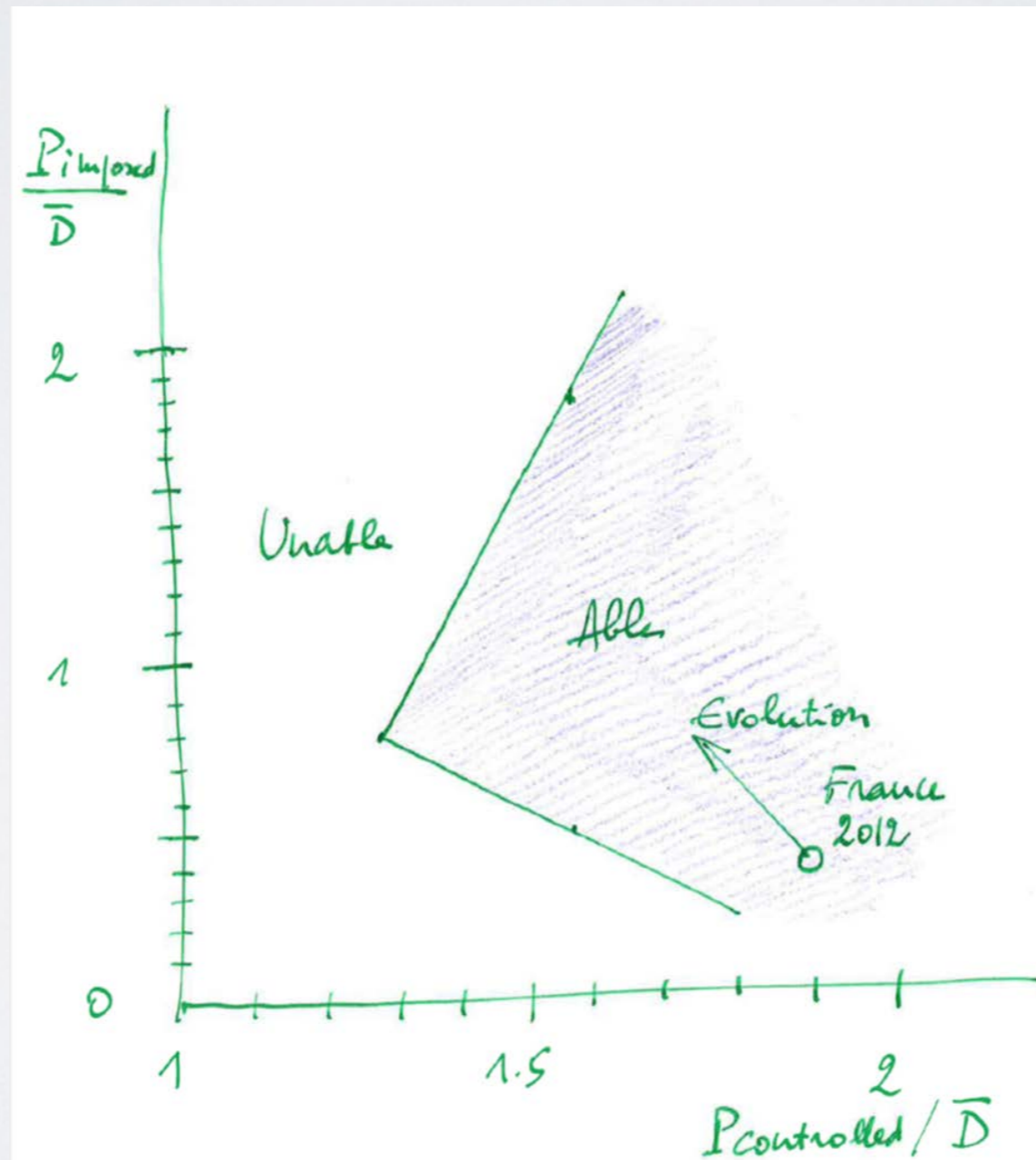


Gestion de l'intermittence et flexibilité temporelle des sources

Conditions nécessaires pour que le mix satisfasse la demande :

$$\sum_{\text{toutes sources}} \alpha_i \cdot Kd_i + \alpha_{\text{impexp}} > D_{\text{max}}$$

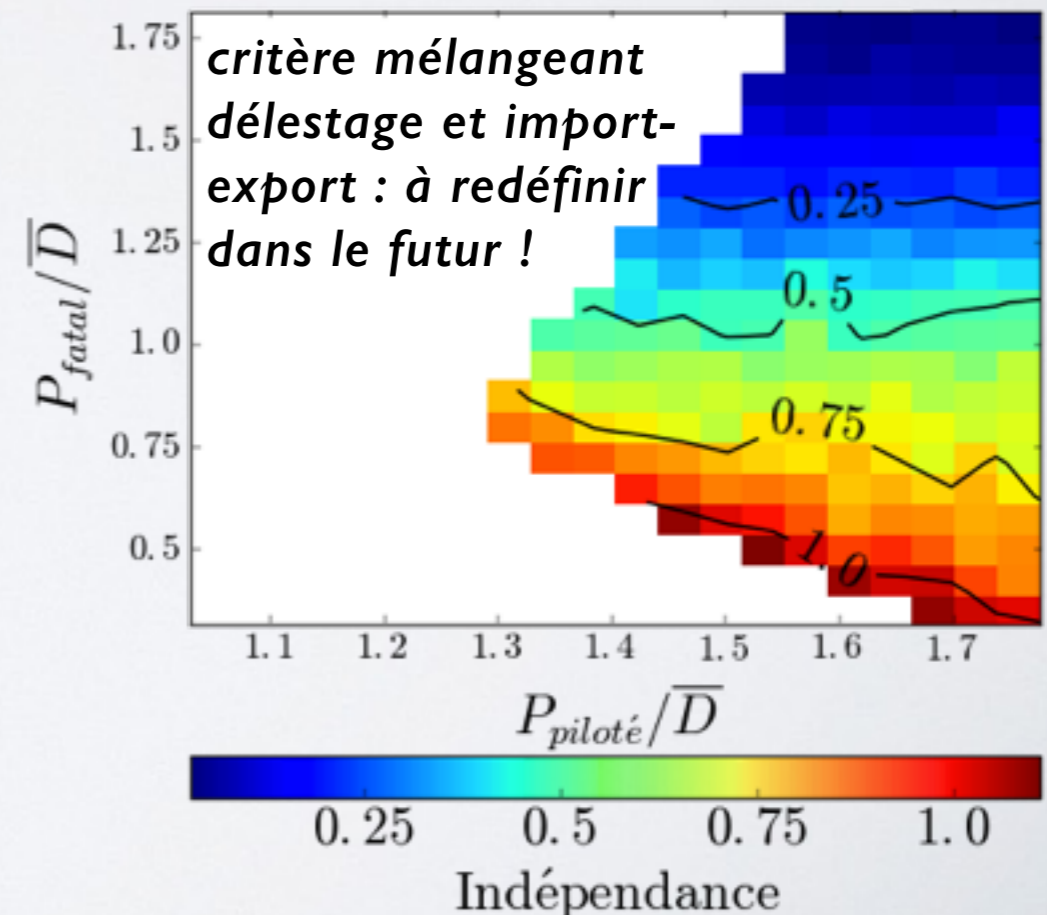
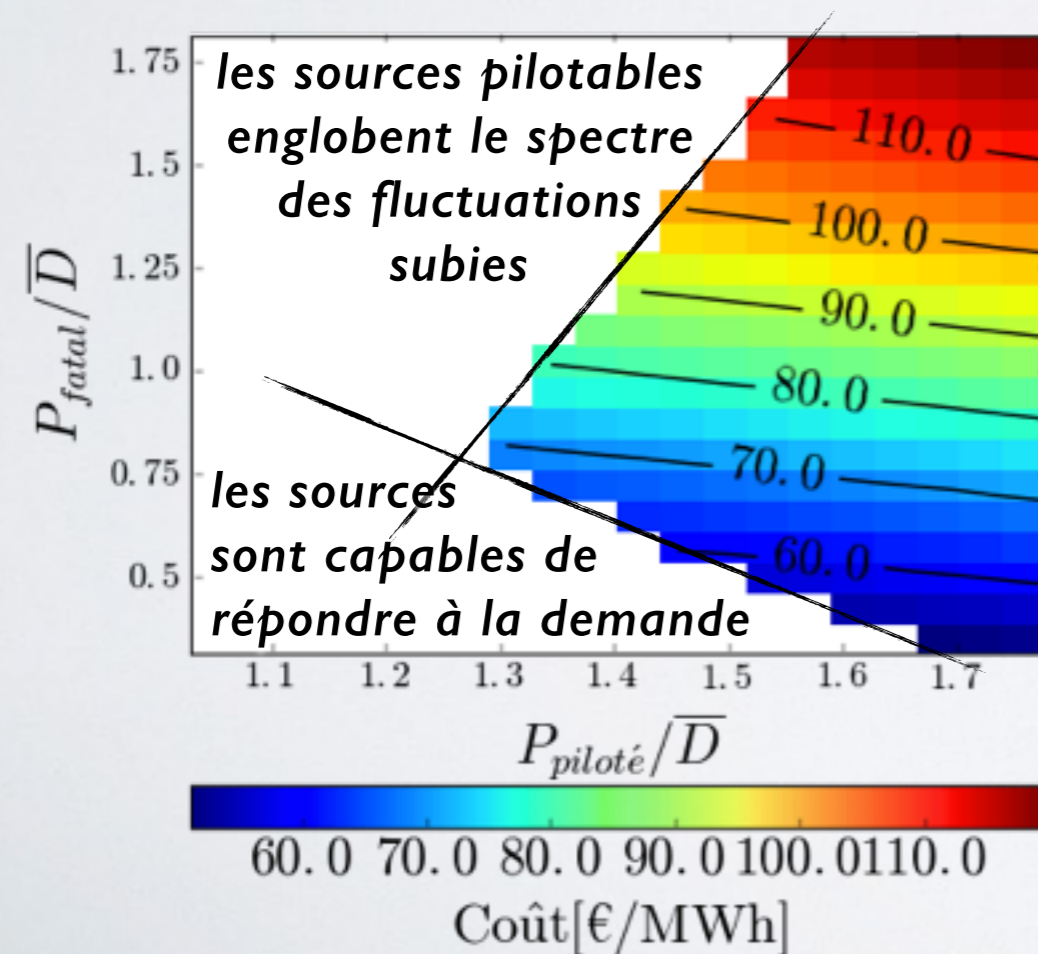
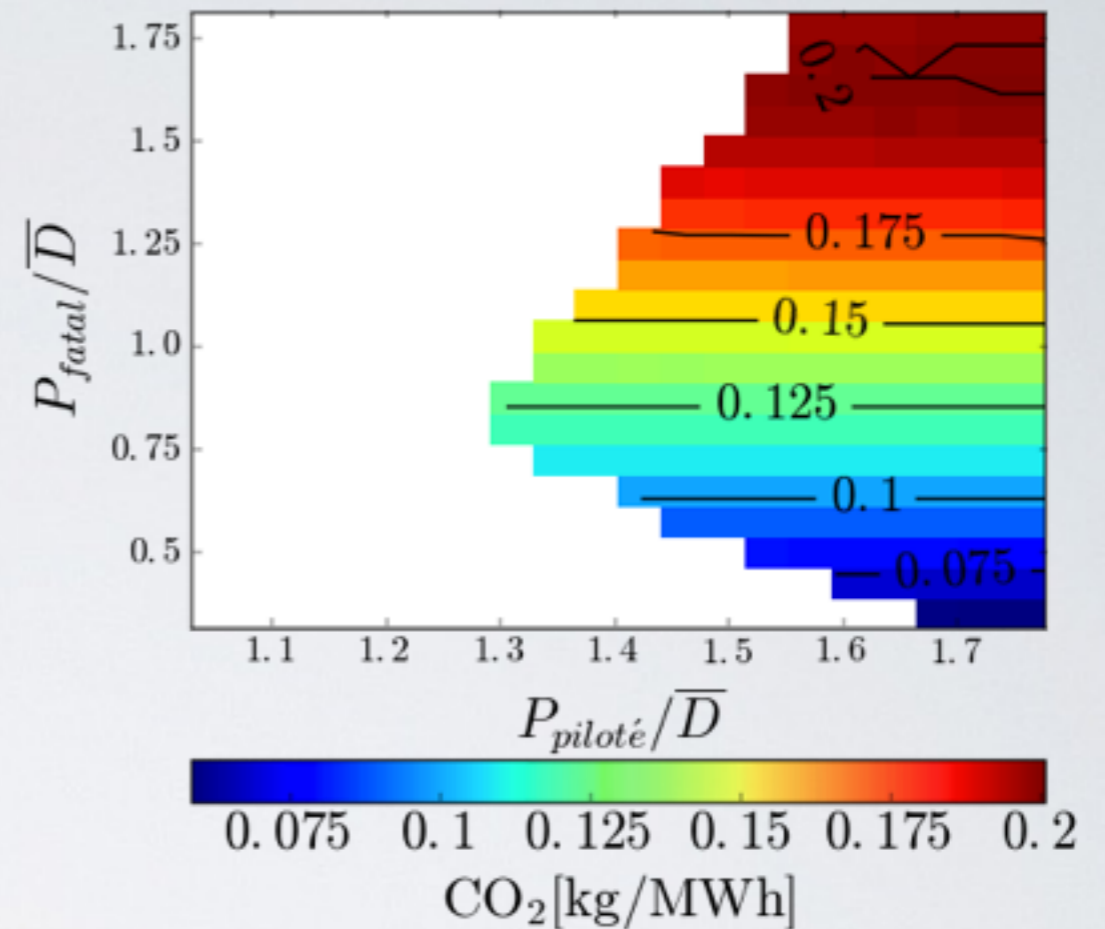
$$\sum_{\text{pilotees}} \alpha_i \cdot Kd_i \cdot c(\omega_{ci}) > 2\tilde{D}(\omega) + 2 \sum_{\text{fatales}} \tilde{P}_i(\omega)$$



MIXOPTIM - ÉTUDE SUR LA PÉNÉTRABILITE DES RENOUVELABLES

Etude de l'impact de l'introduction de sources fatales dans le mix :

- modification homothétique des sources fatales et pilotables
- critères de viabilité : capacité du mix à suivre les fluctuations de la demande et des sources renouvelables



Avancement MIXOPTIM :

- Etude de l'effet du stockage sur l'analyse spectrale et la modification des lois de probabilité
futur : ajout des contraintes / coûts
- Automatisation des scénarios & études des scénarios de l'ANCRE
futur : nouveaux scénarios / faciliter l'utilisation
- Etude de la pénétrabilité des renouvelables dans le mix
futur : pilotable à la baisse
- Validation avec d'autres codes - benchmark IGNIS
futur proche : cf. talk suivant

Code disponible :

- Accès libre sur internet : <http://app.mixoptim.org>
- Source (Fortran 95! et java) disponible sur simple demande

Publications :

- 2 articles : Eur. Phys. J. Plus (2014) 129: 198 & Eur. Phys. J. Nuclear. Sci. Technol. (2015)
- 3 Conférences : ICAPP 2015 Nice, EST (Energy Science and Technology) 2015 Karlsruhe, Conference Common Future Under Climate Change COP21 2015 Paris
- A venir : *“Conditions for an electrical mix to fulfill a fluctuating demand on a territory. The merits of the various controllable sources; The influence of interconnexion and of electricity storage.”*