

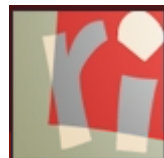
Optimisation & systèmes électriques

olivier.teytaud@inria.fr

But: l'optimisation de grands systèmes électriques.

Avec des partenaires industriels au niveau données et modèles.

Notre expertise est au niveau des composants numériques.



Optimisation & systèmes électriques

olivier.teytaud@inria.fr

I. La question la plus importante de l'univers

II. Exemples à suivre ou ne pas suivre

III. Le problème: ce qu'on ne sait pas

IV. Alors, comment on fait ?

L'énergie c'est bien!

Les 30 glorieuses

- Plein emploi
- Croissance
- Baby boom

s'arrêtent au choc pétrolier.

Corrélations éco/énergie.

La pollution c'est compliqué: les chiffres de *nextbigfuture*

Energy Source	Death Rate (deaths per TWh) OLD
Coal - world average	161 (26% of world energy, 50% of electricity)
Coal - China	278
Coal - USA	15
Oil	36 (36% of world energy)
Natural Gas	4 (21% of world energy)
Biofuel/Biomass	12
Peat	12
Solar (rooftop)	0.44 (less than 0.1% of world energy)
Wind	0.15 (less than 1% of world energy)
Hydro	0.10 (europe death rate, 2.2% of world energy)
Hydro - world including Banqiao)	1.4 (about 2500 TWh/yr and 171,000 Banqiao dead)
Nuclear	0.04 (5.9% of world energy)

Le charbon plus radioactif que le nucléaire ?

Ces chiffres sont là pour être contestés.
Et le nombre de morts n'est pas forcément le seul critère.

Coûts: à vous de voir

- Coûts économiques
- Coûts écologiques
 - Air
 - CO2 (et assimilés)
 - Eau
 - Stockage déchets
 - ...
- Toute autre “externalité”
 - Mortalité de maintenance
 - Défaillance

L'énergie c'est cher!

Desertec = centaines de milliards d'euros pour mettre des renouvelables en Afrique.

Medgrid = réseaux pour transporter cette électricité.

Ca vaut la peine de bien réfléchir à ce qu'on fait.

L'énergie ça pollue

Changement climatique: oui c'est important...
mais on ne fait rien. (changera ?)

Pollution de l'air: tue plus que sida + paludisme ?

Le charbon = pas cher + encore abondant.

Nucléaire: Tchernobyl + Fukushima

L'électricité c'est compliqué

Trop de production ==> on casse tout.

Pas assez de production ==> on casse tout.

==> équilibre instantané.

==> mais certaines énergies sont intermittentes (éoliennes) ou lentes (certains nucléaires).

Comparer centrales seulement du point de vue du prix au MWh = dire n'importe quoi.

Payer des gens à ne rien faire ?

Équilibre prod./demande + éolien intermittent

=

besoin de centrales pour moments sans vent.

Au prix de marché, ces centrales sont déficitaires.

==> Marché de capacité ?

==> Payer les centrales même si elles ne travaillent pas ==> modèle économique complexe dans contexte dérégulé

L'énergie c'est collectif

L'énergie implique des partages (d'heures de pointe, d'heures creuses, de réserves...), entre pays par exemple.

Tout le monde jouera-t-il le jeu ?

Maximiser le surplus social; faire confiance au législateur pour inciter dans le bon sens.

Optimisation & énergie

I. La question la plus importante de l'univers

II. Exemples à suivre ou ne pas suivre

III. Le problème: ce qu'on ne sait pas

IV. Alors, comment on fait ?

Danemark

Eoliennes offshore.

33% de la conso. danoise



Besoin de

- connections, pour “éponger” la variabilité
- ou de centrales thermiques pour compléter.
==> parfois prix négatifs !

==> 8.4 t CO2 per person (France 6.1, Usa 17.2)

Stockage: ajouter des véhicules électriques ?

Chine

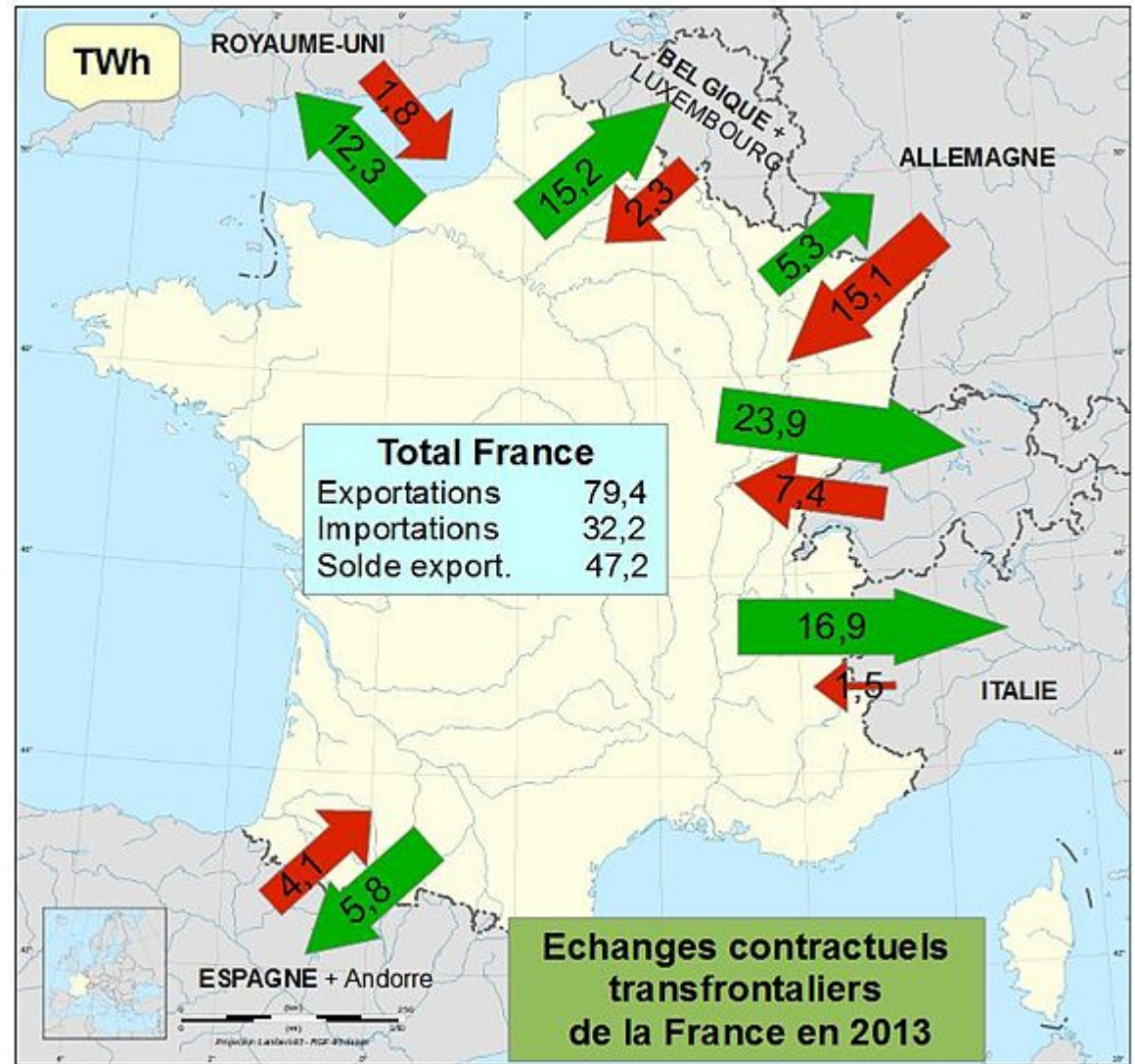


- Charbon massif
==> pollution de l'air.
- Fort producteur de photovoltaïque
(mais pollution à la construction)
- Grandes connections (courant continu) + éolien

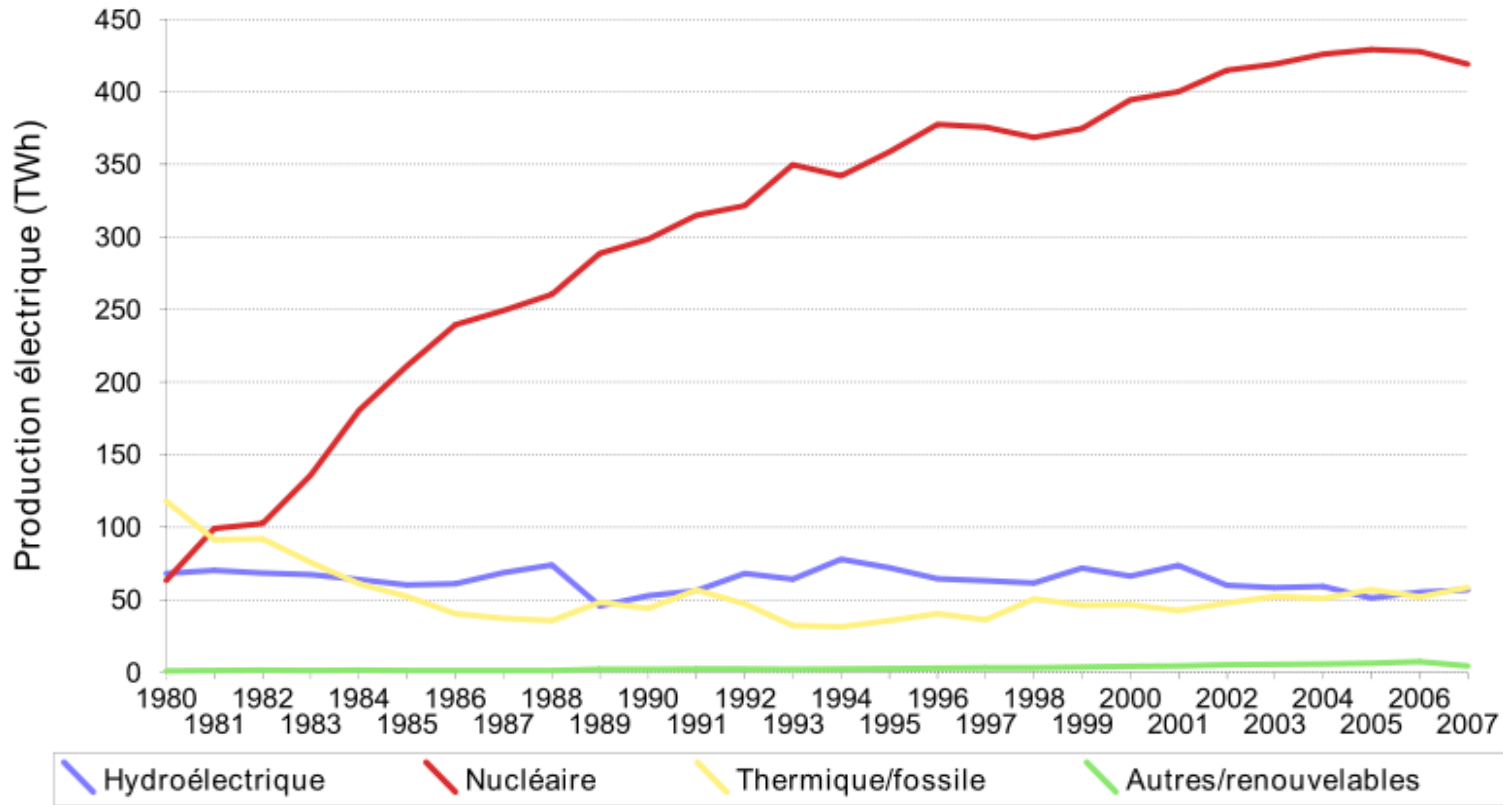
Importer de pays sans normes écologiques ?
On ne veut pas intoxiquer les bébés chinois.

France

- Plein de nucléaire
- Exportations
- Chauffage électrique
(grosses pointes = imports)
- En 2013, achat charbon et renouvelable à l'Allemagne



Répartition de la production électrique française par sources d'énergie



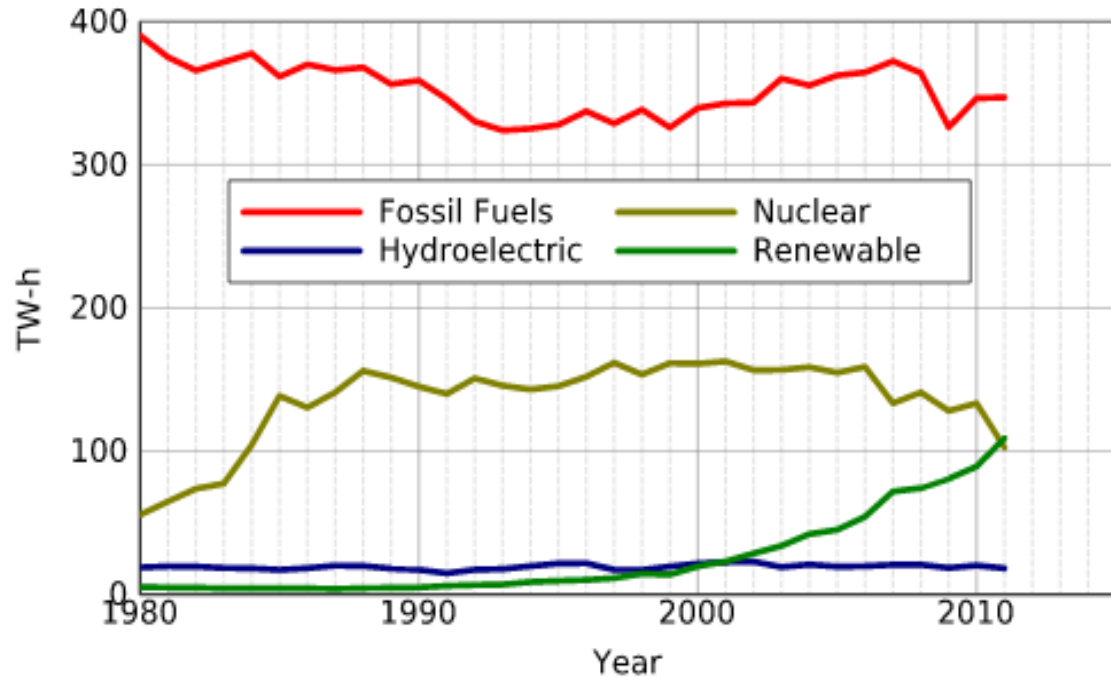
France

Plein de nucléaire.

Peu de CO2 par habitant
(aussi grâce au format des villes).

Risque-t-on un Fukushima à côté de Paris ?
Risque terroriste ?

**Electricity Production in Germany
(including former East and West)**



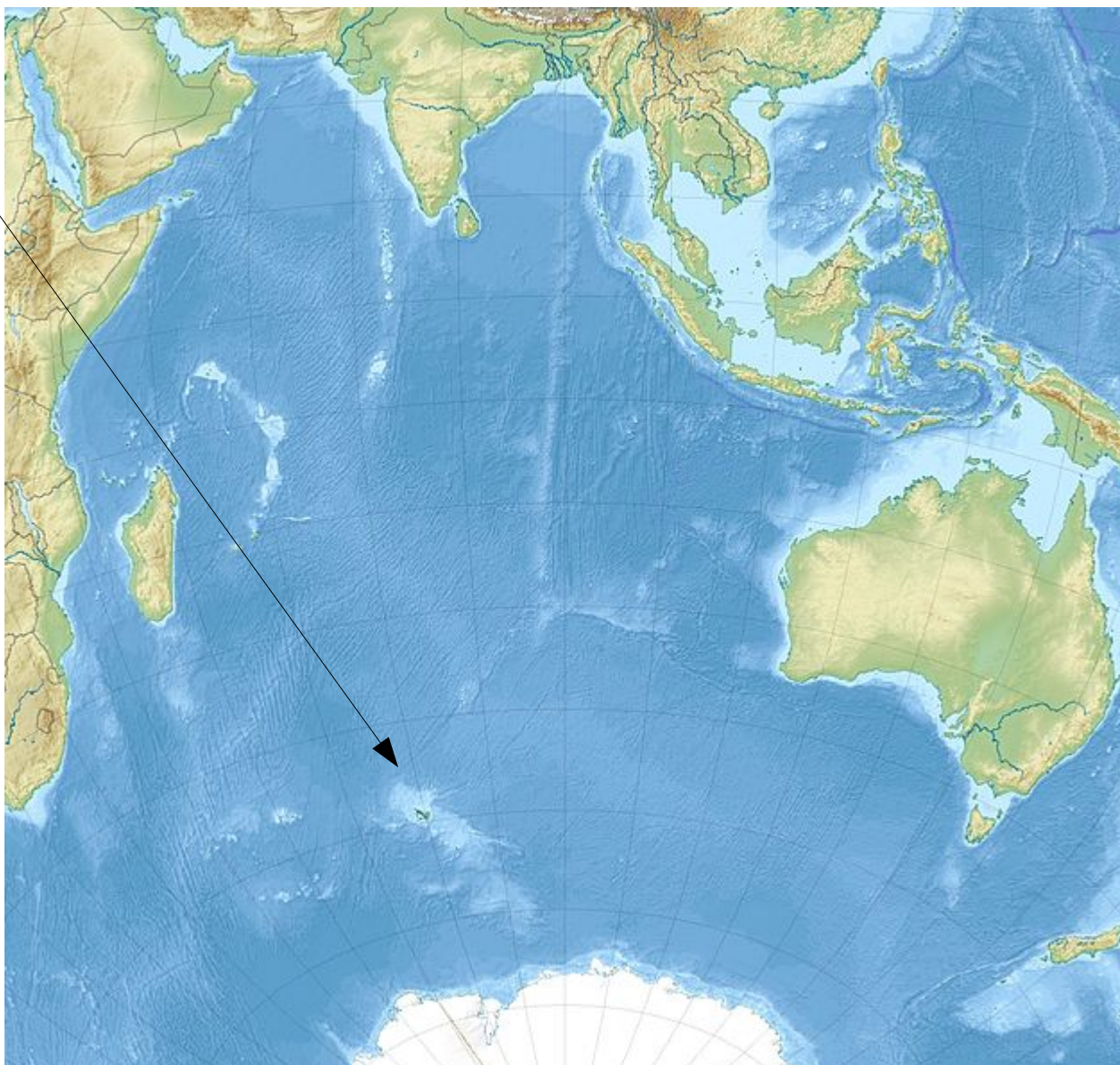
Allemagne

==> arrêt progressif
du nucléaire

==> échanges avec la France

==> 9.6 t CO2 par an et par hab. (> France)

Là !



Kerguelén: soyons fous ?

Grande surface.

Vent 35 km/h fréquent,
150 km/h courant,
parfois 200 km/h.

Idéal pour éoliennes.

Mais rien aux alentours pour consommer.

Fabriquer du carburant de synthèse ?

Réserve naturelle.



Groënland: encore plus fou ?



Couvrir les côtes d'éoliennes ?
Connecter aux Amériques et à l'Europe ?
(décalage des heures de pointe)

==> un très gros bateau pour porter les câbles ?

Scandinavie



En France on n'a plus
la place pour mettre
de l'hydroélectrique;
en Scandinavie on peut.

On tire des câbles ?

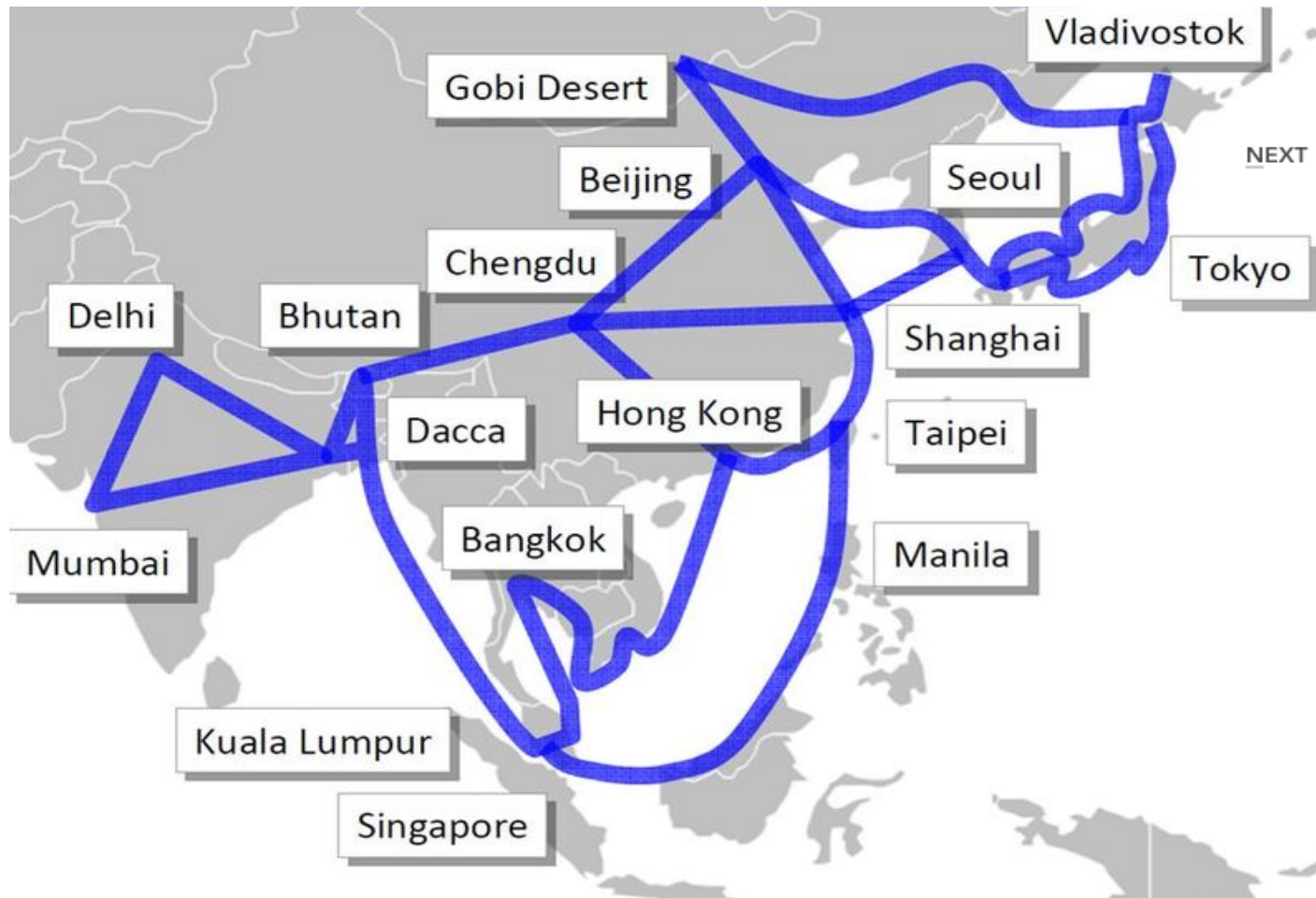
Le stockage hydro est pratique pour “lisser” les
renouvelables.

Ou stockage dihydrogène ?

Asie (pas pour demain!):

impliquerait une très bonne entente.

==> Centrales dépendantes les unes des autres.



Optimisation & énergie

I. La question la plus importante de l'univers

II. Exemples à suivre ou ne pas suivre

III. Le problème (technique): ce qu'on ne sait pas

IV. Alors, comment on fait ?

On ne sait pas

La météo <== mais on sait estimer la probabilité de telle ou telle météo.

Le photovoltaïque dans 30 ans <== alors là par contre on ne sait pas grand chose.

L'économie d'énergie dans 30 ans.

La prise de conscience écologique dans 30 ans <== on prend les paris ?

...

Probabilités et autres incertitudes

Quand on a des probabilités, on peut discuter:

- La solution la meilleure en moyenne ?
- La solution la meilleure avec proba 95% ?

Mais décider face à des aléas sans probas ?

Plusieurs scénarios: le solaire décolle, ou le stockage s'améliore ?

- Demain = aujourd'hui ? (pas très réaliste...)
- La solution au pire cas ? (Wald)
Pire cas = trop pessimiste, peu satisfaisant
- La solution de moindre regret ? (Savage)
 - Dieu = omniscient ==> décision parfaite
 - Regret = pire perte par rapport à Dieu

$\text{choix} = \underset{\text{choix}}{\text{argmin}} \max_{\text{cas}} \text{coût}(\text{choix}, \text{cas}) - \text{coûtDieu}(\text{cas})$

choix cas

Et si on s'autorise des solutions stochastiques ?

$$\text{choix} = \underset{\text{choix}}{\operatorname{argmin}} \max_{\text{cas}} \text{coût}(\text{choix}, \text{cas}) - \text{coûtDieu}(\text{cas})$$

- Optimiser Wald ou Savage *en autorisant des stratégies stochastiques* améliore le critère
- Un peu comme dans pierre/feuille/ciseaux (au pire cas sur l'adversaire, je joue aléatoire)
- Proposer aux japonais de construire une centrale nucléaire *avec probabilité 23% ?*

Optimisation & énergie

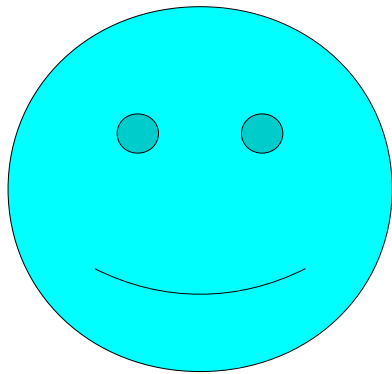
I. La question la plus importante de l'univers

II. Exemples à suivre ou ne pas suivre

III. Le problème: ce qu'on ne sait pas

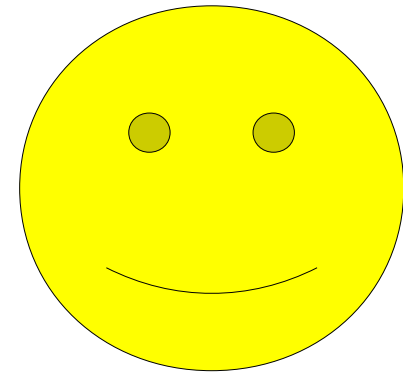
IV. Alors, comment on fait ?

L'investissement et la gestion

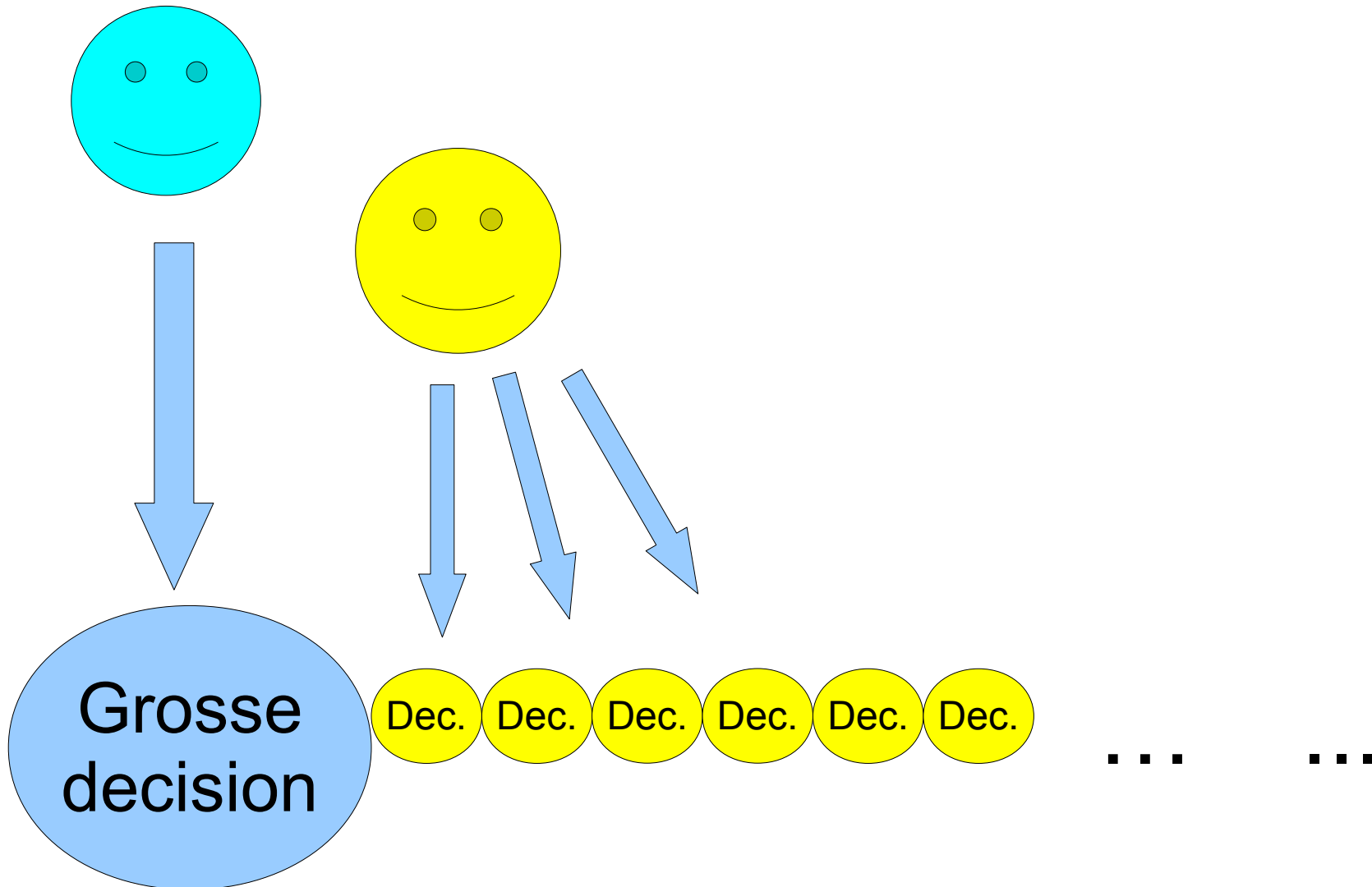


Décide des achats
(centrales, réseaux)

Gère les
centrales



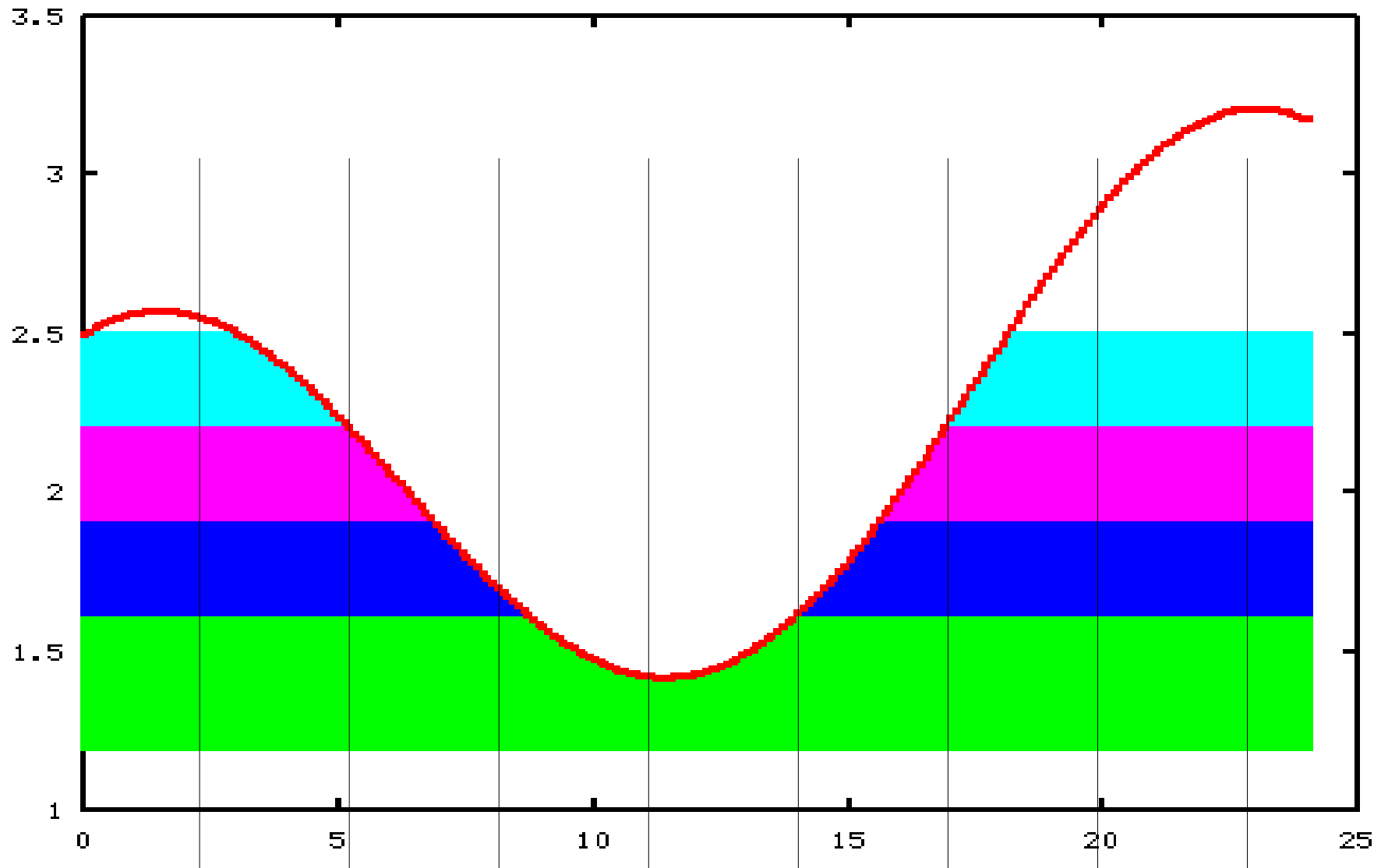
Décision stratégique puis décisions tactiques



Décisions tactiques

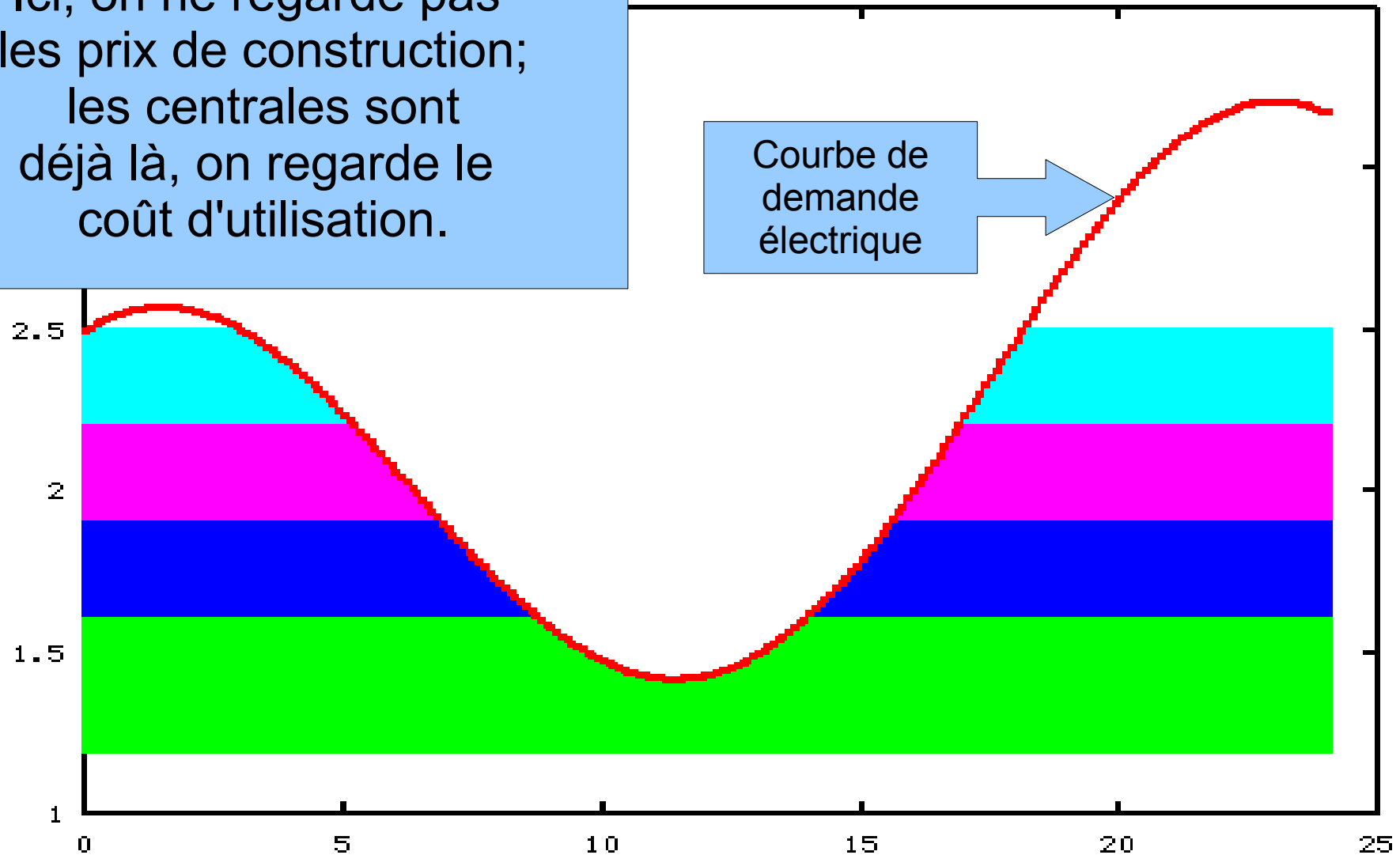
- Regardons déjà la partie tactique.
- Les centrales sont là, comment les gère-t-on ?

Pour chaque heure, pour chaque centrale, décider puissance

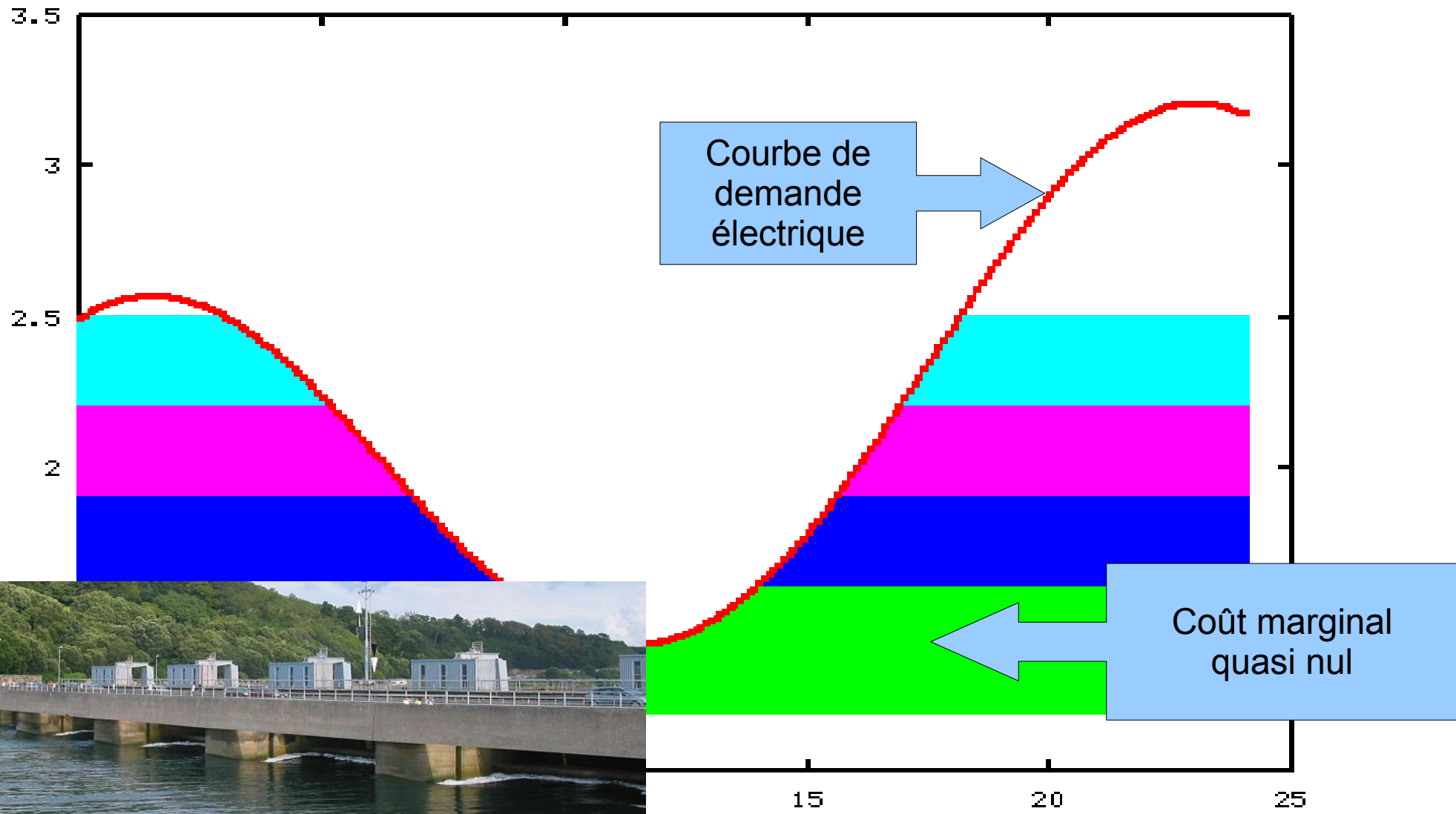


Version simple

Ici, on ne regarde pas les prix de construction; les centrales sont déjà là, on regarde le coût d'utilisation.

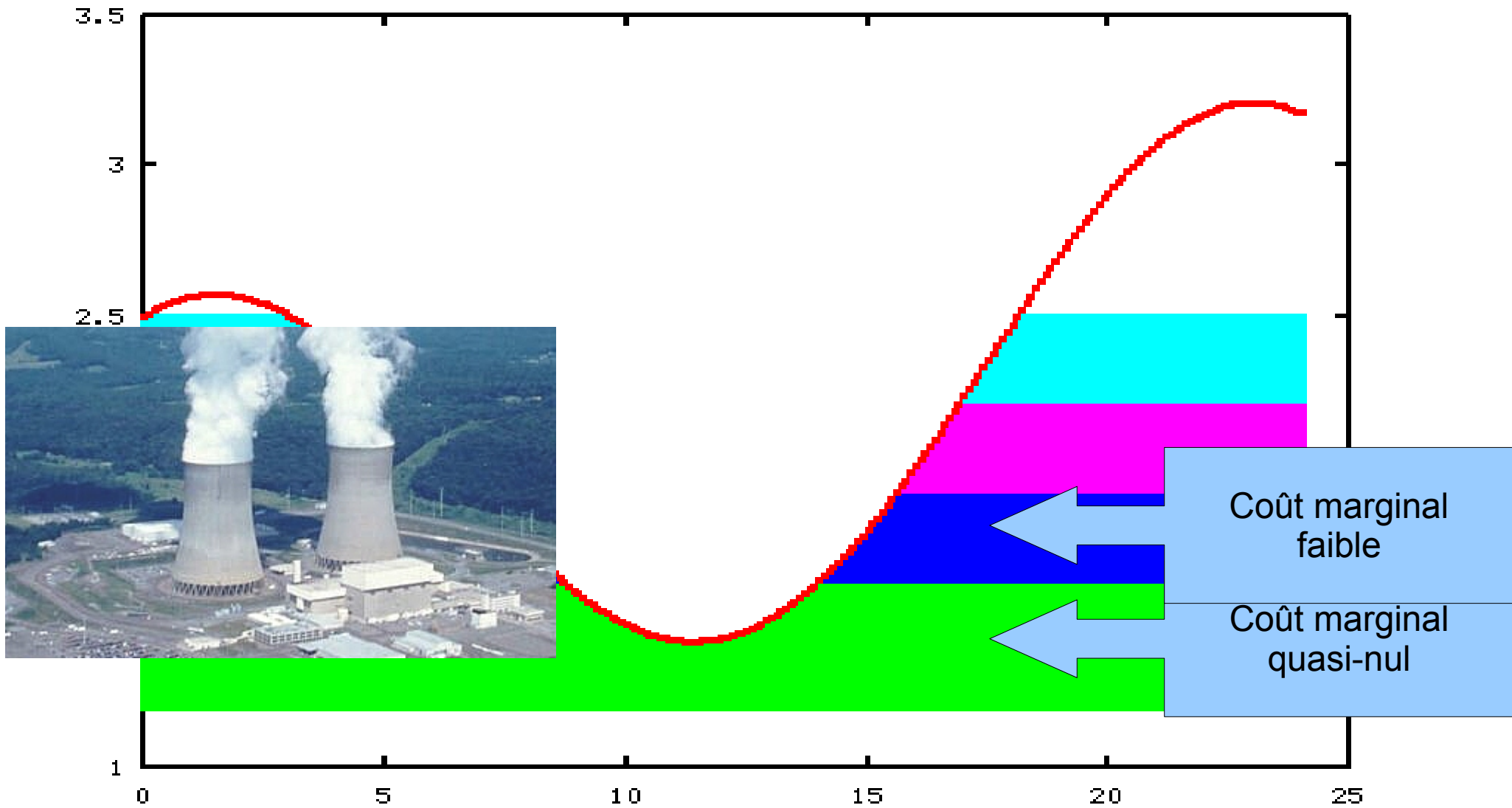


Version simple

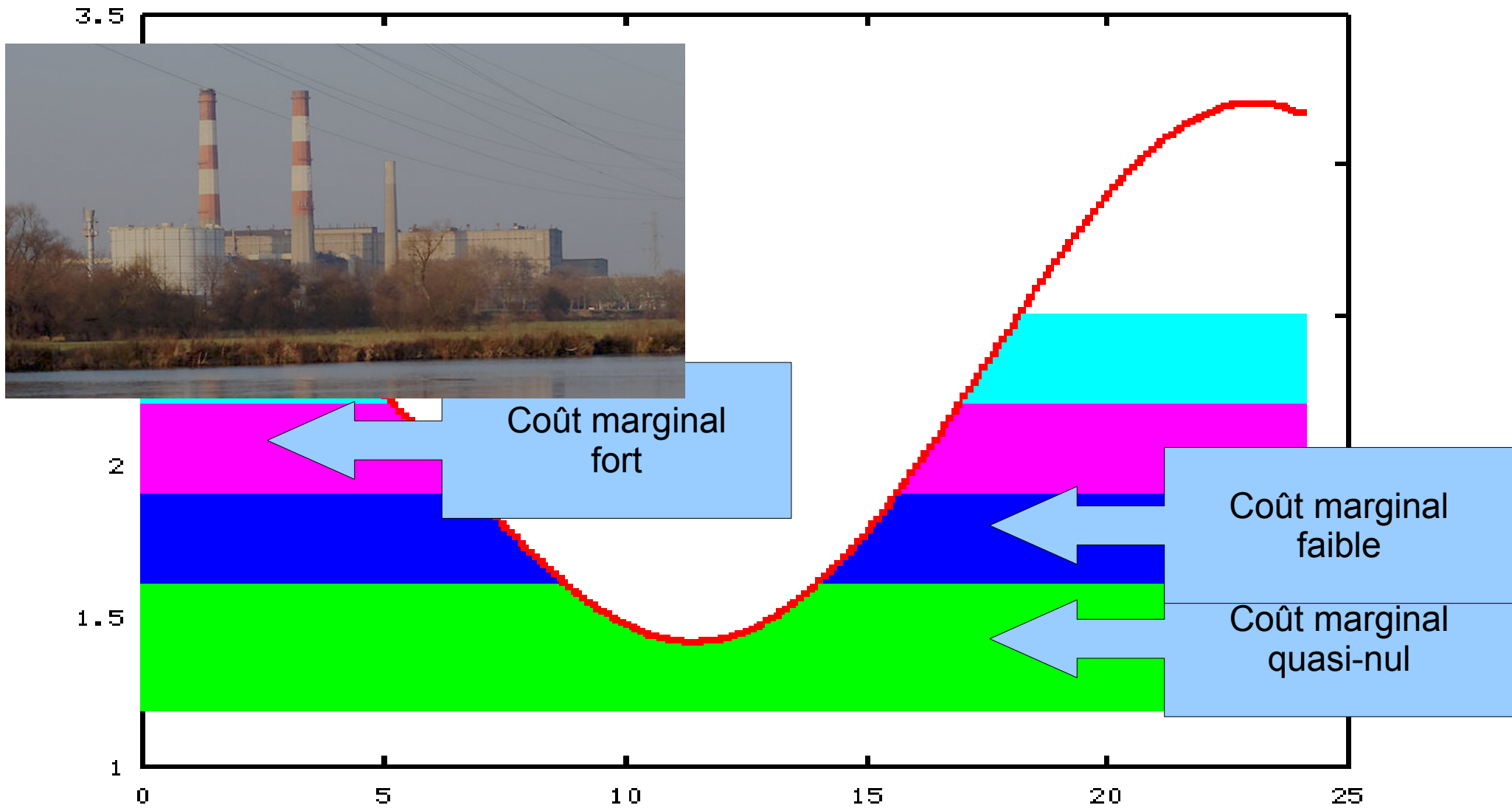


USINE MAREMOTRICE

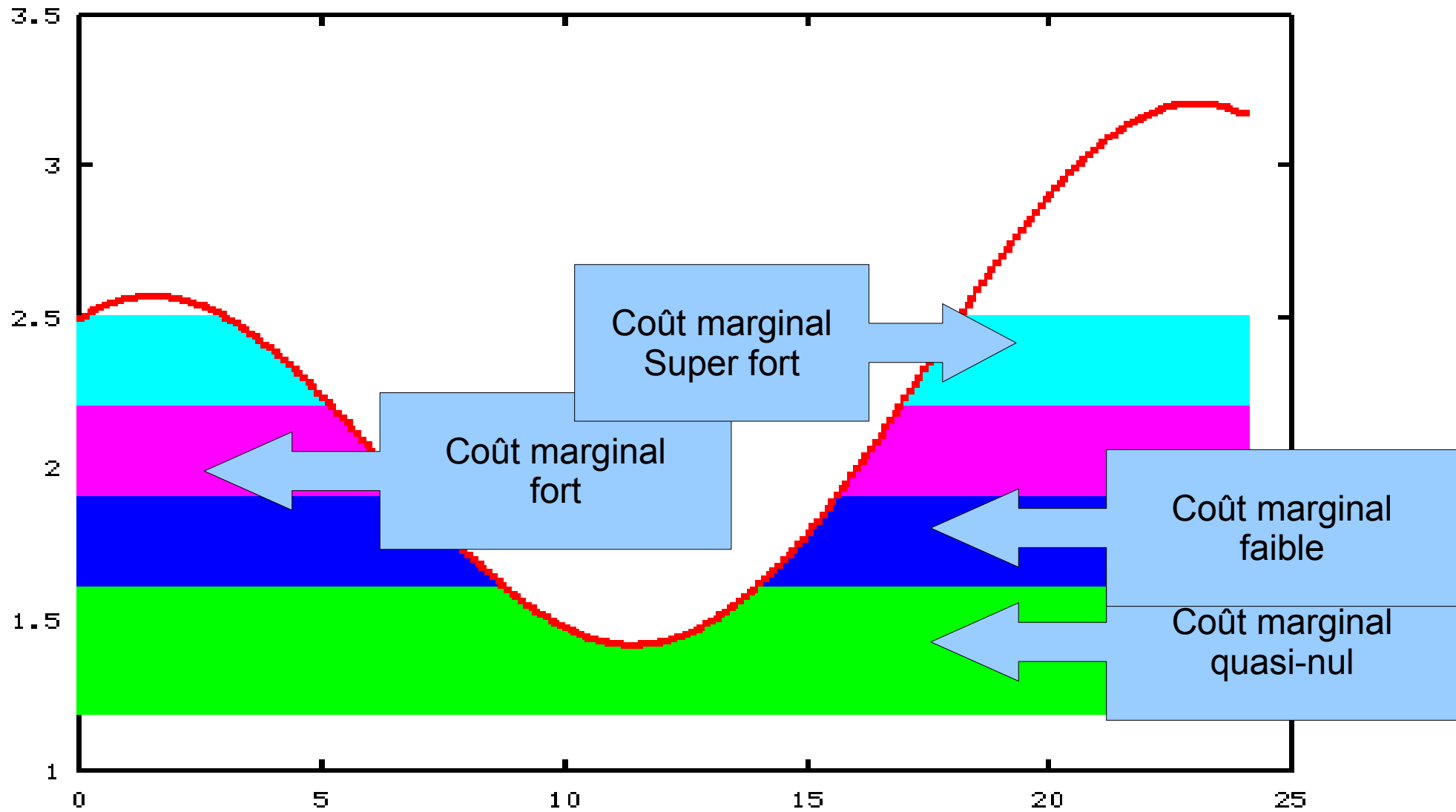
Version simple



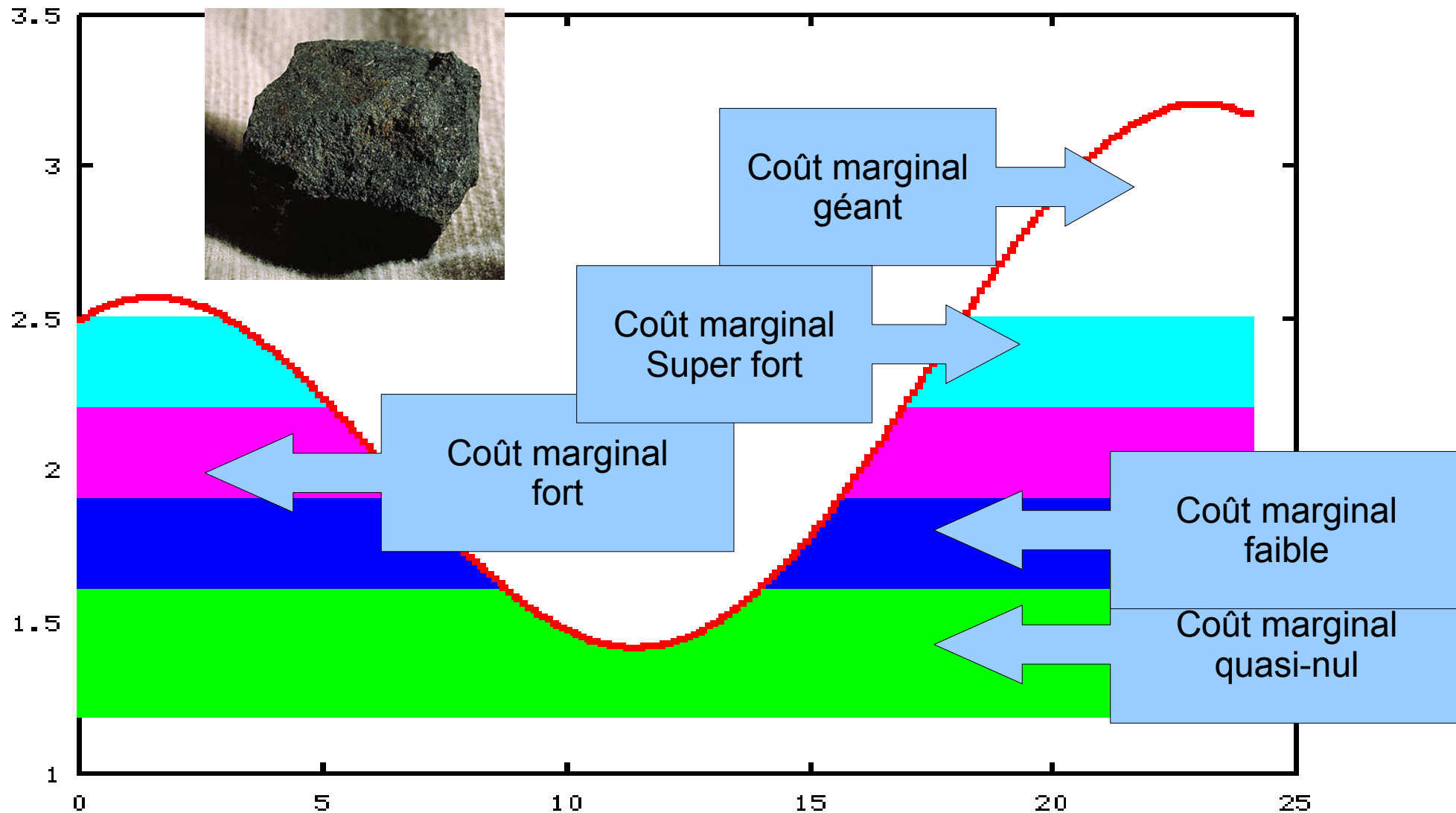
Version simple



Version simple



Version simple (si on pénalise le charbon...)



Cet exemple était 100% fictif

- On a fait comme si le charbon était le plus cher.
- En fait à l'échelle mondiale on met le paquet sur le charbon.
- Parce qu'il y en a encore beaucoup et que c'est pas cher.

Alors comment on fait ?

- Version très très très simplifiée (tri, $N \log(N)$):
 - Je connais la demande (courbe rouge)
 - J'allume “pile” pour la satisfaire, dans l'ordre des coûts croissants ==> chaque pas de temps géré séparément
- Version moins simplifiée (non séparée)
 - Je prends en compte les coûts/vitesse d'allumage
 - J'ajoute plein de contraintes des centrales
 - J'écris $f(x)$ = coût total si décision x
 - Je cherche “argmin f ”, le x qui minimise $f(x)$

Malheureusement c'est (encore) plus compliqué que ça!

- Tout ça est aléatoire
 - Pannes
 - Météo
 - Consommation
 - ...
- Et il y a des stockages (actions supplémentaires possibles)
- Et je peux demander à des entreprises de consommer moins (arrangements économiques)

Optimiser des décisions

10h: j'allume certaines centrales, je les règle

10h15: j'observe météo et consommation

10h30: je rerègle mes centrales

10h45: j'observe météo et consommation

11h00: je rerègle mes centrales

11h15: j'observe

= ...j'agis, j'observe, j'agis, j'observe...

Après avoir simulé 3 ans j'observe mes coûts.

Optimiser des décisions

= ...j'agis, j'observe, j'agis, j'observe...
= je joue, mon adversaire joue,
je joue, mon adversaire joue,

Jeu de Go



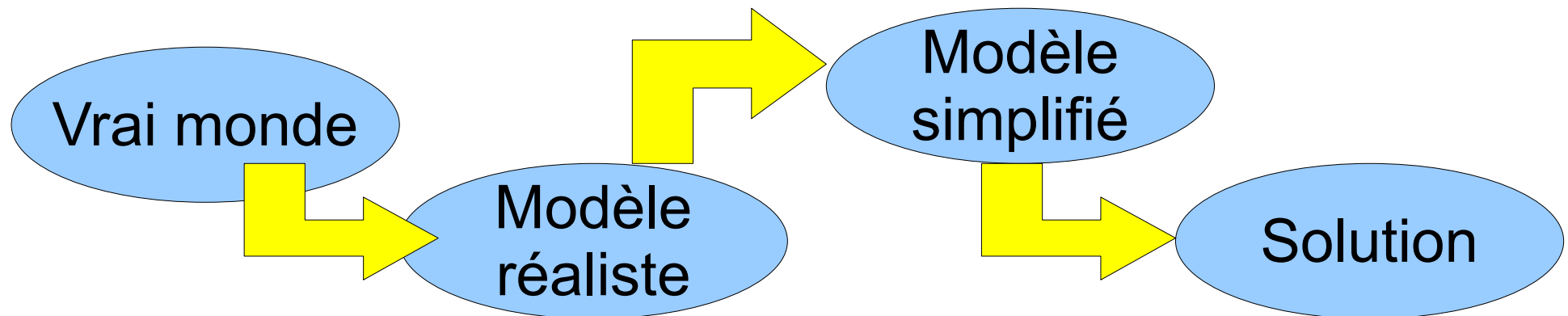
==> mêmes outils
que pour les jeux
et le contrôle!

==> pour les experts,
pensez Bellman,
DPS, SDP, SDDP

Ok, les décisions tactiques sont compliquées

... et on prend des outils comme dans les jeux.

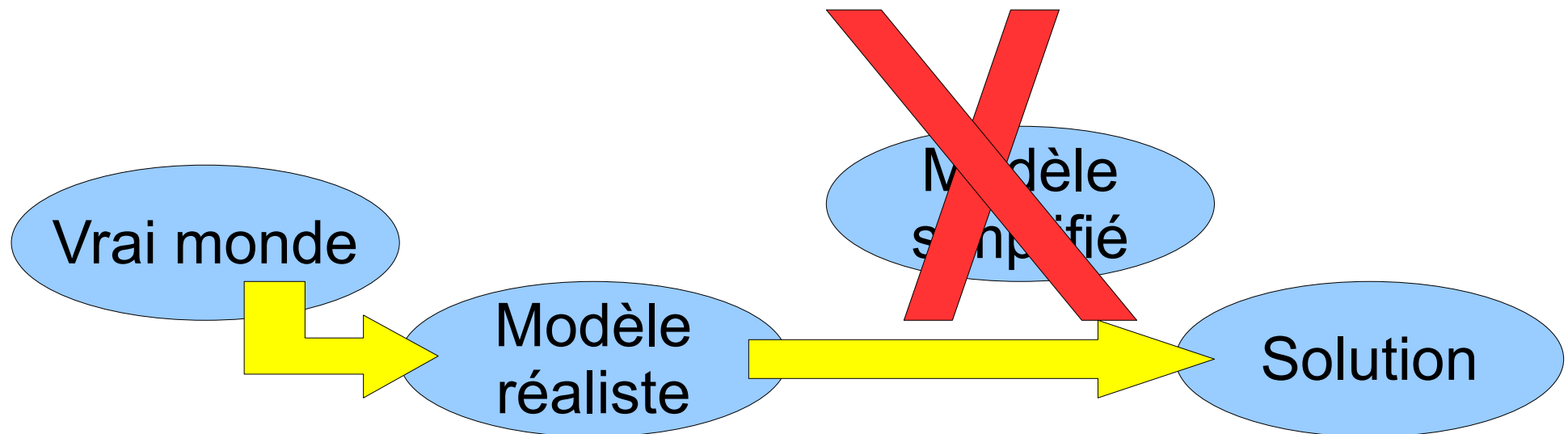
Spécificités de nos travaux:
très peu contraindre le modèle;



Ok, les décisions tactiques sont compliquées

... et on prend des outils comme dans les jeux.

Spécificités de nos travaux:
très peu contraindre le modèle;



Passons aux décision stratégiques.

Bonne décision

= décision minimisant les coûts

Mais comment calculer les coûts ?

Décision stratégique

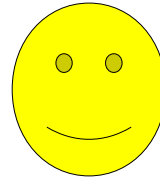
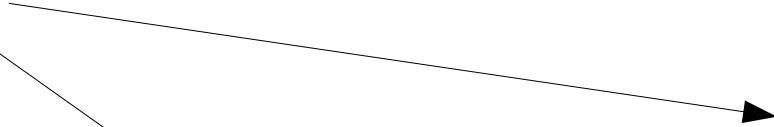
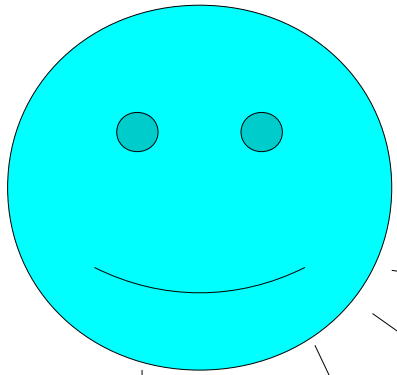
Bonne décision

= décision minimisant les coûts

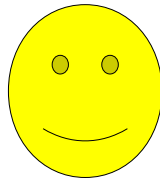
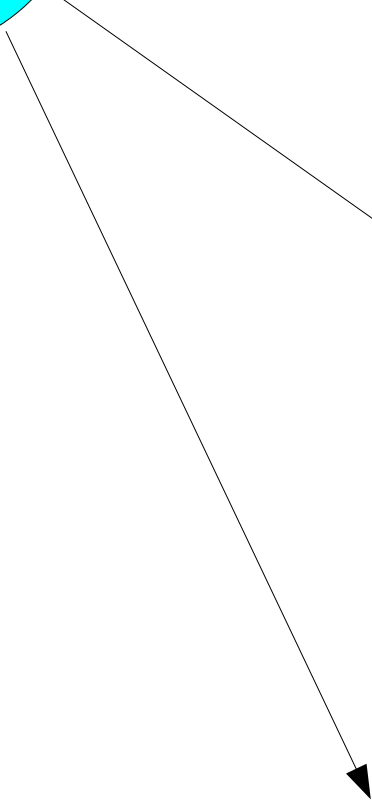
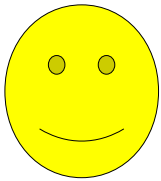
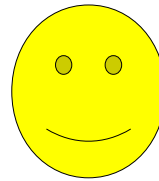
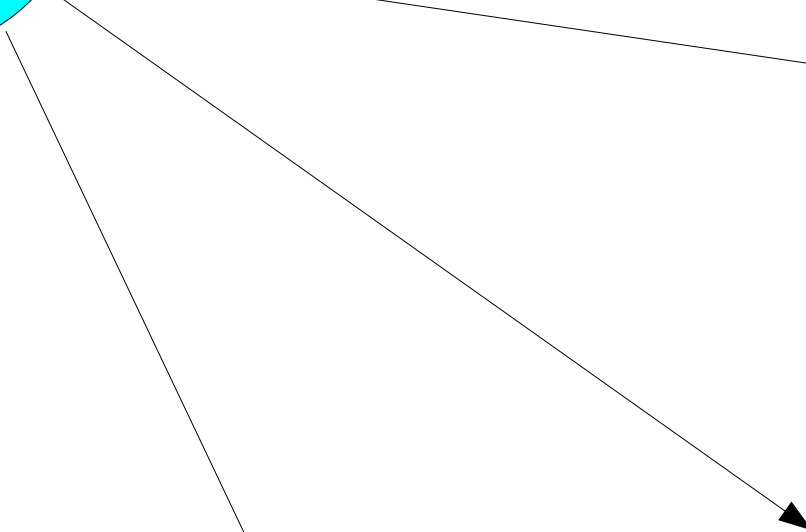
Mais comment calculer les coûts ? Dépendent de:

- La météo (modèle aléatoire) ==> moyenne
- La politique (les pénalisations)
- ... et les décisions tactiques!

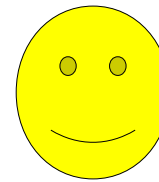
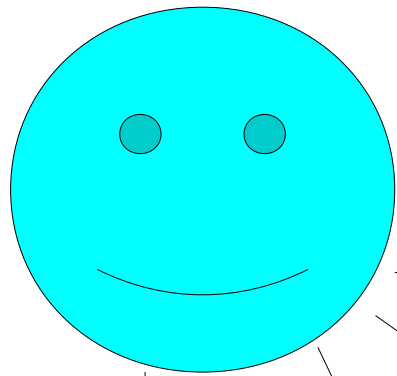
Décision stratégique



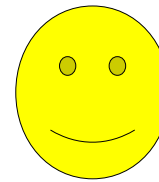
Simule le cas où on ne construit rien de neuf



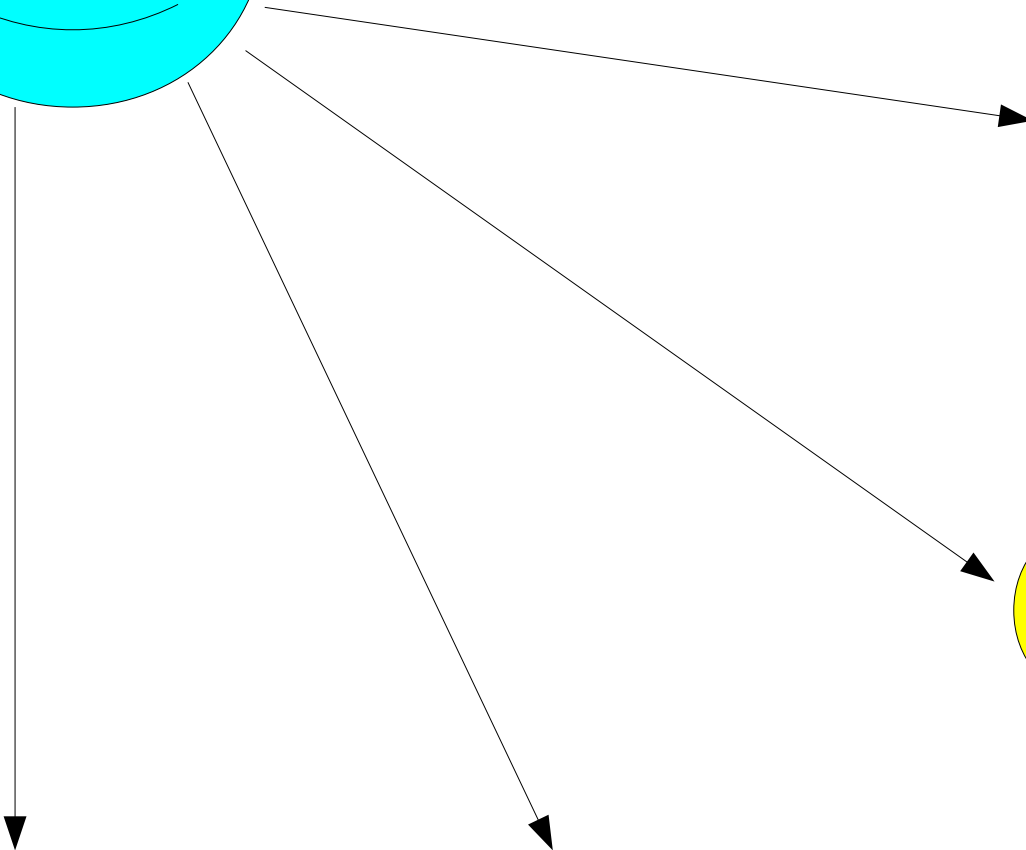
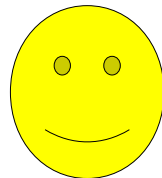
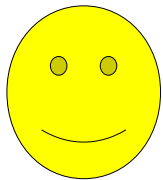
Décision stratégique



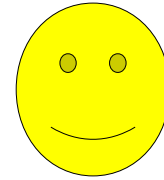
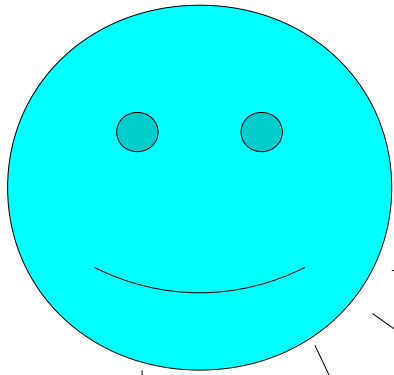
Simule le cas où on ne construit rien de neuf



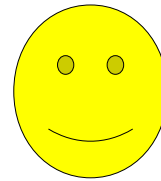
Simule la construction de connections Europe-Afrique



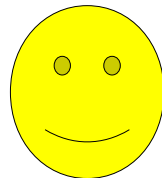
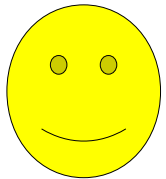
Décision stratégique



Simule le cas où on ne construit rien de neuf

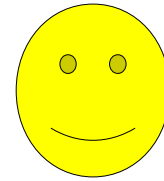
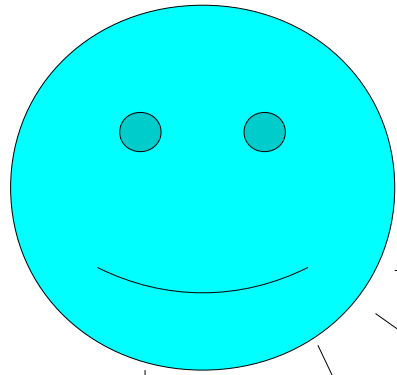


Simule la construction de connections Europe-Afrique

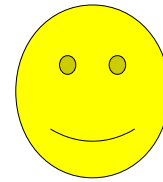


Simule la construction de connections Europe-Groënland-Amérique

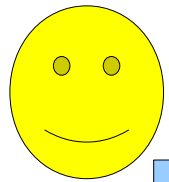
Décision stratégique



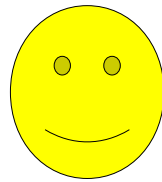
Simule le cas où on ne construit rien de neuf



Simule la construction de connections Europe-Afrique

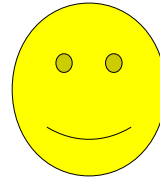
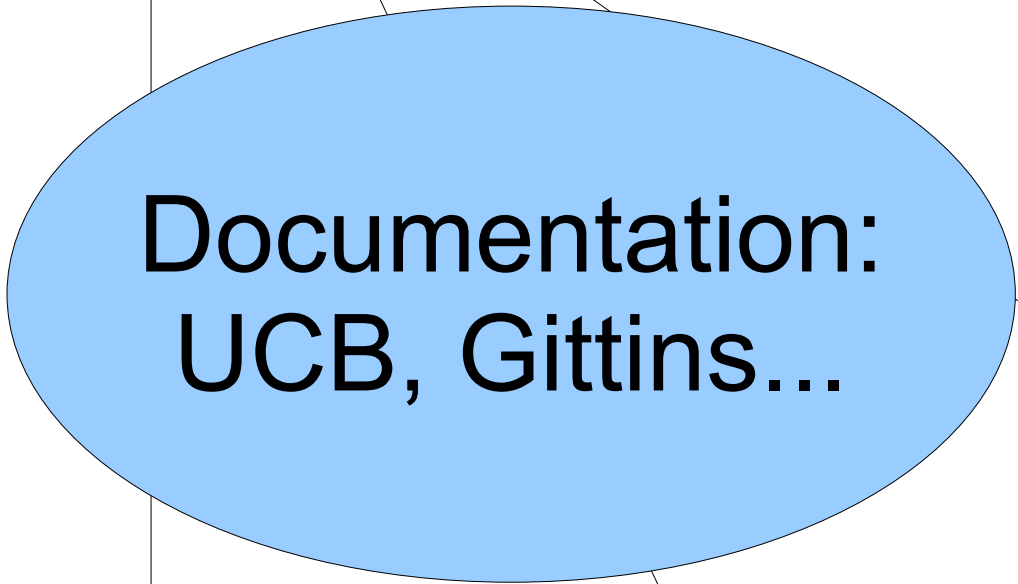
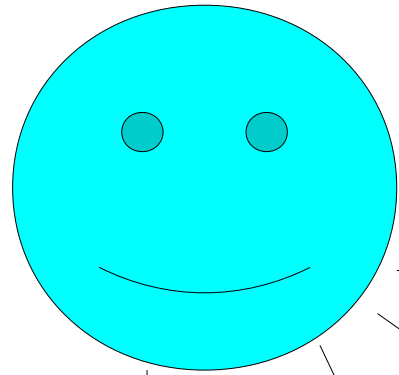


Centrales nucléaires partout

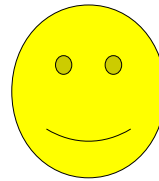


Simule la construction de connections Europe-Groënland-Amérique

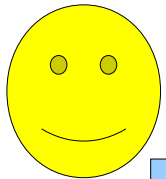
Décision stratégique



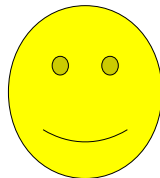
Simule le cas où on ne construit rien de neuf



Simule la construction de connections Europe-Afrique



Centrales nucléaires partout



Simule la construction de connections Europe-Groënland-Amérique

Conclusion

- Nos algos: un mélange de SDP/DPS/MPC + quantifier l'erreur de modèle
- Est-il utile de faire plein de maths pour travailler sur ça ?
- -
 -
 -

Conclusion

- Nos algos: un mélange de SDP/DPS/MPC + concept d'erreur de modèle
- Est-il utile de faire plein de maths pour travailler sur ça ?
- Définitivement oui:
 - Trop d'approximations dans beaucoup de travaux
 - Concept d'erreur de modèle (convexité, markovianité, ...)
 - Compréhension de la contrainte de Markovianité

- Les grandes décisions dans l'énergie sont politiques ==> rôle des chercheurs ?
- Politique/citoyen: que pénaliser, de combien ?
Quel niveau de fiabilité ?
- Recherche / industrie: simuler / prédire

