

# Informatique responsable

## Consommation énergétique des centres informatiques

Louis-Claude Canon  
[louis-claude.canon@univ-fcomte.fr](mailto:louis-claude.canon@univ-fcomte.fr)

Master 2 Informatique – Semestre 9

# Plan

Centre informatique

Le cas du refroidissement

Autres pistes

DataZero

Conclusion

# Plan

## Centre informatique

### Contexte technologique

Leviers de réduction de consommation énergétique

Les normes, guides et bonnes pratiques

Le cas du refroidissement

Autres pistes

DataZero

Conclusion

## Type de centres

### Centre de données (fréquent)

Centralise les données et des services associés (traitement sur les données, hébergement de serveurs virtualisés, etc.). Exemples : OVHcloud, Google, etc.

### Centre de calcul (commun)

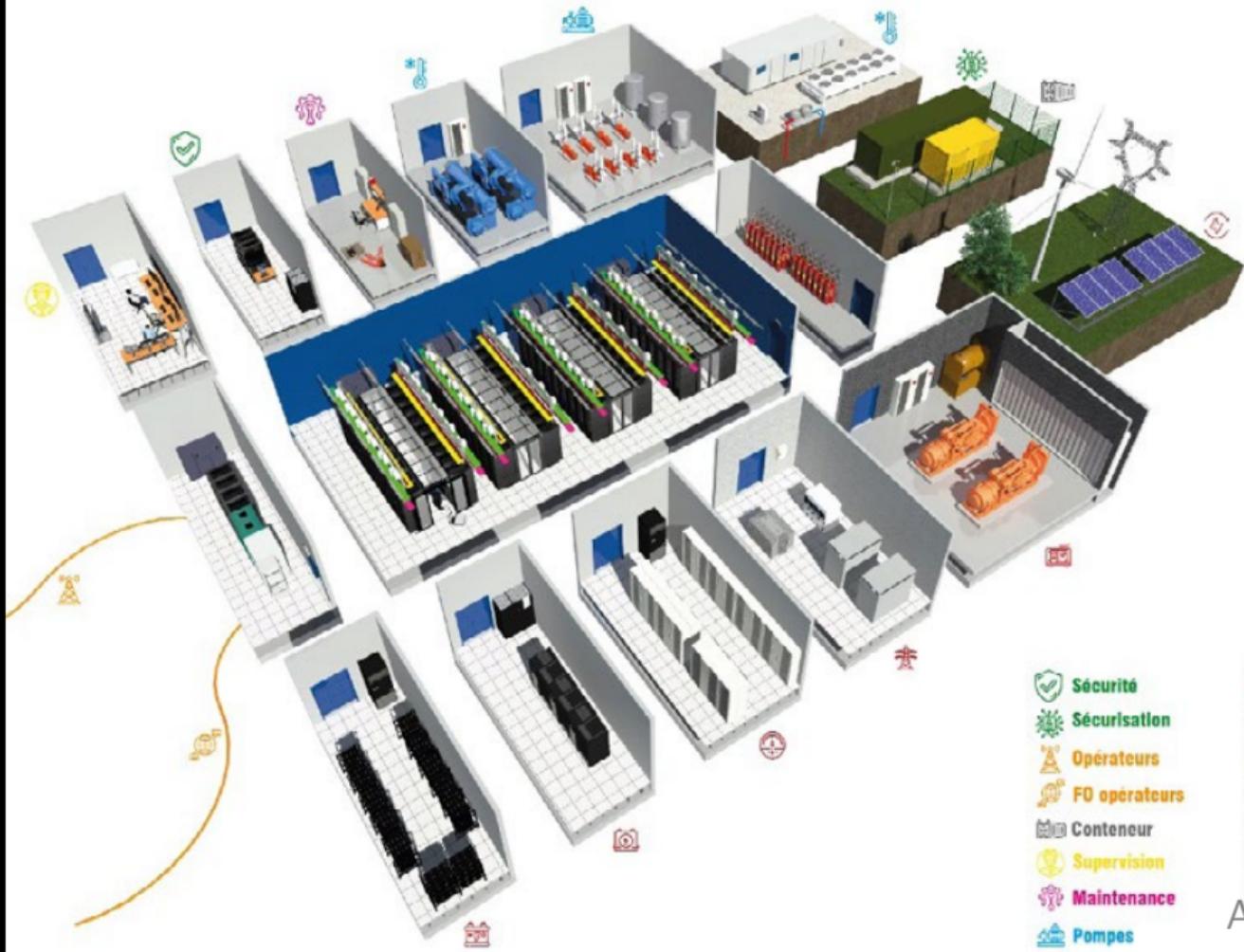
Supercalculateurs utilisés pour les recherches (climat, pharmaceutique, intelligence artificielle, aérospatiale, etc.) et les usages militaires (nucléaire). Exemples : le classement TOP500 comprend deux systèmes exaflopiques au monde, Frontier et Aurora, d'une puissance cumulée de 60 GW (un réacteur nucléaire produisant 1 GW).

### Plateforme expérimentale (rare)

Grid5000.

# Équipements

- ▶ Des baies (*rack*) contenant : serveurs, commutateurs/routeurs et alimentations.
- ▶ Connectique : alimentation et réseaux (Ethernet, InfiniBand).
- ▶ Système de refroidissement.
- ▶ Système de filtration des poussières.
- ▶ Groupe électrogène.
- ▶ Onduleur ou UPS (*Uninterruptible Power Source*).
- ▶ Plancher surélevé.
- ▶ Système de sécurité.



- |   |                      |  |                           |
|---|----------------------|--|---------------------------|
|    | <b>Sécurité</b>      |   | <b>Froid</b>              |
|    | <b>Sécurisation</b>  |   | <b>Energie</b>            |
|    | <b>Opérateurs</b>    |   | <b>Cellule HT</b>         |
|    | <b>FO opérateurs</b> |   | <b>Batteries</b>          |
|    | <b>Conteneur</b>     |   | <b>Groupe électrogène</b> |
|    | <b>Supervision</b>   |   | <b>Onduleur</b>           |
|   | <b>Maintenance</b>   |  | <b>JGBT - TGHO</b>        |
|  | <b>Pompes</b>        |  |                           |

# Plan

## Centre informatique

Contexte technologique

**Leviers de réduction de consommation énergétique**

Les normes, guides et bonnes pratiques

Le cas du refroidissement

Autres pistes

DataZero

Conclusion

## Question

Quels sont les leviers pour réduire la consommation énergétique ?

## Question

Quels sont les leviers pour réduire la consommation énergétique ?

Commençons par les indicateurs d'efficacité.

## Le PUE, le premier indicateur et le plus populaire

Le *Power Usage Effectiveness* se focalise sur l'énergie dépensée par des équipements non-numériques (refroidissement, ventilation, onduleurs).

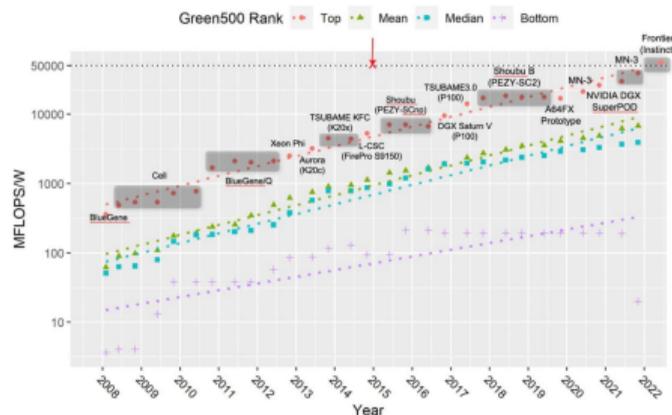
$$\text{PUE} = \frac{\text{Énergie totale consommée par le centre}}{\text{Énergie consommée par les équipements informatiques}}$$

- ▶ Le PUE idéal est 1.
- ▶ En 2010, le PU moyen est à 1,7. En 2021, les centres de données de Google ont un PUE de 1,1 en moyenne.
- ▶ Introduit en 2006/2007 par le consortium The Green Grid (Dell, HP, IBM, etc.), standard ISO/IEC depuis 2016.
- ▶ Ne considère pas l'efficacité des équipements informatiques (pas de notion de travail utile).

# Performance par unité d'énergie

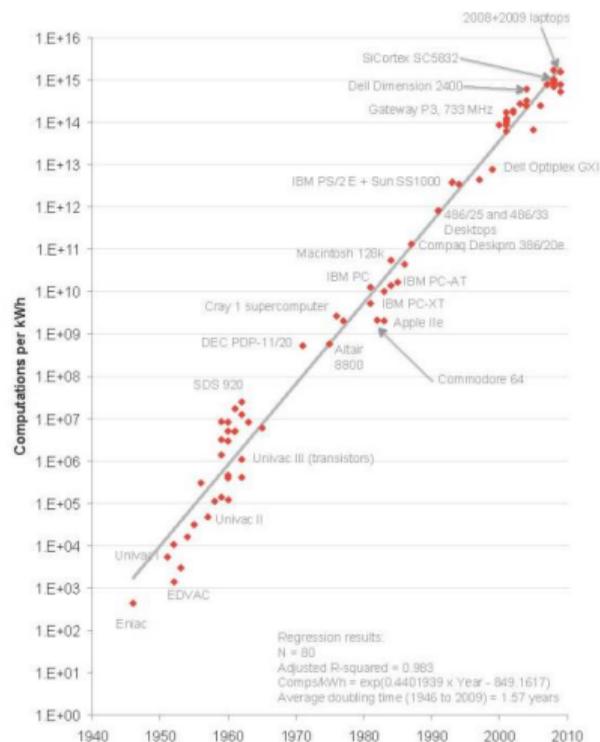
Deux approches équivalentes :

- ▶ La mesure FLOPS par Watt (mesurée sur les super-calculateurs, le Green 500).
- ▶ Le nombre de calculs par Joule, qui double tous les 18 mois selon la loi de Koomey.



Louis-Claude Canon

InfoResp – Consommation énergétique des centres informatiques



10 / 37

## Les autres : GEC, ERF, CUE, etc.

The Green Grid a proposé en 2012 des indicateurs pour compléter le PUE :

- ▶ Le *Green Energy Coefficient* considère la part d'énergie renouvelable.
- ▶ L'*Energy Reuse Factor* mesure la quantité d'énergie réutilisée.
- ▶ Le *Carbon Usage Effectiveness* indique à quel point l'énergie utilisée est carbonée.

De nombreux travaux de recherche en ont proposés d'autres.

# Plan

## Centre informatique

Contexte technologique

Leviers de réduction de consommation énergétique

Les normes, guides et bonnes pratiques

Le cas du refroidissement

Autres pistes

DataZero

Conclusion

## Acteurs privés

### ASHRAE

- ▶ Association professionnelle américaine concernant le génie thermique et climatique.
- ▶ *Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices* publié en 2004, 2008, 2011, 2016 et 2021.
- ▶ Fournit des recommandation sur les températures et l'humidité acceptables pour opérer un datacentre.

### Alliance Green IT

- ▶ Association professionnelle française sur l'informatique durable.
- ▶ *Livre blanc : Datacenter, Maîtriser et optimiser son impact environnemental* publié en 2023.

## Acteurs publics

### RENATER

- ▶ Réseau reliant les établissements universitaires en France.
- ▶ *Bonnes pratiques pour l'infrastructure d'un Datacentre éco-responsable* publié en 2014.

### Union Européenne

- ▶ Le Centre commun de recherche de l'Union Européenne apporte des conseils et du savoir-faire auprès de la commission européenne.
- ▶ *Guide des bonnes pratiques du Code de Conduite européen sur les Datacentres* publié en 2019.

# Plan

Centre informatique

**Le cas du refroidissement**

**Gestion des flux d'air**

Réglage de la température et de l'humidité

Le Free Cooling

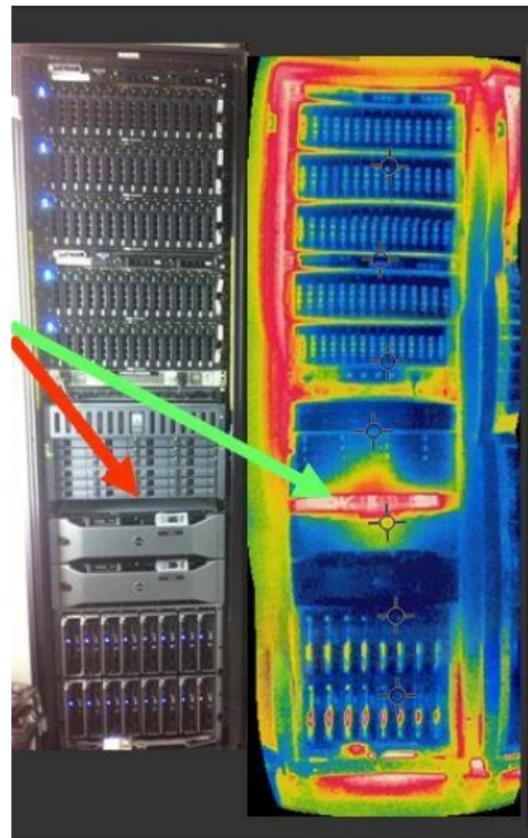
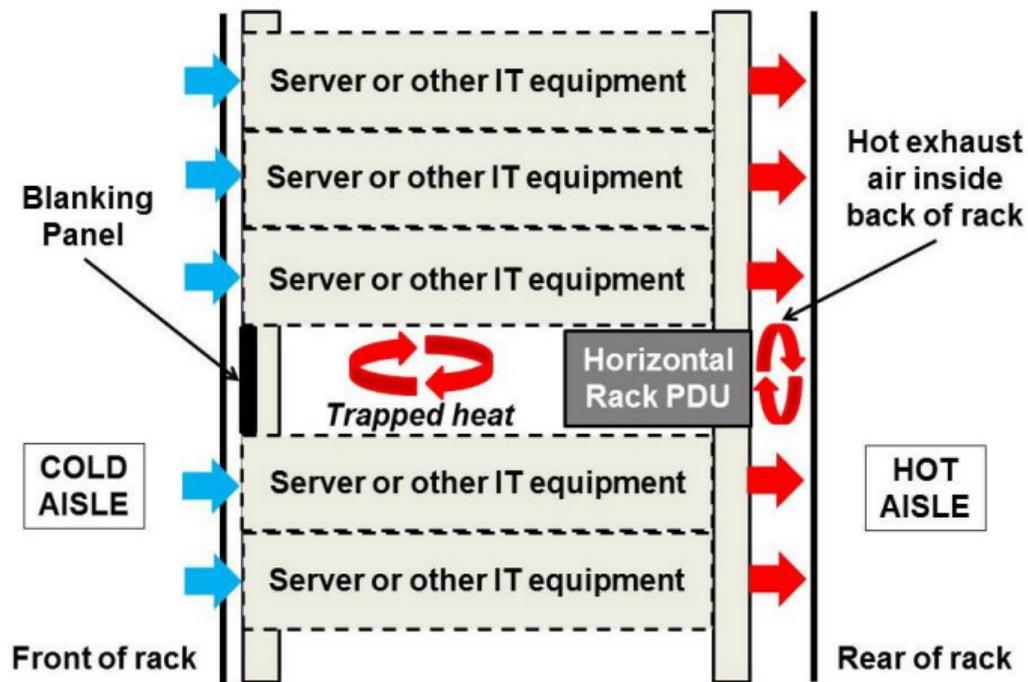
Autres pistes

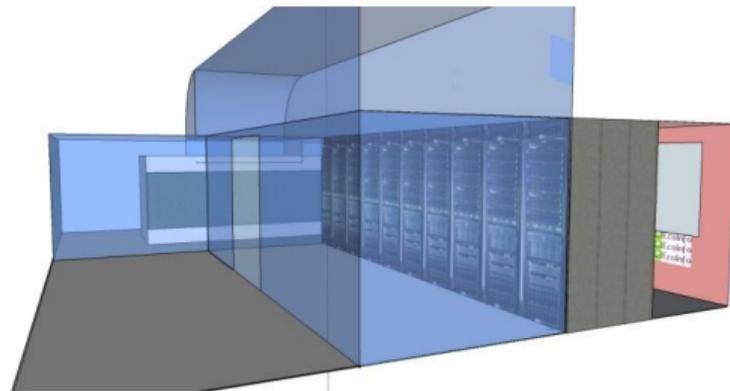
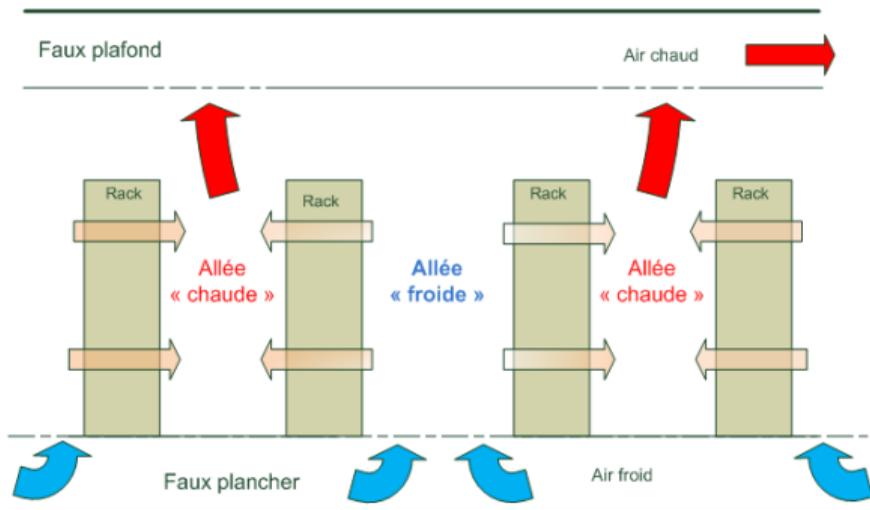
DataZero

Conclusion

## Séparation des flux d'air

- ▶ On gère la circulation d'air en prévoyant des allées froides et chaudes séparées par les baies.
- ▶ L'air froid produit par une pompe à chaleur se réchauffe en traversant l'équipement informatique, puis est évacué.
- ▶ Cela évite à l'air chaud de se mélanger à l'air froid, ce serait inefficace.





# Plan

Centre informatique

**Le cas du refroidissement**

Gestion des flux d'air

**Réglage de la température et de l'humidité**

Le Free Cooling

Autres pistes

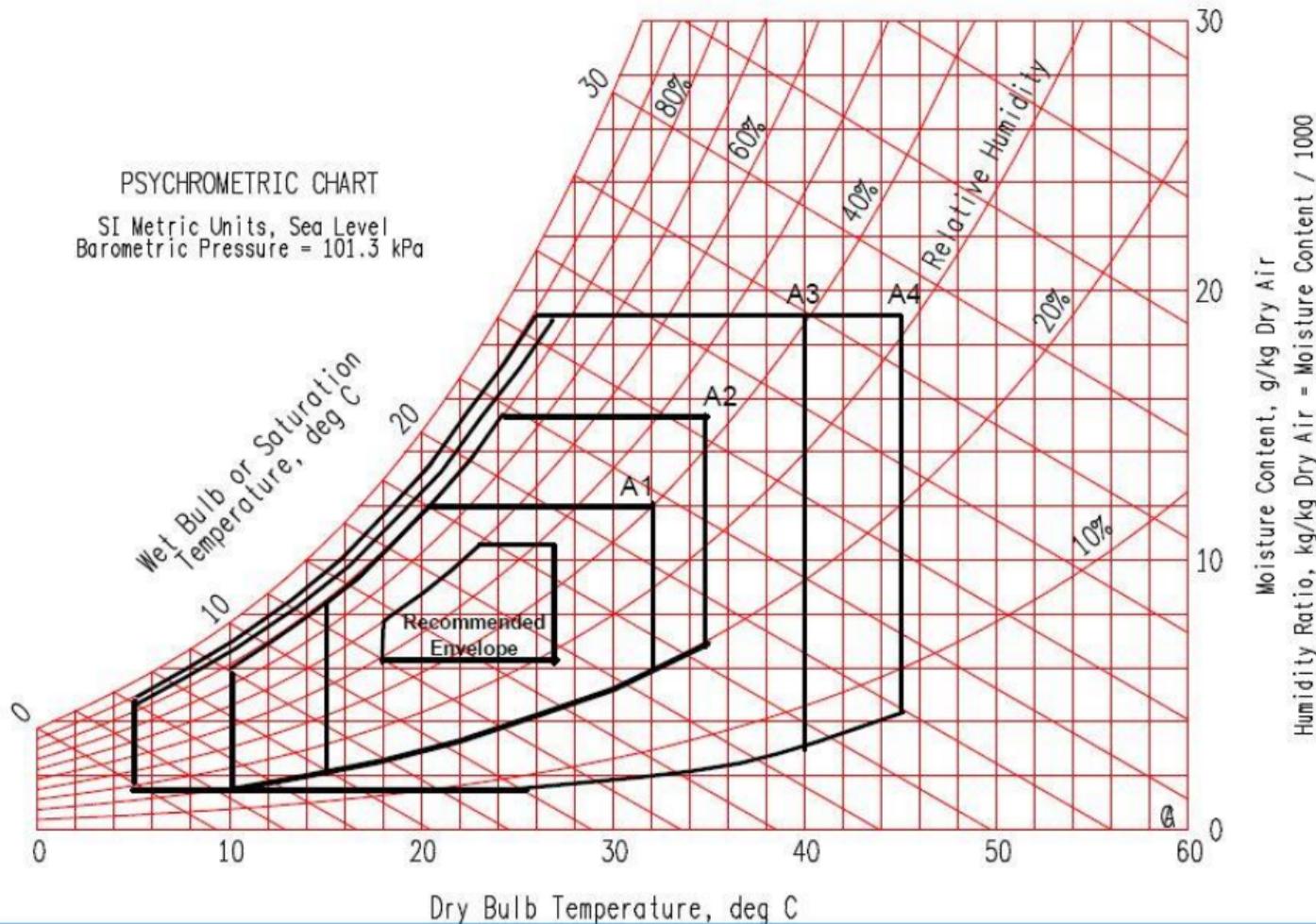
DataZero

Conclusion

## Conditions thermique et hygrométrique de fonctionnement

- ▶ Un équipement électronique en surchauffe tombe en panne plus fréquemment et se dégrade plus vite.
- ▶ Dans les centres de données, les équipements sont très sollicités et il faut donc les refroidir.
- ▶ L'ASHRAE fournit des recommandations qui se sont assouplies avec le temps (de 20–25 °C à 15–32 °C).
- ▶ La recommandation de température de fonctionnement dépend en fait de l'humidité.

PSYCHROMETRIC CHART  
SI Metric Units, Sea Level  
Barometric Pressure = 101.3 kPa



# Plan

Centre informatique

**Le cas du refroidissement**

Gestion des flux d'air

Réglage de la température et de l'humidité

**Le Free Cooling**

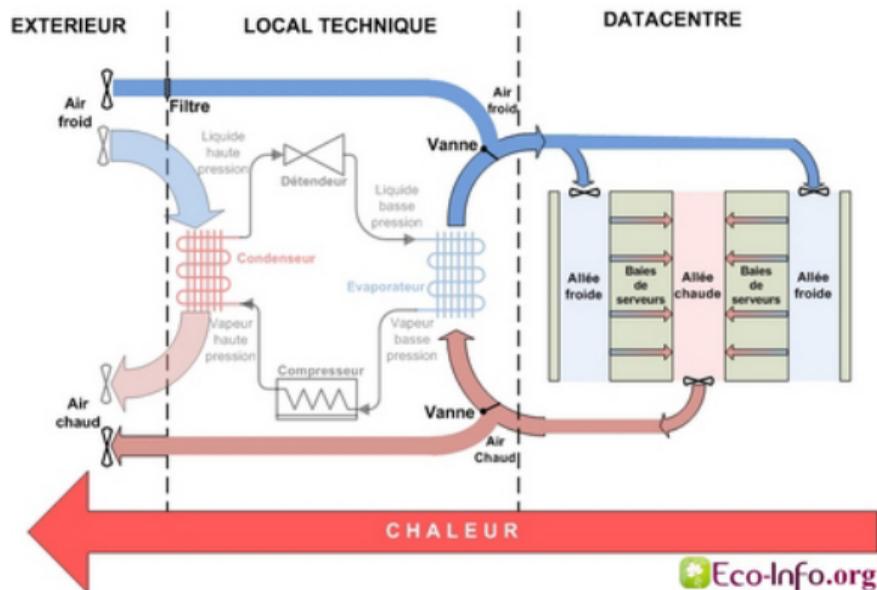
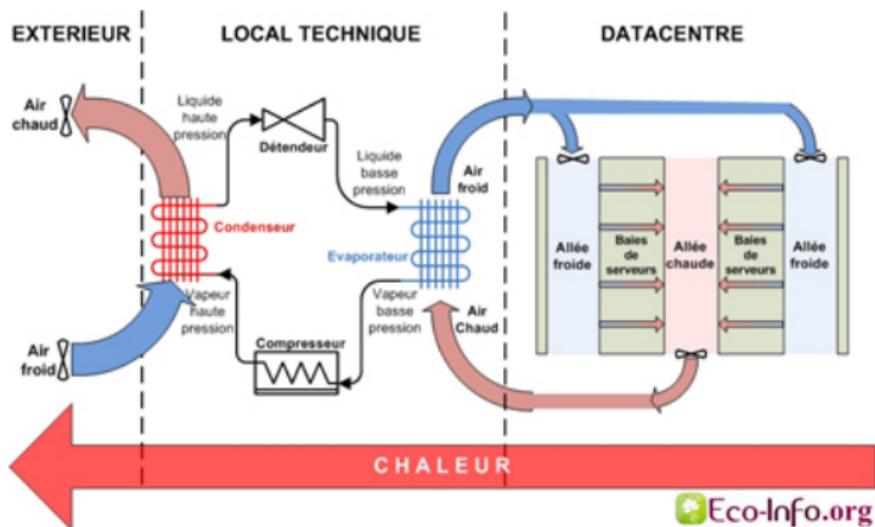
Autres pistes

DataZero

Conclusion

# Principe

- ▶ L'air froid est produit à partir d'une pompe à chaleur.
- ▶ S'il fait naturellement assez frais et ni trop sec, ni trop humide, de l'air de extérieur peut être utilisé directement pour éviter le recours à une pompe à chaleur.



# Plan

Centre informatique

Le cas du refroidissement

**Autres pistes**

DataZero

Conclusion

## La distribution électrique et l'utilisation d'énergie renouvelable

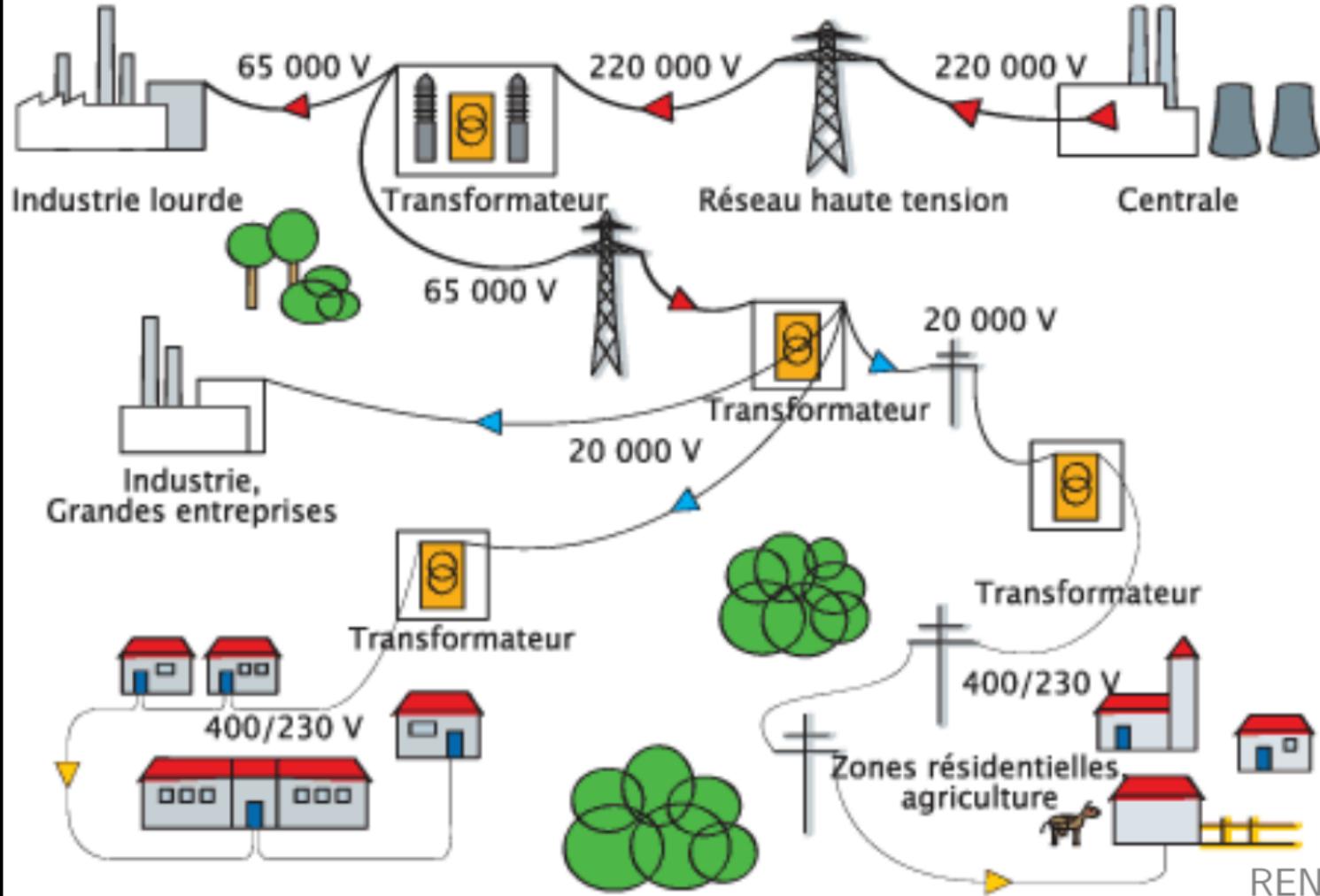
**TGBT** Le Tableau Général Basse Tension est l'équipement électrique à proximité du datacentre qui lui fournit l'énergie.

**Onduleur** Équipement qui convertit des courants et des tensions. Par abus de langage, désigne les UPS.

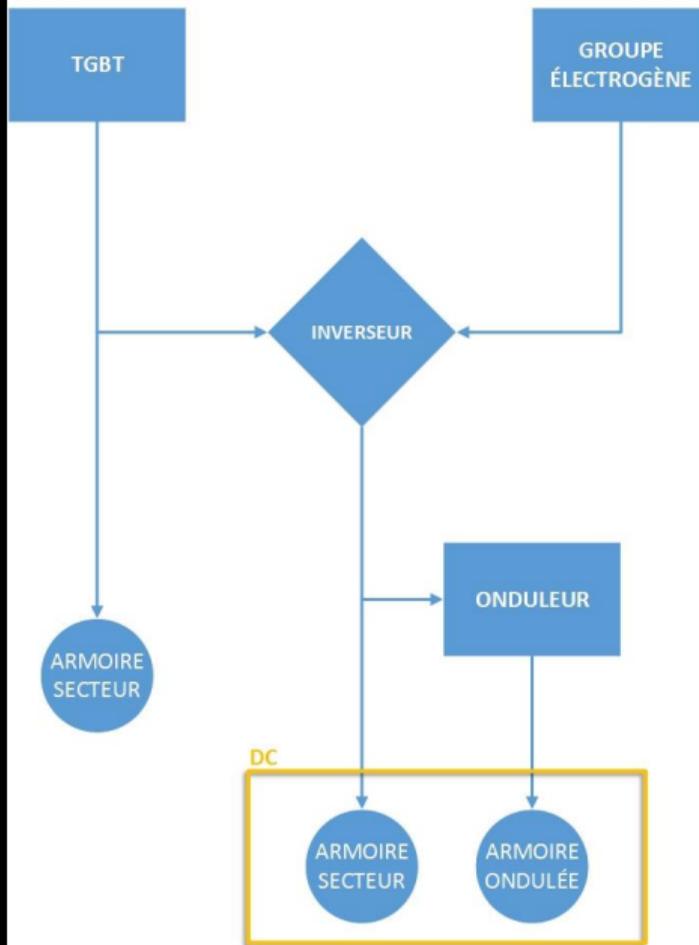
**UPS** Un *Uninterruptible Power Supply* évite les micro-coupures de courant.

**GE** Le Groupe Électrogène génère du courant à partir de pétrole.

**PDU** Le *Power Distribution Unit* est un équipement qui se situe dans les baies et qui alimente directement les équipements informatiques.



SCHEMA DE PRINCIPE 2



## Matériel optimisé

Normes pour un rendement optimal :

- ▶ 80Plus est une certification qui garantit que l'alimentation restituera plus de 90% de l'énergie qu'elle reçoit (pour le niveau Titanium).
- ▶ Energy Star est un label qui s'applique sur davantage d'équipements et qui nécessite que certaines mesures d'efficacité soient mises en place.
- ▶ EPEAT est un autre label pour les équipements électroniques avec trois niveaux (Gold, Silver, Bronze).

► Désignation	Intel® Xeon® Processor E5-2630 (15M Cache, 2.30 GHz, 7.20 GT/s Intel® QPI)	Intel® Xeon® Processor E5-2630L (15M Cache, 2.00 GHz, 7.20 GT/s Intel® QPI)
► Nom de code	Sandy Bridge EP	Sandy Bridge EP
► Fréquence	2.3 GHz	2 GHz
► Fréquence Turbo maxi	2.8 GHz	2.5 GHz
► Mémoire cache	15 MB Intel® Smart Cache	15 MB Intel® Smart Cache
► Type de bus	QPI	QPI
► Bus principal	7.2 GT/s	7.2 GT/s
► Nb. de liens QPI	2	2
► Jeux d'instructions	64-bit	64-bit
► Extensions au jeu d'instructions	AVX	AVX
► Options embarquées disponibles	No	No
► Lithographie	32 nm	32 nm
► Évolutivité	2S Only	2S Only
► PDT max.	95 W	60 W
► Plage de fréquences VID	0.60V-1.35V	0.60V-1.35V
► Prix de vente recommandé	BOX : \$616.00 TRAY : \$612.00	TRAY : \$662.00

## Gestion logicielle

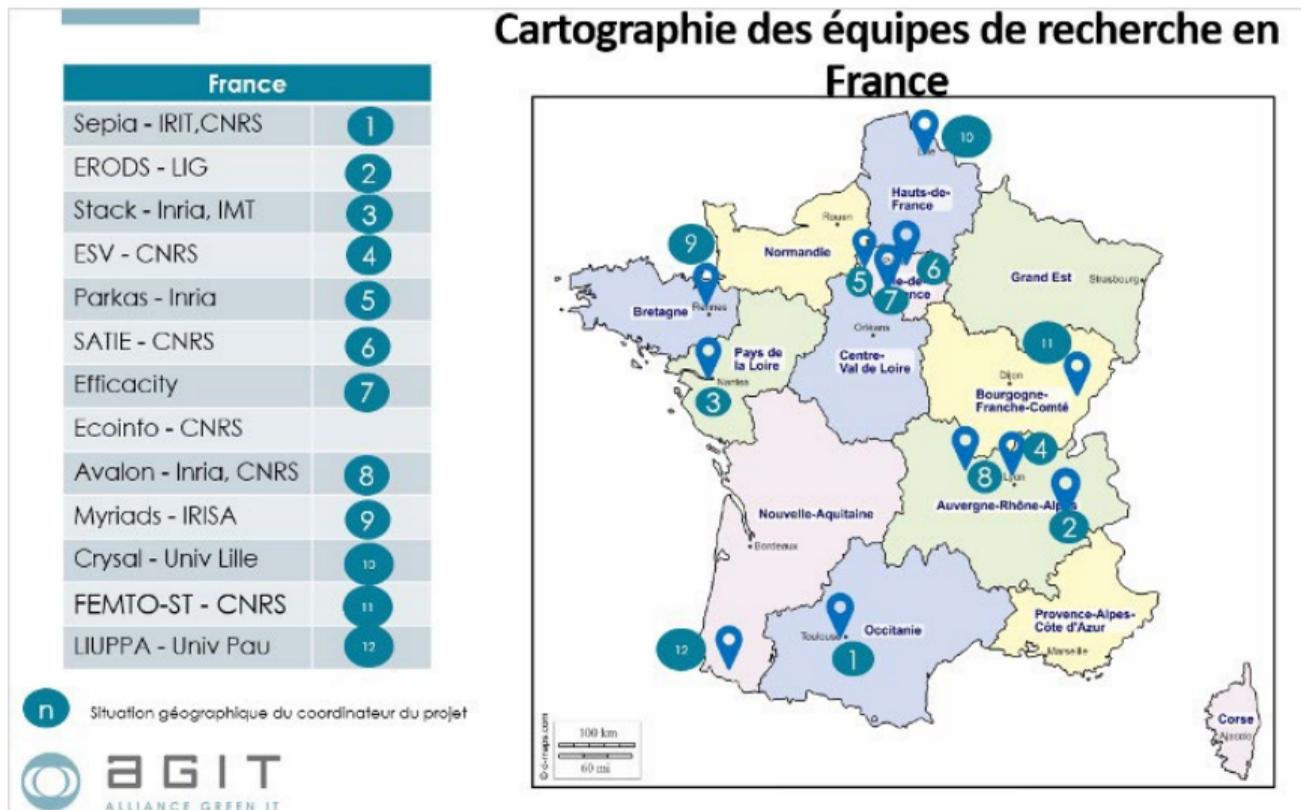
- ▶ La virtualisation permet d'augmenter la charge des serveurs et facilite la migration. On peut ainsi réduire la taille d'un datacentre et éteindre les serveurs inutilisés.
- ▶ DVFS permet de varier dynamiquement la fréquence (et le voltage) en fonction de la charge d'un serveur. En fonctionnant plus lentement, un processeur est plus efficient.
- ▶ Si la charge varie trop rapidement pour pouvoir éteindre des serveurs, on peut aussi utiliser les états d'endormissement (c-state) qui éteint rapidement certains composants.

## Récupération de chaleur

- ▶ Associer le centre informatique à une infrastructure de chauffage : réseau de chaleur (Natixis à Marne-la-Vallée), eau chaude sanitaire (Equinix à l'université d'Amsterdam), etc.
- ▶ Concept de chaudière ou chauffage numérique (Qarnot).



# Projets de recherche (2012-2024)



# Plan

Centre informatique

Le cas du refroidissement

Autres pistes

**DataZero**

Conclusion



Table Ronde Eaton

IT & zéro carbone : comment les datacenters peuvent contribuer au Green Deal

Jeudi 22 Octobre 2020



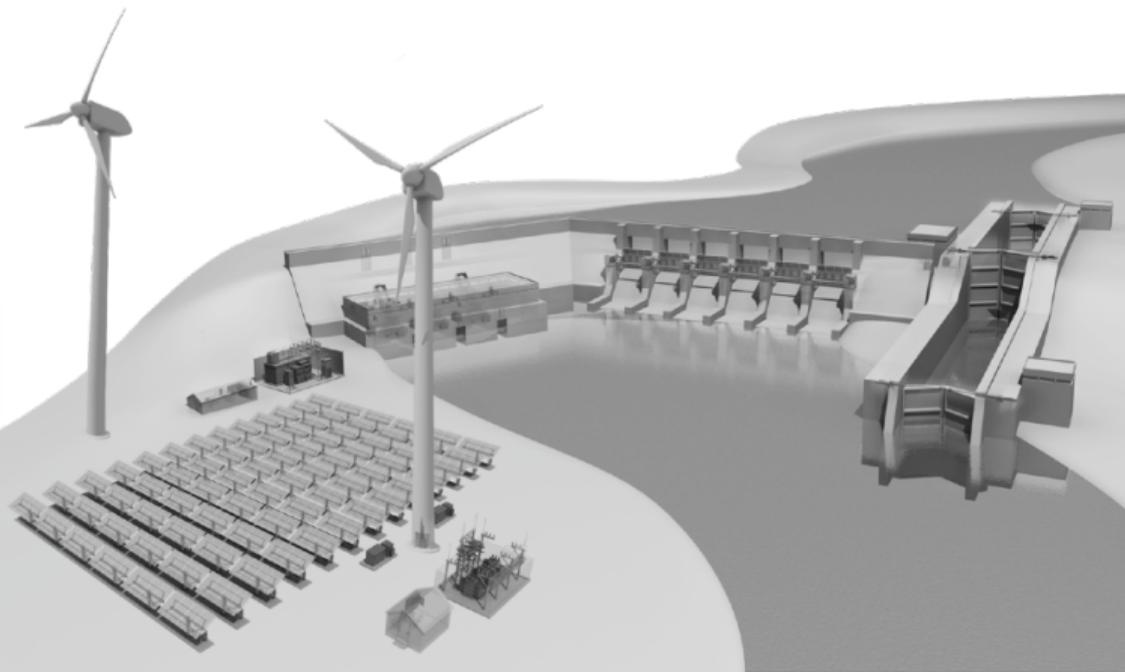
Powering Business Worldwide

© 2020 Eaton. All rights reserved.



# DATAcenter with ZERO Emission & ROBust management using renewable energy

Datzero 2: 2020 -2023



# Une équipe mixte & multiculturelle



Un réel focus R&D pour Eaton :



FP7 Greendatanet (2012 – 2016)

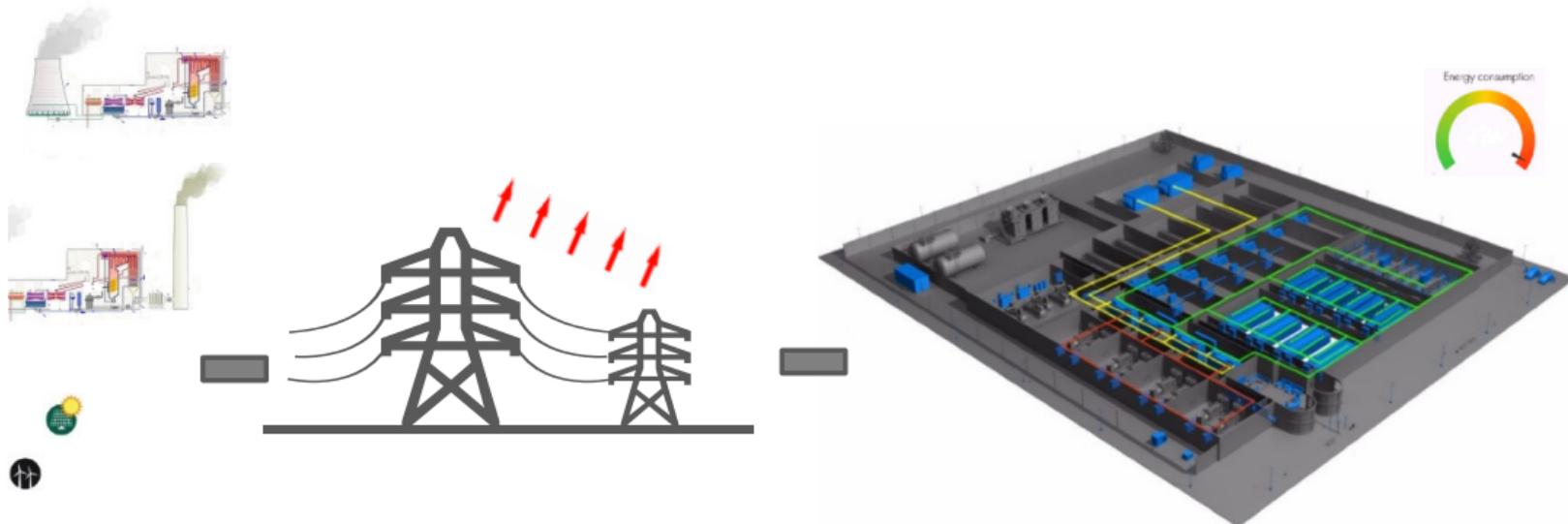


ANR Datazero (2016 – 2019)



ANR Datazero2 (2020 – 2023)

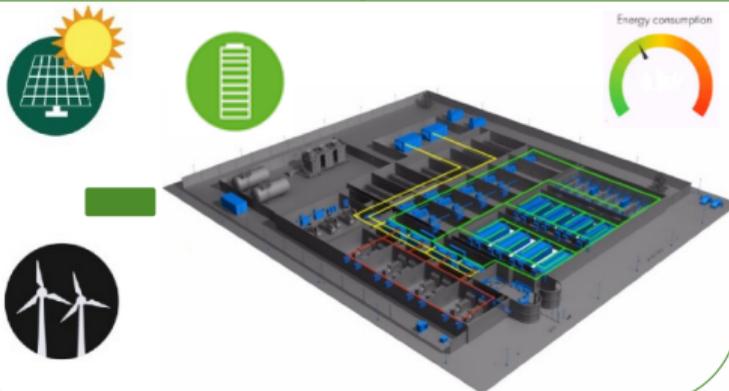
# Datacenter actuel (Passif)



# Avec Datazero (Neutre & Autonome)

Production d'énergie  
renouvelable en local  
Stockage

Adaptation de la  
charge IT



# Aller au delà (Actif)



# L'exemple de Webaxys



## Normandie. Webaxys mise sur l'économie verte du numérique

Normandie - Publié le 21/08/2016 à 19:38



Problématique avec 100 % de sources primaires locales renouvelables

Gérer la variabilité de la production (Jour / Saison) au travers du module de négociation

## Electrical architecture: Control & predict production

Primary green power sources



Power storage

Li-Ion batteries



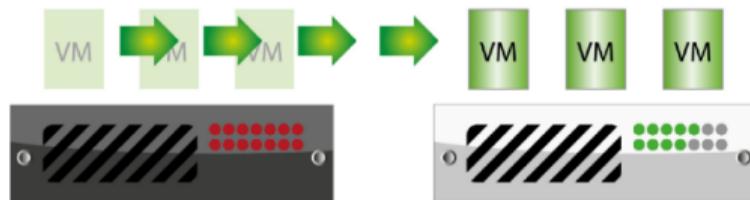
Daily variability

Fuel Cell with electrolyser



Seasonal variability

Negotiation



## IT architecture: Control & predict IT load consumption

- Modèle mathématique de dimensionnement d'un datacenter à énergie renouvelable
- Simulation du fonctionnement d'un Datacenter à énergie renouvelable
- Expérimentation réelles avec la plateforme Cloud Openstack, Panneaux photovoltaïques, Pile à Combustible...

- Même consortium jusqu'en 2023
- Robustesse accrue vis à vis des incertitudes et pannes pour
  - la planification des tâches
  - l'engagement des sources d'alimentation
- Reconfiguration dynamique des connexions électriques
- TRL (Technology Readiness Level) supérieur
- Construction d'un conseil consultatif

- Articles disponibles sur <http://datazero.org>
- 15+ publications scientifiques pour l'instant...

IEEE Access journal, Volume 7, July 2019,

DATAZERO: Datacenter With Zero Emission and Robust Management Using Renewable Energy

Jean-Marc Pierson, Gwilerm Baudic and Stéphane Caux, Berk Celik, Georges Da Costa, Léo Grange, Marwa Haddad, Jérôme Lecuire, Jean-Marc Nicod, Laurent Philippe, Veronika Rehn-Sonigo, Robin Roche, Gustavo Rostirolla, Amal Sayah, Patricia Stolf, Thi Minh-Thuyen and Christophe Varnier.



# Plan

Centre informatique

Le cas du refroidissement

Autres pistes

DataZero

Conclusion

## Résumé

- ▶ Bien que les centres informatiques se déclinent en plusieurs catégories, ils s'appuient tous sur des équipements consommateurs en énergie.
- ▶ Si la première piste pour réduire leur consommation concerne la gestion de la chaleur, d'autres méthodes permettent d'améliorer encore plus l'efficacité énergétique.
- ▶ En particulier, plusieurs projets de recherche explorent des alternatives.

## Références Wikipédia

- ▶ Gestion énergétique des centres de calcul
- ▶ Centre de données
- ▶ Indicateur d'efficacité énergétique
- ▶ Green data center
- ▶ Data center
- ▶ Power usage effectiveness
- ▶ Performance per watt