

# Comment intégrer les enjeux environnementaux dans les formations en informatique ?

Anne-Laure Ligozat

Journée enseignement de la SIF sur les formations  
2025



# Enseigner l'informatique...

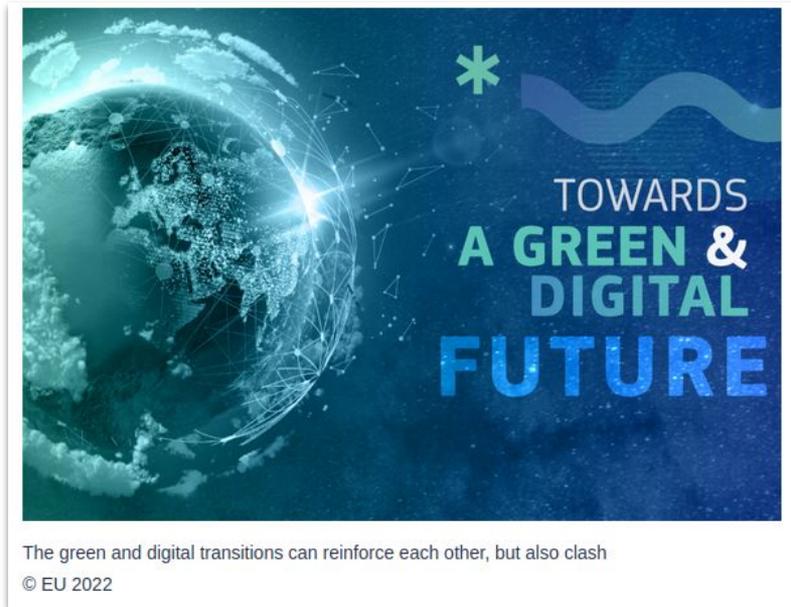
«forme les chercheurs et les ingénieurs en informatique de demain»

«offre aux étudiants une maîtrise des fondements, des méthodologies et des technologies de l'informatique»

<https://www.universite-paris-saclay.fr/formation/master/informatique>

# ... dans le contexte de l'anthropocène

quelle place de l'informatique ?



source :

<https://www.deviantart.com/mezaka/art/WALL-E-LowPoly-Wallpaper-597809618>

# Contextes principaux



- école publique d'informatique et mathématiques appliquées
- concours des Mines
- ~ 500 étudiants, 2 formations

en 2019 ~ aucun enseignement intégrant les enjeux environnementaux



- GDRS CNRS
- empreinte environnementale du numérique
- groupe de travail formation

quelle difficulté principale pour enseigner ces questions ?

# Quel type d'intégration ?

*Piggybacking* : intégration d'exemples via des jeux de données, cas d'étude...

*Specializing* : création de modules ou formations dédiés

*Mainstreaming* : intégration des enjeux dans la structure pédagogique existante, mais avec objectifs transverses (par exemple chaque module doit intégrer les enjeux)

*Connecting* : création de modules ou cours transdisciplinaires

(Molthan-Hill et al., 2019)

# Référentiel de connaissances pour un numérique éco-responsable

Question : Quelles connaissances devrait apporter une **formation en informatique** à des étudiantes et étudiants pour leur permettre d'apporter des **réponses aux enjeux environnementaux et sociétaux** dans leur vie professionnelle et citoyenne ?

## Référentiel de connaissances pour un numérique éco-responsable

GDS CNRS EcoInfo

P. Boulet\*, S. Bouveret†, A. Bugeau‡, E. Frenoux§, J. Lefevre¶,  
A-L. Ligozat||, K. Marquet\*, Ph. Marquet††, O. Michel‡‡, O. Ridoux§§

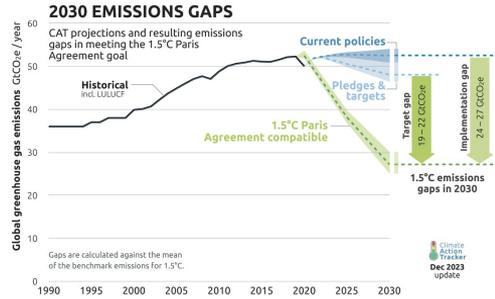
30 septembre 2020

### Table des matières

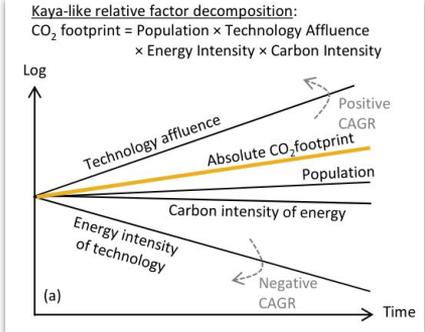
1	Introduction	3
1.1	Objectif	3
1.2	Nécessité de développer ces enseignements	3
1.3	Liens avec des référentiels de compétences	3
1.4	Lecture de ce référentiel	4

# Quelles connaissances ?

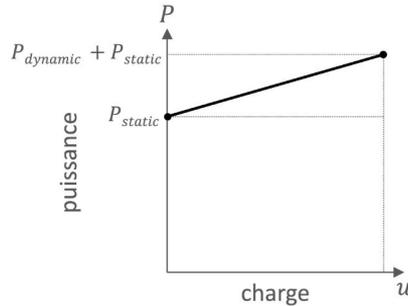
## Contexte



## Comprendre



## Mesurer

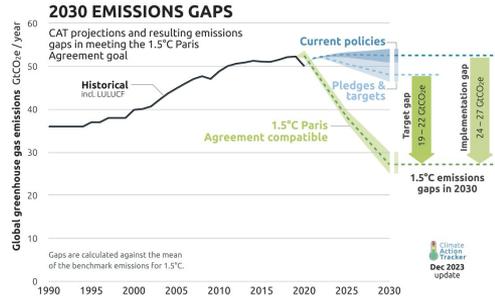


## Réduire

$$I = \underbrace{P \times A}_{\text{sobriété}} \times \underbrace{T}_{\text{efficacité}}$$

# Quelles connaissances ?

## Contexte

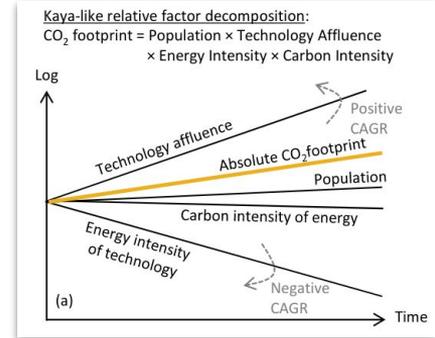


- Enjeux environnementaux : climat, limites planétaires...
- Prise de conscience
- Notions de ressources
- Système économique et productif mondial
- Le secteur numérique

# Quelles connaissances ?

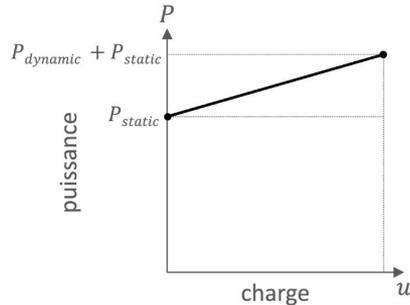
- Impacts directs/de 1er ordre
  - cycle de vie des équipements
  - différents indicateurs environnementaux
- Impacts indirects et structurels/ de 2e et 3e ordre
  - effet rebond
  - vulnérabilité et résilience
- Évolution des impacts

## Comprendre



# Quelles connaissances ?

Mesurer



- Analyse du Cycle de Vie
  - approches attributionnelle et conséquentielle
  - équipement vs service numérique
- Mesure de consommation électrique
- Bilan carbone
  - place du numérique

# Quelles connaissances ?

- Green IT
  - normes et labels
  - éco-conception de services numériques
- Frugalité et efficacité
- Le numérique au service de l'écologie
- *Trajectoires de “neutralité” carbone*

Réduire

$$I = P \times A \times T$$

sobriété      efficacité

# Et à l'ENSIIE ?

## 1re année

### Rentrée climat

- fresque du climat
- atelier 2 tonnes

Enjeux environnementaux et développement durable (14h)

## 2e année

Impacts environnementaux du numérique

(21h)

## 3e année

Green IT

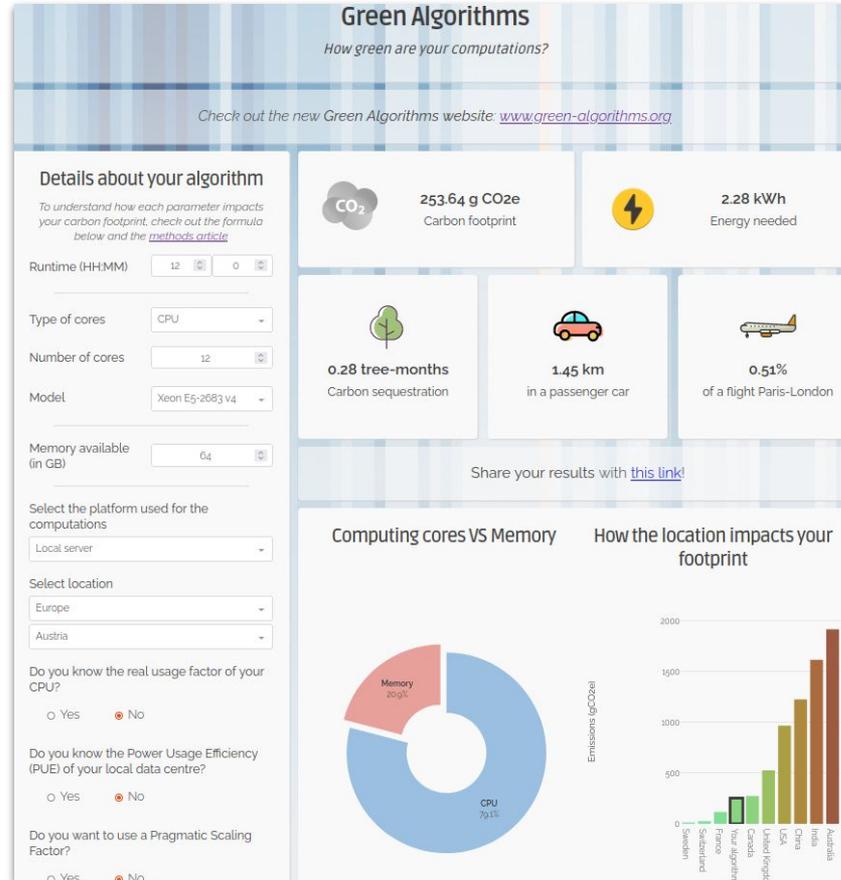
(42h)

# Exemple de TD : impact de l'IA

modèle récent vs ancien ?

fabrication des serveurs ?

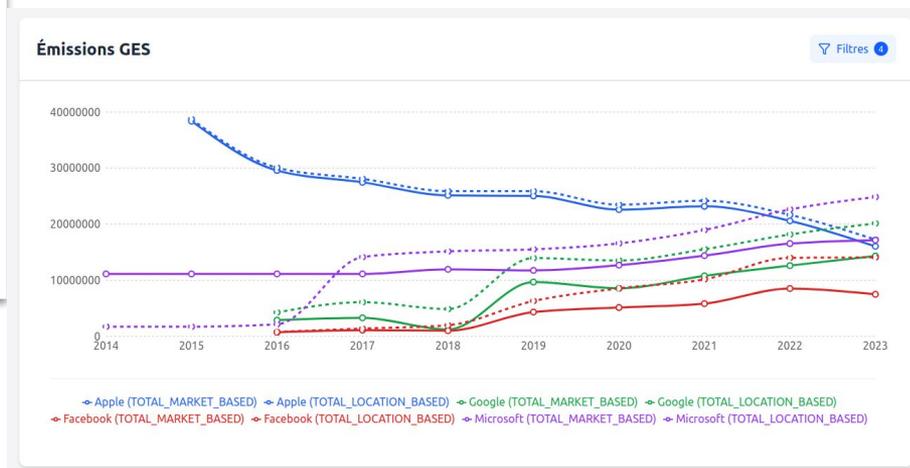
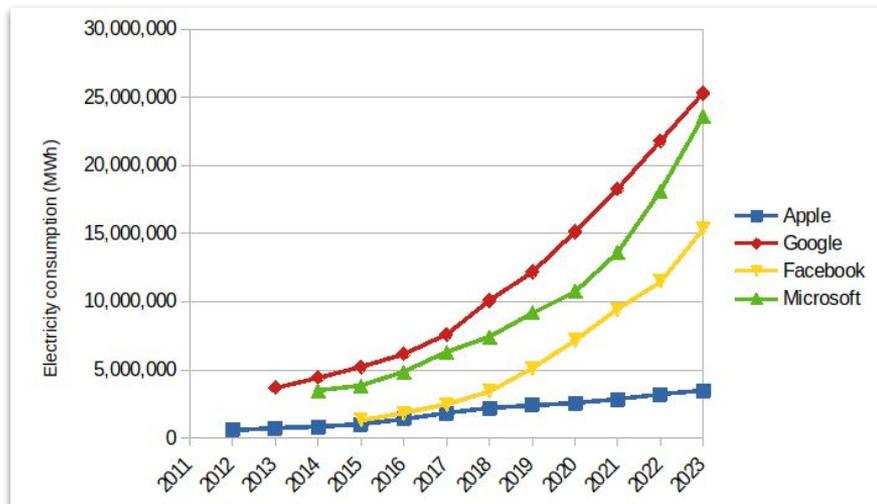
impact du PUE ?



inférence ?

impact du mix énergétique ?

# Exemple de TD : analyse de rapports environnementaux



# Exemples d'articles proposés

## Patterns

### Review

### **The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations**

Charlotte Freitag,<sup>1</sup> Mike Berners-Lee,<sup>1</sup> Kelly Widdicks,<sup>2,\*</sup> Bran Knowles,<sup>2</sup> Gordon S. Blair,<sup>2</sup> and  
<sup>1</sup>Small World Consulting, Gordon Manley Building, Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster  
<sup>2</sup>School of Computing and Communications, InfoLab21, Lancaster University, Lancaster, Lancashire LA1 4WZ  
\*Correspondence: [k.v.widdicks@lancaster.ac.uk](mailto:k.v.widdicks@lancaster.ac.uk)  
<https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>

## Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing

Udit Gupta<sup>1,2</sup>, Young Geun Kim<sup>3</sup>, Sylvia Lee<sup>2</sup>, Jordan Tse<sup>2</sup>,  
Hsien-Hsin S. Lee<sup>2</sup>, Gu-Yeon Wei<sup>1</sup>, David Brooks<sup>1</sup>, Carole-Jean Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harvard University, <sup>2</sup>Facebook Inc., <sup>3</sup>Arizona State University

[ugupta@g.harvard.edu](mailto:ugupta@g.harvard.edu) [carolejeanwu@fb.com](mailto:carolejeanwu@fb.com)

## Moore's Law and ICT Innovation in the Anthropocene

David Bol, Thibault Pirson and Rémi Dekimpe  
*Electronic Circuits and Systems group, ICTEAM Institute  
Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium*  
{[david.bol](mailto:david.bol), [thibault.pirson](mailto:thibault.pirson), [remi.dekimpe](mailto:remi.dekimpe)}@uclouvain.be

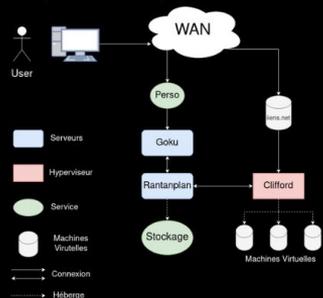
# Projets

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE

## OPPORTUNITÉ DE MISE EN VEILLE PROFONDE DES SERVEURS

L'objectif est de faire un suivi en temps réel et une analyse de la consommation des serveurs d'Arise, et d'étudier les opportunités de mise en veille profonde des serveurs lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

### Infrastructure simplifiée d'ARISE



Serveur	Consommation
Goku	16.161 KWh
Rantaplan	21.336 KWh
Clifford	20.496 KWh

arise

Scénario

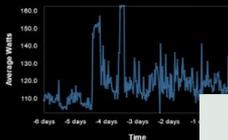
- > Serveur éteint : 0W
- > Serveur allumé : 120W
- > Redémarrage en 5min
- > Veille entre 2h et 7h
- > Allumé pendant 5min
- > 3 redémarrages en 1h
- > Démarrage : 150W

- + 337,5Wh consommés avec le scénario précédent contre 600Wh sans éteindre les serveurs
- Usage dégradé
- Difficulté de la mise en place d'une telle solution par les membres d'Arise
- 5min d'attente pour accéder au site

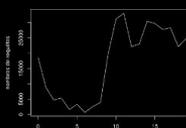
Mael ACIER, Marine ASTRUC, Thien An CAO, Samue



Consommation de Clifford



moyenne du nombre de requêtes par heure sur Clifford



### Le PUE, c'est quoi ?

Le PUE, c'est le rapport entre l'énergie totale consommée par un datacenter, et celle de ses équipements informatiques uniquement. Il donne une indication sur l'efficacité énergétique du centre : plus il est proche de 1, meilleure est l'efficacité !

### Quels équipements ?

Pour calculer le PUE, il faut sommer les équipements d'Arise selon leur nature :

- **informatiques** : serveurs, switches, réseaux, baies de stockage, ...
- **physiques** : système de refroidissements, onduleurs, ...



ÉTUDE DE L'INDICATEUR D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DE L'ASSOCIATION

### La méthode de calcul

Pour les serveurs pour lesquels c'était possible, des **mesures** ont été effectuées. Pour le reste, des **estimations** ont été faites en se basant principalement sur les informations des constructeurs.

### Les résultats

Au final, Arise c'est 1686Wh pour les équipements informatiques, et 787Wh pour les équipements physiques. Ainsi, avec un **PUE de 1.47**, Arise se place en dessous de la **moyenne française** qui est de **1.8**, ce qui est bon signe !



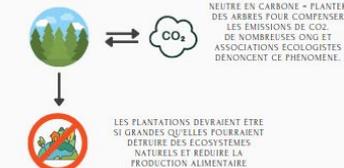
"LE MOTEUR DE RECHERCHE QUI PLANTE DES ARBRES."  
Vraiment Green ?

## Les limites d'Ecosia

### COMMENT ÇA MARCHE ?



### LA COMPENSATION CARBONE EST-ELLE VRAIMENT UNE SOLUTION ?



## Les promesses d'Ecosia

150 millions  
D'ARBRES PLANTES DEPUIS 2009

### Reforestation DANS LES HOTSPOTS DE LA BIODIVERSITÉ

### B Corporation

100% des profits  
REVERSES À L'ACTION CLIMATIQUE

80% PLANTATION  
D'ARBRES

20% ENERGIE  
RENOUVELABLE

### Rapports financiers PUBLIES CHAQUE MOIS

### Avant/Après

MARQUANTS COMME AU  
BERKINA FASO



EMISSIONS, IL

MAXIME CIBOIS - EMMA LAMBRECHT



# Et dans les autres enseignements ?

## Projet de réalité virtuelle

« Legend of Recyclia » : tri des déchets, objectif = lancer les objets dans la bonne poubelle en fonction de leur couleur

« Match my disability » : objectif = se mettre dans la peau d'une personne handicapée dans sa journée de travail pour comprendre ses difficultés

« lamGreen » : joueur = entité surnaturelle omniprésente qui veille sur son lopin de forêt et doit le défendre face à une population humaine qui cherche à en exploiter les ressources

## Projet informatique

jeu avec pour objectif de faire gagner des points DD à son école, avec des cartes action comme « Cours Développement Durable », « Recyclage » ou « Repas végétarien »

+ points bonus pour réduction de la consommation électrique du code

# Retour d'expérience : quel positionnement des étudiants ?

Rendre actifs les étudiants

créer les conditions pour débats, questionnements

Choisir des sujets en lien direct avec les étudiants

en lien avec les associations

Faire en sorte que les étudiants se sentent légitimes

discuter du rôle de l'ingénieur

# Retour d'expérience : quelles difficultés pour les enseignants ?

- nature systémique du numérique
- interdisciplinarité nécessaire pour mettre en place ces enseignements
- peu de ressources exhaustives
- manque de légitimité
- place dans les maquettes ? former les collègues, rappeler demandes étudiantes

ACM Code of Ethics and Professional Conduct  
«computing professionals should promote environmental sustainability both locally and globally.»

# Une intégration continue de ces enjeux ?

Cours en perpétuelle évolution et mise à jour

À l'enslIE nouveau cours sur place de l'ingénieur en 2025-2026

Enseignement également intégré dans les masters informatiques de Paris-Saclay,  
à CentraleSupélec

Difficulté de la mise en place dans une petite école bi-disciplinaire seulement