

Rex ANF Ecoinfo 2019

Impact environnemental du Numérique : comprendre et agir
Focus TP Ecoconception

K. Dassas (IAS/INSU/CNRS)

LoOPS est le réseau des développeurs de logiciels scientifiques dans les établissements de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche au sud-ouest de Paris.

<http://reseau-loops.github.io/>



LoOPS s'inscrit dans la perspective du réseau DevLog.

<http://devlog.cnrs.fr>

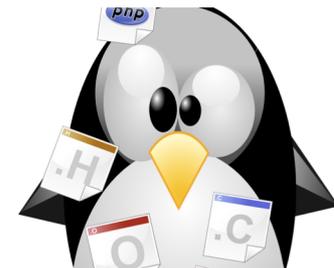


```
Net -> join(members);
```

Pour souscrire à la liste:

<https://groupes.renater.fr/sympa/info/loops/>

- Présentation du GDS Ecoinfo
- ANF Ecoinfo Impact environnemental du numérique
- Rex TP écoconception
- Conclusion





Le GDS EcoInfo, ce sont des ingénieurs, des chercheurs, des étudiants des secteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur en France autour d'un objectif commun :

Agir pour réduire les impacts (négatifs) environnementaux et sociétaux des TICs (Technologies de l'Information et de la communication)

INS2I (Informatique) et l'INEE (écologie et de environnement) du CNRS

<https://ecoinfo.cnrs.fr/2019/04/11/formation-impact-environnemental-du-numerique-comprendre-et-agir/>

Enjeux environnementaux globaux

(PY Longaretti équipe STEEP, INRIA Grenoble)

Volume, extraction métaux, recyclage DEEE

(F. Berthoud, GRICAD, Grenoble)

Le Numérique dans tout ça ?

(A. Monnin ESC Clermont Ferrand)

Normes et standards du numérique

(G. Feltin GRICAD, Grenoble)

Focus sur les effets indirects et les effets rebond

(Jacques Combaz CNRS, Verimag, Grenoble)

Pourquoi n'agit-on pas (suffisamment) ?

(Peter Sturm équipe STEEP, INRIA Grenoble)

Introduction à l'analyse du cycle de vie (ACV)

(Guillaume Mandil GSCOP équipe STEEP, INRIA Grenoble)

TP Ecoconception autour du calcul

Focus sur les consommations d'usage

(L. Lefevre, Inria, LIP, Lyon)

TP Datacenter :
mutualisation ou
rester en local





CO₂eq : désigne le potentiel de réchauffement global d'un gaz à effet de serre, calculé par équivalence avec une quantité de CO₂ qui aurait le même potentiel de réchauffement global

| | g eq CO2 |
|--|-------------|
| 1 vol Paris-Nice[1] | 170 000 |
| 1 vol Paris – New York[1] | 1 000 000 |
| 1 TGV Grenoble-Paris[2] | 1 538 |
| 1 km en voiture pour 1 passager, s'il est seul dans sa voiture / si 4 passagers[3] | 140 / 35 |
| 1 repas classique avec boeuf / végétarien [4] | 6 890 / 510 |
| 1 feuille A4[5] | 10 |

| | g eq CO2 |
|--|---------------------|
| Fabrication / transport d'un laptop (latitude 5490)[6] | 200 000 / 11 000 |
| Fabrication / transport d'un écran (24'')[6] | 350 000 / 25 000 |
| Usage pendant 1 an laptop+écran (France, hors internet)[7] | 10 000 |
| 1h.coeur de calcul (mésocentre, hors fabrication des serveurs) [7] | 2,8 |
| Fabrication / transport d'un serveur (R740)[6] | 1 060 000 / 200 000 |

Ref F.Berthoud

1 <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>

2 <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>

3 Basé sur un véhicule émettant 140gCO2/km

4 http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?repas.htm

5 *3,28 geCO2/g papier imprimé : Source base ACV Ecoinvest ("printed paper, offset" - offset printing - per kg) soit 10,22 geCO2 par feuille (A4 grammage 50g/m2)

6 https://www.dell.com/learn/us/en/uscorp1/corp-comm/environment_carbon_footprint_products

7 Estimation EcoInfo (prise en compte climatisation et nombre d'heures de calcul effectif dans l'année, facteur d'impact : 0,119 kgCO2e/kwh)

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>

Transports

- Avion (voyageurs) - 180-250 sièges, trajet de 0-1 000 km :
293 g CO₂éq/passager.km
- Voiture particulière - puissance fiscale moyenne, motorisation essence :
259 g CO₂éq/km
- TGV, Train Grande Vitesse (France) :
3,69 g CO₂éq/passager.km
- Métro (Paris) :
5,70 g CO₂éq/passager.km

Alimentation

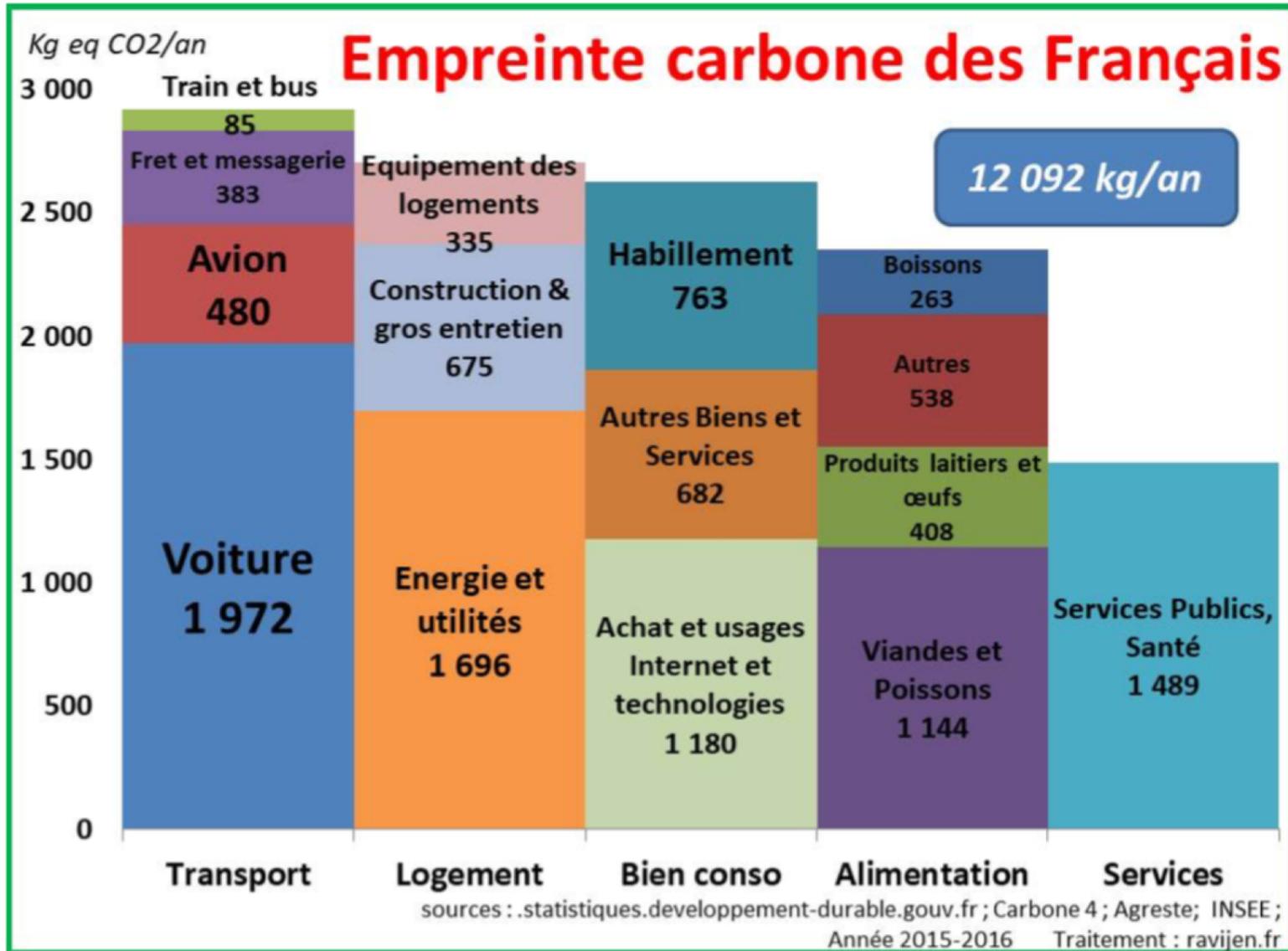
- Repas - classique (avec bœuf) :
4,52 kg CO₂éq/repas
- Repas - classique (avec poulet) :
1,11 kg CO₂éq/repas
- Repas - végétarien :
0,45 kg CO₂éq/repas

Électronique

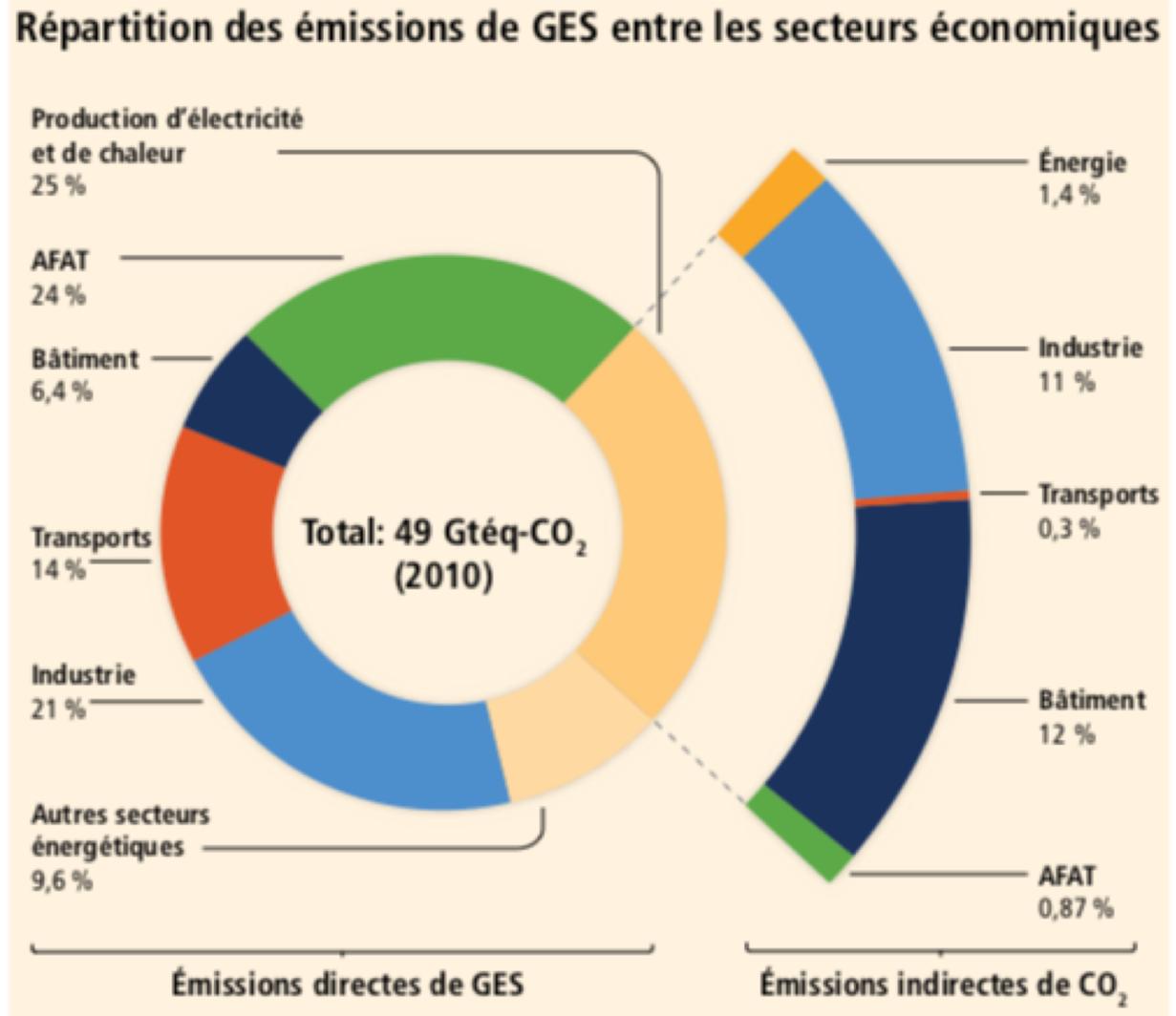
- Ordinateur fixe - avec écran plat :
1 280 kg CO₂éq/appareil
- Ordinateur portable - de 14,1 pouces :
202 kg CO₂éq/appareil
- Smartphone :
30 kg CO₂éq/appareil

Communication

- 1 mail avec pièce jointe :
35 g CO₂éq/unité
- 1 requête internet :
6,65 g CO₂éq/unité
- 1 mail :
4 g CO₂éq/unité
- 1 tweet :
0,02 g CO₂éq/unité

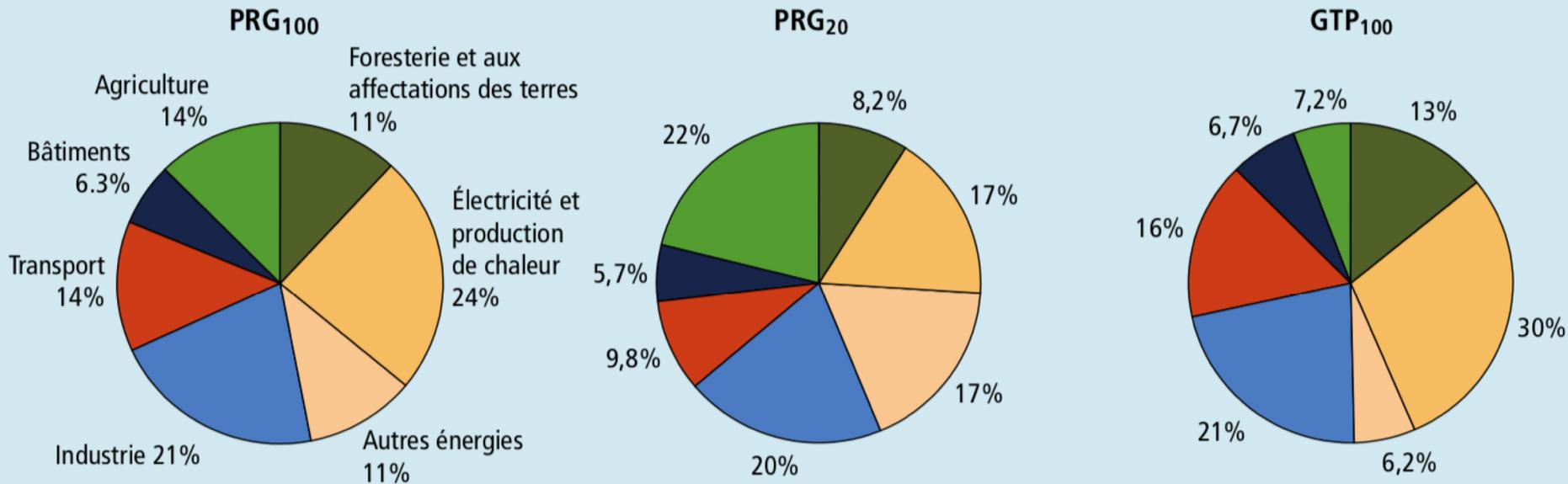


AFAT (agriculture, foresterie et autres affectations des terres)



Répartition des émissions anthropiques totales de GES (gigatonnes d'équivalent-CO2 par an, Gt_{eq} CO2/an) :
 source rapport GIEC 2014 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf Figure 1.6

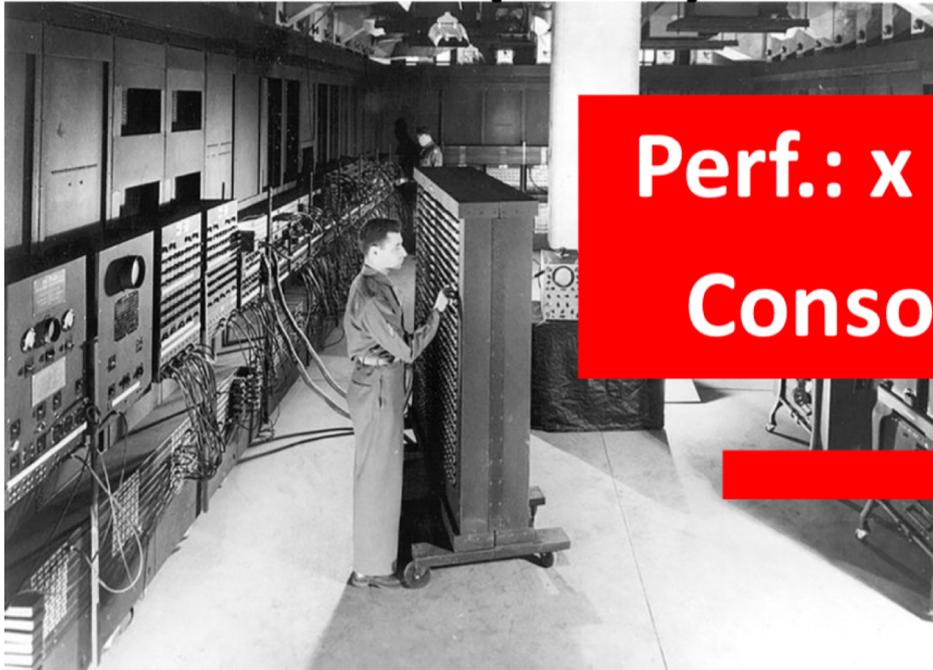
Contributions par secteur aux émissions totales de GES selon différentes métriques



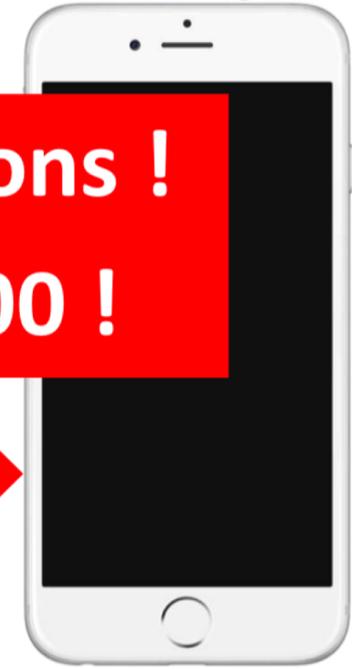
Le forçage radiatif intégré est employé pour calculer les potentiels de réchauffement global (PRG), tandis que le réchauffement à un point donné de l'avenir sert à calculer les potentiels d'évolution de la température planétaire (GTP).

source rapport GIEC 2014 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf encadré 3.2

ENIAC (1945)



iPhone 6 (2014)

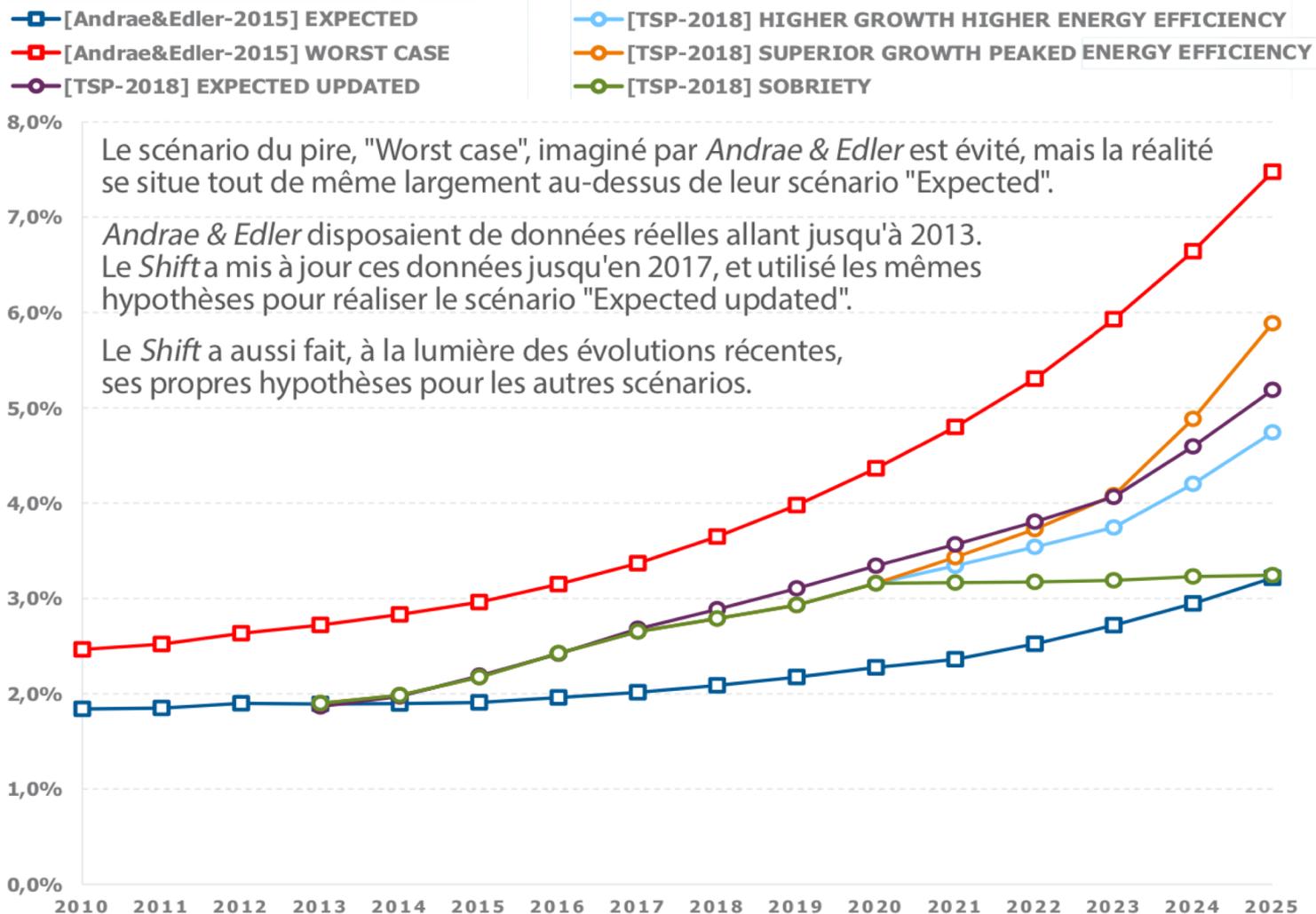


Perf.: x 260 millions !
Conso. : ÷ 75 000 !



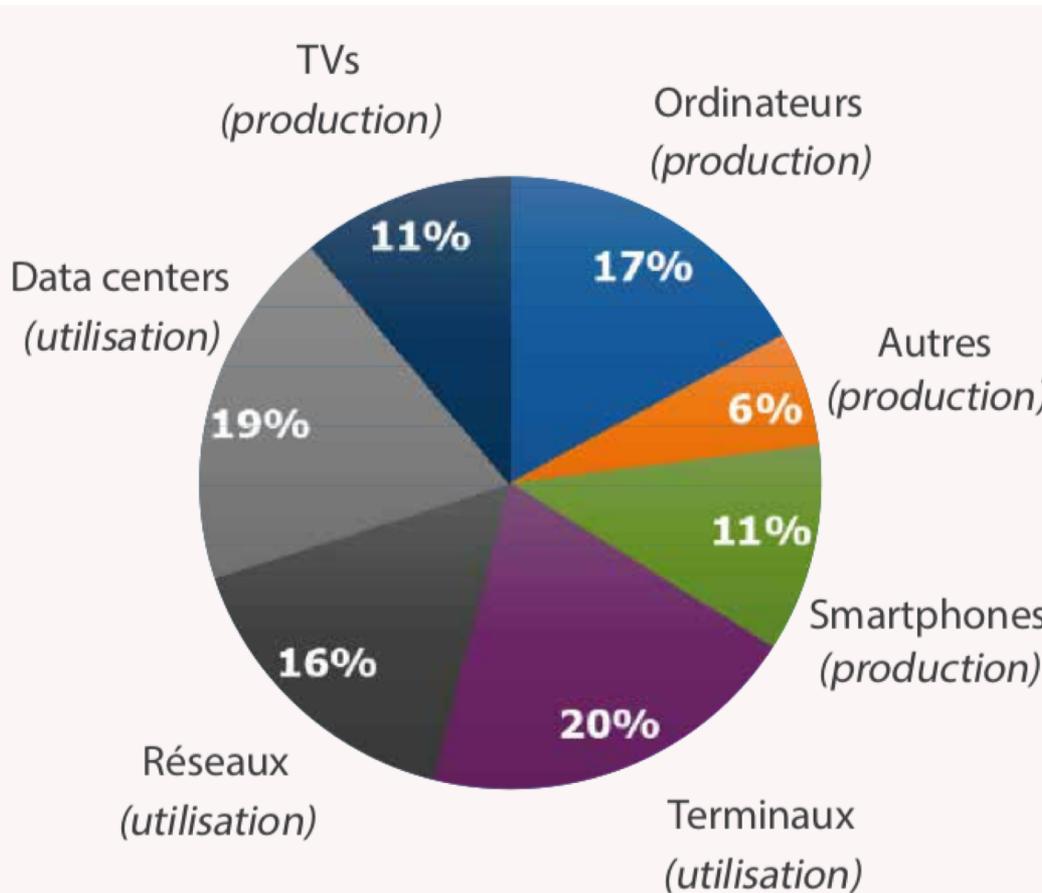
- Poids : 30 t
- Dim. : 30,5 m × 2,4 × 0,9 (167 m²)
- Conso. : 150 kW
- Perf. : ~500 FLOPS

- Poids : 130 g
- Dim. : 158,1 × 77,8 mm × 7,1 mm
- Conso. : ~2 W
- Perf. : ~130 GFLOPS



Évolution de la consommation énergétique mondiale du numérique entre 2010 et 2025, rapportée à la consommation énergétique mondiale totale

[Source : scénarios et calculs *The Shift Project* 2018, à partir de *Andrae & Edler* 2015]



Distribution de la consommation énergétique du numérique par poste pour la production et l'utilisation en 2017.

[Source : *The Shift Project* 2018, à partir de Andrae & Edler 2015]

Le facteur d'émission traduit l'intensité carbone de la production d'électricité, au vu du mix électrique en vigueur dans la zone géographique

- **Union Européenne** : 0,276 kgCO₂e/kWh
- **France** : 0,035 kgCO₂e/kWh
- **Etats-Unis** : 0,493 kgCO₂e/kWh
- **Chine** : 0,681 kgCO₂e/kWh
- **Autres (facteur moyen mondial)** : 0,519 kgCO₂e/kWh

Source : The shift project

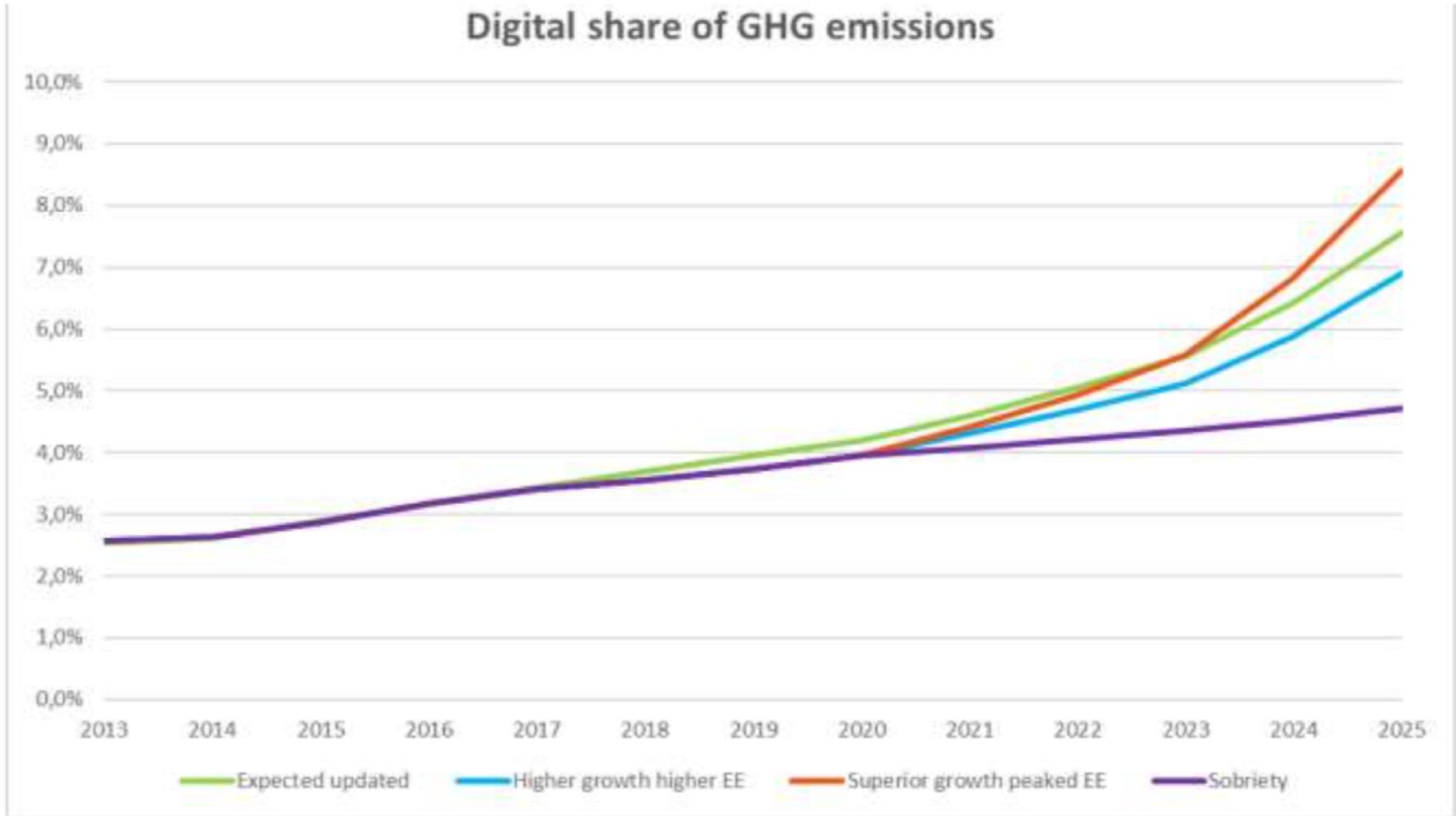


Figure 3 : Évolution 2013-2025 de la part du Numérique dans les émissions de GES

[Source : [Lean ICT Materials] Forecast Model. Produit par The Shift Project à partir des données publiées par (Andrae & Edler, 2015)]

La part du numérique dans les émissions de gaz à effet de serre a augmenté de moitié depuis 2013, passant de 2,5 % à 3,7 % du total des émissions mondiales.



TIC
2025 (projections)
8% des GES mondiaux

automobile
2017
 8% des GES mondiaux

Ref : J. Combaz https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2019/07/2019-07-04_AmiQual4Home_nobackup.pdf

Focus REX TP Ecocoception

TPs proposés par Cyrille Bonnamy, Laurent Bourges et Laurent Lefèvre

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/

Ecoinfo 1: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2609 v3 @ 1.90GHz
Ubuntu 18.04.2 LTS (GNU/Linux 4.15.0-60-generic x86_64)

Ecoinfo 2 : Intel® Xeon® Processor E5 v3 Family E5-2609V3 6 coeurs 1.90 GHz TDP 85 W

EcoInfo 3: Intel(R) Xeon(R) CPU E5620 @ 2.40GHz 4 coeurs 8HT 2,40 GHz TDP 80 W



+ Voltmètre pour mesurer la consommation énergétique

```
stdbuf -oL ./wattsup.bin -t -c 10000 ttyUSB0 watts > conso.txt
```

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/2.2_langages_et_algos/TP_ANF2019.pdf

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/tree/master/ecoconception_logicielle

Comparaison python (4 versions du programme) , Julia (4 versions) et Fortran pour 1 algo en mécanique des fluides (*ref cours Julien Chauchat*)

Voir `ecoconception_logicielle/jlfiles/`

| | |
|-----------------------------|---|
| <code>main1D_cb.jl</code> | algo inversion matrice optimisée (portage basique) (4M pt) |
| <code>main1D_cbv2.jl</code> | algo inversion matrice optimisée (optimisation 1) (4M pt) |
| <code>main1D_cbv3.jl</code> | algo inversion matrice optimisée (optimisation: copies) (4M pt) |
| <code>main1D_opt.jl</code> | algo inversion matrice optimisée (optimisation: no alloc) (4M pt) |

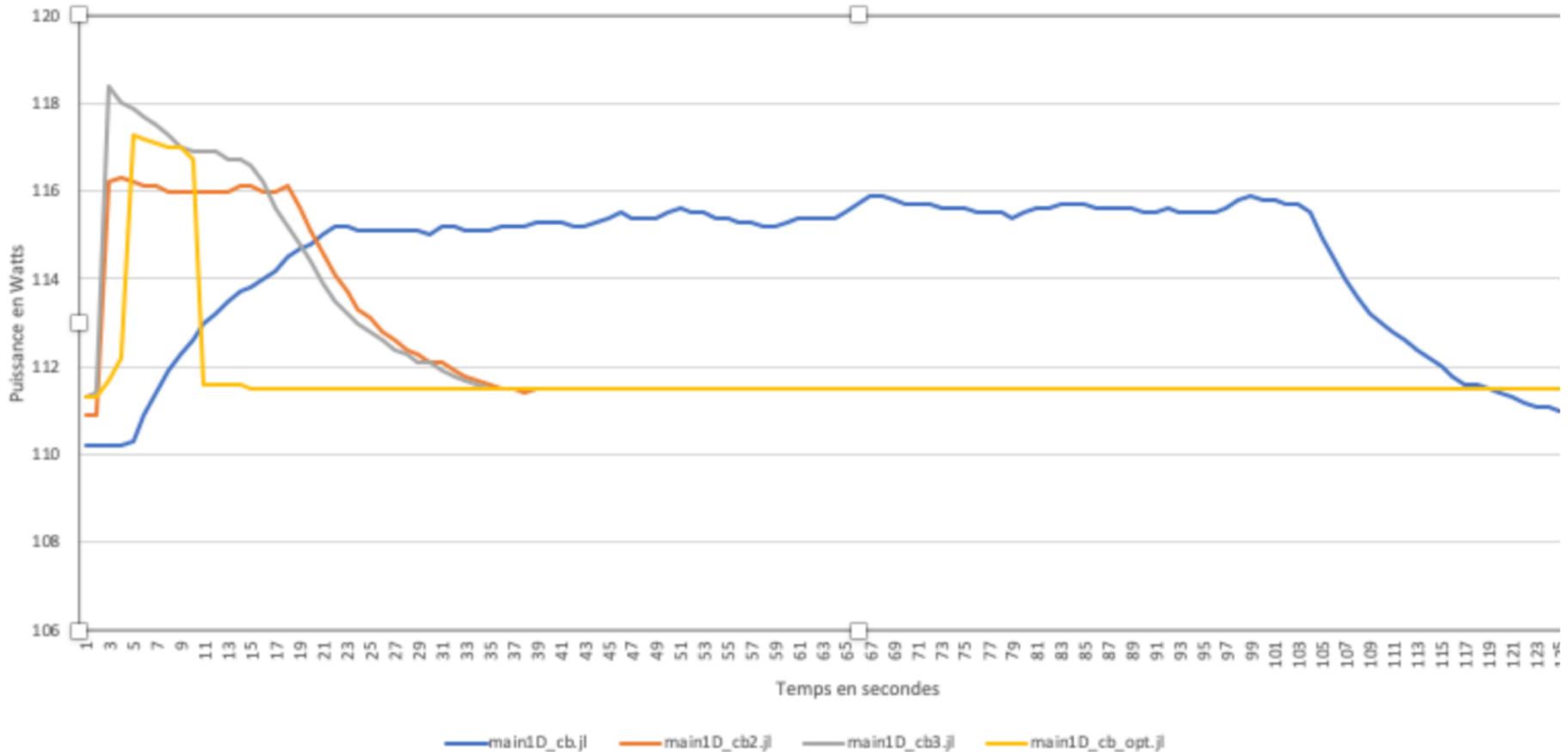
Voir `ecoconception_logicielle/pyfiles/`

| | |
|-----------------------------|---|
| <code>main1D.py</code> | version Julien Chauchat d'origine (approche matricielle) + plots (2048pt) |
| <code>main1D_cbv1.py</code> | algo inversion matrice optimisée (4M pt) |
| <code>main1D_cbv2.py</code> | pure Python (numpy only) (4M pt) |
| <code>main1D_cbv3.py</code> | Python + transonic / pythran (4M pt) |
| <code>main1D_cbv4.py</code> | Python + numba (4M pt) |

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/2.2_langages_et_algos/TP_ANF2019.pdf

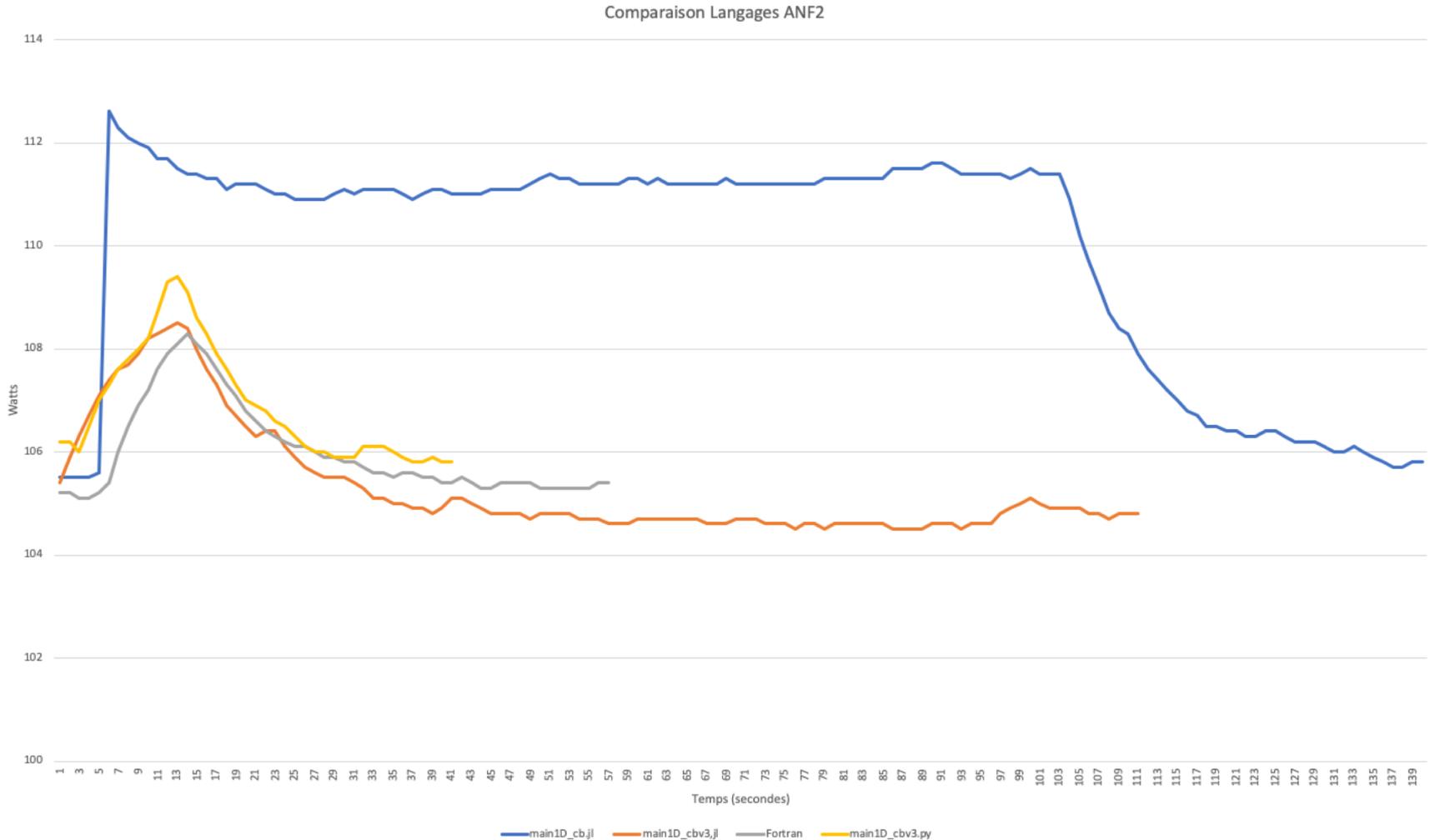
https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/tree/master/ecoconception_logicielle

Comparaison conso (Watts)/ temps d'exécution (secondes) par programme



https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/eoinfo_anf/blob/master/tp/2.2_langages_et_algos/TP_ANF2019.pdf

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/eoinfo_anf/tree/master/ecoconception_logicielle



https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/2.2_langages_et_algos/TP_ANF2019.pdf

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/tree/master/ecoconception_logicielle/jlfiles

Sur ANF1

| Langage | Programme | Temps CPU (s) | Consommation (W) |
|---------|----------------|---------------|------------------|
| python | main1D_cbv2.py | 457,2 | 114 |
| python | main1D_cbv3.py | 27,5 | 114 |
| python | main1D_cbv4.py | 8,6 | 118 |
| Fortran | main1D_cb.f90 | 8,3 | 114 |
| julia | main1D_cbv1.jl | 97,6 | 115 |
| julia | main1D_cbv2.jl | 15,40 | 117 |
| julia | main1D_cbv3.jl | 12,99 | 118 |
| julia | main1D_opt.jl | 6,79 | 117 |

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/1.2_vert_ds_applications/TP_ANF2019.pdf

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/1.2_vert_ds_applications/scripts/cpuburn.sh

- impact du multiprocessing, du nombre de lectures, du trafic réseau sur la consommation énergétique

 **cpuburn.sh** 238 Bytes 

```

1  #!/bin/bash
2  # test stress
3
4  date=`date +%s`
5  echo "date = $date --> stress for $1 seconds" >> logs
6  time=$(( $1 - 3 ))
7  (stress -t $time -c 10 -i 10 -m 10 -d 10 | cat ) >> logs &
8  sleep $1
9  (killall -q stress | cat ) > /dev/null
10 date=`date +%s`

```

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/1.2_vert_ds_applications/TP_ANF2019.pdf

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/1.2_vert_ds_applications/scripts/cpuburn.sh

<http://manpages.ubuntu.com/manpages/bionic/man1/stress.1.html>

`stress -c 2 / stress -i 2 / stress -d 2 / stress -m 2`

| Paramètre | Consommation (Watts) |
|---|----------------------|
| c2 calcule racine carrée nombres aléatoires | 117,7 |
| i2 (I/O vide mémoire sur disque, data en cache) | 117,3 |
| d2 (écritures disk unlink) | 119,1 |
| m2 (malloc / free) | 118,4 |
| c4 | 124,4 |
| c8 | 144 |
| c10 | 157 |

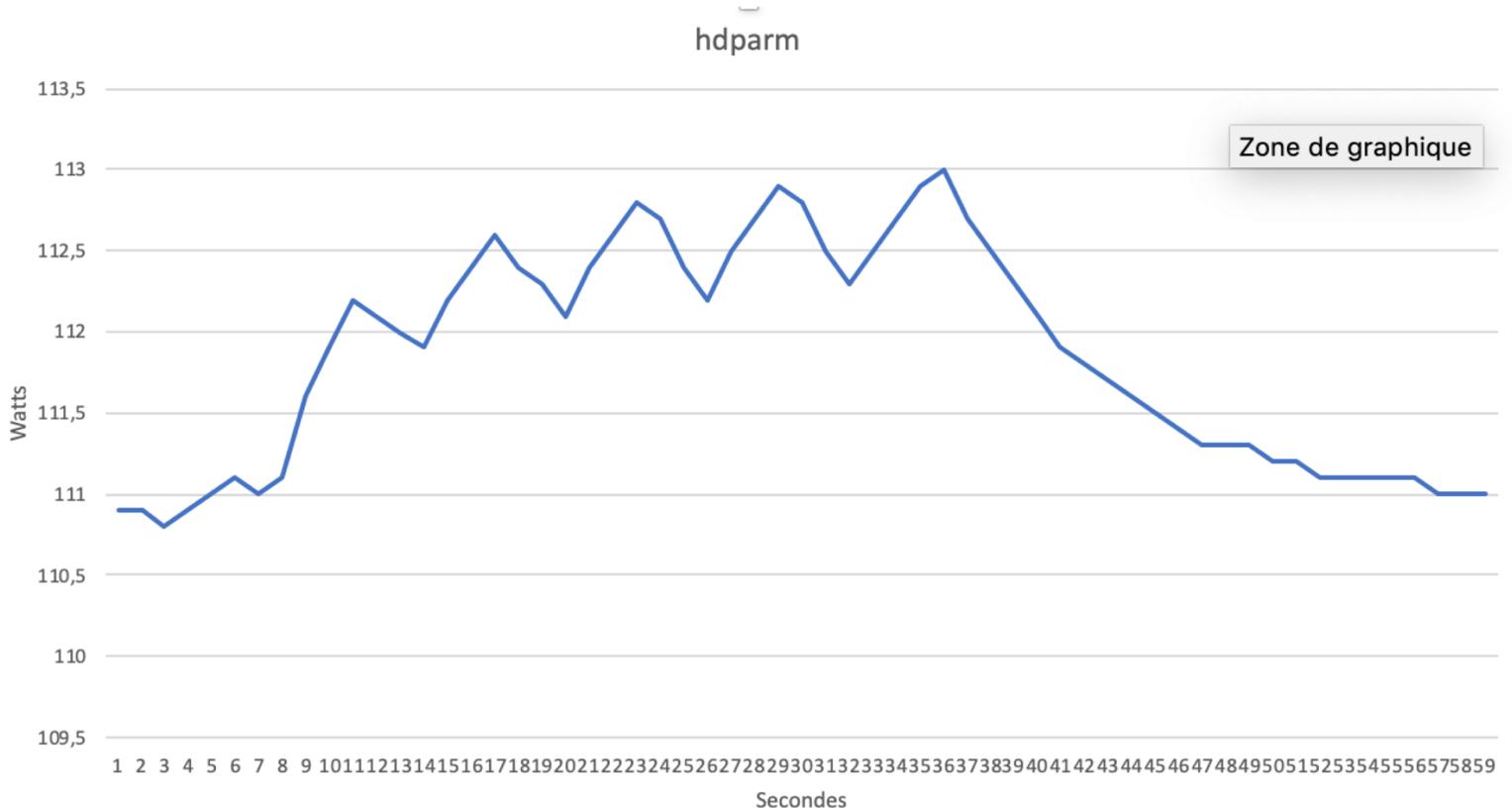
https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/1.2_vert_ds_applications/TP_ANF2019.pdf

2.3 Applications intensives en utilisation disque

On utilise la commande `hdparm` qui utilise les disques. Regardez l'utilité de `hdpram` (`man hdparm`).

```
Lancer hdparm.sh 30
```

hdparm



Zone de graphique

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/1.2_vert_ds_applications/TP_ANF2019.pdf

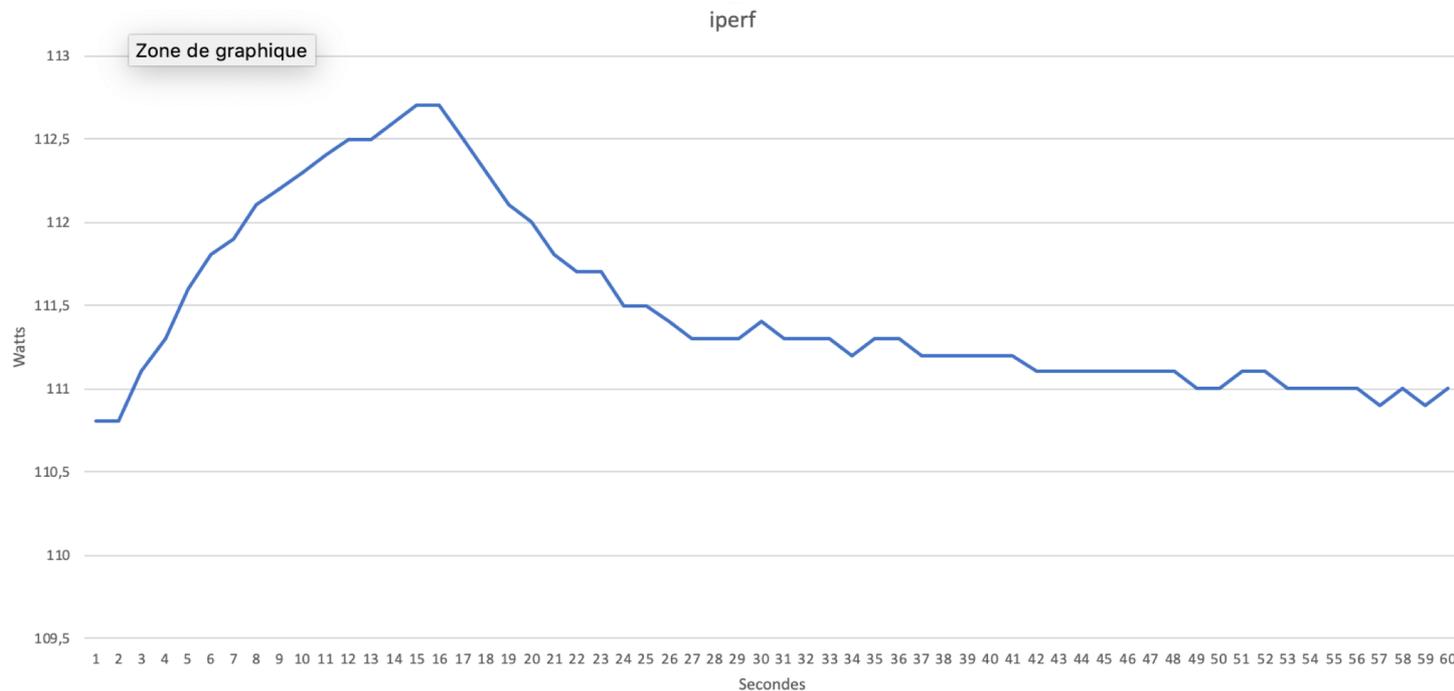
2.4 Applications intensives en utilisation réseau

On va déployer une application intensive en utilisation réseau qui va communiquer entre 2 serveurs ou entre le serveur et votre machine :

```
iperf-server.sh 120 &
```

et rapidement on lance une application cliente :

```
iperf-client.sh 30 machine &
```



https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/2.2_langages_et_algos/TP_ANF2019.pdf

4 Impact de la volumétrie & Scalabilité du programme (20')

Editer le fichier Python (v2) pour faire varier la taille du problème (M):

```
cd ecoinfo_anf/ecoconception_logicielle/pyfiles/
vi main1D_cbv2.py
# mesh cells in x-direction
```

| M | Précision | Temps CPU (secondes) |
|---------|-----------|----------------------|
| 1000 | 2,22E-05 | 0.062 |
| 10000 | 7,07E-07 | 0,9 |
| 100000 | 2,24E-08 | 7,53 |
| 1000000 | 1,068E-09 | 97 |

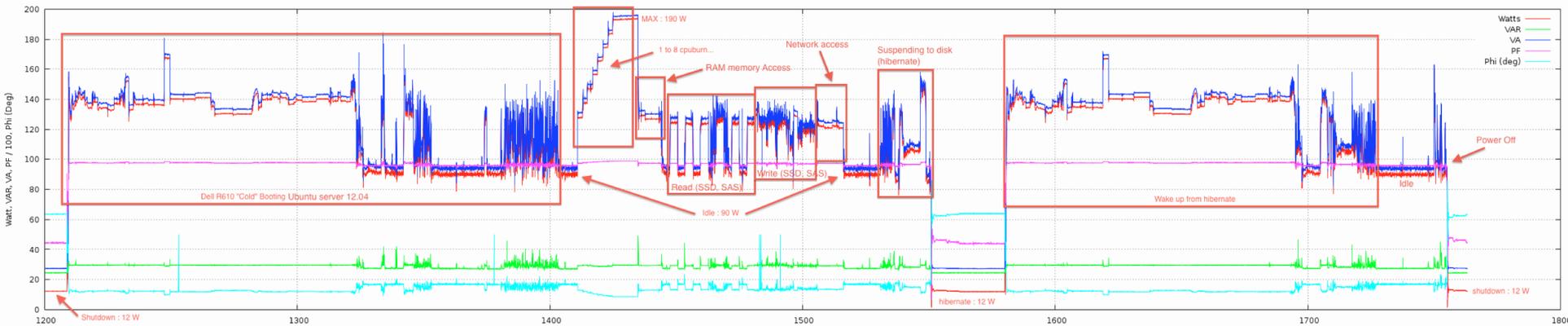
https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/tp/2.2_langages_et_algos/TP_ANF2019.pdf

5 Impact de Docker et Intégration continue (EXTRA)

L'utilisation des technologies de container (Docker) et de l'intégration continue sont très 'à la mode' ...
 Tous les codes des TP's EcoConception logicielle sont gérés dans un dépôt gitlab sur la forge GRICAD (U.G.A).
 Ces codes ont été préparés pour fonctionner sur un serveur Ubuntu 18.04 et Docker a été utilisé pour valider le bon fonctionnement (tests d'intégration).

A vous d'essayer : pas testés lors du TP !

Extrait de https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/econifo_anf/blob/master/slides/ANF_2019_Autrans_EcoInfo_Laurent_Lefevre.pdf



Dell R610 - ~ Zimmer LMG450



| | extraction des ressources | fabrication | transport | usage | gestion de fin de vie |
|--|---------------------------|-------------|-----------|-------|-----------------------|
| Consommation d'énergie primaire | | | | | |
| Changement climatique | | | | | |
| Destruction de la couche d'ozone | | | | | |
| Toxicité humaine Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour l'homme | | | | | |
| Ecotoxicité aquatique Émissions dans l'air, l'eau et le sol de substances toxiques présentant un risque potentiel pour la faune et la flore aquatique | | | | | |
| Déplétion des métaux | | | | | |
| Consommation d'eau | | | | | |

Ref : J. Combaz https://ecoinfo.cnrs.fr/wp-content/uploads/2019/07/2019-07-04_AmiQual4Home_nobackup.pdf

C'est bien le temps CPU qui consomme le plus d'énergie,
MAIS : conso idle très importante

Optimisation pour lancer plus de jobs ou bien pour réduire la consommation ?

Eteignez vos machines (ou mode hibernate) quand vous ne les utilisez pas !



Avis aux amateurs : ANF Ecoinfo l'année prochaine

https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/bonamyc/ecoinfo_anf/blob/master/slides/ANF_2019_Autrans_EcoInfo_Laurent_Lefevre.pdf

<https://www.editions-eyrolles.com/Livre/9782212678062/ecoconception-web-les-115-bonnes-pratiques>

<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-final-v8-WEB.pdf>

<https://ecoinfo.cnrs.fr/2015/01/22/communications/>

<https://www.greenit.fr>

<https://labos1point5.org>

Pas/Peu de Proportionalité Energétique

Luiz André Barroso and Urs Hölzle, « The case for Energy-Proportional Computing », *IEEE Computer*, 2007

Serveurs : Consommation *idle* (à vide / statique) importante – faiblement proportionnelle

Réseau : consommation constante insensible à l'usage

