

MONTAGE D'UN PROJET EN GEOTHERMIE TRÈS BASSE TEMPÉRATURE SUR UN LYCEE EXISTANT



ORIGINE DE L'INTERET OBJECTIF CO2

NATURE DE LA REPONSE « A PRIORI »

MONTAGE DU PROJET PAR LE MAITRE D'OUVRAGE

OPTIMISATION DU COUPLAGE BESOINS / POTENTIEL

LES ENJEUX DU SUIVI ENERGETIQUE

ORIGINE DE L'INTERET OBJECTIF CO2

PRISES DE CONSCIENCE PAR LES SOMMETS MONDIAUX SUR LE CLIMAT

➔ Rio 1992, Kyoto 1997 (facteur 4), Johannesburg 2002... COP 21 PARIS...et maintenant COP 24

➔ ... Victoire!... Tout reste à faire!

Engagement de 195 pays à réduire le émissions de GES (4/11/2017) pour **limiter le réchauffement climatique à 2°C pour 2100**, engagement révisé tous les 5 ans

Avec les Etats Unis qui se retirent de l'accord de Paris

Bilan: le facteur 4 de Kyoto est toujours d'actualité sauf qu'il ne nous reste plus que 30 ans!



LE FACTEUR 4 A RESPECTER DANS TOUS LES DOMAINES!

BILANS CO2 DES EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS SUR LA VIE D'UN LYCEE

Alimentation

Portion de pain +
150 gr bœuf + 80 gr
haricots+ fromage



CO2/m².an

7,4 kg

24 kg si veau tous les jours

0,137 Tonne
CO2/usager.an

Construction

Structure porteuse
béton
« lissé » sur 60 ans



CO2/m².an

3 kg

0,056 Tonne
CO2/usager.an

Consommations énergétiques

Chauffage GN
lycée de 30 ans
(Dordogne)



CO2/m².an

22 kg

0,41 Tonne
CO2/usager.an

Fournitures pédagogiques

Dotation
ordinateurs
imprimantes
meubles...



CO2/m².an

2,5 kg

0,062 Tonne
CO2/usager.an

Transports

1/3 en voiture
(12km) et 2/3
bus (10 km)



CO2/m².an

7,8 kg

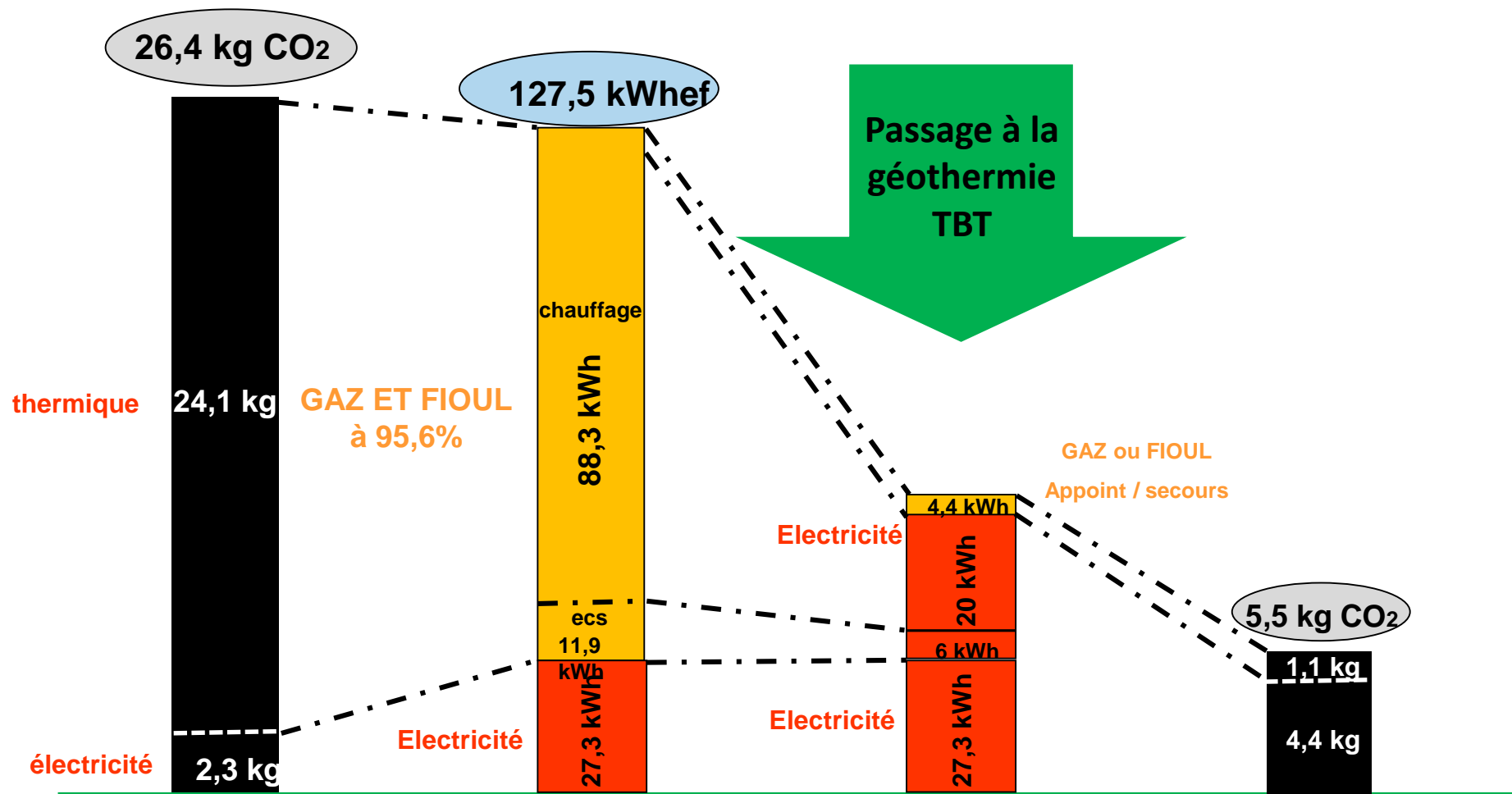
0,144 Tonne
CO2/usager.an

42,7kg/m².an

NATURE DE LA REPONSE « A PRIORI »

Pourquoi?

Bilans année 2007 par m².an

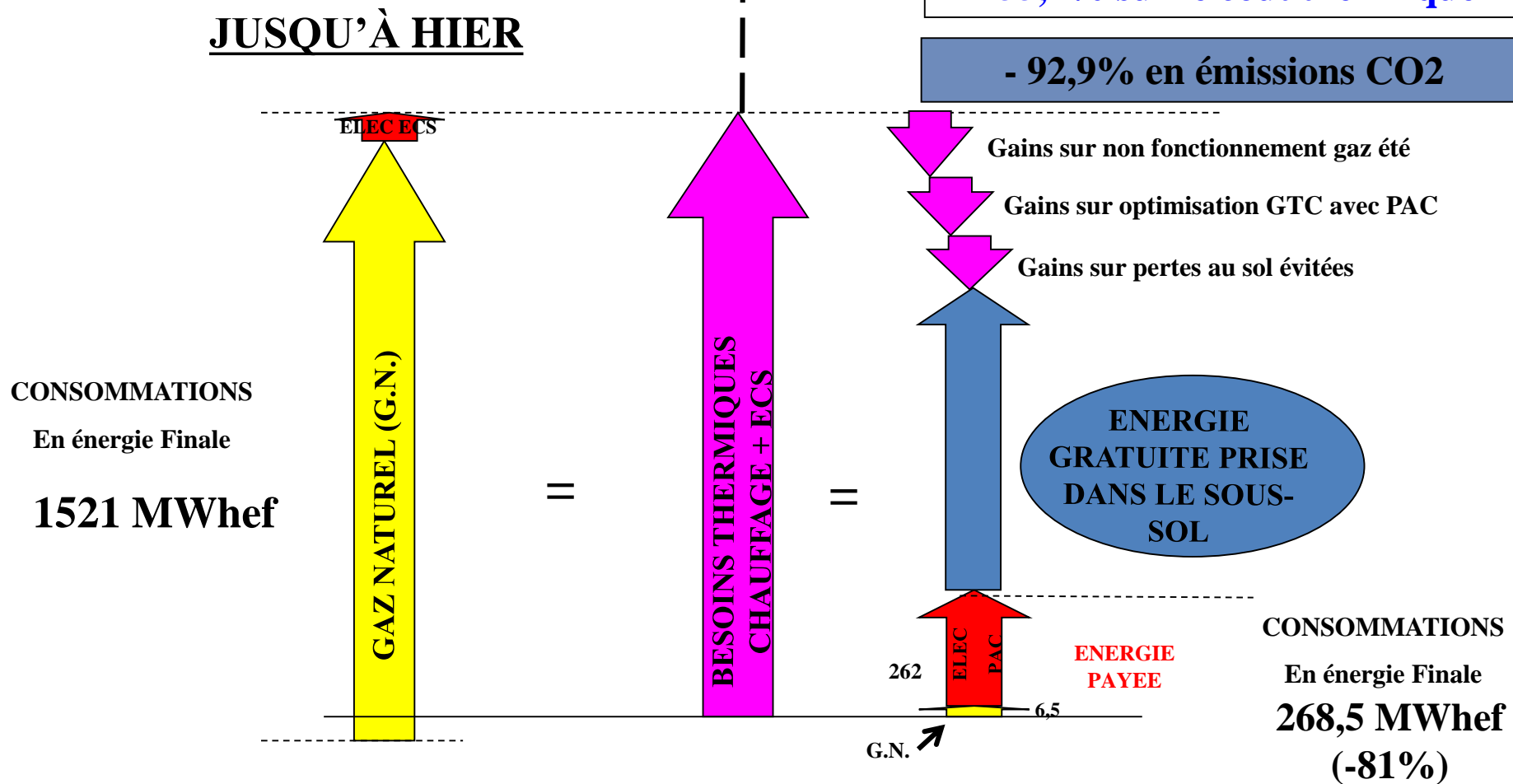


FACTEUR SUPERIEUR à 4 LARGEMENT POSSIBLE!

BILAN ENERGIE / CO2 DU PROJET DE GEOTHERMIE AU LYCEE GRAND AIR A ARCACHON (CH + ECS) en 2017

Rigueur climatique = 0,82

PROJET



- 38 740 €TTC sur le coût thermique (2017)

- 72 160 €TTC sur le coût thermique (2030)

➔ Coûts induits P2 et P3?

📁 Exemple du lycée d'Arcachon (Puissance PAC = 500 kW)

P2 = 8 400 €HT/an

P3 = 3 300 €HT/an

P1 avant = $73,66 \times 1506 = 110\,930$ €TTC/an

P1 après = $73,66 \times 15 + 1135 \times 42,04 = 48\,815$ €TTC/an

Coût TDC = 702 K€

Coût TRcg = 12,9 ans *

DP1 = 62 100 €TTC

P2 + P3 = 14 000 €TTC/an

Dcoût = 48 100 €TTC/an

(Taux = 77,5 %)

📁 Exemple du site Kastler (Puissance PAC 1 200 kW)

📁 P2 = 14 400 €HT/an P3 = 3 500 €HT/an

P1 avant = $73,66 \times 5438 = 400\,500$ €TTC/an

P1 après = $73,66 \times 326 + 4974 \times 31,53$
= 181 850 €TTC/an

↓
DP1 = 218 600 €TTC

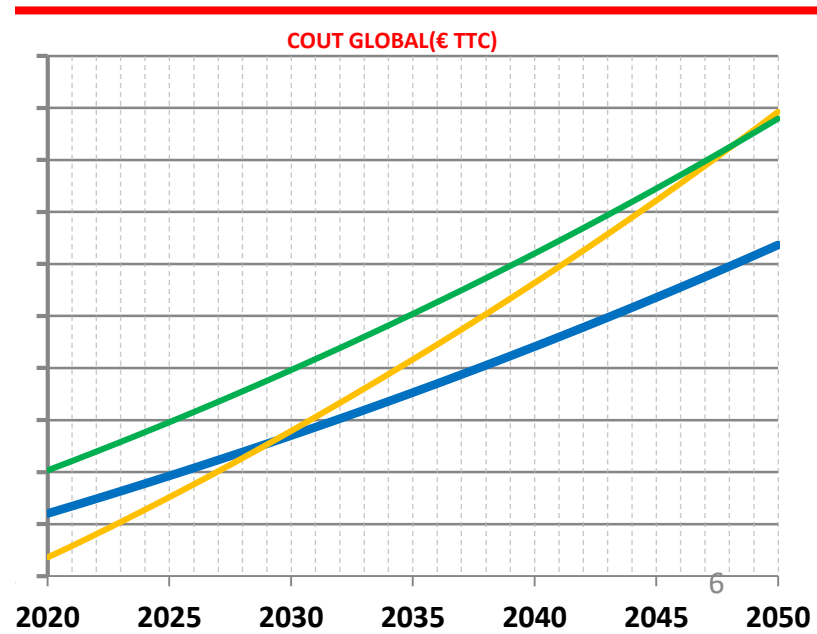
P2 + P3 = 21 500 €TTC/an

Dcoût = 197 100 €TTC/an

(Taux = 90 %)

Coût TDC = 1 000 K€

Coût TRcg = 5 ans *



NATURE DE LA REPONSE « A PRIORI »

Quelques solutions Énergétiques et leur rendu

Comparatif de solutions énergétiques optimisées - Multicritères -

Lycée 16 000 m²

Description de la solution énergétique	Energie Finale <i>Mwhef</i>	Emissions de CO2 <i>TCO2/AN</i>	TRI GLOBAL (prix 2017) <i>(années)</i>	FACTEUR CO2 <i>(OBJ sup à 4)</i>	Coût de la TCO2 évitée sur 30 ans <i>(€TTC)</i>
GN pour Chauffage et partie ECS / autre partie ECS en élec = BASE	1 632	364	BASE	BASE	BASE
BASE + Remplacement menuiseries SV en DV (50% des menuiseries)	1 412	324	76	1,12	3 880
GN chaudières condensation	1 517	337	8,7	1,08	68
BASE + solaire thermique ecs	1 614	362	INF	1,006	31 000
Bois plaquettes forestières pour Chauffage et ECS	1 725	67,9	45	5,4	6
Géothermie et PAC eau/eau pour Chauffage et ECS pac aéro et effet joule	369	35,4	16	10,3	-56
Aérothermie (PAC air/eau) pour Chauffage et ECS	677	59	impossible	6,1	118
Electrique pour Chauffage et ECS	1 253	105,3	impossible	3,45	347

MONTAGE DU PROJET PAR LE MAITRE D'OUVRAGE

Les préalables pour cibler les entités les plus propices

Le préalable du potentiel géothermal en sous-sol

→ Bâtiments consommateurs en chauffage (points noirs thermiques résolus)

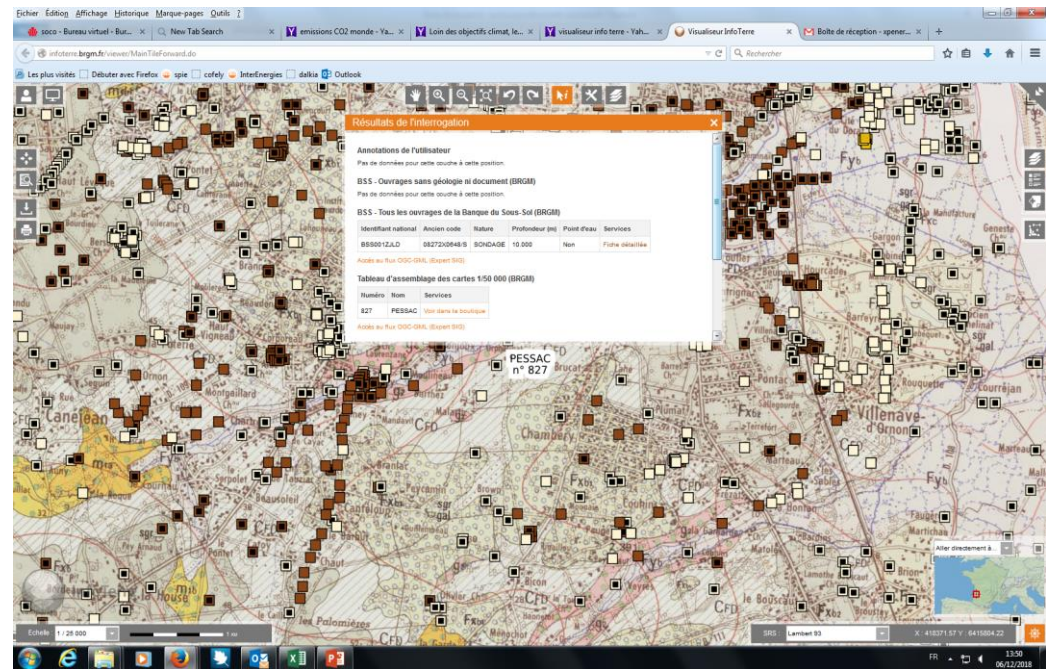
→ Un foncier adapté au rayon critique de fonctionnement

→ Bâtiments dont le chauffage est assuré par fluide caloporteur chauffé par une énergie fossile

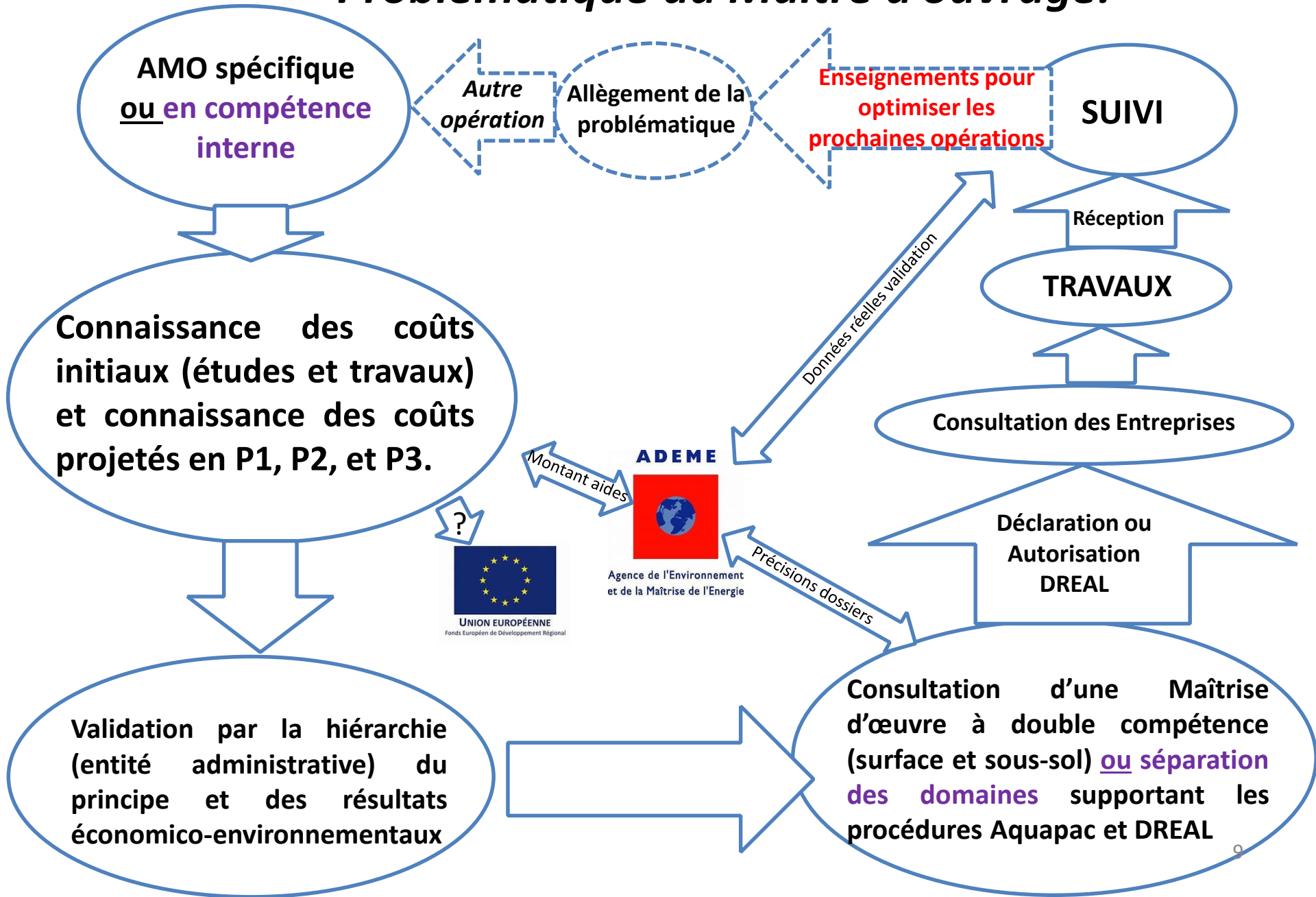
→ Bâtiments compatibles à une loi d'eau basse (rapport déperditions/pertes + homogénéité d'ensemble)

→ Bénéficiaire d'une production thermique centralisée

Le Maître d'ouvrage se renseigne sur les données Brgm disponibles gratuitement

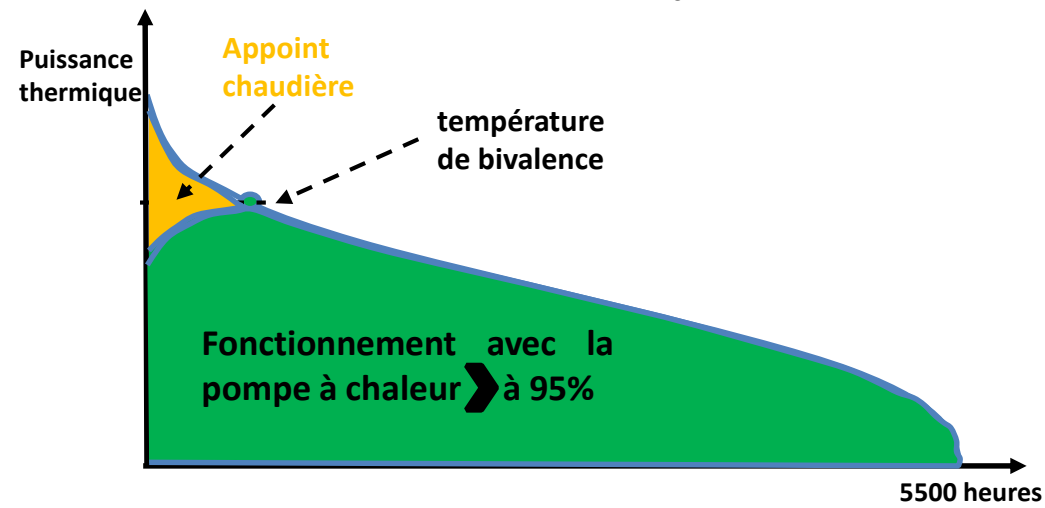
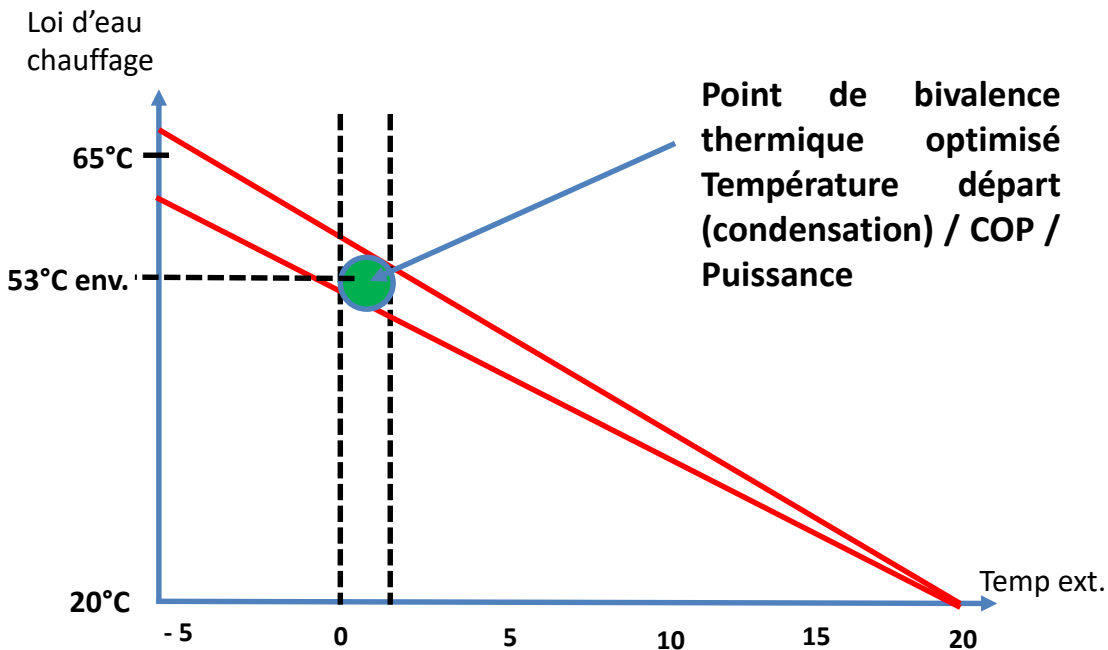


Problématique du Maître d'ouvrage:



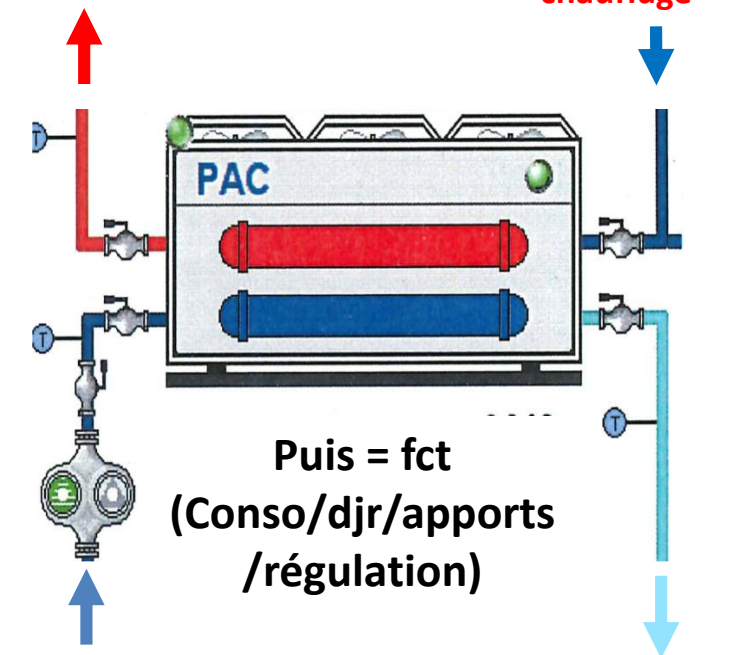
OPTIMISATION DU COUPLAGE BESOINS / POTENTIEL

Cas d'un lycée



température départ 30 à 55°C environ

température retour chauffage



Puis = fct (Conso/djr/apports /régulation)

température entrée (environ 25 °C à 13°C)

température sortie (environ 23 °C à 6,5°C)

ILLUSTRATION SCHEMATIQUE

Lycée Grand Air Géothermie et Pompe à Chaleur

09:14:12, le 27/11/17



- ARCHITECTURE
- CHAUFFERIE**
- RESEAUX CHAUFFERIE
- GÉOTHERMIE ET PAC
- SOUS-STATION A
- RESEAU ECS BAT A
- SOUS-STATION B
- SOUS-STATION D
- SOUS-STATION F
- SOUS-STATION G
- CTA BATA
- CTA CUISINE BAT C
- CTA SALLE A MANGER BAT C
- CTA LAVERIE
- COMPTEURS
- ETAT COMMUNICATION

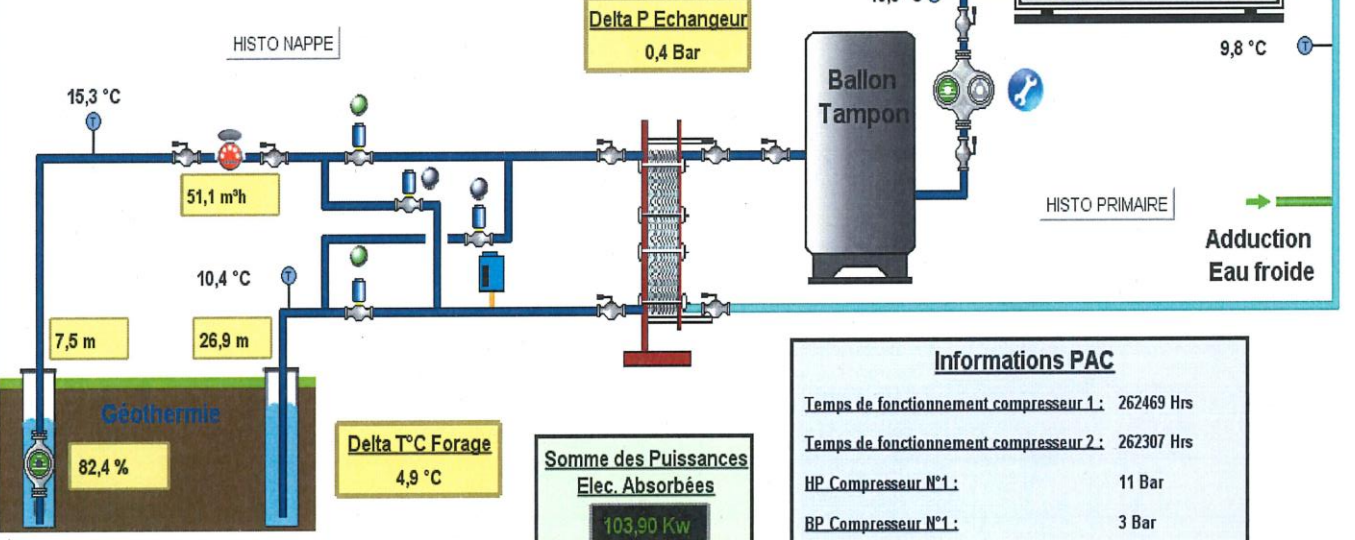
Coefficients de Performance

COP Thermodynamique PAC	COP Total PAC Géothermie
4,32	3,72

Géothermie

Arrêt Marche

Consignes Géothermie



Informations PAC

Temps de fonctionnement compresseur 1:	262469 Hrs
Temps de fonctionnement compresseur 2:	262307 Hrs
HP Compresseur N°1:	11 Bar
BP Compresseur N°1:	3 Bar
HP Compresseur N°2:	11 Bar

Somme des Puissances Elec. Absorbées

103,90 Kw

LES ENJEUX DU SUIVI ÉNERGETIQUE

- ➔ **Assurer la continuité de la réception en situation réelle**
- ➔ **Avoir prévu une imagerie sur GTC conviviale et réfléchie**
- ➔ **Contrôler souvent (surtout au début) les installations pour être réactif et affiner certains paramètres au-delà des alertes prévues**
- ➔ **S'assurer de l'atteinte des objectifs fixés au fil de l'eau**
- ➔ **Communiquer sur le fonctionnement correct et l'atteinte de l'objectif carbone (en interne et externe)**
- ➔ **Profiter des expériences pour gagner à chaque fois en terme de gains et compromis (investissement, simplifications, entretien...)**
- ➔ **Militer pour dupliquer ces opérations et pousser les pouvoirs publics à ces solutions**

CONCLUSION

Le montage de projets pour les opérations de substitution énergétique par géothermie TBT assistée (ou non) de PAC est avant tout une question de confiance et de volonté.

La bibliographie exhaustive des données du sous-sol permettent aujourd'hui de se lancer dans un projet avec des certitudes, et les Maîtres d'Œuvre surface s'approprient peu à peu la compétence

Le Conseil Régional Nouvelle Aquitaine avec une multitude de projets en cours (de 200 à 1250 kW thermiques) déploie une feuille de route, qui, grâce à la géothermie, colle à la trajectoire Carbone imposée.

Cette solution pour les bâtiments tertiaires existants (hors process) est à ce jour la meilleure réponse face aux enjeux actuels.

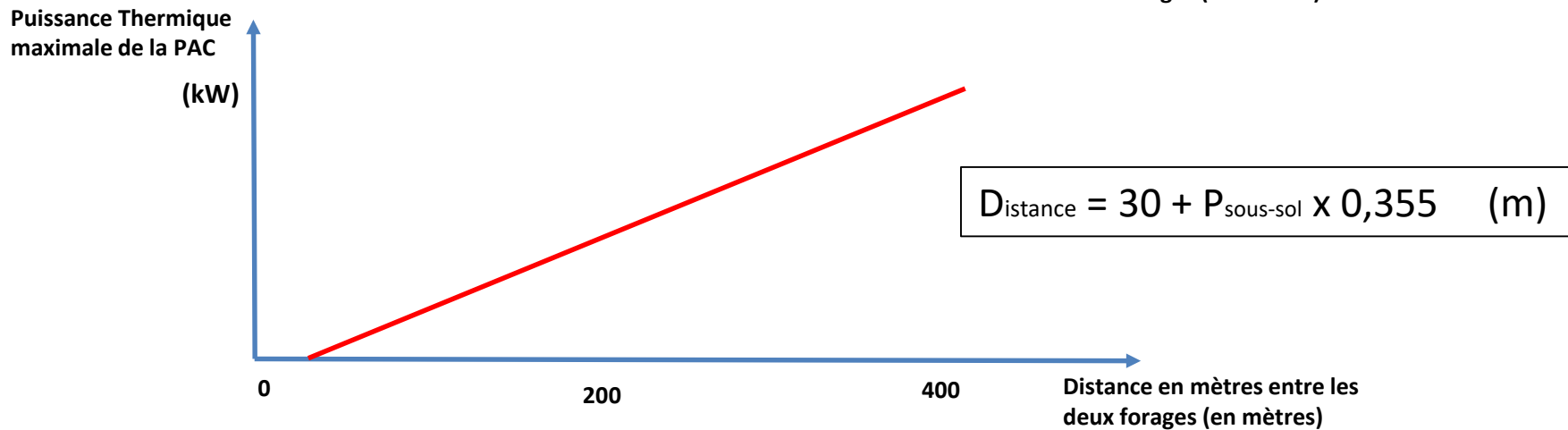
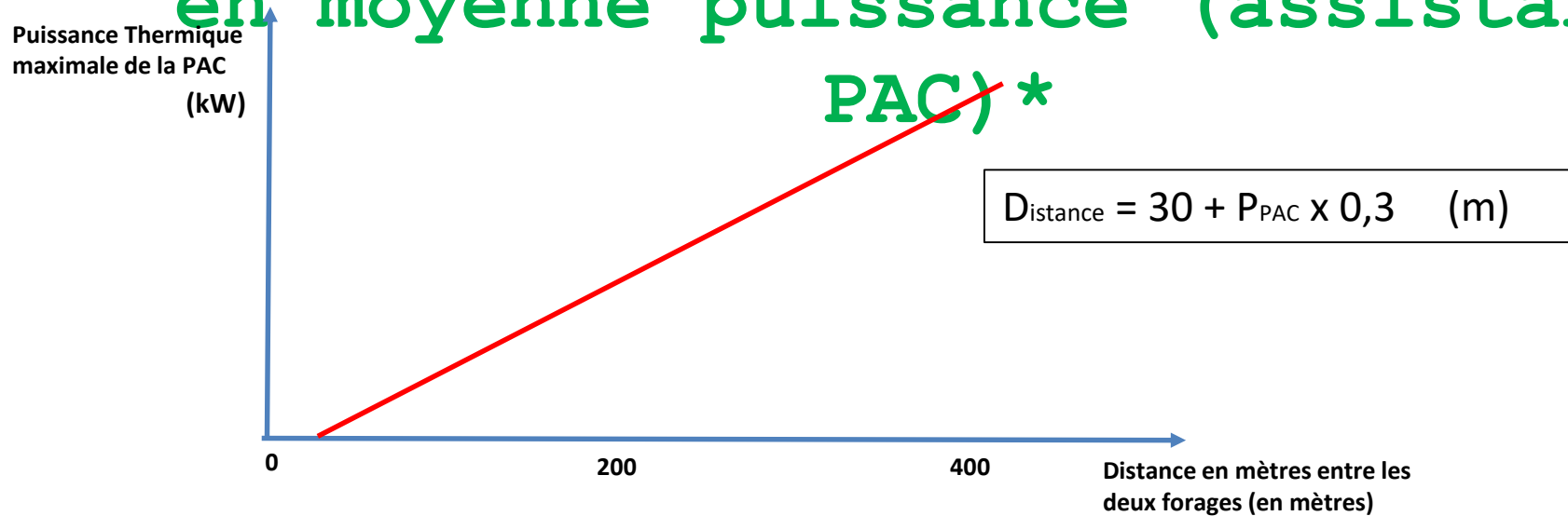
L'initiative de l'ALEC pour promouvoir et vulgariser ce genre d'opération est à souligner, car pertinente, innovante, et à approfondir par tous les acteurs des filières énergétiques et sous-sol.



FIN...

Merci!

Formule d'approche déterminant la distance critique des puits en moyenne puissance (assistance PAC) *



* Issue de l'expérience des opérations sur les lycées d'Aquitaine

CAS D'UN LYCEE DES ANNEES 60 CONVERTI EN GEOTHERMIE (2000 DJU)



AVANT (situation gaz naturel)

Consommations chauffage: 140 kWh pci/m².an

Consommations ecs: 14 kWh pci/m².an

Consommations électrique: 35 kWhé/m².an

Ratio CO₂: 38,8 kg/m².an

APRES : GEOTHERMIE BASSE TEMPERATURE ET AEROTHERMIE

Consommations chauffage: 19 kWh_{ef}/m².an (1% en gn)

Consommations ecs: 3,6 kWh_{ef}/m².an

Consommations électrique: 34 kWhé/m².an

*Division par 8 sur
les consommations
fluides totales!*

Ratio CO₂: 4,8 kg/m².an

... et Division par 16 sur simple poste Chauffage et ecs!

CAS D'UN LYCEE TYPE DES ANNEES 70 TYPE (GN ET 2000 DJU)



Consommations chauffage: 75 kWh pci/m².an
Consommations ecs: 10 kWh pci/m².an
Consommations électriques: 26,5 kWhé/m².an

Ratio CO2: 22 kg/m².an

CAS D'UN LYCEE « BEPOS » 2012 (BOIS +GN + PVET 2000 DJU)



Consommations chauffage: 41,8 kWh pci/m².an
Consommations ecs: 11 kWh pci/m².an
Consommations électriques: 30 kWhé/m².an

Production photovoltaïque: 14 kWhé/m².an



« Couverture » photovoltaïque = 28% !

Ratio CO2: 7,5 kg/m².an sans PV

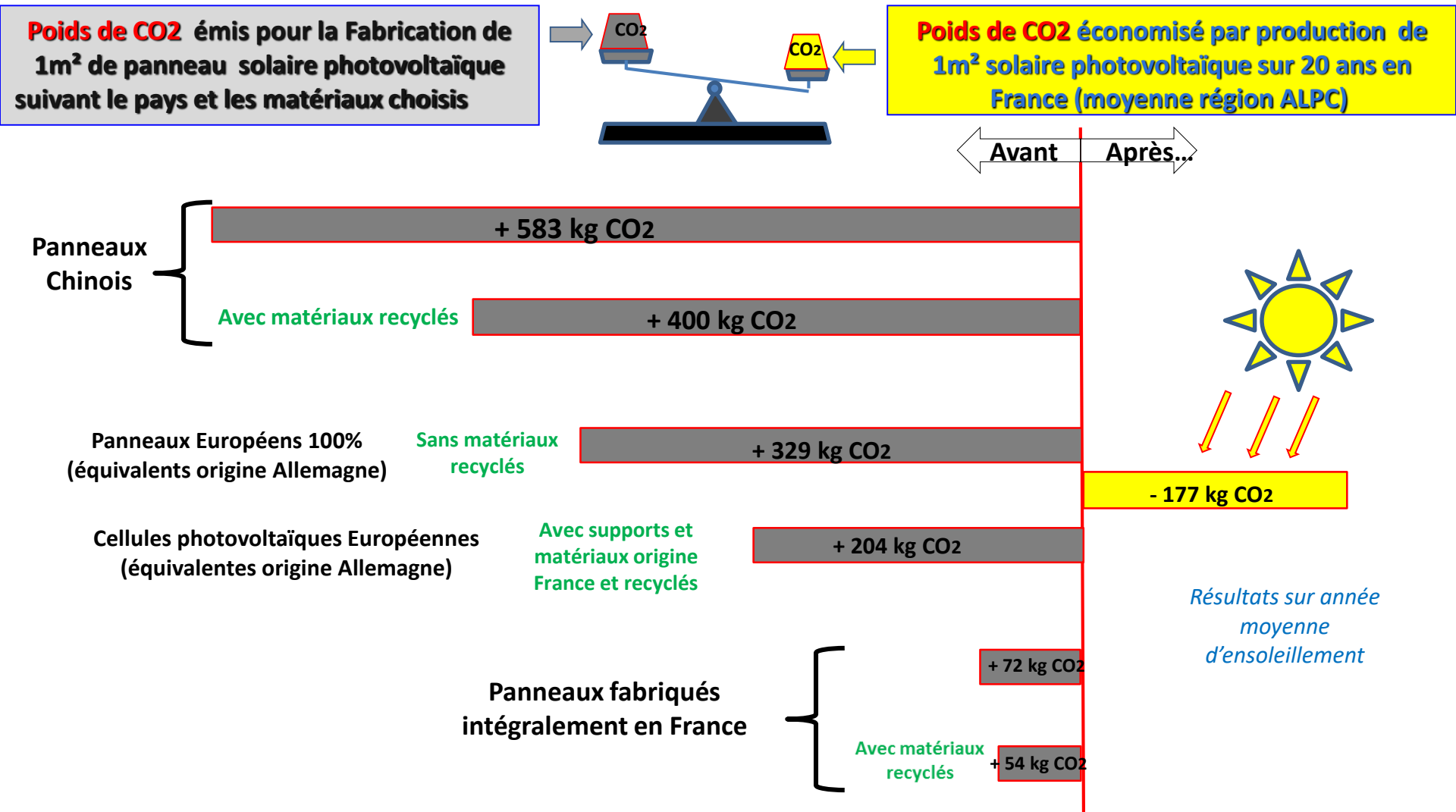
Ratio CO2: 6,3 kg/m².an avec PV (affichage)

Ratio CO2 réel: 8,3 kg/m².an avec PV global



La Problématique « cachée » des panneaux solaires photovoltaïques

BILAN DES EMISSIONS ET GAINS DE CO2 SUR ANALYSE DE CYCLE DE VIE DE PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES* (Hors Fin de Vie)



* Sur les bases de panneaux rigides avec cellules au silicium multicristalin (le plus utilisé)

AUTONOMIE TOUS USAGES, PRISE EN COMPTE DES REALITES AMONT... APPROCHE POSSIBLE?

Alimentation

*Portion de pain +
150 gr poulet local
+ 100 gr haricots+
fruit de saison local*



CO2/m².an

1,8 kg

0,033 Tonne
CO2/usager.an

Construction

*Structure porteuse
béton
« lissé » sur 60 ans*



CO2/m².an

1 kg

0,019 Tonne
CO2/usager.an

Consommations énergétiques

Chauffage Bois



CO2/m².an

5,2 kg

0,097 Tonne
CO2/usager.an

Fournitures pédagogiques

*Dotation ordinateurs
imprimantes
meubles...*



CO2/m².an

0,8 kg

0,018 Tonne
CO2/usager.an

Transports

*1/6 en voiture
(12km) et 5/6
bus (10 km)*



CO2/m².an

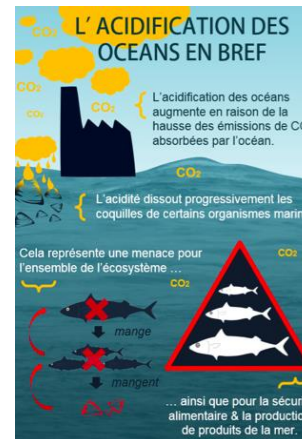
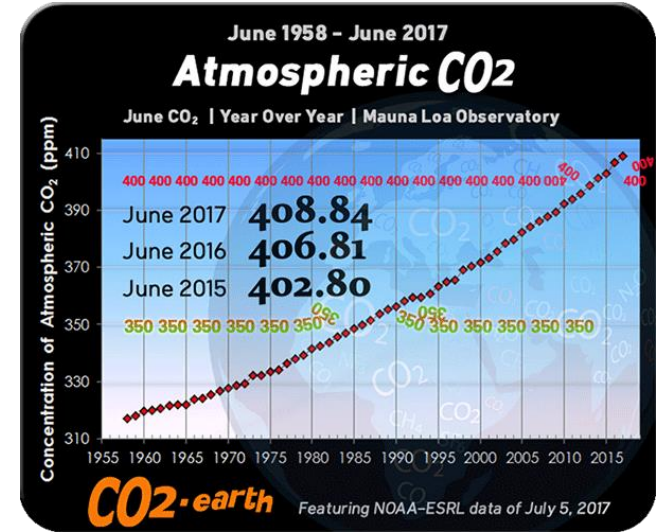
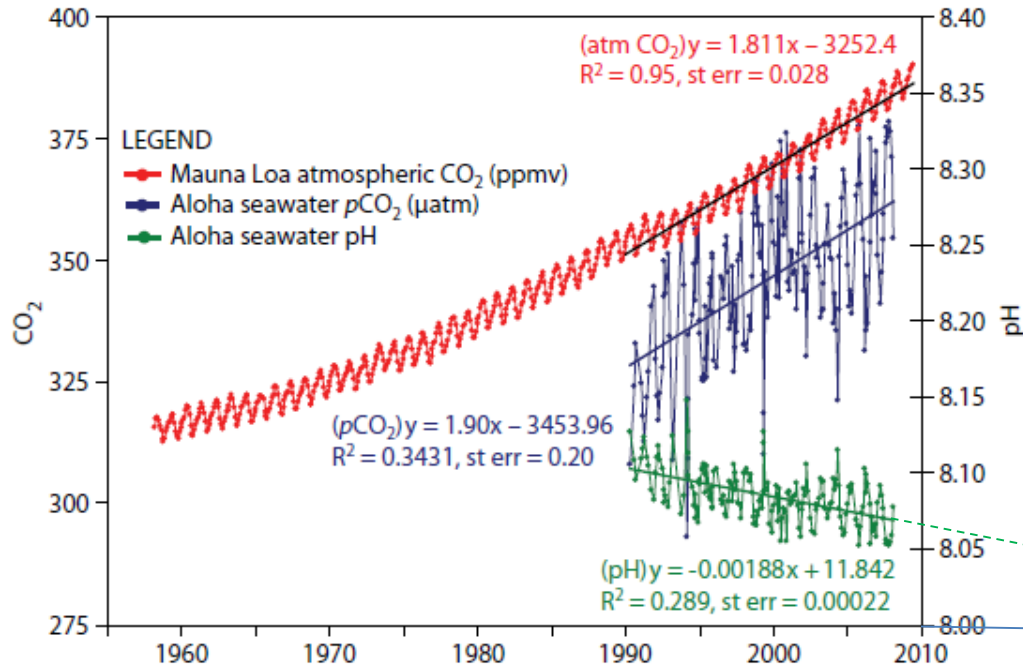
5,8 kg

0,107 Tonne
CO2/usager.an

14,6kg

Au lieu de 42,7: division par 2,9

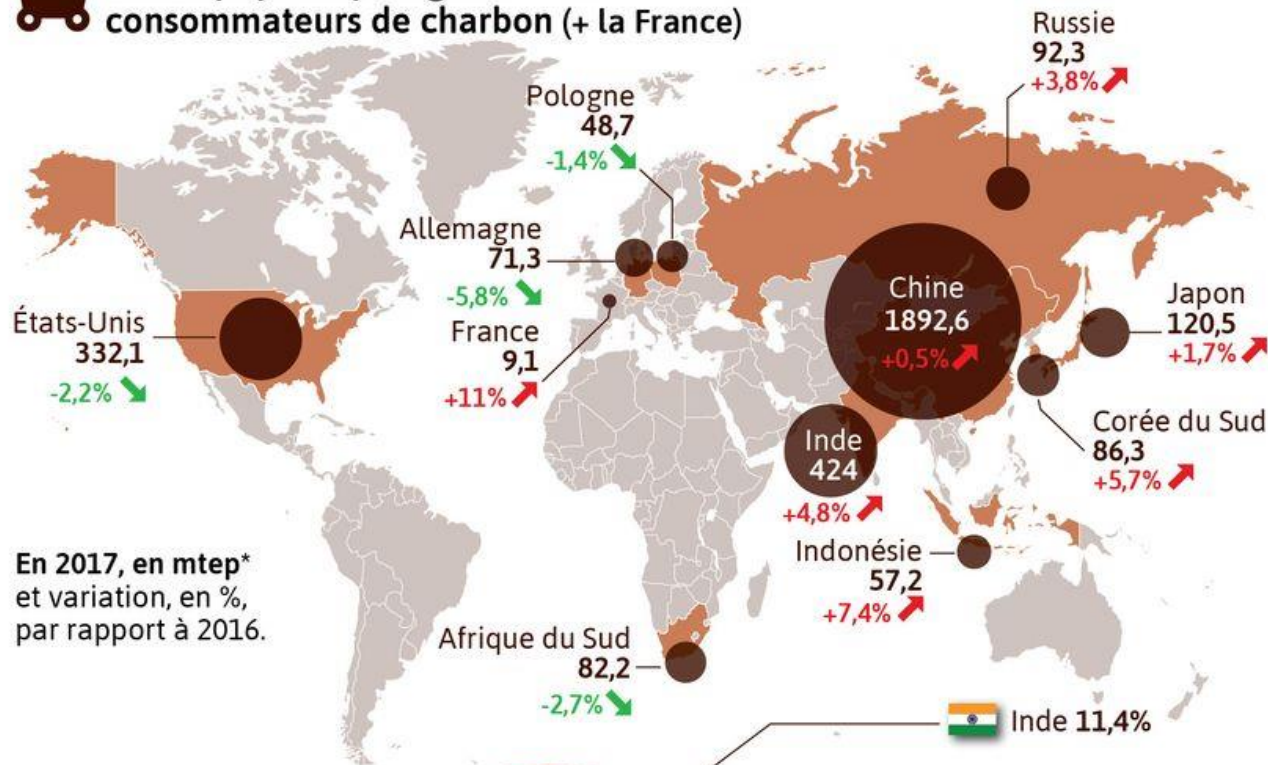
CLIMATOSEPTIQUES? PEU IMPORTE: LE COMBAT EST CELUI DU CO2!



↑ Rupture de la formation des exosquelettes

En 2017, la consommation totale de charbon s'est élevée à 3131,5 mtep* en hausse de +0,7% sur 1 an.

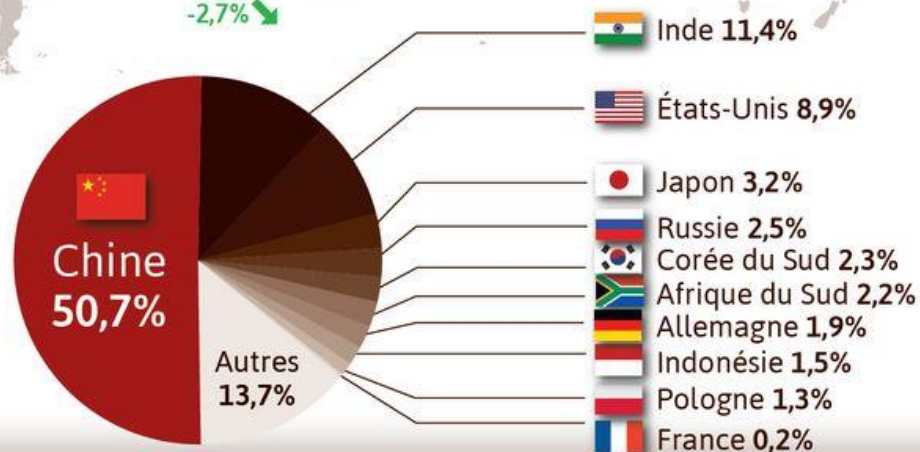
 Les 10 pays les plus gros consommateurs de charbon (+ la France)



En 2017, en mtep* et variation, en %, par rapport à 2016.

Leur part dans la consommation totale de charbon dans le monde

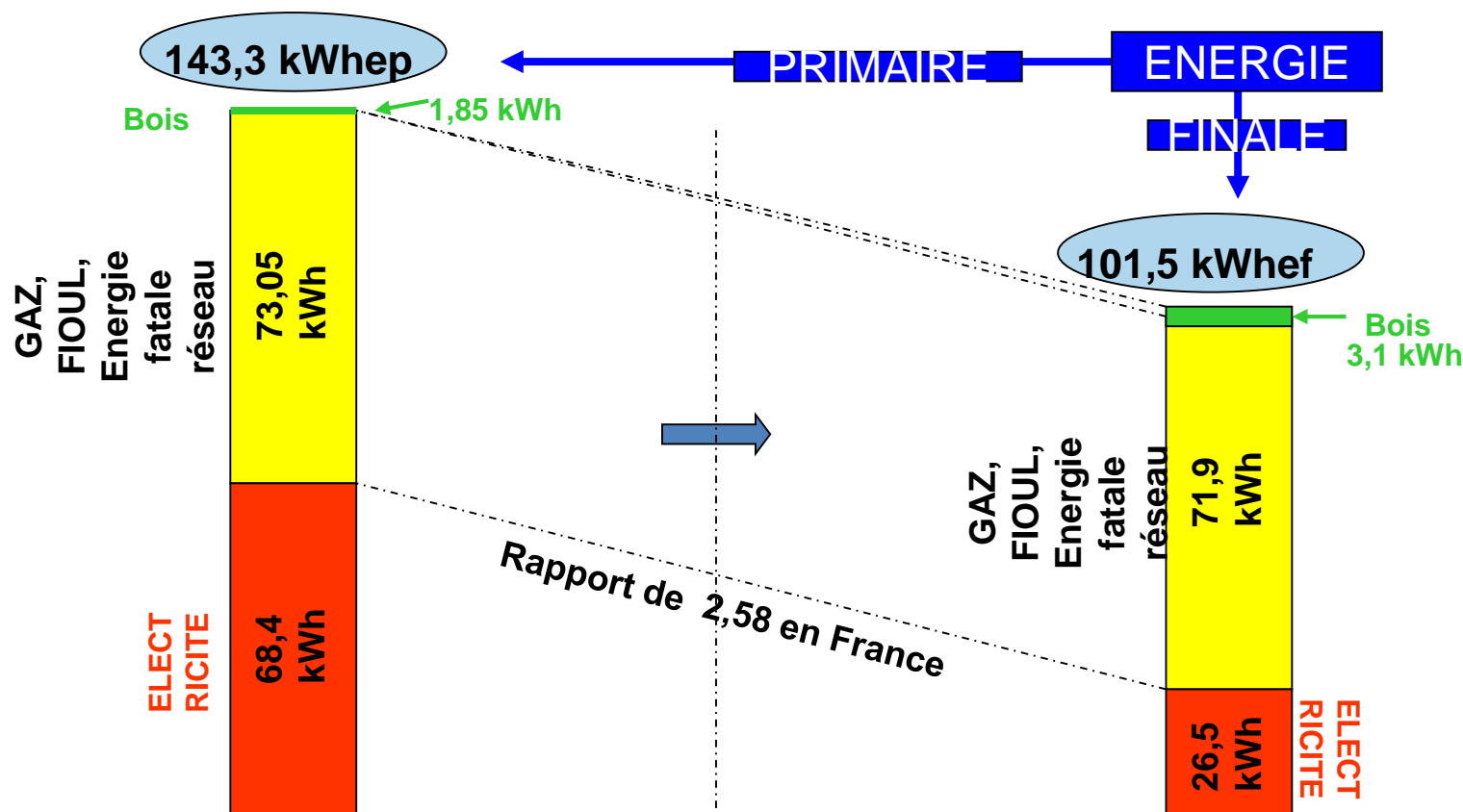
En 2017, en %.



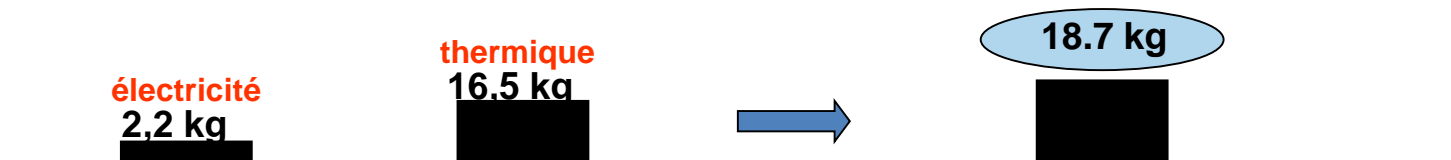
*millions de tonnes équivalent pétrole. Source : BP statistical Review of World Energy (juin 2018).

Energie primaire / énergie finale

Consommation moyenne annuelle des lycées en Aquitaine
(pour 1 m²)



C'est aussi en émissions CO₂...



Dans le domaine de l'alimentaire... On peut manger ... et MANGER!

ESTIMATION DES ÉMISSIONS CO₂ POUR UN KILO D'ALIMENT PRODUIT

ALIMENTS	GRAMMES ÉQUIVALENTS CARBONE/KILO D'ALIMENTS
Fruits et légumes	150
Pain, pâtes et riz	200
Lait de vache	270
Œufs	450
Yaourt	490
Poisson	500
Canard	680
Poulet fermier	850
Cochon	910
Fromage pâte crue	1 500
Beurre	2 000
Fromage pâte cuite	3 000
Mouton	3 560
Bœuf	3 560
Veau	13 650

Menu 1

- 1 L d'eau de ville
- 1 cuisse de poulet
- 200 g de haricots verts frais
- 1/4 d'ananas de Côte d'Ivoire (par bateau)

= 0,6 kg equivalent CO₂



Le menu 1 émet l'équivalent de 20 cl d'essence

Menu 2

- 1 L d'eau minérale
- 150 g de boeuf
- 200 g de haricots verts surgelés
- 1/4 d'ananas de Côte d'Ivoire (par avion)

= 5,6 kg equivalent CO₂

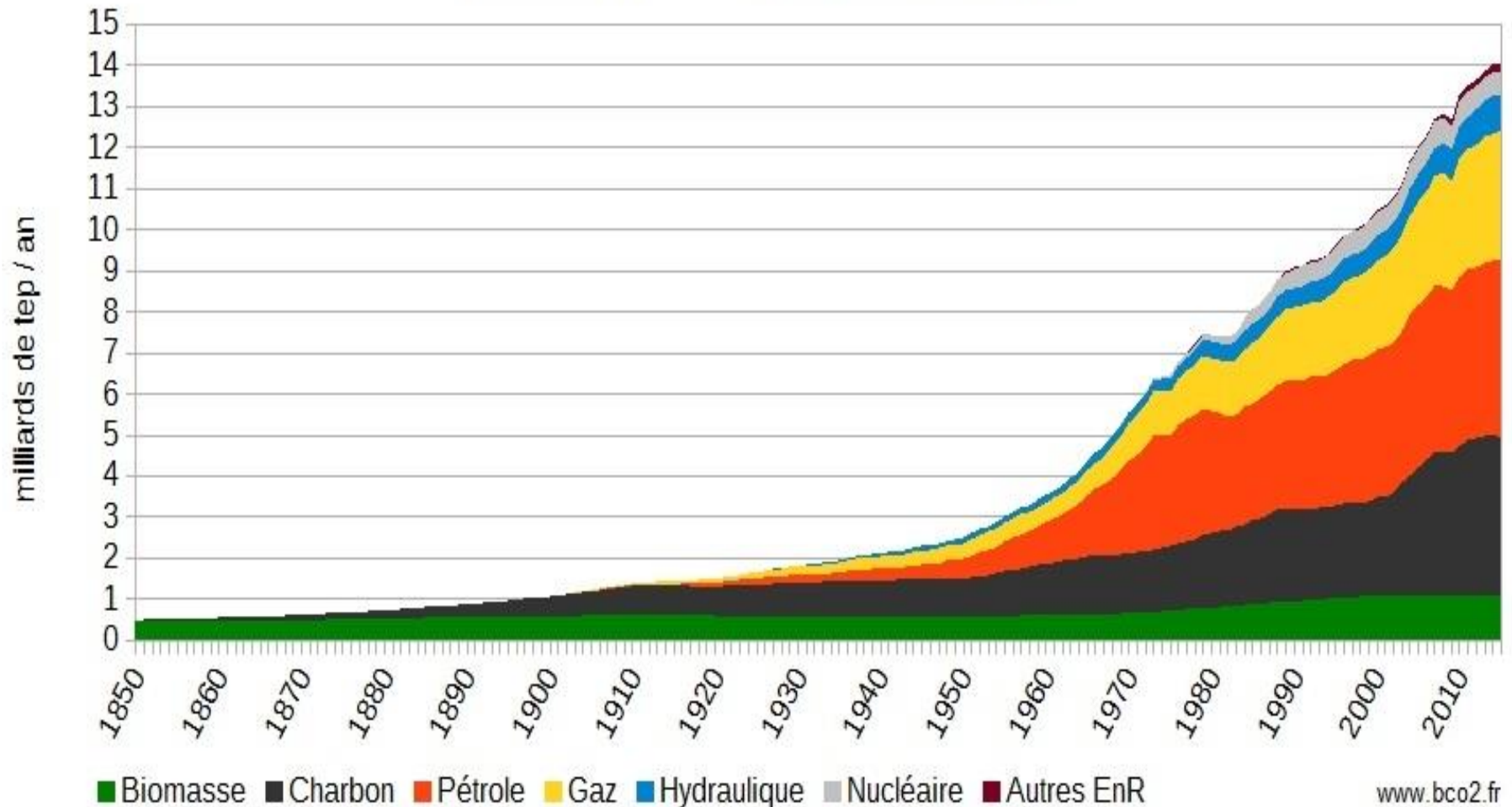


Le menu 2 émet autant de gaz à effet de serre que de brûler 2 L d'essence

On puise ailleurs et trop dans un monde fini!

Consommation mondiale d'énergie 1850-2015

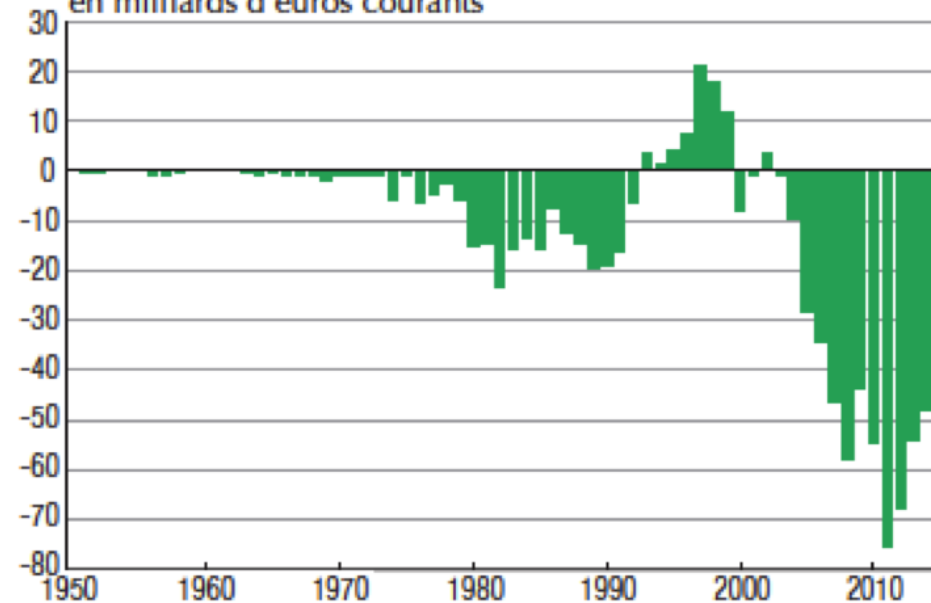
(Sources : BP, IEPE, EPI, compléments BCO2 Ing.)



EN PLUS, CO2 ET BALANCE COMMERCIALE FRANCAISE: MEME COMBAT

Solde de la balance commerciale de 1950 à 2014

en milliards d'euros courants

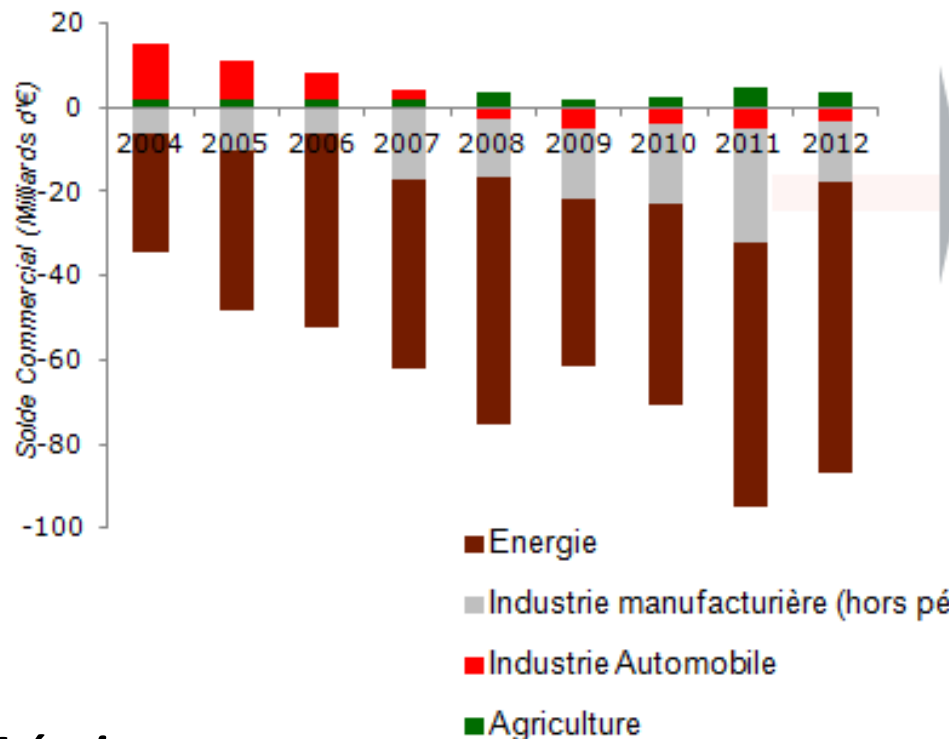


Champ : échanges de biens.

Source : Insee, comptes nationaux - base 2010.

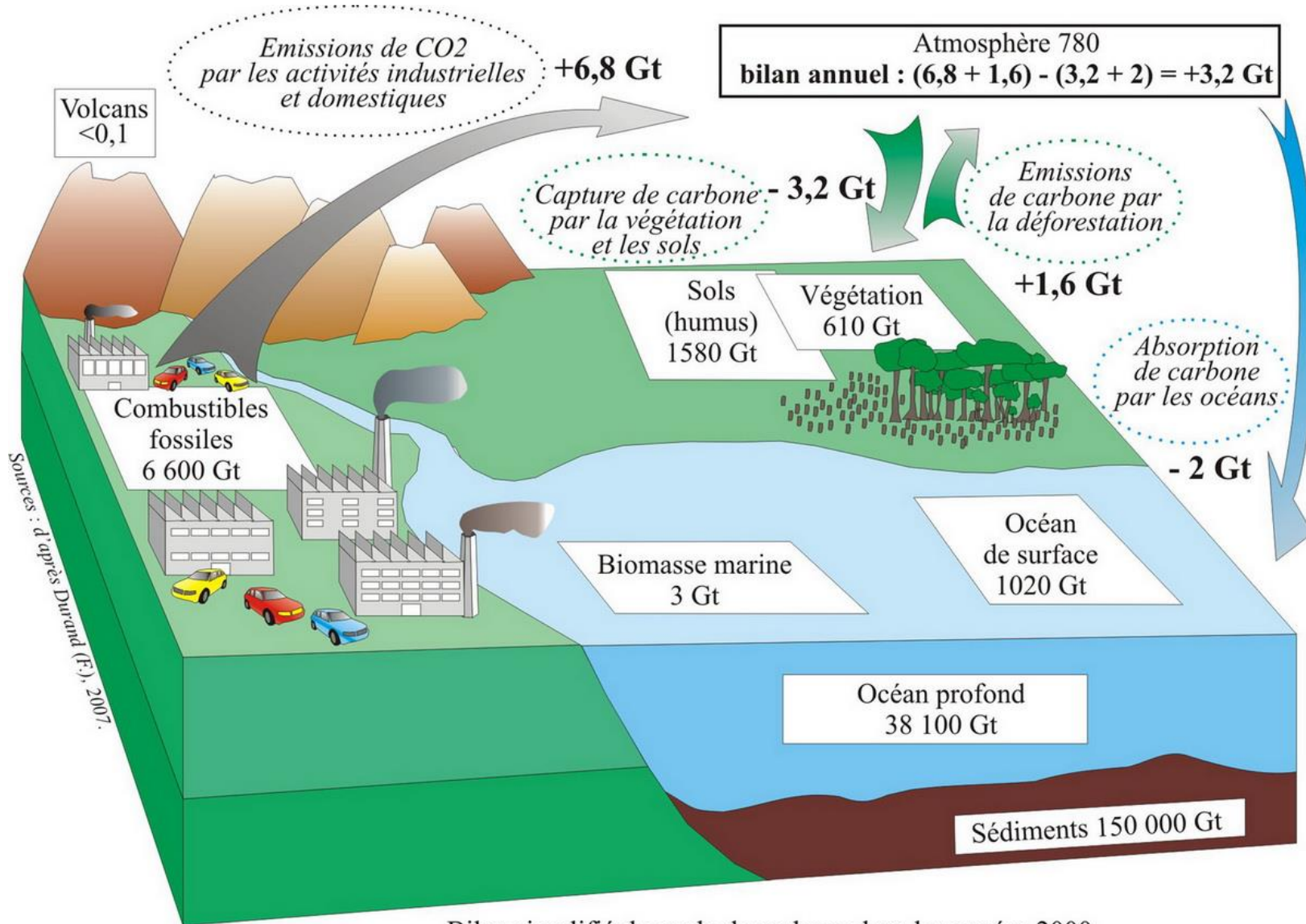
Evolution du solde commercial par produit de 2004 à 2012

- Mds d'€ -



Le déficit du commerce extérieur en 2014 était de 58,5 MDS D'€ dont 61,5 MDS correspondent à la facture énergétique! C'est 4 à 5% de dépense publique.

AVEC UN EXCEDENT ANNUEL DE GES LIES AUX ACTIVITES HUMAINES

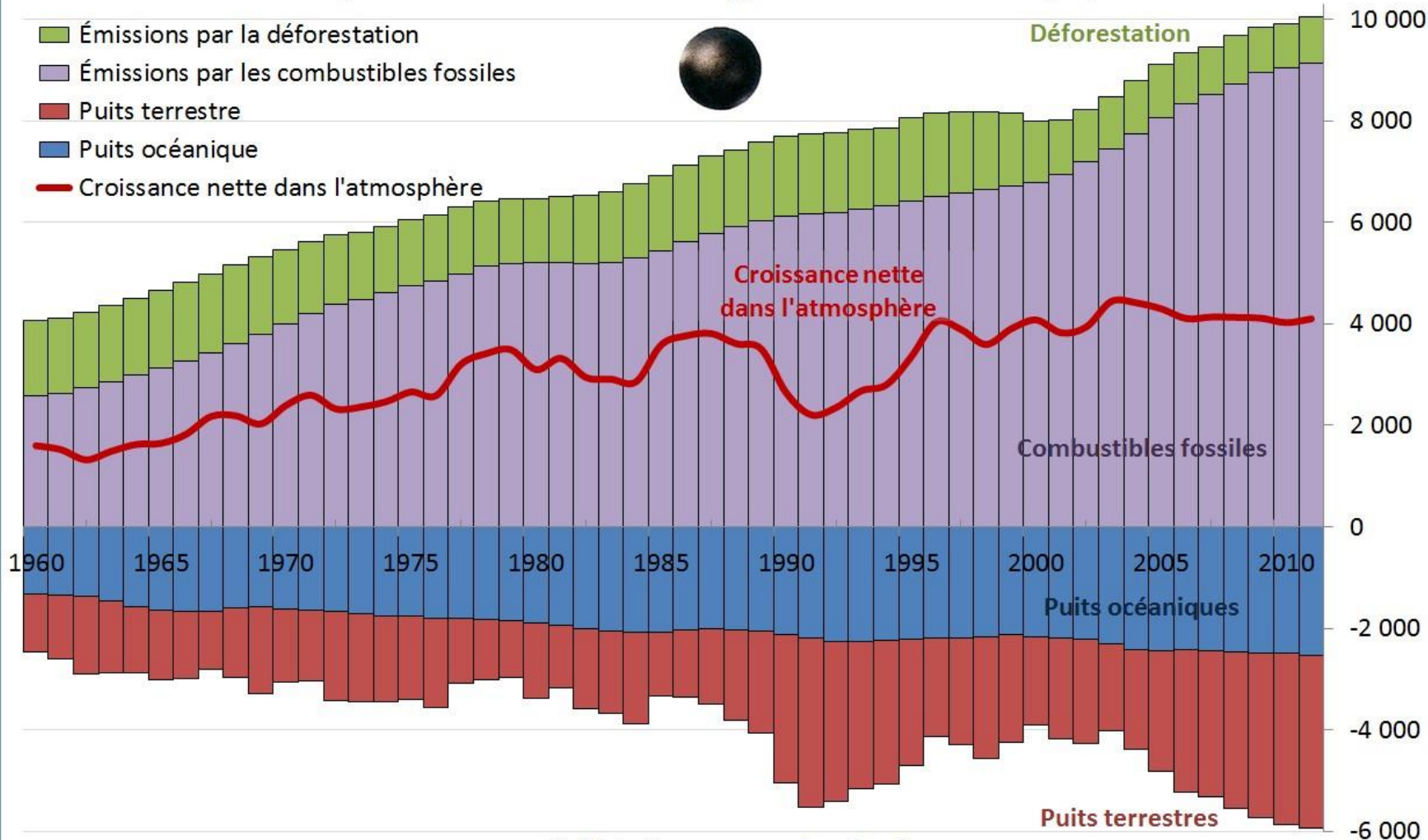


Bilan simplifié du cycle du carbone dans les années 2000

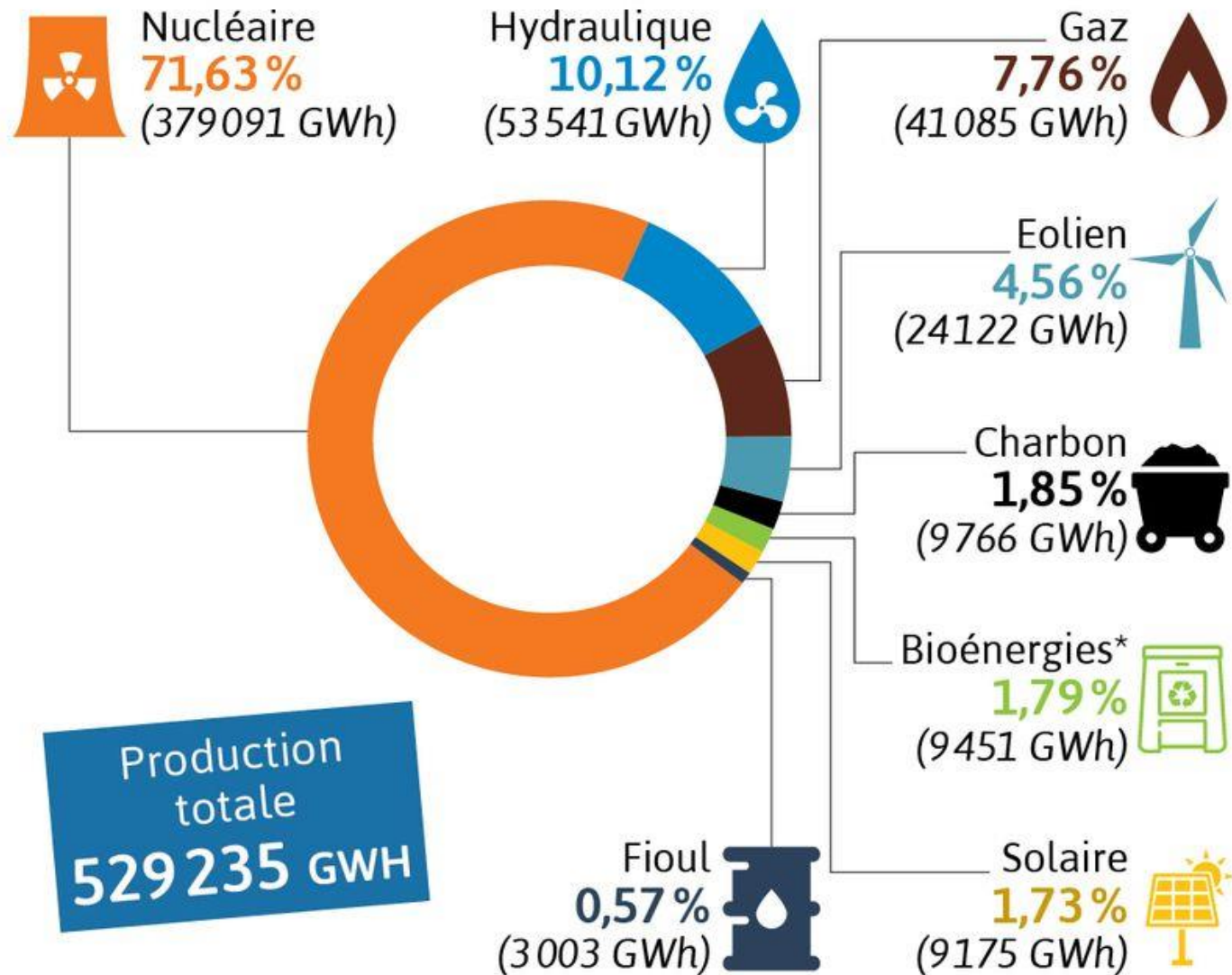
Un excédent en 2014 d'environ 15 Milliards de TCO2!

Budget Carbone mondial, 1960-2011

(en millions de tonnes de carbone) (Source : Global Carbon Project)



Part dans la production brute d'électricité en France en 2017



*déchets, bois, biogaz, etc. Source : RTE.

Fournitures pédagogiques: peu de solutions à court terme

Rotation d'environ 36 ordinateurs par an	27 TCO2
Rotation d'environ 4 vidéoprojecteurs par an	1,1 TCO2
Rotation d'environ 3 photocopieurs tous les 5 ans	1,2 TCO2
Fourniture et rotations de chaises et bureaux	4,4 TCO2
Fourniture et rotations équipements divers sportifs...	3,5 TCO2

ENVIRON 37 TCO2/an

Soit

2,5 kg CO2/m².an

Ou

**0,046 Tonne
CO2/usager.an**

Existe-t-il des ordinateurs fabriqués totalement en France?

Si oui... UN JOUR...et en privilégiant le local sur le reste...

0,8 kg CO2/m².an

Ou

0,014 Tonne CO2/usager.an