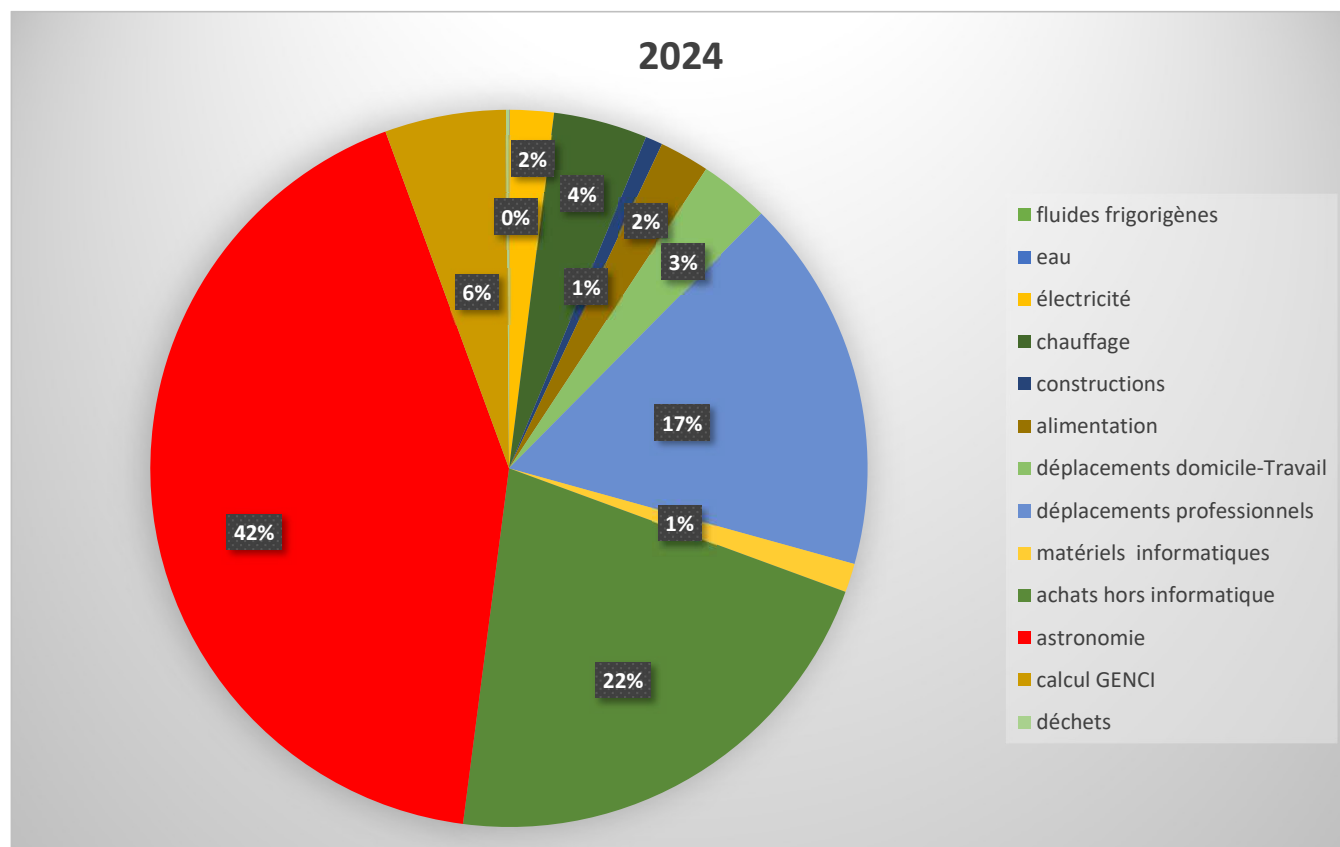


BGES des activités spatiales du LPP, laboratoire en “transition”

Laurence Rezeau
Fouad Sahraoui



Bilan LPP global Labos1.5 2024



Bilan presque complet

Manquent complètement :

- Calcul sur les mésocentres
- Bilan des tokamaks
- Gaz fournis par l'EP
- Déchets Jussieu

**Le bilan des activités
« astronomie », est
loin d'être négligeable**



Comment est fait ce calcul ?

Estimation du bilan d'une mission spatiale



- Pour une mission spatiale la phase **construction** est équivalente à la phase **achat** pour une manip de labo, la phase opération à la phase fonctionnement (consommation de fluides)
- Phase construction : Il existe une relation directe entre coût d'une mission spatiale et sa masse au décollage et ses émissions

$$\text{Coût(k€)} = 297 M(\text{kg})^{0,96}$$

Knödlseider et al, 2022

- On peut estimer le facteur d'émission par € : $FE = 0,129 \text{ kg eCO}_2/\text{€}$
- A comparer aux facteurs d'émission
 - Électronique : $0,29 \text{ kg eCO}_2/\text{€}$
 - Optique : $0,32 \text{ kg eCO}_2/\text{€}$

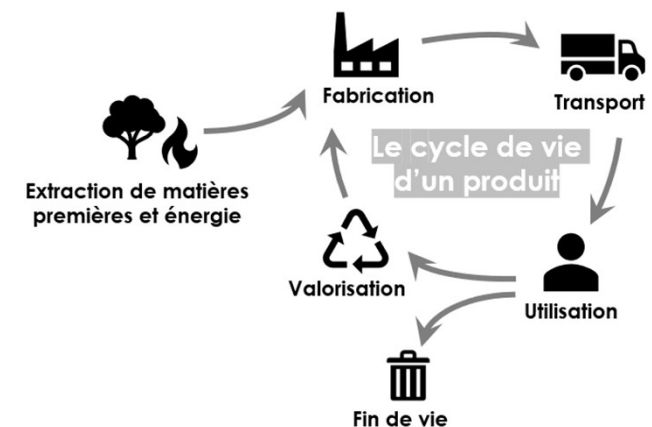
Exemple de **BepiColombo**

$M = 4121 \text{ kg}$

$E_{\text{construction}} \approx 196\,800 \text{ t eCO}_2$

Prix $\approx 900 \text{ M€}$

Analyse de Cycle de Vie



Calcul des émissions de GES pour les infrastructures astro

2. Méthodologie

Empreinte carbone annuelle des infrastructures

Les émissions GES attribuées à une infrastructure astronomique peuvent se diviser en 2 parties :

- Les émissions liées à la phase de construction (qui inclue également la phase de lancement dans le cas d'un satellite)
- Les émissions liées aux opérations annuelles (consommation d'énergie, maintenance...)

Les estimations de ces émissions GES pour les principales infrastructures astronomiques sont issues des travaux de Knödlseider et al. (2022) qui se basent sur des bilans GES publiés ainsi que des ratios monétaires et massiques.

Ces estimations sont ensuite utilisées dans GES 1point5 pour déterminer l'empreinte carbone annuelle d'une infrastructure en amortissant les émissions GES de la construction sur une période de 38 ans pour les télescopes et 18 ans pour les satellites. Ces périodes d'amortissement correspondent aux durées de vie moyenne des télescopes et satellites d'observation astronomique (Knödlseider et al. soumis).

Par conséquent, si l'âge de l'infrastructure considérée est inférieur à la période d'amortissement son empreinte annuelle est :

$$EC_{\text{infra}} = \frac{GES_{\text{construction}}}{\text{amortissement}} + GES_{\text{opérations}}$$

Dans le cas contraire, seul l'empreinte des opérations annuelles est prise en compte.

Spatial

$GES_{\text{construction}} = 48 \text{ teCO}_2 \text{ M(kg)}$

$GES_{\text{opération}} = 1 \text{ teCO}_2 \text{ M(kg)/ an}$

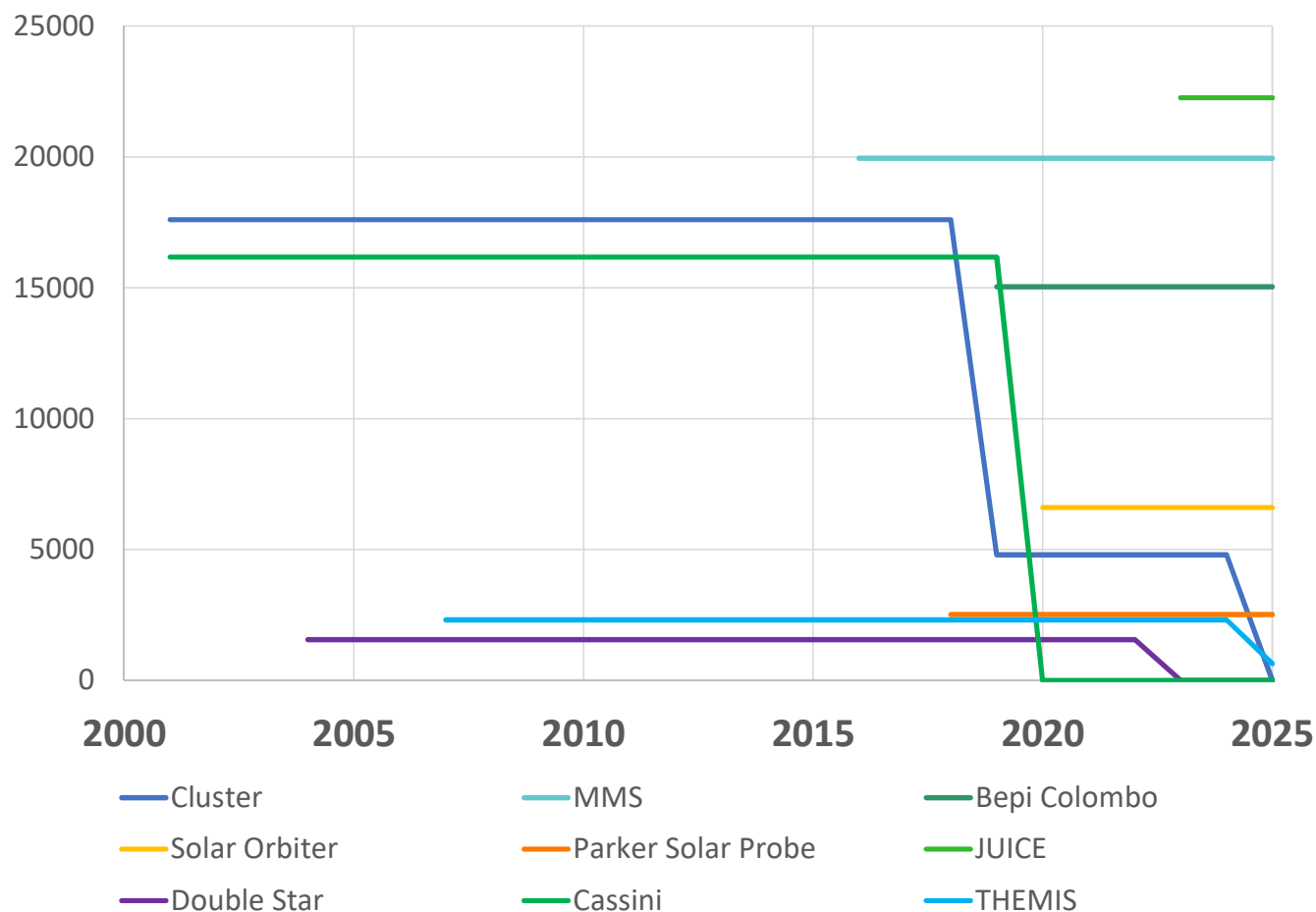
= durée de vie moyenne des infrastructures

Knödlseider et al, 2022 et 2024

Bilan global des missions auxquelles le LPP participe



Bilan annuel des missions en t eCO2



Calcul de Knödlseider et al, 2022

Pour la plupart les opérations sont séparées de la construction mais pas pour Double Star

Répartition des émissions de GES des infrastructures astroLPP

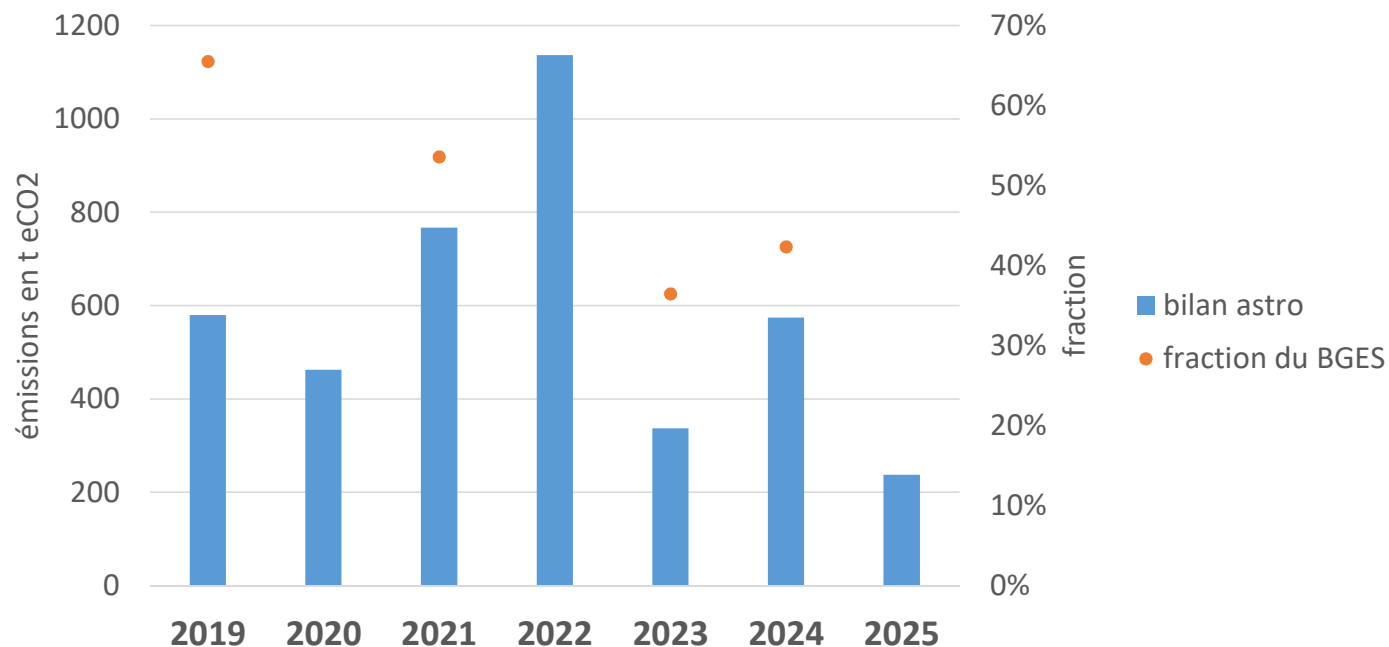
Comment la répartition est faite ?

La répartition des émissions d'une infrastructure au sein de la communauté se fait sur la base de l'unité fonctionnelle décrite plus haut à savoir la contribution relative des membres d'un laboratoire à l'utilisation de ladite infrastructure sur l'année du BGES. Pour déterminer ces contributions relatives, nous utilisons la méthode bibliométrique employée dans Knödlseeder et al (2022) qui calcule le rapport entre les auteurs du laboratoire ayant publié des articles citant l'infrastructure et l'ensemble des auteurs à l'échelle mondiale ayant également publié des articles citant cette même infrastructure. Ce rapport est calculé par des requêtes à la base de données [ADS](#). Le détail des requêtes et les codes employés pour les mesures bibliométriques sont centralisés dans le dépôt [AstroCarbon](#). Les fichiers résultats contenant les pourcentages d'utilisation des principales infrastructures attribuées aux laboratoires de recherche en astronomie sont également consultables dans ce dépôt.

Pour un laboratoire donné l'empreinte carbone annuelle globale liée à l'utilisation de ces infrastructures se calcule finalement comme suit :

$$EC_{\text{labo}} = \sum_i (EC_{\text{infra}_i} \times \% \text{utilisation}_{\text{labo}}^{\text{infra}_i})$$

Bilans des activités spatiales du LPP



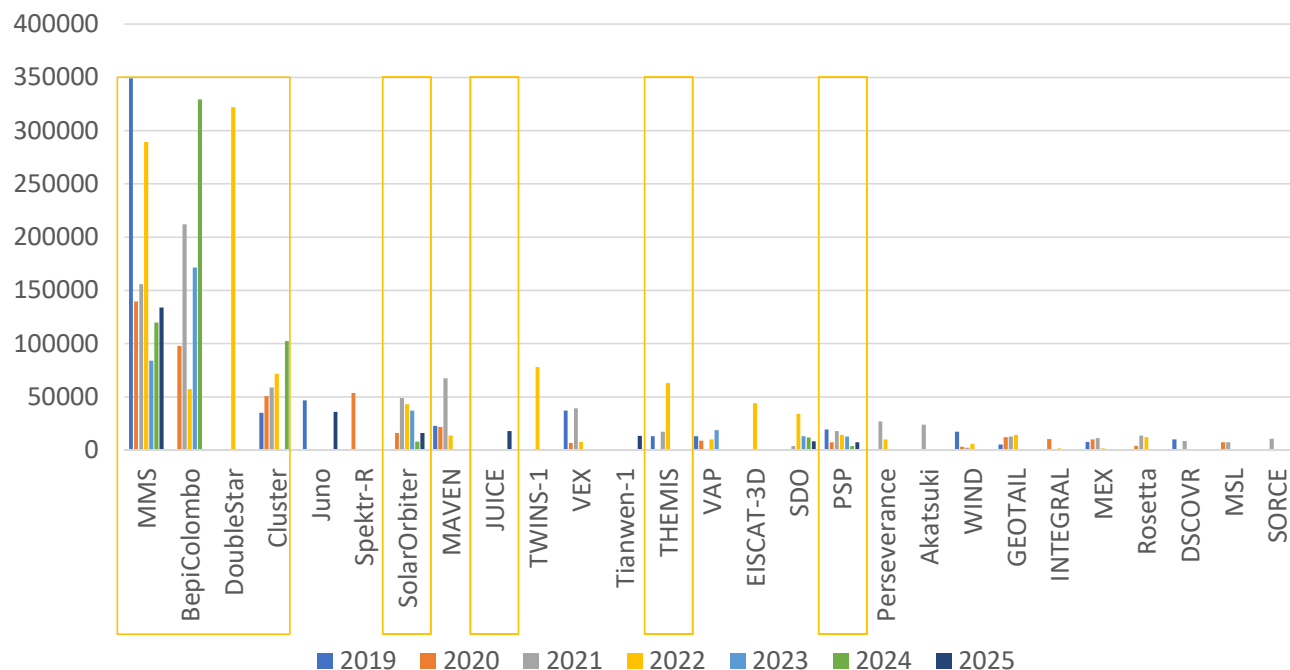
Le résultat est très (**trop**) variable d'une année sur l'autre, alors que notre activité est globalement stable, et empêche de voir l'évolution des autres facteurs.

Détail des émissions du LPP

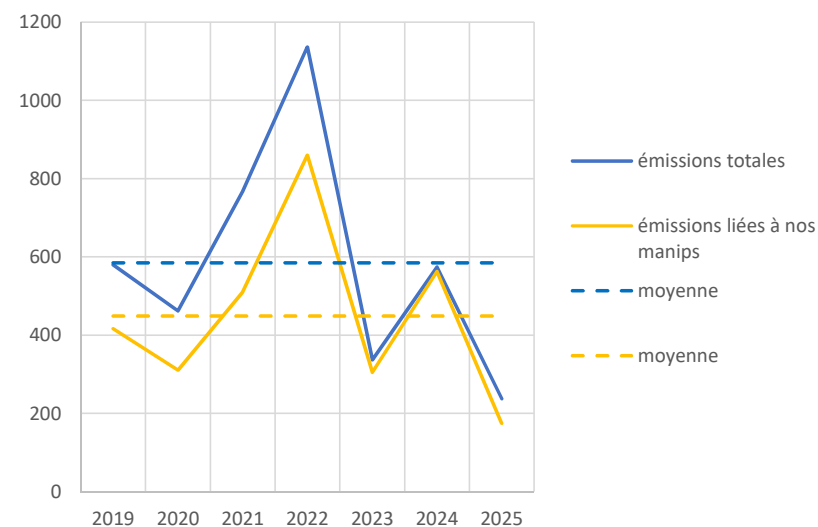


Limitation au 27 missions les plus importantes (sur 57) qui apparaissent dans le bilan du LPP

Emissions en kg eCO2



Emissions totales en t eCO2



Bizarreries :

- il suffit de citer une mission pour la voir apparaître dans le bilan
- missions qui ont un poids trop important / utilisation réelle Double Star, Spektr-R
- Cluster absent en 2023 et 2025 alors qu'on a publié

Effets de la méthode de recherche dans ADS



Recherche du laboratoire : - **recherche par identifiant aff_id:A03900**
 - recherche par aff: "LPP" ou "Laboratoire de Physique des Plasmas"

Recherche de la mission :
 full:(="Cluster spacecraft" OR ="Cluster mission" OR ="Cluster satellite constellation")
 full:(="THEMIS mission" OR ="THEMIS satellite")
 full:(("JUICE" AND "Jupiter") OR ="JUperiter ICy Moons Explorer" OR ="JUICE mission" OR ="JUICE spacecraft")

Comptage du nombre de co-auteurs

NGUYEN G., AUNAI N., MICHOTTE DE WELLE B., JEANDET A., LAVRAUD B., FONTAINE D.
Massive Multi-Mission Statistical Study and Analytical Modeling of the Earth's Magnetopause,
2022

série de 4 articles
citant THEMIS, ARTEMIS, Cluster, MMS, and Double Star
avec 5 auteurs LPP
alors qu'il y a eu très peu de publications Double Star en 2022

Autre méthode de calcul du bilan des infrastructures



Marc O, Barret M, Biancamaria S, Dassas, K, Firmin A, Gandois L, et al. (2024),
Comprehensive carbon footprint of Earth, environmental and space science laboratories:
Implications for sustainable scientific practice. PLOS Sustain Transform 3(10): e0000135

$$F(i, l, \Delta t) = F(i) \frac{Ml(i, l, \Delta t) Af(i, l, \Delta t)}{M(i, \Delta t)} Ss(i)$$

*Fraction du nb de co-auteurs du labo l
pour l'infrastructure i*

1 en astro

Nb de publications

*Emission de l'infrastructure
amortie sur
 $\max(10, t-t_{\text{lancement}})$*

Moyennage sur 5 ans des résultats

Calcul des émissions de GES par les calculs GENCI



Impact de l'infrastructure (contexte et périmètre)

L'évaluation environnementale de ce service (calculer pendant 1h sur 1 cœur, ou 1 GPU) prend en compte les opérations suivantes :

- les calculs
- le stockage temporaire pendant le calcul
- l'administration système des plateformes de calcul et de stockage temporaire
- l'alimentation électrique sécurisée des équipements électriques
- le refroidissement des équipements (serveurs et onduleurs)

En revanche, les postes suivants ne sont pas comptabilisés :

- l'activité des personnels impliqués dans le service pour son installation et son exploitation (personnels techniques et administratifs)
- la construction et la maintenance du bâtiment qui héberge les équipements nécessaires au service

$$EC = \sum_x \%affectation_x \left(\frac{GES_{fabrication_x}}{duréedevie_x} + FE_{elec} Consommation_x \right) + GES_{gazrefrigérant} + GES_{gazoil}$$

$$FE = \frac{\sum_i EC_i}{\sum_i \alpha_i nbheures_i} \quad \text{x nb heures utilisées par le labo}$$

1. Unité fonctionnelle

Le CERN a pour fonction la production de données de recherche pour une grande communauté de personnes à travers différentes expériences qu'il abrite. Le choix de l'unité fonctionnelle est la personne physique, chercheur (doctorant, post-doctorant, chercheur, enseignant-chercheur), membre d'une expérience du CERN au 31 décembre de l'année du calcul du BEGES du laboratoire. Cette définition correspond à la définition d'un utilisateur pour le CERN. Les personnes sont à compter dans 2 catégories :

- Les utilisateurs d'une expérience LHC (Large Hadron Collider ou grand collisionneur de hadrons) ;
- Les utilisateurs d'une expérience au CERN hors LHC.

Comment la répartition est faite ?

Le CERN fournit chaque année l'information du nombre d'utilisateurs de l'infrastructure au 31 décembre de l'année. Le fait d'avoir ce chiffre disponible tous les ans permet facilement d'obtenir le nombre de t CO₂ eq par utilisateur. La division des émissions de gaz à effet de serre annuelles calculées par le CERN par le nombre d'utilisateurs permet d'obtenir un résultat. C'est l'idée qui a été

Pour que les tutelles cotisent au prorata du nb d'utilisateurs

Proposition d'une autre méthode de répartition



Hypothèse : la charge des émissions est répartie sur les labos qui ont pris la responsabilité de mettre en œuvre la mission : les labos Pls et co_Is

Conséquences :

- Le LPP n'a plus dans son bilan Juno ou Geotail.
- La part revenant aux labos co_Is est beaucoup plus importante.
- On n'est plus pénalisé quand on utilise des données déjà acquises.
- Il faut récupérer la liste des labos impliqués dans chaque expérience.



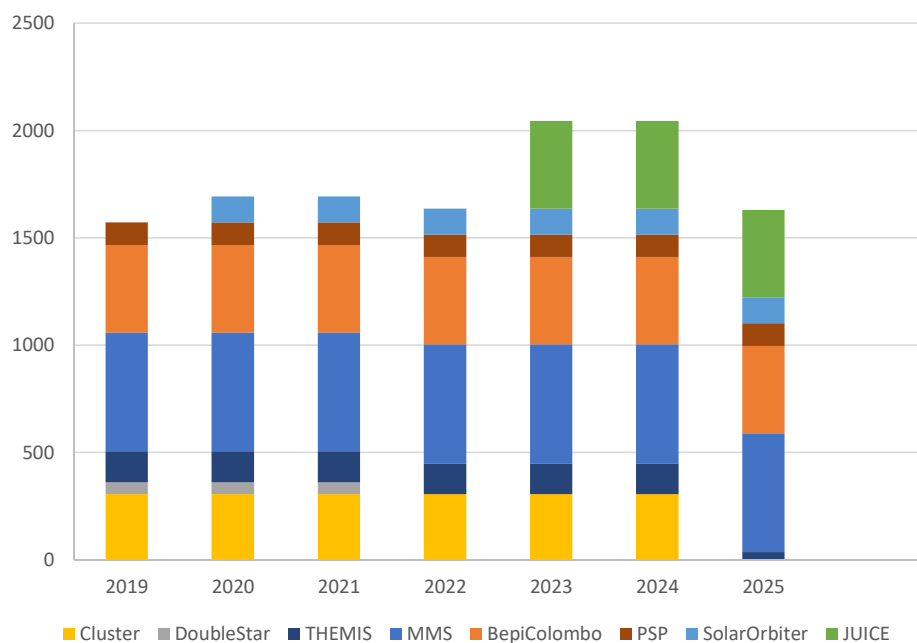
manips	labos					
ADP	LASP					
AFG	GSFC					
ASPOC	IWF					
DFG	TUBS	IWF				
EDI	IWF	Iowa	UNH			
EPD	Aerospace	JHUAPL	LANL	UNH	SWRI	RAL
Fields	UNH	LASP	SWRI			
FGM	UCLA	IWF				
FPI	GSFC	MSSL	ISAS	IRAP		
HPCA	SWRI	LANL	U. Colorado	LMATC		
SCM	LPP	UNH				
SDP	LASP	UNH	KTH			
SMART	SWRI	UNH	LASP	Rice		

Le LPP prend 1/36 des émissions

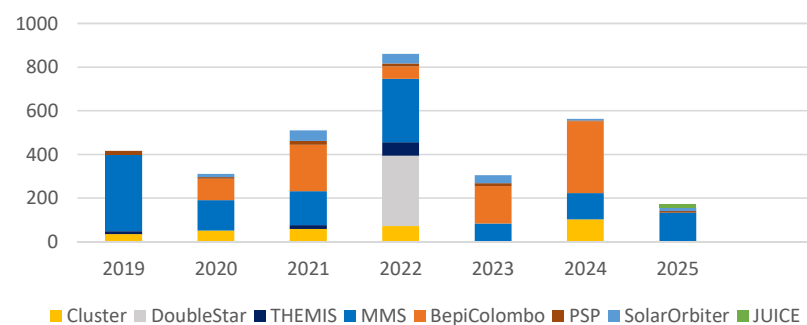
Comparaison des bilans



Méthode co_Is



Méthode Labos1point5



Améliorer le thermomètre... ne fait pas baisser la fièvre !

Comment faire baisser le bilan ?



Appel à propositions :
8 janvier au 5 février 2024

Eco-Conception

Challenge R&T

connect
by
cnes

?