

PLASMA MEASUREMENTS OF CLUSTER ALONG THE JUICE TRAJECTORY IN EARTH'S MAGNETOSPHERE

Author : Antonin Gossin, antoningoo@gmail.com

Date : 22/01/2024 -> 29/03/2024

Abstract

In the context of the JUICE flyby above Earth at the end of August 2024, plasma data from the near-Earth environment are needed. Comparing these measurements with those already obtained from missions such as Cluster and THEMIS will aid in the proper preparation and subsequent interpretation of the measurements to be collected by JUICE. Such comparisons will ensure the proper functioning of the measurement instruments throughout the rest of the JUICE mission, particularly when the spacecraft operates in Jupiter's environment and around its moons.

The objective of my internship is to analyze the spatial variations in plasma frequency, Debye length, and magnetic field along JUICE's trajectory through Earth's magnetosphere, using Cluster data from the period between 2010 and 2015. It is important to note that only Cluster 1 and THEMIS A measurements were included in my graphical results.

Processing data from all four Cluster probes and all five THEMIS probes would have required an excessively long processing time and imposed memory management constraints on the available equipment for this internship. However, it is worth mentioning that the data processing methods applied to Cluster 1 and THEMIS A can be fully transferable to the other Cluster and THEMIS probes.

The Cluster data were sourced from the Cluster Science Archive (ESA). Below is a list of the measurements available in this archive along with their associated measuring instruments:

- Electron temperature (PEACE)



- Magnetic field (FGM)
- Electron density (WHISPER)

No preprocessing was performed on the data, except for those values set to defaults by ESA to indicate missing data, which I replaced with the Python object `np.nan` (not a number).

To achieve this, I utilized data obtained from Cluster, focusing on electron temperature, electron density, and the magnetic field along JUICE's trajectory. I constructed statistics by discretizing the space within Earth's magnetosphere to obtain an initial draft of the expected measurements for the JUICE flyby over Earth.

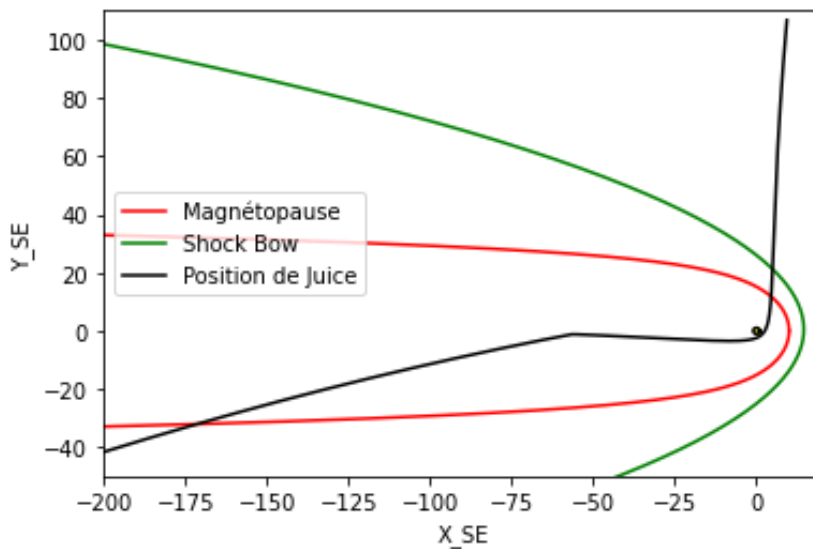
I derived the variations in electron density, electron temperature, magnetic field, plasma frequency, and Debye length along JUICE's trajectory. The appendix includes distributions of these different measurements across segments of the trajectory. These distributions are presented as histograms, providing a critical view of the average values shown in the graphs.

SOMMAIRE

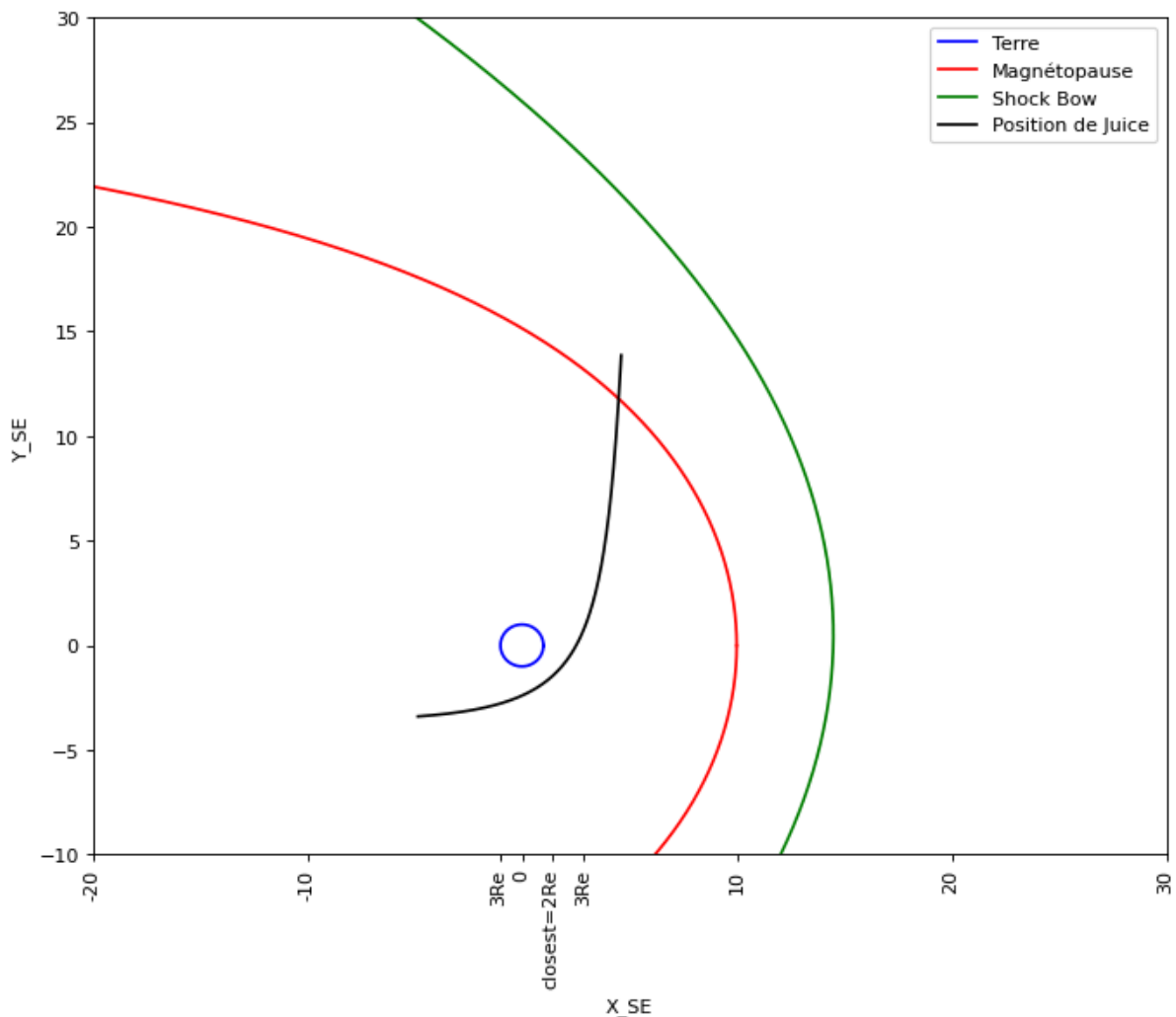
1. Définition de la trajectoire de Juice	2
2. Définition de l'espace discrétisé étudié	3
3. Statistique des données Cluster dans cet espace	5
3.1 Statistique des champs magnétiques (B, Bx, By, Bz)	6
3.2 Statistique des densités d'électrons	9
3.3 Statistique des températures d'électrons	10
3.4 Statistique des fréquences plasma	11
3.5 Statistiques des longueurs de Debye	12
4. Vérification des résultats obtenus	12
4.1. Comparaison avec les données THEMIS	12
4.2. Etude statistique des données Cluster dans la zone vent solaire	13
5. Simulation des mesures des sondes de Langmuir	15
6. Conseil pour la suite	16
6.1. Faible nombre de données Cluster	16
6.2. Impact de la rotation champ magnétique terrestre	18
6.3. Choix de la discrétisation de l'espace	19
6.4. Critique des mesure de température obtenues par Cluster	19
Annexes	19
Histogrammes des distributions du Champ B par brique de l'espace discrétisé	20
Histogrammes des distributions du Champ Bx par brique de l'espace discrétisé	31
Histogrammes des distributions du Champ By par brique de l'espace discrétisé	41
Histogrammes des distributions du Champ Bz par brique de l'espace discrétisé	52
Histogrammes des distributions de densité d'électrons par brique de l'espace discrétisé	63
Histogrammes des distributions de température d'électrons par brique de l'espace discrétisé	68

1. Définition de la trajectoire de Juice

Le but de cette section est d'avoir une bonne compréhension de la trajectoire de Juice afin de pouvoir réduire l'espace dans la magnétosphère terrestre que nous avons besoin de considérer.



Le graphique suivant nous donne la portion de trajectoire de Juice que nous allons considérer. Sur ces positions, les instruments de Juice sont programmés pour fonctionner tout en étant dans la magnétosphère terrestre.



Une représentation 2D est appropriée ici puisque la trajectoire de Juice est quasiment uniquement dans le plan éclipstique. Sur cette portion de la trajectoire de Juice, la composante selon l'axe Z_{SE} a une valeur comprise entre :

- $Z_{SE_min} = -0.3664014747411359 \text{ Re}$ (à gauche lorsque la distance entre le centre de la Terre et Juice est de 2 Re).

Ce qui forme un angle de $-10,21^\circ$ avec le plan de l'écliptique.

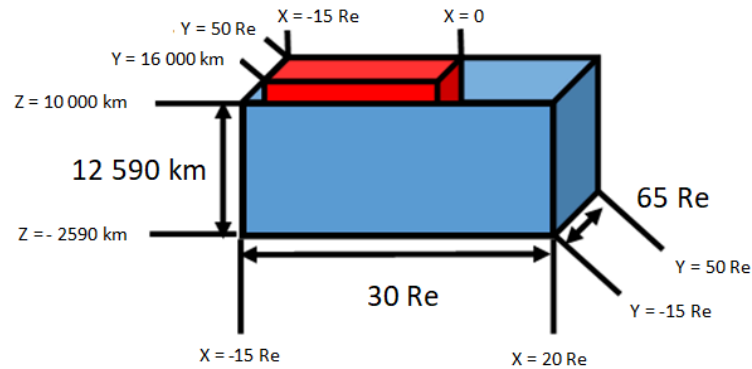
- $Z_{SE_max} = 2.793953561342956 \text{ Re}$ (à droite lorsque la distance entre le centre de la Terre et Juice est de 15 Re).

Ce qui forme un angle de $10,73^\circ$ avec le plan de l'écliptique.

On rappelle que Re (Earth Radius) = 6371km.

Les trois axes sont respectivement nommés X_{SE} , Y_{SE} et Z_{SE} pour rappeler que le référentiel utilisé est le référentiel GSE (Geocentric Solar Ecliptic). Cela fait référence à un système de coordonnées géocentriques utilisé pour décrire la position et le mouvement des objets spatiaux par rapport à la Terre dans le plan de l'écliptique (=plan de l'orbite terrestre autour du Soleil).

2. Définition de l'espace discrétisé étudié

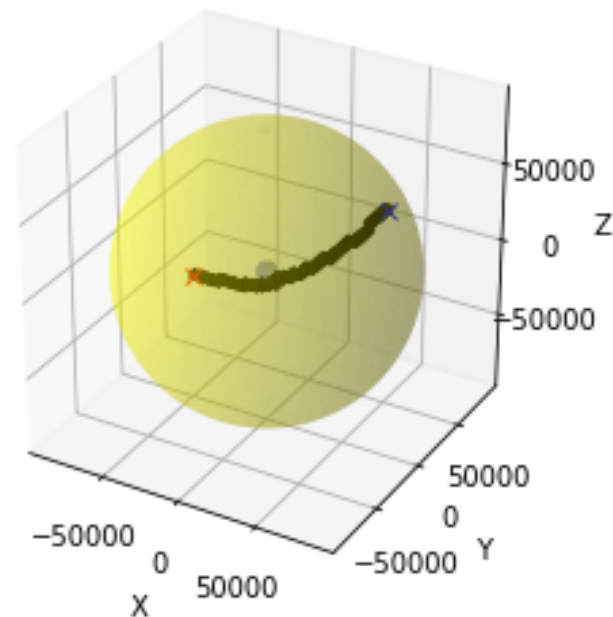


Nous ne souhaitons pas suivre la trajectoire de Juice point par point. Nous discrétisons alors l'espace en définissant des briques le constituant ce qui va permettre de faire des statistiques sur chacun d'entre-eux. Voici la définition de l'espace que je vais étudier dans la suite de mon travail. Cet espace englobe l'intégrité de la trajectoire de Juice dans la magnétosphère terrestre (et un peu plus puisque l'axe y va jusque 50 Re). Il prend la forme d'un parallélogramme auquel on retire le parallèle rouge par souci d'optimisation des calculs.

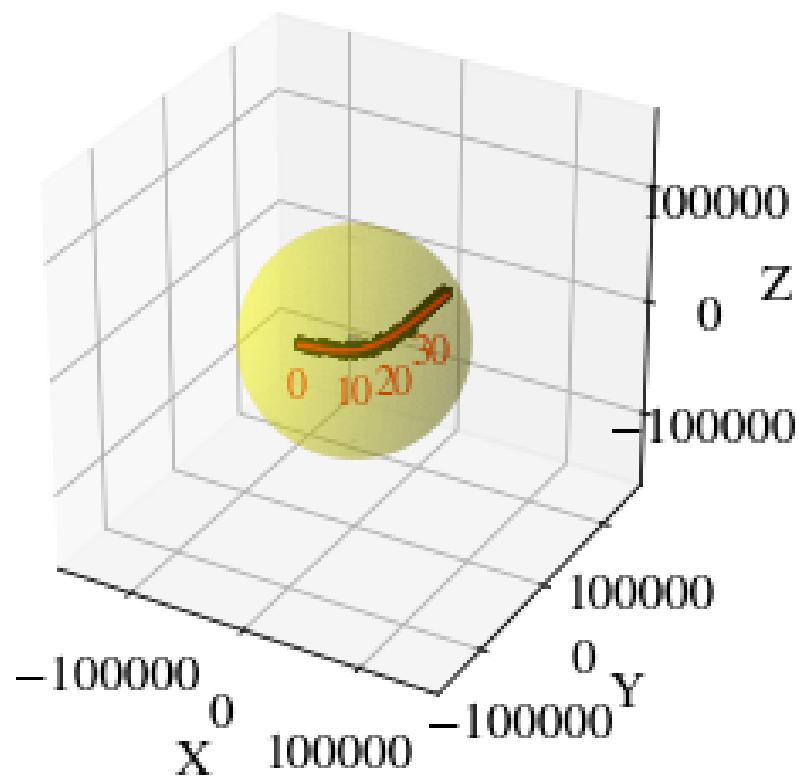
Pour établir des statistiques de données Cluster satisfaisantes sur cet espace, je discrétise en **brique de 5 000 km** l'espace. Il s'agit d'un bon compromis entre précision et fiabilité des statistiques obtenues dans l'espace.

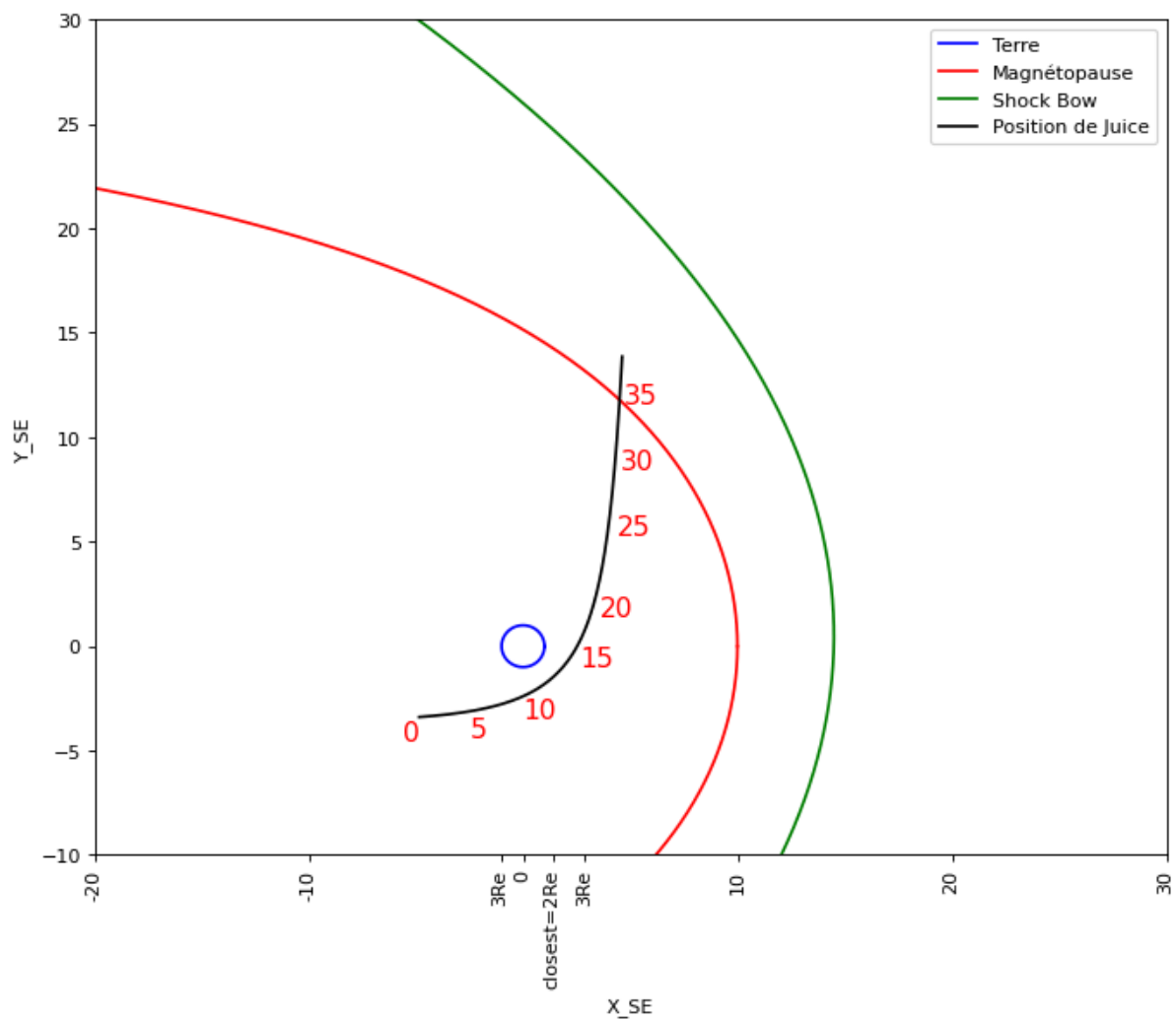
Voici une représentation des briques de l'espace défini qui contiennent la portion de trajectoire de Juice qui se trouve dans la magnétosphère terrestre.

Trajectoire de Juice dans l'espace discrétisé



Trajectoire de Juice dans l'espace discrétisé





Sur ce graphique, les indices des briques sont également représentés, ce qui permet de visualiser la position de Juice sur chaque histogramme inclus dans les annexes. En raison de la discrétisation de l'espace et de la taille des briques cubiques de 5000 km de côté, la trajectoire de Juice dans la magnétosphère terrestre, pendant la période où ses instruments de mesure sont actifs, traverse 36 briques. Les indices caractéristiques des briques sont affichés à leur position respective sur le graphique.

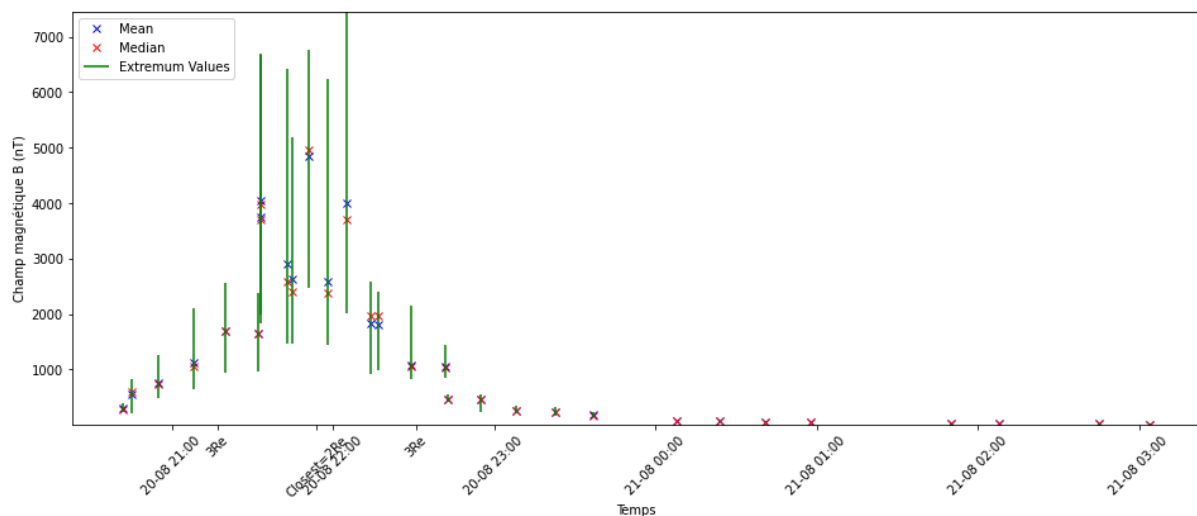
3. Statistique des données Cluster dans cet espace

Une fois que nous avons défini la portion de trajectoire de Juice qui nous intéresse et l'espace dans lequel celle-ci évolue en le discrétisant, nous sommes prêt à établir des statistiques de mesures sur chacun des briques que la trajectoire de Juice va traverser.

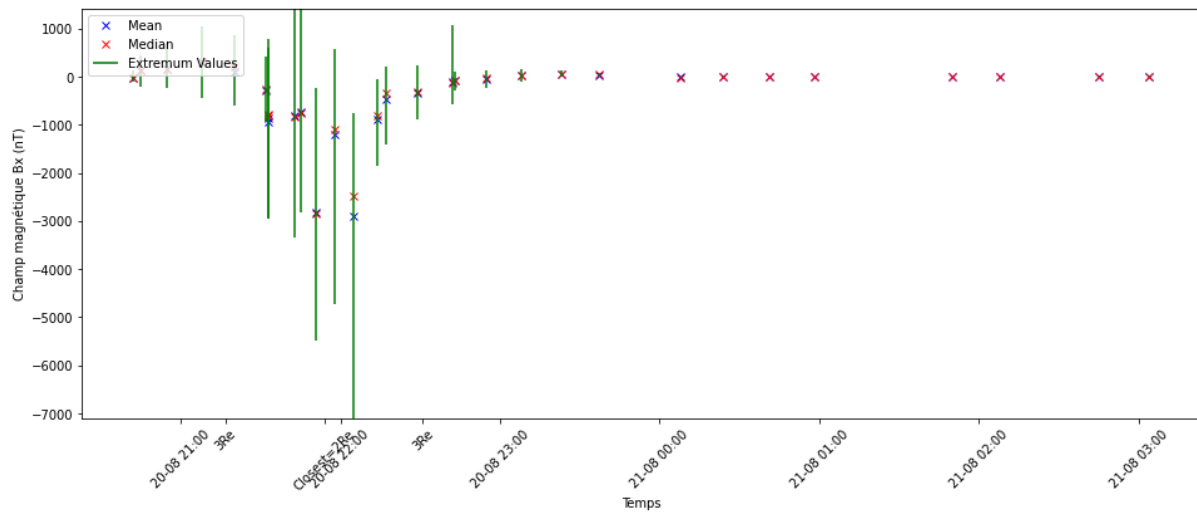
Pour obtenir une estimation des mesures de Juice attendu sur chacun de ses briques, j'ai récupéré les données Cluster dont les mesures ont également été faites sur les briques pour en tirer moyennes, médianes et écart type. Ces résultats

3.1 Statistique des champs magnétiques (B, Bx, By, Bz)

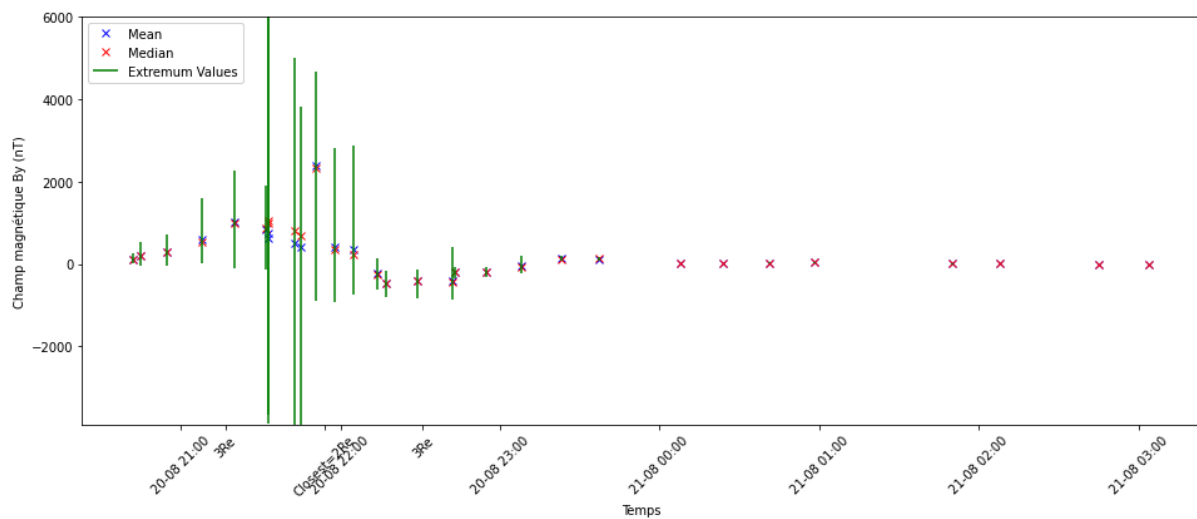
données obtenues par Cluster FGM



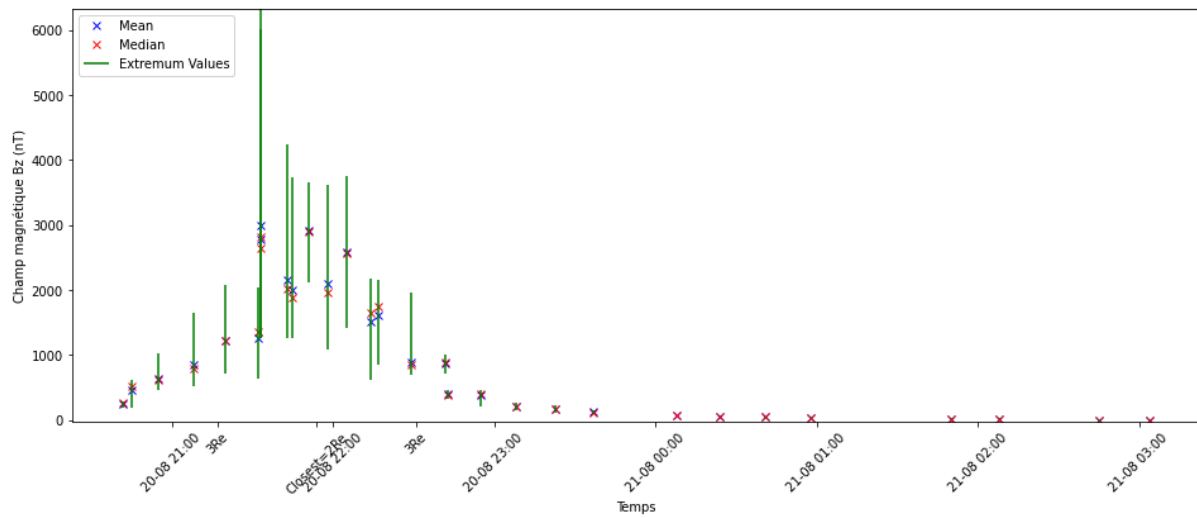
(distributions par brique de l'espace discrétisé du Champ B (en nT) dans les annexes)



(distributions par brique de l'espace discrétisé du Champ Bx (en nT) dans les annexes)

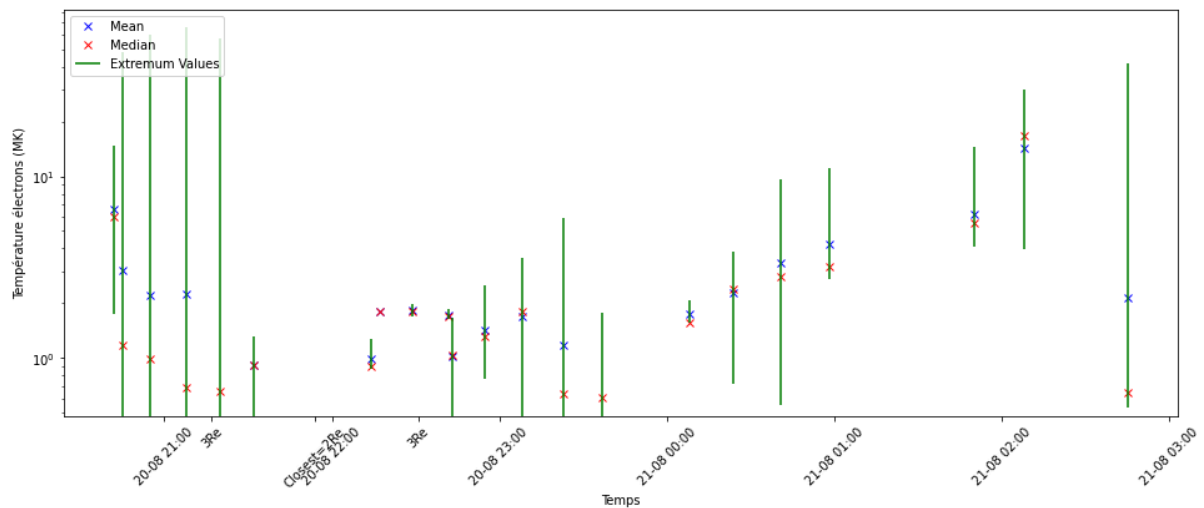


(distributions par brique de l'espace discrétisé du Champ By (en nT) dans les annexes)



3.3 Statistique des températures d'électrons

données obtenues par Cluster PEACE

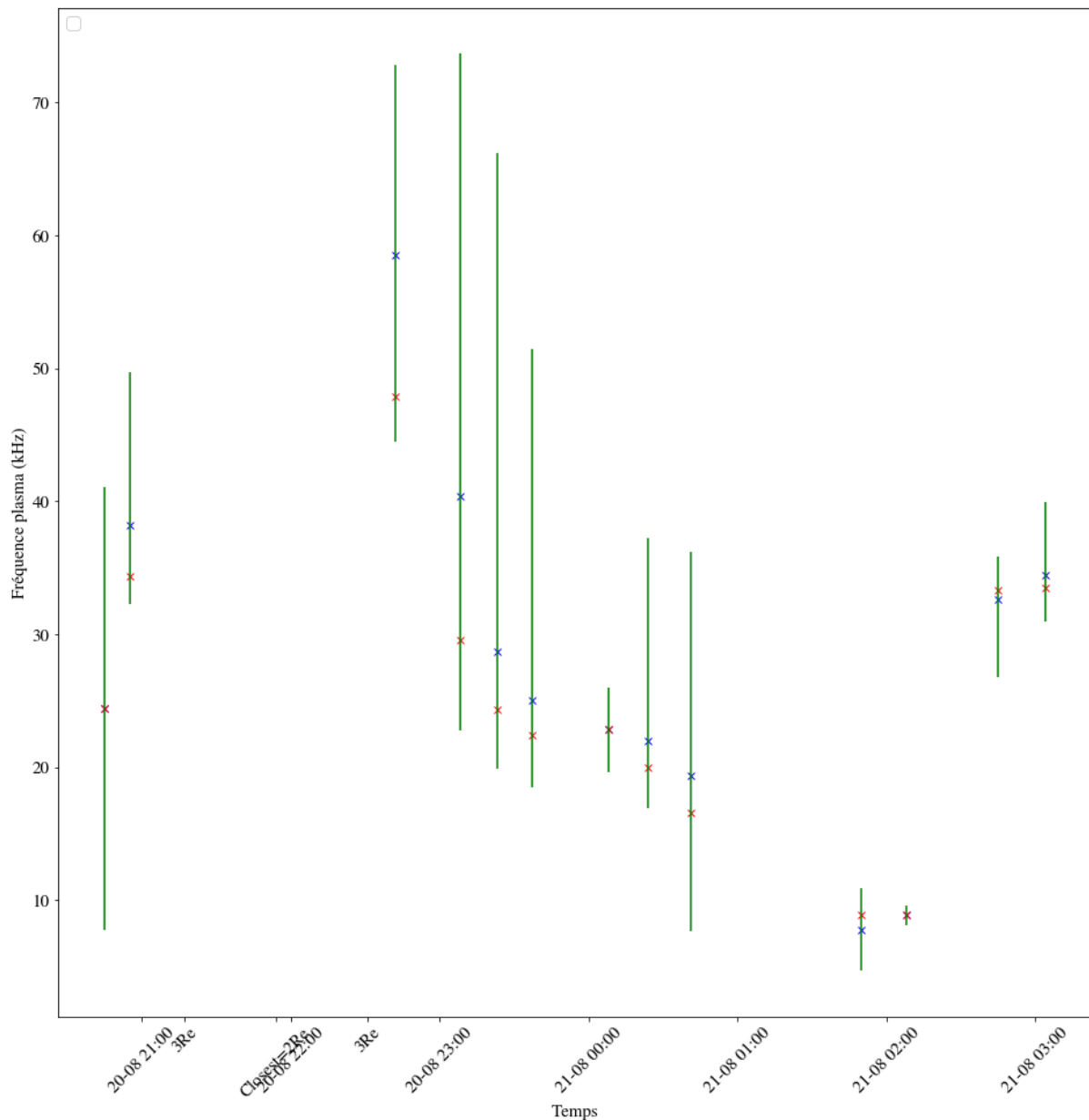


(distributions par brique de l'espace discrétisé de la température d'électrons (en MK) dans les annexes)

3.4 Statistique des fréquences plasma

formule utilisée : $Fp [kHz] = 9 * \sqrt{ne[cm^{-3}]}$

Les données de densité d'électrons correspondent à celles obtenues dans la [partie 3.2](#)

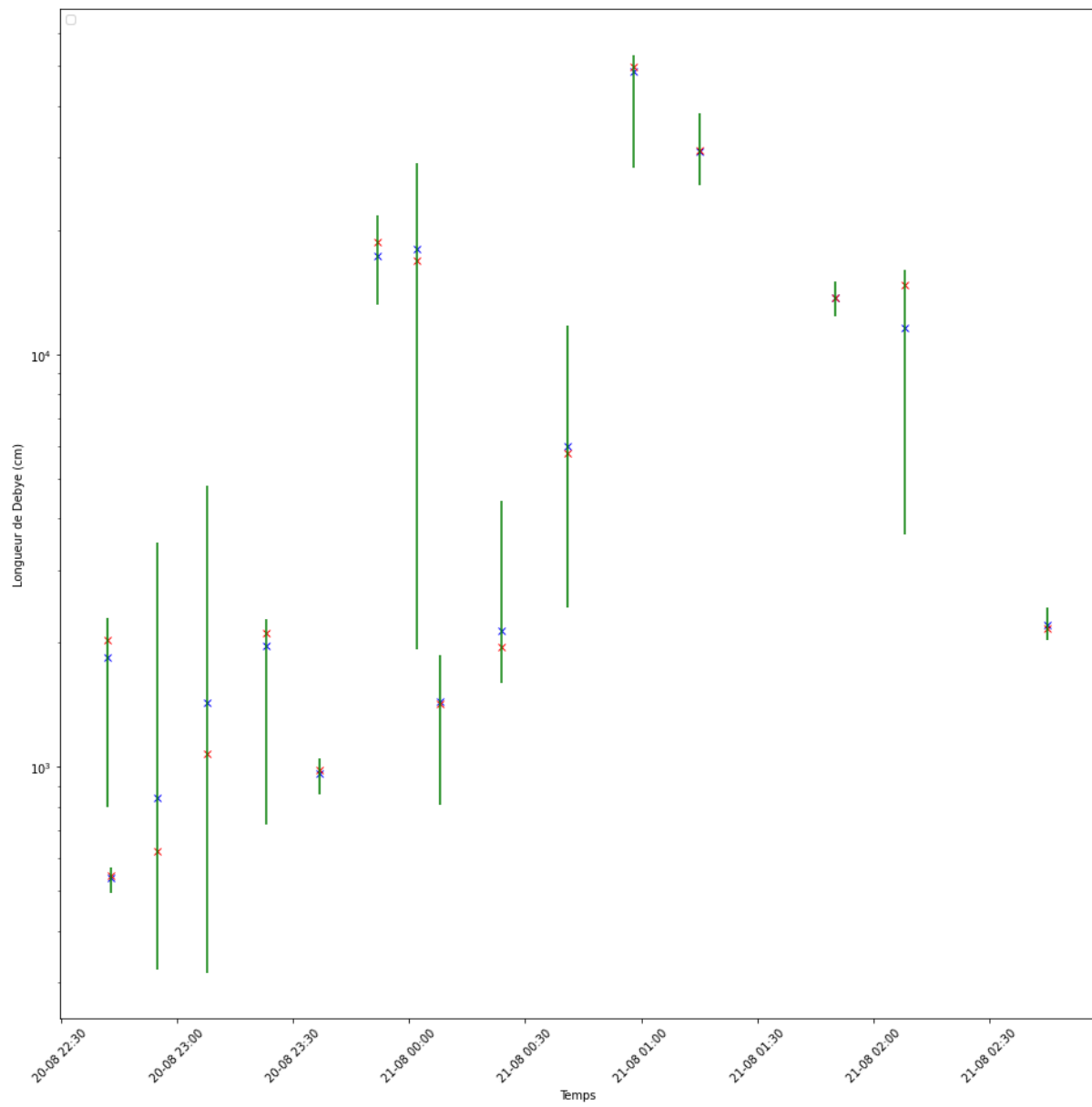


3.5 Statistiques des longueurs de Debye

formule utilisée : $\lambda_d [cm] = 6.9 * \sqrt{Te[K]/n_e [cm^{-3}]}$

Les données de densité d'électrons correspondent à celles obtenues dans la [partie 3.2](#)

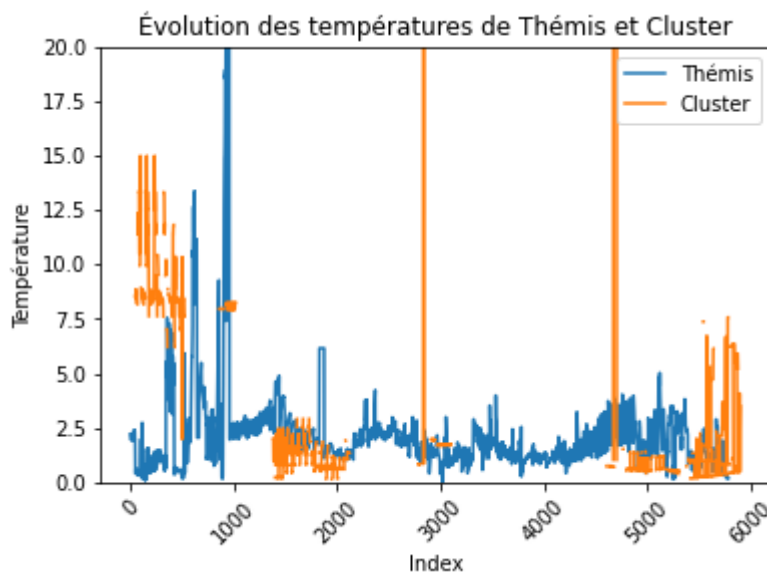
Les données de température d'électrons correspondent à celles obtenues dans la [partie 3.4](#)



4. Vérification des résultats obtenus

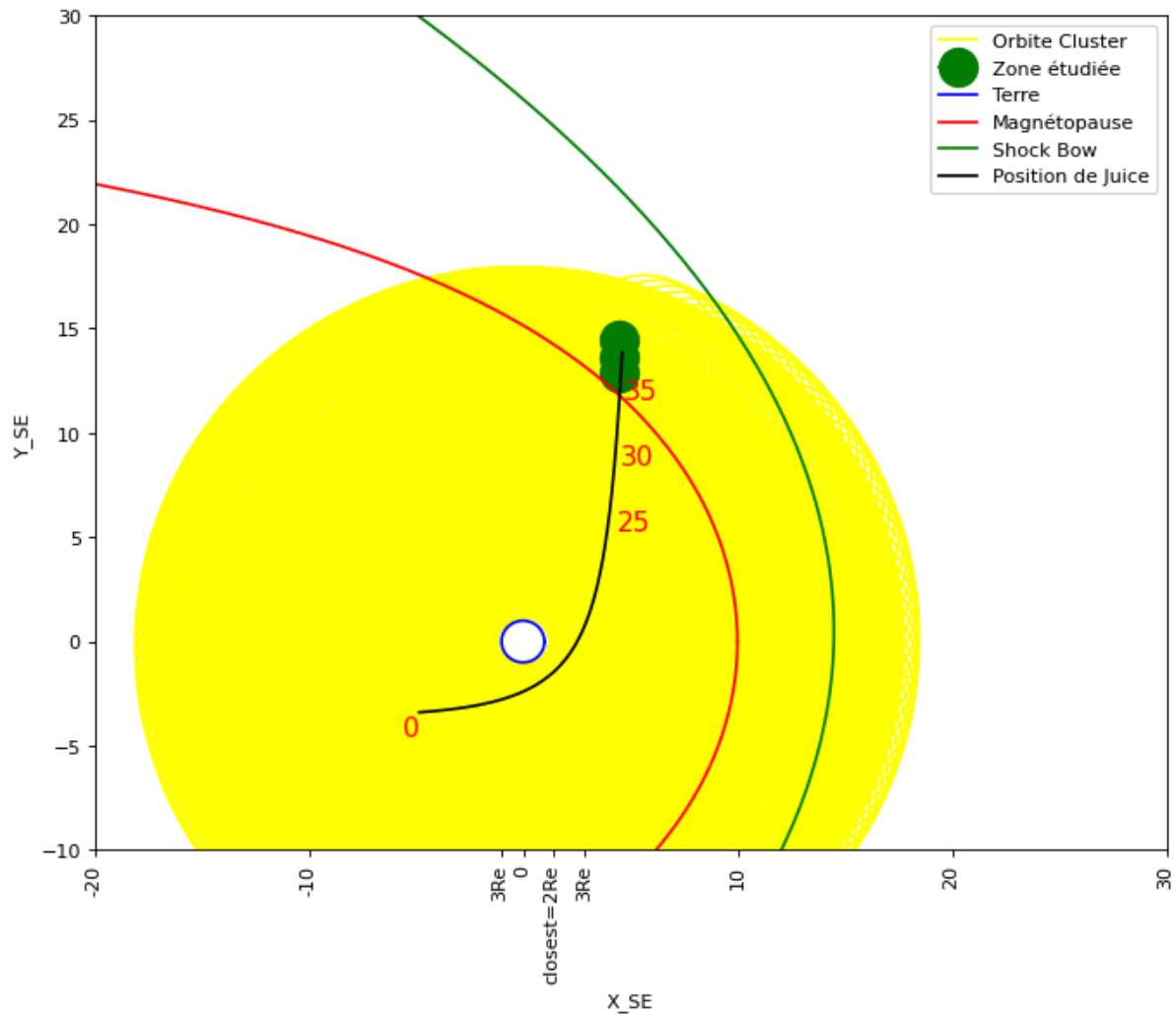
Certaines valeurs de température d'électrons semblent très élevées bien qu'il puisse y avoir de très fortes variations de température d'électrons dans la magnétosphère terrestre. J'ai donc vérifié les résultats par deux moyens. La première méthode consiste à comparer les résultats avec Cluster avec ceux de THEMIS. La seconde méthode est de récupérer les valeurs obtenues par Cluster dans la zone "vent solaire" car dans cette région la valeur de température varie très peu.

4.1. Comparaison avec les données THEMIS



(je travaille à rendre ce graphique plus lisible)

4.2. Etude statistique des données Cluster dans la zone vent solaire



```

Sur la trajectoire de Juice et à des distances comprises entre 13 Re et 15.5 Re
La température d'électrons (en MK) moyenne est :
4.668510355555555
La température d'électrons (en eV) moyenne est :
402.29954286928887
sur un échantillon de
15
La densité d'électrons (en cm^-3) moyenne est :
10.412872774263237
sur un échantillon de
132

```

Malheureusement, il est impossible de s'éloigner davantage de la Terre et de franchir le choc d'étrave, car l'orbite de Cluster est entièrement contenue dans la zone jaune délimitée sur le graphique. Comme le montre clairement le graphique précédent, Cluster ne quitte de manière significative la magnétosphère terrestre que près du point de transition appelé "nez", une région non traversée par la trajectoire de la sonde Juice.

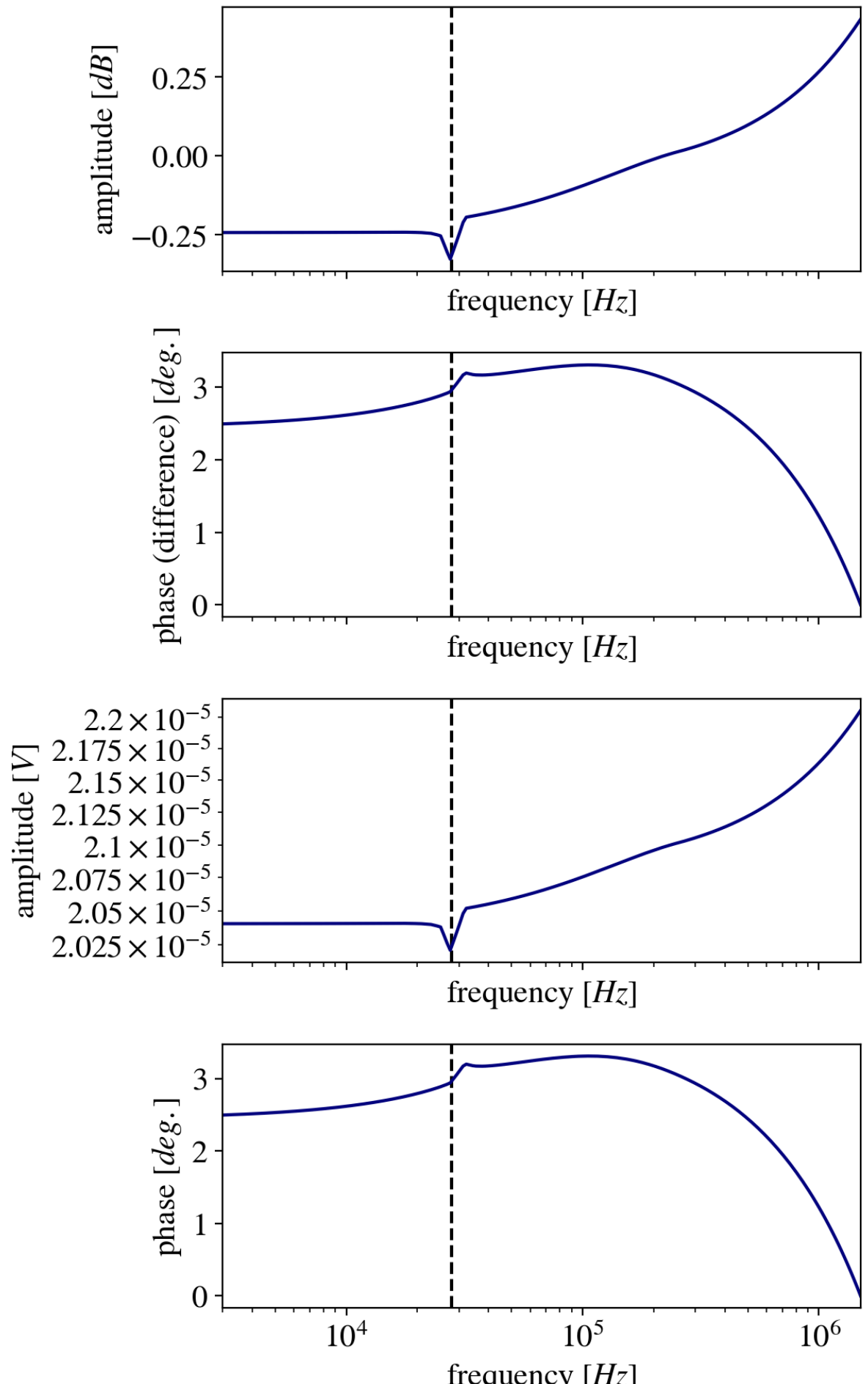
De plus, il convient de noter que la trajectoire de Juice ne s'élève pas non plus au-delà du choc d'étrave selon l'axe z , puisque, comme mentionné dans la [partie 1](#), sa trajectoire demeure presque entièrement confinée dans le plan éclipique. Bien que non représenté sur le graphique précédent, cet aspect mérite d'être souligné.

Cependant, il est tout à fait envisageable d'observer les mesures dans le vent solaire qui sont au niveau du nez de la magnétosphère bien que Juice n'y passe.

5. Simulation des MIME en réception sur senseurs LP

Le code utilisé pour générer les graphiques a été conçu par Pietro Dazzi. Je l'ai exécuté en utilisant les résultats des températures et des densités moyennes d'électrons que j'ai calculés pour chaque brique dans les parties précédentes de mon travail. Les graphiques ci-dessous représentent les valeurs de température et de densité pour un ensemble spécifique de données mesurées dans la brique d'indice 1, situé à une altitude inférieure de la magnétopause, et donc à l'intérieur de la magnétosphère, à une distance approximative de 3 rayons terrestres (R_E).

lp1-lp4 lp2-lp3 $n_e = 9.59\text{e}+00 \text{ cm}^{-3}$ $T_e = 8.77\text{e}+01 \text{ eV}$

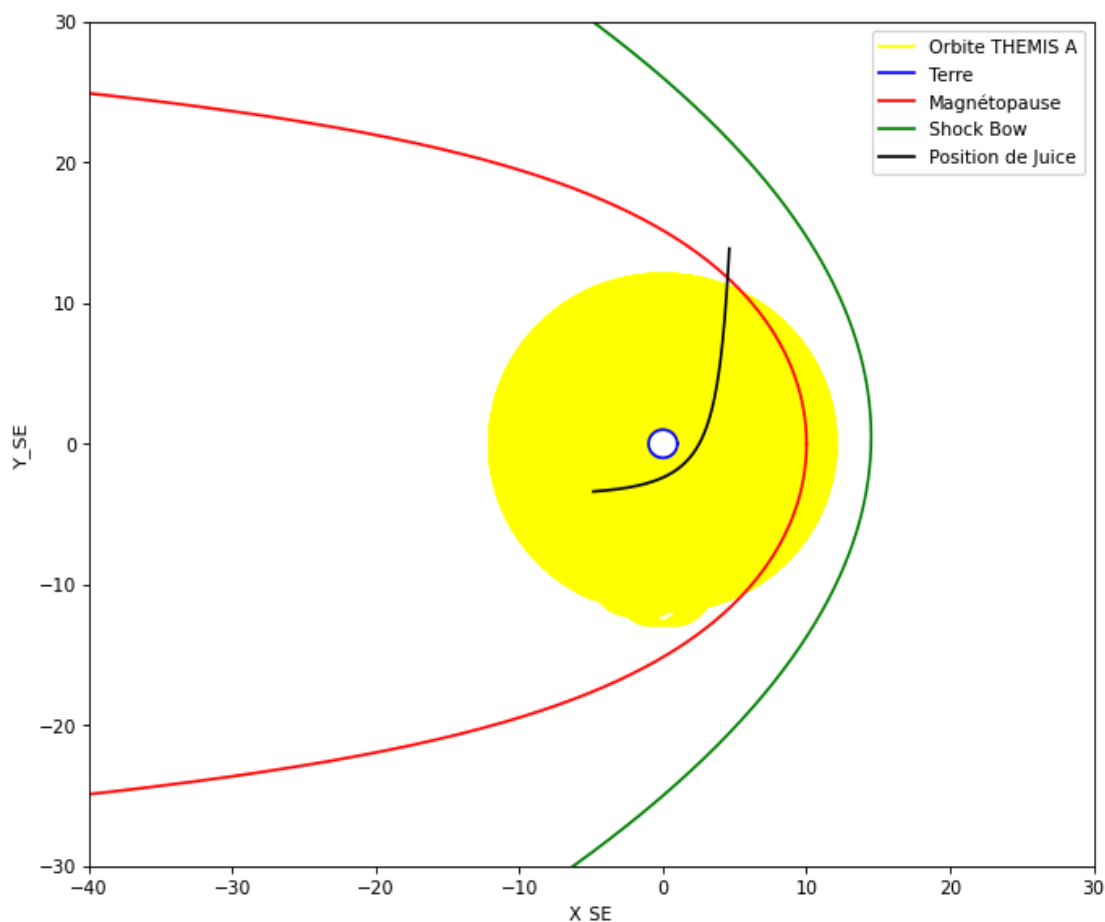


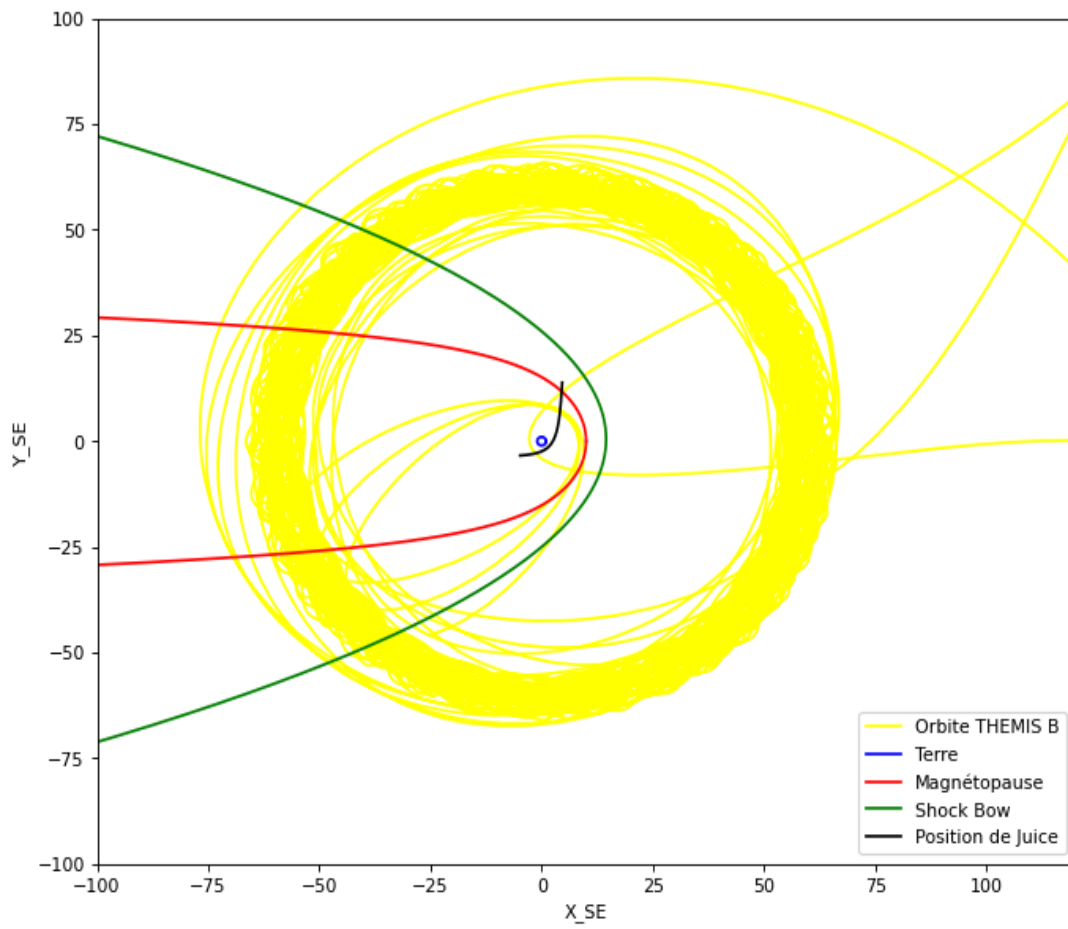
6. Conseil pour la suite

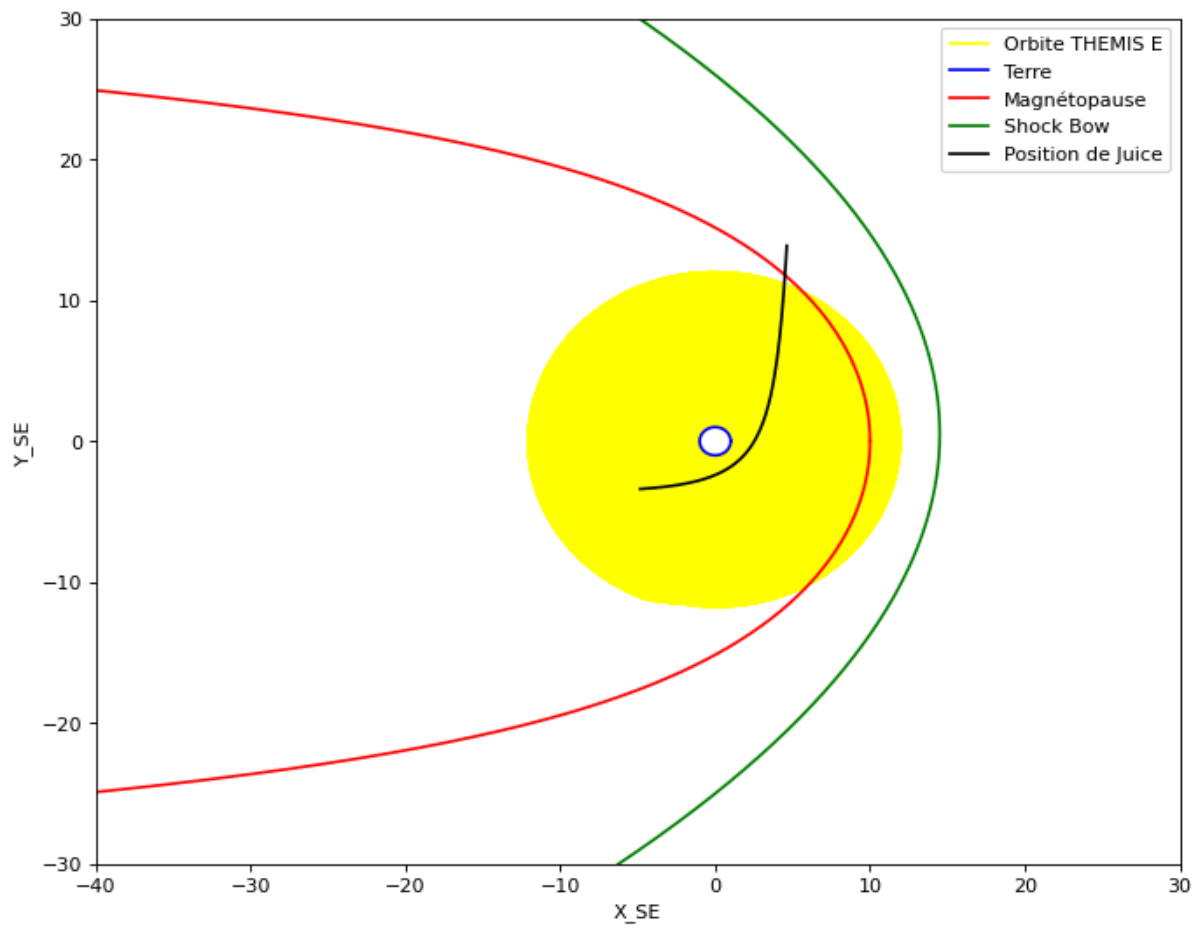
6.1. Faible nombre de données Cluster

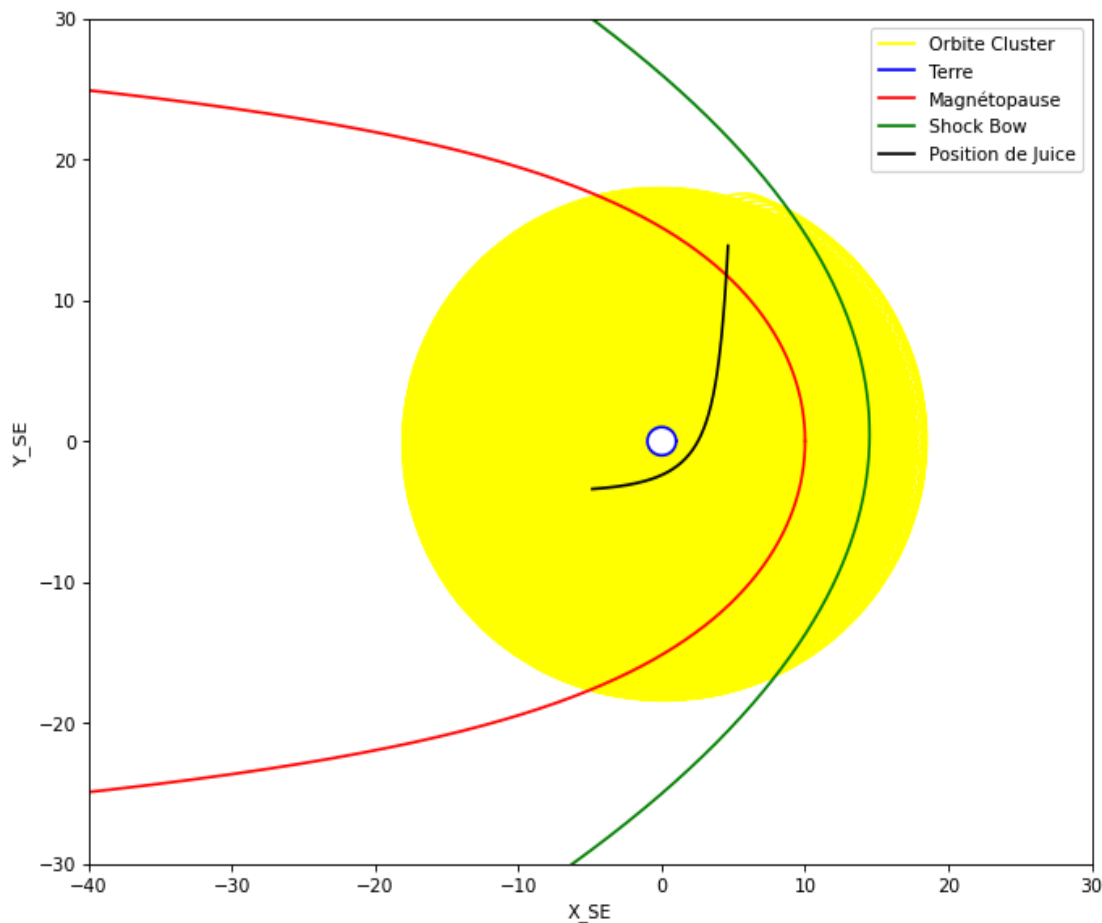
Il convient peut-être de donner la priorité à l'utilisation des données THEMIS plutôt que des données de Cluster, car elles semblent plus exhaustives et leurs orbites s'étendent plus loin de la Terre que celles de Cluster. Cela est illustré par le graphique de la [section 4](#), où l'on observe une plus grande cohérence dans les mesures de température. De plus, les représentations graphiques des orbites de 3 des 5 sondes THEMIS démontrent également une plus grande variété de positions prises par les sondes dans l'environnement terrestre.

Ainsi, les statistiques obtenues avec Cluster pourront servir à confirmer les résultats obtenus à partir du traitement des données THEMIS. Cependant, il est important de noter qu'il faut choisir la bonne sonde THEMIS en fonction de la région que l'on souhaite étudier, car elles suivent des orbites très différentes. À titre d'illustration, voici les trajectoires de THEMIS A, B et E pour les quatre premiers mois de l'année 2010.









Les mesures de densité sont principalement limitées, comme en témoigne le nombre restreint d'histogrammes générés dans les [annexes](#), ce qui indique que seules quelques mesures de densité d'électrons ont été effectuées dans un petit nombre de briques dans l'espace discrétisé.

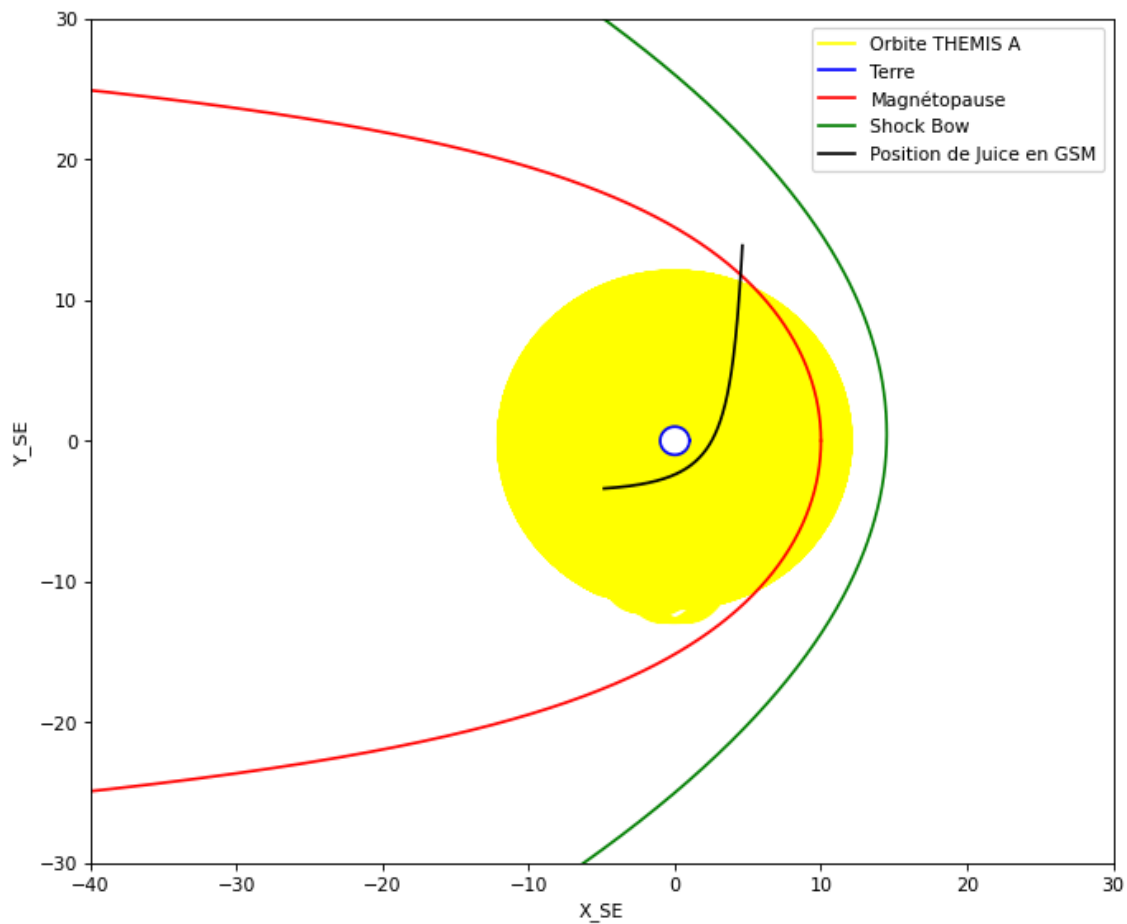
En effet, les histogrammes présentent parfois une distribution gaussienne ou une superposition de deux distributions gaussiennes lorsque les échantillons sont suffisamment grands, c'est-à-dire lorsqu'il y a au moins 300 mesures par brique. Cependant, la plupart des briques ne fournissent pas de données exploitables et présentent une approximation relativement importante, en particulier lorsqu'on se trouve à proximité de la Terre (à une distance de 5000 km).

6.2. Impact de la rotation champ magnétique terrestre

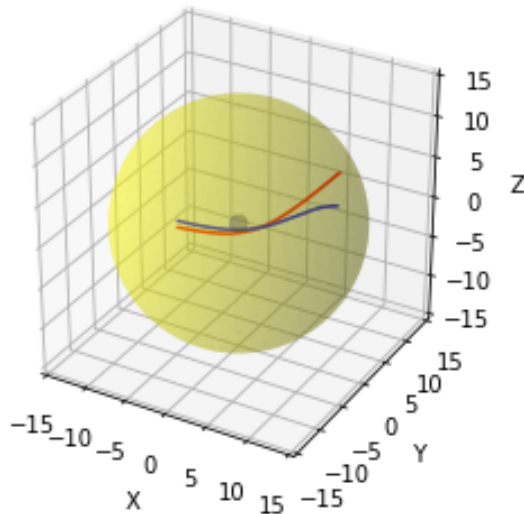
Le choix de réduire les données à leur moyenne sur une brique où la distribution semble suivre la forme de deux gaussiennes semble être une approche trop approximative. Il pourrait être plus judicieux de sélectionner l'un des deux pics de probabilité des deux gaussiennes, en particulier celui qui présente la plus grande amplitude. La présence de ces

deux pics pourrait d'ailleurs être attribuée à la rotation du champ magnétique terrestre, qui est incliné d'un angle d'environ 11 degrés.

En ce qui concerne le passage du repère GSE (Geocentric Solar Ecliptic) au repère GSM (Geocentric Solar Magnetospheric), il semble que cela pourrait avoir un impact significatif sur certaines composantes du champ magnétique.



Trajectoire de Juice dans l'espace discrétisé



trajectoire de Juice en GSM

trajectoire de Juice en GSE

GSE et GSM sont deux systèmes de coordonnées utilisés en physique spatiale pour décrire la position et le mouvement des objets spatiaux par rapport à la Terre et au Soleil, en tenant compte respectivement de l'orientation de l'écliptique et du champ magnétique terrestre.

6.3. Choix de la discrétisation de l'espace

Il est possible que l'ajustement de la taille des briques constituant l'espace discrétisé soit nécessaire dans les zones les plus proches de la Terre. En effet, à mesure que l'on se rapproche de la Terre, les mesures plasma sont plus susceptibles de subir des variations importantes. Par conséquent, une réduction de la taille des briques dans ces régions pourrait permettre de capturer de manière plus précise les variations locales des mesures plasma.

6.4. Critique des mesure de température obtenues par Cluster

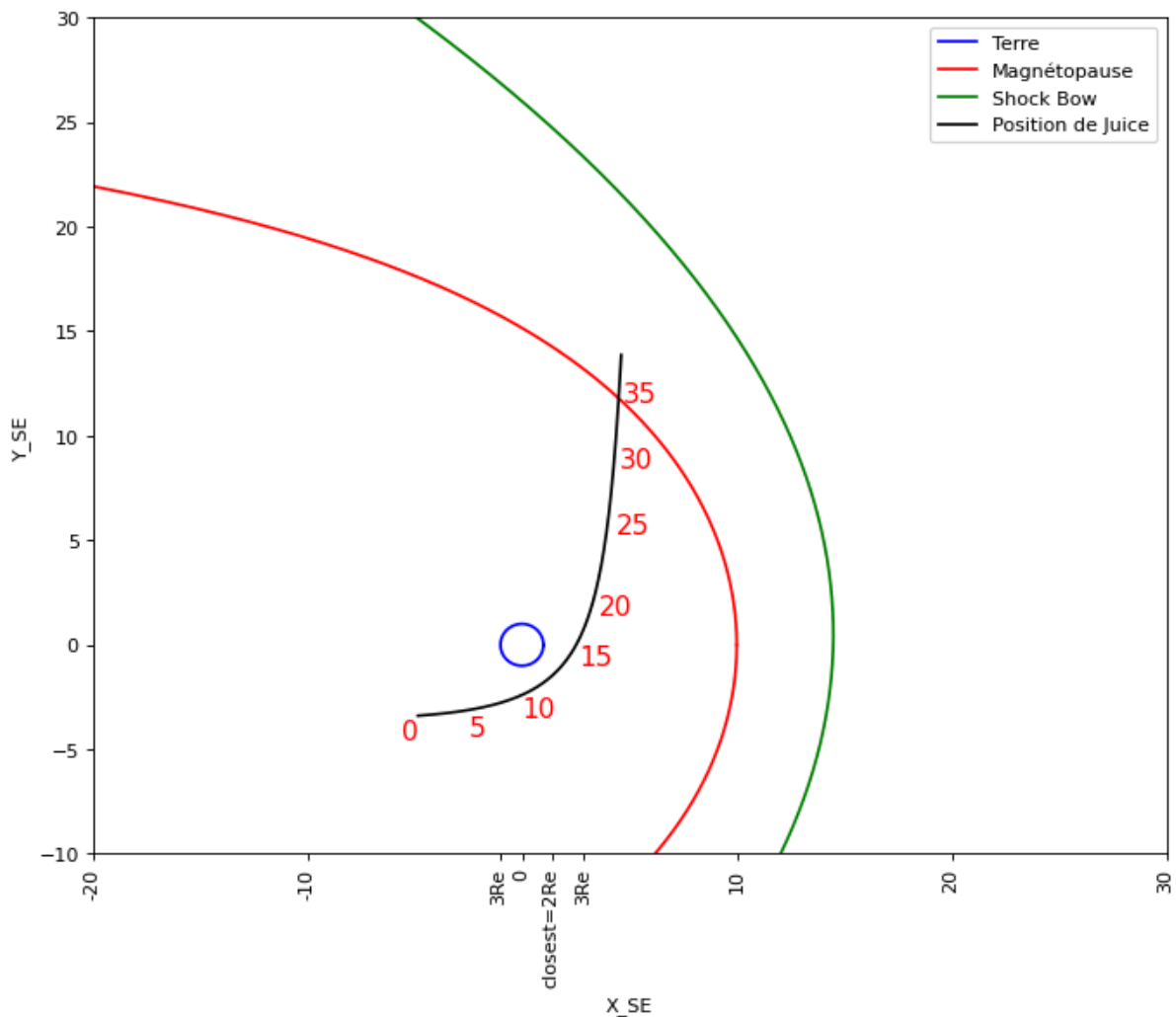
Il existe un certain nombre de valeurs de température d'électrons mesurées par Cluster qui sont incohérentes. Il est important de noter que les données négatives, qui ont été mises par défaut en cas d'absence de mesure, ne doivent évidemment pas être prises en compte (je les ai par ailleurs remplacées par la valeur nan lors du pré-traitement des données). Par ailleurs, d'autres valeurs incohérentes, souvent très élevées, semblent survenir lors d'un changement de mode de fonctionnement des instruments de Cluster. Ces valeurs n'ont pas été traitées dans mon travail. Il pourrait être nécessaire d'examiner et de filtrer ces données incohérentes pour une analyse plus précise.

La présence de ces mesures étranges peut être facilement trouvées dans les distributions de température d'électrons en annexe comme par exemple sur le premier d'entre eux [\(page 68\)](#).

Etant donné que ces températures incohérentes sont proches des valeurs physiques, je n'ai pas été capable d'établir un filtre précis pour les rendre muettes. Il va donc falloir trouver un critère précis pour déterminer si une température peut être jugée physique ou incohérente.

Annexes

Dans cette partie sont regroupées les distributions de donnée (B, Bx, By, Bz, ne ou Te) par brique. Voici un graphique qui rappelle la position des briques en fonction de leur index :



Ces distributions, sous forme d'histogrammes, permettent d'obtenir une compréhension plus précise de la répartition des valeurs autour de la moyenne et de la médiane pour chaque brique, ce qui facilite une analyse critique des statistiques.

Les barres verticales bleues indiquent les moyennes de l'échantillon, tandis que les barres verticales rouges représentent les médianes de l'échantillon.

En outre, il est possible d'évaluer quels instruments sont les plus limitants en termes de nombre de mesures en observant le nombre d'histogrammes générés, qui représentent le nombre de briques visités par la trajectoire de Cluster où une mesure de la variable associée a été effectuée. Il est à noter que la trajectoire de Juice traverse 36 de ces briques, de taille 5000 km.

Sur les 36 briques visités, 29 ont des mesures pour les champs magnétiques.

Seuls 13 des 36 briques ont des mesures de densité d'électrons.

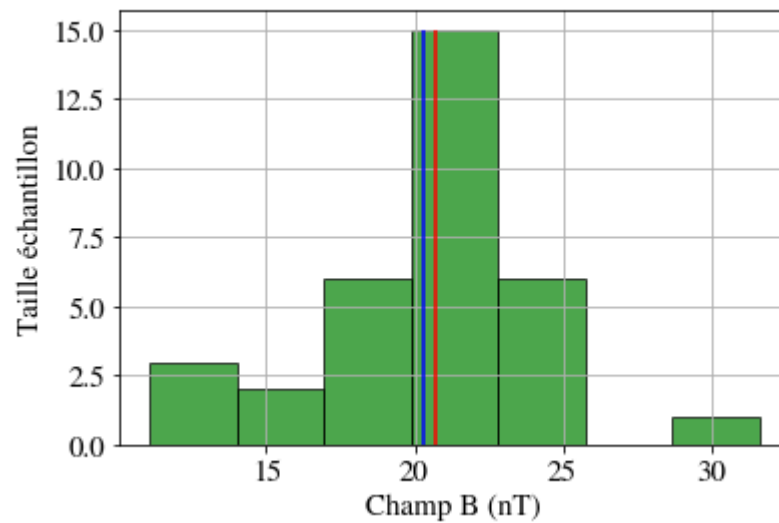
De même, seuls 16 des 36 briques ont des mesures de température d'électrons.

REMARQUE :

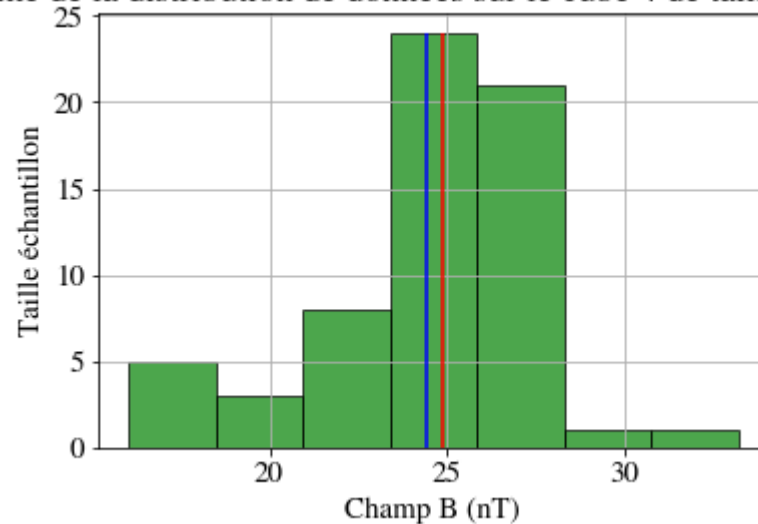
Il faut par ailleurs noter que la taille des échantillons pourra augmenter si l'on prend compte des quatre Cluster. En effet, dans les histogrammes suivants seuls les mesures de Cluster 1 ont été prises en compte et non pas celles de Cluster 2, Cluster 3 et Cluster 4.

Histogrammes des distributions du Champ B par brique de l'espace discrétisé

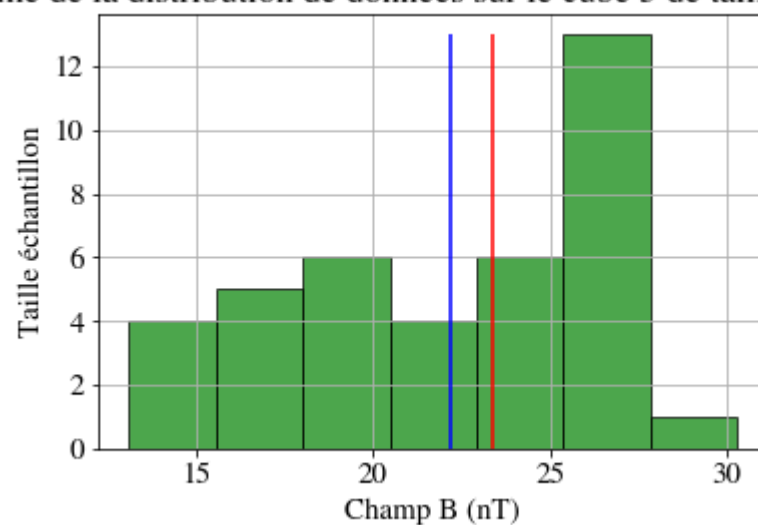
Histogramme de la distribution de données sur le cube 2 de taille d'échantillon 33



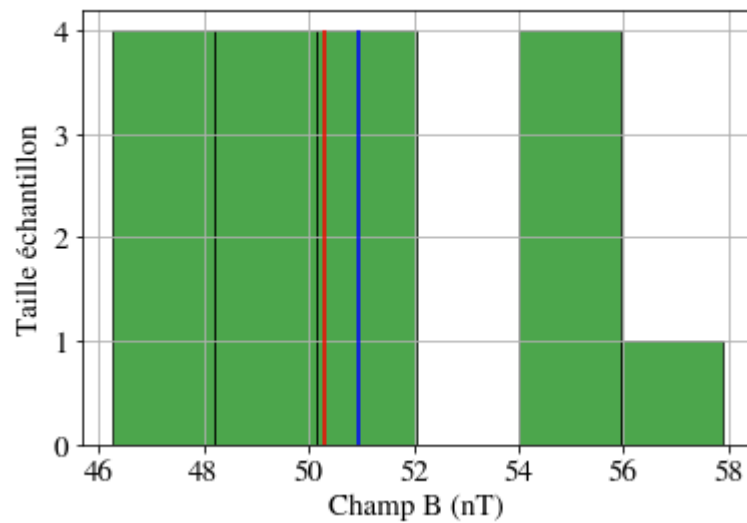
Histogramme de la distribution de données sur le cube 4 de taille d'échantillon 63



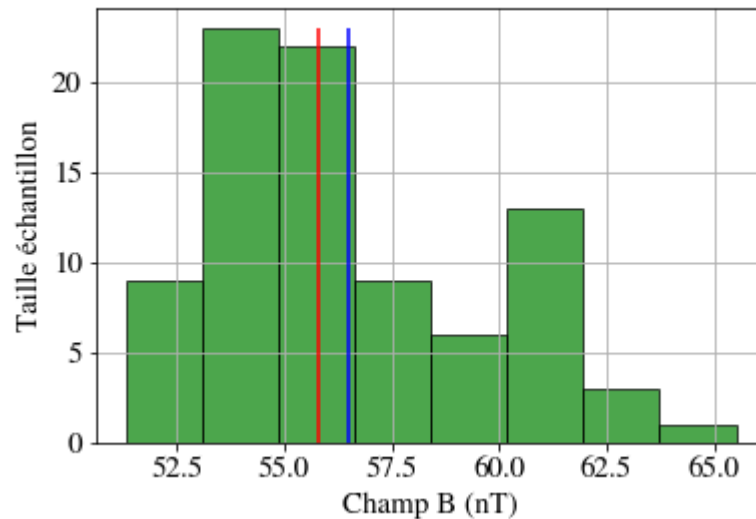
Histogramme de la distribution de données sur le cube 5 de taille d'échantillon 39



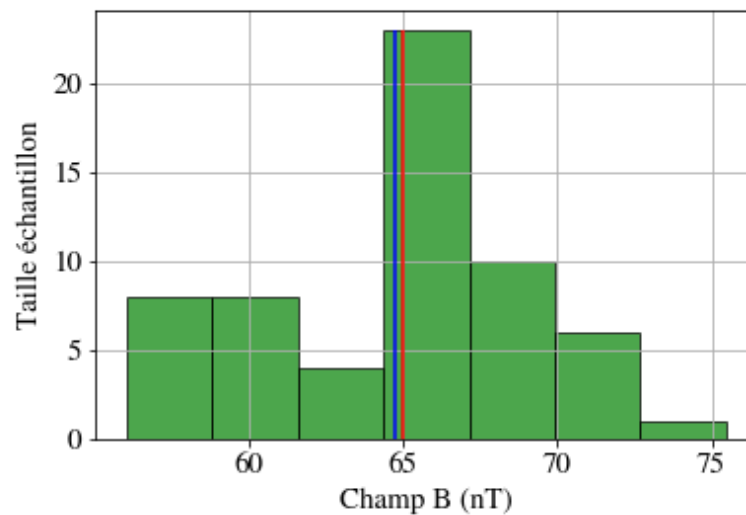
Histogramme de la distribution de données sur le cube 8 de taille d'échantillon 17



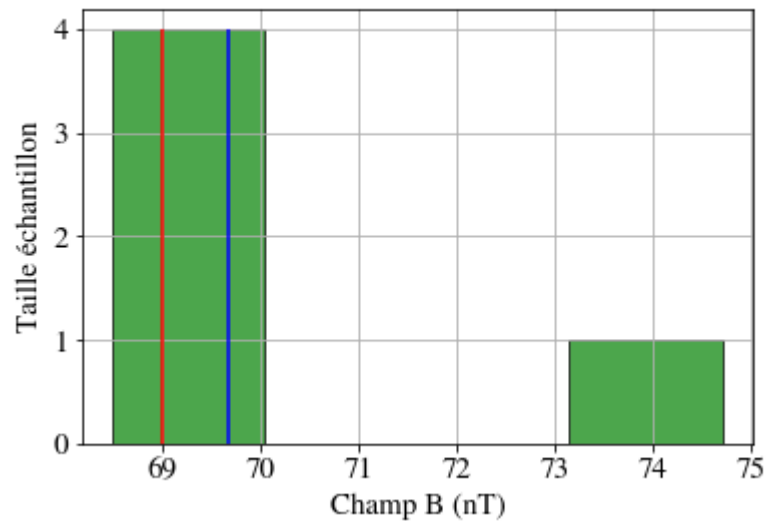
Histogramme de la distribution de données sur le cube 9 de taille d'échantillon 86



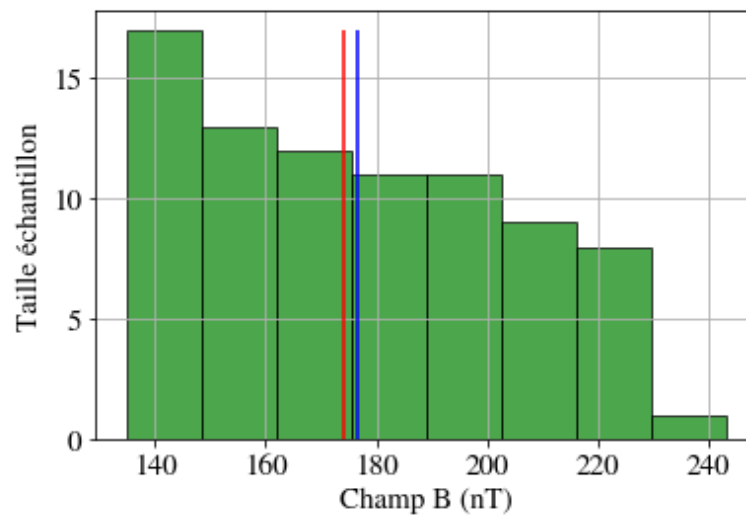
Histogramme de la distribution de données sur le cube 10 de taille d'échantillon 60



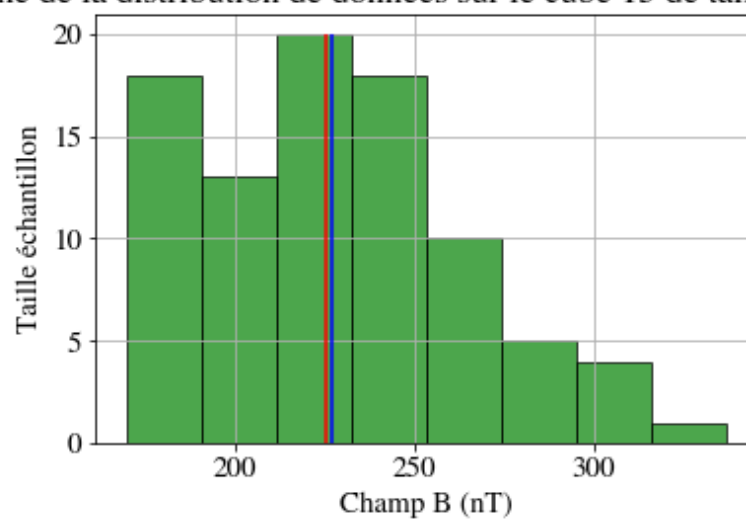
Histogramme de la distribution de données sur le cube 11 de taille d'échantillon 5



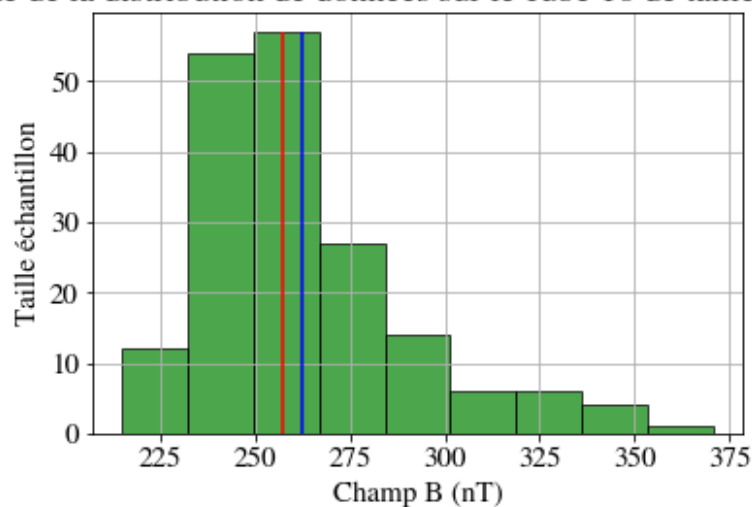
Histogramme de la distribution de données sur le cube 14 de taille d'échantillon 82



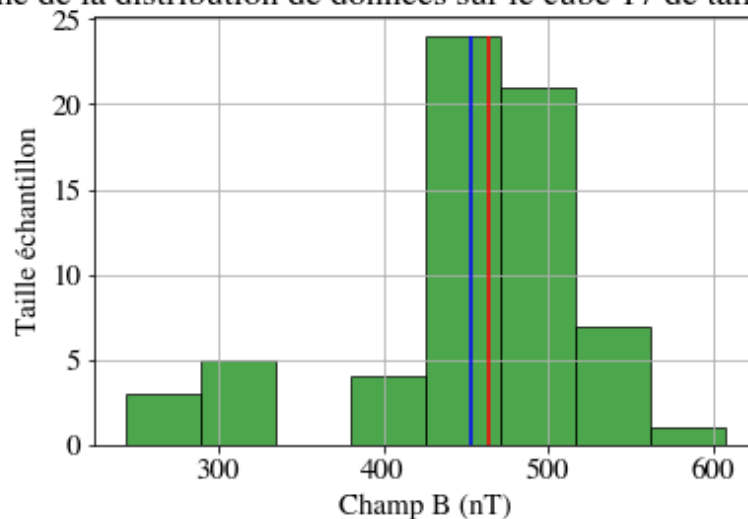
Histogramme de la distribution de données sur le cube 15 de taille d'échantillon 89



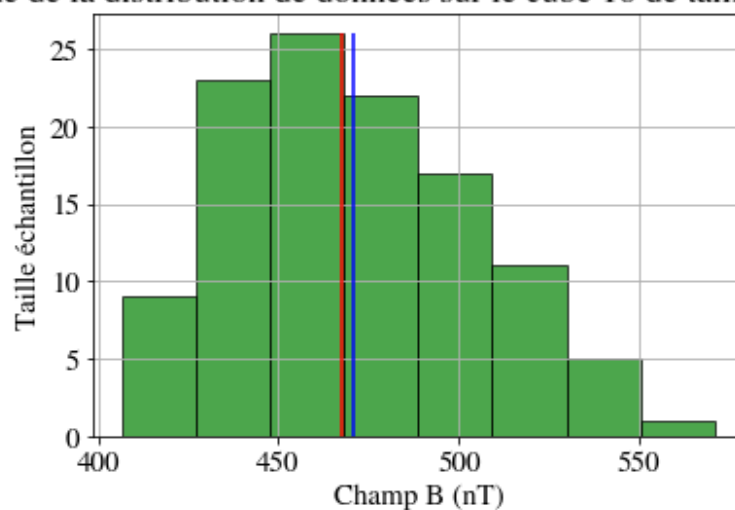
Histogramme de la distribution de données sur le cube 16 de taille d'échantillon 181



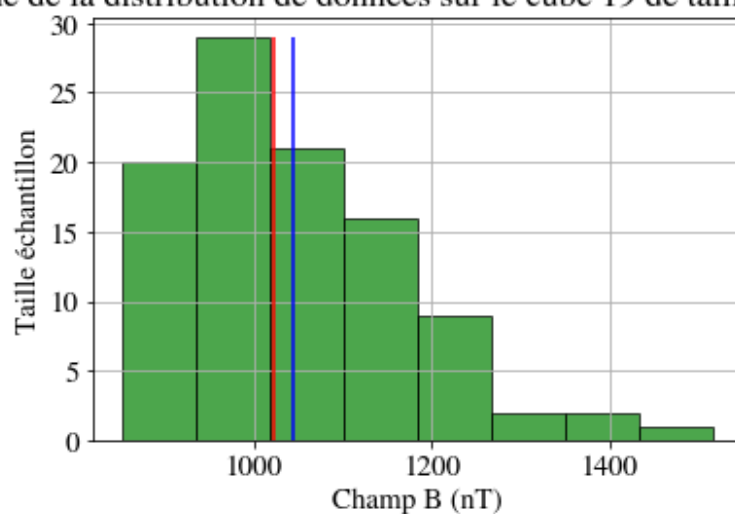
Histogramme de la distribution de données sur le cube 17 de taille d'échantillon 65



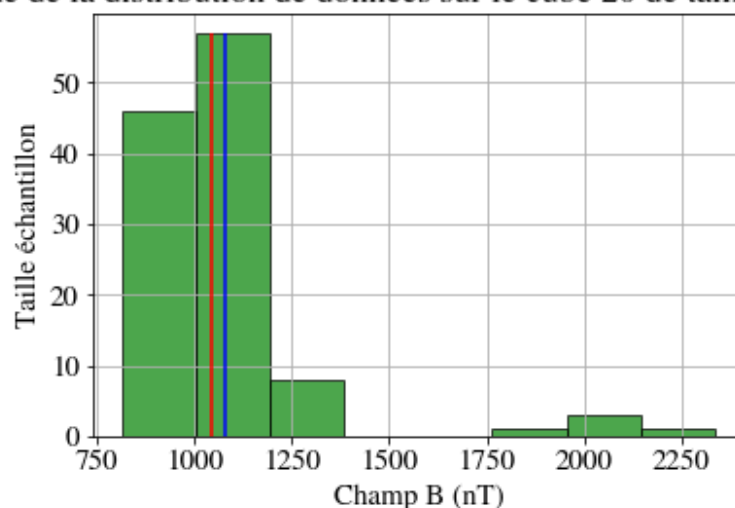
Histogramme de la distribution de données sur le cube 18 de taille d'échantillon 114



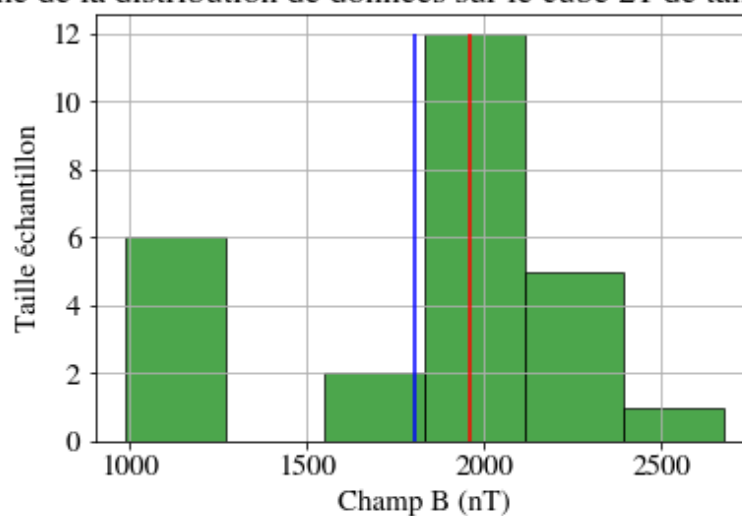
Histogramme de la distribution de données sur le cube 19 de taille d'échantillon 100



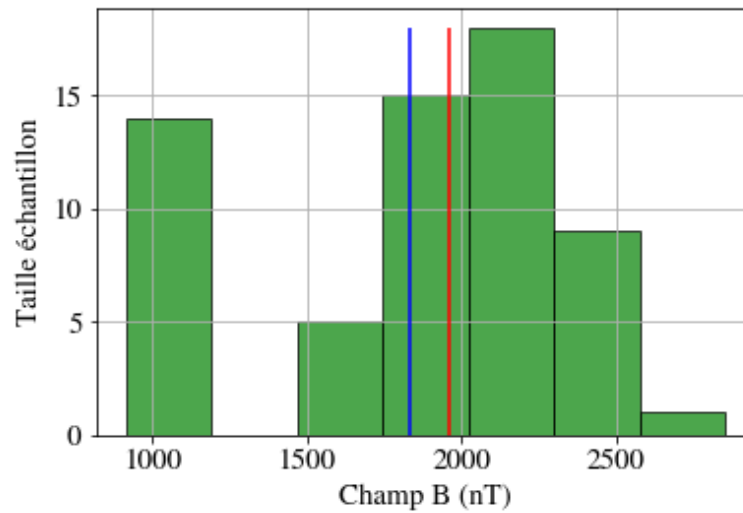
Histogramme de la distribution de données sur le cube 20 de taille d'échantillon 116



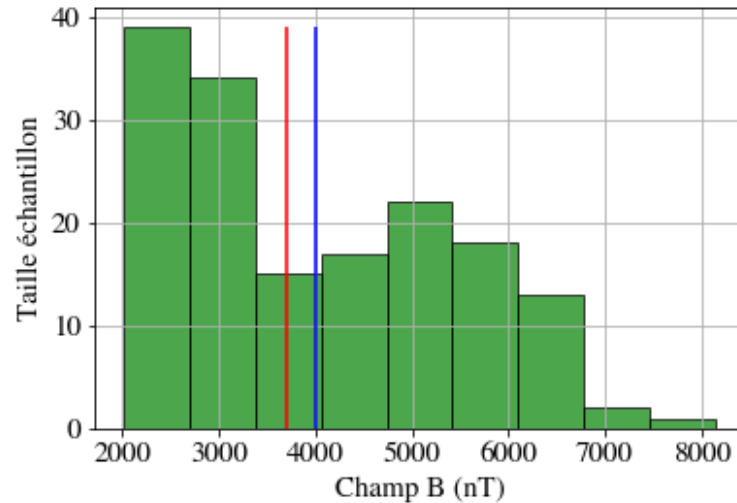
Histogramme de la distribution de données sur le cube 21 de taille d'échantillon 26



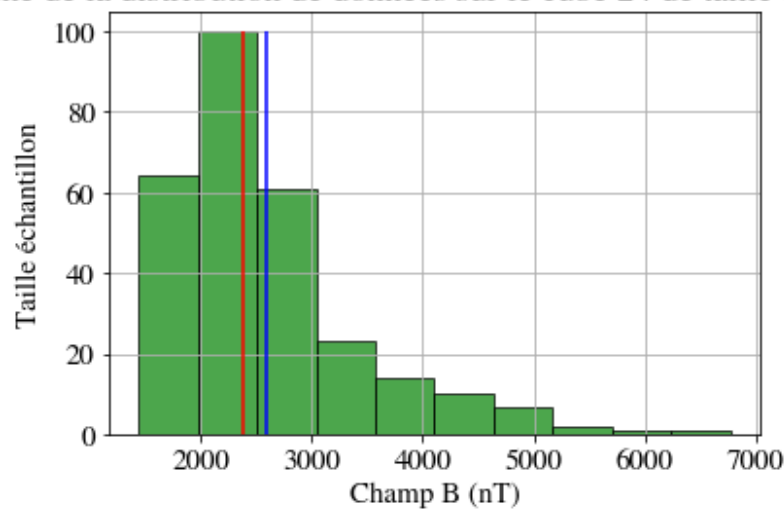
Histogramme de la distribution de données sur le cube 22 de taille d'échantillon 62



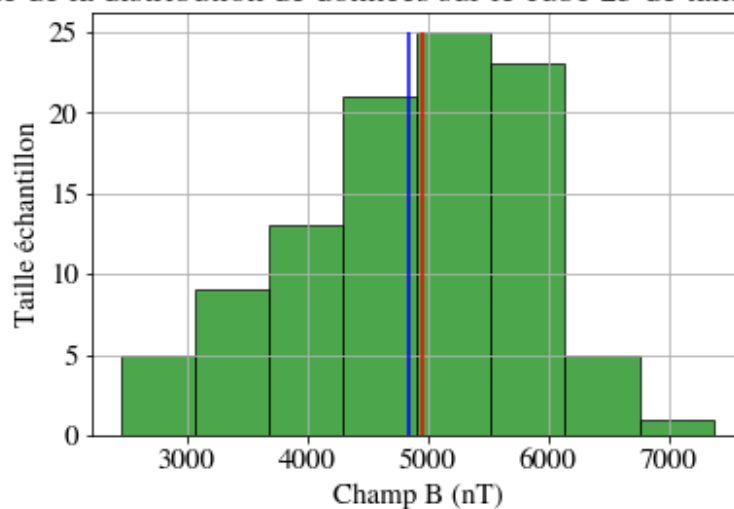
Histogramme de la distribution de données sur le cube 23 de taille d'échantillon 161



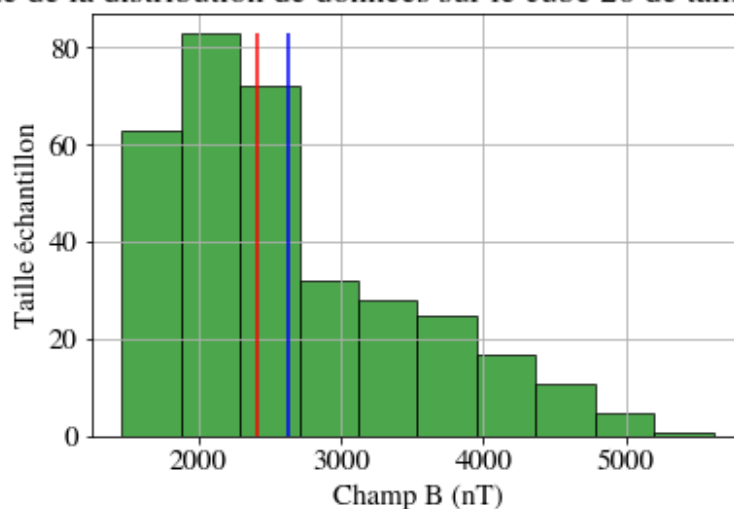
Histogramme de la distribution de données sur le cube 24 de taille d'échantillon 283



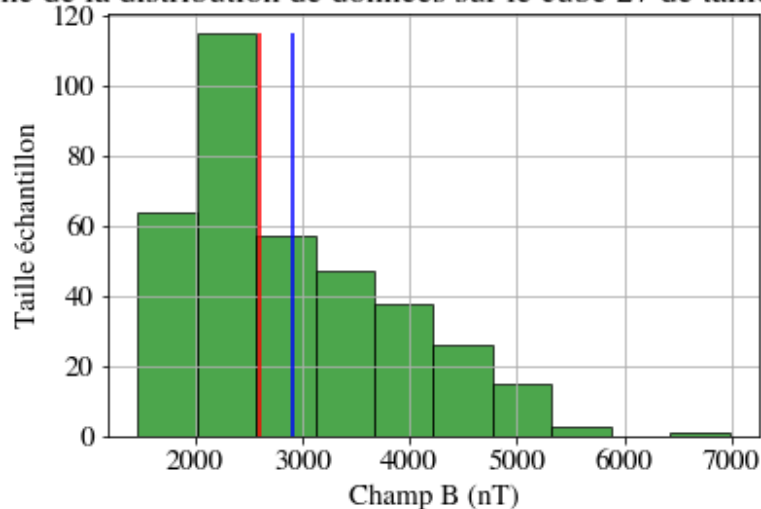
Histogramme de la distribution de données sur le cube 25 de taille d'échantillon 102



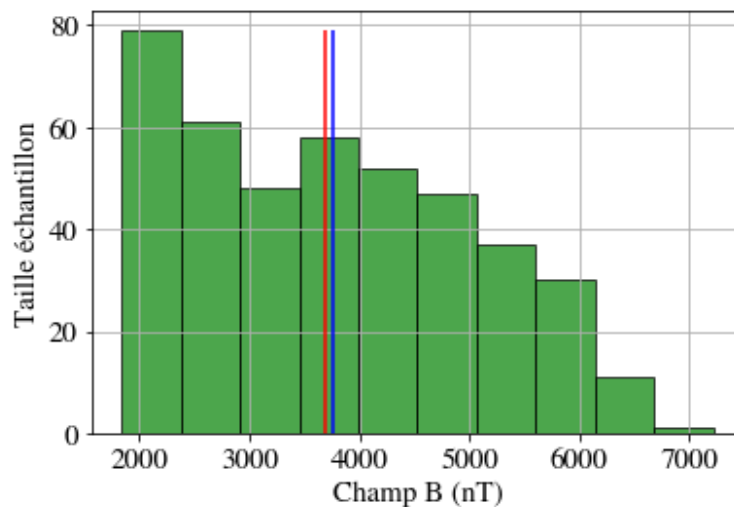
Histogramme de la distribution de données sur le cube 26 de taille d'échantillon 337



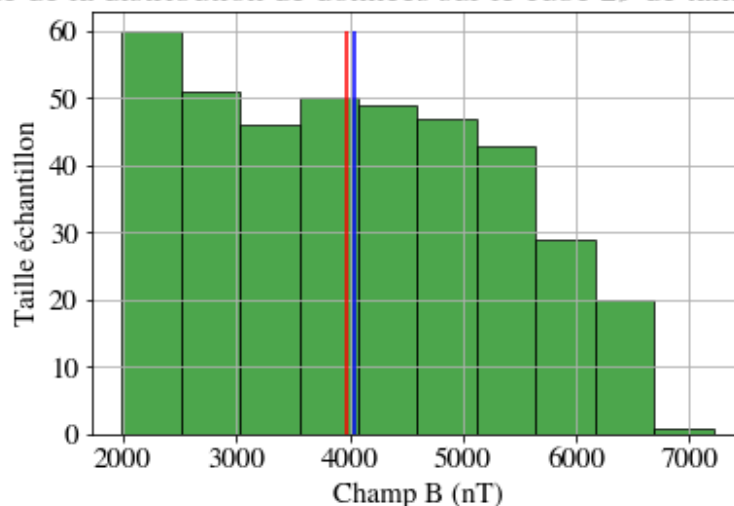
Histogramme de la distribution de données sur le cube 27 de taille d'échantillon 366



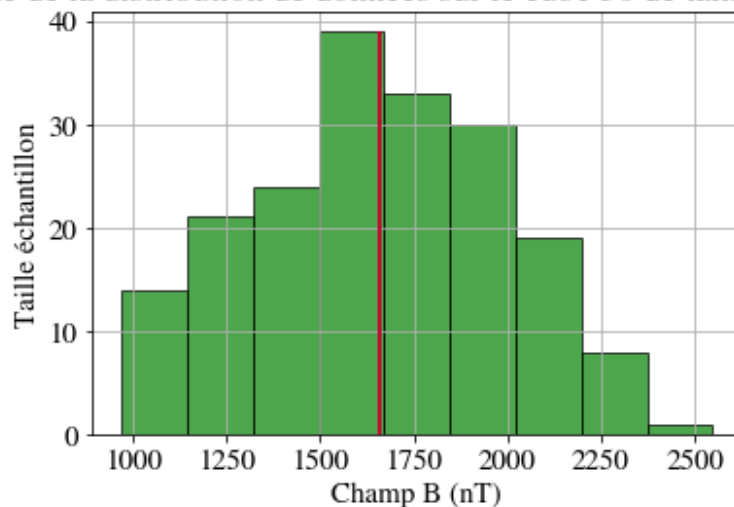
Histogramme de la distribution de données sur le cube 28 de taille d'échantillon 424



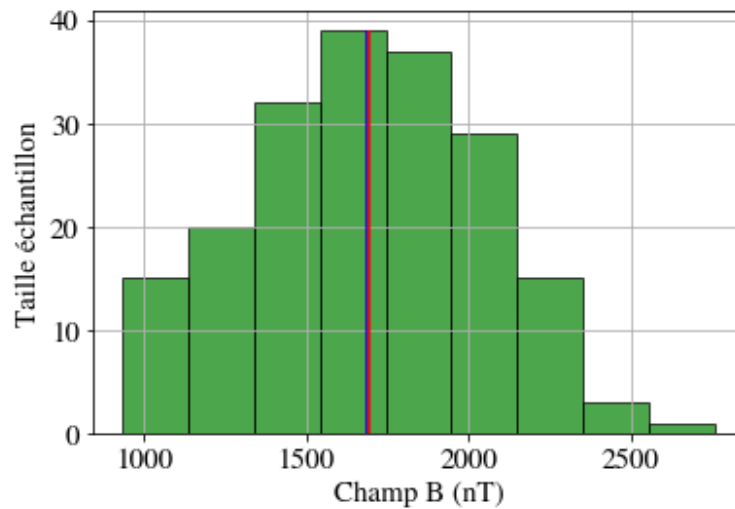
Histogramme de la distribution de données sur le cube 29 de taille d'échantillon 396



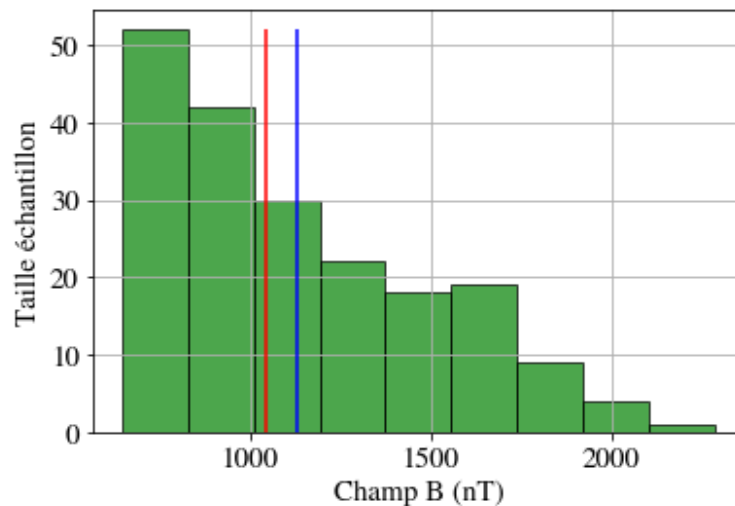
Histogramme de la distribution de données sur le cube 30 de taille d'échantillon 189



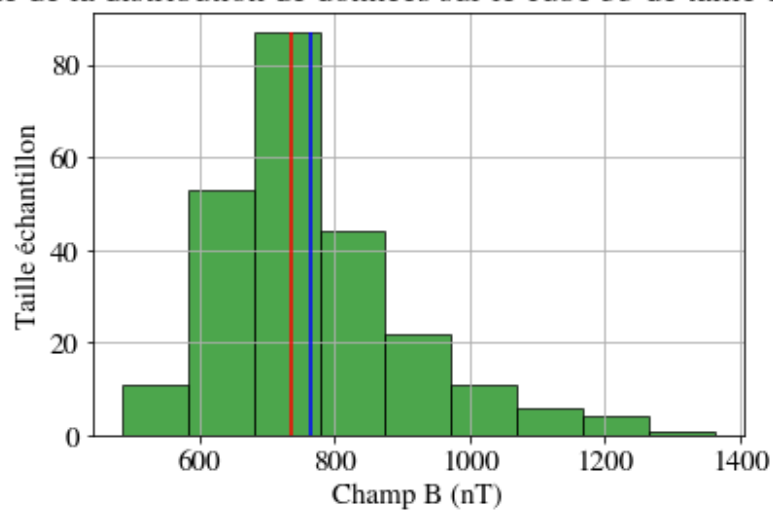
Histogramme de la distribution de données sur le cube 31 de taille d'échantillon 191



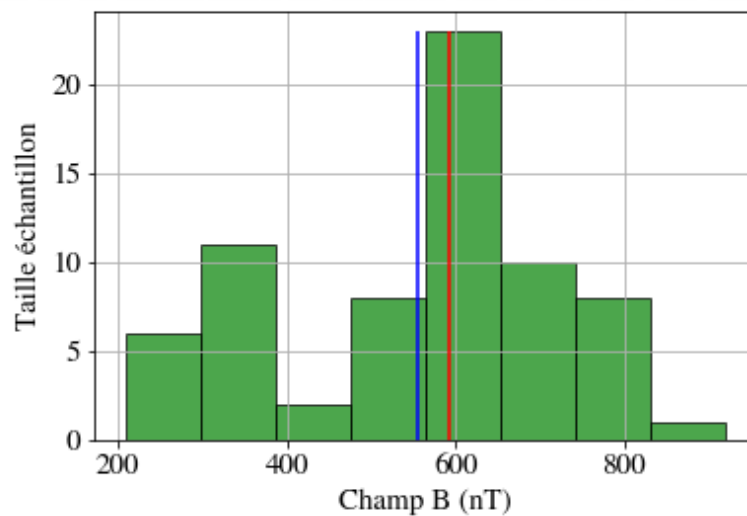
Histogramme de la distribution de données sur le cube 32 de taille d'échantillon 197



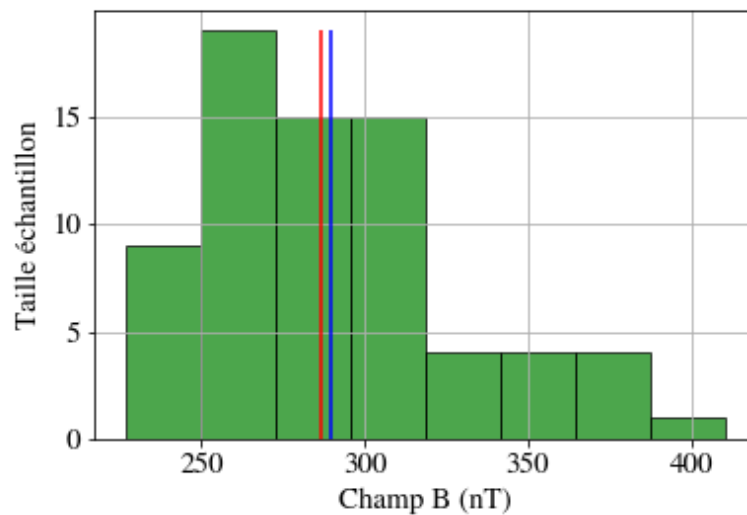
Histogramme de la distribution de données sur le cube 33 de taille d'échantillon 239



Histogramme de la distribution de données sur le cube 34 de taille d'échantillon 69

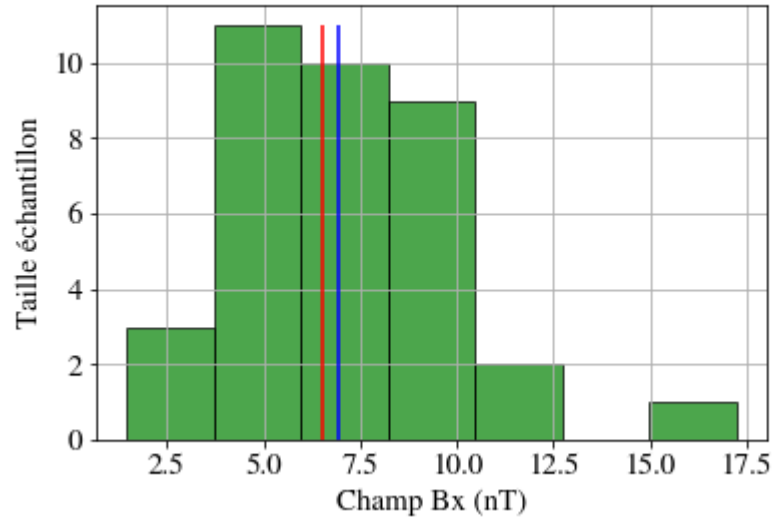


Histogramme de la distribution de données sur le cube 35 de taille d'échantillon 71

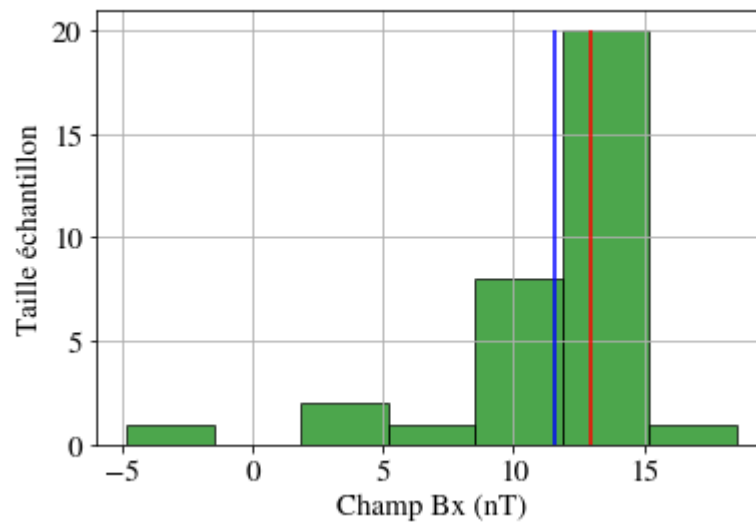


Histogrammes des distributions du Champ Bx par brique de l'espace discrétisé

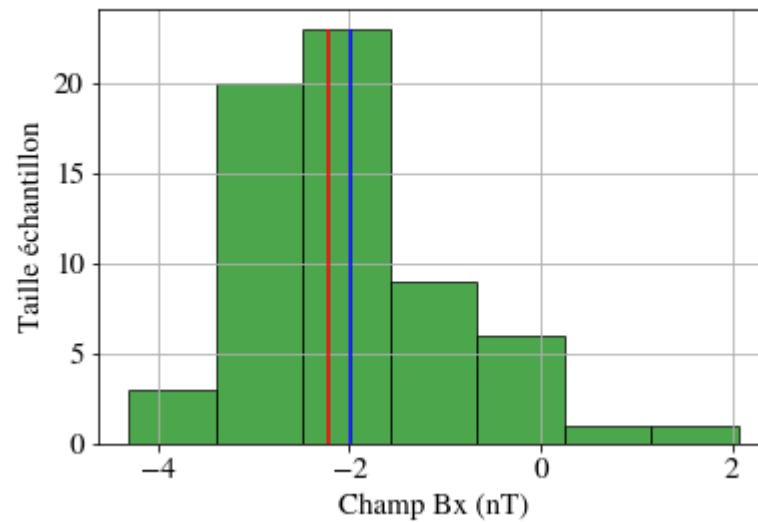
Histogramme de la distribution de données sur le cube 1 de taille d'échantillon 36



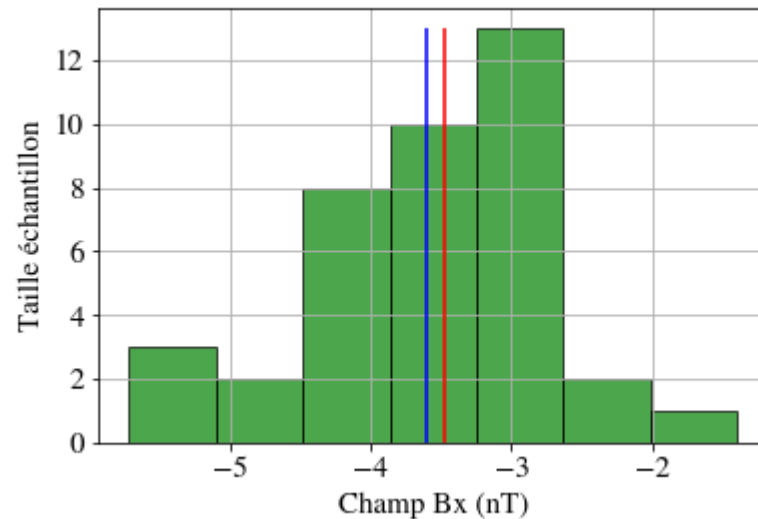
Histogramme de la distribution de données sur le cube 2 de taille d'échantillon 33



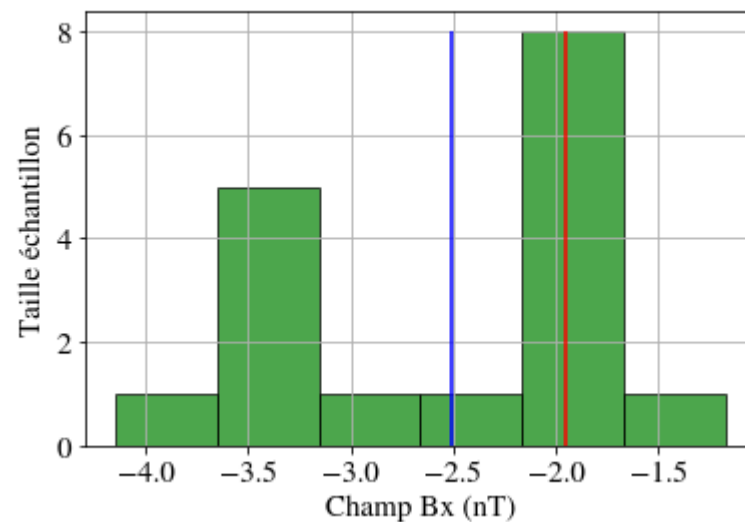
Histogramme de la distribution de données sur le cube 4 de taille d'échantillon 63



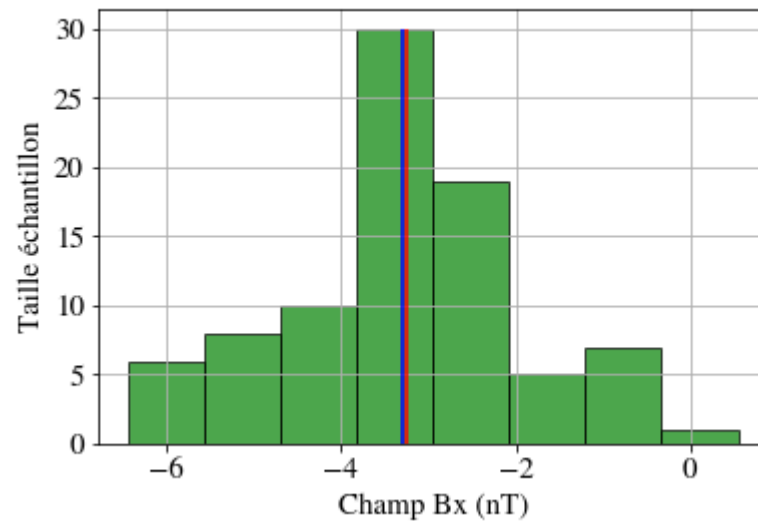
Histogramme de la distribution de données sur le cube 5 de taille d'échantillon 39



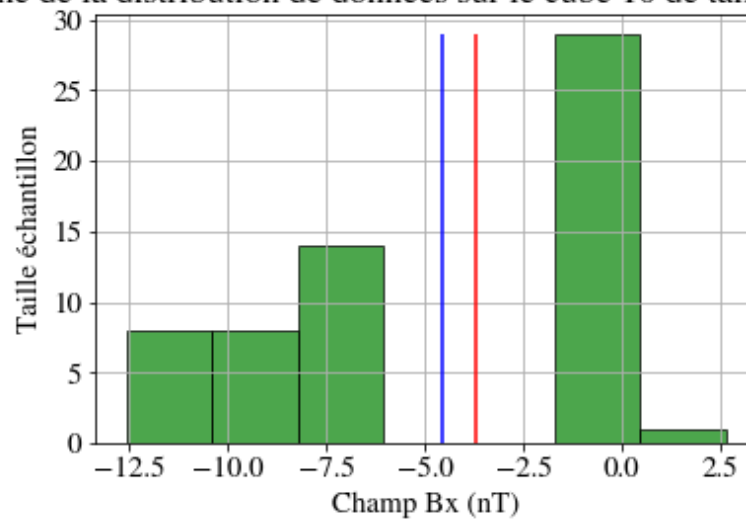
Histogramme de la distribution de données sur le cube 8 de taille d'échantillon 17



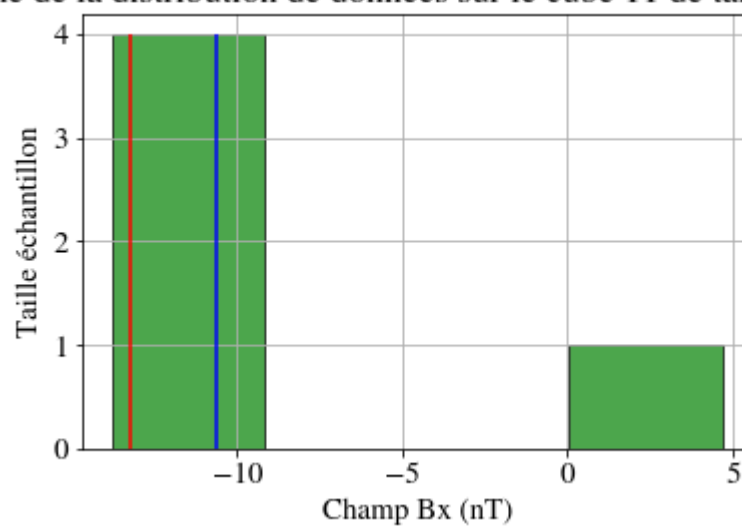
Histogramme de la distribution de données sur le cube 9 de taille d'échantillon 86



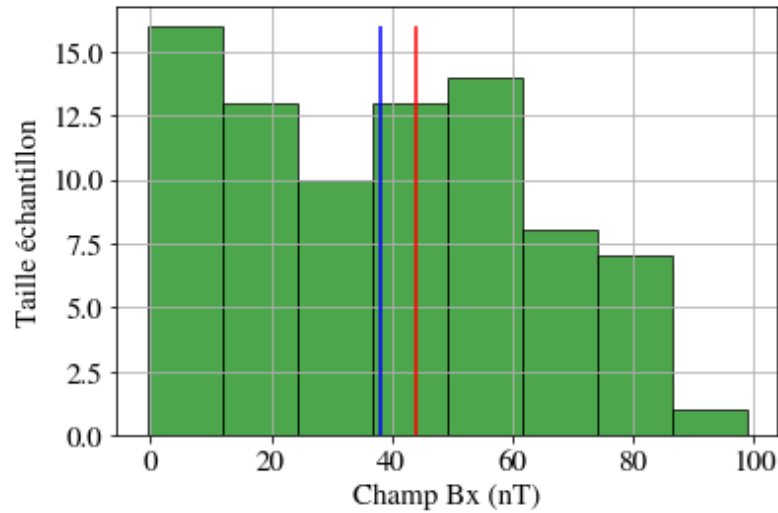
Histogramme de la distribution de données sur le cube 10 de taille d'échantillon 60



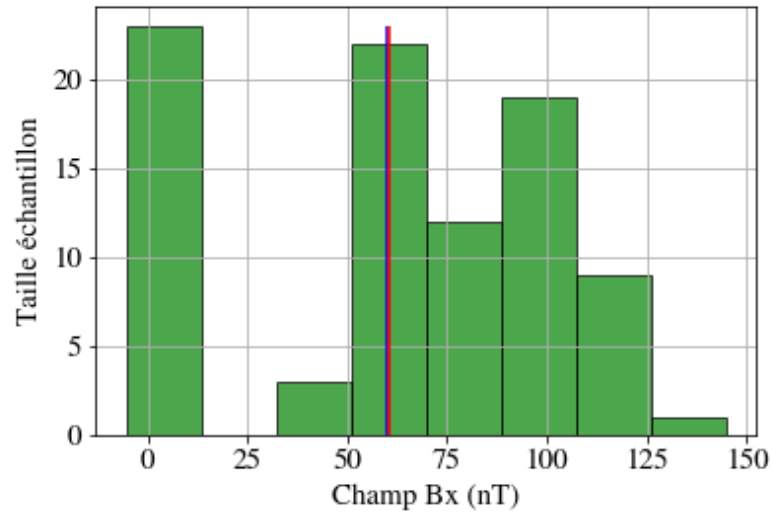
Histogramme de la distribution de données sur le cube 11 de taille d'échantillon 5



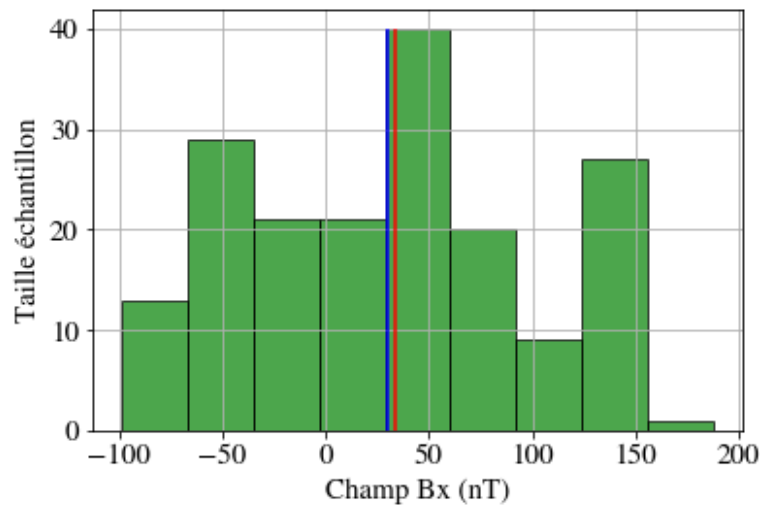
Histogramme de la distribution de données sur le cube 14 de taille d'échantillon 82



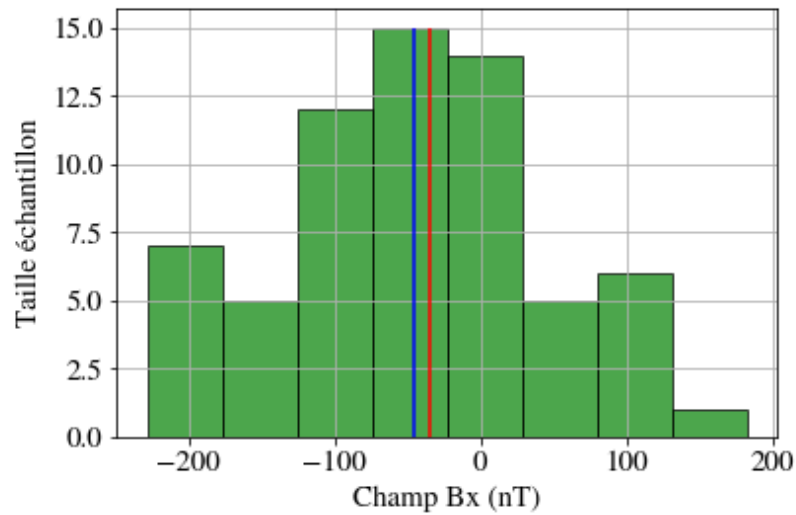
Histogramme de la distribution de données sur le cube 15 de taille d'échantillon 89



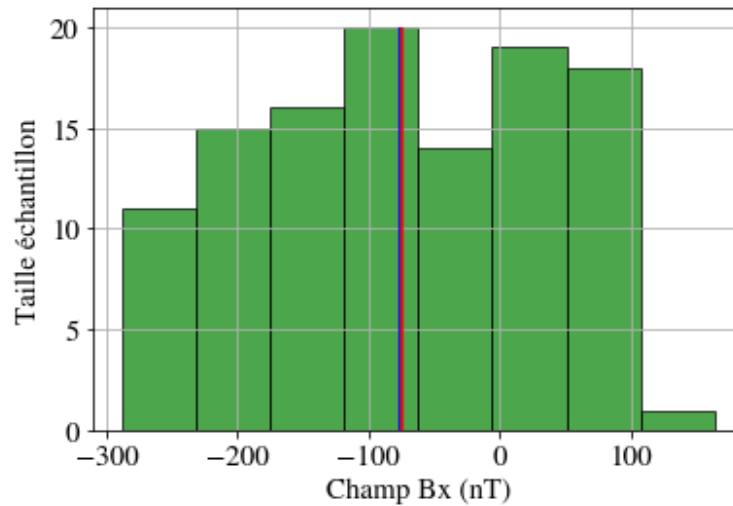
Histogramme de la distribution de données sur le cube 16 de taille d'échantillon 181



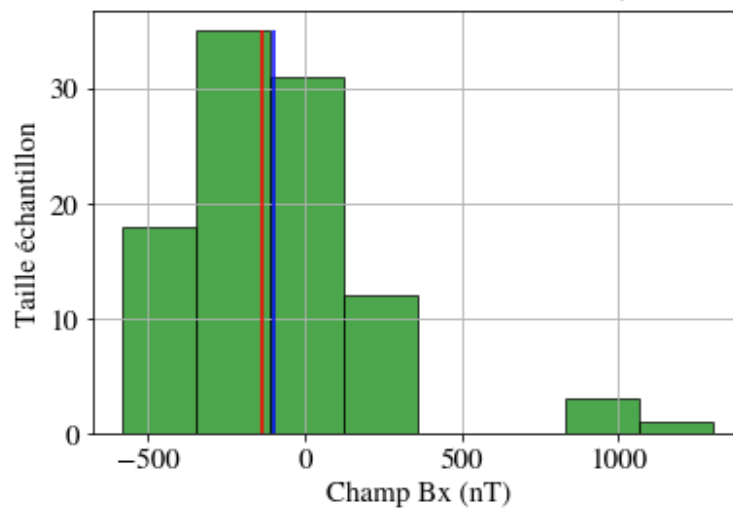
Histogramme de la distribution de données sur le cube 17 de taille d'échantillon 65



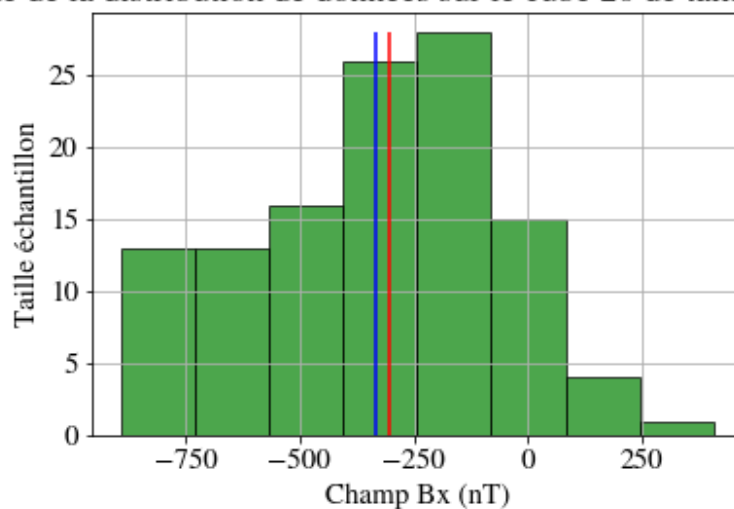
Histogramme de la distribution de données sur le cube 18 de taille d'échantillon 114



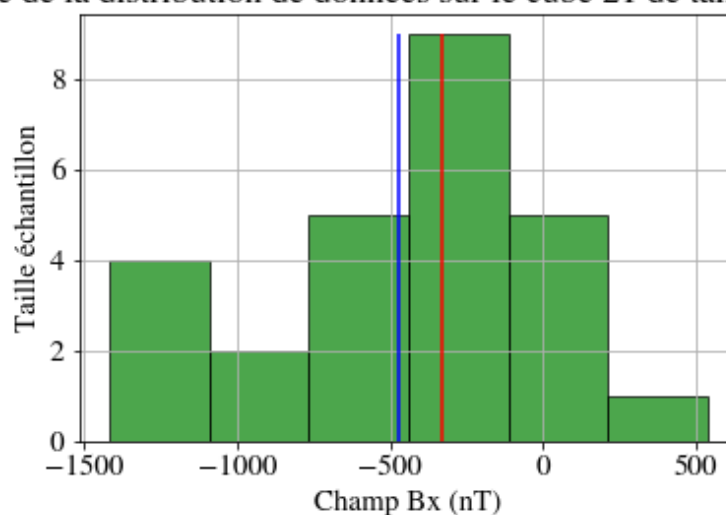
Histogramme de la distribution de données sur le cube 19 de taille d'échantillon 100



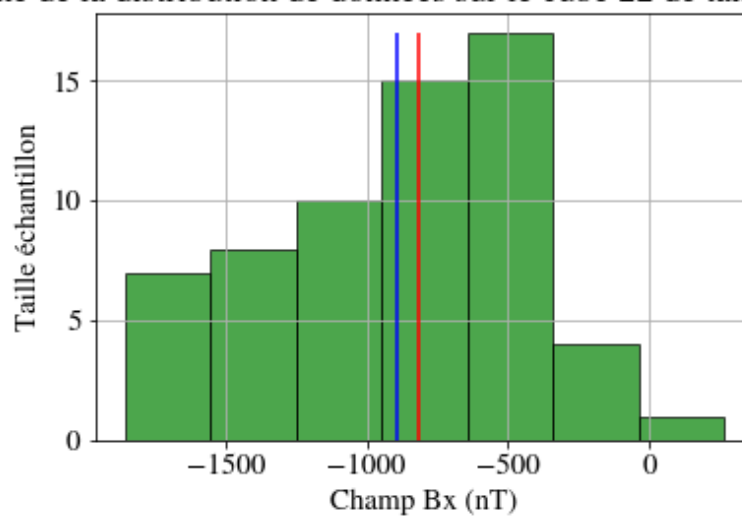
Histogramme de la distribution de données sur le cube 20 de taille d'échantillon 116



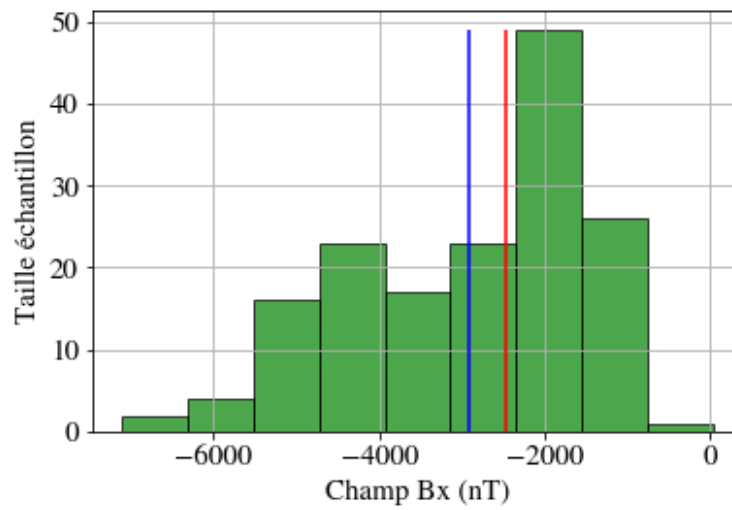
Histogramme de la distribution de données sur le cube 21 de taille d'échantillon 26



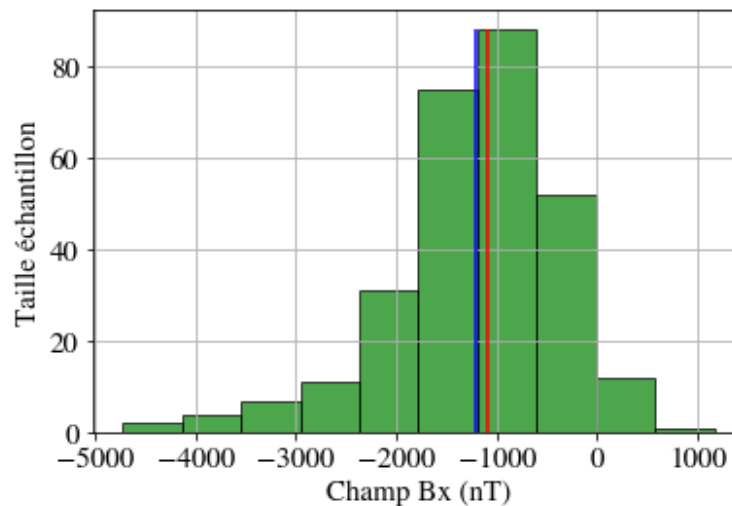
Histogramme de la distribution de données sur le cube 22 de taille d'échantillon 62



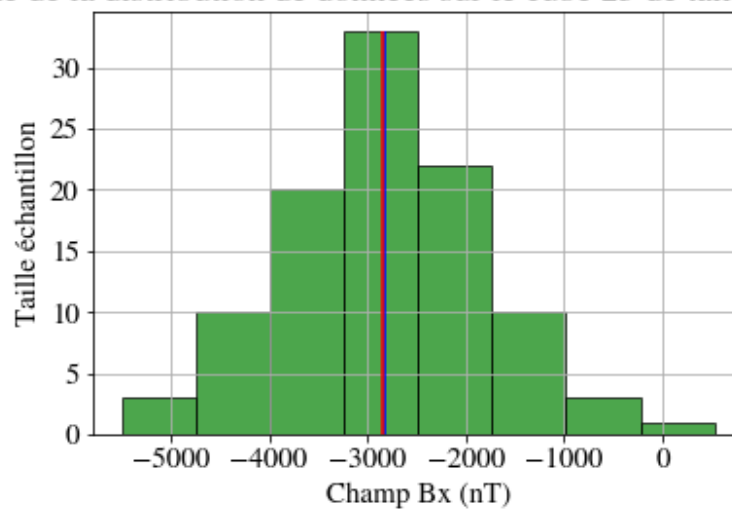
Histogramme de la distribution de données sur le cube 23 de taille d'échantillon 161



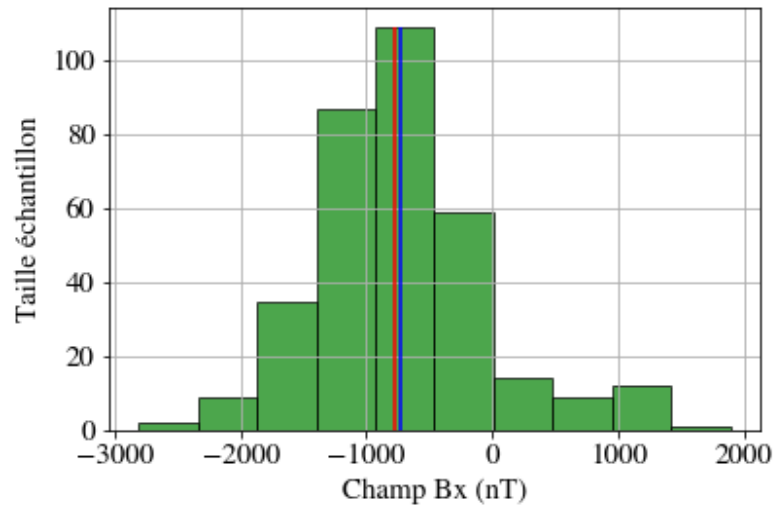
Histogramme de la distribution de données sur le cube 24 de taille d'échantillon 283



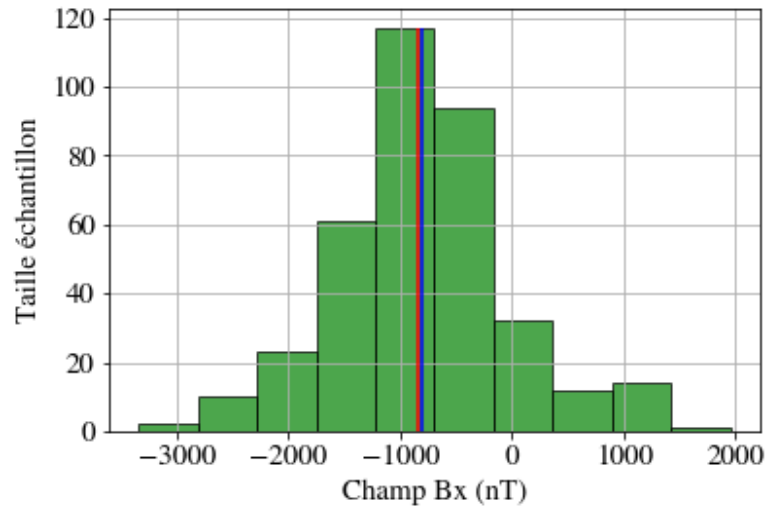
Histogramme de la distribution de données sur le cube 25 de taille d'échantillon 102



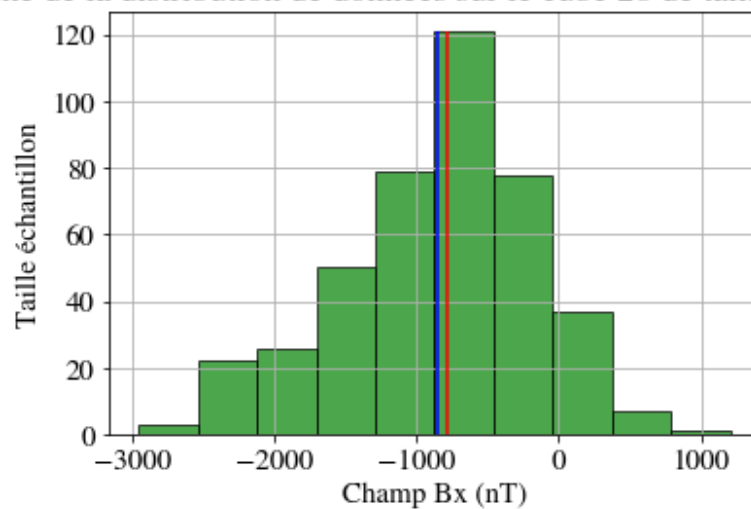
Histogramme de la distribution de données sur le cube 26 de taille d'échantillon 337



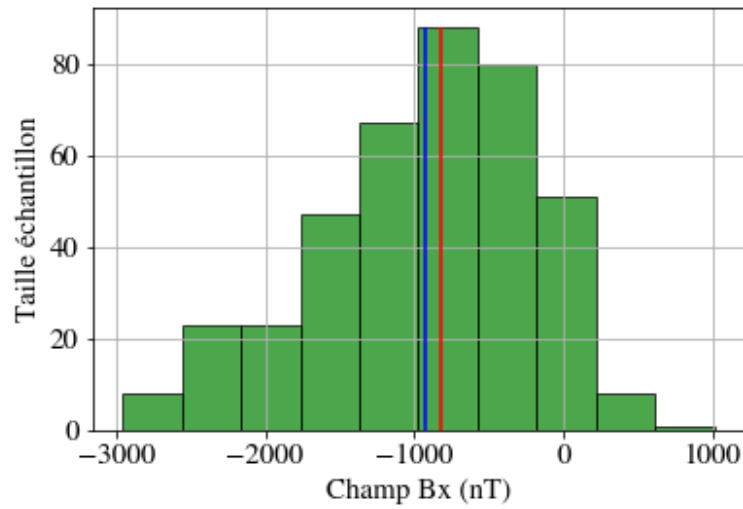
Histogramme de la distribution de données sur le cube 27 de taille d'échantillon 366



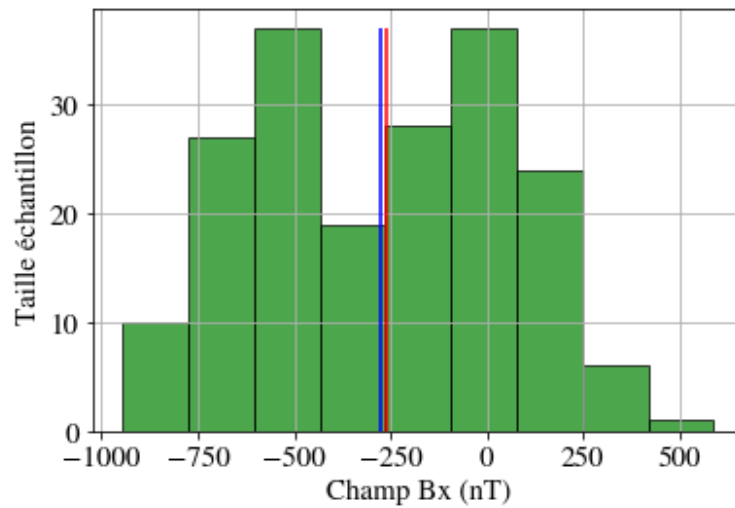
Histogramme de la distribution de données sur le cube 28 de taille d'échantillon 424



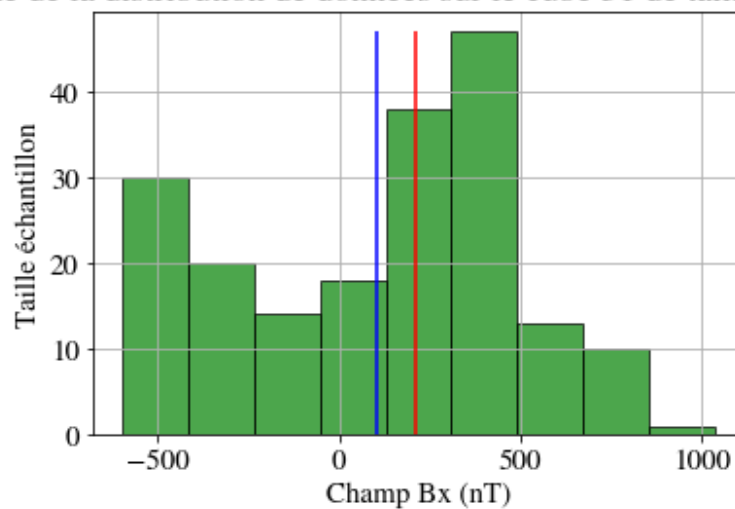
Histogramme de la distribution de données sur le cube 29 de taille d'échantillon 396



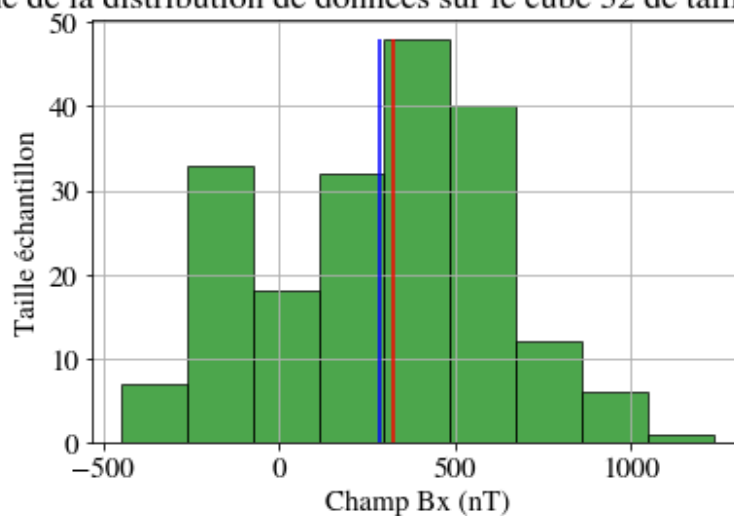
Histogramme de la distribution de données sur le cube 30 de taille d'échantillon 189



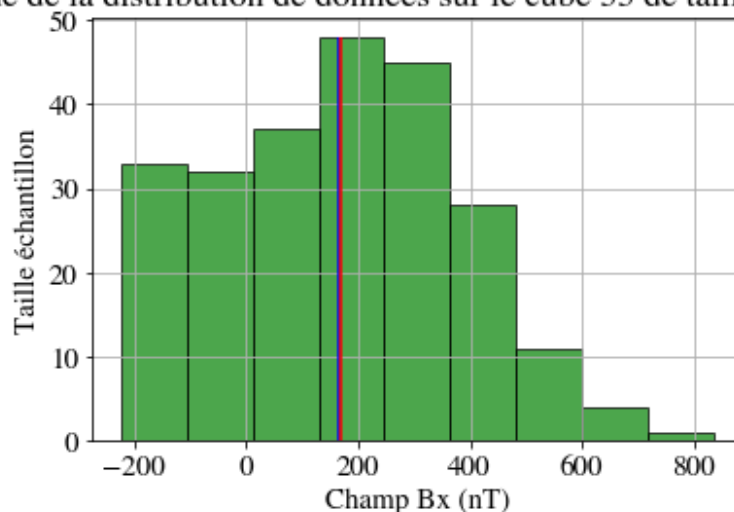
Histogramme de la distribution de données sur le cube 31 de taille d'échantillon 191



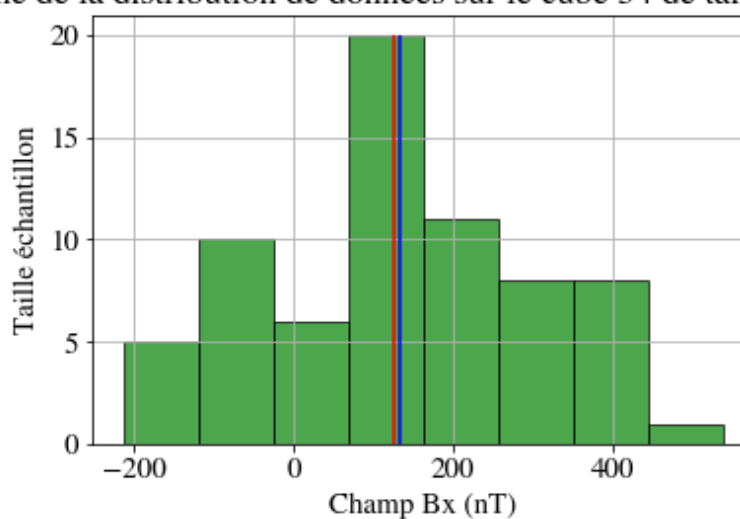
Histogramme de la distribution de données sur le cube 32 de taille d'échantillon 197



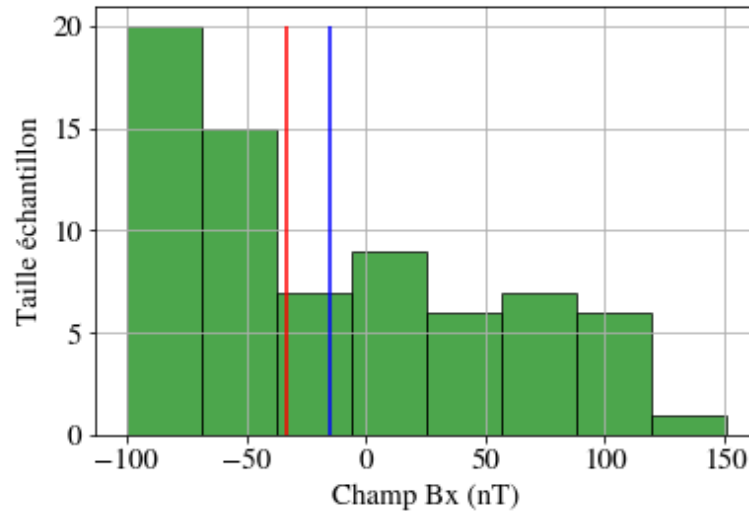
Histogramme de la distribution de données sur le cube 33 de taille d'échantillon 239



Histogramme de la distribution de données sur le cube 34 de taille d'échantillon 69

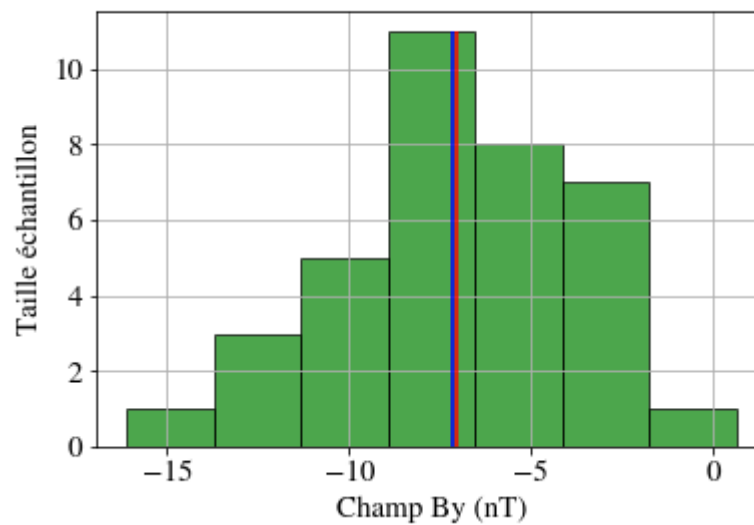


Histogramme de la distribution de données sur le cube 35 de taille d'échantillon 71

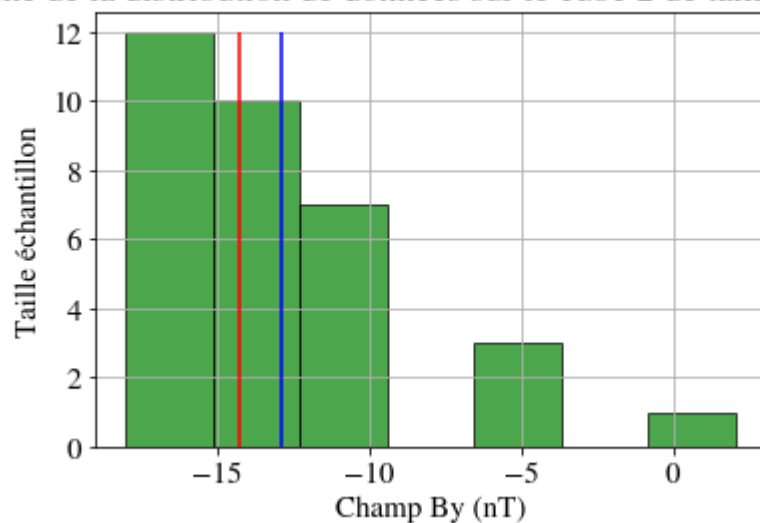


Histogrammes des distributions du Champ By par brique de l'espace discrétisé

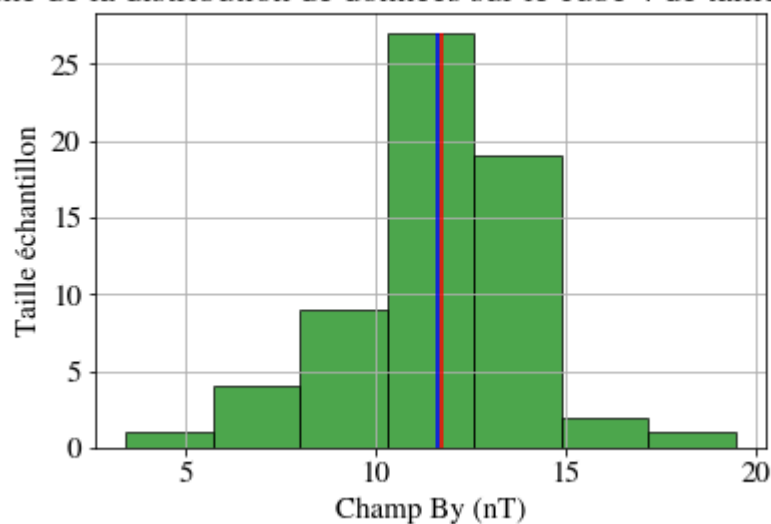
Histogramme de la distribution de données sur le cube 1 de taille d'échantillon 36



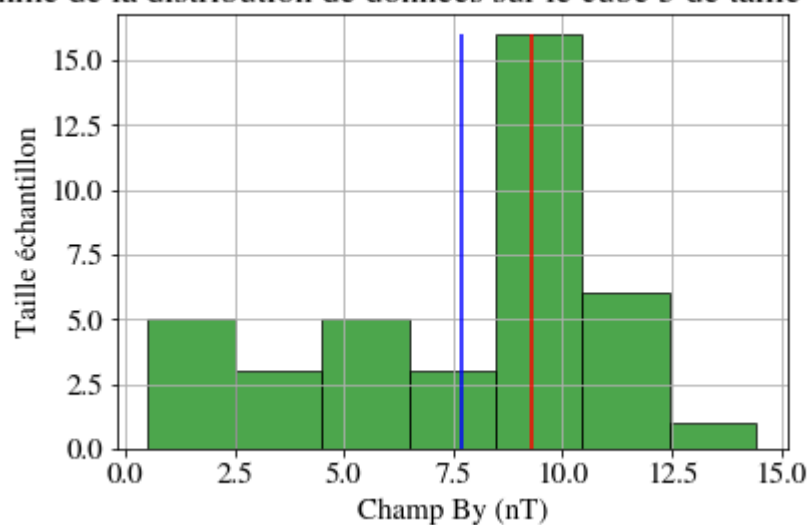
Histogramme de la distribution de données sur le cube 2 de taille d'échantillon 33



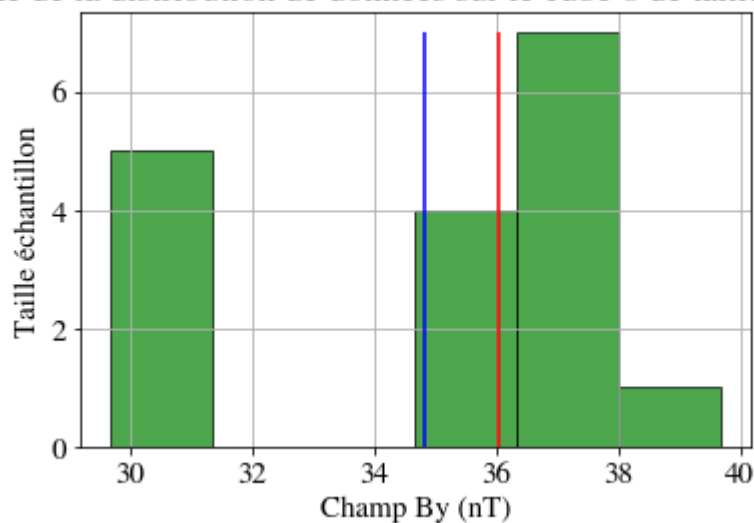
Histogramme de la distribution de données sur le cube 4 de taille d'échantillon 63



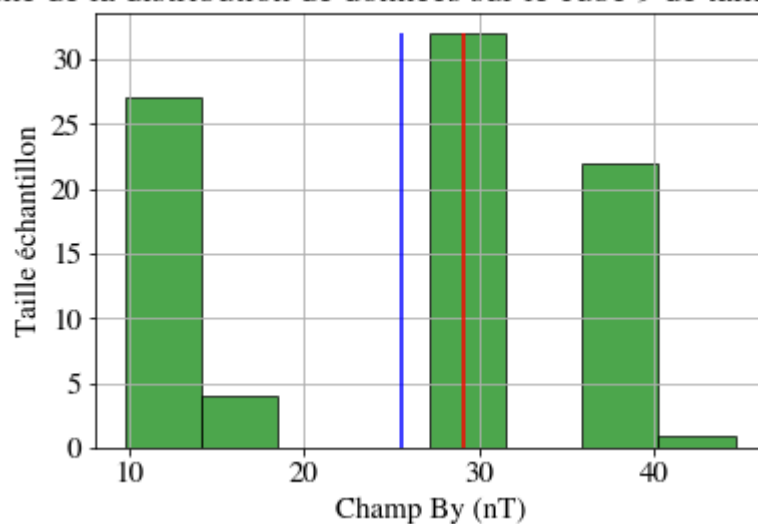
Histogramme de la distribution de données sur le cube 5 de taille d'échantillon 39



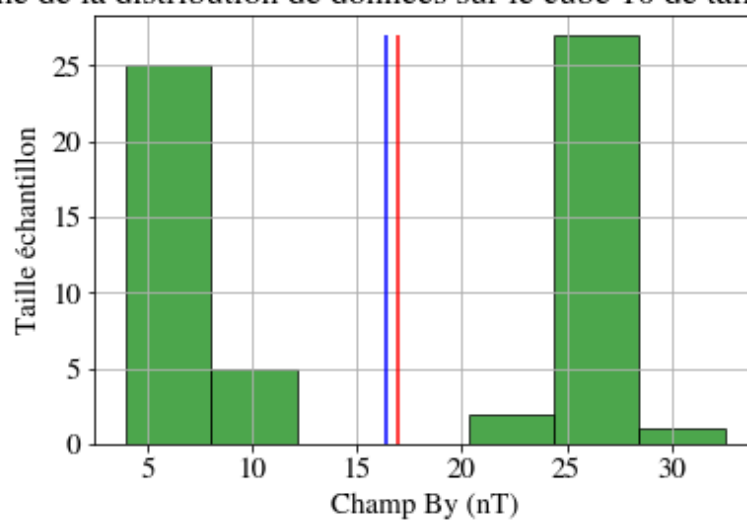
Histogramme de la distribution de données sur le cube 8 de taille d'échantillon 17



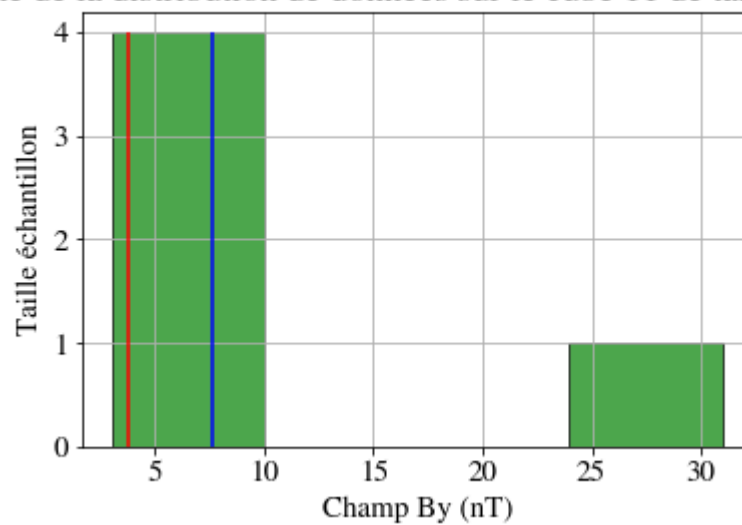
Histogramme de la distribution de données sur le cube 9 de taille d'échantillon 86



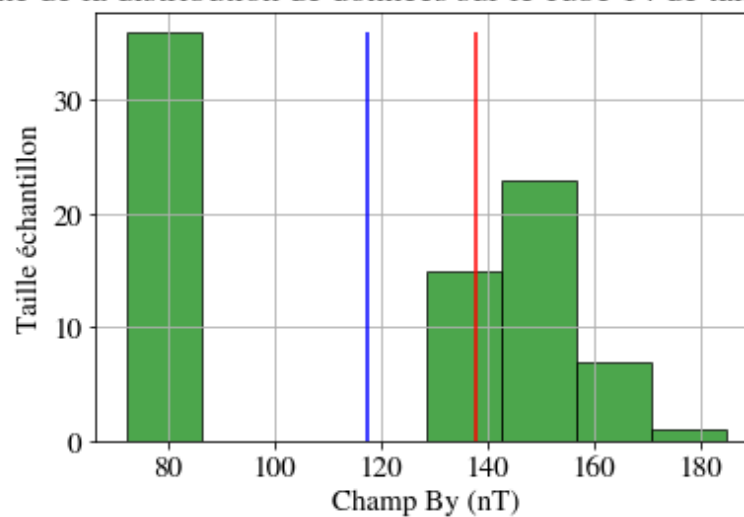
Histogramme de la distribution de données sur le cube 10 de taille d'échantillon 60



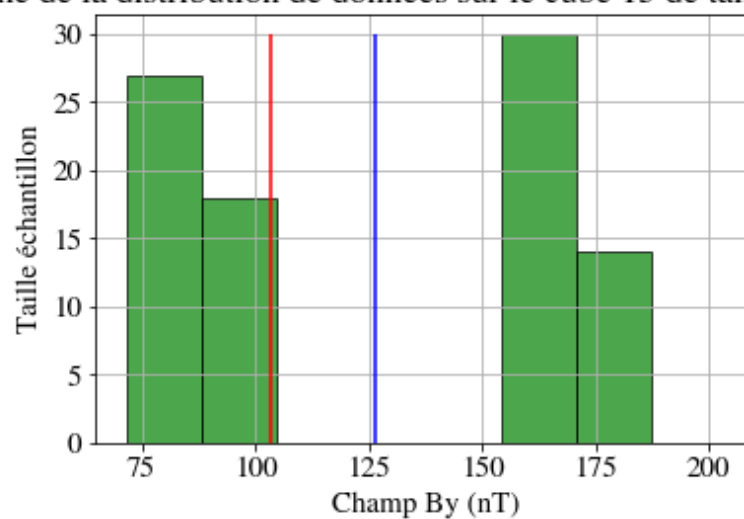
Histogramme de la distribution de données sur le cube 11 de taille d'échantillon 5



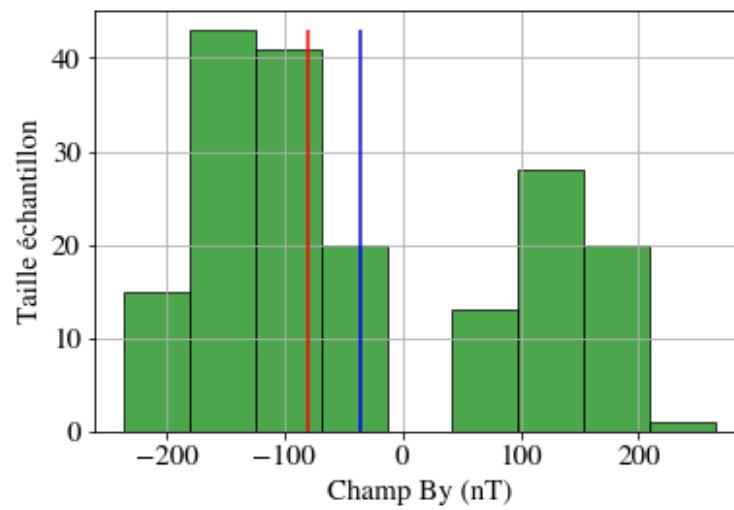
Histogramme de la distribution de données sur le cube 14 de taille d'échantillon 82



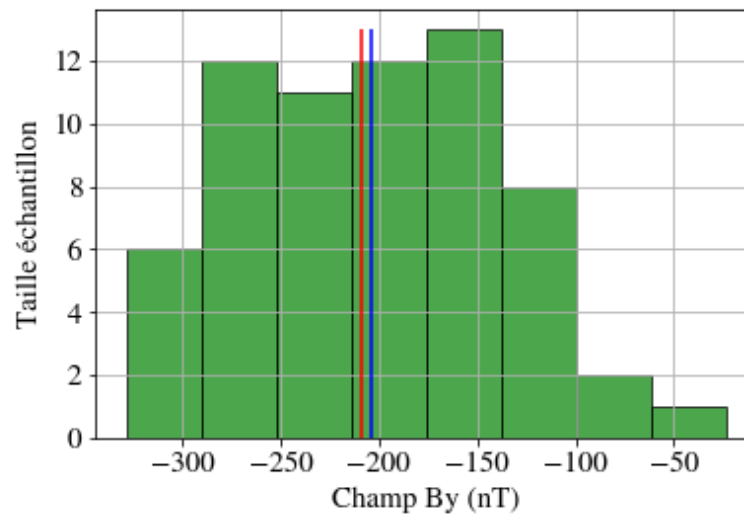
Histogramme de la distribution de données sur le cube 15 de taille d'échantillon 89



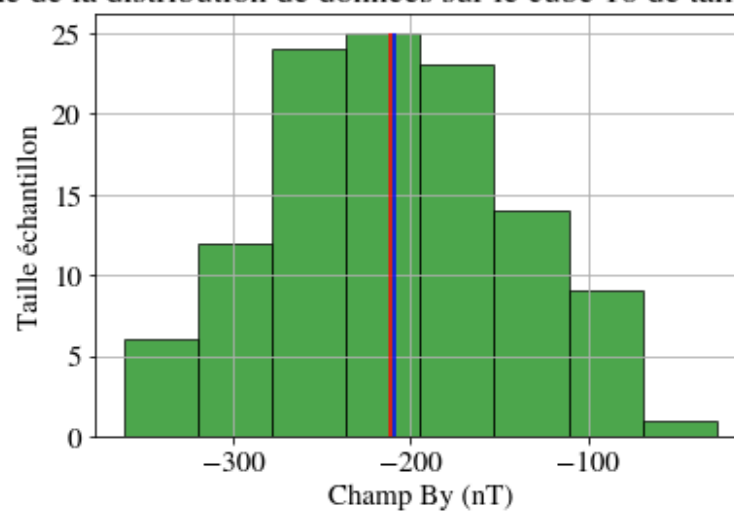
Histogramme de la distribution de données sur le cube 16 de taille d'échantillon 181



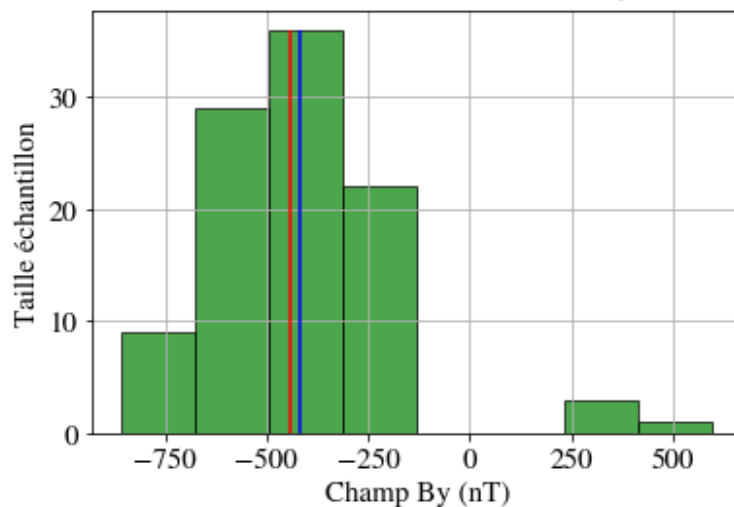
Histogramme de la distribution de données sur le cube 17 de taille d'échantillon 65



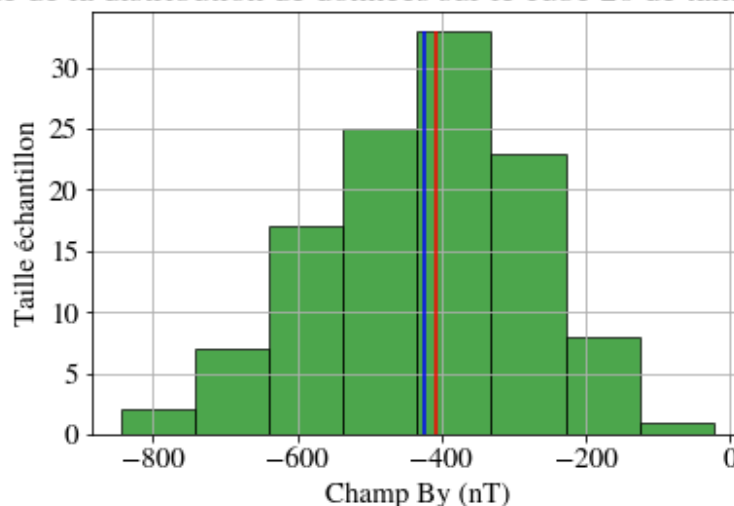
Histogramme de la distribution de données sur le cube 18 de taille d'échantillon 114



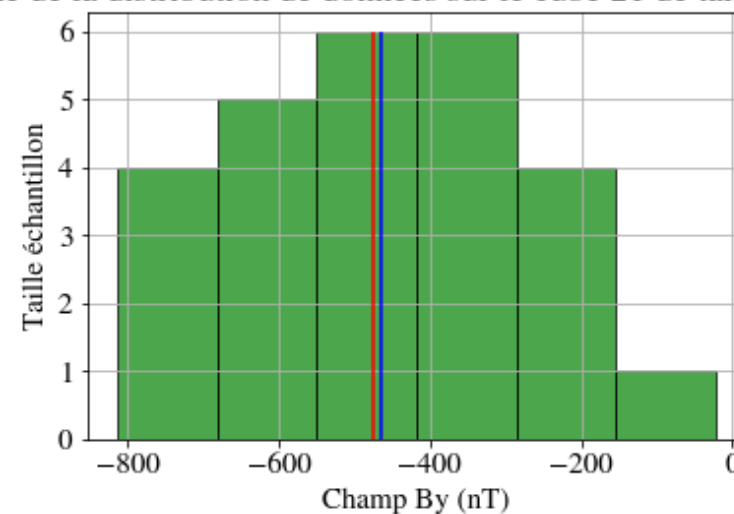
Histogramme de la distribution de données sur le cube 19 de taille d'échantillon 100



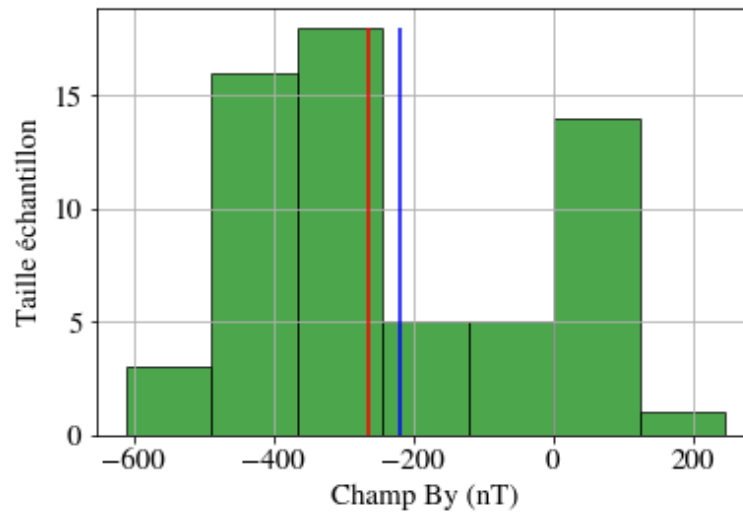
Histogramme de la distribution de données sur le cube 20 de taille d'échantillon 116



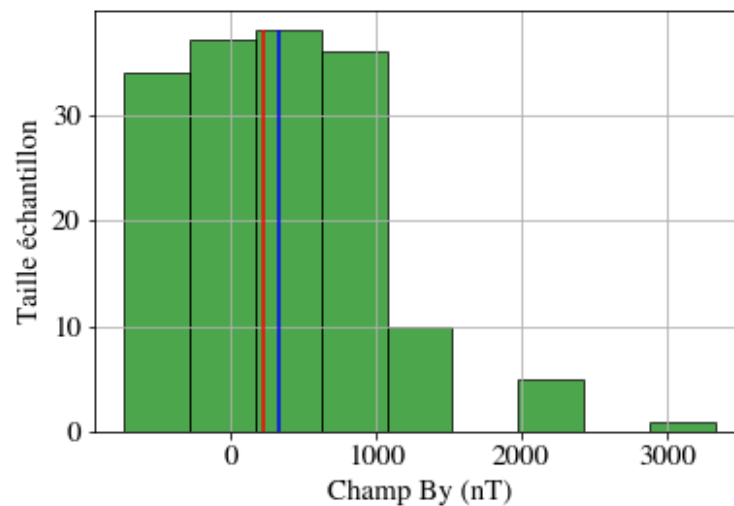
Histogramme de la distribution de données sur le cube 21 de taille d'échantillon 26



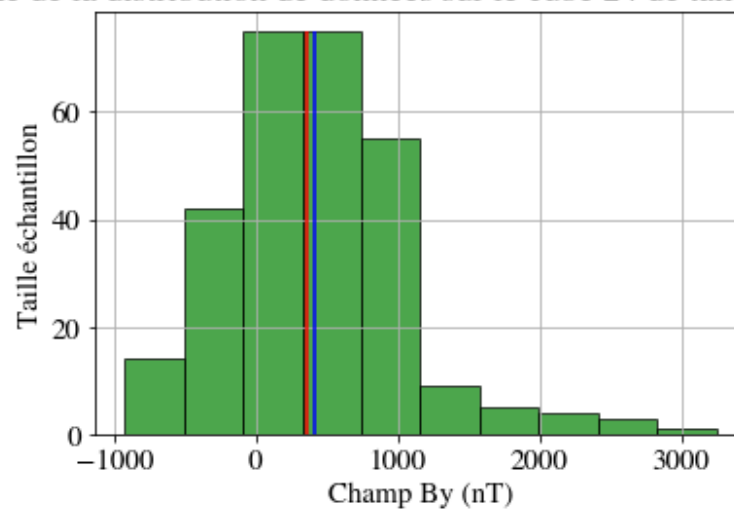
Histogramme de la distribution de données sur le cube 22 de taille d'échantillon 62



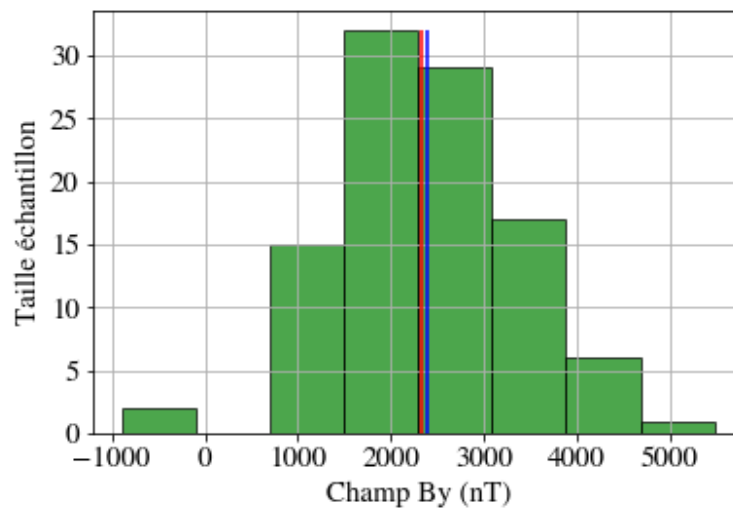
Histogramme de la distribution de données sur le cube 23 de taille d'échantillon 161



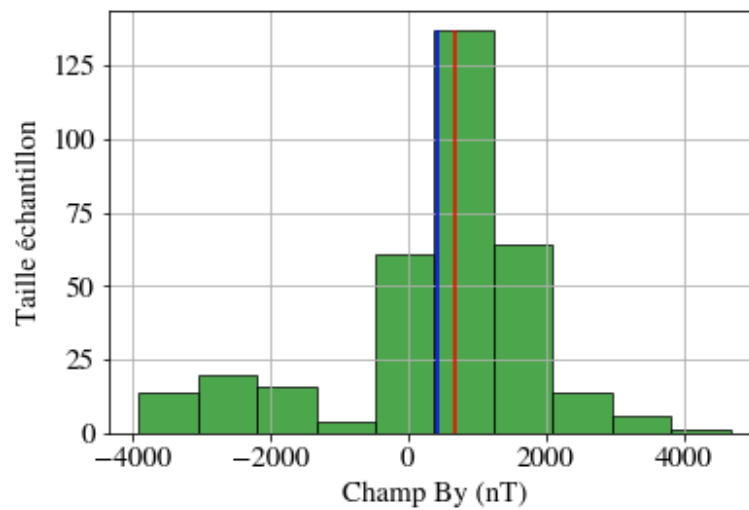
Histogramme de la distribution de données sur le cube 24 de taille d'échantillon 283



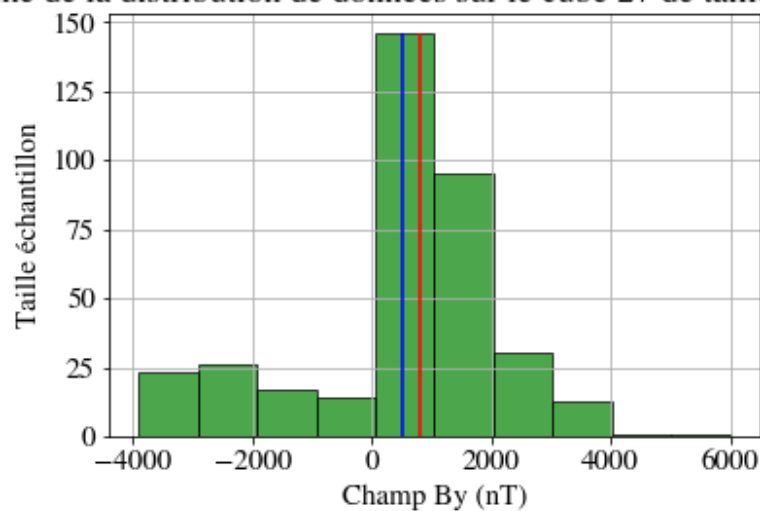
Histogramme de la distribution de données sur le cube 25 de taille d'échantillon 102



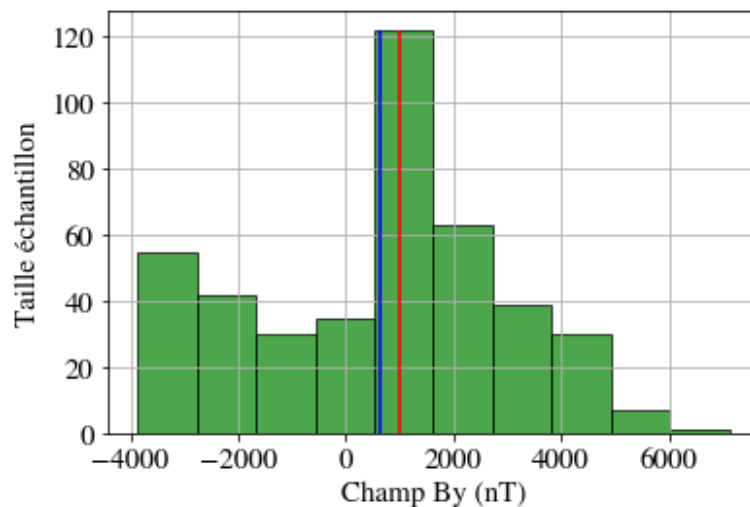
Histogramme de la distribution de données sur le cube 26 de taille d'échantillon 337



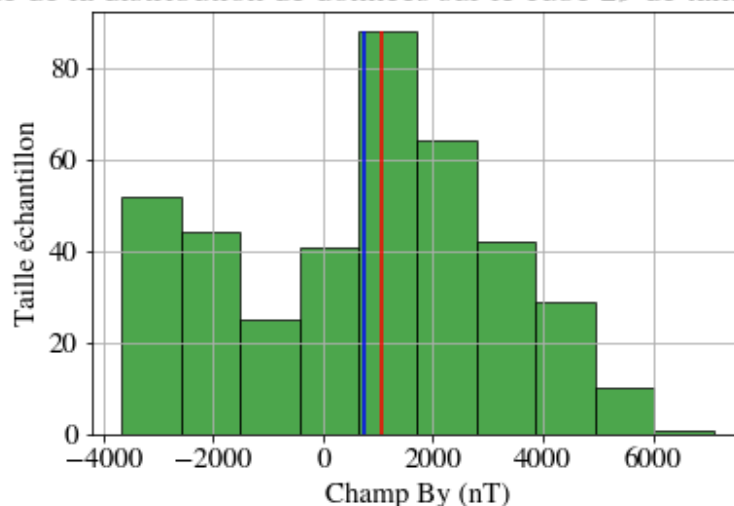
Histogramme de la distribution de données sur le cube 27 de taille d'échantillon 366



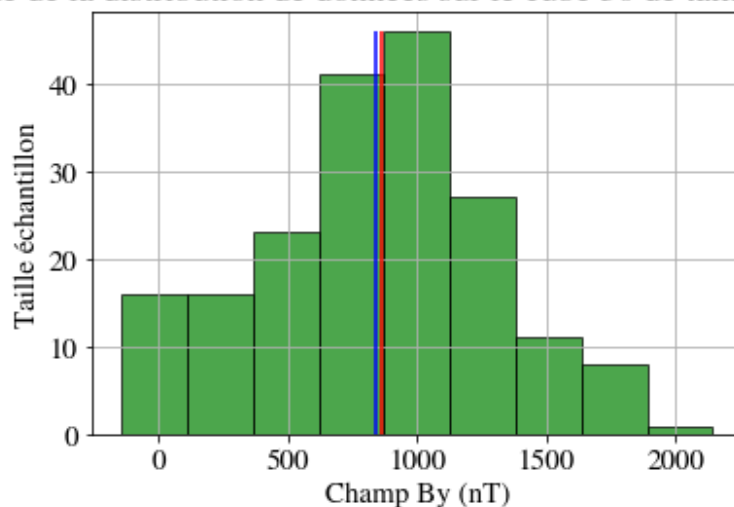
Histogramme de la distribution de données sur le cube 28 de taille d'échantillon 424



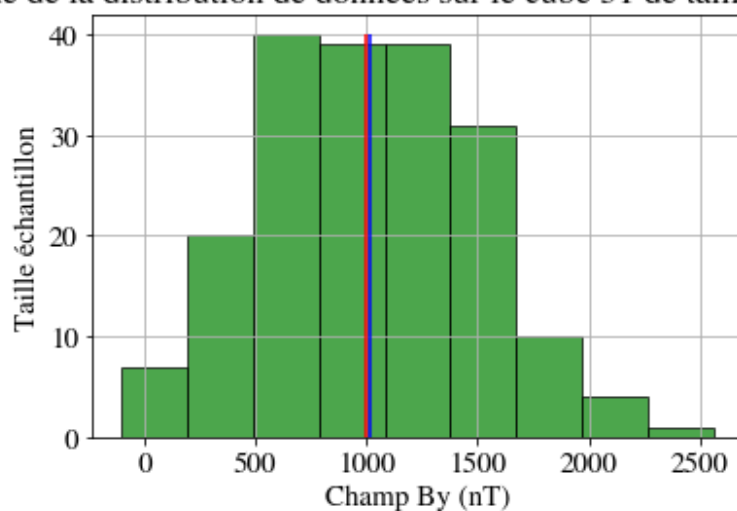
Histogramme de la distribution de données sur le cube 29 de taille d'échantillon 396



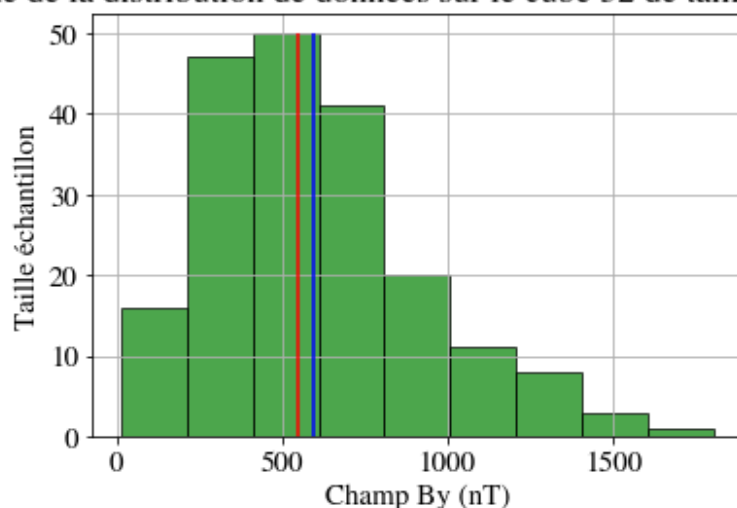
Histogramme de la distribution de données sur le cube 30 de taille d'échantillon 189



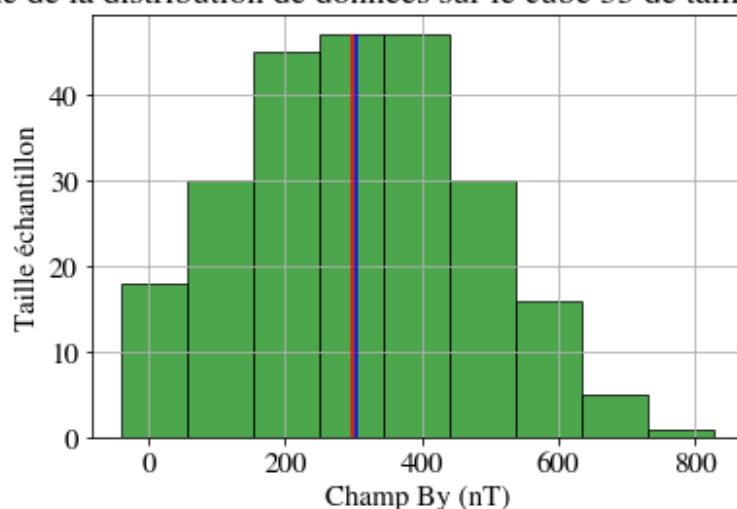
Histogramme de la distribution de données sur le cube 31 de taille d'échantillon 191



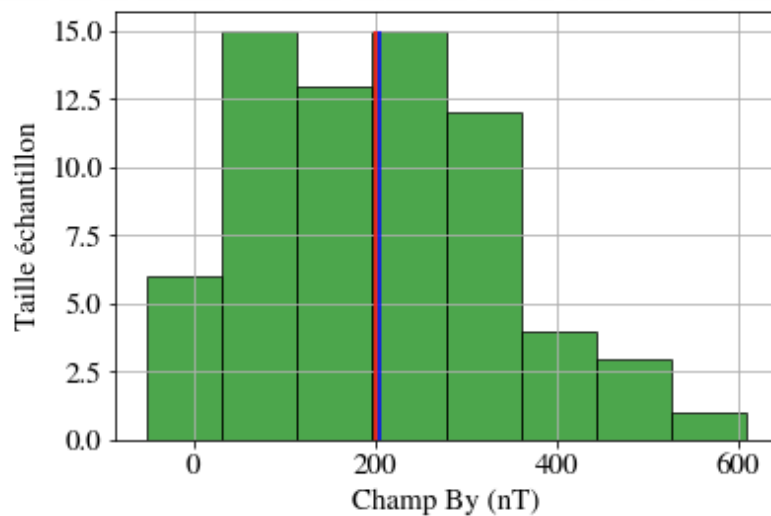
Histogramme de la distribution de données sur le cube 32 de taille d'échantillon 197



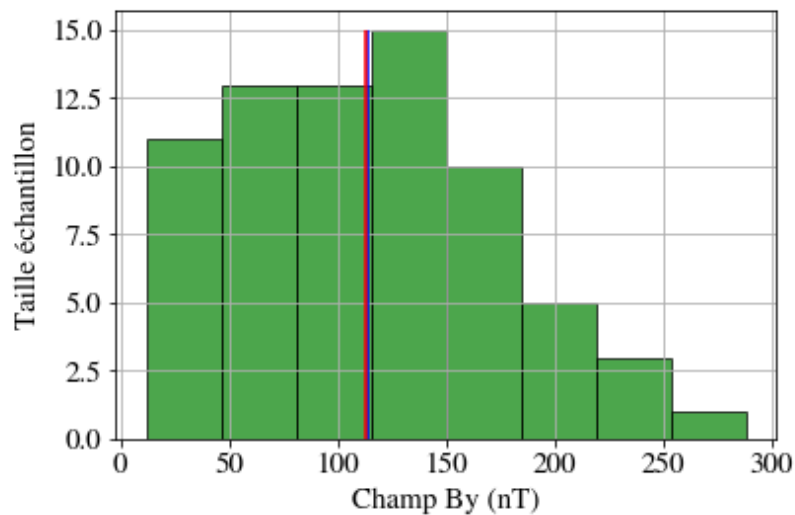
Histogramme de la distribution de données sur le cube 33 de taille d'échantillon 239



Histogramme de la distribution de données sur le cube 34 de taille d'échantillon 69

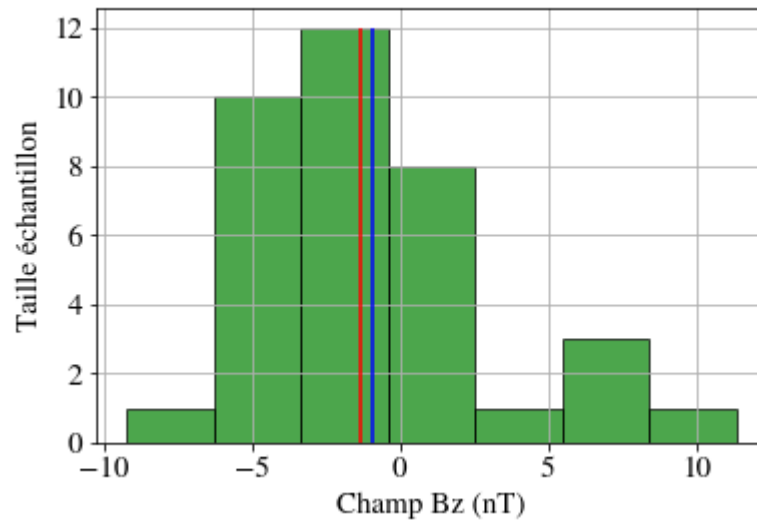


Histogramme de la distribution de données sur le cube 35 de taille d'échantillon 71

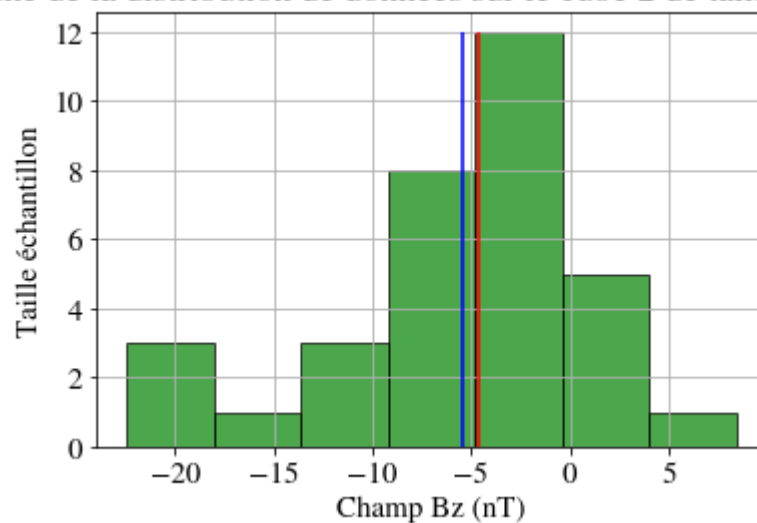


Histogrammes des distributions du Champ Bz par brique de l'espace discrétisé

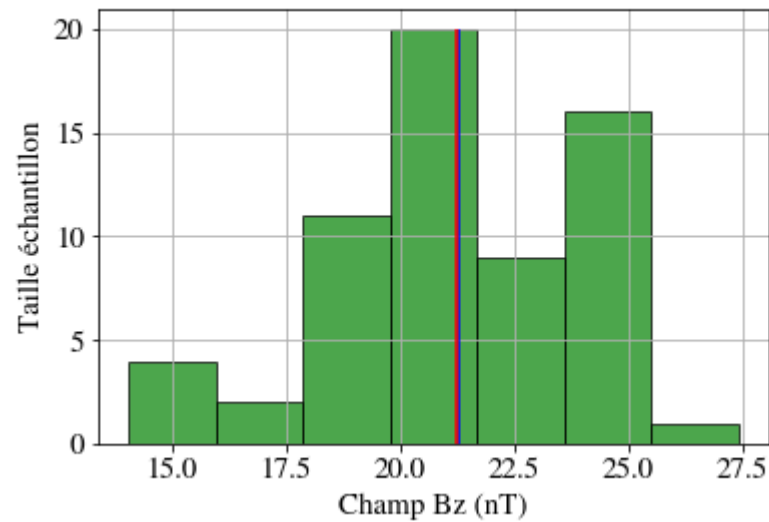
Histogramme de la distribution de données sur le cube 1 de taille d'échantillon 36



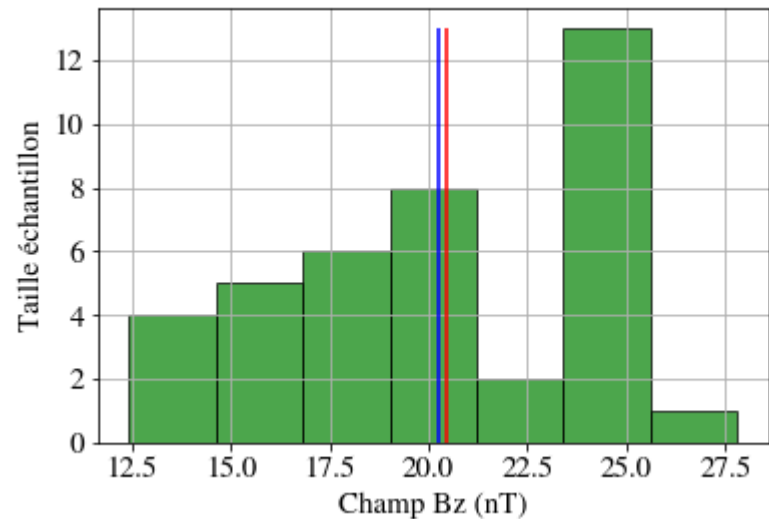
Histogramme de la distribution de données sur le cube 2 de taille d'échantillon 33



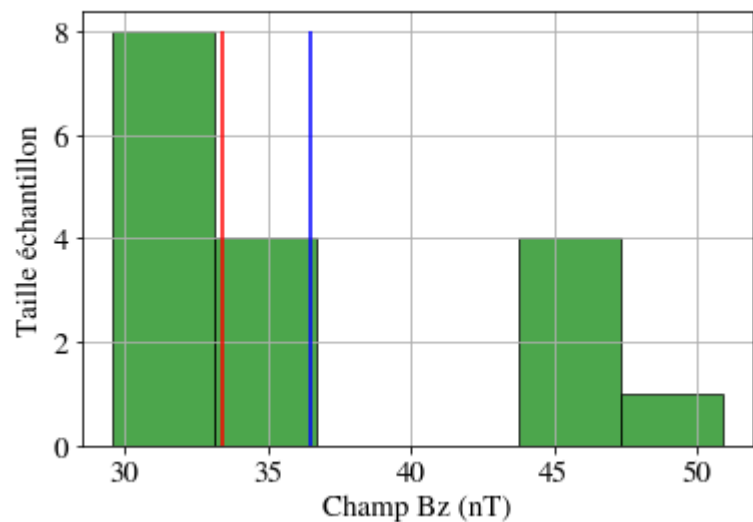
Histogramme de la distribution de données sur le cube 4 de taille d'échantillon 63



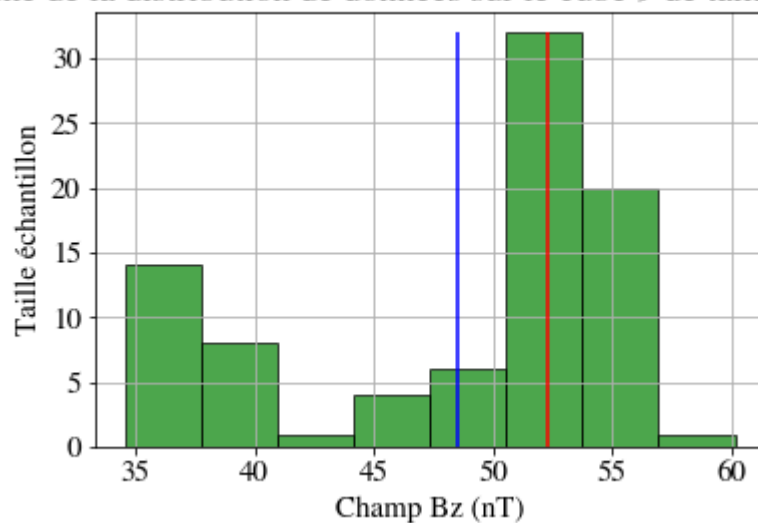
Histogramme de la distribution de données sur le cube 5 de taille d'échantillon 39



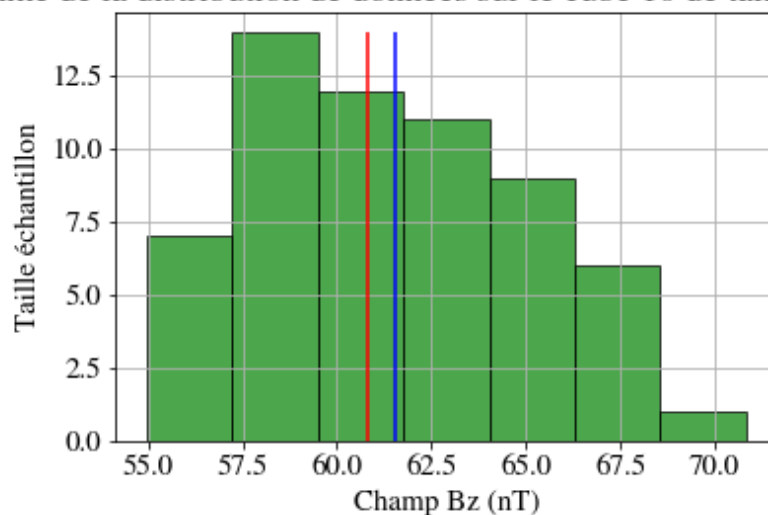
Histogramme de la distribution de données sur le cube 8 de taille d'échantillon 17



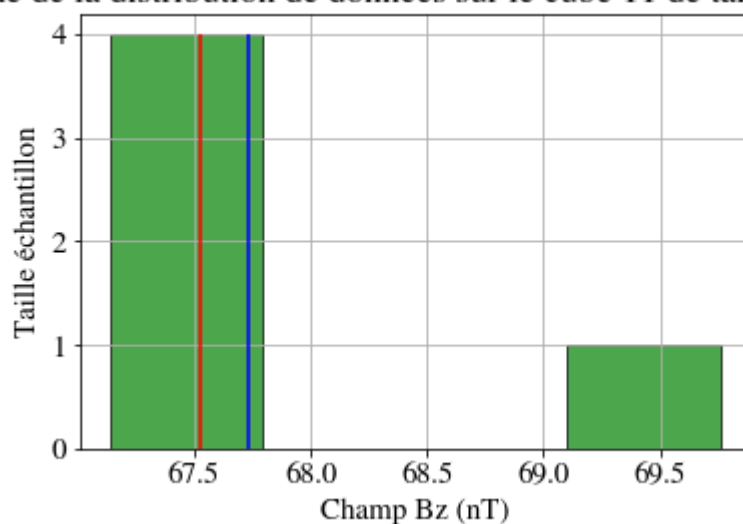
Histogramme de la distribution de données sur le cube 9 de taille d'échantillon 86



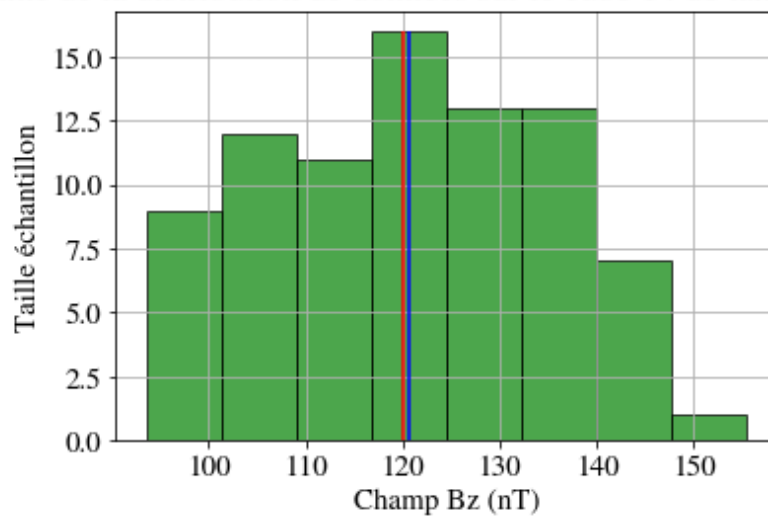
Histogramme de la distribution de données sur le cube 10 de taille d'échantillon 60



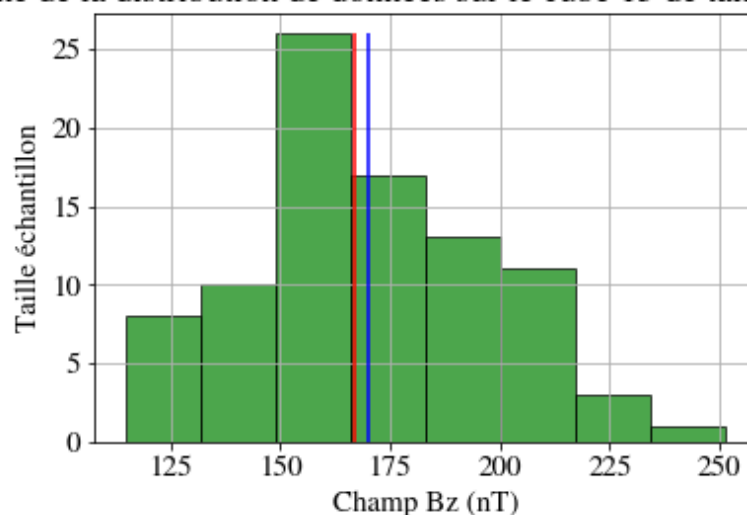
Histogramme de la distribution de données sur le cube 11 de taille d'échantillon 5



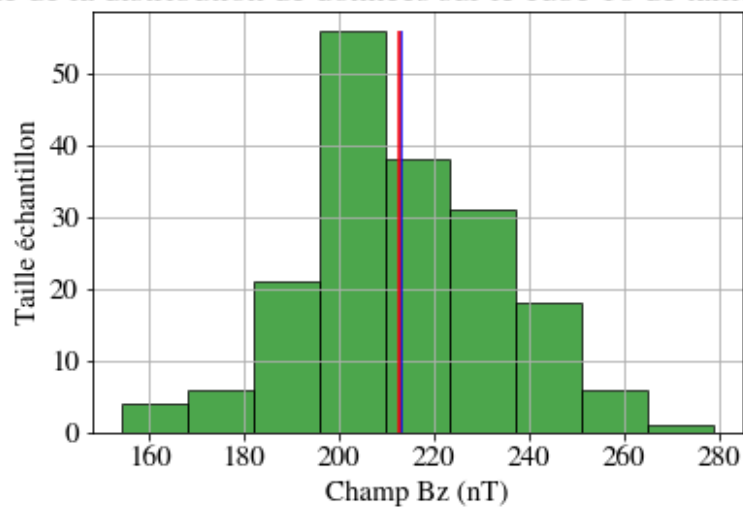
Histogramme de la distribution de données sur le cube 14 de taille d'échantillon 82



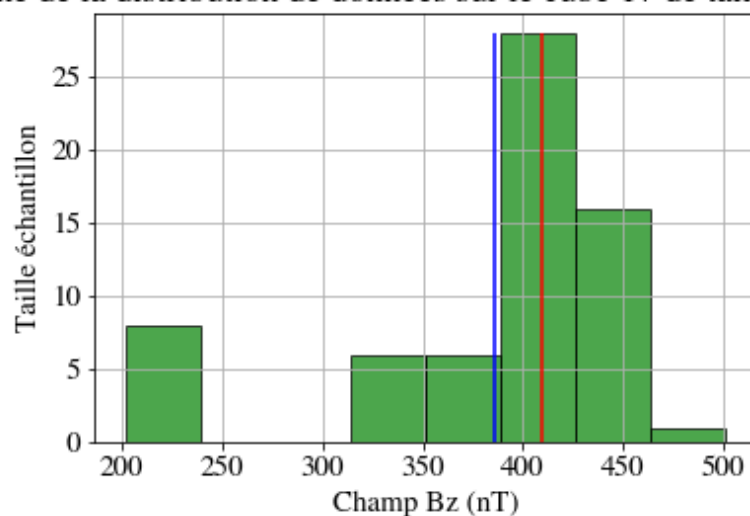
Histogramme de la distribution de données sur le cube 15 de taille d'échantillon 89



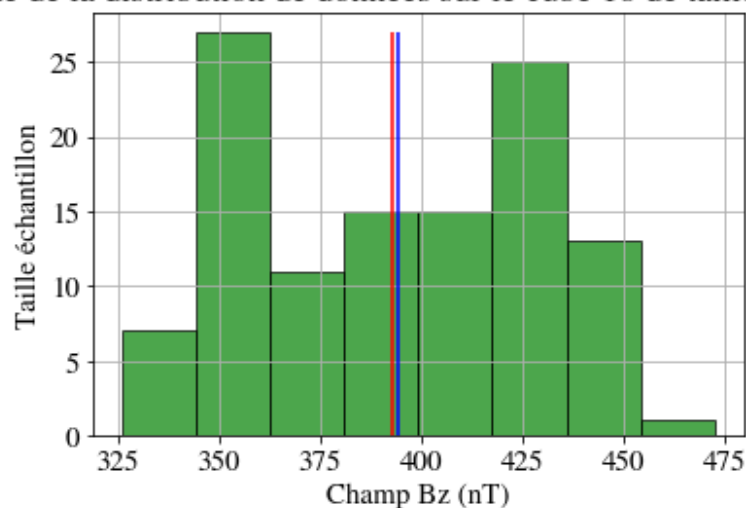
Histogramme de la distribution de données sur le cube 16 de taille d'échantillon 181



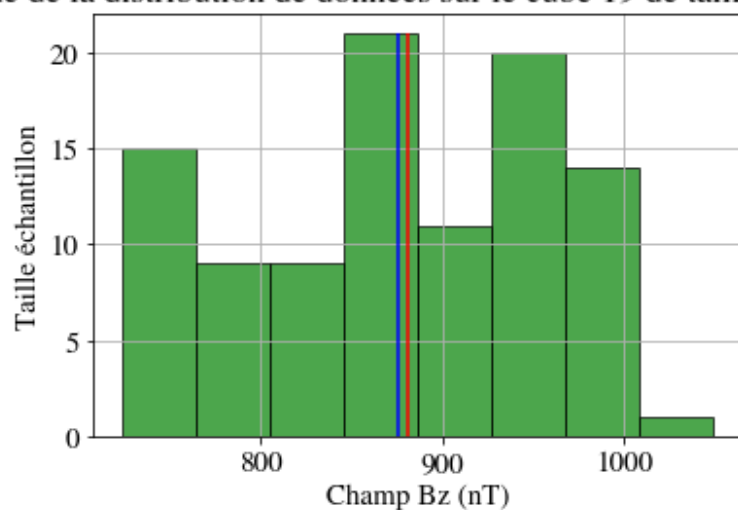
Histogramme de la distribution de données sur le cube 17 de taille d'échantillon 65



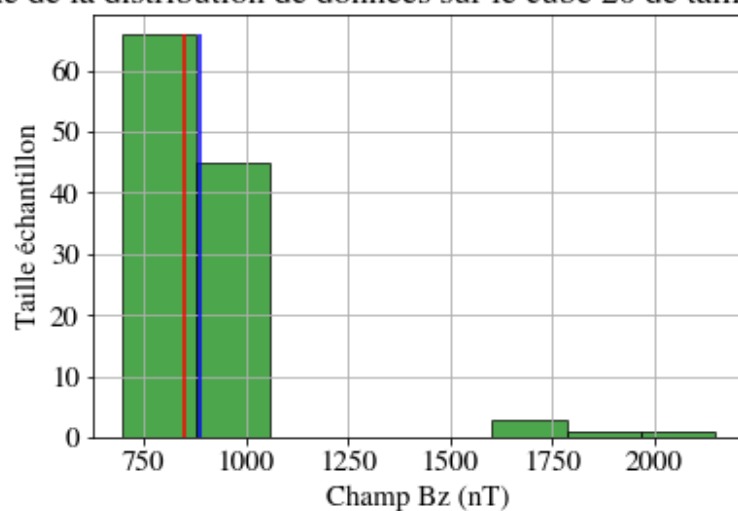
Histogramme de la distribution de données sur le cube 18 de taille d'échantillon 114



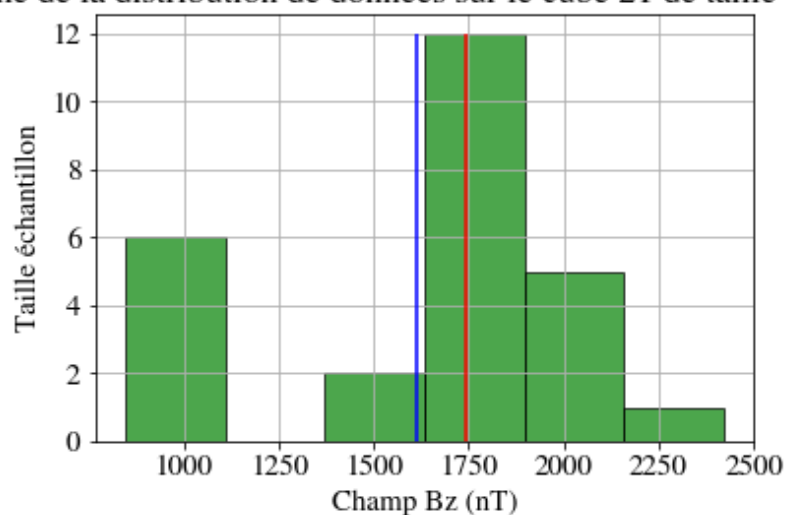
Histogramme de la distribution de données sur le cube 19 de taille d'échantillon 100



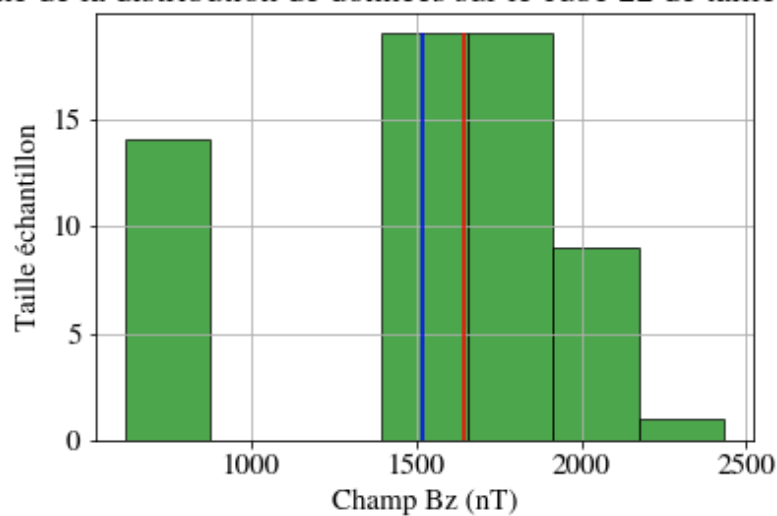
Histogramme de la distribution de données sur le cube 20 de taille d'échantillon 116



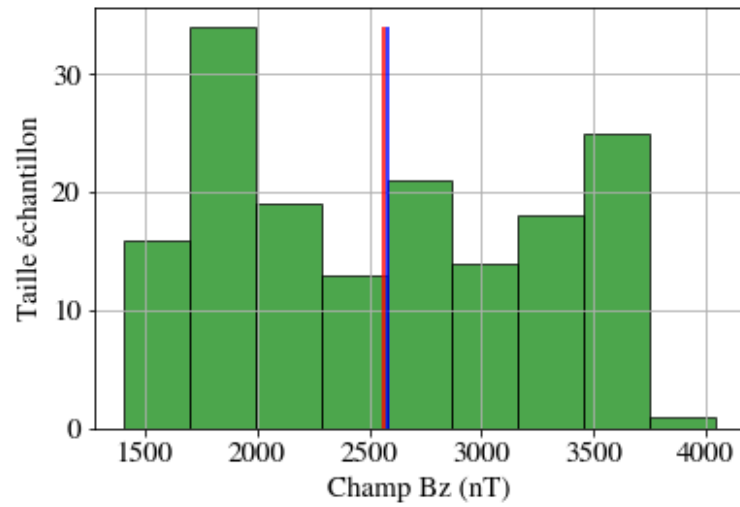
Histogramme de la distribution de données sur le cube 21 de taille d'échantillon 26



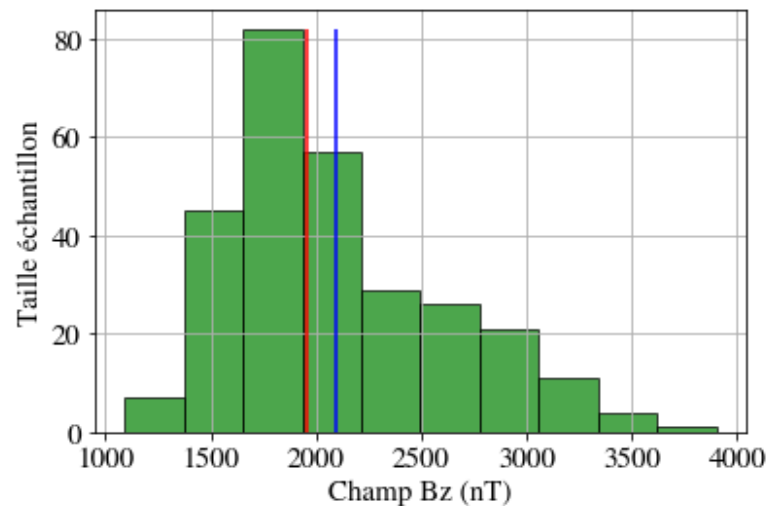
Histogramme de la distribution de données sur le cube 22 de taille d'échantillon 62



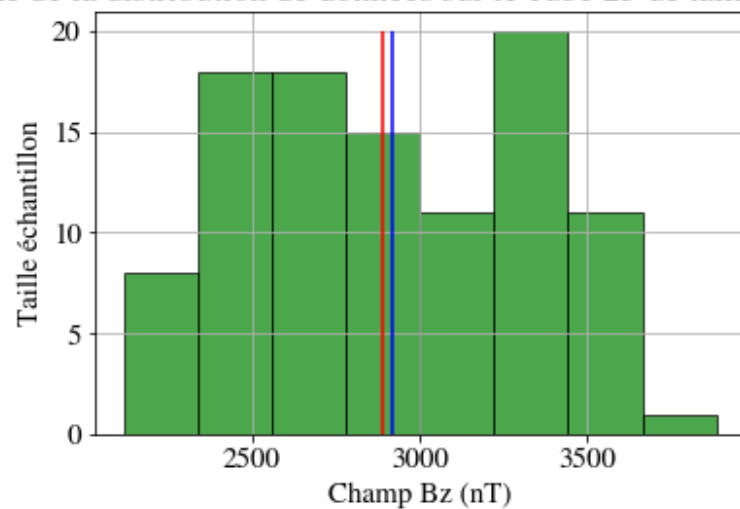
Histogramme de la distribution de données sur le cube 23 de taille d'échantillon 161



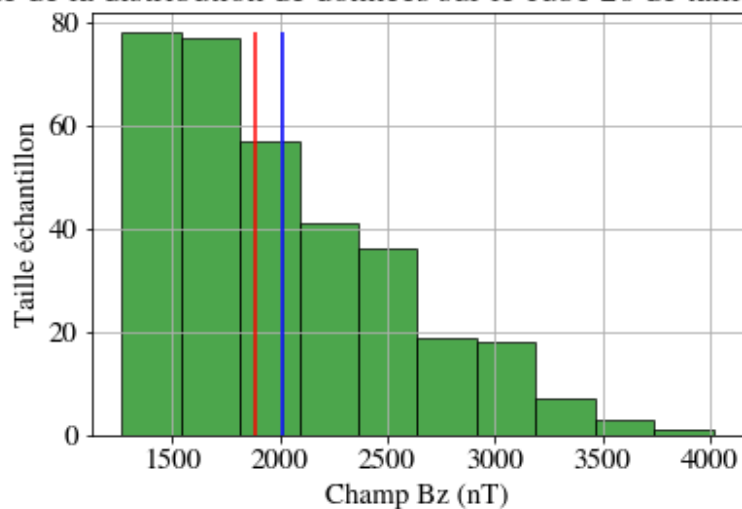
Histogramme de la distribution de données sur le cube 24 de taille d'échantillon 283



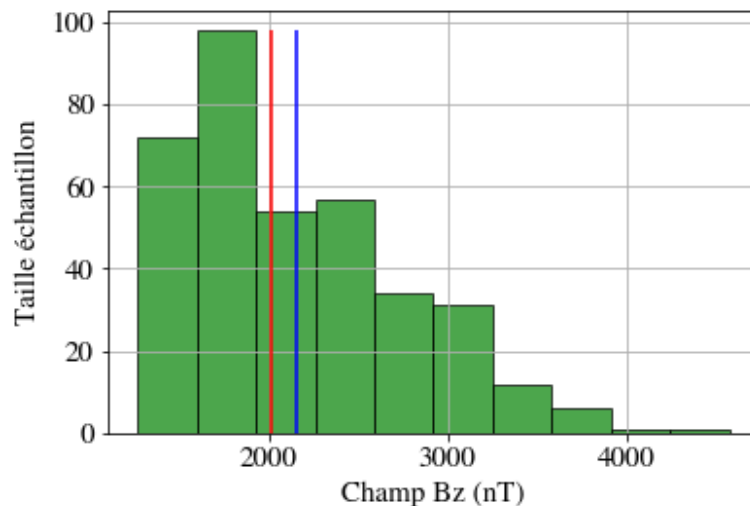
Histogramme de la distribution de données sur le cube 25 de taille d'échantillon 102



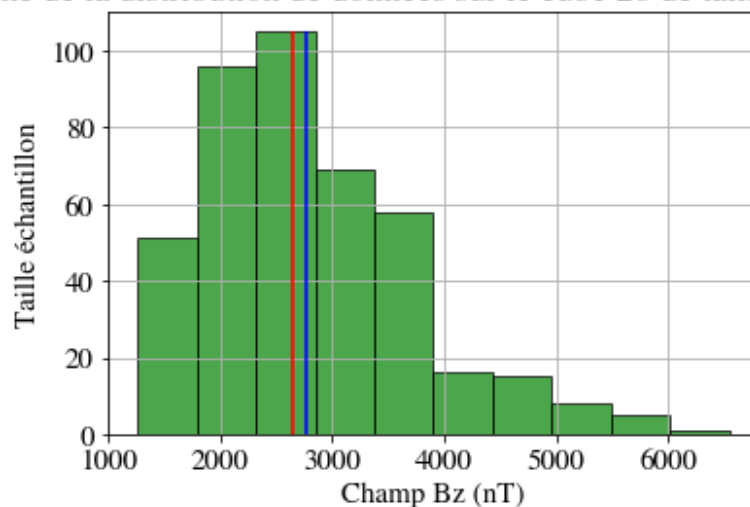
Histogramme de la distribution de données sur le cube 26 de taille d'échantillon 337



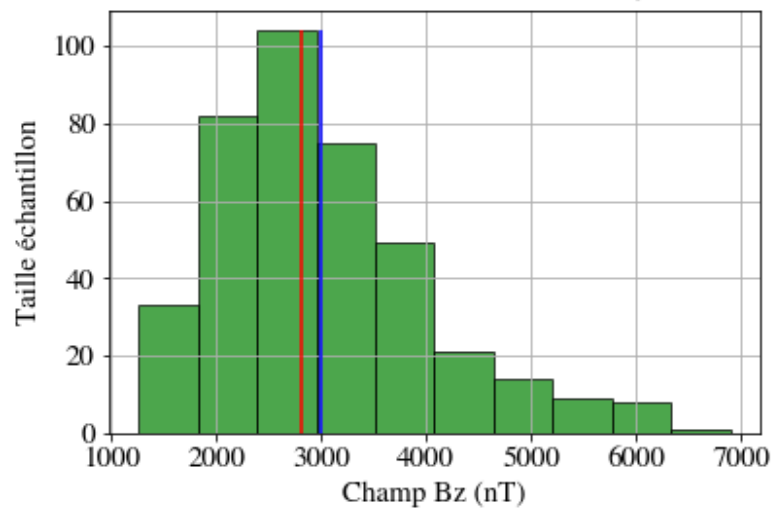
Histogramme de la distribution de données sur le cube 27 de taille d'échantillon 366



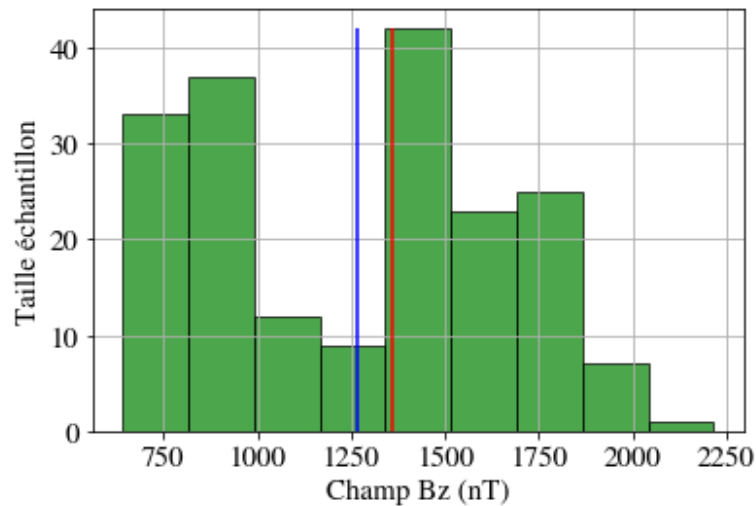
Histogramme de la distribution de données sur le cube 28 de taille d'échantillon 424



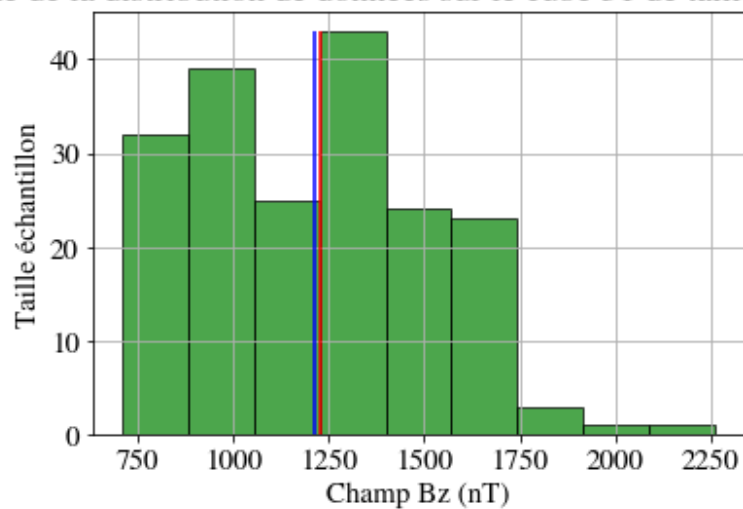
Histogramme de la distribution de données sur le cube 29 de taille d'échantillon 396



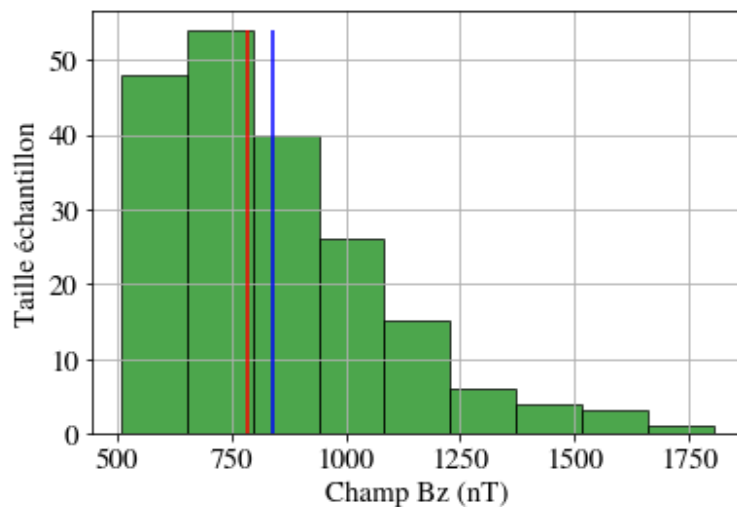
Histogramme de la distribution de données sur le cube 30 de taille d'échantillon 189



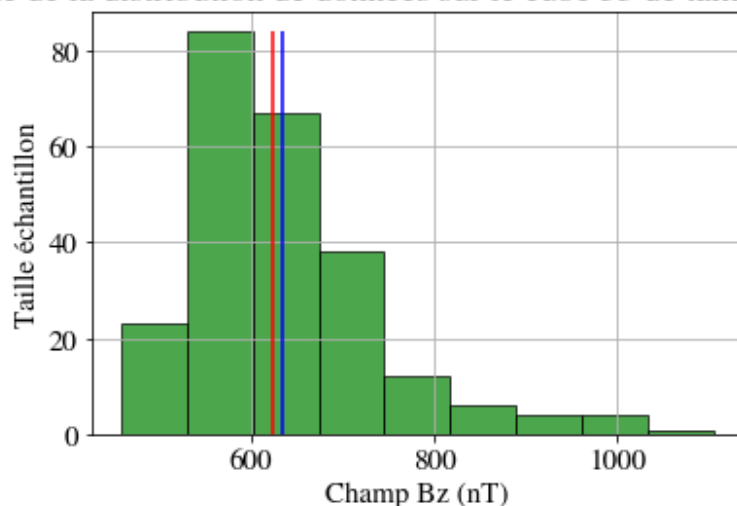
Histogramme de la distribution de données sur le cube 31 de taille d'échantillon 191



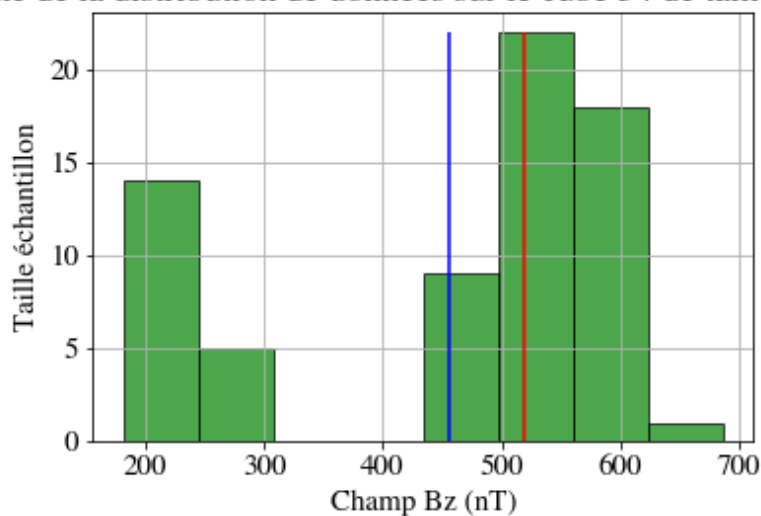
Histogramme de la distribution de données sur le cube 32 de taille d'échantillon 197



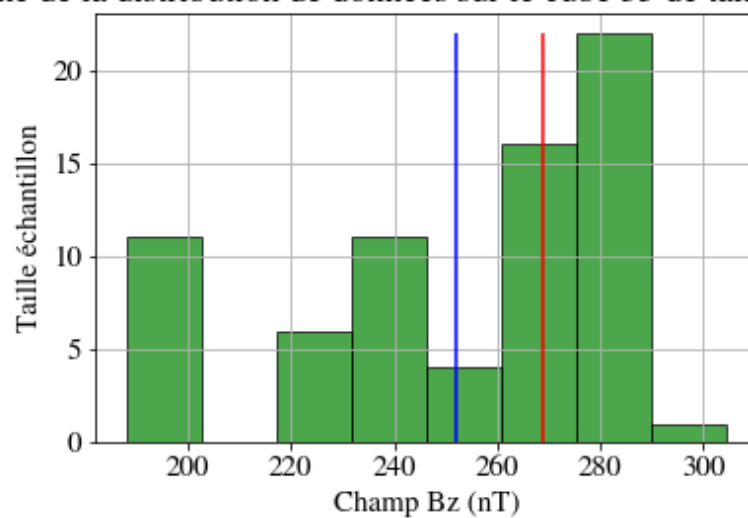
Histogramme de la distribution de données sur le cube 33 de taille d'échantillon 239



Histogramme de la distribution de données sur le cube 34 de taille d'échantillon 69

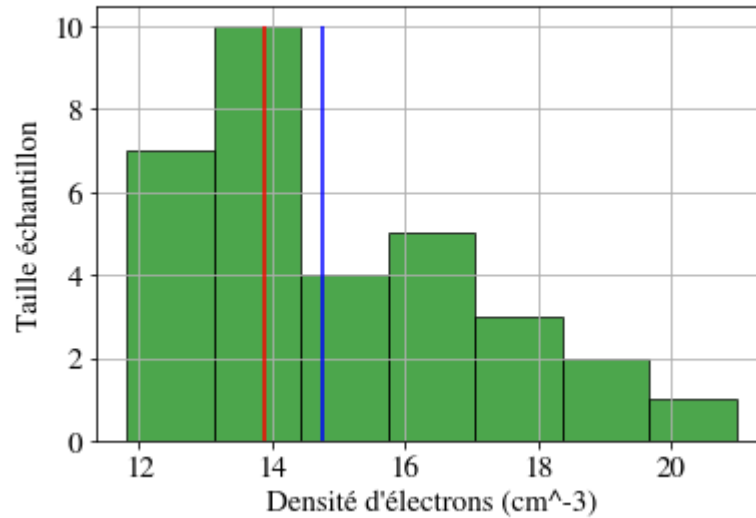


Histogramme de la distribution de données sur le cube 35 de taille d'échantillon 71

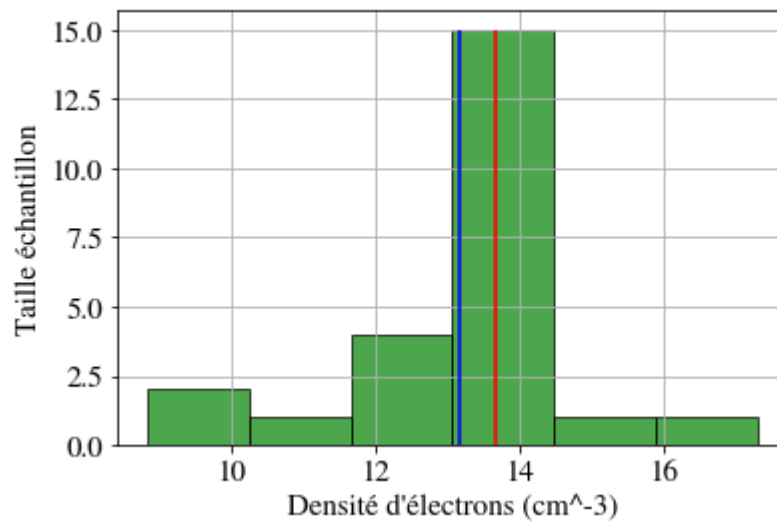


Histogrammes des distributions de densité d'électrons par brique de l'espace discrétisé

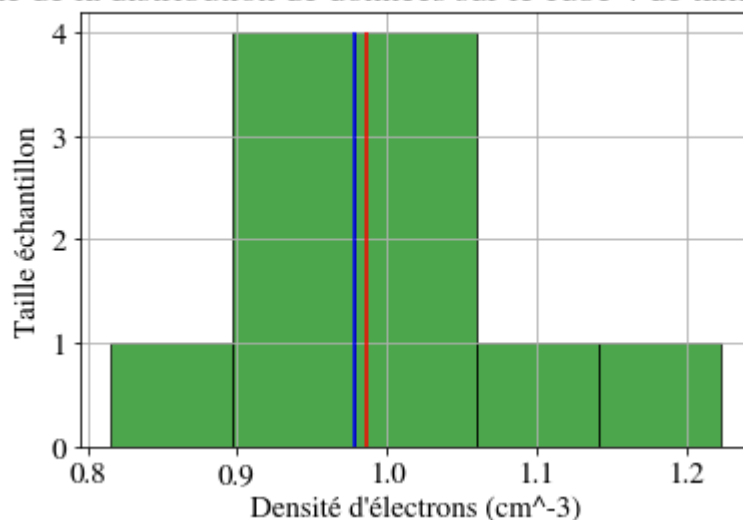
Histogramme de la distribution de données sur le cube 1 de taille d'échantillon 32



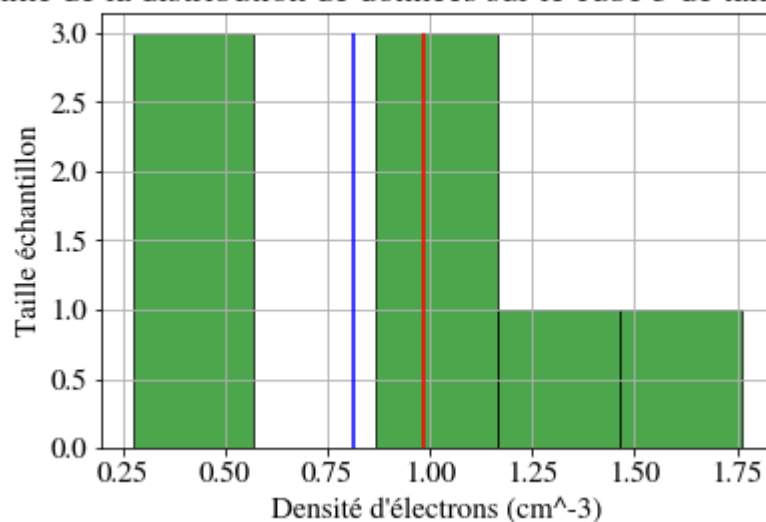
Histogramme de la distribution de données sur le cube 2 de taille d'échantillon 24



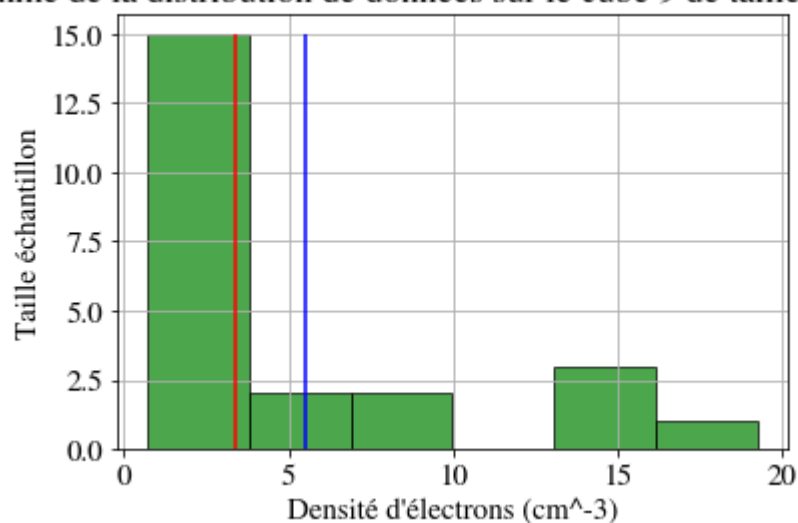
Histogramme de la distribution de données sur le cube 4 de taille d'échantillon 11



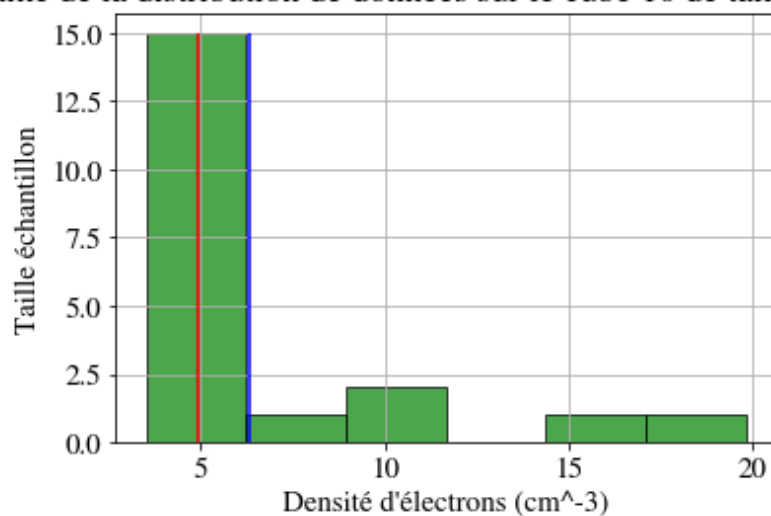
Histogramme de la distribution de données sur le cube 5 de taille d'échantillon 8



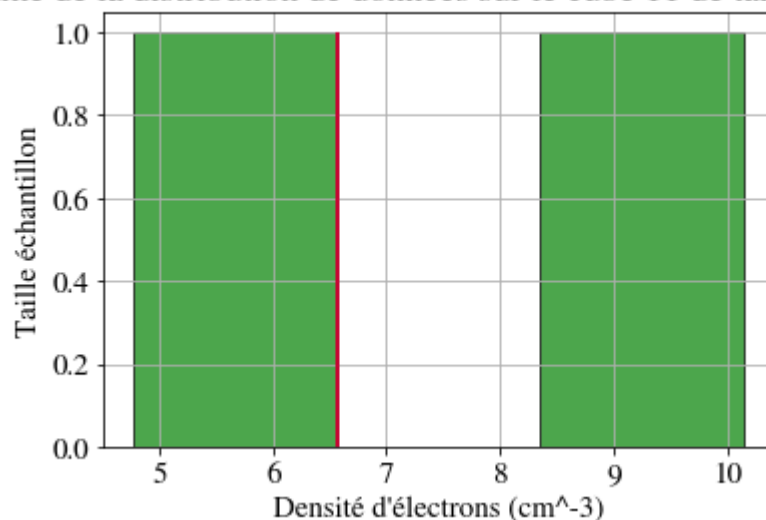
Histogramme de la distribution de données sur le cube 9 de taille d'échantillon 23



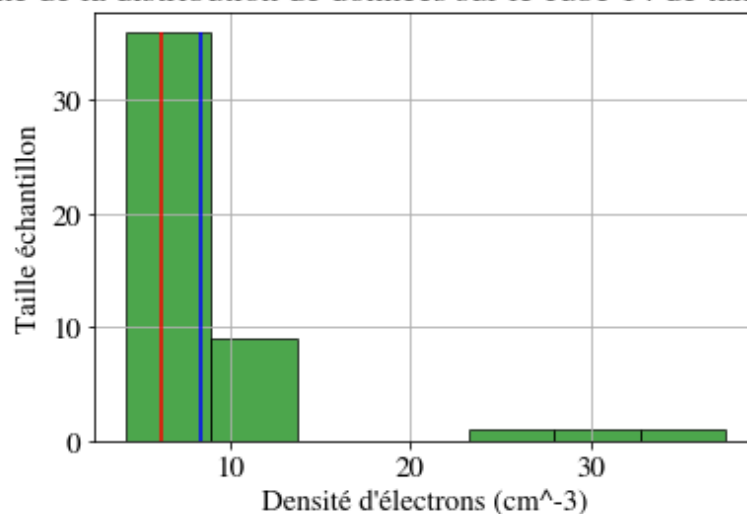
Histogramme de la distribution de données sur le cube 10 de taille d'échantillon 20



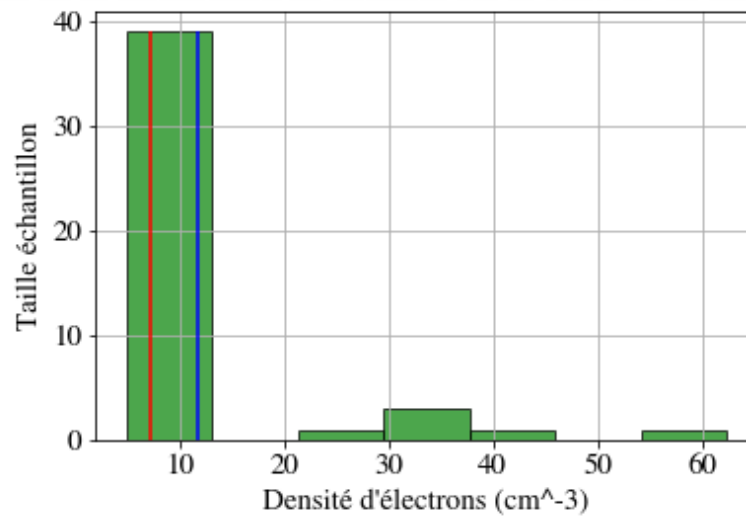
Histogramme de la distribution de données sur le cube 11 de taille d'échantillon 2



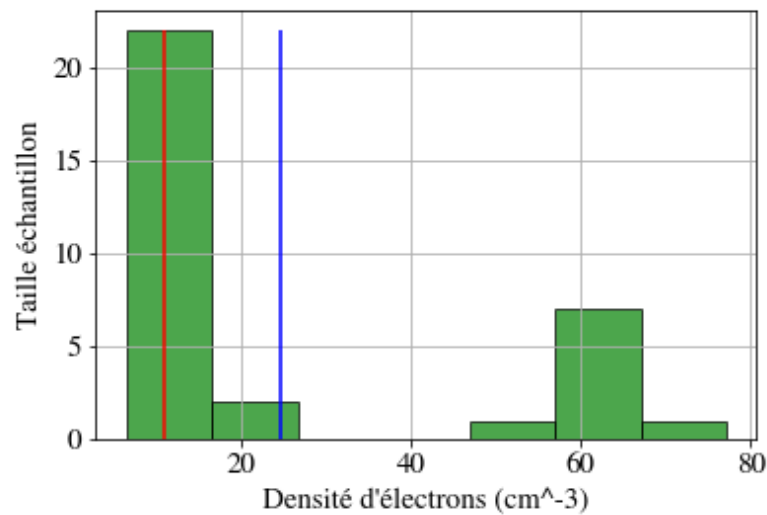
Histogramme de la distribution de données sur le cube 14 de taille d'échantillon 48



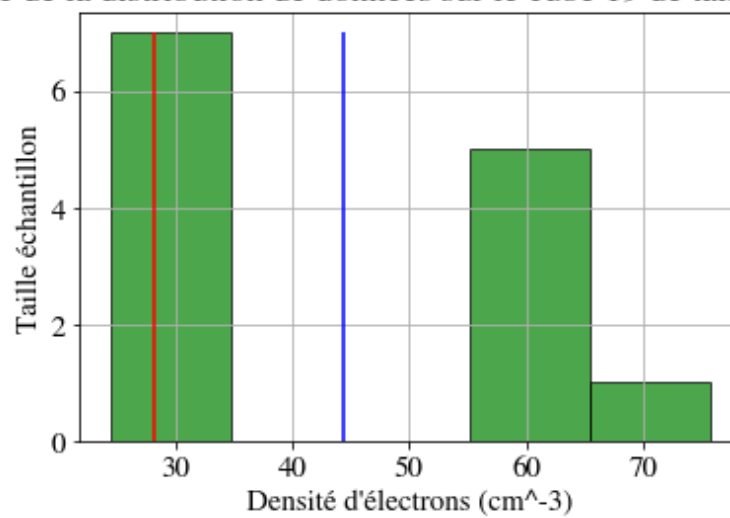
Histogramme de la distribution de données sur le cube 15 de taille d'échantillon 45



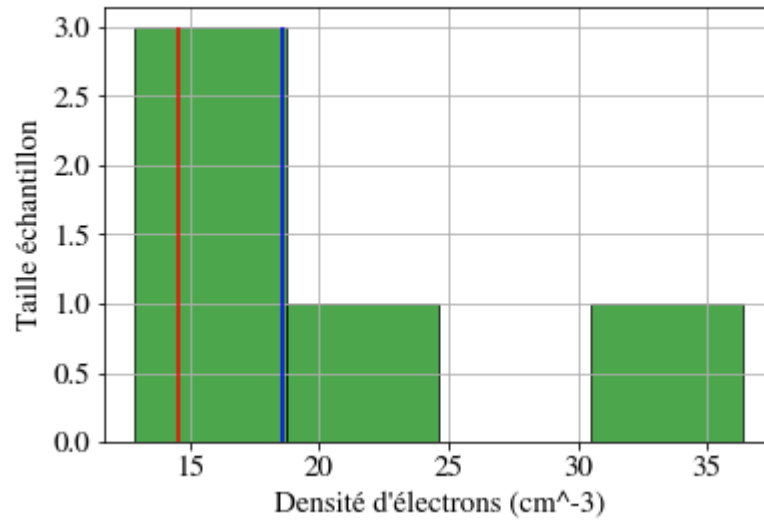
Histogramme de la distribution de données sur le cube 16 de taille d'échantillon 33



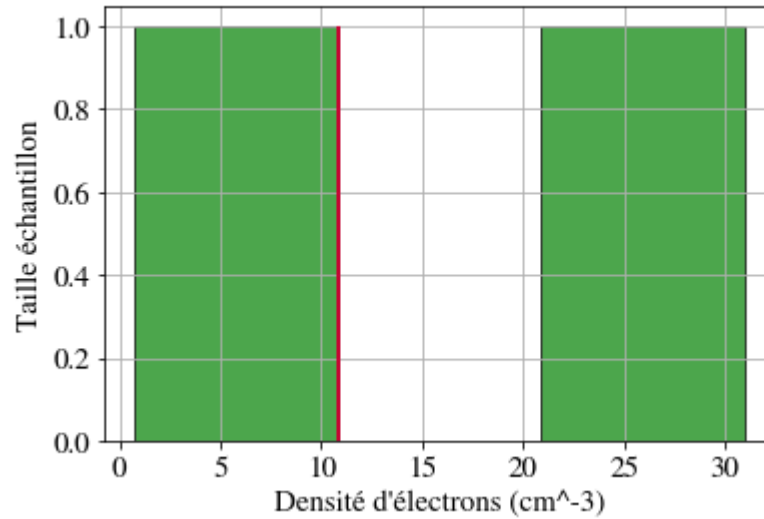
Histogramme de la distribution de données sur le cube 19 de taille d'échantillon 13



Histogramme de la distribution de données sur le cube 33 de taille d'échantillon 5

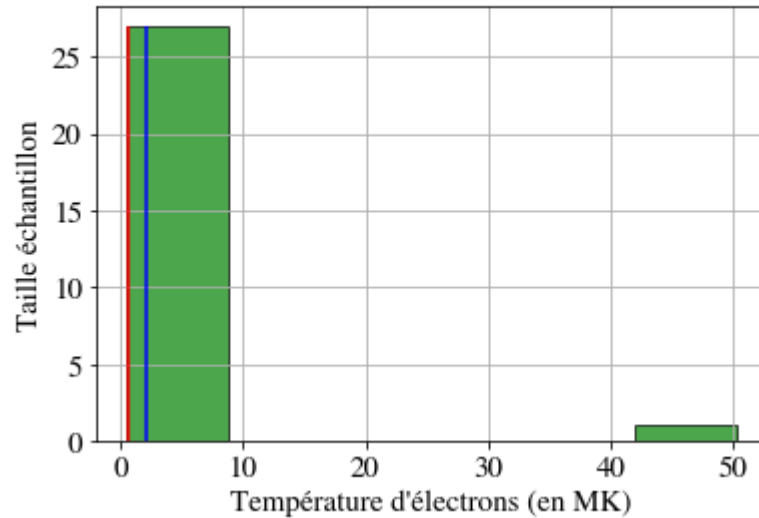


Histogramme de la distribution de données sur le cube 34 de taille d'échantillon 2

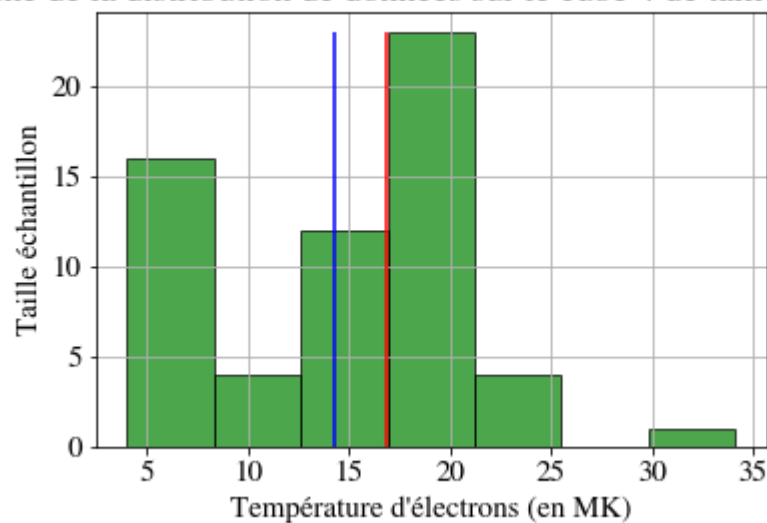


Histogrammes des distributions de température d'électrons par brique de l'espace discrétisé

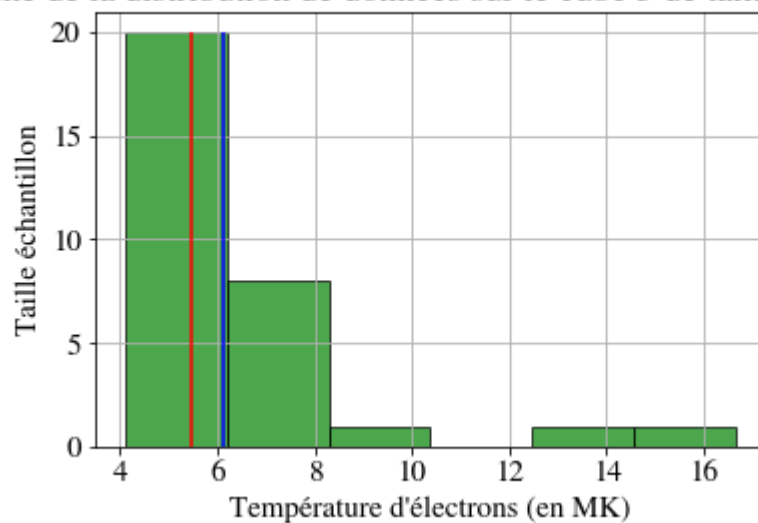
Histogramme de la distribution de données sur le cube 2 de taille d'échantillon 28



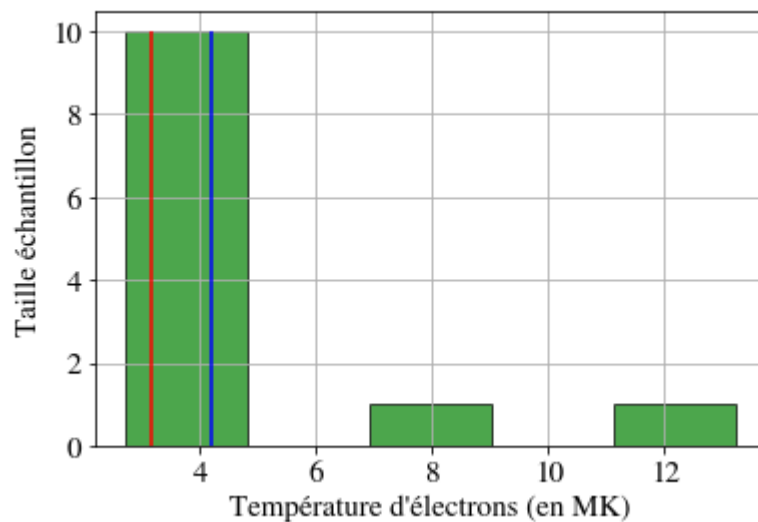
Histogramme de la distribution de données sur le cube 4 de taille d'échantillon 60



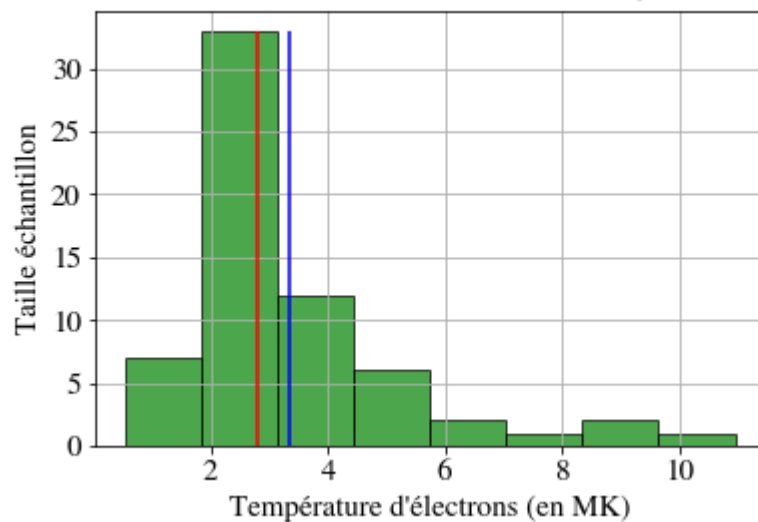
Histogramme de la distribution de données sur le cube 5 de taille d'échantillon 31



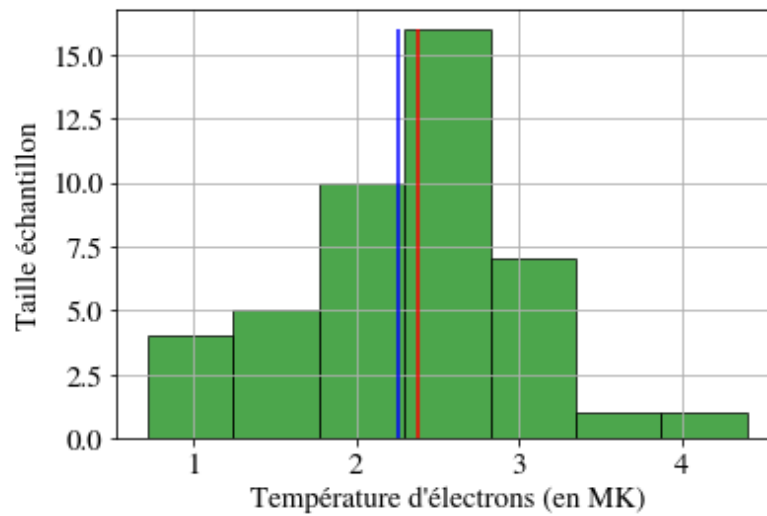
Histogramme de la distribution de données sur le cube 8 de taille d'échantillon 12



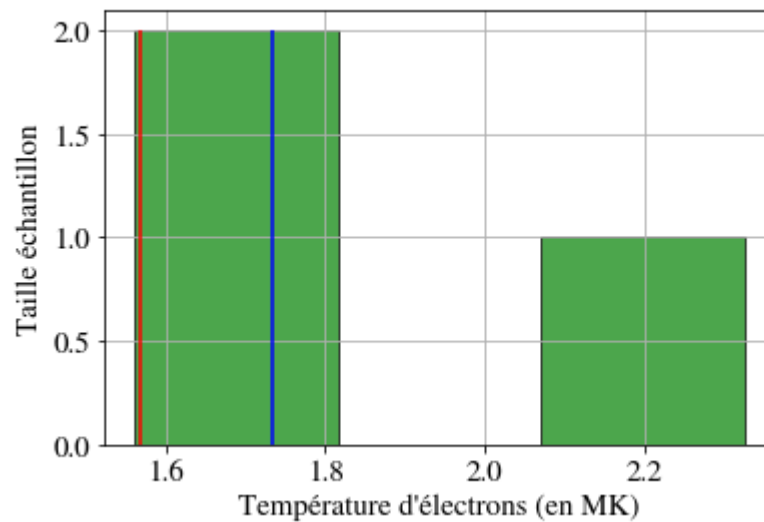
Histogramme de la distribution de données sur le cube 9 de taille d'échantillon 64



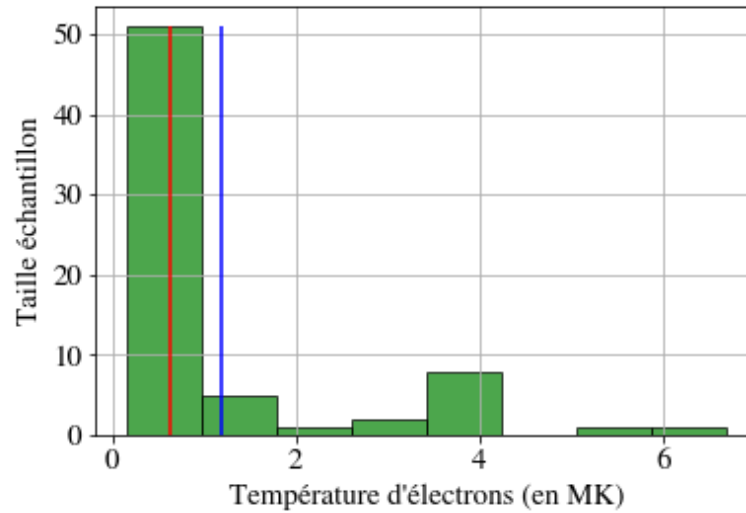
Histogramme de la distribution de données sur le cube 10 de taille d'échantillon 44



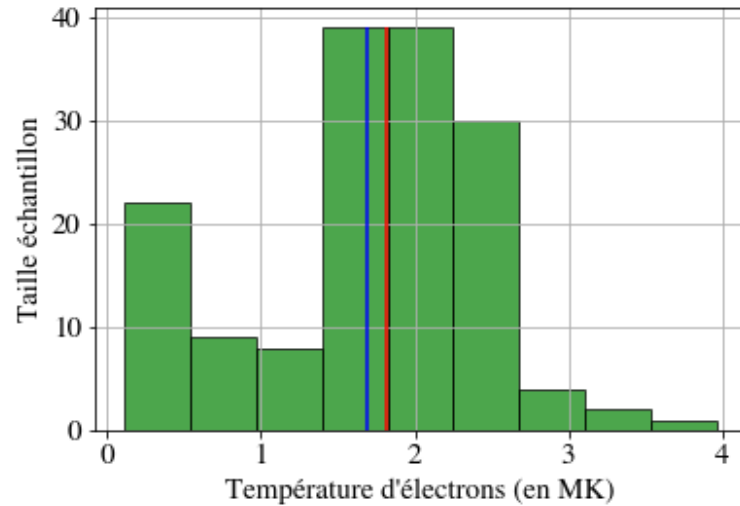
Histogramme de la distribution de données sur le cube 11 de taille d'échantillon 3



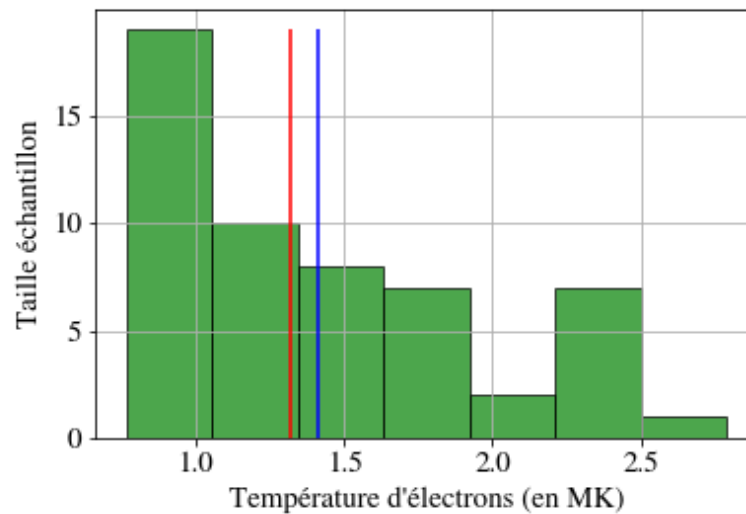
Histogramme de la distribution de données sur le cube 15 de taille d'échantillon 69



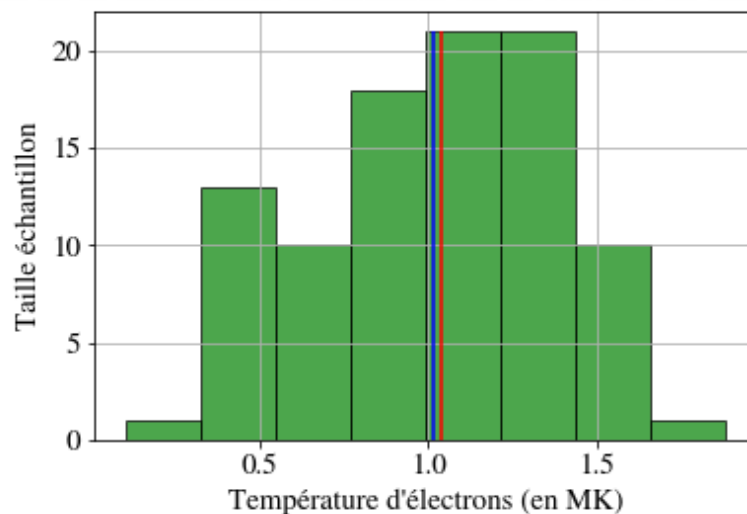
Histogramme de la distribution de données sur le cube 16 de taille d'échantillon 154



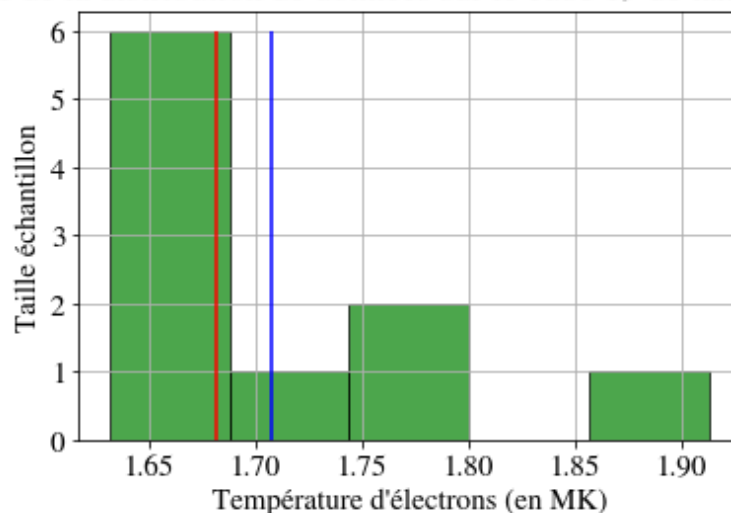
Histogramme de la distribution de données sur le cube 17 de taille d'échantillon 54



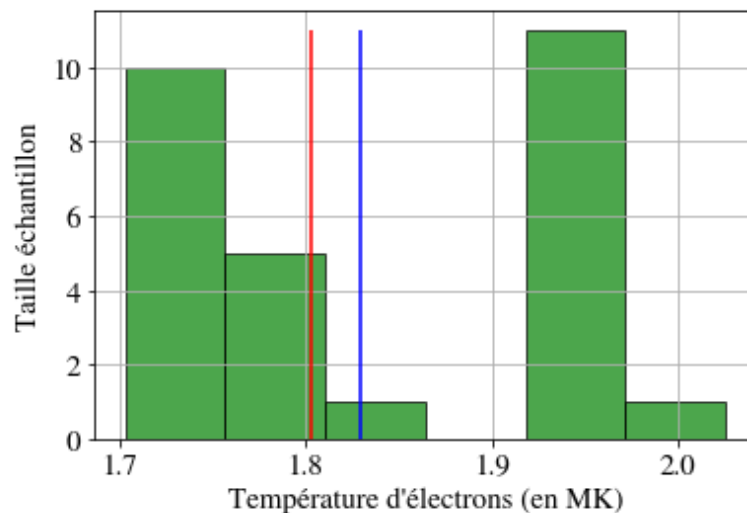
Histogramme de la distribution de données sur le cube 18 de taille d'échantillon 95



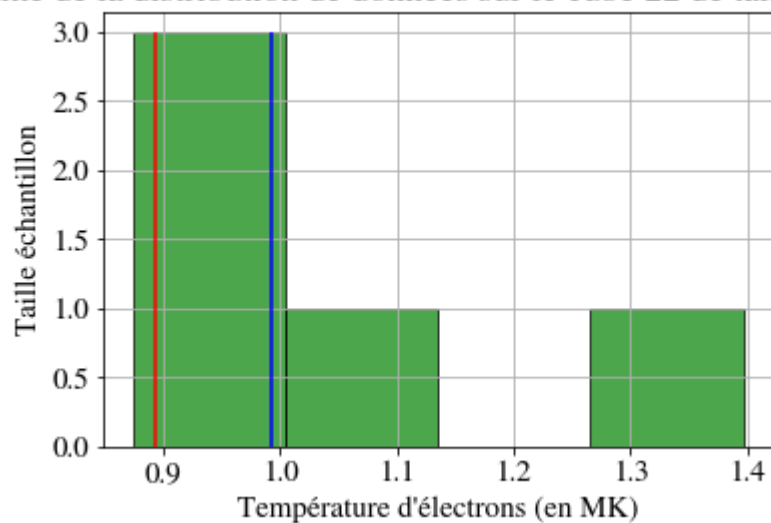
Histogramme de la distribution de données sur le cube 19 de taille d'échantillon 10



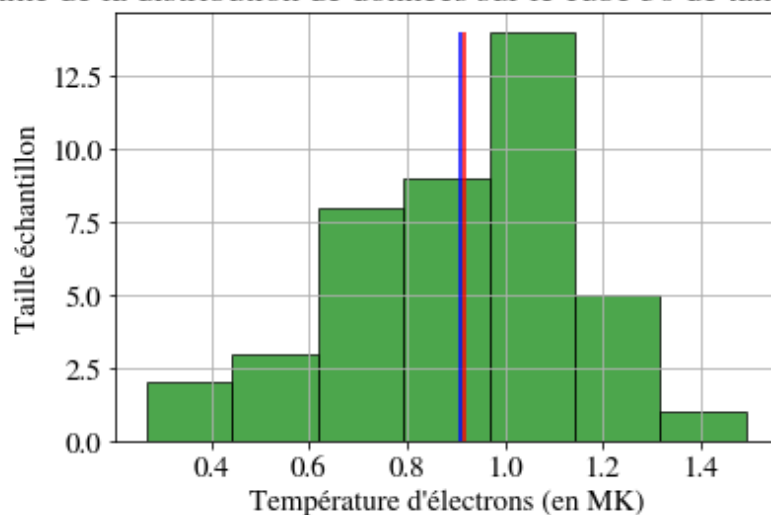
Histogramme de la distribution de données sur le cube 20 de taille d'échantillon 28



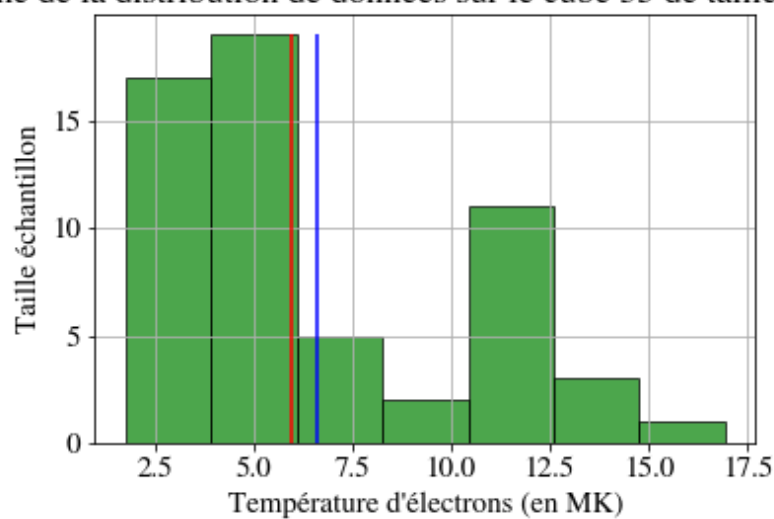
Histogramme de la distribution de données sur le cube 22 de taille d'échantillon 5



Histogramme de la distribution de données sur le cube 30 de taille d'échantillon 42



Histogramme de la distribution de données sur le cube 35 de taille d'échantillon 58



Note à moi-même pour demain :

J'ai des problèmes sur les affichages des données pour les longueurs de Debye et pour la fréquence plasma. Il faut donc que je fasse tourner les deux avec les print que j'ai mis qui me donne les moyennes pour savoir c'est quoi le problème. Quand j'aurais fini, ne pas oublier de commenter la ligne 64 dans le fichier calcul statistique prcq là je calculais la fréquence plasma