ALETHEIA : En quoi consiste votre projet ?

GROUPE ESPAGNOL : Avec ce projet, nous cherchons à illustrer un aspect de la physique rarement mis en avant : la non-linéarité. Pour y parvenir, nous avons dû effectuer des recherches approfondies — comme il est d'usage — ce qui nous a permis de formuler une hypothèse. Nous avons suivi la démarche scientifique : formulation d'une hypothèse, expérimentation, collecte de données, analyse des résultats et, enfin, vérification de ces résultats avant la présentation. Concrètement, nous avons construit un circuit RLC composé de trois éléments principaux : une bobine (fabriquée à la main et comptant 750 spires), une résistance et un condensateur.

Pour faire simple, un condensateur fonctionne ainsi : il reçoit de l'énergie, se charge progressivement jusqu'à atteindre sa limite, puis, une fois totalement chargé, il libère toute son énergie d'un seul coup. C'est un peu comme remplir un sac à dos à ras bord : une fois qu'il est plein et qu'on ne peut plus rien y ajouter, on en vide tout le contenu d'un seul coup. La particularité de notre condensateur — contrairement aux modèles classiques qui sont généralement fixes (linéaires) et se comportent toujours de la même manière — est qu'il s'agit d'un condensateur variable. Comme nous étudions la non-linéarité, sa capacité de stockage varie en fonction de la tension appliquée. Sur cette base, nous avons recueilli de nombreuses données. Voici un générateur de fonctions : il envoie deux signaux, l'un vers le circuit et l'autre directement vers l'oscilloscope (celui-ci). Quant à la courbe inférieure, elle représente la réponse du système au signal émis par le générateur ; il s'agit de la courbe bleue. Fait intéressant, nous avons réglé la fréquence de telle sorte que, comme vous pouvez le constater, chaque pic jaune correspond à deux pics bleus. C'est ce qu'on appelle le phénomène de double fréquence… Vous faites de la musique ? Jouez-vous d'un instrument ? En gros, il s'agit ici de visualiser une harmonique. On ne l'entend pas, mais on la visualise. Si on pouvait la voir dans l'air en jouant une harmonique, on observerait quelque chose qui ressemble au bleu que vous voyez ici. À partir de là, nous avons relevé différentes fréquences et amplitudes, et nous avons collecté toutes ces données.

Il s'agit essentiellement de graphiques, de tableaux, de données, etc. Une application du doubleur de fréquence concerne, par exemple, les pointeurs laser. Vous connaissez les pointeurs laser, n'est-ce pas ? De quelle couleur sont-ils généralement ?

ALETHEIA : Rouge.

GROUPE ESPAGNOL : Exact, mais il en existe aussi des verts. À l'origine, un laser vert est en fait un laser rouge. À l'intérieur du laser, on trouve un petit cristal — pour ainsi dire — qui se charge de doubler la fréquence. C'est pour cela que la lumière que nous percevons est verte ; en effet, nous ne sommes pas encore capables de générer de la lumière verte directement — et je ne pense pas que nous puissions le faire. Cela tient au spectre visible : à différentes longueurs d'onde correspondent différentes couleurs. Ainsi, en modifiant la fréquence, on change la longueur d'onde de l'onde émise par le laser rouge, ce qui la fait passer au vert.

L'équation d'un oscillateur s'exprime généralement comme le produit d'une constante par le carré de la variation de la grandeur physique. Cependant, comme le système est non linéaire, il est nécessaire d'y ajouter un terme correctif. Cette correction consiste, en somme, à introduire une constante supplémentaire et à la multiplier par la grandeur élevée à la puissance quatre. On obtient ainsi une correction qui rend le système non linéaire. En effectuant quelques calculs mathématiques et en utilisant cette équation — où le temps correspond à l'intégrale de la variation spatiale multipliée par l'inverse de la vitesse…

Or, l'inverse de la vitesse peut toujours être exprimé en fonction de cette énergie. En calculant l'intégrale et en résolvant l'équation pour déterminer la fréquence de résonance, on aboutit à l'expression que voici. Si l'on examine bien cette équation, on constate que, pour certaines fréquences, deux états sont possibles. C'est un peu comme si… on pouvait se trouver à deux endroits différents au même instant. En somme, c'est ce qu'on appelle la bistabilité.

Ainsi, si l'on trace le graphique de cette équation — qui correspond, pour l'essentiel, à une courbe lorentzienne — en tenant compte de la fréquence de résonance, on obtient la courbe que voici. Au lieu d'être parfaitement verticale, elle présente une légère inclinaison. On constate alors que, pour ces fréquences, il existe deux points possibles ; ce sont précisément les deux états correspondant à la bistabilité d'un oscillateur.

Que nous a révélé ce montage en particulier ? Nous avons ainsi démontré l'existence de la non-linéarité au moyen d'un circuit très simple à réaliser. Contrairement aux apparences, la non-linéarité est omniprésente. Bien qu'elle soit, comme je l'ai mentionné, une sorte de « parent pauvre » de la physique — rarement abordée —, elle

est pourtant partout. Elle revêt une importance capitale, dès aujourd'hui et pour l'avenir, car elle s'avérera très précieuse, notamment dans le domaine de la physique quantique.

Voilà, dans les grandes lignes, en quoi consiste notre projet. Il s'agit d'une démarche essentiellement théorique — qui touche au cœur même de la physique — sans visée applicative immédiate.

Et nous mettons ici en évidence, évidemment, un phénomène.

ALETHEIA : Et combien de temps avez-vous travaillé sur ce projet ?

GROUPE ESPAGNOL : Environ quatre ou cinq mois. Nous avons commencé en octobre, plus précisément vers la fin octobre ou début novembre. En mars-avril, c'était déjà terminé, car nous devions le présenter en Espagne, lors d'une foire scientifique ; le projet devait donc être achevé. Cela a demandé beaucoup d'efforts, notamment pour la bobine, que nous avons fabriquée à la main.

Les équations ont également été difficiles à établir, car cela a nécessité beaucoup de lectures, de recherches bibliographiques… Sans oublier la collecte des données. Nous présentons ici un certain ensemble de données, mais nous en possédons en réalité bien plus.

Quoi qu'il en soit, c'est un projet que nous avons mené par goût pour la physique — c'est une véritable passion — avec l'intention de le partager en Espagne ; nous n'avions pas imaginé le faire découvrir au monde entier.

ALETHEIA : Merci.

GROUPE ESPAGNOL : Merci à vous.