

# PHQ560/660 – TRAVAUX PRATIQUES AVANCÉS

**Cours**

Titre :	TP avancés I et II
Sigle :	PHQ560/660
Session :	Automne / Hiver
Crédits :	3
Travaux pratiques :	6 heures / semaine
Travail personnel :	6 heures / semaine

**Place du cours dans le programme**

Type de cours :	option
Cours préalables :	45 crédits
Cours partagé :	PHQ660/PHQ560

**Professeur**

Nom :	Jeffrey Quilliam
Bureau :	D2-1075
Courriel :	jeffrey.quilliam@usherbrooke.ca
Poste :	66476

**Coordinateur**

Nom :	Guy Bernier
Bureau :	D2-2050-1
Courriel :	guy.bernier@usherbrooke.ca
Poste :	61069

**Moniteurs**

Nom :	Maxime Lapointe-Major
Bureau :	D2-2081
Courriel :	Maxime.Lapointe-Major@USherbrooke.ca
Poste :	66204

Nom :	Jean-Olivier Simoneau
Bureau :	
Courriel :	Jean.Olivier.Simoneau@USherbrooke.ca
Poste :	

## DESCRIPTION DU COURS

**Objectifs**

Se familiariser avec des techniques courantes en recherche et développement. Développer les aptitudes nécessaires pour critiquer des résultats expérimentaux dans un rapport de laboratoire détaillé.

**Contenu**

Expériences typiquement rencontrées dans le domaine de la recherche et du développement telles que spectroscopies Fourier et Mössbauer, effet Hall quantique, photoluminescence dans les puits quantiques, résonance magnétique nucléaire, les inégalités de Bell, les jonctions Josephson et la supraconductivité. *Le contenu de PHQ660 est partagé avec PHQ560.*

## MISE EN CONTEXTE

Les travaux pratiques permettent aux étudiants et étudiantes d'appliquer la méthode scientifique. Cette mise en pratique débute par le cours PHQ260 dans lequel l'étudiant(e) s'initie à l'instrumentation scientifique et rend compte par écrit, de manière succincte, des résultats d'une expérience. Ensuite, l'étudiant(e) acquiert

les habiletés nécessaires à l'étude en laboratoire de systèmes physiques et à l'analyse de résultats expérimentaux par l'entremise des cours PHQ360 et PHQ460. Enfin, les travaux pratiques avancés (PHQ560 et 660) initient l'étudiant(e) à des expériences typiquement rencontrées en recherche et développement. Spécifiquement, les travaux pratiques avancés ont pour objectifs la familiarisation avec diverses techniques courantes de la physique expérimentale et le développement des aptitudes nécessaires pour critiquer des résultats expérimentaux, au moyen de rapports longs. Le contenu de PHQ560 est partagé avec PHQ660.

## APPRENTISSAGES VISÉS

En général, être capable d'effectuer et de présenter des expériences en physique, autant que possible comme dans le monde de la recherche moderne.

Les cibles d'apprentissage spécifiques pour ce cours sont les suivantes :

- Utiliser la méthode scientifique;
- Sonder expérimentalement divers phénomènes physiques;
- Comprendre les concepts théoriques derrière les expériences et faire le lien avec les résultats obtenus;
- Résoudre des problèmes techniques dans le laboratoire;
- Maintenir un cahier de laboratoire;
- Analyser et présenter graphiquement des données et procédures expérimentales;
- Faire le lien entre des résultats expérimentaux et la théorie. Juger la qualité et valeur de données expérimentales;
- Produire un rapport scientifique clair et élaboré;
- Donner une présentation "powerpoint" (de style congrès scientifique);
- Suivre les consignes de sécurité nécessaires pour travailler au laboratoire.

## MÉTHODES D'ÉVALUATION

Rapport (en équipe)	35%
Rapport (en équipe)	35%
Présentation (individuelle)	30%

### Rapports

Vous aurez à produire deux rapports écrits (long et court) correspondant à deux projets expérimentaux réalisés durant le cours. Les expériences, l'analyse des données et la rédaction des rapports seront réalisés en équipe de deux étudiants. Les rapports doivent présenter

- les concepts théoriques qui décrivent les expériences;
- une discussion et des diagrammes de l'instrumentation expérimentale;
- la procédure expérimentale (avec justification du choix de paramètres);
- les consignes de sécurité;
- les résultats obtenus, présentés graphiquement et discutés;
- des conclusions (lien entre les données obtenues et la théorie);
- il faut bien répondre aux questions posées dans les manuels d'expériences.

### Présentations

Le sujet de la présentation sera une partie de l'une des expériences effectuées dans le cours suivant les consignes du professeur. La présentation doit être dans le style d'un exposé à un congrès scientifique, d'une durée de 20 minutes, avec powerpoint ou un autre logiciel équivalent et suivie par 5 minutes de questions. Le temps de présentation doit être strictement respecté. Une version pdf des diapos doit être soumise au professeur avant la présentation.

## MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

Chaque projet de TP va incorporer les méthodes pédagogiques suivantes :

- introduction théorique / motivation (leçon magistrale donnée par le professeur, coordinateur ou moniteur);
- lecture personnelle / discussion en équipe;
- travail dans le laboratoire (en équipe) accompagné par professeur, moniteurs, coordinateur et/ou technicien;
- analyse des données en équipe. La consultation avec le professeur sera permise et encouragée et les ordinateurs et logiciels nécessaires seront disponibles aux étudiant(e)s.

## MATÉRIEL DIDACTIQUE

- Protocoles (manuels d'expériences) qui détaillent la théorie, les procédures expérimentales, et des schémas de l'équipement pour chaque expérience
- Références incluses dans les protocoles. Ces références sont disponibles sur le site <http://www.tp.physique.usherbrooke.ca> ou peuvent être empruntées de la bibliothèque
- Guide de rédaction des rapports expérimentaux (longs et courts)
- Guide de préparation des exposés oraux

## PRÉSENCE EN LABORATOIRE

Durant les périodes de manipulation (détaillées dans le calendrier du cours), la présence de l'étudiant(e) au laboratoire est obligatoire. Pour tout conflit d'horaire ou absence prévue, il faut notifier le professeur à l'avance. Dans le cas d'une absence imprévue, il faut présenter une note de médecin ou autre justificatif. Une absence sans excuse durant une période de manipulation peut engendrer une perte de points sur la note du rapport proportionnelle au pourcentage de l'expérience manquée. Par exemple, si une expérience prend 12 heures à compléter et un(e) étudiant(e) est absent(e) (sans excuse valide) pendant 3 heures de cette expérience, il/elle peut perdre jusqu'à 25% de la note totale du rapport, ou 8,75% de sa note finale.

## CALENDRIER

La session sera divisée en trois blocs et une expérience sera effectuée par bloc. Dans deux blocs, vous préparerez des rapports et dans un troisième bloc, vous présenterez un aspect de l'expérience (choisi par le professeur). Le calendrier suivant (pour l'hiver 2019) précise (en bleu) les dates auxquelles la présence des étudiant(e)s est obligatoire.

Date	Description	Date	Description
7 janvier	Plan du cours	8 janvier	Expérience #1
14 janvier	Expérience #1	15 janvier	Expérience #1
21 janvier	Expérience #1	22 janvier	Rédaction
28 janvier	Rédaction	29 janvier	Rédaction / Présentations
4 février	Expérience #2 et remise du rapport (bloc 1)	5 février	Expérience #2
11 février	Expérience #2	12 février	Expérience #2
18 février	Rédaction	19 février	Rédaction
Relâche et intras (25 février – 8 mars)			
11 mars	Rédaction	12 mars	Rédaction / Présentations
18 mars	Expérience #3 et remise du rapport (bloc 2)	19 mars	Expérience #3
25 mars	Expérience #3	26 mars	Expérience #3
1 avril	Rédaction	2 avril	Rédaction
8 avril	Rédaction	9 avril	Rédaction / Présentations
15 avril	Remise du rapport (bloc 3)		

## LES EXPÉRIENCES

Après consultation avec les étudiant(e)s, les expériences seront choisies parmi cette liste par le professeur et attribuées aux étudiant(e)s.

- Effet Hall quantique
- Inégalités de Bell
- Résonance magnétique nucléaire (RMN)
- Photoluminescence
- Supraconductivité
- Effet Mössbauer
- Spectroscopie Fourier
- Jonctions Josephson

## NOTE SUR LE PLAGIAT

Conformément à l'article 9 du Règlement des études de l'Université de Sherbrooke, le plagiat, soit le fait dans une activité évaluée de faire passer pour sien les idées et le travail d'autrui, est un délit académique qui peut être sanctionné par les autorités disciplinaires compétentes. Peuvent être imposées à titre de sanctions, l'une ou plusieurs des mesures suivantes :

1. la réprimande simple ou sévère consignée au dossier étudiant pour la période fixée par l'autorité disciplinaire ou, à défaut, définitivement. En cas de réprimande fixée pour une période déterminée, la décision rendue demeure au dossier de la personne aux seuls fins d'attester de l'existence du délit en cas de récidive;
2. l'obligation de reprendre une production ou une activité pédagogique, dont la note pourra être établie en tenant compte du délit survenu antérieurement;
3. la diminution de la note ou l'attribution de la note E ou 0;
4. le renvoi du dossier à la personne responsable de l'évaluation d'une production ou d'une activité pédagogique pour qu'elle attribue une nouvelle note en tenant compte du délit.

Par plagiat, on entend notamment :

- copier intégralement une phrase ou un passage d'un livre, d'un article de journal ou de revue, d'une page Web ou de tout autre document en omettant d'en mentionner la source ou de le mettre entre guillemets;

- reproduire des présentations, des dessins, des photographies, des graphiques, des données sans en préciser la provenance et, dans certains cas, sans en avoir obtenu la permission de reproduire;
- utiliser, en tout ou en partie, du matériel sonore, graphique ou visuel, des pages Internet, du code de programme informatique ou des éléments de logiciel, des données ou résultats d'expérimentation ou toute autre information en provenance d'autrui en le faisant passer pour sien ou sans en citer les sources;
- résumer ou paraphraser l'idée d'un auteur sans en indiquer la source;
- traduire en partie ou en totalité un texte en omettant d'en mentionner la source ou de le mettre entre guillemets;
- utiliser le travail d'un autre et le présenter comme sien (et ce, même si cette personne a donné son accord);
- acheter un travail sur le Web ou ailleurs et le faire passer pour sien;
- utiliser sans autorisation le même travail pour deux activités différentes (autoplégat).

## Directives pour la rédaction des rapports

### Notes importantes :

Il est important de bien répondre à toutes les questions du guide, mais les réponses doivent être incorporées dans le texte du rapport. Le but de ces questions est de vous guider dans la rédaction de votre rapport et une liste de réponses aux questions n'est pas admissible.

Il est possible que le (la) responsable de l'expérience vous demande d'inclure des démonstrations en annexe du rapport. Il se peut aussi qu'il (elle) vous demande de le faire seulement dans votre cahier de notes de laboratoire. Il est cependant important d'avoir effectué toutes les démonstrations dans le cadre de la préparation d'une expérience.

Assurez-vous d'utiliser des caractères 12 points (de préférence Times New Roman ou style similaire facile à lire). Vous pourrez aussi utiliser le gabarit de rapport de laboratoire LaTeX fourni spécifiquement pour ce cours. Nous vérifierons la source de vos informations, que ce soit de livres, d'articles de revues scientifiques ou d'Internet. Nous vous suggérons de vous méfier des informations récoltées sur Internet. Elles sont souvent mal adaptées pour votre rapport, et quelquefois elles sont même fausses. Les cas de plagiat (partiel ou total) seront punis suivant les règles de la Faculté des sciences (pouvant aller jusqu'à l'expulsion du programme). Toutes les informations obtenues de sources externes (*i.e.* livres, articles scientifiques, pages web) doivent être mentionnées de façon adéquate dans le rapport à l'aide de références bibliographiques. Si vous avez un doute sur la façon de faire, consultez le moniteur ou le professeur.

Nous suggérons que vos rapports contiennent entre 10 et 12 pages de texte sans compter les figures, tableaux et annexes. Le rapport sera noté sur les critères suivantes :

- Sommaire – 1 point
- Introduction – 2 points
- Théorie – 4 points
- Montage et Méthode expérimentale – 4 points
- Présentation des Résultats – 8 points
- Analyse des résultats – 8 points
- Conclusion – 1 point
- Annexes – 2 points
- Bibliographie – 1 point
- Style (structure, concision, clarté, orthographe et grammaire) – 4 points

### Sommaire

En un seul paragraphe, résumez le but de l'expérience, les résultats obtenus et les conclusions de votre analyse.

## Introduction

Présentez le sujet de l'expérience dans son cadre historique en donnant une idée de son impact dans le développement des connaissances (sujet amené). Décrivez ensuite les grandes lignes de ce qui a été fait par vous dans le cadre de ce TP (sujet posé) et ce qui sera présenté dans le rapport (sujet divisé). L'introduction devrait couvrir environ 1/2 page et ne devra pas dépasser 1 page.

## Théorie

En trois pages maximum, présentez les formules importantes pour l'expérience. Les formules doivent être expliquées physiquement et non juste données mathématiquement. L'explication doit faire le lien avec votre expérience et votre analyse. Par exemple, on expliquera lequel des paramètres de la formule est varié expérimentalement. À moins que cela ne soit spécifiquement demandé dans le cahier, aucune preuve ou démonstration n'est exigée. Dans le cas échéant, les démonstrations doivent être présentées en Annexes. Vous pouvez inclure certaines équations plus tard dans la section d'analyse si vous jugez qu'elles faciliteraient la lecture du rapport.

Cette partie du rapport ne devrait en aucun cas simplement répéter le texte du guide. Le guide est là pour vous préparer pour les manipulations. Nous avons intentionnellement omis plusieurs détails dans les guides pour vous forcer à consulter la bibliographie, et même faire un effort de recherche bibliographique. La recherche bibliographique devrait aussi vous permettre de répondre aux questions parsemées ici et là dans les guides. La majorité des réponses à ces questions doivent être incorporées dans le texte à l'endroit que vous jugerez approprié. Toutes les équations, figures et tableaux doivent être numérotés adéquatement de manière à pouvoir s'y référer dans la suite du texte. Ceci s'applique pour toutes les sections du rapport.

## Montage et méthode expérimentale

En à peu près deux pages, montrez le schéma du montage expérimental utilisé avec les spécifications pertinentes (appareils, limitations, particularités, etc.). Le montage doit être expliqué physiquement et mis en lien avec les objectifs. On doit absolument éviter de rédiger une recette de cuisine des manipulations, cela devrait plutôt se retrouver dans le cahier de laboratoire. Note: Les schémas des montages devraient être placés dans cette section (et non pas en annexes).

## Présentation des résultats

La présentation des résultats peut être une section indépendante ou peut être combinée avec l'analyse des résultats. Il ne faut pas présenter tous vos résultats dans le texte, mais seulement les courbes ou résultats les plus importants qui vous permettent de tirer des conclusions ou qui aident à décrire des phénomènes physiques. La présentation des résultats implique trois aspects :

- **Graphiques:** Les graphiques sont très souvent la partie la plus importante d'un article scientifique. Il faut que vos graphiques soient clairs, bien étiquetés et bien décrits dans la légende. Il faut utiliser des couleurs avec assez de contraste et choisir la taille des points pour ne pas cacher des anomalies. Il faut parfois décaler des courbes pour les rendre faciles à distinguer. Les unités doivent être présentes et les limites d'échelle bien choisies. Le choix d'échelle log ou linéaire est aussi important. Utilisez



vosre esprit de synthèse en combinant par exemple des courbes dans un même graphique pour montrer les différences ou similarités . On vous demande de présenter les graphiques que vous jugez les plus représentatifs de votre expérience. Ces graphiques seront insérés harmonieusement en occupant une fraction de la page, en demeurant toutefois lisibles.

- **Tableaux de valeurs:** On vous demande également d'inclure des tableaux présentant les résultats les plus importants de votre travail (constantes physiques, étalon de résistance, facteur de Landé, etc.), sans oublier les unités et incertitudes expérimentales. Ce n'est pas l'endroit pour présenter les longueurs des échantillons, ou le détail des mesures comme par exemple de longs tableaux de données. Concentrez votre présentation sur les résultats qui font état de la réussite de vos manipulations, par exemple un tableau comparant la constante physique mesurée avec la valeur acceptée.
- **Description qualitative:** Il est aussi important de décrire qualitativement les résultats obtenus dans le texte en se référant aux figures. Obtenez-vous des courbes croissantes ou décroissantes? Y a-t-il des anomalies importantes (des pics, des sauts, des plateaux, etc.)? Quelle est l'évolution des courbes ou anomalies en fonction de la température (ex. perte d'intensité, déplacement d'un pic, changement de résolution, etc.)?

### Analyse des résultats

C'est la section la plus importante du rapport. Elle devrait faire entre 3 et 5 pages. Les résultats doivent être discutés et analysés: est-ce que la valeur expérimentale correspond à la valeur théorique? Est-ce le comportement attendu d'après la théorie? Qu'est-ce qui pourrait avoir faussé les données? Qu'avez-vous fait pour corriger les lacunes? Comment avez-vous traité les données pour en tirer de l'information? etc.

L'analyse sert à démontrer que la théorie colle à l'expérience, et que les déviations par rapport à la théorie peuvent être expliquées (en général). C'est ici que les calculs d'incertitude deviennent importants. Ils permettent de voir s'il y a ou non lieu de s'inquiéter d'une déviation par rapport à la théorie. De plus, il peut arriver dans certaines expériences que vous ayez à trancher en faveur d'un régime (limite) de comportement physique. Par exemple, disons qu'il y a deux limites possibles dans le comportement attendu, les mesures vont vous permettre de dire laquelle est observée, et vous devrez tenter de dire pourquoi.

Comme pour la théorie, il faut éviter les affirmations gratuites. En fait, la majorité des notions physiques abordées dans l'analyse devrait avoir été introduite dans la section Théorie, ainsi que les possibles annexes théoriques. Cependant, il pourrait arriver que vous jugiez préférable de le mentionner uniquement dans l'analyse (un "punch"). Une affirmation sans justification immédiate devrait (en général) être soutenue au moins par une référence bibliographique.

### Conclusion

Le rôle de la conclusion est de revenir sur les aspects généraux de l'expérience. Il faut évidemment mentionner jusqu'à quel point vous avez réussi à reproduire les expériences précédentes. Quelles sont les sources de problèmes que vous auriez détectées durant les manipulations et qu'est-ce qui pourrait être fait pour améliorer la situation? On vous demande aussi de mentionner dans la conclusion les impacts (le plus souvent des applications actuelles ou passées) des fruits de la recherche dans ce domaine.

**Annexes**

- Théoriques: Ici, vous devez inclure les démonstrations demandées dans le guide et/ou par la personne en charge de l'expérience. En numérotant vos équations, vous pourrez y faire référence facilement à partir, en particulier, de la section théorie.
- Graphiques: Il faut inclure ici des graphiques qui ne sont pas absolument essentiels pour les conclusions de votre rapport. Vous pouvez inclure ici, par exemple, des démonstrations de calculs théoriques ou analyses en forme graphique et des données brutes.
- Tableaux: Vous pouvez inclure des tableaux détaillés, par exemple de valeurs non-essentiels ou de paramètres expérimentaux.
- Calculs: Ici, vous devez donner des explications ou des exemples de calculs pour la majorité de vos résultats. Un exemple type pour les calculs d'incertitude doit être donné.

**Bibliographie**

Vous devez indiquer toutes les références que vous avez utilisées pour le rapport.

## Directives pour les présentations

- Vous allez préparer des présentations de 15 minutes, suivies par 5 minutes de questions
- Il faut utiliser Powerpoint (ou un logiciel équivalent) et inclure des illustrations claires.
- Il faut inclure un plan au début de votre présentation.
- Il faut imaginer que vous expliquez votre partie de l'expérience à vos pairs (même si votre audience comprend exclusivement les responsables du cours).
- Vous allez présenter une partie du montage expérimental, des concepts théoriques, de vos résultats et de votre analyse des données. Les tâches spécifiques de chaque présentateur seront précisées par le professeur après la période d'expérimentation.
- Comme pour les rapports, l'emphase est sur les résultats et l'analyse, et non sur la théorie.
- Il faut adapter vos figures à une présentation. Il faut que la police soit assez grande, par exemple.
- Il est important de répéter vos présentations avant de les donner aux responsables du cours.

### Grille d'évaluation

Catégorie	Critères	Pondération
Introduction	- Plan est présenté - Résumé des objectifs du projet - Sujet est bien motivé	5%
Théorie	- Démontre une bonne compréhension - Explication claire et concise - équations essentielles à l'expérience (mais pas trop)	15%
Montage expérimental	- Bonne explication du fonctionnement de l'équipement - Illustrations essentielles	15%
Présentation des données	- Clarté des graphiques - Comparaison des courbes - Description qualitative des résultats	25%
Analyse	- Lissage de données - Comparaison avec la théorie ou la littérature	25%
Conclusions	- Résumé de l'expérience et des résultats les plus importants	5%
Communication orale	- énonce clairement, parle assez fort - Regarde son audience - Bon rythme	10%

# Répartition du travail pour les présentations

## Supraconductivité

### Présentation 1 :

- Introduisez brièvement et qualitativement les supraconducteurs conventionnels (BCS) et la propriété de résistivité nulle.
- Présentez la théorie du champ critique et du courant critique nécessaire pour comprendre vos résultats.
- Présentez le montage et procédure expérimentaux utilisés pour mesurer la résistivité et le courant critique.
- Présentez les résultats de courant critique et de résistivité.
- Extrayez la loi de puissance de la dépendance en température du courant critique près de  $T_C$  et comparez avec des données dans la littérature et avec la théorie Ginzburg-Landau.
- Quelle est la dépendance en température de la résistivité au-dessus de  $T_C$ ? Est-ce le résultat attendu pour un métal dominé par la diffusion? Comparez avec la résistivité de cuprates à différents dopages.

### Présentation 2 :

- Présentez l'effet Meissner.
- Présentez brièvement les supraconducteurs haut- $T_C$  (cuprates), leur diagramme de phase (en fonction du dopage) et leur nature non-conventionnelle.
- Présentez les mesures de susceptibilité magnétique en décrivant l'expérience, l'ajustement de la phase (et la raison pour le déphasage), les résultats obtenus et une analyse sommaire des résultats.
- Discutez de la forme des courbes obtenues. Une emphase devra être mise sur l'explication de l'origine des parties réelle et imaginaires de la susceptibilité. Comparez avec ce que l'on retrouve dans la littérature.

## Photoluminescence

### Présentation 1 :

- Présentez le montage expérimental que vous avez utilisé pour mesurer la photoluminescence des semi-conducteurs
- Décrivez le concept d'accepteurs et de donneurs dans les semi-conducteurs et leur impact sur vos spectres de photoluminescence (i.e. identifiez les différentes raies). Est-ce que les énergies de donneur et accepteur marchent avec la théorie simple décrite dans le protocole?
- Décrivez et tentez d'expliquer les changements d'intensités relatives entre les différentes raies en fonction de la température.
- Quel est l'effet dominant qui contribue à la perte d'intensité globale en augmentant la température?
- Décrivez et expliquez le comportement du gap en fonction de la température. Est-ce que ça colle avec la loi phénoménologique donnée dans le protocole? Donnez les deux raisons pour lesquelles le gap d'un semi-conducteur change en température et l'origine de la loi phénoménologique. Quelle est le facteur dominant pour le cas du GaAs?
- Références :
  - Ashcroft & Mermin
  - Solid State Communications 122, 575 (2002), en particulier les figures 5 et 6.

### Présentation 2 :

- Décrivez les techniques de croissance employées pour fabriquer les deux échantillons étudiés dans cette expérience. Décrivez en particulier les hétérostructures donnant lieu à des puits quantiques
- Présentez et décrivez vos données sur les puits quantiques, identifiant les différentes raies observées.
- Présentez la théorie et vos calculs des énergies de transitions dans les puits quantiques, incluant les effets de la masse effective, et des effets excitoniques.
- Comparez (graphiquement) vos données avec les calculs et commentez. Quelles sont les limitations possibles de vos calculs?

## Effet Mössbauer

### Présentation 1 :

- Expliquez l'origine de l'énergie Zeeman et son effet sur les niveaux d'énergie nucléaires.
- Expliquez les transitions attendues (entre les deux isomères de  $^{57}\text{Fe}$ ) et les règles de sélection.
- Expliquez la différence entre l'effet isomère et le déplacement Doppler deuxième ordre.
- Quel est le rôle du moteur et du contrôleur de moteur dans le montage expérimental?
- Décrivez le montage que vous avez employé pour étudier le Fe métallique à température élevée.
- Présentez vos données sur le fer métallique (aux deux températures) et votre analyse.
- Sans expliquer l'effet quadripolaire, dites-nous s'il est nécessaire pour comprendre les spectres de Fe métallique et pourquoi.
- Quelles différences sont provoquées par un changement de température? Quelle est l'origine probable de ces différences?

### Présentation 2 :

- Quel est l'importance de l'émission sans recul? Expliquez ce concept à l'aide d'équations.
- Expliquez l'origine de l'énergie quadripolaire, l'impact de la symétrie de la structure cristalline et son effet sur les spectres Mössbauer
- Détaillez la chaîne de désintégration de la source employée pour cette expérience
- Expliquez le rôle du compteur proportionnel et de l'analyseur.
- Présentez vos résultats sur le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , et l'analyse de ces données.
- Quels sont les paramètres de l'Hamiltonien nucléaire dans  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Qu'est-ce qui a changé entre le fer métallique et l'oxide de fer?
- Comparer l'intensité des raies avec la théorie (consultez les pages 1411-1412 dans le document *Mössbauer Spectroscopy* par Kuzmann, Homonnay, Nagy et Nomura, disponible sur le site Moodle).
- Présentez l'échantillon mystère et tenter de l'identifier. Justifiez votre réponse.

## Spectroscopie Fourier

### Présentation 1 :

- Présentez la théorie de vibrations et rotations dans des molécules linéaires. Décrivez les règles de sélection et les différentes branches de pics que l'on peut observer. Présentez des équations pour les énergies et les intensités des pics. Ne parlez pas de l'anharmonicité.
- Présentez un schéma simplifié du spectromètre et expliquez comment on obtient la transformée de Fourier d'un spectre.
- Présentez l'interférogramme de la référence (background) et nous expliquer qualitativement sa forme. Quelle serait la forme de l'interférogramme si l'on utilisait une source dont l'étendue en fréquence serait beaucoup plus faible?
- Présentez un spectre de référence (background) et identifier les 4 groupes de pics majeurs.
- Expliquez comment vous avez effectué les mesures d'absorption du HCl.
- Présentez le spectre du HCl et identifiez les pics d'absorption et les différentes branches.
- Présentez votre analyse des énergies et des intensités des pics (comparées avec la théorie).
- Comment est-ce que les isotopes de Cl modifient les spectres? Pourquoi?

### Présentation 2 :

- Sans dérivation, présentez le "modèle produit" pour un phonon que l'on utilise pour lisser les données. Quel est la signification de  $\omega_T$ ,  $\omega_L$  et  $\epsilon(\infty)$ .
- Sans dérivation mathématique, présentez les relations Kramers-Kronig et expliquez leur utilité.
- Montrez les relations entre  $\epsilon(\omega)$ ,  $r$ ,  $\phi$ ,  $R$ ,  $n$  et  $K$  et expliquez comment on les trouve à partir des données expérimentales.
- Expliquez le fonctionnement de l'interféromètre Michelson dans l'appareil.
- À l'aide d'un schéma, expliquez comment on modifie l'appareil pour faire une mesure de réflectance (au lieu d'absorption)?
- Présentez la réflectance,  $R(\omega)$ , de l'échantillon de SiC-4H et le lissage de  $R(\omega)$  avec le modèle produit.
- Présentez les résultats de l'analyse Kramers-Kronig et un lissage de  $\epsilon'(\omega)$  avec le modèle produit.
- Présentez la réflectance,  $R(\omega)$ , de l'échantillon de BN et le lissage de  $R(\omega)$  avec le modèle produit.
- Présentez les résultats de l'analyse Kramers-Kronig pour l'échantillon de BN.

## Effet Hall Quantique

### Présentation 1 :

- Présentez le montage utilisé pour mesurer l'effet Hall quantique. Quelles consignes faut-il suivre pour ne pas endommager la bobine supraconductrice?
- Expliquez la notion de niveaux de Landau et présentez la densité d'états en fonction du champ magnétique.
- Identifiez les nombres quantiques associés avec les pics de résistivité et attribuez des indices aux plateaux de Hall.
- Affichez vos données en fonction de  $1/B$  et trouvez les positions des pics en résistivité et des plateaux de Hall. À partir de ces valeurs, déterminez la densité de porteurs de votre échantillon.
- Déterminez la densité de porteurs avec l'effet Hall classique et comparez votre résultat à la méthode précédente.
- À partir de la résistivité longitudinale, déterminez la mobilité de l'échantillon.
- À votre avis, qu'est-ce qui contrôle le début des oscillations Shubnikov-de Haas, des excitations thermiques jusqu'au prochain niveau de Landau ou les collisions entre électrons? élaborez

### Présentation 2 :

- Présentez le montage utilisé pour mesurer l'effet Hall quantique. Quelles consignes faut-il suivre pour ne pas endommager la bobine supraconductrice?
- Expliquez la notion de niveaux de Landau.
- Expliquez le rôle de désordre pour la quantification de conductance et la formation de plateaux de Hall.
- Identifiez les plateaux de Hall que vous avez observés avec des indices  $i$  qui correspondent aux facteurs de remplissages.
- Tracez  $1/\rho_{xy}(i)$  et, à partir d'un lissage linéaire, déterminez le quantum de conductance.
- Comparez avec le résultat obtenu exclusivement avec le plateau le mieux défini (à fort champ).
- En présumant que le niveau de Fermi ne bouge pas, tentez d'identifier le facteur Landé,  $g_L$ .
- Quels sont les effets de la température et du courant appliqué sur les courbes de  $\rho_{xx}$  et  $\rho_{xy}$ ?



## Inégalités de Bell

### Présentation 1 :

- Expliquez les inégalités de Bell, telles que présentées par Alain Aspect (c'est-à-dire les inégalités BCHSH)
- Expliquez la matrice de densité (eq. 47) et, sans passez par tous les détails, comment obtenir l'équation 48 du protocole. Expliquez qualitativement les deux sources de bruits (coloré et blanc).
- Comment est-ce que l'on mesure un corrélateur
- Présentez sommairement le montage expérimental
- Expliquez le rôle de la lamelle de Quartz (à l'aide d'équations)
- Comment est-ce qu'on arrive à compter exclusivement des coïncidence?
- Présentez vos mesures de  $S(\alpha)$  et un lissage avec l'équation 48 du protocole.
- Faites varier les paramètre  $r$  et  $p$  pour montrer l'effet des deux types de bruit.
- Est-ce que la séparation entre les détecteurs est suffisante pour démontrer la non-localité de la mécanique quantique?

### Présentation 2 :

- Expliquez les inégalités de Bell, telles que présentées par Alain Aspect (c'est-à-dire les inégalités BCHSH)
- Expliquez la matrice de densité (eq. 47) et, sans passez par tous les détails, comment obtenir l'équation 48. Expliquez qualitativement les deux sources de bruits (coloré et blanc).
- Comment est-ce que l'on mesure un corrélateur
- Présentez sommairement le montage expérimental
- Expliquez le rôle et la configuration des cristaux de BBO (génération de deuxième harmonique, «phase matching»)
- Comment déterminer les incertitudes sur vos mesures? Quel est l'effet des coïncidences fortuites?
- Présentez vos mesures de  $N(\beta)$  pour  $\alpha$  fixe et une comparaison avec les théories quantiques et classiques.
- Présentez vos mesures de  $S(\alpha)$  et un lissage avec l'équation 48 du protocole.

## Jonctions Josephson

### Présentation 1 :

- Bref résumé des deux relations de Josephson
- Théorie de la relation Ambegoakar-Baratoff
- Théorie des marches de Shapiro
- Présentation du montage avec un accent sur notre façon de mesurer les marches de Shapiro
- évaluation du paramètre Stewart-McCumber (sans beaucoup parler de la théorie)
- Dépendance en température et fit avec la relation Ambegoakar-Baratoff
- Marches de Shapiro et analyse

### Présentation 2 :

- Bref résumé des deux relations de Josephson
- Théorie du modèle de planche à laver inclinée et paramètre de Stewart-McCumber
- Théorie de la dépendance en champ du SQUID. La théorie de la dépendance en champ du courant critique d'une jonction unique peut être présentée très superficiellement.
- Présentation du montage avec un accent sur la façon de mesurer la dépendance en champ et comment le montage change entre le SQUID et la jonction.
- évaluation du paramètre Stewart-McCumber, résistance de shunt et capacité à basse température
- Dépendance en champ du courant critique de la jonction
- Dépendance en champ de la tension du SQUID à différents courants