

Correcteurs : Marc Vincent¹ et Étienne Thibierge²

Montage présenté le jeudi 21 novembre 2013

Le présent compte-rendu a pour but de résumer et compléter la discussion qui a suivi la présentation du montage en classe. Bien entendu, il est partiel et partial, et n'est qu'un point de vue qui n'engage que ses auteurs. Rappelons que c'est vous qui présenterez les montages en fin d'année, et que c'est donc à vous de décider de ce que vous voulez en faire.

s'y rapportant (interférences, diffraction, laser) n'a pu la donner. Certains connaissent pourtant la définition des fonctions de corrélation et le théorème de Wiener-Kintchine. Dans tous les cas, le jury attend des approches quantitatives sur la mesure de la cohérence temporelle et de la cohérence spatiale d'une vibration lumineuse.

Extraits des rapports du jury

Je vous rappelle que le préambule du rapport de l'épreuve de montage s'attache à présenter en détails les attentes et exigences du jury. Vous êtes plus qu'encouragés à le lire.

Jusqu'en 2013, le montage s'intitulait « Interférences lumineuses, conditions d'obtention. » Il faut interpréter ce changement de titre comme une volonté d'élargir le spectre du montage plutôt que d'un renouvellement complet. Ne pas traiter de façon approfondie la notion de cohérence nous paraît donc risqué.

2013 : Trop de candidats ne font pas le rapport entre leurs connaissances théoriques sur les cohérences spatiale et temporelle, et leurs observations expérimentales. Il en résulte souvent des montages mal réglés ou mal utilisés. Pourtant ce montage peut fournir des résultats quantitatifs précis. Il est en particulier intéressant de se placer dans des cas limites où la cohérence spatiale ou la cohérence temporelle peuvent être étudiées indépendamment.

2012 : Les dispositifs d'interférences sont très divers. En choisir deux bien maîtrisés permet des présentations de qualité sur les cohérences spatiale et temporelle, et une analyse du lien entre les considérations théoriques et les observations expérimentales. Des montages bien réglés et bien utilisés fournissent des résultats quantitatifs précis si le candidat s'y prend bien. Il ne faut pas confondre les annulations périodiques de contraste obtenues avec un doublet (souvent le doublet jaune du sodium) et la teinte plate de fin de cohérence temporelle due à une trop grande différence de marche. Les battements de contraste donnent des informations sur l'écart des longueurs d'onde entre les deux raies du doublet, mais ne donnent pas d'information sur la longueur de cohérence de la source lumineuse.

1994 : Trop de candidats ne maîtrisent pas les notions de localisation ou de non-localisation des interférences lumineuses. Quant à la définition correcte de la cohérence spatiale et de l'échelle ou de l'aire de cohérence, aucun candidat ayant pourtant choisi un sujet

Commentaires généraux

Le montage présenté a été préparé avec sérieux. Malheureusement, il manque globalement de rigueur, tant dans la réalisation des expériences que dans l'expression. Le discours fait souvent de longs méandres et n'est pas assez percutant. Le résultat final est donc plutôt décevant.

Le montage doit suivre un fil conducteur, pédagogique, qu'il faut davantage mettre en avant. Il faut introduire *physiquement* chaque expérience en annonçant ce que l'on veut montrer : dire « on va mesurer la largeur critique de la fente » n'est pas une introduction suffisante. De même, chaque expérience doit être conclue par un message synthétique et clair, permettant une jolie transition vers l'expérience suivante.

Les expériences qui ont été présentées sont toutes pertinentes et bien choisies, et doivent permettre une bonne illustration de toutes les idées clés. Ce ne sont néanmoins pas les seules : le jury n'a pas de liste d'expériences attendues, ce qui compte est ce que vous faites des expériences que vous présentez. Rappelons qu'en règle générale, deux expériences quantitatives exploitées au maximum et de solides illustrations qualitatives par ailleurs permettent d'assurer une bonne note à l'épreuve.

La réalisation des expériences doit être beaucoup plus soignée. Comme toujours en optique, soyez vigilants à l'alignement du montage, à la qualité des images projetées sur les écrans, à la visibilité des signaux acquis par Caliens... Vous êtes attendus au tournant sur ces points.

Un regard critique est attendu sur les résultats. Si une expérience donne le triple du résultat attendu avec une incertitude de 10 %, il n'est pas possible de l'évacuer prestement sans avoir cherché l'origine de l'erreur (ici un facteur 2.9 oublié dans un calcul). En cas de résultat inattendu, il faut en prendre acte et se battre un minimum pour trouver l'origine du problème.

Enfin, le tableau doit contenir davantage d'informations. En particulier toutes les valeurs numériques utiles doivent être portées au tableau pour permettre au jury de vérifier les calculs. Le jour de l'oral, il est indispensable de prendre suffisamment de temps lors de la préparation pour préparer le tableau correctement.

1. marc.vincent@ac-lyon.fr

2. etienne.thibierge@ens-lyon.fr et <http://perso.ens-lyon.fr/etienne.thibierge>

Retour sur le montage présenté

Fentes d'Young

Remarques générales

Avant toute acquisition par Caliens, il faut montrer la figure d'interférences sur un écran.

L'horizontalité et l'alignement du montage doivent être plus soignées. L'argument « Caliens a un pied trop petit » ne tient pas, prendre dans ce cas un pied réglable en hauteur qui permet de monter davantage.

Le condenseur de la lampe QI doit suffire à obtenir un éclairage suffisamment convergent. En ajouter un deuxième au montage est maladroit.

L'utilisation de Caliens peut être améliorée. Il est généralement plus pratique de l'utiliser avec le logiciel installé sur les ordinateurs qu'avec un oscilloscope. Les signaux peuvent être plus facilement moyennés et donc moins bruités, et le logiciel fait directement la conversion entre temps et position sur la barrette. La taille d'un pixel étant de $14\ \mu\text{m}$, il est possible de rapprocher Caliens de la bifente : la figure d'interférences est certes plus petite, mais ce n'est pas gênant, et elle surtout plus lumineuse, ce qui permet d'améliorer le rapport signal sur bruit. En général pour cette expérience, placer Caliens à une trentaine de centimètres de la bifente permet d'obtenir de bons résultats.

Étude de la cohérence temporelle

Penser à relier l'observation introductive en lumière blanche aux mesures faites en lumière monochromatique. Une projection préalable aurait permis de mettre en évidence l'irisation des franges, et de l'interpréter à la lumière des résultats ultérieurs.

Attention au choix des filtres interférentiels : les meilleurs sont les plus récents, montés sur un support noir. Un filtre interférentiel a un sens d'utilisation, la face réfléchissante devant être dirigée vers la source. L'incertitude sur la longueur d'onde obtenue ne doit pas être mise au hasard, elle est reliée à la bande passante du filtre qui vaut typiquement $10\ \text{nm}$.

Avec un montage bien compact et des filtres de bonne qualité, cinq longueurs d'onde sont accessibles, ce qui permet de faire une exploitation plus convaincante qu'avec trois points.

Lors de la présentation d'une courbe, penser à présenter les grandeurs portées sur chaque axe ainsi que leur unité. Cela permet à l'auditoire de suivre facilement.

Étude de la cohérence spatiale

Il faut que le discours et les idées soient plus clairs sur la notion de cohérence spatiale. Cette dernière est caractérisée par un angle, pas par une largeur. Ainsi, en théorie, on peut toujours s'affranchir de l'incohérence spatiale de la source, il suffit de reculer cette dernière. Évidemment, ce n'est qu'une solution théorique : en pratique on perdrait toute la luminosité.

3. Pour le vérifier, régler l'interféromètre en coin d'air et mettre le moteur en marche. Si les franges tournent, c'est le signe que la direction de l'axe du coin d'air change à cause du moteur. Refaire la même expérience en chariotant à la main pour s'assurer que l'effet est dû au moteur et pas au chariotage.

Le choix de la fente calibrée n'est pas optimal. De nouvelles fentes ont été achetées, dont le vernier est plus précis et sans jeu. Une mesure au pied à coulisse permet de s'assurer de l'exactitude du vernier.

Interféromètre de Michelson

Remarques générales

L'interféromètre de Michelson était bien réglé et permettait d'observer des figures bien contrastées. Penser toutefois à vérifier au mètre que la projection se fait bien dans le plan focal image. En revanche, des zones d'ombres dues aux montures étaient visibles sur l'écran. Il est possible de les enlever en améliorant l'alignement de la lampe au mercure avec l'interféromètre. De façon générale, la qualité des figures en sortie d'un interféromètre de Michelson n'est pas due qu'à l'interféromètre, le dispositif d'éclairage joue aussi un grand rôle.

Par rapport au poly, seules les parties 3.1 et 3.2 ont pu être présentées, faute de temps. Le manque de temps a conduit à des expériences pas suffisamment soignées et exploitées, c'est dommage.

Localisation en lame d'air

Mise à part la qualité des figures, l'expérience était probante.

L'intérêt de la division d'amplitude doit être formulé plus clairement : un interféromètre à division d'amplitude permet d'observer des interférences bien contrastées avec une source « arbitrairement » étendue ; mais en contrepartie ces dernières ne sont observables que dans un certain domaine du champ d'interférences.

Mesure de la longueur de cohérence temporelle de la raie verte du mercure

La réalisation de l'expérience n'est pas du tout convaincante, car beaucoup trop approximative. Il est illusoire d'espérer obtenir un résultat quantitatif précis en repérant à l'œil le moment où « les anneaux sont assez brouillés ».

La méthode idéale pour réaliser cette expérience serait de relier la vis de chariotage au moteur. Malheureusement, la rotation de ce dernier induit un angle de coin d'air parasite qui fausse toutes les mesures³, sans parler de ses irrégularités. En résumé, obtenir un résultat précis avec nos interféromètres n'est pas possible.

Pour malgré tout obtenir des résultats quantitatifs, on peut observer la figure d'interférences à l'aide de Caliens et charioter à la main. Pour différentes positions du vernier x , mesurer à l'aide des curseurs de Caliens le contraste local,

$$\Gamma(x) = \frac{E_{\max}(x) - E_{\min}(x)}{E_{\max}(x) + E_{\min}(x)},$$

où $E_{\max}(x)$ et $E_{\min}(x)$ sont les éclairagements d'une frange brillante et d'une frange sombre successives observés pour

la position x du vernier. La distance caractéristique de décroissance de $\Gamma(x)$ correspond alors à la longueur de cohérence temporelle de la source.

Interférences en lumière polarisée

Cette expérience n'a pas été présentée. Contrairement à ce qui est écrit dans le poly, il vaut mieux réaliser l'expérience en coin d'air plutôt qu'en lame d'air, mais toujours avec une lampe spectrale. Les défauts des polariseurs affectent trop la planéité de la lame d'air pour que des interférences soient bien observables.

Une autre façon de réaliser l'expérience est d'utiliser la petite table optique rangée sous le nom « laser à gaz », qui permet d'insérer facilement des polariseurs sur le trajet du faisceau.

Conclusion

La conclusion doit être soignée, c'est la dernière impression qui est laissée au jury. Une fois encore, il faut reprendre les idées essentielles du montage, résumées de façon la plus claire possible.

Questions

Les questions suite à un montage portent quasi-exclusivement sur les protocoles expérimentaux et les mesures que vous avez réalisées. En particulier, vous devez maîtriser le fonctionnement des capteurs que vous utilisez.

Dans un tel montage, des questions sur le fonctionnement de Caliens vous seraient probablement posées. Pour y répondre sereinement, vous pouvez lire le paragraphe II.5.2 du Sextant, et vous devez aller consulter la notice de Caliens.

Le passage en coin d'air nécessite d'être au voisinage du contact optique pour des raisons de cohérence spatiale, et pas de cohérence temporelle. En effet, avec ou sans angle entre les miroirs, la différence de marche reste du même ordre de grandeur comparativement à la longueur de cohérence temporelle de la lampe spectrale. Si des interférences sont observables en lame d'air, ce n'est pas la cohérence temporelle qui pose problème pour en observer en coin d'air. Le problème vient de la cohérence

spatiale : en configuration coin d'air, la zone de localisation est une zone restreinte, située au voisinage de l'axe du coin d'air. Pour bien l'observer, il faut que l'axe du coin d'air soit situé sur les (vrais) miroirs, donc que l'interféromètre soit réglé au voisinage du contact optique. Ceci est relié au fait que la localisation est exacte à tous les ordres en lame d'air, alors qu'elle n'est qu'approchée à l'ordre 1 en coin d'air. On pourra consulter le H-Prépa d'optique ondulatoire à ce sujet.

Des questions peuvent être posées sur la précision de la construction et du réglage de l'interféromètre de Michelson⁴. Ces points sont abordés dans l'article de G. Fortunato, paru dans le BUP 795.

Si vous décidez d'utiliser l'interféromètre en lumière blanche, cela peut aussi donner lieu à des questions. Toute dissymétrie de couleur dans la figure d'interférences est due à un réglage imparfait du parallélisme entre séparatrice et compensatrice. La couleur de la frange centrale est un problème épineux : l'explication usuelle avec les déphasages aux réflexions vitreuses est à connaître (cf. Cap Prépa par exemple), mais c'est en réalité plus compliqué. Les lames séparatrices sont désormais fabriquées en superposant de très fines couches de diélectriques (dont l'épaisseur est contrôlée à l'atome près !), ce qui permet de contrôler le déphasage avec précision. À ma connaissance, tous les interféromètres disponibles à l'ENS donnent lieu à une frange centrale blanche.

Conclusion

Le montage présenté ne répond pas encore de façon satisfaisante aux attentes de l'agrégation. Les expériences sont bien choisies et constituent une bonne base de travail. En revanche il faut impérativement soigner leur réalisation, et faire des efforts pour tenir un discours clair pendant toute l'épreuve.

Malgré tout, insistons sur le fait que ce n'est ni grave ni inquiétant à cette période de l'année. Vous allez faire d'énormes progrès dans le temps qu'il vous reste d'ici aux oraux.

Si vous avez d'autres questions, nous restons à votre disposition par mail, en TP, ou dans de futures séances de correction.

4. Je parle d'expérience :)