

QUELQUES RÉFLEXIONS D'UN SPECTROSCOPISTE

par P. SWINGS

(Liège, Belgique)

SOMMAIRE. — *Les études spectroscopiques individuelles présentent une importance considérable. D'une part, il faut préparer les observations spectroscopiques en infra-rouge, ou l'ultra-violet lointain ; d'autre part, il faudrait approfondir nos connaissances spectroscopiques dans les domaines classiques, afin de permettre de résoudre en particulier les problèmes suivants : matière interstellaire, nébuleuses planétaires, étoiles symbiotiques, étoiles W, Of, Be, abondances relatives dans les étoiles de population II, abondances isotopiques dans les étoiles et les planètes, étoiles variables, etc....*

ABSTRACT. — *Individual spectroscopic studies are of great importance. Spectroscopic observations in the infra-red and for ultra-violet should be prepared and our knowledge of spectroscopic properties in classical fields should also be improved in order to find solutions to the following problems : interstellar matter, planetary nebulae, symbiotic stars, W, Of and Be stars, relative abundances in stars of population type II, isotopic abundances in stars and planets, variable stars, etc....*

Резюме. — Индивидуальные спектроскопические исследования представляют значительную важность. С одной стороны, нужно приготовить спектроскопические наблюдения в инфра-красном или в далеком ультра-фиолетовом участке спектра, с другой же, нужно было бы углубить наши спектроскопические знания в классических областях с целью позволить разрешить, в частности, следующие проблемы : межзвездная материя, планетарные туманности, симбиотические звезды, звезды W, Of, Be относительные избытки в звездах населения II, изотопные избытки в звездах и планетах, переменные звезды, и т. д.

Dans les années récentes, il semble que les études spectroscopiques détaillées d'objets célestes aient perdu quelque peu de leur attrait, au profit des travaux photométriques précis, de la radio-astronomie et des recherches semi-théoriques introduisant la physique nucléaire, ou d'autres considérations toutes récentes, comme la physique des plasmas, la magnétohydrodynamique et les ondes de choc. En Astrophysique, comme en tout, il y a des fluctuations d'intérêt, des espèces de mode et c'est, d'ailleurs, très bien ainsi.

Mon propos est, cependant, d'insister, particulièrement auprès des jeunes, sur l'importance considérable que continuent à présenter les études spectroscopiques individuelles ; d'attirer l'attention sur le grand nombre de questions spectroscopiques essentielles restant incomplètes ou même énigmatiques ; et de rappeler que les progrès dans la connaissance de notre galaxie et des autres galaxies et dans notre compréhension de la nature et de l'évolution des astres sont conditionnés, pour une large part, par les progrès des études spectroscopiques individuelles. En fait, nous ne serions guère allés très loin dans nos conceptions sur l'évolution stellaire sans les

patientes et admirables recherches spectroscopiques détaillées, effectuées aux Observatoires du Mont Wilson, Palomar, McDonald, Lick, Victoria, Haute-Provence, etc. ..

Certes, le spectroscopiste ne peut être conservateur : il doit s'inspirer des progrès techniques aussi bien que des nouvelles conceptions théoriques. Alors que commence l'activité du plus grand télescope d'Europe, le spectroscopiste doit, d'abord, émettre le vœu que soit élargi le domaine spectral qu'il peut couvrir, que soit accélérée l'obtention des documents d'observation et que soit accrue la sensibilité des récepteurs.

Il faut préparer les possibilités d'observation spectroscopique dans la région de 1 à 15 microns. Certes, dans le domaine infra-rouge, on doit commencer par la photométrie, et un excellent départ a été pris dans cette voie, de même que dans la spectroscopie à très faible résolution. Mais il faudra, un jour, parvenir à la vraie spectroscopie infra-rouge, à haute résolution, des étoiles, nébuleuses, planètes, comètes, etc.... Certains spectroscopistes désireux de savoir ce qui se passe dans l'infra-rouge astronomique avaient fondé de grands espoirs sur la technique évaporographique de CZERNY ; je ne connais guère encore d'application astronomique de la méthode. Sans doute, devra-t-on continuer à passer par les enregistrements au moyen de récepteurs sensibles à l'infra-rouge ? Grâce aux considérables progrès récents ou en cours des appareils dispersifs infra-rouges, tels que le SISAM, ou ceux qui sont basés sur le FABRY-PEROT, nous pouvons espérer que des instruments de conception nouvelle couplés à des récepteurs de sensibilité continuellement accrue nous permettront d'obtenir des spectres infra-rouges astronomiques à résolution suffisante.

Nous sommes tous impatients aussi de connaître l'autre extrémité du spectre. Grâce aux fusées, nous commençons à bien connaître le spectre ultraviolet lointain du soleil. Nous pouvons imaginer l'intérêt prodigieux que présenteraient les spectres ultraviolets de nombreux astres : il ne paraît pas déraisonnable d'espérer que de grands progrès seront bientôt effectués dans cette voie grâce aux satellites artificiels.

Certes, l'absorption dans les raies et les continua interstellaires de l'hydrogène (série et continuum de Lyman) et de l'hélium (série principale de singulets et continuum commençant près de λ 500 Å) limitera les possibilités d'observation ultraviolette d'astres chauds éloignés. Pour se faire une idée qualitative de l'intensité de la raie interstellaire Lyman α , il suffit de penser aux abondances relatives de l'hydrogène et du calcium et à l'intensité des raies interstellaires H et K dans les astres éloignés.

En revanche, les nouvelles raies interstellaires, notamment celles de Lyman fourniront, en particulier sur les nuages proches du soleil, des informations sensationnelles. On imagine facilement aussi l'intérêt de l'observation des raies de réso-

nance nombreuses qui apparaîtront dans l'absorption interstellaire ultraviolette. On trouvera, entre autres, les raies de résonance des atomes neutres et ionisés de C, N et O.

Dans un avenir raisonnablement rapproché, le spectroscopiste peut aussi espérer disposer commodément de deux outils très précieux : la photographie électronique et l'enregistrement photoélectrique direct des spectres. Comme l'ont montré les admirables travaux de M. LALLEMAND et d'autres chercheurs, la première technique peut multiplier de façon formidable les possibilités d'un télescope. La deuxième permet de se libérer des servitudes de l'émulsion photographique. Toutes deux arrivent à leur heure : nous désirons obtenir les spectres d'objets très faibles et il nous faut, dans de nombreux cas, arriver à une spectrophotométrie plus précise et plus rapide que ne le permet la méthode photographique.

Quoique je sois un optimiste, les considérations qui suivent ne concernent que des sujets que l'on peut traiter maintenant avec les instruments tels qu'ils existent à présent, en y comprenant toutefois la photographie électronique.

Je ne m'occuperai ici que d'objets de notre galaxie, quoique, comme spectroscopiste intéressé particulièrement aux phénomènes anormaux, certaines questions physiques relatives à des galaxies spéciales me paraissent prodigieusement intéressantes. Je pense, par exemple, aux galaxies à larges raies d'émission. Nous n'avons encore qu'une idée bien vague de la physique de ces galaxies, malgré leur intérêt intrinsèque autant que leur importance pour les radio-sources. Quelle est la cause réelle de l'élargissement des raies ? Quelles sont les conditions physiques régnant au sein de ces astres ? Le rapport de B. A. VORONTSOV-VELYAMINOV sur ce sujet au Colloque de Liège de 1957 pullule de points d'interrogation.

Notre connaissance de la matière interstellaire galactique ferait un réel progrès si nous connaissions l'origine des raies interstellaires diffuses (bandes) d'absorption. Un premier pas observationnel, en vue de cette identification, serait la comparaison des profils, tracés avec une précision plus grande que jusqu'ici, dans un nombre suffisant d'étoiles à fort rougissement : peut-être pourrait-on même arriver ainsi à des groupements des bandes, au cas où celles-ci ne seraient pas toutes produites dans les mêmes conditions. Quelques profils précis à très haute résolution seraient aussi souhaitables.

Quel est le stade évolutif réel des structures temporaires à vie courte que sont les nébuleuses planétaires ; quelle est l'origine de ces objets ? Pour arriver à s'en faire une idée convaincante, il faudra procéder à une étude bien plus complète des nébuleuses planétaires et de leurs noyaux. Pourquoi trouve-t-on, à côté de noyaux WC purs entourés d'une nébuleuse riche en azote, d'autres noyaux WCN avec nébulosité dépourvue de ou riche en azote ? Certes, il faudra développer le stade difficile et à peine entamé de l'étude quantitative des abondances dans le noyau et la nébulosité, sur la base d'enregistrements directs ou de clichés bien calibrés photométriquement.

quement. Mais, même au préalable, il est désirable de reprendre toutes les nébuleuses planétaires suffisamment brillantes et insuffisamment étudiées jusqu'ici (il y en a plusieurs dizaines !), rechercher si l'azote ([N II]) est présent dans la nébulosité et trouver les émissions ou absorptions discrètes dans le spectre du noyau. On parle souvent de noyau à spectre parfaitement continu. Mais, chaque fois qu'on a observé un tel noyau avec une résolution suffisante et un domaine spectral assez large, on y a trouvé des émissions ou absorptions discrètes. Au fait, pourquoi les noyaux constitueraient-ils des astres à part, pouvant avoir un spectre parfaitement continu, alors que des étoiles sans nébulosité présentent toujours des absorptions ou émissions discrètes ? Les relations physiques entre les noyaux et nébulosités sont encore bien vagues ; l'aide du spectroscopiste est absolument nécessaire. Quarante ans ont passé depuis les travaux de pionnier de WRIGHT sur les spectres des nébuleuses planétaires ; des variations spectrales peuvent être découvertes dans ces objets à vie courte et, en fait, une variation remarquable des intensités relatives de $\lambda 4363$ et $N_1 - N_2$, c'est-à-dire de la densité électronique, a été observée par ALLER et LILLER dans IC 4997.

Les astres monstrueux que sont les étoiles symbiotiques sont, peut-être, en relation étroite avec les nébuleuses planétaires, à moins qu'ils ne soient des géants M à un stade particulier d'évolution. Au fait, y a-t-il, parmi elles, seulement des binaires ou bien certaines sont-elles des étoiles uniques dans un stade très spécial ? Là aussi, il faut encore beaucoup de travail spectroscopique. Malgré la présence du spectre avancé, nécessairement intense dans l'infrarouge, l'extension des observations spectroscopiques jusque $\lambda 9000$ se révèle utile, comme vient de le montrer l'étude de BF Cygni faite, pourtant, avec une dispersion trop faible. Peut-être trouvera-t-on dans la région rouge et infrarouge, des renseignements qui fourniront, un jour, l'interprétation des symbiotiques ? Et tout cas, on y décèlera de nouvelles émissions interdites et permises ; on pourra y comparer les raies de OI qui peuvent être excitées par absorption de Lyman β (mécanisme de fluorescence) avec celles qui sont dues à la recombinaison, ainsi qu'avec les transitions interdites.

Nous allons maintenant considérer successivement quelques types spectraux à partir des étoiles de WOLF-RAYET. Il reste encore une incertitude très (trop) grande sur les magnitudes absolues des étoiles W et Of. D'ailleurs, les étoiles W sont-elles toutes doubles ? Certains astrophysiciens théoriciens considèrent comme certain, le caractère double des étoiles W, mais ceci n'a pas été prouvé réellement par les observations. Quel est leur stade évolutif exact ? Nous avons besoin de travaux plus précis et plus complets sur les profils et la spectrophotométrie. En particulier, les travaux spectrophotométriques effectués sur le continuum des étoiles W ne peuvent pas être considérés comme entièrement convaincants, par suite de l'effet des nombreuses émissions discrètes. Comme pour la plupart des autres types spectraux une extension vers l'infra-rouge (en attendant l'ultraviolet lointain,

souhaité encore plus vivement !) s'est déjà révélée très profitable, mais n'a pourtant été qu'effleurée à faible dispersion. Les émissions des étoiles Of sont encore mal expliquées ; là aussi il faut étendre le domaine spectral, comparer les séries de Paschen et de Balmer, étudier le comportement relatif de raies excitables par fluorescence ou autrement. Une précision plus grande est requise dans la détermination des profils et intensités des raies d'absorption et d'émission, en vue d'une discussion fructueuse des variations très lentes et très rapides de ces profils et intensités : la question controversée des variations doit absolument être liquidée.

Il faut étudier, dans le rouge et le proche infra-rouge, les étoiles Be à raies d'émission de métaux. On peut, en effet, être sûr d'y découvrir de nouvelles transitions interdites, notamment de [Fe II], [Ni II], [Cr II], etc..., peut-être aussi de [Fe I]. D'ailleurs, l'examen du comportement des raies infra-rouges de OI y serait du plus haut intérêt. Comme un des deux multiplets infra-rouges de OI (λ 8 446) est excitable par fluorescence (absorption de Lyman β), alors que l'autre (λ 7 774) ne l'est pas, l'atome neutre d'oxygène pourrait jouer, pour les enveloppes d'étoiles B ou A, le même rôle que l'atome O^{++} dans les enveloppes d'étoiles plus chaudes (effet Bowen ; absorption de la raie de résonance de HeII par O^{++}) ou dans les nébuleuses. Il y a, d'ailleurs, bien d'autres problèmes sur les étoiles Be à traiter à haute dispersion : meilleurs profils et intensités, comparaison de décréments (Paschen et Balmer ; Hélium), variations temporelles ; nous sommes encore loin de comprendre convenablement les phénomènes des étoiles chaudes à enveloppe et, ce qui nous manque le plus, ce sont des observations quantitatives précises.

Il y a lieu d'étudier, avec tous les raffinements photométriques (enregistrement photoélectrique direct dès que réalisable) et théoriques possibles, les abondances relatives des éléments dans les étoiles anormales chaudes, notamment les cas extrêmes de population II. Mais, en fait, il serait fort utile aussi de continuer et raffiner encore les études à haute dispersion des étoiles brillantes O, B, A et F normales. Les spectres à haute dispersion devraient couvrir notamment le domaine visible et proche infra-rouge ; en plus de l'intérêt des identifications qualitatives dans ces régions insuffisamment ou pas du tout connues, on conçoit l'importance de l'étude d'éléments comme OI et NI, particulièrement caractéristiques de la région λ 7 000 — λ 9 000. Les étoiles riches en terres rares pourront bientôt être réétudiées à haute dispersion avec grand profit, étant donné les efforts des spectroscopistes de laboratoire pour obtenir et classer les spectres des terres rares à différents étages d'ionisation. L'ultraviolet proche permettrait l'étude de certaines terres rares doublement ionisées des étoiles en question ; le rouge et l'infra-rouge fourniraient, peut-être, d'intéressants résultats sur certaines terres rares non ionisées. Les abondances relatives des diverses terres rares présenteraient de l'intérêt en rapport avec les processus nucléaires de formation des éléments assez lourds. A ce stade, on est logiquement amené à penser particulièrement aussi aux étoiles riches en hélium, comme

Upsilon Sagittarii : il y a là, pour le spectroscopiste, une moisson de renseignements à recueillir à l'intention des théoriciens.

Le vaste champ des abondances isotopiques est, à peine, effleuré. On ne peut guère dire que les déterminations des abondances relatives de C^{13} et C^{12} dans les étoiles des types G à C, sur la base des bandes de C_2 et de CN, soient plus que des estimations, souvent assez grossières. On connaît les difficultés soulevées récemment par A. A. WYLLER ! On ne sait rien de l'effet isotopique dans les bandes de MERRILL-SANFORD des étoiles C très froides ; ces bandes, sans doutes dues à SiC_2 , observées dans des étoiles riches en C^{13} , devraient manifester des effets isotopiques par comparaison avec les bandes de laboratoire, mais on n'en connaît encore rien. A haute dispersion, on devrait aussi pouvoir déterminer mieux qu'on ne l'a fait jusqu'ici, les abondances relatives des isotopes de Ti, Zr, La et V grâce aux bandes de TiO, ZrO, LaO et VO dans des étoiles très différentes comme des M et S. Ces abondances comparées entre elles et aux abondances terrestres fourniraient de précieuses informations sur les réactions nucléaires et le stade évolutif, peut-être aussi sur les phénomènes de brassage.

L'immense domaine des étoiles variables attend encore les contributions de nombreux spectroscopistes. Certes, on a une idée, souvent assez bonne, de la localisation des divers types de variables dans le diagramme de HERTZSPRUNG-RUSSELL et, au moins dans certains cas, on commence à avoir une idée de leur structure physique. On peut associer certains types spécifiques de variation à des étapes définies de l'évolution et estimer ainsi certains âges et durées. Partant des étoiles jeunes T Tauri de population I, on peut parcourir les types de variabilité jusqu'aux très vieilles novae de population II, en passant par les variables rouges irrégulières de vieille population I, les étoiles RV Tauri et W Virginis de population II. On peut aussi classer les variables associées aux amas. Mais les études basées sur les courbes de lumière et sur les spectres à faible dispersion ne peuvent fournir qu'une image assez grossière des structures et phénomènes physiques. Prenons, par exemple, parmi la population I, les étoiles du type R Coronae Borealis. D'abord, on n'a jamais étudié spectroscopiquement — et encore, de façon insuffisante — que le prototype, RCB r elle-même. En fait, quelles sont les relations des étoiles du type RCB r avec les autres variables et, surtout, avec les nébuleuses planétaires ? Pour progresser, il faudrait réaliser un programme d'études spectroscopiques avec mesures précises de vitesses radiales et déterminations d'intensité de bandes moléculaires et raies atomiques ; il faudrait couvrir, autant que possible, les phases proches du minimum. Prenons même le cas des céphéides. On ne peut certainement pas se considérer satisfait des études à haute dispersion des céphéides typiques de population I ; par exemple, on souhaiterait posséder de nouvelles mesures précises de vitesses radiales, à de nombreuses phases, de raies d'atomes différents, neutres et ionisés, à divers potentiels d'excitation. Quant aux céphéides de population II, on

n'en connaît que bien peu de chose ; un exemple particulièrement intéressant est la céphéide carbonée RU Camelopardalis.

Les étoiles du type T Tauri, qui sont très probablement d'origine récente sont déjà assez bien connues ; elles ont fait l'objet de fort belles recherches spectroscopiques ; celles-ci devraient être continuées, porter sur un domaine spectral plus vaste (du côté de l'ultraviolet aussi bien que vers le rouge) ; les effets de polarisation devraient être mieux connus.

Le voisinage du minimum des variables à longue période est encore mal connu. Les spectroscopistes y recueilleront sûrement des documents importants, surtout dans l'ultraviolet (détection aisée des émissions) et dans l'infra-rouge (comportement de OI, NI, CaII ; détection possible de nouvelles bandes d'absorption).

En fait, quel que soit le type de variabilité, il reste énormément de travail spectroscopique à faire, surtout à dispersion assez élevée. On peut penser, par exemple, à des déterminations précises des variations de vitesse radiale et d'intensité des raies atomiques et des bandes moléculaires dans les variables irrégulières, surtout les étoiles carbonées où les bandes moléculaires pourraient fournir tant de données précieuses, notamment pour les déterminations de température. Est-il besoin de dire que toute nova restera toujours la bienvenue pour le spectroscopiste disposant de dispersions élevées ; les privilégiés à même de couvrir les domaines ultraviolet et infra-rouge devraient accorder une priorité aux observations dans ces domaines. *A fortiori*, les supernovae que nous connaissons encore si mal constitueront encore, pendant longtemps, des objets de priorité absolue pour les spectroscopistes ayant un grand télescope à leur disposition.

Ces suggestions relatives aux étoiles ou nébuleuses ont, certainement, fait l'objet des réflexions de maints astrophysiciens. Certains programmes suggérés ici, sont probablement à l'étude ou en préparation dans l'un ou l'autre observatoire. Ce ne sont, d'ailleurs, que des exemples. Il n'est pas possible d'examiner soigneusement l'état de nos connaissances sur un type spectral quelconque ou sur une quelconque classe de variable, sans qu'apparaissent, bien vite, de graves lacunes dues au manque d'informations spectroscopiques à haute dispersion ou couvrant un domaine spectral plus large ou s'étendant à des brillances plus faibles ou présentant une précision plus grande. Ces lacunes sont particulièrement marquées en ce qui concerne l'étude des bandes moléculaires et des raies interdites.

Par souci d'impartialité vis-à-vis du système solaire, je voudrais encore dire que, là aussi, il y a beaucoup de travail pour le spectroscopiste disposant d'un grand télescope. Quelles sont les abondances isotopiques dans les autres planètes ; par exemple quelle est l'abondance de C^{13} dans Vénus (riche en CO_2) et Jupiter (riche en CH_4) ? Y a-t-il des radicaux libres dans les planètes, par exemple du NH_2 dans les grosses planètes riches en ammoniac ? Pour les comètes à grande distance du soleil, il faudrait faire, avec soin, la spectrophotométrie du continuum et la mesure de la

variation de polarisation avec la longueur d'onde, afin de déterminer la nature et les dimensions des particules solides diffusant le rayonnement solaire. Lorsque apparaîtra encore une comète brillante, il faudra obtenir le spectre de la queue avec fente, surtout dans l'ultraviolet et le rouge ; couvrir mieux, à haute dispersion, la région ultraviolette et infra-rouge du spectre de la tête ; faire de bonnes mesures spectrophotométriques conduisant à la connaissance des abondances moléculaires dans la tête et la queue.

Pour le système solaire, comme pour les étoiles, je n'ai fait que citer quelques exemples auxquels, certainement, de nombreux collègues auront aussi pensé. Il existe une foule d'autres problèmes concernant le système solaire, attendant les efforts des spectroscopistes.

Quoique j'aie tant insisté sur les problèmes spectroscopiques, je souhaite qu'on ne se méprenne pas sur mes intentions ! La spectroscopie n'est qu'un outil ; les informations qu'elle nous fournit s'ajoutent à celles que donnent la photométrie et les autres techniques. Pour faire progresser réellement notre compréhension des étoiles symbiotiques, par exemple, il faudrait posséder, en plus des spectres, de bonnes courbes de lumière monochromatiques, par exemple dans H_α , les raies interdites N_1 - N_2 et la « composante » froide. On imagine facilement aussi l'intérêt que présenteraient pour l'évolution des étoiles à enveloppes, des courbes de variation d'intensité totale de H_α dans quelques étoiles Be ou Of, de λ 4 686 He II, dans des étoiles Of, etc.... M. STRUVE a insisté sur le fait qu'il doit rester dans l'hémisphère Nord, beaucoup de variables du type β Canis Majoris à découvrir, et cela assez facilement, parmi les étoiles Bo-B2, plus faibles que la magnitude apparente 6. Un télescope assez modeste, équipé d'un photomètre photoélectrique précis, permettrait de trouver maintes nouvelles variables de ce type ; ces étoiles pourraient alors être étudiées spectroscopiquement au moyen d'un grand télescope. Or, chaque fois qu'une nouvelle étoile variable β CMa a été étudiée, de nouvelles informations intéressantes sont apparues en ce qui concerne la nature de ces étoiles complexes. De nouvelles données seraient encore fort bienvenues. Inutile, sans doute, d'insister sur la pauvreté de notre connaissance des étoiles australes dans ce domaine !

Nos collègues français, possédant à présent un grand télescope muni d'excellents spectrographes et auquel seront adaptés les remarquables procédés électroniques de M. LALLEMAND, apporteront sûrement d'importantes contributions aux problèmes spectroscopiques soulevés ici ou à de semblables. Même avec les moyens assez modestes qui étaient, jusqu'ici, à leur disposition, les astrophysiciens français ont, au cours des années récentes, effectué des travaux spectroscopiques fort intéressants, introduisant souvent des conceptions théoriques ou pratiques nouvelles. On peut être sûr que de nombreuses découvertes spectroscopiques importantes vont nous arriver de l'Observatoire de Haute-Provence.

Discussion

PECKER. — 1. Un exemple de « mystère » non résolu est celui de l'abondance du carbone, même dans le cas solaire : un facteur de l'ordre de 100 sépare les valeurs faibles déduites des raies atomiques (UNSOLD) des valeurs fortes déduites des raies moléculaires (CH ou C²) qui conduisent au rapport C/H = 10⁻².

2) Le « goulot d'étranglement » des recherches spectroscopiques n'est pas au niveau du spectrographe, mais surtout à celui du dépouillement. Il faudrait mécaniser, introduire une « cybernétique du dépouillement » et pouvoir sortir du spectrographe, directement et en sus des données classiques, des cartes perforées directement utilisables. Il faudrait préparer des programmes d'exploitation rapide, sur machine, de ces cartes.

SWINGS. — 1) Le problème de l'abondance du carbone dans le soleil est complexe. Les raies atomiques d'absorption proviennent de niveaux assez élevés. Quant aux déterminations d'abondances basées sur les bandes moléculaires, elles souffrent de l'indécision considérable au sujet des valeurs des probabilités absolues de transition des raies moléculaires individuelles. De plus, il y a, peut-être, des effets de « stratification ».

2) Ceci est correct, mais bien difficile. Avant tout, il faut des longueurs d'onde et des intensités aussi précises que possible ; autrement dit, il faut que la résolution et la dispersion soient aussi élevées que possible et que la photométrie soit bonne.

SEATON. — Je voudrais souligner les possibilités d'études quantitatives des mécanismes de fluorescence. Pour le mécanisme de Bowen (absorption de He II Ly α par O III), on a une probabilité de 1.7 %, pour la conversion en raies de fluorescence après chaque absorption. Mais, pour une nébuleuse planétaire (NGC 7 027) on trouve que 30 % des photons de He II Ly α sont convertis en photons de O III. La densité optique au centre de la raie d'absorption est de l'ordre de $\tau \sim 10^3$. On peut voir facilement que l'efficacité du processus de fluorescence serait beaucoup plus grande que 30 % si la raie He II Ly α n'était pas très large. Ces chiffres donnent la possibilité d'avoir une méthode utile de vérification des théories de transfert des raies de résonance.