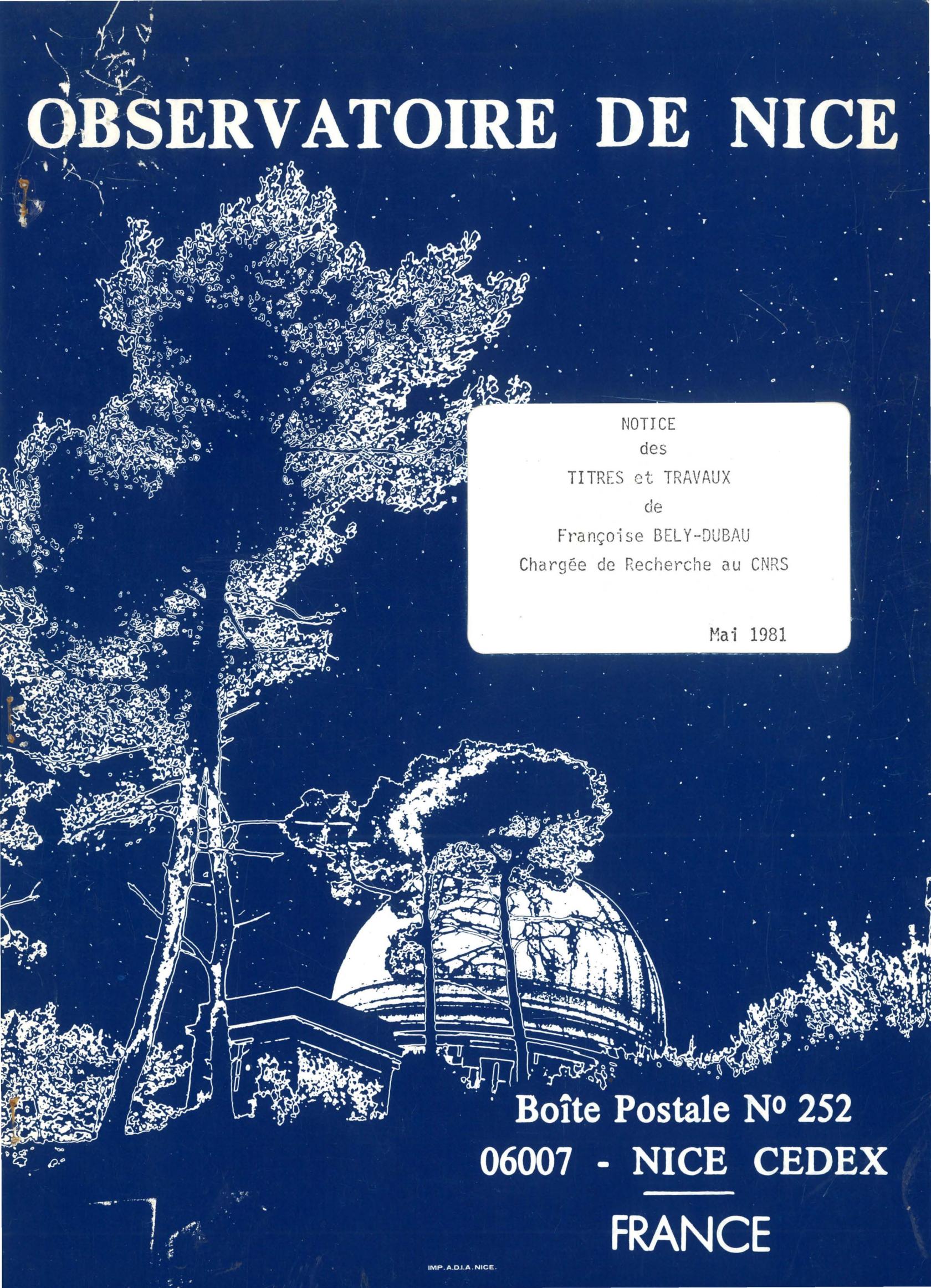


OBSERVATOIRE DE NICE



NOTICE
des
TITRES et TRAVAUX
de
Françoise BELY-DUBAU
Chargée de Recherche au CNRS

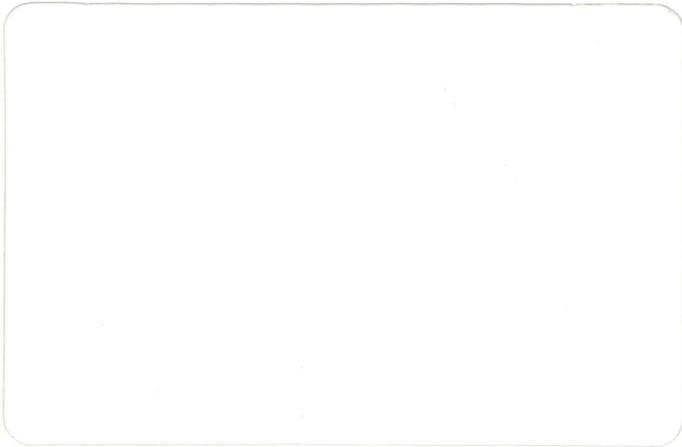
Mai 1981

Boîte Postale N° 252
06007 - NICE CEDEX
FRANCE

OCA-MI-011100



Cote W 248
(usuel exclu du prêt)





NOTICE
des
TITRES et TRAVAUX
de
Françoise BELY-DUBAU
Chargée de Recherche au CNRS

Mai 1981

CURRICULUM VITAE

B E L Y - D U B A U FRANCOISE

Née le 31 août 1938 à PARIS, XVIe

Divorcée, 2 enfants

Nationalité Française

Adresse : BENDEJUN, 06390 CONTES

Titres universitaires.

Université de PARIS

| | |
|--|---------------|
| Baccalauréat Mathématiques | 1957 |
| Mathématiques Générales | 1958 |
| Licence es Sciences | 1961 |
| D.E.A. d'Astrophysique | 1962 |
| Doctórat de 3e Cycle, mention Très Honorable | décembre 1964 |

Université de NICE

| | |
|---------------------------------------|------|
| Doctórat d'Etat es Sciences Physiques | |
| mention Très Honorable - juin | 1972 |

| | |
|-----------------|--------------|
| Bourse C.N.E.S. | octobre 1963 |
| Bourse N.A.S.A. | octobre 1965 |
| Bourse C.N.E.S. | octobre 1966 |

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Attachée de Recherche C.N.R.S. | octobre 1968 |
| Chargée de Recherche C.N.R.S. | octobre 1974 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Inscription sur la liste d'aptitude | |
| aux fonctions d'Astronome-Adjoint | juin 1972 |

ACTIVITE de RECHERCHE

I Abondance du Manganèse dans les étoiles G.

C'est sur un sujet d'Astrophysique classique que j'ai commencé à faire de la recherche, sous la direction de R. CAYREL à l'Observatoire de Meudon. Ce travail qui a constitué ma thèse de 3e Cycle passée en fin 1964 (1) a permis de réduire l'anomalie d'abondance trouvée par Wallerstein pour le manganèse dans les étoiles G au voisinage du Soleil en introduisant la structure hyperfine des raies utilisées dans le calcul des courbes de croissance.

II Etude théorique de la structure des atomes complexes d'intérêt astrophysique.

1. Etude des raies interdites du Fe XIII.

Ayant suivi les cours de D.E.A. de Physique Théorique sous la direction de R. DAUDEL, j'intégrais alors le groupe de Physique Atomique de H. VAN REGEMORTER à l'Observatoire de Meudon. Sous la direction d'O. BELY et avec VO KY LAN, nous nous sommes intéressés à l'étude des raies interdites du Fe XIII. Ces raies dues à des transitions à l'intérieur de la configuration fondamentale $3p^2$, sont observées dans la couronne et les nébuleuses planétaires, et leur rapport d'intensité fournit un excellent diagnostic de la température et de la densité électroniques du milieu émissif. A cette époque, l'utilisation de plus en plus importante des ordinateurs dans la physique atomique a permis l'emploi de méthodes de calcul plus élaborées pour résoudre les problèmes qui se posaient. C'est ainsi que, en ce qui concerne le Fe XIII, nous avons pu calculer les sections de choc entre les niveaux considérés d'abord sans échange possible entre l'électron collisionnel et un des électrons de l'ion puis avec échange (2, 3, 4). Puis, nous avons étendu cette étude au Fe XVII en incluant plusieurs configurations ce qui a permis d'éliminer certains désaccords entre les observations et la théorie (5).

2. Elaboration d'un programme de calcul de structure atomique d'ions complexes.

a) Intérêt d'un tel programme.

Les premiers paramètres obtenus pour le Fe XIII introduits dans les équations d'équilibre statistique ont certes permis d'améliorer l'accord entre les rapports d'intensités théoriques et calculées. Cependant la nécessité d'introduire d'autres processus physiques (en particulier les cascades) s'est révélée indispensable pour obtenir un meilleur accord entre théorie et expérience. Il est aussi apparu évident que la qualité des résultats dépendait très

fortement de la précision introduite dans le calcul des paramètres atomiques: taux d'excitation, probabilités d'émission spontanées, ... Cette précision dépend fortement des fonctions d'ondes utilisées pour représenter l'atome. C'est alors qu'au cours d'un séjour aux Etats-Unis (1965-1966) et conseillée par le Professeur GARSTANG, j'entrepris l'élaboration d'un programme général permettant un calcul précis des données atomiques suivantes : fonctions d'ondes, niveaux d'énergie, section de choc, probabilités de transition avec comme objectif principal de le rendre d'emploi facile. La méthode utilisée reprend la théorie décrite par SLATER que nous avons préférée pour des raisons techniques à celle plus élaborée développée par RACAH. L'interaction de configurations et l'interaction spin-orbite ont été prises en considération. Ce programme présente les intérêts suivants :

- on peut tenir compte de l'interaction entre configurations appartenant à différents complexes;
- on peut utiliser différentes méthodes de calcul des parties radiales des fonctions d'onde;
- il est possible d'introduire d'autres interactions plus faibles comme le spin-spin, spin-autre orbite, ...

Les détails relatifs à la méthode et son application au Fe XIII ont fait l'objet de ma Thèse de Doctorat d'Etat passée en 1972 (6, 7).

Ce travail a montré l'importance capitale de l'interaction de configuration et en conséquence du choix des configurations qui doivent être introduites pour une bonne représentation de l'atome.

b) Comparaison avec les autres programmes existants.

Au cours de cette même période à University College de Londres, le groupe du Professeur SEATON travaillait à résoudre le même problème avec une approche assez similaire. Ce groupe ayant à sa disposition un ordinateur beaucoup plus puissant et une assistance technique remarquable (c'est à University College que le MACRO-FORTRAN a été mis au point), leur programme présente plus de possibilités. Cependant mon programme possède des avantages intéressants comme : - connaissance des termes parents; - consistance avec le formalisme de Racah; - utilisations possibles de fonctions d'onde obtenues par ailleurs; - meilleure adaptation au traitement des atomes neutres ou peu ionisés. Durant les années nécessaires à la construction de ces deux programmes, nous avons souvent comparé nos progrès de façon enrichissante de part et d'autre - j'ai ainsi pu contribuer à résoudre certaines difficultés rencontrées à Londres et connaître plus à fond les trois programmes fondamentaux d'University College qui sont:

- IMPACT et DW qui résolvent les collisions électron-atome, le premier par une méthode d'équations couplées, le second par une méthode perturbative,
- SUPERSTRUCTURE qui donne la structure atomique des ions avec interaction de configurations et effets relativistes.

Ces programmes m'ont été confiés dès leur mise au point.

3. Application à l'étude de l'Argon.

Après mon travail de thèse, j'ai alors été contactée par des expérimentateurs du LA 173, Cl. CAMHY-VAL et A.M. DUMONT, pour calculer théoriquement les durées de vie des niveaux excités de l'Ar II qu'ils venaient de mesurer expérimentalement (8). Mon programme pouvait s'adapter à l'étude d'un tel ion (7 électrons au-dessus des couches complètes); cependant n'ayant pas accès à un ordinateur suffisamment puissant pour traiter cet élément, j'ai donc fait ces calculs à Londres avec SUPERSTRUCTURE, l'ordinateur et l'assistance technique d'University College étaient tels que ce programme devenait beaucoup plus compétitif que le mien. C'est pourquoi, dès ce moment, j'ai commencé à utiliser exclusivement leurs programmes.

III Etude des problèmes liés à l'excitation des couches internes des atomes. Application à l'astrophysique.

1. Excitation des couches internes. Application au Beryllium et au Carbone.

C'est à la fin de 1974 que je commençais à aborder ce nouveau sujet de recherche en collaboration avec J. DUBAU (University College) et D. PETRINI (Observatoire de Nice). Ce problème assez délicat avait été jusqu'alors négligé par les physiciens atomistes pour les éléments légers. Pourtant ces processus sont de plus en plus rencontrés par exemple dans l'étude des éruptions solaires, du milieu interstellaire, des nébuleuses planétaires, ..., et plus généralement dans les observations de sources X.

Les premiers processus étudiés ont été la photoionisation et l'auto-ionisation (capture diélectronique et fluorescence). Nous étions bien armés pour aborder cette étude puisque nous avons à notre disposition l'ensemble des programmes d'University College que nous connaissions bien pour avoir participé à leur élaboration et pour les avoir utilisés dans d'autres domaines d'application. Nous avons donc en un premier temps adapté et complété les programmes de Londres à ces problèmes spécifiques puis nous avons testé notre méthode sur l'exemple du Be II. Cet ion avait été choisi pour de nombreuses raisons : il appartient à la série isoélectronique du Lithium qui est fondamentale en astrophysique et des calculs relatifs aux couches externes avaient été effectués par l'un de nous, J. DUBAU. Pour les couches internes, il existait de beaux spectres expérimentaux à dépouiller (Mehlman, Balofet et Esteve, 1974) et une analyse théorique avait déjà été proposée (Kelly, 1974). Notre méthode et les résultats obtenus pour le Be II ont fait l'objet d'un article (9), puis J. DUBAU et moi-même avons étendu ce travail à la photoionisation du C IV, élément de la même série que le Be II (10).

Ce sont alors nos excellents résultats obtenus sur le Be qui ont incité le Dr GABRIEL à collaborer avec nous pour le dépouillement des spectres X qui allaient être observés ultérieurement durant la Solar Maximum Mission (SMM).

2. Application au dépouillement des spectres des régions actives et des éruptions solaires obtenus par le X-Ray Polychromator de la mission SMM.

Ces spectres sont constitués exclusivement des raies de résonance d'ions de la série de l'Hydrogène et de l'Hélium et de leurs raies satellites associées. Or ces raies satellites sont peuplées exclusivement par des processus physiques liés à l'excitation des couches internes des ions concernés (capture diélectronique, excitation collisionnelle, ...). Etant donnés les résultats obtenus pour le Be, nous étions capables de fournir d'excellents résultats pour le dépouillement des spectres X mous solaires. Ces spectres, pour des éléments allant du Carbone au Nickel, couvrent un domaine de longueurs d'onde situées entre 1.6 et 40 Å et ils présentent des faits remarquables lorsque l'élément est cosmiquement abondant. Ainsi, A. GABRIEL en 1972 a montré que le rapport d'intensité d'une raie satellite à la raie de résonance pouvait être employé pour déterminer la température électronique et l'état du plasma par rapport à son équilibre d'ionisation; cette méthode fournit un puissant diagnostic aussi bien pour le dépouillement des spectres de laboratoires que ceux des éruptions solaires. Ce sont ces raies qui sont observées par le X-Ray Polychromator (XRP), une des plus importantes instrumentations qui ont été embarquées sur le satellite SMM en février 1980 et dont A. GABRIEL est un des responsables. L'interprétation nécessite une analyse fine des processus responsables de ces émissions et dont l'importance relative est déterminée à partir du calcul des paramètres atomiques. Les premiers résultats obtenus pour le Fe XXIV avec A. GABRIEL et S. VOLONTE (11) ont confirmé par comparaison avec les spectres existants la validité de la méthode et la qualité de nos calculs. Ceci m'a permis d'être acceptée comme Guest Investigator sur le XRP mais surtout d'obtenir une aide financière de l'A.T.P. "Physique des Etats Excités" et du C.N.E.S. dès 1978 puis de l'A.T.P. "Soleil Actif" en 1980. Le programme de recherche proposé, et dont je suis responsable, porte sur les ions les plus abondants dans le domaine spectral du XRP (12) et il est réalisé, en collaboration, par les équipes suivantes:

- Nice : L. STEENMAN-CLARK, P. FAUCHER et moi-même,
- Meudon - G.R. 24 : M. LOULERGUE et J. DUBAU,
- Culham (Grande-Bretagne) : A. GABRIEL, K. PHILLIPS,
- Mons (Belgique) : S. VOLONTE.

Je ne parlerai ici que des travaux dans lesquels j'ai eu une participation directe à leur réalisation en insistant sur le fait que celle-ci a fait l'objet constamment d'un travail d'équipe.

Nous avons donc commencé par améliorer l'étude des raies satellites de la raie de résonance du Fe XXV puisque cette raie est observée dans plusieurs "channels" du XRP. Son intensité théorique a dû être calculée avec précision compte tenu de la contribution importante des raies satellites non résolues (13). Pour mieux comprendre les spectres observés nous avons été amenés à introduire de nouveaux processus physiques de peuplement des raies comme l'ionisation des couches internes, la recombinaison radiative et l'excitation vers les niveaux supérieurs suivie de cascades (15). Parallèlement nous avons abordé l'étude d'autres ions de la même série isoélectronique que le fer et cosmiquement abondants comme le magnésium (14), l'oxygène et le calcium. Il

faut remarquer que chaque ion a sa spécificité propre rendant impossible tout traitement de routine. L'oxygène par exemple est observé dans la région de transition chromosphère-couronne mais aussi dans les plasmas laser de laboratoire. Pour cette raison nous n'avons plus supposé que seul le niveau fondamental de l'ion était peuplé comme le montrent les conditions coronales; nous fournissons ainsi des diagnostics utilisables pour des plasmas divers en densité. Le calcium a été l'élément le plus observé par le XRP, car, contrairement à ce qui était attendu, le Soleil a été moins actif que prévu en 1980. Aussi l'analyse des premières données fournies par le XRP a demandé un effort immédiat de notre part pour le calcul de tous les paramètres atomiques nécessaires à leur interprétation (1 publication est en cours de rédaction avec des membres de l'équipe du XRP). Enfin, bien qu'il ne soit pas observé par le XRP il faut parler ici de l'étude que nous sommes en train de terminer sur le titane. En effet, les spectres obtenus par l'équipe de Bitter (Laboratoire de Fusion Contrôlée, Princeton) sont d'une qualité comparable à celle du XRP et nous avons déjà vérifié avec le fer le très bon accord entre nos prédictions et leurs observations. Aussi cette collaboration s'est poursuivie à la demande de Bitter par le calcul des paramètres atomiques nécessaires au dépouillement des spectres du Ti qu'il vient d'obtenir. Le titane, comme le fer et le chrome, est une des impuretés classiques des parois des enceintes des Tokamaks et son spectre n'avait jamais été observé jusqu'à présent. Notre interaction avec des équipes de physiciens travaillant sur les problèmes de la fusion contrôlée va s'étendre au groupe du C.E.A. de Fontenay qui vient d'obtenir un magnifique spectre du chrome. Nous allons sur leur demande étudier théoriquement cet élément en collaboration avec M. KLAPISCH du Racah Institut de Jerusalem.

Notre participation, en tant que "Guest Investigator" sur le XRP ne s'est pas limitée à la préparation de la physique de base nécessaire au dépouillement des spectres X solaires. Ainsi dès le lancement du satellite SMM nous avons été associés à l'analyse des premières observations. Ces observations se sont avérées particulièrement intéressantes par leur exceptionnelle qualité. L'étude systématique de nombreuses éruptions de types différents est maintenant possible grâce à des séquences temporelles complètes couvrant les trois phases de ces événements (prééruptive, éruptive et de relaxation). L'analyse sérieuse de ces observations repose essentiellement sur la qualité de nos paramètres atomiques des ions observés ainsi que de leur utilisation dans la construction des spectres théoriques. Au cours de trois séjours faits au Goddard Space Center nous avons participé à l'élaboration et à la mise au point d'un programme "on line" qui ajuste au spectre observé le spectre théorique le mieux adapté en faisant varier les paramètres physiques. On peut ainsi faire l'analyse détaillée des trois phases de l'éruption grâce aux séquences complètes enregistrées par le BCS dans les fenêtres d'observation du calcium et du fer. La période prééruptive est caractérisée par des raies élargies par turbulence dont on peut évaluer la borne inférieure de la vitesse. Les raies émises pendant la période de relaxation sont plus fines. Grâce au programme d'ajustement on superpose aux spectres observés les spectres théoriques les mieux adaptés et on en déduit la température électronique, la température Doppler, les rapports d'abondances des différents ions du même élément, la densité électronique et ceci à chaque instant de l'évènement en choisissant des intervalles adaptés à sa vitesse d'évolution. On remarque que l'analyse de différentes raies satellites peut permet-

tre d'élaborer un modèle multitempérature de la région observée. De plus, en utilisant les données correspondantes de la période de relaxation (temps d'évolution suffisamment long) on peut également déterminer les courbes d'ionisation qui seront utilisées pour évaluer les écarts à l'équilibre d'ionisation dans la phase éruptive.

Ce programme d'utilisation efficace et rapide permet de traiter un grand nombre de spectres, de faire l'analyse temporelle détaillée des différentes phases des éruptions et d'étudier le plus grand nombre d'évènements solaires.

Cet aspect nouveau de notre activité est très prometteur. Il nous permet de contribuer à l'élaboration de modèles des divers phénomènes observés et de participer ainsi à une meilleure compréhension de leur mécanisme de formation. Il nous permet aussi d'étendre notre contribution au-delà du cadre de la seule expérience XRP en incluant dans ces modèles les résultats obtenus par les autres groupes de la mission SMM; les modèles réalistes des éruptions doivent tenir compte des mesures d'émission obtenues dans d'autres domaines de longueur d'onde.

ACTIVITES d'INTERET GENERAL

Responsabilités de Recherche.

- Responsable du programme de recherche "Raies Satellites" dans l'équipe de Physique Atomique de l'Observatoire de Nice.
- Responsable du projet 3749 auprès de l'ATP "Physique des Etats Excités".
- Responsable du projet PAIRSES auprès du C.N.E.S.
- Responsable du projet 1008 auprès de l'I.N.A.G. "ASP-Soleil Actif".
- Guest Investigator sur le XRP (S.M.M.)

Participation à des Conseils.

- Membre élue du Conseil d'Etablissement de l'Observatoire de Nice, 1968-1969.
- Membre élue du Conseil d'Etablissement de l'Observatoire de Nice, 1973-1975. (Membre de sa Section Permanente auprès du Directeur).
- Membre élue SNCS de la Section 07 du Comité National de la Recherche Scientifique, et Secrétaire du Conseil Scientifique de l'I.N.A.G., 1976-1980.
- Réélue à la Section 07 en 1980.

PUBLICATIONS

- (1) Redétermination de l'abondance du Manganèse dans les étoiles G étudiées par Wallerstein.
U.A.I. Symposium n° 26 (1966).
- (2) Sur l'excitation par impact électronique d'ions fortement ionisés de configuration p^2 .
F. Bely, O. Bely, Vo Ky Lan.
C.R.A.S. 261, 1189 (1965).
- (3) The excitation of the ground configuration of Fe XIII by electron impact.
F. Bely, O. Bely, Vo Ky Lan.
Annales d'Astrophysique 29, n° 4, 343 (1966).
- (4) Sur la diffusion des électrons par des systèmes d'atomes complexes.
F. Bely, Vo Ky Lan.
C.R.A.S. 267, 533 (1968).
- (5) The excitation of Fe XVII by electron impact.
F. Bely, O. Bely.
Solar Physics 2, 285 (1967).
- (6) Numerical calculations of atomic structure constants. I. Angular parameters.
Astron. Astrophys. 13, 336 (1971).
- (7) Numerical calculations of atomic structure constants. II. Radial parts, energy levels, transition probabilities for Fe XIII.
Astron. Astrophys. 25, 431 (1973).
- (8) Mean lifetimes of excited levels of Ar II. II. Theoretical considerations.
F. Bely-Dubau, C. Camhy-Val, A.M. Dumont.
J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer 15, 375 (1975).
- (9) Inner-shell photoionization of Be. Fluorescence yield of Be.
F. Bely-Dubau, J. Dubau et D. Petrini.
J. Phys. B 9, 1613 (1977).
- (10) Application des méthodes utilisées en théorie des collisions au calcul des sections efficaces de photoionisation.
F. Bely-Dubau et J. Dubau.
J. Phys. 39, C1 87 (1978).
- (11) Dielectronic satellite spectra for highly charged Helium-like ions. III. Calculation of $n = 3$ solar flare Iron lines.
F. Bely-Dubau, A.H. Gabriel, S. Volonté.
Mon. Not. R. Astron. Soc. 186, 405 (1979).

- (12) High dielectronic satellite lines in solar flare spectra.
L. Steenman-Clark, F. Bely-Dubau, J. Dubau, P. Faucher,
A.H. Gabriel, M. Loulergue, S. Volonté.
J. Phys. C1 40, 98 (1979).
- (13) Dielectronic satellite spectra for highly charged Helium-like ions. V. Effect of total satellite contribution on the solar flare Iron spectra.
F. Bely-Dubau, A.H. Gabriel, S. Volonté.
Mon. Not. R. Astron. Soc. 189, 801 (1979).
- (14) Calculations of the atomic parameters for the dielectronic satellite lines of the Mg XI resonance line.
L. Steenman-Clark, F. Bely-Dubau, P. Faucher.
Mon. Not. R. Astron. Soc. 191, 951 (1980).
- (15) Dielectronic satellite spectra for highly charged Helium like ions. VI. Inner shell contribution on the solar flare ion spectra.
F. Bely-Dubau, J. Dubau, P. Faucher, A.H. Gabriel.
Accepté à Mon. Not. R. Astron. Soc.
- (16) Calculation for the satellite spectra of Helium like Oxygen.
F. Bely-Dubau, J. Dubau, P. Faucher, L. Steenman-Clark.
Accepté à J. Phys. B.

COMMUNICATIONS à des COLLOQUES

- Symposium U.A.I. n° 26, 1966, présentée par R. CAYREL.
Voir (1).
- Colloque "Couronne Solaire", Nice, 1968.
"Le Fe XIII dans la couronne solaire".
- Congrès de la S.F.P., Poitiers, 1977.
Voir (10).
- Vth Conference on UV and X-Ray Spectroscopy of Astrophysical and Laboratory Plasmas. I.A.U. Colloquium n° 43, 1977.
"High dielectronic satellite in solar flare Iron spectra".
- Vth International Conference on Beam-Foil Spectroscopy, Lyon, septembre 1978, présentée par L. STEENMAN-CLARK.
Voir (12).
- Congrès de la S.F.P., Toulouse, 1979.
"Intensité des raies satellites du Mg X et Mg XI peuplées par capture diélectronique". Session poster.
- Joint Commission Meeting on the Solar Maximum, I.A.U., Montréal, août 1979, présentée par A.H. GABRIEL.
- Nagoya Seminar on Atomic Processes in Fusion Plasmas, Nagoya (Japon), 5-7 septembre 1979.
"High di-electronic satellite lines in solar flare and fusion plasmas", présentée par J. DUBAU.
- Colloque sur l'influence des processus collisionnels sur le profil des raies spectrales S.F.P., 1979.
"Importance des raies satellites dans l'étude des ions fortement ionisés et observés dans les régions actives solaires", présentée par P. FAUCHER.
- Participation ou Communications aux Workshops de la N.A.S.A. sur SMM.
Culham (G.B.) 1977, 1979; Londres (G.B.) 1978, 1979;
Ann Arbor (U.S.A.) 1979; Washington (U.S.A.) 1979;
Huntsville (U.S.A.) 1979.
- VIIIe Colloque sur la Physique des Collisions Atomiques et Moléculaires. Louvain-la-Neuve (Belgique), juillet 1980.
"Excitation des raies satellites du Fe XXV dans les plasmas à haute température".
- Vith International Colloquium on Ultraviolet and X-Ray Spectroscopy of Astrophysical and Laboratory Plasmas (I.A.U.). Toronto (Canada), juillet 1980.
"Satellite Lines in Soft X-Ray Solar Flare Calcium Spectra", présentée par L. STEENMAN-CLARK.

