

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

COM(69) 350 - ANNEXE TECHNIQUE N° 16

Bruxelles, le 30 avril 1969

"ACTIVITES FUTURES D'EURATOM"

Annexe technique n° 16

IV. 2 PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE ET SORA

- Physique de l'état condensé
- Construction de SORA

IV.2 PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE ET SORA

- Physique de l'état condensé
- Construction de SORA

PHYSIQUE DE L'ETAT CONDENSE

1. INTRODUCTION

Depuis 1960 s'est poursuivie au Centre d'Ispra une activité de recherche fondamentale dans le domaine de la physique de l'état condensé (solides et liquides)*. Cette recherche est décrite dans les rapports quinquennaux couvrant la période 1962-1967. L'état actuel des équipes et des principaux équipements est donné au tableau I.

T A B L E A U I

Unités de Recherche	Constitution des équipes					Principal Equipement
	A	B	C	D	Total	
1. <u>Physique Neutronique</u>						
EURATOM: Phys. Neutr. Exp.	18	10	5	2	35	5 spectromètres à neutrons au réacteur Ispra-I
Phys. Neutr. Théorique	5	2	1		8	1 Van de Graaf (1 MeV)
C.N.E.N.	8	5	6		19	3 spectromètres à neutrons
2. <u>Spectroscopie Radio-Fréquence</u>	7	6	1		14	14 spectromètres 1 liquéfacteur d'hélium appareillage pour les très basses températures
3. <u>Physique de l'Etat Solide</u>	9	2	2		13	3 spectromètres à rayons X 2 spectromètres Mössbauer 2 dispositifs d'irradiation dans le réacteur Ispra-I appareillages optiques pour spectrophotométrie et la spectroscopie en lumière polarisée

*et accessoirement quelques recherches de physique nucléaire proprement dite (4 personnes).

Les raisons qui motivent cette activité sont de plusieurs natures. En premier lieu il est bien connu que tous les développements récents de la technologie des matériaux avancés reposent sur des connaissances de base de l'état solide acquises préalablement. Il est prévisible que les progrès techniques futurs feront encore davantage appel à des phénomènes complexes que seule la recherche fondamentale permet de comprendre et de maîtriser. Une des causes du retard technologique de l'Europe est l'insuffisance du nombre des laboratoires se consacrant à la recherche de base dans le domaine de la physique du solide. Cette relation entre recherche de base théorique et expérimentale et technologie nucléaire ou autre a été bien vue par les rédacteurs du Traité de Rome, puisqu'ils ont mentionné ces deux domaines de recherche comme devant être développés par le Centre Commun de Recherche*.

En second lieu les recherches purement technologiques effectuées dans un centre bénéficient de l'appui que peuvent leur apporter les compétences scientifiques tout à fait générales des chercheurs engagés dans la recherche de base. Les responsables des divers centres de recherche appliquée du monde s'accordent pour estimer qu'il faut consacrer une fraction du budget des établissements à la recherche fondamentale.**

*Annexe I, le paragraphe II "physique appliquée à l'énergie nucléaire" comprend: la physique de l'état solide théorique (1d) et expérimentale (2a), réactions nucléaires basse énergie (1a), fission (1b) interaction des rayonnements ionisants et photons avec la matière (1c). Le paragraphe VII "équipement" comprend: sélecteurs de vitesse de neutrons, accélérateurs de particules de basse énergie jusqu'à 10 MeV (2c)

** Le professeur E. Amaldi récemment consulté à ce sujet évalue cette fraction à 20 %.

Par ailleurs les recherches de base ayant le privilège d'être connues et appréciées dans les milieux scientifiques internationaux, elles contribuent à la réputation internationale de l'établissement.

En troisième lieu des raisons spéciales militent en faveur de la continuation du soutien à la recherche fondamentale dans le domaine de la physique de l'état condensé au C.C.R. Ispra. Les équipes et les équipements nécessaires à cette recherche existent déjà et ayant déjà un passé scientifique important sont à même de réaliser immédiatement le programme présenté.

Il y a peu de place en Europe où se trouve réuni un équipement aussi complet et permettant une étude aussi diversifiée de l'état solide: 8 spectromètres à neutrons, 14 spectromètres radio-fréquence pour la résonance magnétique, dont certains construits à Ispra ont des performances inégalées, installations de rayons X, 2 spectromètres Mössbauer. En outre on dispose d'un microscope électronique, d'une microsonde, d'appareils et d'équipements de laboratoires très modernes pour des recherches utilisant des matériaux radioactifs, d'un accélérateur d'électrons, de laboratoires de haut vide, de très hautes et très basses températures, et on doit mentionner naturellement le réacteur Ispra-I. Les recherches en physique neutronique et nucléaire disposent également de deux accélérateurs Van de Graaf, l'un de 1 MeV en fonctionnement, l'autre de 3 MeV en cours d'installation. (utilisation partielle). Depuis 1966, les équipes de chercheurs venant des différentes écoles de physique européennes ont publié une soixantaine d'articles dans les journaux scientifiques internationaux et ont reçu 45 invitations à présenter leur travaux dans des conférences internationales.

Un certain nombre d'étudiants des Universités des Etats Membres ont eu l'occasion d'effectuer leur thèse de doctorat. Les équipes de recherche fondamentale d'Ispra ont donc joué un rôle dans la formation des nouveaux physiciens du solide dont certains se sont orientés vers la recherche appliquée ou l'industrie. Il serait souhaitable que ce rôle de formation s'accroisse dans l'avenir, les installations et le personnel étant tout à fait adéquats pour l'enseignement et la formation dans des domaines de recherches difficilement accessibles à l'Université traditionnelle.

2. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE RECHERCHE*

Le programme consiste en partie en la continuation des recherches déjà entreprises et dont les résultats sont décrits dans le rapport quinquennal 1962-1967. A celles-ci viennent s'ajouter quelques sujets de recherche nouveaux qui résultent non seulement du développement naturel des sujets anciens, mais aussi des nouvelles connaissances acquises et de besoins scientifiques et technologiques nouveaux. La recherche est effectuée par quatre unités principales : physique neutronique, physique du solide, résonance magnétique, groupe théorique proprement dit, auxquelles viennent s'ajouter quelques chercheurs d'autres services (physico-chimie, chimie, métallurgie).

La physique neutronique s'effectue principalement autour du réacteur Ispra-I comme source de neutrons froids et accessoirement à l'aide d'un accélérateur Van de Graaff de 1 MeV. Le réacteur a un flux de 2×10^{13} neutrons thermiques/cm².sec et permet de faire fonctionner 5 spectromètres.

*

La liste des sujets de recherche est donnée au §4 et la description complète des recherches dans l'Appendice.

La mise en marche en 1972 du réacteur de recherche GFHR (réacteur franco-allemand à Grenoble), avec un flux de 2×10^{15} neutrons thermiques/cm² sec, ne permet pas de prévoir au-delà de cette date une activité compétitive dans le domaine de la diffusion inélastique des neutrons. C'est la raison pour laquelle la partie correspondante du programme de physique neutronique, dénommée Physique Neutronique I, est présentée seulement pour une durée totale de 3 ans. Les autres expériences autour du réacteur Ispra I se poursuivront sur une durée de 5 ans. Il est à souligner qu'une activité de formation et d'enseignement autour du réacteur Ispra-I permettrait le cas échéant d'utiliser efficacement ce réacteur au delà de la période de 3 ans mentionnée ci-dessus. Les neutrons froids seront utilisés pour étudier la diffusion inélastique des neutrons par les matériaux ce qui permet de déterminer la dynamique des particules constituantes. On envisage de mettre l'accent sur l'étude de la diffusion de l'hydrogène dans certains métaux de transition, des phénomènes d'absorption des molécules dans les zéolithes et en surface sur les carbones, du mécanisme fondamental de la ferroélectricité dans les cristaux ferroélectriques à liaison hydrogène, des vibrations ou rotations des molécules dans les solides moléculaires, les liquides hydrogénés, les cristaux liquides. Quelques-unes des études proposées sont susceptibles d'avoir des applications pratiques (il s'agit de la diffusion de l'hydrogène dans le vanadium qui présente un effet isotopique important et de l'étude des cristaux liquides pour lesquels on prévoit de

nombreuses applications dans le domaine de l'optique appliquée). On prévoit aussi un petit nombre d'expériences (le neutron a-t-il un dipôle électrique, diffusion Schwinger par les ferroélectriques etc...) avec des neutrons froids polarisés. Les neutrons rapides fournis par les Van de Graaff de 1 MeV et de 3 MeV seront utilisés pour des études de sections efficaces et de polarisation dans les réactions nucléaires. Des cibles solides polarisées peuvent être réalisées à l'aide des méthodes de la résonance magnétique.

Finalement un certain nombre d'études expérimentales seront consacrées à la fission où la situation théorique est loin d'être claire et où de nouvelles déterminations expérimentales sont nécessaires.

La physique de l'état solide se concentrera principalement dans quatre directions.

La première concerne l'étude des mécanismes de formation, de diffusion et de recuit des défauts des solides cristallins produits par trempe, par déformation plastique et en particulier ceux dus aux dommages de radiation. Les matériaux étudiés sont des matériaux particuliers, des alliages, le carbure d'uranium, les cristaux ioniques, (centres colorés, excitons), certains composés intermétalliques stoechiométriques, les perovskites ferroélectriques (pouvant donner lieu à des effets d'importance pratique par leur propriétés électro-optiques). On doit signaler l'utilisation de l'effet Mössbauer dans certaines de ces études.

La seconde concerne l'étude de l'adsorption et la formation de film mince à la surface des cristaux, d'importance pour les études d'oxydation. La troisième est l'étude de l'intensité des rayons X diffusés ou transmis en fonction

des défauts du cristal ainsi que l'utilisation de l'effet Mössbauer pour l'étude de la dynamique du réseau. La quatrième concerne des études fondamentales des ferroélectriques et des semiconducteurs à recombinaison directe. On sait que les premiers de ces matériaux présentent des propriétés électro-optiques intéressantes du point de vue technique, tandis que les seconds permettent la construction de lasers continus.

Par les techniques de résonance magnétique nucléaire est de résonance magnétique électronique seront effectuées des recherches dans le domaine des solides, des fluides, et des molécules.

Dans le domaine des solides on étudiera les transitions de phases, les propriétés des supraconducteurs, la diffusion et les mouvements des molécules dans les solides, la structure des verres, les antiferromagnétiques organiques et l'absorption des molécules.

Dans le domaine des fluides, on s'occupera de la dynamique et de la structure des liquides en général. Quelques problèmes particuliers sont: diffusion dans les gaz, effets isotopiques dans les métaux fondus, structure des solutions métalliques, de l'ammoniac liquide et le mouvement moléculaire dans les liquides organiques.

Dans le domaine moléculaire on déterminera la configuration géométrique des molécules et la structure électronique des radicaux produits par irradiation, on étudiera la structure des cristaux liquides, la polarisation dynamique des noyaux par effet Overhauser, par effet chimique ou par effet solide. On réalisera des cibles de protons polarisés, pour permettre des études de physique nucléaire.

Enfin il est prévu de construire un spectromètre avec un aimant superconducteur permettant d'atteindre des champs magnétiques élevés c-à-d une meilleure résolution.

Des champs élevés ouvrent aussi de nouvelles possibilités pour l'étude de la relaxation magnétique.

En relation avec les travaux expérimentaux précités un groupe théorique s'occupe et continuera de s'occuper des problèmes de la théorie des liquides et plus généralement de thermodynamique et mécanique statistiques, en particulier en utilisant le calculateur du Centre pour les études de mécanique statistique par simulation directe du processus moléculaire. Ce groupe envisage aussi d'étudier la propagation des ondes dans les cristaux (diffusion anormale des rayons X et des neutrons), les phénomènes de canalisation des particules, des propriétés électro (et magneto)-optiques des certains matériaux, en particulier des ferroélectriques.

Les recherches dans le domaine de la physique de l'état condensé qui seront poursuivies par quelques chercheurs appartenant à d'autres services concernent le frottement interne de l'hydrogène dans les métaux, la théorie des dislocations et leur étude expérimentale au microscope électronique, la théorie des énergies de formation et de migration de certains défauts, les dommages de radiation dus aux ions lourds, l'étude de l'oxydation en surface en utilisant un analyseur ionique, l'effet Raman dû aux molécules absorbées, etc....

Il faut remarquer que les recherches mentionnées ci-dessus forment un ensemble coordonné, de nombreux sujets étant abordés simultanément par plusieurs unités utilisant des techniques différentes. On peut citer le cas de la diffusion dans les solides qui fait appel à la diffusion inélastique des neutrons, à la résonance magnétique nucléaire, à la diffraction des rayons X, au frottement interne, à l'analyse ionique. D'autres exemples sont: l'étude des défauts dans les cristaux, des cristaux liquides, des phénomènes critiques, des transitions de phase, de l'absorption des molécules sur les zéolithes et les filtres moléculaires, de la polarisation dynamique nucléaire.

3. PROPOSITION DETAILLEE DU PROGRAMME

Nous donnons dans ce qui suit une liste détaillée des sujets de recherches. Une telle liste ne peut être établie avec certitude que pour le futur immédiat, étant donné l'évolution assez rapide des idées et des faits dans le domaine de la recherche fondamentale. La plupart des travaux mentionnés ci-dessous seront effectués au cours de la première année de recherche.

Cette liste est établie par sujet, pour démontrer la coordination des recherches effectués par les différentes unités. Les unités effectuant les recherches sont indiquées suivant la clef:

PN = physique neutronique - PS = physique du solide
RM = résonance magnétique - PC = physico-chimie
CH = département chimie - ME = métallurgie - T = groupe
théorique.

Dans l'annexe I sont données des précisions techniques sur les recherches mentionnées dans la présente liste.

A. Solides

A.1 Dynamique du Réseau Cristallin

1. Calcul des courbes de dispersion des métaux par la méthode du pseudo-ion, PN.
2. Détermination expérimentale de l'anharmonicité dans un cristal de Be, PN.
3. Etude de la diffusion inélastique des rayons γ par effet Mössbauer, PS.
4. Détermination des niveaux de rotation de CH_4 solide dans les différentes phases entre 1 et 25 °K, PN.
5. Section efficace doublement différentielle de la diffusion des neutrons par HD, ortho- H_2 à 1 °K et 4 °K, PN.

A.2 Phénomènes Critiques et Transition de Phase

1. Etude des transitions de phase dans les cristaux moléculaires et les verres par RMN, RM.
2. Relaxation magnétique nucléaire dans les supra-conducteurs (Al 27, In 115, Sn 117, Hg 199, Hg 201, Pb 207).

A.3 Défauts, Impuretés, Dislocations et Dommages dûs aux

Rayonnements

1. Mesure de la diffusion de H et D dans des monocristaux de Nb et V, PN.
2. Etude des modes localisés et des modes de bande de H dans le thorium, PN.
3. Modèle classique de diffusion par saut et modèle quantique de bande pour l'hydrogène dans les métaux de transition. Théorie dynamique de la diffusion des neutrons en présence d'impuretés, PN.
4. Constante de diffusion près du point critique de l'hydrogène dans les métaux cubiques à corps centré, PN.
5. Etude de la production et de la recombinaison des défauts ponctuels dans les cristaux ioniques irradiés, PS.
6. Investigation des défauts ponctuels produits par déformation plastique dans les halogénures alcalins, PS.
7. Etude des boucles de dislocation dans les milieux anisotropes, PC.
8. Calcul des énergies de création et de migration des défauts ponctuels dans les cristaux ioniques, PC.
9. Etudes de base sur les défauts ponctuels dans les métaux et les alliages, PS.
10. Défauts ponctuels et dommages dûs aux radiations dans UC, PS.
11. Défauts étendus et changements de phases dans les métaux et les alliages irradiés, PS.
12. Etude de la diffusion des rayons X par des cristaux de Silicium irradiés, PS.
13. Effet d'irradiation par les neutrons rapides ou par les gaz inertes du système Al-Al₂O₃ (0.5 à 2.5 % en poids Al₂O₃), PC.
14. Dommage dû à l'irradiation par les ions lourds. Interaction des atomes de gaz rare avec les défauts produits, CH.
15. Comportement plastique de AlB₁₂ dans les alliages Al-B après irradiation aux neutrons, PC.

16. Mesure des constantes optiques associées avec les transitions de centres colorés ou d'impuretés dans les cristaux ioniques, PS.
17. Observation directe des imperfections du réseau par la méthode de la diffusion topographique des rayons X, PS.

A.4 Interaction du Rayonnement avec les Solides

1. Théorie de la diffraction des électrons dans les métaux contenant des défauts, PC.
2. Effet de la diffusion inélastique des rayons X sur leur transmission anormale, PS.
3. Interaction des particules lourdes énergiques avec les monocristaux, CH.
4. Propagation du rayonnement dans les cristaux, avec pour but notamment d'étudier les phénomènes de canalisation et de transmission anormale des rayons X, T.

A.5 Phénomènes de Transport, de Diffusion et de Mouvement Moléculaire dans les Solides

1. Etudes de diffusion par la méthode des traceurs radioactifs, CH.
2. Détermination du profil de l'oxygène diffusé à la surface de mon cristal de Zr à l'aide de l'analyseur ionique, ME.
3. Mouvements moléculaires, diffusion ultra-lente, énergie et entropie d'activation dans le benzène, le cyclohexane, le cyclopentane et le dodécafluorocyclohexane, RM.
4. Relaxation spin-réseau et second moment dans la résonance magnétique nucléaire du toluène et des toluènes substitués à basse température, RM.
5. Temps de relaxation de l'énergie dipolaire dans le toluène et le xylène entre 2 et 100 °K, RM.
6. Autodiffusion de F dans les fluorures de métaux alcalins et alcalino-terreux, RM.

7. Diffusion de l'hydrogène dans les métaux tels que Nb et V en collaboration avec A3.1, A3.2, A3.3. RM.
8. Diffusion des ions des métaux alcalins dans les verres silicates alcalins et silicates borates, RM.

A.6 Structure et Propriétés Cristallines

1. Résonance des noyaux Li 7, F 19, Na 23, Al 27, Si 29, P 31 et Pb 207 dans les verres inorganiques en vue d'étudier la structure des verres contenant ces métaux, RM.

A.7 Ferroélectriques et Matériaux Magnétiques

1. Variation en fonction de la température des modes ferroélectriques de KH_2PO_4 et KD_2PO_4 , PN.
2. Temps de relaxation du spin électronique des radicaux organiques BPA, DPPH, WBP, GV à basses températures, RM.
3. Propriétés optiques et électroniques des solides ferroélectriques, PS.
4. Influence des défauts du réseau sur la nucléation, la configuration et le déplacement des parois de domaine dans les ferroélectriques, PS.
5. Détermination de la partie diffusée inélastiquement des rayons X et des rayons γ par les ferroélectriques au voisinage du point de Curie, PS.
6. Propriétés électro-magnéto-optique de matériaux particuliers, spécialement les ferroélectriques, T.
7. Diffusion Schwinger des neutrons polarisés de basse énergie par les ferro- et antiferroélectriques: figure de diffraction, PN.

A.8 Propriétés des Surfaces, Phénomènes aux Joints, Adsorption

1. Croissance de l'oxyde d'uranium sur UC cristallin et oxydation de monocristaux de UC et de Si sous irradiation par les électrons et les rayons X, PS.

2. Etude de la couche superficielle désordonnée sur un monocristal de UC et de Si et de leur oxydation par la méthode de la diffusion Rutherford vers l'arrière, CH.
3. Paramètres de diffusion en surface des molécules d'hydrocarbures adsorbées sur les zéolites. Fréquences de vibration et de rotation. PN + RM + CH.
4. Temps de relaxation des protons de l'eau adsorbée sur la myoglobine. RM.
5. Conductivité électrique dans les joints de grain des polycristaux et d'un bicristal, PC.
6. Mesure de l'énergie d'activation et du coefficient d'adsorption de différents adsorbats et adsorbants, CH.

A.9 Semiconducteurs

1. Etude de l'exciton lié dans les semiconducteurs composés. PS.

B. Fluides et Thermodynamique

B.1 Théorie Générale des Fluides

1. Améliorations à la théorie du champ moléculaire pour les temps très longs, T.
2. Dynamique des liquides avec l'accent sur les mouvements atomiques collectifs. T.

B.2 Gaz

1. Etude de la diffusion et des forces intermoléculaires dans les gaz à l'aide de la mesure du temps de relaxation spin-réseau, RM.

B.3 Structure et Dynamique des Liquides

1. Diffusion dans les liquides complexes hydrogénés, PN.
2. Constantes de self-diffusion et temps de relaxation des protons et des électrons dans les solutions de radicaux organiques dans des liquides organiques. RM.
3. Constante d'auto-diffusion de Li^6 et Li^7 - Effet isotopique. RM.
4. Validité des concepts macroscopiques de diffusion à l'échelle microscopique. RM.
5. Structure des solutions de métaux alcalins dans l'ammoniac et les amines. RM.

B.4 Hélium Liquide

1. Sur l'existence ou la non-existence du moment angulaire des rotons dans l'hélium superfluide. PN.

B.5 Mécanique Statistique et Phénomène de Transport

1. Transport des électrons dans les gaz rares. T.
2. Dynamique des réseaux et des gaz avec une interaction ou linéaire. T.
3. Thermodynamique statistique: étude du problème asymptotique de la mécanique statistique des systèmes en équilibre statistique. T.
4. Etude par la méthode de Monte Carlo des transitions de phases. T.

C. Atomes, Molécules et Problèmes Connexes

C.1 Structure et Spectres Moléculaires

1. Spectre haute résolution du dimethylnitramine, diphosphine, sulfite d'éthylène, chlorophosphite d'éthylène orientés de 30 °C à 80 °C. Détermination de la structure géométrique. RM.
2. RPE des anions du terphényle créés par électrolyse. RM.
3. Etude des radicaux produits par irradiation électronique des hydrocarbures aromatiques adsorbés dans les zéolites, RM.
4. Etude de l'échange du carbone dans la pyridine marquée au carbone 14 et dans le meta ou parabenzène marqué au C 14. CH.

C.2 Polarisation Dynamique des Noyaux

1. Etude de l'effet Overhauser des noyaux C 13, P 31, Tl 203, Tl 205 dans les solutions choisies de radicaux libres. RM.
2. Effet Overhauser sur le noyau F¹⁹ dans les solutions organiques de radicaux libres. RM.
3. Polarisation des protons dans les solides organiques. RM.
4. Polarisation des protons par des changements rapides de la température dans les groupements CH₃ rotateurs gênés. RM.
5. Polarisation du noyau F dans des monocristaux de CaF₂, contenant des atomes de Ce comme centres paramagnétiques. RM.
6. Polarisation par effet solide dans CaF₂ contenant des atomes H et LiF contenant des centres V_k. RM.
7. Polarisation nucléaire dynamique induite chimiquement dans le benzène-C13. RM.
8. Préparation de cibles de protons hautement polarisées à l'aide du NLM - voir D6.1. RM.
9. Cible solide polarisée dans un champ magnétique faible - voir D3.1. RM.

C.3 Cristaux Liquides

1. Diffusion des neutrons par les phases mésomorphes de différents cristaux liquides. PN + RM.
2. Structure des phases des cristaux liquides. RM.
3. Mesures optiques et électriques sur les cristaux liquides. RM.
4. Préparation de nouvelles substances mésomorphes avec certaines propriétés. RM.

C.4 Macromolécules et Molécules Biologiques

1. Détermination des états de vibration des protons formant pont hydrogène dans les macromolécules d'intérêt biologique. PN.
2. RPE sur les matériaux biologiques irradiés. RM.

D. Noyaux et Fission

D.1 Réactions Nucléaires

1. Mesure de la polarisation du neutron émis dans les réactions nucléaires $D(d,n)He^3$, $C^{12}(d,n)N^{13}$ dans le domaine d'énergie de 400 keV à 1,1 MeV. PN.

D.2 Diffusion Élastique et Inélastique des Neutrons Rapides

1. Installation d'un système de raccourcissement des impulsions de neutrons (bunching) par une méthode simple et nouvelle par balayage de la cible. PN.
2. Diffusion élastique et inélastique des neutrons rapides, l'étude de la polarisation étant incluse. PN.

D.3 Interactions Fondamentales

1. Valeur limite inférieure pour le moment dipolaire électrique du neutron. PN.
2. Radioactivité β double dans Ge^{76} .
3. Interaction des neutrons polarisés de faible énergie avec les cibles faiblement polarisées, voir C2.9. PN.

D.4 Fission Nucléaire

1. Détermination de la loi d'ionisation des produits de fission dans différents gaz en tenant compte de la masse des fragments. PN.
2. Investigation de la répartition de la charge entre les fragments dans la fission binaire, avec la fission spontanée du Cf 252 et la fission de U-235 et Pu-239 induite par les neutrons thermiques. PN.
3. Fission induite par les neutrons rapides dans U-235, Pu-239, U-238 et Th-232. PN.
4. Variation du nombre de neutrons émis en fonction de la masse des fragments. PN.

D.5 Spectroscopie Nucléaire. Résonances

1. Spectrométrie γ des noyaux excités par des neutrons de moyenne énergie (jusqu'à 100 keV). PN.

D.6 Etude et réalisation de cible de protons polarisés

1. Production de neutrons polarisés jusqu'à 100 keV par transmission au travers d'une cible de protons polarisés. Réactions nucléaires produites par les neutrons polarisés, voir C2.8. PN.

E.2 Etudes de Thermalisation

1. Optimisation de la source chaude de SORA. PN.
2. Thermalisation des neutrons dans l'hydrogène gazeux froid sous pression (SORA). PN.
3. Paramètres de thermalisation dans H₂O et ZrH₂. PN.
4. Evolution temporelle d'une bouffée de neutrons dans un système fini de Be et D₂O. PN.
5. Influence des effets cristallins dans les expériences de die-away dans Be, BeO et le graphite. PN.

6. Fuite des neutrons dans les géométries simples. T.
7. Code Monte-Carlo pour étudier la dépendance du temps de la densité de neutrons, pour des modèles simples. T.
8. Interaction des neutrons avec la matière. T.
9. Problème de transport des neutrons, en particulier recherche sur la pulsation des neutrons dans les modérateurs et extension possible aux ondes de neutrons et à la pulsation des neutrons rapides dans des matériaux non-modérateurs. T.

F. Elaboration de Nouveaux Appareillages et de Nouvelles Méthodes

F.3 Spectromètre pour la résonance magnétique nucléaire utilisant un aimant superconducteur. RM

F.4 Production et détection de rayonnement polarisés. PN

F.5 Spectromètres pour la diffusion des neutrons

1. Chopper statistique. PN.
2. Spectromètre à effet Doppler. PN.

F.6 Spectromètre utilisant la diffraction d'un faisceau moléculaire. PN

F.8 Contrôleur digital d'appareillage. PN.

F.9 Appareillage de précision pour la mesure des résistances électriques. PS.

F.10 Séparation isotopique H-D par diffusion dans le vanadium. PN.

4. MOYENS NECESSAIRES

Il est prévu d'affecter à cette activité un effectif moyen d'environ 180 agents, comprenant les équipes qui seraient chargées de la construction, des études de support et de la préparation des expériences de SORA. Le coût correspondant est de 13,6 MUC.

COMMISSION DES
COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

CONSTRUCTION DE SORA
=====

1. But et description de l'activité. Moyens de réalisation

L'objet de ce programme est la construction et le démarrage au Centre d'Ispra du réacteur rapide pulsé SORA. Ce programme est proposé afin de renforcer la position de la Communauté dans l'étude de la matière à l'état condensé par l'installation d'un instrument de recherche unique et nouveau. Les documents présentés en 1968 et donnant des informations détaillées sur ce programme sont encore valables. Ils sont énumérés dans le § 7.

SORA est un réacteur rapide pulsé développant sa puissance pendant des pulsations périodiques d'une durée de 50 μ s et avec une fréquence de 50 cps. La puissance moyenne est de 1 MW et la puissance maximum de pulsation est d'environ 300 MW. Le flux maximum effectif de neutrons thermiques est d'environ 4×10^{15} n/cm²/sec.

L'activité en physique de l'état condensé à Ispra rassemble les efforts de différentes disciplines. Le programme correspondant est présenté séparément, sans les préparations pour le programme expérimental avec SORA. L'essentiel du programme expérimental proposé avec SORA est indiqué dans la documentation (Annexe II, § 2). Au cours du programme quinquennal, l'activité en physique neutronique dans le programme de physique de l'état solide se rapportera progressivement du réacteur Ispra-1 sur SORA.

2. Motivation technique

La recherche en physique neutronique à Ispra est effectuée maintenant avec le réacteur de recherche à eau lourde de 5 MW Ispra-1 construit par le CNEN et entré en fonctionnement en 1959. Il fournit un flux thermique maximum dans les faisceaux de 2×10^{13} n/cm²/sec, que l'on doit comparer aux 10^{15} n/cm²/sec que l'on

peut obtenir avec des réacteurs modernes à haut flux. L'installation du réacteur SORA à Ispra constitue le meilleur moyen et le plus économique permettant à cette recherche de demeurer compétitive dans le prochaine décennie. SORA est au moins égal aux réacteurs à haut flux pour les méthodes de physique neutronique dans le recherche en physique de l'état solide; l'investissement financier pour le réacteur est considérablement inférieur, principalement à cause de sa faible puissance moyenne.

De plus, l'éventualité a été prévue d'augmenter progressivement les caractéristiques du réacteur (par exemple combustible amélioré, addition d'un accélérateur).

Finalement, en construisant SORA, la Communauté fera fructifier l'avantage qu'elle détient actuellement dans le développement des sources intenses de neutrons.

3. Etat de la technique

Le développement des sources intenses de neutrons fait l'objet de la documentation (Annexe I). Certains faits qui ont eu lieu l'année dernière sont d'un grand intérêt.

Projets de réacteurs à haut flux stationnaires: des difficultés techniques et financières ont fait arrêter la construction de l'Argonne Advanced Research Reactor en avril 1968 et, en septembre 1968, le projet canadien Intense Neutron Generator (ING) a été également arrêté pour les mêmes raisons. Aucune décision concernant de nouveaux projets ou constructions n'a été annoncée.

Projets de réacteurs pulsés: le réacteur IBR-1 de Dubna (URSS) d'une puissance moyenne initiale de 1 kW a été fermé au cours de l'été 1968, après avoir fonctionné plus de 7 ans, pour en porter la puissance à 30 kW. Il est prévu de recommencer le fonctionnement en été 1969. En janvier 1969, des informations ont été publiées à propos d'un réacteur pulsé de la seconde génération pour Dubna, appelé IBR-2, d'une puissance moyenne de 4 MW, actuellement au stade d'avant-projet. L'autorisation de construction n'a pas encore été obtenue. Des caractéristiques sur le fonctionnement en réacteur pulsé qui ont été publiées, il ressort que les flux maxima ne sont pas supérieurs à ceux de SORA.

Le projet de réacteur pulsé du BNL (Brookhaven National Laboratory), commencé en 1967 et ayant pour but de faire fonctionner en 1979 un réacteur pulsé d'une puissance moyenne de 30 MW, devra être arrêté fin juin 1969. Les études onéreuses nécessaires seront gravement retardées, même si une activité limitée est maintenue.

Cette situation fait clairement apparaître que le réacteur SORA, d'une puissance d'1 MW, avec son flux utile égal ou supérieur à celui des réacteurs actuels à haut flux, sera pour longtemps un instrument compétitif en physique de la matière à l'état condensé.

4. Encadrement communautaire

Il existe déjà des liens étroits avec le groupe de Physique de l'Etat Solide du CNEN et des contacts réguliers avec l'Institut Paul Langevin - Max von Laue à Grenoble. Le réacteur SORA doit être considéré comme une installation mise à la disposition de l'ensemble des physiciens de la Communauté.

La Commission examinera avec les pays membres la structure juridique qui garantira leur pleine participation à l'élaboration et à l'exécution du programme expérimental.

5. Compétence et potentiel du C.C.R.

La compétence du Centre d'Ispra et de l'Industrie pour le développement du réacteur SORA est reconnue (voir les Annexes I et II, § 7).

Tous les problèmes techniques ont été résolus en commun par les services du Centre d'Ispra et l'Industrie. L'Euratom a conclu un contrat de 150.000 u.c. d'une durée de 18 mois avec un groupement formé par les sociétés BelgoNucléaire (BN) et Siemens-Schuckertwerke (SSW) qui s'est terminé en décembre 1965. Ce contrat a permis d'établir une étude détaillée de l'ensemble de l'installation et une estimation des frais, ainsi qu'un échéancier de construction.

Le personnel d'Ispra a été chargé de la direction du projet, des études pour le réacteur et de l'ensemble de l'installation, de la physique des réacteurs, de la dynamique et contrôle, de la sécurité, de la protection et des installations expérimentales. Approximativement 86 hommes/an de personnel A et B ont été consacrés

au projet jusqu'à la fin de 1968. En dehors des documents techniques du projet et ceux relatifs au contrat, 79 rapports ont été publiés dont 36 externes.

Un programme d'expériences critiques exécuté à Oak Ridge National Laboratory dans le cadre d'un programme commun EURATOM /USAEC, a été terminé à l'automne 1966.

Depuis 1966, une importance particulière a été accordée aux études de sécurité. Les contacts avec les autorités italiennes compétentes ont commencé en 1967; le Rapport Préliminaire de Sécurité leur a été soumis en septembre 1968 comme document à l'appui de la demande d'approbation à Ispra.

6. Calendrier approximatif

La construction et la mise en route devraient être terminées et le réacteur en fonctionnement d'ici la fin de ce plan quinquennal.

Une année sera consacrée aux appels d'offre et aux négociations des contrats avec les entrepreneurs. Le délai entre le commencement des travaux sur le site et les premiers essais nucléaires est de 33 mois. Une première tranche de 18 mois est nécessaire pour les fouilles, fondations et construction des bâtiments; la construction du bloc-pile et l'installation des composants se font dans une deuxième tranche de 12 mois; enfin, trois mois sont nécessaires pour achever les essais non-nucléaires. A l'issue de ces essais, on procédera au chargement du réacteur et aux essais nucléaires.

7. Moyens nécessaires

Il est prévu d'affecter à l'ensemble du programme relatif à la physique de l'état condensé un effectif moyen de 180 agents. Ce chiffre comprend les équipes qui seront chargées de la construction et réception du réacteur, des études de support, de la préparation des expériences, etc. Le personnel de fonctionnement sera graduellement muté d'Ispra-1 à SCRA, au cours du programme pluriennal.

Le coût de réalisation du projet SORA est évalué à 16,1 M.u.c. La ventilation de ce coût et l'évolution des dépenses au cours du plan quinquennal sont donnés dans le tableau ci-après.

<u>Frais (M.u.c.)</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>Total</u>
- Construction réacteur et Bâtiments	2,5	3,0	3,0	3,0	0	11,5
- Achat de combustible	0	0	1,2	0	0	1,2
- Equipement expérimental	0,5	0,8	1,0	0,6	0	2,9
- Etudes pour l'in- jecteur	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0,5
Total	<u>3,2</u>	<u>3,9</u>	<u>5,3</u>	<u>3,7</u>	<u>0</u>	<u>16,1</u>
	===	===	===	===	=	=====

Les frais de construction qui ont été évalués en 1965 pendant le contrat BN/SSW comprennent: les frais généraux de construction, les frais calculés par BN/SSW pour la partie nucléaire et les frais calculés par les Services Techniques d'Ispra pour les bâtiments et les installations conventionnelles.

L'achat de 100 kg d'Uranium fortement enrichi (les coûts ont été évalués sur la base d'un prix de 12 \$ par gramme) doit être effectué un an avant le début des essais nucléaires de l'installation.

Le coût des installations expérimentales comprend le matériel de physique nécessaire pour l'équipement complet de 7 canaux ainsi que les frais relatifs au développement et à la construction de deux modérateurs hydrogéniques avec cryostats et installations d'appoint.

Les études pour l'injecteur comprennent l'étude de l'accélérateur d'électrons, du transport du faisceau et de la cible. Ces recherches seront effectuées en partie par le CCR Ispra et en partie par l'industrie. Les études ci-dessus fourniront la base pour le lancement de la construction de cet accélérateur au cours du prochain plan quinquennal.

8. Documents cités

SORA et la Physique de L'Etat Condensé: 1968 Programme Docu-
mentation

Proposition d'activité EUR/C/IS/143/1/68 f
EUR/C/607/68 f

Annexe I Note de Présentation

Annexe II Préparation pour le réacteur SORA

Annexe III Budget Estimatif et Plan Prévisionnel des Travaux

Annexe IV La Physique Neutronique et la Physique de l'Etat
Condensé

Annexe V Le Rôle de la Recherche de Base en Informatique

Annexe VI Les Sources Intenses de Neutrons et leur Utilisation
(Rapport d'un groupe d'experts).