

# Valorisation et transferts de technologie

## **La valorisation : une activité soutenue et une large ouverture**

Le large spectre de compétences réunies au sein du LPSC permet une bonne ouverture du laboratoire en direction d'acteurs des domaines scientifiques et économiques.

Les collaborations utilisent la plupart des outils propres à la valorisation des travaux de recherche : cela va des simples contrats de collaboration de recherche, d'envergure très variable, aux projets soutenus par les structures de valorisation mutualisées (GRAIN 2, Floralis), aux transferts de savoir-faire, aux brevets et jusqu'aux licences commerciales.

Ces dernières années ont vu se pérenniser les activités traditionnellement pourvoyeuses de valorisation comme les services de prestation en mécanique, les mesures de basse activité, les plasmas ou les sources d'ions, mais progressivement presque tous les domaines techniques du LPSC s'ouvrent à des actions extérieures ou bien sont sollicités par des entreprises et des laboratoires pour leur savoir-faire.

Le laboratoire des basses activités, outre ses liens déjà anciens avec les sociétés impliquées dans les matériaux pour le nucléaire, a rejoint le réseau Becquerel de l'IN2P3. Cela améliore sa visibilité et a permis le financement de nouveaux équipements. Le CRPMN a maintenu ses liens avec l'industrie du traitement des surfaces par plasma, à travers les licences d'exploitation cédées à la société HEF. Au SSI, l'option du développement de micro-sources d'ions (projet GRAVIT I & II) permet l'ouverture de la technique des sources ECR à des domaines nouveaux comme les faisceaux ultra-focalisés (Orsay Physics), l'implantation en grande surface (BODYCOTE, VALEO), l'usinage ionique (SAGEM) et désormais aussi le dépôt des couches minces grâce à une technologie totalement innovante (ILL, cibles de physique).

L'électronique, à travers le projet MASSAR, là aussi soutenu par le « pré-incubateur » GRAVIT, s'engage dans un projet de nouveau type de convertisseur ADC de grande densité et de grande dynamique dédié, à terme, aux applications dans l'imagerie. L'informatique s'est engagée dans une première approche de valorisation du logiciel de supervision réseau ZNeTS par une déclaration logiciel en cours. Un gros projet de collaboration de recherche (450 K€) est en œuvre auprès de l'IRSN/IRFU et utilise les savoir-faire conjoint des groupes des détecteurs MIMAC et sources d'ions en vue de son application à la métrologie neutrons. Enfin, l'équipe de Développement et Application pour le Médical apporte ses compétences sur un large projet ISI/OSEO, réunissant laboratoires et industriels de l'informatique médicale. L'objectif est de la mise au point d'un profileur de faisceau en radiothérapie, dans une géométrie protégée par un brevet LPSC.

En parallèle de ces activités, désormais bien établies, des nouvelles pistes pourraient aussi s'ouvrir autour des physiciens des accélérateurs (accueil d'accélérateurs linéaires à électrons) ainsi que des possibilités de valorisation des actions faites autour de la boucle à sels fondus. (Service réacteur). L'année 2011 avec 3 brevets déposés ou en cours de dépôt et l'ensemble des projets cités est bien représentative du dynamisme des actions de valorisation du LPSC.

# Laboratoire de mesure des faibles radioactivités

R. Brissot, M. Heusch, O. Meplan, M. Ramdhane  
Service Détecteurs et Instrumentation

*The low-level radioactivity measurement facility of the LPSC laboratory performs analysis of gamma emitters on various types of samples, solids or liquids, for the needs of industrial clients, for fundamental research and environmental survey.*

## Les activités principales

Chaque année, le laboratoire de mesure des faibles radioactivités (LBA) analyse la radioactivité d'échantillons provenant pour la plupart d'entre eux de trois origines distinctes :

- L'industrie nucléaire et tout particulièrement la métallurgie du zirconium, des produits miniers au métal purifié, en passant par toutes les étapes de la chimie d'élaboration (zircone, tétrachlorure de zirconium, zircone déhafnié). La sélectivité chimique, spécifique de chaque étape du processus industriel, rend l'interprétation des spectres gamma particulièrement délicate, car elle détruit l'équilibre séculaire des chaînes radioactives naturelles.
- Mesure de la teneur en radioéléments des matériaux de construction pour le compte des industriels et des centres de recherche du bâtiment.
- Surveillance radiologique des nappes phréatiques aux environs immédiats des centres de stockage des déchets miniers, tests de lixiviation du radium sur ces mêmes déchets, avant stockage définitif.

Au cours de ces deux dernières années, plus de 200 analyses ont été effectuées.

## Amélioration et faits marquants

- Une simulation numérique de l'efficacité de détection des deux détecteurs au Germanium a été développée à l'aide de deux codes stochastiques de transport de particules, MCNP d'une part et Geant4 d'autre part. En effet, dans la plupart des cas il n'est pas possible de disposer d'étalons ayant la même géométrie que l'échantillon mesuré. Les résultats obtenus avec ces codes sont associés aux résultats de campagne d'inter calibration de l'IRSN, sur des échantillons d'activité connue. Cette procédure permet de tenir compte des changements de géométrie des différents échantillons et de tenir compte des variations de l'auto absorption  $\gamma$  induites par les différences de composition chimique et de densité de l'échantillon.
- L'un des détecteurs de muons cosmiques situé sur la porte d'accès aux germaniums et fonctionnant en mode « veto », a été changé. La technologie basée sur la scintillation liquide a été abandonnée au profit d'un scintillateur solide lu par un photomultiplicateur ; la collection de lumière s'effectue par un cône réfléchissant, selon la technique développée par le Service Détection et Instrumentation pour l'expérience Codalema.
- Le laboratoire de mesure du LPSC a rejoint en 2010 le réseau « Becquerel », réseau qui fédère les potentialités de 7 laboratoires de l'IN2P3 (IPNL, IPNO, CENBG, IPHC, LSM et Subatech) dans le domaine des mesures de radioactivité dans l'environnement. Cette structure fédératrice doit améliorer dans le futur la visibilité du laboratoire au plan national. Le réseau a également permis en 2011 d'améliorer la capacité d'analyse du LBA en finançant en partie l'acquisition d'un nouveau détecteur de type BEGE (Broad Energy Germanium) mieux adapté à la mesure d'échantillons de gros volume et plus performant en terme d'efficacité de détection gamma.



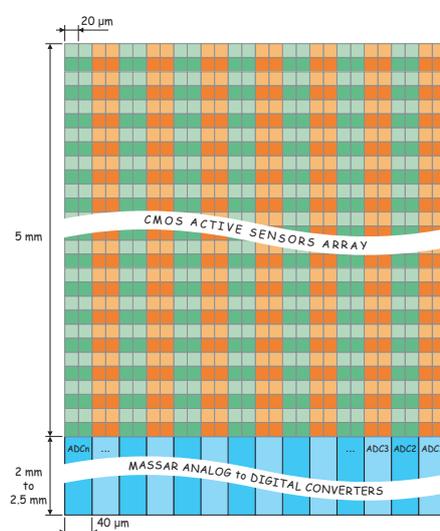
Fig. 1 : Vue du dispositif de mesure entrouvert ; sur la gauche le nouveau détecteur de muons et son cône de collection de lumière.

# Service Électronique: projet MASSAR

*D. Dzahini, L. Gallin Martel, F. E. Rarbi*

MASSAR est une nouvelle architecture de convertisseur analogique numérique pour les chaînes de lecture comportant plusieurs centaines voire des milliers de voies en parallèle. Cette nouvelle technique permet d'atteindre de grande résolution (14 bits) avec une vitesse de conversion de l'ordre de 1MSPS/voie, tout en contrôlant la consommation et la surface nécessaire.

La technologie MASSAR est particulièrement adaptée pour les nouvelles générations de photo-détecteurs très denses, des pixels actifs de type MAPS, des bolomètres infrarouges et pour les imageurs au sens large. La figure illustre comment plusieurs colonnes de pixels peuvent être lues avec ces convertisseurs où la surface est aussi un paramètre critique. Les simulations de l'architecture MASSAR ont démontré une consommation quatre fois meilleure que toutes les autres architectures ayant été publiées à ce jour pour une résolution de 14 bits. Le premier prototype est en cours de réalisation grâce au soutien financier du pré-incubateur GRAVIT. Le dépôt de brevet est en cours, tout comme les discussions pour céder une licence d'exploitation dans le domaine de l'imagerie.



*Fig. 1: Illustration des convertisseurs MASSAR pour une matrice d'imageurs, chaque convertisseur lisant deux colonnes.*

# Service des Sources d'Ions: sources COMIC pour FIB

J. Angot, L. Bonny, T. Lamy, J. Médard, P. Sortais

S. Homri, O. Salord, P. Sudraud, Orsay Physics S.A. 95 avenue des Monts Auréliens F-13710 Fuveau

## Source d'ions pour les faisceaux focalisés

La technologie des sources d'ions hautes intensités et haute brillance, bien que simple en apparence, fait appel à un large savoir-faire dans le domaine des champs magnétiques, des micro-ondes, des cavités hyperfréquence, des hautes tensions, de la thermique, des techniques du vide, de celle des plasmas (gaz ionisé) et de la physique atomique. Le LPSC poursuit des études de simplification, de miniaturisation et de fiabilisation de ce type de machines.

La technologie «FIB» est initialement développée en direction du nano-usinage pour l'analyse de surface et de défaillances des microcircuits. À ce titre le développement des sources d'ions s'est fait en direction de faisceaux toujours plus petits (Orsay Physics détient le record du monde avec 2,5 nm). Des demandes récentes liées aux technologies 3D des microcircuits ainsi que pour la tomographie 3D des cellules biologiques impliquent des faisceaux 10 à 1000 plus intenses dans des volumes de l'ordre du  $\mu\text{m}^3$ . Il fallait donc une nouvelle technologie de source d'ions qui assure à la fois intensité et extrême qualité du faisceau d'ions produit. La solution a été apportée par le savoir-faire des ingénieurs accélérateurs qui, pour des raisons de fiabilité et d'efficacité de transmission, avaient précisément développé ce type de machine. Nous avons là un exemple de développement amont dans le laboratoire, puis une stratégie de partenariat de la part de la société, qui elle-même peut, grâce à cette technologie, s'ouvrir à de nouvelles applications vers les «bio-nano» en plus de son domaine initial de la microélectronique.

## Un transfert de compétence avec la société Orsay Physics

L'industrialisation a pris le chemin normal d'un processus de valorisation entre le CNRS et une entreprise. À la suite du dépôt de brevet CNRS, un contrat de collaboration a été signé avec l'entreprise afin de finaliser les objectifs et les caractéristiques recherchées. Une fois établie, l'entreprise a pu s'engager dans un processus de cession de licence d'abord sous forme d'option, puis en licence définitive par une négociation avec la filiale «juridique» du CNRS: FIST. Une fois sa propriété industrielle maîtrisée, l'entreprise a eu toute liberté de finaliser un produit industriel adapté au marché visé. Dans le cadre du contrat de collaboration, il a été possible de suivre et conseiller l'entreprise jusqu'à la finalisation du projet. Le succès présent et futur de ce type de machine conduit bien évidemment à de nouvelles demandes permettant d'élargir le catalogue d'Orsay Physics. Il y a donc actuellement de nouveaux projets de collaboration en cours de négociation. Pascal Sortais a reçu le 2<sup>e</sup> prix de la recherche appliquée de la FIEEC (Fédération des Industries Électriques, Électroniques et de Communication) pour l'ensemble de ce processus de valorisation.

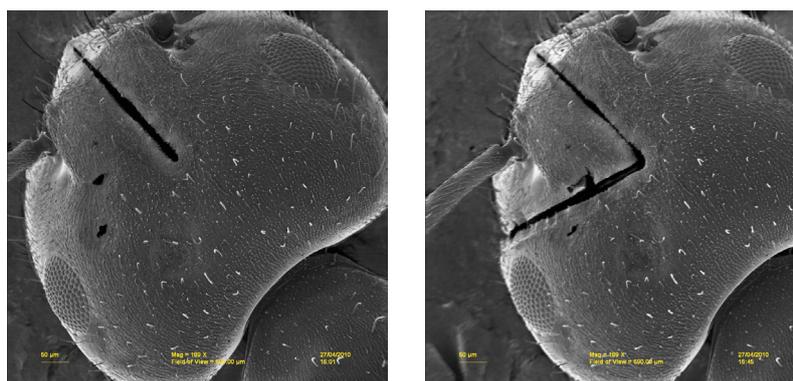


Fig. 1: Images ioniques et microchirurgie de la tête d'une fourmi par micro usinage d'un faisceau d'ions focalisés issu de la source d'ions COMIC.

# Groupe Astroparticules : projet COMIMAC

*J. Medard, D. Santos, P. Sortais*

*J.-P. Scordilis, Service Électronique*

*O. Guillaudin, Service Détecteurs et Instrumentation*

*D. Fombaron, S. Roudier, Service Études et Réalisations Mécaniques*

La détection directe de matière sombre non-baryonique par le projet MIMAC demande la détermination de la part en ionisation de l'énergie du recul nucléaire qui a subi une interaction avec une particule exotique de notre halo galactique. Cette détermination quantitative signifie avoir mesuré ce que l'on appelle le facteur de « quenching » en ionisation (IQF).

Ces mesures se font régulièrement au LPSC depuis 3 ans sur une ligne expérimentale spécialement conçue et développée par le service des Sources d'Ions du laboratoire.

Afin de pouvoir réaliser ce type de mesures sur le détecteur MIMAC installé à Modane il fallait concevoir une ligne de quenching portable. Ceci a été possible grâce à la source COMIC qui nous a permis de développer une miniaturisation de la ligne de quenching et de la coupler à une chambre d'ionisation par une interface adaptée pour l'injection des ions dans le gaz minimisant le straggling subi par les ions à l'entrée de la chambre.

Dans la figure ci-jointe, nous pouvons voir la ligne COMIMAC juste après avoir fait le premier test avec des ions d'azote en juin 2011.

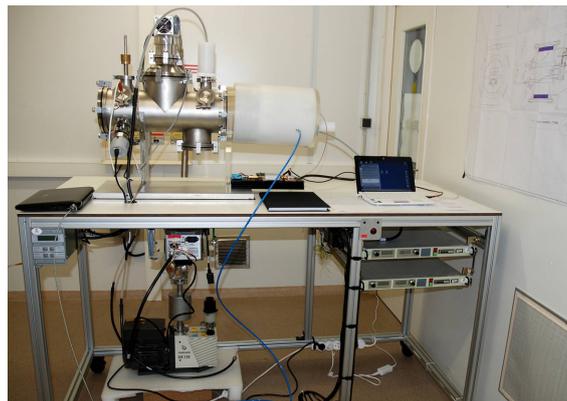


Fig. 1 : Ligne de quenching COMIMAC.

# Service Informatique: logiciel ZNeTS

T. Descombes, I. Zakari Touré

ZNeTS, «The Network Traffic Supervisor», est un outil de surveillance des machines d'un ou plusieurs LANs, développé pour l'IN2P3.

Ses fonctions sont :

- l'acquisition et la conservation des flux réseaux, entrants et sortants,
- la recherche et l'extraction de données, grâce à un moteur de recherche intégré,
- la détection d'anomalies provoquant la génération d'alerte et l'envoi éventuel de mail,
- la métrologie, avec le calcul et la visualisation de statistiques horaires et journalières du trafic global et individuel (pour chaque sous-réseau, et machine du LAN).

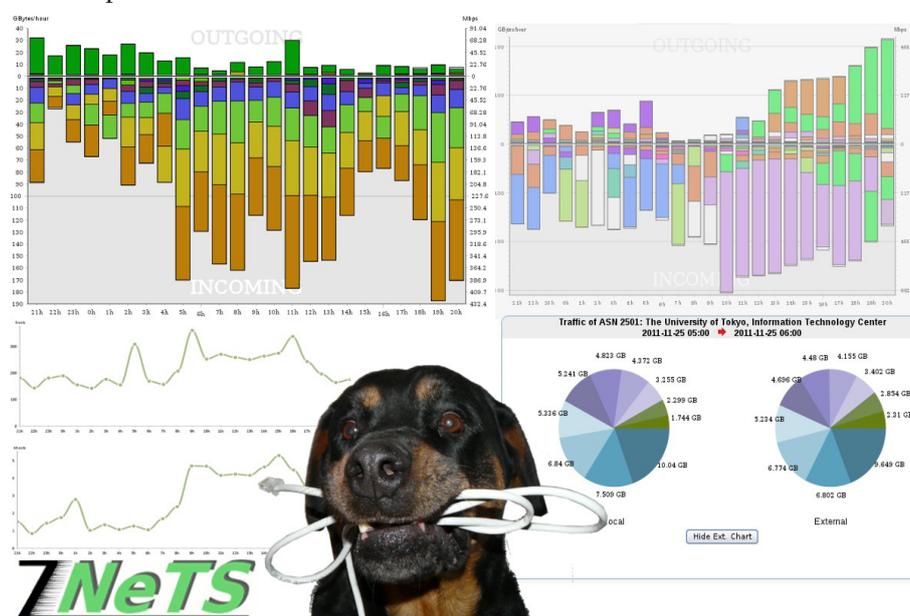
ZNeTS est simple à déployer. Il a été développé en C++ et intègre un serveur web implémentant la norme HTTP/1.1(RFC2616). Une authentification par login/mot de passe ou par certificats X509 est possible. L'interface web, basée sur le framework Dojo, est particulièrement ergonomique et elle permet l'interprétation et la visualisation des données.

ZNeTS s'adapte à toutes les architectures réseau. Il est capable d'acquérir ses données non seulement à partir des NetFlow (mode netflow), mais aussi directement depuis une interface physique (mode sniffer). Il est capable de décoder la plupart des versions de NetFlow et l'IPFIX. Il est compatible IPv4 et IPv6. Des packages ont été construits pour la plupart des distributions Linux.

ZNeTS n'est pas un simple collecteur. Il utilise des flux optimisés qu'il ré-agrège pendant une période d'une durée paramétrable.

L'interface graphique est intuitive et ergonomique. La métrologie offre 2 niveaux de détails. Les alertes sont simples et pertinentes (basées sur des algorithmes de comptage). L'accès aux flux réseau est facile, les formulaires de sélection étant préremplis automatiquement, à chaque interaction.

ZNeTS doit être déployé sur les 16 sites IN2P3 prochainement. De plus, il est actuellement utilisé par quelques dizaines d'établissements publics.



# Groupe Développements et Applications pour le Médical

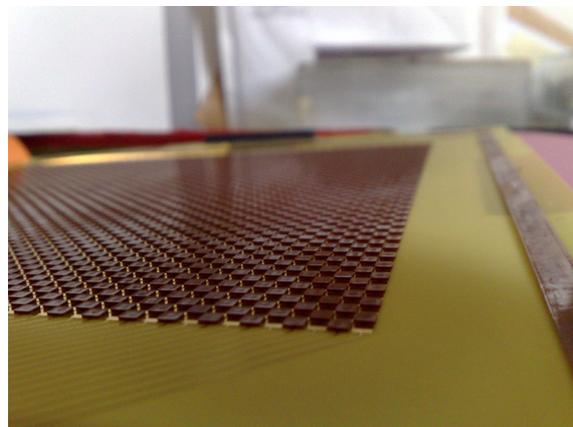
*Y Arnoud, I. Fonteille, M.-L. Gallin-Martel, O. Rossetto  
B. Boyer, L. Gallin Martel, Service Électronique  
O. Guillaudin, A. Pelissier, Service Détecteurs et Instrumentation*

## **Profileur pour la mesure en ligne des faisceaux de radiothérapie**

La mise en œuvre de nouvelles techniques d'irradiation en radiothérapie comme le masquage dynamique du faisceau (*Intensity Modulated RadioTherapy* et *Volumetric Modulated ArcTherapy*) permet un dépôt de dose plus précis au niveau des tissus à traiter, tout en préservant les organes à risques. Ces techniques nécessitent la mise en place de nouveaux systèmes de contrôle, qui ne sont pas actuellement présents sur les machines commerciales.

Un partenariat avec le service de radiothérapie du CHU de Grenoble à été initié pour le développement d'un profileur de faisceau. Des mesures régulières sous les faisceaux des accélérateurs médicaux du CHU ont dès à présent permis de mesurer localement la forme du faisceau, et l'évolution temporelle de ses caractéristiques, à l'aide de deux prototypes développés au LPSC. L'électronique analogique nécessaire à la lecture des signaux a été développée spécifiquement par le service électronique, alors que le service détecteurs et instrumentation à assuré l'intégration des éléments issus de la phase de R&D. Un troisième prototype va être réalisé, permettant une mesure 2D et en temps réel des faisceaux au cours de l'irradiation. Après réduction des données, les signaux de ce détecteur seront transmis en ligne à une console de décision, afin d'arrêter l'irradiation dans le cas où une anomalie serait mise en évidence, par rapport au plan de traitement initialement établi.

Ce projet fait partie d'un programme ISI, financé par OSEO, pour l'augmentation de la sureté en radiothérapie (projet INSPIRA). Les prototypes développés au LPSC ont fait appel à des technologies innovantes (dépôt de brevet FR N° 11/53254). Un contact avec la société IBA (Ion Beam Applications) a été établi, en vue d'une commercialisation du produit dans les années à venir.



*Fig 1 : Le 2<sup>e</sup> prototype prêt à enregistrer des données sous le faisceau de radiothérapie. Détails sur la structure innovante à base de piliers en polyimide de hauteur 500  $\mu$ m afin de réduire la diaphonie.*

# Centre de Recherche Plasmas-Matériaux-Nanostructures (CRPMN)

S. Béchu, A. Bès, A. Lacoste, H. Le Quoc, J. Pelletier, T. L. Phan, G. Regnard, A. Todoran

## Partenariat de valorisation

La valorisation de l'activité de développement des technologies plasma micro-onde se traduit par leur transfert aussi bien au niveau académique qu'au niveau industriel. Au niveau académique, quatre laboratoires (LSPM Villetaneuse, LPCI Le Mans, LAPLACE Toulouse, Université de Patras Grèce), se sont dotés de réacteurs équipés avec des sources plasma micro-onde développées au LPSC et commercialisées par Boréal Plasma (sous licence de deux brevets CNRS). Cette société, devenue Boréal-Plasmas (filiale de HEF), approvisionne également l'équipementier HEF en sources plasma micro-onde pour leur intégration sur les machines de dépôt fabriquées et vendues par HEF. L'achat de licence non-exclusive portant sur deux familles de brevets CNRS-UJF vient d'être conclu entre SAIREM et CNRS-UJF.

Dans le cadre du GIS CNRS-IN2P3, l'UJF et TED, une forte collaboration s'est développée entre le LPSC et Thales Electron Devices (TED). Celle-ci repose sur des savoir-faire complémentaires (hyperfréquences et plasma) et sur une forte volonté des deux parties dans le développement des sources plasma micro-onde distribuées à haut rendement énergétique en vue d'un transfert technologique à plus grande échelle. Cette collaboration, démarrée en 2007 et renforcée par une première thèse CIFRE (2009-2011), se poursuivra en 2011-2014 avec une deuxième thèse CIFRE.

Un autre volet important de l'activité de valorisation du groupe porte sur l'une des principales applications de ces technologies qui est celle d'élaboration de matériaux en couches minces. Les études ponctuelles effectuées à travers des contrats avec différents partenaires industriels (Socrate Industrie, Valéo) permettent de valoriser la technique de co-pulvérisation assistée par plasma (réactif ou non) pour la réalisation des matériaux complexes à composition ou à fonctionnalité bien définies. L'expertise du groupe en la matière a également conduit à un contrat avec UGITECH et une bourse CIFRE démarrée en 2011.

Outre la technologie plasma micro-onde et ses applications dans le domaine des matériaux, le groupe a développé des dispositifs de diagnostic comme, par exemple, celui pour des mesures de sonde électrostatique. Ce projet, financé par la Mission Ressources et Compétences Technologiques du CNRS et mené par le groupe en étroite collaboration avec le service Electronique du LPSC, a conduit à un produit performant qui pourrait faire l'objet d'une commercialisation via une PME de la région qui reste à définir. Les compétences du groupe dans le domaine des diagnostics plasma ont également été valorisées dans le cadre de différents contrats (Adixen, CERN).

## Projets ANR Valorisation

La valorisation des technologies plasma micro-onde développées par le groupe au sein du LPSC a été soutenue par l'ANR Emergence sous forme de financement du projet APANAGE (2010-2011) portant sur la réalisation d'une chambre de gravure plasma à hautes performances adaptable sur plates-formes existantes. Le principal objectif de ce projet stratégique est d'accéder au marché de la micro-électronique.



Fig. 1: Exemple de réacteur équipé de sources plasma micro-onde et commercialisé par Boréal. Ce réacteur, développé dans le cadre du projet ANR-Plasmodie, est utilisé depuis 2010 au LSPM pour le dépôt de diamant polycristallin à basse pression.