

Mai 2007

Qu'y-a-t-il de commun entre le contrôle de population de microalgues et le comptage de flamants roses ? A première vue pas grand-chose et pourtant voici deux exemples sur lesquels les équipes-projet de l'INRIA s'investissent car ces 2 exemples illustrent la capacité de la recherche qui est menée à l'INRIA à proposer des modèles mathématiques et informatiques afin de comprendre et d'agir sur la réalité de notre planète.

Les enjeux qui lient l'économie, la société et l'environnement sont absolument gigantesques et la recherche en modélisation et en informatique qui sont au cœur de l'INRIA sont un des éléments cruciaux pour trouver des solutions qui vont bâtir notre futur.

Après avoir travaillé de nombreuses années sur le traitement d'image et ses applications pour l'observation de la Terre, je suis particulièrement heureux que le premier éditorial de Lisa que je signe en temps que Directeur du Centre de Recherche INRIA Sophia-Antipolis Méditerranée, soit consacré à l'équipe-projet Ariana dont la thématique est le développement de méthodes algorithmiques pour la télédétection et l'environnement à partir d'images satellites ou aériennes. Depuis le lancement des satellites Landsat et Spot dans les années 80, l'imagerie satellitaire s'avère être une source de connaissance importante de notre planète et de ses activités humaines. En 1998, quand j'ai participé à la création de la start-up Istar, l'imagerie 3D à partir de satellite était réservée à des activités très spécialisées, aujourd'hui le succès populaire de GoogleEarth l'a démocratisée.

Mais le besoin est bien plus vaste : cartographier les villes, évaluer l'impact des incendies ou des pollutions, optimiser les cultures, mesurer l'état sanitaire des plantations, analyser l'état des océans, voilà quelques applications pour lesquelles le nombre et les performances des satellites qui auscultent la Terre augmentent. Bref, la matière première augmente et devant cette avalanche de données, la modélisation mathématique et l'informatique, et spécifiquement le traitement d'image, sont des outils importants voire irremplaçables pour transformer cette matière "brute" en élément intelligible pour que ceux qui doivent prendre leur décision puissent le faire avec la meilleure connaissance.

Tel est l'objectif final des recherches menées à l'INRIA et je vous invite à découvrir les travaux conduits par les chercheurs de l'équipe-projet Ariana sous la direction de sa responsable Josiane Zerubia, femme et chercheuse reconnue internationalement.

GÉRARD GIRAUDON
Directeur de l'INRIA Sophia Antipolis Méditerranée

Directeur de la publication : Gérard Giraudon
Comité de rédaction : Rose-Marie Cornus, Agnès Cortell,
Jean-Pierre Merlet, Philippe Mussi, Suzanne Reynders
Dépôt légal : 12/2004 - N° ISSN : 1771-3447
www-sop.inria.fr
Contact : rev-com@sophia.inria.fr

► Shamash : production de biocarburants lipidiques par des microalgues



Utiliser des microalgues pour produire des biocarburants est au cœur de Shamash1, un projet financé à hauteur de 0,8 million d'euros par l'ANR et soutenu par les pôles de compétitivité Mer (Toulon) et Capénergies (Cadarache).

Les microalgues ont des avantages notables sur les espèces oléagineuses terrestres dans ce domaine. Tout d'abord leur rendement peut atteindre jusqu'à trente fois celui des oléagineux terrestres. Ensuite, les algues se développant en milieu liquide, leur culture contrôlée en circuit fermé permet de limiter les rejets d'engrais et de pesticides dans la nature. Enfin, bien que plus onéreuse car demandant plus de technologie sophistiquée, l'extraction de lipides s'accompagne de nombreux sous-produits valorisés par l'industrie pharmacologique et cosmétique.

Tous ces atouts font des microalgues des candidates de choix pour la production de biocarburants, mais encore faut-il mettre au point un système adéquat de production à haut rendement. À cet effet, le projet Shamash regroupe des spécialistes de l'optimisation des procédés biotechnologiques ainsi que des spécialistes des biocarburants, de l'extraction, de la purification de lipides, de la culture, de la physiologie et de l'utilisation de microalgues.

L'équipe-projet Comore de l'INRIA Sophia Antipolis (commun avec le laboratoire d'océanographie de Villefranche sur Mer (CNRS/UPMC)) qui coordonne le projet, s'occupe plus particulièrement de modéliser les mécanismes complexes se produisant au sein des cultures afin de déterminer les conditions optimales de production de lipides et autoriser ainsi un contrôle rigoureux du milieu de culture. En effet, si les microalgues sont capables de produire jusqu'à 60 à 70 % de leur poids de lipides, il faut néanmoins créer les situations propices à une telle accumulation. Or il se trouve que ce phénomène ne se produit qu'en cas de carence d'éléments indispensables à leur croissance, comme l'azote, et que cette situation ne peut qu'être transitoire : la production de lipides s'arrête naturellement après un laps de temps et le stock de lipides est à nouveau consommé. Pour maintenir la production il faut donc envisager des carences périodiques en éléments nutritifs. Par ailleurs, les cultures sont très denses et la lumière ne pénètre pas au-delà de quelques centimètres ce qui implique qu'elles doivent être régulièrement mélangées pour optimiser les conditions d'accès à la lumière des cellules. Il s'agit donc pour les chercheurs de Comore de quantifier le stress nécessaire et de contrôler la périodicité de ce stress afin d'assurer une production optimale de lipides. Une coopération étroite avec le laboratoire d'océanographie de Villefranche permettra de préciser le modèle en tenant compte des résultats obtenus sur des cultures réelles. Ce modèle sera ensuite repris par l'Ifremer et l'université de Nantes pour optimiser la circulation des microalgues dans les bio-réacteurs expérimentaux.

Le projet Shamash réunit l'équipe-projet Comore de l'INRIA Sophia Antipolis, le laboratoire d'océanographie de Villefranche sur Mer (CNRS/UPMC), l'Ifremer, le CEA à Cadarache et l'université de Nantes ainsi que le Cirad de Montpellier, le CNRS, l'université d'Aix en Provence et Valcobia, un industriel (PME) spécialisé dans l'extraction des huiles des oléagineux terrestres.

Shamash est une divinité babylonienne qui donne son nom au programme de recherche, représenté par un soleil dans une roue, "comme une métaphore du biocarburant".

Contact : Olivier Bernard (équipe-projet Comore et coordinateur du projet) - 04 92 38 77 85
<http://www-sop.inria.fr/comore/shamash/>



TÉLÉDÉTECTION ET ENVIRONNEMENT : UN E

Le domaine d'activité de l'équipe-projet Ariana, commune à l'INRIA, au CNRS et à l'UNSA, est l'observation de la Terre et la ca sentés ci-dessous.

► Feux de forêts : la région PACA est particulièrement concernée

L'imagerie satellitaire peut s'avérer être un outil précieux pour la gestion des risques environnementaux. Dans ce cadre, la thématique liée aux feux est particulièrement sensible pour la région méditerranéenne qui subit chaque année une dégradation de son environnement du fait des incendies. Partant de ce constat, l'équipe-projet Ariana aborde cette problématique via deux programmes de recherche. Le premier, entrant dans le cadre d'une collaboration avec Thales Alenia Space, concerne la détection précoce des départs de feu. L'approche développée s'appuie sur des images infra-rouge thermiques fournies par l'agence spatiale allemande (DLR), dont les propriétés locales reflètent la chaleur au sol. Une analyse statistique de l'image permet de détecter les différents départs de feu tout en les renseignant par une probabilité de fausse alarme. Cet outil a été validé à partir de feux de contrôle allumés au Portugal.

Le second thème de recherche concerne l'évaluation des dégâts après un incendie. Il est actuellement développé dans le cadre d'une thèse cofinancée par la société SILOGIC. Une évaluation quantitative des zones brûlées permet d'étudier les phénomènes de propagation

des feux, mais apporte également des informations précieuses pour les décideurs afin d'anticiper les moyens nécessaires à la réhabilitation du site et d'estimer les pertes en ressources forestières ou en terme de biomasse. Pour classer les zones brûlées, de nombreuses approches s'appuient sur la détection de changements entre une image prise avant l'incendie et une seconde image prise après.

L'originalité de notre travail consiste à ne considérer qu'une seule image prise après l'incendie, ce qui évite d'avoir recours à une archive et répond donc mieux aux impératifs opérationnels. Dans cette optique, nous avons développé un algorithme de classification fondé sur les séparateurs à vaste marge (SVM). Des tests ont été menés sur des images SPOT 5 prises après les incendies de 2003 sur le massif des Maures. Les résultats de la classification ont été confrontés avec les vérités terrain obtenues auprès de la brigade de pompiers concernée (SDIS83) et du CNES. Une comparaison de la méthode développée avec des approches plus classiques en a montré la supériorité.

Sandrine Mathieu, chef de projet système satellite, service applications et système d'information chez Thales Alenia Space à Cannes

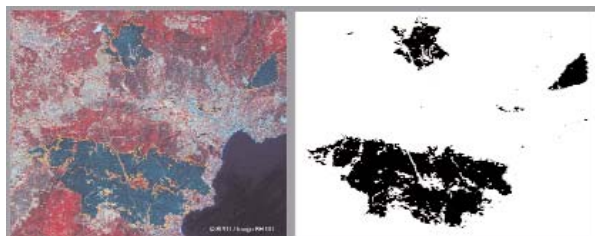
Depuis très longtemps l'INRIA et Thales Alenia Space entretiennent des collaborations nombreuses et fructueuses, et plus récemment avec l'équipe-projet Ariana pour l'analyse et le traitement d'images en observation de la Terre. En ce qui me concerne j'ai effectué une thèse de doctorat dans le projet PASTIS que j'ai soutenue en 1994.

Dans le cadre précis de détection de départs de feux de forêt, notre objectif était de tester la gamme des algorithmes développés dans l'équipe-projet Ariana. Les résultats obtenus, dans ce cadre de recherche, nous ont permis ensuite de faire le lien entre les performances des traitements et les caractéristiques des images. Les chaînes de traitement ainsi développées ne sont pas destinées à la production de cartes, mais bien à la spécification des caractéristiques des données satellitaires amont utilisées pour la détection des feux de forêts.

Thales Alenia Space privilégie de manière générale la collaboration avec les laboratoires ; l'INRIA nous offre une ouverture sur le monde de la recherche. Elle nous permet, en complément de notre propre département interne "recherche", d'avoir une vue plus large sur l'évolution des techniques et des technologies afin d'affiner notre réflexion sur des systèmes complets destinés à des utilisateurs toujours plus exigeants.

© INRIA/Ariana

© CNES



Détection de zones brûlées à partir d'une seule image acquise après un feu de forêt (image SPOT 5)

► Détection de flamants roses en Camargue

Un des axes de recherche de l'équipe-projet Ariana concerne les processus ponctuels marqués. Ces modèles probabilistes permettent de manipuler des quantités géométriques bien définies. A partir d'une image, un ensemble d'objets, représentatif d'un item cartographique donné, est extrait. Pour ce faire, nous définissons une densité de probabilité sur un espace de configurations composées d'un ensemble d'objets. Le modèle peut prendre en compte des informations géométriques sur chacun des objets (taille, orientation,...) mais également inclure des contraintes spatiales sur l'agencement des objets (non superposition, alignement,...). En outre, un terme dit d'attache aux données modélise l'information fournie par l'image et permet ainsi de localiser les objets correcte-

ment. Une fois le modèle défini, la solution est obtenue par un algorithme d'optimisation de type recuit simulé. L'inconvénient de ces algorithmes, fondés sur des stratégies de type acceptation/rejet d'une proposition, est le temps de calcul nécessaire pour atteindre la convergence. Dans ce contexte, nous avons récemment proposé de nouveaux outils d'optimisation fondés sur les équations différentielles stochastiques qui permettent d'obtenir des résultats sur des images de grande taille avec des temps de calcul de quelques minutes.

Nous nous sommes penchés récemment sur l'évaluation de populations en utilisant cet outil méthodologique. En collaboration avec La Tour du Valat, nous avons entamé une action COLOR (Collaboration Locale de Recherche) visant à compter une population

de flamants roses à partir d'une image aérienne. Sur une telle image, la population contient plusieurs milliers d'individus, rendant un comptage manuel, sinon impossible, tout au moins très fastidieux et coûteux en moyens humains. Sur une image aérienne, un flamant apparaît comme une ellipse fortement contrastée par rapport à son voisinage. L'objet d'étude étant bien défini géométriquement, cette application entre tout à fait dans le cadre de



Vue aérienne d'une colonie de flamants roses
© Station biologique de la Tour du Valat

EXEMPLE DE TRAITEMENT D'IMAGES DANS L'ÉQUIPE-PROJET ARIANA

rtographie. Dans ce cadre, l'équipe-projet traite, entre autres, des problèmes liés à l'environnement dont quelques exemples sont pré-

la modélisation proposée. En outre, la densité de la population provoquant des amas d'ellipses connexes entre elles, les approches ad hoc plus simples s'avèrent inefficaces. Des premiers tests nous ont permis de compter une population de huit mille individus, représentée sur une image de taille 6000 par 4000 pixels en moins de quinze minutes. Ces premiers résultats montrent les potentialités de cette approche générique pour l'extraction d'objets géométriques à partir d'images.

Arnaud Béchet, chargé de recherche à la station biologique de la Tour du Valat, au cœur de la Camargue

L'objet de mes recherches porte sur l'évolution de colonies de flamants roses. Ces oiseaux présentent l'avantage de se regrouper en grand nombre quand vient le temps de se reproduire ce qui permet de les photographier à partir des airs afin de les décompter. Ce décompte sur photos aériennes s'avère long et fastidieux. J'ai donc cherché un outil qui me permettrait de faire un comptage automatique des populations d'oiseaux nicheurs. C'est ainsi que j'ai découvert sur Internet des publications de l'équipe-projet Ariana concernant des travaux de détection des houppiers d'arbres à partir de

processus ponctuels marqués qui donnaient des résultats tout à fait satisfaisants et transférables à nos recherches. Nous avons donc décidé de formaliser cette collaboration dont l'objectif est de valider le protocole entre comptage manuel et automatique. Le logiciel issu de ces recherches a vocation à être en accès libre sous licence CECILL de manière à ce qu'il puisse être utilisé, entre autres, par des biologistes d'autres pays du bassin méditerranéen confrontés à la même problématique : Algérie, Espagne, Mauritanie, Turquie... Cette collaboration, démarrée début 2007, donne déjà des résultats très prometteurs que l'on espère poursuivre avec l'analyse d'autres espèces, comme des colonies de manchots royaux.

► Détection de houppiers dans le cadre de la gestion des forêts

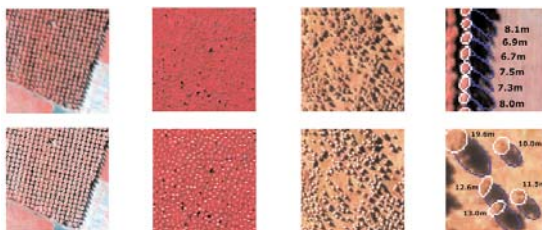
La gestion des forêts, naturelles ou cultivées, en vue de leur conservation, développement et exploitation, requiert la connaissance de plusieurs informations, telles que la densité d'arbres et de biomasse ou l'inventaire des espèces, qui sont difficiles et onéreuses à mesurer sur le terrain. La télédétection offre, en principe, la possibilité d'obtenir ces informations par l'analyse d'images aériennes ou, plus récemment, satellitaires à haute résolution, de réduire ainsi les coûts et d'améliorer la gestion de cette ressource économique et environnementale majeure.

Un problème fondamental dans cette analyse est de trouver automatiquement les arbres dans une image et de délimiter les houppiers (cimes des arbres). Même s'il est facile à poser, ce problème nécessite des outils sophistiqués. Le problème majeur est lié à la complexité des données : ce qui distingue les houppiers dans une image n'est pas uniquement leurs propriétés radiométriques, mais aussi leurs formes et leur disposition. Si l'on veut surmonter ces obstacles, il faut une approche capable d'incorporer une information a priori non-triviale sur la forme et la disposition des

objets cherchés, sans contraindre leur nombre. L'équipe-projet Ariana a développé deux approches tout à fait différentes et innovantes pour traiter ce problème de l'extraction des houppiers.

La première, fondée sur les processus ponctuels marqués, va rechercher une configuration d'objets simples (disques et ellipses en 2D, ellipsoïdes en 3D) dans l'image. Chaque objet est modélisé géométriquement et radiométriquement. Par ailleurs, des contraintes sur la répartition des objets dans la scène sont intégrées dans le modèle. Le travail se poursuit avec l'IFN (Inventaire Forestier National) afin de valider les résultats sur plusieurs départements français et transférer le logiciel, développé dans le cadre d'une thèse (Guillaume Perrin) en co-tutelle avec Centrale Paris.

© INRIA/Ariana



La seconde, fondée sur les contours actifs d'ordre supérieur (CAOS), modélise la région occupée par les houppiers dans l'image. De façon similaire aux processus ponctuels, un terme d'attache aux données et un terme a priori qui décrit la région sont définis. La nouveauté est que ce dernier terme inclut des interactions de longue portée entre les points du bord de la région.

Les résultats sont prometteurs, même si les modèles sont pour l'instant un peu moins développés que ceux utilisant les processus ponctuels marqués. L'application des CAOS à l'extraction des houppiers fait l'objet d'une thèse (Peter Horvath) en co-tutelle avec l'université de Szeged en Hongrie, et a attiré l'intérêt du Service Forestier de l'Etat hongrois.

Un contrat a été signé pour le transfert du logiciel.

Extraction des arbres et de leur hauteur à partir d'images aériennes infra-rouge couleur par processus ponctuels marqués (données IFN)

Claude Vidal, directeur de l'Inventaire Forestier National à Nogent sur Vernisson

La mission première de l'IFN est d'évaluer la ressource forestière sur pied. La première étape pour cela est la photo interprétation à partir de laquelle on dresse la carte des forêts.

La collaboration avec l'équipe-projet Ariana a démarré grâce à Guillaume Perrin (qui y faisait sa thèse en co-tutelle avec l'Ecole Centrale) qui avait besoin de photos de l'IFN pour développer les travaux de sa thèse.

Il s'agissait d'approfondir ses travaux pour avoir du comptage d'arbres plus précis même dans des cas où il y a certains recouvrements d'espèces.

J'ai pu mesurer à l'occasion d'un colloque annuel des inventaires forestiers aux Etats-Unis l'année dernière, la pertinence de ces méthodologies qui ont reçu un écho très positif notamment de l'Etat de l'Orégon et du Canada. Cette recherche appliquée intéresse pas mal de monde. Ce n'est pas une lubie franco-française.

Une des préoccupations majeures en commun avec Ariana, c'est de proposer des projets de recherche complémentaires auprès du 7ème PCRD, et des grands financeurs comme l'ANR parce que l'on est vraiment dans une "joint venture" gagnant/gagnant entre la recherche fondamentale chez vous et l'application chez nous. Il faudrait obtenir d'autres soutiens financiers pour aller plus loin et plus vite qu'actuellement. Cela fait partie des priorités communes.

► Témoignage...

■ de Peter Horvath



Je suis originaire de Szeged en Hongrie où j'ai fait mes études d'informatique avec une spécialisation dans le traitement d'images.

C'est grâce à une collaboration entre l'INRIA et l'université de Szeged (PAI Balaton) que j'ai pu postuler pour faire ma thèse dans l'équipe-projet Ariana, en co-tutelle entre les deux organismes. Ma thèse est co-dirigée par Josiane Zerubia, en collaboration avec Ian Jermyn (INRIA) et le professeur Zoltan Kato (Université de Szeged). J'entame ma 3ème année de thèse que j'espère soutenir en décembre 2007. Ma thèse qui porte sur le comptage d'arbres (voir article sur les houp-pier) se déroule de façon un peu particulière puisque je passe 6 mois à l'INRIA et 6 mois en Hongrie ! je dois dire d'ailleurs que l'environnement qui m'est offert à l'INRIA me permet une meilleure concentration sur mon travail : j'ai un sujet de thèse bien identifié sur lequel je travaille avec mes co-directeurs de thèse ; tandis qu'en Hongrie, plusieurs personnes travaillent sur un même sujet et, en plus, je suis tenu d'assurer des heures d'enseignement parallèlement à ma thèse.

J'apprécie énormément la vie en France, même si le niveau de vie est plus élevé qu'en Hongrie (mais les salaires aussi !). A la suite de ma thèse, j'envisage de postuler dans l'industrie, probablement dans un autre pays (France, Allemagne ou Suisse) pour quelques années, avant de retourner vivre en Hongrie.

► Zoom sur les pôles de compétitivité

Le projet NEUROCOM (Implant Cochléaire « tout implanté » pour la réhabilitation des surdités sévères et profondes) vient d'être labellisé par le pôle SCS. Porté par la société MXM et sa filiale dédiée Neurelec, NEUROCOM vise à résoudre les problèmes de surdité chez les enfants grâce aux nouvelles technologies.

Les implants cochléaires existent depuis environ 25 ans et ont montré leur capacité à restaurer la fonction auditive chez des patients sourds profonds. Actuellement 4 fabricants se partagent le marché mondial. Le principe initial qui consiste à stimuler le nerf auditif, n'a pas changé, mais la façon de le faire, grâce aux retours d'expérience, est en passe d'être profondément modifiée. Cela concerne tou-

Entretien avec...



Josiane Zerubia
directrice de recherche,
Responsable de l'équipe-projet
Ariana

Participez-vous à des projets européens ?

Dans le cadre du 6ème PCRD, nous participons à un Réseau d'Excellence européen (MUSCLE, <http://www.muscle-noe.org/>) où il y a plus de 40 partenaires. Nous travaillons, en particulier, avec l'Université de Tel Aviv, l'Académie des Sciences Tchèque, l'Académie des Sciences Hongroise et l'Université de Cambridge pour traiter des problèmes de modélisation de forme et de texture afin d'améliorer l'indexation des images stockées dans des bases de données, y compris satellitaires. Nous allons déposer plusieurs propositions de projets très bientôt dans le cadre du 7ème PCRD.

Comment valorisez-vous vos résultats ?

La valorisation de nos résultats se fait de deux façons : soit à l'occasion de contrats industriels (Thales Alenia Space, Astrium, Sagem, CS, Silogic, CNES, IGN, IFN...), soit à travers des contrats de licences de logiciels avec des universités ou organismes de recherche en France (laboratoire Creatis à Lyon, INRA...) et à l'étranger (IPAL à Singapour, LIAMA en Chine, Université de Szeged en Hongrie...).

Quels sont vos autres sujets de recherche prioritaires ?

Du point de vue applicatif, nous travaillons beaucoup sur la détection d'objets cartogra-

phiques en 2D (routes, rivières...) et 3D (bâti) avec le CNES, l'IGN et le BRGM afin de pouvoir réaliser, par exemple, la mise à jour de cartes de façon automatique ou semi-automatique. Nous avons également des recherches financées par la DGA (Direction Générale de l'Armement) pour des applications duales (civiles et militaires) comme la détection de changements entre deux images très haute résolution.

Que sont devenus les doctorants et post-doctorants d'Ariana ?

Beaucoup de nos doctorants travaillent comme ingénieurs de recherche et développement dans l'industrie chez Thales Alenia Space à Cannes, INEO Defense ELG et Amadéus à Sophia Antipolis, Astrium à Toulouse, Thomson à Rennes, Philips dans la région parisienne. D'autres ont été embauchés comme chercheurs ou professeurs associés en France (chargés de recherche CNRS à l'ENS Cachan et l'ENSP de Strasbourg) et à l'étranger (Agence Spatiale Européenne à Frascati en Italie, Université de Veracruz au Mexique, Université de Floride (UCF) aux Etats-Unis, Université de Szeged en Hongrie, ...). Nos post-doctorants sont également employés un peu partout dans le monde (Agence Spatiale Européenne, NASA Ames Research Center, Université de Naples, Université de Bristol, Université de Bath, CNR Pise...).

Contact : Josiane.Zerubia@sophia.inria.fr

04 92 38 78 65

<http://www-sop.inria.fr/ariana>

tes les parties de la technologie : le traitement du signal, le réglage objectif des implants et les méthodes quantitatives d'évaluation, la technologie implantée et notamment les profils d'électrode, et la capacité à embarquer une part d'intelligence dans l'implant lui-même. Les enjeux sont donc aussi bien scientifiques que technologiques et le projet Neurocom se propose d'en relever quelques uns qui constituent la première étape de cette mutation mais comportent déjà des défis de haut niveau scientifique et technologique. Le projet va se concentrer sur les nouvelles techniques avancées de traitement du signal et les nouvelles méthodes de stimulation en 3D où l'ensemble des électrodes est pris en compte pour créer le champ électrique stimulant plutôt qu'une activation séquentielle bipolaire classique. Ceci nécessite une architecture matérielle implantée au concept

totale nouveau, coeur des développements technologiques du projet. Chaque partenaire, MXM-Neurelec leader du projet, Assistance Publique Hôpitaux de Marseille, CHU de Montpellier, entreprise Sorin, entreprise SOMMEPP, et DEMAR (Equipe-Projet INRIA commune avec les universités de Montpellier 1 et 2, et le CNRS, hébergée au LIRMM UMR 5506), apporte sa technologie, ses compétences scientifiques, son expérience clinique, pour parvenir à relever le défi dans un consortium équilibré entre industriels, chercheurs et cliniciens.

Contact : David.Guiraud@sophia.inria.fr

04 67 41 86 21

<http://www-sop.inria.fr/demar>