



**HAL**  
open science

## Conception d'Antennes Lentilles par Algorithme Génétique

Gaël Godi, Ronan Sauleau, Daniel Thouroude

► **To cite this version:**

Gaël Godi, Ronan Sauleau, Daniel Thouroude. Conception d'Antennes Lentilles par Algorithme Génétique. MajecSTIC 2005: Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC, IRISA – IETR – LTSI, Nov 2005, Rennes, pp.380-384. inria-00000734

**HAL Id: inria-00000734**

**<https://inria.hal.science/inria-00000734>**

Submitted on 15 Nov 2005

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Conception d'Antennes Lentilles par Algorithme Génétique

Gaël GODI, Ronan SAULEAU, Daniel THOUROUDE

IETR, UMR CNRS 6164, Groupe Antennes & Hyperfréquences

Campus de Beaulieu, Avenue du Général Leclerc, 35042 – RENNES Cedex, France.

gael.godi@univ-rennes1.fr

**Résumé :** Les antennes lentilles sont des dispositifs de focalisation adaptés à de nombreuses applications hyperfréquences. Notre étude porte sur la synthèse de forme de lentilles substrat diélectriques, avec un objectif de rayonnement en champ lointain imposé (gabarit de rayonnement). Nous présentons la méthodologie de conception de ces antennes, basée sur le couplage entre un algorithme génétique (AG) et une méthode d'analyse électromagnétique 3D de type optique géométrique – optique physique (OG–OP). Des résultats d'optimisation de forme sont proposés pour des antennes à rayonnement de type cosécante et sectoriel. Les simulations portent sur l'optimisation de profils de lentilles avec symétrie de révolution, ou non (profils 3D). Les résultats de simulations et de mesures démontrent la robustesse cette méthode d'optimisation globale, dans le cadre de la conception d'antennes lentilles.

**Mots Clés :** Antennes et hyperfréquences, modélisation et optimisation électromagnétique, antennes lentilles, algorithmes génétiques.

## 1 INTRODUCTION

Les antennes lentilles sont des dispositifs de focalisation adaptés à de nombreuses applications hyperfréquences (communications intra bâtiments, radars automobiles ou encore communications par satellites). Notre étude porte sur la synthèse de formes de lentilles substrat diélectriques, avec un objectif de rayonnement en champ lointain imposé (gabarit de rayonnement). La démarche employée consiste en l'optimisation globale de la forme de la lentille par un algorithme génétique (AG) couplé à une méthode d'analyse asymptotique de type optique géométrique – optique physique (OG–OP). La méthodologie de conception est décrite en section II. Elle est ensuite appliquée à la synthèse d'antennes lentilles à diagrammes de rayonnement formés (sections III et IV). Un prototype d'antenne lentille conçue à l'aide de cette méthode a été réalisé. Les résultats expérimentaux sont présentés dans la section IV.

## 2 COUPLAGE D'UN ALGORITHME GENETIQUE AVEC UNE METHODE ASYMPTOTIQUE DE TYPE OG–OP

### 2.1 Analyse d'antennes lentilles substrat à l'aide de la méthode hybride OG–OP

L'étape élémentaire dans cette méthode de synthèse de profil de lentille est l'analyse des performances (diagrammes de rayonnement en champ lointain) d'une antenne lentille de forme quelconque. Le choix s'est porté sur une méthode 3D asymptotique de type OG–OP, pour des raisons de vitesse de calcul. En effet, il est nécessaire de disposer d'un outil d'analyse rapide si l'on souhaite obtenir des résultats d'optimisation dans des temps raisonnables (de quelques heures à quelques dizaines d'heures).

Cette méthode asymptotique a été largement utilisée et validée dans la littérature [Chantraine-Barès, 2004] pour des antennes lentilles dont la taille est grande devant la longueur d'onde (diamètre  $\varnothing > 6 \times \lambda_0$ ). Elle se décompose en trois étapes : (i) illumination de la surface interne de la lentille par le champ électromagnétique rayonné par la source primaire ; (ii) utilisation des lois de Snell pour calculer le champ sur la surface externe de la lentille ; (iii) intégration de ces champs pour le calcul du champ lointain rayonné par l'antenne. Les lentilles présentées dans cet article vérifient les hypothèses d'utilisation de cette méthode.

La source primaire qui alimente la lentille diélectrique est une pastille imprimée alimentée par fente couplée à une ligne microruban (elle est adaptée à 28GHz pour rayonner dans une lentille en Rexolite,  $\epsilon_r=2,53$ ). Le rayonnement en champ lointain de cette source est calculé grâce à une méthode d'analyse globale de type FDTD 3D.

### 2.2 Description de l'algorithme génétique

L'optimisation de la forme de la lentille diélectrique est effectuée à l'aide d'un algorithme génétique (AG) [Rahmat-Samii, 1999]. C'est un AG simple, implémenté en C++ spécifiquement pour notre application. Le codage des paramètres à optimiser est de type binaire, la sélection des individus se fait par tournoi, l'opérateur de croisement est à deux points et les mutations de type binaire. L'évaluation de chaque antenne est calculée grâce à une fonction coût (« Fitness ») que l'on cherche à minimiser (cette valeur représente l'écart entre le diagramme de rayonnement de l'antenne et le gabarit désiré).

Le profil que l'on cherche à optimiser est interpolé par des fonctions de type splines cubiques. Selon que l'on recherche un profil avec une symétrie de révolution ou non, la forme de la lentille est ainsi définie par un ou plusieurs plans de coupe de la lentille, puis la forme est interpolée entre ces plans de coupe. Les paramètres optimisés par l'AG sont les valeurs  $r = f(\theta, \varphi)$  des

points de contrôle des splines (les paramètres sont discrétisés afin de constituer des chromosomes binaires).

Afin de caractériser la qualité de la convergence des résultats d'optimisation, la synthèse par AG est effectuée plusieurs fois (un lancement est appelé un « run ») pour chaque processus de synthèse. Cela permet de s'assurer que l'algorithme converge vers un optimum global, identique à chaque fois, et que les profils de lentilles obtenus sont très semblables.

### 3 APPLICATION A LA SYNTHÈSE DE DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT DE REVOLUTION EN COSECANTE

#### 3.1 Gabarit de rayonnement choisi pour la synthèse

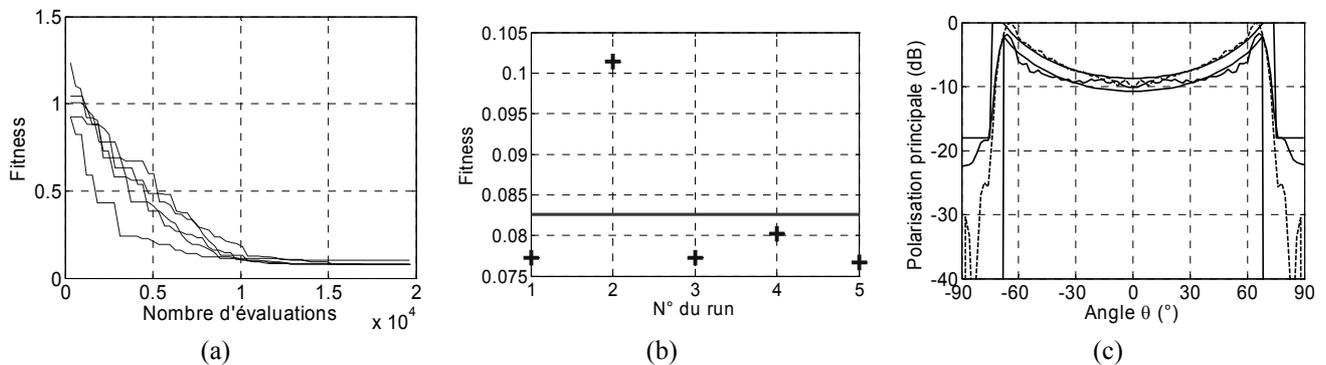
Les résultats présentés portent sur la synthèse d'une antenne dont le gabarit de rayonnement est de type

cosécante [Fernandes, 2001], centré sur  $\theta=0^\circ$ , de demi-largeur  $71^\circ$ , avec une ondulation résiduelle dans la partie en cosécante inférieure à 2dB (crête à crête), des lobes secondaires inférieurs à -18dB et une symétrie de révolution.

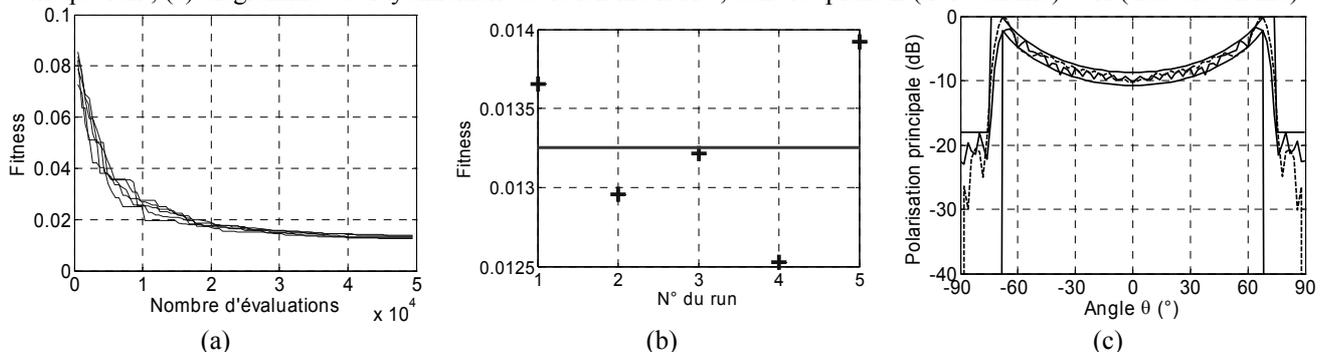
#### 3.2 Synthèse avec profil de révolution et profil 3D

Deux cas ont été considérés :

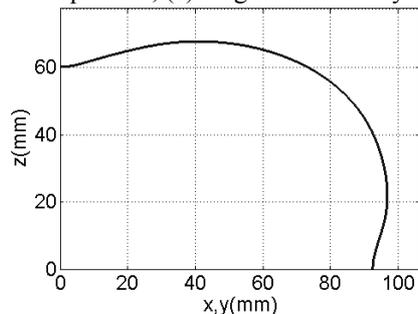
- Synthèse A : la lentille possède une symétrie de révolution (selon l'axe z) ; dans ce cas, l'optimisation est de type *globale* (aucune supposition n'est faite a priori sur le profil codé sur 70 bits).
- Synthèse B : le meilleur profil obtenu pour A est optimisé *localement*, sans supposition de symétrie de révolution (profil 3D codé sur 120 bits).



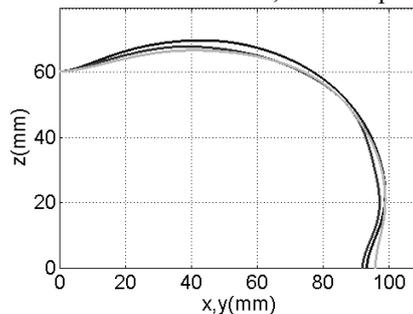
**Figure 1 :** Synthèse A ; (a) évolution du Fitness en fonction du nombre d'évaluations ; (b) meilleur Fitness atteint pour chaque run ; (c) diagrammes de rayonnement de la lentille n°A.5, dans les plans E (trait continu) et H (trait discontinu)



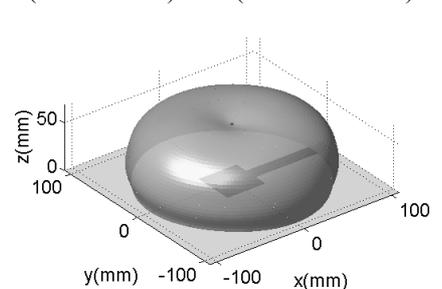
**Figure 2 :** Synthèse B ; (a) évolution du Fitness en fonction du nombre d'évaluations ; (b) meilleur Fitness atteint pour chaque run ; (c) diagrammes de rayonnement de la lentille n°B.4, dans les plans E (trait continu) et H (trait discontinu)



**Figure 3 :** Profil de la lentille n°A.5



**Figure 4 :** Profils de la lentille n°B.4 dans les plans de coupe  $\varphi=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$

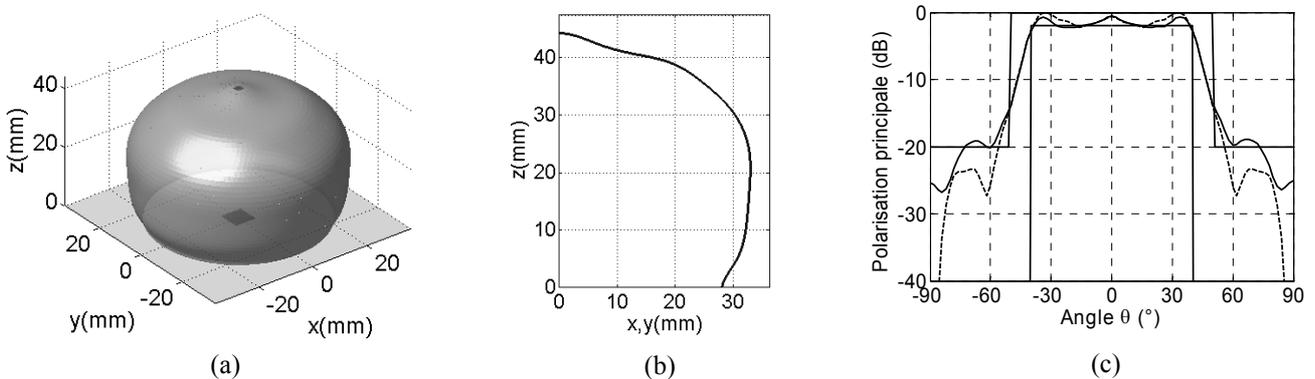


**Figure 5 :** Vue 3D de la lentille optimisée n°B.4

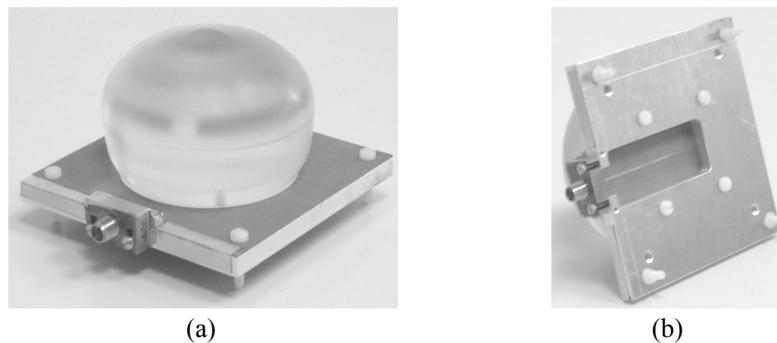
Les résultats de la synthèse A montrent que 4 runs sur 5 convergent vers un profil de lentille identique (les valeurs de Fitness correspondantes sont données sur les Fig. 1.a et 1.b). Le diagramme de rayonnement en champ lointain (à 28 GHz) obtenu pour le meilleur run (n°A.5) est assez proche du gabarit (Fig. 1.c). Dans un second temps, la synthèse B (profil 3D) permet d'améliorer considérablement les résultats : le Fitness moyen (Fig. 2.a et 2.b) est 6 fois inférieur à celui de la synthèse A ; le rayonnement obtenu dans les plans E et H est quasiment inclus dans le gabarit imposé. Les modifications apportées par l'optimisation locale du profil 3D sont comprises entre  $\lambda_0/10$  et  $\lambda_0/2$  (Fig. 3 à 5), en fonction du plan de coupe. Cela démontre l'intérêt d'une double optimisation, globale puis locale.

Un cas d'optimisation globale sur un profil 3D (réunion des synthèses A et B) a également été effectué.

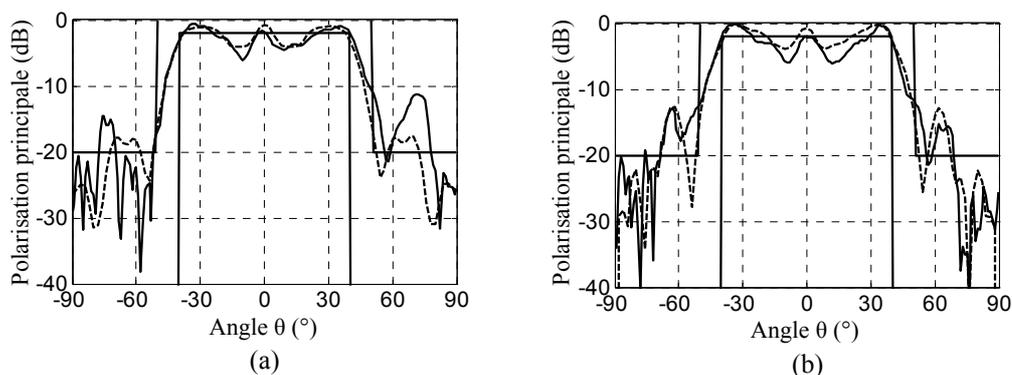
Le profil 3D est codé sur 190 bits, et les résultats en rayonnement sont proches de ceux obtenus pour le meilleur profil de la synthèse B. Cette optimisation globale confirme la robustesse de l'AG pour la synthèse de formes 3D grâce à une unique étape d'optimisation. D'un point de vue du temps d'optimisation, l'optimisation globale de la forme 3D de la lentille est sensiblement plus longue (environ 5h de calcul par run) que la décomposition en synthèse A (1h par run) et synthèse B (2h par run). Cependant, la synthèse de forme en 2 étapes suppose que l'optimum global a déjà été localisé grâce à la lentille de révolution alors que dans le cas de la synthèse 3D unique, l'AG a plus de liberté pour localiser un optimum global sans cette hypothèse.



**Figure 6 :** Résultats d'optimisation pour la lentille choisie. (a) Vue 3D ; (b) Profil de la lentille ; (c) Diagrammes de rayonnements calculés à 28 GHz avec la méthode OG-OP, dans les plans E (trait continu) et H (trait discontinu)



**Figure 7 :** Prototype de la lentille présentée en Fig. 6, associée à sa source primaire. (a) Vue de dessus ; (b) Vue de dessous.



**Figure 8 :** Comparaison des résultats expérimentaux en champ lointain (trait continu) et des simulations FDTD (trait discontinu) à 28 GHz. (a) Plan E ; (b) Plan H.

## 4 APPLICATION A LA SYNTHÈSE DE DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT SECTORIELS

L'antenne présentée dans cette partie a été réalisée dans le but de valider expérimentalement la méthode de synthèse. Plusieurs contraintes de fabrication ont été imposées : le diamètre de l'antenne est au maximum égal à 66 mm, soit environ  $6 \times \lambda_0$  ; la lentille possède une forme de révolution (réalisation au tour ou à la fraiseuse numérique). La lentille est associée à la source primaire décrite en section II.1.

### 4.1 Gabarit de rayonnement

Le rayonnement souhaité pour cette antenne est de type sectoriel (amplitude constante sur une plage d'angles  $\theta$ ). L'ouverture angulaire est fixée à  $\pm 40^\circ$ . L'ondulation maximum dans le secteur est fixé à 2dB et les lobes secondaires doivent être inférieurs à -20dB.

### 4.2 Synthèse d'un profil de révolution

L'AG a été utilisé pour calculer une forme de profil optimale en prenant en compte les contraintes de taille de la lentille. Le profil de révolution est décrit par 11 points de contrôle, codés sur 70 bits au total. La synthèse a été exécutée 10 fois (10 runs) et le choix de la lentille à réaliser s'est porté sur une forme usinable facilement (Fig. 6.a et 6.b). Les résultats de rayonnement en champ lointain sont pratiquement inclus dans le gabarit (Fig. 6.c). Dans le secteur angulaire où l'amplitude est constante, on peut observer que les ondulations sont assez importantes (2dB). Des tests ont montré que c'est principalement la petite taille de la lentille qui en est la cause. En effet, la synthèse du même diagramme de rayonnement avec une lentille environ deux fois plus grande a montré que les ondulations pouvaient être diminuées jusque 1dB d'amplitude, et que plus la taille de la lentille diminue, plus l'amplitude des ondulations augmente.

### 4.3 Résultats expérimentaux

Le prototype de l'antenne est présenté en Fig. 7. Cette antenne a été mesurée en chambre anéchoïde millimétrique. Afin d'évaluer la précision de la méthode OG-OP, une simulation FDTD de l'antenne a également été effectuée. Les résultats en champ lointain des simulations FDTD et des mesures à 28 GHz sont superposés sur la Fig. 8.

Un bon accord entre la simulation FDTD de l'antenne et les mesures est constaté (Fig. 8). En effet, excepté l'effet du connecteur d'alimentation, qui produit une remontée du lobe secondaire dans le plan E, pour  $\theta=75^\circ$  (Fig. 8.a), les résultats sont très proches. Cependant, une nette augmentation de l'amplitude des ondulations par rapport aux résultats OG-OP est observée, que ce soit dans le cas de la simulation FDTD ou des mesures. Une nouvelle simulation FDTD a mis en évidence que cette différence est due aux réflexions internes dans la lentille. En effet, lorsque la simulation

FDTD est tronquée pour ne prendre en compte que le rayonnement du premier front d'onde [Godi, 2005], le champ lointain calculé est très proche de celui prédit par la méthode OG-OP. Cela signifie que même pour une lentille qui possède une permittivité assez faible ( $\epsilon_r=2,53$ ), l'effet des réflexions internes peut être significatif dans certains cas, contrairement à la convention habituellement acceptée dans la littérature (un revêtement antireflet est nécessaire si  $\epsilon_r > 4$ , [van der Vorst, 1996]).

Les principales différences entre les simulations et les mesures ont donc été identifiées, ce qui permettra de faire évoluer nos codes d'analyse pour prendre en compte ces effets.

## 5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats présentés montrent la robustesse d'un algorithme génétique pour l'optimisation globale ou locale de la forme des antennes lentilles substrat (les optimisations présentées portent sur des espaces de solutions codés sur 70, 120 et 190 bits, soit respectivement  $10^{21}$ ,  $10^{36}$  et  $10^{57}$  possibilités). La méthode a été validée pour des gabarits de rayonnement variés (cosécante, sectoriel, gaussien). Cette étude montre également que le choix du type de profil (révolution ou 3D) ainsi que la méthode d'optimisation (globale ou locale) sont importants dans le processus de conception d'antennes lentilles. Les résultats expérimentaux à 28 GHz ont validé l'approche présentée dans cet article. Les simulations FDTD ont aussi mis en avant l'influence des réflexions multiples dans les résultats en rayonnement, même si la permittivité de la lentille est assez faible ( $\epsilon_r=2,53$ ). Cet outil de synthèse est en cours d'amélioration, pour prendre en compte les lentilles multicouches, ainsi que les réflexions internes (évolution de la méthode d'analyse).

## BIBLIOGRAPHIE

- [Chantraine-Barès, 2004] B. Chantraine-Barès, « Synthèse et optimisation d'antennes lentilles substrats à diagramme de rayonnement formé en ondes millimétriques », Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, Novembre 2004.
- [Fernandes, 2001] C. A. Fernandes et L. M. Anunciada, « Constant Flux Illumination of Square Cells for Millimeter-Wave Wireless Communications », IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 49, n° 11, pp. 2137-2141, Novembre 2001.
- [Godi, 2005] G. Godi, R. Sauleau et D. Thouroude, « Performance of Reduced Size Substrate Lens Antennas for Millimeter-Wave Communications », IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 53, n°4, pp. 1278-1286, Avril 2005.
- [Rahmat-Samii, 1999] Y. Rahmat-Samii et E. Michielssen, « Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms », New York, John Wiley & Sons, 1999.
- [van der Vorst, 1996] M. J. M. van der Vorst, P. J. I. de Maagt et M. H. A. J. Herben, « Influence of Internal Reflections on the Far-Field Pattern of Integrated Lens Antennas », International Symposium on Antennas and Propagation, Chiba, Japon, vol. 4, pp. 1225-1228, 24-27 Septembre 1996.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet MINICANT, financé par le CNRS et le Conseil Régional de Bretagne.