

1983 – Découverte théorique et expérimentale d'une propriété des réseaux diélectriques (guides optiques modulés) de réfléchir jusqu'à 100% de la lumière incidente dans un intervalle fin d'angle d'incidence ou de longueur d'onde (fig.1). L'étude de ce phénomène a montré la possibilité de construire des filtres optiques en réflexion ayant des bandes très étroites.

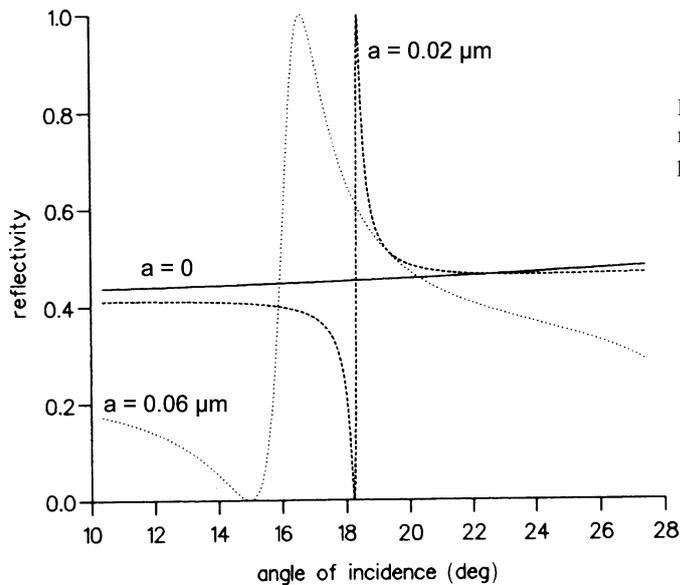


Fig.1. Réflectivité d'un guide optique modulé pour diverses valeurs de la profondeur de modulation a .

1986 - Découverte d'une nouvelle anomalie d'efficacité des réseaux métalliques profonds supportant deux ordres de diffraction et démonstration théorique et expérimentale de son caractère non-résonant. Ce travail fut à l'origine de la découverte d'un nouveau type des plasmons de surface. Cette étude a permis le développement d'une compréhension plus générale des anomalies des réseaux de diffraction et de la propagation des plasmons surfaciques sur l'interface métal-diélectrique, domaine de recherche qui est devenu un thème très moderne à la fin des années 90 et récemment popularisé sous le nom de plasmonique.

1990 – Les études précédentes sur les réseaux métalliques profonds ont donné la naissance à la découverte de la formation de tourbillons du vecteur de Poynting (fig.2) dans les sillons de réseaux profonds diélectriques ou métalliques. Ce phénomène explique la quasi-périodicité de l'efficacité en fonction de la profondeur du réseau.

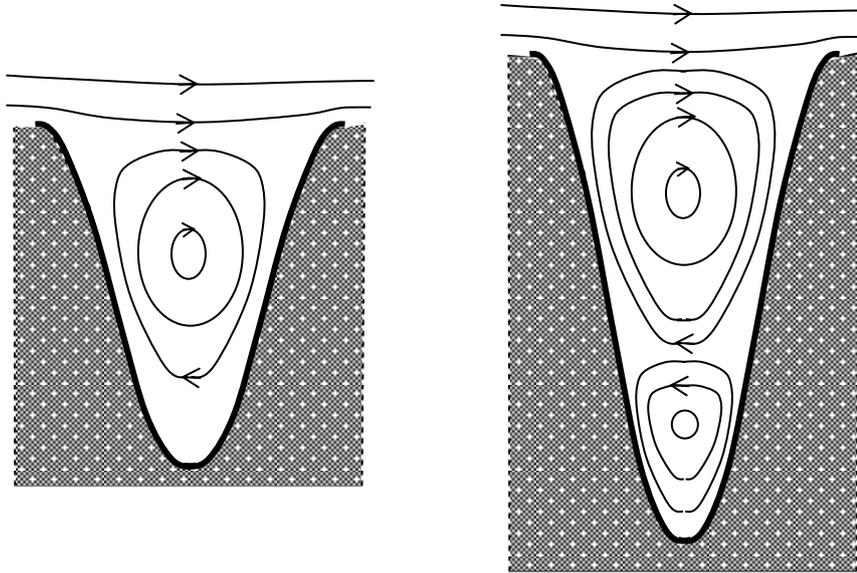


Fig.2. Lignes du vecteur de Poynting d'un réseau métallique pour deux valeurs de la profondeur.

1994 – La généralisation en optique non-linéaire des trois théories de la diffraction par les réseaux a mis en évidence l'existence de zéros non-linéaires des efficacités des réseaux diélectriques ou métalliques ; ceci a permis d'expliquer le comportement non-Lorentzien de la génération second harmonique en fonction de la longueur d'onde ou de l'incidence..

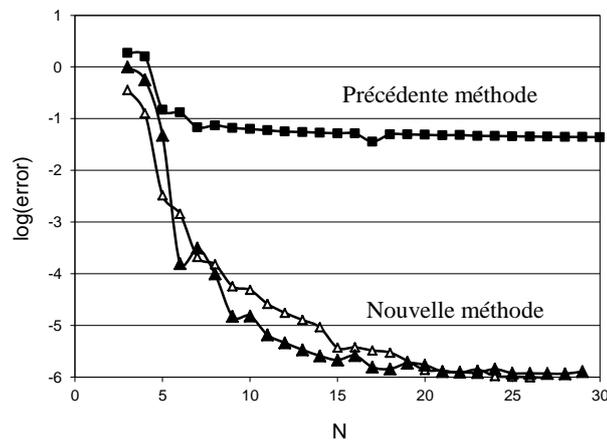


Fig.3. Convergence de la méthode différentielle en fonction de nombre de composantes de Fourier

1999 – 2007 – Une nouvelle formulation de la théorie différentielle de la diffraction par des réseaux est proposée, basée sur une nouvelle écriture des équations de Maxwell en milieu périodique, projetées sur une base de Fourier tronquée. Elle permet d'améliorer la convergence numérique du cas de polarisation TM (fig.3). L'amélioration est spectaculaire pour les réseaux présentant un fort contraste d'indice de réfraction, tels que les réseaux métalliques. La formulation proposée est basée sur une nouvelle écriture des équations caractéristiques des milieux en utilisant des règles de factorisation établies auparavant par L. Li, et est maintenant connue sous le nom de "*Fast Fourier Factorization*" (FFF). Elle concerne non seulement l'électromagnétisme, mais s'adapte aussi à d'autres domaines de la physique où l'on a à calculer numériquement la série de Fourier d'un produit de fonctions discontinues.

Pendant les années suivantes, ces travaux ont été généralisés en optique anisotrope et en géométrie cylindrique, donnant une nouvelle méthode de modélisation des fibres microstructurées].

2004 – 2012 – Pour les besoins de la biologie, le développement durant les années 2000 de l'optique des nanotrous percés dans des écrans a montré la nécessité d'étendre la théorie électromagnétique de la base de Fourier à la base des fonctions de Bessel. La généralisation de la méthode FFF dans cette direction a donné la possibilité d'étudier la diffraction par des ouvertures simples et structurées. En collaboration avec l'équipe Mosaic de l'Institut Fresnel et l'équipe du Pr. Ebbesen de Strasbourg, nous avons établi le rôle joué par le plasmon surfacique excité autour de l'ouverture, ceci a permis d'obtenir des règles physiques simples pour optimiser les paramètres optogéométriques en vue d'obtenir une exaltation importante du champ électromagnétique transmis par l'ouverture (fig.4 et 5).

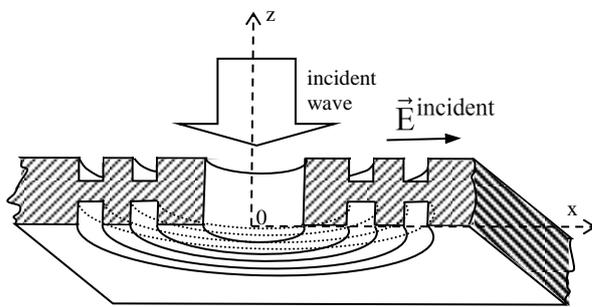


Fig.4. Représentation d'un trou structuré électrique au dessous du trou structuré

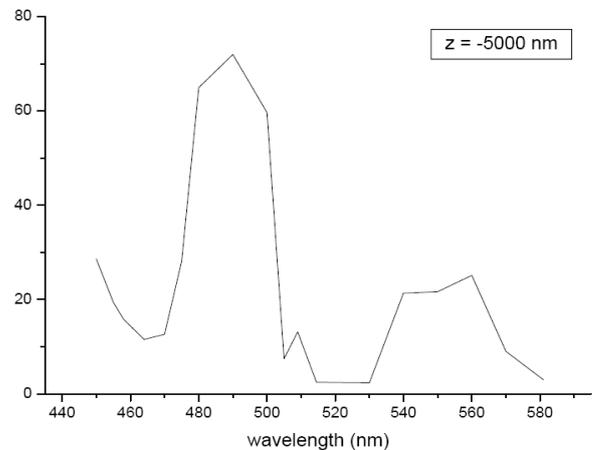
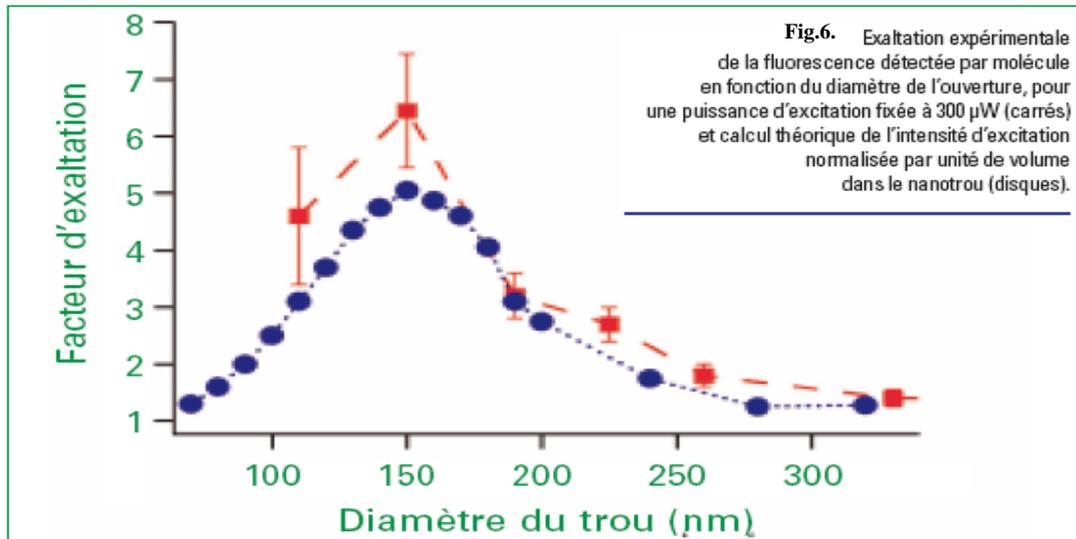


Fig.5. Facteur d'augmentation de l'amplitude du champ électrique

L'étude détaillée du mécanisme de la transmission par un seul trou a démontré l'importance du mode fondamental guidé dans le guide métallique optique créé à l'intérieur du trou. Pendant ces études, nous avons démontré expérimentalement et prouvé numériquement, que l'utilisation de nanotrous dans des écrans métalliques donne la possibilité d'augmenter l'émission de molécules individuelles fluorescentes ; ces trous peuvent donc être exploités dans le cadre de la nanobiophotonique. Par exemple, le taux de fluorescence par molécule est augmenté par la présence de la nanostructure, avec des exaltations significatives allant jusqu'à 6.5 par rapport à la solution libre, comme le montre la figure 6. Cette exaltation est très utile pour l'étude des monomolécules et des biomembranes en diffusion Raman et en émission fluorescente et présente un grand intérêt pour les biophysiciens et les chimistes.



L'introduction d'un canal coaxial autour l'aperture permet l'excitation des mode de cavité et le couplage via le plasmon de surface avec le champ dans l'ouverture centrale donne une exaltation supplémentaire de l'intensité du champ électrique, qui peut attendre plus de 50 fois l'intensité du champ incident.

2000 – 2012 – Un autre projet de recherche pendant les dernières années concernait l'étude des réseaux destinés aux télécommunications optiques. Il s'agit des études numériques, technologiques et expérimentales d'optimisation de paramètres optiques et géométriques de réseaux de diffraction, visant le démultiplexage des ondes de longueurs différentes. Des propriétés spécifiques ont été découvertes, qui permettent une réduction considérable de la dépendance spectrale et de la polarisation. Ces réseaux sont constitués d'une seule interface, ce qui réduit sensiblement les coûts en comparaison avec les réseaux multicouches. Gravés dans du silicium (fig.7) en utilisant la technologie de la microlithographie classique, ces réseaux permettent une reproduction facile et précise. En collaboration avec le MIT et Chromaplex (les Etats Unis), nous avons obtenu une efficacité plate excédant 83% en lumière non-polarisée.

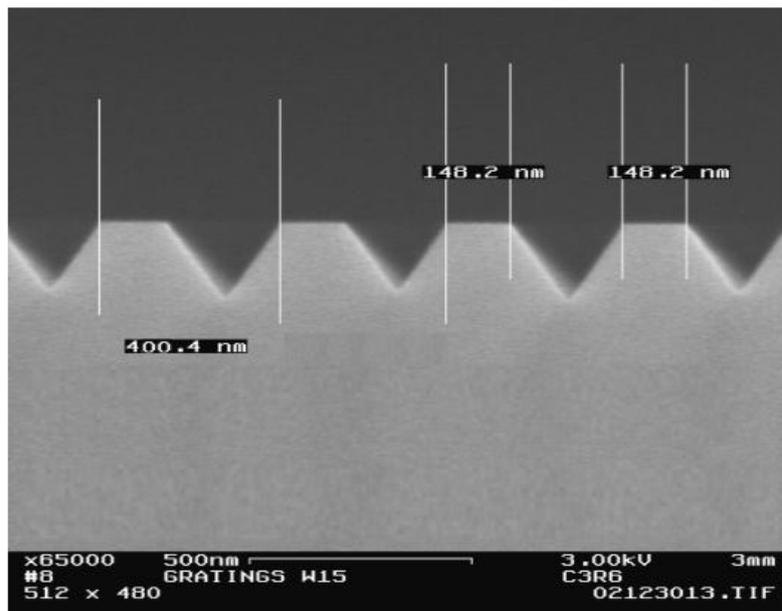


Fig.7 Profil du réseau gravé dans Si.

1998 – 2004 – Un autre composant optique destiné aussi aux télécommunications optiques utilise certaines propriétés mal-connues des cristaux photoniques. Bien connus pour leur possibilité de créer des bandes interdites pour les photons, les cristaux photoniques peuvent aussi diffracter la lumière. La combinaison de ces deux phénomènes nous a montré la possibilité d’obtenir une efficacité très élevée en lumière non-polarisée (fig. 8) par des structures de type présentées sur la figure 9.

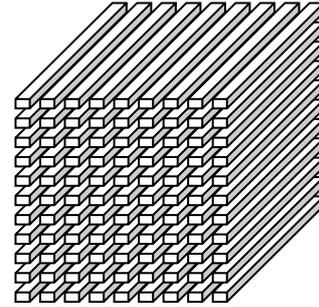
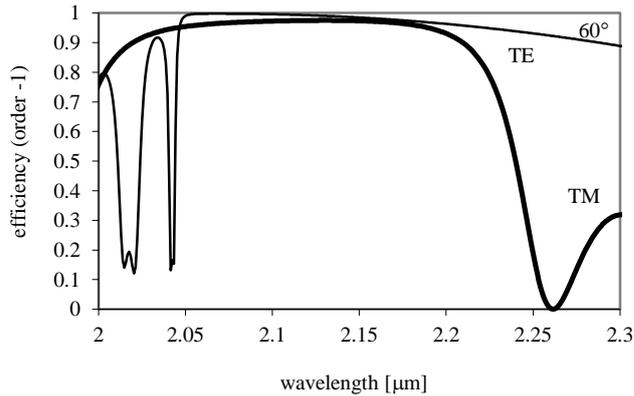


Fig.8. Efficacité d’un cristal photonique dans l’ordre -1 photonique

Fig.9. Représentation schématique d’un cristal photonique

2003 – Etude des structure métalliques périodiques en 2D (fig.10) permettant d'obtenir une transmission résonante exaltée caractérisée par une très grande sensibilité spectrale et indépendante de l'angle d'incidence (fig.11).

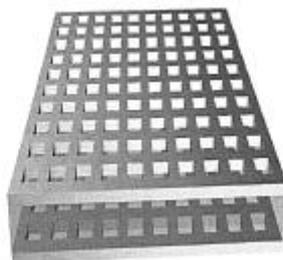


Fig.10

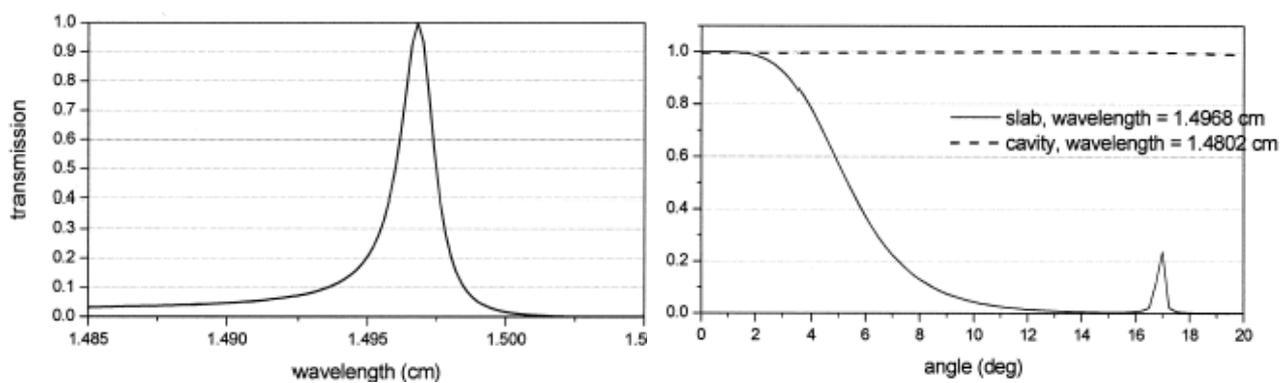


Fig.11. Dépendance spectrale et angulaire de la transmission de la structure de Fig.6

2004 – 2007 – L'étude numérique de la diffraction de la lumière par un cristal photonique a montré la possibilité d'existence d'états (modes) surfaciques d'ondes guides dans la partie du cristal proche de sa surface. L'excitation de ces modes par des réseaux supplémentaires (fig.12) peut permettre la réalisation des filtres optiques en transmission ayant des caractéristiques très étroites spectralement sans exiger une collimation excessive du faisceau de la lumière utilisé (fig.13)

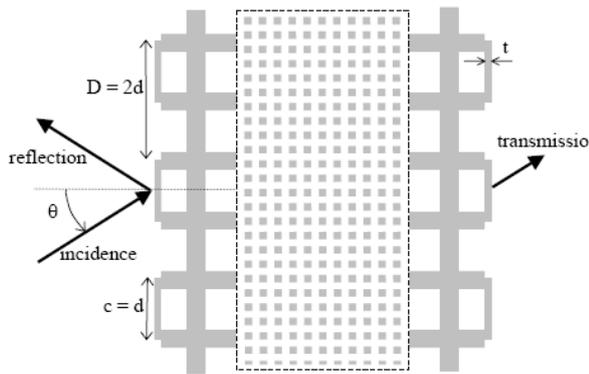


Fig.12. Cristal photonique avec des réseaux entrants et sortants.

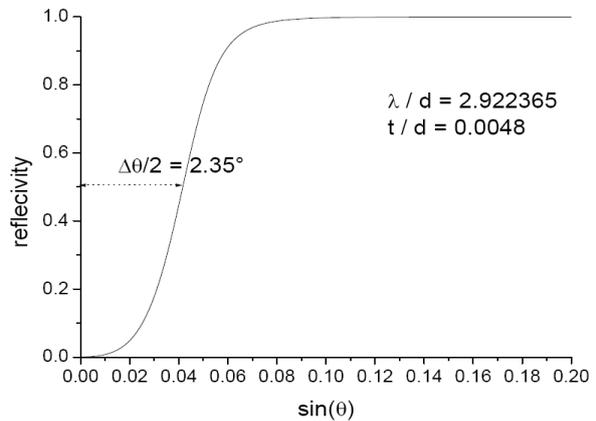


Fig.13. La dépendance angulaire du supplémentaire ayant une sélectivité spectrale de l'ordre de 0.001.

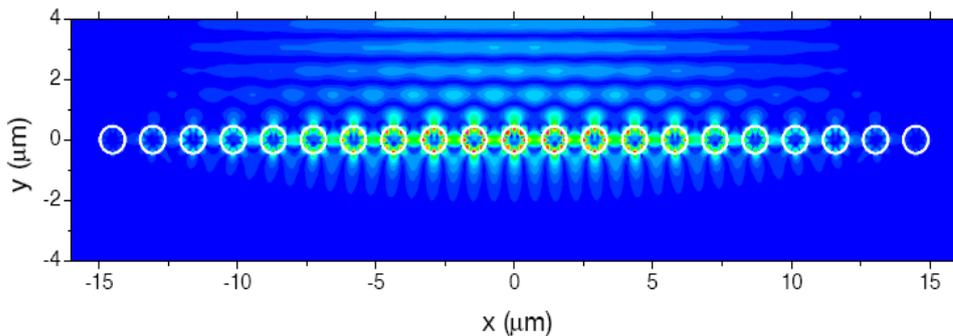


Fig.14. Distribution du champ électrique dans la section droite du réseaux construit par des fibres optique et illuminé par un faisceau Gaussien.

L'effet similaire peut être obtenue en utilisant les mode 'de galerie' excités dans des fibres optiques placées périodiquement (fig.14). Ces modes sont des modes dit de cavité qui sont très localisés spatialement (fig.14) donc ont une support naturellement large dans l'espace inverse (fig.15a et fig.15b)

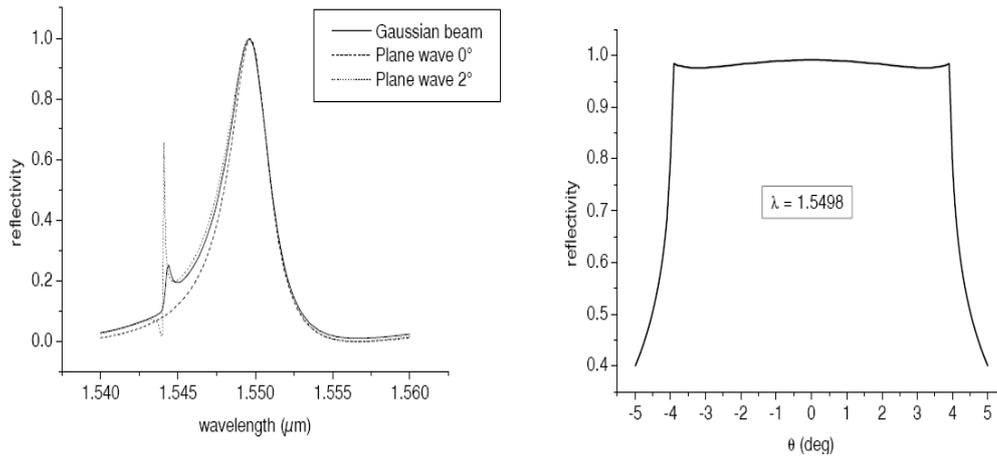


Fig.15a : Dépendance spectrale (a) et angulaire (b) de la réflexion par le réseau de diffraction de la figure 14.

2006 – L’extension récente de la méthode différentielle aux objets 3D a nécessité l’application des nouvelles règles de factorisation dans la base des harmoniques sphériques vectorielles, qui a été faite avec succès. En résultat supplémentaire de la théorie générale, formulée pour des objets de forme arbitraire et ayant une anisotropie optique arbitraire [105, 111, 112], une approche semi-analytique de la modélisation de la diffraction par une sphère anisotrope a été proposée, similaire au formalisme de Mie pour les sphères isotropes.

2007 – L'étude détaillée de la propagation du plasmon de surface dans les réseaux lamellaires métalliques ont démontré l'existence d'un nouveau type de bande interdite (non-Bloch) en photonique, due à l'interaction du mode de cavité dans les sillons suffisamment profonds avec le plasmon, l'interaction qui peut créer l'interférence destructive entre les deux modes (fig.16). Cette étude nous a permis d'expliquer la différence de comportement de la homogénéisation entre les réseaux de conductivité parfaite et finie.

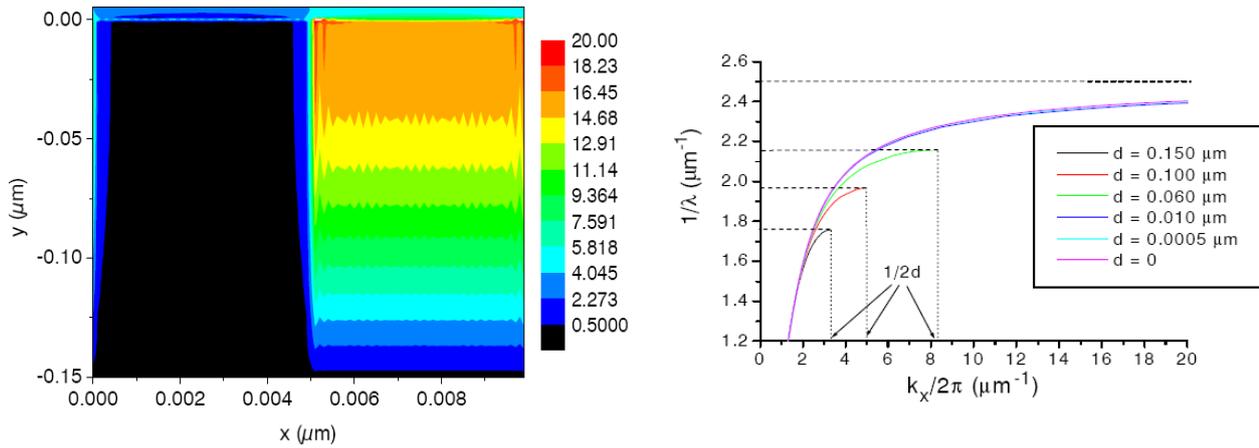


Fig.16. (a) Distribution du composant du champ électrique tangent à la surface d'un réseau métallique avec une profondeur optimale pour le couplage destructif du plasmon et du mode de la cavité.

(b) Formation d'une bande interdite en fréquence pour des réseaux ayant une période négligeable par rapport de la longueur d'onde