



**HAL**  
open science

## Quelques modèles d'optique intégrée qui pourraient être utiles dans le moyen infrarouge

Vincent Magnin, Joseph Harari, Mathieu Halbwax, Samuel Dupont

### ► To cite this version:

Vincent Magnin, Joseph Harari, Mathieu Halbwax, Samuel Dupont. Quelques modèles d'optique intégrée qui pourraient être utiles dans le moyen infrarouge. 5e Journée Thématique : Guides d'ondes pour le moyen infrarouge et le Terahertz, Dec 2022, Villeneuve d'Ascq, France. . hal-04457912

**HAL Id: hal-04457912**

**<https://hal.science/hal-04457912>**

Submitted on 14 Feb 2024

**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.



# Quelques modèles d'optique intégrée qui pourraient être utiles dans le moyen infrarouge

Vincent Magnin, Joe Harari, Mathieu Halbwx, Samuel Dupont  
Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Junia, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 - IEMN, F-59000 Lille, France  
vincent.magnin@univ-lille.fr, samuel.dupont@univ-valenciennes.fr

## 1. Introduction

Le groupe OPTOélectronique de l'IEMN a développé en Fortran moderne et maintenu depuis les années 90 des modèles d'optique intégrée, en particulier :

- analyse modale 1D,
- méthodes des faisceaux propagés 2D et 3D.

Ils ont en particulier été exploités avec différentes méthodes d'optimisation, en particulier des algorithmes génétiques, permettant une optimisation multi-paramètres et multi-objectifs.

Ces outils ont été développés initialement pour les longueurs d'onde télécoms (1,3  $\mu\text{m}$  et 1,55  $\mu\text{m}$ ), et utilisés dans des collaborations avec l'industrie (Alcatel et Thales). Nous en présentons les principes, les limitations et quelques exemples d'utilisation.

## 2. Méthode des faisceaux propagés (BPM)

Les méthodes des faisceaux propagés, ou BPM (*Beam Propagation Methods*), permettent de simuler la propagation et l'absorption de la lumière dans des structures optiques. Nous disposons d'une BPM-2D, bien adaptée aux guides d'onde plans, et d'une BPM-3D, adaptée aux confinements latéraux forts.

On part des équations de Maxwell en se limitant aux milieux diélectriques et en se plaçant en régime permanent avec une onde optique monochromatique. D'autres simplifications permettent de simplifier les équations à résoudre :

- la variation d'indice de réfraction est supposée faible selon l'axe de propagation z,
- l'approximation scalaire suppose qu'il n'y a pas de couplage TE / TM,
- l'approximation paraxiale suppose que les variations d'amplitude du champ sont faibles pendant la propagation.

La discrétisation de l'espace et l'utilisation des différences finies permettent d'aboutir à un système d'équations linéaires pour chaque tranche z. Le champ est ainsi propagé, de façon unidirectionnelle, dans la direction z.

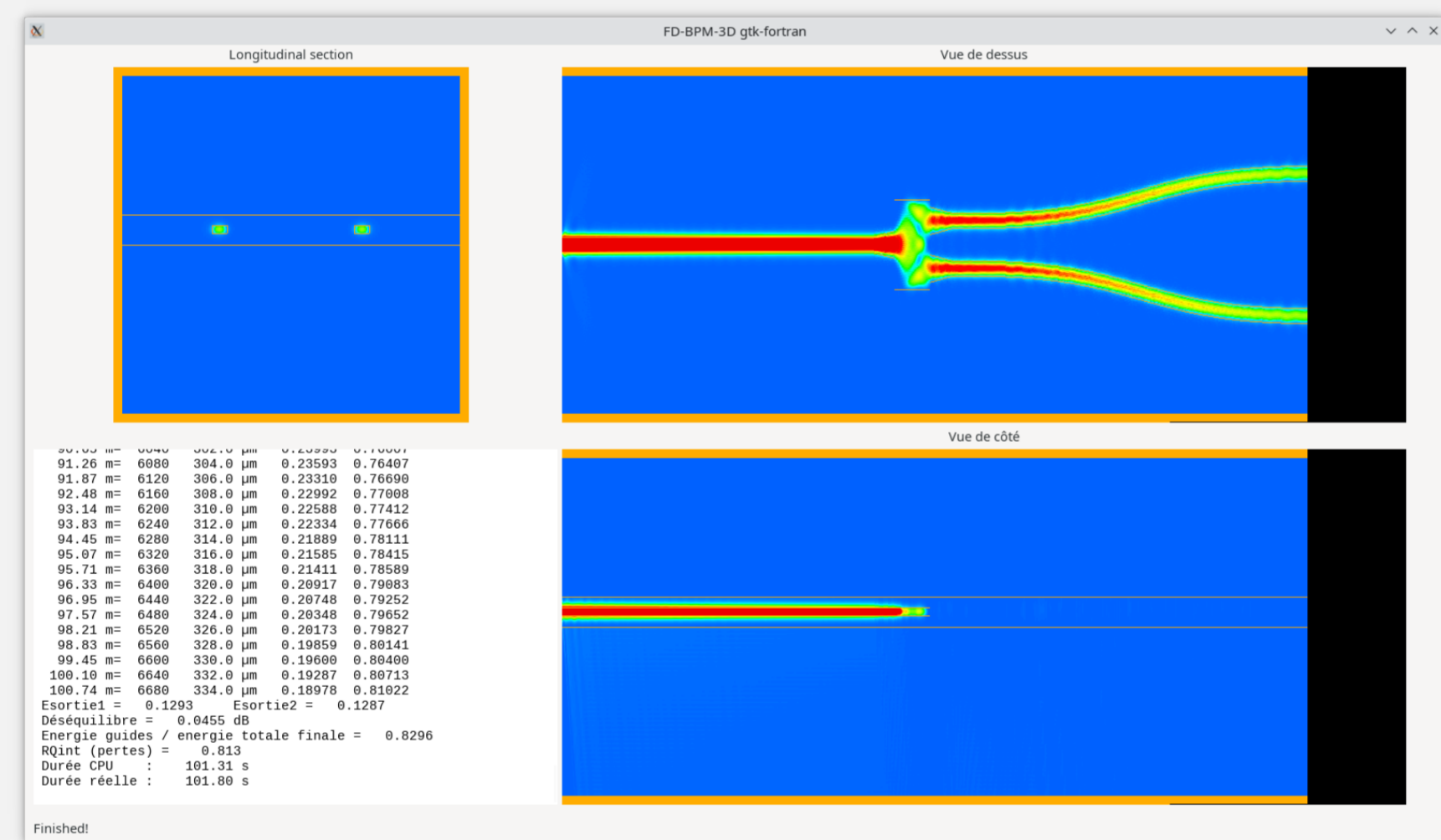


Figure 1 : coupleur MMI 1x2 simulé par BPM-3D en mode TE à 1,55  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde. Les guides sont en  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$  sur substrat GaAs. Interface graphique gtk-fortran [4].

## 3. Optimisation multi-paramètres

Nos modèles optiques peuvent être couplés à des méthodes d'optimisation multi-paramètres et multi-objectifs telles que méthodes Monte Carlo, recuit simulé, et surtout algorithmes génétiques.

### Algorithmes Génétiques

Les algorithmes génétiques (AG) sont basés sur la théorie néo-darwinienne. Les paramètres sont codés sous forme de gènes en binaire dans un chromosome. On fait évoluer au fil des générations une population de dispositifs à l'aide de différents opérateurs : sélection, croisements, mutations. La sélection fait intervenir une fonction d'adaptation (*fitness function*), valeur numérique représentant la performance du dispositif. Il peut s'agir par exemple d'un simple rendement quantique ou d'une combinaison de plusieurs facteurs (optimisation multi-objectifs).

Une version parallélisée de l'AG permet de le faire tourner sur un cluster de machines de TP à Polytech Lille, ce qui est intéressant dans le cas de simulations en BPM-3D.

Nous présenterons deux exemples d'optimisations effectuées dans les années 2000.

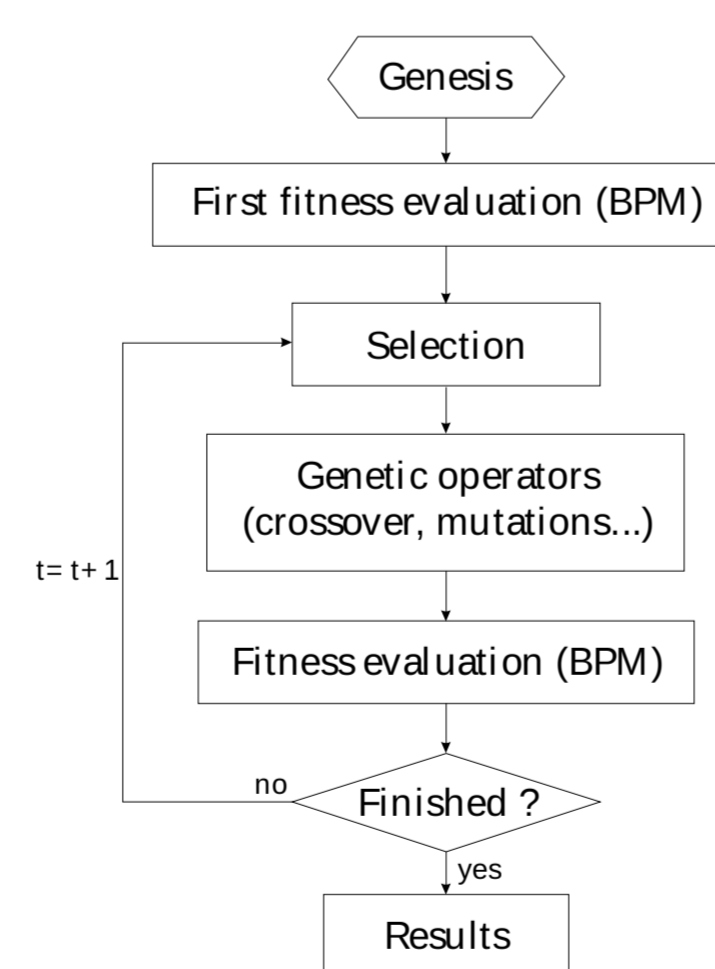


Figure 2 : organigramme de l'algorithme génétique [1].

## 6. Références

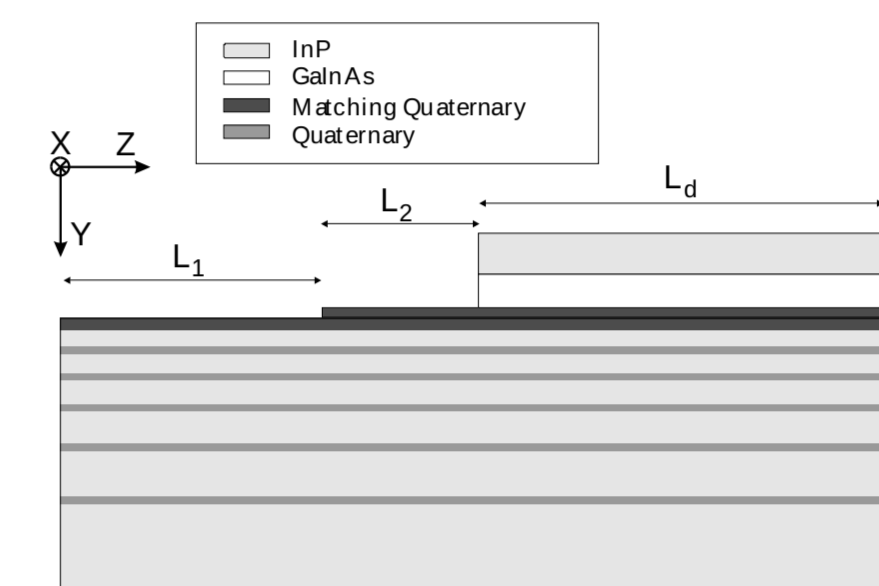
- [1] Magnin V., Giraudet L., Harari J., Decobert J., Pagnot P., Boucherez E., Decoster D., « Design, Optimisation and Fabrication of Side-illuminated p-i-n Photodetectors With High Responsivity and High Alignment Tolerance for 1.3 $\mu\text{m}$  and 1.55 $\mu\text{m}$  Wavelength Use », *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 20, n°3, p. 477-488, mars 2002, DOI: 10.1109/50.988997.
- [2] Magnin V., Zegaoui M., Harari J., François M., Decoster D., « Design, optimization and fabrication of an optical mode filter for integrated optics », *Optics Express*, vol. 17, n°9, p. 7383-7391, 27 avril 2009, DOI: 10.1364/OE.17.007383.
- [3] Bavedila F., Tannoury C., Lin Q., Lepilliet S., Avramovic V., Okada E., Yarekha D., Faucher M., Troadec D., Lampin J-F., Ducournau G., Loas G., Magnin V. et Peytavit E., « Development of a millimeter-long Travelling wave THz photomixer », *Journal of Lightwave Technology*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)/Optical Society of America(OA), 2021, p. 4700-4709, DOI: 10.1109/JLT.2021.3078226.
- [4] Magnin V., Tappin J., Hunger J., De Lisle J., « gtk-fortran: a GTK+ binding to build Graphical User Interfaces in Fortran », *Journal of Open Source Software*, 4(34), 1109, 12 janvier 2019, DOI : 10.21105/joss.01109.

## 4. Deux exemples d'optimisation

### Optimisation d'une photodiode à guide dilué [1]

Dans ce travail avec Alcatel, nous avons conçu pour les télécoms une photodiode évanescente couplée à une fibre optique clivée via un guide d'onde dilué composé de fines couches de GaInAs dans de l'InP :

Figure 3 : structure épitaxiale du guide optique de longueur  $L_1+L_2$  et de la photodiode de longueur  $L_d$ . La face clivée à gauche est éclairée par une fibre optique multimode.



L'optimisation portait ici sur les épaisseurs des couches et visait le meilleur rendement quantique possible à la fois à  $\lambda=1,3 \mu\text{m}$  et  $1,55 \mu\text{m}$  et en TE et TM, avec une bonne tolérance au désalignement. La fonction d'adaptation de l'algorithme génétique couplé à une BPM-2D était :  $\eta = \frac{1}{4} (\eta_{1,3}^{TE} + \eta_{1,3}^{TM} + \eta_{1,55}^{TE} + \eta_{1,55}^{TM})$

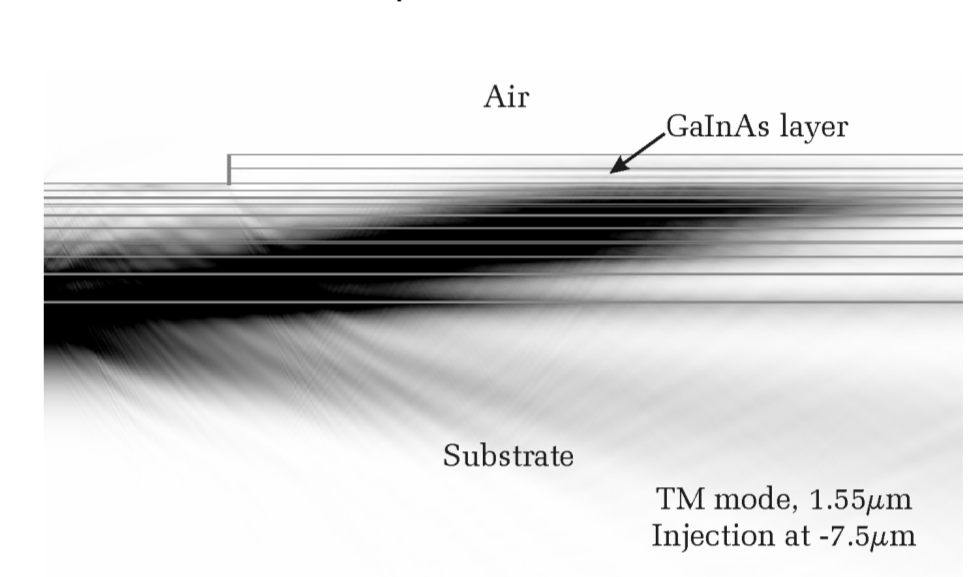
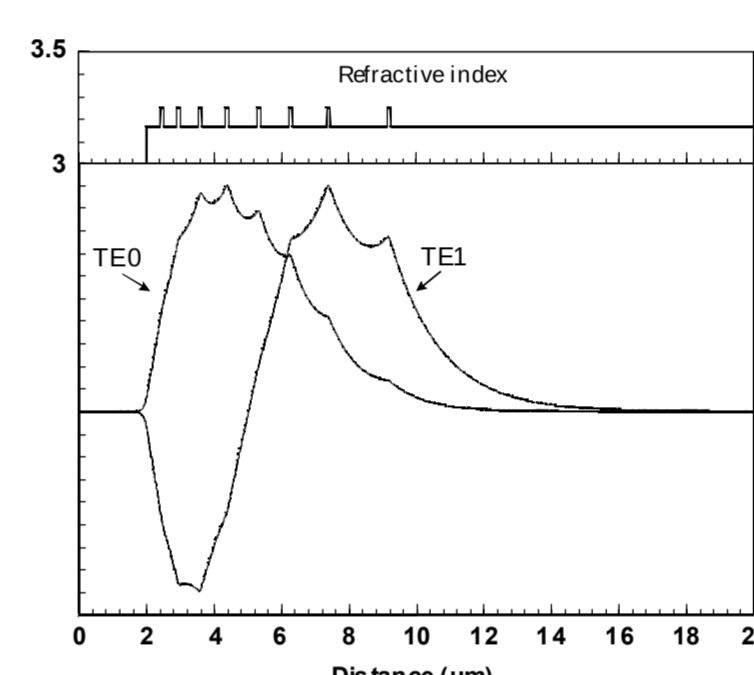


Figure 4 : à gauche, analyse modale 1D montrant les deux premiers modes TE du guide dilué. À droite, simulation par BPM-2D avec une fibre optique désalignée de 2,5  $\mu\text{m}$  vers le bas. Le faisceau est rabattu vers la photodiode par le guide dilué et on ne perd que 10% malgré ce désalignement.

### Optimisation d'un stabilisateur de faisceau [2]

En optique intégrée, les perturbations du faisceau, par exemple dues au désalignement de la fibre optique, peuvent dégrader les performances du circuit optique. On peut voir figure 5c le déséquilibre induit dans un coupleur suite à un décalage latéral de 0,5  $\mu\text{m}$  de la fibre optique éclairant un guide de 4  $\mu\text{m}$  de large :

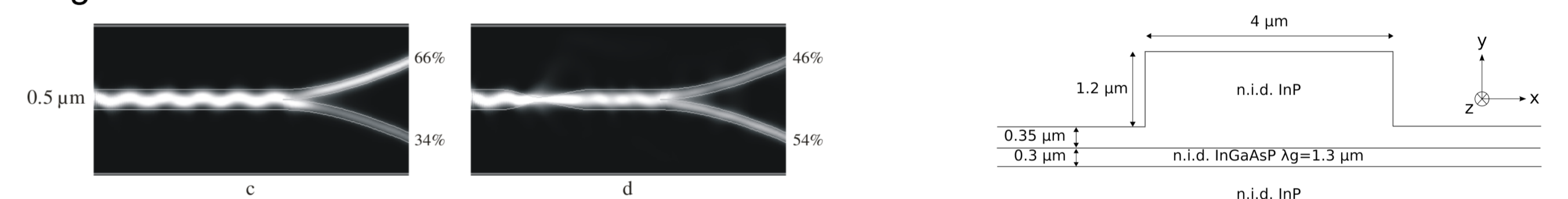


Figure 5 : simulation en BPM-3D (vue de dessus) en mode TM à  $\lambda=1,55 \mu\text{m}$  d'un guide optique (décrit à droite) alimentant un coupleur, avec désalignement de 0,5  $\mu\text{m}$  de la fibre en entrée. En c) le déséquilibre est important. En d), l'ajout d'un filtre modal atténue ce défaut.

Nous avons conçu et optimisé un filtre modal en jouant localement sur la géométrie du guide d'entrée, à l'aide de deux courbes de Bézier. Les paramètres présentés en figure 6a ont été optimisés en couplant la BPM-3D à un algorithme génétique. En b), c), d) et e) sont présentées différentes morphologies possibles.

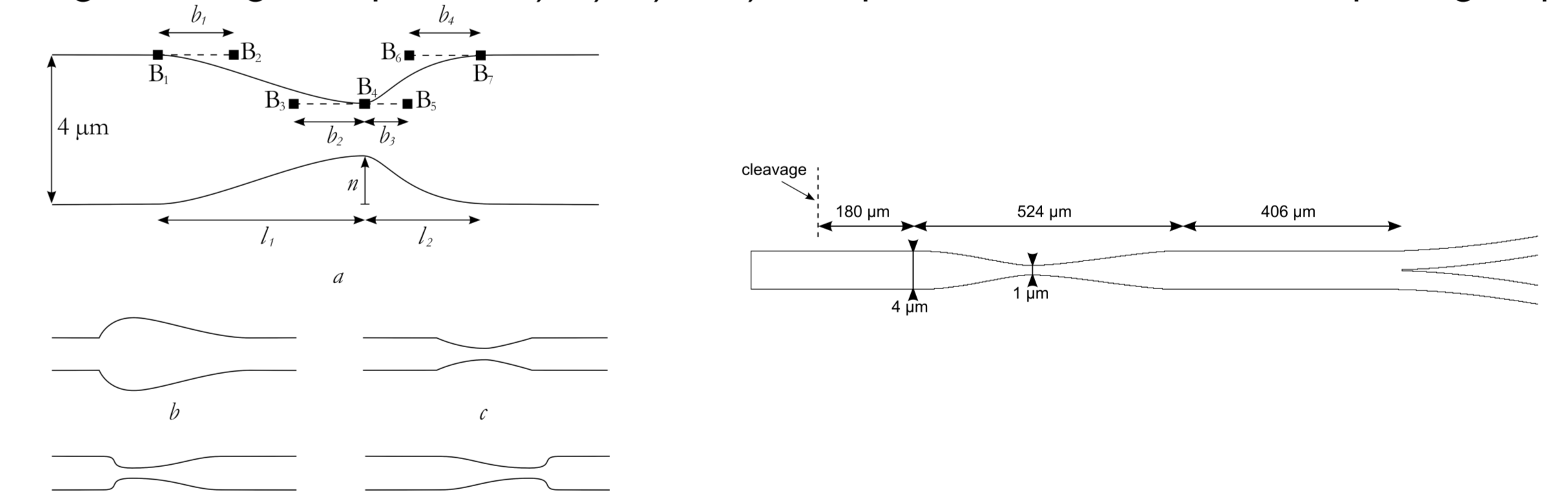


Figure 6 : à gauche en a), paramètres géométriques définissant le filtre modal, et en b), c), d) et e) différentes morphologies que l'on peut ainsi obtenir. À droite, dispositif optimisé.

La fonction d'adaptation était un coefficient d'asymétrie calculé à partir des puissances optiques aux sorties du coupleur. En figure 5d, on voit l'amélioration apportée par ce filtre sur l'équilibre des deux sorties.

## 5. L'avenir est ouvert

Récemment, ces outils ont été utilisés à  $\lambda=0,78 \mu\text{m}$  en collaboration avec le groupe PHOTONIQUE THz de l'IEMN pour optimiser un guide  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$  afin de réaliser un photo-mélangeur à ondes progressives absorbant régulièrement par évanescente le faisceau optique sur 1 mm de long [3].

Concernant le moyen infrarouge, rien ne s'oppose à ce que ces outils soient utilisés au-delà de 2  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde, pourvu que l'on reste dans leurs domaines de validité, dictés principalement par les hypothèses simplificatrices menant aux modèles numériques, hypothèses exposées dans le cadre 2 du présent poster.