

Applications de l'optique diffractive dans le domaine du traitement de l'information

Stéphane Roose

**Centre Spatial de Liège, Université de Liège
Avenue du Pré Aily, B-4031 Angleur, Belgium.**

1. RESUME

Après une introduction résumant l'histoire du mariage entre l'optique diffractive et le traitement de l'information, la synthèse d'optiques diffractives sera discutée, suivie par des exemples d'applications d'optique diffractive dans le domaine du traitement de l'information.

2. INTRODUCTION

Le but d'un système optique est de transporter de l'énergie optique ou des informations codées optiquement dans l'espace [1]. Le codage d'information se fait par des variations temporelles et/ou spatiales de l'intensité, de l'amplitude, de la phase, de la fréquence ou de l'état de polarisation de la lumière. Nous connaissons plusieurs moyens d'orienter la lumière dans l'espace: la réflexion, la réfraction et finalement la diffraction. Nous définissons l'optique diffractive comme des composants optiques qui redistribuent la lumière par diffraction.

L'optique diffractive est reconnue comme un domaine spécifique dans l'optique depuis une décennie, mais ses origines remontent au 19^{ème} siècle [2].

Les premières expériences de l'optique diffractive sont réalisées par Rayleigh (1871), Soret (1875) et Wood (1898). Ces expériences ont démontré la maîtrise de la redistribution angulaire de la lumière par diffraction. En parallèle les réseaux de diffraction ont été développés par Rowland (1882) et les réseaux en échelle par Wood (1910). La microscopie en rayon X inventée par Bragg (1929) a initié les travaux de Gabor (1948) sur l'holographie, qui a postulé la possibilité de reconstruire des faisceaux électromagnétiques. Rogers (1952) a démontré expérimentalement les possibilités de l'holographie, avant l'apparition du laser. Il traçait également le lien entre les lentilles de Fresnel et les hologrammes d'un point source et suggérait aussi l'idée des hologrammes synthétiques (hologrammes synthétisés par ordinateur).

Le traitement optique de données SAR (1955) [4], l'optique de Fourier (Leith, Upatnieks, VanderLugt et Goodman), et l'arrivée du laser (1960) a fait émerger un tas d'idées nouvelles. Elles montraient le lien entre le traitement de l'information et l'holographie classique mais aussi l'holographie synthétisée par ordinateur (1965 à IBM par Lohmann, Brown et Paris).

Ce sont les années 1985-1990 qui ont été les plus fructueuses pour la recherche dans l'optique diffractive, spécialement dû au fait de l'existence et de l'accès à de nouvelles technologies. Cet enthousiasme allait de pair

avec les idées d'ordinateurs optiques et de traitement optique d'information. Beaucoup d'architectures de processeur optique utilisant entre autres des hologrammes, mémoires holographiques, filtres spatiaux, SLM et optiques diffractives ont été pensées.

C'est en fait toute la recherche dans le domaine de l'optique moderne (l'optique guidée, fibre optique, optique intégrée, l'optique non-linéaire, l'holographie, l'optique de Fourier et l'optique diffractive), connue dans les années 1960-1970 comme application du laser [3], qui connaîtra une nouvelle impulsion.

Cet exposé ne passera pas en revue toutes les applications de l'optique diffractive connues à ce jour. Le choix des exemples est d'autant plus guidé par la sensibilité de l'auteur. Notre objectif est surtout d'illustrer les possibilités d'application de l'optique diffractive dans ce domaine précis.

3. HOLOGRAPHIE SYNTHETISEE PAR ORDINATEUR

L'optique diffractive utilisé dans le domaine du traitement de l'information, se base généralement sur l'holographie synthétisée par ordinateur. Pour introduire l'holographie synthétisée par ordinateur, un passage par l'holographie classique est obligatoire. Dans le cas de l'holographie classique, une onde provenant d'un objet interfère avec une onde de référence et pour former ainsi un interférogramme. Cet interférogramme représente une version codée de l'amplitude et de la phase du faisceau objet. L'interférogramme est enregistré sur un support photosensible. Ceci s'appellera l'hologramme. Quand nous illuminons l'hologramme avec le faisceau de référence, le faisceau est diffracté par l'hologramme. Un des faisceaux reconstruit, contient le faisceau objet.

Dans le cas de l'holographie synthétisée par ordinateur le faisceau objet est inexistant ou difficilement réalisable. Les théories de diffraction permettent de calculer le faisceau objet au niveau du substrat holographique. Cette opération est suivie du codage de l'amplitude et de la phase du faisceau. Le codage résout le problème d'enregistrement d'un système à deux valeurs (amplitude et phase) dans un système à une valeur (amplitude ou phase). Dans certains cas le codage est même binaire (optique binaire). La dernière étape est la matérialisation de l'hologramme dans son substrat. Le choix de ce substrat dépendra de la longueur d'onde d'opération, de ces propriétés intrinsèques (indice de réfraction, absorption), du type d'hologramme (réflexion, transmission), de la technologie d'écriture, etc. Le faisceau objet est également reconstruit par diffraction d'une onde de référence par l'hologramme. Les hologrammes synthétisés par ordinateur sont souvent désignés par l'abréviation anglaise CGH (Computer Generated Hologram).

Nous définissons aussi des éléments optiques holographiques (Holographic Optical Element (HOE)) ou diffractifs (Diffractif Optical Element (DOE)) par analogie aux éléments optiques réfléchissants et réfractifs.

L'optique diffractive a les propriétés suivantes: a) la fonctionnalité optique ne dépend pas de la géométrie du substrat, b) c'est une optique mince, c) la distribution angulaire dépend de la longueur d'onde.

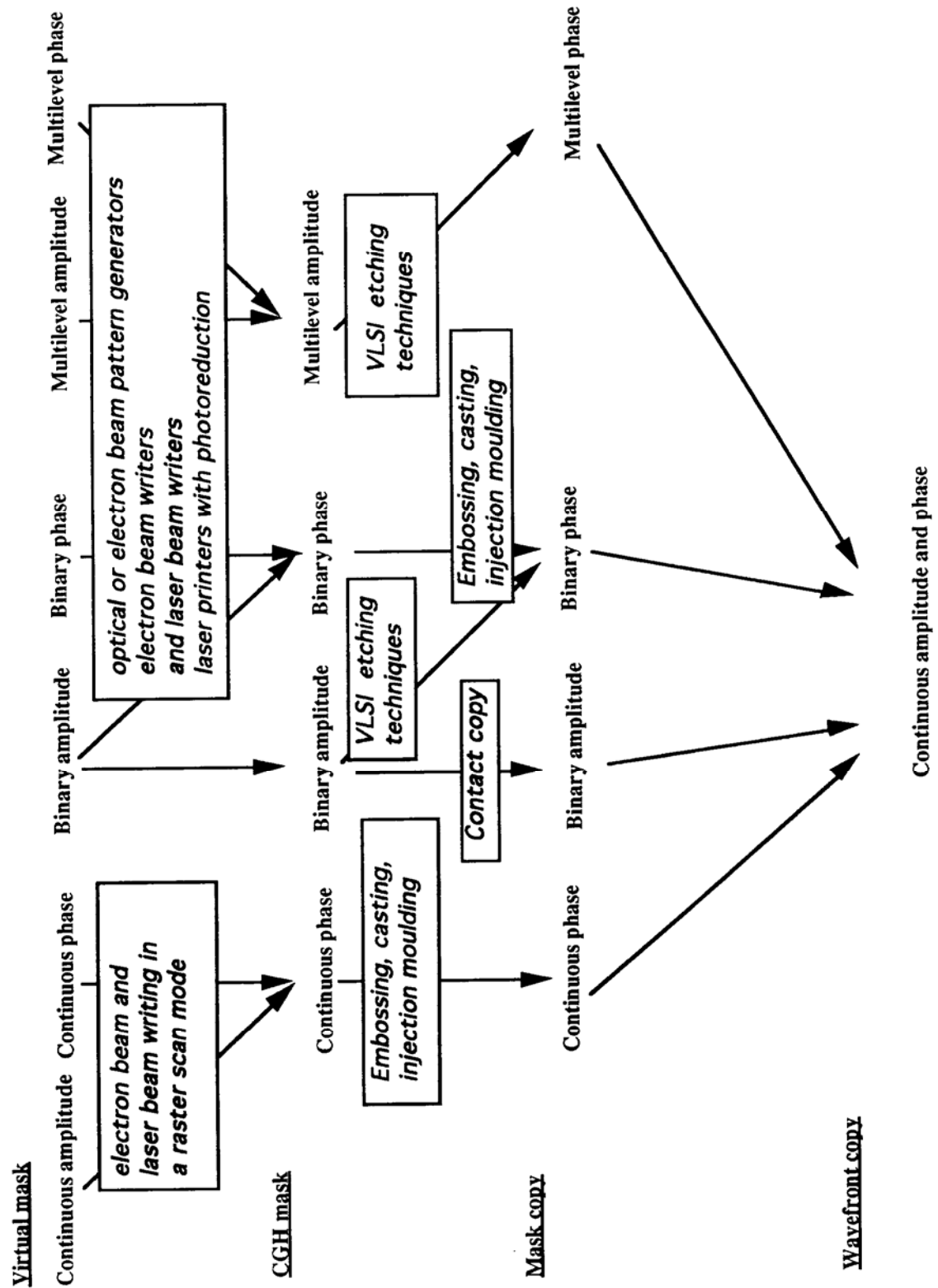


Figure 1. Organigramme de fabrication d'un CGH [4]. Le masque virtuel représente l'information codée du faisceau objet.

Le masque CGH est la copie primaire du CGH.

4. CGH POUR LE TRAITEMENT OPTIQUE D'INFORMATION

Nous identifions un premier groupe d'application: les CGHs pour le traitement optique de l'information. L'élément diffractif a comme but de modifier le contenu de l'information de la lumière en modifiant la distribution spatiale. L'hologramme est en soi aussi porteur d'information. Les applications typiques sont:

- filtrage optique, corrélation optique et reconnaissance de forme [6, 7].
- stockage d'information, mémoire holographique [8, 9].

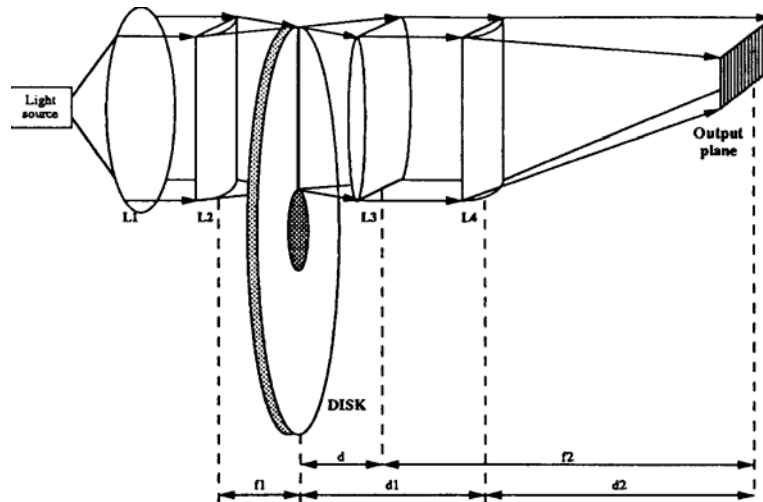


Figure 2. Décodage par transformée de Fourier d'une mémoire holographique enregistrée sur un disque compact [8, 9].

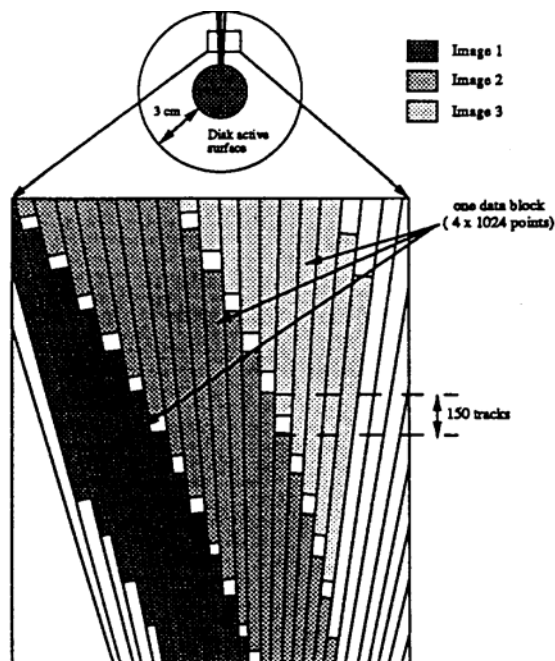


Figure 3. Détail des CGHs (1-D) enregistré sur un disque compact [8, 9].

-transformée géométrique de données SAR [10, 11].

-CGH reconfigurable [12, 13].

Dans certaines applications, il est même souhaitable d'avoir un CGH reconfigurable dans le temps. Les modulateurs spatiaux de lumière (Spatial Light Modulator (SLM)) [12, 13] auront une utilisation considérable dans les architectures futures de traitement optique d'information.

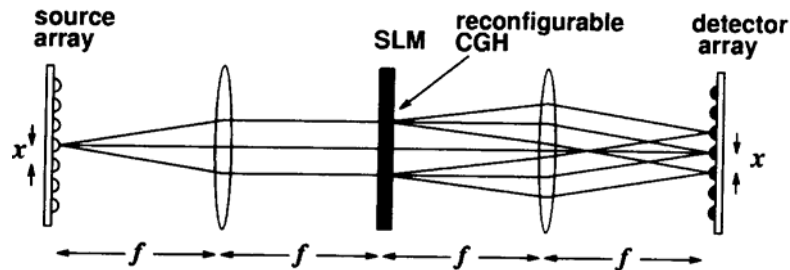


Figure 4. Processeur 4-f utilisant un CGH de Fourier reconfigurable [12, 13]

5. DOE POUR DES SYSTEMES OPTIQUES DE TRAITEMENT D'INFORMATION

Les DOEs ont une fonction plus passive, ils peuvent modifier le faisceau optique et le réorienter pour des raisons de routage de l'information. Les DOEs sont généralement utilisés dans des interconnexions dans l'espace libre, comme les distributions d'horloges sur des circuits intégrés, les connexions du type "board-to-board" ou "chip-to-chip" [14]. Leur rôle est de remplacer les connexions électroniques par des connexions optiques dans des systèmes électroniques de traitement d'information. Les DOEs sont aussi utilisés dans des systèmes de traitement optique d'information. Une fonction classique dans ces processeurs optiques est la création de matrices de point par réseau de Damman [5] ou par micro-lentilles de Fresnel [5]. Le traitement effectif de l'information se fait par des éléments optiques actifs non-linéaires et/ou bistables.

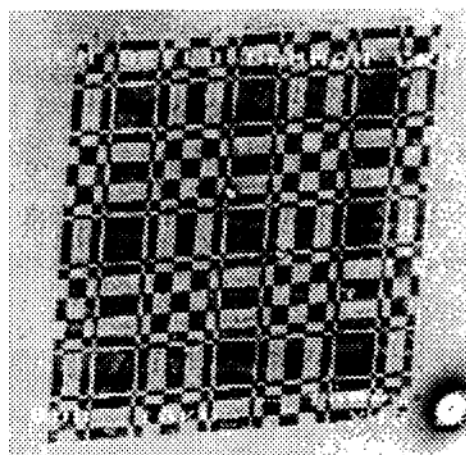


Figure 5. Image SEM d'un réseau de Damman [5].

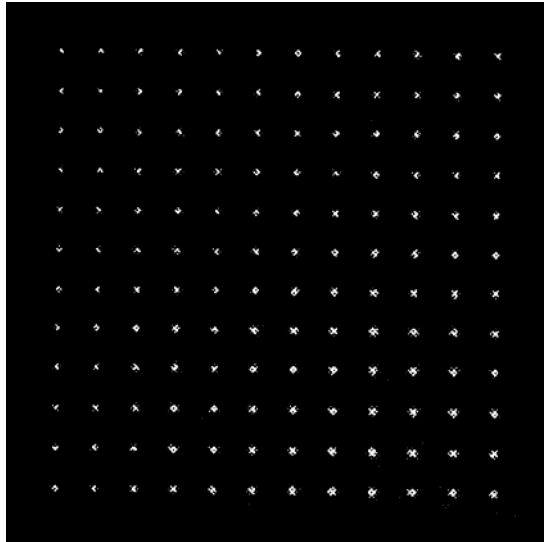


Figure 6. Plan focal d'une matrice de lentille de Fresnel [5].

Une fonction plus "multimédia" des DOEs, mais qui reste dans le domaine du traitement de l'information, est le remplacement des optiques classiques dans les têtes de lectures de disques compacts par un DOE [15, 16].

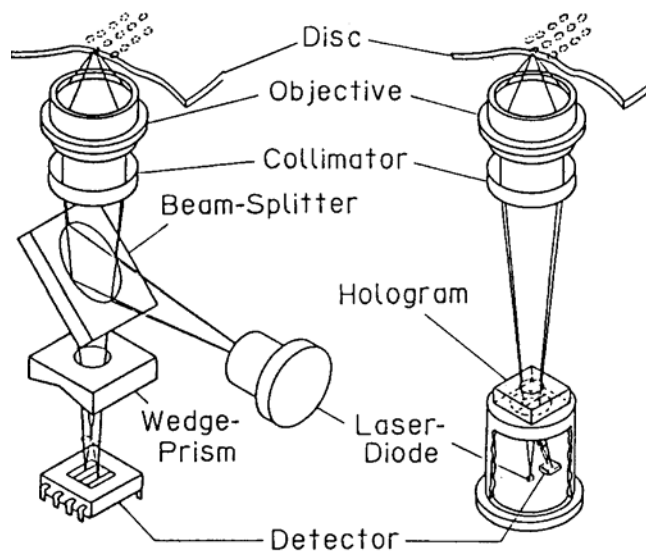


Figure 7. Tête de lecture de disque compact [16].

6. CONCLUSIONS

L'optique diffractive est une technologie intéressante pour les systèmes de traitement d'information soit comme élément de filtrage, soit comme élément de routage. De nombreux exemples ont démontré la faisabilité, cet exposé en fait un aperçu succinct.

Néanmoins l'optique diffractive a des limites de performance et des limites technologiques. L'avenir semble prédire que les systèmes optiques hybrides sont la solution optimale [17, 18]. L'optique hybride intègre les performances de l'optique diffractive, réfléchive et réfractive. Dans le cas du domaine du traitement de l'information nous évoluons vers le mariage entre l'optique diffractive, la micro-optique, l'optique guidée et l'optique intégrée [19]. Cette "hybridation" permet d'utiliser les performances de chaque domaine de l'optique et permet d'optimiser des tâches comme l'intégration, l'alignement, la production de masse.

Le domaine spatial est également intéressé par l'optique diffractive [20]: l'argument qui prévaut dans ce domaine est le gain en masse (et coût du lancement) à performance égale. Le but est de remplacer des optiques réfléchives ou réfractives par des systèmes plus légers utilisant l'optique diffractive. Une application directe est la communication optique entre satellites.

7. REFERENCES

- [1]. D. Gabor, "*Progress in Optics I*", Ed. E. Wolf, North Holland, 109 (1962)
- [2]. R. J. Collier, C. B. Burckhardt, L. H. Lin, "*Optical Holography*", Pergamon press, (1971)
- [3]. "*Proceedings of the symposium on modern optics*", Polytechnic press of Brooklyn (1967)
- [4]. E. Leith, Topics in Applied Physics 23, Springer Verlag (1978)
- [5]. S. Roose, "*Paraxial and non-paraxial signal synthesis with binary diffractive structures*", Ph.D.Thesis, Université de Liège (1995)
- [6]. P. Ambs et al, Opt. Comm. 46, 79 (1985)
- [7]. P. Casasent, Opt. Eng. 24, 724 (1985)
- [8]. P. J. Marchand et al, Proc. SPIE 1347, (1990)
- [9]. P. J. Marchand et al, Proc. SPIE 1505, (1991)
- [10]. J. N. Cederquist et al, Appl. Opt. 28, 4182 (1989)
- [11]. F. S. Roux, Appl. Opt. 34, 5045 (1995)
- [12]. A. Kirk et al, Opt. Comm. 105, 302 (1994)
- [13]. D. C. Burns et al, Opt. Comm. 119, 623 (1995)
- [14]. M. R. Feldman et al, Appl. Opt. 28, 3134 (1989)
- [15]. W. H. Lee, Opt. Eng. 28, 650 (1989)
- [16]. Y. Kurata et al., Proc. SPIE 1139, (1989)
- [17]. "*Diffractive and miniaturized optics*", Ed. S. H. Lee, SPIE Critical Review 49 (1993)
- [18]. R. H. Czichy, "*Hybrid optics*", ESA SP-1158 (1993)
- [19]. M. M. Downs et al., Opt. Lett. 15, 769 (1990)
- [20]. H. P. Herzig et al, Proc. SPIE 2210, 104 (1994)