



## Procédés industriels



# LES MARCHÉS DE L'OPTIQUE-PHOTONIQUE

En collaboration avec Innovation 128



35, boulevard Nicolas Samson  
91120 Palaiseau

Tél. : 01 69 31 75 00

Fax : 01 69 31 75 10

Courriel : [info@opticsvalley.org](mailto:info@opticsvalley.org)

Web : [www.opticsvalley.org](http://www.opticsvalley.org)

Opticsvalley est soutenue par



et



# LES MARCHÉS DE L'OPTIQUE-PHOTONIQUE

**Procédés industriels**

EDITO



Ce fascicule est le deuxième d'une série de cinq « zooms marché » réalisé par Opticsvalley avec le soutien de Innovation 128. Il porte sur les marchés de l'optique-photonique dans les procédés industriels.

En effet, l'optique, technologie diffusante, ne cesse de se croiser avec d'autres technologies afin d'atteindre des marchés qui lui étaient encore, il y a quelques années, étrangers.

L'intégration de technologies diverses est aujourd'hui une nouvelle contrainte pour les entreprises qui veulent rester à l'avant-garde du développement économique. Ce n'est pas chose aisée. Et c'est à cette tâche ardue qu'Opticsvalley veut, par cette collection de « zoom marché », apporter sa contribution.

Pour vous, nous préparons actuellement trois nouveaux documents. Ils seront respectivement consacrés à la place de nos technologies dans les domaines de l'éclairage et de l'affichage, de la santé et des sciences du vivant, et dans les technologies de l'information et de la communication.

Les entreprises et les laboratoires de recherche de la filière trouveront dans ces synthèses, je l'espère, une nouvelle manifestation du soutien actif qu'Opticsvalley leur apporte dans leur développement.

**Jean Jerphagnon**  
*Président d'Opticsvalley*

# SOMMAIRE



## DÉFINITION DU DOMAINE ÉTUDIÉ ET PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.1   | Définition du domaine de l'optique dans les procédés industriels       | 7  |
| 1.2   | Matrice des applications   | 9  |
| 1.2.1 | Les domaines d'applications de l'optique pour les procédés industriels | 10 |
| 1.2.2 | Les procédés de fabrication  | 11 |
| 1.2.3 | Le contrôle et l'inspection des matières et produits                   | 14 |
| 1.2.4 | Le contrôle des processus  | 15 |
| 1.3   | Les technologies - clés  | 16 |

## ENJEUX INDUSTRIELS ET TECHNOLOGIQUES

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Les solutions optiques en concurrence d'autres solutions – forces et faiblesses | 20 |
| 2.2 | Les principales évolutions du marché  | 21 |
| 2.3 | Les principales évolutions techniques et ruptures technologiques                | 23 |

## TENDANCES ET DONNÉES DE PRINCIPAUX MARCHÉS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | L'industrie des lasers                   | 27 |
| 3.2 | Les capteurs optiques                    | 30 |
| 3.3 | Les systèmes de contrôle et d'inspection | 31 |
| 3.4 | Les systèmes de vision                   | 33 |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
|  | <b>PRÉCONISATIONS D'ENTRÉE SUR LE MARCHÉ</b> | <b>34</b> |
|--|--|-----------|

## PRINCIPAUX ACTEURS FRANCILIENS ET INTERNATIONAUX

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 5.1 | Les principaux acteurs internationaux hors France | 35 |
| 5.2 | Les principaux acteurs franciliens                | 36 |

|  |           |    |
|--|-----------|----|
|  | Glossaire | 38 |
|--|-----------|----|

|  |                                |    |
|--|--------------------------------|----|
|  | Principales sources consultées | 39 |
|--|--------------------------------|----|

# DÉFINITION DU DOMAINE ÉTUDIÉ ET PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES



## 1.1 Définition du domaine de l'optique dans les procédés industriels

---

L'optique utilise la lumière dans ses diverses gammes de longueur d'onde. Les propriétés optiques de la lumière sont utilisées soit dans des composants ou des instruments (capteurs, actionneurs...) soit dans des systèmes dans lesquels l'optique joue un rôle plus ou moins grand. Par convention, nous retiendrons dans ce document tous les composants ou instruments utilisant les propriétés optiques de la lumière, ainsi que les systèmes pour lesquels l'optique joue un rôle prépondérant, et donc utilisant ou mettant en œuvre ces composants ou instruments.

La lumière se caractérise par :

- sa longueur d'onde qui va du lointain infrarouge à l'ultraviolet,
- sa forme d'onde (dispersée ou coordonnée dans le cas des émissions laser),
- son intensité,
- sa polarisation
- ...

Ces diverses propriétés sont mises en œuvre dans l'application de l'optique pour les procédés industriels.

D'une manière générale on distingue :

- Les équipements ou systèmes utilisant l'interaction de la lumière avec la matière. Ces équipements sont basés sur l'utilisation de l'énergie contenue dans l'onde lumineuse pour engendrer des phénomènes thermiques (découpe ou fusion de matériaux sous l'effet de la chaleur engendrée par le front d'onde) ou chimiques (par réaction photochimique, l'énergie des photons provoquant des modifications dans les liaisons chimiques – réticulation, désagrégation...)
- Les équipements ou systèmes utilisant l'onde de lumière comme un vecteur d'informations. On utilise alors soit :
  - Les propriétés directes de l'onde optique qui véhicule une information, par exemple par la fréquence d'émission de l'onde (pyromètres optiques), par les variations spatiales ou temporelles d'intensité et de fréquence (imagerie à base d'optique, transmission de signal par modulation de la lumière...) ou en mesurant des sources artificielles de lumière déposées sur les objets (mesure par luminescence) ou issues d'un éclairage spécifique (fluorescence).
  - La transformation de ces propriétés, par exemple lors de la traversée d'un élément (spectrophotomètres à transmission) ou lors de la réflexion sur une surface (cinémomètres optiques à laser).

Ces propriétés font appel aux lois de la physique qui jouent un rôle dominant dans la conception des applications.

La recherche est le principal moteur des progrès réalisés, notamment pour la compréhension des interactions entre la lumière et la matière faisant l'objet d'améliorations permanentes. En même temps, le couplage de l'optique avec d'autres technologies, notamment l'électronique, le traitement du signal, ou encore la mécanique, permet des progrès importants dans l'intégration de fonctions évoluées au sein des capteurs ou équipements optiques, ouvrant ainsi en permanence le champ à des applications nouvelles, comme par exemple le contrôle de la pollution, l'analyse et le contrôle non destructif, la reconnaissance d'images, les procédés de contrôle holographiques...

La transmission de la lumière est sensible aux conditions d'environnement, limitant ainsi l'utilisation de l'optique dans des environnements pollués (poussières, humidité, vapeurs...). Dans certains cas, l'optique est en compétition avec d'autres solutions technologiques reposant sur d'autres propriétés physiques (jet d'eau ou plasma pour la découpe, ultrasons pour le soudage, ou encore ondes électromagnétiques pour le contrôle non destructif).

L'optique devra en permanence trouver sa place au sein des équipements industriels en valorisant ses atouts qui sont principalement :

- les propriétés intrinsèques de la lumière et des interactions avec la matière ;
- le caractère non invasif des méthodes de contrôle utilisant les procédés optiques ;
- la possibilité de transmission d'informations à distance en utilisant les possibilités offertes par la grande largeur du spectre optique ;
- la compatibilité des images avec la vue, permettant ainsi une appréhension directe des formes ou objets générés par les capteurs de vision.

Les progrès dans la réalisation des équipements et instruments permettent de combler progressivement certaines faiblesses de l'optique telles que la sensibilité à l'environnement ou le coût quelques fois élevé, notamment en autorisant, au travers du traitement numérisé du signal optique, d'exploiter pleinement toute la richesse des informations acquises.

## 1.2 Matrice des applications

L'analyse des marchés des solutions optiques est faite en partant de l'analyse du besoin pour les procédés industriels. Cette analyse repose à la fois sur le type d'application (fabrication, contrôle, contrôle des processus) et sur le secteur ou domaine d'application. Nous avons distingué 5 secteurs qui se caractérisent par leurs spécificités :

- **La mécanique**, requiert des instruments de taille plutôt importante (en dehors du domaine restreint de la micromécanique), et est un secteur relativement mature. Les applications peuvent être différentes selon les domaines, principalement du fait de la nature des matériaux employés (par exemple l'aluminium dans l'industrie aéronautique) et la taille des installations, mais les procédés sont relativement voisins.
- **L'électronique** est un grand consommateur d'équipements, notamment pour la fabrication des composants. Le caractère cyclique de ce marché affecte de manière importante les volumes de marché. Les grands enjeux technologiques se situent en priorité sur ce secteur.
- Les 3 autres domaines (**chimie et matériaux, biologie et agro-alimentaire, et construction-BTP**) représentent des volumes de marché plus faibles.

Ces utilisations sont regroupées dans une matrice des applications qui fait ressortir les différents marchés.

|                         | Mécanique   | Electronique   | Chimie Matériaux   | Biologie Agroalimentaire   | Construction BTP  |
|-------------------------|---|--|--|--|---|
| Procédés de fabrication | Usinage, traitements de surface, soudage, assemblage, marquage, gravage                             | Usinage, traitements de surface, soudage, assemblage, marquage, gravage        | Réticulation, polymérisation, traitements de surface, granulation, ablation        | Nettoyage, photoactivation, stérilisation  | Préparation de matériaux, alignement                          |
| Contrôle et inspection  | Métrologie, contrôle visuel, état de surface, contrôle thermique, contrôle dynamique                | Périscope Mât Optronique<br>Vision de nuit<br>Caméra HD                        | Périscope Mât Optronique<br>Vision de nuit<br>Caméra HD                            | Périscope Mât Optronique<br>Vision de nuit<br>Caméra HD                            | Périscope Mât Optronique<br>Vision de nuit<br>Caméra HD       |
| Contrôle de processus   | Contrôle process, prototypage, simulation de processus, gestion de production, contrôle de sécurité | Contrôle process, prototypage, simulation de processus, gestion de production, | Contrôle process, contrôle fluide (débit, température, composition...), régulation | Contrôle process, contrôle fluide (débit, température, composition...), régulation | Contrôle process, contrôle des matériaux (composition, poids) |

Notons que le contrôle et l'inspection ne concernent que les matières ou produits issus du procédé de fabrication. Le contrôle de processus fait référence aux systèmes optiques utilisés pour la maîtrise, le contrôle et la gestion des procédés industriels.

Bien que les deux premières colonnes relatives à la mécanique et à l'électronique soient très proches, il est cependant indispensable de les distinguer car les technologies utilisées et le contexte industriel sont différents.

De ce fait, même si les termes désignant les applications sont identiques, les équipements et les données de marché correspondantes diffèrent.

L'approche est transversale et concerne les grands secteurs sans prendre en compte les éléments intégrés aux produits eux-mêmes (automobile, aéronautique, équipements électroniques...) qui font l'objet d'autres zooms marchés.

### 1.2.1 Les domaines d'application de l'optique pour les procédés industriels

Les domaines d'utilisation de l'optique sont extrêmement variés et même si chaque procédé industriel utilise une technologie de fabrication similaire, chacun possède le plus souvent sa propre configuration en terme de gestion et de contrôle.

Les procédés industriels se caractérisent par des contraintes qui peuvent être particulièrement sévères dans certains domaines d'applications comme par exemple ceux de la chimie ou de l'agroalimentaire. L'environnement d'utilisation est sévère lorsque le procédé fonctionne à haute température ou dans des atmosphères acides ou humides, sachant par ailleurs que le procédé lui-même peut générer chocs et vibrations.

Certaines technologies fonctionnant sous vide ou à haute pression, il s'agit aussi de veiller à ce que les paramètres du procédé n'aient aucune influence sur le bon fonctionnement du système optique utilisé.

L'absence de sensibilité aux perturbations électromagnétiques des solutions optiques constitue un atout majeur. Cependant, toute l'électronique associée au système optique reste sensible à ce type de phénomènes et la fragilité des capteurs optiques demeure un obstacle.

Les solutions optiques doivent également prouver leurs avantages en termes de performances, de coût et de fiabilité. La maintenance et la durée de vie des équipements sont autant de critères à

prendre en compte, car la productivité d'une installation (qui passe par sa disponibilité) représente un enjeu majeur pour les industriels.

### 1.2.2 Les procédés de fabrication

Ils consistent à utiliser une source lumineuse, que ce soit dans le domaine de l'infrarouge ou l'ultraviolet, comme source d'énergie permettant d'apporter de la chaleur pour transformer ou enlever de la matière. Les sources utilisées sont principalement des lasers ou des lampes UV. Parmi les nombreuses applications, on peut citer l'usinage, les traitements de surface, le soudage, l'assemblage, le marquage, le gravage, la réticulation, la photopolymérisation, la photoactivation, ou encore la stérilisation.

#### • LES LASERS

On exploite l'intensité des lasers pour percer les matières les plus dures, comme le diamant, et pour polir des surfaces rugueuses. Il est possible, en orientant le faisceau, d'effectuer des opérations de très haute précision (découpe, perçage, soudage...). On l'utilise donc pour façonner des pièces de machines, fabriquer des composants microélectroniques ou découper des patrons de vêtements. Le laser est largement utilisé pour l'usinage de pièces (découpe, perçage) ou encore pour réaliser certains traitements de surfaces comme le nettoyage et le décapage de revêtements organiques, le rechargement et les dépôts de matériaux métalliques ou céramiques. Il permet également de marquer ou de graver les produits permettant ainsi une meilleure traçabilité et une gestion de la production améliorée.

Le soudage peut être également réalisé grâce à la technologie du laser mais cette solution peine à s'imposer du fait de son coût et d'un contrôle qualité délicat. Cependant, le laser est irremplaçable pour les alliages peu compatibles du soudage tel l'aluminium, et son emploi tend à s'étendre dans le domaine aéronautique. Il est également utilisé pour des assemblages très fins, en bijouterie par exemple, ou pour l'assemblage de matériaux sensibles à la chaleur (soudage de thermoplastiques).

Le laser bénéficie de nombreux atouts et son formidable potentiel est encore renforcé par les récentes évolutions des sources dont on peut constater l'extrême diversité (puissance, fréquence, durée des impulsions...). Cette diversité permet d'étendre la gamme des procédés mis en œuvre et leur incessante amélioration en terme de fiabilité augmente encore leur pouvoir d'attraction. Ils se trouvent néanmoins soumis à une concurrence vive de la part de

procédés plus traditionnels, souvent moins coûteux, ou de procédés nouveaux (jet d'eau, plasma). Il convient donc de les utiliser en valorisant leurs caractéristiques :

- Ce sont des traitements d'une grande précision (diamètre du spot inférieur au mm) en raison d'une possibilité de focalisation très fine du rayonnement, grâce à sa faible divergence. Ils induisent un faible échauffement global de la pièce et évitent donc une éventuelle dilatation ou déformation de la pièce traitée, et réduisent les modifications de propriétés dues à cet échauffement (zone thermiquement affectée).
- Ce sont des traitements sans contact et sans apport chimique, donc sans polluant externe susceptible de modifier les propriétés des matériaux ou d'entraîner des contaminations.
- Il est facile de modifier des paramètres opératoires (puissance, vitesse, focalisation...) ou de partager le faisceau laser (opération multitâche, multiposte) ; la robotisation des procédés est envisageable et leur contrôle en temps réel possible.
- Ce sont des procédés en général respectueux de l'environnement.

Les principales sources laser utilisées pour la fabrication sont le laser CO<sub>2</sub> et le laser Nd-Yag. Le point faible du laser CO<sub>2</sub> est de ne pas pouvoir utiliser un transfert par fibre optique. Chaque source possède ses propres caractéristiques et le choix parmi ces sources dépend de l'application visée. Les diodes laser sont aujourd'hui inadaptées pour ce type d'applications car même si elles peuvent fonctionner en mode pulsé, elles délivrent une énergie trop faible dans chaque impulsion, la durée de stockage de l'énergie étant liée à la durée de vie des porteurs. Pour les semi-conducteurs, cette durée de vie est de l'ordre de quelques nanosecondes. Cette valeur est bien inférieure à celle de la durée de vie de fluorescence des ions terres rares (de 10 µs à 1 ms) dans des matrices solides (verres, cristaux). Cependant, la technologie des diodes lasers est la dernière arrivée sur le marché, et son potentiel d'évolution est loin d'être achevé, notamment grâce à leur couplage avec des amplificateurs de lumière qui peuvent les transformer en sources de puissance à impulsions brèves. Les diodes lasers dont les puissances sont grandissantes trouvent leurs applications dans les télécommunications, les traitements de surfaces, le perçage, la découpe, la soudure, mais aussi pour le stockage d'information (CD, DVD), les imprimantes, l'éclairage (avec les diodes blanches) et le pompage d'autres lasers.

|                        | Puissance   | Domaine d'émission         | Applications   |
|------------------------|-------------|----------------------------|--|
| HeNe                   | 5 mW        | 632,8 nm (rouge)           | Positionnement, lecture de codes barres...   |
| Lasers à diodes        | 1 à 100 mW  | 100 à 500 µm               | Impression, lecture de CD et DVD, pointeurs, mesure de distance et de vitesse...                 |
| Lasers Ar <sup>+</sup> | 0,1 à 10 W  | vert à ultraviolet         | Spectacles sons et lumières, réticulation...   |
| Nd:YAG                 | 10 à 100 W  | infrarouge                 | Façonnage en bijouterie, chirurgie plastique, découpe de métaux                                  |
| Excimère               | 10 à 100 MW | ultraviolet                | Ablation de surfaces, incisions (chirurgie de la cornée), traitements de surface en électronique |
| CO <sub>2</sub>        | 1 à 1000 W  | infrarouge (9,4 à 10,4 µm) | Usinage  |

*Caractéristiques des sources lasers et leurs applications*

Parmi les fournisseurs de lasers industriels, on peut citer Excel Technology, Rofin, Spectra Physics, Trumpf, Lambda Physik, Amplitude Technologies, ou encore Synrad.

#### • LES SOURCES UV

Les sources UV notamment sont utilisées, dans le domaine de la chimie et de la biologie, et les applications sont nombreuses : photolithographie, photopolymérisation, cuisson, réticulation de résines, peintures et vernis, stérilisation, désinfection, nettoyage, photoactivation, fonctionnalisation de surfaces...

On sait que les fabricants de peinture en poudre, tels que Dupont, BASF, Akzo Powder Coatings, ou encore Becker Poudre, ont investi et continuent d'investir des sommes substantielles dans la recherche et le développement avec comme principaux axes les systèmes de réticulation UV. Par ailleurs, la technologie de désinfection des eaux usées par rayonnement UV est considérée comme l'alternative aux traitements chimiques, physiques, ou biologiques (chloration, ultrafiltration, digestion bactérienne...).

Enfin, on retrouve également ces différentes sources optiques en amont de l'industrialisation, c'est-à-dire pendant les étapes de prototypage. Dans ce domaine, les sources laser et autres sources lumineuses sont utilisées pour découper ou transformer des matrices polymères photosensibles spécifiques selon un processus bien établi. Parmi les différentes technologies, on observe la stéréolithographie UV, la microstéréolithographie laser par masquage dynamique, la polymérisation de couches par flashage, la stratoconception, ou encore la fusion de poudre par laser (Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laser Cladding...).

Parmi les fournisseurs d'équipements UV, nous pouvons citer Hanovia, Luxo, Lenntech, ou encore Fusion UV Systems.

### 1.2.3 Le contrôle et l'inspection des matières et produits

Les solutions à base d'optique trouvent une place de choix pour quantifier et contrôler un large éventail de paramètres et de caractéristiques en s'appuyant sur les propriétés particulières de la lumière.

Parmi les applications des systèmes optiques pour le contrôle et l'inspection, on trouve :

- **Le contrôle dimensionnel** : il existe différents systèmes de métrologie utilisant l'optique pour ce type de contrôle. Les instruments de mesure ont besoin d'une très grande précision pour donner une valeur exacte. La cohérence dont le laser fait preuve augmente la précision et peut servir ainsi comme repère de mesure efficace, notamment dans les travaux publics ou la grande industrie mécanique. Le laser à impulsion utilisant la mesure de la distance parcourue par la mesure de l'intervalle de temps entre l'émission du signal et sa réception, permet de réaliser des opérations de télémétrie sur de grandes distances.

Comme le souligne un des acteurs du domaine, « tout au long du processus de fabrication des circuits intégrés par exemple, le wafer subit de nombreux contrôles au cours desquels les épaisseurs de couches minces, les dimensions critiques, le positionnement relatif de deux opérations de lithographie successives sont mesurées ou au cours desquels le wafer est inspecté et comparé à une image de référence. Tous ces équipements font appel à l'optique soit pour contrôler la vitesse et la position du wafer (interféromètre et règles optiques) soit pour réaliser la mesure (ellipsométrie, analyse d'image...) ».

- **Le contrôle de l'aspect et de l'état de surface** : outre l'utilisation de microscopes ou de caméras, il existe des systèmes optiques permettant de mesurer des caractéristiques telles que la couleur ou la brillance d'une surface. Il est par exemple possible de contrôler la planéité de surface par interférométrie à transformée de Fourier ou les qualités de couches minces par l'ellipsométrie.
- **Le contrôle de paramètres physiques** : ce contrôle peut être réalisé à l'aide de capteurs optiques qui permettent de mesurer la pression, la température, la vitesse locale d'écoulement, la turbidité, la viscosité, la contenance ou le niveau. La fibre optique, comme tout objet, subit les influences de différents paramètres. Elle est, entre autres, légèrement déformée

lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. La déformation subie par la fibre optique a alors une influence sur la façon dont la lumière s'y propage. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de déplacement, selon ce qu'on désire mesurer. Ces capteurs ont l'avantage d'être petits, précis et insensibles aux perturbations électromagnétiques. Leurs qualités permettent des applications en contrôle d'ouvrages de BTP par exemple, ou encore le contrôle de fluides en remplacement de capteurs traditionnels par des méthodes peu invasives dès lors que le fluide est conditionné dans des réservoirs transparents. L'utilisation de la fibre optique permet d'accéder à des mesures locales difficilement accessibles par d'autres moyens.

- **Le contrôle de la composition chimique** met à profit les propriétés d'interaction de la lumière avec les constituants chimiques, soit au travers de la mesure de l'absorption, soit au travers de la diffusion (spectrométrie de transmission ou à effet RAMAN) dans diverses gammes de longueurs d'ondes.

### 1.2.4 Le contrôle des processus

Il s'agit ici de ne plus contrôler la matière ou le produit fini, mais de contrôler le procédé de fabrication lui-même. La mesure de certaines grandeurs permet de paramétrer ou de réguler le procédé selon un protocole de fonctionnement bien spécifique.

On trouve ici :

- La transmission et gestion de données : les systèmes optiques, comme par exemple la lecture de codes barres, sont utilisés pour gérer la fabrication et les stocks. Des capteurs optiques peuvent également être installés sur une ligne de production pour le comptage et le tri de produits.
- Le contrôle de processus en continu : une très large gamme de systèmes optiques permet de mesurer certaines grandeurs permettant de réguler en temps réel le fonctionnement d'un procédé de fabrication. Il existe des systèmes très performants permettant de contrôler des procédés en continu et à très grande vitesse (par exemple pour le tri cellulaire).
- Les systèmes optiques peuvent également servir à la sécurité et la surveillance de l'environnement industriel (contamination, pollution, impuretés, poussières).

### 1.3 Les technologies-clés

Les technologies mettant en œuvre l'optique pour les procédés industriels se déclinent depuis les composants élémentaires jusqu'à l'installation complète utilisant l'optique pour une application bien spécifique.

- **Les composants** : on trouve les émetteurs (lampes, diodes, lasers...), les filtres, les fibres optiques, les miroirs, les capteurs CMOS et CCD... Parmi les capteurs optiques, on trouve les cellules photoélectriques, les photodiodes, les phototransistors, les capteurs photoémissifs et les détecteurs thermiques. Ces composants ne sont pas spécifiques à ce domaine d'application. Les instruments pour procédés industriels utilisent les composants standards, et il y a peu de développements spécifiques au domaine, sauf dans les lasers de puissance. Parmi les principaux fournisseurs, on trouve Infineon, ST Microelectronics, Matsushita, Sick...

Au dire d'un des experts interviewé à propos des équipements de lithographie (steppers): ces équipements projettent l'image du masque sur un wafer préalablement revêtu de résine photosensible. Ils font appel à l'optique pour générer et mettre en forme le faisceau qui éclaire le masque (laser et optique d'illumination), pour projeter l'image du masque (objectif de projection), pour contrôler la position et la vitesse des tables qui déplacent le masque et le wafer l'un par rapport à l'autre (interféromètre et règles optiques). Certains masques sont aussi produits en utilisant des moyens optiques.

- **Les instruments et équipements** : il s'agit d'instruments intégrant les composants précédents. Ces équipements sont principalement les systèmes de lasers de puissance, les caméras... Ils vont être utilisés dans des sous-ensembles spécifiques ou bien être directement intégrés à la chaîne de production. Parmi les fournisseurs d'instruments et d'équipements, nous pouvons citer Agilent Technologies, Coherent, PerkinElmer, Cedip...
- **Les sous-ensembles spécifiques** : il s'agit de systèmes complets intégrant les instruments et équipements précédents en y ajoutant des systèmes d'automatisation ou de robotisation, des logiciels de traitement du signal ou de reconnaissance d'images, des systèmes de guidage optiques... Ces systèmes peuvent correspondre à une véritable et unique application et constituer un équipement autonome vendu comme tel, comme par exemple les spectromètres, les systèmes de contrôle

holographique, les systèmes de mesure dimensionnels. Ils peuvent également être intégrés dans les constituants d'une chaîne de production en apportant un élément particulier comme par exemple des systèmes de vision pour installations d'assemblage, des lasers guidés pour les bancs de prototypage, des installations de gravage, ou des stations de mesure de paramètres physiques. Cette intégration est spécifique et nécessite souvent une adaptation particulière de ces équipements.

Parmi des systèmes complexes, les **systèmes de vision** utilisant des caméras occupent une place importante, que la vision soit en 2D ou en 2,5D, et remplacent l'observation humaine directe ou par microscopie.

- En effet, la reconnaissance des formes est une technologie clé. Il existe diverses stratégies d'acquisition d'images. Une première technique allie à une mesure 2D par caméra, une mesure perpendiculaire au plan de capteur de cette dernière par télémétrie laser ponctuelle. L'objet est translaté face au pinceau laser pour obtenir une cartographie qui peut être dense ou ciblée sur quelques points remarquables (palpeur laser).

Une autre technique ponctuelle consiste en l'utilisation du chromatisme. Là encore, le capteur mesure la distance capteur-objet pour un point donné, la cartographie 2,5D de l'objet étant obtenue en déplaçant celui-ci sous la tête de mesure (microscopie confocale à champ étendu). Parmi les méthodes globales, l'interférométrie en lumière blanche est une méthode originale où la très faible cohérence d'un éclairage large spectre permet de localiser des zones de même altitude dans un champ complet.

Le principe de projection de franges permet des mesures rapides mais avec une précision moindre que les méthodes précédemment citées.

Enfin, la vision stéréoscopique 3D réelle commence à devenir une réalité du fait de l'accroissement sensible de la capacité de traitement des images par les ordinateurs.

- En matière de contrôle dimensionnel, notons également la **profilométrie par triangulation laser**, technique bien maîtrisée et répandue outre-Atlantique, déjà largement utilisée dans l'industrie européenne, ou encore l'**holographie dynamique** qui peut être appliquée à la métrologie et au contrôle non destructif.

Il existe également les radars laser cohérents fonctionnant sur la base de figures d'interférence sur la surface d'un rayon laser modulé en fréquence. Les télémètres laser utilisent une réflexion passive (réflexion de la lumière par la surface du produit même). Les applications concernent l'inspection de précision de produits fragiles (poudres par exemple), l'alignement de produits et de surfaces, les mesures de déplacement en temps réel, ou le contrôle des surfaces complexes.

On peut citer aussi les théodolites électroniques industriels qui sont en quelque sorte des grandes machines de mesure 3D de coordonnées qui sont mobiles et portables. Ils utilisent une réflexion active de la lumière proche de la zone infrarouge émise par une LED. La précision de ces machines est de l'ordre du dixième de mm et les applications concernent le contrôle dimensionnel de structures durant la soudure, l'alignement de l'équipement, l'inspection dimensionnelle de plaques minces présentant une courbure complexe, la mesure de l'enveloppe des sous-ensembles...

- Certains systèmes combinent les potentialités du contrôle des matériaux par ultrasons avec la flexibilité des systèmes optiques. Les secteurs utilisateurs devenant de plus en plus exigeants quant à la qualité des matériaux, les mesures indirectes comme des mesures de température ou les mesures off-line, comme les analyses métallographiques par exemple, se révèlent parfois insuffisantes. Elles sont lentes, ou coûteuses, ou inadéquates. Ces systèmes permettent alors de mesurer des caractéristiques directes en ligne, sans contact et dans des environnements difficiles.
- L'holographie peut aider les industriels à résoudre leurs problèmes en matière d'inspection et de contrôle qualité. Certaines méthodes combinent l'holographie numérique et l'holographie comparative et il existe un large panel de systèmes holographiques capables d'identifier les défauts ou les différences entre une pièce et son modèle sur des surfaces complexes.
- Les systèmes de contrôle non destructif utilisant la photonique, comme par exemple l'interférométrie, sont particulièrement bien adaptés aux matériaux composites et aux polymères du fait de leur précision en comparaison aux autres alternatives même si ces systèmes sont le plus souvent complexes et difficilement

applicables dans un environnement industriel ; des problèmes de standardisation et de compatibilité entre les offres de différents industriels restent présents.

On ne prétend pas ici être exhaustif et on pourrait encore citer beaucoup d'autres applications en matière de systèmes optiques appliqués aux procédés industriels : la liste est longue et les sujets extrêmement variés.

## 2.1 Les solutions optiques en concurrence d'autres solutions – forces et faiblesses

---

Le secteur des capteurs optiques est un domaine dans lequel de nouvelles technologies se développent sans cesse. Les applications touchent aussi bien les domaines de la mécanique et de l'électronique, que ceux de la chimie, des matériaux, de la biologie, de l'agroalimentaire et du bâtiment.

Par exemple, les capteurs infrarouges représentent une partie significative du marché d'instrumentation, et les capteurs employés en spectroscopie restent les plus précis et les plus fiables parce qu'ils ne subissent pas d'interactions catalytiques ou électrochimiques. En effet, les autres capteurs non optiques réagissent avec leur environnement et finissent par se contaminer et deviennent inefficaces après une utilisation intensive. Malheureusement, les capteurs infrarouges conventionnels restent coûteux même si leur prix tend à baisser et leurs performances à augmenter avec l'arrivée de nouvelles technologies SOI et AsGa.

Outre les capteurs qui permettent le contrôle de processus et l'inspection de produits, les sources optiques énergétiques représentent également une part croissante du marché. Les normes et les réglementations environnementales deviennent de plus en plus exigeantes, incitant les industriels à chercher et à développer des technologies propres de substitution. Le laser permet par exemple le nettoyage ou le décapage de surfaces sans utiliser de solvants, et donc de limiter le rejet de composés organiques volatils. On l'a vu, il en va de même pour la réticulation de peinture poudre sous rayonnement ultraviolet.

Les systèmes de vision industrielle présentent des avantages importants par rapport à l'observation humaine :

- Le contrôle est précis (mesures géométriques, quantité..)
- La mesure est répétitive, objective et fiabilisée
- Il n'y a aucune fatigue
- Le système s'adapte à des environnements difficiles
- Le contrôle intègre des connaissances d'experts

Mais ils présentent néanmoins des inconvénients :

- Le système est optimisé pour une application
- L'évolution et la flexibilité du système sont limitées
- Le système est sensible aux changements des conditions d'environnement

L'opérateur humain est souple et adaptable. Confronté à un nouveau défaut non prévu dans un cahier des charges initial,

le système de vision risque d'être moins efficace, que l'opérateur humain. Il s'agit donc d'utiliser les systèmes de vision pour des tâches telles que les mesures rapides, précises et répétitives.

Pour prendre un autre exemple, l'usinage des métaux, la découpe au jet d'eau ne crée aucun effet thermique sur les pièces traitées, et les systèmes de découpe ont fait des progrès sensibles. Parallèlement, l'utilisation de torches plasma augmente car ce procédé accélère les opérations de découpe et s'avère moins coûteux. Le laser n'est pas une solution économique et ne trouvera son application que dans des cas précis, comme par exemple dans le domaine de l'électronique où la rapidité et la précision sont requises, ou encore le contrôle d'alignement dans le domaine de la construction.

## 2.2 Principales évolutions du marché

---

Les solutions optiques obéissent à deux règles :

- La règle générale d'évolution des marchés, principalement dépendante de la conjoncture. L'importance du marché de l'industrie des télécommunications pour les solutions optiques pèse énormément sur l'ensemble du secteur. Le redémarrage progressif de cette industrie constitue un élément favorable.
- La concurrence d'autres solutions : celle-ci contraint les industriels proposant des solutions optiques à rester compétitifs et donc à multiplier les efforts pour rendre les solutions plus compactes, plus fiables, plus flexibles et moins coûteuses. Dans ce domaine, les applications autres (produits grand public, équipements de télécommunications) permettent un abaissement sensible du coût des composants et une augmentation des performances qui favorise incontestablement ces secteurs (équipements de vision, diodes laser...).

Actuellement, les capteurs optiques tentent d'atteindre d'autres marchés auxquels ils n'étaient pas destinés au préalable. Le véritable challenge est de proposer des capteurs optiques à des prix raisonnables, car ceux actuellement pratiqués sont encore relativement hauts pour être acceptés par la totalité des procédés industriels. La miniaturisation des capteurs optiques offre des opportunités, par exemple dans le domaine des équipements de vision (rétine intelligente) permettant d'intégrer plus facilement des composants dans les chaînes de production.

Parmi l'évolution des marchés, on peut distinguer les systèmes optiques améliorant une fonction courante dans certaines applications, et d'autres systèmes optiques pouvant apporter une véritable innovation dans de toutes nouvelles applications. Pour chaque situation, les développeurs et les utilisateurs essaient de trouver le compromis entre les bénéfices apportés par une nouvelle technologie et les risques liés à l'intégration de cette nouvelle technologie dans les procédés de fabrication. La fiabilité et la flexibilité sont les deux challenges permanents auxquels les solutions optiques doivent faire face pour s'imposer, car ces technologies apparaissent souvent comme étant fragiles et peu adaptables car complexes.

### L'optique : la voie incontournable

Interview de  
Daniel **Bertrand**  
External Program Manager,  
Altis Semiconductor



*Daniel Bertrand, Directeur des programmes externes, met l'accent sur "l'énorme utilisation et la forte consommation de techniques optiques dans la fabrication de composants microélectroniques". Ainsi, "les outils d'exposition pour les résines photosensibles, grâce auxquelles sont gravés ensuite par masquage les circuits microélectroniques et leurs composants, sont des outils essentiellement optiques travaillant à des longueurs d'ondes données" ajoute-t-il. Car, "alors que les nœuds technologiques sur roadmaps visent les 130 et 90 nm, ces dimensions de circuits correspondent respectivement à des longueurs d'ondes d'exposition de 248 nm principalement et de 193 nm" précise Daniel Bertrand. Ainsi, "la miniaturisation des circuits, qui suit la loi de Moore, n'a pu se faire que grâce à la maîtrise parfaite de la photolithographie : masquage, exposition, positionnement, focus, profondeur de champ ?". Et cette maîtrise photolithographique est directement corrélée en particulier aux performances des circuits de nos PC (rapidité, consommation).*

*Des facteurs que rendent critiques les dimensions des grilles de transistors traduites en fréquence d'horloge pour les microprocesseurs, ou en capacité de stockage pour les mémoires. Comme la dimension de ces grilles dépend de la finesse des masques d'exposition, qui nécessite elle-même l'amélioration de la résolution, le recours à l'optique est alors indispensable.*

*La "colonne vertébrale" des techniques optiques de microélectronique a bien ouvert la voie à la route de l'intégration, sans grand changement de technologie avec cependant des investissements de plus en plus lourds (les équipements d'exposition valent aujourd'hui 40 fois plus qu'il y a 20 ans : soit un passage de 300 K€ à 12 000 K€). Pour les technologies futures en dessous du nœud à 65nm de véritables ruptures technologiques deviennent nécessaires. Les technologies Extrême UV et, plus récemment, l'avènement de "lentilles à immersion agissant comme ménisque optique entre le produit à traiter et l'optique" pourraient encore changer la donne dans l'équation des coûts de production.*

## 2.3 Principales évolutions techniques et ruptures technologiques attendues

Il existe de nombreux axes de recherche et de développement dans le domaine de l'optique :

- **La principale révolution est à attendre des systèmes de vision** qui bénéficient à la fois de l'effet de masse créé par le développement de la photographie numérique abaissant le coût des capteurs et améliorant leurs performances, et des capacités de traitement informatisé associées qui permettent d'offrir des solutions plus flexibles et plus performantes. Du côté des capteurs, les technologies CMOS semblent prendre le dessus sur les capteurs CCD. Les développements récents ont permis d'introduire des prétraitements puissants et d'améliorer la résolution, la sensibilité, et par conséquent la qualité des images perçues, tout en réduisant le coût de fabrication.

Notons également le développement de systèmes de vision utilisant les rayons X. Les avancées faites dans le domaine des semi-conducteurs ouvrent de nouvelles applications aux caméras pouvant convertir des rayons X, notamment pour observer à travers la matière. Par exemple, l'université Cornell a mis au point un système d'imagerie utilisant une caméra permettant de visionner l'injection de carburant à des vitesses supersoniques à l'intérieur de moteurs automobiles.

- **Les outils de conception par ateliers virtuels** offrent également des opportunités importantes de croissance au travers des outils de visualisation et de la possibilité de développer des méthodes de contrôle en ligne par caméras utilisant les banques d'images générées par les outils de conception : une véritable révolution est en marche dans ce domaine.
- En ce qui concerne la photolithographie, la fabrication de circuits intégrés utilise un ensemble d'objets dont la miniaturisation a atteint ses limites. Ce problème pourrait être résolu en utilisant des masques dynamiques permettant une modification de l'illumination pour changer l'amplitude et la phase des ondes optiques. Un autre développement concerne l'utilisation de rayonnements ultraviolets extrêmes dont la longueur d'onde serait de l'ordre de 14 nm. Les petits systèmes réflecteurs peuvent alors fournir une focalisation inégalée et une haute résolution dans la définition d'objets dans le domaine de la photolithographie. Les technologies actuelles ne permettent pour le moment pas de fabriquer une source industrielle adaptée.

- En ce qui concerne la fabrication des semi-conducteurs, les équipements produisent à l'échelle nanométrique. Actuellement, les procédés de fabrication et les instruments de contrôle sont limités à 90 nm. Les avancées technologiques pourraient repousser les limites à 45 nm dans les trois prochaines années, et les experts espèrent descendre de 14 voire 13 nm en 2010. Ces seuils nécessitent un véritable saut technologique au niveau des outils de gravage et de contrôle des circuits intégrés. D'importantes recherches sont en cours et l'optique pourrait trouver ses limites physiques à moins de développer les technologies dans l'UV lointain qui n'existent pas encore aujourd'hui.
- L'intégration des systèmes optoélectroniques a été rendue possible grâce aux progrès faits en nanotechnologies dans le domaine des sciences de la matière et des méthodes de fabrication tels que l'utilisation de faisceaux moléculaires ou d'ions, d'organométalliques ou encore les techniques de nano-usinage. Ces méthodes ont résolu les problèmes associés à la proximité des différents composants laquelle causait certaines incompatibilités ou des interférences qui pouvaient affecter le fonctionnement du système. Les dernières recherches ont montré que les dispositifs optoélectroniques fondés sur des polymères présentaient une largeur de bande opérationnelle trois fois plus importante que celle observée avec des matériaux cristallins. De plus, les polymères sont très bon marché et offrent des propriétés spécifiques nécessaires dans certaines applications particulières.
- En ce qui concerne les lasers, deux technologies dominent ; il s'agit des sources CO<sub>2</sub> et Nd:Yag. Actuellement, ces deux sources fournissent des puissances suffisantes et peuvent être facilement intégrées sur des lignes de production industrielles. Les lasers CO<sub>2</sub> ont tendance à dominer le marché des procédés à forte puissance, tandis que les lasers Nd:Yag sont utilisés pour leur plus grande précision et dans les procédés où l'échauffement est une contrainte. Il existe une troisième source qui commence à avoir un fort impact dans les procédés industriels. Il s'agit des lasers excimères fonctionnant dans le domaine ultraviolet. L'avantage de ce type de laser est qu'il interagit avec la matière en cassant des liaisons chimiques sans échauffement, contrairement aux autres sources qui génèrent une importante énergie thermique. Ainsi, il est possible d'utiliser les lasers excimères sur des polymères et des céramiques en empêchant les phénomènes d'ablation, de carbonisation ou d'évaporation.

- Le développement de sources UV miniatures telles que les diodes laser à matériaux à grande bande d'énergie interdite, aura certainement un impact conséquent dans les domaines de l'instrumentation et du contrôle des procédés industriels. Notons également le développement des procédés de recuit sur de faibles profondeurs en utilisant un faisceau laser. Le laser est alors particulièrement bien adapté, permettant un contrôle précis de l'énergie délivrée.
- En ce qui concerne les lasers industriels, les dernières technologies émergentes en Europe et au Japon incluent les lasers Nd:Yag de forte puissance couplés à des systèmes automatisés. Les développements concernent également le compactage des équipements. Du côté de la recherche, la tendance est au laser pulsé avec des durées d'impulsion très courtes de l'ordre de la centaine de femtoseconde qui permettent de réaliser des opérations de micro-usinage par ablation avec des effets thermiques réduits. La miniaturisation est également à l'ordre du jour, notamment pour la fabrication des MEMS (Micro Electro Mechanical Systems). Le développement de nouvelles sources laser est orienté par un impact sur l'écologie, une utilisation sécurisée, une miniaturisation poussée et l'utilisation pratique de logiciels associés aux systèmes.
- En ce qui concerne les spectromètres, la plupart des changements technologiques durant les 10 dernières années concernaient l'incorporation de logiciels informatiques rendant les systèmes beaucoup plus conviviaux et simples à utiliser. Les développements les plus récents concernent les sources lumineuses performantes et les détecteurs à diodes, aussi bien dans les spectromètres infrarouges que les spectromètres ultraviolets. Les tendances indiquent que les futurs spectromètres pourront fournir des informations disponibles à des longueurs d'onde inférieures à 185 nm ce qui ouvrirait de nouvelles perspectives à la spectroscopie.
- Quant aux microscopes, ils permettent maintenant d'aller observer à l'intérieur de cellules à l'échelle moléculaire, ouvrant ainsi de nouvelles voies dans le domaine biologique et médical. D'autres avancées concernent les stéréomicroscopes permettant de restituer des images et des structures en 3D, et ce pour des dimensions aussi petites que 600 nm.

Cependant, l'optique ne représente qu'une solution parmi d'autres, mais elle présente différents avantages. Il est possible

de coupler les systèmes optiques avec des procédés industriels par le biais de solutions numériques. La re-programmation des équipements permet d'assurer une meilleure flexibilité des systèmes de vision. Dans certains cas, les procédés industriels sont dépendants de l'outil laser. L'imagerie associée au traitement numérique pourrait avoir un impact considérable. Les développements observés en photographie ou en vidéo numérique ainsi que le critère de production de masse qui s'adresse à un marché grand public à fort volume, auront un impact sur l'intégration de tels capteurs dans les systèmes de conduite de procédés.

En résumé, les critères de succès des solutions optiques tels que la fiabilité, la flexibilité, les contraintes environnementales et les coûts qu'elles représentent, pourront aider les systèmes optiques à s'imposer s'ils sont considérés dès la conception et s'ils s'inscrivent dans une démarche globale.

De manière générale, les utilisateurs de solutions technologiques optiques sont des intégrateurs qui ont recours à des sous-systèmes associés à des produits complexes. Le chiffre d'affaires attribué à l'optoélectronique dans les produits finis livrables, reste difficile à déterminer.

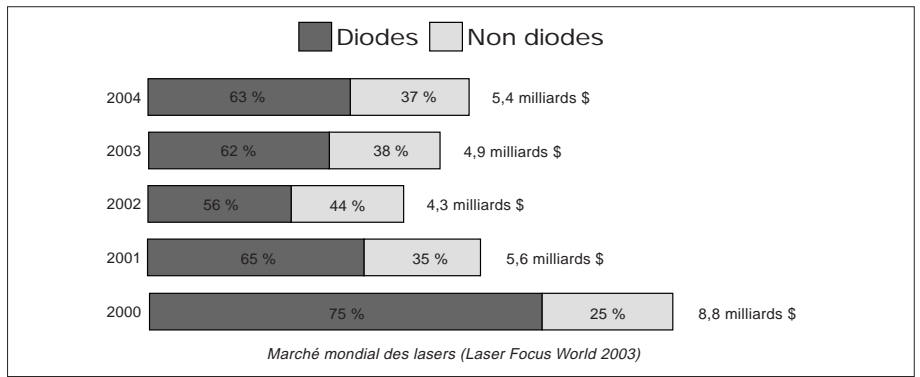
Les équipements de base, tels que les diodes, LED ou diodes laser, sont également utilisés pour les télécommunications qui représentent le gros des volumes de ventes. Il est difficile d'apprécier dans ces statistiques la part revenant spécifiquement aux procédés industriels. Ceci est beaucoup moins vrai pour d'autres produits tels les lasers de puissance ou les caméras. Par ailleurs, les ventes croisées de composants basiques ou spécifiques et de sous-systèmes optiques entre les acteurs, sont fréquentes ; elles ont pour effet d'augmenter artificiellement la taille globale du marché en comptabilisant plusieurs fois le prix d'un même produit au cours de ses intégrations successives jusqu'au produit final.

Le marché est en outre affecté par la crise de l'industrie des télécommunications qui a réduit depuis 2000 ses investissements dans des proportions importantes. Aujourd'hui, le marché mondial des composants et solutions optiques semble s'être stabilisé à 169 milliards de dollars.

### 3.1 L'industrie des lasers

Depuis 1995, plus de 62 000 lasers industriels ont été installés dans le monde. Le marché international des lasers industriels a augmenté chaque année de 400 millions de dollars depuis cette date, entraînant un marché des procédés industriels intégrant ce type de lasers estimé à plus de 1,5 milliard de dollars. On observe cependant que la tendance récente semble avoir été un reflux conjoncturel. En effet, les Etats-Unis ont vu chuté l'exportation des systèmes et des équipements incluant des lasers industriels durant l'année 2002 de près de 15 % par rapport à l'année précédente.

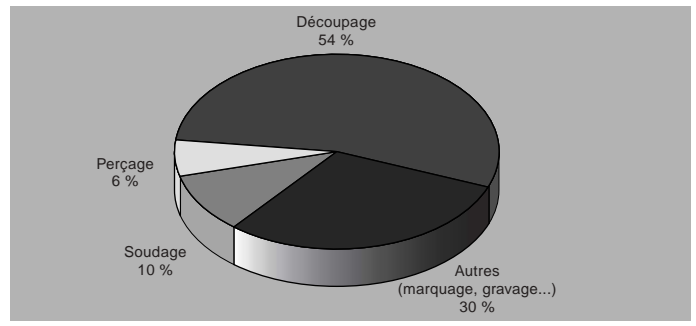
Le marché global des lasers inclut celui des diodes laser dont les gros consommateurs restent l'industrie des télécommunications et le stockage (CD, DVD...). La chute du marché entre 2000 et 2002 est consécutive à la crise de ce secteur. Le marché est reparti à la hausse et a augmenté de 12 % en 2003 pour atteindre 4,9 milliards de dollars malgré une faible diminution du marché des lasers non diodes de 2 %.



Selon les estimations pour l'année 2004, le marché mondial des lasers pourrait encore croître de 9 % pour atteindre 5,4 milliards de dollars, principalement tiré par la reprise du marché des télécommunications et par les premiers effets des diversifications entreprises. Pour 2002, la répartition des baisses des exportations aux Etats-Unis par applications était la suivante : 13% dans l'industrie automobile, 3% dans le domaine aérospatial, 3% dans le domaine médical, 25% dans le domaine électronique, et plus de 50% pour les autres procédés de fabrication.

Les systèmes équipés de lasers CO2 ne semblent pas suivre cette tendance, tandis que l'intégration des lasers Nd:Yag a décliné de 30% du fait de la nette diminution des investissements dans l'industrie électronique.

L'année passée, le découpage par laser était l'application la plus répandue avec 54 % des applications. Diverses autres applications, y compris le marquage et le gravage, représentait 30%, tandis que le soudage et le perçage ne représentaient respectivement 10 et 6 %.

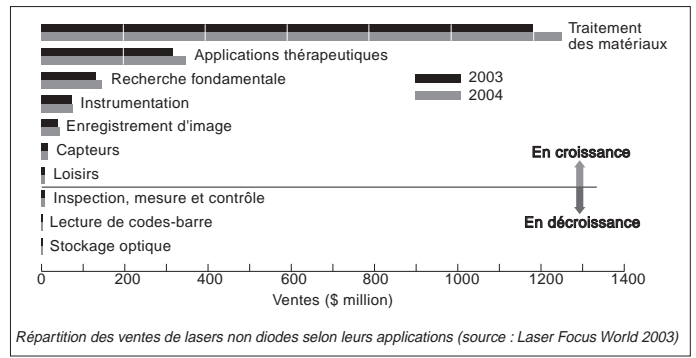


En ce qui concerne le traitement des matériaux dans sa globalité, c'est-à-dire l'usinage des métaux (soudage, découpe, traitement thermique, perçage), la fabrication de composants

électroniques (lithographie, inspection et contrôle de défauts), ou encore le marquage et le prototypage, plus de 30 000 lasers ont été vendus en 2003 dans le monde, soit plus de 1,2 milliard de dollars.

Pour ce qui concerne les marchés de l'inspection, de la mesure et du contrôle, la vente de lasers était de l'ordre de 13 900 unités en 2003, soit 9,5 millions de dollars. Ces lasers incluaient les lasers utilisés dans les systèmes de vision, la détection de particules, la métrologie, le contrôle d'alignement et les contrôles non destructifs comme l'holographie par exemple. Le chiffre d'affaires représenté par les ventes de lasers pour ces applications est en déclin malgré une hausse du nombre d'équipements vendus (+ 11%), traduisant une tendance à la réduction du coût des équipements. Les chiffres sont de 12,4 millions de dollars en 2002 et 9,5 millions de dollars en 2003. Cette tendance peut être également attribuée à l'utilisation croissante des diodes lasers pour ces applications. Notons au passage la très faible part des lasers à diodes dans le traitement des matériaux laquelle représente seulement quelques millions de dollars. Cependant, le marché des lasers à diodes pour les applications industrielles pourrait croître rapidement durant les cinq prochaines années. Les applications industrielles utilisant les lasers à diodes comme sources d'énergie compactes possèdent un fort potentiel et pourraient participer au développement de ce marché qui ne représente encore que 10% des applications.

La véritable révolution pourrait provenir de l'utilisation de lasers pour l'impression offset, notamment pour l'impression des journaux. Les matériaux sensibles aux UV sont moins coûteux que les matériaux thermosensibles traditionnellement utilisés, mais les équipements lasers restent onéreux, et seul un gros volume d'édition pourrait justifier un tel investissement. Aussi les industriels de l'imprimerie ont montré jusqu'à présent un intérêt mitigé et les technologies à base de jet d'encre ont fait parallèlement d'énormes progrès.



### 3.2 Les capteurs optiques

Selon certains experts, le marché des capteurs optoélectroniques destinés aux systèmes de métrologie industriels devrait doubler tous les 5 ans, pour atteindre près de 2 milliards de dollars en 2009. Une analyse révèle que l'industrie des capteurs d'images dans son ensemble a généré des revenus de l'ordre de 2,4 milliards de dollars en 2000 qui devraient atteindre 6,7 milliards en 2005 dus en grande partie aux applications grand public (photo et caméra numériques, portables à appareil photo intégré...). Pour sa part, ce même marché des capteurs d'images, mais au seul niveau européen, devrait être de 398 millions de dollars en 2007.

Le leader mondial en matière de capteurs d'images CCD est sans conteste Sony qui possède près de 30% du marché, Matsushita et Sharp en possédant chacun 15%.

En ce qui concerne les capteurs CMOS, Agilent Technologies vient en première position avec 50% du marché suivi par ST Microelectronics et Hyundai Electronics avec chacun 15% du marché.

Pour qui concerne le marché des capteurs de gaz, seuls les **capteurs optiques fonctionnant dans le domaine infrarouge** semblent afficher une croissance. Malgré la compétition des technologies concurrentes telles que les systèmes électrochimiques, la demande des capteurs optiques infrarouge a connu une véritable explosion. Leur tenue au vieillissement est excellente, ils sont robustes et de faibles dimensions et restent relativement peu coûteux. Cette forte demande tend maintenant à se stabiliser et représente actuellement un chiffre d'affaires de plus de 130 millions de dollars. Les principaux acteurs européens sont Sick et Siemens en Allemagne, ABB en Suède et le suisse Emerson Process Management.

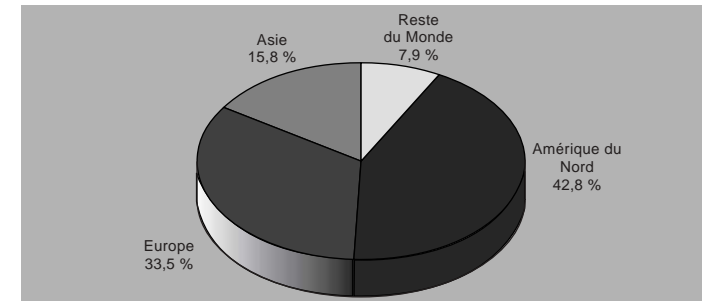
Le **marché mondial des photodétecteurs** représentait en 2002 environ 858 millions de dollars, et la tendance est plutôt à la hausse. Cette même année, 286 millions de photodétecteurs ont été utilisés dans la fabrication de systèmes optiques. Ces composants bon marché sont proposés par plus de 35 compétiteurs qui se partagent le marché. Actuellement, 28,5% du marché sont attribués à l'Amérique du Nord, 19,6% à l'Europe, 19,5% au Japon, 26,9% à l'Asie, et 5,5% au reste du monde.

En Europe, ce marché représente 165,1 millions de dollars avec un taux de croissance de 2,3%. Parmi les consommateurs de photodétecteurs, les technologies de l'information représentent une part importante, y compris les communications et les télé-

communications. On retrouve également le contrôle industriel et les fabricants de produits électroniques. Les principaux fabricants sont Advanced Photonix et Hamamatsu, et les gros utilisateurs de photodétecteurs sont Agilent, Infineon, Agere Systems, PerkinElmer, Sharp, Toshiba, Centro Vision, Lite-On...

### 3.3 Les systèmes de contrôle et d'inspection

Le marché mondial des spectrophotomètres représentait en 2001 un revenu de l'ordre 500 millions de dollars et la tendance est actuellement à la hausse. Cette même année, environ 16.900 spectrophotomètres ont été vendus à un prix moyen de 30.000 dollars, et les constructeurs font des efforts pour proposer leurs produits à des prix inférieurs. Actuellement, une trentaine de fabricants se partagent le marché. Pour l'année 2003, les revenus du marché européen représentaient 182,6 millions de dollars, et la répartition géographique des revenus peut être présentée de la façon suivante : 42,8 % pour l'Amérique du Nord, 33,5% pour l'Europe, 15,8% pour l'Asie et 7,9 % pour le reste du monde. Pour cette même année, la répartition des revenus par secteurs d'activité apparaît de la manière suivante : 33 % pour l'industrie de raffinage, 32,1 % pour l'industrie chimique (hors raffinage), 15,9 % pour l'industrie pharmaceutique, et 19 % pour le reste des applications utilisant des spectrophotomètres.



Répartition géographique du marché des spectrophotomètres en 2003 (Frost & Sullivan 2003)

|                                 | Raffinage | Chimie (hors raffinage) | Pharmaceutique et Biotechnologie | Autres industries |
|---------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Revenus 2003 (million \$ US)    | 179,8     | 174,9                   | 86,6                             | 103,5             |
| % croissance par rapport à 2002 | 3,8       | 3,2                     | 3,8                              | 4,9               |

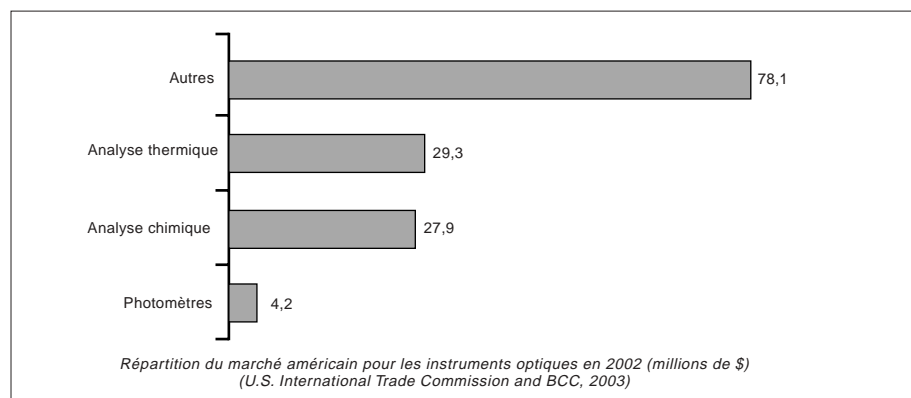
Revenus du marché mondial 2003 des spectrophotomètres selon les secteurs d'activité (Frost & Sullivan 2003)

La demande relativement constante de certains procédés industriels, l'absence d'instruments performants de substitution et le développement de nouvelles applications, sont les principaux facteurs ayant un impact sur le marché des spectrophotomètres. Ces derniers ont su répondre aux différents besoins des industriels dans des domaines variés : la chimie, la pétrochimie, l'industrie pharmaceutique, l'agroalimentaire... De plus, une large demande a été générée par des applications orientées vers l'environnement, comme par exemple l'analyse d'eau ou la détection de contaminants.

De manière globale, les procédés industriels ont de plus en plus recours à l'analyse par spectrophotomètres du fait des réglementations plus strictes et d'un besoin croissant de contrôle qualité.

Les nouvelles applications en spectrométrie optique proviennent sans aucun doute des domaines de l'industrie pharmaceutique, de la biochimie et des biotechnologies, auxquelles vient s'ajouter une tendance à la réduction des prix des différents équipements. Parmi la trentaine de fabricants de spectromètres IR et UV, il existe aussi bien de grandes entreprises multinationales proposant plusieurs technologies et différentes gammes d'équipements, que de petites entreprises régionales offrant des produits bien spécifiques. Parmi les grands acteurs, on retrouve Agilent Technologies, Varian, Shimadzu et Perkin Elmer. A une échelle inférieure, il existe des sociétés spécialisées telles que Hach Company, Thermo Nicolet, ABB Bomem, et d'autres entreprises offrant un ou plusieurs systèmes d'analyse, comme Thermo Spectronic, Jasco, Wedgewood Technology, ou encore JEOL. Parmi les acteurs franciliens, nous pouvons citer 3D Systems, Amplitude Technologies, BV Systèmes, Bertin Technologies, Jobin Yvon Horiba...

Pour le marché américain, voici la répartition, pour l'année 2002, des instruments optiques utilisés dans différents procédés. Les estimations prévoient une augmentation globale de plus de 9% à l'horizon 2007.



### 3.4 Les systèmes de vision

Les chiffres suivants donnent une idée de la distribution géographique du marché des systèmes de vision industrielle, en valeur et en nombre d'unités pour l'année 2001.

| Zone géographique | Chiffre d'affaires (millions \$US) | Unités | Revenus (%) | Unités (%) |
|-------------------|------------------------------------|--------|-------------|------------|
| Amérique du Nord  | 1750                               | 41685  | 30,4        | 60,9       |
| Europe            | 1338                               | 35981  | 23,2        | 26,7       |
| Japon             | 1824                               | 44545  | 31,7        | 33,0       |
| Reste du Monde    | 845                                | 12630  | 14,7        | 9,4        |
| Total             | 5757                               | 134841 | 100         | 100        |

*Répartition géographique du marché des systèmes de vision industrielle (Automated Imaging Association 2001)*

En 2001, le marché mondial a connu une contraction de 6,8% en nombre d'unités et de 9,4 % en revenus. Le marché européen a connu également une sévère contraction, de 11,3 % en nombre d'unités et 26,1 % en revenus. Une partie du déclin important de l'Europe est expliquée par l'effet de change dollars/euro (- 8,5 % en un an). La majorité du déclin s'explique par la crise de l'industrie électronique, grosse consommatrice de systèmes de vision.

Le tableau ci-dessous montre l'importance des trois plus importants marchés de la vision en Europe, à savoir l'Allemagne, la France et le Royaume-Uni.

| Pays        | Merchant Machine Vision (systèmes figés pour une application bien spécifique) |                                | General Purpose Machine Vision (systèmes pouvant être configurés ou adaptés pour différentes applications) |                                |
|-------------|---|--------------------------------|--|--------------------------------|
|             | Unités  | Revenus (10 <sup>6</sup> \$US) | Unités   | Revenus (10 <sup>6</sup> \$US) |
| Allemagne   | 7330<br>37 %  | 304,1<br>36,3 %                | 6696<br>48,3 %   | 67,1<br>31,4 %                 |
| Royaume-Uni | 2358<br>11,9 %  | 175,9<br>21 %                  | 790<br>5,7 %   | 20,3<br>9,5 %                  |
| France      | 2516<br>12,7 %  | 156,7<br>18,7 %                | 1608<br>11,6 %   | 48,5<br>22,7 %                 |

*Marchés de la vision industrielle en Europe (European Vision Sourcebook)*

# 4

## Préconisations d'entrée sur ces marchés

L'entrée sur ces marchés peut se faire à trois niveaux différents :

- Les équipements optiques sont directement intégrés dans la ligne de production au moment de sa conception. Les développeurs doivent alors s'associer à des intégrateurs d'équipements optiques et s'assurer que les solutions proposées répondent bien au problème posé. Certains paramètres peuvent être considérés tels que le critère de performance, l'interface d'utilisation par le développement de logiciel, l'environnement industriel, la standardisation des interfaces...
- Les équipements sont indépendants et livrés clé en main. Il s'agit alors pour les demandeurs d'évaluer les systèmes optiques par rapport aux solutions non optiques. Le critère principal est bien sûr le rapport coût/performance.
- Les composants optiques tels que les capteurs ou les caméras, sont fournis pour être intégrés dans des équipements. Il s'agit alors de convaincre l'intégrateur de solutions d'utiliser l'optique dans le développement de ses produits. Il est également nécessaire de dialoguer avec l'intégrateur pour optimiser et ajuster l'appareillage développé pour qu'il colle au mieux à la demande des industriels, que ce soit en terme de fonctions ou en terme de maintenance.

## PRINCIPAUX ACTEURS FRANCIENS ET INTERNATIONAUX

# 5

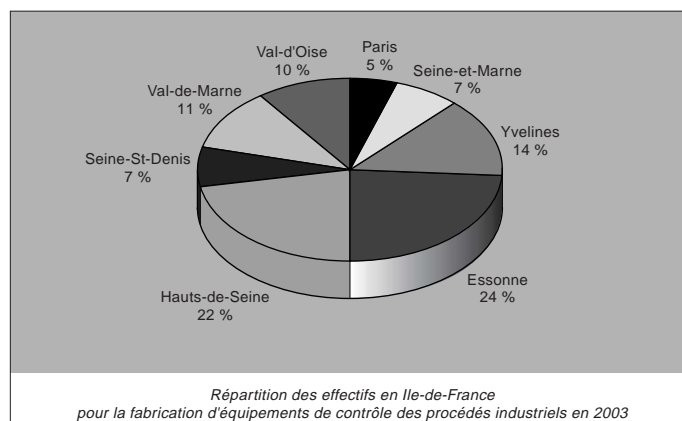
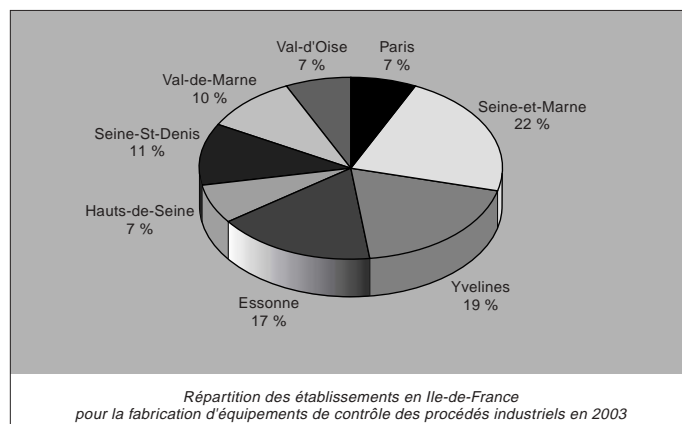
## 5.1 Les principaux acteurs internationaux hors France

| Acteurs internationaux |           | CA 2002<br>(millions euros) | URL  |
|------------------------|-----------|-----------------------------|--|
| Siemens                | Allemagne | 84 000                      | <a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a>                   |
| NEC                    | Japon     | 35 400                      | <a href="http://www.nec.com">www.nec.com</a>                           |
| Toshiba                | Japon     | 35 200                      | <a href="http://www.toshiba.com">www.toshiba.com</a>                   |
| Canon                  | Japon     | 19 800                      | <a href="http://www.canon.com">www.canon.com</a>                       |
| Sharp                  | Japon     | 13 600                      | <a href="http://www.sharp-world.com">www.sharp-world.com</a>           |
| Lite-On                | Taiwan    | 9 200                       | <a href="http://www.liteon.com">www.liteon.com</a>                     |
| Infineon               | Allemagne | 5 500                       | <a href="http://www.infineon.com">www.infineon.com</a>                 |
| ST Microelectronics    | Pays-Bas  | 5 100                       | <a href="http://www.st.com">www.st.com</a>                             |
| Agilent Technologies   | USA       | 4 800                       | <a href="http://www.agilent.com">www.agilent.com</a>                   |
| Olympus                | Japon     | 3 800                       | <a href="http://www.olympus-global.com">www.olympus-global.com</a>     |
| Nikon                  | Japon     | 3 500                       | <a href="http://www.nikon.com">www.nikon.com</a>                       |
| Agere Systems          | USA       | 2 200                       | <a href="http://www.agere.com">www.agere.com</a>                       |
| Thermo Spectronics     | USA       | 1 800                       | <a href="http://www.thermo.com">www.thermo.com</a>                     |
| Shimadzu               | Japon     | 1 400                       | <a href="http://www.shimadzu.com">www.shimadzu.com</a>                 |
| Trumpf                 | Allemagne | 1 200                       | <a href="http://www.trumpf.com">www.trumpf.com</a>                     |
| JEOL                   | Japon     | 500,9                       | <a href="http://www.jeol.co.jp">www.jeol.co.jp</a>                     |
| Hamamatsu              | Japon     | 493                         | <a href="http://www.hamamatsu.com">www.hamamatsu.com</a>               |
| Sick                   | Allemagne | 420                         | <a href="http://www.sick.de">www.sick.de</a>                           |
| Rofin Sinar            | Allemagne | 179,2                       | <a href="http://www.rofin.com">www.rofin.com</a>                       |
| Lambda Physik          | Allemagne | 98,5                        | <a href="http://www.lambdaphysik.com">www.lambdaphysik.com</a>         |
| Osi Systems            | USA       | 59,3                        | <a href="http://www.osi-systems.com">www.osi-systems.com</a>           |
| Perkinelmer            | USA       | 56,5                        | <a href="http://www.perkinelmer.com">www.perkinelmer.com</a>           |
| Advanced Photonix      | USA       | 5,6                         | <a href="http://www.advancedphotonix.com">www.advancedphotonix.com</a> |

## 5.2 Les principaux acteurs franciliens

L'Ile-de-France offre une importante concentration de sièges sociaux, de centres de R&D, de laboratoires de recherche et de sites de production qui lui assurent un rayonnement économique et des capacités de transfert de technologies internationaux. Avec aujourd'hui plus de 5 milliards d'euros de chiffre d'affaires, plus de 16 000 emplois, dont 7 000 ingénieurs-techniciens et 1 800 chercheurs, plus de 500 entreprises, dont 5 leaders mondiaux, plus de 100 laboratoires de recherche, plus de 400 brevets par an, et plus de 500 étudiants, l'Ile-de-France représente la moitié du secteur optique français, soit un potentiel exceptionnel.

Fin 2003, la répartition en Ile-de-France des établissements et des effectifs industriels pour l'activité de fabrication d'équipements de contrôle des procédés industriels, était la suivante, soit au total 263 établissements avec un effectif total de 3928 personnes :



| Acteurs franciliens         | CA 2002 (millions euros) | URL  |
|-----------------------------|--------------------------|--|
| 3D Systems France           | 118                      | <a href="http://www.3dsystems.com">www.3dsystems.com</a>                           |
| Agilent Technologies France | 140                      | <a href="http://www.agilent.fr">www.agilent.fr</a>                                 |
| Amada Europe                | 66                       | <a href="http://www.amada.fr">www.amada.fr</a>                                     |
| Amplitude Technologies      | 1                        | <a href="http://www.amplitude-technologies.com">www.amplitude-technologies.com</a> |
| Aries                       | 4                        | <a href="http://www.aries-videoptics.com">www.aries-videoptics.com</a>             |
| Axom                        | 0,6                      | <a href="http://www.axom.fr">www.axom.fr</a>                                       |
| Balogh                      | 8,7                      | <a href="http://www.balogh.com">www.balogh.com</a>                                 |
| Bertin Technologies         | 23,7                     | <a href="http://www.bertin.fr">www.bertin.fr</a>                                   |
| BFI Optilas                 | 38,7                     | <a href="http://www.bfiptilas.com">www.bfiptilas.com</a>                           |
| Bullier Automation          | 0,5                      | <a href="http://www.bullier-international.fr">www.bullier-international.fr</a>     |
| BV Systèmes                 | 2,3                      | <a href="http://www.bv-systemes.fr">www.bv-systemes.fr</a>                         |
| Bystronic France            | 16                       | <a href="http://www.bystronic.net">www.bystronic.net</a>                           |
| CE Johansson                | 3,9                      | <a href="http://www.johansson.fr">www.johansson.fr</a>                             |
| Cedip                       | 7,5                      | <a href="http://www.cedip-infrared.com">www.cedip-infrared.com</a>                 |
| Coherent                    | 8                        | <a href="http://www.coherent.fr">www.coherent.fr</a>                               |
| Datalogic France            | 7,9                      | <a href="http://www.datalogic.com">www.datalogic.com</a>                           |
| Flir Systems France         | 7,7                      | <a href="http://www.flir.fr">www.flir.fr</a>                                       |
| GSI Lumonics France         | 3,6                      | <a href="http://www.gsilumonics.com">www.gsilumonics.com</a>                       |
| Hamamatsu                   | 29,6                     | <a href="http://www.hamamatsu.com">www.hamamatsu.com</a>                           |
| Imagine Optic               | 1,8                      | <a href="http://www.imagine-optic.com">www.imagine-optic.com</a>                   |
| JGB                         | 0,7                      | <a href="http://www.jgb.fr">www.jgb.fr</a>   |
| Jobin Yvon Horiba           | 50                       | <a href="http://www.jobinyvon.fr">www.jobinyvon.fr</a>                             |
| Lheritier SA                | 3,9                      | <a href="http://www.lheritier-sa.com">www.lheritier-sa.com</a>                     |
| Lord Ingénierie             | 1,9                      | <a href="http://www.lord-ing.com">www.lord-ing.com</a>                             |
| Meiri                       | 0,8                      | <a href="http://www.meiri.com">www.meiri.com</a>                                   |
| Melles Griot Industrie      | 7,2                      | <a href="http://www.mellesgriot.com">www.mellesgriot.com</a>                       |
| Mensi                       | 2,1                      | <a href="http://www.mensi.com">www.mensi.com</a>                                   |
| Microvision Instruments     | 1,8                      | <a href="http://www.microvision.fr">www.microvision.fr</a>                         |
| Nettest Photonics           | 0,4                      | <a href="http://www.nettest.com">www.nettest.com</a>                               |
| Perkinelmer                 | 39,4                     | <a href="http://www.perkinelmer.com">www.perkinelmer.com</a>                       |
| Jouvel                      | 8,3                      | <a href="http://www.jouvel.fr">www.jouvel.fr</a>                                   |
| Marquage                    | 0,4                      | <a href="http://www.marquage.fr">www.marquage.fr</a>                               |
| Solems                      | 0,9                      | <a href="http://www.solems.com">www.solems.com</a>                                 |
| Sopra                       | 11,3                     | <a href="http://www.sopra-sa.com">www.sopra-sa.com</a>                             |
| Thales                      | 5,7                      | <a href="http://www.thalesgroup.com">www.thalesgroup.com</a>                       |
| TR Electronic France        | 2,4                      | <a href="http://www.tr-electronic.fr">www.tr-electronic.fr</a>                     |
| Vannier Photolec            | 0,6                      | <a href="http://www.vannier-photolec.fr">www.vannier-photolec.fr</a>               |
| Viscom France               | 1,2                      | <a href="http://www.viscom.de">www.viscom.de</a>                                   |
| X-Rite                      | 5,2                      | <a href="http://www.xrite.com">www.xrite.com</a>                                   |

## ABRÉVIATIONS

- CA : Chiffre d'Affaires
- CCD : Charge Coupled Device
- CD : Compact Disc
- CMOS : Complementary Metal-Oxide Semiconductor
- DVD : Digital Video Disc
- IR : Infrarouge
- LED : Light Emitting Diode
- MEMS : Micro Electro Mechanical Systems
- SOI : Silicon On Insulator
- URL : Universal Resource Locator (adresse web)
- UV : Ultraviolet

## ADRESSES UTILES

Anvar – [www.anvar.fr](http://www.anvar.fr)  
CRITT-CCST – [www.critt-ccst.fr](http://www.critt-ccst.fr)  
Megalèse - [www.idf-tech.net/megalesestatut.htm](http://www.idf-tech.net/megalesestatut.htm)  
Digitip – <http://alize.finances.gouv.fr/dgitip/index-d.htm>  
DRRT – [www.drirt-ile-defrance.fr](http://www.drirt-ile-defrance.fr)  
Optics Valley – [www.opticsvalley.org](http://www.opticsvalley.org)

## PRINCIPALES SOURCES CONSULTÉES

### Bases de données professionnelles

CEABA, CERAB, Compendex, EMA, Jicst-eplus, Matbus, Metadex, Pascal, Scisearch, Mobility, LexisNexis, Profound

### Internet (liste non exhaustive)

- Société française d'Optique : [www.France-optique.org](http://www.France-optique.org)
- European Optical Society : [www.europeanopticalsociety.org](http://www.europeanopticalsociety.org)
- Commission Internationale d'Optique : [www.ico-optics.org](http://www.ico-optics.org)
- Optical Society of America : [www.osa.org](http://www.osa.org)
- Groupement des Industries Françaises de l'Optique : [www.gifo.org](http://www.gifo.org)
- PromOptica : [www.promoptica.be](http://www.promoptica.be)
- CEA : [www.cea.fr](http://www.cea.fr)
- IREPA Laser : [www.irepa-laser.com](http://www.irepa-laser.com)
- CRIF : [www.crif.be](http://www.crif.be)
- The International Society of Optical Engineering : [www.spie.org](http://www.spie.org)
- Ministère de l'Industrie : [www.industrie.gouv.fr](http://www.industrie.gouv.fr)
- Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie : [www.minefi.gouv.fr](http://www.minefi.gouv.fr)
- Ministère délégué à la Recherche et aux Nouvelles Technologies : [www.recherche.gouv.fr](http://www.recherche.gouv.fr)
- Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris : [www.ccip.fr](http://www.ccip.fr)
- Optoelectronics Industry Development Association : [www.oida.org](http://www.oida.org)
- Optoelectronic Industry and Technology Development Association : [www.oitda.or.jp](http://www.oitda.or.jp)
- Optics Valley : [www.opticsvalley.org](http://www.opticsvalley.org)
- Adit : [www.adit.fr](http://www.adit.fr)
- Optics.org : [www.optics.org](http://www.optics.org)
- International Technology Roadmap for Semiconductors : [www.public.itrs.net](http://www.public.itrs.net)
- Laser Focus World : <http://lfw.pennnet.com>
- ElectroniCast : [www.electronicast.com](http://www.electronicast.com)

### Revues et magazines

OE Magazine, Europhotonics, Nasa TechBriefs, Opto & Laser Europe, Photonics, Sensors.

### Etudes et autres documents

- Harnessing Light - Optical Science and Engineering for the 21st Century, National Academy press, 1998
- Worldwide Optoelectronics Markets 2002, OIDA report, may 2003
- Annuaire Optics Valley des acteurs de la filière optique et optronique en Ile-de-France, édition 2004
- Frost & Sullivan
- Business Communications Co
- Global Industry Analysts Inc
- Review and forecast of the laser markets, Laser Focus World 2003
- 2003 Edition of the International Technology Roadmap for Semiconductors

Copyright © 2004

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur, de ses ayants droits ou de ses ayants cause, est illicite selon de Code de la propriété intellectuelle (Art. L 122-4) et constitue une contre façon réprimée par le Code Pénal. Seules sont autorisées (Art. L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Photocomposé, traité et imprimé par Jouve – 11, boulevard de Sébastopol - 75001 PARIS

Dépôt légal avril 2004  
ISSN en cours