

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**GUIDE D'ACQUISITION DE MICROSCOPES OPÉRATOIRES EN ORL,
CHIRURGIE PLASTIQUE ET CHIRURGIE RECONSTRUCTIVE**

Par

Nadège Léïda GAGNON, Ing. jr

Candidate à la maîtrise en génie biomédical, option génie clinique

Institut de génie biomédical de la Faculté de Médecine de l'Université de Montréal

Rapport de maîtrise présenté en vue de l'obtention du grade M. Sc. A. en génie biomédical
option Génie clinique

Avril 2016

© Nadège Léïda Gagnon, 2016

Cette page a intentionnellement été laissée vide.

1 Résumé

Le présent rapport vise à servir de guide d'acquisition de microscopes opératoires destinés aux cliniques d'ORL, aux services de chirurgie d'ORL et de plastie, aux unités des grands brûlés, et aux laboratoires d'enseignement/formation en microchirurgie.

En effet, dans le cadre de mon projet de maîtrise en génie biomédical (option génie clinique), je me suis vue confier le mandat de l'acquisition de microscopes opératoires pour divers services et départements du nouveau Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (NCHUM) et Centre de Recherche du CHUM (CRCHUM).

Premièrement, le présent guide d'acquisition fournit à l'ingénieur/physicien biomédical ou au conseiller en technologies biomédicales les outils nécessaires pour amorcer et piloter de façon optimale les dossiers d'acquisition de microscopes opératoires destinés aux cliniques d'ORL, aux services de chirurgie ORL, de chirurgie plastique, de chirurgie reconstructive et aux laboratoires d'enseignement/formation en microchirurgie.

Deuxièmement, au-delà des services et départements de soins directement visés par ce rapport, le présent guide peut aisément s'étendre à tous les autres services/départements faisant usage de microscopes opératoires à savoir les services d'urologie, de gynécologie, d'ophtalmologie et de neurochirurgie.

Finalement, la méthodologie employée pour l'élaboration de ce guide peut inspirer la réalisation de guides d'acquisition d'autres technologies biomédicales rendant compte du contexte d'utilisation, des services/départements concernés, de l'étude de marché et des tendances et perspectives technologiques tout en fournissant des recommandations spécifiques pertinentes à l'acquisition des équipements biomédicaux visés. Toutefois, une mise à jour régulière de ces guides d'acquisition serait requise afin de refléter le marché des technologies biomédicales sans cesse en évolution.

Mots clé : Guide d'acquisition; Microscope opératoire; Clinique ORL; Chirurgie ORL; Chirurgie plastique; Laboratoire d'enseignement/formation en microchirurgie.

2 Table des matières

1	Résumé.....	iii
2	Table des matières.....	iv
3	Liste des figures	vii
4	Liste des tableaux.....	ix
5	Liste des abréviations, sigles et acronymes	x
6	Remerciements.....	xi
7	Dédicace.....	xii
8	Introduction.....	xiii
9	Mise en contexte	14
9.1	Les microscopes.....	14
9.2	Les microscopes en milieu hospitalier.....	16
9.3	Les microscopes opératoires.....	17
10	Présentation du CHUM.....	21
10.1	Le CHUM en bref.....	21
10.2	Le service de Physiques et Génie Biomédical	23
10.3	Les services hospitaliers requérant des microscopes opératoires	23
10.3.1	La formation de microchirurgie en laboratoire de simulation	24
10.3.2	Les examens et chirurgies mineures en clinique d’ORL	24
10.3.3	La chirurgie ORL.....	25
10.3.4	La chirurgie plastique	26
10.3.5	La chirurgie reconstructive pratiquée à l’unité des grands brûlés	26
11	Étude de marché.....	28
11.1	Veille commerciale.....	28
11.2	Veille règlementaire.....	28
11.3	Veille technologique : Description du microscope opératoire.....	29
11.3.1	La partie optique	30
11.3.1.1	Le condenseur optique.....	30
11.3.1.2	L’objectif	31
11.3.1.2.1	La distance focale et la distance de travail.....	31
11.3.1.2.2	L’ouverture numérique et le pouvoir séparateur.....	33
11.3.1.2.3	La correction des aberrations optiques.....	34
11.3.1.3	L’oculaire.....	35

11.3.1.4	La mise au point du microscope opératoire.....	38
11.3.1.4.1	Le grossissement du microscope.....	38
11.3.1.4.2	Le zoom et le focus	40
11.3.2	La partie électrique	43
11.3.2.1	Source lumineuse aux halogènes.....	45
11.3.2.2	Source lumineuse à décharge gazeuse de Xénon	45
11.3.2.3	Source lumineuse à LED.....	46
11.3.3	La partie mécanique.....	46
11.3.4	La partie accessoire.....	49
11.3.4.1	Les poignées	49
11.3.4.2	Le dispositif de co-observation.....	51
11.3.4.3	Les filtres de lumière	53
11.3.4.4	La housse de protection	54
11.3.4.5	Accessoires de système photo/vidéo	55
11.3.4.5.1	Le moniteur de visualisation.....	55
11.3.4.5.2	La caméra photo/vidéo.....	57
11.3.4.5.3	L'enregistreur photo/vidéo numérique.....	59
11.3.4.6	Accessoires de support des ateliers de formation en microchirurgie	59
11.3.4.7	Dispositifs de contrôle du microscope opératoire	60
11.3.4.7.1	Les manettes de commande.....	60
11.3.4.7.2	La télécommande	61
11.3.4.7.3	Le pédalier de commande	62
12	Recommandations.....	63
12.1	Acquisition de microscopes opératoires	63
12.1.1	Déterminer le type de statif optimal.....	63
12.1.2	Planifier l'aménagement du local prévu à cet effet	64
12.1.3	Déterminer la combinaison optimale des composantes optiques	65
12.1.4	Identifier le type de source lumineuse optimal [37]	65
12.1.5	Identifier les dispositifs d'observation et de co-observation adéquats	66
12.1.6	Choisir les dispositifs de commande du microscope opératoire.....	66
12.1.7	Choisir les accessoires requis pour l'utilisation envisagée.....	67
12.2	Maintenance des microscopes opératoires.....	67
13	Tendances et perspectives technologiques.....	69
13.1	La révolution de la technologie médicale 3D	69

13.2	Le repoussement de limites de l'optique	69
13.3	L'amélioration de l'ergonomie pour plus de performances.....	71
14	Conclusion	72
15	Annexes.....	73
15.1	Annexe A	74
15.2	Annexe B	76
15.3	Annexe C	77
15.4	Annexe D	78
15.5	Annexe E.....	79
15.6	Annexe F.....	80
15.7	Annexe G	82
16	Références bibliographiques.....	85

3 Liste des figures

Figure 1 : Microscope optique pour la microélectronique et les semi-conducteurs [2].....	15
Figure 2 : Microscope optique pour l'analyse des matériaux [3]	15
Figure 3 : Microscope optique [3] (à gauche); Microscope électronique [4] (à droite)	16
Figure 4 : Champs d'utilisation des microscopes optique et électronique [6].....	16
Figure 5 : Microscope opératoire de chirurgie sur statif mobile [6].....	18
Figure 6 : Microscope opératoire de consultation sur statif mobile [7].....	19
Figure 7 : CHUM actuel : Hôtel-Dieu (gauche); Notre Dame (droite); St-Luc (en bas).....	21
Figure 8 : Maquette du nouveau CHUM au complet [9].....	22
Figure 9 : La sphère ORL [11].....	25
Figure 10 : Les différentes parties d'un microscope opératoire [13].....	29
Figure 11 : Chemin optique simplifié d'un microscope optique [19].....	31
Figure 12 : Distance focale dans un système optique simplifié [22]	32
Figure 13 : Objectifs de microscopes opératoires de focale 200mm et 300mm [23]	32
Figure 14 : Illustration de l'ouverture numérique d'objectif [24].....	33
Figure 15 : Pouvoir séparateur d'un système optique [24].....	34
Figure 16 : Illustration de l'aberration chromatique sur une lentille [24].....	35
Figure 17 : Illustration de l'aberration sphérique sur une lentille [24].....	35
Figure 18 : Illustration du défaut de courbure de champ sur une lentille [24].....	35
Figure 19 : Principe optique de l'oculaire de microscope [28].....	36
Figure 20 : Illustration du grossissement d'un oculaire [30]	37
Figure 21 : Configurations de tubes binoculaires de microscopes opératoires [29]	37
Figure 22 : Formation de l'image dans un microscope optique (sans condenseur) [18]	39
Figure 23 : Formation de l'image dans un microscope optique (avec condenseur) [30].....	40
Figure 24 : Schéma illustrant les notions de zoom et focus [31].....	40
Figure 25 : Fonctions zoom et focus sur manettes de commandes de MO [33].....	41
Figure 26 : Trajet de la fibre optique du module d'illumination à la tête du microscope [20].	43
Figure 27 : Mise en évidence de la confluence des champs lumineux sur un MO [26]	44
Figure 28 : Lampe Xénon [25] Figure 29 : Ampoule halogène focalisée [24]	45
Figure 30 : Statifs de microscopes opératoires [21].....	47
Figure 31 : Poignées de microscopes opératoires [21]	50
Figure 32 : Surpoignées stérilisables pour microscopes opératoires [36].....	50
Figure 33 : Dispositifs d'observation (gauche); de co-observation latéral (droite) [35]	51
Figure 34 : Dispositifs d'observation (gauche); de co-observation face à face (droite) [37] ...	51
Figure 35 : Illustration du montage d'un dispositif de co-observation pour MO [6]	52
Figure 36 : Filtres de lumière colorés [32].....	53
Figure 37 : Spectre de la lumière visible [33].....	53
Figure 38 : Housse de protection de microscope opératoire [35]	54
Figure 39 : Moniteur de visualisation pour microscope opératoire [31]	56
Figure 40 : Système de caméra numérique pour microscope opératoire [26]	58
Figure 41 : Caméra monochrome pour microscope opératoire [34].....	58
Figure 42 : Système d'enregistrement numérique pour microscope opératoire [28].....	59
Figure 43 : Encodeur HDMI pour la capture vidéo de la performance des étudiants [37].....	60
Figure 44 : Manette de commande de microscope opératoire [37]	61

Figure 45 : Télécommande pour caméra et enregistreur de microscope opératoire [37]	61
Figure 46 : Pédalier de commande de microscope opératoire [6]	62
Figure 47 : Illustration du principe de la technologie « Fusion Optics ».....	70
Figure 48 : Diagramme du processus d'acquisition de microscopes opératoires	79

4 Liste des tableaux

Tableau 1 : Domaines d'utilisation des microscopes.....	14
Tableau 2 : Principales distinctions entre microscope optique et microscope électronique [5]	17
Tableau 3 : Classification des microscopes opératoires selon ECRI.....	19
Tableau 4 : Table de grossissement d'un microscope opératoire spécifique [34]	42
Tableau 5 : Départements et services hospitaliers utilisant des microscopes	75
Tableau 6 : Variantes des microscopes du milieu hospitalier et de la recherche biomédicale .	76
Tableau 7 : Portrait du marché québécois des microscopes opératoires.....	77
Tableau 8 : Avantages et inconvénients des statifs de plancher, mural, et plafonnier	78
Tableau 9 : Description des opérations d'entretien ou de réparation des MO [46]	81
Tableau 10 : Caractéristiques communes et distinctives des microscopes opératoires	84

5 Liste des abréviations, sigles et acronymes

ECRI: Emergency Care Research Institute

CRCHUM: Centre de Recherche affilié au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal

DA : Demande d'acquisition

DM : Dispositif Médical

HD : Haute définition

LBC : Libellé de bon de commande

LEIM : Licence d'établissement pour les instruments médicaux

MO : Microscope opératoire

NCHUM: Nouveau Centre Hospitalier de l'Université de Montréal

ORL: Oto-Rhino-Laryngologie

PGBM: Physiques et Génie Biomédical

SEAO: Système Électronique d'Appels d'Offres

UMDNS: Universal Medical Device Nomenclature System

6 Remerciements

Avant tout développement, il me paraît opportun de commencer le présent rapport de projet par des remerciements.

Je remercie en premier Mr Clément Mainville, adjoint au directeur du projet de la construction du nouveau CHUM, ainsi que Mr Gilles Beaudoin, coordonnateur administratif du service de physique et génie biomédical du CHUM, pour m'avoir accueillie au sein de l'équipe de génie biomédical du CHUM. Je les remercie particulièrement pour leur disponibilité.

Je remercie ensuite la Direction générale du CHUM pour avoir autorisé et rendu effectif la réalisation de mon projet de maîtrise au sein du CHUM.

Mes remerciements s'adressent également au chef du service des approvisionnements du projet de construction du nouveau CHUM et à tout son personnel, avec lesquels j'ai eu à travailler en étroite collaboration pour mener à bien les dossiers d'acquisition d'équipements biomédicaux m'ayant été confiée.

Je remercie aussi tous les membres de l'équipe de génie biomédical ainsi que tout le personnel du CHUM, avec lesquels j'ai eu à interagir au cours de mon projet. Leur enthousiasme et motivation a été contagieuse.

Je ne saurai oublier ma famille et mes amis, qui m'ont toujours apporté leur soutien indéfectible. Je leur en suis très reconnaissante.

Un grand et sincère merci à tout ce beau monde!

7 Dédicace

À mon père Yaovi Gagnon
et à ma mère Pierrette Haïkou,
je vous témoigne ma plus profonde reconnaissance
pour votre soutien et vos encouragements.

8 Introduction

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de mon projet de maîtrise, pour l'obtention du diplôme de maîtrise en génie biomédical option génie clinique. Ledit projet intitulé « Guide d'acquisition de microscopes opératoires en ORL, chirurgie plastique et chirurgie reconstructive » s'est effectué au sein du service de Génie biomédical du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) où je venais de compléter mon stage de maîtrise.

Le mandat m'ayant été confié a consisté en l'acquisition de microscopes opératoires de consultation pour la clinique d'ORL, de microscopes opératoires de formation/enseignement pour le laboratoire de simulation de microchirurgie du centre de recherche, et de microscopes opératoires de chirurgie pour la chirurgie ORL, la chirurgie plastique et la chirurgie reconstructive.

Ce rapport est un guide d'acquisition de microscopes opératoires principalement destiné aux ingénieurs/physiciens biomédicaux et aux conseillers en technologies biomédicales dans la réalisation de leurs mandats d'acquisition d'équipements biomédicaux en milieu hospitalier.

En premier lieu, l'exposition du contexte entourant l'utilisation des microscopes tous secteurs confondus, celle des microscopes dédiés au milieu hospitalier puis celle des microscopes opératoires introduit progressivement le lecteur au sujet. En deuxième lieu, la brève présentation du CHUM, celle du service de Physiques et Génie biomédical, et la description des services hospitaliers que sont la clinique d'ORL, la chirurgie ORL, la chirurgie plastique, la chirurgie reconstructive ainsi que le laboratoire de simulation de la microchirurgie du centre de recherche informent le lecteur sur la pertinence d'utilisation des microscopes opératoires. En troisième lieu, les cadres commercial et réglementaire sont posés, puis, les aspects techniques de la technologie des microscopes opératoires et des accessoires associés sont détaillés à travers l'étude de marché. En quatrième lieu, les grandes tendances et perspectives des technologies de microscopes opératoires sont annoncées. Et, en dernier lieu, des recommandations sont formulées à l'endroit de l'expert qui se voit confier un mandat d'acquisition similaire.

9 Mise en contexte

9.1 Les microscopes

Le microscope se définit comme « un instrument destiné à observer de petits objets dont un système de lentilles (optiques, électroniques ou acoustiques) fournit une image très agrandie » [1]. De ce fait, les microscopes s'utilisent dans des domaines d'activités très variés de la vie courante tels l'industrie et la production, la recherche en sciences physiques, le médico-légal et le médico-hospitalier.

Le tableau ci-dessous résume les principaux secteurs d'application dont les activités nécessitent l'utilisation de microscopes.

Domaines/Sous-domaines		Secteurs d'application
Industrie et Production		Microélectronique et Semi-conducteurs Automobiles et Transports Métallurgie Énergie, Exploitation minière et Environnement Produits pharmaceutiques et chimiques Métaux et Ingénierie mécanique
Recherche en sciences physiques		Sciences des matériaux, physique et ingénierie Géologie, Science de l'environnement, Paléontologie et Sciences de la Terre Musées et Conservation de l'Art
Santé	Médico-Légal	Sciences du Vivant Sciences de la Terre Sciences des Matériaux Sciences Judiciaires
Santé	Médico-hospitalier	Cliniques externes Laboratoires cliniques Chirurgie Laboratoires de recherche

Tableau 1 : Domaines d'utilisation des microscopes



Figure 1 : Microscope optique pour la microélectronique et les semi-conducteurs [2]

En réalité, la production microélectronique et de semi-conducteurs requiert l'utilisation de microscopes spécialisés non seulement pour les applications de recherche et développement, mais également pour le contrôle qualité et l'analyse des défaillances.



Figure 2 : Microscope optique pour l'analyse des matériaux [3]

Les sciences des matériaux, elles, exigent l'utilisation de systèmes de microscopie de haute qualité pour inspecter, analyser, et documenter une grande variété d'échantillons. Quant aux experts en médico-légal, ils se servent de systèmes de microscopie fiables et puissants pour quantifier, analyser et documenter les résultats lors d'examens de preuves.

9.2 Les microscopes en milieu hospitalier

Le secteur médico-hospitalier représente une importante part du marché des microscopes. En effet, plusieurs variantes de microscopes sont utilisées dans un grand nombre de services hospitaliers ainsi qu'en recherche biomédicale. Les deux principaux types de microscopes en milieu hospitalier sont : le microscope optique et le microscope électronique.



Figure 3 : Microscope optique [3] (à gauche); Microscope électronique [4] (à droite)

Qu'il soit de type optique ou électronique, le microscope utilise le principe de lentilles et de faisceaux. Et, comme indiqué à la figure ci-dessous, le microscope optique permet d'observer des objets aussi petits que les cellules animales et les bactéries, alors que le microscope électronique rend possible l'observation d'objets de taille atomique.

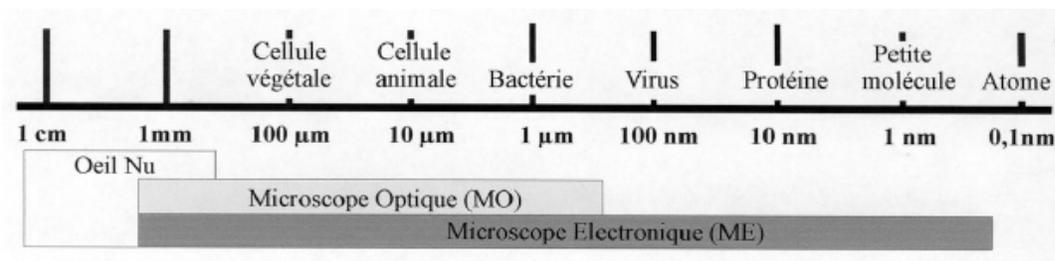


Figure 4 : Champs d'utilisation des microscopes optique et électronique [6]

Les principales variantes de microscope optique et de microscope électronique ainsi que leurs particularités sont listées dans le tableau en **Annexe B**.

Par ailleurs, les trois (3) principales caractéristiques conférant leurs champs d'utilisation distincts au microscope optique et au microscope électronique sont énumérées dans le tableau suivant :

	OPTIQUE	ÉLECTRONIQUE
Faisceau	photon	électron
Lentille	Optique (en verre)	électromagnétique
Résolution	0.5µm	0.2nm

Tableau 2 : Principales distinctions entre microscope optique et microscope électronique [5]

Ainsi, de structure sophistiquée, de fabrication dispendieuse et d'utilisation complexe, le microscope électronique s'utilise essentiellement en laboratoire de recherche. Quant au microscope optique de structure moins sophistiquée, son utilisation est largement répandue dans les services hospitaliers. Il est important de préciser que l'utilisation des microscopes optiques est optimale du point de vue de la résolution requise pour les applications courantes en milieu hospitalier.

9.3 Les microscopes opératoires

De façon générale, le terme « microscope opératoire » désigne le microscope utilisé dans le cadre des microchirurgies. Et de façon réciproque, sont qualifiées de microchirurgies les chirurgies effectuées sous microscope avec des outils miniaturisés afin de rendre visible au chirurgien les microstructures de l'organisme du patient. En réalité, le microscope opératoire trouve sa pertinence et son utilité dans les limites des systèmes optiques simples tels les loupes, qui eux, ne permettent pas la visualisation des structures aux forts grossissements requis dans le champ opératoire, en plus de contraindre le chirurgien à maintenir sa tête à une distance fixe du site opératoire.



Figure 5 : Microscope opératoire de chirurgie sur statif mobile [6]

À vrai dire, les microscopes opératoires sont conçus selon un design très similaire à celui des microscopes optiques standards de laboratoire. Cependant, le microscope opératoire (MO) se distingue du microscope optique standard de laboratoire par les éléments suivants : le corps du MO est généralement soutenu par un bras articulé relié à un support structural (bride de fixation murale ou plafonnière ou statif de plancher); la distance de travail du MO est généralement plus grande et par conséquent son fonctionnement nécessite une gamme d'objectifs différente; la profondeur de champ du MO est relativement plus élevée; et le MO requiert une illumination spéciale.

Par ailleurs, mis à part le fait que les microscopes opératoires sont conçus pour répondre aux besoins spécifiques des spécialités chirurgicales, on en distingue deux (2) sous-groupes : les microscopes opératoires de consultation et d'enseignement/formation en microchirurgie d'une part, et les microscopes opératoires de chirurgie d'autre part. En effet, les microscopes opératoires de consultation sont destinés à une utilisation en clinique d'ORL dans les salles d'examen et de traitement pour agrandir les microstructures dont la visualisation adéquate est essentielle à l'établissement de diagnostics. Outre cela, les microscopes opératoires de consultation sont également utilisés dans les procédures de chirurgie mineures réalisées en salles d'intervention mineure à la clinique d'ORL.



Figure 6 : Microscope opératoire de consultation sur statif mobile [7]

Quant aux microscopes opératoires utilisés pour l'enseignement/formation en microchirurgie dans les laboratoires de simulation de microchirurgie en centre de recherche, ou dans les salles de dissection en clinique ORL, il s'agit en réalité de microscopes opératoires de consultation couplés à des accessoires de support pour ateliers de formation.

Le tableau ci-après décrit la classification internationale des microscopes opératoires suivant les diverses spécialités chirurgicales. Cette classification permet de standardiser de façon universelle les différentes classes de microscopes opératoires utilisés en milieu hospitalier.

Code UMDNS	Classification ECRI des microscopes opératoires
12537	Microscopes, Light, Examination, Ophtalmology,
17719	Microscopes, Light, Examination, Dermatology
18292	Microscopes, Light, Examination
18293	Microscopes, Light, Examination, Otorhinolaryngology
24871	Microscopes, Light, Examination/Operating, Dentistry
33078	Microscopes, Light, Examination, Ophtalmology, Specular
12538	Microscopes, Light, Operating, Otorhinolaryngology
12539	Microscopes, Light, Operating
18288	Microscopes, Light, Operating, Ophtalmology
18289	Microscopes, Light, Operating, Neurosurgery
18290	Microscopes, Light, Operating, Gynecology
18291	Microscopes, Light, Operating, Hand/Plastic Surgery
23670	Microscopes, Light, Operating, Dental

Tableau 3 : Classification des microscopes opératoires selon ECRI

Il est à noter que les microscopes opératoires de consultation et de formation en microchirurgie sont plus compacts et moins volumineux (moins pesants) que les microscopes opératoires de chirurgie. Ils sont également moins sophistiqués en termes de type d'ajustement de grossissement, de mise au point et d'intensité lumineuse, de même qu'en termes de supports et accessoires de commandes. Les principales caractéristiques permettant de distinguer les MO de consultation et d'enseignement/formation en microchirurgie et les MO de chirurgie sont détaillées dans le tableau en **Annexe G**.

10 Présentation du CHUM

10.1 Le CHUM en bref

Centre de référence international en matière de santé, le CHUM officiellement créé en Février 1996 est constitué de trois (3) hôpitaux situés sur trois sites distants d'environ 2,5km l'un de l'autre: l'Hôpital Notre Dame, l'Hôpital Saint-Luc et l'Hôtel-Dieu.

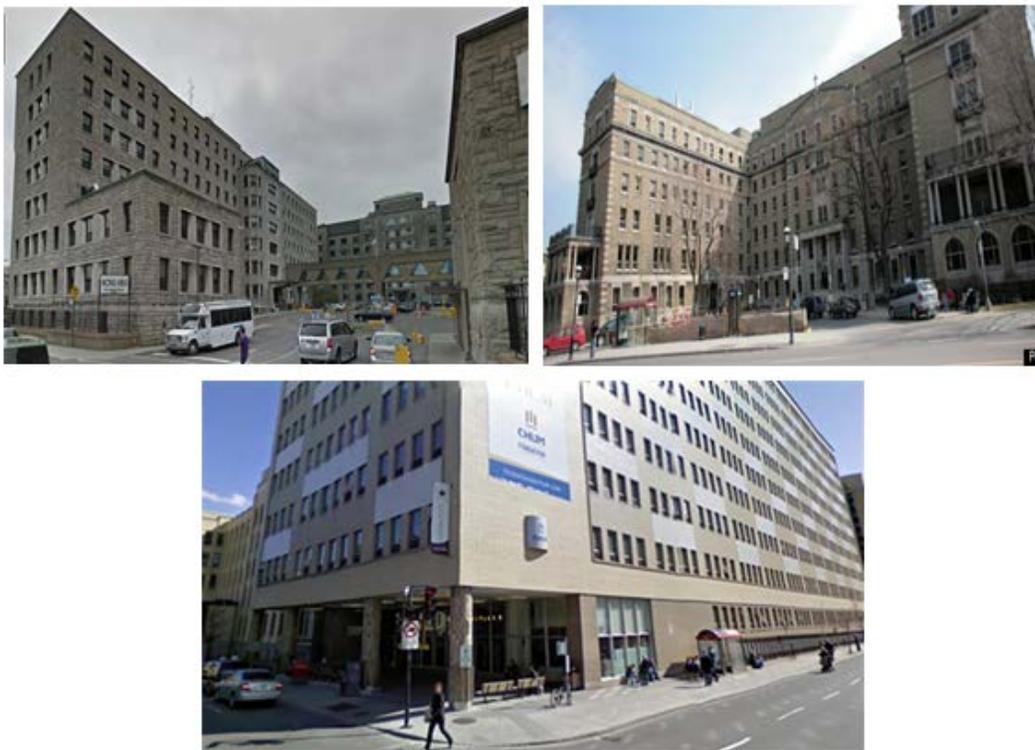


Figure 7 : CHUM actuel : Hôtel-Dieu (gauche); Notre Dame (droite); St-Luc (en bas)

Le CHUM honore sa mission en desservant la grande communauté de la métropole québécoise à travers cinq volets que sont les soins et les services cliniques, l'enseignement, la recherche, l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé, et la promotion de la santé. Y sont valorisées : la qualité, l'intégrité, la performance, la collaboration et l'innovation dans la prestation des soins. En outre, dans la mise en œuvre de la continuité et de l'intégration des soins, le CHUM travaille de concert avec ses principaux partenaires que sont l'Université de Montréal (UDEM) et le Réseau Universitaire Intégré de Santé (RUIS) de l'UDEM.

Pour remplir sa mission, le CHUM accueille annuellement plus d'un demi-million de patients dans une quarantaine de disciplines médicales. [8] Et ce sont 13 197 personnes, dont 1054

médecins (omnipraticiens et spécialistes), 36 dentistes, 83 pharmaciens, 4316 infirmiers, infirmières auxiliaires et préposées aux bénéficiaires, 1484 professionnels de la santé, 330 gestionnaires, 3239 autres employés, 1953 chercheurs, investigateurs, étudiants et stagiaires postdoctoraux, 5800 étudiants et stagiaires de niveau collégial et universitaire, ainsi que 702 bénévoles, qui, en 2014-2015 ont contribué à réaliser la mission du CHUM. Outre cela, à l'urgence et aux cliniques externes, le CHUM a respectivement compté 110 432 et 439 639 visites en 2014-2015 [8].

Par ailleurs, le projet de modernisation des centres hospitaliers universitaires de Montréal concernant entre autres la construction d'un nouveau CHUM (NCHUM) ultra-moderne a officiellement été initié en 2004 avec la signature de l'accord de principe du gouvernement du Québec et la fixation des principales balises.



Figure 8: Maquette du nouveau CHUM au complet [9]

Le nouveau CHUM actuellement en cours de construction abrite déjà le nouveau Centre de recherche ouvert et en activité depuis l'automne 2013; puis regroupera sur un seul site les unités de soins, les activités diagnostiques et thérapeutiques de traitements spécialisés, l'urgence, la majorité des activités ambulatoires, ainsi que les services de soutien courants du nouvel hôpital dont la livraison est prévue pour Novembre 2016; ainsi que des bâtiments adjacents dont la construction sera complétée en 2020. Centre hospitalier ultramoderne de 772 lits, le NCHUM compte non seulement se donner les ressources matérielles et humaines nécessaires afin de prodiguer les meilleurs soins aux patients, mais également œuvrer de façon

soutenue et optimale dans l'enseignement et la recherche. En 2020, le NCHUM sera complété par l'ajout de bâtiments adjacents, dont un amphithéâtre et des locaux clinico-administratifs. Cette dernière phase du projet de construction prendra place sur le site actuel de l'Hôpital Saint-Luc, qui demeurera fonctionnel jusqu'en 2017.

10.2 Le service de Physiques et Génie Biomédical

En centre hospitalier, les projets d'acquisitions d'équipements biomédicaux tels les microscopes opératoires relèvent de la responsabilité de l'ingénieur/physicien biomédical ou du conseiller en technologies biomédicales. Ainsi, pour remplir cette tâche, l'ingénieur biomédical rédige le devis technique après avoir relevé les besoins des utilisateurs; il participe au processus des appels d'offres piloté par le service des approvisionnements; il analyse les soumissions reçues et effectue ses recommandations d'achat. L'ingénieur biomédical gère également la planification de l'intégration, l'installation et la mise en service des équipements biomédicaux dont il participe à l'acquisition. De plus, une fois les équipements mis en service, le service de physiques et génie biomédical (PGBM) s'occupe de la maintenance, en faisant assurer à l'interne ou à l'externe les maintenances préventives et correctives, dans le souci constant de l'utilisation adéquate et optimale des technologies biomédicales. En outre, l'ingénieur/physicien biomédical joue le rôle de gestionnaire des risques en gérant les alertes médicales lorsque surviennent des incidents ou accidents impliquant les technologies biomédicales. Finalement, à la fin de la durée de vie des équipements, l'ingénieur biomédical intervient encore lors du déclassement des équipements, et le processus d'acquisition est relancé afin de remplacer l'équipement désuet.

10.3 Les services hospitaliers requérant des microscopes opératoires

Les services hospitaliers font usage de microscopes répondant à leurs besoins spécifiques, pour la visualisation des structures du corps humain à un niveau de détail invisible à l'œil nu. L'**Annexe A** liste ces départements/services hospitaliers. Il est à noter que le présent rapport se limite aux microscopes opératoires (MO) utilisés en laboratoires de simulation de microchirurgie, en clinique ORL, au bloc opératoire ORL et plastie, ainsi qu'en unité des grands brûlés. De ce fait, les départements/services utilisant les MO mais qui ne sont pas

abordés dans ce rapport sont essentiellement la gynécologie, l'urologie, la neurologie et l'ophtalmologie.

10.3.1 La formation de microchirurgie en laboratoire de simulation

En tant que pionnier en recherche biomédicale, le Centre de recherche du Nouveau CHUM se tourne davantage vers les technologies virtuelles et les outils de simulation de type mécanique ne requérant pas l'utilisation de matériel biologique. C'est dans ce contexte que s'inscrit la mise en place du laboratoire virtuel dédié à la pratique de la microchirurgie toutes spécialités confondues (plastie, ORL, neurochirurgie, chirurgie vasculaire, gynécologie et ophtalmologie). Ce projet conjoint au Centre provincial d'expertise en réimplantation et en revascularisation microchirurgicale d'urgence (CEVARMU), au Département de chirurgie-CHUM et à la Direction de l'enseignement et de la grande école-CHUM vise à accroître l'influence du CHUM dans l'enseignement universitaire et la formation continue des professionnels de la santé. Il est à noter que plus d'une centaine d'apprenants dont les résidents en chirurgie plastique, en ORL, en neurologie, en gynécologie oncologique, en ophtalmologie ainsi que les résidents séniors y seront désormais formés chaque année.

10.3.2 Les examens et chirurgies mineures en clinique d'ORL

L'oto-rhino-laryngologie (ORL) est la spécialité médicale et chirurgicale des maladies affectant l'oreille, le nez et la gorge (larynx et pharynx) [10].

De façon générale, les troubles affectant l'oreille peuvent entraîner de la douleur persistante, la baisse d'audition ou la sensation de bouchage, le sifflement ou les bourdonnements dans les oreilles. Les troubles du nez et des sinus, eux, se manifestent le plus souvent par les ronflements, la perte d'odorat, et les manifestations allergiques; Quant aux troubles de la gorge et du larynx, ils causent fréquemment la gêne pour déglutir, la gêne pour respirer, ou les tuméfactions. Ainsi, les troubles affectant l'ORL les plus répandus sont : les acouphènes, la rhinite, la sinusite, et la bronchite chronique. Les **acouphènes** représentent un ensemble de bruits parasites (sifflements, bourdonnements) dans une ou deux oreilles résultant d'une lésion obstructive de l'oreille externe, moyenne ou interne. La **rhinite** se caractérise par une inflammation de la muqueuse des fosses nasales jusqu'à l'arrière du nez, derrière le voile du palais. La **sinusite** est une inflammation des cavités des os de la face provenant de la

propagation d'une infection des fosses nasales (ou plus rarement de la racine d'une dent supérieure). **La bronchite chronique** se caractérise par une hyper sécrétion bronchique permanente ou récidivante, principale cause d'insuffisance respiratoire chronique [12].

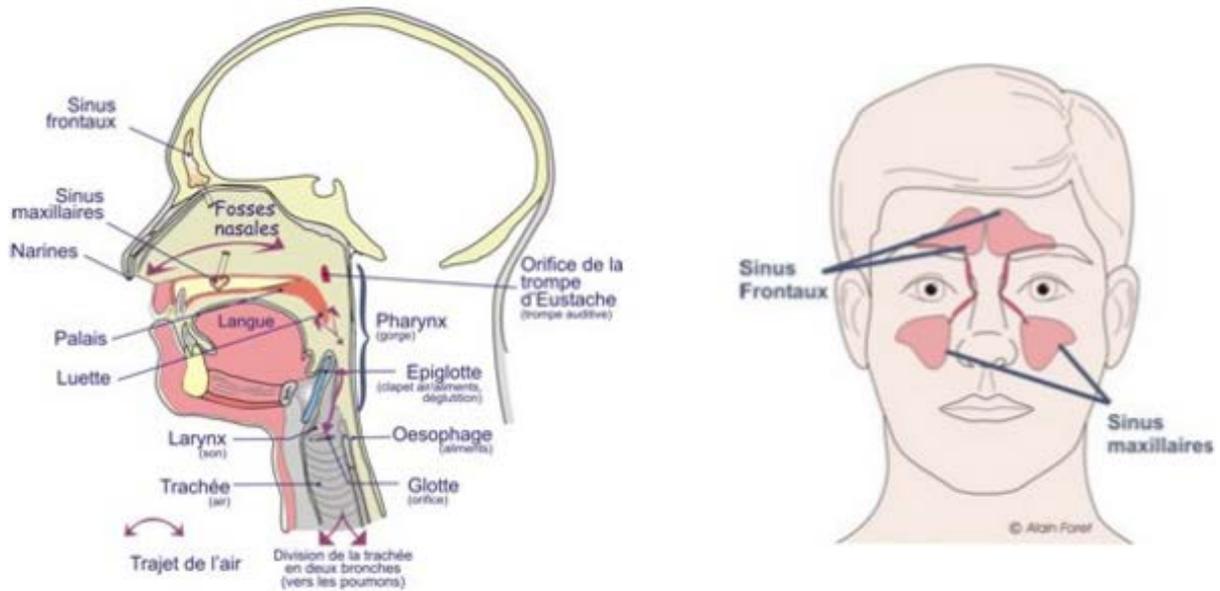


Figure 9 : La sphère ORL [11]

Et c'est ce contexte d'affections du système ORL qui justifie la mission des cliniques d'ORL. C'est ainsi que la clinique d'ORL du CHUM réalise nombre de chirurgies de l'oreille moyenne sur des patients affectés par des troubles de l'ORL, ce qui lui confère d'ailleurs le titre de centre hospitalier innovateur et développeur de cette approche. La clinique d'ORL du CHUM se spécialise également dans les interventions mineures telles les tympanoplasties, les reconstructions ossiculaires, les cures de fistule périlymphatique, les reprises de stapédectomie, les exérèses d'ostéome du conduit auditif externe, des tubes sous-cutanés, des tubes transtympaniques et même des petits glomus tympaniques limités à l'oreille moyenne.

10.3.3 La chirurgie ORL

De nombreuses interventions chirurgicales au niveau de l'oreille, du nez, des sinus, du pharynx, du larynx, de la cavité buccale, du cou, de la thyroïde et des glandes salivaires, des bronches, et de l'œsophage peuvent être réalisées au bloc opératoire par les chirurgiens spécialisés en Oto-rhino-laryngologie (ORL). En effet, en plus des chirurgies de l'oreille, du rétablissement de l'audition par la microchirurgie à l'aide de stapédectomie (sur le plus petit

os de l'oreille moyenne) ou d'autres opérations correctrices de la surdité, la spécialité ORL pratique également les autres techniques chirurgicales permettant de guérir ou de traiter les maladies, les infections ou les malformations cong nitaes du système ORL. En outre, la chirurgie ORL pratiqu e au bloc opératoire permet également de traiter les tumeurs bénignes, ainsi que les tumeurs malignes localisées dans les régions de la tête et du cou. Toutefois, c'est la spécialité de la chirurgie cervico-faciale qui pratique la chirurgie esthétique en ORL. Cette technique de reconstruction s'applique au nez, aux oreilles, à la mâchoire, au visage, pour améliorer ou restaurer la fonction et aussi l'apparence. [12]

10.3.4 La chirurgie plastique

Selon le Larousse, la plastie se définit comme une intervention chirurgicale destinée à rétablir des formes anatomiques ou des fonctions physiologiques normales. Le service de chirurgie plastique du CHUM est spécialisé en chirurgie de la main, chirurgie de reconstruction du sein, chirurgie des brûlés ainsi qu'en réimplantation. En réalité, la reconstruction du sein concerne majoritairement les patientes ayant subi une mastectomie (l'ablation partielle ou totale d'un ou des deux seins) suite à un diagnostic confirmé de cancer du sein. Et bien qu'elle ne restaure pas le sein original, la reconstruction mammaire permet d'améliorer considérablement l'apparence physique ainsi que la qualité de vie des patientes. La reconstruction mammaire telle que pratiqu e au CHUM s'effectue en trois étapes: la reconstruction totale du sein par prothèse d'expansion; la reconstruction du sein par lambeaux abdominaux ou celle par lambeaux, puis la reconstruction du mamelon et de l'aréole. En ce qui a trait au volet « réimplantation », le CHUM dispose d'un centre d'expertise en réimplantation de membre supérieur (CEVARMU) où se réalisent les microchirurgies de la main.

10.3.5 La chirurgie reconstructive pratiqu e à l'unité des grands brûlés

Un adulte (enfant) est considéré comme un « brûlé grave » lorsque des brûlures sont localisées sur plus de 20% (10%) de sa surface corporelle, mettant ainsi en jeu son pronostic vital immédiat [13]. De tels patients sont contraints à l'hospitalisation et au traitement dans le service du centre hospitalier appelé « Unité des grands brûlés », où ils subissent des chirurgies spécifiques à leurs conditions.   vrai dire, les chirurgies réalisées à l'unité des grands brûlés consistent essentiellement à retirer l'ensemble des tissus abîmés puis à recouvrir les parties

brûlées par une greffe de peau. Lorsque la peau est prélevée sur le grand brûlé lui-même, il s'agit d'une autogreffe. N'étant pas toujours réalisable, l'autogreffe est alors substituée par une greffe de peau non humaine (xénogreffe) ou appartenant à un autre individu (allogreffe). Et, malgré que la xénogreffe et l'allogreffe entraînent des rejets au bout de quelques jours, elles servent néanmoins à stimuler la formation de nombreux vaisseaux locaux et de facteurs de croissance, condition indispensable à la réussite de la greffe définitive. Par ailleurs, la thérapie cellulaire représente une option d'intérêt lorsque le grand brûlé présente des brûlures sur plus de 70% de son corps, car les autogreffes conventionnelles deviennent alors insuffisantes. [14]

11 Étude de marché

11.1 Veille commerciale

Plusieurs fournisseurs/manufacturiers de microscopes se taillent une place sur le marché québécois. Cependant, une poignée seulement se spécialisent en microscopes opératoires.

Au Québec, deux principaux fournisseurs/manufacturiers sont bien établis et se partagent le marché des microscopes opératoires. Il s'agit de Carl Zeiss et de Leica Microsystems. En parallèle, d'autres manufacturiers tentent de se positionner en proposant des microscopes opératoires correspondant à un segment de marché très ciblé. C'est le cas du manufacturier Mitaka Kohki dont les super-microscopes opératoires sont distribués au Canada par le fournisseur OSIS Medical.

Par ailleurs, chaque manufacturier ne propose que quelques types de microscopes opératoires, dont certains sont dédiés à plusieurs spécialités chirurgicales (Par exemple : ORL et dentaire; ORL et Plastie) et d'autres dédiés à une spécialité chirurgicale spécifiquement (Par exemple : Plastie uniquement; Ophtalmologie uniquement; Neurologie uniquement).

L'**Annexe C** dresse le portrait du marché des microscopes opératoires d'ORL, et de chirurgie plastique et de chirurgie reconstructive.

11.2 Veille réglementaire

Comme pour tout dispositif médical, les manufacturiers/fournisseurs de microscopes opératoires doivent se conformer aux règlements imposés dans le secteur des équipements biomédicaux. C'est ainsi que pour distribuer de façon réglementaire des microscopes opératoires au Canada, le distributeur doit se faire délivrer par Santé Canada une licence d'établissement pour les instruments médicaux (LEIM), et ceci, peu importe la classe de l'instrument. S'il s'agit du manufacturier qui vend directement ses microscopes opératoires sans passer par un distributeur et ce, conformément à l'article 44 du Règlement sur les instruments médicaux DORS/98-282, ledit manufacturier doit se faire délivrer une licence d'établissement pour les instruments médicaux pour la vente de dispositifs médicaux.

En outre, les microscopes opératoires peuvent se classer dans la classe I des dispositifs médicaux, la classe de niveau de risque potentiel le plus faible selon le Règlement sur les instruments médicaux DORS/98-282, ce qui soustrait les fabricants de MO à la demande d'homologation délivrée par Santé Canada, ladite homologation n'étant obligatoire que pour les dispositifs médicaux de classe II, III et IV.

11.3 Veille technologique : Description du microscope opératoire

Le microscope opératoire peut se décomposer en quatre (4) parties : la partie mécanique, la partie optique, la partie électrique, et la partie accessoire.

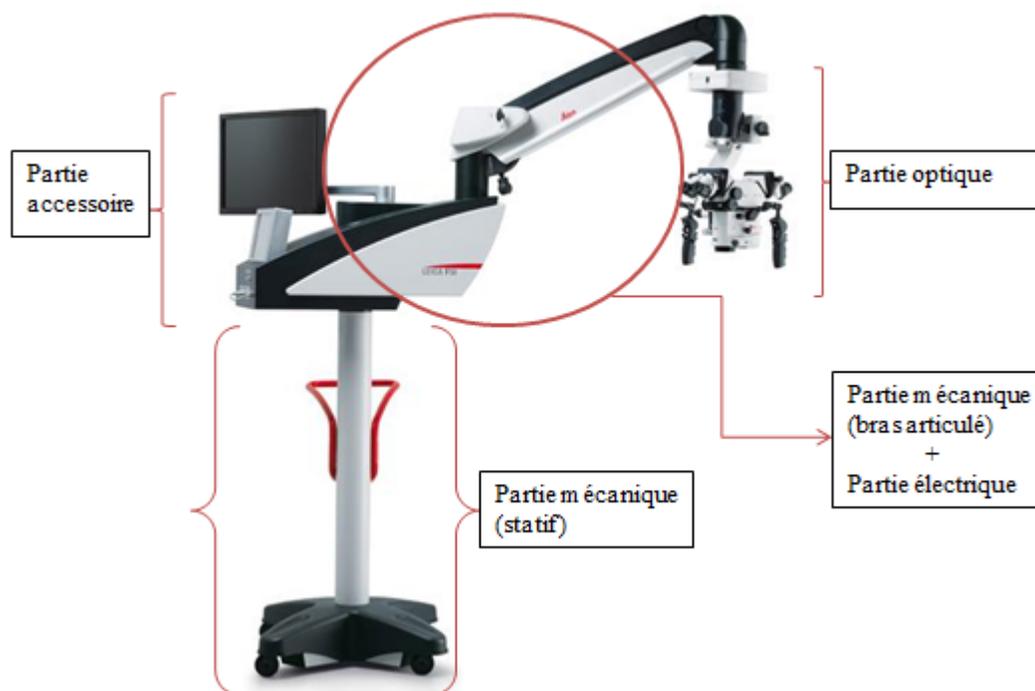


Figure 10 : Les différentes parties d'un microscope opératoire [13]

La lumière issue du système d'illumination, principale composante de la partie électrique, éclaire l'objet à observer. Le système optique primaire essentiellement constitué de l'objectif projette l'image ainsi produite. Puis le système optique complémentaire à l'objectif qu'est l'oculaire grossit l'image qui sera visualisée par l'observateur. Le statif, l'une des deux principales composantes de la partie mécanique, désigne l'ensemble formé par le pied sur lequel repose le microscope (dans le cas des microscopes sur statif de plancher) ou l'ancrage

du microscope (dans le cas des statifs ancrés au plafond ou au mur), et le bras articulé (bras porteur et bras compensé) portant le tube optique et retenant la tête du microscope. La partie accessoire, elle, regroupe entre autres la ou les caméras vidéo (caméra IR (pour la fluorescence), caméra couleur), le moniteur de visualisation, et l'enregistreur numérique, ces composantes représentant des besoins spécifiques à la spécialité chirurgicale, à l'aménagement du local, et aux préférences de l'utilisateur.

11.3.1 La partie optique

La partie optique du microscope opératoire regroupe essentiellement trois systèmes optiques convergents. L'objectif et l'oculaire sont les plus complexes alors que le condenseur optique est le moins complexe. En effet, le système de lentilles constituant l'objectif projette une image intermédiaire réelle agrandie au plan focal du système de lentilles formant l'oculaire, en faisant converger à l'intérieur du tube du microscope la lumière issue de l'objet observé. Le condenseur optique couplé à un diaphragme intervient comme un système optique intermédiaire. Quant au système de lentilles constituant l'oculaire, il se comporte globalement comme une loupe en donnant une image virtuelle agrandie inversée de l'image intermédiaire précédemment formée [18].

11.3.1.1 Le condenseur optique

Tel qu'illustré à la figure ci-dessous, le condenseur optique est le principal dispositif optique intermédiaire situé entre l'objectif et l'oculaire. À vrai dire, le condenseur optique est un agencement de plusieurs lentilles de grande ouverture permettant la concentration de faisceau de lumière large dans un plan ne gênant pas l'observation.

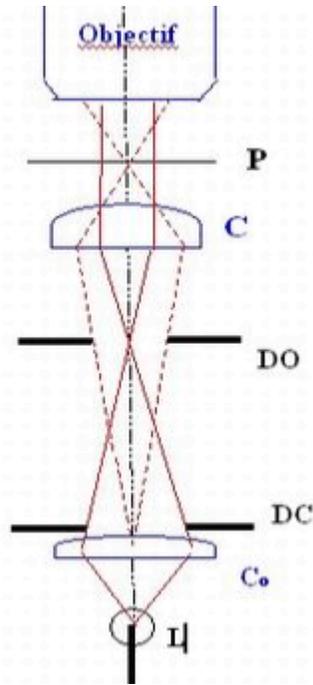


Figure 11 : Chemin optique simplifié d'un microscope optique [19]

Légende : L : Lampe; Co : Collecteur; DC : Diaphragme de champ; DO : Diaphragme d'ouverture; C : Condenseur; P : Préparation

Il est à noter que le condenseur optique est généralement couplé à un diaphragme d'ouverture (DO) ainsi qu'à un diaphragme de champ (DC). Le diaphragme d'ouverture est le dispositif mécanique limitant l'étendue du faisceau lumineux du système optique afin de faire bénéficier de la propriété de définition d'intensité de ce dernier. Quant au diaphragme de champ, il s'agit du dispositif limitant la taille angulaire du faisceau lumineux. Les dimensions du diaphragme déterminent les dimensions du champ voulu, la bonne qualité optique dans le champ et l'uniformité du faisceau lumineux [20].

11.3.1.2 L'objectif

11.3.1.2.1 La distance focale et la distance de travail

La distance focale est l'une des plus importantes caractéristiques de tout système de lentilles optiques. Dans le cas de certains instruments optiques et lorsque l'objectif est assimilé à une lentille mince, la distance focale correspond simplement à la distance séparant le centre

optique de l'objectif et le plan de formation de l'image intermédiaire [21]. Ainsi, sur la figure ci-dessous, la distance focale de la lentille objectif correspond à la distance OA.

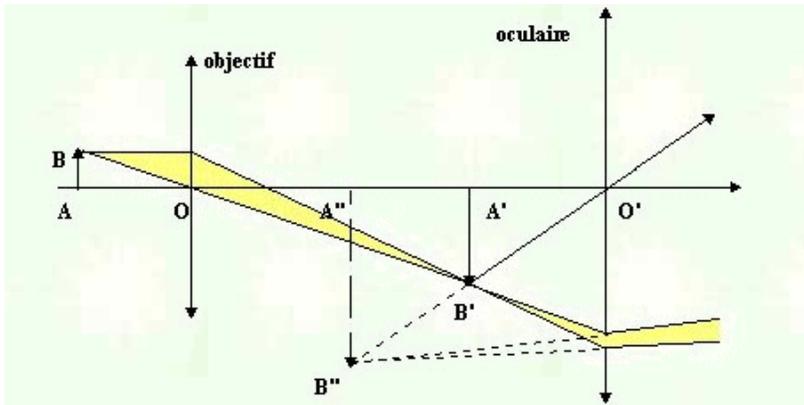


Figure 12 : Distance focale dans un système optique simplifié [22]

Légende : AB : Objet; O : Centre optique de la lentille objectif; OA : Distance focale de la lentille objectif; A'B' : Image réelle de l'objet AB; O' : Centre optique de la lentille oculaire; O'A' : Distance focale de la lentille oculaire; A''B'' : Image virtuelle de A'B'.

En outre, la distance focale de l'objectif du microscope opératoire détermine le champ couvert et conditionne la distance de travail opérateur-champ opératoire, soit la distance séparant les yeux de l'observateur du site traité, dans une position confortable et détendue [23].



Figure 13 : Objectifs de microscopes opératoires de focale 200mm et 300mm [23]

Il est à noter que les distances focales des objectifs de MO destinés à l'ORL et à la plastie/reconstruction couvrent généralement la plage [100; 400 mm], avec des gradations tous

les 25 mm. Et la distance de 350mm est considérée comme la distance de travail moyenne même si en réalité la distance de travail convenable est propre à chaque spécialité chirurgicale et à chaque praticien.

Par ailleurs, les objectifs de microscope se classifient par classes de performance. Les critères de classification sont essentiellement la transmission associée à l'ouverture numérique, et les degrés de correction des aberrations chromatiques et géométriques (sphériques ou de planéité) [26].

11.3.1.2.2 L'ouverture numérique et le pouvoir séparateur

L'ouverture numérique (ON) d'un objectif de microscope caractérise sa luminosité et sa résolution. Et elle est conditionnée par l'angle (μ illustré en rouge sur la figure ci-dessous) ainsi que l'indice de réfraction du milieu (n).

La formule associée à l'ouverture numérique est : $ON = n * \sin(\mu)$ [24]

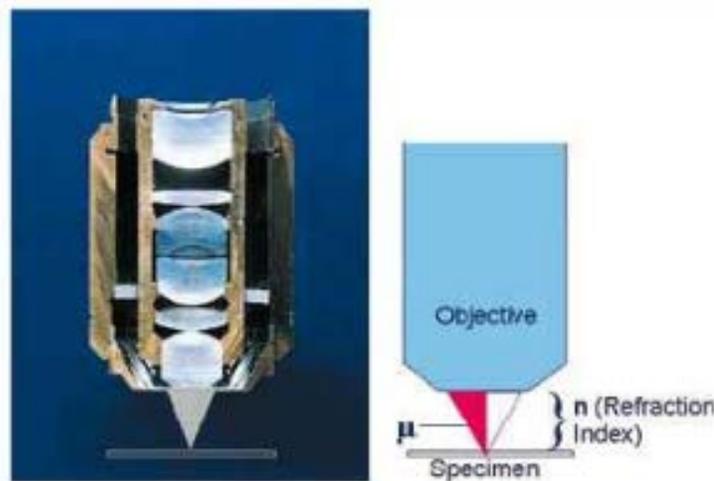


Figure 14 : Illustration de l'ouverture numérique d'un objectif [24]

Et puisque l'indice de réfraction de l'air $n(\text{Air})$ vaut 1 et que $\sin(90^\circ)$ vaut également 1, l'objectif parfait peut avoir une ouverture numérique correspondant à son indice de réfraction.

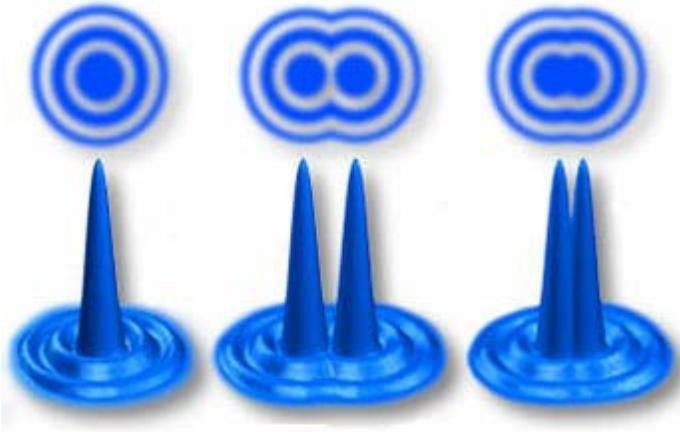


Figure 15 : Pouvoir séparateur d'un système optique [24]

Tel qu'illustré sur la figure ci-dessus, le pouvoir séparateur (R) de la lentille objectif permet de distinguer deux objets très proches. Ce paramètre est fonction de l'ouverture numérique (ON) de l'objectif et du condenseur optique ainsi que de la longueur d'onde de l'éclairage utilisé (λ).

La formule associée au pouvoir séparateur est : $R = 1,22 * \left(\frac{\lambda}{ON_{obj} + ON_{cond}} \right)$ [24]

Il est pertinent de faire remarquer qu'en faisant varier l'indice du milieu de réfraction on peut faire accroître l'ouverture numérique et par conséquent le pouvoir séparateur du système optique. Ainsi, l'approximation d'un pouvoir séparateur optimal requiert la combinaison d'un objectif à haute résolution et d'un condenseur à immersion de qualité supérieure. Et c'est la raison pour laquelle l'interposition d'un milieu d'indice de réfraction supérieur à celui de l'air permet d'avoisiner optimalement la résolution maximale permise en théorie. L'imagerie d'échantillons aqueux tels les cellules vivantes s'optimise d'ailleurs avec l'utilisation d'objectifs à immersion dans l'eau ($n=1,33$) ou le glycérol ($n=1,45$) [25].

11.3.1.2.3 La correction des aberrations optiques

Les objectifs dont les aberrations chromatiques sont amplement corrigées sont qualifiés d'objectifs apochromatiques, par opposition aux objectifs achromatiques ne présentant pas de corrections d'aberrations chromatiques. Les objectifs semi-apochromatiques, quant à eux, offrent un compromis acceptable de correction des aberrations chromatiques.

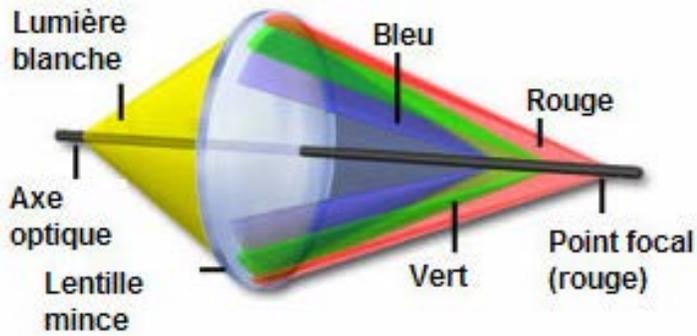


Figure 16 : Illustration de l'aberration chromatique sur une lentille [24]

Les objectifs corrigés à la fois des aberrations chromatiques et géométriques, eux, sont qualifiés d'objectifs plan-apochromatiques : ce sont les objectifs de la qualité supérieure et ils sont les plus performants.

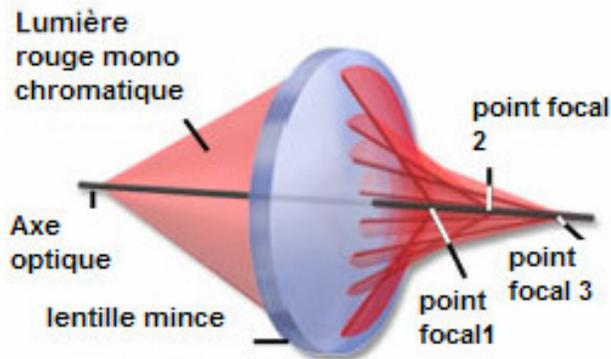


Figure 17 : Illustration de l'aberration sphérique sur une lentille [24]

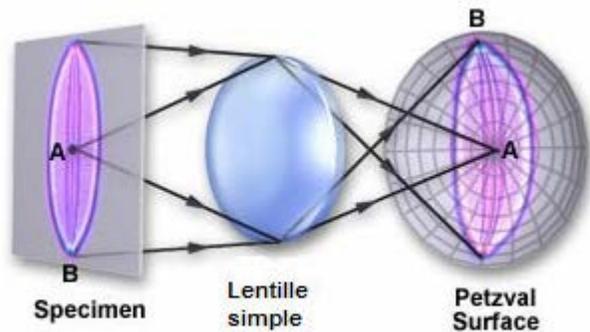


Figure 18 : Illustration du défaut de courbure de champ sur une lentille [24]

11.3.1.3 L'oculaire

Le système d'observation du microscope se résume principalement au système de lentilles de l'oculaire. En réalité, les oculaires intégrés aux dispositifs d'observation des microscopes opératoires sont des tubes binoculaires. Les tubes binoculaires portent deux oculaires

généralement coaxiaux, rendant possible l'observation avec les deux yeux. Les microscopes opératoires étant basés sur la stéréoscopie, ils fournissent une image à chaque œil, puis le cerveau les assemble afin d'en obtenir une seule. Cette "fusion binoculaire" présente d'ailleurs l'avantage de procurer une perception de relief à l'œil observateur, atténuant grandement la fatigue oculaire [27].

Il est important de préciser que le système de lentilles de l'oculaire se caractérise principalement par trois paramètres : la focale **f**, le champ apparent **Ca** et le relief d'œil **Ro**.

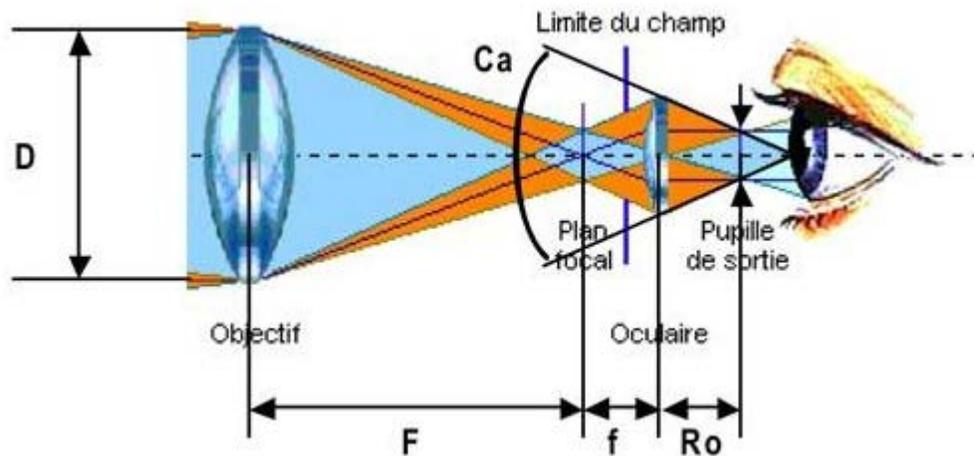


Figure 19 : Principe optique de l'oculaire de microscope [28]

En réalité, la focale de l'oculaire correspond à la distance séparant le foyer situé au plan focal, de l'image parallèle de sortie située à la lentille d'œil. Les oculaires disponibles sur le marché offrent généralement une focale comprise entre 3mm et 50mm. Le champ apparent **Ca**, lui, correspond à l'angle du champ de l'oculaire tel que représenté à la figure ci-dessus. 65° est considéré comme un angle assez agréable contrairement aux angles inférieurs à 50° conférant une impression plutôt désagréable. Quant au relief d'œil **Ro**, il s'agit de la distance à laquelle l'observateur doit tenir son œil derrière la lentille de sortie afin de visualiser une bonne image. Un relief d'œil supérieur à 10mm (supérieur à 15mm pour les porteurs de lunette) procure un confort d'observation optimal.

En ce qui concerne le grossissement de l'oculaire proprement dit, la figure ci-dessous illustre un objet **FB** de dimension **y** observé dans le plan focal objet d'une lentille **L**. Sur cette figure, on remarque que l'image **B'** de **B** se forme à l'infini dans la direction Θ' .

Θ' s'obtient par la formule : $\theta' = \frac{y}{f} = -\frac{y}{f'}$ [30]

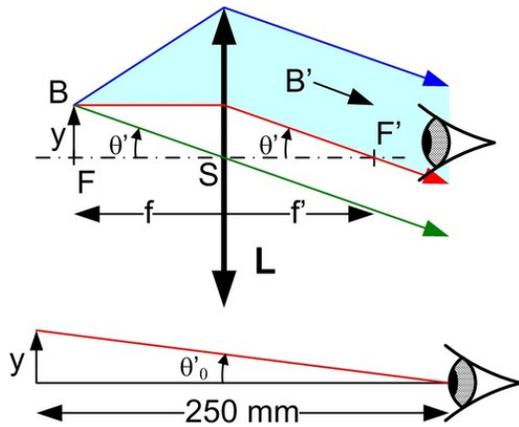


Figure 20 : Illustration du grossissement d'un oculaire [30]

Le grossissement **Gc** dit grossissement commercial de ce système optique formé d'une seule lentille correspond au rapport entre θ' et θ_0' . θ_0' étant l'angle sous lequel l'observateur voit directement à l'œil le même objet à une distance standard de 250mm.

D'où : $Gc = \frac{\theta'}{\theta_0'}$ et par conséquent : $Gc = \frac{250}{f'}$; f' est la focale de la lentille exprimée en mm.

Il est à noter qu'en général, les grossissements de lentilles d'oculaires utilisées en ORL et en plastie/reconstruction sont essentiellement de 10X ou de 12,5X. En outre, les tubes binoculaires commercialisés avec les microscopes opératoires d'ORL et de plastie/reconstruction sont, pour les plus flexibles ajustables de 0° à 180°, et pour les moins flexibles inclinables de 30° à 150°. La figure ci-après illustre diverses configurations de tubes binoculaires disponibles avec la plupart des microscopes opératoires.



Figure 21 : Configurations de tubes binoculaires de microscopes opératoires [29]

11.3.1.4 La mise au point du microscope opératoire

On distingue généralement deux sortes de mises au point du microscope opératoire : la mise au point grossière et la mise au point fine. La mise au point grossière permet le positionnement aisé et en toute sécurité du MO en position de travail. La mise au point fine, quant à elle, sert à finaliser le positionnement du MO et évite aux utilisateurs d'avoir à déplacer le microscope opératoire une fois la position d'intérêt obtenue dans le champ opératoire. Il est pertinent de préciser que les objectifs modernes étant de type parafocal, l'image reste approximativement au point lorsqu'on passe d'un objectif à un autre. Et ce n'est que le faible ajustement requis qui s'effectue par la manœuvre de mise au point fine.

11.3.1.4.1 Le grossissement du microscope

Sur les microscopes opératoires de consultation ou de formation/enseignement, la mise au point fine se résume essentiellement au changement de grossissement. Les objectifs des MO de consultation et formation/enseignement s'interchangent généralement de façon manuelle à l'aide de la molette correspondante. Et c'est grâce au changeur de grossissement disposant de plusieurs positions crantées que l'utilisateur fait varier le grossissement sur la plage disponible.

Pris séparément, l'objectif et l'oculaire possèdent chacun leur grossissement. Le grossissement commercial est d'ailleurs inscrit sur chacune de ces composantes optiques. En plus de cela, le microscope optique possède un grossissement total qui résulte des grossissements de tous les systèmes optiques le composant. Ainsi, ce n'est qu'en absence de dispositif intermédiaire (tel qu'un condenseur optique), que le grossissement total du microscope opératoire équivaut simplement au produit des grossissements de l'objectif et de l'oculaire. La formule générale du grossissement du microscope optique est la suivante:

$$G_{\text{microscope}} = G_{\text{objectif}} * \text{zoom} * G_{\text{tube intermédiaire}} * G_{\text{oculaire}} [31]$$

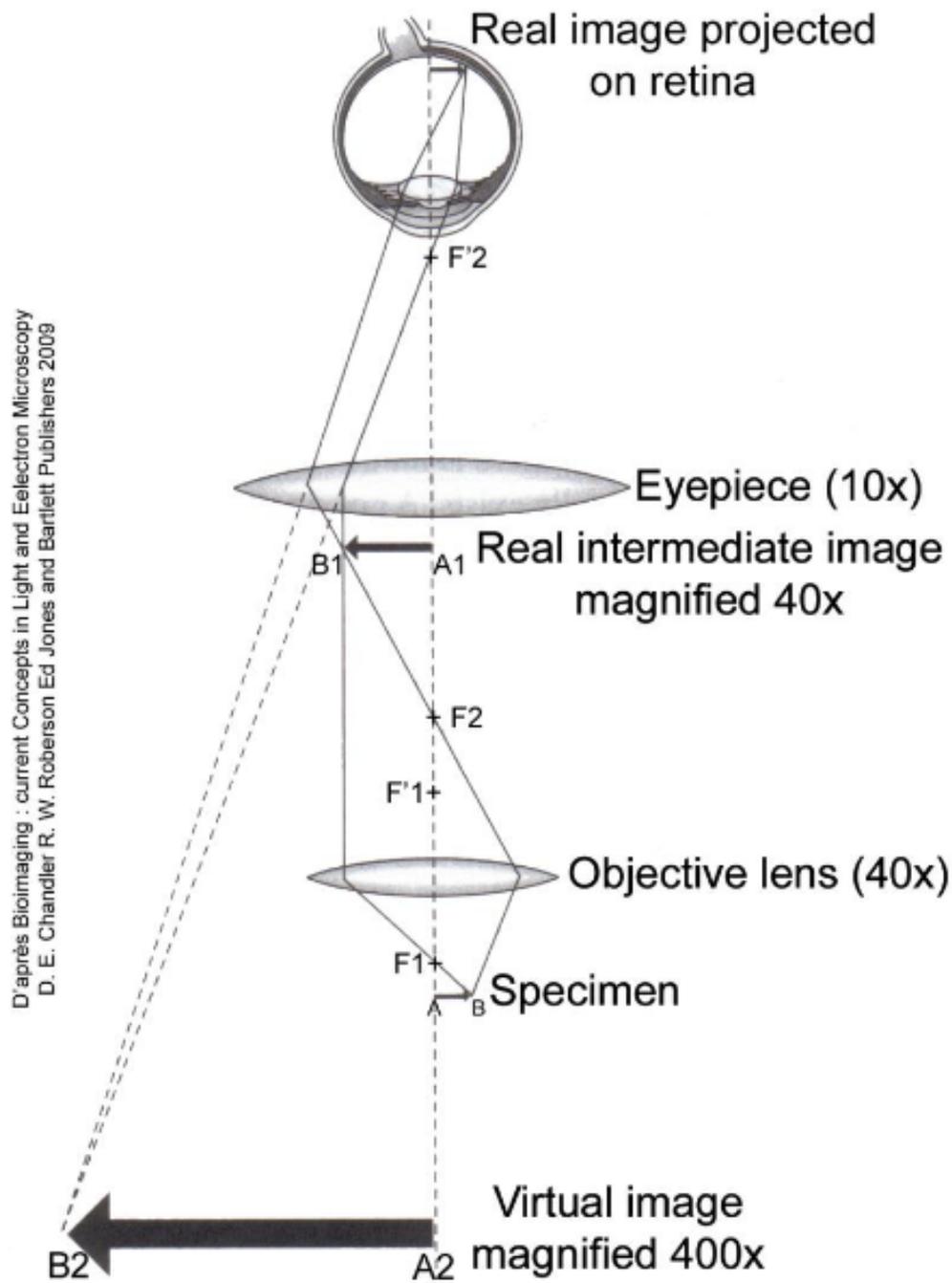


Figure 22 : Formation de l'image dans un microscope optique (sans condenseur) [18]

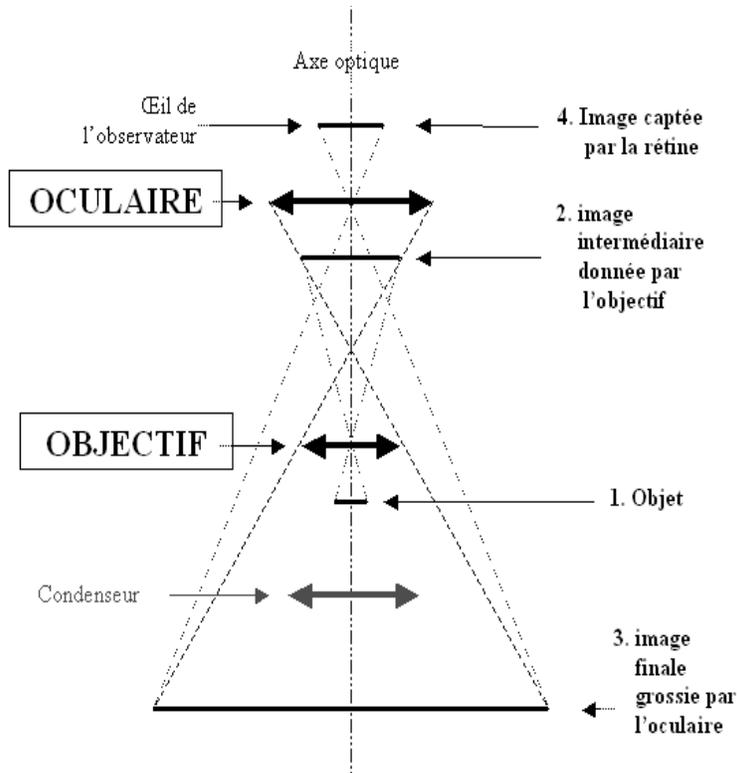


Figure 23 : Formation de l'image dans un microscope optique (avec condenseur) [30]

11.3.1.4.2 Le zoom et le focus

Sur les MO de chirurgie, la mise au point fine s'effectue à l'aide de fonctions motorisées. En effet, le zoom et le focus, notions inversement équivalentes, sont les fonctions permettant d'effectuer les réglages de mise au point fine.

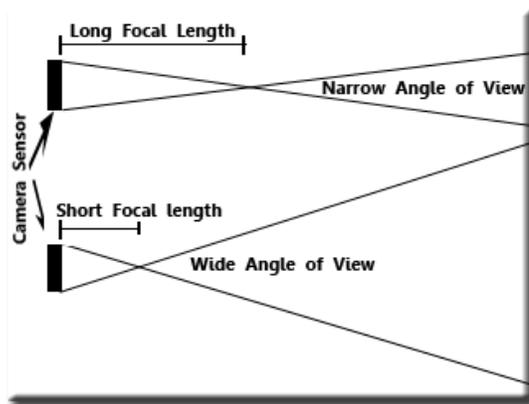


Figure 24 : Schéma illustrant les notions de zoom et focus [31]

Tel qu'illustré sur la figure ci-dessus, diminuer le zoom ou dé-zoomer consiste à diminuer le grossissement total et à augmenter le champ de visualisation (diamètre et angle), ce qui

équivalent également à augmenter le focus en diminuant la distance focale et donc la distance de travail. À vrai dire, le zoom correspond à un objectif de distance focale variable sur une plage spécifique. Le zoom de ratio « six pour un » (6 :1) est le plus répandu parmi les microscopes opératoires de chirurgie, mais les super microscopes opératoires de chirurgie offrent un zoom plus puissant de ratio « huit pour un » (8 :1). En effet, le ratio de zoom 6 :1 indique que sur la plage variable de distances focales disponibles, le rapport entre la plus grande et la plus petite distance focale est de 6. Ainsi, pour un zoom manuel de ratio 6 :1, six (6) valeurs discrètes de grossissement seraient disponibles sur cette plage de distance focale équivalente [32]. Et, il est important de préciser que plus le zoom objectif est puissant, meilleure est la détection des moindres détails de la microstructure explorée. Par conséquent, la combinaison d'un zoom puissant sur une large plage de grossissements, et ceci, avec une résolution optimale (conférée par l'ouverture numérique de l'objectif), rend possible la capture d'images de qualité supérieure.



Figure 25 : Fonctions zoom et focus sur manettes de commandes de MO [33]

Le tableau ci-après récapitule les paramètres optiques disponibles sur un microscope opératoire motorisé muni d'un tube binoculaire de distance focale 170mm ou 200mm et dont le système d'objectifs couvre la plage de zoom [0,4 ; 2,4].

DT en mm	Focale de tube en mm	Oculaire 10x				Oculaire 12,5x			
		Zoom	Ø CV en mm	Gross.	Surface CV en mm	Zoom	Ø CV en mm	Gross.	Surface CV en mm
200	170	0,4	97,0	2,2	73,8	0,4	83,1	2,7	54,2
		2,4	16,2	13,0	2,1	2,4	13,9	16,2	1,5
	200	0,4	83,4	2,5	54,6	0,4	71,5	3,1	40,1
		2,4	13,9	15,1	1,5	2,4	11,9	18,8	1,1
350	170	0,4	146,1	1,4	167,5	0,4	125,2	1,8	123,0
		2,4	24,3	8,6	4,7	2,4	20,9	10,8	3,4
	200	0,4	125,6	1,7	123,8	0,4	107,7	2,1	91,0
		2,4	20,9	10,0	3,4	2,4	17,9	12,5	2,5
500	170	0,4	192,8	1,1	291,8	0,4	165,2	1,4	214,3
		2,4	32,1	6,5	8,1	2,4	27,5	8,2	6,0
	200	0,4	165,8	1,3	215,8	0,4	142,1	1,6	158,5
		2,4	27,6	7,6	6,0	2,4	23,7	9,5	4,4

Tableau 4 : Table de grossissement d'un microscope opératoire spécifique [34]

Légende : DT : Distance de travail; CV : Champ de vision; Gross. : Grossissement total du microscope; 0.4 : valeur minimum de zoom; 2.4 : valeur maximum de zoom.

À la lecture de cette table de grossissement, il ressort qu'à la distance de travail DT=200mm, le plus fort grossissement total (18.8X) ne peut être obtenu qu'en combinant le tube binoculaire de plus grande distance focale disponible (f=200mm) avec l'oculaire de plus fort grossissement disponible (12.5X) : le diamètre de champ de vision résultant de cet ajustement est le plus faible disponible (11.9mm) sur le système optique étudié. À la même distance de travail DT=200mm, le plus fort diamètre de champ de vision (97.0mm) ne peut être obtenu qu'en combinant le tube binoculaire de plus petite distance focale disponible (f=170mm) avec l'oculaire de plus faible grossissement disponible (10X) : le grossissement total résultant de cet ajustement est le plus faible disponible (2.2X) sur le système optique étudié.

Somme toute, il existe un compromis entre le diamètre de champ de vision et le grossissement total du microscope. De plus, le choix des objectifs de microscope opératoire adaptés à l'exercice du praticien requiert essentiellement la prise en compte de la distance de travail optimale aux utilisateurs et de la plage de grossissement total requise pour des observations optimales dans la spécialité chirurgicale d'intérêt; les autres paramètres optiques s'ajustent.

11.3.2 La partie électrique

Le système d'illumination, principale composante de la partie électrique du microscope, permet l'illumination maximale, constante et focalisée du champ opératoire afin de révéler à l'œil observateur les détails des structures visualisées à l'aide du microscope opératoire.

L'unité d'alimentation du système d'illumination se loge dans un boîtier qui peut être soit interne, soit externe à la tête du microscope. La conception du boîtier d'illumination externe, généralement situé au niveau du premier bras articulé relié au statif, vise à minimiser les dimensions de la tête du microscope ainsi qu'à éviter les risques de projection humide en provenance du site opératoire [20]. Il est à noter que lorsque le boîtier contenant l'unité d'alimentation du système d'illumination se situe à l'extérieur de la tête du microscope, la liaison allant du boîtier jusqu'à la tête du microscope s'effectue via un câble, généralement de type fibro-optique, tel qu'illustré sur la figure ci-après.

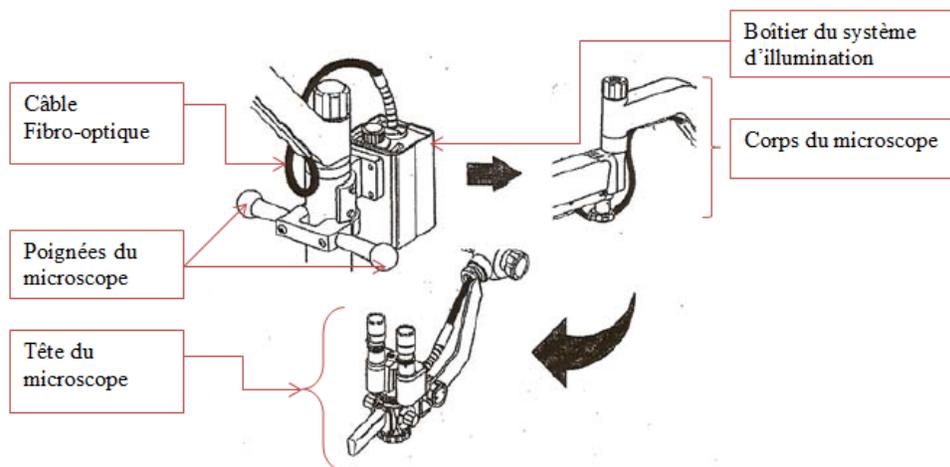


Figure 26 : Trajet de la fibre optique du module d'illumination à la tête du microscope [20]

En réalité, la lumière se concentre à travers une suite de prismes optiques et traverse l'objectif pour illuminer le site opératoire. Puis elle traverse l'objectif, les lentilles de grossissement et les binoculaires par réflexion. Enfin, elle sort divisée en deux faisceaux lumineux, un pour chaque oculaire, ce qui produit l'effet stéréoscopique et fournit la vision de profondeur de champ à l'observateur. La figure ci-après met en évidence la confluence des champs lumineux à l'intérieur du microscope opératoire.

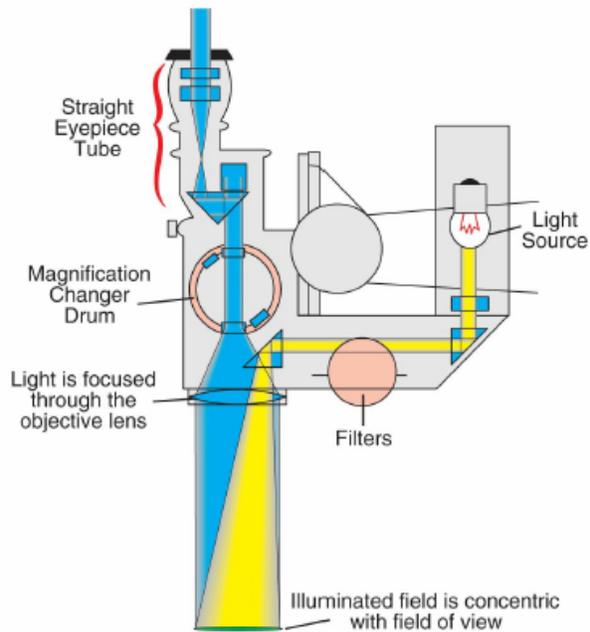


Figure 27 : Mise en évidence de la confluence des champs lumineux sur un MO [26]

Il est à noter que l'illumination des microscopes opératoires est de type coaxial à la visée de l'observateur étant donné que la lumière est focalisée entre les oculaires, permettant au praticien de voir à l'intérieur du site opératoire sans être incommodé par l'ombre et l'éblouissement. Il est aussi important de préciser que cet avantage ne s'obtient qu'avec les optiques focalisant à l'infini et envoyant des faisceaux parallèles à chaque œil [20].

Par ailleurs, il est pertinent de préciser que le type d'illumination du microscope opératoire est l'une des spécifications ne permettant pas l'interchangeabilité des microscopes opératoires entre les diverses spécialités chirurgicales. En effet, un microscope opératoire destiné à la chirurgie plastique ne peut être utilisé tel quel en ophtalmologie, au risque de causer des dommages irréversibles aux yeux du patient. En réalité, les systèmes d'illumination des microscopes opératoires dédiés à l'ophtalmologie doivent impérativement disposer de filtres anti caloriques UV/IR [21] assurant la protection des cellules de l'œil du patient et minimisant les risques de brûlures liées à l'échauffement excessif de la source lumineuse [22].

On distingue essentiellement trois (3) types de sources lumineuses utilisés dans les microscopes opératoires: les sources lumineuses aux halogènes, les sources lumineuses en atmosphère de Xénon, et les sources lumineuses à LED.

11.3.2.1 Source lumineuse aux halogènes

Les lampes halogènes (en atmosphère halogénée) sont des ampoules à incandescence dont l'enveloppe est en verre à quartz plus résistant aux hautes températures, et dont l'atmosphère interne est constituée de gaz halogénés sous pression [24]. Bien que possédant une durée de vie relativement longue, et procurant une luminance plus ou moins constante, les lampes halogènes offrent une lumière de couleur artificielle et de très faible rendement énergétique (moins de 5%) [23]. Dégageant plus de chaleur que de lumière, l'intégration de telles lampes aux microscopes opératoires peuvent nuire à l'environnement chirurgical.



Figure 28 : Lampe Xénon [25]

Figure 29 : Ampoule halogène focalisée [24]

11.3.2.2 Source lumineuse à décharge gazeuse de Xénon

Les lampes de Xénon sont des ampoules en atmosphère de Xénon, gaz rare s'illuminant au contact d'un courant supérieur à 20 000 volts [28]. Les lampes de xénon offrent un meilleur rendement énergétique (plus de 7%) comparativement aux lampes halogènes [23]. Et, en plus de posséder une relativement meilleure durée de vie (3 000 heures), les sources lumineuses au Xénon génèrent une lumière de spectre s'apparentant à la lumière du jour, et de température de couleur ne variant pas avec le réglage de la luminosité [21]. En plus, les lampes de Xénon présentent le principal avantage de fournir une illumination optimale, et ce, même dans les canaux profonds du champ opératoire [6].

11.3.2.3 Source lumineuse à LED

Par opposition aux lumières produites par les lampes halogènes et les lampes à décharge gazeuse de Xénon, les LED fournissent de la lumière « froide ». De petite taille et de structure compacte, la LED représente une alternative économique et écologique aux types conventionnels de lampes. En réalité, la LED offre un flux lumineux largement supérieur à celui des sources de lumière conventionnelles, garantissant un éclairage d'excellente qualité et par conséquent des images d'une haute-fidélité de couleur. En outre, la LED ne requiert aucune période de démarrage et développe la puissance lumineuse maximale dès l'allumage. Mieux, sa durée de vie exceptionnelle de 60 000 heures réduit considérablement les dépenses d'entretien des microscopes [16] notamment celles de remplacement des lampes.

11.3.3 La partie mécanique

Support physique des parties optique et électrique, le statif constitue la partie conférant au microscope sa stabilité. En effet, la stabilité du microscope est directement liée au poids du microscope et des accessoires supportés, ainsi qu'à la distance séparant la tête du microscope du reste de son corps. Il est à noter que le poids des microscopes opératoires de consultation ou de formation/enseignement se situe autour de 100kg tandis que celui des microscopes opératoires de chirurgie notamment ceux destinés à l'ORL et à la Plastie/Reconstruction varie entre 225kg et 350kg.

Par ailleurs, parmi les différents types de statifs disponibles avec les microscopes opératoires, trois (3) d'entre eux sont les plus courants. Il s'agit du statif de sol mobile (sur roulettes), du statif à fixation murale, et du statif à ancrage plafonnier. Les avantages et inconvénients de chacun de ces trois (3) types de statifs sont d'ailleurs présentés à l'**Annexe D**. Le statif Centro tel qu'illustré sur la figure ci-après, ainsi que le statif de table avec pince ou avec plaque font partie des types de statifs de microscopes opératoires les moins répandus.

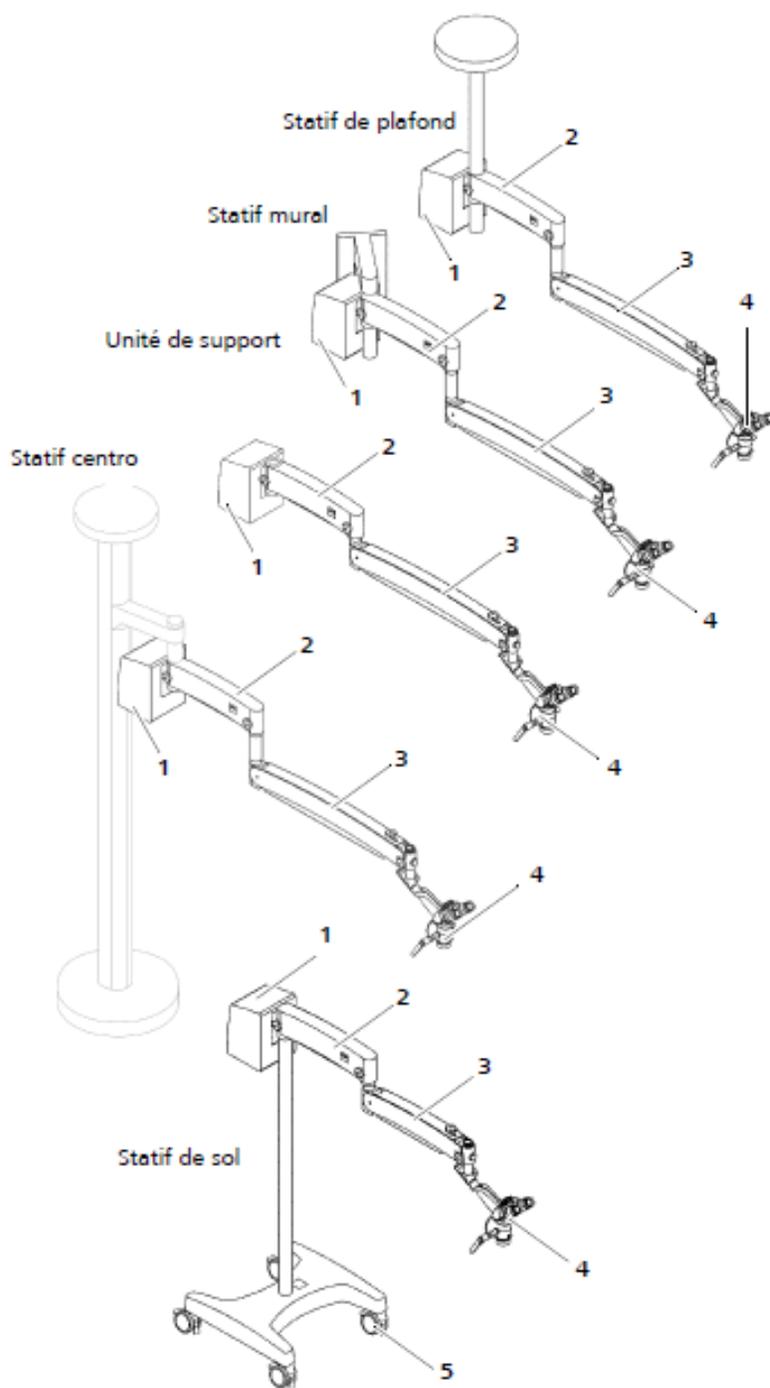


Figure 30 : Statifs de microscopes opératoires [21]

Légende : 1-Unité d'alimentation; 2- Bras porteur; 3- Bras compensé; 4- Microscope d'opération; 5- Roulettes de guidage;

Effectuer des gestes microchirurgicaux tels que rétablir la liaison entre des vaisseaux lymphatiques lors d'une chirurgie lymphatique requiert une stabilité optimale du microscope opératoire. Et, les vibrations représentent l'un des défis majeurs lors d'observations et de manipulations à très fort grossissement car le MO devient d'avantage sensible aux vibrations. Certains microscopes opératoires de chirurgie, notamment ceux conçus pour atteindre des forts grossissements sont d'ailleurs équipés d'amortisseurs de vibration intégrés [29]. D'autres microscopes opératoires de chirurgie sont plutôt constitués de matériaux métalliques et spéciaux possédant la propriété de dissiper les vibrations et par conséquent de renforcer la stabilité du statif du MO. [30]

En outre, l'immobilisation rapide et précise du microscope dans la position d'intérêt durant l'intervention chirurgicale requiert un système d'immobilisation adéquat. Et contrairement aux MO de consultation pour lesquels les freins mécaniques conviennent largement, les MO de chirurgie, eux, requièrent des freins magnétiques ou électromagnétiques. Il est à noter que le type de système de freinage influence grandement la fluidité et la précision de contrôle des mouvements du MO. En réalité, le freinage magnétique consiste à freiner la roue d'inertie par le biais d'aimants se rapprochant l'un de l'autre. Cette action peut être soit manuelle, soit assistée par un moteur (via un bouton de commande). Dans le cas du freinage électromagnétique, la résistance du freinage est assurée par un électro-aimant (bobine parcourue par un courant contrôlé pour produire un champ magnétique). Le freinage résultant est particulièrement précis et silencieux [29]. Étant donné que ce sont essentiellement les axes de déplacement du MO qui ont besoin d'être pourvus de freins, cinq (5) à six (6) freins magnétiques ou électromagnétiques sont généralement requis pour assurer le positionnement optimal et la mise au point grossière du MO de chirurgie. Quant aux MO de consultation ou de formation/enseignement, les freins mécaniques dont ils sont dotés sont activables à l'aide des molettes associées (vis de blocage, vis de réglage de la souplesse de rotation des bras articulés du MO [22]. Il est à préciser qu'au niveau de la base du statif (dans le cas des MO sur statif de plancher mobile), les roulettes de guidage du statif sont munies de systèmes de blocage ou de patins d'immobilisation servant à sécuriser le système contre tout déplacement ou roulement inopiné [22].

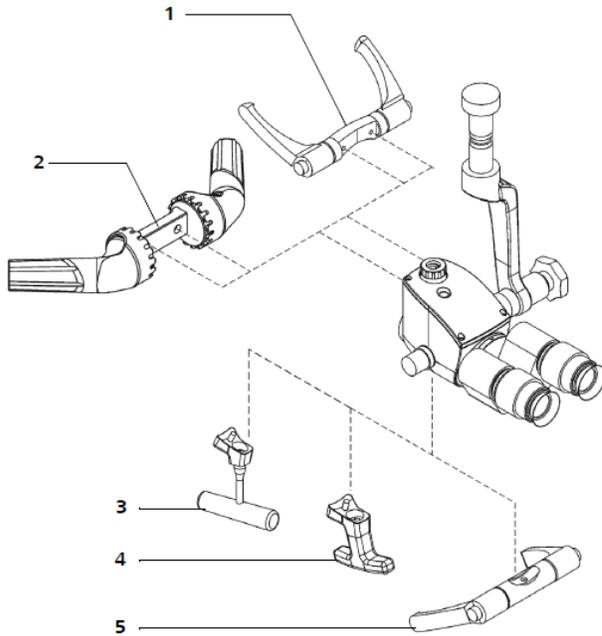
Par ailleurs, l'équilibrage du MO peut, lui aussi, être réalisé de façon manuelle ou motorisée. L'équilibrage manuel (généralement sur les MO de consultation/ ou de formation/enseignement) requiert des ajustements manuels à l'aide des molettes d'équilibrage situés sur le corps du microscope, tandis que l'équilibrage assisté par moteurs (requis pour les MO de chirurgie) s'effectue par l'activation de moteurs ajustant les tensions afin atteindre l'équilibrage, et ceci sur simple pression d'un bouton. Cependant, malgré le fait que l'équilibrage motorisé s'effectue de façon plus rapide, plus précise et sans effort, les deux solutions (motorisé et manuel) exigent tout de même des interventions du personnel soignant. Il s'agit essentiellement des manipulations de positionnement de la tête du microscope participant à l'atteinte de l'équilibrage désiré par l'utilisateur.

11.3.4 La partie accessoire

La partie accessoire des microscopes opératoires regroupe nombre d'accessoires et la pertinence de certains dépend essentiellement des applications visées. Parmi les accessoires les plus couramment utilisés, on retrouve les poignées, les surpoignées, les dispositifs de co-observation, les filtres de lumière, les manettes et pédaliers de commande ainsi que la housse de protection. On retrouve également les accessoires de système photo/vidéo généralement constitués du moniteur de visualisation, de la caméra photo/vidéo et de l'enregistreur numérique photo/vidéo. Les accessoires de support pour les ateliers de formation en microchirurgie tels que le système de capture vidéo de la performance des étudiants, eux, sont particulièrement utiles à l'enseignement et la formation en microchirurgie.

11.3.4.1 Les poignées

Qu'elles soient de type axial ou de type guidon, les poignées de microscopes opératoires interviennent principalement dans la mise au point grossière pour le positionnement aisé et en toute sécurité du MO en position de travail. Malgré le fait que les fournisseurs proposent plusieurs types/configurations de poignées pour chaque modèle de MO, il revient à l'utilisateur de bien identifier la paire de poignée la plus adaptée aux applications envisagées. La figure ci-après illustre diverses configurations de poignées disponibles sur les MO. On y distingue entre autres des poignées de confort, des poignées arrière complètes et des poignées avant complètes.



1- Poignée arrière complète; 2- Poignée de confort; 3- Poignée de confort en T; 4- Poignée en T complète; 5- Poignée avant complète

Figure 31 : Poignées de microscopes opératoires [21]

En outre, les MO peuvent être aussi équipés de poignées stérilisables (généralement en autoclave). Cette exigence de stérilisation s'avère essentielle pour les MO destinés à une utilisation à l'unité des grands brûlés, où le contrôle des infections est de haut niveau compte tenu de la condition des patients qui y sont traités. Et c'est également pour répondre à ce besoin tout en facilitant la tâche au personnel soignant, que des surpoignées stérilisables telles qu'illustrées sur la figure ci-après sont disponibles sur le marché.



Figure 32 : Surpoignées stérilisables pour microscopes opératoires [36]

11.3.4.2 Le dispositif de co-observation

Mis à part le dispositif d'observation de l'utilisateur principal abordé dans la section de la partie optique, deux dispositifs de co-observation pour assistant observateur sont généralement disponibles spécialement avec les MO de chirurgie. Il s'agit essentiellement du dispositif de co-observation latéral (à 90° de l'observateur principal), et du dispositif de co-observation face à face (à 180° de l'observateur principal).



Figure 33 : Dispositifs d'observation (gauche); de co-observation latéral (droite) [35]



Figure 34 : Dispositifs d'observation (gauche); de co-observation face à face (droite) [37]

La figure ci-après illustre les différentes composantes des systèmes d'observation de MO dans leur ensemble. Le tube binoculaire (droit (1), inclinable (2) ou repliable (3)) du système de co-observation est relié au statif du MO successivement par le module de coobservation stéréo (7) puis le séparateur optique assurant la séparation du faisceau optique entre le tube binoculaire de l'observateur principal, le tube binoculaire du premier assistant (co-observation face à face, le tube binoculaire du second assistant (co-observation latérale) et le système de caméra photo/vidéo.

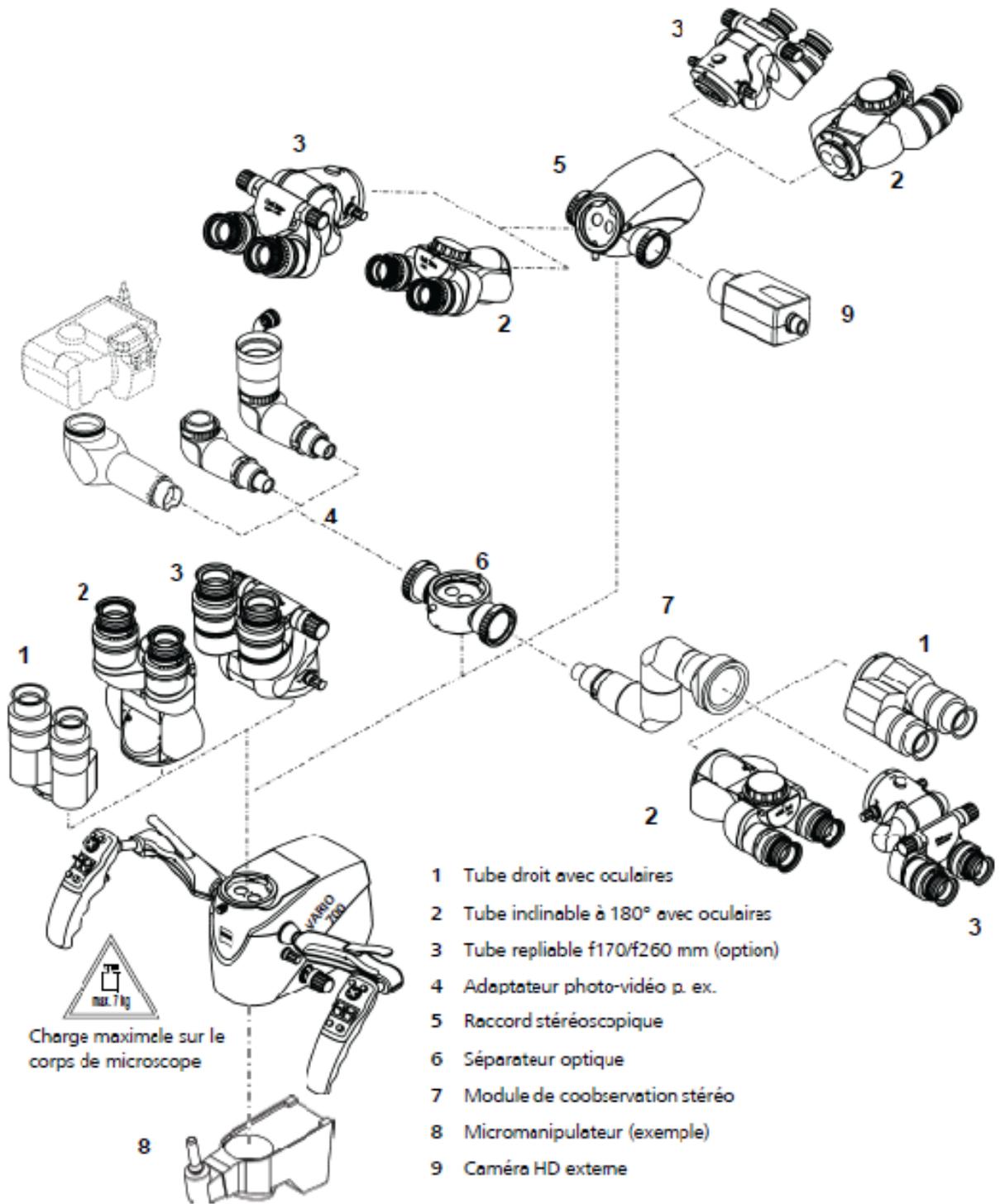


Figure 35 : Illustration du montage d'un dispositif de co-observation pour MO [6]

11.3.4.3 Les filtres de lumière

Les filtres de lumière sont généralement intercalés dans le trajet du faisceau lumineux, entre la source d'illumination et le site opératoire. On en retrouve principalement deux types sur les microscopes opératoires usuels: le filtre vert et le filtre orange.



Figure 36 : Filtres de lumière colorés [32]

Il est à noter qu'un filtre est une pièce optique, généralement une lame en verre à faces parallèles, dont le rôle est de modifier la nature de la lumière qui le traverse [32]. À vrai dire, les filtres de lumière, notamment ceux colorés, possèdent la propriété d'absorber une partie de la lumière, ce qui peut améliorer les observations du site opératoire. En effet, la lumière est une onde électromagnétique de différentes longueurs d'onde auxquelles l'œil associe des couleurs différentes. Les longueurs d'onde respectivement associées au bleu et au rouge étant d'environ 400nm et 700nm.

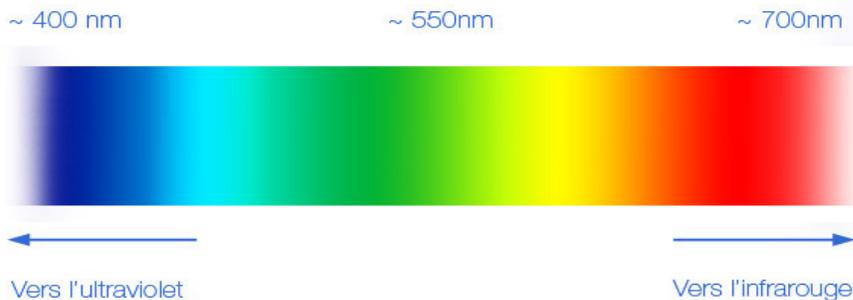


Figure 37 : Spectre de la lumière visible [33]

Dans ce contexte, le filtre coloré empêche le passage de la lumière de la couleur complémentaire à la couleur de sa teinte. Ainsi, le filtre vert coupe la lumière de couleur

violette, tandis que le filtre orange renforce les régions verdâtres. C'est ce qui explique notamment l'utilisation du filtre orange pour empêcher le durcissement prématuré des composites photo-polymérisables, et celle du filtre vert pour amplifier le contraste des tissus fortement vascularisés.

11.3.4.4 La housse de protection

Le microscope opératoire de chirurgie étant un équipement chirurgical, il doit de ce fait être maintenu stérile lors de son utilisation en salle d'opération. Et, c'est en partie, pour assurer son maintien en condition « stérile » que le microscope est recouvert d'une housse de protection stérile entre chaque intervention chirurgicale. De plus, à la fin de chaque journée opératoire, l'appareil est enveloppé dans un plastique hermétique ou un tissu contenant une quantité réglementaire de solution de stérilisation, ladite enveloppe et son contenu étant retirée le lendemain juste avant l'intervention chirurgicale. Ainsi le microscope opératoire reste stérile durant son utilisation car sa manipulation par le personnel se fait à distance grâce aux bras articulés [34].



Figure 38 : Housse de protection de microscope opératoire [35]

Il est important de préciser que pour chaque modèle de MO ou presque, il existe une housse de protection sur mesure. En effet, la forme, la configuration et les dimensions de la housse doivent être bien adaptées aux modèles de MO auxquels elle est destinée. Le respect de cette exigence évite nombre de désagréments tels la couverture incomplète du MO par la housse de protection entraînant une perte de stérilité du champ opératoire. La situation ainsi décrite peut s'avérer critique du point de vue du contrôle des infections dans le cadre des interventions chirurgicales.

Il est aussi à noter que des housses plus fines sont maintenant disponibles sur le marché, résultat des innovations de conception axées sur la commodité, et l'élimination des reflets tout en maintenant le champ stérile [36]. Par ailleurs, contrairement à certains modèles de MO fournis avec un certain type de housse de protection, d'autres modèles de MO peuvent disposer de la fonction de pose de housse automatique « AutoDrape ». Ce système d'évacuation de l'excès d'air du champ stérile peut s'avérer très utile lors de la préparation des interventions chirurgicales [6].

11.3.4.5 Accessoires de système photo/vidéo

Les accessoires de système photo/vidéo associés aux microscopes opératoires de consultation ou de formation/enseignement peuvent être de qualité commerciale. Par contre, les accessoires de système photo/vidéo associés aux microscopes opératoires de chirurgie doivent être de qualité chirurgicale et médicale, c'est-à-dire de conception conforme à une utilisation en environnement chirurgical. De ce fait, tout comme le microscope opératoire lui-même, ces accessoires de photo/vidéo sont destinés à être utilisés par un personnel médical qualifié.

11.3.4.5.1 Le moniteur de visualisation

Les microscopes opératoires, qu'il s'agisse de ceux de consultation ou de formation/enseignement ou de ceux de chirurgie, sont généralement couplés à des moniteurs de visualisation. Dans le cas des microscopes opératoires de consultation, les moniteurs de visualisation servent principalement à renseigner les patients. Les moniteurs de visualisation associés aux microscopes opératoires de formation/enseignement, eux, permettent essentiellement aux formateurs de suivre les manipulations des apprenants. Quant aux moniteurs de visualisation couplés aux microscopes opératoires de chirurgie, ils permettent aux membres de l'équipe médicale (spécialement les chirurgiens et les chirurgiens assistants) de pouvoir visualiser en grand format les structures critiques lors de l'intervention chirurgicale, afin de prendre les décisions appropriées.



Figure 39 : Moniteur de visualisation pour microscope opératoire [31]

En réalité, les moniteurs de qualité chirurgicale et médicale disposent d'une technologie avancée évitant la dégradation et la rémanence des images. Plus particulièrement, ces moniteurs incorporent une électronique de qualité de diffusion supérieure (à celle des moniteurs de grade commercial), permettant le traitement esthétique des flux vidéo. Il est à noter que les moniteurs de qualité chirurgicale et médicale sont calibrés depuis l'usine sur les normes médicales (DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)), de sécurité, de fiabilité, de performance et d'émissions. Ces exigences aident à garantir l'affichage cohérent des photos/vidéos médicales lors de leur visionnement sur ces types de moniteurs. Aussi, les moniteurs de qualité chirurgicale et médicale sont capables de reproduire le champ opératoire en affichant des images de chirurgie en mouvement avec une grande précision, en absence de rémanence, et, avec un temps de réponse incroyablement court. Il est également pertinent de préciser que, contrairement aux moniteurs de qualité commerciale, les moniteurs de qualité chirurgicale et médicale contribuent à éviter la contamination croisée grâce à des commutateurs à membrane scellée, des boîtiers en aluminium et des filtres de surface pour la protection du moniteur. De plus, ces boîtiers sont généralement dépourvus de ventilateurs ou

aérations afin de minimiser voir éliminer le risque déplacement/propagation des particules dans le champ stérile.

Les moniteurs de qualité chirurgicale et médicale sont réellement conçus pour les environnements chirurgicaux car ils rencontrent les initiatives de nettoyage, désinfection et stérilisation; les réglementations sur la sécurité médicale pour les dispositifs dans les salles d'opération; et les codes électriques hospitaliers et politiques de sécurité des patients.

Par ailleurs, plusieurs moniteurs de visualisation (de qualité commerciale pour les MO de consultation, et de qualité chirurgicale et commerciale pour les MO de chirurgie) sont disponibles sur le marché. Ils se distinguent essentiellement par leur taille (contrainte d'espace pour l'aménagement du local d'accueil), la définition de l'écran et la résolution d'affichage [33]. La figure ci-dessus illustre un moniteur de 32 pouces de grade chirurgical et médical utilisé avec un microscope opératoire de chirurgie.

11.3.4.5.2 La caméra photo/vidéo

La caméra photo/vidéo peut être intégrée ou non au microscope opératoire. Il est à noter que seuls certains modèles de microscopes opératoires offrent la possibilité d'être équipés soit de la caméra interne, soit de la caméra externe. En effet, la plupart des MO ne peuvent être équipés que d'un seul type de caméra (soit interne, soit externe). Par ailleurs, l'installation de la caméra photo/vidéo interne ou externe requiert l'utilisation d'un diviseur optique classique ou virtuel, permettant de partager le faisceau lumineux vers les sorties associées aux différents périphériques utilisés : une sortie vers le tube binoculaire principal; et les autres sorties vers la caméra photo/vidéo et les autres périphériques disponibles [15]. En réalité, la caméra photo/vidéo associée aux MO se compose généralement d'une ou de deux têtes de caméra, d'une unité de contrôle de la caméra et d'accessoires connexes dont la carte mémoire, et les câbles de caméra. L'utilisation de caméra compacte, à tête déportée et pilotable tel qu'illustré sur la figure ci-après présente l'avantage de pouvoir être insérée dans des espaces restreints. Il est aussi à noter que l'unité de contrôle de la caméra renferme le processeur, composante convertissant les signaux reçus du microscope en signaux vidéo affichables sur l'écran du moniteur. En outre, des adaptateurs pour têtes de caméra photo/vidéo tels les montures C sont requis pour le montage des caméras photo/vidéo externes sur les microscopes opératoires.



Figure 40 : Système de caméra numérique pour microscope opératoire [26]

Il est important de préciser que les microscopes opératoires de chirurgie requièrent des caméras photo/vidéo de qualité chirurgicale et médicale. En effet, les caméras de qualité chirurgicale et médicale réunissent plusieurs avantages tels la facilité d'utilisation et l'adaptation automatique de la luminosité de l'image sans surexposition de l'image à tout moment de l'opération chirurgicale. Ces avantages permettent l'obtention d'images et de vidéos nettes et précises du champ opératoire [35].

En ce qui a trait au mode fluorescence requis dans certaines spécialités chirurgicales telles la chirurgie plastique, il n'est malheureusement disponible qu'avec certains modèles de microscopes opératoires de chirurgie. En outre, le module de fluorescence peut nécessiter l'installation d'une caméra monochrome (illustrée à la figure ci-après) et de filtres de fluorescence compatibles avec le type d'observations.



Figure 41 : Caméra monochrome pour microscope opératoire [34]

11.3.4.5.3 L'enregistreur photo/vidéo numérique

L'enregistreur photo/vidéo numérique, comme son nom l'indique, enregistre les images fixes et les séquences vidéo provenant de sources médicales standard telles la caméra intégrée ou celle reliée par câble à la tête du microscope opératoire.



Figure 42 : Système d'enregistrement numérique pour microscope opératoire [28]

L'enregistrement des images fixes et des séquences vidéo s'effectue généralement sur une clé USB ou sur un disque dur externe accessible en réseau. Il s'agit d'un accessoire incontournable non seulement parce qu'il bénéficie directement à la pratique chirurgicale, mais également parce qu'il aide à l'enseignement lors de la formation des résidents, et contribue grandement à enrichir les conférences scientifiques. Il est à noter que l'enregistreur photo/vidéo utilisé avec les microscopes opératoires de chirurgie doit être de qualité médicale c'est-à-dire qu'il doit répondre aux exigences du milieu hospitalier. Ceci implique que l'enregistreur doit être contenu dans un boîtier métallique robuste, et que sa face avant doit être constituée d'un plastique résistant aux chocs, et d'une membrane résistante aux liquides physiologiques. Outre cela, l'équipement doit être conçu pour résister aux rigueurs de la salle d'opération tout en étant assez compact pour se loger sur tout chariot médical [29].

11.3.4.6 Accessoires de support des ateliers de formation en microchirurgie

L'utilisation de microscopes opératoires à des fins d'enseignement/formation en microchirurgie requiert l'acquisition d'accessoires supplémentaires pour supporter les ateliers de formation. À vrai dire, les accessoires de système photo/vidéo que sont la caméra photo/vidéo, le moniteur de visualisation ainsi que l'enregistreur associés au microscope

opérateur ne répond que partiellement aux besoins du volet de la formation et de l'enseignement de la microchirurgie. En réalité, ces accessoires ne permettent ni l'enregistrement et la visualisation des signaux vidéo de tous les microscopes de formation installés dans le laboratoire, ni le démarrage aisé des enregistrements de procédures à la convenance des chirurgiens formateurs. Le système de capture vidéo de la performance des étudiants, lui, répond à ces besoins. Par ailleurs, l'acquisition des microscopes opératoires se doit d'être coordonnée à celle de la technologie de capture vidéo, afin d'en assurer la compatibilité. En effet, l'analyse de la compatibilité du signal vidéo en sortie du microscope opératoire avec la solution de capture à déployer dans la salle de formation est requise.



Figure 43 : Encodeur HDMI pour la capture vidéo de la performance des étudiants [37]

En outre, il est important de préciser que l'utilisation de la même technologie de capture vidéo dans toutes les salles de formation/enseignement, s'il y en a plusieurs, permet de répondre de façon optimale au besoin commun d'observation et de rétroaction suite à la formation.

11.3.4.7 Dispositifs de contrôle du microscope opératoire

Les dispositifs de contrôle du microscope opératoire se résument essentiellement aux manettes de commande, au pédalier de commande ainsi qu'à la télécommande, ces accessoires étant des prolongements du panneau de commandes.

11.3.4.7.1 Les manettes de commande

Les MO de chirurgie munis de commandes de contrôle motorisées sont équipés de manettes de commande. Grâce à ces manettes de contrôle, une simple pression permet à l'opérateur

d'effectuer des réglages précis, d'enregistrer ses réglages préférentiels, ou encore d'activer individuellement un axe de déplacement ou un frein du microscope [37].



Figure 44 : Manette de commande de microscope opératoire [37]

11.3.4.7.2 La télécommande

La télécommande sert essentiellement à faire fonctionner la caméra photo/vidéo et l'enregistreur photo/vidéo associés au MO, et ceci, à partir de n'importe quel endroit dans la salle d'opération. La figure ci-après décrit quelques opérations réalisables à l'aide de la télécommande.

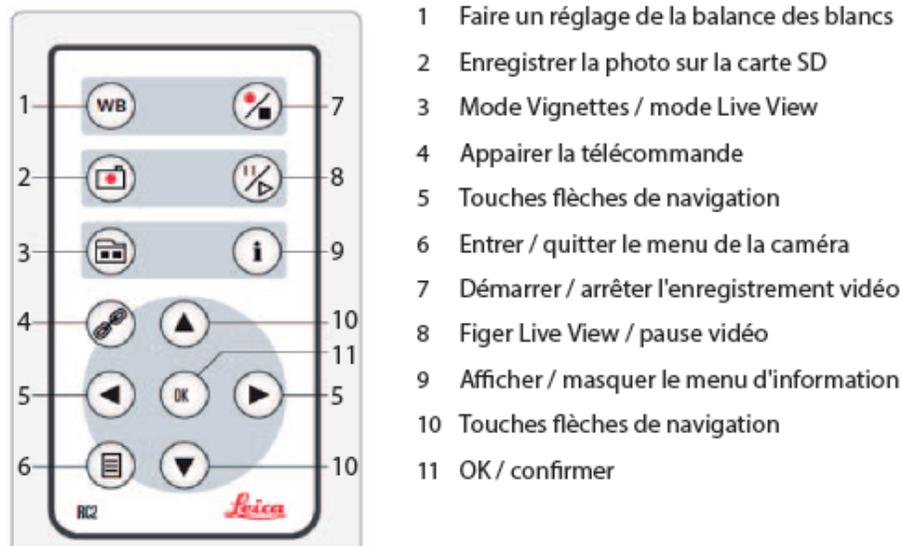


Figure 45 : Télécommande pour caméra et enregistreur de microscope opératoire [37]

11.3.4.7.3 Le pédalier de commande

Le pédalier de commande présente le principal avantage de permettre à l'opérateur, généralement le chirurgien, d'activer nombre de fonctions du MO tout en laissant ses mains libres pour l'accomplissement de l'acte opératoire proprement dit. De plus, le modèle sans fil répond de façon adéquate aux contraintes de l'environnement chirurgical en évitant que des câbles entravent les déplacements. [6]



Figure 46 : Pédalier de commande de microscope opératoire [6]

12 Recommandations

12.1 Acquisition de microscopes opératoires

Il paraît pertinent de clore ce rapport avec des recommandations spécialement adressées aux ingénieurs/physiciens biomédicaux et conseillers en technologies biomédicales, afin de leur permettre d'aborder et de mener à bien les dossiers d'acquisition de microscopes opératoires destinés à l'ORL, la chirurgie reconstructive et plastique, ainsi qu'aux laboratoires de formation en microchirurgie. Il est à noter que comme pour toute technologie médicale, l'acquisition de microscopes opératoires doit reposer sur une solide étude de marché et doit tenir compte non seulement des besoins des utilisateurs visés mais également des contraintes d'aménagement du local prévu à cet effet.

12.1.1 Déterminer le type de statif optimal

Le choix d'un type de statif donné dépend plus de la liberté de mouvements que cherche à obtenir le praticien que de la position opératoire elle-même [21]. En outre, l'aménagement du local d'utilisation du microscope opératoire, notamment l'encombrement du sol, la disponibilité de mur non vitré ou encore la disponibilité de plafond de solidité adéquate et de hauteur convenable influencent le choix du type de statif.

Il est important de préciser que tous les microscopes opératoires ne sont pas disponibles avec les trois (3) types de statifs les plus répandus. En effet, compte tenu de leurs poids relativement élevé, principalement dû aux fonctions motorisées dont ils disposent, la conception de microscopes opératoires de chirurgie sur statif mural ou plafonnier peut parfois s'en trouver limitée.

Par ailleurs, il revient à l'ingénieur/physicien biomédical d'informer les utilisateurs des avantages/inconvénients de chacun des trois principaux types de statifs de MO disponibles sur le marché (Confère **Annexe D**). Ainsi, sur la base de ces informations, et surtout en tenant compte des besoins d'utilisation de ces MO, les utilisateurs seront à même de prendre une décision éclairée quant au choix du type de statif optimal.

12.1.2 Planifier l'aménagement du local prévu à cet effet

Les besoins d'aménagement de la salle dans laquelle sera installé le MO sont principalement conditionnés par le type de statif choisi. Ainsi, le choix d'un MO sur statif de sol mobile nécessitera beaucoup moins de planifications d'aménagement que le choix d'un statif mural ou plafonnier.

À vrai dire, dans le cas des MO sur statifs de sol mobiles, il est recommandé de vérifier l'encombrement du sol (équipements et mobiliers installés dans la salle visée) afin de valider l'installation et le déploiement aisé et sécuritaire des bras du MO dans la zone de travail. Quant au poids du MO, pouvant aller de 100kg pour les MO de consultation à près de 350kg pour les MO de chirurgie, il doit être considéré par les ingénieurs mécaniques depuis la conception, pour garantir que le plancher de la salle soit en mesure de supporter le poids du microscope opératoire.

Par ailleurs, les cas de statifs mural ou plafonnier sont les plus exigeants en termes de requis d'aménagement nécessitant de ce fait une planification un peu plus complexe. Tout d'abord, il est primordial que les ingénieurs effectuant la conception du bâtiment abritant le local prévu à cet effet valident et confirment que le mur ou le plafond sur lequel sera ancré le MO possède non seulement l'épaisseur requise mais est également en mesure de supporter la charge associée. Ensuite, un atelier de démarrage regroupant le représentant du fournisseur de MO, les usagers, le chargé de projet PGBM ainsi que le chargé de projet de construction est essentiel pour adapter les besoins cliniques des utilisateurs aux contraintes de construction (par exemple la présence d'une colonne à Xcm de la zone de travail ou celle de panneaux radiants à Xcm au-dessus de la zone de travail), et valider la faisabilité de l'ancrage mural ou plafonnier. Par la suite, des échanges réguliers devront s'effectuer entre le représentant du fournisseur, le chargé de projet PGBM, les usagers et le chargé de projet de construction afin de finaliser la conception (déterminer les points d'ancrage mural ou plafonnier, déterminer la position optimale du moniteur de visualisation), recueillir les commentaires des uns et des autres afin de réajuster le tir à temps. Finalement, afin d'assurer la bonne fonctionnalité du microscope, il est recommandé de considérer les paramètres suivants lors de la détermination du point d'ancrage pour statif plafonnier de microscope opératoire : la position de travail du MO; la position d'immobilisation du MO; la situation/position de l'assistant; l'entrée et la sortie du patient; les connections électriques et celles mécaniques (drain, évacuation d'air pour

hottes) lorsque applicable; la position optimale du moniteur de visualisation et la position des autres équipements présents dans la salle visée. L'Annexe E présente les différentes étapes du processus d'acquisition de microscopes opératoires.

12.1.3 Déterminer la combinaison optimale des composantes optiques

Les performances optiques de l'objectif déterminent plus que toute autre composante, la qualité d'image résultant du microscope. De ce fait, le choix des objectifs du microscope opératoire s'avère d'une importance capitale. En effet, les usagers cliniques doivent impérativement spécifier la plage de grossissement total leur permettant d'observer les structures d'intérêt de leur spécialité chirurgicale, de même que leur distance de travail courante. Et c'est partant de ces informations que l'ingénieur/physicien biomédical pourra déterminer la combinaison d'oculaire (10x ou 12,5x) et de grossissement d'objectifs permettant de couvrir optimalement cette plage. À titre d'exemple, un praticien en clinique d'ORL exigeant un microscope opératoire offrant une plage de grossissement total allant de 3,4x à 16x à une distance de travail optimale de 250mm peut être comblé avec un MO dont le système optique couvre la plage de grossissement 3,4x à 21,3x avec un oculaire 12,5x ou encore un MO de système optique couvrant la plage de grossissement 2,5x à 16x avec un oculaire 10x.

12.1.4 Identifier le type de source lumineuse optimal [37]

Pour identifier la source lumineuse optimale pour l'utilisation prévue du microscope opératoire, il est nécessaire de tenir compte des paramètres suivants :

- ✓ la (ou les) spécialité(s) médicale(s) qui feront usage du microscope;
- ✓ la durée de vie moyenne du type de source lumineuse;
- ✓ l'efficacité/performance du type de source lumineuse;
- ✓ le coût d'acquisition et d'entretien (maintenance et remplacement) du type de source lumineuse sur la durée de vie du microscope opératoire;
- ✓ l'impact du type de source lumineuse sur l'environnement.

Lorsque plusieurs microscopes opératoires sont installés dans un même local, pour une utilisation simultanée et régulière (cas des microscopes opératoires de consultation dans les laboratoires de formation en microchirurgie), il est recommandé d'opter pour des sources

lumineuses DEL essentiellement à cause de la forte chaleur dégagée par les sources lumineuses conventionnelles.

Il est aussi à noter que tous les microscopes opératoires disponibles sur le marché n'offrent pas systématiquement tous les choix de types d'illumination possibles. Par conséquent, il faut commencer par déterminer les spécifications techniques du microscope opératoire à acquérir en fonction des besoins de la spécialité chirurgicale principalement visée. Il faut ensuite analyser les avantages/inconvénients des types de sources lumineuses disponibles (confère section sur la partie électrique) afin d'effectuer le choix optimal.

12.1.5 Identifier les dispositifs d'observation et de co-observation adéquats

L'acquisition des MO nécessite le choix d'un type de tube binoculaire destiné aux dispositifs d'observation et de co-observation, de même que le choix d'une configuration donnée de dispositifs de co-observation. Ces choix dépendent entièrement de la spécialité chirurgicale visée de même que des procédures et applications à réaliser avec les microscopes opératoires recherchés. En réalité, l'ORL exige généralement des tubes binoculaires inclinables de 0° à 180°, alors que la Plastie et la Reconstruction sont en mesure de se contenter de tubes binoculaires inclinables de seulement 30° à 150°. En outre, les applications d'ORL requièrent le dispositif de co-observation latéral (situé à 90° du dispositif d'observation de l'observateur principal), tandis que les applications de chirurgie plastique et reconstructive nécessitent plutôt le dispositif de co-observation face à face (situé à 180° du dispositif d'observation de l'observateur principal).

12.1.6 Choisir les dispositifs de commande du microscope opératoire

Le choix des supports de commandes des microscopes opératoires dépend non seulement des préférences des usagers cliniques, mais est également tributaire des options disponibles avec le modèle de MO satisfaisant aux exigences d'utilisation.

En réalité, les manettes de commande et les pédaliers de commande ne sont ni disponibles, ni requises pour les microscopes opératoires de consultation ou de formation/enseignement. Les utilisateurs doivent se contenter d'utiliser les molettes de réglages situés sur la tête du MO. Il est à noter que, malgré le fait que les manettes de commande et les pédaliers de commande sont proposés avec la quasi-totalité des modèles de microscopes opératoires de chirurgie

disponibles sur le marché actuel, certains praticiens préfèrent ne pas utiliser les pédales, et ce pour des raisons de préférences personnelles. Les usagers cliniques doivent donc être adéquatement informés par l'ingénieur/physicien ou le conseiller en technologies biomédicales afin d'être en mesure de prendre une décision éclairée à ce sujet.

Par ailleurs, les accessoires de système vidéo à savoir la caméra et l'enregistreur numérique, qu'ils soient associés à un MO de consultation ou de formation/enseignement ou encore à un MO de chirurgie, sont généralement contrôlables à l'aide d'une télécommande.

12.1.7 Choisir les accessoires requis pour l'utilisation envisagée

Les fournisseurs/manufacturiers de microscopes opératoires proposent nombre d'accessoires dont certains sont plus pertinents que d'autres dans un contexte donné.

En ce qui a trait au choix des accessoires photo/vidéo, il est important de garder à l'idée que la définition de la caméra (SD, HD ou UHD) doit s'arrimer avec le choix des autres accessoires de système vidéo à connecter à la caméra. Ainsi, une caméra de définition HD mérite d'être associée à un moniteur HD ainsi qu'un enregistreur vidéo HD pour avoir des données (images fixes, séquences vidéo) de définition HD au niveau de tous les accessoires, assurant ainsi un fonctionnement harmonieux de l'ensemble du système vidéo. Aussi, dans la majorité des cas, le fournisseur/manufacturier de microscopes opératoires propose pour chaque modèle de MO donné une gamme d'accessoires de système photo/vidéo de bonne performance.

Quant à la housse de protection du microscope opératoire, il s'agit d'un accessoire indispensable à l'utilisation de MO en milieu hospitalier. Il est donc à inclure impérativement.

En ce qui concerne les autres types d'accessoires à savoir les poignées, les surpoignées, les filtres de lumière, ainsi que les accessoires de commande (manette et pédalier), il est recommandé de tenir essentiellement compte des préférences des usagers cliniques.

12.2 Maintenance des microscopes opératoires

À l'instar des autres dispositifs médicaux, les microscopes opératoires doivent faire l'objet d'une maintenance préventive périodique ainsi que d'une maintenance corrective en cas de bris. Il en va de l'utilisation optimale et sécuritaire des équipements biomédicaux sur leur durée de vie utile. Il est à noter que les microscopes opératoires disponibles sur le marché actuel peuvent être opérationnels sur une durée de vie de vingt (20) ans à condition qu'ils

soient maintenus en bon état de fonctionnement. Toutefois, la durée de vie des accessoires photo/vidéo à savoir la caméra photo/vidéo, l'enregistreur vidéo et le moniteur de visualisation est de seulement dix (10) ans. Il en résulte que les accessoires photo/vidéo associés à un microscope opératoire donné doivent être remplacés à la moitié de la durée de vie du MO lui-même, pour assurer l'utilisation optimale de l'ensemble du système. Et, puisqu'il s'agit généralement de systèmes modulaires, les nouveaux accessoires s'intègrent sans difficultés aux systèmes existants.

L'**Annexe F** décrit les opérations de maintenance préventive que nécessitent les microscopes opératoires. Quant aux opérations de maintenance corrective, elles dépendent spécifiquement du type de bris présenté.

13 Tendances et perspectives technologiques

13.1 La révolution de la technologie médicale 3D

La technologie médicale 3D initialement mise au service de l'imagerie échographique et de la chirurgie endoscopique depuis quelques années seulement révolutionne également la microscopie chirurgicale ainsi que l'enseignement et la formation en microchirurgie.

En effet, pour répondre aux besoins de la microscopie chirurgicale, les caméras vidéo médicales 3D ultra HD permettent de capturer les images 3D en provenance du microscope opératoire. Ces images peuvent ensuite être visualisées par les praticiens sur les moniteurs 3D ultra HD de qualité chirurgicale et médicale. Les praticiens peuvent aussi stocker les images sur l'enregistreur 3D HD ou les partager via un support amovible ou un serveur réseau à des fins de consultation ou de formation [55].

En ce qui a trait aux besoins de l'enseignement et de la formation en microchirurgie, il peut être possible de visualiser des images chirurgicales en direct à distance dans une salle de consultation ou de formation sur des écrans 3D de qualité commerciale (non médicale), ou via divers projecteurs 3D adaptés à toutes les salles. Les apprenants, les formateurs ainsi que les conférenciers peuvent désormais passer en revue des enregistrements vidéo de procédures chirurgicales.

Somme toute, la combinaison d'une caméra 3D, d'un moniteur 3D ainsi que d'un enregistreur 3D rend possible l'acquisition, l'affichage, le stockage et le partage d'images médicales de qualité inégalée par les systèmes conventionnels 2D [56].

13.2 Le repoussement de limites de l'optique

Rappelons que le système optique des microscopes opératoires est basé sur le principe de la stéréo microscopie. Cette dernière permet permettant la visualisation de microstructures à l'aide de deux trajets de faisceaux séparés correspondant en réalité à l'extension des deux yeux de l'observateur. Par ailleurs, les concepteurs d'optiques de microscopes travaillent depuis plus d'un siècle à repousser les limites des paramètres de qualité d'optique que sont le grossissement, la profondeur de champ de visualisation, et la résolution d'image.

Le compromis entre la résolution et la profondeur de champ de visualisation étant l'un des principaux défis à relever, la technologie révolutionnaire « Fusion Optics » étudiée depuis près d'une décennie s'est finalement concrétisée par la mise en marché en 2015 de microscopes opératoires sophistiqués dotés de ladite technologie. Il s'agit spécifiquement du microscope opératoire d'ophtalmologie Leica Proveo 8 et du microscope opératoire de neurochirurgie et de plastie Leica M530OH6 [57]. L'incorporation de cette technologie aux nouveaux microscopes opératoires d'ORL, de chirurgie plastique et reconstructive et d'autres spécialités chirurgicales s'annonce donc si l'on se fie à ce que les innovations technologiques sont d'abord lancés sur les équipements les plus sophistiqués et plus dispendieux, puis progressivement intégrés aux équipements moins sophistiqués.

À vrai dire, la technologie « Fusion Optics » combine haute résolution d'image et profondeur de champ optimale pour la formation d'images 3D idéales, repoussant ainsi les limites de la visualisation conventionnelle associée aux microscopes opératoires.

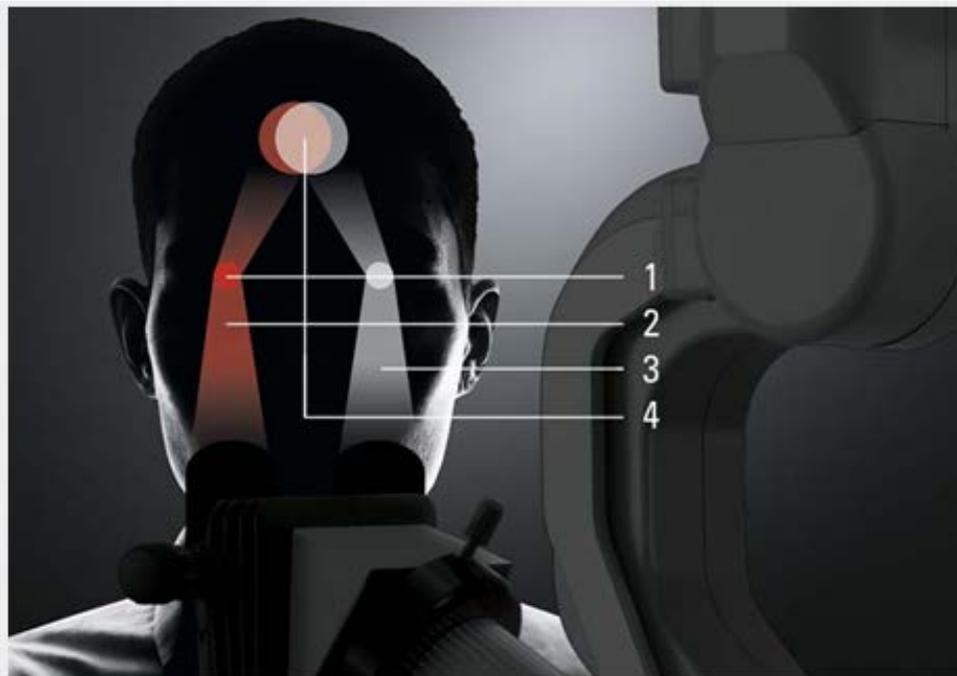


Figure 47 : Illustration du principe de la technologie « Fusion Optics »

Ainsi, tel qu'illustré à la figure ci-dessus, la technologie « Fusion Optics » se décrit comme suit : Les faisceaux lumineux permettant la reconstitution de l'image parviennent à l'œil de l'observateur en suivant deux trajets de faisceaux séparés (1). L'un des deux trajets de

faisceaux fournit la profondeur de champ de vision (2). L'autre trajet de faisceaux fournit la haute résolution (3). Finalement, le cerveau fusionne les deux images à savoir celle fournissant l'information de profondeur de champ d'une part, puis celle fournissant l'information de résolution d'autre part, de sorte à former une seule image spatiale optimale [58]. Et, grâce à cette combinaison simultanée de la profondeur de champ maximale et de la haute résolution, les microscopes opératoires peuvent désormais être dotés d'une optique de meilleure qualité, les chirurgiens peuvent observer les microstructures d'intérêt avec nettement plus de détails, et les patients peuvent bénéficier de meilleurs soins.

13.3 L'amélioration de l'ergonomie pour plus de performances

L'ergonomie des microscopes opératoires est d'une importance capitale puisqu'il paraît évident qu'une posture confortable du chirurgien ainsi que de ses assistants participe grandement à les garder concentrés et très précis dans leurs gestes. C'est probablement l'une des raisons pour lesquelles les exigences des chirurgiens sont donc devenues de plus en plus rigoureuses en matière d'ergonomie intelligente ces dernières années.

Certaines innovations en matière d'ergonomie des microscopes opératoires concernent spécifiquement la distance de travail des chirurgiens et visent essentiellement à leur permettre de manipuler aisément les grands instruments dont ils se servent dans le champ opératoire. D'autres innovations concernent la compacité des supports optiques des microscopes opératoires. En effet, les chirurgiens exigent des supports optiques des microscopes optiques le plus compact possible, facilitant davantage leur rapprochement vers le site opératoire lors des interventions chirurgicales délicates. Des innovations en cours de conception tentent d'améliorer grandement la posture des chirurgiens assistants arrière lors d'interventions chirurgicales en rendant possible la visualisation optimale à travers la mise au point d'optique indépendante de celle du chirurgien principal [58].

14 Conclusion

L'objectif de ce rapport de projet de maîtrise était de réaliser un guide d'acquisition de microscopes opératoires spécifiquement destinés aux cliniques ORL, aux services de chirurgie ORL, de chirurgie plastique, de chirurgie reconstructive, ainsi qu'à ceux utilisés dans les laboratoires de formation/enseignement en microchirurgie.

Pour rencontrer ce mandat, il a d'abord été question d'introduire le contexte d'utilisation des microscopes en général, des microscopes dédiés à une utilisation en milieu hospitalier pour aboutir en dernier lieu aux microscopes opératoires. Une fois le contexte placé, le cadre du CHUM, centre hospitalier dans lequel ce projet a été réalisé dans son entièreté, a été présenté à travers son service de physiques et génie biomédical ainsi que les divers services/départements de soins ou d'enseignement bénéficiant de microscopes opératoires. Puis, il a été question d'étude de marché en abordant le volet commercial, l'aspect réglementaire et en s'attardant sur le volet technique. Ce dernier a permis de distinguer clairement les microscopes opératoires de consultation /formation /enseignement des microscopes opératoires de chirurgie plus sophistiqués. Chacune des parties abordées ont permis de déboucher sur des recommandations pertinentes en ce qui a trait à l'acquisition de microscopes opératoires.

Toutefois, le présent guide d'acquisition devra être tenu à jour pour refléter le plus possible les améliorations et innovations technologiques introduites sur le marché des microscopes opératoires.

En continuité avec mon mandat, il serait très intéressant que d'autres projets de maîtrise en génie biomédical (option génie clinique) se penchent sur l'élaboration de guide d'acquisition des microscopes opératoires destinés aux spécialités chirurgicales non abordées de façon spécifique dans le présent mandat. Il s'agit essentiellement de la neurochirurgie, de l'ophtalmologie de la gynécologie et de l'urologie. Ces guides d'acquisition seront d'une grande utilité aux ingénieurs/physiciens biomédicaux et conseillers en technologiques dans le cadre de leurs projets d'acquisition de ces équipements.

15 Annexes

15.1 Annexe A

Départements hospitaliers	Services hospitaliers	Description
Laboratoires cliniques	Hématologie	Analyse des cellules sanguines d'origine hématopoïétique
	Cytologie	Analyse des cellules isolées
	Pathologie	Analyse des cellules/tissus/fluides physiologiques pour étudier les maladies et leurs effets (lésions, troubles)
	Cytogénétique	Analyse des chromosomes
	Histologie	Analyse des tissus biologiques
	Microbiologie	Analyse des microorganismes et de leurs activités
Cliniques externes	Odontologie/Dentisterie	Diagnostic et traitement* des maladies affectant les dents
	Dermatologie	Diagnostic et traitement* des maladies de la peau, des phanères (cheveux, ongles), et des muqueuses
	Gynécologie	Diagnostic et traitement* des pathologies affectant l'organe génital de la femme
	ORL	Diagnostic et traitement* des troubles du nez, de la gorge, de l'oreille, et de la région tête et cou
	Ophtalmologie	Diagnostic et traitement* des maladies affectant les yeux

Chirurgie	Dentaire	Traitement chirurgical** des affections des structures dentaires
	Neurologie	Traitement chirurgical** des affections des nerveuses
	ORL	Traitement chirurgical** des affections du nez, de la gorge, de l'oreille et de la région tête et cou
	Ophthalmologie	Traitement chirurgical** des affections des structures oculaires
	Plastie, Reconstruction	Réparation/remodelage** de la structure tégumentaire ou de la forme du corps humain
	Gynécologie	Traitement chirurgical** des troubles et affections du système génital de la femme
	Urologie	Traitement chirurgical** des troubles et affections du système urinaire de l'homme et de la femme, ainsi que ceux du système génital de l'homme

Tableau 5 : Départements et services hospitaliers utilisant des microscopes

* : Les traitements effectués en clinique externes sont qualifiés de « mineurs » et le passage du patient à l'hôpital dure moins de vingt-quatre (24) heures.

** : Les traitements chirurgicaux au bloc opératoire ne sont pas des traitements mineurs comme en clinique externes, l'hospitalisation des patients est souvent requise.

15.2 Annexe B

Type de microscope	Variantes	Particularités
OPTIQUE	Optique classique	Illumination de l'objet par-dessous
	Optique inversée	Illumination de l'objet par-dessus
	Stéréo-microscope	Visualisation de deux images par œil
	Lumière directe (Champ clair, Champ noir, Lumière polarisée)	Exploitation de l'absorption de certaines longueurs d'ondes de la lumière
	Fluorescence	Exploitation de l'émission de la lumière à une longueur d'onde différente
	Contraste (Contraste de phase, Contraste interférentiel)	Exploitation du déphasage des différents rayons lumineux
ÉLECTRONIQUE	À transmission	Transmission image par faisceau d'électrons
	À balayage (À effet tunnel, À effet de champ)	Production d'images par sondage de l'échantillon

Tableau 6 : Variantes des microscopes du milieu hospitalier et de la recherche biomédicale

15.3 Annexe C

Manufacturiers	Carl Zeiss	Leica Microsystems	Mitaka Kohki
Consultation ORL	OPMI 1FC	M300	N/A
& Formation en microchirurgie	OPMI PICO	M320 F12	
	OPMI MOVENA		
Chirurgie ORL	OPMI Sensera	M400 E	N/A
	OPMI Pentero 900	M525 F20/F40/F50	
	OPMI VARIO S88	M525 OH4	
	OPMI VARIO 700	M720 OH5	
Chirurgie Plastique	OPMI VARIO S88	M525 F40/F50	MM51
& Reconstructive	OPMI VARIO 700	M525 OH4	
		M720 OH5	

Tableau 7 : Portrait du marché québécois des microscopes opératoires

15.4 Annexe D

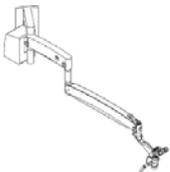
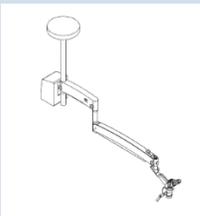
	Avantages	Inconvénients
<p>Statif de plancher</p> 	<p>Mobile, facilement déplaçable</p> <p>Idéal pour les salles partagées</p>	<p>Encombrant car le pied se trouve près du praticien</p> <p>Risques de dommages lors du déplacement</p> <p>Fragilisation des bras support due à une mobilisation excessive</p>
<p>Statif mural</p> 	<p>Libération de l'espace au sol</p> <p>Compatibilité avec l'utilisation de scialyrique</p>	<p>Restriction du passage du côté du mur où il est positionné</p> <p>Nécessite la disponibilité de mur sans fenêtres</p> <p>Réservées aux salles dédiées</p> <p>Prise en compte dans la conception structurale du mur</p>
<p>Statif plafonnier</p> 	<p>Disponibilité d'une grande liberté de mouvement</p> <p>Libération de l'espace au sol</p> <p>Préférence des praticiens</p>	<p>Nécessité d'un vrai-plafond car faux-plafond non adapté</p> <p>Réservées aux salles dédiées</p> <p>Prise en compte dans la conception structurale du plafond</p>

Tableau 8 : Avantages et inconvénients des statifs de plancher, mural, et plafonnier

15.5 Annexe E

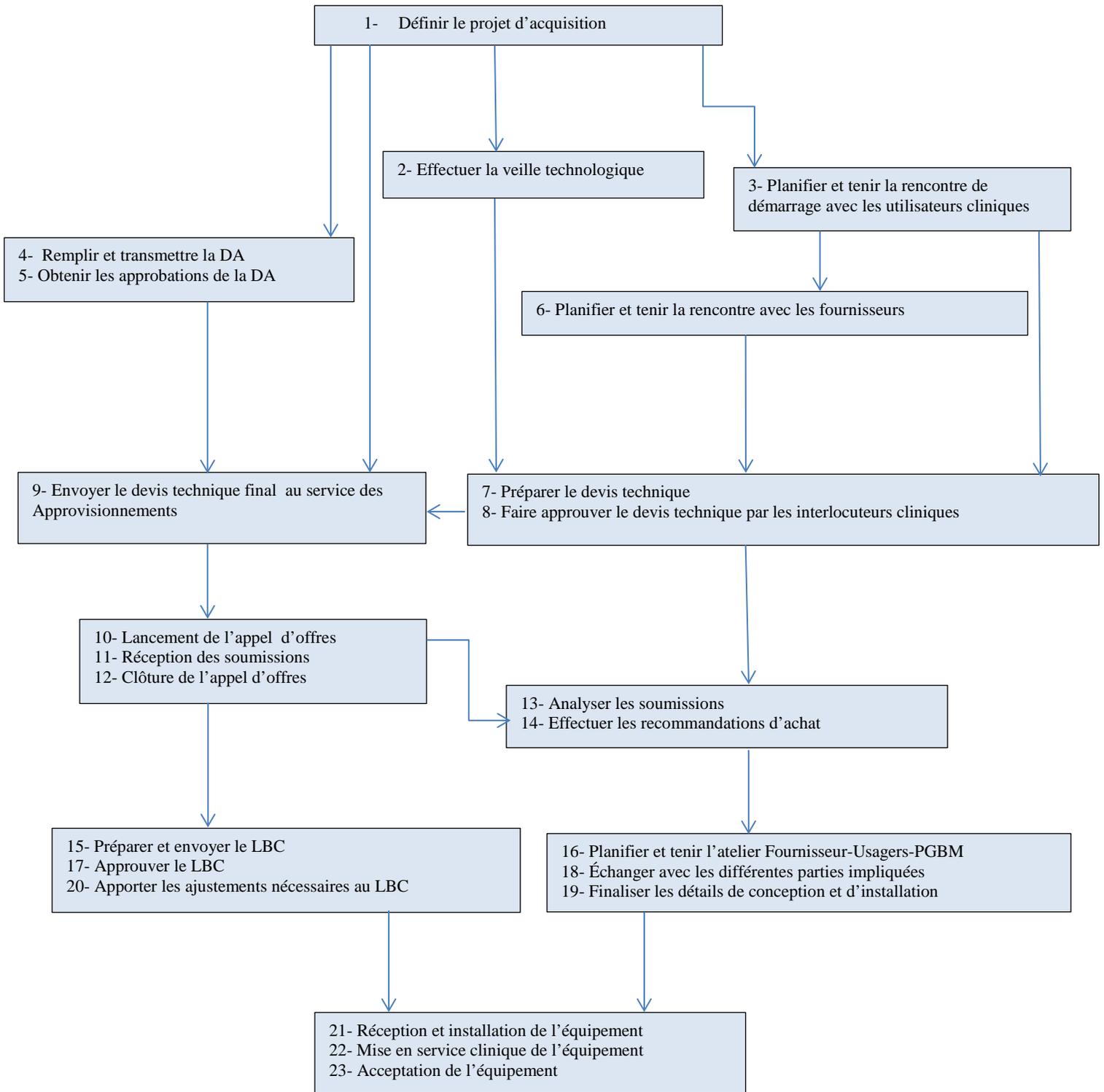


Figure 48 : Diagramme du processus d'acquisition de microscopes opératoires

15.6 Annexe F

Sous-parties du MO	Opérations de maintenance préventive requises
Statif	Nettoyage, contrôle des mouvements de mise au point mécaniques et électriques; Réglage et graissage éventuel des jeux fonctionnels (équilibrage des bras, dureté des mouvements); Contrôle de l'alimentation électrique, des cordons électriques, du passage des câbles.
Corps du stéréoscope zoom	Démontage de l'appareil (capot, tubes porte oculaires); Réglage et graissage éventuel des jeux fonctionnels (molettes, zoom ...); Contrôle des mouvements mécaniques et électriques du zoom et de mise au point.
Tubes d'observation de la tête	Nettoyage et contrôle des lentilles et des prismes sans démontage interne; Graissage éventuel des bagues hélicoïdales; Contrôle des écarts inter-pupillaires et de l'alignement des trajets optiques (convergence); Réglage de la parfocalité (hauteur des tubes); Nettoyage et contrôle des têtes d'observation auxiliaires.
Oculaires	Contrôle et nettoyage des lentilles, réticules et bonnettes; Contrôle du bon serrage des lentilles; Vérification et réglage des corrections dioptriques.

Éclairage	<p>Nettoyage du boîtier du système d'illumination et contrôle de l'état et des bonnes caractéristiques des lampes;</p> <p>Contrôle du mécanisme de lampe de secours;</p> <p>Contrôle des contacts du support et centrage éventuel du filament.</p>
Boîtier de télécommande (pédale)	<p>Contrôle et nettoyage des boutons et pédales de fonctionnement;</p> <p>Vérification des mécanismes motorisés;</p> <p>Contrôle des cordons de télécommande.</p>
Contrôle final	<p>Alignement entre les sous-ensembles;</p> <p>Centrages et réglages sauf décalage anormal;</p> <p>Contrôle visuel sur échantillon.</p>

Tableau 9 : Description des opérations d'entretien ou de réparation des MO [46]

15.7 Annexe G

	Microscope opératoire de consultation	Microscope opératoire de formation/enseignement	Microscope opératoire de chirurgie
Lieux d'utilisation*	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salles d'examen et de traitement en clinique ORL ▪ Salles d'interventions mineures en clinique d'ORL 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salles de dissection en clinique d'ORL ▪ Laboratoires de formation/enseignement de microchirurgie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salle d'intervention de chirurgie ORL au bloc opératoire ▪ Salle d'intervention de chirurgie plastique au bloc opératoire ▪ Salle d'intervention de chirurgie reconstructive à l'unité de grands brûlés
Codes UMDNS (ECRI Institute)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 18293 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 18292 ▪ 18293 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 12538 ▪ 12539 ▪ 18291
Classe de DM (Santé Canada)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Classe I de niveau de risque potentiel associé à l'utilisation (donc homologation de Santé Canada <u>non requise</u>) 		
Partie mécanique			
Conception générale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tête de microscope retenu par un bras articulé supporté par un statif 		
Bras articulé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bras porteur & bras compensé 		
Statif	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Statif de sol mobile (sur roulettes) ▪ Statif à ancrage mural ▪ Statif à ancrage plafonnier 		
Poids du système	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100kg – 120kg 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 225kg – 350kg ▪
Mécanisme d'immobilisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Friction mécanique 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freinage magnétique ▪ Freinage électromagnétique

Partie électrique		
Requis électrique du système	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 100–240 V CA ($\pm 10\%$), 50/60 Hz 	
Source d'illumination	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lampe au xénon ▪ Lampe halogène ▪ Ampoule LED 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lampe au xénon
Partie optique		
Configuration du tube binoculaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Droit ▪ Incliné à un angle fixe (45 °, ou autre) ▪ Inclinable de 30° à 150° ▪ Inclinable de 0° à 180° 	
Puissance de l'oculaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8,33x ▪ 10x ▪ 12,5x 	
Supports de contrôle du microscope	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur les objectifs ou sur le corps du microscope 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur la manette de commande ▪ Sur le pédalier de commande
Dispositif d'ajustement du grossissement total	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manuel à l'aide des molettes de réglage associées 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatique via le bouton associé à la fonction zoom
Mécanisme d'ajustement de grossissement total	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Par incréments discrets (échelons) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Continu sur la plage disponible
Dispositif de mise au point	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manuel à l'aide des molettes de réglage associées 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatique via le bouton associé à la fonction focus
Ajustement de la vitesse de mise au point	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non ajustable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ajustable

Partie accessoire			
Accessoires du système photo/vidéo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caméra photo/vidéo ▪ Moniteur de visualisation ▪ Enregistreur numérique 		
Filtres de couleur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtre bleu ▪ Filtre vert ▪ Filtre orange 		
Technologie de fluorescence	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non requis 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponible sur certains modèles uniquement
Dispositif de co-observation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non requis 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Co-observation latérale (90°) ▪ Co-observation face à face (180°)
Système photo/vidéo de fluorescence	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non requis 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caméra monochrome
Accessoire de capture photo/vidéo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non requis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Système de capture photo/vidéo de la performance des étudiants 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non requis
Coût d'acquisition	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 40 000 \$ - 50 000 \$** 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 150 000\$ - 450 000\$**

Tableau 10 : Caractéristiques communes et distinctives des microscopes opératoires

* Ces lieux d'utilisation tiennent essentiellement compte des départements/services hospitaliers traités dans ce rapport

** Ces prix incluent ceux des accessoires

16 Références bibliographiques

- [1] Dictionnaire de français Larousse, «Microscope (de micro- et télescope),» [En ligne]. Available: <http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/microscope/70164>. [Accès le 19 03 2015].
- [2] Leica Microsystems, «Microscopes droits polarisants Leica DM4 P, DM2700 P & DM750 P,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/microscopie-optique/informations-detaillees/product/leica-dm4-p/>. [Accès le 20 09 2015].
- [3] Leica Microsystems, «Microscopes droits pour l'analyse des matériaux Leica DM4 M & DM6 M,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/microscopie-optique/industriel-et-materiaux/microscopes-droits/informations-detaillees/product/leica-dm6-m/>. [Accès le 22 09 2015].
- [4] ECRI Institute, «Microscopes, Light, Laboratory,» 2015.
- [5] ECRI Institute, «Microscopes, Electron, Transmission,» 2015.
- [6] J. Harlé, «Fiche technique, Les microscopes optiques et électroniques,» ND. [En ligne]. Available: http://lycee-etienne-oehmichen.fr/contenu/discipline/svt/01_Pour_Observation2/Les_types_de_microscopes.pdf. [Accès le 30 01 2015].
- [7] Université Nice Sophia Antipolis, 2006-2007. [En ligne]. Available: <http://physique.unice.fr/sem6/2006-2007/PagesWeb/Crhea1/page2.html>. [Accès le 16 11 2015].
- [8] Carl Zeiss Meditec, «documentations techniques, Opmi Vario 700 from Zeiss,» 2016. [En ligne]. Available: http://www.zeiss.com/meditec/en_de/products---solutions/spine-surgery/surgical-microscopes/opmi-vario-700.html. [Accès le 15 12 2015].
- [9] Carl Zeiss Meditec, «solutions/dentistry/dental-microscopes/opmi-pico.html,» 2016.
- [10] CHUM, «Un leader en santé intégré dans son milieu de vie, Rapport annuel 2014-2015,» CHUM, Montréal, 2015.
- [11] CHUM, «Pourquoi choisir le CHUM,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.chumontreal.qc.ca/carrieres/pourquoi-choisir-le-chum/nouveau-chum>. [Accès le 25 02 2016].
- [12] D. Santé, «L'oto-rhino-laryngologiste, spécialiste du nez, des oreilles et de la voix,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.doctissimo.fr/html/sante/medecins-specialistes/oto-rhino-laryngologiste-orkl.htm>. [Accès le 19 05 2015].
- [13] C. Serval, «P5 / E2 Formation théorique Niveau IV / Sphère ORL et plongée,» 2013. [En ligne]. Available: <http://slideplayer.fr/slide/1327057/>. [Accès le 07 02 2016].
- [14] Association d'oto-rhino-laryngologie et de chirurgie cervico-faciale du Québec, «Qu'est-ce que l'ORL,» 2016. [En ligne]. Available: <http://orklquebec.org/a-propos-de-lorkl/quest-ce-que-lorkl/>. [Accès le 14 04 2015].
- [15] W. R. & M. M. Berger, «Les brûlures: de l'ébouillement à l'électrisation – définitions et traitement,» 2006. [En ligne]. Available: <http://medicalforum.ch/docs/smf/archiv/fr/2006/2006-10/2006-10-534.pdf>. [Accès le 23 03 2016].
- [16] Le Figaro.fr, «Grands brûlés : le défi de la peau de remplacement,» 2011. [En ligne]. Available: <http://sante.lefigaro.fr/actualite/2011/09/11/16293-grands-brules-defi-peau-remplacement>. [Accès le 13 06 2015].
- [17] Leica Microsystems, «Très performant en microchirurgie Leica M525 F50,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/microscope-operatoire/orkl/informations-detaillees/product/leica-m525-f50/>. [Accès le 13 07 2015].
- [18] Académie de Grenoble, «Microscopie optique théorique et appliquée aux sciences biomédicales,» 2 Novembre 2009. [En ligne]. Available: http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/sti-biotechnologies/file/Microscopie_optique/MICROSCOPIE_OPTIQUE_THEORIQUE_ET_APPLIQUEE_2009.pdf. [Accès le 26 Avril 2016].
- [19] Perfex, «Notions et notices, Le microscope en général,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.perfex.fr/la-microscopie.php>. [Accès le 26 Avril 2016].
- [20] Observatoire de Paris, «Diaphragmes de champ et d'ouverture: Apprendre,» N/D. [En ligne]. Available: https://media4.obspm.fr/public/FSU/pages_rayon/diaphragmes-apprendre.html. [Accès le 25 Avril 2016].
- [21] Futura Sciences, «Distance focale,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/physique-distance-focale-977/>. [Accès le 25 Avril 2016].
- [22] MPDOC, «Instruments d'optique,» 2013. [En ligne]. Available: <http://jflemen.iutlan.univ-rennes1.fr/OPTGEO/Formul/inst.htm>. [Accès le 26 Avril 2016].
- [23] Nanjing FoiNoe Co., Ltd., «documentations techniques, Microscope opératoire (Microscope de bloc opératoire FN-OM),» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.foimed.fr/1-6-1-operating-microscope.html>. [Accès le 03 02 2016].
- [24] Labo Mediqua, «Introduction à la microscopie par Frithjof A. S. Sterrenburg,» Septembre 2002. [En ligne]. Available: <http://www.labomediqua.ch/microscope/geomop.htm>. [Accès le 26 Avril 2016].

- [25] NaturOptic, «Aide aux choix d'un microscope,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.naturoptic.com/comment-choisir/microscopes/microscope.php#>. [Accès le 26 Avril 2016].
- [26] Herve Klein Microscopie, «L'objectif,» N/D. [En ligne]. Available: <http://kleinmicroscopie.sopixi.fr/files/objectif-fiche-technique.pdf>. [Accès le 26 11 2015].
- [27] Leica Microsystems, «documentations techniques, Milieux d'immersion pour objectifs,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/objectifs/etiquetage-des-objectifs/milieu-dimmersion/>. [Accès le 07 01 2016].
- [28] S. Iskander, «Intérêts des aides optiques en chirurgie dentaire: Analyse d'un questionnaire,» Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, 2015.
- [29] Société d'Astronomie du nord vaudois - SANV, «ABC d'Astro Pratique,» 2015. [En ligne]. Available: http://www.astro-sanv.com/download/ABC_oculaires.pdf. [Accès le 26 Avril 2016].
- [30] Optique Ingénieur OPI, «Grossissement des systèmes optique focaux visuels (Loupes, oculaires, microscopes...),» N/D. [En ligne]. Available: http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M03_C01/co/Contenu_45.html. [Accès le 26 Avril 2016].
- [31] Leica Microsystems, «Leica M320 pour l'ORL,» 2015. [En ligne]. Available: https://www.leica-microsystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20M320%20F12%20for%20ENT/Brochures/Leica_M320_ENT_fr.pdf. [Accès le 02 08 2015].
- [32] Le Naturaliste, «Formules mathématiques d'optique appliquées aux (stéréo)microscopes,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.lenaturaliste.net/portail/articles-des-membres/5-techniques-diverses/41-formules-mathematiques-doptique-appliquee-aux-stereomicroscopes>. [Accès le 25 Avril 2016].
- [33] A. f. d. l. Jean-Pierre Gavériaux, «Le microscope optique en lichenologie et en mycologie,» 2016. [En ligne]. Available: http://www.afl-lichenologie.fr/Afl/Microscopie/Microscope_descript_01.htm. [Accès le 25 Avril 2016].
- [34] Mountain Heights Academy OpenCourseWare, «Zoom vs focal length,» 2011. [En ligne]. Available: <http://openhighschoolcourses.org/mod/book/tool/print/index.php?id=1616>. [Accès le 26 Avril 2016].
- [35] D. Jons, «MANUAL LENSES for Industrial CCTV Cameras (continued),» [En ligne]. Available: <http://www.doktorjon.co.uk/Technical-lenses/lenses10.html>. [Accès le 20 03 2016].
- [36] Carl Zeiss, «documentations techniques, OPMI Vario/S88 System Expand your vision,» 2002.
- [37] Carl Zeiss, «documentations techniques, Caractéristiques techniques de l'appareil Opmi Vario,» Edition 5.3.
- [38] M. Gwilherm, «Le microscope opératoire: Applications en endodontie non chirurgicale,» Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire, Université de Nantes, Nantes, 2006.
- [39] ECRI Institute, «Microscopes, Operating,» 2014.
- [40] Carl Zeiss Meditec, «Manuel d'utilisation du microscope Opmi Pico,» 2015.
- [41] L. Garet, «Mise en place du guide des bonnes pratiques de l'ingénierie biomédicale & Procédures d'achat en établissement de santé,» Rapport de stage de Master 2 Technologies et Territoires de santé, Université de technologie Compiègne, Compiègne, 2013.
- [42] F. -. Sciences, «Ampoule halogène,» [En ligne]. Available: <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-ampoule-halogene-6964/>. [Accès le 14 03 2016].
- [43] TCS Technique, «Phares au Xénon et à la LED,» 2008. [En ligne]. Available: file:///C:/Users/Admin/Downloads/3185_02-phares-xenon-led.pdf. [Accès le 06 01 2016].
- [44] Lunea Groupe, «Xénon XBO R180W/45 OFR OSRAM,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.lunea-groupe.fr/microscope-operatoire/5499-xenon-xbo-r180w45-ofr-osram.html>. [Accès le 10 03 2016].
- [45] Lunea Groupe, «Ampoule halogène focalisée pour microscope opératoire,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.lunea-groupe.fr/microscope-operatoire/4829-ampoule-halogene-focalisee-pour-microscope-operatoire.html>. [Accès le 10 03 2016].
- [46] Oscaro, «Ampoule Xénon,» 2016. [En ligne]. Available: <https://pieces-auto.oscaro.com/ampoule-xenon-10010-g>. [Accès le 14 03 2016].
- [47] Mitaka Kohki, «documentations techniques, MM51 Microscope on YOH stand by Mitaka Kohki,» N/D.
- [48] Leica Microsystems, «documentations technique, Leica M525 F50,» Suisse - Heerbrugg, 2012.
- [49] [En ligne]. Available: <http://www.declifitness.com/choisir-velo-elliptique.fr,8,17.cfm>.
- [50] Lunea Groupe, «Paires de surpoignées stérilisables,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.lunea-groupe.fr/microscope-operatoire/5353-paire-de-surpoignees-sterilisables.html>. [Accès le 10 03 2016].
- [51] Carl Zeiss, «documentations techniques, Le système OPMI Sensera/S7 sous les feux de la rampe,» 2002.

- [52] Carl Zeiss, «OPMI VARIO 700 Multidisciplinary,» ND. [En ligne]. Available: http://www.zeiss.com/meditec/en_us/products---solutions/spine-surgery/surgical-microscopes/opmi-vario-700.html. [Accès le 24 03 2016].
- [53] P. Sogorb, «Les filtres en astronomie,» 2000. [En ligne]. Available: http://clubastronomie.free.fr/astrophoto/filtres_en_astronomie.htm.
- [54] A. Frich, «Guide de la gestion des couleurs,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.guide-gestion-des-couleurs.com/les-couleurs.html>. [Accès le 18 01 2016].
- [55] Ophtalmo sans frontières, «Petit précis de chirurgie ophtalmologique,» ND. [En ligne]. Available: <http://www.opht-sans-frontieres.org/Resources/faschir.pdf>. [Accès le 06 02 2016].
- [56] Leica Microsystems, «Microscopes opératoires ORL,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/microscope-operatoire/orl/>. [Accès le 05 01 2016].
- [57] XSanatec Medical, «Housses pour microscopes,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.x-sanatec.com/fr/produits/drapage/housses-pour-microscopes-1/d/detail/microscopes-zeiss>. [Accès le 10 03 2016].
- [58] Panasonic, «documentations techniques, A compact, powerful imaging solution for medical, surgical and scientific applications,» 2013. [En ligne]. Available: ftp://ftp.panasonic.com/medicalimaging/gp-us932x/gpus932x_brochure.pdf. [Accès le 09 10 2015].
- [59] Steris, 2012. [En ligne]. Available: <http://www.steris-healthcare.fr/medias/docs/45663bccd40f7e849b9c4f4a0fb20d2ee7437249.pdf>. [Accès le 18 03 2016].
- [60] Sony, «documentations techniques, PMW-10MD Full HD Medical grade camera system,» 2009. [En ligne]. Available: [https://pro.sony.com/bbsc/assetDownloadController/ME-PMW-10MD.pdf?path=Asset%20Hierarchy\\$Professional\\$SEL-yf-generic-153704\\$SEL-yf-generic-154228SEL-asset-160091.pdf&id=StepID\\$SEL-asset-160091\\$original&dimension=original](https://pro.sony.com/bbsc/assetDownloadController/ME-PMW-10MD.pdf?path=Asset%20Hierarchy$Professional$SEL-yf-generic-153704$SEL-yf-generic-154228SEL-asset-160091.pdf&id=StepID$SEL-asset-160091$original&dimension=original). [Accès le 11 10 2015].
- [61] Leica Microsystems, «Nouvelle norme pour la technologie des caméras médicales Leica HD C100,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/microscope-operatoire/documentation/informations-detaillees/product/leica-hd-c100/>. [Accès le 16 01 2016].
- [62] JAI, «documentations techniques, TM-770 / TM-775 NIR / TM-773 NIR Monochrome Interlaced Scan CCD,» 2012.
- [63] Med-X-Change, «documentations techniques, Evolution HD,» 2016. [En ligne]. Available: <http://medxchange.com/project/evolutionhd/>. [Accès le 25 01 2016].
- [64] MediCapture, «documentations techniques, MediCapture USB 300,» 2013. [En ligne]. Available: http://www.medicapture.com/img/download/usb300/usb300_data_sheet_french.pdf. [Accès le 03 10 2015].
- [65] Amazon.ca, «TBS@2216 H.264 HD HDMI Encoder for IPTV device, Live Stream Broadcast, HDMI Video Card, Hotel TV system, Teaching/Campus Broadcast, Replace HD Video Capture Card, Video Conference, Recording System, NVR,» 2016. [En ligne]. Available: https://www.amazon.ca/TBS%C2%AE2216-Broadcast-Teaching-Conference-Recording/dp/B00WJX5XOY/177-0041524-1313117?ie=UTF8&*Version*=1&*entries*=0. [Accès le 16 03 2016].
- [66] Leica Microsystems, «Brochure du microscope Leica M320 F12 Ent,» 2010.
- [67] Leclairage.fr, «Source et lampe: Théorie,» 2016. [En ligne]. Available: <http://leclairage.fr/th-sources-et-lampes/>. [Accès le 24 09 2016].
- [68] Leica Science Lab, «3D Visualization in ENT Surgery - Interview with Prof. Erwin Offeciers, European Institute for ORL-HNS,» Mars 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/science-lab/surgical-microscopy/3d-visualization-in-ent-surgery/>. [Accès le 30 Mars 2016].
- [69] Sony France, «La 3D au service des applications médicales d'aujourd'hui,» 2016. [En ligne]. Available: <https://www.sony.fr/pro/article/medical-3d-today-medical-applications>. [Accès le 17 02 2016].
- [70] Leica Science Lab, «FusionOptics – Combines high resolution and depth of field for ideal 3D optical Images,» Avril 2008. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/science-lab/fusionoptics-combines-high-resolution-and-depth-of-field-for-ideal-3d-optical-images/>. [Accès le 04 02 2016].
- [71] Leica Microsystems, «documentations techniques, Stay Focused Neurosurgery Microscope Leica M530 OH6,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.leica-microsystems.com/products/surgical-microscopes/neurosurgery-spine/details/product/leica-m530-oh6/>. [Accès le 29 Mars 2016].
- [72] Claude Gonon Microscopie, «Description des opérations d'entretien ou de réparation d'un microscope opératoire, réalisé par Claude Gonon Microscopie,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.gonon-microscopie.fr/equipements-r%C3%A9vis%C3%A9s/maintenance-et-r%C3%A9paration-microscope-op%C3%A9ratoire/>. [Accès le 10 03 2016].
- [73] Leica Microsystems, «objectifs/etiquetage-des-objectifs/milieu-dimmersion/,» 2016.
- [74] Panasonic, «Brochure Panasonic GP-US932X series,» 2013. [En ligne].
- [75] Microscopies.com, «Le microscope photonique en transmission,» 2013. [En ligne]. Available:

<http://www.microscopies.com/DOSSIERS/Microscopies/PHOTONIQUE/Le%20Microscope/MTCcompose%20.htm>.
[Accès le 13 12 2015].

- [76] CNET, «SD, HD, Ultra HD, 4K, 8K: comprendre les définitions des TV,» ND. [En ligne]. Available: <http://www.cnetfrance.fr/produits/sd-hd-ultra-hd-4k-8k-comprendre-les-definitions-des-tv-39786402.htm> . [Accès le 10 02 2016].
- [77] Leica Microsystems, «documentations techniques, Leica M720 OH5,» 2013. [En ligne]. Available: https://www.leica-microsystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20M720%20OH5/Brochures/Leica_M720_OH5_brochure_en.pdf.
[Accès le 15 09 2015].
- [78] Les numériques, «La distance focale : 28, 35, 200 mm ?,» 2007. [En ligne]. Available: <http://www.lesnumeriques.com/objectif/objectifs-appareil-photo-comprendre-caracteristiques-a396/la-distance-focale-28-35-200-mm-ap381.html>. [Accès le 19 03 2016].