

Table des matières

Avant-propos	i
Chapitre 1 - Le MEB conventionnel	1
1. Les éléments constitutifs du MEB conventionnel	1
2. La production des électrons	3
2.1 L'émission des électrons.....	3
2.2 Les caractéristiques des canons à électrons.....	5
3. Eléments d'optique électronique	6
3.1 Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique	6
3.2 Les lentilles électromagnétiques.....	9
3.2.1 Structure d'une lentille électromagnétique	9
3.2.2 Trajectoire électronique dans une lentille magnétique	11
3.3 Les défauts des lentilles électromagnétiques	13
3.3.1 L'aberration de sphéricité	13
3.3.2 L'aberration chromatique	14
3.3.3 L'aberration de diffraction	14
3.3.4 L'aberration d'astigmatisme.....	15
3.3.5 Effet répulsif et aberration de charge d'espace.....	16
3.4 La colonne électronique conventionnelle	17
3.4.1 Le facteur de réduction de la colonne.....	17
3.4.2 Le diamètre réel de sonde.....	18
4. La détection des signaux	20
4.1 Les paramètres du volume d'interaction.....	20
4.1.1 Influence de l'énergie des électrons primaires sur le volume d'interaction	22
4.1.2 Influence de la nature de la cible sur le volume d'interaction	23
4.2 Les caractéristiques des électrons émis	23
4.2.1 Les électrons rétrodiffusés.....	24
4.2.2 Les électrons secondaires	28
4.3 Les moyens de détection.....	31
4.3.1 La détection des électrons secondaires	31
4.3.1.1 Les éléments constitutifs du détecteur Everhart et Thornley	31
4.3.1.2 La grille.....	32
4.3.1.3 Le scintillateur.....	32
4.3.1.4 Le guide de lumière	33
4.3.1.5 Le photomultiplicateur	33
4.3.1.6 Le rendement de la chaîne de détection	33
4.3.1.7 Le positionnement de ce détecteur.....	34
4.3.2 La détection des électrons rétrodiffusés.....	34

B Table des matières

4.3.2.1 Les détecteurs à semi conducteur	34
4.3.2.2 Les détecteurs à scintillateur	37
4.3.3 Le détecteur à électrons absorbés	37
4.3.4 Le détecteur à rayons X.....	38
5. A propos des images	39
5.1 Formation des images	39
5.2 Les paramètres de l'image.....	40
5.2.1 Grandissement	40
5.2.2 Résolution spatiale.....	42
5.2.3 Profondeur de champ	43
5.2.4 Rapport Signal sur Bruit	47
5.2.5 Intensité et diamètre de sonde	48
6. Les limitations du MEB-C	51
6.1 Nature de l'échantillon	51
6.2 Les dégâts d'irradiation	53
Conclusion	53
Chapitre 2 - Le MEB-EG.....	55
1. Que peut-on faire avec un MEB-EG ?	55
2. Quelles différences avec le MEB-C ?	61
2.1. La colonne du MEB-EG	61
2.1.1. Les différents régimes d'écoulement.....	61
2.1.2 La conductance	62
2.1.3 Cas particulier de la colonne d'un MEB-EG	64
2.2 L'environnement gazeux	66
2.2.1 Unités de pression.....	66
2.2.2 Comportement du gaz dans la chambre du MEB-EG	66
2.2.2.1 Rappel sur les changements d'état des corps purs.....	66
2.2.2.2 Le gaz dans la chambre du MEB-EG	69
2.3 Un plasma au voisinage de l'échantillon	80
3. Les interactions dans la chambre du MEB-EG	84
3.1 L'interaction électron-matière en mode vide poussé	84
3.2 L'interaction électron primaire-gaz	84
4. Les stratégies de détection sous environnement gazeux	87
4.1 Utilisation des électrons rétrodiffusés	88
4.2 Détection de type pseudo-secondaire	90
4.2.1 Détection des électrons secondaires environnementaux.....	90
4.2.1.1 Principe de fonctionnement	90
4.2.1.2 Constitution et positionnement du détecteur.....	92
4.2.2 Détection liée à la présence des ions dans le gaz résiduel.....	95
4.2.2.1 Principe de fonctionnement	95
4.2.2.2 Constitution et positionnement du détecteur.....	96
4.2.3 Détection des photons émis lors de l'interaction électron-gaz résiduel.....	98
4.2.3.1 Principe de fonctionnement	98
4.2.3.2 Constitution et positionnement du détecteur.....	98
4.2.4 Autres procédés de détection	100

4.3 Les paramètres de l'image en MEB-EG	101
4.3.1 Effet de la pression sur la résolution.....	101
4.3.2 Effet de la pression avec le détecteur d'électrons rétrodiffusés	102
4.3.3 Effet de la pression avec les détecteurs de pseudo-secondaire	103
4.3.4 Contraste particulier dans le MEB-EG	104
5. Comportement du faisceau des électrons dans le gaz	105
5.1 Introduction.....	105
5.2 Équations de base gouvernant le transfert du flux d'électrons	105
5.3 Les sections efficaces d'interaction	108
5.3.1 Gaz monoatomique.....	109
5.3.2 Gaz moléculaire.....	111
5.4 Fraction Non diffusée des électrons (FND).....	114
5.5 Les régimes de diffusion.....	115
5.6 Distribution des électrons à la surface : Rayon du skirt R_s	117
5.7 Effet du skirt pour l'expérimentateur.....	118
5.7.1 Effet sur l'imagerie	118
5.7.2 Effet sur la microanalyse X	120
6. La microanalyse X dans un MEB-EG.....	122
6.1 Le skirt	123
6.1.1 Origine du phénomène	123
6.1.2 Les conséquences pratiques de l'élargissement de faisceau	124
6.1.3 Les solutions pour limiter l'élargissement du faisceau	125
6.1.3.1 Tension d'accélération.....	125
6.1.3.2 Nature du gaz.....	126
6.1.3.3 Pression du gaz	126
6.1.3.4 Distance parcourue dans le gaz	126
6.2 La contribution atmosphérique.....	127
6.2.1 Origine du phénomène	127
6.2.2 Les conséquences pratiques de la contribution atmosphérique	127
6.2.3 Les solutions pour limiter la contribution atmosphérique	128
6.2.3.1 Nature du gaz.....	128
6.2.3.2 Pression du gaz	128
6.2.3.3 Tension d'accélération.....	129
6.3 L'effet d'absorption	129
6.3.1 Origine du phénomène	129
6.3.2 Les conséquences pratiques de l'effet d'absorption.....	129
6.3.3 Les solutions pour limiter l'effet d'absorption	130
6.4 Bilan et solutions pour limiter les différents effets	132
6.5 Les méthodes de correction	133
6.5.1 La méthode par arrêt du faisceau	134
6.5.2 La méthode par variation de pression	135
Conclusion	137
Chapitre 3 - Cas pratiques en MEB-EG.....	139
1. Comportement du faisceau en fonction de la pression.....	139
1.1. À partir du nombre moyen d'interaction m	139

D Table des matières

1.1.1. Cas de l'air	140
1.1.2 Cas de la vapeur d'eau	142
1.1.3 Cas de l'hélium	145
1.2 À partir de la fraction non diffusée des électrons (FND)	148
1.2.1 Cas de l'air	148
1.2.2. Cas de la vapeur d'eau	151
1.2.3 Cas de l'hélium	154
1.3 À partir du rayon du skirt des électrons	157
1.3.1 Cas de l'air	157
1.3.2 Cas de la vapeur d'eau	160
1.3.3 Cas de l'hélium	162
2. Comportement du faisceau en fonction de l'énergie	165
2.1 À partir du nombre moyen d'interaction m	165
2.1.1 Cas de l'air	165
2.1.2 Cas de la vapeur d'eau	168
2.1.3 Cas de l'hélium	171
2.2 À partir de la fraction non diffusée des électrons (FND)	174
2.2.1 Cas de l'air	174
2.2.2 Cas de la vapeur d'eau	177
2.2.3 Cas de l'hélium	181
2.3 À partir du rayon du skirt des électrons	185
2.3.1 Cas de l'air	185
2.3.2 Cas de la vapeur d'eau	187
2.3.3 Cas de l'hélium	189
3. Comportement du faisceau en fonction de D_{gaz}	192
3.1 À partir du nombre moyen d'interaction m	192
3.2 À partir de la fraction non diffusée des électrons (FND)	195
3.3 À partir du rayon du skirt des électrons	198
4. Application	199
Conclusion	206
Bibliographie	209
Annexes	213
Annexe 1. A partir du nombre moyen de collision m	214
Annexe 2. A partir de la fraction non diffusée des électrons (FND)	218
Annexe 3. A partir du rayon du skirt des électrons	222
Index	227