

Année: 2021

Thèse N°: 62

Gradient de contamination particul a ire l ors du deshabil l age apres intervention dans un environnement covid-19

THESE

Présentée et soutenue publiquement le : / /2021

PAR

Monsieur Abdessamad KARROUM

Né le 29 Juin 1996 à Demnate

De L'Ecole Royale du Service de Santé Militaire - Rabat

Pour l'Obtention du Diplôme de

Docteur en Pharmacie

Mots Clés : Comptage particulaire; EPI; Déshabillage; Contamination

Membres du Jury :

Monsieur Abdelilah TARIB

Professeur de Pharmacie Clinique

Monsieur Soufiane DERRAJI

Professeur de Pharmacie Clinique

Monsieur Amine IDRIS LAHLOU

Professeur de Microbiologie

Monsieur Sidi-Yassir EL ALAOUI

Professeur de Pharmacie Galénique

Président

Rapporteur

Juge

Juge

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ أَمْرِ رَبِّي وَمَا
أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا

سورة الإسراء: الآية: 85

سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت
العليم الحكيم

سورة البقرة: الآية: 31

بِسْمِ اللَّهِ
الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
RABAT**

DOYENS HONORAIRES :

1962 - 1969: Professeur Abdelmalek FARAJ
1969 - 1974: Professeur Abdellatif BERBICH
1974 - 1981: Professeur Bachir LAZRAK
1981 - 1989: Professeur Taieb CHKILI
1989 - 1997: Professeur Mohamed Tahar ALAOUI
1997 - 2003: Professeur Abdelmajid BELMAHI 2003
- 2013: Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI

ADMINISTRATION :

Doyen :

Professeur Mohamed ADNAOUI

Vice-Doyen chargé des Affaires Académiques et estudiantines

Professeur Brahim LEKEHAL

Vice-Doyen chargé de la Recherche et de la Coopération

Professeur Taoufiq DAKKA

Vice-Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la Pharmacie

Professeur Younes RAHALI

Secrétaire Général

Mr. Mohamed KARRA

*Enseignant militaire

1 - ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS ET PHARMACIENS

PROFESSEURS DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR :

Décembre 1984

Pr. MAAOUNI Abdelaziz

Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi

Pr. SETTAF Abdellatif

Médecine Interne - Clinique Royale

Anesthésie - Réanimation

Pathologie Chirurgicale

Décembre 1989

Pr. ADNAOUI Mohamed

Pr. OUZZANI Taïbi Mohamed Réda

Médecine Interne - Doyen de la FMPR

Neurologie

Janvier et Novembre 1990

Pr. KHARBACH Aïcha

Pr. TAZI Saoud Anas

Gynécologie - Obstétrique

Anesthésie Réanimation

Février Avril Juillet et Décembre 1991

Pr. AZZOUZI Abderrahim

Pr. BAYAHIA Rabéa

Pr. BELKOUCHI Abdelkader

Pr. BENSOUA Yahia

Pr. BERRAHO Amina

Pr. BEZAD Rachid

Pr. CHERRAH Yahia

Pr. CHOKAIRI Omar

Pr. KHATTAB Mohamed

Pr. SOULAYMANI Rachida

Pr. TAOUFIK Jamal

Anesthésie Réanimation

Néphrologie

Chirurgie Générale

Pharmacie galénique

Ophthalmologie

Gynécologie Obstétrique Méd. Chef Maternité des Orangers

Pharmacologie

Histologie Embryologie

Pédiatrie

Pharmacologie- Dir. du Centre National PV Rabat

Chimie thérapeutique

Décembre 1992

Pr. AHALLAT Mohamed

Pr. BENSOUA Adil

Pr. CHAHED OUZZANI Laaziza

Pr. CHRAIBI Chafiq

Pr. EL OUAHABI Abdessamad

Pr. FELLAT Rokaya

Pr. JIDDANE Mohamed

Pr. ZOUHDI Mimoun

Chirurgie Générale Doyen de FMPT

Anesthésie Réanimation

Gastro-Entérologie

Gynécologie Obstétrique

Neurochirurgie

Cardiologie

Anatomie

Microbiologie

Mars 1994

Pr. BENJAAFAR Nouredine

Pr. BEN RAIS Nozha

Pr. CAOUI Malika

Pr. CHRAIBI Abdelmjid

Pr. EL AMRANI Sabah

Pr. ERROUGANI Abdelkader

Pr. ESSAKALI Malika

Pr. ETTAYEBI Fouad

Pr. IFRINE Lahssan

Pr. RHRAB Brahim

Pr. SENOUCI Karima

Radiothérapie

Biophysique

Biophysique

Endocrinologie et Maladies Métaboliques Doyen de la FMPA

Gynécologie Obstétrique

Chirurgie Générale - Directeur du CHUIS

Immunologie

Chirurgie Pédiatrique

Chirurgie Générale

Gynécologie - Obstétrique

Dermatologie

Mars 1994

Pr. ABBAR Mohamed*

Pr. BENTAHILA Abdelali

Pr. BERRADA Mohamed Saleh

Pr. CHERKAOUI Lalla Ouafae

Pr. LAKHDAR Amina

Pr. MOUANE Nezha

Urologie Inspecteur du SSM

Pédiatrie

Traumatologie - Orthopédie

Ophthalmologie

Gynécologie Obstétrique

Pédiatrie

Mars 1995

*Enseignant militaire

Pr. ABOUQUAL Redouane
Pr. AMRAOUI Mohamed
Pr. BAIDADA Abdelaziz
Pr. BARGACH Samir
Pr. EL MESNAOUI Abbes
Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila
Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed
Pr. OUAZZANI CHAHDI Bahia
Pr. SEFIANI Abdelaziz
Pr. ZEGGWAGH Amine Ali

Décembre 1996

Pr. BELKACEM Rachid
Pr. BOULANOVAR Abdelkrim
Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan
Pr. GAOUZI Ahmed
Pr. OUZEDDOUN Naima
Pr. ZBIR EL Mehdi*

Novembre 1997

Pr. ALAMI Mohamed Hassan
Pr. BIROUK Nazha
Pr. FELLAT Nadia
Pr. KADDOURI Noureddine
Pr. KOUTANI Abdellatif
Pr. LAHLOU Mohamed Khalid
Pr. MAHRAOUI CHAFIQ
Pr. TOUFIQ Jallal
Pr. YOUSFI MALKI Mounia

Novembre 1998

Pr. BENOMAR ALI
Pr. BOUGTAB Abdesslam
Pr. ER RIHANI Hassan
Pr. BENKIRANE Majid*

Janvier 2000

Pr. ABID Ahmed*
Pr. AIT OUAMAR Hassan
Pr. BENJELLOUN Dakhama Badr Sououd
Pr. BOURKADI Jamal-Eddine
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer
Pr. ECHARRAB El Mahjoub
Pr. EL FTOUH Mustapha
Pr. EL MOSTARCHID Brahim*
Pr. TACHINANTE Rajae
Pr. TAZI MEZALEK Zoubida

Novembre 2000

Pr. AIDI Saadia
Pr. AJANA Fatima Zohra
Pr. BENAMR Said
Pr. CHERTI Mohammed
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma
Pr. EL HASSANI Amine
Pr. EL KHADER Khalid
Pr. GHARBI Mohamed El Hassan
Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae

Décembre 2001

Réanimation Médicale
Chirurgie Générale
Gynécologie Obstétrique
Gynécologie Obstétrique
Chirurgie Générale
Oto-Rhino-Laryngologie
Urologie
Ophtalmologie
Génétique
Réanimation Médicale

Chirurgie Pédiatrie
Ophtalmologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Néphrologie
Cardiologie **Directeur HMI Mohammed V**

Gynécologie-Obstétrique
Neurologie
Cardiologie
Chirurgie Pédiatrique
Urologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Psychiatrie **Directeur Hôp.Ar-razi Salé**
Gynécologie Obstétrique

Neurologie **Doyen de la FM Abulcassis**
Chirurgie Générale
Oncologie Médicale
Hématologie

Pneumo-phtisiologie
Pédiatrie
Pédiatrie
Pneumo-phtisiologie
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Pneumo-phtisiologie
Neurochirurgie
Anesthésie-Réanimation
Médecine Interne

Neurologie
Gastro-Entérologie
Chirurgie Générale
Cardiologie
Anesthésie-Réanimation
Pédiatrie - **Directeur Hôp.Cheikh Zaid**
Urologie
Endocrinologie et Maladies Métaboliques
Pédiatrie

*Enseignant militaire

Pr. BALKHI Hicham*
 Pr. BENABDELJLIL Maria
 Pr. BENAMAR Loubna
 Pr. BENAMOR Jouda
 Pr. BENELBARHDADI Imane
 Pr. BENNANI Rajae
 Pr. BENOACHANE Thami
 Pr. BEZZA Ahmed*
 Pr. BOUCHIKHI IDRISSE Med Larbi
 Pr. BOUMDIN El Hassane*
 Pr. CHAT Latifa
 Pr. EL HIJRI Ahmed
 Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid
 Pr. EL MADHI Tarik
 Pr. EL OUNANI Mohamed
 Pr. ETTAIR Said
 Pr. GAZZAZ Miloudi*
 Pr. HRORA Abdelmalek
 Pr. KABIRI EL Hassane*
 Pr. LAMRANI Moulay Omar
 Pr. LEKEHAL Brahim
 Pr. MEDARHRI Jalil
 Pr. MIKDAME Mohammed*
 Pr. MOHSINE Raouf
 Pr. NOUINI Yassine
 Pr. SABBAH Farid
 Pr. SEFIANI Yasser
 Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia

Décembre 2002

Pr. AMEUR Ahmed*
 Pr. AMRI Rachida
 Pr. AOURARH Aziz*
 Pr. BAMOU Youssef*
 Pr. BELMEJDOUB Ghizlene*
 Pr. BENZEKRI Laila
 Pr. BENZZOUBEIR Nadia
 Pr. BERNOUSSI Zakiya
 Pr. CHOHO Abdelkrim*
 Pr. CHKIRATE Bouchra
 Pr. EL ALAMI EL Fellous Sidi Zouhair
 Pr. FILALI ADIB Abdelhai
 Pr. HAJJI Zakia
 Pr. KRIOUILE Yamina
 Pr. OUJILAL Abdelilah
 Pr. RAISS Mohamed
 Pr. SIAH Samir*
 Pr. THIMOU Amal
 Pr. ZENTAR Aziz*

Janvier 2004

Pr. ABDELLAH El Hassan
 Pr. AMRANI Mariam
 Pr. BENBOUZID Mohammed Anas
 Pr. BENKIRANE Ahmed*
 Pr. BOULAADAS Malik

Anesthésie-Réanimation
 Neurologie
 Néphrologie
 Pneumo-phtisiologie
 Gastro-Entérologie
 Cardiologie
 Pédiatrie
 Rhumatologie
 Anatomie
 Radiologie
 Radiologie
 Anesthésie-Réanimation
 Neuro-Chirurgie
 Chirurgie-Pédiatrique **Directeur Hôp. Des Enfants Rabat**
 Chirurgie Générale **Pédiatrie - Directeur Hôp. Univ. International (Cheikh Khalifa)**
 Neuro-Chirurgie
 Chirurgie Générale **Directeur Hôpital Ibn Sina**
 Chirurgie Thoracique
 Traumatologie Orthopédie
 Chirurgie Vasculaire Périphérique **V-D chargé Aff Acad. Est.**
 Chirurgie Générale
 Hématologie Clinique
 Chirurgie Générale
 Urologie
 Chirurgie Générale
 Chirurgie Vasculaire Périphérique
 Pédiatrie

Urologie
 Cardiologie
 Gastro-Entérologie
 Biochimie-Chimie
 Endocrinologie et Maladies Métaboliques
 Dermatologie
 Gastro-Entérologie
 Anatomie Pathologique
 Chirurgie Générale
 Pédiatrie
 Chirurgie Pédiatrique
 Gynécologie Obstétrique
 Ophtalmologie
 Pédiatrie
 Oto-Rhino-Laryngologie
 Chirurgie Générale
 Anesthésie Réanimation
 Pédiatrie
 Chirurgie Générale

Ophtalmologie
 Anatomie Pathologique
 Oto-Rhino-Laryngologie
 Gastro-Entérologie
 Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale

*Enseignant militaire

Pr. BOURAZZA Ahmed*
Pr. CHAGAR Belkacem*
Pr. CHERRADI Nadia
Pr. EL FENNI Jamal*
Pr. EL HANCHI ZAKI
Pr. EL KHORASSANI Mohamed
Pr. HACHI Hafid
Pr. JABOUIRIK Fatima
Pr. KHARMAZ Mohamed
Pr. MOUGHIL Said
Pr. OUBAAZ Abdelbarre*
Pr. TARIB Abdelilah*
Pr. TIJAMI Fouad
Pr. ZARZUR Jamila

Janvier 2005

Pr. ABBASSI Abdellah
Pr. AL KANDRY Sif Eddine*
Pr. ALLALI Fadoua
Pr. AMAZOUZI Abdellah
Pr. BAHIRI Rachid
Pr. BARKAT Amina
Pr. BENYASS Aatif*
Pr. DOUDOUH Abderrahim*
Pr. HAJJI Leila
Pr. HESSISSEN Leila
Pr. JIDAL Mohamed*
Pr. LAAROUSSI Mohamed
Pr. LYAGOUBI Mohammed
Pr. SBIHI Souad
Pr. ZERAIDI Najia

AVRIL 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen*
Pr. BELMEKKI Abdelkader*
Pr. BENCHEIKH Razika
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine
Pr. BOULAHYA Abdellatif*
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas
Pr. DOGHMI Nawal
Pr. FELLAT Ibtissam
Pr. FAROUDY Mamoun
Pr. HARMOUCHE Hicham
Pr. IDRIS LAHLOU Amine*
Pr. JROUNDI Laila
Pr. KARMOUNI Tariq
Pr. KILI Amina
Pr. KISRA Hassan
Pr. KISRA Mounir
Pr. LAATIRIS Abdelkader*
Pr. LMIMOUNI Badreddine*
Pr. MANSOURI Hamid*
Pr. OUANASS Abderrazzak
Pr. SAFI Soumaya*
Pr. SOUALHI Mouna
Pr. TELLAL Saida*

Neurologie
Traumatologie Orthopédie
Anatomie Pathologique
Radiologie
Gynécologie Obstétrique
Pédiatrie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Traumatologie Orthopédie
Chirurgie Cardio-Vasculaire
Ophtalmologie
Pharmacie Clinique
Chirurgie Générale
Cardiologie

Chirurgie Réparatrice et Plastique
Chirurgie Générale
Rhumatologie
Ophtalmologie
Rhumatologie **Directeur Hôp. Al Ayachi Salé**
Pédiatrie
Cardiologie
Biophysique
Cardiologie (mise en disponibilité)
Pédiatrie
Radiologie
Chirurgie Cardio-vasculaire
Parasitologie
Histo-Embryologie Cytogénétique
Gynécologie Obstétrique

Rhumatologie
Hématologie
O.R.L
Chirurgie - Pédiatrique
Chirurgie Cardio - Vasculaire. **Directeur Hôpital Ibn Sina Marr.**
Gynécologie Obstétrique
Cardiologie
Cardiologie
Anesthésie Réanimation
Médecine Interne
Microbiologie
Radiologie
Urologie
Pédiatrie
Psychiatrie
Chirurgie - Pédiatrique
Pharmacie Galénique
Parasitologie
Radiothérapie
Psychiatrie
Endocrinologie
Pneumo - Phtisiologie
Biochimie

*Enseignant militaire

Pr. ZAHRAOUI Rachida

Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid

Pr. ACHACHI Leila

Pr. AMHAJJI Larbi*

Pr. AOUFI Sarra

Pr. BAITE Abdelouahed*

Pr. BALOUCH Lhousaine*

Pr. BENZIANE Hamid*

Pr. BOUTIMZINE Nourdine

Pr. CHERKAOUI Naoual*

Pr. EL BEKKALI Youssef*

Pr. EL ABSI Mohamed

Pr. EL MOUSSAOUI Rachid

Pr. EL OMARI Fatima

Pr. GHARIB Noureddine

Pr. HADADI Khalid*

Pr. ICHOU Mohamed*

Pr. ISMAILI Nadia

Pr. KEBDANI Tayeb

Pr. LOUZI Lhoussain*

Pr. MADANI Naoufel

Pr. MARC Karima

Pr. MASRAR Azlarab

Pr. OUZZIF Ez zohra*

Pr. SEFFAR Myriame

Pr. SEKHSOKH Yessine*

Pr. SIFAT Hassan*

Pr. TACHFOUTI Samira

Pr. TAJDINE Mohammed Tariq*

Pr. TANANE Mansour*

Pr. TLIGUI Houssain

Pr. TOUATI Zakia

Mars 2009

Pr. ABOUZAHIR Ali*

Pr. AGADR Aomar*

Pr. AIT ALI Abdelmounaim*

Pr. AKHADDAR Ali*

Pr. ALLALI Nazik

Pr. AMINE Bouchra

Pr. ARKHA Yassir

Pr. BELYAMANI Lahcen*

Pr. BJIJOU Younes

Pr. BOUHSAIN Sanae*

Pr. BOUI Mohammed*

Pr. BOUNAIM Ahmed*

Pr. BOUSSOUGA Mostapha*

Pr. CHTATA Hassan Toufik*

Pr. DOGHMI Kamal*

Pr. EL MALKI Hadj Omar

Pr. EL OUENNASS Mostapha*

Pr. ENNIBI Khalid*

Pr. FATHI Khalid

Pr. HASSIKOU Hasna*

Pneumo - Phtisiologie

Réanimation médicale

Pneumo phtisiologie

Traumatologie orthopédie

Parasitologie

Anesthésie réanimation

Biochimie-chimie

Pharmacie clinique

Ophthalmologie

Pharmacie galénique

Chirurgie cardio-vasculaire

Chirurgie générale

Anesthésie réanimation

Psychiatrie

Chirurgie plastique et réparatrice

Radiothérapie

Oncologie médicale

Dermatologie

Radiothérapie

Microbiologie

Réanimation médicale

Pneumo phtisiologie

Hématologie biologique

Biochimie-chimie

Microbiologie

Microbiologie

Radiothérapie

Ophthalmologie

Chirurgie générale

Traumatologie-orthopédie

Parasitologie

Cardiologie

Médecine interne

Pédiatrie

Chirurgie Générale

Neuro-chirurgie

Radiologie

Rhumatologie

Neuro-chirurgie **Directeur Hôp.des Spécialités**

Anesthésie Réanimation

Anatomie

Biochimie-chimie

Dermatologie

Chirurgie Générale

Traumatologie-orthopédie

Chirurgie Vasculaire Périphérique

Hématologie clinique

Chirurgie Générale

Microbiologie

Médecine interne

Gynécologie obstétrique

Rhumatologie

*Enseignant militaire

Pr. KABBAJ Nawal
Pr. KABIRI Meryem
Pr. KARBOUBI Lamya
Pr. LAMSAOURI Jamal*
Pr. MARMADE Lahcen
Pr. MESKINI Toufik
Pr. MESSAOUDI Nezha*
Pr. MSSROURI Rahal
Pr. NASSAR Ittimade
Pr. OUKERRAJ Latifa
Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani*

Octobre 2010

Pr. ALILOU Mustapha
Pr. AMEZIANE Taoufiq*
Pr. BELAGUID Abdelaziz
Pr. CHADLI Mariama*
Pr. CHEMSI Mohamed*
Pr. DAMI Abdellah*
Pr. DARBI Abdellatif*
Pr. DENDANE Mohammed Anouar
Pr. EL HAFIDI Naima
Pr. EL KHARRAS Abdennasser*
Pr. EL MAZOUZ Samir
Pr. EL SAYEGH Hachem
Pr. ERRABIH Ikram
Pr. LAMALMI Najat
Pr. MOSADIK Ahlam
Pr. MOUJAHID Mountassir*
Pr. ZOUAIDIA Fouad

Decembre 2010

Pr. ZNATI Kaoutar

Mai 2012

Pr. AMRANI Abdelouahed
Pr. ABOUELALAA Khalil*
Pr. BENCHEBBA Driss*
Pr. DRISSI Mohamed*
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna
Pr. EL OUAZZANI Hanane*
Pr. ER-RAJI Mounir
Pr. JAHID Ahmed

Février 2013

Pr. AHID Samir
Pr. AIT EL CADI Mina
Pr. AMRANI HANCI Laila
Pr. AMOR Mourad
Pr. AWAB Almahdi
Pr. BELAYACHI Jihane
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain
Pr. BENCHEKROUN Laila
Pr. BENKIRANE Souad
Pr. BENSGHIR Mustapha*
Pr. BENYAHIA Mohammed*
Pr. BOUATIA Mustapha
Pr. BOUABID Ahmed Salim*

Gastro-entérologie
Pédiatrie
Pédiatrie
Chimie Thérapeutique
Chirurgie Cardio-vasculaire
Pédiatrie
Hématologie biologique
Chirurgie Générale
Radiologie
Cardiologie
Pneumo-Phtisiologie

Anesthésie réanimation
Médecine Interne **Directeur ERSSM**
Physiologie
Microbiologie
Médecine Aéronautique
Biochimie- Chimie
Radiologie
Chirurgie Pédiatrique
Pédiatrie
Radiologie
Chirurgie Plastique et Réparatrice
Urologie
Gastro-Entérologie
Anatomie Pathologique
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Anatomie Pathologique

Anatomie Pathologique

Chirurgie pédiatrique
Anesthésie Réanimation
Traumatologie-orthopédie
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Pneumophtisiologie
Chirurgie Pédiatrique
Anatomie Pathologique

Pharmacologie
Toxicologie
Gastro-Entérologie
Anesthésie-Réanimation
Anesthésie-Réanimation
Réanimation Médicale
Anesthésie-Réanimation
Biochimie-Chimie
Hématologie
Anesthésie Réanimation
Néphrologie
Chimie Analytique et Bromatologie
Traumatologie orthopédie

*Enseignant militaire

Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba	Anatomie
Pr. CHAIB Ali*	Cardiologie
Pr. DENDANE Tarek	Réanimation Médicale
Pr. DINI Nouzha*	Pédiatrie
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali	Anesthésie Réanimation
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa	Radiologie
Pr. ELFATEMI NIZARE	Neuro-chirurgie
Pr. EL GUERROUJ Hasnae	Médecine Nucléaire
Pr. EL HARTI Jaouad	Chimie Thérapeutique
Pr. EL JAOUDI Rachid*	Toxicologie
Pr. EL KABABRI Maria	Pédiatrie
Pr. EL KHANNOUSSI Basma	Anatomie Pathologique
Pr. EL KHLOUFI Samir	Anatomie
Pr. EL KORAICHI Alae	Anesthésie Réanimation
Pr. EN-NOUALI Hassane*	Radiologie
Pr. ERRGUIG Laila	Physiologie
Pr. FIKRI Meryem	Radiologie
Pr. GHFIR Imade	Médecine Nucléaire
Pr. IMANE Zineb	Pédiatrie
Pr. IRAQI Hind	Endocrinologie et maladies métaboliques
Pr. KABBAJ Hakima	Microbiologie
Pr. KADIRI Mohamed*	Psychiatrie
Pr. LATIB Rachida	Radiologie
Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra	Médecine Interne
Pr. MEDDAH Bouchra	Pharmacologie
Pr. MELHAOUI Adyl	Neuro-chirurgie
Pr. MRABTI Hind	Oncologie Médicale
Pr. NEJJARI Rachid	Pharmacognosie
Pr. OUBEJJA Houda	Chirurgie Pédiatrique
Pr. OUKABLI Mohamed*	Anatomie Pathologique
Pr. RAHALI Younes	Pharmacie Galénique Vice-Doyen à la Pharmacie
Pr. RATBI Ilham	Génétique
Pr. RAHMANI Mounia	Neurologie
Pr. REDA Karim*	Ophthalmologie
Pr. REGRAGUI Wafa	Neurologie
Pr. RKAIN Hanan	Physiologie
Pr. ROSTOM Samira	Rhumatologie
Pr. ROUAS Lamiaa	Anatomie Pathologique
Pr. ROUIBAA Fedoua*	Gastro-Entérologie
Pr. SALIHOUN Mouna	Gastro-Entérologie
Pr. SAYAH Rochde	Chirurgie Cardio-Vasculaire
Pr. SEDDIK Hassan*	Gastro-Entérologie
Pr. ZERHOUNI Hicham	Chirurgie Pédiatrique
Pr. ZINE Ali*	Traumatologie Orthopédie
<u>AVRIL 2013</u>	
Pr. EL KHATIB MOHAMED KARIM*	Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
<u>MARS 2014</u>	
Pr. ACHIR Abdellah	Chirurgie Thoracique
Pr. BENCHAKROUN Mohammed*	Traumatologie- Orthopédie
Pr. BOUCHIKH Mohammed	Chirurgie Thoracique
Pr. EL KABBAJ Driss*	Néphrologie
Pr. EL MACHTANI IDRISSE Samira*	Biochimie-Chimie
Pr. HARDIZI Houyam	Histologie- Embryologie-Cytogénétique
Pr. HASSANI Amale*	Pédiatrie

*Enseignant militaire

Pr. HERRAK Laila
Pr. JEAIDI Anass*
Pr. KOUACH Jaouad*
Pr. MAKRAM Sanaa*
Pr. RHISSASSI Mohamed Jaafar
Pr. SEKKACH Youssef*
Pr. TAZI MOUKHA Zakia

DECEMBRE 2014

Pr. ABILKACEM Rachid*
Pr. AIT BOUGHIMA Fadila
Pr. BEKKALI Hicham*
Pr. BENAZZOU Salma
Pr. BOUABDELLAH Mounya
Pr. BOUCHRIK Mourad*
Pr. DERRAJI Soufiane*
Pr. EL AYOUBI EL IDRISSE Ali
Pr. EL GHADBANE Abdedaim Hatim*
Pr. EL MARJANY Mohammed*
Pr. FEJJAL Nawfal
Pr. JAHIDI Mohamed*
Pr. LAKHAL Zouhair*
Pr. OUDGHIRI NEZHA
Pr. RAMI Mohamed
Pr. SABIR Maria
Pr. SBAI IDRISSE Karim*

AOÛT 2015

Pr. MEZIANE Meryem
Pr. TAHIRI Latifa

PROFESSEURS AGREGES :

JANVIER 2016

Pr. BENKABBOU Amine
Pr. EL ASRI Fouad*
Pr. ERRAMI Nouredine*
Pr. NITASSI Sophia

JUIN 2017

Pr. ABI Rachid*
Pr. ASFALOU Ilyasse*
Pr. BOUAITI El Arbi*
Pr. BOUTAYEB Saber
Pr. EL GHISSASSI Ibrahim
Pr. HAFIDI Jawad
Pr. MAJBAR Mohammed Anas
Pr. OURAINI Saloua*
Pr. RAZINE Rachid
Pr. SOUADKA Amine
Pr. ZRARA Abdelhamid*

MAI 2018

Pr. AMMOURI Wafa
Pr. BENTALHA Aziza
Pr. EL AHMADI Brahim
Pr. EL HARRECH Youness*
Pr. EL KACEMI Hanan
Pr. EL MAJJAOUI Sanaa

Pneumologie
Hématologie Biologique
Gynécologie-Obstétrique
Pharmacologie
CCV
Médecine Interne
Généologie-Obstétrique

Pédiatrie
Médecine Légale
Anesthésie-Réanimation
Chirurgie Maxillo-Faciale
Biochimie-Chimie
Parasitologie
Pharmacie Clinique
Anatomie
Anesthésie-Réanimation
Radiothérapie
Chirurgie Réparatrice et Plastique
O.R.L
Cardiologie
Anesthésie-Réanimation
Chirurgie Pédiatrique
Psychiatrie
Médecine préventive, santé publique et Hyg.

Dermatologie
Rhumatologie

Chirurgie Générale
Ophtalmologie
O.R.L
O.R.L

Microbiologie
Cardiologie
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Oncologie Médicale
Oncologie Médicale
Anatomie
Chirurgie Générale
O.R.L
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Chirurgie Générale
Immunologie

Médecine interne
Anesthésie-Réanimation
Anesthésie-Réanimation
Urologie
Radiothérapie
Radiothérapie

*Enseignant militaire

Pr. FATIHI Jamal*
Pr. GHANNAM Abdel-Ilah
Pr. JROUNDI Imane
Pr. MOATASSIM BILLAH Nabil
Pr. TADILI Sidi Jawad
Pr. TANZ Rachid*

NOVEMBRE 2018

Pr. AMELLAL Mina
Pr. SOULY Karim
Pr. TAHRI Rajae

NOVEMBRE 2019

Pr. AATIF Taoufiq*
Pr. ACHBOUK Abdelhafid*
Pr. ANDALOUSSI SAGHIR Khalid
Pr. BABA HABIB Moulay Abdellah*
Pr. BASSIR RIDA ALLAH
Pr. BOUATTAR TARIK
Pr. BOUFETTAL MONSEF
Pr. BOUCHENTOUF Sidi Mohammed*
Pr. BOUZELMAT HICHAM*
Pr. BOUKHRIS JALAL*
Pr. CHAFRY BOUCHAIB*
Pr. CHAHDI HAFSA*
Pr. CHERIF EL ASRI ABAD*
Pr. DAMIRI AMAL*
Pr. DOGHMI NAWFAL*
Pr. ELALAOUI SIDI-YASSIR
Pr. EL ANNAZ HICHAM*
Pr. EL HASSANI MOULAY EL MEHDI*
Pr. EL HJOUJI ABDERRAHMAN*
Pr. EL KAOUI HAKIM*
Pr. EL WALI ABDERRAHMAN*
Pr. EN-NAFAA ISSAM*
Pr. HAMAMA JALAL*
Pr. HEMMAOUI BOUCHAIB*
Pr. HJIRA NAOUFAL*
Pr. JIRA MOHAMED*
Pr. JNIENE ASMAA
Pr. LARAQUI HICHAM*
Pr. MAHFOUD TARIK*
Pr. MEZIANE MOHAMMED*
Pr. MOUTAKI ALLAH YOUNES*
Pr. MOUZARI YASSINE*
Pr. NAOUI HAFIDA*
Pr. OBTEL MAJDOULINE
Pr. OURRAI ABDELHAKIM*
Pr. SAOUAB RACHIDA*
Pr. SBITTI YASSIR*
Pr. ZADDOUG OMAR*
Pr. ZIDOUH SAAD*

Médecine Interne
Anesthésie-Réanimation
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Radiologie
Anesthésie-Réanimation
Oncologie Médicale

Anatomie
Microbiologie
Histologie-Embryologie-Cytogénétique

Néphrologie
Chirurgie réparatrice et plastique
Radiothérapie
Gynécologie-Obstétrique
Anatomie
Néphrologie
Anatomie
Chirurgie-Générale
Cardiologie
Traumatologie-Orthopédie
Traumatologie-Orthopédie
Anatomie pathologique
Neuro-chirurgie
Anatomie Pathologique
Anesthésie-Réanimation
Pharmacie-Galénique
Virologie
Gynécologie-Obstétrique
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Anesthésie-Réanimation
Radiologie
Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
O.R.L
Dermatologie
Médecine interne
Physiologie
Chirurgie-Générale
Oncologie Médicale
Anesthésie-Réanimation
Chirurgie Cardio-Vasculaire
Ophtalmologie
Parasitologie-Mycologie
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Pédiatrie
Radiologie
Oncologie Médicale
Traumatologie-Orthopédie
Anesthésie-Réanimation

*Enseignant militaire

2 - ENSEIGNANTS-CHERCHEURS SCIENTIFIQUES

PROFESSEURS DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR :

Pr. ABOUDRAR Saadia	Physiologie
Pr. ALAMI OUHABI Naima	Biochimie-chimie
Pr. ALAOUI KATIM	Pharmacologie
Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma	Histologie-Embryologie
Pr. ANSAR M'hammed	Chimie Organique et Pharmacie Chimique
Pr. BARKIYOU Malika	Histologie-Embryologie
Pr. BOUHOUCHE Ahmed	Génétique Humaine
Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz	Applications Pharmaceutiques
Pr. DAKKA Taoufiq	Physiologie Vice-Doyen chargé de la Rech. et de la Coop.
Pr. FAOUZI Moulay El Abbas	Pharmacologie
Pr. IBRAHIMI Azeddine	Biologie
moléculaire/Biotechnologie	
Pr. OULAD BOUYAHYA IDRISSE Mohammed	Chimie Organique
Pr. RIDHA Ahlam	Chimie
Pr. TOUATI Driss	Pharmacognosie
Pr. ZAHIDI Ahmed	Pharmacologie

PROFESSEURS HABILITES :

Pr. BENZEID Hanane	Chimie
Pr. CHAHED OUZZANI Lalla Chadia	Biochimie-chimie
Pr. DOUKKALI Anass	Chimie Analytique
Pr. EL JASTIMI Jamila	Chimie
Pr. KHANFRI Jamal Eddine	Histologie-Embryologie
Pr. LYAHYAI Jaber	Génétique
Pr. OUADGHIRI Mouna	Microbiologie et Biologie
Pr. RAMLI Youssef	Chimie
Pr. SERRAGUI Samira	Pharmacologie
Pr. TAZI Ahnini	Génétique
Pr. YAGOUBI Maamar	Eau, Environnement

Mise à jour le 05/03/2021
KHALED Abdellah
Chef du Service des
Ressources Humaines
FMPR

*Enseignant militaire



Dédicaces



À

FEU SA MAJESTE LE ROI HASSAN II



Que Dieu ait Son âme en Sa Sainte Miséricorde.





À

SA MAJESTÉ

LE ROI MOHAMED VI

Chef Suprême et Chef d'Etat-Major Général des Forces Armées Royales

Roi du MAROC et garant de son intégrité territoriale



Qu'Allah Le glorifie et préserve Son Royaume.



À

**SON ALTESSE ROYALE LE PRINCE HÉRITIER MOULAY EL
HASSAN**



Que Dieu Le garde.



À
SON ALTESSE ROYALE
LE PRINCE MOULAY RACHID



Que Dieu Le protège.

À
TOUTE LA FAMILLE ROYALE



A

Monsieur le Médecin Général de Brigade

Mohammed ABBAR

Inspecteur du Service de Santé militaire

En témoignage de notre profond respect et de notre profonde considération.



A

Monsieur le Médecin Général de Brigade

EL Mehdi ZBIR

Directeur de l'Hôpital Militaire d'Instructions Mohamed V – Rabat

En témoignage de notre profond respect et de notre profonde considération.



A

Monsieur le Médecin Colonel Major

Taoufiq AMEZIANE

Directeur de l'Ecole Royale du Service de Santé Militaire

En témoignage de notre profond respect et de notre profonde considération.



A

Monsieur le Général de Corps d'Armée

Abdelfattah LOUARAK

Inspecteur Général des Forces Armées Royales

En témoignage de notre grand respect

Et notre profonde considération et sincère admiration





A

***Monsieur le Médecin Colonel Major
Elbaaj Mohammed***

Directeur de l'Hôpital Militaire Moulay Ismail - Meknes

***En témoignage de notre grand respect
Et notre profonde considération***



A

***Monsieur le Médecin Général de Brigade
BOULAHYA Abdellatif***

Directeur de l'Hôpital Militaire Avicenne – Marrakech

***En témoignant de notre grand respect et notre profonde
considération***



A

Monsieur le Colonel Major ABDERRAZAK SABIR

Médecin Chef du 3ème Hôpital de Laayoune

***En témoignant de notre grand respect et notre profonde
considération***





A mes très chers parents

Amina SADKI ET Abderrahman KARROUM

A l'amour de ma vie

Aucun dévouement, aucune dédicace ne peut exprimer la vraie valeur, l'étendue de l'affection et le grand amour que j'ai pour vous.

Malgré toutes les contraintes qu'ont pu représenter ces longues années d'études, pour votre confiance illimitée, vous avez toujours été patients et compréhensifs avec moi.

Je prie Dieu de vous protéger, vous accorder santé et longue vie.

Merci pour tout

Je t'aime maman

Je t'aime papa

أعوذ بالله من الشيطان الرجيم

واخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا

(سورة الإسراء آية ٢٤)





A mes grands parents

MOKHTAR, AICHA, MALIKA

Les mots ne suffisent pas pour exprimer mon attachement, mon amour et mes respects que je porte pour vous.

A mémoire de mon grand père

KARROUM ABBAS

Je vous dédie ce travail et je prie que dieu puisse vous accueillir en sa sainte miséricorde.

A mes chers petits frères

ABDELLAH, ABDE ELBASSET, HOUCINE

A mes chères sœurs

SOUAD, KHADIJA

Merci beaucoup d'avoir été le moteur de ma vie et le pansement de mon cœur

Je vous aime très très fort

Que Dieu vous protège et garde





A ma grande famille

Mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes cousines

*Avec toutes mes estimes, affections et respects, je vous souhaite une bonne santé,
et un grand bonheur.*

*Je ne vous remercierai jamais assez pour toute l'énergie, tous les sacrifices et tout
le soutien que vous m'avez apporté durant toute ma vie.*

*Je veux surtout exprimer ma profonde gratitude à mon oncle docteur
ABDELLAH, et ma tante SAKINA.*

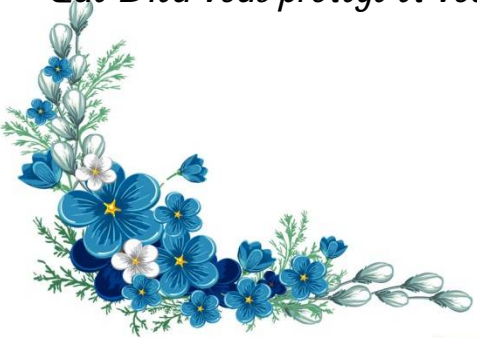
Je vous aime d'un amour inconditionnel

J'espère faire aujourd'hui votre fierté.

A la famille KASSIMI

Merci énormément pour votre amour et votre soutien.

Que Dieu vous protège et vous procurez prospérité, longue vie, bonheur et santé.



A mes cher (e)s amis (e)s



KA. Wiam, AN. Imad, AM. Aziz, MI. Ahmed, NB. Yasmin, ED. Karim,

AM. Abdellah, OU. Morad,

ZA. Moussab, B. Saad, KH. Farid, AZ. Soukaina,

EL. Abdelmotalib, J. Mohammed L. Ismail, AY. Rahal, AB.Ahmed...

Merci beaucoup pour votre soutien, votre amour, votre amitié et les bons moments inoubliables qu'on a passé ensemble.

Je vous souhaite un avenir riche en joie, et plein de réussite, et de bonheur.

A toutes les personnes que j'ai eu la chance de fréquenter durant mon parcours universitaire, à mes camarades de la 31^{ème} promotion de pharmacie à la FMPR.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

A Les personnels du service de la stérilisation centrale de l'HMIMV

Bilal, Ali

Merci chaleureusement de m'aider pour élaborer cette étude, je vous félicite de votre participation dans le développement de la science.





Remerciements



A notre maitre et Président du thèse,
Monsieur Le professeur Abdelilah TARIB
Professeur de la pharmacie clinique

Je tiens à vous remercier chaleureusement pour avoir accepté de présider ma thèse, Vous avez fait preuve d'une grande disponibilité et d'une grande gentillesse.

Nous vous remercions pour la grande qualité de votre enseignement.

Nous tenons à vous exprimer notre profonde gratitude et notre sincère respect à travers ce modeste travail.





A notre maitre et Rapporteur de thèse

Monsieur le professeur Soufiane DERRAJI

*Professeur en Pharmacie Clinique à la Faculté de Médecine
et de Pharmacie de Rabat et chef de service de la stérilisation
centrale de l'HMIMV-Rabat*

Mon professeur Merci infiniment pour avoir accepté d'encadrer ce travail.

*Je vous remercie mon maitre de m'avoir accueillie au sein de votre service pour
mon stage de fin d'étude.*

*C'est avec un grand honneur que je me suis adressé dans l'intérêt d'obtenir de
votre encadrement. Je vous serai toujours reconnaissant pour l'accueil et les
conseils que vous n'avez cessé de prodiguer à moi durant toute cette période.*

*Vos qualités humaines et professionnelles jointes à votre compétence et votre
dévouement pour votre profession seront pour moi un exemple à suivre.*





A notre maître, juge de thèse

Monsieur le professeur Amine IDRISS LAHLOU

Professeur de microbiologie

Chef de service du laboratoire de Virologie HMIMV-Rabat

Je vous remercie, cher maître, d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Votre pédagogie et vos qualités humaines et de votre enseignement sont un modèle pour nous.

Je vous prie, mon cher Maître, d'accepter dans ce travail le témoignage de ma haute considération, de ma profonde gratitude et de mon grand respect.

Veillez trouver cher maître dans ce modeste travail, l'expression de mes remerciements les plus sincères et de ma profonde reconnaissance.





A notre maitre, juge de thèse

Monsieur le professeur Sidi-Yassir ELALAOUI

Professeur de la pharmacie galénique

Je vous remercie du grand honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail, Vous avez fait preuve d'une grande disponibilité et d'une grande gentillesse. Veuillez trouver cher maitre, le témoignage de mes sentiments attentif et de ma grande admiration pour vos précieuses qualités humaines et Professionnelles.

Je témoigne ma grande reconnaissance et mon sincère respect.





*Je n'oublie pas de remercier vivement Monsieur le Professeur Mohamed Réda
SEFRIOUI*

*Professeur assistant en Chimie thérapeutique à la Faculté de Médecine et de
Pharmacie de Casablanca*

Service Stérilisation de l'Hôpital d'Instruction Militaire Mohamed V de Rabat

*Nous vous remercions chaleureusement d'avoir apporté vos corrections à ce
modeste travail.*

*Je vous remercie beaucoup pour votre soutien, et conseils judicieux, merci
infiniment.*

Je témoigne ma grande reconnaissance et mon profond respect.





Liste des abréviations

ACE	: <i>Angiotensin-Converting Enzyme</i>
ACH	: Air Change per Hour
ADN	: Acide DésoxyriboNucléique
ARN	: Acide RiboNucléique
BPF	: Bonnes Pratiques de Fabrication
CCE	: Certificat d'Economie et d'Energie
CDC	: Centrs for Disease Control and Prevention
CMF	: Cubic Feet per Minute
CO	: Monoxyde de Carbone
CO ₂	: Dioxyde de Carbone
COP	: Compteur Optique de Particule
COV	: Composés Organiques Volatiles
COVID-19	: COronaVirus Disease 2019
CP	: Contamination Particulaire
CTA	: Centrale de Traitement d'Air
DARSI	: Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux
EN	: Européenne Norme
EPI	: Equipements de Protection Individuelle
FFP2	: Pièce faciale Filtrante
HCOV	: Coronavirus Humains
HEPA	: High Efficiency Particulate Air
HMIMV	: Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V
HPC	: Holographic Particle Counter

ISO	: International Organization for Standardization
Kb	: KiloBase
LPM	: Litre Par Minute
NF	: Norme Française
OMS	: Organisation Mondiale de Santé
OP	: Opérateur
RT-PCR	: Reverse transcriptase Réaction en chaîne par polymérase
SARM	: Staphylococcus aureus résistant à la méticilline
SFHH	: Société française d'Hygiène Hospitalière
SRAS	: Syndrome Respiratoire Aigu Sévère
TFT	: Thin-Film Transistor
UFC	: Unité Formant Colonie
ULPA	: Ultra Low Penetration Air
UV	: Ultra-Violet
V	: Vitesse
VIH	: Human Immunodeficiency Viruses
ZAM	: Zones à Atmosphère Maîtrisé

Liste des unités

°C	: Degré Celsius.
Cm ³	: Centimètre cube
Cm/s	: Centimètre par second
m	: Mètre
m ²	: Mètre carré
m ³	: Mètre cube
mm	: Millimètre
µm	: Micromètre
nm	: Nanomètre
UFC/m ³	: Unité Formant Colonie par mètre cube
Pa/cm ²	: Pascal par centimètre carré
%	: Pourcentage



Liste des illustrations

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma heuristique des principaux bio aérosols dans l'air intérieur	7
Figure 2 : propagation des gouttelettes et des droplets nuclei en fonction de taille et distance	9
Figure 3 : Coronavirus observés en microscopie électronique.....	13
Figure 4 : Structure du Sars-CoV-2	14
Figure 5 : Organisation génomique du Sars-CoV.....	14
Figure 6 : Contamination directe et indirecte du virus Covid-19 par gouttelettes.....	16
Figure 7 : Interaction entre le SARS-Cov2 et le système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA).....	17
Figure 8 : Nombre des particules émises par minute selon l'activité humaine	19
Figure 9 : Courbes résumes la répartition des particules dans l'air atmosphérique.....	19
Figure 10 : Action d'une particule contenue dans un aérosol sur une onde lumineuse.....	27
Figure 11 : Illustration du phénomène de diffraction par une fente dont la largeur est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde.....	28
Figure 12 : Schéma de principe d'un capteur optique.	30
Figure 13 : Installation montre la cinétique de la contamination particulaire	34
Figure 14 : schéma illustre l'aspiration d'air porté des particules	36
Figure 15 : Schéma montre l'échantillonnage par sédimentation.....	38
Figure 16 : Schéma illustre les différents traitements appliqués sur l'air neuf.....	44
Figure 17 : Circuit d'une centrale de traitement d'air simple flux	45
Figure 18 : Circuit d'une centrale de traitement d'air double flux.	45
Figure 19 : Schema illustre la chaine de la filtration de l'air	46
Figure 20 : Schema montre le passage de l'air à travers le filtre, avec les concentrations de particules en amont et en aval	48
Figure 21 : Variation de perte de charge des filtres	49
Figure 22 : Utilisation de la pulvérisation électrostatique pour appliquer une solution chargée aux surfaces.	55
Figure 23 : Un système de brumisation à vapeur sèche permettant d'appliquer des désinfectants	57
Figure 24 : Pictogramme indique la résistance des vêtements aux risques chimiques	68
Figure 25 : Pictogramme indique la résistance des vêtements aux risques biologiques	69
Figure 26 : Compteur de particules CLIMET CI-153.....	80
Figure 27 : Plan de prélèvement du comptage particulaire à différentes distances.	84
Figure 28 : Distribution des moyennes de nombre des particules (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$) libérés lors du déshabillage, en fonction de la distance (op1).....	91
Figure 29 : Distribution des moyennes de taux des particules (de taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$) émis lors du déshabillage, en fonction de la distance (op1).....	92
Figure 30 : Distribution des moyennes de taux du particules (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$) émis au moment du déshabillage, en fonction de la distance (op1).....	93
Figure 31 : Distribution du nombre de particules (de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$) libérés au moment du déshabillage, en fonction de la distance (op1).....	94

Figure 32 : Présentation graphique de l'ensemble des résultats de comptage des particules, de différents diamètres, émises lors de déshabillage, en fonction de la distance (opérateur I).	95
Figure 33 : Distribution de nombre des particules (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (op2).	102
Figure 34 : Distribution des moyennes de résultats de comptage des particules (de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (op2).	103
Figure 35 : Distribution des moyennes de résultats de comptage des particules (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (op2).	104
Figure 36 : Distribution des moyennes de résultats de comptage des particules (de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$) libérés pendant le déshabillage, en fonction de la distance (op2).	105
Figure 37 : Distribution de l'ensemble des résultats de comptage des particules, de différents diamètres, émises lors du déshabillage, en fonction de la distance distances, (opérateur II).	106
Figure 38 : Présentation graphique de la moyenne du nombre de particule (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (op I+II).	109
Figure 39 : Graphique présentant l'évolution du nombre de particules (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$), émises lors du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).	110
Figure 40 : Présentation graphique de la moyenne du taux de particule (de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (opI+II).	111
Figure 41 : Graphique présentant l'évolution du nombre de particules (de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$), libérés lors du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).	112
Figure 42 : Présentation graphique de la moyenne du nombre de particule (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$) libérés pendant le déshabillage, en fonction de la distance (opI+II).	113
Figure 43 : Graphique présentant l'évolution du taux de particules (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$), émises lors du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).	114
Figure 44 : Présentation graphique de la moyenne du taux de particule (de taille $\geq 5 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (opI+II).	115
Figure 45 : Graphique présentant l'évolution du nombre de particules (de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$), libérés au moment du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).	116
Figure 46 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 0,3 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.	117
Figure 47 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.	118
Figure 48 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 1 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.	119
Figure 49 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 5 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.	120
Figure 50 : Nombre de particules de différentes taille émises par des vêtements de protection	125
Figure 51 : Répartition des particules dans l'air en fonction de taille.	127
Figure 52 : Dépôt des microparticules dans les voies respiratoires	128

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classification des sept coronavirus humains et année de leur identification.....	13
Tableau II : Sources principales des COV présents dans l'air intérieur	21
Tableau III : Spécification pour le compteur optique de particules	31
Tableau IV : Classes des particules sont définit par la norme NF EN ISO 14644-1 selon la taille des particules présentes dans l'air.....	32
Tableau V : Le nombre minimal de points à prélever en fonction de la surface de la salle en m ²	33
Tableau VI : classes des cinétiques d'élimination des particules à 0,5 µm	34
Tableau VII : Classes microbiologiques (source : AFNOR NF S 90-351).....	39
Tableau VIII : Récapitulation des avantages et des inconvénients des différents types de systèmes de ventilation.....	42
Tableau IX : illustration des différents mécanismes de filtration.....	47
Tableau X : Classification des filtres selon la norme ISO 16890.....	51
Tableau XI : Les différents types des masques utilisées durant la pandémie COVID-19	64
Tableau XII : Exigences relatives aux performances des masques à usage médical - Norme EN 14683 : 2014 (tableau XII).....	65
Tableau XIII : Différents niveaux de protection des vêtements de catégorie III	68
Tableau XIV : Classe de protection contre la pénétration des aérosols biologiquement contaminés ..	69
Tableau XV : Classe de protection à la pénétration de bactérie après frottement mécanique.....	70
Tableau XVI : Classe de protection contre la pénétration de sang synthétique	70
Tableau XVII : Classe de protection de pénétration de virus véhiculés par le sang	70
Tableau XVIII : les équipements de protection individuelle des agents de santé en fonction des activités	73
Tableau XIX : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 0,5 m (op1).....	85
Tableau XX : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 0,5 m (op1).....	85
Tableau XXI : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 0,5 m (op1).....	86
Tableau XXII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1 m (op1).....	86
Tableau XXIII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1 m (op1).....	87
Tableau XXIV : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1 m (op1).....	87
Tableau XXV : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1,5 m (op1).....	88
Tableau XXVI : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1,5 m (op1).....	88

Tableau XXVII : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1,5 m (op1).....	89
Tableau XXVIII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 2 m (op1).	89
Tableau XXIX : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors de déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 2 m (op1).....	90
Tableau XXX : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 2 m (op1).....	90
Tableau XXXI : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 0,5 m (op2)	96
Tableau XXXII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 0,5 m (op2).	96
Tableau XXXIII : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 0,5 m (op2).....	97
Tableau XXXIV : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1 m (op2).	97
Tableau XXXV : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1 m (op2).....	98
Tableau XXXVI : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1 m (op2).....	98
Tableau XXXVII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et après le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1,5 m (op2).	99
Tableau XXXVIII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1,5 m (op2).	99
Tableau XXXIX : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1,5 m (op2).....	100
Tableau XL : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 2 m (op2).....	100
Tableau XLI : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 2 m (op2).	101
Tableau XLII : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 2 m (op2).....	101
Tableau XLIII : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 0,5 m	107
Tableau XLIV : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 1 m.....	107
Tableau XLV : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 1,5 m	108
Tableau XLVI : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 2 m.....	108
Tableau XLVII : Nombre de particules $\geq 0,3\mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs....	117

Tableau XLVIII : Nombre de particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs .	118
Tableau XLIX : Nombre de particules $\geq 1 \mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs	119
Tableau L : Nombre de particules $\geq 5 \mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs	120
Tableau LI : Vitesse de déplacement et de sédimentation des particules en fonction de leur diamètre....	123

A decorative teal frame with a scalloped border and two teal ribbons on the left and right sides. The word "Sommaire" is centered within the frame.

Sommaire

Introduction générale	1
Partie I : Analyse théorique	4
Chapitre I. Problématiques de santé liée à l'air	5
1. Introduction	5
2. Contamination microbiologique	5
2.1. Flore microbienne de l'air	5
2.1.1. Flore d'origine environnementale	5
2.1.2. Flore d'origine humaine	6
2.2. Infections nosocomiales contractées par voie aérienne	6
2.3. Emissions respiratoires des microorganismes	7
2.3.1. Mécanismes de formation des aérosols	9
2.3.2. Granulométrie des particules émises par voie respiratoire	10
2.3.3. Comportement des aérosols dans l'environnement	11
2.4. Risque viral covid-19	12
2.4.1. Introduction et historique	12
2.4.2. Agent pathogène	13
2.4.3. Contamination aérienne et vestimentaire	15
2.4.4. Physiopathologie	16
2.4.5. Diagnostique	18
3. Contamination particulaire	18
3.1. Généralité	18
3.2. Polluants d'origine intérieure	20
3.2.1. Polluants des matériaux de construction et du mobilier	20
3.2.2. Polluants des produits de nettoyage et de désinfection et de stérilisation	22
3.2.3. Polluants spécifiques à certains services hospitaliers	23
3.3. Polluants d'origine extérieure	23
4. Relation entre la contamination particulaire et la contamination microbiologique	25

Chapitre II : Moyens de contrôle de l'environnement	26
1. Analyse de la contamination particulaire de l'air par comptage	26
1.1. Compteur optique des particules.....	26
1.2. Classification particulaire	32
1.3. Nombre de prélèvement.....	32
1.4. Cinétique de décontamination particulaire	33
2. Analyse de la contamination microbiologique de l'air.....	35
2.1. Aspiration-échantillonnage	35
2.2. Méthode par sédimentation-échantillonnage passif de l'air	37
2.3. Méthodes d'analyse microbiologiques	38
2.4. Interprétation des résultats.....	38
2.5. Classe de propreté microbiologique (en absence humaine)	39
Chapitre III. Différentes techniques de traitement d'air dans les espaces intérieurs au cours de la pandémie covid-19	40
1. Introduction	40
2. Objectifs de traitement d'air	40
3. Moyens permettant la maîtrise de la qualité de l'air	41
3.1. Ventilation	41
3.2. Covid-19 et système de traitement d'air.....	43
3.3. Filtration de l'air	43
3.3.1. Centrale de traitement de l'air.....	43
3.3.2. Filtration.....	46
4. Approches actuelles d'atténuation des risques covid-19 dans les milieux intérieurs ...	52
4.1. Introduction.....	52
4.2. Stérilisation par ultraviolets.....	52
4.3. Systèmes de désinfection par pulvérisation électrostatique.....	54
4.4. Systèmes de désinfection par brumisation.....	56
Chapitre IV Equipements de protection individuelle et risques de contamination dans le cadre du covid-19	60
1. Equipements de protection individuelle	60

2. Choix d'un équipement de protection individuelle.....	61
3. Composants des équipements de protection individuelle	63
3.1. Protection du visage	63
3.1.1. Masques et la pandémie covid-19	63
3.1.2. Protection des yeux.....	66
3.2. Protection de la tenue de travail.....	66
3.3. Gants à usage médicale	71
3.4. Autres équipements de protection individuelle.....	72
4. Les EPI des agents de santé durant la pandémie de COVID-19.....	72
5. Relargage des particules par les tenues de protection.....	74
Partie pratique	75
I. Introduction	76
II. Matériel	78
1. Milieu d'étude.....	78
2. Equipement de protection individuelle	78
3. Nettoyage et désinfection de l'environnement	79
4. Compteur de particules (CLIMET CI-153).....	80
5. Opérateurs.....	81
III. Méthode	82
1. Temps entre l'habillage et déshabillage	82
2. Déshabillage des EPI.....	83
3. Comptage particulaire	83
4. Prélèvements.....	83
5. Durée de prélèvement.....	84
6. Réglage du système de prélèvement	84
7. Méthode d'analyse des données	84
IV. Résultats	85
1. Résultats de prélèvement de l'opérateur 1.....	85
2. Présentation graphique des résultats de comptage particulaire lors du déshabillage....	91
3. Résultats des prélèvements de l'opérateur 2.....	96

4. Présentation graphique des résultats de comptage particulaire lors du déshabillage..	102
5. Moyenne des résultats des deux operateurs.....	107
6. Présentation graphique de la moyenne de nombre de particules de deux opérateurs.	109
7. Résultats comparatifs du nombre moyen de particules émises lors du déshabillage, des deux opérateurs	117
V. Analyses et discussion des résultats	121
1. Analyse des résultats du comptage de particules au moment du déshabillage	121
1.1. Analyse des résultats : variation du nombre de particules émises en fonction de la distance (op I)	121
1.2. Analyse des résultats : variation du nombre de particules émises en fonction de la distance (op II)	121
1.3. Analyse des résultats : moyenne de taux de particules émises lors du déshabillage	122
1.4. Analyse des résultats : variance du nombre de particules à chaque distance	123
1.5. Analyse des résultats : taille de combinaison sur le taux d'aérosols.....	124
2. Etat de connaissance de la contamination particulaire lors du déshabillage	124
2.1. Discussion d'émission des aérosols lors du déshabillage.....	124
2.2. Discussion de la répartition des particules en fonction de la taille	126
2.3. Discussion de la contamination et transport des microorganismes par les EPI...	129
2.4. Discussion du risque d'auto contamination lors du déshabillage	130
2.5. Discussion de la contamination covid-19 lors du déshabillage	130
Conclusion	132
Résumés	134
Annexes.....	138



Introduction générale

L'air que nous respirons n'est jamais exempt de contaminations. On peut le considérer comme un aérosol de particules en suspension. Ces particules de taille variable, seront inertes ou vivantes. La présence de contamination dans l'air, peut être d'origine externe (c'est ce que l'on appelle la "pollution de l'atmosphère"), ou d'origine interne lorsque l'on parle d'un espace fermé.

L'aérocontamination est un groupe de particules inertes, dont certaines agissent comme des vecteurs pour les micro-organismes. Lors de la perturbation de ces supports, des particules dans l'air seront remises en suspension, ces particules sont d'origine environnementale ou humaine.

Les microorganismes de l'air sont véhiculés par des particules de taille variable : les poussières, les squames, les gouttelettes, et les droplet nuclei. De plus, les particules de grand diamètre seront sédimentées rapidement et diffusées sur une faible distance. Tandis que, les particules fines restent en suspension plusieurs heures, et diffusent dans la pièce. [1]

La prévention des contaminations (particulaires et microbiologiques) aéroportées, fait partie des priorités des établissements de santé. Pour renforcer la sécurité des malades et du personnel à l'hôpital vis-à-vis du risque infectieux environnemental, une démarche qualité doit être mise en œuvre pour la conception, l'exploitation et le suivi de zones à environnement contrôlé tels les blocs opératoires, les services de stérilisation et les chambres d'isolement protecteur. [2]

La performance des équipements de traitement d'air est caractérisée de façon normalisée par des paramètres techniques, notamment le niveau de la contamination particulaire, au quel correspond une classe de contamination microbiologique. [3]

Le comptage particulaire et l'évaluation de l'aérobiocontamination sont des outils de qualification des zones à atmosphère maîtrisée (ZAM) et des indicateurs qualité dans le suivi de leur exploitation.

Le principe de fonctionnement des installations conventionnelles de traitement d'air dans les établissements de santé est basé sur la filtration particulaire. On ne stérilise pas l'air, mais on peut le renouveler en circuit fermé ou ouvert par filtration.

Pendant la pandémie COVID-19, des appareils purificateurs de l'air sont utilisés pour améliorer la qualité de l'air intérieur des bâtiments et des établissements de santé. Ces appareils de purification de l'air fonctionnent généralement, soit, par élimination des particules de l'air, par un procédé physique, soit, par destruction ou inactivation des composés organiques, et les agents pathogènes. [4]

En raison de la pandémie de la maladie à coronavirus 2019, les organisations de soins sélectionnent des équipements de protection individuelle (EPI) pour les agents de la santé, notamment l'hygiène des mains, le port des gants, des combinaisons, des lunettes de protection, et des masques médicaux. [4]

Les équipements de protection individuelle, plus précisément, la combinaison joue un rôle idéal dans la protection des agents de santé, contre les différentes particules (biologiques et chimiques). Ainsi, elle favorise une protection des patients, de l'environnement, et des autres agents de santé, afin de limiter l'émission des particules par le porteur.

L'objectif de notre étude est d'évaluer par le biais d'un comptage particulaire, à l'aide d'un compteur optique, le nombre d'aérosol, de tailles différentes, émis au moment du déshabillage des équipements de protection individuelle, par les agents utilisateurs après l'intervention dans un environnement contaminé par le coronavirus. Ce comptage se fait à différentes distances entre l'opérateur et l'appareil, afin de déterminer l'influence de la distance sur le taux de particules rejeté, et d'estimer la distance minimale sécurisée avec un risque de contamination réduite des personnes voisines.

Notre travail est réparti en deux grandes parties :

- ✓ Une partie bibliographique qui comprend des généralités sur la contamination particulaire de l'air (particules inertes et vivantes), et les moyens de la maîtrise de la qualité de l'environnement au sein des établissements de soins. Ainsi l'utilisation des équipements de protection individuelle au cours de la pandémie COVID-19.
- ✓ Une partie pratique qui discute le comptage des particules émises lors du déshabillage des agents de la stérilisation intervenant dans le cadre de la COVID-19



Partie I :
Analyse théorique

Chapitre I. Problématiques de santé liée à l'air

1. Introduction

Les voies respiratoires sont soumises quotidiennement à des agresseurs biologiques et chimiques présents dans l'air ambiant, dont certains ont un potentiel allergénique. La pathogénèse de ces différents agents n'est pas seulement liée à l'intensité de l'exposition, mais aussi à la résistance de l'hôte. Naturellement, les maladies respiratoires figurent en tête de liste des problèmes de santé associés à une mauvaise qualité de l'air. [5]

Les problèmes de santé liés à l'environnement sont nombreux et variés et peuvent être causés par une exposition à des facteurs biologiques, chimiques ou physiques. Les contaminants biologiques peuvent provoquer des maladies respiratoires infectieuses, telles que la grippe, la légionellose et la tuberculose, ou des types immunologiques, tels que l'hypersensibilité directe, la pneumonie d'hypersensibilité ou la fièvre humidifiée. La limitation de l'apport d'air extérieur peut affecter la propagation de certains agents infectieux. [6]

Le but de la ventilation dans un établissement de santé est de contribuer à la détérioration de la santé de ces occupants. Pour mémoire, l'OMS définit la santé humaine comme « un état de complet bien-être physique, mental et social, ne consistant pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité » [7]. Cependant, l'air intérieur peut être un réservoir pour de nombreux polluants et peut donc révéler des problèmes de santé potentiels.

2. Contamination microbiologique

2.1. Flore microbienne de l'air

La flore microbienne de l'air est composée de la flore environnementale et de la flore humaine, commensale et pathogène.

2.1.1. Flore d'origine environnementale

La flore bactérienne environnementale est composée de *Bacillus*, de microcoques, de staphylocoques à coagulase négative et plus rarement de *Staphylococcus aureus*. Les levures et les champignons filamenteux (*Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* et *Alternaria* par exemple) conviennent à la survie et à la multiplication dans l'environnement. [8]

2.1.2. Flore d'origine humaine

La flore d'origine humaine est composée de bactéries émises par l'organisme humain, principalement la flore commensale cutanée et nasoropharyngée et éventuellement la flore digestive : *Staphylococcus* coagulase négative en particulier *Staphylococcus epidermidis* et *Staphylococcus hominis*, *Corynebacterium sp.*, *Propionibacterium acnes*, *Micrococcus*, *Streptococcie* et *Enterobacteriaceae* [9]. Les virus pénètrent le plus souvent dans l'environnement à partir d'un réservoir humain, du personnel hospitalier, de patients ou de visiteurs, par exemple le virus respiratoire syncytial (RSV) ou le virus de la grippe. Leur importance est certainement sous-estimée, car leurs recherches sont difficiles à mener dans l'environnement, les techniques sont complexes et coûteuses (culture, PCR). Ceci n'est donc pas effectué systématiquement lors de la surveillance microbiologique de l'environnement. [9]

2.2. Infections nosocomiales contractées par voie aérienne

Les infections nosocomiales sont des infections contractées dans les établissements de la santé. Une infection est considérée comme telle si elle n'était pas présente au moment de l'admission. Si l'état infectieux du patient est inconnu à l'admission, l'infection est classiquement considérée comme nosocomiale si elle survient après 48 heures d'hospitalisation. Cependant, ce délai est assez artificiel et ne doit pas être appliqué sans réflexion. [10]

L'air contient beaucoup de micro-organismes. Cette contamination microbienne existe sous forme d'aérosols. Ces derniers sont constitués d'agrégats de particules inertes (solides ou liquides) en suspension dans l'air. Parmi ces agrégats, certains portent des microorganismes de toutes sortes. Ces agrégats sont appelés bioaérosols. La taille des agrégats varie entre 0,5 et 30 µm [11]. Les agents pathogènes habituellement retrouvés sont illustrés dans la Figure 1. Certains microorganismes ont acquis une plus grande résistance dans l'environnement du fait de leur forme de spores (bactéries de type *Clostridium*, moisissures de type *Aspergillus*) ou de la présence d'une couche lipidique pour les virus enveloppés.

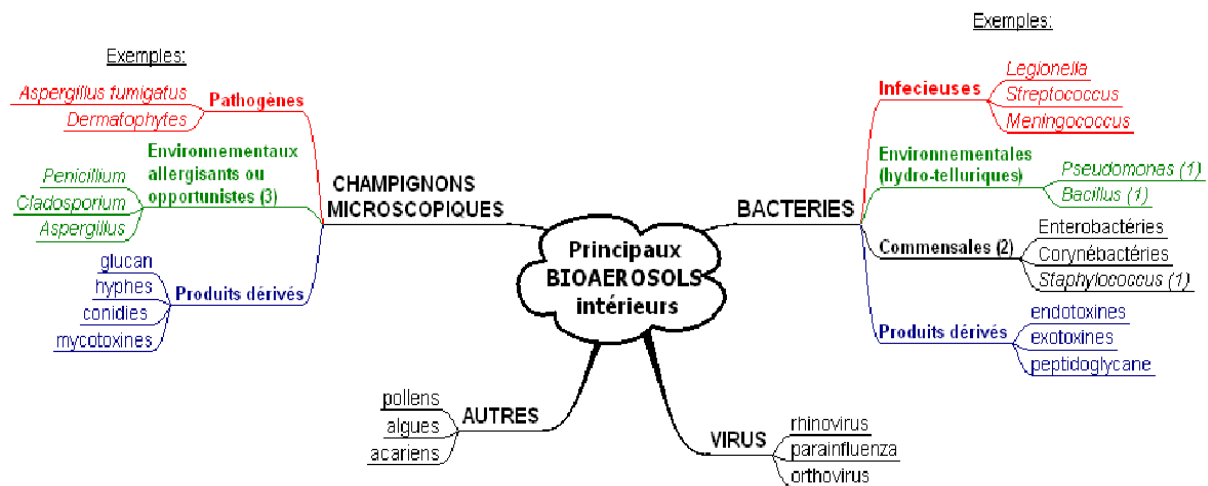


Figure 1 : Schéma heuristique des principaux bio aérosols dans l'air intérieur. [12]

Les infections nosocomiales sont devenues un problème majeur de santé publique en raison de leurs conséquences médicales et économiques. La fréquence des infections virales est généralement estimée à 5% de toutes les infections hospitalières, principalement le tropisme pulmonaire et digestif. [13]

Concernant les risques microbiologiques, les établissements de santé semblent plus complexes que ceux ouverts au public. En fait, les établissements de santé doivent faire face à un triple problème :

- Protéger et isoler les patients
- Protéger le personnel
- Protéger les visiteurs

2.3. Emissions respiratoires des microorganismes

Lors de l'étude du processus de la contamination des individus et de la prévention des infections (en particulier les infections respiratoires), il est nécessaire de combiner les compétences des disciplines suivantes : microbiologie, épidémiologie, médecine, physique et ingénierie des aérosols. Parmi les nombreux modes de transmission des maladies infectieuses, d'un point de vue épidémiologique, l'un des moyens les plus importants est l'air. Lorsque des particules sont émises pendant la conversation, la toux, les éternuements ou les vomissements,

les micro-organismes seront atomisés. Le sort de ces particules produites dépend des principes physiques de leur transport dans l'air, et le facteur le plus important est le facteur « taille », qui détermine leur dispersion, leur dépôt en surface, ainsi la survie des microorganismes qu'elles transportent. [14]

La taille de ces particules et leur devenir dans l'air déterminent également les mesures de gestion des risques, qu'il s'agisse de la distance de sécurité recommandée ou du choix des équipements de protection individuelle et collective. Les premiers travaux sur le sujet de Wells et Riley ont défini une taille de 100 μm en 1934 pour distinguer les grosses gouttelettes qui devraient se déposer Rapidement (moins de 3 pieds ou environ 1 m) et les particules les plus fines (noyaux de gouttelettes) restent en suspension dans l'air et se propagent sur de plus longues distances. [15, 16]

L'homme et l'animale émettent continuellement des microorganismes dans l'air sous forme des squames ou de gouttelettes, pour ces dernières, L'OMS propose actuellement la distinction suivante [17] :

- Les gouttelettes de Pfluge (droplet) : aérosols respiratoires de diamètre $> 5 \mu\text{m}$, En même temps, un taux de précipitation est généré, ce qui provoque une pollution intensive mais locale. Ces gouttelettes deviennent des droplets nuclei après séchage.
- Les droplet nuclei : résidus secs des aérosols respiratoires de diamètre $\leq 5 \mu\text{m}$ issus de l'évaporation de gouttelettes provenant de la toux ou des éternuements ou par aérosolisation de matériel infectieux. Cette petite taille ralentit leur vitesse de sédimentation et persiste donc longtemps dans l'air. Ils sont agités par les courants d'air et se propagent plus facilement dans l'environnement.

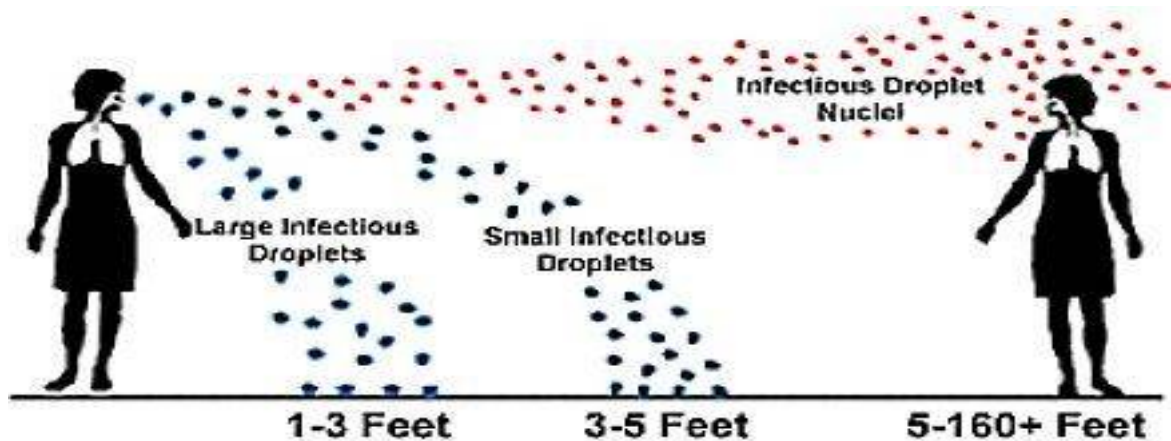


Figure 2 : propagation des gouttelettes et des droplets nuclei en fonction de taille et distance. [18]

2.3.1. Mécanismes de formation des aérosols

Il existe dans la littérature des données déjà anciennes démontrant que l'air expiré par un sujet sain lors de la respiration par la bouche ou le nez, la parole ou la toux provoquée, contient des particules issues des voies respiratoires. [14]

Au moment de respiration, parole, touse ou d'éternuement, des particules sont générées par les forces de cisaillement ou la déstabilisation des fluides recouvrant la muqueuse ou les cellules du système respiratoire [19]. Par conséquent, le mouvement de la bouche et de la langue produira des gouttes de salive. L'expiration et l'inspiration vont entraîner le mucus tapissant l'appareil respiratoire et la réouverture des alvéoles va générer des gouttelettes par la rupture du film liquidien. Enfin, la vibration et le mouvement des cordes vocales peuvent également rendre instable le mucus qui les recouvre. [20]

Chez les sujets sains de 12 à 17 ans, l'air expiré contient des particules solides, liquides et mixtes provenant des composants de surface et de paroi de la muqueuse des voies respiratoires supérieures, ainsi que de la zone de conduction dans la cavité thoracique et le poumon profond (mucus, surfactant, déshydratation, cellules, débris cellulaires, particules étrangères causées par la pollution de l'air, microbes ou fragments de microbes intracellulaires ou extracellulaires). [14]

Le nombre de particules émises dépend de plusieurs facteurs. La respiration simple émet 10 à 10^4 particules par litre d'air expiré, ou entre 1 et 5×10^3 particules par minute, varient fortement d'un individu à l'autre [18]. Le taux d'émission de particules pendant une parole normale est positivement lié avec le volume (amplitude) de la vocalisation, qui varie d'environ de 1 à 50 particules par seconde ($0,06$ à 3 particules par cm^3) à des amplitudes faibles à élevées, quelle que soit la langue parlée (arabe, anglais, Espagnol) [19]. Là encore, il existe de grandes disparités individuelles et certaines personnes sont des "super-émetteurs" [20]. Une toux génère de 10^3 à 10^4 particules et environ 10^6 particules sont générées par un éternuement. [21]

Chez les sujets atteints d'infections respiratoires deux types de modifications seront effectués pour augmenter la production de particules : [22, 23]

- D'une part, la réaction inflammatoire de l'épithélium respiratoire à l'origine de divers phénomènes (hypersécrétion de mucus, œdème, prolifération de cellules inflammatoires, nécrose de cellules inflammatoires et de cellules épithéliales) avec deux conséquences notamment :
 - Des changements rhéologiques, qui modifieront le flux d'air dans les voies respiratoires par rapport à une personne en bonne santé.
 - Une augmentation de la quantité de matière cellulaire, microbiologique et particulaire à la surface de l'épithélium qui sera présente dans l'air expiré.
- D'autre part, la modification des modes d'expiration liée aux phénomènes de toux avec crachats et éternuements, provoquant une augmentation considérable du nombre de particules dans l'air expiré, avec une augmentation de la fraction de particules plus grosses (mais toujours avec présence de fines particules).

2.3.2. Granulométrie des particules émises par voie respiratoire

La distribution granulométrique de l'aérosol dépend des caractéristiques de l'expiration (sédation ou ventilation forcée, toux et expectorations), la majorité des particules sont inférieures à $1 \mu\text{m}$, alors, les particules plus grosses ($> 10 \mu\text{m}$) sont augmentées lors de l'examen des expectorations.

Papineni et Rosenthal ont étudiés la distribution granulométrique de cet aérosol à l'aide d'un compteur optique et d'images de microscope électronique à transmission analytique [24]. Les résultats ont constaté que les particules fines (de taille $<1 \mu\text{m}$) étaient dominantes et que le gradient de diamètre entre la respiration nasale, la respiration buccale et la toux provoquée augmentait progressivement. Compte tenu de la taille des virus (généralement $<100 \text{ nm}$), les auteurs ont conclu que ces résultats sont cohérents avec la présence de virus dans les particules fines en décomposition ($<1 \mu\text{m}$), discutant du rôle des changements dans la composition et le type de particules. Présent dans les voies respiratoires en cas d'infection et, par conséquent, le nombre et la taille des particules émises. [24]

Une étude sur des patients grippaux a montré que 43 % de l'ARN viral libéré par les patients était transporté par de fines particules de diamètre aérodynamique inférieur à $1 \mu\text{m}$ [25].

Récemment, certains auteurs ont décrit le mécanisme de formation de ces aérosols [25, 26], soulignant la complexité des déterminants de la distribution granulométrique. Ces facteurs sont liés à des paramètres et dépendent de la nature de l'agent infectieux impliqué, du stade clinique de la maladie causée et les manœuvres cliniques liées à la prise en charge des patients.

Ces propriétés des aérosols expirés ont fait l'objet de recherches pour développer des méthodes non invasives pour caractériser des biomarqueurs reflétant l'état du système respiratoire [27], en particulier lors de l'exploration des maladies infectieuses. [23]

Une bonne caractérisation des aérosols infectieux, en particulier de la partie respective des différentes classes granulométriques des aérosols inhalés, nécessite une approche multidisciplinaire pour cette recherche. [28]

2.3.3. Comportement des aérosols dans l'environnement

Lors de la respiration, de la parole ou de la toux, les gouttelettes sont libérées de la bouche ou du nez dans un flux d'air turbulent et discontinu. La vitesse de l'air sortant de la bouche ou du nez dépend de l'activité et les magnitudes sont d'environ 1 ms^{-1} , 5 ms^{-1} et 10 ms^{-1} pour respirer, parler et tousser. [29]

En l'absence de masque, les plus grosses gouttelettes suivront des trajectoires balistiques et se déposeront sur des surfaces au voisinage de l'émetteur, ou plus à distance en

fonction de leur vitesse d'émission ou de l'existence d'un flux d'air, tandis que les plus petites le seront être entraînée dans le courant d'air qui se mélange à l'air ambiant, ce qui provoque l'évaporation rapide de l'eau et laisse en suspension un résidu sec formé par des éléments non volatils présents dans la goutte initiale [29]. La vitesse d'évaporation est fonction de la température ambiante et de l'humidité.

La distinction traditionnelle entre les microgouttelettes (diamètre $\leq 5 \mu\text{m}$) et les gouttelettes d'un diamètre supérieur à $5 \mu\text{m}$ considérées comme transportées uniquement sur des distances inférieures à 1 mètre n'est pas fondée. Les particules solides ou liquides de taille entre 6 et $10 \mu\text{m}$ peuvent mettre quelques heures à se déposer d'une hauteur de 3 mètres. L'IRSSST (Institut Robert-Sauvé d'hygiène et de sécurité au travail, Québec) avait déjà affirmé en 2007 que la croyance selon laquelle des gouttelettes de plus de $5 \mu\text{m}$ sédimentaient avant de parcourir une distance d'un mètre n'était pas fondée [30].

2.4. Risque viral covid-19

2.4.1. Introduction et historique

L'épidémie de syndrome respiratoire aigu sévère à coronavirus 2 (SARS-CoV-2) apparu la première fois à Wuhan en décembre 2019 est rapidement devenue une pandémie mondiale majeure avec une forte morbidité et une forte mortalité [31].

Le SARS-CoV-2 est la dénomination du Coronavirus, Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses que l'OMS nommera plus tard COVID-19 [32].

Cette pandémie a été déclarée urgence de santé publique dans le monde par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) le 30 janvier 2020 [33].

En fin avril 2020 (29 avril 2020), près de trois millions cas étaient confirmés dans le monde avec plus de 200 000 décès [34].

Le 29 décembre 2019, les quatre premiers cas d'un syndrome respiratoire aigu d'étiologie inconnue ont été déclaré dans la ville de Wuhan, province du Hubei, en Chine ; tous avaient trouvés dans un marché local exotique [35].

Rapidement, une source secondaire d'infection s'est avérée être la transmission interhumaine par contact étroit entre les personnes. Il y avait une augmentation des personnes infectées sans antécédents d'exposition à la faune ou de visite à Wuhan, et plusieurs cas d'infection ont été détectés chez les professionnels de la santé [36].

2.4.2. Agent pathogène

Les coronavirus (CoVs) sont de virus de très grande taille (80 à 160 nm de diamètre), enveloppés et contiennent une capsid à symétrie hélicoïdale, ce qui leur confère une morphologie caractéristique en couronne, d'où leur nom (figure 3).

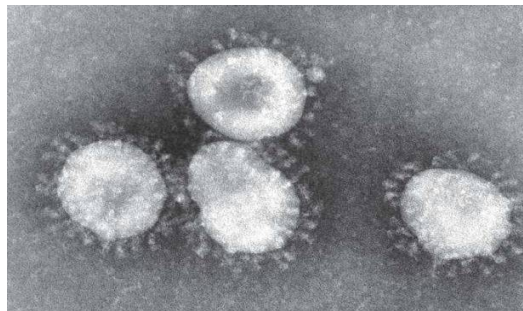


Figure 3 : Coronavirus observés en microscopie électronique. [37]

Les coronavirus appartiennent à la famille des *Coronaviridae*, qui divisées en deux sous-familles, les *Coronavirinae* et les *Torovirinae*. Les *Coronavirinae* comprend quatre genres ; *Alpha-*, *Beta-*, *Gamma-* et *Deltacoronavirus*. Le genre *Betacoronavirus* est subdivisé en quatre clades (A, B, C et D). Les coronavirus humains (HCoV) appartiennent aux *Alpha-* et aux *Betacoronavirus* (tableau I). [38,39].

Alphacoronavirus	Betacoronavirus
HCoV-229E (1966) HCoV-NL63 (2004)	Clade A HCoV-OC43 (1967) HCoV-HKUI (2005)
	Clade B Sars-CoV (2003) Sars-CoV-2 (2019)
	Clade C Mers-CoV (2012)

Tableau I : Classification des sept coronavirus humains et année de leur identification.

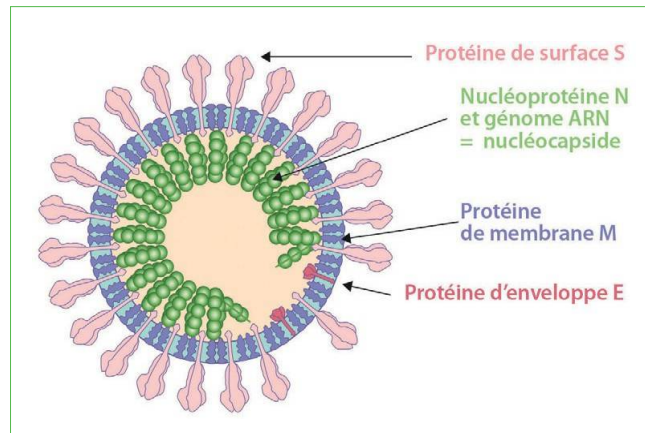


Figure 4 : Structure du Sars-CoV-2. [38]

Le génome des coronavirus est de grande taille, environ 30 kb. C'est une molécule d'ARN simple brin linéaire non segmentée avec une polarité positive. Le génome se compose de deux régions non codantes situées à 5' et 3'. La partie codante est divisée en plusieurs sections. Les deux premiers tiers du génome sont constitués de deux grandes régions chevauchantes, *open reading frame* (ORF) 1a et ORF1b, codant le complexe de réplication-transcription, dont le gène l'ARN polymérase ARN-dépendante (*RdRp*) qui code l'ARN polymérase ARN-dépendante.

Le dernier tiers du génome code les protéines de structure (*S*, *E*, *M*, *N*) et des protéines non structurales variables selon les espèces de coronavirus (figure 5). [40]



Figure 5 : Organisation génomique du Sars-CoV-2. ORF : open reading frame ; RdRp: gène codant l'ARN polymérase ARN-dépendante ; S, E, M, N : gènes codant les protéines de structure (S [surface], E [enveloppe], M [membrane], N [nucléoprotéine]).

2.4.3. Contamination aérienne et vestimentaire

Le SRAS-CoV-2 se propage principalement en libérant des gouttelettes respiratoires. Ces gouttelettes chargées de virus peuvent infecter les individus sensibles par contact direct avec la muqueuse (transmission directe) ou par contact avec la surface infectée via le nez, la bouche ou la muqueuse conjonctivale (transmission indirecte). Les gouttelettes peuvent être projetées à plusieurs mètres de distance. Bien que le virus puisse survivre au moins trois heures après aérosolisation expérimentale. En revanche, le virus peut survivre plusieurs jours sur des surfaces inertes. [41]

En plus, des échantillons respiratoires, de l'ARN viral a également été détectés dans les selles et le sang des patients infectés [42]. Bien que certains virus aient survécu à la culture de matières fécales [43] et que le SRAS-CoV-2 puisse infecter les cellules épithéliales intestinales humaines. [44]

Le SRAS-CoV-2 peut être déposé sur les vêtements en projetant des gouttelettes de liquide. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a annoncé que bien qu'il soit difficile de connaître la durée de vie exacte du virus dans notre organisation, elle peut aller de "quelques heures à quelques jours". Tout dépend de la matière de nos vêtements. [45]

Dans une étude publiée dans la revue médicale The Lancet, les chercheurs ont analysé la durée de vie des coronavirus proche de la durée de vie normale (température de 22° C et humidité d'environ 65 %). Les principales constatations : les traces du coronavirus (taux détectables) peuvent se trouver à l'extérieur d'un masque chirurgical jusqu'à 7 jours après la contamination. [46]

Cependant, nous savons que le virus s'attache aux surfaces poreuses (papier, carton, etc.) pendant un temps plus court que les surfaces non poreuses (comme les tissus). Les espaces entre les fibres rendent le virus plus difficile. Le Dr Philip Tierno, microbiologiste à l'Université de New York Langone Health, a déclaré au magazine américain GQ. En fin de compte, la température et l'humidité affecteront également la vie du virus [47].

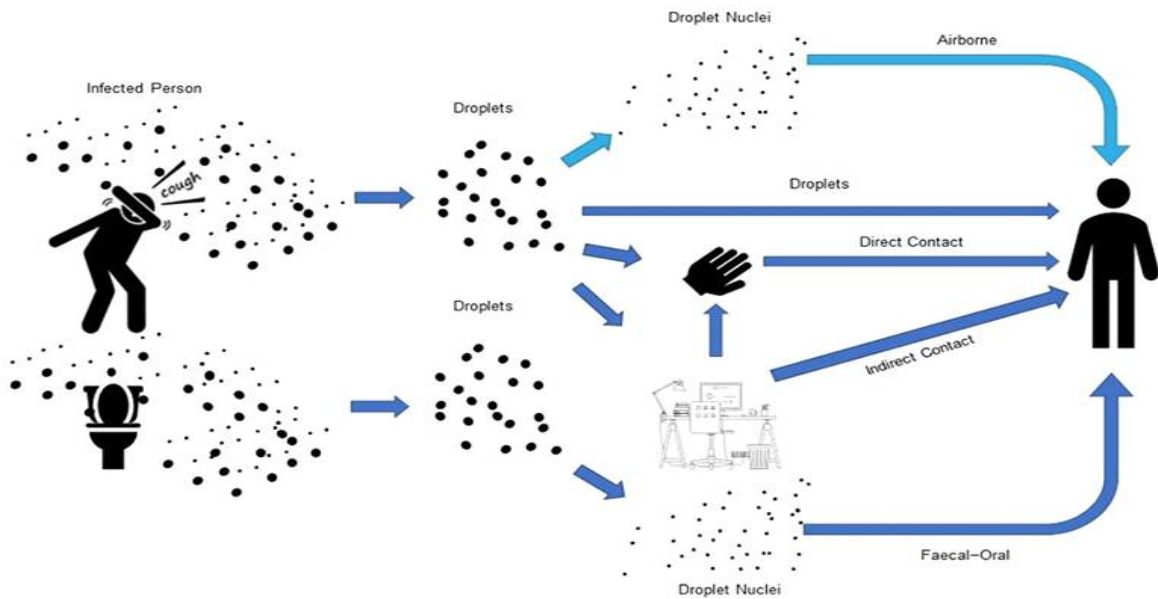


Figure 6 : Contamination directe et indirecte du virus Covid-19 par gouttelettes. [48]

2.4.4. Physiopathologie

Comme le SARS-CoV-1, le SARS-CoV-2 utilise également l'enzyme angiotensine 2 (ACE2) (figure 7) (en tant que principal récepteur cellulaire est transformé en cellules hôtes [49]. Après environ cinq jours d'incubation, 70 % des patients infectés auront de la toux, de la fièvre ou des difficultés respiratoires [50]. Cette étape de l'invasion chez certains patients, après l'infection virale, il se passe généralement huit à dix jours après l'apparition des premiers symptômes, et la réponse immunitaire est insuffisante avec une aggravation des symptômes respiratoires et une aggravation du syndrome inflammatoire [51]. Ce stade de mauvaise immunité, parfois appelé tempête de cytokines, peut être lié à la coagulopathie. Pour certains auteurs, l'ensemble du processus correspond à une septicémie virale [52]. Dans la septicémie bactérienne, la réaction inflammatoire est nocive et provoque des dommages organiques, particulièrement difficiles à explorer. [53]

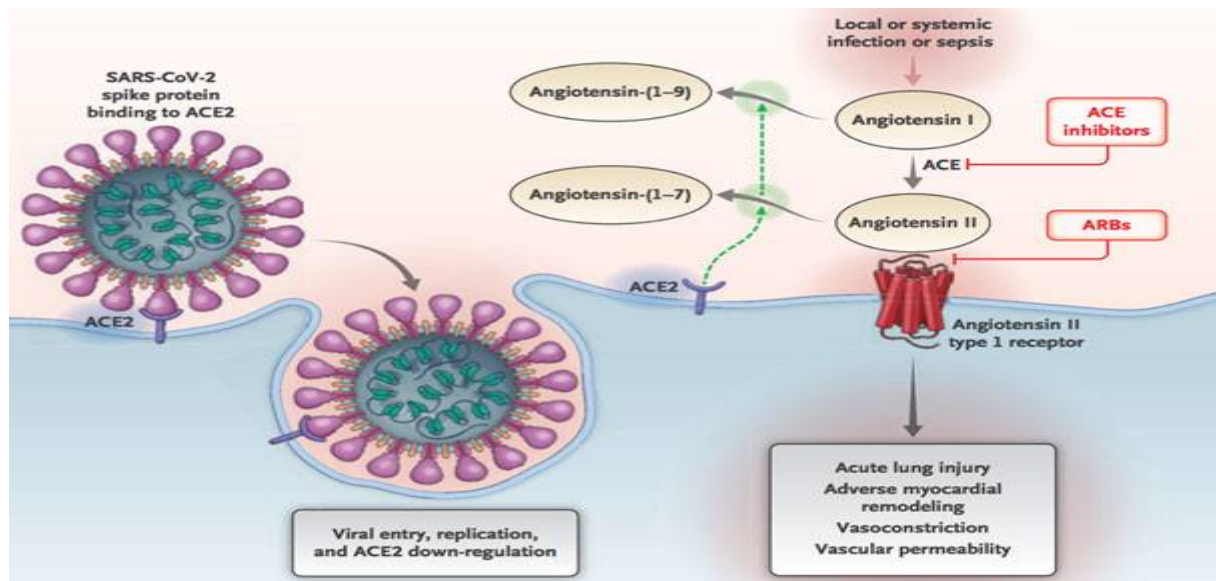


Figure 7 : Interaction entre le SARS-Cov2 et le système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA).

L'ACE 2 transforme l'angiotensine II en angiotensine 1-7 et l'angiotensine I en angiotensine 1-9. Pourtant, l'ACE 2 n'est pas bloquée par les inhibiteurs de l'enzyme de conversion qui empêchent la conversion de l'angiotensine I en angiotensine II. Le *spike* de la glycoprotéine du SARS-Cov2 se fixe avec l'ACE 2 à la surface des cellules pulmonaires puis la pénétration intracellulaire du complexe viral se fait par endocytose favorisant à une diminution de l'expression de l'ACE 2 membranaire de surface cellulaire. C'est la perte de l'ACE 2 membranaire qui implique l'accumulation d'angiotensine II circulante [54].

Le tableau clinique de l'infection au Sars-CoV-2 est très polymorphe. La proportion de formes asymptomatiques est encore débattue, elle se situe probablement d'environ de 15 % [55]. Chez les patients symptomatiques, la période d'incubation après contamination est inférieure à 14 jours (médiane 5 jours). [56]

Cette durée est comparable à celle d'autres virus dits respiratoires. Dans d'autres virus dits respiratoires, la porte d'entrée de l'agent infectieux et le site final de réplication virale sont similaires. Les périodes d'incubation des autres présentations, notamment cutanées, neurologiques et digestives, sont moins connues et peuvent être plus longues, car impliquant une étape virémique intermédiaire. [56]

2.4.5. Diagnostique

Parmi les tests de diagnostic permettant de confirmer le COVID, la réaction de transcription inverse est suivie de la réaction de polymérisation en chaîne quantitative en temps réel (RT-qPCR) et du test de diagnostic rapide basé sur la détection d'antigène SARS-CoV-2. Deux méthodes spécifiques au SARS-CoV-2 peuvent être utilisées pour les manifestations infectieuses. Les tests d'anticorps sériques (ELISA et tests de flux latéral) sont utilisés dans les derniers stades et après la récupération. En l'absence d'un « benchmark » parfait, la sensibilité et la spécificité citée dans diverses études doivent être traitées avec prudence, de sorte qu'un bref commentaire est fait. [57]

En plus des manifestations cliniques, les biomarqueurs et l'imagerie peuvent également aider à diagnostiquer le COVID, il est également possible d'identifier l'ARN du SRAS-CoV-2 dans des échantillons biologiques pour déterminer cette maladie virale. En plus des manifestations cliniques, les biomarqueurs et l'imagerie peuvent également aider à diagnostiquer le COVID, il est également possible d'identifier l'ARN du SRAS-CoV-2 dans des échantillons biologiques pour déterminer cette maladie virale. [57]

En pratique, cela se fait en analysant la présence de virus dans des prélèvements nasopharyngés prélevés sur des patients suspects. En laboratoire, nous utilisons le « Protocole de Berlin », qui a été développé et fourni à l'échelle mondiale par le professeur Christian Drosten, directeur de l'Institut de virologie de l'hôpital de la Charité à la mi-janvier 2020. Le test cible les gènes SARS-CoV-2 E et RdRp [57]

3. Contamination particulière

3.1. Généralité

L'air extérieur et l'air intérieur peuvent être chargés en trois grandes catégories de polluants : les polluants inertes, les polluants chimiques et les particules vivants (cf. contamination microbiologique), dont l'origine est liée au fonctionnement des écosystèmes (végétaux, animaux et sol) et à l'activité de l'homme.

La figure ci-dessous illustre le nombre de particules émises par l'humain en fonction de leurs comportements et de leurs gestes :

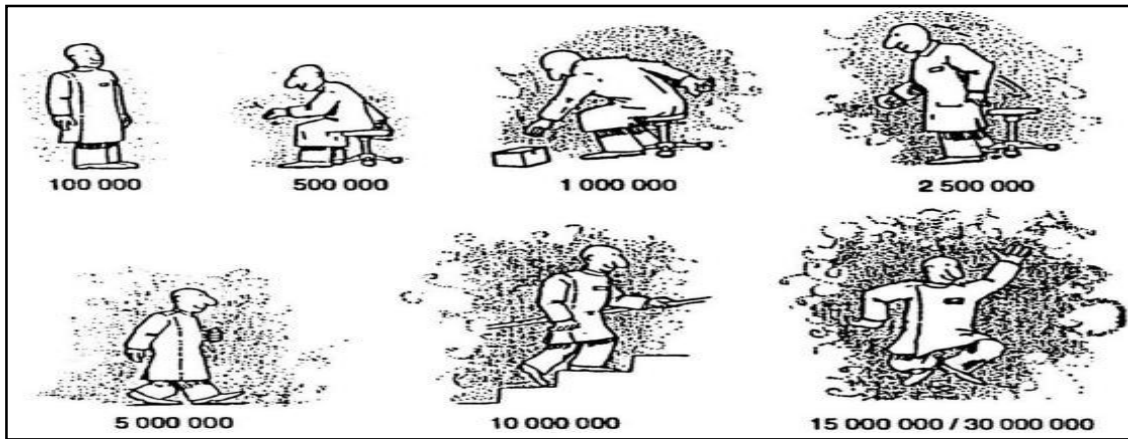


Figure 8 : Nombre des particules émises par minute selon l'activité humaine. [58]

La taille de ces particules est variable de la fraction du micron à plusieurs dizaines de microns, or la plupart des particules inertes (99,99 %) ont un diamètre inférieur à un micron. [59] Le diagramme de Whitby permet d'établir la relation entre la proportion et le diamètre des particules selon leur nombre (figure 9).

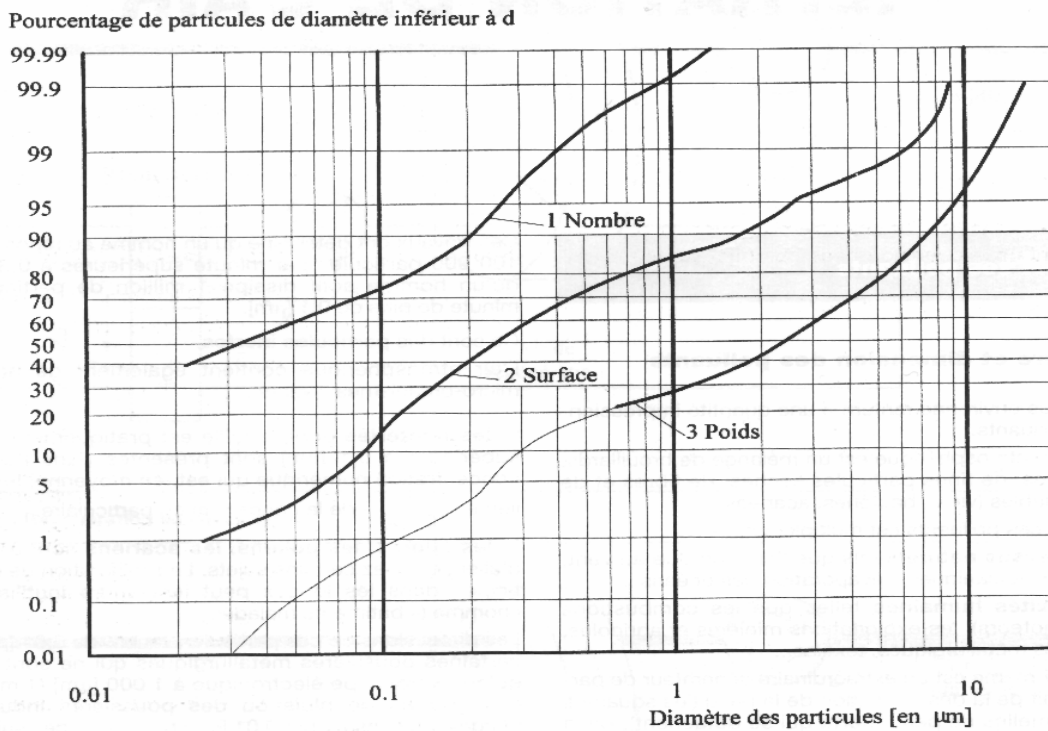


Figure 9 : Courbes résumes la répartition des particules dans l'air atmosphérique. [60]

3.1.1. Répartition en nombre

Le diagramme indique que 99,9 % des particules, comptées au microscope électronique, d'un volume d'air donné ont un diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm.

3.1.2. Répartition en surface

Cette méthode permet de juger de l'effet de salissement provoqué des poussières : l'ombre des particules est projetée sur une surface plane ; on observe qu'environ 85 % de la surface obtenue est due à des particules dont le diamètre est inférieur à 1 µm.

3.1.3. Répartition en masse

On constate sur la courbe numéro 3 (poids) que la masse des particules ont un diamètre inférieur à 1 µm représente 27 % du poids totale des particules. Ces pourcentages en masse sont mesurés par sédimentation.

3.2. Différents polluants d'origine intérieure

3.2.1. Polluants des matériaux de construction et du mobilier

Pour de nombreux composés organiques volatils (COV), il semble que les sources de pollution attribuées aux matériaux de construction et aux meubles soient très importantes.

Suite aux consignes émises par l'Agence Française pour la Sécurité Sanitaire de l'Environnement et de Travail (AFSSET), des stratégies d'échantillonnage et de mesure des COV émis par les matériaux de construction ont été définies dans un contexte normatif. [61]

En fait, les émissions primaires des COV sont importantes après la fabrication, et diminuent après la mise en œuvre, selon la nature des composés et le type du matériau. En revanche les émissions secondaires dues à l'action sur le matériau de divers facteurs tels que la haute température, l'humidité ou les traitements chimiques d'entretien peuvent durer, et même augmenter dans le temps. [62]

Pour conclure, les composés pouvant être identifiés dans les matériaux de revêtement de l'hôpital et donc pouvant influencer la qualité de l'air intérieur sont les suivants : [63]

- ❖ Composés organiques volatiles provenant :
 - Des matériaux synthétiques en Polychlorure de vinyle : Le diéthylphtalate (DEP) et le dibutylphtalate (DnBP) sont les composés majoritairement trouvés dans les prélèvements d'air.

- Du mobilier en bois aggloméré : formaldéhyde
- De la colle urée formol : le formaldéhyde
- Des panneaux de particules agglomérées (bois, fibre) : le formaldéhyde et l'acétaldéhyde
- ❖ Fibres Minérales Artificielle (FMA) provenant :
 - Des salles à faux plafonds, cloisons, portes, fibres de laine de verre, et de roche.
 - Des fibres céramiques réfractaires.

Familles chimiques	COV	Propriétés
Composés aromatiques	Benzène	Gaz d'échappement de véhicules, foyers ouverts, fumée de tabac et produits de bricolage, construction, décoration ou d'ameublement
	1, 2, 4-triméthylbenzène	Solvant pétrolier, carburants, goudrons, vernis
	m/o/p -Xylène	Insecticides, peintures, vernis, colles
	Toluène	Vapeurs d'essence, peintures et vernis, agent de préservation du bois, tapis
	Ethylbenzène	Carburant, cires
	Styrène	Carburants, polystyrène, articles de loisir, matériaux isolants, fumées de tabac, matières plastiques
	Décane	White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, tapis, moquettes, sol
	Undécane	White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs sol
	C6 à C15	Agents d'entretien, peintures, vernis, white spirit, colles pour sol, moquette, tapis
Terpènes	(+/-) Alpha pinène	Désodorisant, parfum d'intérieur, produit d'entretien
	Limonène	Désodorisant, parfum d'intérieur, cires, nettoyeurs pour sol
Cétones		Adhésifs, dissolvants
Aldéhydes	Formaldéhyde	Désinfectant, livres et magazines neufs, photocopieurs
	Acétaldéhyde	Foyers ouverts, fumées de tabac, panneaux de bois brut et de particules, isolants, photocopieurs
Esters ou éthers de glycol	1-méthoxy-2-propanol	Laques, peintures, vernis, savons, cosmétiques
	2-butoxyéthanol	Peintures, vernis, fongicides, herbicides, traitement du bois
	2-éthoxyéthanol	Peintures, laques, vernis
	Butyl-acétate	Parquet, solvants
	2-éthyle-1-hexanol	Solvants aqueux
Alcools	Butanol, phénol	Peintures, vernis, nettoyeur de moquette et de recouvrements, cosmétiques, désinfectants, antigel, décapant pour peintures,

Tableau II : Sources principales des COV présents dans l'air intérieur. [64,65]

3.2.2. Polluants des produits de nettoyage et de désinfection et de stérilisation

L'utilisation des détergents et des désinfectant peut s'avérer dangereuse pour les utilisateurs (femmes de ménage, agents de stérilisation...) les occupants des locaux, mais aussi pour l'environnement et requiert par conséquent des précautions particulières.

La formulation des produits hospitaliers est complexe, on retrouve à côté d'un ou plusieurs principes actifs de nombreux adjuvants ou excipients et un solvant aqueux ou alcoolique. Les principaux composants sont les principes actifs qui sont des biocides, ce sont par définition des substances actives ou des préparations contenant une ou plusieurs substances actives destiné à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles [66].

Le laboratoire ANIOS, fournisseur principale de l'HMIMV, utilise aujourd'hui les principes actifs suivants pour la composition des produits achetés par l'établissement :

- Ammoniums quaternaires, tensio-actifs cationique utilisés comme désinfectant. Les principaux utilisés sont le chlorure et le propionate de didécyl diméthylammonium.
- Amphotères comprenant des chlorhydrates d'acides aminés et des polyalkylamines (Bis-aminopropyl) –laurylamine).
- Acétates de guanidinium
- polyhexamide dont le chlorhydrate de polyhexaméthylène biguanide (PHMB)
- Aldéhydes

Les premières molécules citées sont en solution aqueuse, thermostables, non volatiles et solubles en toutes proportions, donc la présence de ces molécules dans l'air intérieur des bâtiments de L'Hôpital est peu probable. Mais les composés non volatils peuvent être inhalés soit par la pulvérisation d'aérosol lorsque le conditionnement est un spray prêt à l'emploi soit par la mise en suspension des composés déposés sur les surfaces ou les textiles [67]. Les produits contenant ces composés sont utilisés quotidiennement dans les différents locaux, par exemple Surfanios Premium qui est une solution de couleur verte, destinée pour le nettoyage et désinfection des sols, murs, matériel médical et dispositifs médicaux non invasifs.

Par contre, le produit à base de formaldéhyde, composé volatil et toxique, est uniquement utilisé pour une désinfection terminale lors d'épisode particulier de contaminations ou d'épidémies. L'utilisation de ce produit nécessite l'utilisation d'un évaporateur conçu pour cet effet et de précaution d'emploi.

3.2.3. Polluants spécifiques à certains services hospitaliers

a. Gaz anesthésique

Une anesthésie est réalisée pour chaque opération dans la salle d'opération pour endormir le patient. L'anesthésie par inhalation est principalement réalisée avec du protoxyde d'azote. Les chirurgies mineures et certains services de santé, principalement les urgences et les services hospitaliers, utilisent ce gaz pour l'analgésie des patients. Il est utilisé par induction ou mélangé à de l'oxygène. Les substances halogènes desfluranes et sévoflurane sont ajoutées au mélange de NO₂ et O₂ pour usage intensif. La dose de ces deux composés volatils est de l'ordre de 0,5% à 3%. [68]

En particulier, les gaz anesthésiques non recyclés constituent une source majeure de contamination. Plus de 95% du gaz utilisé dans les opérations s'échappe tel quel. [68]

3.3. Polluants d'origine extérieure

Il s'agit pour essentiellement d'une pollution de type physico-chimique liée aux activités humaines. Ces polluants extérieurs, de nature physico-chimique comme le dioxyde d'soufre, les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, les hydrocarbures, l'ozone, et les contaminants naturels représentés par les pollens et les champignons microscopiques, prennent une place plus ou moins importante dans la pollution à l'intérieur des établissements, avec un certain délai par rapport aux événements extérieurs.

Les principaux polluants chimiques extérieurs sont [69] :

– L'ozone O₃ :

Doit être différencié de l'ozone de la haute atmosphère ou de la stratosphère, essentielle à la vie sur terre, car il filtre une partie nocive du rayonnement solaire, de l'ozone troposphérique dans la basse atmosphère, qui est la pollution que nous respirons.

Cette forme de pollution est appelée pollution secondaire et est fortement affectée par les changements saisonniers, surtout en été, lorsque le soleil émet beaucoup de rayonnement, ce type de pollution existe. Les rayons ultraviolets émis par le soleil transforment certains polluants atmosphériques majeurs (hydrocarbures, dioxyde d'azote, etc.) en ozone.

– Les oxydes d'azote NOx :

Ce type de pollution est appelé pollution secondaire et est fortement affecté par les changements saisonniers, surtout en été, lorsque le soleil émet beaucoup de rayonnement, ce type de pollution existe. Les rayons ultraviolets émis par le soleil transforment certains polluants atmosphériques majeurs (hydrocarbures, dioxyde d'azote, etc.) en ozone.

– Le monoxyde de carbone CO :

Ceci est le résultat d'une combustion incomplète dans un environnement à oxygène insuffisant (cigarettes, essence, charbon de bois, bois, etc.) : le carbone ne peut fixer qu'un seul atome d'oxygène (CO), et dans un milieu avec suffisamment d'oxygène, le carbone se combinera avec deux atomes d'oxygène forment du CO₂.

– Le dioxyde de soufre SO₂ :

Il est principalement produit lors de la combustion de sources d'énergie fossile (charbon, pétrole) à haute teneur en soufre.

– L'ammoniac NH₄ :

Dans l'air et le gaz, l'ammoniac aide à neutraliser d'autres gaz acides (comme le SO₂). Dans le sol, en raison de réactions chimiques, il modifie fortement la terre.

– Les Composés organiques volatiles (COV) :

Le benzène C₆H₆ est l'un du COV les plus dangereux pour la santé et il est répertorié comme cancérigène confirmé. Il provient de l'évaporation du carburant et du trafic routier.

4. Relation entre la contamination particulaire et la contamination microbiologique

Les microorganismes de l'environnement sont transportés par des supports de diamètre variable : les poussières (10-100 µm), les gouttelettes, les squames, microgouttelettes (10-100 µm) et les droplet nuclei (1-5 µm). Une fraction plus ou moins grande des particules, et plus spécifiquement les squames et les gouttelettes, est porteuse de microorganismes de la flore résidente ou transitoire humaine. Ces particules sont appelées bioaérosols. Dans ses recherches, Lidwell a tenté d'établir la relation entre la taille des particules et les microorganismes transportés [70]. Le pourcentage des particules portant des microorganismes peut varier de 1 % à 0,01 %, selon la taille des particules. [71]

A l'heure actuelle, aucune étude n'a montré l'existence d'une corrélation entre le nombre de particules inertes et le nombre de microorganismes. En air extérieur, il n'existe pas de relation entre particules et microorganismes dans l'air qui ait une valeur universelle. Alors que dans un air intérieur, il est possible de décrire une telle relation en un espace donné et pendant un temps limité. Selon les recommandations de la Société française d'hygiène hospitalière (SFHH) sur la qualité de l'air dans les blocs opératoires, « Il n'y a pas de correspondance constante entre les catégories de pollution particulaire (ISO 5, ISO 7, ISO 8) et une gamme de classes bactériologiques ». [72]

A propos de la relation entre la pollution atmosphérique et la propagation de la maladie covid-19, deux questions principales au sujet des interactions entre cette relation : [73]

- ✓ La pollution de l'air (en particulier les particules) est-elle susceptible de favoriser le maintien et le transport du virus SRAS-CoV-2 dans l'air, et donc la propagation de la maladie ?
- ✓ Une exposition unique ou chronique à la pollution atmosphérique est-elle susceptible de favoriser l'incidence de la maladie COVID-19 ou de ses formes sévères chez les personnes exposées au virus ?

Un article du New English Journal of Medecin montre que « le virus pourrait persister dans l'air » [74] et, selon la société italienne de médecine environnementale, des liens existeraient entre les niveaux de pollution atmosphérique et la propagation du Covid-19 en Italie du Nord. [74]

Chapitre II : Moyens de contrôle de l'environnement

1. Analyse de la contamination particulaire de l'air par comptage

Le contrôle des particules est une méthode de contrôle environnemental, généralement utilisée dans les institutions médicales et les industries, et peut détecter rapidement tout changement éventuel des tendances environnementales dans différents types de zones atmosphériques contrôlées. Cette surveillance est basée sur la détection optique de particules spatialement séparées à l'aide des compteurs optiques (dispositifs de référence) situées dans des positions plus ou moins précises dans la zone à surveiller. [75]

Dans une démarche qualité, le contrôle particulaire semble être la méthode à privilégier par rapport au contrôle d'aérobiocontamination. Le contrôle des particules permet une meilleure normalisation et est plus facile à mettre en œuvre. Dès lors qu'un contrôle particulaire de l'air ambiant est mis en place, il est recommandé de définir le ou les points de mesures, la fréquence de ces mesures, les valeurs cibles de contamination acceptable.

1.1. Compteur optique des particules

Afin de résoudre le problème de la détection optique, il est nécessaire d'étudier et de comprendre les différentes interactions entre particules et sources lumineuses. Par ailleurs, les données recherchées (taux et diamètre des particules) imposent des facteurs limitants.

1.1.1. Différentes interactions particules-lumière

L'onde lumineuse traversant la particule subira une modification de l'indice de réfraction du milieu (passant à travers le matériau de l'air d'indice 1 à la particule d'indice n). L'indice optique d'un milieu est une propriété physique qui change avec la longueur d'onde. Le changement n'est que de quelques pour cent dans le spectre visible. L'indice optique des solides et des liquides varie avec la température. La vitesse de propagation des ondes lumineuses dans un matériau dépend de l'indice optique du milieu. [76,77]

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda^0}{\lambda} > 1 \text{ ou } \lambda^0 = c \times T \text{ et } \lambda = v \times T$$

Où λ^0 est la longueur d'onde d'une radiation dans le vide et Z est la longueur d'onde de cette même radiation dans un milieu homogène et isotrope.

λ = la longueur d'onde en nm

C = la vitesse de lumière, 3×10^8 m/s

T = la période en s^{-1}

V = la fréquence

Avec ces caractéristiques, nous pouvons maintenant résoudre le problème de l'influence de la lumière sur la matière. Lorsque les propriétés optiques du milieu changent (c'est le cas lorsque le faisceau lumineux traverse les particules), la propagation de la lumière n'est plus rectiligne. En effet, le faisceau incident connaîtra trois phénomènes à l'interface entre deux milieux d'indices optiques différents : [78]

- La réflexion : Lorsque la lumière atteint un nouveau milieu une partie est réfractée alors que l'autre partie est renvoyée dans le premier milieu : on dit que cette lumière subit une réflexion.
- La réfraction : Les ondes lumineuses changent soudainement de direction dans le deuxième milieu.
- La diffusion : une petite quantité de lumière sera réfléchiée dans toutes les directions.

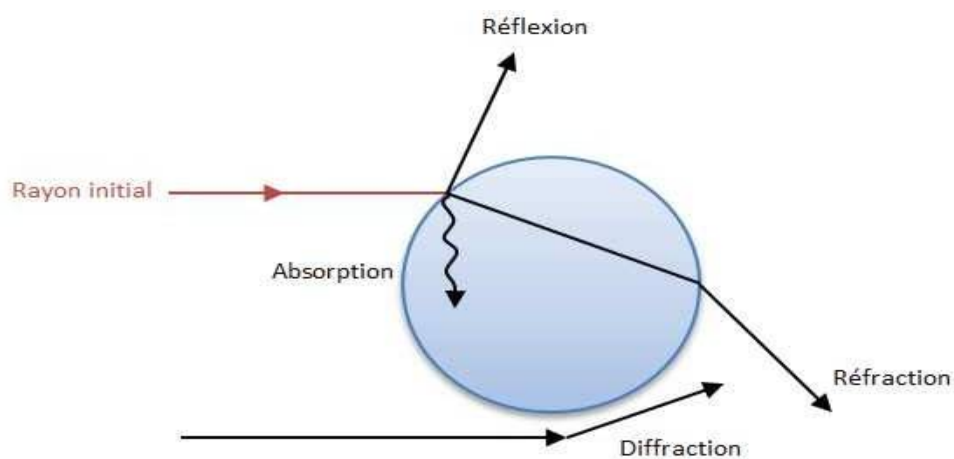


Figure 10 : Action d'une particule contenue dans un aérosol sur une onde lumineuse. [78]

Habituellement, ces trois phénomènes se produisent en même temps. La diffusion de la lumière est le principal phénomène sur lequel se base le compteur optique de particules

Lorsqu'une onde lumineuse rencontre un objet ou une ouverture dont la taille est proche de sa longueur d'onde, un quatrième phénomène peut se produire : la diffraction optique.

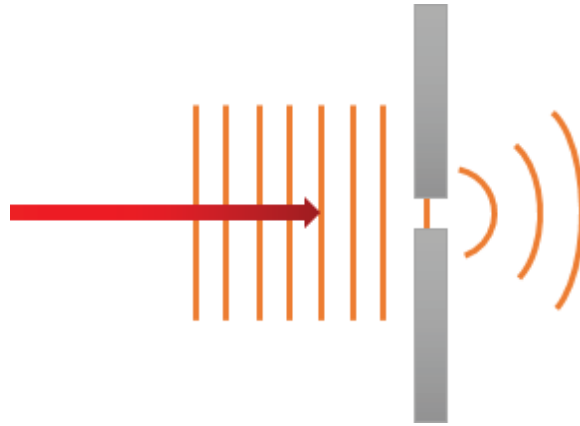


Figure 11 : Illustration du phénomène de diffraction par une fente dont la largeur est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. [78]

Il existe deux types de mesure optique : la mesure de transmission optique et la mesure de diffusion optique. En effet, si le faisceau lumineux traverse un milieu gazeux avec des particules en suspension, ces dernières seront atténuées par absorption et diffusion. Par conséquent, la mesure de la lumière transmise ou diffusée par de petites particules en suspension dans un gaz peut fournir des informations sur la concentration des particules et la distribution granulométrique. La mesure optique peut mesurer des particules de diamètres compris entre 70 nm et 100 μm . La concentration de particules dans l'air varie de $10^3 / \text{m}^3$ (surveillance en salle blanche) à $10^9 / \text{m}^3$ (recherche en sciences de l'environnement). Ce type de mesure est effectué avec un compteur optique de particules, qui fournit des informations dans la plage de 0,05 μm à 25 μm . [78]

1.1.2. Principe de compteur optique de particule

Le principe de mesure est simple : l'aérosol aspiré du milieu environnant par la pompe pénètre dans le volume sensible du capteur à travers le tube à bec de canard pour limiter les turbulences à l'entrée du canal et capturer le plus de particules possibles. Le but du système pneumatique est de délivrer un jet d'air concentré dans un volume sensible. Le débit le plus couramment utilisé est le pied cube par minute (CFM ou $\text{pied}^3 / \text{min}$) ou $28,3 \text{ L} / \text{min}$ ou un nombre approximatif de pieds cubes. L'échantillon passe à travers un faisceau monochromatique. Supposons que les particules traversent le faisceau séparément. Chaque particule génère un flash de lumière par extinction ou diffusion, qui est détecté par un photodétecteur. La concentration de particules dans l'aérosol est dérivée de la fréquence d'impulsion photoélectrique et la taille des particules est estimée à partir de l'amplitude de l'impulsion. L'amplitude de l'impulsion dépend de la quantité de lumière diffusée par la particule, ce paramètre dépend de la taille de la particule, mais aussi de son indice de réfraction et de sa forme. L'aérosol mesuré est ensuite libéré dans l'environnement environnant (généralement après avoir traversé le filtre, le filtre peut retenir les particules présentes dans le gaz). [79]

La diffusion du faisceau lumineux par les particules de la suspension est mesurée par un photodétecteur. En fonction de la position du photodétecteur par rapport à la source lumineuse, il existe deux méthodes de mesure : par diffusion arrière ou par diffusion directe. La comparaison avec la mesure de référence établit la relation avec la concentration de particules. L'avantage de ce type de mesure par rapport à la mesure de la transmittance optique est qu'il n'y a pas de problème d'alignement de la source lumineuse et du photodétecteur. Le système optique est plus précisément composé d'un faisceau laser focaliser, qui est ensuite collimaté pour former un faisceau parallèle. Les particules interagissent avec le faisceau lumineux par diffusion ou extinction. Ensuite, le faisceau laser est à nouveau focalisé sur la photodiode, qui est responsable de la conversion du signal optique en un signal électrique [80].

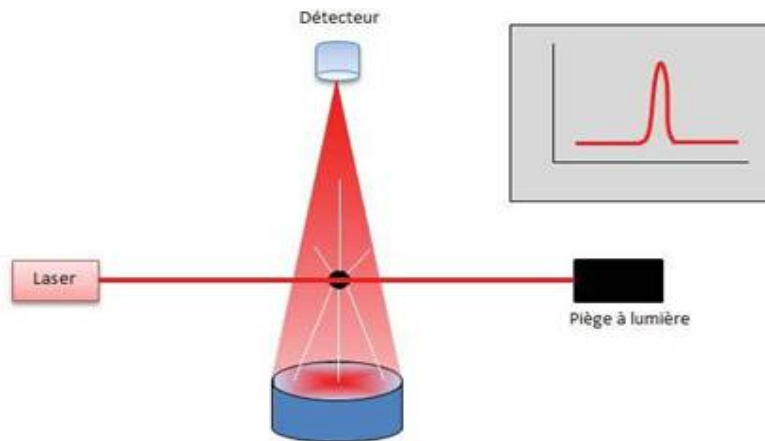


Figure 12 : Schéma de principe d'un capteur optique.

Les capteurs optiques utilisent quasi-exclusivement des diodes laser comme source lumineuse. L'intensité du signal est proportionnelle à la taille d'une particule (et fonction du matériau de la particule) [80]

Une nouvelle application de compteurs de particules s'appelle Holographic Particle Counter (HPC), qui vise à imager un certain volume d'échantillon et à compter toutes les particules qui existent à la fois [81]. En raison de la méthode holographique, les particules imagées sont reconnues comme des motifs d'interférence. Dans une application d'imagerie de particules holographique typique, un algorithme de reconstruction « 3 dimension » est utilisé pour reconstruire les particules dans le volume d'échantillonnage afin de détecter, caractériser et de visualiser le champ de particules [82,83]. L'objectif principal du compteur optique de particules (OPC) est de compter les particules d'aérosol, c'est pourquoi la reconstruction du front d'onde n'est pas absolument nécessaire. Le suivi des particules et la détermination de la taille sont principalement des indicateurs auxiliaires pour les performances des équipements ou les exigences de maintenance. Dans ces aspects, il suffit de reconnaître les particules comme des motifs d'interférence efficaces sur le plan de l'hologramme bidimensionnel, et des techniques de reconnaissance de formes communes peuvent être utilisées pour y parvenir. [84]

De manière générale, afin d'assurer l'exactitude des résultats de surveillance, le comptage de particules comprend la mesure de la concentration de particules dans l'air, afin de vérifier ou de réfuter la classification de propreté des particules des zones à atmosphère contrôlée conformément aux exigences de la norme ISO EN NF 14644-1. [85]

1.1.3. Caractéristique d'un compteur optique de particule

Les caractéristiques importantes du compteur optique de particules sont la plage de concentration de particules admissible, le taux d'échantillonnage, la sensibilité (en termes de taille de particules, la limite inférieure de détection) et la fiabilité (en termes de taille de particules) [79]. Le Tableau ci-dessous présente les caractéristiques des compteurs optiques de particules utilisés couramment en salle propre.

APPAREIL	SPÉCIFICATION
Sensibilité / Résolution*	Sélectionnée entre 0,1 μm et 0,5 μm , pour une résolution dimensionnelle = 10%
Incertitude	$\pm 20\%$ de l'erreur de concentration au niveau granulométrique sélectionné
Temps de réponse électronique	< 50 μs
Intervalle d'étalonnage	Durée maximale de 12 mois ou suivant la vérification des performances spécifiées
* Un appareil possédant une capacité de résolution des tailles de particule supérieure à 10% peut afficher des résultats de comptage de particules variant d'un ordre de grandeur.	
Efficacité de comptage	50% ($\pm 20\%$) au diamètre seuil minimal du compteur et 100% ($\pm 10\%$) pour des particules de taille supérieure ou égale à 1,5 fois le diamètre seuil minimal du compteur
Etendue inférieure de concentration granulométrique	Taux de faux comptage négligeable par rapport au taux minimal de comptage attendu en mesurage réel. Il convient que le taux inférieur de comptage soit nul pendant une certaine période (par exemple, comptage nul pendant 5 min.)
Etendue supérieure de concentration granulométrique	Deux fois supérieure à la limite supérieure de concentration de la classe de propreté de l'installation, au point d'utilisation et en aucun cas supérieure à 75% de la concentration maximale recommandée par le fabricant de l'appareil

Tableau III : Spécification pour le compteur optique de particules. [86]

1.2. Classification particulaire

Les classes des particules sont définies par la norme NF EN ISO 14644-1 selon la taille des particules présentes dans l'air (tableau IV) : [87]

NUMERO DE CLASSIFICATION	CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES EN PARTICULES DE TAILLE EGALE OU SUPERIEURE A CELLE DONNEE CI-DESSOUS (PARTICULES /M ³ D'AIR)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO (N)						
Classe ISO 1	10	2 -> d	d	d	d	e
Classe ISO 2	100	24	10	4-> d	d	e
Classe ISO 3	1 000	237	102	35	8 -> d	e
Classe ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	e
Classe ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29 -> d,e
Classe ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
Classe ISO 7	C	C	C	352 000	83 200	2 930
Classe ISO 8	C	C	C	3 520 000	832 000	29 300
Classe ISO 9	C	C	C	35 200 000	8 320 000	293 000

Tableau IV : Classes des particules sont définies par la norme NF EN ISO 14644-1 selon la taille des particules présentes dans l'air.

c : Les concentrations maximales admissibles en particules ne s'appliquent pas dans cette partie du tableau par ce qu'elles sont très élevées.

d : Les limites du prélèvement et les limites statistiques sur ces faibles concentrations émettent la classification inappropriée

e : Les limites de prélèvement, dues aux faibles concentrations et au faible prélèvement de tailles supérieures à 1 µm, rendent la classification inappropriée à cause des particules potentiellement non comptées par ce que sont retenues à l'intérieur du système de prélèvement.

1.3. Nombre de prélèvement

Selon la norme NF EN ISO 14644-1 définit le nombre de prélèvement en fonction de la surface de la salle [88] :

Surface de la salle propre (m ²) inférieure ou égale à	Nombre minimal de points de prélèvement (N _L)
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5
24	6
28	7
32	8
36	9
52	10
56	11

Tableau V : Le nombre minimal de points à prélever en fonction de la surface de la salle en m².

1.4. Cinétique de décontamination particulaire

1.4.1. Définition

Selon la norme NFS 90-351d'avril 2013 : La cinétique de décontamination des particules à un niveau de 0,5 µm / m³ est définie par le temps nécessaire pour atteindre 90% d'épuration par rapport au pic de pollution initial. Par exemple, un niveau cinétique de CP 10 signifie qu'il faut 10 minutes pour atteindre un taux de décontamination de 90% [89].

1.4.2. Principe de travail

Lors de contrôle, nous posons la sonde de prélèvement sur le point de prélèvement, puis nous rejetons une certaine quantité de polluants d'origine artificiels dans la zone, après la mesure, nous pensons que la quantité est de 100% du taux de particules. Ensuite, nous comptons les particules d'une taille de 0,5 µm au temps t = 0 selon NFS 90-351 [90].

On démarre le chronomètre et on enregistre la valeur du temps T = n, pour lequel le taux d'élimination des particules est égal à 90% (en d'autres termes, nous atteignons 10% du nombre initial). [90]

Trois classes de cinétique d'élimination des particules à 0,5 µm sont définies [87] :

Classe de cinétique d'élimination des particules à 0,5 µm	Temps nécessaire pour obtenir 90% de d'abattement (min)
CP 20	≤20
CP10	≤10
CP5	≤5

Tableau VI : classes des cinétiques d'élimination des particules à 0,5 µm.

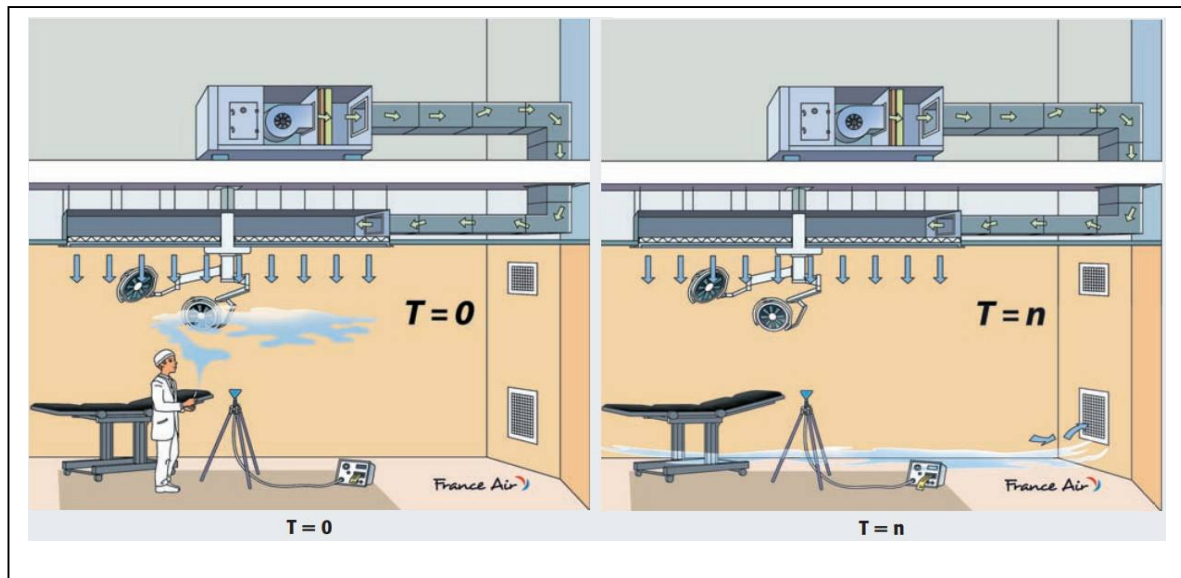


Figure 13 : Installation montre la cinétique de la contamination particulaire. [90]

1.4.3. Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation, selon la norme NFS 90-351, sont : [87]

- Pour les zones de risque 2 et 3 correspondant aux classes ISO 8 et ISO 7, un temps de récupération $T \leq 20$ minutes (CP20).
- Pour les zones de risque 4 correspondant à la classe ISO 5, un temps de récupération $T \leq 10$ minutes (CP10).

2. Analyse de la contamination microbiologique de l'air

Les micro-organismes qui causent des infections dans les établissements médicaux comprennent les bactéries, les champignons et les virus. Ils existent généralement dans la flore endogène du patient, mais ils peuvent également provenir du personnel médical et des ressources environnementales. En particulier, le substrat environnemental (eau, air et surface) joue un rôle majeur dans le réservoir microbien [91].

Le contrôle microbiologique de l'environnement dans les établissements de santé consiste à initier et organiser la gestion et le contrôle du risque d'infection. Depuis 2011, jusqu'à la circulaire n° 11/2011, relative à la lutte contre les événements indésirables liés aux soins infirmiers dans les établissements médicaux (décret n° 2010-1408 du 12 novembre), ces mesures de contrôle sont encadrées par le texte de la réglementation. L'évaluation des manipulations professionnelles, le contrôle microbiologique de l'environnement de l'établissement de santé, la mise en place des mesures de précautions, sont tous sous la responsabilité des équipes hygiénistes. [92]

Selon le plan d'échantillonnage, en utilisant un équipement d'échantillonnage approprié pour échantillonner et compter les particules de bactéries vivantes, la détection et la surveillance de la contamination microbienne dans l'air dans les zones dangereuses peuvent être complétées. La méthode d'échantillonnage et les procédures associées doivent être sélectionnées en fonction des objectifs fixés. [93]

Les contrôles de l'aérobiocontamination sont effectués avec la méthode d'aspiration, à l'aide d'un biocollecteur, mais aussi par sédimentation-échantillonnage passif.

2.1. Aspiration-échantillonnage

2.1.1. Principe de biocollecteur

Des échantillonneurs actifs « biocollecteurs » mesurent le nombre d'UFC/m³ d'air en aspirant un certain volume d'air au travers d'une grille perforée par des pores de diamètre de 0,6mm environnant qui permet d'impacter les micro-organismes et particules sur une boîte de Pétri contenant un milieu de culture. Après incubation, les microorganismes présents dans l'air et déposés sur la boîte formeront des UFC. [94]

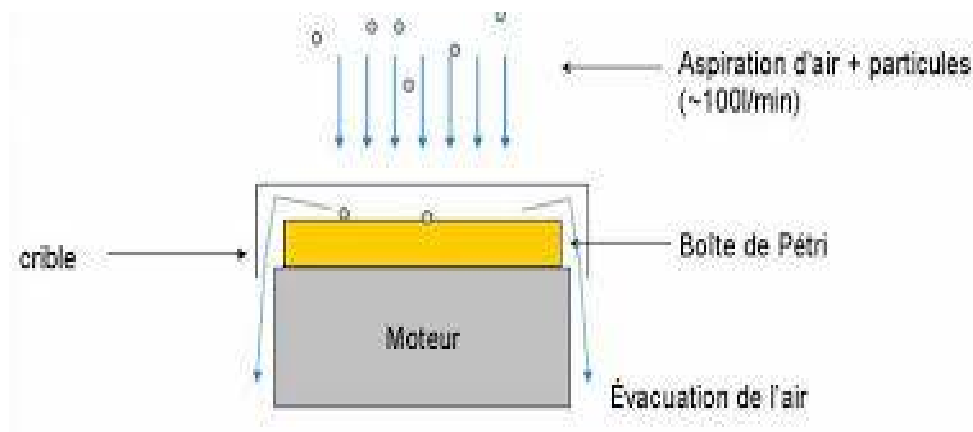


Figure 14 : schéma illustre l'aspiration d'air porté des particules. [95]

2.1.2. Détermination du nombre de prélèvements

La norme NF EN ISO 14698 recommande que le volume d'échantillonnage minimum soit de 1m^3 d'air et que le temps d'échantillonnage soit inférieur à 10 minutes. Le temps d'échantillonnage doit être calculé en fonction du débit de l'appareil. L'air étant un milieu fluctuant et hétérogène, un seul échantillon ne suffit pas. Il est recommandé de prélever trois échantillons à chaque point. [96]

Concernant le suivi mycologique, la quantité d'échantillon doit être adaptée au niveau de contamination fongique du site prélevé. Pour les zones à pollution atmosphérique très faible à nulle (salles à flux laminaire, salles d'opération), la taille minimale de l'échantillon est de 250 à 500 litres ; pour les zones à pollution atmosphérique très faible à élevée, la taille minimale de l'échantillon est de 100 litres [97]. Cependant, la taille de l'échantillon doit être adaptée à l'emplacement, à son niveau de contamination et au seuil de détection requis.

c. Les critères de choix d'un biocollecteur

- Facilité de manipulation (poids, encombrement, maniabilité...),
- Possibilité de nettoyage et désinfection de la surface externe de l'appareil et possibilité de stériliser les parties amovibles de l'appareil (cribles ou grilles),

- Efficacité physique (capacité à prélever des particules de diverses dimensions) et efficacité microbiologique (efficacité lors du prélèvement de particules portant des microorganismes) de l'appareil démontrées et certificat d'étalonnage fourni par le fabricant.

2.2. Méthode par sédimentation-échantillonnage passif de l'air

L'échantillonnage passif est utilisé pour déterminer l'indice de contamination microbienne de l'air (IMA) [98]. Cet indice correspond au nombre de CFU calculé avec une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre, qui est disposée dans l'air environnant de la zone à examiner selon le principe 1/1/1 (soit 1 m au-dessus du sol pour 1 heure et environ 1 m de murs ou d'obstacles plus grands). Les boîtes IMA (une pour le TVC (Total Sustainability Calculation) et une pour les champignons filetés) doivent être placées à environ 1 m du lieu de travail dans la salle d'examen. Les résultats sont donnés en CFU/m²/h [99]. Par conséquent, les particules se déposeront sur la gélose dans la boîte de Pétri. Et afin d'éviter le dessèchement de la gélose, la boîte de Pétri ne doit pas dépasser 4 heures à l'air ambiant, pour des raisons de perte de fertilité du milieu de culture. Leur valeur dans les zones critiques sera améliorée en veillant à ce que les boîtes soient posées dans des endroits présentant le plus grand risque de contamination du produit [100,101].

Dans le cadre de la validation de la méthode, le laboratoire de contrôle qualité doit évaluer quelles conditions d'exposition environnementale peuvent optimiser la récupération à partir d'isolats environnementaux de faible activité. Les conditions d'exposition doivent empêcher le dessèchement (causé par exemple par des durées d'échantillonnage plus longues et / ou des débits d'air plus élevés), ce qui empêche la récupération microbienne. [102]

L'échantillonnage passif de l'air génère des données combinées avec les résultats d'autres types d'échantillons d'air.

L'un des avantages de cette méthode est qu'elle ne nécessite pas d'équipement spécial et n'est pas coûteuse.

L'un des inconvénients est que cela prend du temps (environ 4 heures par boîte), et les micro-organismes qui tombent sur la gélose seront détectés (la méthode non quantitative).

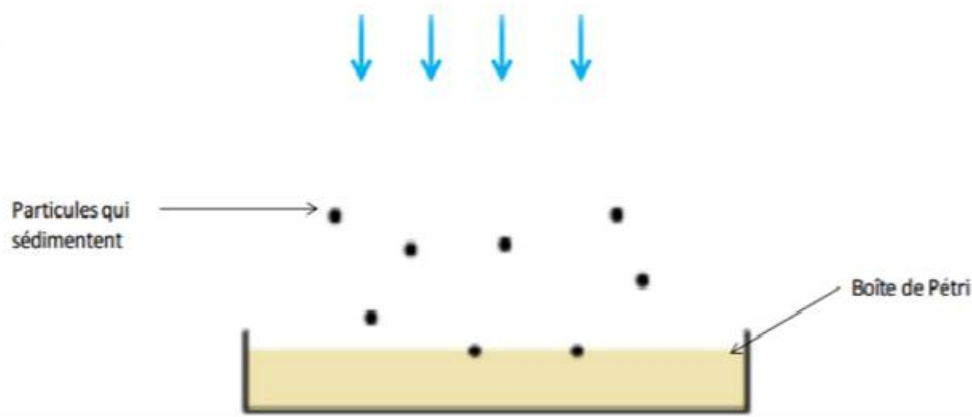


Figure 15 : Schéma montre l'échantillonnage par sédimentation. [103]

2.3. Méthodes d'analyse microbiologiques

Le choix du milieu et des conditions de culture (température, temps, atmosphère) est basé sur les microorganismes recherchés. Généralement, on utilise un milieu non sélectif pour la flore bactérienne totale et un milieu spécifique pour la flore fongique. Des médias sélectifs peuvent être utilisés pour des recherches ciblées, en particulier dans les épidémies.

2.4. Interprétation des résultats

Dans le cas d'une étude quantitative, les résultats sont exprimés en unités formant colonie par mètre cube (UFC / m³).

L'interprétation des résultats doit prendre en compte les types de micro-organismes et les types d'activités nécessaires dans la zone. Il est nécessaire de définir des normes d'interprétation basées sur des réglementations, des recommandations ou des normes d'interprétation que les entreprises n'ont pas réussi à déterminer en fonction de leurs objectifs et des observations précédentes. [92]

- Le niveau cible est le niveau de pollution admissible dans des conditions de fonctionnement normales dans un environnement contrôlé.
- Le niveau d'alarme est le niveau auquel la première alarme peut être émise en cas d'écart par rapport aux conditions normales. Lorsque ce seuil d'alarme est dépassé,

d'autres études doivent être menées pour vérifier les résultats observés et s'assurer que le processus et / ou l'environnement sont toujours sous contrôle. Les premières actions correctives peuvent être prises.

- Si ce niveau est dépassé, le niveau d'intervention déclenchera immédiatement une réaction, analysera la cause de la panne, fermera la salle si nécessaire et prendra des mesures correctives.

2.5. Classe de propreté microbiologique (en absence humaine)

Trois classes microbiologiques sont définies par des limites qui constituent pour chacune les bornes inférieure et supérieure :

Classe de propreté microbiologiques	Concentration maximale en nombre de particules viables par mètre cube d'air (UFC/m ³)
M100	100
M10	10
M1	≤1

Tableau VII : Classes microbiologiques (source : AFNOR NF S 90-351). [87]

En ce qui concerne la présence d'éléments fongiques potentiellement pathogènes, la valeur cible doit être inférieur à 1.

Chapitre III. Différentes techniques de traitement d'air dans les espaces intérieurs au cours de la pandémie covid-19

1. Introduction

L'air est une des composantes de l'environnement hospitalière. Il contient naturellement des particules inertes et des micro-organismes pouvant être la source d'infections nosocomiales chez les malades à risques, comme les infections aspergillaires, et les infections virales ou les infections du site opératoire.

Il existe donc à l'hôpital des zones propres dans lesquelles la contamination de l'environnement est maîtrisée afin de réduire ces risques au minimum.

2. Objectifs de traitement d'air

Un environnement confortable peut être obtenu et contrôlé par des paramètres tels que l'humidité relative et la température. Il est recommandé une température entre 22°C-26°C pour la zone 2 et autour de 28°C pour les zones 3 et 4. Une limite inférieure de 30% d'humidité relative est conseillée. [104]

La filtration de l'air dans un hôpital, une clinique, une installation de soins de santé est cruciale. En fait, ces établissements ont la particularité de l'assemblée au même endroit, mais dans différentes zones, des patients, des employés, des visiteurs et des produits nécessitant des conditions de propreté extrêmes.

Ainsi, la filtration de l'air dans un hôpital joue trois fonctions principales :

- Protéger les patients, les employés et les visiteurs contre les infections bactériennes.
- Réduire les coûts d'exploitation tout en réduisant la consommation énergétique.
- Protéger les unités de traitement de l'air et les équipements contre la contamination.

Pour répondre à ces objectifs, le système de traitement d'air doit être optimisé dès sa conception, mais aussi dans la gestion des paramètres de fonctionnement (débit de soufflage, de reprise, température, hygrométrie...).

3. Moyens permettant la maîtrise de la qualité de l'air

3.1. Ventilation

La ventilation introduit de l'air extérieur dans le bâtiment ou la pièce et distribue l'air dans tout le bâtiment ou la pièce. L'objectif général de la ventilation des départements est de nettoyer l'atmosphère en diluant les polluants formés dans le bâtiment et en l'éliminant. [105]

Trois éléments de base caractérisent la ventilation des départements et des pièces : [105]

- Le débit de ventilation : quantité d'air extérieur et qualité de l'air extérieur introduit dans l'espace.

Le débit de ventilation peut s'exprimer soit par débit absolu, soit par taux de renouvellement d'air rapporté au volume d'espace.

Taux de renouvellement d'air =

$[\text{Débit de renouvellement d'air (l/s)} \times 3600 \text{ (s/h)} \times 0,001 \text{ (m}^3\text{/s)}] / [\text{volume de la pièce (m}^3\text{)}]$

- La direction du flux d'air : direction générale du flux d'air dans un bâtiment, qui doit aller des zones propres aux zones sales
- La Distribution de l'air ou mode d'écoulement : L'air extérieur doit être efficacement distribué n'importe où dans l'espace ventilé, et toute position dans l'espace ventilé doit éliminer efficacement les polluants atmosphériques qui y sont générés.

3.1.1. Ventilation naturelle

Des forces naturelles (vent et vent chaud en raison de la différence de densité entre l'air intérieur et extérieur, en particulier) apportent d'air extérieur dans le bâtiment et des pièces par des ouvertures (fenêtres, portes, surtout les cheminées solaires, les tours éoliennes et les ventilateurs passifs (prises d'air)). Ce mode de ventilation dépend du climat, de la conception des pièces et du comportement humain. [106]

3.1.2. Ventilation mécanique

La ventilation mécanique utilise des ventilateurs pour faire circuler l'air dans le bâtiment. Ce type de ventilation peut être combiné avec des systèmes de climatisation et de filtration couramment utilisés dans certains bâtiments. [107]

Les établissements de santé qui utilisent des salles de prévention aérienne devraient s'assurer que les contrôles nécessaires sont en place pour assurer une ventilation adéquate et un contrôle du flux d'air. Les salles de sécurités aériennes à ventilation mécanique sont équivalentes aux salles d'isolement en pression négatives [« Airborne Infection Isolation Room » décrites par les CDC] [108]. Des réglementations recommandées spécifiquement applicables à la ventilation mécanique environnementale ; les salles de sécurité à air ventilé mécaniquement doivent être des chambres individuelles présentant [109] :

- Des zones environnantes à pression négative surveillée.
- Un taux de renouvellement de l'air de 12 Renouvellements d'air par heure (RPH).
- Une extraction appropriée de l'air vers l'extérieur ou sa filtration par un filtre à haute efficacité sur les particules aériennes (HEPA) avant sa recirculation vers d'autres espaces de l'hôpital.

3.1.3. Ventilation mixte

Dans la ventilation hybride, aussi appelée ventilation mixte, le débit d'air souhaité est assuré par des forces naturelles, et une ventilation mécanique, et permet de choisir le plus approprié en fonction des circonstances. [110]

	Ventilation mécanique	Ventilation naturelle
Avantages	-Convient à tous les climats et types de temps, associée au conditionnement d'air si le climat l'exige -Environnement plus contrôlé et confortable -Faibles possibilités d'action sur l'environnement pour les occupants	-Convient aux climats chauds et tempérés, peu adaptée si la ventilation naturelle n'est possible qu'à 50 % du temps -Possibilité d'obtenir des taux de ventilation très élevés pour une évacuation immédiate et complète des polluants intérieurs -Peut fournir un débit de ventilation élevé
Inconvénients	-Installation et maintenance coûteuses -Défaillances signalées en ce qui concerne le débit d'air frais requis Risque de bruit lié aux équipements	-Facilement affectée par le climat extérieur et/ou le comportement des occupants -Confort réduit lorsqu'il fait chaud, humide ou froid -Plus grandes difficultés de prédiction, d'analyse et de conception

Tableau VIII : Récapitulation des avantages et des inconvénients des différents types de systèmes de ventilation. [111]

3.2. Covid-19 et système de traitement d'air

Avec la récente pandémie de coronavirus (COVID-19), diverses lignes directrices provisoires ont souligné l'importance des systèmes de traitement de l'air dans la lutte contre les infections [112]. Le CDC recommande que les patients suspectés de COVID-19 soient isolés dans des chambres d'isolement pour infections aéroportées, avec un ACR d'au moins 6 par heure (le nouvel ACR est de 12 ACR, remis à neuf), et l'utilisation de filtres de type HEPA pour filtrer l'entrée d'air (si recirculé) [112]. L'Organisation mondiale de la santé recommande d'isoler les patients COVID-19 avec une fréquence d'au moins 12 ACH dans une pièce à pression négative bien ventilée (zone de dépression), en particulier si une procédure de génération de fumée est prévue. [113]

3.3. Filtration de l'air

La filtration est utilisée dans le but de retirer de l'air de la plupart des aérosols ainsi que des microorganismes susceptibles de se véhiculer par ces aérosols. Le principe de travail est le captage de l'air par le système de ventilation où, en plus d'être chauffé, refroidi, humidifié ou déshumidifié, pour le filtré. [114]

Après que l'air passe à travers le filtre, une partie des particules qu'il contient est retenue. L'air qui en passe de l'autre côté est plus propre. Plus le filtre est efficace, plus le pourcentage de particules retenues est élevé. [114]

De même, plus l'air passe à travers le filtre, plus il est débarrassé de ses particules en suspension. Donc, le taux de particules en suspension dans l'air intérieur dépend du taux de génération de particules dans la pièce, du niveau d'efficacité du filtre et de la proportion de recirculation de l'air à travers le système de ventilation. [114]

3.3.1. Centrale de traitement de l'air

3.3.1.1. Principe

La centrale de traitement d'air (CTA) est un dispositif utilisé pour traiter l'air recirculé mélangé à l'air frais et de l'air sous pression. Après avoir filtré préalablement en amont des autres composants (pour empêcher la poussière à pénétrer), et selon la saison, utiliser des serpentins chauds et froids pour chauffer ou refroidir l'air (par conduite d'eau chaude et froide) respectivement, après avoir échangé de la chaleur entre les deux flux d'air atteignez la valeur idéale. Ensuite, il est déshumidifié par condensation de vapeur d'eau, humidifié par pulvérisation d'eau, et enfin purifié avec une lampe ultraviolette. [115]

Après toutes ces étapes, une ventilation est effectuée pour que l'air soit poussé dans le conduit, puis une filtration supplémentaire est effectuée pour répondre aux besoins d'épuration de l'air de certains secteurs (tels que les zones de recombinaison cytotoxique et les blocs opératoires. [115]

Ensuite, l'air traité diffusera dans les zones des services, via un réseau de canalisations, dont la matière, la forme, et la section sont appropriés, et des diffuseurs seront choisis selon les normes de confort requises.

La centrale de traitement d'air doit être installée afin de réduire le risque d'exposition à des agents pathogènes, et de prévenir à la propagation des contaminants microbiologiques et des particules en suspension dans l'air. Leur fonctionnement est basé soit sur l'élimination (ventilation par extraction), soit la dilution (ventilation par dilution) [116]. Cependant, lorsque le risque d'exposition à des contaminants microbiologiques infectieux, en suspension dans l'air, est accru, il a été proposé d'utiliser des filtres dans les locaux pour réduire la teneur en polluants comme méthode alternative pour la rénovation des systèmes de ventilation. [117]

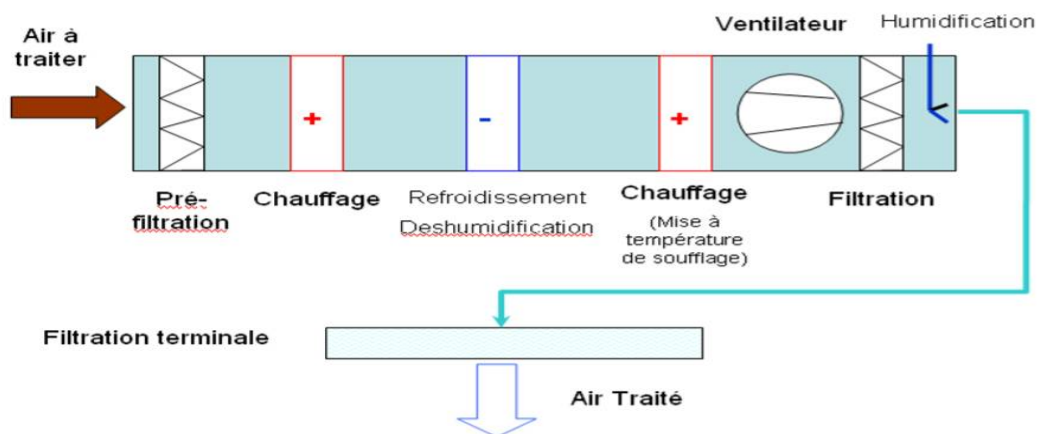


Figure 16 : Schéma illustre les différents traitements appliqués sur l'air neuf [117]

3.3.1.2. CTA simple flux

Uniquement en insufflant de l'air frais, en extrayant l'air vicié ou en recyclage pour traiter un seul flux d'air. Dans ce modèle, l'unité de traitement d'air aspire l'air à traiter, puis subit une filtration, puis un réchauffage ou refroidissement en fonction des besoins de la zone confinée, le faisant passer à travers le serpentin chaud ou froid, puis l'humidifié et le soufflé dans la zone à traiter. [117]

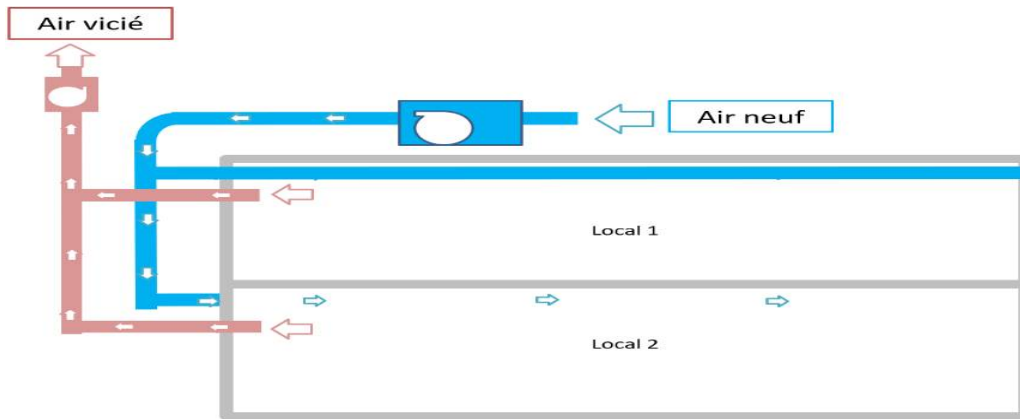


Figure 17 : Circuit d'une centrale de traitement d'air simple flux. [17]

3.3.1.3. La CTA double flux

Manipulez l'aspiration et le soufflage, et autorisez toutes les combinaisons possibles entre les deux flux d'air. Dans ce modèle, la CTA soit : [118]

- Aspire l'air dans les zones confinées, et subit par la suite un traitement par filtration, puis récupère l'énergie qu'il contient grâce à un récupérateur à roue, et le rejette à l'extérieur.
- Aspire l'air neuf de l'environnement extérieur, traitement par filtration, réinjecter l'énergie récupérée dans le flux d'air précédent, le réchauffe ou le refroidit, suivant les besoins de la zone de travail, en le faisant passer via des batteries chaudes ou froides, l'humidifié et le filtrer à nouveau, le souffler dans les espaces à traiter.

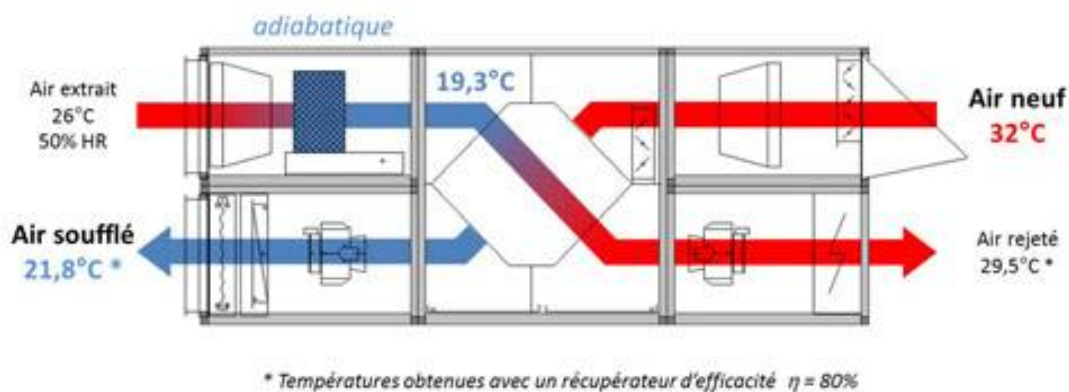


Schéma NOVADIA

Figure 18 : Circuit d'une centrale de traitement d'air double flux. [118]

3.3.2. Filtration

Lors de l'installation de systèmes de ventilation dans des zones qui nécessitent des normes d'hygiène élevées, la centrale de traitement d'air est un dispositif de filtration indispensable. Par conséquent, l'air frais inhalé par CTA passe par plusieurs étapes de filtration pour atteindre une qualité d'air qui répond aux exigences GMP et BPP.

L'air frais de l'environnement extérieur, est généralement plus pollué que l'air recirculé, donc après avoir mélangé l'air extérieur avec l'air recirculé, un filtre à manches doit être utilisé. Ensuite, l'air passe à travers le serpentin froid pour la climatisation ou le serpentin chaud pour le chauffage. Le ventilateur est situé en aval de l'élément de la centrale de traitement d'air pour générer un mélange d'air. Enfin, la filtration finale est effectuée, qui dépend généralement de la qualité de l'air à atteindre et dépend des particules. [119]

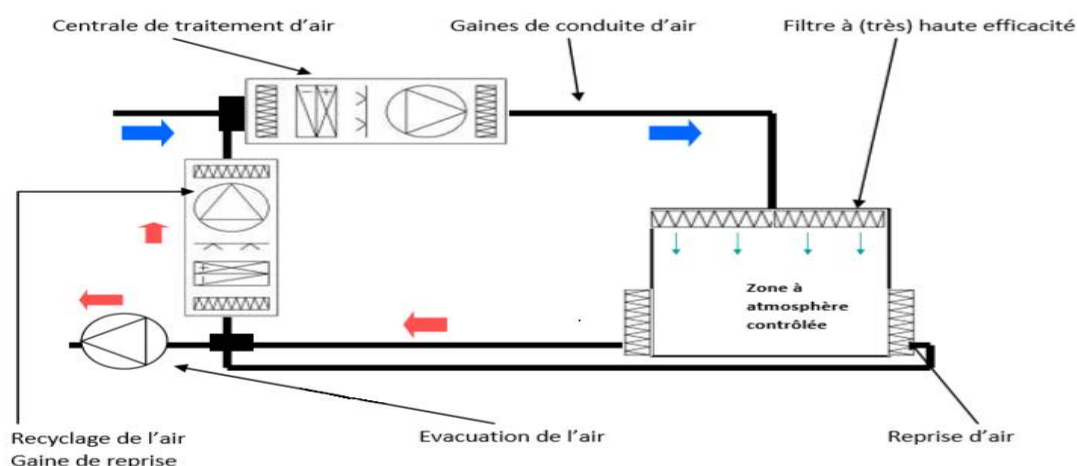


Figure 19 : Schema illustre la chaine de la filtration de l'air. [119]

3.3.2.1. Mécanismes de filtration

Le contact avec les fibres du média filtrant à air arrête les particules dans l'air. L'efficacité d'un filtre est le résultat de 4 phénomènes physiques qui fonctionnent ensemble (tamisage, inertie, interception et diffusion). [120]

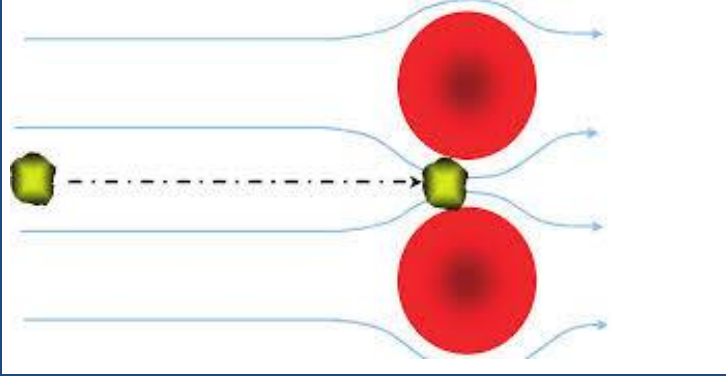
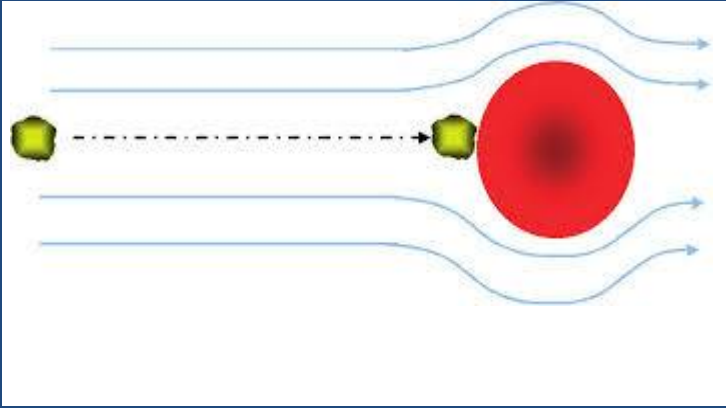
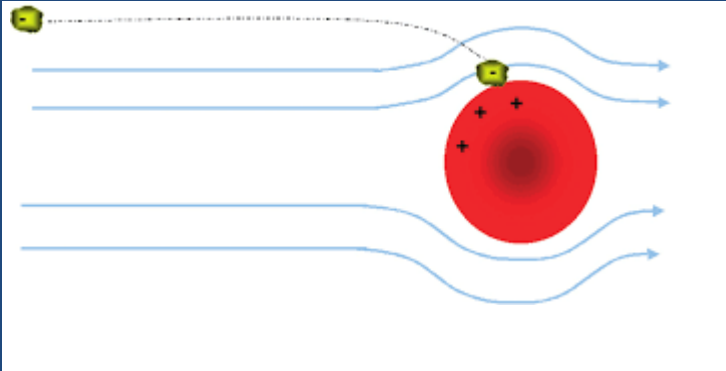
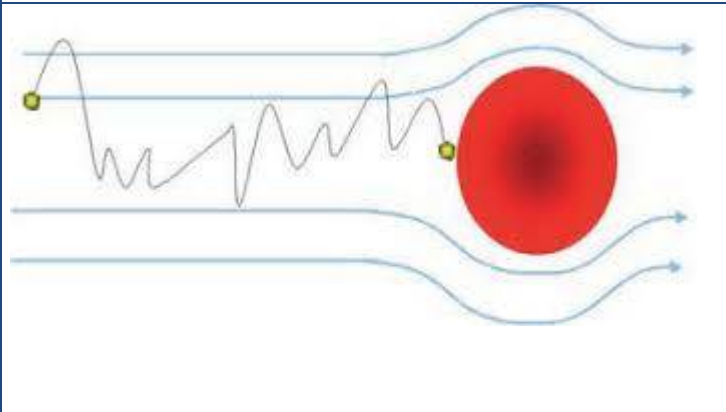
	<p>Effet de tamisage :</p> <p>Les particules d'un diamètre supérieur à la distance entre deux fibres d'un filtre ne peuvent pas traverser. Ce mécanisme permet de stopper les particules grosses.</p>
	<p>Effet d'inertie :</p> <p>Les particules $> 1\mu\text{m}$ ont une force d'inertie très grande pour suivre le courant d'air lorsqu'il contourne une fibre du média. Les aérosols continuent alors sur une course linéaire entraînant l'adhésion sur la fibre. Ce mécanisme est proportionnel à la vitesse de l'air, à la taille particulaire et au diamètre de la fibre.</p>
	<p>Effet d'interception :</p> <p>Les particules petites accompagnant le courant d'air sont interceptées par une fibre si cette particule passe à une distance inférieure au son rayon. Ce mécanisme est proportionnel au diamètre de la particule et de la distance entre les fibres.</p>
	<p>Effet de diffusion :</p> <p>Les particules très petites (diamètre $< 1\mu\text{m}$) possèdent un mouvement vibratoire. Si elles entrent en contact avec la fibre, elles se fixent sur celle-ci.</p>

Tableau IX : illustration des différents mécanismes de filtration.

3.3.2.2. Caractéristiques des filtres

a. Efficacité

La capacité d'un filtre à piéger les particules est généralement exprimée par son efficacité de filtration, E ou perméance (1-E). L'efficacité de filtration E pour un filtre d'épaisseur Z est donnée par : [121]

$$E = \frac{C_e - C_s}{C_e}$$

Où C_e et C_s sont les concentrations de particules pour une taille donnée avant et après le milieu filtrant, respectivement.

La notion de perméance est surtout appliquée dans l'étude de la séparation solide/gaz.

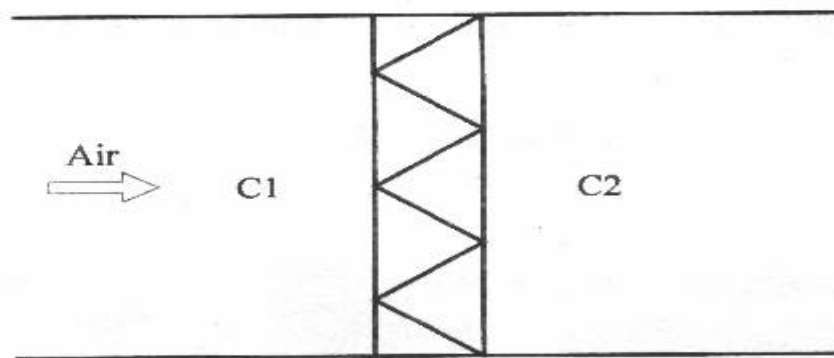


Figure 20 : Schéma montre le passage de l'air à travers le filtre, avec les concentrations de particules en amont et en aval. [121]

b. Perte de charge

C'est le deuxième paramètre important pour évaluer la qualité du filtre. En fait, la durée de vie du filtre dépend directement de la variation de la perte de charge provoquée par le filtre pendant le processus de filtration. En pratique, une perte de charge maximale de fonctionnement du filtre est généralement fixée. La perte de charge est définie comme la différence de pression statique entre le côté amont et le côté aval du filtre, indiquée respectivement par P_e et P_s . [121]

$$\Delta P = P_e - P_s$$

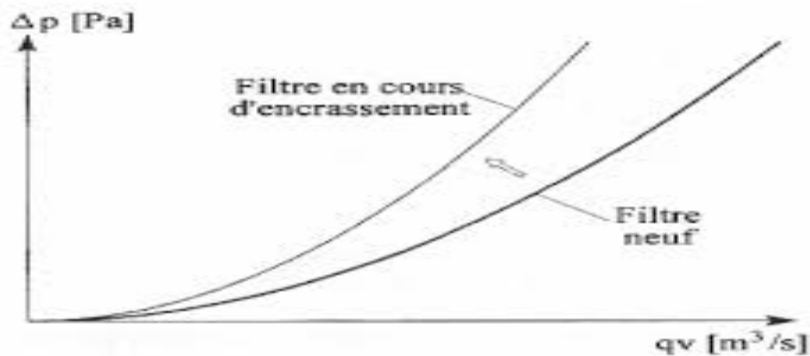


Figure 21 : Variation de perte de charge des filtres. [122]

c. Capacité de rétention

Il représente la masse de particules retenues par le média filtrant jusqu'à l'obtention de la perte de charge maximale admissible. Sa valeur est donc directement liée au degré de colmatage du filtre. Ces dernières années, de nombreuses études sur le choix de la nature et de la structure du milieu ont été menées dans le but d'augmenter la capacité de rétention, car il joue un rôle important dans la durée de vie du filtre. [121]

3.3.2.3. Classification des filtres

Selon les exigences rencontrées lors de l'installation, quatre séries de filtres principales : [123]

- Efficacité moyenne : filtre grossier, préfiltre, utilisé pour capturer les plus grosses particules (diamètre > 5 μm). Non efficace contre les aérosols atmosphériques (particules d'un diamètre < 1 μm)
- Haute efficacité : filtre fin, efficace pour les aérosols dans l'atmosphère.
- Très haute efficacité : filtre EPA (Efficient Particule Air : à haute efficacité), HEPA (High Efficiency Particulate Air : à très haute efficacité) et ULPA (Ultra Low Penetration Air : à très faible pénétration)

- Filtration moléculaire : filtre utilisé pour éliminer les gaz (adsorption, photocatalyse, etc.)

Les filtres HEPA ou ULPA sont des filtres absolus. Les bactéries ont une taille d'environ 1 μm , les virus (comme le coronavirus Covid19) sont beaucoup plus petits et leur taille caractéristique est d'environ 0,01 μm , ce qui est 100 fois plus petit. Généralement, les virus ne vivent pas longtemps dans l'air, ils ont besoin d'un milieu (gouttelettes d'eau, salive, etc.). Le filtre HEPA H14 a une efficacité de 99,995% pour les particules de 0,15 μm (MPPS). Pour un filtre stérile, cette granulométrie est la plus difficile à retenir (paradoxalement, le filtre retiendra mieux les particules de plus de 0.15 μm , Et des particules plus petites que 0.15 μm (on appelle MPPS*), on aura donc une efficacité très élevée pour les particules de l'ordre de 0,01 μm (comme le virus corona). [124-125]

***La MPPS : " Most Penetrating Particle Size". Il s'agit de la taille de particules la plus difficile à capturer**

3.3.2.4. Evolution normative : [126]

A partir de 2017, la classification des filtres à air, utilisés dans les systèmes de ventilation générale des bâtiments, devra être réalisé en fonction de la norme internationale ISO 16890.

Elle remplace les normes actuelles EN779 ET EN1822.

Le système de classification est lié aux performances du filtre selon trois tailles de particules (PM10, PM2,5, PM1) qui sont également utilisé comme paramètres d'évaluation de la qualité de l'air en particules par OMS et d'autres organismes.

AVEC :

PM1 : masse des particules de 0,3 à 1 μm

PM2,5 : masse des particules de 0,3 à 2,5 μm

PM10 : masse des particules de 0,3 à 10 μm

La norme exige qu'un filtre doit avoir une efficacité minimum de 50% pour le classer dans une catégorie. Par exemple, si un filtre retient plus de 50% de particules PM2,5 il sera classé en tant que filtre ISO ePM2,5. Sa référence normalisée comprend également son niveau d'efficacité dans la classe par incrément de 5% (ISO ePM2,5 50%, ISO ePM2,5 55%, etc.).

Nom de la classe	Exigence		
	ePM1 min	ePM2,5 min	ePM10 min
ISO grossier x %	–	–	< 50%
ISO ePM10 x%	–	–	≥ 50 %
ISO ePM2,5 x%	–	≥ 50 %	–
ISO ePM1 x%	≥ 50 %	≥ 50 %	–

Tableau X : Classification des filtres selon la norme ISO 16890. [126]

x = efficacité sur la classe définie

4. Approches actuelles d'atténuation des risques covid-19 dans les milieux intérieurs

4.1. Introduction

Les mesures de prévention à l'intérieur n'éliminent pas totalement le risque de transmission du SRAS-CoV-2, mais elles le réduisent et devraient être utilisées à une échelle plus ou moins grande en fonction de la prévalence du COVID-19 dans la communauté [127]. Pour réduire la transmission de la maladie, il est important que les personnes malades ou chez lesquelles le COVID-19 est suspecté ou confirmé restent autant que possible à la maison. Cependant, cette mesure n'éliminera pas la transmission provenant de personnes asymptomatiques ou pré-symptomatiques. [127] Comme il est impossible de savoir si les personnes rencontrées dans les activités quotidiennes sont contagieuses, l'accent doit être mis sur la réduction de la transmission universelle par l'hygiène, le changement de comportement et les mesures sanitaires.

Dans de nombreux espaces intérieurs, des remèdes courants ont été adoptés, notamment des barrières physiques, le masquage, l'isolation médicale et une désinfection accrue des surfaces. [128]

4.2. Stérilisation par ultraviolets

4.2.1. Description de la technologie

La stérilisation UV est utilisée dans la communauté médicale depuis des décennies pour lutter contre les maladies respiratoires telles que la tuberculose et d'autres situations à risque [129]. Lors de la pandémie COVID-19, cette technique a été utilisée pour limiter la transmission du SRAS-CoV-2 à l'intérieur [130]. Les rayons ultraviolets sont divisés en trois catégories en fonction de leur longueur d'onde : UVA (320-400 nm), UVB (280-320 nm) et UVC (100-280 nm). [129] La lumière du soleil produit les rayons UVA et UVB, alors que les rayons UVC sont produits par des lampes au mercure ou au xénon à basse pression pour des usages spécifiques. Uniquement, les rayons de 200 à 320 nm (rayons UVB et UVC) permettent la stérilisation. Bien que les rayons UVB produits par le soleil puissent avoir un effet désinfectant avec un indice UV élevé et pour de longues expositions [131], les rayons UVC autour de 254 nm sont plus efficaces. En effet, les ondes plus courtes offrent une plus

grande intensité [129]. L'effet désinfectant des rayons UVC détruit le matériel cellulaire des bactéries et des virus, y compris leur ADN ou ARN. Ces dommages empêchent la croissance d'agents pathogènes. Ils ne sont plus contagieux [132]. Le rayonnement ultraviolet est une cause connue de cancer de la peau, de vieillissement cutané et de lésions oculaires, et il affecte le système immunitaire. Étant donné que les rayons ultraviolets ne peuvent être ni vus ni ressentis, il est important de sensibiliser les personnes susceptibles d'être exposées à de forts rayons ultraviolets à ce danger et de leur rappeler régulièrement de prendre les mesures de protection appropriées à temps. [133]

4.2.2. Fonctionnement

La stérilisation UV peut être utilisée de nombreuses manières en irradiant de l'air, des surfaces ou des objets. Il peut être combiné avec une ventilation naturelle ou une ventilation mécanique pour désinfecter l'air, ou utilisé comme système autonome et portable pour désinfecter les surfaces ou les objets. L'effet de désinfection dépend de la dose de rayons UVC appliquée, de la configuration du groupe de lampes, de la durée d'exposition, de l'ombre et des caractéristiques des microorganismes cibles [134]. La désinfection de l'air aux UV fonctionne mieux lorsque l'air se déplace à une vitesse et à une distance permettant la désinfection et qu'il n'y a pas d'ombre ni de poussière sur la lampe. Afin de désinfecter les surfaces ou les objets, il est préférable d'effectuer une stérilisation aux UV sur des surfaces propres et exemptes de débris ou de graisse (ce qui peut protéger les micro-organismes de la contamination UVC) et de minimiser la présence de sources UVC [128]. L'ombre empêche les rayons d'atteindre la surface.[128]

4.2.3. Efficacité contre le SRAS-CoV-2

La littérature sur l'effet germicide de la lumière ultraviolette suggère qu'elle peut être un moyen efficace d'éliminer les coronavirus, car leur structure (virus à ARN simple brin encapsulé) est plus sensible aux rayons UVC que d'autres. Les virus, tels que les virus à ARN double brin et les virus non enveloppés. [135] Cette technologie s'est avérée efficace contre d'autres virus à ARN monocaténaire enveloppés, notamment le SARS-CoV (SARS) et le CoV-MERS (MERS) aux niveaux d'exposition utilisés dans les systèmes de désinfection existants. Cependant, il existe peu de preuves sur le SRAS-CoV-2. Les données préliminaires

des études de désinfection des surfaces et des équipements de protection individuelle (EPI) montrent que l'exposition aux rayons UVC peut rapidement inactiver le SRAS-CoV-2, mais peu d'études se concentrent sur la nécessité d'un rayonnement optimal dans différents environnements et à des fins différentes [136].

4.3. Systèmes de désinfection par pulvérisation électrostatique

4.3.1. Description de la technologie

Afin de limiter la propagation du SRAS-CoV-2 par contact (porteur passif), un nettoyage et une désinfection fréquents sont nécessaires pour réduire la viabilité du virus sur les surfaces potentiellement contaminées. La pulvérisation électrostatique est un nouveau type de stratégie de désinfection pour les espaces intérieurs. Cela rendra l'utilisation des désinfectants de surface plus uniforme et efficace, en particulier dans les zones difficiles d'accès. [128]

Le système de désinfection par pulvérisation électrostatique utilise des électrodes pour rendre les particules de désinfectant chargées positivement ou négativement lorsqu'elles sont pulvérisées à partir de la buse afin d'améliorer leur adhérence à la surface. [137] En règle générale, la solution désinfectante est versée dans le réservoir d'eau ou la chambre de l'appareil et appliquée sur la surface à travers une buse. La taille des gouttelettes atomisées, la largeur de l'application et la couverture du spray électrostatique dépendent de l'utilisation souhaitée. [138] Cette technologie est utilisée dans de nombreuses industries, comme l'agriculture, l'alimentation, la lutte antiparasitaire, la santé, le transport, la peinture, et même la recherche spatiale [139].

4.3.2. Fonctionnement

Étant donné que la plupart des surfaces sont neutres ou chargées négativement, par rapport à la technologie de pulvérisation traditionnelle, l'application d'une charge positive aux particules de désinfectant à travers une buse peut permettre aux particules de mieux adhérer aux surfaces inégales [137]. La buse des systèmes de désinfection par pulvérisation électrostatique contient une électrode qui charge et atomise la solution désinfectante lorsqu'elle est expulsée afin que les gouttelettes puissent complètement entourer la surface d'application (figure 22).

La force d'attraction impliquée est supérieure à la gravité, ce qui garantit une fixation uniforme à la surface, quelle que soit la direction du jet ou la gravité [141]. La pulvérisation électrostatique permettra au désinfectant de mieux adhérer à l'arrière de la surface [141].

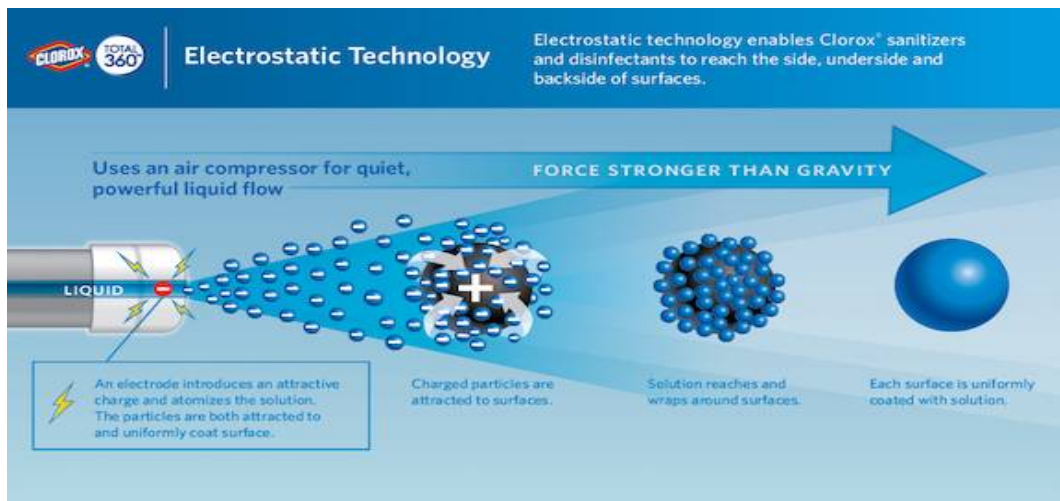


Figure 22 : Utilisation de la pulvérisation électrostatique pour appliquer une solution chargée aux surfaces. [140]

En revanche, la technologie de pulvérisation traditionnelle est une forme d'application passive. Les gouttelettes de désinfectant éjectées de la buse sont plus grosses et leur adhérence à la surface dépend de la direction du jet, de la distance par rapport à la surface cible, du flux d'air dans l'espace immédiat et de la gravité. [139]

4.3.3. Efficacité contre le SRAS-CoV-2

Le SRAS-CoV-2 est un virus enveloppé avec des lipides sur la couche externe. Il est sensible aux détergents et aux produits capables de dissoudre les lipides, tels que le peroxyde d'hydrogène, l'alcool (éthanol ou isopropanol), l'hypochlorite de sodium (eau de Javel), le benzène chlorure de zalkonium (voir la plupart des produits Lysol®) et de l'acide peracétique (présent dans les nettoyeurs et désinfectants de surface) [142]. Le système de pulvérisation électrostatique rendra l'utilisation du désinfectant plus uniforme, y compris la surface arrière et la surface inférieure. Une étude a comparé un certain système de pulvérisation électrostatique avec un système de pulvérisation traditionnel, et les résultats ont montré que l'efficacité de la pulvérisation de la machine de pulvérisation

électrostatique derrière la surface cible est 29 fois supérieure à celle de la machine de pulvérisation traditionnelle [141]. À ce jour, il n'y a eu aucune étude comparant l'efficacité des systèmes de pulvérisation électrostatique avec les systèmes de pulvérisation traditionnels pour inactiver le SRAS-CoV-2. [128]

Des études sur l'efficacité des systèmes de pulvérisation électrostatique ont montré que les désinfectants qu'ils appliquent peuvent réduire le nombre de divers micro-organismes sur la surface [143]. D'autres études ont montré que même si les pulvérisateurs électrostatiques et les méthodes d'application de désinfectant conventionnelles (application manuelle ou pulvérisateurs conventionnels) peuvent réduire certains types d'agents pathogènes sur différentes surfaces, le premier est plus efficace que l'application manuelle. [144]

4.4. Systèmes de désinfection par brumisation

4.4.1. Description de la technologie

La technologie de pulvérisation consistant à disperser un désinfectant ou de fines particules de désinfectant liquide pour désinfecter toute la pièce est utilisée dans les industries pharmaceutique et alimentaire depuis des décennies et a récemment été utilisée dans les hôpitaux [145, 146]. Il y a trois principaux types de technologies de brumisation [145, 146] :

- Processus à vapeur sèche : Vaporisation d'un désinfectant liquide sous forme gazeuse (1-10 μ m).
- Microcondensation : Production d'aérosols très fins ou microscopiques (> 10 μ m).
- Désinfection par ionisation : Semblable à la pulvérisation électrostatique, où une charge est donnée à des aérosols vaporisés par un arc de plasma froid produit par des électrodes au moment de l'expulsion dans l'environnement.

Les méthodes de production de vapeur sèche et d'aérosols à micro-condensation varient en fonction du type de liquide, du fabricant et de la conception de l'équipement [147]. Le système de pulvérisation peut être fixe, portable ou installé au sol. Les particules de désinfectant en spray sont plus fines que le brouillard de micro-condensation et restent dans l'air plus longtemps, ce qui permet de désinfecter l'air et la surface [147]. L'efficacité de ces technologies dépend du type de désinfectant, du type de pathogène cible, du type de surface,

de la taille de l'espace interne, de l'emplacement du pulvérisateur, de la méthode de pré-nettoyage, de la charge organique, de mouvement de l'air, humidité relative et dosage du désinfectant Et temps de contact, etc. [148]



Figure 23 : Un système de brumisation à vapeur sèche permettant d'appliquer des désinfectants. [149]

Les technologies d'atomisation plus anciennes utilisent généralement du formaldéhyde, des produits contenant des phénols ou des composés d'ammonium quaternaire, et en raison de leur faible efficacité et de leur effet néfaste sur la santé, il n'est pas recommandé de désinfecter l'air et les surfaces dans les établissements médicaux. [150]

4.4.2. Fonctionnement

La vapeur et l'aérosol émis par le dispositif d'atomisation sont propulsés dans l'espace par convection forcée du dispositif d'atomisation ou diffusion passive assistée par circulation d'air intérieur [151]. Le processus de vapeur sèche produit des aérosols plus petits que le processus de micro-condensation, ce qui permet une meilleure distribution et un temps de suspension dans l'air plus long. Cependant, l'aérosol produit par diffusion passive est affecté par le flux d'air et la ventilation dans un espace confiné. La gravité affecte également la dispersion des aérosols, car les grosses gouttelettes se déposent plus rapidement que les petites gouttelettes [151]. Il a été démontré que les désinfectants atomisés réduisent le nombre de micro-organismes dans l'air [150]. Une fois déposé en surface, le désinfectant inactive les microorganismes qui s'y trouvent. [150]

En fonction de l'emplacement de l'équipement et de la taille de l'aérosol, l'atomisation ne peut être efficace que pour réduire le nombre de microorganismes déposés sur le dessus de la surface plutôt que sur la surface ou les côtés, car le désinfectant ne peut pas atteindre ces surfaces [150]. Les désinfectants par brouillard ne peuvent pas remplacer les méthodes conventionnelles de nettoyage et de désinfection, mais doivent être utilisés comme suppléments, comme la désinfection finale des chambres entre les patients, ou la désinfection hebdomadaire ou mensuelle des laboratoires ou des installations de transformation des aliments [148]. Comme les autres méthodes d'application de désinfectant, la brumisation nécessite un bon pré-nettoyage de la surface pour éliminer les contaminants organiques et assurer une inactivation et une réduction efficaces des agents pathogènes. [152]

Le temps de génération et la quantité d'aérosol libérée varient en fonction du dispositif de pulvérisation. Personne ne devrait se trouver dans la pièce pendant le traitement [151]. Habituellement, le nébuliseur fonctionne pendant 15 minutes à 1 heure, période pendant laquelle la vapeur se diffuse dans l'espace [148, 150]. Après le temps de contact prescrit, l'espace doit être ventilé pendant plusieurs heures avant que quiconque n'entre pour limiter les réactions indésirables à la vapeur [148, 151]. Lorsque les pièces traitées doivent être réutilisées dès que possible, un temps d'aération plus long peut être difficile [153]. Dans certains cas, il peut être nécessaire de ventiler la pièce plus longtemps que la recommandation du fabricant pour obtenir une certaine qualité de l'air [153].

4.4.3. Efficacité contre le SRAS-CoV-2

Il n'y a pas d'articles sur l'efficacité de la technologie d'atomisation contre le SRAS-CoV-2, et il existe peu d'études sur son efficacité contre d'autres virus humains. Comme le SARS-CoV-2 est un virus enveloppé, il est plus facile à inactiver que d'autres types de virus (comme le norovirus humain) [148]. La couche lipidique entourant le matériel génétique viral sera détruite par une variété d'agents de nettoyage et de désinfection de concentration et de temps de contact suffisants [142]. Étant donné que le processus d'évaporation modifie les caractéristiques de certains désinfectants liquides, seuls les produits compatibles peuvent être utilisés dans l'équipement de pulvérisation [154].

L'efficacité de l'équipement de brumisation est largement affectée par l'humidité relative, le type d'agent pathogène cible et l'emplacement de l'équipement. L'humidité intérieure modifie la condensation du désinfectant et son efficacité [151]. Par conséquent, la déshumidification est parfois nécessaire pour assurer l'effet de désinfection. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer comment l'humidité, la température et le type de désinfectant utilisé affectent l'efficacité de la technologie de brumisation [148]. La plupart des articles publiés se concentrent sur l'efficacité de la technologie d'atomisation pour réduire et éliminer la pollution atmosphérique et par contact dans les laboratoires, les industries alimentaires et les hôpitaux. Selon la taille de la pièce et la quantité de désinfectant libérée, il peut ne pas être uniformément dispersé et la concentration dans l'air peut varier, entraînant une désinfection insuffisante dans certaines zones. [151]

Les hôpitaux utilisent souvent des pulvérisations de peroxyde d'hydrogène pour réduire ou éliminer la pollution de l'air intérieur et des surfaces. La vapeur de peroxyde d'hydrogène a réduit la présence de Feline Novel Coronavirus (un substitut du norovirus) sur la surface de recherche, réduite de 4 log₁₀, et a inactivé tous les indicateurs biologiques de surface analysés dans le service hospitalier [155]. La brumisation à l'acide peracétique produisait une réduction logarithmique des réovirus, des parvovirus et des polyomavirus aviaires de 9, 6,4 et 7,65, respectivement [156]. Une étude a montré que dans des conditions expérimentales, le calicivirus félin doit réduire au moins 10,6 ml / m³ de peroxyde d'hydrogène pour obtenir une réduction de 4 log₁₀. [156]

Chapitre IV Equipements de protection individuelle et risques de contamination dans le cadre du covid-19

1. Equipements de protection individuelle

Le code de travail définit les équipements de protection individuelle (EPI) comme « des dispositifs ou moyens destinés à être portés ou tenus par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ou sa sécurité ». [157]

Selon la directive 89/686/CCE les équipements de protection individuelle (EPI) sont définis comme « Tout dispositif ou moyen destiné à être porté ou tenu par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ainsi que sa sécurité au travail, ainsi que tout complément ou accessoire destiné à cet objectif ». [158]

Dans le cadre de la pandémie COVID-19, la mise en place des mesures limitant la propagation du virus est obligatoire, aussi bien à l'intention de l'ensemble de la population qu'à celle de tous les personnels qui sont en contact avec d'autres personnes, qu'ils sont susceptibles d'être ou de devenir des vecteurs de contagion.

L'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) est considérée comme l'une des stratégies les plus importantes pour protéger à la fois les patients et les agents de santé contre les germes pathogènes transmissibles. À haut risque paramètres, l'utilisation de l'EPI vise à empêcher la transmission de ces agents pathogènes des patients aux travailleurs de la santé et vice-versa, en particulier en l'absence de traitement efficace ou une prophylaxie est disponible pour la maladie en question. [159]

L'EPI était parfois utilisé avant le 18^{ème} siècle, comme en témoignant les enregistrements de divers équipements utilisés par les médecins de la peste au Moyen Âge comme les masques, les robes en cuir et les pardessus noirs pour empêcher la transmission de la peste lorsque traiter les patients. L'importance de garder de la sécurité des travailleurs de la santé utilisant des équipements personnels normalisés a été renforcée aux États-Unis les années 1970 et 1980 suites au passage du Loi de 1970 sur la sécurité et la santé au travail [160]. Les centres de contrôle et de prévention des maladies (CDC) des États-Unis a emboîté le pas en 1982 en publiant des recommandations pour la protection de personnel de

laboratoire travaillant avec les patients au plus fort de l'épidémie de VIH [160]. En 1983, les CDC ont également mis à jour leurs directives pour le traitement des patients isolés dans les hôpitaux, conseillant au personnel soignant de porter un masque, blouse ou gants en fonction de la probabilité d'exposition aux agents infectieux, y compris les agents pathogènes respiratoires comme *Mycobacterium tuberculosis*. [161]

Dans le cadre du syndrome respiratoire aigu sévère à coronavirus, L'OMS a recommandé l'utilisation d'un masque médical en contact étroit avec des patients infectés et l'utilisation d'une particule respirateur (par exemple, FFP2 et N95), protection oculaire (un écran facial ou des lunettes jetables), une blouse et gants lors de l'exécution de tout générateur d'aérosol procédure. [162]

Le personnel médical qui traite des patients atteints d'infections telles que le coronavirus est également à risque d'infection. L'agent de santé utilise un EPI pour se protéger des gouttelettes, toux, éternuements ou autres liquides organiques des patients infectés, ainsi que des surfaces contaminées qui peuvent les infecter.

Les soignants qui ne peuvent pas adapter l'EPI aux risques qu'ils prennent en prodiguant des soins peuvent être confrontés à un important dilemme éthique : choisir entre leurs responsabilités professionnelles et la carrière de prendre soin d'eux-mêmes, aussi pour tout le monde.

2. Choix d'un équipement de protection individuelle

Les risques professionnels liés à la santé et à la sécurité doivent être gérés par la sélection des méthodes de travail et des matériaux, puis par des mesures techniques, et enfin par l'utilisation d'équipements de protection individuelle. Sur le lieu de travail, l'employeur doit définir un niveau de risque acceptable, qui doit être au moins le niveau légal d'exposition professionnelle, mais de préférence en dessous de ce niveau. [163-166]

La décision d'utiliser un équipement de protection individuelle comme mesure de contrôle et sa sélection devraient être fondées sur une évaluation des risques. [163]

L'évaluation des risques doit identifier tous les dangers existants et fournir une mesure des risques. Des informations sur le niveau de sécurité des dangers doivent être fournies. Étant donné que le degré de risques existants et le niveau de sécurité sont connus, il devrait être possible de déterminer l'efficacité des EPI. Outre les risques chimiques et biologiques, les risques physiques, thermiques et acoustiques doivent également être évalués lors du choix des vêtements de protection. Il est également nécessaire d'évaluer la probabilité d'un accident et de déterminer le pire scénario réel. Ce risque peut toucher tout le corps ou une partie du corps. L'équipement de protection individuelle doit couvrir toutes les parties du corps à risque. L'utilisation de vêtements imperméables à la poussière, aux liquides ou aux gaz augmente le risque de température corporelle élevée. Ceci doit être pris en compte lors de la planification de la tâche à effectuer. [164-167]

Risques chimiques

Pour les produits chimiques, les phrases de danger de la fiche de données de sécurité doivent être utilisées pour aider à l'évaluation des risques. Le risque de cancer, d'effets mutagènes ou génotoxiques, d'asthme ou d'empoisonnement est le risque le plus grave. Les brûlures chimiques peuvent être divisées en plusieurs niveaux de gravité. Le contact avec des solvants peut provoquer une irritation et une gêne, mais une inhalation à long terme ou un contact cutané peut provoquer de graves dommages neurologiques [168].

Risques biologiques

Les virus, bactéries, champignons et parasites sont des agents biologiques, certains d'entre eux sont dangereux. La concentration atmosphérique sans danger des substances biologiques dangereuses est peu connue. L'évaluation des risques doit se concentrer sur les types d'agents de danger biologique présents, leur degré de risque et la voie d'exposition : (1) inhalation ; (2) ingestion ; (3) contact avec la muqueuse oculaire ou les tissus de la cavité nasale ; ou (4) par des lésions ou des frottements La plaie pénètre dans la peau. [169]

Le risque dépend des effets possibles de l'organisme et de la capacité à traiter ces effets (c'est-à-dire les maladies). La directive européenne couvre la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition aux agents biologiques au travail. [166]

Dans cette directive, les agents biologiques sont divisés en quatre catégories de risque en fonction de leurs niveaux de risque d'infection :

- **Groupe 1** : les agents biologiques désignent les agents qui ne sont pas susceptibles de provoquer des maladies humaines.
- **Groupe 2** : les agents biologiques désignent les agents susceptibles de provoquer des maladies humaines et de présenter un danger pour les travailleurs ; il est peu probable qu'il se propage à la communauté ; il existe généralement des méthodes de prévention ou de traitement efficaces.
- **Groupe 3** : agents biologiques qui peuvent causer de graves maladies humaines et présenter de hauts risques pour les travailleurs ; ils peuvent se propager à la communauté, mais peuvent généralement être efficacement prévenus ou traités.
- **Groupe 4** : les agents biologiques qui causent des maladies humaines graves et présentent un danger grave pour les employeurs ; ils peuvent présenter un risque élevé de propagation à la communauté.

3. Composants des équipements de protection individuelle

3.1. Protection du visage

La protection du visage est assurée par le masque, complétée par le port de lunettes de protection enveloppantes, les écrans faciaux ou les masques dotés de visières. Le masque est un dispositif médical et les lunettes sont classées comme une EPI. [170]

3.1.1. Masques et la pandémie covid-19

Pendant la pandémie COVID-19, de nombreux débats autour du port de masques ont suivi : quand et où porter un masque, quel type de masque porter et qui porte un masque. Des questions se posent également sur l'efficacité de divers types de revêtements faciaux dans différents environnements. Depuis le début de la crise, l'Organisation mondiale de la santé [171] a mis à jour ses directives sur le port de masques non médicaux dans les milieux communautaires, et il est recommandé de porter des masques sur les sites où la transmission communautaire est soutenue et lorsque la distance physique est difficile.

3.1.1.1. Types des masques



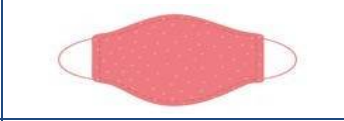
	Respirateurs	Masques chirurgicaux ou d'intervention	Masques non médicaux en tissu
			
Types	N95, N99, N100 (É.-U., Canada), FFP2 ou FFP3 (UE). Différents styles : moulé, plié et à « bec de canard ». Certains comprenant une soupape d'expiration.	Il s'agit généralement d'une structure à trois couches minces, qui peut comprendre une combinaison de papier non tissé formé à sec et de polypropylène. [172]	Différents tissus, couches et styles. Le modèle normal comprend deux couches de coton.
Utilisation	Il convient aux environnements susceptibles d'être exposés aux aérosols. Empêche la plupart des particules (les masques N95 peuvent bloquer 95% des particules et fournir une certaine protection contre les éclaboussures et les saillies). [173] La résistance des masques médicaux aux liquides, y compris le sang, a été testée, mais les masques commerciaux n'ont pas été testés.	Utilisé pour les soins de routine pour réduire l'inhalation et la décharge des gouttelettes respiratoires. Filtrant les particules de plus de 20 µm de diamètre et certains noyaux de condensation plus fins. [174] Empêcher le sang et les substances infectieuses d'entrer en contact avec la bouche, le nez et la peau. Empêche efficacement les éclaboussures et les projections [174].	À utiliser par le public comme mesure de contrôle à la source dans un environnement non médical afin de réduire les émissions respiratoires du porteur et son exposition à d'autres [172, 175].
Avantages	Les respirateurs médicaux peuvent empêcher les sprays de pénétrer. En prenant certaines précautions, ils peuvent être réutilisés et désinfectés.	Fournissent une certaine protection contre la transmission par contact, ils sont jetables et relativement bon marché. Pas besoin d'évaluer l'ajustement du masque.	Les masques non médicaux sont bon marché et peuvent être fabriqués à partir de matériaux disponibles à la maison. Peuvent servir de rappel de ne pas se toucher le visage [175]. Peuvent être réutilisés et lavés [176].
Inconvénients	La filtration des aérosols n'est efficace qu'après avoir effectué un test d'aptitude. Certains utilisateurs peuvent ressentir de l'inconfort et des difficultés respiratoires. Ces masques sont chers et les stocks peuvent être limités.	Comparé aux masques N95, il offre une protection plus faible contre les particules plus petites (0,4 à 1,3 µm) et un ajustement serré plus faible, de sorte que le risque de fuite est plus grand [177]. Il n'est pas recommandé de réutiliser et de désinfecter dans les établissements médicaux.	Selon le matériau et le modèle, l'efficacité et le confort respiratoire de la protection respiratoire varient [178]. Ces masques ne remplacent pas d'autres mesures de protection (par exemple, hygiène des mains et aliénation) [179]

Tableau XI : Les différents types des masques utilisées durant la pandémie COVID-19 .

3.1.1.1. Evaluation de l'efficacité des masques

Les masques sont portés pour éviter l'inhalation de particules (pour protéger le porteur) ou comme mesure de contrôle de la source pour empêcher l'expiration ou la propagation de particules par la toux, les éternuements ou d'autres activités respiratoires (pour protéger les autres).

De nombreuses études ont évalué l'efficacité de différents masques pour les deux types de protection. Par exemple :

- ❖ Études évaluant la protection du porteur : [175, 178]
 - Les études sur le taux de pénétration examinent le mouvement des particules de l'environnement extérieur à travers le matériau du masque dans la zone respiratoire du porteur.
 - Les études sur l'effet protecteur comparent les résultats cliniques des porteurs de masques. Dans ces études, certains évaluent l'incidence des maladies respiratoires cliniques, des maladies pseudo-grippales et des infections virales confirmées en laboratoire chez le personnel médical portant des masques et le personnel ne portant pas de masques.
- ❖ Études évaluant la protection des autres contre une personne infectée : [179, 180]
 - Les études sur le taux de pénétration, comme un test de toux, observent le mouvement des particules qui traversent le masque et finissent par pénétrer dans l'environnement extérieur.
 - Les études du taux d'attaque secondaire évaluent l'efficacité des masques portés par les personnes infectées pour empêcher la propagation de la maladie à d'autres avec lesquels elles sont en contact étroit.

Essais	Type Ia	Type II	Type IIR
Efficacité de filtration bactérienne (EFB), (%)	≥ 95	≥ 95	≥ 98
Pression différentielle (Pa/cm ²)	$< 29,4$	$< 29,4$	$< 49,0$
Pression de la résistance aux projections (kPa)	Non exigée	Non exigée	$\geq 16,0$
Propreté microbienne	≤ 30	≤ 30	≤ 30

Tableau XII : Exigences relatives aux performances des masques à usage médical - Norme EN 14683 : 2014. [181]

3.1.2. Protection des yeux

Afin de protéger les yeux, un écran facial avec des lunettes intégrées, des lunettes de sécurité ou des écrans faciaux doit être utilisé. Le choix de la protection faciale lors des soins de routine au patient dépend de l'analyse des risques de la situation de soins, qui prend en compte l'état clinique du patient et les tâches à effectuer. Les critères à considérer sont les soins possibles de provoquer la toux, des éclaboussures ou l'émission de gouttelettes de sang, de liquides biologiques, de sécrétions ou d'excrétions. Les activités qui pourraient exposer les muqueuses des yeux, de la bouche ou du nez justifient aussi d'une protection faciale (interventions chirurgicales, soins invasifs, dialyse...). [182]

Il existe de nombreux modèles de protection des yeux et/ou du visage commercialisés dans le marché. On peut les classer en trois types principaux : lunettes à branches, lunettes masques et les écrans faciaux.

La visière est également appelée « écran facial » et se compose d'un serre-tête auquel est fixé un écran en polycarbonate transparent recouvrant le visage. Encadré par la norme européenne NF EN 166, ce dispositif est censé empêcher les projections de liquide au niveau du visage. Comme nous le rappelle l'Institut national de la recherche et de la sécurité (INRS), cet appareil n'est pas un moyen de protection respiratoire, mais un appareil de « protection des yeux et du visage ». Par conséquent, il ne peut pas remplacer les masques ordinaires. Il est à noter que les recherches sur les écrans faciaux n'ont montré leur efficacité lors de contact très rapproché. La visière peut empêcher les gens de projeter directement les grosses gouttelettes émises directement devant l'écran, comme la toux. [183]

3.2. Protection de la tenue de travail

L'objectif des vêtements de travail en milieu hospitalier est de remplacer les vêtements de ville pour limiter les risques infectieux liés à la transmission de microorganismes omniprésents dans l'environnement, protégeant ainsi le patient et les professionnels de santé le cas échéant. La combinaison de protection fait généralement partie de base de professionnels de santé qui entrent en contact avec les patients ayant une infection hautement transmissible. [184].

3.2.1. Conception des vêtements de protection

3.2.1.1. Matériaux de production

Plusieurs familles de matériaux peuvent être utilisées pour la production des tenues [185] :

- Des non tissés constitués de filaments de polymère synthétique entrelacés, qui sont assemblés selon différents procédés de fabrication sous la forme d'un voile plus ou moins dense et uniforme. Il existe du polypropylène, du polyéthylène et également des polymères qui sont des marques déposées (Comme exemple la gamme de combinaisons de DiPont™ Tyvec® et DiPont™ Tychem®).
- Des non tissés ou tissés laminés avec un film perméable à la vapeur d'eau.
- Des non tissés ou tissés induits
- Des films plastiques (pvc...)

3.2.1.2. Choix de tenue de protection

Le choix de combinaison est en fonction du risque. Dans les établissements de santé, les vêtements doivent avoir une protection contre les risques chimiques et biologiques [186] :

a) **Vêtements de protection contre les risques chimique :**

Selon la norme européenne EN 14126, les combinaisons de protection contre les risques biologiques sont subdivisées au niveau de l'étanchéité aux fluides de la même façon que vêtements de protection contre les risques chimiques. Par conséquent, ces vêtements de protection chimique doivent passer la certification de classe III (« vêtements de protection chimique », reconnaissables grâce au pictogramme : figure 24).



Figure 24 : Pictogramme indique la résistance des vêtements aux risques chimiques.

Ces vêtements de classe III sont conçus pour protéger l'utilisateur du danger mortel ou de blessure permanente. Selon le niveau de protection, il existe six niveaux de protection dans cette catégorie III :







Type et pictogramme	Degré de protection	Normalisation
Type 1 	Étanche au gaz	EN 943-1 EN 943-2
Type 2 	Perméable au gaz	EN 943-1
Type 3 	Étanche aux liquides	EN 14605
Type 4 	Étanche aux éclaboussures	EN 14605
Type 5 	Protection contre les particules solides	EN ISO 13982-1
Type 6 	Vêtements à étanchéité limitée aux éclaboussures	EN 13034

Tableau XIII : Différents niveaux de protection des vêtements de catégorie III.

b) Vêtements de protection contre les risques biologiques :

L'ajout du suffixe B permet de reconnaître les vêtements de protection contre les risques biologiques, par exemple de type 3-B. Le pictogramme « protection contre les risques biologiques » est également utilisé (figure 25)



Figure 25 : Pictogramme indique la résistance des vêtements aux risques biologiques.

3.2.1.3. Degrés d'efficacité de combinaisons

La norme EN 14126 comprend un ensemble complet de méthodes d'essai pour déterminer le niveau de protection [30] :

a) Test selon ISO 22611 : degré de protection contre la pénétration des aérosols biologiquement contaminés

Classe de protection	Explication
1	Pénétration de 10 % des bactéries qui arrivent par spray sur la combinaison (réduction $\log > 1$)
2	Pénétration de 1% des bactéries qui arrivent par spray sur la combinaison (réduction $\log > 2$)
3	Pénétration de 0,001 % des bactéries qui arrivent par spray sur la combinaison (réduction $\log > 5$)

Tableau XIV : Classe de protection contre la pénétration des aérosols biologiquement contaminés.

- b) Test selon ISO 22610 : degré de résistance d'un matériau à la pénétration de bactérie dans un liquide lorsque ce matériau est soumis à un frottement mécanique**

Classe de protection	Temps de protection (en minutes) des bactéries (breakthrough times)
1	< 15
2	> 15
3	> 30
4	> 45
5	> 60
6	> 75

Tableau XV : Classe de protection à la pénétration de bactérie après frottement mécanique.

- c) Test selon ISO 16603 : Degré de protection contre la pénétration de sang synthétique sous pression pendant 5 minutes**

Classe de protection	Pression (kpa) nécessaire pour faire pénétrer le sang dans la combinaison
1	0
2	1,75
3	3,5
4	7
5	14
6	20

Tableau XVI : Classe de protection contre la pénétration de sang synthétique.

- d) Test selon ISO 16604 : degré de pénétration de virus véhiculés par le sang pendant 5 minutes**

Classe de protection	Pression (kpa) nécessaire pour faire pénétrer les virus dans la combinaison
1	0
2	1,75
3	3,5
4	7
5	14
6	20

Tableau XVII : Classe de protection de pénétration de virus véhiculés par le sang.

3.3. Gants à usage médicale

La première utilisation des gants de la médecine est attribuée à Halstead portant la première paire de gants en caoutchouc pendant la chirurgie en 1884 dans l'hôpital Johns Hopkins à Baltimore. Ce monument médical a été le résultat de sa collaboration avec Charles Goodyear qui a découvert la vulcanisation du caoutchouc. L'utilisation du gant a augmenté au fil des décennies avec un double objectif de protéger le patient des micro-organismes hospitaliers et de protéger le personnel des germes des patient. [187]

Les gants de protection conçus pour protéger les personnes des agents biologiques, des produits chimiques ou des rayonnements ionisants sont considérés comme des EPI. Et conforme à la directive 89/686 / CEE. [188]

3.3.1. Types de matériaux

Les gants jetables peuvent synthétisés généralement par trois types de matériaux : [189]

Gants en latex : Le latex de caoutchouc naturel est un produit végétal transformé et a été le matériau traditionnel de préférence pour la fabrication des gants jetables. Les gants en latex sont connus pour leur utilisation dans les environnements médicaux et industriels, glissant comme une seconde peau. Les gants en latex jetables ont une excellente sensibilité tactile, ainsi que confort, douceur et flexibilité.

Le caoutchouc latex a également de grandes propriétés élastiques, offrant des performances fiables et une protection contre les infections et la contamination. De plus, de nombreux produits en latex sont légèrement poudrés à l'intérieur, ce qui facilite leur mise en place.

Gants en nitrile : Les gants en nitrile sont faits de polymères synthétiques et sont idéaux en cas d'allergie. Le nitrile a des propriétés similaires à celles du caoutchouc et a la même flexibilité et sensibilité que le latex. De plus, les gants en nitrile offrent une résistance à la déchirure similaire et sont efficaces dans le temps.

En outre, le nitrile est également résistant à de nombreux produits chimiques, en particulier les produits à base de pétrole, ce qui en fait un matériau de protection efficace lors de la manipulation de substances dangereuses.

Gants en vinyle : Dans le passé, les gants en vinyle étaient la première alternative synthétique disponible pour les consommateurs et offraient au latex une option sans allergène. Les gants en vinyle sont composés de polychlorure de vinyle et d'un plastifiant adoucissant, c'est un choix économique et l'option la moins chère du marché.

Lorsqu'un niveau élevé de durabilité et de protection n'est pas requis, des gants en vinyle sont recommandés. Il est recommandé d'utiliser des gants en vinyle pour protéger les mains dans un environnement sans infection.

3.4. Autres équipements de protection individuelle

Les surbottes ou les surchaussures antidérapants, de type (3-B) selon la norme EN 14126, complètent la protection apportée par la combinaison. [190]

En l'absence de surchaussures intégrées à la combinaison, cette dernière possède une paire de surbottes complétée par une paire de surchaussures portées au-dessus afin de minimiser le risque de contamination du sas à la sortie. [190]

Ainsi, la protection individuelle caractérisée par une protection de la tête, de la chute des cheveux qui sont contaminés, afin de protéger les patients d'une contamination croisée. Cette protection se fait par des charlottes médicales. Dans le cas des infections à haute risque de transmission les cagoules permettent une protection des agents soignants.

4. Les EPI des agents de santé durant la pandémie de COVID-19

Alors que la pandémie de maladie à coronavirus de 2019 (COVID-19) continue de prendre de l'ampleur, les organisations de santé ont dû sélectionner l'équipement de protection individuelle pour les travailleurs de la santé dont elles avaient besoin. Jugée appropriée dans un contexte d'incertitude et de contraintes liées à la chaîne d'approvisionnement. [191]

La transmissibilité et la virulence des virus respiratoires sont deux facteurs à considérer au moment du choix de l'EPI à utiliser. [192]

Lorsque la COVID-19 est apparue, les équipements de protection individuelle utilisés pour traiter les patients étaient complexes et comportaient plusieurs composants. Dans le contexte de l'émergence d'un virus jusque-là inconnu et des informations limitées qui

existaient sur sa transmissibilité, les personnels de santé ont utilisés deux paires de gants, des combinaisons de protection complets, des lunettes, des casquettes et des masques de chirurgien de type N95. [192]

Ensuite, les directives des Centers for Disease Control and Prevention (CDC) des États-Unis ont suggéré de fournir des soins généraux aux patients atteints de COVID-19, l'équipement de protection individuelle de base comprend 4 types d'articles : gants, blouses d'isolement, des lunettes ou un écran facial et masques médicaux ou masques N95. [191]

Les recommandations relatives aux EPI des agents de santé sont variées en fonction de l'activité et l'intervention des personnels : [193]

Personne	Activité	Type d'EPI ou d'intervention
Travailleur de la santé	Prise en charge directe des patients présentant une infection suspectée ou confirmée par COVID-19, y compris le prélèvement d'écouillons nasopharyngés et oropharyngés.	Précaution contre les gouttelettes et les contacts : <ul style="list-style-type: none"> • Masque chirurgical • Blouse d'isolement • Gants • Protection des yeux
Travailleurs de la santé	Une procédure médicale générant des aérosols effectués sur un patient avec une infection au COVID-19 suspectée ou confirmée.	Prévention contre les aérosols, les gouttelettes et les contacts, y compris : <ul style="list-style-type: none"> • Respirateur N95 • Blouse d'isolement • Gants • Protection des yeux • Chambre à pression négative, si disponible.
Préposés des services de nettoyage de l'environnement	Entrée dans la chambre de patients dont l'infection à la COVID-19 est suspectée ou confirmée.	Prudence contre les gouttelettes et les contacts : <ul style="list-style-type: none"> • Masque chirurgical • Blouse d'isolement • Gants • Protection des yeux

Tableau XVIII : les équipements de protection individuelle des agents de santé en fonction des activités.

5. Relargage des particules par les tenues de protection

Les tenues de protection réalisent une double filtration. D'une part, l'inhibition de la pénétration des particules, des produits chimiques dangereux, et des microorganismes de l'environnement vers le corps du porteur. Et d'une autre part ces combinaisons jouent un rôle dans l'inhibition des particules et les microorganismes émis par le porteur même vers l'extérieur.

Or, les combinaisons de protection, ainsi les autres EPI, ont un taux de relargage des particules dans l'environnement. Ce taux d'émission est différé en fonction de type de combinaison (matériaux de production), et des paramètres physiques tels que la température, l'humidité et le frottement.

Des tests menés par un laboratoire indépendant selon la norme BS 6909 ont montré que le Tyvek[®] émet considérablement moins de particules que d'autres tissus de vêtements de protection, par exemple la tenue SMS (Spunbond/Meltblown/Spunbond) utilisé pour ProShield[®] 10 ou MPF (film microporeux) utilisé pour ProShield[®] 30. Cet atout peut fortement réduire la nécessité d'un polissage supplémentaire. [194]

A decorative frame with a teal border and two teal ribbons on the left and right sides. The text "Partie pratique" is centered within the frame.

Partie pratique

I. Introduction

Un aérosol est défini comme étant une suspension de particules solides et/ou liquides dans un gaz, présentant une vitesse de chute négligeable (par convention $v \leq 25$ cm/s). [195]

Les formules « aérosols microbiens » définissent l'ensemble des particules bactériennes, fongiques et virales. Ils présentent en général un diamètre compris entre 0,1 et 100 μm . [196, 197]

Les bioaérosols sont facilement déplacés d'un environnement à un autre en raison de leur petite taille et poids léger. Dans la plupart des cas, ils sont sous forme d'agrégats (attachés les uns aux autres) ou fixés à des particules non viables (telles les particules de poussière, débris végétaux...). [196, 197]

Les gouttelettes de tailles supérieures à 200 μm sédimentent à un maximum d'un mètre de leur source d'émission et les gouttelettes de tailles inférieures à 200 μm peuvent sédimenter jusqu'à 5 mètres de distance. [198,199]

Dans les épidémies de maladies hautement infectieuses, telles qu'Ebola, le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS) ou le coronavirus (cause de la COVID-19), les agents de santé courent un risque d'infection beaucoup plus élevé que la population générale, en raison de leurs contacts avec les patients « fluides corporels contaminés ». Les équipements de protection individuelle (EPI) peuvent réduire le risque en couvrant les parties du corps exposées. [200]

L'adhérence des microparticules aéroportées, du sang et des fluides corporels des patients infectés par les microorganismes à la surface des vêtements de protection présente toujours un risque de transmission d'agents pathogènes lors du déshabillage.

En plus de l'auto contamination du personnel de santé lors du déshabillage des EPI, suivi à la dissémination d'agents pathogènes et des microparticules nocives pour la santé, il existe un risque d'exposition des personnels et des patients se trouvent proches au professionnel qui est enlevé leur EPI. [201]

Le bon usage des EPI est indispensable pour limiter la transmission croisée et l'auto contamination [202]. Ainsi, les règles d'hygiène des mains et de déshabillage doivent respecter pour minimiser l'émission des microparticules dans l'environnement. La prévention de la contamination des personnels de la santé et de l'environnement lors du retrait des EPI nécessite de manière cruciale des stratégies améliorées.

L'objectif de notre travail est de dénombrer le taux d'aérosols émis lors du déshabillage des équipements de protection individuelle à quatre distances différentes, après une demie heure de son utilisation, afin de discuter l'influence de la distance sur le risque d'exposition des personnes voisines, aux contaminations. Ainsi notre étude est réalisée par deux opérateurs, chacun utilise une taille de combinaison modèle Tyvek[®]. Le comptage d'aérosol au moment d'enlever les EPI, nous permet de la mise au point du risque d'auto contamination et d'exposition des personnels collègues, des patients et de l'environnement aux agents contaminants libérés par la combinaison de protection.

A travers cette étude, nous allons faire une mise au point sur l'intérêt de la vigilance des agents de santé à la contamination particulière vestimentaire, ainsi que sur le risque d'exposition à des agents de contamination au moment de retirer les EPI.

Nous prouverons dans cette partie le déroulement du travail, les résultats trouvés, la discussion de ces résultats, et la conclusion de ce travail.

II. Matériel

1. Milieu d'étude

1.1. Définition du milieu d'étude

Le service de stérilisation centrale de l'HMIMV de Rabat est conçu sur une superficie de 750 m², partagé en 3 zones : zone de lavage, zone de conditionnement et zone de stockage des matériels stériles, en plus des autres zones annexes : salle de repos, bureau, ménage, archives, et magazine de stockage.

Entre la zone de lavage et la zone de conditionnement, il y'a une salle de 16 m² dédiée pour l'habillage et le déshabillage des équipements de protection individuelle par les agents de la stérilisation pour aller désinfecter et nettoyer les différents services de l'hôpital pendant la pandémie COVID19. Notre étude qu'est basée sur le comptage des particules lors du déshabillage se fait dans cette salle.

2. Equipement de protection individuelle

Les agents de la stérilisation doivent prendre des précautions supplémentaires pour se protéger et prévenir la transmission des maladies dans l'Hôpital au cours de la désinfection.

Les précautions contre le contact et les gouttelettes doivent être appliquées en permanence par les agents de stérilisation prenant en charge la désinfection des endroits où il y'a des patients covid-19.

Les équipements de protection individuelle désignant les mesures de barrières suivantes :

- ❖ Protection de visage
- ❖ Protection de la tenue
- ❖ Port de gants

Les EPI utilisés au cours de notre étude sont les mêmes qui sont utilisés chaque fois devant des patients a une infection à coronavirus suspectée ou confirmée.

Les pièces de protection individuelle utilisées sont les suivantes :

- Masque FFP2 à usage unique
- Protection oculaire (lunettes ou écran visuelle)
- Combinaisons à usage unique de taille XL et XXL
- Gants à manchette courte à usage unique
- Gants nitrile à manchette longue à usage unique
- Charlotte à usage unique
- Sur-chaussures à usage unique

Les combinaisons utilisées sont de la gamme de DuPont™ Tyvec® :

- Matériau non tissé
- En polyéthylène de haute densité
- Protection de catégorie III
- Ne peluche pas
- Diamètre médiane massique de 0,6 micromètre

Avant l'habillage et après le déshabillage, l'agent de stérilisation doit prendre en compte le lavage et la désinfection des mains :

- Gel désinfectant
- Savon doux
- Essuie main à usage unique

L'habillage se fait en binôme.

3. Nettoyage et désinfection de l'environnement

Le nettoyage et la désinfection permettent d'éliminer les agents pathogènes de l'environnement ou de réduire sensiblement la charge sur les surfaces contaminées.

Les nettoyeurs doivent porter un équipement de protection individuelle (EPI) approprié et être formés pour l'utiliser en toute sécurité. Quand ils travaillent dans des endroits où les cas d'infection par le COVID-19 sont pris en charge ou confirmés, ou où le dépistage, la classification et la consultation clinique sont effectués, ils doivent porter les équipements de

protection individuelle suivants : combinaison de protection, gants médicaux, lunettes de protection (en cas de risque de renversement de produits organiques ou chimiques) et bottes ou chaussures de travail fermées.

Les moyens utilisés pour la désinfection des différents services et les couloirs sont :

- ❖ Pulvérisateurs à pression de différentes capacités
- ❖ Solution de désinfection : Surfanios Premium Détergent désinfectant pour sols et surfaces

4. Compteur de particules (CLIMET CI-153)

Compteur optique de particule, compact, portable, autonome avec un débit de (1 CMF soit 28,3 litres par minute). Issu des derniers développements technologiques, son écran tactile, sa programmation aisée et conviviale (large écran avec couleur TFT).



Figure 26 : Compteur de particules CLIMET CI-153.

- ❖ Il permet l'édition de rapports complets selon la norme ISO 14-644-1 et les BPF.
- ❖ C'est un compteur de particules portable à 4 canaux de qualité pharmaceutique qui est disponible dans le choix de débits.
- ❖ Le boîtier en acier inoxydable sans soudure, simplifie le nettoyage et l'assainissement.
- ❖ Échappement externe filtré HEPA, avec RS-232 et Ethernet
- ❖ Une imprimante thermique interne, sans plastique.

- ❖ Un chargeur de batterie intégré.
- ❖ Un stockage des données internes.
- ❖ Un débitmètre massique avec un contrôle du débit automatique.

5. Opérateurs

La fiabilité de notre étude est basée sur la prise de plusieurs mesures à chaque distance. Ainsi l'étude se déroule avec deux opérateurs, afin de déduire la moyenne des deux, et d'avoir l'influence de la taille de la combinaison sur la contamination particulière.

Opérateur 1 :

- ✓ Age : 24 ans
- ✓ Taille : 1,82 m
- ✓ Poids : 80 kg
- ✓ Surface corporelle : 2,011 m²
- ✓ Indice de masse corporelle : 26,5 Kg/m²

Donc la combinaison adaptée pour l'opérateur I est de taille XXL.



XXL

Opérateur 2 :

- ✓ Age : 25 ans
- ✓ Taille : 1,75 m
- ✓ Poids : 55 kg
- ✓ Surface corporelle : 1,64 m²
- ✓ Indice de masse corporelle : 18,8 Kg/m²

Donc la combinaison adaptée pour l'opérateur II est de taille XL.



XL

III. Méthode

Ce travail a été réalisé au sein du service de stérilisation centrale de l'HMIMV du 09/10/2020 jusqu'au 30/10/2020. Il a été porté, pour la partie comptage particulière sur les particules de taille 0,3 µm, 0,5 µm, 1 µm et 5 µm. Ce comptage se fait lors du déshabillage des agents de stérilisation après la désinfection des surfaces des couloirs, et les services d'hospitalisation des patients covid-19 positifs (service de réanimation, les urgences, la radiologie, transport des morts vers la morgue...).

La désinfection se fait avec prudence afin de limiter le contact de la solution de désinfection à la surface de la combinaison. Les agents de stérilisation limitent leur travail uniquement sur la désinfection des sols.

Le déshabillage se fait dans une salle au sein de l'unité de stérilisation. Cette salle ne subit aucun traitement d'air ; pas de soufflage ni d'extraction. Cette étude est réalisée en absence d'activité dans le service de stérilisation et en absence humaine. Les soirs des journées de la garde d'agents de stérilisation ont été retenus les moments optimaux pour cette étude ou l'activité est limitée à la chirurgie des urgences, mais sans traverser la salle dédiée à cette étude, et l'équipe de stérilisation réduite à deux personnels de garde (l'un est l'opérateur de notre étude).

La finalité de l'étude est, dans des conditions bien définies, de mesurer le taux des particules émises au moment de déshabillage, du personnel d'intervention dans le cadre covid-19, en fonction de la distance, afin d'attirer l'attention sur la contamination des personnels d'entourage et aussi les patients dans d'autres situations.

1. Temps entre l'habillage et déshabillage

Ce temps correspond au temps de la désinfection. L'agent de stérilisation prend ses équipements de protection individuelle et la solution de la désinfection, pour aller désinfecter les différents services et couloirs.

Ce temps d'utilisation des EPI est fixé à 30 minutes.

2. Déshabillage des EPI

Pour avoir des résultats exacts et discutables, du nombre de particules libérées au moment du déshabillage, les opérateurs doivent respecter correctement la procédure de retirer des équipements de protection individuelle.

Le Ministère de santé, Division de l'information et de la communication, Service de production des supports exige une procédure standard de déshabillage [203] :

Avant débuté le déshabillage, on vérifie qu'on dispose, avec la présence du sac DARSI rouge devant l'opérateur.

- Appliquer la solution hydroalcoolique sur les gants
- Enlever les sur-chaussures
- Enlever les premiers pairs des gants
- Enlever les lunettes ou l'écran ; avec tirement en avant
- Enlever la combinaison
- Enlever le masque FFP2
- Retirer les deuxièmes pairs des gants
- Désinfecter les mains avec la solution hydroalcoolique

Tous ces EPI sont posées dans le sac DARSI rouge, considérés comme déchets, sauf les lunettes ou l'écran, qui sont posées dans un sac jaune afin de désinfecter et réutilisable.

Les procédures d'habillage et de déshabillage sont illustrées dans les annexes I et II.

3. Comptage particulaire

Le comptage particulaire est la méthode de référence. Ce comptage est très sensible pour la mesure des particules émises lors du déshabillage. L'appareil utilisé est un compteur optique des particules CLIMET CI-153.

Les procédures de fonctionnement de l'appareil sont détaillées dans l'annexe III.

4. Prélèvements

- Un prélèvement blanc se fait chaque fois avant le déshabillage. L'intérêt du blanc est de supprimer le taux de particules de l'environnement.
- Un prélèvement se fait au moment du déshabillage en face à l'appareil.

Pour chaque mesure l'opérateur reste sans mouvement devant l'appareil de comptage pendant deux minutes (prélèvement blanc), après l'opérateur commence à enlever leurs équipements de protection pendant deux minutes (prélèvement lors du déshabillage).

Ces mesures se font à quatre distances entre l'opérateur et l'appareil : 0,5 m, 1 m, 1,5 m et 2 m.

Les distances sont tracées à l'aide d'un instrument mesure-mètre.

A chaque distance on réalise :

- Trois mesures avant le déshabillage (blanc)
- Trois mesures lors du déshabillage



Figure 27 : Plan de prélèvement du comptage particulaire à différentes distances.

5. Durée de prélèvement

- ❖ Le temps de prélèvement correspond au temps de retirer l'ensemble des pièces de protection (Déshabillage standard).
- ❖ Ce temps est fixé à deux minutes (120 seconds)

6. Réglage du système de prélèvement

Pour chaque prélèvement, un captage constant de 1 pied cube d'air par minute.

Une temporisation avant démarrage de 15 secondes sera réglée sur le dispositif (l'appareil de prélèvement se met en marche 15 secondes après pression du bouton marche).

7. Méthode d'analyse des données

L'exploitation des données a été réalisée par le logiciel Excel (version 2104).

IV. Résultats

1. Résultats de prélèvement de l'opérateur 1

1.1. Résultats à une distance de 0.5 mètre

1.1.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur I concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **0,5 mètre** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures se font à trois soirs différents.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
I	15/10/2020 19:22:30	Blanc	308773	86712	23172	2630
	15/10/2020 19:25:14	Déshabillage	398638	102106	43856	4258
II	16/10/2020 19:27:55	Blanc	351177	51279	10904	1228
	16/10/2021 9:30:14	Déshabillage	415067	74875	24079	2426
III	17/10/2020 22:15:45	Blanc	626162	59828	18978	1097
	17/10/2020 22:18:24	Déshabillage	654707	74878	33610	3627

Tableau XIX : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 0,5 m (op1).

1.1.2. Nombre de particules émis lors du déshabillage à distance de 0,5 m

Le nombre de particules émises, spécifique au déshabillage, est le taux obtenu au moment de déshabillage moins le nombre du blanc ; pour éliminer le nombre de particules aéroportées de l'environnement. Pour la taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, les mesures sont très variées avec un écart-type de 25131,017.

Diamètre des particules		$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Mesure	I	89865	15394	20684	1628
	II	63890	23596	13175	1198
	III	28545	15050	14632	2530

Tableau XX : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors de déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 0,5 m (op1).

1.1.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 60766.66 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 18013.33 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 16163.66 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 1785.33 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille des particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	60766,66	18013,33	16163,66	1785,33

Tableau XXI : Résultats du moyen du nombre de particules lors de déshabillage à une distance de 0,5 m (op1).

1.2. Résultats à distance d'un mètre

1.2.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur I concernant le comptage des particules, avant et lors du retraitement à une distance de **01 mètre** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures sont réalisées à trois soirs successifs.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
I	15/10/2020 20:08:30	Blanc	267493	22185	17739	1074
	15/10/2020 20:10:58	Déshabillage	299813	42999	29535	3611
II	16/10/2020 20:14:54	Blanc	239732	53562	20479	1320
	16/10/2020 20:17:24	Déshabillage	265341	62837	27572	1934
III	17/10/2020 22:57:51	Blanc	208717	20480	27418	762
	17/10/2020 23:00:36	Déshabillage	235098	31029	38817	1009

Tableau XXII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1 m (op1).

1.2.2. Nombre de particules émises lors du déshabillage à distance de 1 m

Le nombre d'aérosols de diamètre supérieur ou égale **5 µm** est varié de 2537 à 247 avec un écart-type de 1004.

Diamètre des particules		≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
Mesure	I	32320	20814	11796	2537
	II	25609	9275	7093	614
	III	26381	10549	11399	247

Tableau XXIII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1 m (op1).

1.2.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 28103.33 des particules présente une taille ≥ **0,3 µm**, 13546 des particules avec une taille ≥ **0,5 µm**, 10096 des particules ≥ **1 µm**, et 1132.67 avec une taille ≥ **5 µm**.

Taille des particules	≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
La moyenne de nombre	28103,33	13546	10096	1132,67

Tableau XXIV : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1 m (op1).

1.3. Résultats à distance de 1.5 mètre

1.3.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur I concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **1.5 mètre** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures sont réalisées à trois soirs successifs.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
I	18/10/2020 20:41:30	Blanc	234189	50432	19325	486
	18/10/2020 20:44:02	Déshabillage	242540	53917	22286	597
II	19/10/2020 20:35:54	Blanc	152686	38756	15335	386
	19/10/2020 20:38:10	Déshabillage	161521	41011	17056	578
III	20/10/2020 22:39:15	Blanc	153429	25583	16969	320
	20/10/2020 22:43:07	Déshabillage	162721	29599	19008	570

Tableau XXV : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1,5 m (op1).

1.3.2. Nombre de particules émises lors de déshabillage à distance de 1,5 m

Le nombre de particules au moment du déshabillage pour les trois mesures est présenté dans le tableau suivant :

Diamètre des particules		$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Mesure	I	8351	3485	2961	111
	II	8835	2255	1721	192
	III	9292	4016	2039	250

Tableau XXVI : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1,5 m (op1).

1.3.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 8826 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 3252 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 2240.33 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 184.33 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille de particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	8826	3252	2240,33	184,33

Tableau XXVII : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1,5 m (op1).

1.4. Résultats à distance de 2 mètres

1.4.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur I concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **2 mètres** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures se fait à trois jours successifs, avec des variances au nombre.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
I	18/10/2020 21:48:30	Blanc	188245	42871	15784	564
	18/10/2020 21:51:02	Déshabillage	195941	45912	17056	650
II	19/10/2020 21:26:05	Blanc	142540	21412	8173	177
	19/10/2020 21:29:10	Déshabillage	145185	27231	11500	262
III	20/10/2020 23:56:17	Blanc	165393	26789	8094	313
	20/10/2020 23:58:40	Déshabillage	171264	27553	9601	389

Tableau XXVIII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 2 m (op1).

1.4.2. Nombre de particules émises lors de déshabillage à distance de 2 m

Le nombre de particules au moment de déshabillage pour les trois mesures est présenté dans le tableau suivant :

Diamètre des particules		$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Mesure	I	7696	3041	1272	86
	II	2645	5819	3327	85
	III	5871	764	1507	76

Tableau XXIX : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 2 m (op1).

1.4.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 5404 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 3208 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 2035.33 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 82.33 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille des particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	5404	3208	2035,33	82,33

Tableau XXX : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 2 m (op1).

2. Présentation graphique des résultats de comptage particulaire lors de déshabillage

2.1. Présentation graphique de comptage particulaire de l'opérateur 1

2.1.1. Présentation graphique des particules de taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $0.3 \mu\text{m}$ émise au moment du déshabillage est égale 60766.66 à une distance 0.5 m, 28103.33 à une distance de 1m, 8826 à 1.5 m, et 5404 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	60766,66	28103,33	8826	5404

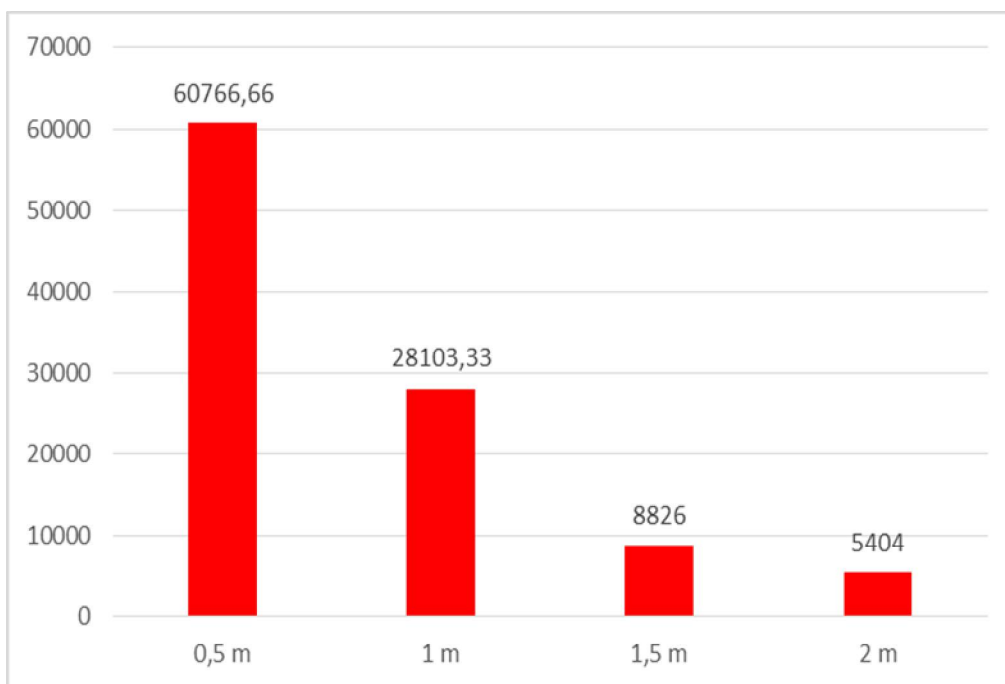


Figure 28 : Distribution des moyennes de nombre des particules (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$) libérés lors du déshabillage, en fonction de la distance (op1).

2.1.2. Présentation graphique des particules de taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $0,5 \mu\text{m}$ émise au moment de déshabillage est égale 18013,33 à une distance 0.5 m, 13546 à une distance de 1m, 3252 à 1.5 m, et 3208 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	18013,33	13546	3252	3208

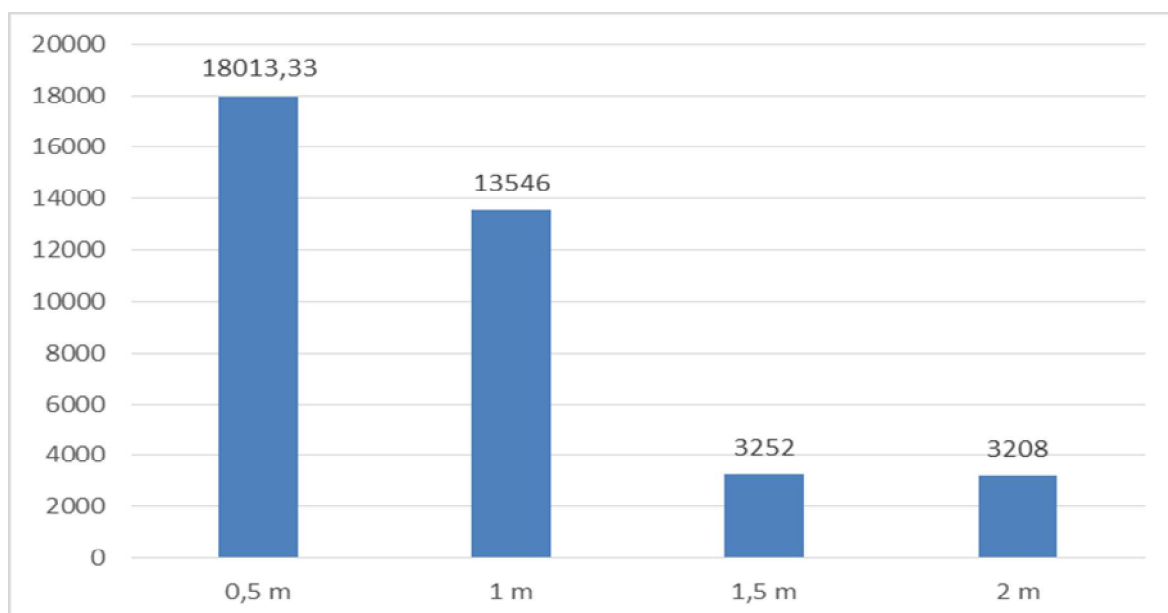


Figure 29 : Distribution des moyennes de taux des particules (de taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$) émis lors du déshabillage, en fonction de la distance (op1).

2.1.3. Présentation graphique des particules de taille $\geq 1 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $1 \mu\text{m}$ émise au moment du déshabillage est égale 16163.66 à une distance de 0.5 m, 10096 à une distance de 1m, 2240.33 à 1.5 m, et 2035.33 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	16163,66	10096	2240,33	2035,33

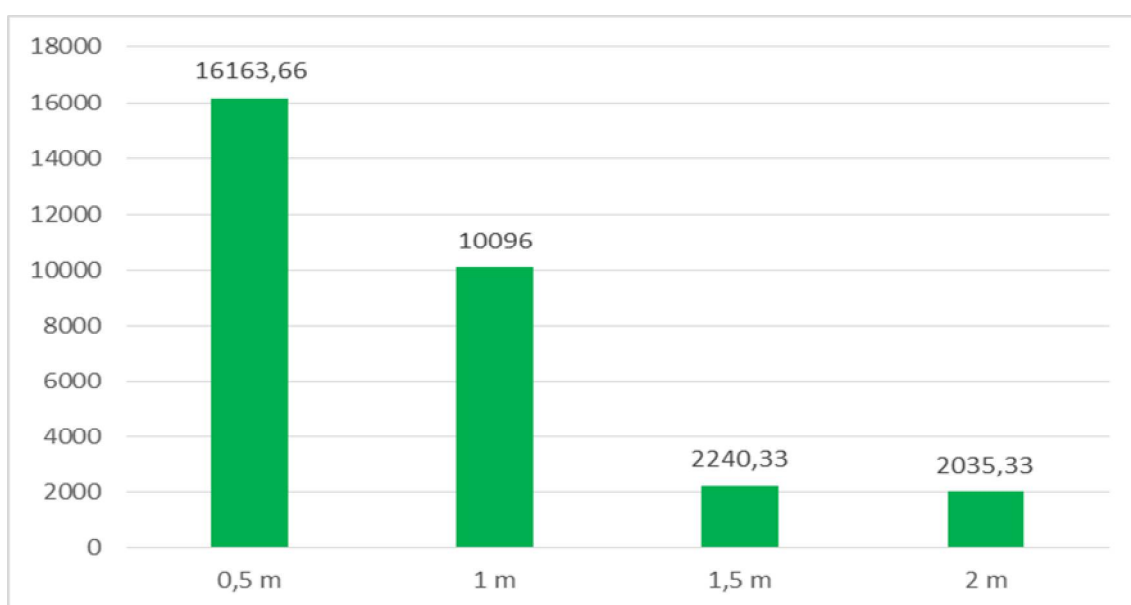


Figure 30 : Distribution des moyennes de taux du particules (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$) émis au moment du déshabillage, en fonction de la distance (op1).

2.1.4. Présentation graphique des particules de taille $\geq 5 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $5 \mu\text{m}$ émise au moment de déshabillage est égale 1785.33 à une distance 0.5 m, 1132.33 à une distance de 1m, 184.33 à 1.5 m, et 82.33 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	1785,33	1132,66	184,33	82,33

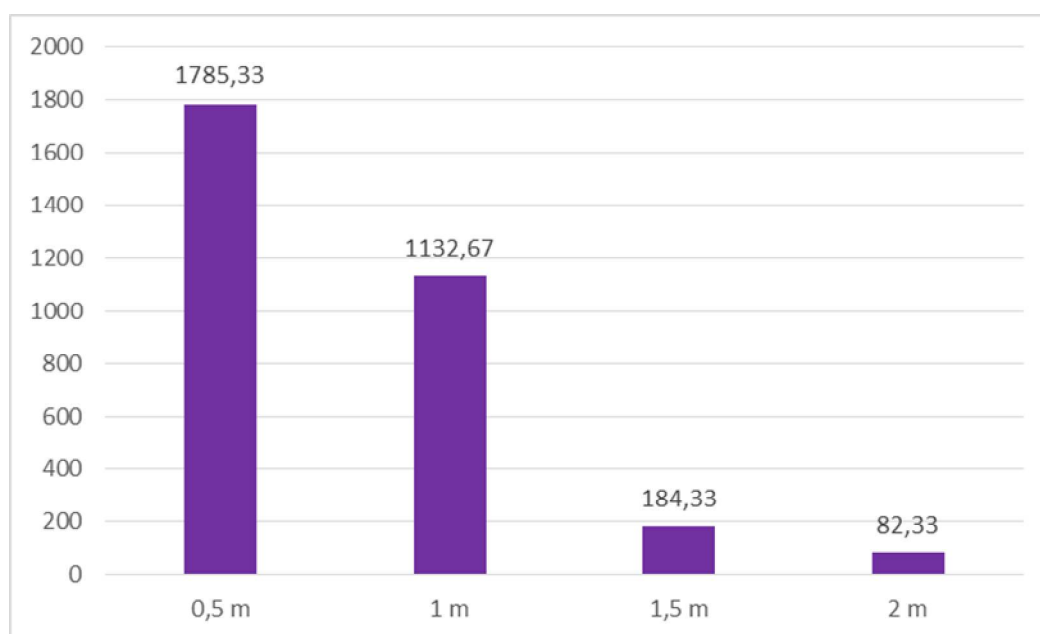


Figure 31 : Distribution du nombre de particules (de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$) libérés au moment du déshabillage, en fonction de la distance (op1).

La présentation graphique de la variation du nombre des microparticules de différentes tailles ($\geq 0.3 \mu\text{m}$, $\geq 0.5 \mu\text{m}$, $\geq 1 \mu\text{m}$ et $\geq 5 \mu\text{m}$), rejetés lors du déshabillage d'opérateur I en fonction de la distance (0.5 m, 1 m, 1.5 m et 2 m) :

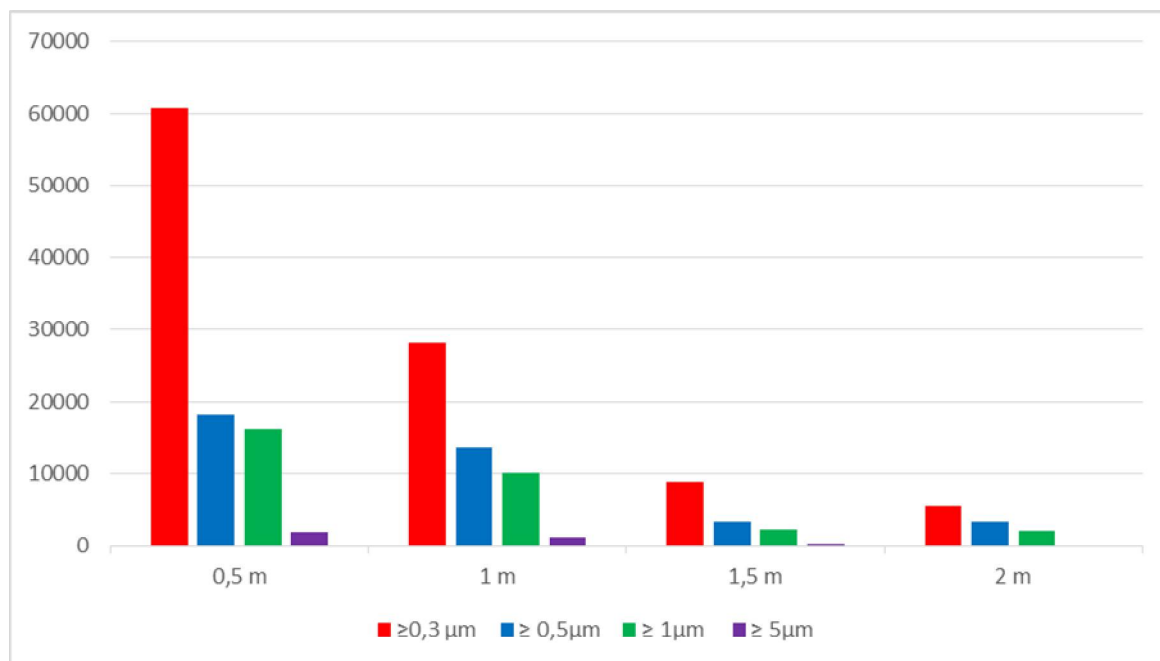


Figure 32 : Présentation graphique de l'ensemble des résultats de comptage des particules, de différents diamètres, émise lors du déshabillage, en fonction de la distance (opérateur I).

3. Résultats des prélèvements de l'opérateur 2

3.1. Résultats à distance 0.5 mètre

3.1.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur II concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **0,5 mètre** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures se font à trois jours différents, avec des variances au nombre.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
I	09/10/2020 20 :32 :15	Blanc	299713	96782	22511	3210
	09/10/2020 20 :36 :02	Déshabillage	393690	115506	40125	5623
II	10/10/2020 20:40:12	Blanc	332630	59685	17924	1348
	10/10/2020 20:43:14	Déshabillage	418061	80179	36471	2578
III	11/10/202 20:16:47	Blanc	506142	60818	19584	1409
	11/10/2020 20:19:24	Déshabillage	574714	77368	31123	3650

Tableau XXXI : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 0,5 m (op2)

3.1.2. Nombre de particules émis lors de déshabillage à distance de 0,5 m

Le nombre de particules au moment de déshabillage pour les trois mesures est présenté dans le tableau suivant :

Diamètre des particules		≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
Mesure	I	93977	18724	17614	2413
	II	85431	20494	18547	1230
	III	68572	16550	11539	2241

Tableau XXXII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 0,5 m (op2).

3.1.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 82660 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 18589.33 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 15900 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 1961.33 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille des particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	82660	18589,33	15900	1961,33

Tableau XXXIII : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 0,5 m (op2).

3.2. Résultats à distance 1 mètre

3.2.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur II concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **01 mètre** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures se fait à trois jours différents, avec des variances au nombre.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
I	09/10/2020 21:19:56	Blanc	357299	21639	20367	1134
	09/10/2020 21:22:58	Déshabillage	395129	39877	29640	3790
II	10/10/2020 22:27:54	Blanc	269832	40259	21503	1145
	10/10/2020 22:30:24	Déshabillage	292308	50119	30017	1730
III	11/10/2020 23:50:51	Blanc	293670	21963	26391	1237
	11/10/2020 23:53:36	Déshabillage	312511	31159	40268	1438

Tableau XXXIV : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1 m (op2).

3.2.2. Nombre de particules émis lors de déshabillage à distance de 1 m

Le nombre de particules au moment de déshabillage pour les trois mesures est présenté dans le tableau suivant :

Diamètre des particules		$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Mesure	I	37830	18238	9273	2656
	II	22476	9860	8514	585
	III	18841	9196	13877	201

Tableau XXXV : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1 m (op2).

3.2.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 26382.33 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 12431.33 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 10554.66 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 1147.33 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille des particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	26382,33	12431,33	10554,66	1147,33

Tableau XXXVI : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 1 m (op2).

3.3. Résultats à distance 1.5 mètre

3.3.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur II concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **1,5 mètre** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures se font à trois jours différents, avec des variances au nombre.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
I	26/10/2020 21:50:30	Blanc	233640	49960	20364	712
	26/10/2020 22:53:02	Déshabillage	241907	51930	22103	901
II	27/10/2020 21:57:54	Blanc	146248	40239	20125	629
	27/10/2020 22:00:10	Déshabillage	155675	42109	21987	732
III	30/10/2020 21:39:15	Blanc	146221	30535	19950	656
	30/10/2020 21:42:07	Déshabillage	149786	33014	22016	801

Tableau XXXVII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et après le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 1,5 m (op2).

3.3.2. Nombre de particules émis lors de déshabillage à distance de 1,5 m

Le nombre de particules au moment de déshabillage pour les trois mesures est présenté dans le tableau suivant :

Diamètre des particules		≥ 0,3 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm
Mesure	I	8267	1970	1739	189
	II	9427	1870	1862	103
	III	3565	2479	2066	145

Tableau XXXVIII : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 1,5 m (op2).

3.3.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 7086.33 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 2106.33 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 1889 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 145.66 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille des particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	7086,33	2106,33	1889	145,66

Tableau XXXIX : Résultats du moyen du nombre de particules lors de déshabillage à une distance de 1,5 m (op2).

3.4. Résultats à distance 2 mètre

3.4.1. Résultats avant et lors du déshabillage

Les résultats obtenus avec l'opérateur II concernant le comptage des particules, avant et lors du déshabillage à une distance de **2 mètres** de l'appareil sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les mesures se fait à trois jours différents, avec des variances au nombre.

Mesure	Date et heure	Situation	Diamètre des particules			
			$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
I	26/10/2020 22:38:30	Blanc	176238	30158	17623	604
	26/10/2020 22:41:02	Déshabillage	182976	32095	19302	692
II	27/10/2020 22:47:05	Blanc	132894	22349	10189	372
	27/10/2020 22:50:10	Déshabillage	140297	24796	11207	426
III	30/10/2020 23:16:17	Blanc	159170	21364	10490	464
	30/10/2020 23:18:40	Déshabillage	163200	22411	11933	507

Tableau XL : Résultats de prélèvement de comptage particulaire avant et pendant le déshabillage, en fonction de diamètre des particules à distance de 2 m (op2).

3.4.2. Nombre de particules émis lors de déshabillage à distance de 2 m

Le nombre de particules au moment du déshabillage pour les trois mesures est présenté dans le tableau suivant :

Diamètre des particules		$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Mesure	I	6738	1937	1679	88
	II	7403	2447	1018	54
	III	4030	1047	1443	43

Tableau XLI : Résultats de prélèvement de comptage particulaire lors du déshabillage, en fonction de diamètre à une distance de 2 m (op2).

3.4.3. Résultat moyen des trois mesures

En moyen, 6057 des particules présente une taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$, 1810.33 des particules avec une taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, 1380 des particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 61.66 avec une taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille des particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
La moyenne de nombre	6057	1810,33	1380	61,66

Tableau XLII : Résultats du moyen du nombre de particules lors du déshabillage à une distance de 2 m (op2).

4. Présentation graphique des résultats de comptage particulaire lors de déshabillage

4.1. Présentation graphique de comptage particulaire de l'opérateur 2

4.1.1. Présentation graphique des particules de taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $0,3 \mu\text{m}$ émise au moment du déshabillage est égale 82660 à une distance 0.5 m, 26382,33 à une distance de 1m, 7086,33 à une distance de 1.5 m, et 6057 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	82660	26382,33	7086,33	6057

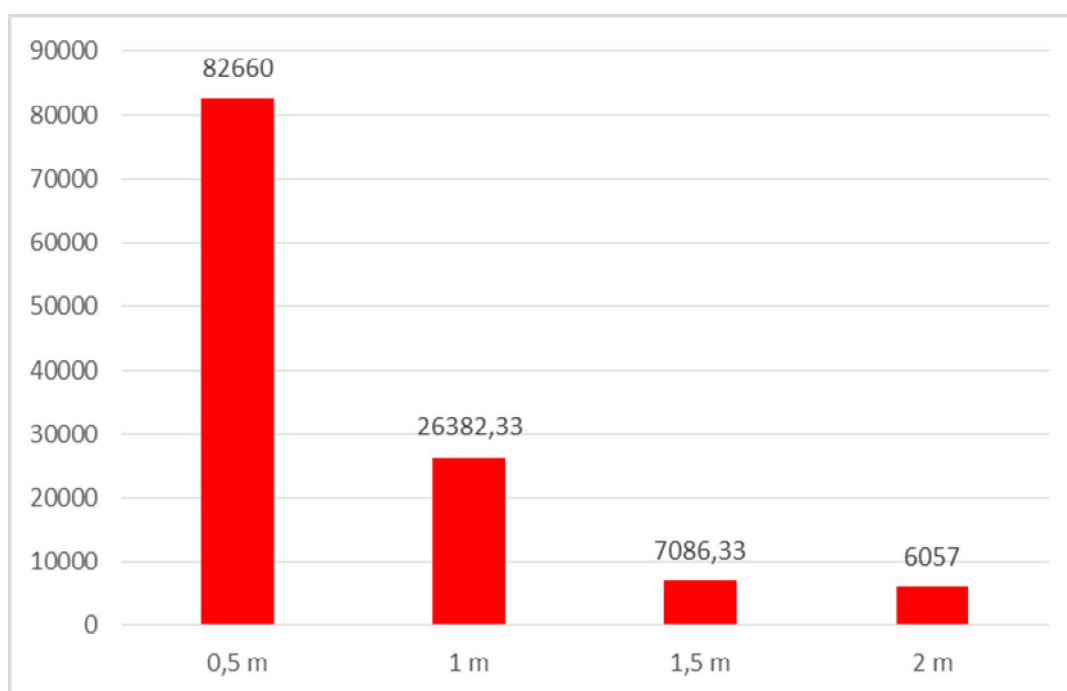


Figure 33 : Distribution de nombre des particules (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$) émis lors du déshabillage, en fonction de la distance (op2).

4.1.2. Présentation graphique des particules de taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $0,5 \mu\text{m}$ émise au moment du déshabillage est égale 18589.33 à une distance 0.5 m, 12431.33 à une distance de 1m, 2106.33 à 1.5 m, et 1810.33 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	18589,33	12431,33	2106,33	1810,33

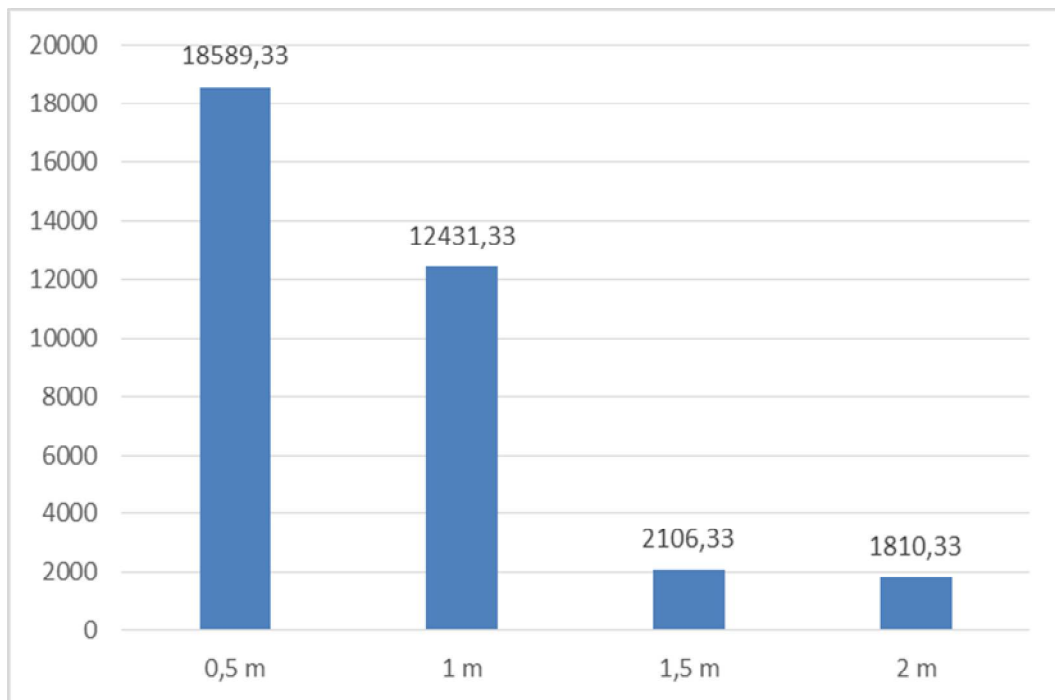


Figure 34 : Distribution des moyennes de résultats de comptage des particules (de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$) émis lors du déshabillage, en fonction de la distance (op2).

4.1.3. Présentation graphique des particules de taille $\geq 1 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $1 \mu\text{m}$ émise au moment de déshabillage est égale 15900 à une distance 0.5 m, 10554.66 à une distance de 1m, 1889 à 1.5 m, et 1380 à une distance de 2m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	15900	10554,66	1889	1380

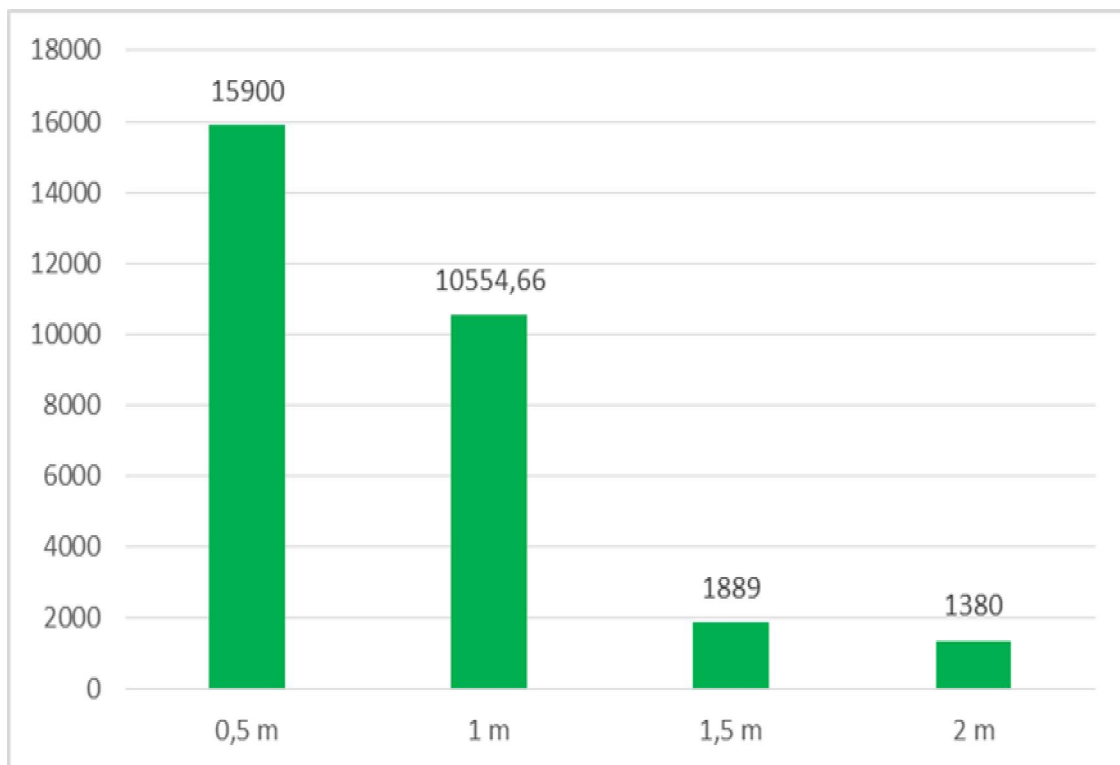


Figure 35 : Distribution des moyennes de résultats de comptage des particules (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$) émis lors de déshabillage, en fonction de la distance (op2).

4.1.4. Présentation graphique des particules de taille $\geq 5 \mu\text{m}$

Le nombre de particules de taille supérieur ou égale $5 \mu\text{m}$ émise au moment du déshabillage est égale 1961.33 à une distance 0.5 m, 1147.33 à une distance de 1m, 145.66 à 1.5 m, et 61.66 à une distance de 2 m.

Distance(m)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	1961,33	1147,33	145,66	61,66

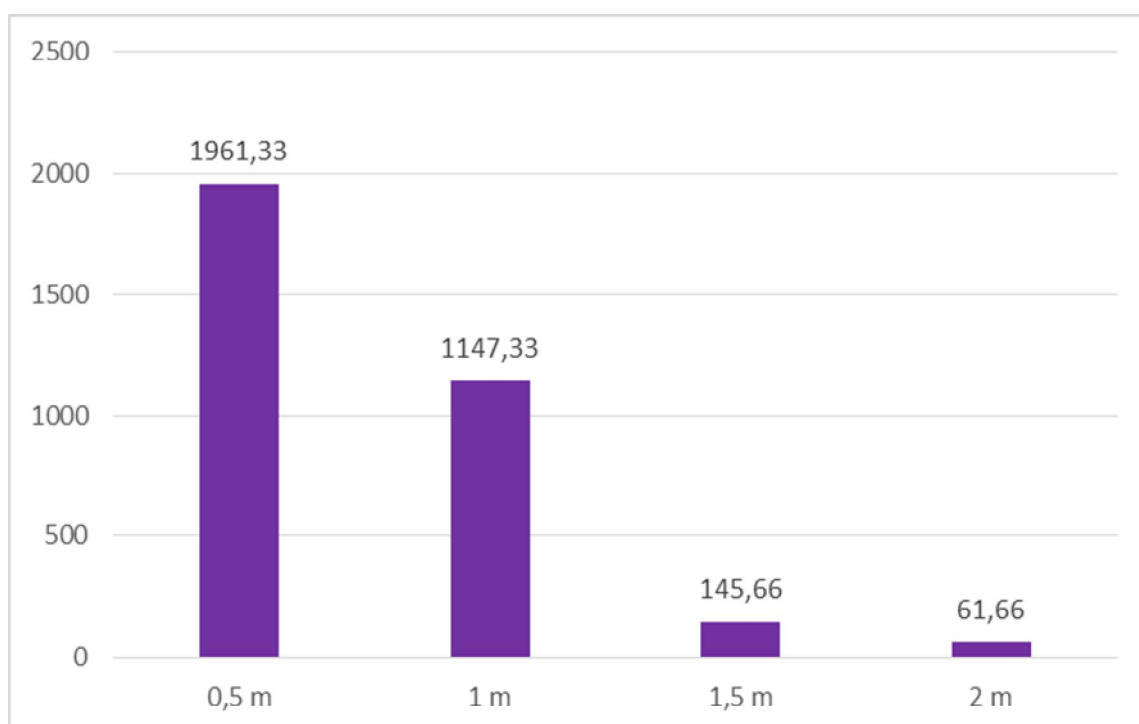


Figure 36 : Distribution des moyennes de résultats de comptage des particules (de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$) libérés pendant le déshabillage, en fonction de la distance (op2).

La présentation graphique de la variation du nombre des microparticules de différentes tailles ($\geq 0.3 \mu\text{m}$, $\geq 0.5 \mu\text{m}$, $\geq 1 \mu\text{m}$ et $\geq 5 \mu\text{m}$), rejetés lors du déshabillage d'opérateur II en fonction de la distance (0.5 m, 1 m, 1.5 m et 2 m)

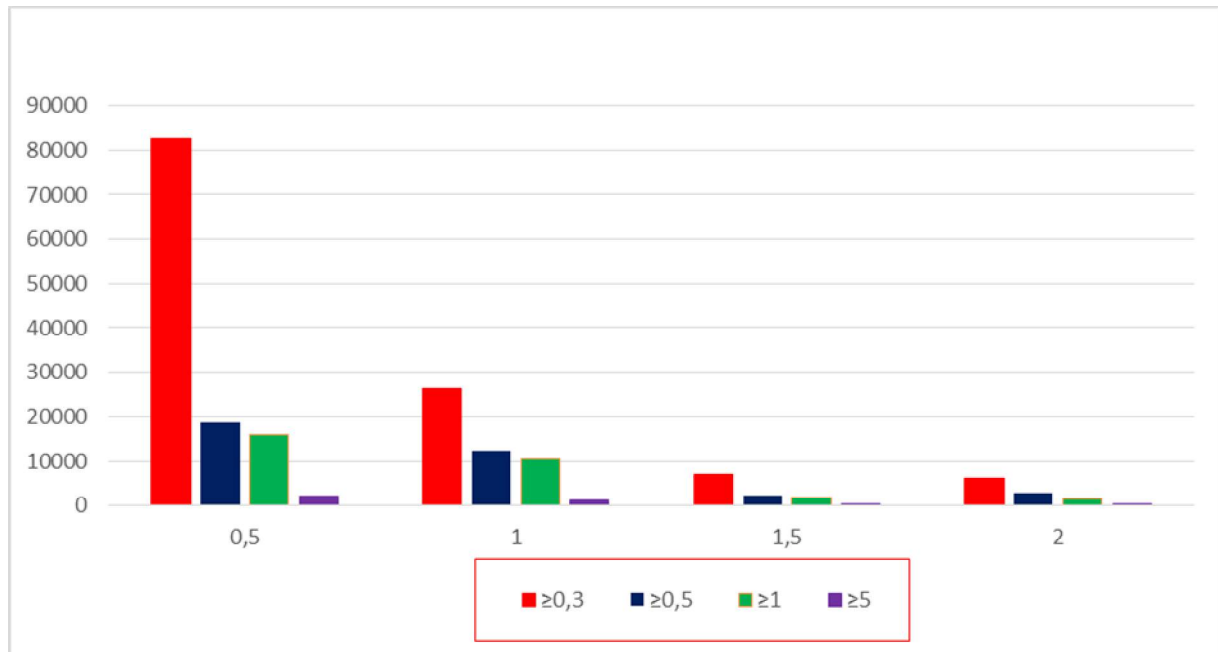


Figure 37 : Distribution de l'ensemble des résultats de comptage des particules, de différents diamètres, émises lors du déshabillage, en fonction de la distance distances, (opérateur II).

5. Moyenne des résultats des deux opérateurs

5.1. Moyenne à distance de 0.5 mètre

La moyenne du nombre de particules émises lors du déshabillage des deux opérateurs loin de l'appareil de comptage d'une distance de **0,5 mètre**. C'est la moyenne de la moyenne de chaque opérateur pour les différentes tailles de particules.

71713.33 particules de taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$, 18301,33 particules présente une taille $\geq 0.5 \mu\text{m}$, 16031.83 particules $\geq 1 \mu\text{m}$ et 1873.33 particules $\geq 5 \mu\text{m}$

Taille de particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Opérateur 1	60766,66	18013,33	16163,66	1785,33
Opérateur 2	82660	18589,33	15900	1961,33
La moyenne	71713,33	18301,33	16031,83	1873,33

Tableau XLIII : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 0,5 m.

5.2. Moyenne à distance d'un mètre

La moyenne du nombre de particules émises lors du déshabillage des deux opérateurs loin de l'appareil de comptage d'une distance de **1 mètre**.

27242.83 particules de taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$, 12988,667 particules $\geq 0.5 \mu\text{m}$, 10325.33 particules $\geq 1 \mu\text{m}$ et 1140 particules $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille de particules	$\geq 0,3\mu\text{m}$	$\geq 0,5\mu\text{m}$	$\geq 1\mu\text{m}$	$\geq 5\mu\text{m}$
Opérateur 1	28103,33	13546	10096	1132,66
Opérateur 2	26382,33	12431,33	10554,66	1147,33
La moyenne	27242,83	12988,667	10325,33	1140

Tableau XLIV : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 1 m.

5.3. Moyenne à distance de 1.5 mètre

La moyenne du nombre de particules émises lors de déshabillage des deux opérateurs loin de l'appareil de comptage d'une distance de **1,5 mètre**. C'est la moyenne de la moyenne de chaque opérateur pour les différentes tailles de particules.

En moyen, 7956.165 particules de taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$, 2679.165 particules de diamètre $\geq 0.5 \mu\text{m}$, 2064.67 particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 165 particules $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille de particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Opérateur 1	8826	3252	2240,33	184,33
Opérateur 2	7086,33	2106,33	1889	145,66
La moyenne	7956,165	2679,165	2064,67	165

Tableau XLV : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 1,5 m.

5.4. Moyenne à distance de 2 mètres

La moyenne du nombre de particules émises lors de déshabillage des deux opérateurs loin de l'appareil de comptage d'une distance de **2 mètres**.

5730.5 particules présentes une taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$, 2509.15 particules $\geq 0.5 \mu\text{m}$, 1707.665 particules $\geq 1 \mu\text{m}$ et 72 particules de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$.

Taille de particules	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$
Opérateur 1	5404	3208	2035,33	82,33
Opérateur 2	6057	1810,33	1380	61,66
La moyenne	5730,5	2509,15	1707,665	72

Tableau XLVI : Résultats du moyen du nombre de particules des deux opérateurs à une distance de 2 m.

6. Présentation graphique de la moyenne de nombre de particules de deux opérateurs

6.1. Présentation graphique des particules $\geq 0,3 \mu\text{m}$

Le nombre moyen de microparticules de taille supérieure ou égale **0,3 μm** , rejeté lors du déshabillage, des deux opérateurs, en fonction de distance : 71713.33 à 0.5 mètre, 27242.83 à un mètre, 7956.165 à 1.5 mètre et 5730.5 à deux mètres.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	71713,33	27242,83	7956,165	5730,5

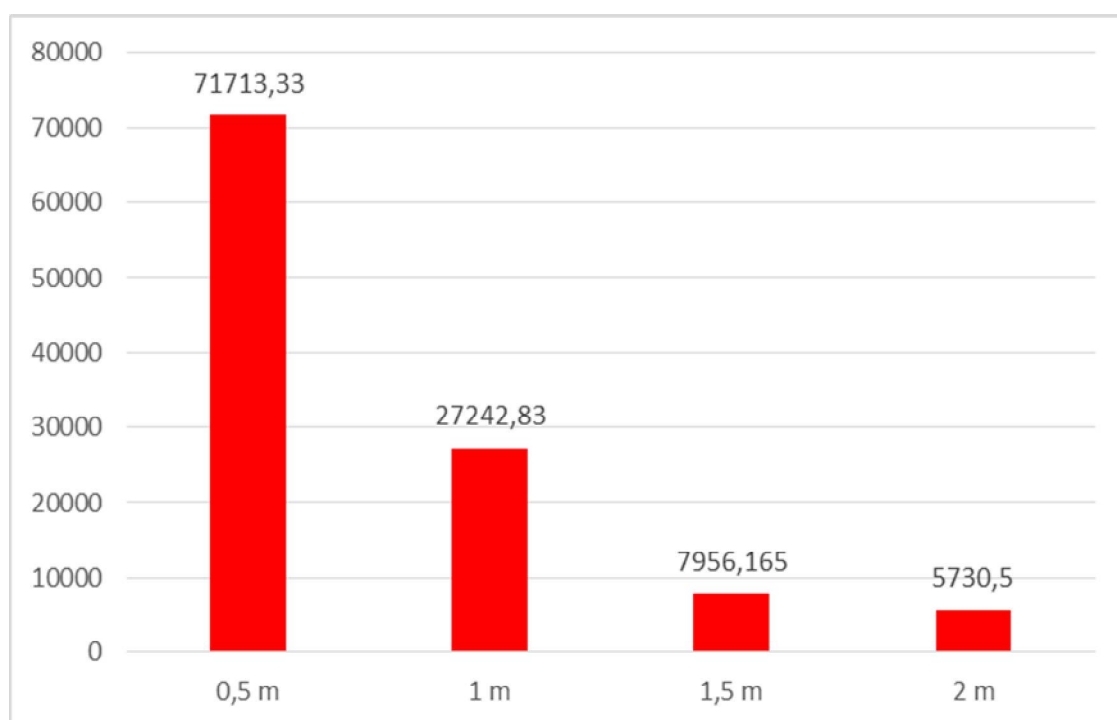


Figure 38 : Présentation graphique de la moyenne du nombre de particule (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (op I+II).

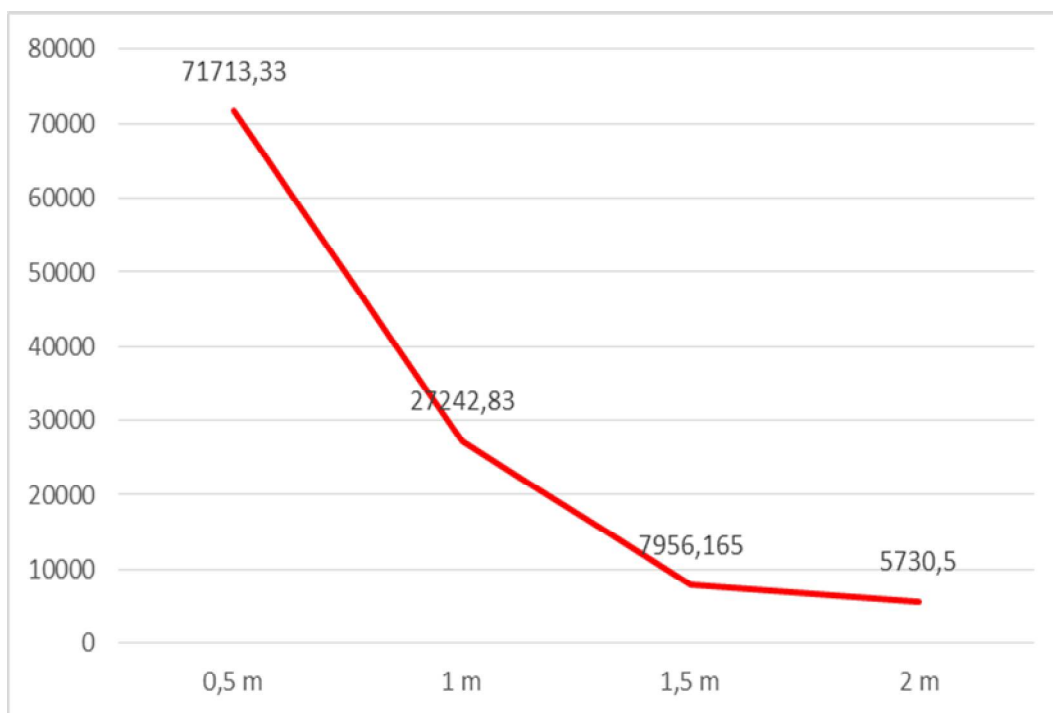


Figure 39 : Graphique présentant l'évolution du nombre de particules (de diamètre $\geq 0,3 \mu\text{m}$), émis lors du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).

6.2. Présentation graphique des particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$

Le nombre moyen de microparticules de taille supérieure ou égale **0,5 μm** , rejeté lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de distance : 18301.33 à 0.5 mètre, 12988.667 à un mètre, 2679.165 à 1.5 mètre et 2509.15 à deux mètres.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	18301,33	12988,667	2679,165	2509,15

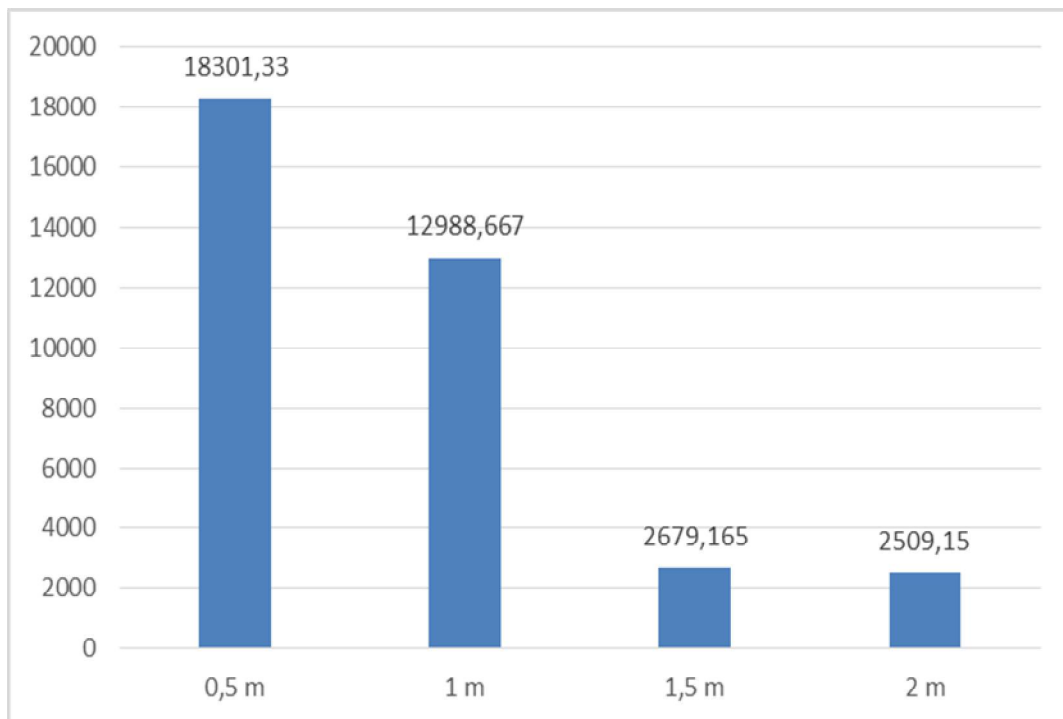


Figure 40 : Présentation graphique de la moyenne du taux de particule (de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (opI+II).

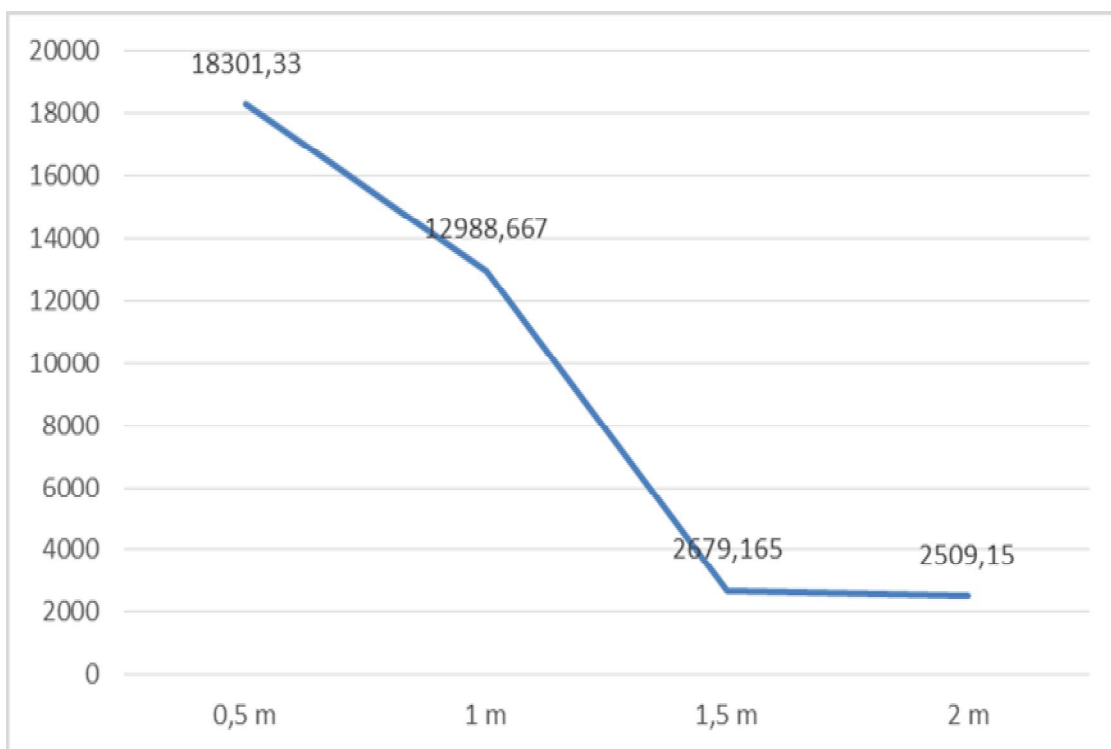


Figure 41 : Graphique présentant l'évolution du nombre de particules (de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$), libérés lors du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).

6.3. Présentation graphique des particules $\geq 1 \mu\text{m}$

Le nombre moyen de microparticules de taille supérieure ou égale $1 \mu\text{m}$, rejeté lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de distance : 16031.83 à 0.5 mètre, 10325.33 à un mètre, 2064.67 à 1.5 mètre et 1707.665 à deux mètres.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	16031,83	10325,33	2064,67	1707,665

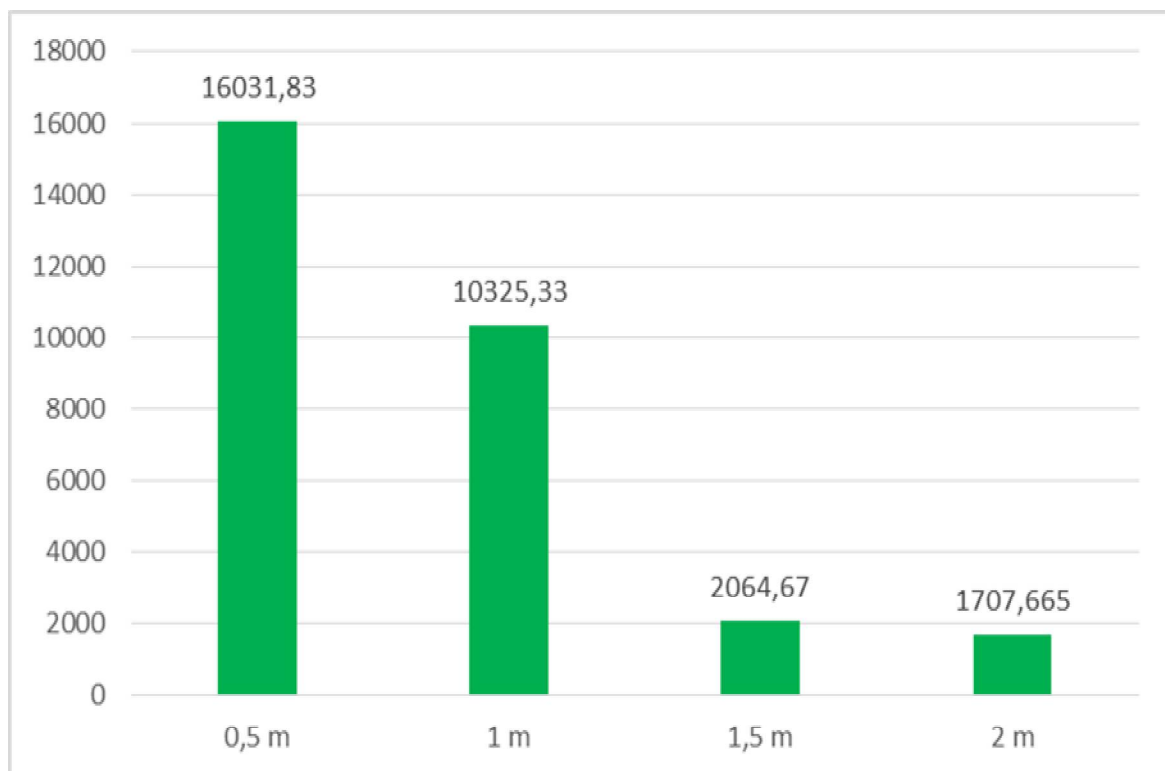


Figure 42 : Présentation graphique de la moyenne du nombre de particule (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$) libérés pendant le déshabillage, en fonction de la distance (opI+II).

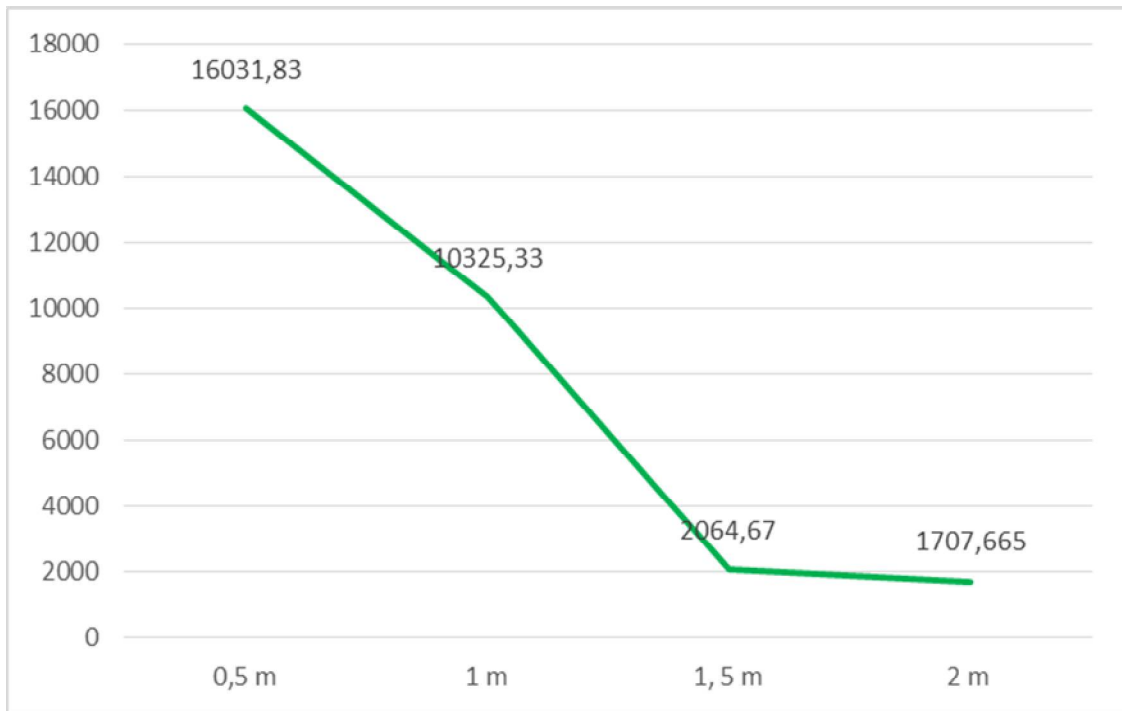


Figure 43 : Graphique présentant l'évolution du taux de particules (de diamètre $\geq 1 \mu\text{m}$), émis lors du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).

6.4. Présentation graphique des particules $\geq 5 \mu\text{m}$

Le nombre moyen de microparticules de taille supérieure ou égale $5 \mu\text{m}$, rejeté lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de distance : 1873,33 à distance de 0.5m, 1140 à un mètre, 165 à 1.5 mètre et 72 à deux mètres de distance.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Nombre de particules	1873,33	1140	165	72

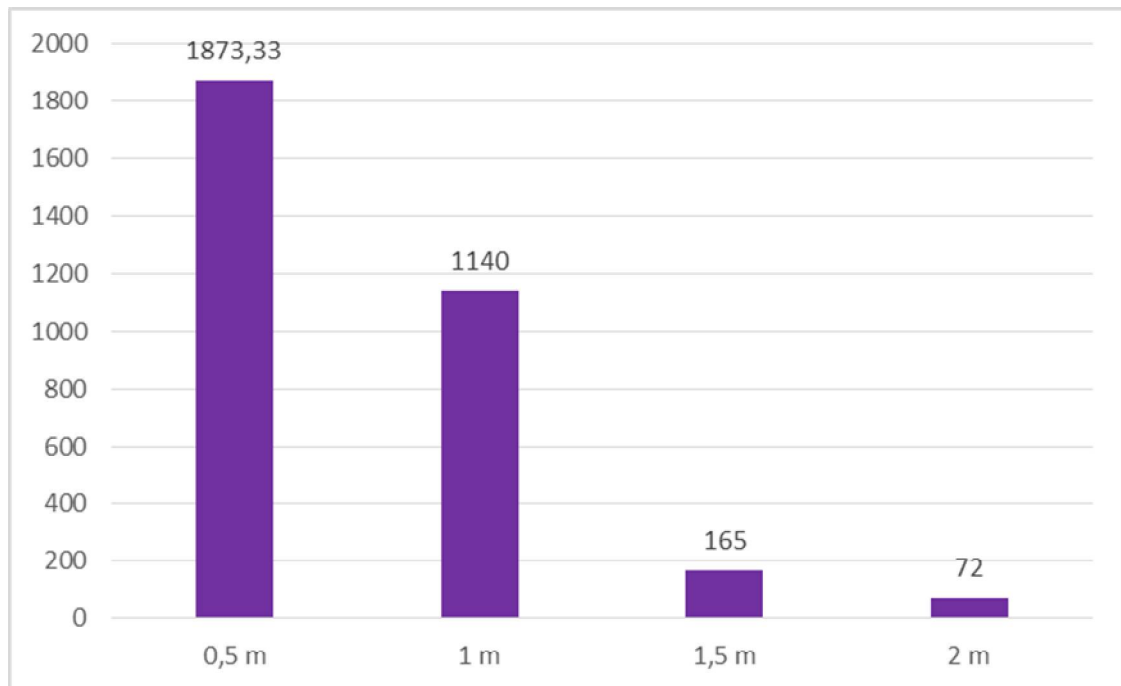


Figure 44 : Présentation graphique de la moyenne du taux de particule (de taille $\geq 5 \mu\text{m}$) émises lors du déshabillage, en fonction de la distance (opI+II).

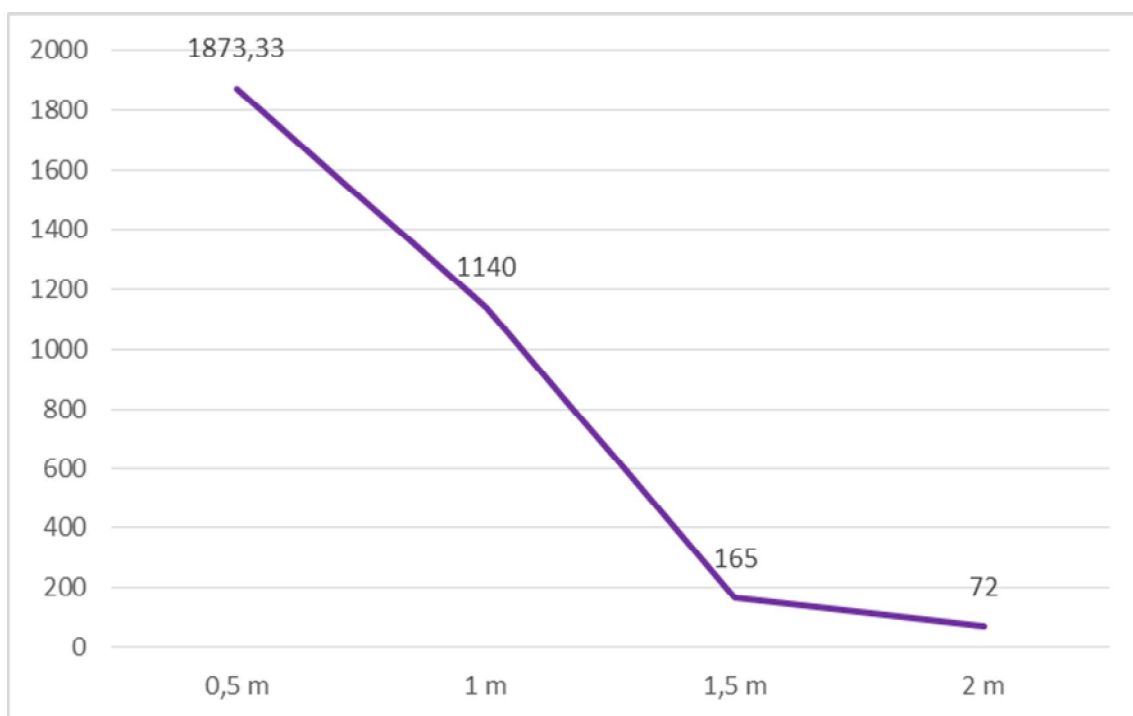


Figure 45 : Graphique présentant l'évolution du nombre de particules (de diamètre $\geq 5 \mu\text{m}$), libérés au moment du déshabillage en fonction de la distance (op I+II).

7. Résultats comparatifs du nombre moyen de particules émises lors de déshabillage, des deux opérateurs

7.1. Résultats comparatifs du nombre moyen de particules $\geq 0,3 \mu\text{m}$

Le chiffre de microparticules émises, de taille $\geq 0,3 \mu\text{m}$ est de 60766,66 et de 82660 respectivement au déshabillage d'opérateur I et d'opérateur II à une distance de 0,5 m.

Il est de 5404 et 6057 respectivement au déshabillage d'opérateur I et d'opérateur II à une distance de 2 m.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Opérateur I	60766,66	28103,33	8826	5404
Opérateur II	82660	26382,33	7086,33	6057

Tableau XLVII : Nombre de particules $\geq 0,3\mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs

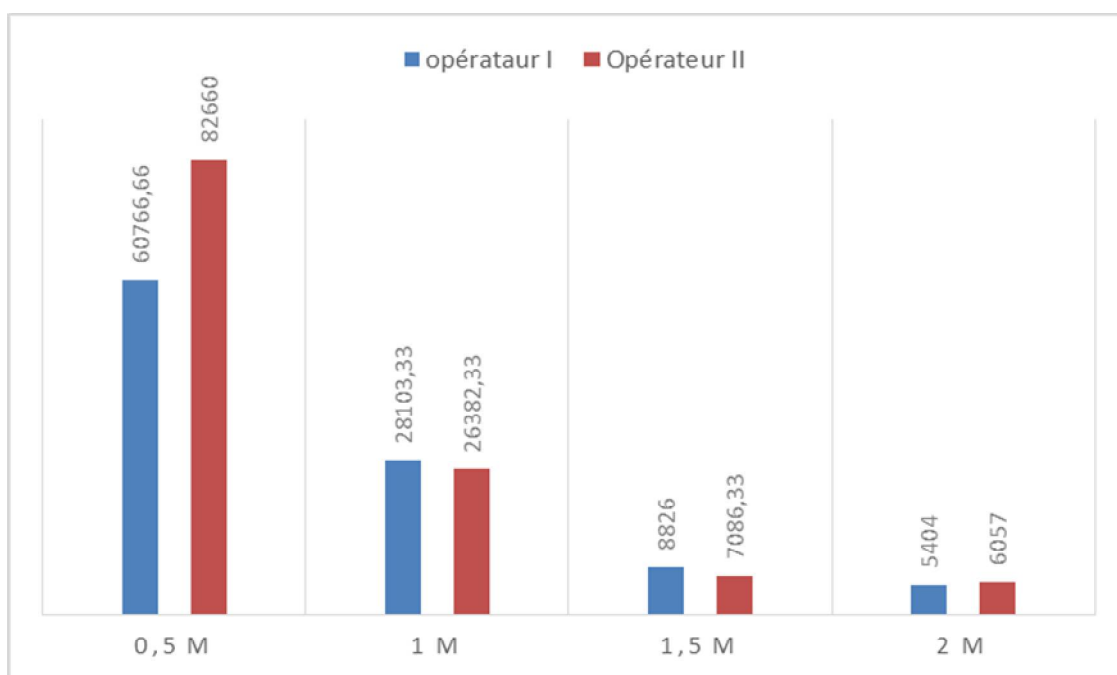


Figure 46 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 0,3 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.

7.2. Résultats comparatifs du nombre moyen de particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$

A taille $\geq 0,5 \mu\text{m}$, le nombre de particules émises lors de déshabillage à une distance de 0,5 m est égale 3208 pour le premier opérateur, et égale 1810,33 pour le deuxième.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Opérateur I	18013,33	13546	3252	3208
Opérateur II	18589,33	12431,33	2106,33	1810,33

Tableau XLVIII : Nombre de particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs.

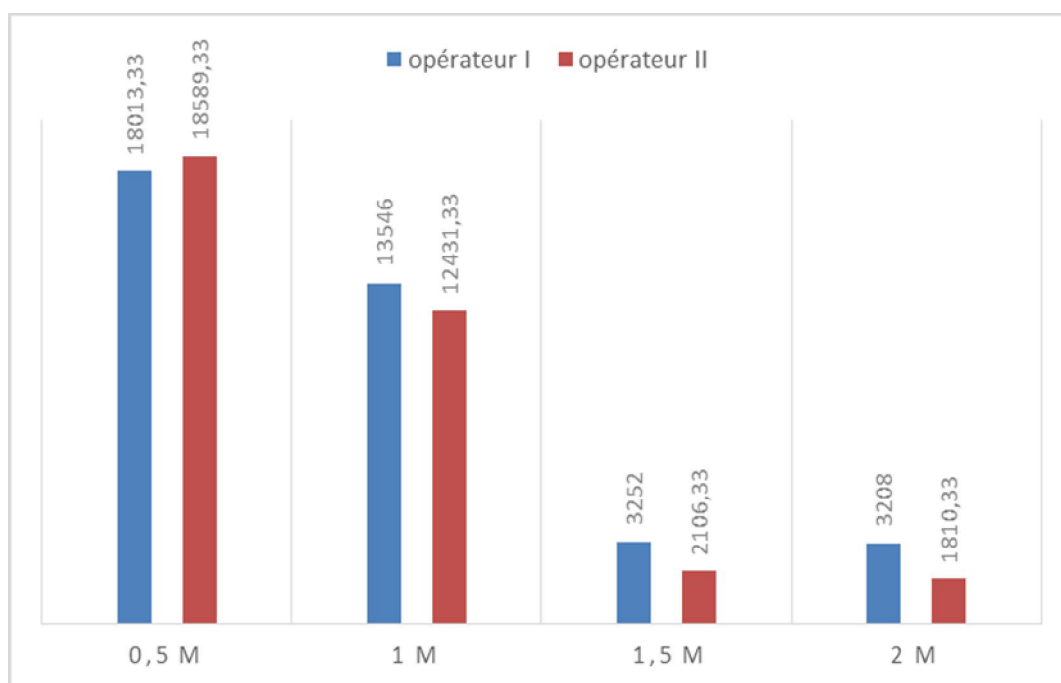


Figure 47 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.

7.3. Résultats comparatifs du nombre moyen de particules $\geq 1 \mu\text{m}$

A un mètre de distance, le nombre de particules de taille $\geq 1 \mu\text{m}$ est égale 10096 lors de déshabillage de l'opérateur I, et égale 10554,66 lors du déshabillage de l'opérateur II.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Opérateur I	16163,66	10096	2240,33	2035,33
Opérateur II	15900	10554,66	1889	1380

Tableau XLIX : Nombre de particules $\geq 1 \mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs.

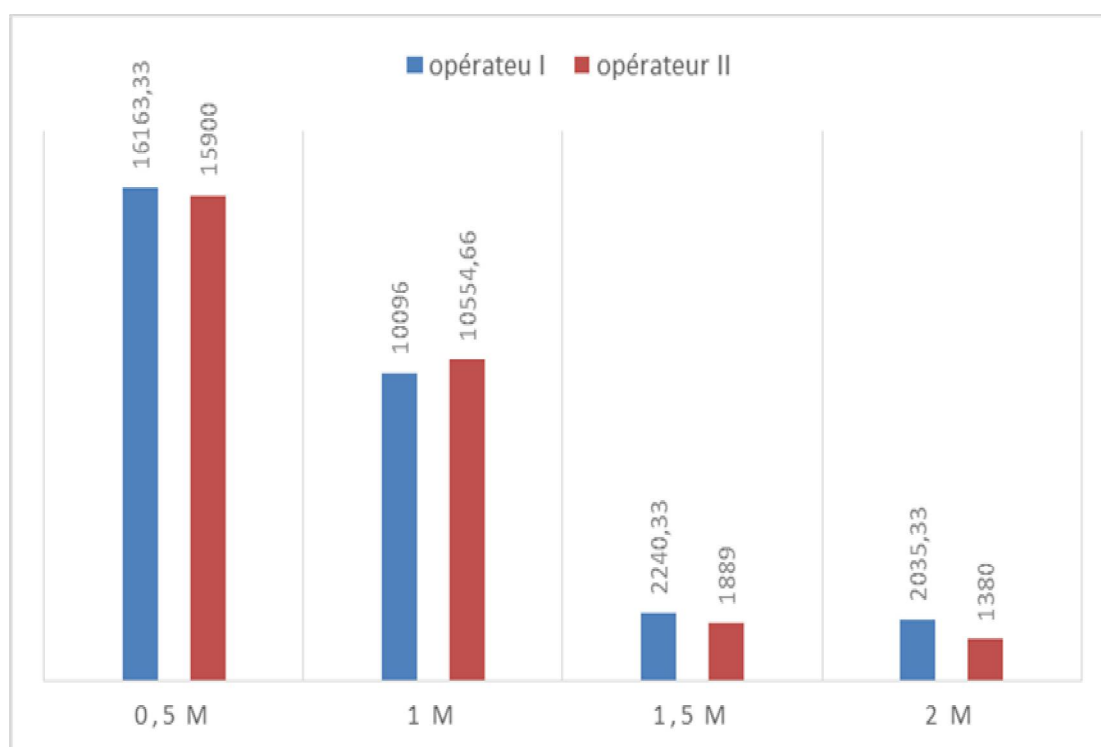


Figure 48 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 1 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.

7.4. Résultats comparatifs du nombre moyen de particules $\geq 5 \mu\text{m}$

Le nombre de particules $\geq 5 \mu\text{m}$ est égale 1785,33 et 1961,33 respectivement pendant le déshabillage de l'opérateur I et de l'opérateur II à une distance de 0,5 m. Ainsi il est de 1132,67 et 1147,33 respectivement lors du déshabillage de l'opérateur I et de l'opérateur II à une distance d'un mètre.

Distance (mètre)	0,5	1	1,5	2
Opérateur I	1785,33	1132,67	184,33	82,33
Opérateur II	1961,33	1147,33	145,66	61,66

Tableau L : Nombre de particules $\geq 5 \mu\text{m}$ émis lors du déshabillage, des deux opérateurs.

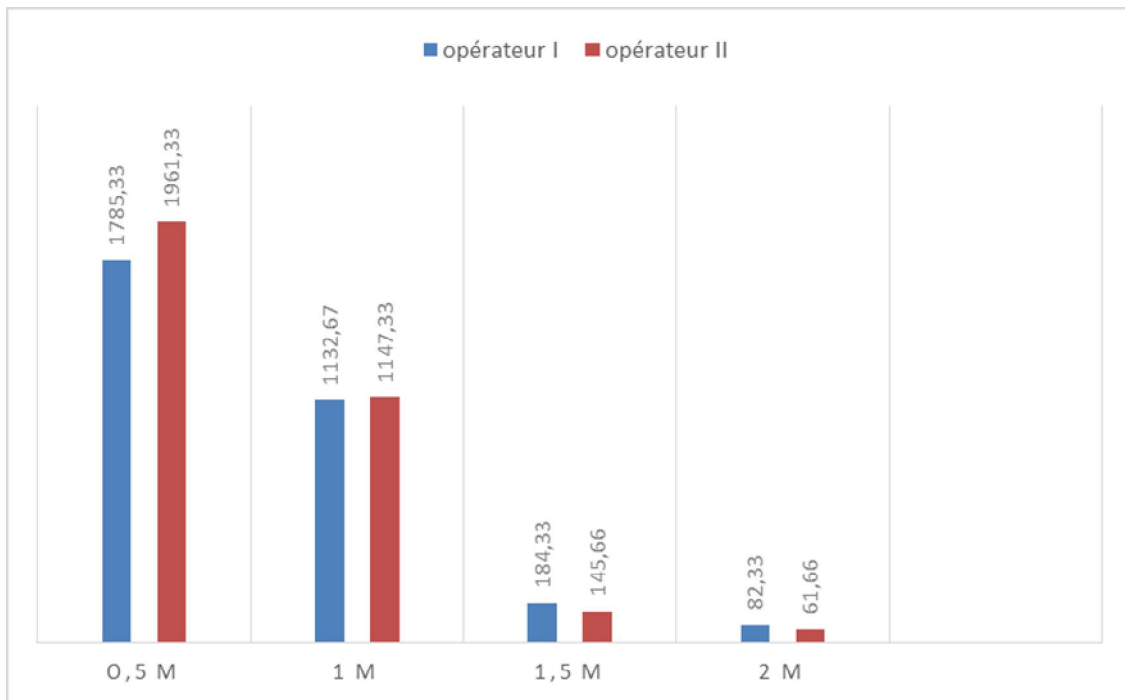


Figure 49 : Présentation graphique comparative de nombre de particules $\geq 5 \mu\text{m}$, libérés lors du déshabillage des deux opérateurs, en fonction de la distance.

V. Analyses et discussion des résultats

1. Analyse des résultats du comptage de particules au moment de déshabillage

1.1. Analyse des résultats : variation du nombre de particules émises en fonction de la distance (op I)

Le nombre de particules de taille supérieure ou égal à **0.3 µm** et inférieure strictement à **0.5 µm**, émises lors de retrait de vêtements de protection, est diminué significativement avec la distance. Le nombre est diminué de 60766.66 à 5404 respectivement aux distances de 0.5 mètre à 2 mètres.

Le taux de particules de taille supérieure ou égal **0.5 µm** et inférieur strictement à **1 micron**, libéré pendant le déshabillage, est abaissé d'une manière remarquable avec la distance. Il est de 18013.33 à 0.5 mètre loin de l'appareil, alors qu'il est de 3208 à 2 mètres de distance.

Le nombre de particules de diamètre supérieur ou égal **1 micron** et inférieur strictement à **5 microns**, transmis au moment de retrait des équipements de protection individuelle, est diminué de façon expressive en fonction de la distance. A 0.5 mètre, le taux de particules est de 16163.66 alors qu'il est de 2035.33 loin de deux mètres.

Le taux de particules ayant un diamètre supérieur ou égal à **5 microns**, émises pendant le déshabillage, est abaissé d'une façon importante avec la distance. Il est de 1785,33 à une distance de 0.5 mètre, et de 82.33 loin de deux mètres.

1.2. Analyse des résultats : variation du nombre de particules émises en fonction de la distance (op II)

Le taux de particules ayant un diamètre supérieur ou égal à **0,3 µm** et inférieur strictement à **0,5 µm**, comptées au moment du retrait des EPI, est diminué chaque fois l'opérateur est loin de l'appareil de comptage. Il égale 82660 à un écart de 0.5 mètre, puis il réduit à 6075 à 2 mètres.

Les particules, de diamètre supérieur ou égal à **0.5 µm** et inférieur à **un micron**, libérées quand l'opérateur retraits leur EPI sont diminuées en nombre en fonction de la distance. Le nombre est abaissé de 18589.33 à 1810.33, respectivement à distance de 0.5 mètre et deux mètres.

Le nombre de particules de diamètre supérieur ou égal à **un micron** et inférieur strictement à **5 microns**, est diminué d'une manière caractéristique en relation avec la distance. Le taux est abaissé entre 15900 et 1380, respectivement entre 0.5 mètre et 2 mètres.

L'émission de particules de diamètre supérieur ou égal **5 microns**, est abaissée avec la distance, pendant le déshabillage des EPI. Le nombre est diminué de 1961.33 lorsque l'opérateur est loin à une distance de 0.5 mètre, alors il est égal 61.66 à deux mètres loin de l'appareil de comptage.

1.3. Analyse des résultats : moyenne de taux de particules émises lors de déshabillage

Nos résultats montrent que le taux de particules de différentes tailles, émises au moment du déshabillage, est diminué d'une manière significative en fonction de la distance. Donc plus le personnel est loin du compteur de particules, plus le nombre d'aérosols en suspension collectés est diminué.

Pour les particules de taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$ le nombre est diminué de 92% de la distance 0.5 m à la distance 2 m, avec une diminution de 86.28% à propos des particules de diamètre $\geq 0.5 \mu\text{m}$, un abaissement de 89.35% concerne les particules $\geq 1 \mu\text{m}$, et 96.16% présente une diminution de particules de taille $\geq 5 \mu\text{m}$.

Notre résultat est expliqué par la notion de la vitesse de la sédimentation des aérosols en suspension. Ainsi le diamètre de particules influence la vitesse de transport d'aérosols dans l'air, c'est-à-dire plus le diamètre aérodynamique de la particule est petit, plus la distance parcourue et le temps de reste en suspension sont importants.

La littérature montre que la vitesse finale de chute d'une particule résulte de l'équilibre entre la force de gravité et la force de frottement de la particule dans l'air. Par exemple, une particule sphérique de 10 microns et de masse volumique de 1 g/cm^3 a une vitesse de sédimentation d'environ 0,3 cm/s. [204]

Diamètre (μm)	Vitesse de sédimentation (m.s^{-1})	Vitesse de déplacement par diffusion brownienne (m.s^{-1})
0.01	7×10^{-8}	3.23×10^{-4}
0.1	8.8×10^{-7}	3.67×10^{-5}
1	3.5×10^{-5}	7.44×10^{-5}
10	3.1×10^{-3}	2.18×10^{-6}
100	0.25	-

Tableau LI : Vitesse de déplacement et de sédimentation des particules en fonction de leur diamètre.

[205]

1.4. Analyse des résultats : variance du nombre de particules à chaque distance

D'après nos mesures, nous avons observé que le nombre de particules comptées est varié pour la même distance. Cette variation peut justifier par :

- Notre étude est réalisée dans une salle ordinaire avec deux portes, les fenêtres ne sont pas hermétiquement fermées. La chambre n'été pas climatisée. Les plages de température et d'humidité relative dans notre étude étaient relativement variables. Ainsi les mesures sont pratiquées à des jours différents.

Une étude transversale montre des interrelations entre les nombres d'aérosols de différentes tailles, les différentes bactéries en suspension dans l'air, et la température et l'humidité relative. [206]

- Après l'utilisation des équipements de protection individuelle, les opérateurs ne suivent pas le même chemin, et ne réalisent pas le travail de la même façon. Donc le nombre d'aérosols adhérent sur les EPI au cours de 30 minutes de leur utilisation est variable.
- Nos opérateurs sont bien formés dans les procédures d'enfiler et de retirer les équipements de protection individuelle. Or, il est difficile de maintenir la même chronologie, et la même manière de déshabillage.

1.5. Analyse des résultats : taille de combinaison sur le taux d'aérosols

Dans notre étude, nous avons constaté que le nombre de particules compté lors du déshabillage de l'opérateur I, qui port une combinaison de taille 2XL, est supérieur que le nombre des particules émises par l'opérateur II, qui port une combinaison de taille XL. Mais à la distance de 0.5 m pour les tailles $\geq 0.3 \mu\text{m}$, $\geq 0.5 \mu\text{m}$, $\geq 5 \mu\text{m}$, à la distance de 1 m pour les tailles $\geq 1 \mu\text{m}$ et $\geq 5 \mu\text{m}$ et à la distance de 2 m pour la taille $\geq 0.3 \mu\text{m}$; les résultats montrent l'inverse.

Nos résultats montrent l'influence de la surface de la combinaison sur le taux d'aérosols émis. Donc le choix d'une combinaison de protection doit basé sur le confort physique et la sécurité de transmission des microparticules. Les mesures qui représentent le contraire, on peut l'expliquer par le mode de déshabillage.

Une étude a examiné les taux de contamination corporelle et les niveaux de contamination environnementale lors du retrait de trois types de vêtements de protection individuelle. Le déshabillage se fait par la méthode de retrait individuel habituel et par la méthode recommandée par Les Centres pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC). Cette étude montre que la méthode d'élimination des CDC a réduit de manière plus significative la contamination corporelle et environnementale que la méthode habituelle. [207]

2. Etat de connaissance de la contamination particulaire lors du déshabillage

2.1. Discussion d'émission des aérosols lors du déshabillage

Notre étude montre que le taux d'aérosols, de différentes tailles, transmis lors du retrait des équipements de protection individuelle, est diminué au fur et à mesure quand le professionnel utilisateur est loin du compteur particulaire.

Nous avons déduit que la distance joue un rôle très important dans la minimisation du danger de l'exposition du personnel et des patients aux microparticules libérées au moment d'enlever les équipements de protection personnel avec une combinaison modèle Tyvek®.

Notre étude est réalisée avec un vêtement de protection modèle Dupont Tyvek®, donc on ne peut pas généraliser nos résultats sur les différentes tenues de protection commercialisées au marché.

Le taux de particules émises lors de déshabillage est lié au nombre d'aérosols adhérents à la surface de la combinaison. Ainsi le temps d'utilisation influence directement la proportion d'adhérence. Notre étude est réalisée avec 30 minutes d'utilisation, alors il est difficile de généraliser nos résultats, puisque la durée d'utilisation des EPI change selon l'activité.

Selon la littérature, aucune étude était réalisée de même genre. Or, on peut discuter nos résultats par des études proches.

La littérature montre que la tenue de protection Tyvek® est constituée de polyéthylène de haute densité, obtenu par filage éclair. C'est un idéal entre la durabilité, le confort et la protection. Le vêtement Tyvek® est perméable à l'air et à la vapeur d'eau, il repousse les aérosols et les liquides aqueux. [208]

Une étude a mesuré les rejets des particules après l'exposition des vêtements de protection individuelle aux particules d'oxyde d'aluminium. Cette étude montre que la concentration totale d'aérosols (10 nm à 10 µm) libérés par l'échantillon de polyéthylène Tyvek®, est de 302 particules/cm³ [209]. Elle est signalée aussi que le tissu de coton a montré le plus haut niveau de contamination et de dégagement de particules suivi de Tyvek et de polyester [209].

Des tests menés par un laboratoire indépendant selon la loi BS 6990 ont montré que le Tyvek® émet considérablement moins de particules que d'autres tissus de vêtements de protection. [194]

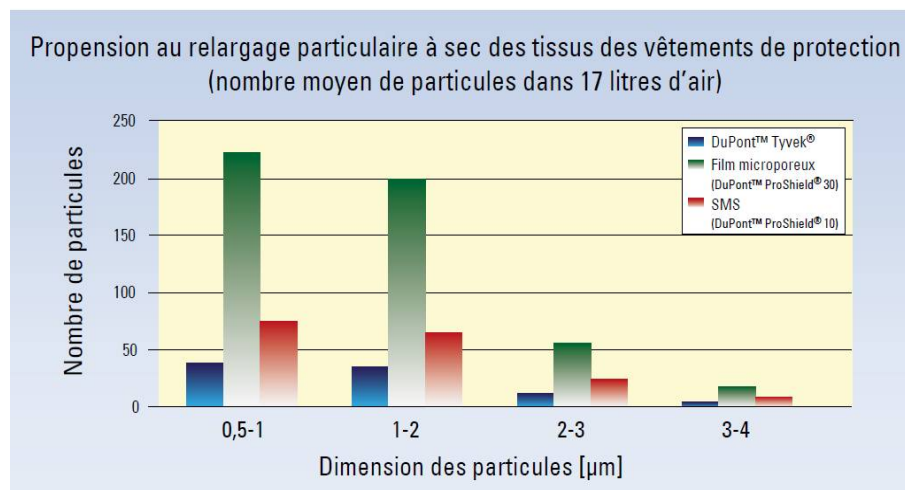


Figure 50 : Nombre de particules de différentes taille émises par des vêtements de protection

2.2. Discussion de la répartition des particules en fonction de la taille

D'après l'analyse de nos résultats on a constaté que la majorité de particules en suspension dans l'air ont un diamètre aérodynamique inférieur strictement à un micron.

✓ Pour l'opérateur I :

La fraction de particules de diamètre inférieur strictement à 1 micromètre représente :
80,71%

La fraction de particules de diamètre supérieur ou égale à 1 micromètre représente :
19,29%

✓ Pour l'opérateur II :

La fraction de particules de diamètre inférieur strictement à 1 micromètre représente :
82,62%

La fraction de particules de diamètre supérieur ou égale à 1 micromètre représente :
17,38%

✓ La moyenne du deux opérateurs :

La fraction de particules de diamètre inférieur strictement à 1 micromètre représente :
81,71%

La fraction de particules de diamètre supérieur ou égale à 1 micromètre représente :
18,29%

D'après la littérature la plupart des particules inertes ont un diamètre inférieur à 1 micromètre, le diagramme de Whitby permet d'établir la relation entre la proportion et le diamètre des particules selon leur nombre. [60]

Répartition des particules

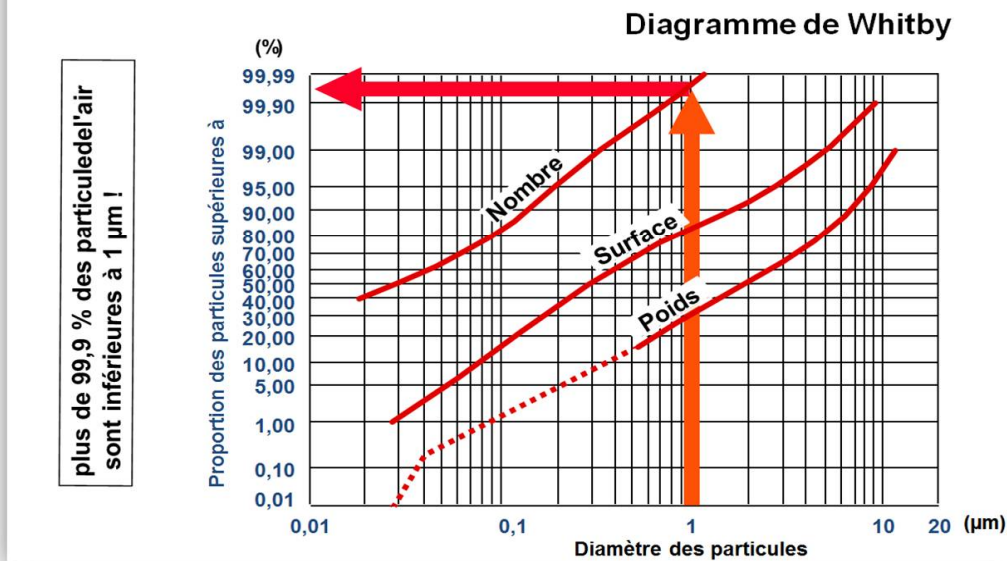


Figure 51 : Répartition des particules dans l'air en fonction de taille.

Il est montré que les particules inférieures à 10 µm (Particulate Matter PM10), dites grossières, peuvent pénétrer et se loger profondément à l'intérieur des poumons. Plus petites encore, les particules fines dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5 µm (PM 2,5) peuvent être plus nocives pour la santé, puisqu'elles peuvent franchir la barrière pulmonaire et atteindre la circulation sanguine [210].

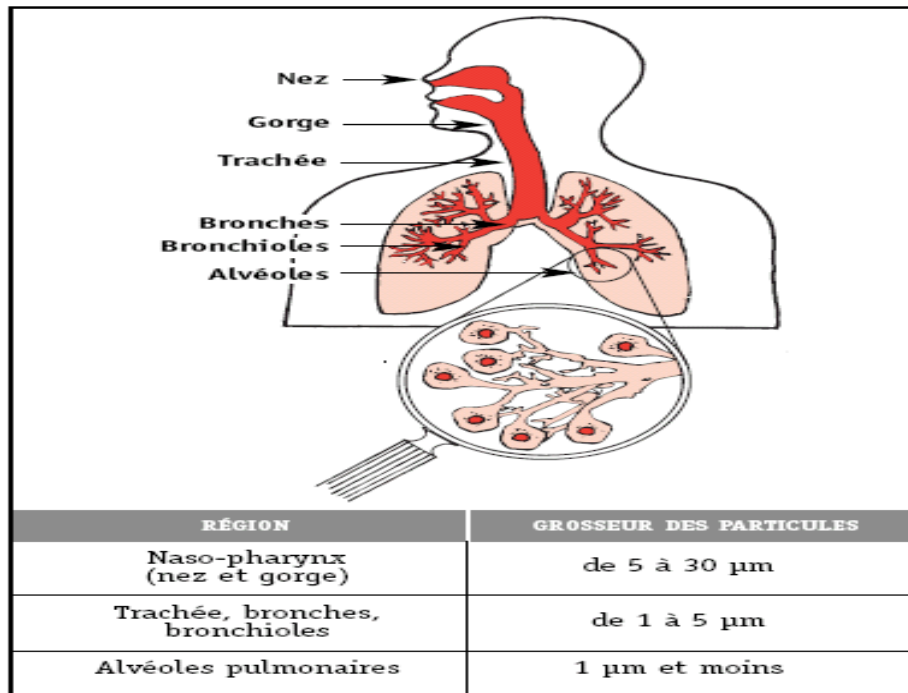


Figure 52 : Déposition des microparticules dans les voies respiratoires. [211]

Des expériences humaines et animales montrent que l'exposition aux particules de taille inférieure ou égale à 2.5 μm est capable de déclencher rapidement un déséquilibre du système nerveux autonome. Augmentant ainsi la tension artérielle dans les minutes qui ont après l'inhalation. En outre, les particules fines peuvent déclencher une réponse pro-inflammatoire systémique sur une période d'exposition plus prolongée. [212]

La contamination de l'air aux particules $\text{PM}_{2.5}$ est un problème mondial par ce qu'il est classé dans l'un des principaux dangers atmosphériques conduisant à l'inflammation vasculaire, au stress oxydatif, à la gravité des conditions cardiovasculaires, aux réponses vasomotrices inappropriées, etc. [213]

2.3. Discussion de la contamination et transport des microorganismes par les EPI

Notre étude indique la présence d'une contamination particulière de l'environnement lors de l'enlèvement des EPI. On peut faire la mise au point sur l'exposition des vêtements de protection aux différents contaminants. Ainsi l'adhérence des microparticules et des fluides, sur les tenues de protection, influence le taux de propagation des aérosols lors de déshabillage.

D'après la littérature les vêtements Tyvek[®] sont résistants au peluchage et possèdent une surface douce fournissant une très faible adhérence aux particules. [214]

Selon la littérature, une expérience a effectué à petite échelle pour tester l'adhérence de virus (Protéine de fluorescence verte – lentivirus) à la surface de différents tissus des vêtements de protection. L'étude montre que le tissu en polyéthylène transfère un nombre important de GFP-Lentivirus. [215]

Une étude montre qu'un morceau de 20 cm² du combinaison Dupont Tyvek[®] a été exposé à 50 µL de SARM en suspension dans le sang (5×10^6 UFC/ml). Après un lavage par une solution saline physiologique stérile suivie d'une incubation, les résultats montrent l'adhérence de 2200.0 ± 918.7 UFC de SARM. [216]

Notre étude est focalisée sur le comptage des microparticules transportées et libérées pendant le déshabillage, elle nous permet de conclure le risque de la contamination particulière. Notre étude va compléter avec des contrôles microbiologiques afin de visualiser le risque de transport et d'émission des germes pathogènes (bactéries, virus et champignons) au cours d'enlèvement des EPI.

Or on peut discuter par le rôle de particules fines dans le transport des microorganismes.

Il est scientifiquement démontré que le contenu microbien se trouve le plus souvent sous la forme attachée sur les particules en suspension dans l'environnement. [217]

2.4. Discussion du risque d'auto contamination lors du déshabillage

Le taux de particules que nous avons obtenus, nous renseigne sur l'intérêt de la vigilance des personnels au danger de l'auto contamination au moment de retirer les pièces de la protection, notamment la combinaison.

Notre hypothèse est parallèle avec une étude qui examine le risque de l'auto contamination des agents de santé lorsqu'ils retirent les EPI. Cependant, parmi 51 participants, 46 (90 %) avaient des zones d'auto contamination qui était apparentes par le transfert des Glo Germ sur la peau et les vêtements. [218]

Autre étude transversale montre une auto contamination considérable de la peau et des vêtements pendant le retrait de tenue de protection modèle Dupont Tyvek[®]. [219]

2.5. Discussion de la contamination covid-19 lors du déshabillage

Notre étude se fait pendant la pandémie covid-19, ainsi les EPI qui nous avons utilisés sont destinés à la protection des agents de santé des risques infectieux. D'après les résultats qui nous avons obtenus, nous pouvons signaler le risque de contamination et de transport du virus SARS COV2 par les aérosols fixés sur les combinaisons. De même nous pouvons annoncer le danger de l'auto contamination, la contamination du personnels voisins et la propagation environnementale du virus pendant le retrait des pièces de protection individuelle.

Selon la littérature :

Il est scientifiquement démontré que le coronavirus peut vivre dans les particules d'aérosol pendant plusieurs heures. [220]

Une étude montre la présence de l'ARN du SARS COV-2 dans 9 % d'échantillons (N= 90 échantillons fractionnés par taille) et dans toutes les fractions de taille ($\geq 10.0 \mu\text{m}$, $10.0 - 2.5 \mu\text{m}$ et $\leq 2.5 \mu\text{m}$) à des concentrations de 5 à 51 copies par mètre cube. [221]

Il est plausible que de petites particules contenant le virus SARS COV-2 puissent diffuser dans les environnements intérieurs couvrant des distances allant jusqu'à 10 mètres des sources d'émission. [222]

Une étude montre que le SARS COV-2 a été détecté dans 10 des 57 échantillons (17.5%) provenant de l'intérieur des chambres où se trouvent des patients infectés [223]. La même étude signale que deux échantillons prélevés à plus de 2 mètres des patients infectés ont montré des résultats positifs [223].

Des infections dues à l'adhérence des fluides, chargés du coronavirus, à la surface des EPI pendant le déshabillage ont été démontrées [224].

Pour confirmer notre travail, il faut réaliser des tests diagnostiques par la réaction de transcription inverse suivie d'une réaction de polymérisation en chaîne quantitative en temps réel (RT-qPCR) sur des échantillons de combinaison après une intervention dans un environnement contaminé par le SARS COV-2.



Conclusion

Notre étude a montré l'adhérence, le transport et l'émission d'un nombre important de microparticules de taille différentes lors du déshabillage des équipements de protection individuelle avec une combinaison modèle Dupont Tyvek[®]. Ce taux d'aérosol est diminué d'une manière significative avec la distance, c'est-à-dire plus le personnel qui retire les pièces de protection individuelle est loin du compteur de particules plus le nombre détecté est abaissé.

Au cours du déshabillage, il existe un risque accru de contamination particulaire. La majorité des particules dénombrées ayant un diamètre aérodynamique inférieur à un micron. Ces particules fines sont particulièrement toxiques par ce qu'elles pénètrent profondément les poumons et l'arbre bronchique. De plus les aérosols aéroportés servent de support aux microorganismes tel que le coronavirus.

Le déshabillage est la procédure avec laquelle il existe un risque de transmission croisée des aérosols et/ou des bioaérosols. Les agents de santé utilisant des pièces de protection doivent subir une vigilance sur le risque de l'auto contamination, la contamination de l'environnement et l'exposition des personnels collègues aux agents contaminants au moment de retirer les pièces de protection individuelle.

A notre connaissance, il n'existe aucune études quantitatives qui permet de mesurer le taux de particules émises pendant le déshabillage des combinaisons notamment le tissu Tyvek[®], en fonction de la distance, malgré qu'il existe des études évaluant l'auto contamination et la contamination de l'environnement pendant le déshabillage.

En conclusion, nous recommandons de faire des études quantitatives et qualitatives sur le nombre d'aérosols de différentes tailles libérées par les combinaisons utilisés dans les maladies à haut risque infectieux, afin d'attirer l'attention sur le risque de la contamination.



Résumé

Titre : Gradient de contamination particulaire lors du déshabillage après intervention dans un environnement COVID-19.

Auteur : Abdessamad KARROUM

Directeur de la thèse : Professeur DERRAJI Soufiane

Mots clés : Comptage de particules, EPI, déshabillage, contamination.

L'enlèvement des tenues de protection utilisées pendant les maladies à haut risque infectieux (la pandémie COVID19...), reste un problème majeur de contamination particulaire et microbiologique de l'utilisateur, des collègues et de l'environnement.

L'objectif de cette étude est de dénombrer le taux de particules libérées au moment du déshabillage des équipements de protection individuelle, avec une combinaison modèle Dupont Tyvek[®], à différentes distances, afin de visualiser le développement du nombre avec la distance.

Il s'agit d'une étude analytique et descriptive, de 09/10/2020 au 30/10/2020, à une salle du déshabillage au sein du service de la stérilisation centrale de L'HMIMV- RABAT.

Le comptage de particules émises lors du retrait des EPI a été fait grâce à un compteur optique de particules de marque CLIMET CI-153.

L'étude a intéressée à la mesure de particules de taille : $\geq 0.3\mu\text{m}$, $\geq 0.5\mu\text{m}$, $\geq 1\mu\text{m}$ et $\geq 5\mu\text{m}$, à quatre distances : 0.5m, 1m, 1.5m et 2m. Nous retrouvons une diminution de nombre de particules en fonction de la distance ; un abaissement de 92 % de la distance de 0.5m à 2m pour les particules de diamètre $\geq 0.3\mu\text{m}$, 86.28 % pour les particules $\geq 0.5\mu\text{m}$, 89.35 % pour les particules $\geq 1\mu\text{m}$ et une diminution de 96.16 % pour les particules de diamètre $\geq 5\mu\text{m}$.

L'intérêt de cette étude était de compter le nombre de particules émises en fonction de la distance, pendant le déshabillage des EPI, pour attirer l'attention de personnel de santé sur le risque de contamination particulaire et microbiologique.

SUMMARY

Title : Gradient of particulate contamination during undressing after intervention in a COVID-19 environment.

Author : Abdessamad KARROUM

Thesis supervisor : Professor DERRAJI Soufiane

Key words : Particle counting, PPE, Undressing, Contamination

The removal of protective clothing used during high risk infectious diseases (the COVID19 pandemic...), remains a major problem of particulate and microbiological contamination of the user, colleagues and the environment.

The objective of this study is to count the rate of particles released at the time of undressing of personal protective equipment, with a Dupont Tyvek[®] model suit, at different distances, in order to visualise the development of the number with distance.

This is an analytical study and descriptive, from 09/10/2020 to 30/10/2020, in a stripping room in the central sterilization department of HMIMV- RABAT.

The counting of particles emitted during PPE removal was carried out using a CLIMET CI-153 optical particle counter.

The study was interested in measuring particles of size $\geq 0.3\mu\text{m}$, $\geq 0.5\mu\text{m}$, $\geq 1\mu\text{m}$ and $\geq 5\mu\text{m}$, at four distances : 0.5m, 1m, 1.5m and 2m. We find a decrease in the number of particles as a function of distance ; a 92% decrease from 0.5m to 2m for particles of diameter $\geq 0.3\mu\text{m}$, 86.28% for particles $\geq 0.5\mu\text{m}$, 89.35% for particles $\geq 1\mu\text{m}$ and a 96.16% decrease for particles of diameter $\geq 5\mu\text{m}$.

The interest of this study was to count the number of particles emitted as a function of distance, during the removal of PPE, in order to draw the attention of health personnel to the risk of particulate and microbiological contamination.

ملخص

العنوان : التدرج في التلوث الجسيمي أثناء التعري بعد التدخل في بيئة ملوثة بـ كوفيد - 19

المؤلف : عبدالصمد كروم

مدير الرسالة : الأستاذ سفيان دراجي

الكلمات المفتاحية: عد الجسيمات، تعري، معدات الحماية الشخصية، تلوث.

لا تزال إزالة الملابس الواقية المستخدمة أثناء الأمراض المعدية عالية الخطورة (جائحة كوفيد - 19، وما إلى ذلك)

مشكلة رئيسية للتلوث الجسيمي والميكروبيولوجي للمستخدم والزملاء والبيئة

الهدف من هذه الدراسة هو إحصاء مستوى الجسيمات المنبعثة وقت خلع معدات الحماية الشخصية، مع بدلة نموذج

دوبونت تيفيك®، على مسافات مختلفة، من أجل تصور تطور العدد مع المسافة.

إنها عبارة عن دراسة تحليلية و وصفية، من 2020/09/10 إلى 2020/30/10، في غرفة تجريد داخل قسم التعقيم

المركزي بالمستشفى العسكري الدراسي محمد الخامس بالرباط.

تم حساب الجسيمات المنبعثة أثناء إزالة معدات الحماية الشخصية باستخدام عداد الجسيمات الضوئي ذو العلامة التجارية

كليميت سي 153.

ركزت الدراسة على قياس جسيمات ذات حجم: $0.3 \leq$ ميكرومتر، $0.5 \leq$ ميكرومتر، $1 \leq$ ميكرومتر و $5 \leq$

ميكرومتر، على أربع مسافات: 0.5 متر، 1 متر، 1.5 متر و 2 متر. نجد انخفاضاً في عدد الجسيمات بدلالة المسافة؛ انخفاض

بنسبة 92% من المسافة 0.5 متر إلى 2 متر بالنسبة للجسيمات التي قطرها 0.3 ميكرومتر، 86.28% للجسيمات 0.5 ميكرومتر،

89.35% للجسيمات $1 \leq$ ميكرومتر وانخفاض بنسبة 96.16% للجسيمات التي يبلغ قطرها $5 \leq$ ميكرومتر.

الغرض من هذه الدراسة هو حساب عدد الجسيمات المنبعثة بدلالة المسافة، أثناء خلع ملابس الوقاية الشخصية، للفت

انتباه العاملين في مجال الصحة إلى مخاطر التلوث الجسيمي والميكروبيولوجي.



Annexes

Annexe I : procédure d'habillage [225]

TECHNIQUE D'HABILLAGE D'EPI CAS D'UNE COMBINAISON



- 1** Porter une tenue professionnelle.

- 2** Mettre les surchaussures.

- 3** Faire une friction hydro alcoolique des mains.

- 4** Mettre la première paire de gants de soins.

- 5** Mettre une combinaison. Si soins mouillants, porter une combinaison imperméable ou à défaut un tablier en plastique à UU sur la combinaison.

- 6** Mettre le masque FFP2.

- 7** Faire le « fit check » pour vérifier l'étanchéité.

- 8** Mettre les lunettes de protection ou la visière.

- 9** Mettre la charlotte.

- 10** Mettre la deuxième paire de gants.

- 11** Positionner la capuche.


Annexe II : procédure de déshabillage [225]

TECHNIQUE DE DESHABILLAGE D'EPI CAS D'UNE COMBINAISON							
DANS LA CHAMBRE DU PATIENT	1 Enlever la deuxième paire de gants utilisés et les déposer dans le sac jaune.	2 Ouvrir la combinaison en veillant à ne pas toucher la tenue de travail.	3 Enlever les chaussures en se déshabillant.	4 Enlever la première paire de gants utilisés.	5 Faire une friction hydro alcoolique des mains.		
							
	DEVANT LA CHAMBRE DU PATIENT	1 Faire une friction hydro alcoolique des mains.	2 Retirer la charlotte.	3 Retirer les lunettes de protection ou la visière.	4 Déposer les lunettes dans un bac contenant un détergent.	5 Retirer le masque FFP2.	6 Faire une friction hydro alcoolique des mains.
							

Annexe III : Procédure de travail de compteur particulaire CI-153

Nous avons réalisé cette procédure au moment de notre étude.

I. Matériels



compteur de particules portable CLIMET CI-153

Gamme de mesures	0,3 ; 0,5 , 1 et 5 microns
Principe de mesure	Diffraction lumineuse. Diode laser, 780 nm
Débit	28,3 L/min, pompe : turbine brevetée
Ecran	Nouvelle technologie TFT : ecran couleur tactile à grande lisibilité et clavier alpha numérique intégré
Volume de prélèvement	Ajustable par l'utilisateur
Id lieu de prélèvement	100 Id par programme, de 16 caractères alpha numériques chacun
Temps de purge	Ajustable par l'utilisateur (délai initial + temps de pause)
Unité de mesure	Sélectionnable : particule/ litre ou particule/pied ou particule/m ³
Batterie	Interne, autonomie 5 heures
Calculs	Edition de rapports selon la NF-209-E, l'ISO 14644-1 et les PBF
Alarmes	Ajustable sur les 4 canaux de tailles et débit de la pompe
Poids, matériau	6,500 kg, boîte inox
Dimension	22×21 ,6×24,1 cm

Les accessoires

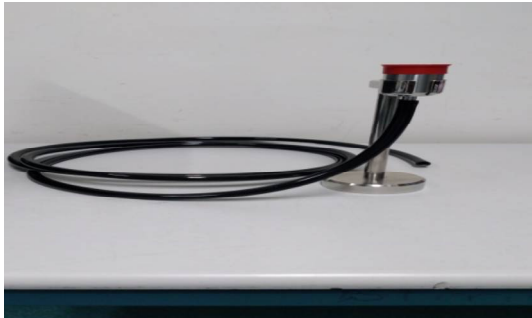
Pour une meilleure adaptation de l'appareil dans l'espace et dans le temps, des accessoires sont ajoutés :



SONDE ISOCINETIQUE : en inox, lisse pour éviter l'adhérence des particules



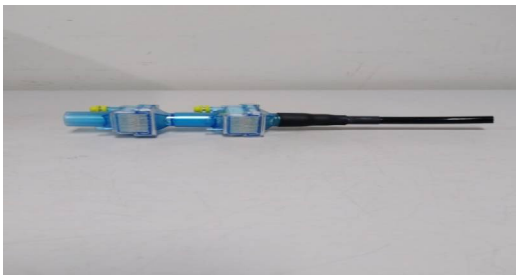
TREPIED MONTABLE : en inox, adapté pour porter ma sonde, avec position sur des surfaces horizontales



TUBE DE PRELEVEMENT : en plastique, pour une mesure à distance (filtres au plafond...)



SONDE D'ECHANTILLONAGE : en inox, être dirigée vers le filtre HEPA lors de l'échantillonnage d'une zone à flux laminaire.



FILTRE DE COMPTAGE ZERO



BATTERIE : à hydride métallique de nickel pour une utilisation portable

Remarque : Les données peuvent être téléchargées directement sur un ordinateur via le port RS-232 ou Ethernet.

II. Description de la procédure

- Le réglage de la date et de l'heure

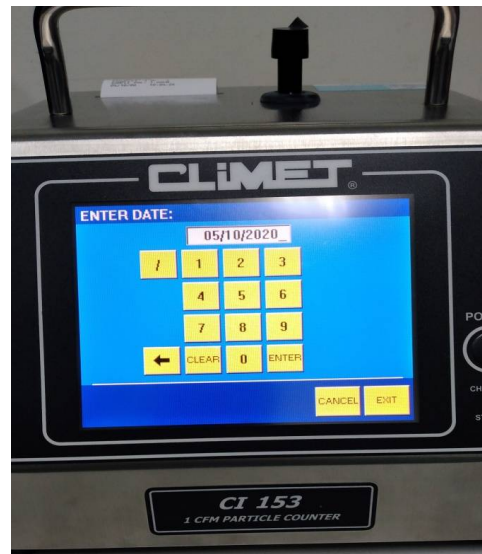
- Appuyer sur la touche programmable [SET-UP] depuis l'écran de données principal :



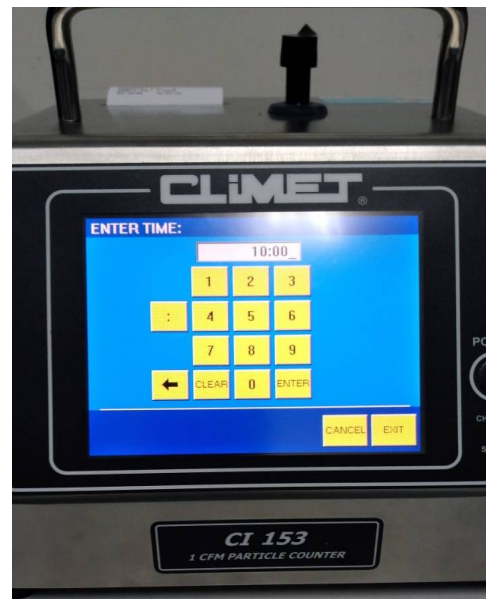
- Appuyer sur la touche [MORE] existant au droit en bas de l'écran :



- Appuyer sur la touche [SET DATE] puis entrer la date (D/M/Y) :



- Appuyer sur la touche [SET TIME] entrer l'heure (H : MIN : SEC) :



- Appuyer sur [EXIT], [EXIT] pour revenir au menu principal :

- **Choix des tailles de particules à mesurer**

- Appuyer sur la touche programmable [SET-UP] depuis l'écran de données principal.
- Appuyer sur la touche [MORE] existant au droit en bas de l'écran

Remarque : les deux étapes sont déjà traitées précédemment

- Sélectionner la touche [DISPLAY], et choisir les tailles ; ainsi la couleur passera du jaune au vert :



- Appuyer sur [EXIT] pour sortir

- **La création d'un identifiant d'emplacement**

Les identifiants d'emplacement sont utilisés pour identifier l'emplacement où l'échantillon a été prélevé. L'ID d'emplacement est imprimé à la fin des impressions d'échantillons et avec les données envoyées à un ordinateur. Les identifiants de localisation doivent-ils être utilisés lors de l'exécution de FS-209E, ISO 14644-1 ou calcul GMP.

- Appuyer sur la touche [ID] depuis l'écran des données principal :



- Appuyer sur [INSERT] :
- Taper un nom qui ne dépasse pas 16 caractères alphanumériques.
- Cliquer sur [EXIT] pour revenir au menu principal ; le nouvel identifiant sera inséré ci-dessus de l'identifiant précédemment mis en évidence.

- **Le réglage d'échantillon**

- ❖ **Volume de prélèvement**

Le ci-153 a un débit constant de 28,3 litres par minute, soit 1 pied cube par minute. A ce rythme, le compteur de particules prélève un mètre cube d'air en 35,3 minutes.

- Appuyer sur la touche programmable [SET-UP] depuis l'écran de données principal (déjà figurer)
- Insérer le volume de prélèvement (par exemple taper 1, puis sélectionner [FEET CUB]).

❖ **Délai initial**

Avant de commencer le prélèvement l'appareil peut adapter un temps de latence.

- Appuyer sur la touche [INITIAL DELAI] :
- Insérer le temps à attendre avant le prélèvement (par exemple 15 secondes)
- Appuyer sur [EXIT] quand le volume d'échantillon et le délai initial sont déterminés

• **Prélèvement d'échantillon**

Avant de prélever un échantillon, assurez-vous d'abord que le capuchon anti-poussière a été retiré de l'entrée. Si une sonde d'échantillonnage est utilisée, elle doit être dirigée vers le filtre HEPA lors de l'échantillonnage d'une zone à flux laminaire.

- Retirer le capuchon anti-poussière :
- Broncher le tube avec la sonde, ensuite fixer la sonde sur le support
- Poser le support avec la sonde sur une table.
- Appuyer sur la touche [START] depuis l'écran de données principal, existant au gauche en bas de l'écran.
- Appuyer sur la touche [stop] depuis l'écran de données principal, dès que le prélèvement est terminé.

• **Impression des résultats**

Dès qu'on a stoppé la mesure les résultats sont affichés sur l'écran. Ainsi on peut imprimer ce résultat :

- Appuyer sur la touche [REPORT] depuis l'écran des données principales.
- Appuyer sur la touche [PRINT SCREEN] ; cliquer sur [DATA] pour choisir les tailles à imprimer (couleur passera de jaune au vert).



Bibliographie

- [1]. « Qu'est-ce que la transmission aéroportée ? », ATA Medical. <http://ata-medical.com/2017/04/04/quest-ce-que-la-transmission-aeroportee/> (consulté le mars 10, 2021).
- [2]. S. Ortu, « Contrôles Particulaires Et Biologiques De L'Air À L'Hôpital », *Revue Francophone des Laboratoires*, vol. 2005, no 376, p. 51-57, nov. 2005, doi : 10.1016/S1773-035X(05)80107-8.
- [3]. L. Florence et D. Lepelletier, « Particulate and microbiological controls of the environment and microbiological controls of surfaces in health centers. », *EMC-Biologie*, vol. 0, p. 1-11, août 2017.
- [4]. M. Raeiszadeh et B. Adeli, « Un examen critique des systèmes de désinfection par ultraviolets contre l'épidémie de COVID-19 : applicabilité, validation et considérations de sécurité », vol. 7, no 11, p. 2941-2951, nov. 2020, doi : 10.1021/acsp Photonics.0c01245.
- [5]. Benoît L., Pierre L., Jean B., et al., « Qualité de l'air intérieur, Environnement et santé publique - Fondements et pratiques », pp. 317-332.
- [6]. Nardell, E. A., J. Keegan, S. A. Cheney et S. C. Etkind. « Airborne infection : Theoretical limits of protection achievable by building ventilation », *Am Rev Respir Dis*, 144, 1991, p. 302-306.
- [7]. Organisation Mondiale de la Santé, disponible sur : <https://www.who.int/fr/about/who-we-are/constitution>
- [8]. L.S. Aho Glélé, I. Fournel, M. Tiv, J-C. Cêtre (2009). « Emissions de microorganismes dans les centres de santé ». *Salles propres - Qualité de l'air en bloc opératoire*, n°61, 21-26
- [9]. L.M. Prescott, J.P. Harley, D.A. Klein (2003). « La microflore normale du corps humain en microbiologie », 2^{ème} édition (Edition De Boeck Université), 699-704.
- [10]. Comité Technique des Infections Nosocomiales et des Infections Liées aux Soins (CTINILS), définition des infections nosocomiales (actualisation 2006) site web : <https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/maladies/maladies-infectieuses/article/les-infectionsnosocomialesn>
- [11]. Hurst, C.J., et al., « Manuel of environmental microbiology », ed. *Aerobiology*1997, Washington, D.C. : ASM PRESS.
- [12]. M. Pibiri, « Microbiological cleaning of air and ventilation systems using essential oils », 2006, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

- [13]. Gagneur A. Leraud M.C. et al. « Infections nosocomiales à coronavirus humains chez le nouveau-né », Arch pédiatr 2002 ; 9 : 61-9. [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0929-693X\(01\)00696-0](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0929-693X(01)00696-0)
- [14]. JF. Gehanno. V. Bonnetrra and al. « Preuves d'une possible transmission aérienne du SRAS-COV-2 lors de la crise du COVID-19 ». Journal Pre-prof ; reference : ADMP 1487, 29 April 2020.
- [15]. RL. Riley « What nobody needs to know about airborne infection ». Am J Respir Crit Care Med. 2001 ;163(1) :7-8.
- [16]. W. F. Wells, « On Air-borne Infection. Study II. Droplets and Droplet Nuclei. », American Journal of Hygiene, vol. 20, p. 611-18.
- [17]. WHO, Pandemic and Epidemic Diseases, « Infection Prevention and Control of Epidemic- and Pandemic-Prone Acute Respiratory Infections in Health Care » : WHO Guidelines. ; 20.
- [18]. Pinterest, site web : <https://www.pinterest.com.au/pin/46232333658786118/>
- [19]. S. Asadi, A. S. Wexler, C. D. Cappa, S. Barreda, N. M. Bouvier, et W. D. Ristenpart, « Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness », *Scientific Reports*, vol. 9, n° 1, Art. n° 1, févr. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-38808-z.
- [20]. DF. Johnson, JD. Druce, C Birch, et al. « Évaluation quantitative de l'efficacité des masques chirurgicaux et N95 pour filtrer le virus de la grippe chez les patients atteints d'une infection grippale aiguë ». 2009 ;49(2) :275-277. Doi :10.1086/600041
- [21]. AFSSET. « Évaluation du risque sanitaire pour l'homme lié à la présence de virus influenza pandémique dans l'air des bâtiments et à sa propagation éventuelle par les dispositifs de ventilation » ; 2009 :117. Accessed March 22, 2020.
- [22]. J. Gralton, E. Tovey, M-L. McLaws, WD. Rawlinson. « Le rôle de la taille des particules dans la transmission des agents pathogènes par aérosol » : a review. J Infect. 2011 ;62(1) :1-13.
- [23]. R. Tellier « Aerosol transmission of influenza A virus » : a review of new studies. J R Soc Interface. 2009 ; 6 Suppl 6 : S783-790.
- [24]. RS. Papineni, FS. Rosenthal, « The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects ». J Aerosol Med Off J Int Soc Aerosols Med. 1997;10(2):105-116.
- [25]. WG. Lindsley, WP. King, RE. Thewlis, et al. « Dispersion and exposure to a cough-generated aerosol in a simulated medical examination room ». J Occup Environ Hyg. 2012 ;9(12) :681-690.
- [26]. CA. O'Neil, J. Li, A. Leavey, et al. « Characterization of Aerosols Generated During Patient Care Activities ». Clin Infect Dis Off Publ Infect Dis Soc Am. 2017;65(8):1335-1341.

- [27]. Bake B, Larsson P, Ljungkvist G, Ljungström E, Olin A-C. Exhaled particles and small airways. *Respir Res.* 2019 ; 20.
- [28]. Mubareka S, Groulx N, Savory E, et al. Bioaerosols and Transmission, a Diverse and Growing Community of Practice. *Front Public Health.* 2019 ;7 :23.
- [29]. X. Xie, Y. Li, ATY. Chwang, et al. « How far droplets can move in indoor environments--revisiting the Wells evaporation-falling curve ». *Indoor Air.* 2007;17(3):211-225.
- [30]. J. Lavoie, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. « Guide sur la protection respiratoire contre les bioaérosols » : recommandations sur le choix et l'utilisation : rapport. Montréal : IRSST; 2007.
- [31]. Qing Y, Bili W, Jianhua M, et al. “Analyse épidémiologique du COVID-19 et expérience pratique de la Chine”. *J Med Virol* 2020 April 10: 10.1002/ jmv.25813. doi: 10.1002/jmv.25813.
- [32]. Wu Y, Ho W, Huang Y, Jin DY, Li S, Liu SL, et al. SARS-CoV-2 is an appropriate name for the new coronavirus. *Lancet* 2020; 395 (10228): 949-950. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30557-2.
- [33]. A public health emergency of international concern over the global outbreak of novel coronavirus declared by WHO. Available at: [https://www.who.int/dg/speeches/detail/whodirector-general-s-statement-on-ihf-emergencycommittee-on-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/dg/speeches/detail/whodirector-general-s-statement-on-ihf-emergencycommittee-on-novel-coronavirus-(2019-ncov)).
- [34]. WHO. Maladie du coronavirus 2019 (COVID-19) situation report 99 2020. WHO. Available dans: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200428-sitrep99-covid-19.pdf?sfvrsn=119fc381_2
- [35]. Wong G, Liu W, Liu Y, Zhou B, et al., MERS, SARS, and Ebola: The role of superspreaders in infectious disease. *Cell Host Microbe* 2015 ; 18(4) :398–401.
- [36]. Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, et al. « Dynamique de transmission précoce à Wuhan, d'une nouvelle pneumonie infectée par un coronavirus. *N Engl J Med* 2020. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>
- [37]. Coronavirus observés en microscopie électronique. (cliché: Fred Murphy, CDC).
- [38]. International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV). Taxonomy. <https://talk.ictvonline.org/taxonomy/>.
- [39]. Mourez T., Burrell S, Boutolleau D., Pillet S. *Traité de virologie médicale.* Paris : Société française de microbiologie ; 2019. 793 p.

- [40]. Hulo C., Castro E., Masson P., et al. ViralZone: a knowledge resource to understand virus diversity. *Nucleic Acids Res* 2011;39(Database issue): D576–82.
- [41]. Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H., et al., Aérosol et stabilité de surface du SARS-CoV-2 par rapport au SARS-CoV-1. *N Engl J Med*. 2020;382(16):1564–1567.
- [42]. Wölfel R., Corman V.M., Guggemos W., et al., Évaluation virologique des patients hospitalisés atteints de COVID-2019. 2020 DOI: 10.1038/s41586-020-2196-x
- [43]. Wang W., Xu Y., Gao R., et al., Détection du SRAS-CoV-2 dans différents types d'échantillons cliniques. 2020 : e203786. DOI : 10.1001/jama.2020.3786
- [44]. Lamers M.M., Beumer J., van der Vaart J., et al., SARS-CoV-2 productively infects human gut enterocytes. *Science*. 2020
- [45]. Paris Match, Nos vêtements peuvent-ils transporter le covid-19 <https://parismatch.be/actualites/sante/387457/nos-vetements-peuvent-ils-transporter-le-covid-19>
- [46]. CAM WOLF, it's unlikely you'll be infected through your clothes. Here's what else to know, 24 March 2020.
- [47]. Alex WH Chin et al. School, of public Health, Hong Kong Special Administrative. 2 Avril 2020
- [48]. XPAIR. Recommendation sur les installations de climatisation, chauffage et ventilation par Uniclimate, 12 mai 2020. Site web: https://conseils.xpair.com/agenda_news/covid19-recommandations-installation-climatisation-chauffage-ventilation-uniclima.htm
- [49]. Zhou P., Yang XL., Wang XG., et al. « Epidémie de pneumonie associée à un nouveau coronavirus d'origine de chauve-souris ». 2020 ;579(7798) :270–3
- [50]. Guan W., Ni Z., Hu Y., et al. « Caractéristiques cliniques de la maladie à coronavirus 2019 en Chine ». *N Engl J Med* 2020 ;382(18) : 1708–20
- [51]. Huang C., Wang Y., Li X., et al. « Caractéristiques cliniques des patients infectés par le nouveau coronavirus 2019 à Wuhan ». *Lancet* 2020 ; 395 :497–506
- [52]. Li H., Liu L., Zhang D., et al. SARS-CoV-2 and viral sepsis: observations et hypothèses. *Lancet* 2020 ;395(10235) :1517–20
- [53]. Remy KE., Francois B., Daix T., et al. « Immunotherapies for COVID-19 : lessons learned from sepsis ». *Lancet Respir Med* 2020:0
- [54]. Daniel L., Bloqueurs du système RÉNINE-ANGIOTENSINE-ALDOSTÉRONNE et COVID-19, 15 Avril 2020, France

- [55]. Byambasuren O, Cardona M, Bell K, et al. Estimating the extent of asymptomatic COVID-19 and its potential for community transmission: systematic review and meta-analysis. MedRxiv. www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.05.10.20097543v2.full.pdf+html.
- [56]. He W., Yi G.Y., Zhu Y. Estimation of the basic reproduction number, average incubation time, asymptomatic infection rate, and case fatality rate for COVID-19: meta-analysis and sensitivity analysis. *J Med Virol.* 2020 10.1002/jmv. 26041.
- [57]. Jean-Luc G., Omar N., et al, « Méthodes de diagnostic de covid-19 », Revue de la Faculté de Médecine et Médecine dentaire de l'Université catholique de Louvain, Mai 2020
- [58]. « Salles microbiologiquement maîtrisées appliquées aux plats cuisinés et produits équivalents: guide de conception et d'utilisation ». ASPEC. <https://books.google.co.ma/books?id=-4cikgAACAAJ> (Consulté le 01/08/2020).
- [59]. XPAIR, Camel, le préfiltre santé et Energie efficacité M5, diagramme de Whitby, Novembre, 2014
- [60]. BTS, cours de climatisation, filtration de l'air, disponible sur : <https://www.econologie.com/fichiers/partager/1205836952DJDCJz.pdf> (consulté le 15/12/2020)
- [61]. JEROM N., « Développement d'une méthodologie d'analyse de COV en trace pour la qualification des matériaux de construction », Chimie, 2009, France <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00401405/>
- [62]. Haernich.T, CSTC, Polluants intérieurs : comment les limiter ?, 2017 <https://environnement.brussels/sites/default/files/pres-171205-polu-1-5-ecov-fr.pdf>
- [63]. CSTB, LHVP, et ADEME, « Etude expérimentale des conditions de transfert de la pollution atmosphérique d'origine locale à l'intérieur des bâtiments », document OQAI, 2001, site internet <http://www.air-interieur.org.com>
- [64]. Edwards, R.D., et al., VOC source identification from personal and residential indoor, outdoor and workplace microenvironment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, 2001. 35(28) : p. 4829-4841
- [65]. Wilke, O., Jann, O., and Brodner, D., VOC- and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures. *Indoor Air*, 2004. 14 Suppl. 8 : p. 98-107.
- [66]. Nozarrof, W.W. And C.J.Wescler, Cleaning products and air fresheners :exposure to primary and secondary air pollutants, 2004, 38, pp, 2841-2865
- [67]. CARMI, Guide pour prévenir les expositions professionnelles aux gaz et vapeur anesthésiques, 2006, disponible sur site : <http://www.carmif.fr/pdf/th2/prev>

- [68]. Arnaud, B. La pollution au bloc opératoire, dimanche le 29 Janvier 2012
<https://sofia.medicalistes.fr/spip/spip.php?article437>
- [69]. Fondation du souffle. Pollutions intérieures et extérieures. Site web :
<https://www.lesouffle.org/poumons-sante/pollution-de-lair/pollution-interieure-exterieure/>
- [70]. W. C. Noble, O. M. Lidwell, et D. Kingston, « The size distribution of airborne particles carrying micro-organisms », *Epidemiology & Infection*, vol. 61, n° 4, p. 385-391, déc. 1963, doi : 10.1017/S0022172400020994.
- [71]. T. Kw et Z. Ms, « Size relationship between airborne viable bacteria and particles in a controlled indoor environment study. », *Indoor Air*, vol. 15 Suppl 9, p. 48-57, janv. 2005, doi : 10.1111/j.1600-0668.2005.00303.x.
- [72]. Société française d'hygiène hospitalière (2004). La qualité de l'air au bloc opératoire - Recommandations d'experts
- [73]. « Pollution de l'air & Covid-19 », *APPA*, avr. 23, 2020. <https://www.appa.asso.fr/pollution-de-lair-exterieur-covid-19/> (consulté le mars 02, 2021).
- [74]. Van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D. H et al., 2020 : Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. [En ligne]. *The New England Journal of Medicine*, vol. 382, p. 1564-1567. Disponible sur : <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973>
- [75]. « Conception des installations et équipements pour salles propres », p. 12
- [76]. Boutier, A. « Métrologie laser pour la mécanique des fluides : Granulométrie et techniques spectroscopiques ». s.l. : Lavoisier, 2012.
- [77]. Bohren, C. F. et Huffman, D. R. « Absorption and scattering of light by small particles ». New York : John Wiley et sons, 1988.
- [78]. T. Ebbesen, « L'alchimie du vide. Interactions lumière-matière en chimie physique », *La lettre du Collège de France*, n° 44, Art. n° 44, mars 2019, doi: 10.4000/lettre-cdf.4228.
- [79]. Nina M. « Etude des mécanismes de contamination particulaire et des moyens de détection », Université Montpellier, 2016. Français Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01809003/document>.
- [80]. Claud L. « Etude du fonctionnement d'un compteur proportionnel rempli de gaz carbonique sous pression » page 41-42 disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00212741>
- [81]. Brunnhofer G. et al. « Conception et validation d'un compteur de particules holographique ». *Sensors*. 2019 ; 19 : 4899

- [82]. G. Pan et H. Meng, « Digital In-line Holographic PIV for 3D Particulate Flow Diagnostics », Proceedings of 4th International Symposium on Particle Image Velocimetry, janv. 2001.
- [83]. Gire J., Denis L., et al., Digital holography of particles : Benefits of the « invers problem » 2008 ;19 : 074005
- [84]. Murata S., Yasuda N. Potential of digital holography in particle measurement. Opt. Laser Technol. 2001 ; 32 : 567-574.
- [85]. « Le comptage particulaire ». <https://www.isor.fr/ref/comptage-particulaire.html> (consulté le mars 12, 2021).
- [86]. <http://sbssa-lille.discipline.ac-lille.fr/ressources-par-sections/bacpro/baccalaureat-professionnel-hygiene-proprete-sterilisation/documentation/techniques-professionnelles-de-proprete>
- [87]. AFNOR, Norme française NF S 90-351. « Etablissement de santé- Zones à environnement maîtrisé- Exigences relatives à la maîtrise de la contamination aéroportée ». Version de 6 Avril 2013
- [88]. S. Ortu et D. Aspec, « Les salles propres selon la nouvelle norme ISO 14644 : Conception et surveillance », p. 70.
- [89]. Société française d'Hygiène Hospitalier, « traitement d'air au bloc opératoire pour la prévention du risque infectieux en chirurgie » AVIS N° 2018-02/SF2H du 23 mars 2018 disponible sur : <https://sf2h.net/wp>
- [90]. « Guide-contrôles-et-mesures-en-hygiène-hospitalière.pdf ». Consulté le: octobre 25, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.france-air.com/wp-content/uploads/2020/06/Guide-contr%C3%B4les-et-mesures-en-hygi%C3%A8ne-hospitali%C3%A8re.pdf>.
- [91]. Schulster L., Chinn RY., « Guidelines for environmental infection control in health-care facilities ». Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC) MMWR Recomm Rep. 2003 ; 52 : 1-42
- [92]. « Surveillance microbiologique de l'environnement dans les établissements de santé : air, eaux et surface. Ministère de la Santé. Comité Technique des Infections Nosocomiales », *Repias : Réseau de Prévention des Infections Associées aux Soins*.
- [93]. Huart C. « Le traitement de l'air en milieu hospitalier » : place des unités mobiles : expérience en oncologie pédiatrique au CHU de Poitiers, 2011
- [94]. Surveillance des bactéries et des aérosols en suspension dans les différents services des hôpitaux - Utilité du comptage des particules dans l'investigation des bactéries en suspension dans l'air: 2015, Band 22, Nr ; 4, 670-673

- [95]. « article_scientifique_vague28_0pdf_articles_La-Vague-28-VF-23-26.pdf ». Consulté le: octobre 12, 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://www.a3p.org/wp-content/uploads/2009/06/article_scientifique_vague28_0pdf_articles_La-Vague-28-VF-23-26.pdf.
- [96]. Association française de normalisation (1999). Norme NF EN ISO 14698 - Salles propres et environnements maîtrisés apparentés - Maîtrise de la biocontamination
- [97]. J-P., Gangneux, J., et al. (2002). « Surveillance mycologique de l'environnement pour la prévention de l'aspergillose invasive » : propositions de standardisation des méthodologies et des modalités d'application. La Presse médicale, n°18, 841-848.
- [98]. Pasquarella, C., Pitzurra, O., et Savino, A. (2000). L'indice de contamination microbienne de l'air. Journal of Hospital Infection, 46 (4), 241–256. Doi : 10.1053 / jhin.2000.0820
- [99]. Y. A. Maher *et al.*, « Variability in Airborne Bacterial and Fungal Population in Educational Dental Hospital, Umm Al-Qura University », International Journal of Health Sciences, n° 2, p. 11, 2017.
- [100]. E. Jumas-Bilak, « Du contrôle microbiologique à l'écologie microbienne », p. 33. (Consulté le 27/01/2021)
- [101]. US FDA « Guidance for industry sterile drug products produced by aseptic processing-current ». Guidance for industry , p. 63, 2004.
- [102]. Guidance for Industry ; « Sterile Drug Products, produced by Aseptic Processing-Current Good Manufacturing Practice ». Environnemental monitoring/ monitoring methods, p. 34, 2004
- [103]. Frongia M. « Maîtrise de la contamination dans un isolateur de répartition aseptique : expérience menée lors de la qualification initiale d'un nouvel équipement ajouté au sein d'un isolateur de répartition », thèse université de Nantes, 2013
- [104]. UNICLIMA, « Guide du traitement d'air en milieu hospitalier. Les guides pratiques d'UNICLIMA », édition SEPAR. 1991.
- [105]. Atkinson J. Chartier Y. et al. « Ventilation naturelle pour lutter contre les infections en milieu de soins ». Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2010 (https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation/fr/, consulté le 13 avril 2020).
- [106]. James A., Yves C., et al., « Ventilation naturelle et lutte contre les infections en milieu des soins » ; Organisation Mondiale de Santé 2010
- [107]. « WHO_CDS_EPR_2007.6_fre.pdf ». Consulté le: mars 04, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69976/WHO_CDS_EPR_2007.6_fre.pdf.

- [108]. « Directives pour la lutte contre les infections environnementales dans les établissements de soins de santé ; recommandations du CDC et du Comité consultatif sur les pratiques de lutte contre les infections dans les soins de santé (HICPAC) ». <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/11303> (consulté le mars 04, 2021).
- [109]. P. Heiselberg, « Principles of hybrid ventilation », août 2002, Consulté le : mars 04, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20346312..>
- [110]. Organisation Mondiale de Santé, Centre de traitement des infections respiratoires aiguës sévères, Mars 2020
- [111]. « Utilisation de la ventilation naturelle pour lutter contre les infections en milieu de soins ». <https://styluspub.presswarehouse.com/browse/book/9789242547856/Utilisation-de-la-ventilation-naturelle-pour-lutter-contre-les-infections-en-milieu-de-soins> (consulté le mars 04, 2021).
- [112]. « Recommandation provisoires de prévention et de contrôle les infections pour les patients atteints de coronavirus suspecté ou confirmé à 2019 dans les établissements de santé » :<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/infection-control/control-recommandations.html> consulté le 20 mars 2020.
- [113]. World Health Organization : Infection prevention and control during health care when novel coronavirus infection is suspected : interim guidance : <http://www.who.int/docs/default-source/coronavirus/clinical-management-of-novel-cov>.
- [114]. La direction des communications du ministère de la santé et des services. « Guide de qualité de l'air intérieur dans les établissements du réseau de la santé et des services sociaux ». Bibliothèque et Archives nationales du Canada 2011
- [115]. Robert McDowall. « Fundamentals of HVAC systems », 1 st edition. Atlanta, GA 30329, USA : Elsevier Ltd ;2006.
- [116]. Centrs for Disease Control and Prevention. MMWR Morb Mortal Wkly Rep [serial on the Internrt] 1994 43 ((RR-13)) : 1-132. Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care facilities.
- [117]. Miller-Leiden S. Lobascio C. Nazaroff WW. Macher JM. Effectiveness of in-room air filtration and dilution ventilation for teburculosis infection control. J Air Waste Manag Assoc. 1996 ; 46((9)) : 869-882.
- [118]. « NOVADIA CTA double-flux avec adiabatique | Contact COOLEA ». <https://www.usinenouvelle.com/expo/novadia-cta-double-flux-avec-adiabatique-p215289.html> (consulté le mars 04, 2021).

- [119]. Dryden GE., Dryden SR., Brown DG., et al. « Performance des filtres bactériens. Soins respiratoires ». ASHRAE 2006. Reference web : <http://www.ashrae.org>
- [120]. France Air, Choix des filtres en fonction des polluants et des tailles de particules. Site web : <https://www.france-air.com/services/reglementation-regles-de-lart/regles-de-lart-en-hygiene-hospitaliere/regles-de-lart-en-filtration/>
- [121]. Kadr B., « Etude et modilisation du colmatage d'un filtre plisse ». Institut national polytechnique de Toulouse, 2005. Thèse
- [122]. « 1205836952DJDCJz.pdf ». Consulté le : mars 04, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.econologie.com/fichiers/partager/1205836952DJDCJz.pdf>.
- [123]. « La classification des filtres ». <http://www.ventilation-industrie.fr/la-classification-des-filtres> (consulté le mars 04, 2021).
- [124]. O plus R. Salle blanche, 29 mars 2020. Site web : <https://oplusr-salle-blanche.com/salle-blanche/filtration/#:~:text=Les%20filtres%20HEPA%20sont%20les,plus%20exigeantes%2C%20telle%20la%20micro%C3%A9lectronique.&te>
- [125]. Vectori, Classification des filtres à très haute efficacité (EPA, HEPA, et ULPA), 9, rue du Vernay - 69320 FEYZIN, Site web : www.vectori.com
- [126]. « 20170622-Avis-expert-Class-Filtres.pdf ». Consulté le : mars 04, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://aicvf.org/comite-technique/files/2017/07/20170622-Avis-expert-Class-Filtres.pdf>.
- [127]. National Collaborating Centre for Environmental Health. An introduction to SARS-CoV-2 Vancouver, BC : NCCEH ; 2020 Apr 17. Disponible sur : <https://ncceh.ca/documents/evidence-review/introduction-sars-cov-2>.
- [128]. Tina C., et Juliette O., « La COVID-19 dans les espaces clos-Mesures de désinfection de l'air et des surfaces ». Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 28 Juillet 2020
- [129]. [129] W. Kowalski, « Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook » : UVGI for Air and Surface Disinfection. Springer Science & Business Media, 2010. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-01999-9>.
- [130]. International Ultraviolet Association. IUVA Fact sheet on UV disinfection for COVID-19. Chevy Chase, MD : IUVA ; 2020 Mar. Available from : <https://www.iuva.org/IUVA-Fact-Sheet-on-UV-Disinfection-for-COVID-19>.
- [131]. Seyer A., Sanlidag T., « Solar ultraviolet radiation sensitivity of SARS-CoV-2 ». Lancet Microbe. 2020 2020 ;1(1) : e8-e9.

- [132]. Houser KW., « Ten facts about UV radiation and COVID-19 ». LEUKOS. 2020;16(3):177-8. Disponible sur : <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1760654>.
- [133]. World Health Organization « Ultraviolet radiation as a hazard in the workplace ». Geneva
- [134]. Walker CM., Ko G., « Effet de l'irradiation germicide ultraviolette sur les aérosols viraux ». Environ Sci, ech. 2007 ;41(15) : 5460-5.
- [135]. [135] Rodríguez C, Ródenas J, Navarro N., et al. « Evaluation of the effectiveness of the SurePure Turbulator ultraviolet-C irradiation equipment on inactivation of different enveloped and non-enveloped viruses inoculated in commercially collected liquid animal plasma ». PLoS ONE. 2019;14(2)
- [136]. Bianco A., et al. « UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication ». medRxiv. 2020;Pre-Print.
- [137]. Robertson JT. « Electrostatic technology for surface disinfection in healthcare facilities ». Infect Control. 2016 Oct 14.
- [138]. Castaño N., et al. « Fomite transmission and disinfection strategies for SARS-CoV-2 and related viruses ». arXiv. 2020 May 23 ; Pre-print:40.
- [139]. Patel MK., Ghanshyam C., « Fundamentals of electrostatic spraying: Basic concepts and engineering practices. Hershey, PA : IGI Global ; 2020
- [140]. Clorox Company. Clorox Commercial Solutions® Clorox® Total 360™ systèmes et solutions. [updated n.d.; cited 2020 Jul 17].
- [141]. Lyons S., Harrison M., Law S., « Electrostatic application of antimicrobial sprays to sanitize food handling and processing surfaces for enhanced food safety. J Physics Conf Series ». 2011 ; 301 : 012014.
- [142]. Chen T, Nicol A-M. « Reducing COVID-19 transmission through cleaning and disinfection of household surfaces [guidance document]. National Collaborating Centre for Environmental Health; 2020 Apr 28.
- [143]. Cadnum J., et al., « Evaluation of a novel sporicidal spray disinfectant for decontamination of surfaces in healthcare. Open Forum Infect Dis. 2019 ; 6(Suppl_2): S438-S.
- [144]. Archer J., et al., « Evaluation of electrostatic sprayers for use in a personnel decontamination line protocol for biological contamination incident response operations ». Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2018 Oct. Report No.: EPA/600/R-18/283.
- [145]. Boyce J., « Nouvelles approches de décontamination des chambres après le congé des patients ». Infect Control Hosp Epidemiol. 2009 ;30(6) :515-7.

- [146]. Webb JD. « Une voie rapide pour éliminer les agents pathogènes environnementaux grâce à la nouvelle technologie de peroxyde d'hydrogène ionisé ». 2011
- [147]. Kimball S., Bodurtha P., Gudgin D., « A roadmap for investigation and validation of dry fogging as a decontamination technology ». Ottawa, ON: Defence Research and Development Canada; 2014. Report No.: RMC TR CPT-1304
- [148]. Masotti F., Cattaneo S., Stuknytė M., Noni I., « Airborne contamination in the food industry : an update on monitoring and disinfection techniques of air. Trends Food Sci Technol ». 2019;90:147-56.
- [149]. Ikeuchi USA Inc. Dry Fog Humidifier AKIMist® “E”. Athens, GA: Ikeuchi. Available from: <https://www.ikeuchi.us/eng/products/unit/1003>.
- [150]. Burfoot D., Hall K., Brown K., Xu Y., Brumisation pour la désinfection des usines et équipements de transformation des aliments. Trends Food Sci Technol. 1999;10(6-7):205-10
- [151]. Malik DJ. L'utilisation courante des systèmes de décontamination à la vapeur de peroxyde d'hydrogène dans les soins de santé. J Hosp Infect. 2013 Apr;83(4):354-5
- [152]. Best E., et al. Effectiveness of deep cleaning followed by hydrogen peroxide decontamination during high Clostridium difficile infection incidence. J Hosp Infect. 2014;87(1):25-33.
- [153]. Galvin S., et al. Evaluation of vaporized hydrogen peroxide, Citrox and pH neutral Ecasol for decontamination of an enclosed area: a pilot study. J Hosp Infect. 2012 Jan;80(1):67-70
- [154]. Park G., Boston D., Kase J., Sampson M., Sobsey M. Évaluation de l'application à base de liquide et de brouillard d'une solution d'acide hypochloreux Sterilox pour l'inactivation de surface du norovirus humain. Appl Environ Microbiol. 2007 2007;73(14):4463-8.
- [155]. Bentley K., Dove B., Parks S., Walker J., Bennett A. Hydrogen peroxide vapour decontamination of surfaces artificially contaminated with norovirus surrogate feline calicivirus. J Hosp Infect. 2012;80(2):116-21.
- [156]. Gregersen J-P., Roth B. « Inactivation of stable viruses in cell culture facilities by peracetic acid fogging. Biologicals ». 2012 ;40(4) :282-7.
- [157]. « Article R4323-95 - Code du travail - Légifrance ». https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000018531306/ (consulté le décembre 13, 2020).
- [158]. « WHO_EVD_PCV_BurkinaFaso_14_fre.pdf ». Consulté le: mars 7, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/148137/WHO_EVD_PCV_BurkinaFaso_14_fre.pdf?sequence=1, 19 décembre 2014.

- [159]. H. Honda et K. Iwata, « Personal protective equipment and improving compliance among healthcare workers in high-risk settings »:, *Current Opinion in Infectious Diseases*, vol. 29, n° 4, p. 400-406, août 2016, doi: 10.1097/QCO.0000000000000280.
- [160]. CDC. Acquired immune deficiency syndrome (AIDS): « precautions for clinical and laboratory staffs ». *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 1982; 31:577–580
- [161]. Garner JS, Simmons BP. « CDC guideline for isolation precautions in hospitals. *Infect Control* » 1983; 4:245–325
- [162]. WHO. « Infection prevention and control during healthcare for probable or confirmed cases of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) infection ». Interim guidance 2015; 2015. \$
http://www.who.int/csr/disease/coronavirus_infections/ipc-mers-cov/en/.
- [163]. EU-OSHA - Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (2009). L'évaluation des risques. Consulté le 9 mars, 2021.
- [164]. Directive 89/656 / CEE du 30 novembre 1989 concernant les prescriptions minimales de santé et de sécurité pour l'utilisation par les travailleurs des équipements de protection individuelle sur le lieu de travail.
- [165]. Directive 98/24 / CE du 7 avril 1998 relative à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés aux agents chimiques au travail (quatorzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89 / 391 / CEE)
- [166]. Directive 2000/54 / CE du 18 septembre 2000 du Parlement européen sur la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques au travail.
- [167]. Manuel technique OSHA, Section VIII: Chapitre 1 « Vêtements de protection chimique ».
- [168]. Van Valen, E., Wekking, E., van der Laan G., Sprangers, M., van Dijk F. « Le cours de l'encéphalopathie chronique induite par solvant : une revue systématique». *NeuroToxicology* 30, 2009, 1172-1186
- [169]. Walker, JT, Girl, K., Pottage, T., Parks, S., Davies, A., Bennet, AM, Leculier, C., Raoul, H., 'Combinaisons de confinement biologique utilisées dans les installations microbiologiques de haut confinement et par les intervenants d'urgence, *Textiles for Hygiene and infection control*, Woodhead Publishing, Oxford, 2011, pp. 173-185
- [170]. Conseil des communautés européennes. Directive 93/95/CEE du Conseil du 29 octobre 1993 modifiant la directive 89/686/CEE concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux équipements de protection individuelle (EPI). *Journal officiel des communautés européennes* du 09/11/1993 ; L 276 : 11-12.

- [171]. WHO. Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public : when and how to use masks. Geneva, Switzerland : WHO; 2020 [updated 2020 Aug 5]; Available from: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks>.
- [172]. Institute of Medicine. Reusability of facemasks during an influenza pandemic: facing the flu. Washington, DC: The National Academies Press; 2006
- [173]. Juliette O. « Centre de collaboration nationale en santé environnementale, les masques et la pandémie de covid19 ». Consulté le 19 Octobre, 2020.
- [174]. Li Y. « The secret behind the mask. Indoor Air ». 2011 Apr ;21(2) :89-91. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21392117>.
- [175]. Rengasamy S., Eimer B., Shaffer R. « Protection respiratoire simple : évaluation de la performance de filtration des masques en tissu et des matériaux textiles courants » 20–1000 nm size particles. Ann Occup Hyg. 2010 ;54(7) :789-98
- [176]. Agence de la santé publique du Canada. Coronavirus disease (COVID-19) : « prévention et risques ». Ottawa, ON : PHAC ; 2020 [updated Sep 15 ; cited 2020]
- [177]. Lee S., Hwang D., Li H., Tsai C., Chen C., Chen J.. «Évaluation sélective de la taille des particules de la protection des respirateurs FFP et des masques chirurgicaux aux normes européennes contre les particules testées sur un sujet humain ». J Healthc Eng. 2016.
- [178]. Davies A., Thompson K-A., Giri K., Kafatos G., Walker J., Bennett A., Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? Disaster Med Public Health Prep. 2013 ;7(4) : 413-8.
- [179]. Shakya K., Noyes A., Kallin R., Peltier R. Evaluating the efficacy of cloth facemasks in reducing particulate matter exposure. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2017 May 1;27(3):352-7.
- [180]. Bae S., et al. Effectiveness of surgical and cotton masks in blocking SARS-CoV-2: a controlled comparison in 4 patients. Ann Intern Med. 2020. Available from: <https://doi.org/10.7326/M20-1342>.
- [181]. Association française de normalisation (AFNO R). Norme EN 14683 « Masques à usage médical – Exigences et méthodes d’essai » Aout 2014BV
- [182]. Groupe d’étude sur le risque d’exposition des soignants (GERES), Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Ministère de la santé et des sports. Guide des matériels de sécurité et des dispositifs barrières. GERES 2010 : 1-83.

- [183]. « Covid-19 : les visières de protection sont-elles efficaces pour empêcher la transmission du virus ? » https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2020/09/09/les-visieres-de-protection-sont-elles-efficaces-pour-empêcher-la-transmission-du-virus_6051546_4355770. (Consulté le 09 septembre,2020)
- [184]. Centre de Coordination de Lutte Contre les Infections Nosocomiales (CCLIN), « recommandations pour une tenue vestimentaire adaptée des personnels soignants ». Document téléchargé sur site internet : www.cclin.sudouest.com (consulté le février, 21, 2021)
- [185]. Isabelle B. Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents des travail et des maladies professionnelles. Document pdf téléchargée sur site internet : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20143> (consulté le février, 22, 2021).
- [186]. « Degré d'efficacité des combinaisons de protection contre les agents biologiques | NOSO INFO ». <http://www.nosoinfo.be/nosoinfos/degre-defficacite-des-combinaisons-de-protection-contre-les-agents-biologiques/> (consulté le févr. 26, 2021).
- [187]. « 61_template.pdf ». Consulté le : févr. 23, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.afidtn.com/medias/annuaire_bibliographie/61_template.pdf.
- [188]. M.-B. Cleenewerck, « Gants de protection et santé au travail », Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement, vol. 71, n° 3, p. 398-400, juin 2010, doi: 10.1016/j.admp.2010.03.029.
- [189]. « Gants en nitrile, en latex ou en vinyle : quelle est la différence ? », ALDENAGLOVES.FR, févr. 01, 2018. <https://aldenagloves.fr/gants-nitrile-latex-vinyle-difference/> (consulté le févr. 23, 2021).
- [190]. Isabelle B. INRS. « Prise en charge des patients atteints d'infection liée à un risque épidémique ». ED 6306, 1^{re} édition 2008. (Consulté le 25/02/2021) : (<https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6306/ed6306.pdf>)
- [191]. J. Ng-Kamstra, H. T. Stelfox, K. Fiest, J. Conly, et J. P. Leigh, « Perspectives sur l'équipement de protection individuelle dans les établissements de soins actifs durant la pandémie de COVID-19 », *CMAJ*, vol. 192, n° 49, p. E1785-E1790, déc. 2020, doi: 10.1503/cmaj.200575-f.
- [192]. The First Affiliated Hospital — Zhejiang University School of Medicine. Handbook of COVID-19 prevention and treatment. Hangzhou (China) : The Jack Ma Foundation and Alibaba Foundation; 2020. Accessible ici : gmcc.alibabadoctor.com/prevention-manual/detail?content_id=0 (consulté le 26 février 2020)

- [193]. J. Ng-Kamstra, H. T. Stelfox, K. Fiest, J. Conly, et J. P. Leigh, « Perspectives sur l'équipement de protection individuelle dans les établissements de soins actifs durant la pandémie de COVID-19 », *CMAJ*, vol. 192, n° 49, p. E1785-E1790, déc. 2020, doi: 10.1503/cmaj.200575-f.
- [194]. « EU_LIT_FR_Paint.pdf ». Consulté le: févr. 28, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.dupontdenemours.be/content/dam/dupont/amer/us/en/personal-protection/public/documents/fr/EU_LIT_FR_Paint.pdf.
- [195]. P. Morissette, « Évolution de la qualité microbienne de l'air circulant dans les centrales de traitement de l'air (CTA) d'un centre hospitalier », p. 100.
- [196]. Eduard, W., Blomquist, G., Herbert B., et Kulvik Heldal, K, (2001). Recognition errors in the quantification of micro-organisms by fluorescence microscopy. *Annals of Occupational Hygiene* 45(6): 493-498.
- [197]. Maron, P-A, Lejon, DPH, Carvalho, E, Bizet, K, Lemanceau, P, Ranjard, L et Mougel, C, (2005). Assessing genetic structure and diversity of airborne bacterial communities by DNA fingerprinting and 16S rDNA clone library. *Atmospheric Environment* 39(20): 3687-3695.
- [198]. Hinds, W.C. 1999. *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, 2nd edn. (Wiley-Interscience), New-York
- [199]. Welty, S. 2009. *Swine H1N1 Influenza A : Transmission of Viruses in Indoor Air : HVAC System Protection Options In Federal Interagency Committee for Indoor Air Quality* (Environmental Protection Agency).
- [200]. J. H. Verbeek *et al.*, « Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff », *Cochrane Database of Systematic Reviews*, n° 4, 2020, doi: 10.1002/14651858.CD011621.pub4.
- [201]. L. M. Casanova *et al.*, « Assessment of Self-Contamination During Removal of Personal Protective Equipment for Ebola Patient Care », *Infect. Control Hosp. Epidemiol.*, vol. 37, n° 10, p. 1156-1161, oct. 2016, doi: 10.1017/ice.2016.169.
- [202]. G. Birgand, S. Kerneis, et J.-C. Lucet, « Épidémiologie ; Transmission », p. 8, 2021
- [203]. le portail officiel du coronavirus au Maroc, Ministère de santé Royaume du Maroc
- [204]. « Dépôts_atmosphériques.pdf ». Consulté le: avr. 13, 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://cerea.enpc.fr/fich/support_cours/POLU1_20122013/D%C3%A9p%C3%B4ts_atmosph%C3%A9riques.pdf.

- [205]. LABORDE, J.C. Le comportement des aérosols : de l'installation à l'environnement. CFA 2005 - 21ème congrès français sur les aérosols, 14-15/12/05, Paris.
- [206]. Md. A. Islam, A. Ikeguchi, et T. Naide, « Concentrations of Aerosol Numbers and Airborne Bacteria, and Temperature and Relative Humidity, and Their Interrelationships in a Tie-Stall Dairy Barn », *Animals*, vol. 9, n° 12, p. 1023, nov. 2019, doi: 10.3390/ani9121023.
- [207]. Y. P. Guo, Y. Li, et P. L. H. Wong, « Environment and body contamination : A comparison of two different removal methods in three types of personal protective clothing », *American Journal of Infection Control*, vol. 42, n° 4, p. e39-e45, avr. 2014, doi : 10.1016/j.ajic.2013.12.021.
- [208]. « Lot de 100 Cagoules Tyvek 500 type PB 6 | Dupont De Nemours ». <https://www.vetementpro.com/accessoires-jetables/2503-dupont-cagoule-tyvek-500.html> (consulté le févr. 25, 2021).
- [209]. C. S.-J. Tsai, « Contamination and Release of Nanomaterials Associated with the Use of Personal Protective Clothing », *The Annals of Occupational Hygiene*, vol. 59, n° 4, p. 491-503, mai 2015, doi: 10.1093/annhyg/meu111.
- [210]. Mandal, J., and H. Brandl. 2011. *Bioaerosols in Indoor Environment - A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations. The Open Environmental & Biological Monitoring Journal. 4*
- [211]. « Notions - Comment peut-on être exposé à un toxique - CNESST ». <https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/toxicologie/notions-toxicologie/Pages/03-comment-expose-toxique.aspx> (consulté le avr. 09, 2021).
- [212]. R. D. Brook et S. Rajagopalan, « Particulate matter, air pollution, and blood pressure », *Journal of the American Society of Hypertension*, vol. 3, n° 5, p. 332-350, sept. 2009, doi: 10.1016/j.jash.2009.08.005.
- [213]. K. Shkirkova, K. Lamorie et al. « **Effets des particules ambiantes sur les tissus vasculaires** » **un examen** J. Toxicol. Environ. Santé Partie B , 23 (2020) , pp. 319 - 350 , 10.1080 / 10937404.2020.1822971
- [214]. « LIT_FR_Cyto.pdf ». Consulté le: avr. 22, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.dupontdenemours.fr/content/dam/dupont/amer/us/en/personal-protection/public/documents/fr/LIT_FR_Cyto.pdf.
- [215]. I. Katoh *et al.*, « Potential Risk of Virus Carryover by Fabrics of Personal Protective Gowns », *Front. Public Health*, vol. 7, 2019, doi: 10.3389/fpubh.2019.00121.

- [216]. F. Tanabe, Y. Uchida, S. Arakawa, et M. Morimoto, « Increased adhesion of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* to the surface of personal protective clothing damaged by friction during nursing action », *American Journal of Infection Control*, vol. 48, n° 4, p. 416-419, avr. 2020, doi: 10.1016/j.ajic.2019.08.028.
- [217]. Y. Zhai, X. Li, T. Wang, B. Wang, C. Li, et G. Zeng, « A review on airborne microorganisms in particulate matters: Composition, characteristics and influence factors », *Environment International*, vol. 113, p. 74-90, avr. 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.01.007.
- [218]. K. Osei-Bonsu *et al.*, « Alternative doffing strategies of personal protective equipment to prevent self-contamination in the health care setting », *American Journal of Infection Control*, vol. 47, n° 5, p. 534-539, mai 2019, doi: 10.1016/j.ajic.2018.11.003.
- [219]. L. K. P. Suen *et al.*, « Self-contamination during doffing of personal protective equipment by healthcare workers to prevent Ebola transmission. », *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, déc. 2018, doi: 10.1186/S13756-018-0433-Y.
- [220]. N. van, T. Bushmaker, et al. « **Aérosol et stabilité de surface du SARS-CoV-2 par rapport au SARS-CoV-1** » 382 (2,02 mille), p. 1564 - 1567 , 10,1056 / NEJMc2004973
- [221]. S. Mukherjee, S. Boral, H. Siddiqi, A. Mishra, et B. C. Meikap, « Present cum future of SARS-CoV-2 virus and its associated control of virus-laden air pollutants leading to potential environmental threat – A global review », *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, n° 2, p. 104973, avr. 2021, doi: 10.1016/j.jece.2020.104973.
- [222]. L. Setti *et al.*, « Airborne Transmission Route of COVID-19 : Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough. », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, avr. 2020, doi: 10.3390/IJERPH17082932.
- [223]. B.-H. Ryu, Y. Cho, O.-H. Cho, S. Hong, S.-J. Kim, et S. J. Lee, « Environmental contamination of SARS-CoV-2 during the COVID-19 outbreak in South Korea. », *American Journal of Infection Control*, août 2020, doi: 10.1016/J.AJIC.2020.05.027.
- [224]. Katoh, I., et al., : Risque potentiel de report de virus par des tissus de robes de protection personnelle. devant. Guérir le public. 7, 3-(2019). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00121>
- [225]. « les_moyens_de_protections._vf_25_avril_2.pdf ». Consulté le : mars 19, 2021. [En ligne]. Disponible sur:
http://www.ineas.tn/sites/default/files//les_moyens_de_protections._vf_25_avril_2.pdf.



Serment de Galien

Je jure en présence des maîtres de cette faculté :

- D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.
- D'exercer ma profession avec conscience, dans l'intérêt de la santé publique, sans jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.
 - D'être fidèle dans l'exercice de la pharmacie à la législation en vigueur, aux règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.
- De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession, de ne jamais consentir à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.
- Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois méprisé de mes confrères si je manquais à mes engagements.

جامعة محمد الخامس
كلية الطب والصيدلة
- الرباط -



قسم الصيدلي

بسم الله الرحمن الرحيم

أقسم بالله العظيم

- أن أراقب الله في مهنتي

- أن أبجل أساتذتي الذين تعلمت على أيديهم مبادئ مهنتي وأعترف لهم بالجميل وأبقى دوما وفيا لتعاليمهم.

- أن أزاول مهنتي بوازع من ضميري لما فيه صالح الصحة العمومية، وأن لا أقصر أبدا في مسؤوليتي وواجباتي تجاه المريض وكرامته الإنسانية.

- أن ألتزم أثناء ممارستي للصيدلة بالقوانين المعمول بها وبأدب السلوك والشرف، وكذا بالاستقامة والترفع.

- أن لا أفشي الأسرار التي قد تعهد إلي أو التي قد أطلع عليها أثناء القيام بمهامي، وأن لا أوافق على استعمال معلوماتي لإفساد الأخلاق أو تشجيع الأعمال الإجرامية.

- لأحظى بتقدير الناس إن أنا تقيدت بعهودي، أو أحتقر من طرف زملائي إن أنا لم أف بالتزاماتي.



المملكة المغربية
جامعة محمد الخامس بالرباط
كلية الطب والصيدلة
الرباط



أطروحة رقم: 62

سنة: 2021

التدرج في الثلوث الجسيمي أثناء التعري بعد التدخل في بيئة ملوثة بكوفيد-19

أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم: / / 2021

من طرف

السيد عبد الصمد كروم

المزاد في 29 يونيو 1996 بدمنات

من المدرسة الملكية لمصلحة الصحة العسكرية – الرباط

لنيل شهادة

دكتور في الصيدلة

الكلمات الأساسية: عد الجسيمات؛ تعري؛ معدات الحماية الشخصية؛ تلوث

أعضاء لجنة التحكيم:

رئيس

السيد عبد الإله طريب

مشرف

أستاذ في الصيدلة السريرية

عضو

السيد سفيان الدراجي

عضو

أستاذ في الصيدلة السريرية

السيد أمين إدريس لحلو

أستاذ في علم الأحياء الدقيقة

السيد سيدي ياسر العلوي

أستاذ في الصيدلة الغالينية