



## Analyse des risques d'exposition aux agents biologiques par la gestion graduée du risque (*control banding*)

Par Jacques Lavoie, chercheur  
Prévention des risques chimiques et biologiques

Animation scientifique Bioaérosols et emplois verts  
Octobre 2013

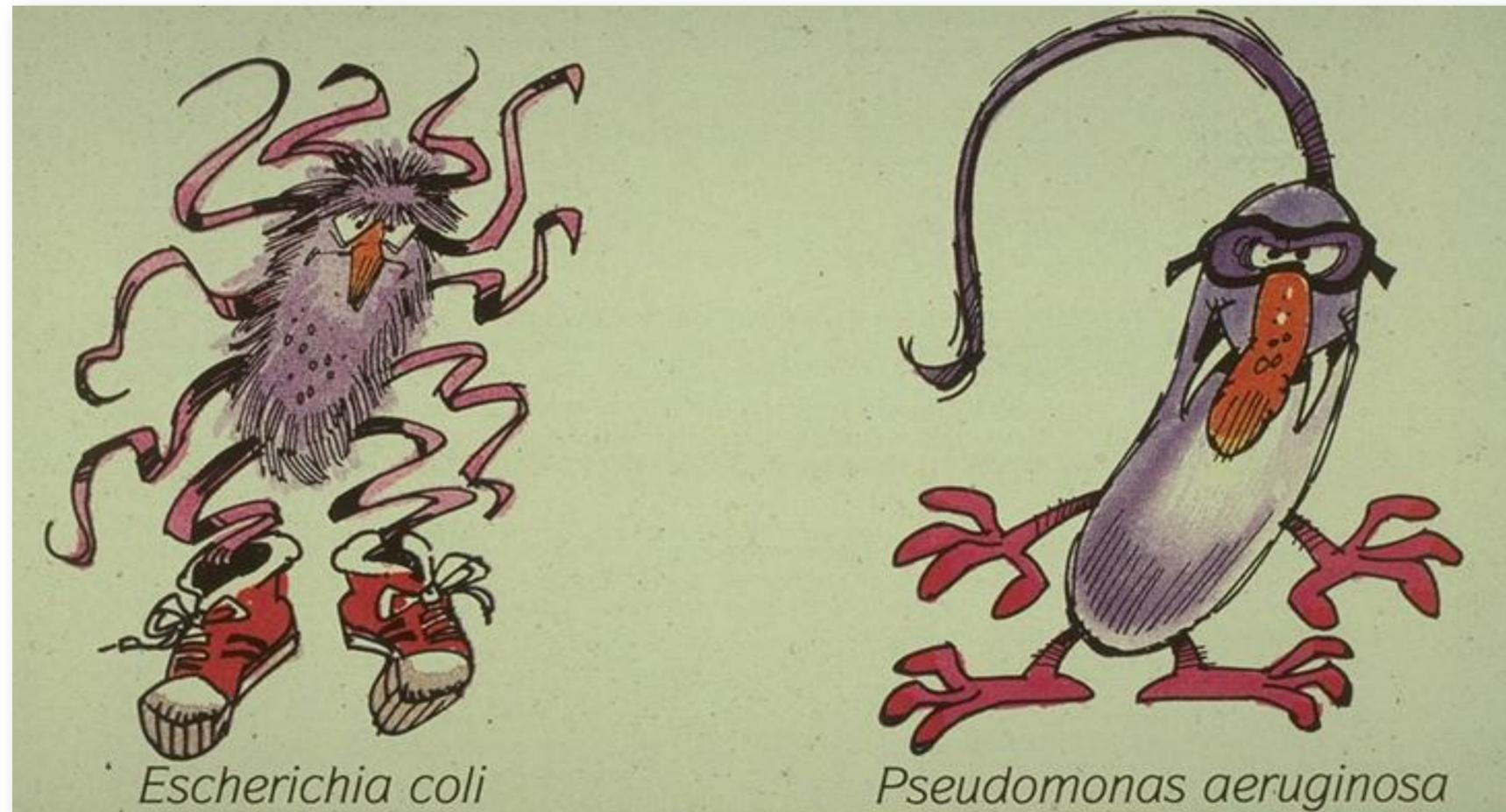
# Introduction

- Les microorganismes sont omniprésents dans notre environnement.
- Lorsqu'il s'agit de leur présence dans l'air, on parle de microorganismes aéroportés ou de bioaérosols.
- L'intérêt envers ces agents a fait augmenter rapidement le bassin des connaissances relatives à leur identification, à leur quantification et à leur présence dans différents milieux de travail.
- Les risques d'exposition aux bioaérosols infectieux suscitent également beaucoup d'intérêts.



# Introduction

- Les dimensions des bioaérosols sont de l'ordre de  $0,02\ \mu\text{m}$  à  $0,25\ \mu\text{m}$  pour les virus, de  $0,3$  à  $15\ \mu\text{m}$  pour les bactéries et de  $1$  à  $50\ \mu\text{m}$  pour les levures et les moisissures.



# Gestion graduée du risque

## Historique

- La gestion graduée du risque ou « *Control Banding* » est une approche semi-qualitative de gestion et d'évaluation des risques à la santé et la sécurité du travail.
- Elle a été développée au début des années 1980 pour les nouvelles substances chimiques et les produits pharmaceutiques n'ayant pas de norme d'exposition.



# Gestion graduée du risque

## Historique

- C'est le cas pour les expositions aux bioaérosols (agents biologiques aéroportés).
- Progressivement, d'autres secteurs, comme celui des nanotechnologies, ont commencé à considérer la gestion graduée du risque.
- Un modèle de gestion graduée du risque a été introduit afin de fournir un guide pratique sur le contrôle des expositions aux nanoparticules.



# Gestion graduée du risque

## Historique

- Ce modèle est utilisé afin de déterminer la bande de contrôle basée sur la sévérité du risque et sur la probabilité d'exposition aux nanoparticules.
- Cet outil se présente comme une matrice qui permet d'analyser le risque à chaque poste de travail, en tenant compte des différentes catégories ou bandes de risque, chacune étant associée à une catégorie de mesures préventives.
- Cette approche permet de hiérarchiser les postes de travail en fonction de leur risque et de prioriser les actions de prévention.



# Gestion graduée du risque

## Historique

- Les catégories de risque sont déterminées en fonction du danger que représente la substance chimique et du potentiel d'exposition.
- Les dangers sont identifiés par les toxicologues selon leurs similitudes avec d'autres produits, leurs propriétés chimique et physique et en fonction des études scientifiques disponibles.
- Les expositions sont, pour leur part, regroupées selon le type de tâche, la durée de l'exposition, la quantité de produits utilisée ainsi que son indice de volatilité pour les liquides ou d'empoussièrement pour les substances solides.



# Gestion graduée du risque

## Historique

- La sommation de ces regroupements pondérés selon leur importance permet de classer la substance dans sa bande correspondante.
- Chaque catégorie de risque ou bande est associée à un niveau de mesures préventives qui permet à l'utilisateur de déterminer les moyens de contrôle adéquats.
- Comme le recommande Maidment (1998), ces mesures de prévention devraient se limiter à 4 ou 5 bandes.



# Bandes associées aux nanoparticules (Paik et coll., 2008)

		PROBABILITÉ D'EXPOSITION			
		Faible (0-25) <sup>1</sup>	Moyenne (26-50)	Élevée (51-75)	Très élevée (76-100)
D A N G E R	<b>Très élevé (76-100)</b>	NR <sup>2</sup> 3	NR 3	NR 4	NR 4
	<b>Élevé (51-75)</b>	NR 2	NR 2	NR3	NR 4
	<b>Moyen (26-50)</b>	NR 1	NR 1	NR 2	NR 3
	<b>Faible (0-25)</b>	NR 1	NR 1	NR 1	NR 2

<sup>1</sup> Nombre de points alloués.

<sup>2</sup> Niveau de risque – NR 1 : Bonnes pratiques et ventilation générale; NR 2 : Mesures d'ingénierie, extraction de l'air; NR 3 : Confinement; NR 4 : Avis d'expert



# Gestion du risque

## Historique

- Les dangers considérés sont la réactivité de surface, la taille, la forme, la solubilité, la cancérogénicité, la toxicité sur le système reproductif, la mutagénicité et la toxicité des nanoparticules.
- La toxicité de la substance mère, c'est-à-dire du même matériau, mais dont la dimension est supérieure, est également considérée.
- C'est la sommation de ces caractéristiques pondérées qui permet de classer la substance dans sa bande ou catégorie de danger.
- Zalk *et al.*, en 2009 ont amélioré et modifié les catégories de risque.



# Gestion graduée du risque

## Protection respiratoire contre les bioaérosols

- Jusqu'à présent, aucune approche de gestion graduée du risque n'existait pour les bioaérosols sauf celui de la CSA.
- La CSA, dans sa nouvelle norme Z94.4-11 pour le choix de la protection respiratoire contre les risques biologiques, utilise les éléments d'un modèle proposé par McCullough et Brosseau (1999).
- Ce modèle avait été proposé pour la sélection des respirateurs contre les bioaérosols infectieux dans le milieu hospitalier.



# McCullough et Brosseau, 1999

- Le FPC de l'APR est déterminé à partir d'une probabilité d'exposition (C) à l'horizontale et d'un groupe de risque (GR) à la verticale.
- Le rang ou la bande correspondante au niveau d'exposition (C) est égal au quotient du rang du taux de génération (G) par le rang du taux de ventilation (Q):

$$C_{rang} = (G_{rang} / Q_{rang})$$

# Groupe de risque (GR)

- En microbiologie (biosécurité), les microorganismes sont classés selon leur caractère pathogène en quatre groupes de risque.
- On en rencontre trois infectieux (de GR2 à GR4); le premier groupe, le GR1, étant réservé aux microorganismes non infectieux.



# Groupe de risque

## ➤ **GR 1 : Risque faible pour les individus et la communauté**

Tous les agents biologiques qui ne causent pas de maladies chez les travailleurs en santé.

➤ Ex. : *Bacillus subtilis*, *Naegleria gruberi*, bioaérosols en général

## ➤ **GR 2 : Risque moyen pour l'individu et faible pour la communauté**

Il existe des traitements efficaces et des mesures préventives.

➤ Ex. : *Salmonella* spp., *Legionella* spp.



# Groupe de risque

## ➤ **GR 3 : Risque individuel élevé, risque pour la communauté faible**

Pour les agents biologiques où le potentiel d'infection par les aérosols est réel et la maladie causée peut avoir des conséquences sérieuses ou létales.

➤ Ex. : *Mycobacterium tuberculosis*, *Histoplasma capsulatum*, SRAS

## ➤ **GR 4 : Risque élevé pour l'individu et la communauté**

Pour les agents biologiques dangereux et exotiques qui posent un risque individuel élevé et des maladies dangereuses pour la vie et sont souvent intraitables.

➤ Ex. : Lassa fever virus, Ebola virus



# Groupe de risque

## N.B.

- Malgré leur nature peu infectieuse, l'exposition à de grandes concentrations de bioaérosols non nécessairement pathogènes peut aussi mener à des problèmes de santé sérieux (ex. : alvéolite allergique, asthme, poumon du fermier, poumon du boulanger, STEPO, syndrome des égoutiers, etc.).



# Taux de génération (G)

Sources humaines de bioaérosols infectieux	Activités	Rang du taux de génération (G)
Ne parle pas, ne tousse pas et n'éternue pas	Manipulation sans possibilité de génération (ex. : préparation de lamelle microscopique)	1
Tousse ou éternue la bouche recouverte	Manipulation avec faible risque de génération (ex. : mise en culture)	2
Tousse ou éternue la bouche découverte	Manipulation avec haut risque de génération accidentelle (ex. : centrifugation)	3
Thérapie respiratoire, autopsie, dissection	Aérosolisation délibérée (ex. : travaux de recherche)	4

(McCullough et Brosseau, 1999)



# Taux de ventilation (Q)

Endroits	CAH minimal*	Rang du taux de ventilation (Q)
Salle d'opération	25	5
Autopsie, chambre d'isolation	12	4
Soins intensifs, chambre de récupération	6	3
Chambre de patient, entrepôt stérile	4	2
Entrepôt de linge propre ou d'équipement	2	1

\* CAH : Nombre de changement d'air par heure.  
(McCullough et Brosseau, 1999)



# McCullough et Brosseau, 1999

Groupe de risque	Exposition (G/Q)				
	0,0 – 0,5	0,5 – 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 3,5	3,5 – 4,0
<b>GR 1</b>	10*	10	10	10	25
<b>GR 2</b>	10	10	10	25	50
<b>GR 3</b>	10	10	25	50	100
<b>GR 4</b>	10	25	50	100	1000

\*: Correspond aux FPC des APR.



# Norme CSA Z94.4-11

- Utilisent les mêmes paramètres, soit :
  - le groupe de risque (GR);
  - le taux de génération (G);
  - le taux de ventilation (Q).
  
- Le niveau d'exposition est le même :  
$$(C) = G/Q$$

# Gestion graduée du risque (CSA Z94.4)

Groupe de risque	
Pas de maladies ou effets indésirables sur la santé	R1
Rarement grave, prévention/thérapie existe	R2
Grave/mortel, prévention ou thérapie possible	R3
Grave/mortel, prévention ou thérapie non disponible	R4

Taux de génération	
Patient ne tousse pas ou n'éternue pas	G1
Patient tousse et éternue en se couvrant la bouche	G2
Patient tousse et éternue en ne se couvrant pas la bouche	G3
Actes médicaux produisant des aérosols	G4

Niveau de contrôle	
Ventilation déficiente ; < 3 RAH*	C1
Couloir ou chambre de patient ; 3 à 6 RAH	C2
Pression négative, laboratoire, salle d'autopsie ; 6 à 12 RAH	C3
Chirurgie > 12 RAH	C4

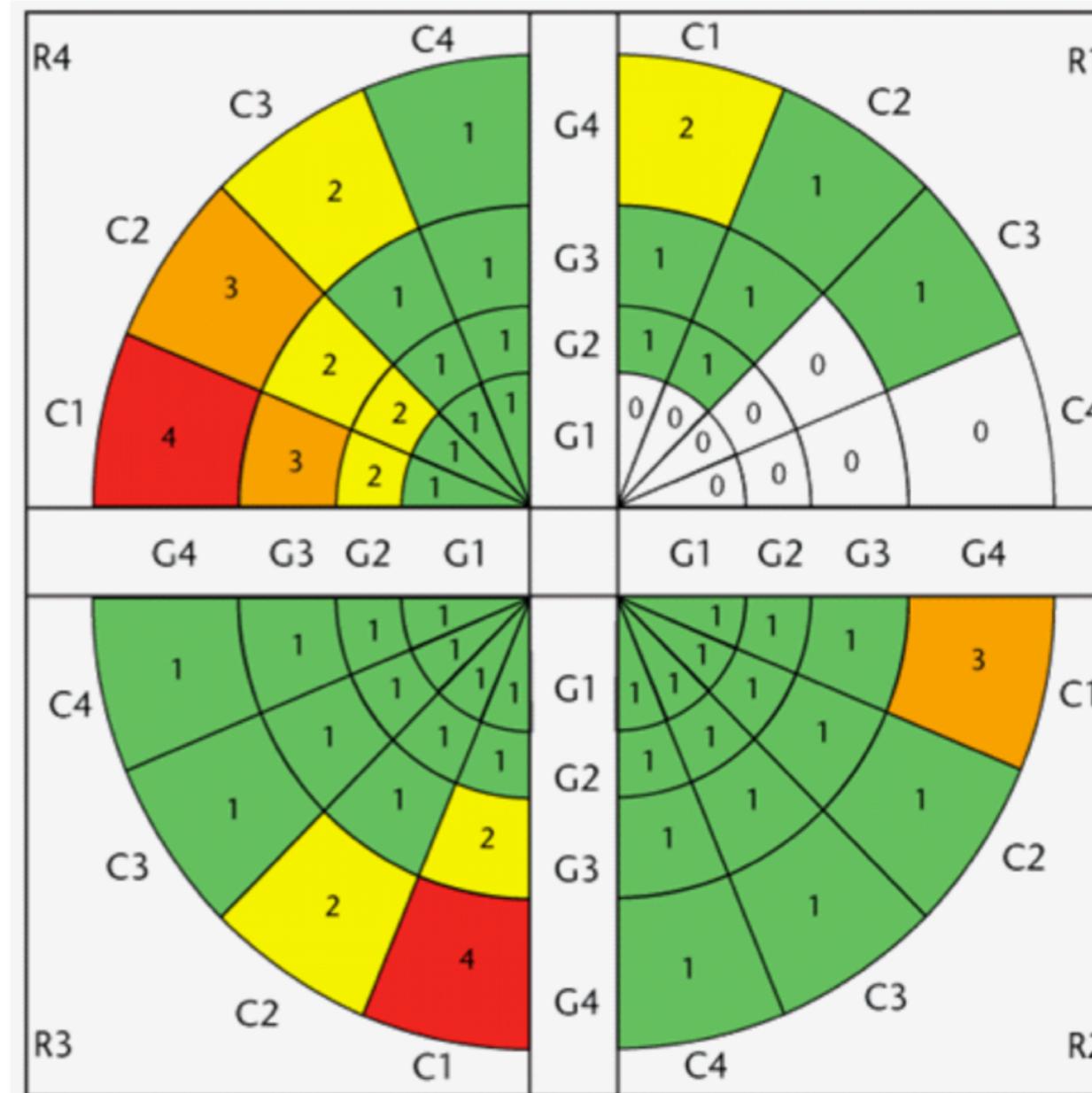


Figure 2

Spécifique aux établissements de la santé

# Gestion graduée du risque (CSA Z94.4)

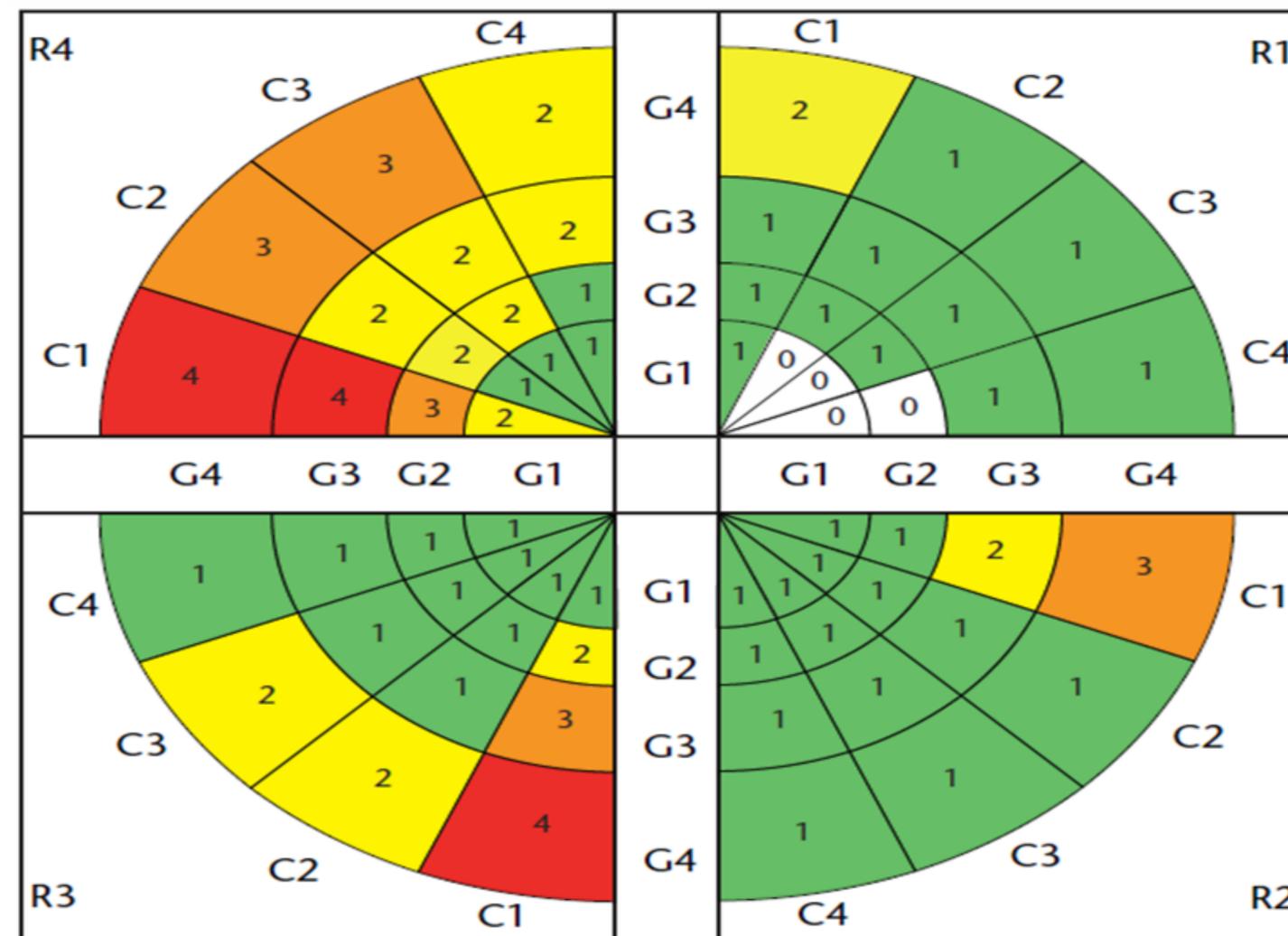
Groupe de risque	
Pas de maladies ou effets indésirables sur la santé	R1
Rarement grave, prévention ou thérapie existe	R2
Grave/mortel, prévention ou thérapie possible	R3
Grave/mortel, prévention ou thérapie non disponible	R4

Taux de génération	
Bioaérosols/pathogènes à libération faible ; nettoyage à l'aspirateur avec filtre HEPA	G1
Bioaérosols/pathogènes à libération moyenne ; trempage suivi d'un pelletage	G2
Bioaérosols/pathogènes à libération élevée ; pulvérisation suivie d'un pelletage	G3
Bioaérosols/pathogènes à libération très élevée ; balayage à sec	G4

Niveau de contrôle	
À l'intérieur – ventilation déficiente $\leq 1$ RAH	C1
À l'intérieur – ventilation $1 < \text{RAH} \leq 4$ À l'extérieur – pas de vent	C2
À l'intérieur – ventilation $4 < \text{RAH} \leq 6$ À l'extérieur – vent faible	C3
À l'intérieur – ventilation $> 6$ À l'extérieur – vent modéré	C4



Milieux de travail généraux

# FPC correspondant (CSA 94.4)

Niveau acceptable						Options d'APR à épuration d'air	FPC	Options d'APR à approvisionnement d'air
0	1	2	3	4	5			
						Aucune option d'APR à épuration d'air disponible	10000	<ul style="list-style-type: none"> <li>•APRA (avec apport d'air à la demande) – pièce faciale complète</li> <li>•APRA (avec apport d'air à la demande) – cagoule hermétique</li> <li>•APRA/APR à adduction d'air multifonction</li> </ul>
						<ul style="list-style-type: none"> <li>•Épuration d'air assisté, muni d'une pièce faciale complète</li> <li>•Épuration d'air assisté, muni de casque/cagoule, avec étude des FPSMT</li> </ul>	1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Adduction d'air (débit constant), muni d'une pièce faciale complète</li> <li>•Adduction d'air (avec apport d'air à la demande), muni d'une pièce faciale complète</li> <li>•Adduction d'air (débit constant), muni d'un casque/cagoule avec étude des FPSMT</li> </ul>
						<ul style="list-style-type: none"> <li>•Épuration d'air assisté, muni d'une demi-pièce faciale</li> <li>•Épuration d'air (pression négative), muni d'une pièce faciale complète</li> </ul>	50	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Adduction d'air (avec apport d'air à la demande), muni d'une demi-pièce faciale</li> <li>•Adduction d'air (débit constant), muni d'une demi-pièce faciale</li> </ul>
						<ul style="list-style-type: none"> <li>•Épuration d'air assisté, muni d'un masque souple avec visière-écran</li> <li>•Épuration d'air assisté, muni d'un casque/cagoule, sans étude des FPSMT</li> </ul>	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Adduction d'air (débit constant), muni d'un masque souple avec visière-écran</li> <li>•Adduction d'air (débit constant), muni d'un casque/cagoule sans étude des FPSMT</li> </ul>
						Épuration d'air (pression négative), muni d'une demi-pièce faciale (incluant les pièces faciales filtrantes)	10	Aucune option d'APR à approvisionnement d'air disponible
Aucune protection respiratoire requis						<1	Aucune protection respiratoire requis	

**Notes :** (1) Voir aux tableaux 1 et 2 les critères de réussite/d'échec pour les essais d'ajustement pour les pièces faciales hermétiques.  
 (2) Aucun essai d'ajustement nécessaire dans le cas des APR avec pièce faciale souple.



# Modèle IRSST (Lavoie et coll., 2013)

- Le modèle de gestion graduée du risque de l'IRSST est proposé pour les bioaérosols infectieux ou non.
- Le principe d'évaluation propre à ce modèle s'appuie sur des techniques simplifiées de modélisation et des méthodes de calcul de scores pondérés.
- Cette évaluation comprend deux éléments principaux :
  - Classification des bioaérosols selon leur danger (groupe de risque);
  - Estimation de l'exposition des travailleurs : sommation pondérée du taux de génération (80 %) et du niveau de contrôle (20 %).



# Modèle IRSST (suite)

- Ces éléments sont intégrés dans une matrice 4 par 5 comme celle établie pour les nanoparticules par Zalk *et al.*, (2009) et Paik *et al.*, (2008).
- On y retrouve en position verticale, les quatre groupes de risque (GR) utilisé en biosécurité (groupe 1 à groupe 4) et, en position horizontale, les cinq catégories de très faible à très élevé correspondant à l'estimation du niveau d'exposition des travailleurs.

# Modèle IRSST

- Une stratégie de maîtrise des risques est associée à chaque couple risque/exposition selon une échelle hiérarchique allant des méthodes classiques de ventilation générale naturelle ou mécanique à des stratégies beaucoup plus complexes tels le confinement des travaux, les opérations en circuit fermé, la ventilation par déplacement d'air, la manipulation mécanisée des sources, etc.
- Des facteurs de protection caractéristique (FPC), utilisés pour le choix de l'appareil de protection respiratoire (APR), sont ainsi associés à chaque « bande ».



# Taux de génération (80 % score total)

Points	Exemples de génération
8,0	Aérosolisation non contrôlée du contaminant biologique, proximité des sources d'émission; travaux dans les panaches d'émission; actes médicaux produisant des aérosols ou autres semblables.
6,0	Aérosolisation élevée, travaux de décontamination; soins donnés à un patient infectieux qui tousse ou éternue la bouche non recouverte ou autres semblables.
4,0	Aérosolisation modérée, contact avec le contaminant biologique; distance éloignée de la source; patient infectieux qui tousse ou éternue la bouche recouverte ou autres semblables.
2,0	Aérosolisation faible, personnel attiré à d'autres soins.
0	Aucune aérosolisation.



# Niveau de contrôle (20 % score total)

Points	Niveau de contrôle
2,0	CAH* $\leq$ 2; aucune ou ventilation faible; endroits confinés ou autres semblables
1,5	2 < CAH $\leq$ 6 ; ventilation générale ou fenêtres ouvertes ou autres semblables
1,0	6 < CAH $\leq$ 12 ; pièce à pression négative; ventilation de laboratoire; chambre d'isolement; ventilation par déplacement ou autres semblables
0,5	CAH > 12; mécanisation des opérations; opérations sous hotte de laboratoire; certains départements hospitaliers (bronchoscopie, salle d'opération; etc.); travaux à l'extérieur ou autres semblables
0	opérations sous hotte à flux laminaire; sources en circuits fermés ou autres semblables

\*CAH = changement d'air à l'heure

# Modèle IRSST

## Modèle pour la sélection du facteur de protection caractéristique (FPC) minimal

Niveau d'exposition (somme des points du niveau de contrôle (Q) et du taux de génération (G))					
Bande	1	2	3	4	5
Niveau	Très faible	Faible	Moyen	Élevé	Très élevé
Pointage	0 – 2	2,5 – 5	5,5 – 7	7,5 – 9	9,5 – 10



# Modèle IRSST

		Niveau d'exposition				
		1 Très faible (0 – 2)	2 Faible (2,5 – 5)	3 Moyen (5,5 – 7)	4 Élevé (7,5 – 9)	5 Très élevé (9,5 – 10)
Groupe de risque	1	Aucun	10	10	10	25
	2	Aucun	10	10	25	50 <sup>1</sup>
	3	Aucun	10	25	50 <sup>1</sup>	1000
	4	1000	1000	1000	1000	1000

<sup>1</sup> Le FPC de 50 du NIOSH équivaut au FPC de 100 du *Guide des appareils de protection respiratoire utilisés au Québec*.



# Protection respiratoire minimale

FPC	Appareils de protection correspondants
10	Demi-pièce faciale jetable avec filtres N95, N99 ou N100
25	À épuration d'air motorisé ou à adduction d'air avec pièce faciale souple/visière-écran
50	À épuration d'air motorisé avec demi-pièce faciale
100	Pièce faciale complète avec filtres N95, N99 ou N100
1 000	Appareil à adduction d'air
10 000	Autonome avec pièce faciale complète à surpression

Réf. : Lavoie et col., 2013 b

# Les emplois verts

- La détermination des niveaux d'exposition des emplois verts aux agents biologiques peut également s'avérer une tâche complexe.
- Une méthode qualitative d'évaluation et de gestion du risque fournit une alternative aux méthodes quantitatives utilisées en hygiène du travail.
- Un modèle constitué des quatre groupes de risque infectieux utilisé en biosécurité et de quatre niveaux d'exposition vous sera présenté.
- Le croisement d'un groupe de risque et d'un niveau d'exposition correspond à un potentiel d'exposition.



# Les emplois verts

- Le potentiel d'exposition est donc choisi en fonction du danger du bioaérosol, du niveau d'activité et du taux de génération.
- Le niveau d'activité se définit comme le temps passé à effectuer des tâches spécifiques dans différents milieux.
  - 20 % du niveau d'exposition
- Le taux de génération correspond à la proximité de la source et aux moyens mis en place pour contrôler les expositions.
  - 80 % du niveau d'exposition
  - Ce taux est beaucoup plus important que le niveau d'activité, car il dépend du procédé, de la proximité des sources, etc.



# Niveau d'activité (A)

Points (20 %)	Bandes des niveaux d'activité
2,0	CAH* $\leq 2$ ; aucune ou ventilation <b>générale</b> faible; endroits confinés, non entretenus ou autres semblables, <b>expositions continues aux microorganismes (100 %)</b>
1,5	$2 < \text{CAH} \leq 6$ ; ventilation générale ou fenêtres ouvertes, entretien hebdomadaire ou autres semblables, <b>expositions aux microorganismes de 75 % du temps</b>
1,0	$6 < \text{CAH} \leq 12$ ; pièce à pression négative; ventilation de laboratoire; chambre d'isolement; ventilation par déplacement, entretien ou maintenance quotidiens ou autres semblables, <b>expositions aux microorganismes de 50 % du temps</b>
0,5	CAH $> 12$ ; mécanisation des opérations; opérations sous hotte de laboratoire; certains départements hospitaliers (bronchoscopie, salle d'opération, etc.); entretien quotidien fréquent, travaux à l'extérieur ou autres semblables, <b>expositions aux microorganismes de 25 % du temps</b>
0	Opérations sous hotte à flux laminaire; sources en circuits fermés ou autres semblables, <b>exposition nulle</b>

\* CAH = changement d'air par heure



# Taux de génération (G)

Bandes des taux de génération	
Points (80 %)	Exemples
8,0	<b>Exposition non contrôlée du contaminant biologique</b> ; proximité des sources d'émission; travaux dans les panaches d'émission; actes produisant des aérosols ou autres semblables
6,0	<b>Exposition élevée</b> ; travaux de décontamination; ou autres semblables
4,0	<b>Exposition modérée</b> ; contact avec le contaminant biologique; distance éloignée de la source; ou autres semblables
2,0	<b>Exposition faible</b> ; personnel attitré à d'autres tâches
0	<b>Aucune exposition</b>



# Niveau d'exposition

	<b>Niveau d'exposition</b> <b>Somme des points du niveau d'activité (20 %) et du taux de</b> <b>génération (80 %)</b>			
<b>Bande</b>	1	2	3	4
<b>Niveau</b>	Faible	Moyen	Élevé	Très élevé
<b>Pointage</b>	(1 - 5)	(5,5 - 7)	(7,5 - 9)	(9,5 - 10)



# Modèle

## Modèle pour la sélection du potentiel d'exposition aux agents biologiques pour les emplois verts

		Niveau d'exposition			
		<b>1</b> (1 - 5)	<b>2</b> (5,5 - 7)	<b>3</b> (7,5 - 9)	<b>4</b> (9,5 - 10)
<b>Pointage</b>					
		<b>1</b>	1*	2	2
<b>Groupe de risque</b>	<b>2</b>	1	2	3	3
	<b>3</b>	1	2	3	4
	<b>4</b>	4	4	4	4

\* Potentiel d'exposition : 1 : faible; 2 : moyen; 3 : élevé; 4 : très élevé

# Potentiel d'exposition

- Dans les 61 groupes professionnels (GP) retenus, 11 ont obtenu un score moyen.
- 1 GP a obtenu un score élevé.
- Ces potentiels répondent à un scénario des pires cas.

# Exemple 1

## Manœuvre à l'entretien des travaux publics

### ➤ Exemple de microorganismes :

- Virus, *C. tetani*, mycobactéries, Hépatite A, *Legionella*, Norovirus, etc. (GR3)
- Taux de génération (G) : 6 (Exposition élevée)
- Niveau d'activité (A) : 2 (Exposition continue)
- Niveau d'exposition (G + A) = 8
- Potentiel d'exposition pour un GR 3 = 3 (élevé)

# Exemple 2

## Technologue en hygiène industrielle

### ➤ Exemple de microorganismes :

- Influenza, mycobactéries, *Legionella*, etc. (GR3)
- Taux de génération (G) : 4 (Exposition modérée; contact avec le contaminant biologique; distance éloignée de la source)
- Niveau d'activité (A) : 0,5 (25 % du temps)
- Niveau d'exposition (G + A) = 4,5
- Potentiel d'exposition pour un GR 3 = 1 (faible)

# Exemple 3

## Trieur/trieuse - matériaux de recyclage

### ➤ Exemple de microorganismes:

- C. tetani, Hépatite A, B et C, etc. (GR 3)
- Taux de génération (G) : 4 (Exposition modérée; contact avec le contaminant biologique; distance éloignée de la source)
- Niveau d'activité (A) : 2 (expositions continues aux microorganismes (100 %))
- Niveau d'exposition (G + A) = 6
- Potentiel d'exposition pour un GR 3 = 2 (moyen)

# Conclusion

- La gestion graduée du risque peut donc être utilisée pour évaluer les potentiels d'exposition aux agents biologiques.
- Il s'agit d'une méthode semi-quantitative.
- Amélioration avec le temps.

