



Intérêt de la PCR multiplex – panel Pneumonia Plus dans le diagnostic des infections respiratoires en réanimation

El Ouarti Salaheddine, Benatiya Andaloussi Fatima Zahra, Kouara Sarra, Yahyaoui Ghita, Mahmoud Mustapha

Service de Microbiologie médicale, Laboratoire Central d'analyses médicales, Centre hospitalo-universitaire Hassan II, Faculté de médecine, de pharmacie et médecine dentaire, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès, Maroc.

Article Information

Received: June 01, 2026

Accepted: June 08, 2026

Published: June 10, 2026

***Corresponding author:** El Ouarti Salaheddine, Service de Microbiologie médicale, Laboratoire Central d'analyses médicales, Centre hospitalo-universitaire Hassan II, Faculté de médecine, de pharmacie et médecine dentaire, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès, Maroc.

Citation: El Ouarti Salaheddine, Fatima Zahra BA, Sarra K, Ghita Y, Mustapha M. (2026) "Intérêt de la PCR multiplex – panel Pneumonia Plus dans le diagnostic des infections respiratoires en réanimation" *Journal of Microbiology and Biochemistry*, 2(1); DOI: 10.61148/MBB/003.

Copyright: © 2026 El Ouarti Salaheddine. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

Les infections respiratoires en réanimation sont des urgences diagnostiques et thérapeutiques du fait de leur impact vital et fonctionnel. La PCR multiplex "Pneumonia Panel Plus" permet une détection rapide et simultanée des principaux pathogènes respiratoires (bactéries typiques/atypiques, virus) à partir d'un seul prélèvement, avec quantification semi-quantitative bactérienne et dépistage de marqueurs de résistance utiles à l'antibiogouvernance. Il s'agit d'une étude prospective descriptive qui a été réalisée sur 68 prélèvements respiratoires analysés par méthodes classiques et par le test FilmArray panel Pneumonia Panel. Ce travail est réalisé au sein du service de Réanimation A1 et du laboratoire de microbiologie-virologie du CHU Hassan II de Fès sur une période s'étalant de Mars 2022 à Septembre 2023. 68 prélèvements respiratoires (PDP, crachats) ont été analysés. Une prédominance masculine a été notée avec un sexe-ratio H/F de 1.34. Le taux de positivité par le panel FilmArray Pneumonia était de 64% soit 44 prélèvements. Une étiologie bactérienne a été retrouvée dans la majorité des prélèvements revenus positifs, prédominée par *Acinetobacter Baumannii* avec un taux de positivité de 33%. Le Coronavirus et le VRS font l'étiologie virale avec un taux de 3% et 1,5 % respectivement. Concernant les méthodes conventionnelles 34 prélèvements revenus positifs par culture soit un taux de positivité de 50%, *Acinetobacter Baumannii* était de même l'agent le plus détecté. Le FilmArray a permis le diagnostic de 10 pneumopathies nosocomiales dont la culture conventionnelle est négative. Le délai médian de rendu de résultat était de 3 heures pour le panel FilmArray Pneumonia plus contre 48 à 72 heures pour les méthodes conventionnelles. Cette PCR, utilisée dans une approche syndromique, constitue un outil de diagnostic efficace, rapide et fiable facilitant l'instauration d'une stratégie thérapeutique précoce et adaptée, tout en optimisant le parcours de soins global. L'objectif de ce travail est d'étudier l'épidémiologie des agents impliqués dans ces infections chez les patients de réanimation et d'évaluer l'apport clinique du panel (diagnostic précoce, distinction viral/bactérien, adaptation/désescalade thérapeutique).

Keywords: Pneumonie - Approche syndromique - PCR multiplex - FilmArray

Introduction:

Les Infections respiratoires constituent des causes fréquentes et graves d'admission en unité de réanimation le plus souvent associées à des complications majeures - détresse respiratoire aiguë, prolongation de la ventilation mécanique, surmortalité et séquelles fonctionnelles- rendant le diagnostic et le traitement précoces essentiels pour réduire la morbidité et la mortalité [1] la clinique est peu spécifique (fièvre, hypoxémie, infiltrats radiologiques) et ne permet pas d'identifier l'agent causal surtout dans un contexte de polytraumatismes et d'intubation prolongée. Le diagnostic repose sur des prélèvements respiratoires adaptés (expectorations de qualité, aspiration trachéale, brossage distal protégé, LBA) et leur analyse : examen direct/Gram, culture quantitative, et méthodes moléculaires (PCR multiplex) [2] complétées si besoin par l'étude des biomarqueurs (PCT, CRP).

Les méthodes microbiologiques conventionnelles présentent parfois une sensibilité et une spécificité limitées, tandis que la culture nécessite plusieurs jours avant de fournir une identification précise et un antibiogramme exploitable. Face au risque lié à tout retard diagnostique ou thérapeutique, les patients sont fréquemment hospitalisés et placés sous antibiothérapie probabiliste en attendant les résultats des prélèvements respiratoires [4].

Dans ce contexte, le recours à la PCR multiplex s'inscrit comme une approche diagnostique de nouvelle génération permettant une détection rapide et simultanée des agents pathogènes viraux et bactériens [5]. Cette technique améliore le rendement diagnostique en augmentant le taux d'identification microbiologique tout en réduisant considérablement les délais d'obtention des résultats. Les diagnostics rapides offrent ainsi un potentiel majeur d'optimisation des soins, favorisant une meilleure adaptation de l'antibiothérapie, une réduction des hospitalisations inutiles et une diminution des

Tableau 1 : Critères de qualité d'un prélèvement de crachats [22]

Classe	Cellules		Interpretation
	Épithéliales	Leucocytes	
1	>25	<10	À refaire
2	>25	10-25	
3	>25	>25	
4	10-25	>25	Interprétable
5	<10	>25	

Cette technique a été réalisée conformément aux instructions du fabricant, avec un temps de manipulation de ~5 min. Un échantillon de 200 µL est collecté et mélangé avec un tampon d'échantillon, puis injecté avec une solution d'hydratation dans la poche de réactif Pneumonia plus Panel, qui est ensuite insérée dans l'instrument FilmArray.

La PCR multiplexe consiste en une extraction, une purification, une amplification, une détection et une analyse entièrement automatisées des acides nucléiques au sein de la cartouche FilmArray® Pneumonia Plus chaque cible est rendue « détectée »/« non détectée » et les gènes de résistance pertinents sont simultanément recherchés. Ce panel permet de détecter simultanément 31 agents pathogènes connus pour être responsable

coûts de prise en charge [3] Malgré ses atouts, la PCR multiplex comporte des limites nécessitant une interprétation prudente : la détection d'un micro-organisme ne signifie pas toujours infection active, un gène de résistance n'implique pas forcément une expression phénotypique, et les résultats peuvent être influencés par les conditions pré-analytiques. Une corrélation clinico-biologique reste donc essentielle.

L'objectif de notre étude est de déterminer en contexte réel de réanimation l'intérêt clinique de la PCR BIOFIRE® FILMARRAY® Pneumonia plus (PNplus) pour identifier rapidement les agents respiratoires et optimiser la stratégie thérapeutique au sein du service de réanimation A1 du CHU Hassan II de Fès a fin de garantir une prise en charge rapide et adéquate.

Matériels et Méthode

Il s'agit d'une étude à caractère prospectif, à la fois descriptive et analytique, menée au sein du service de Réanimation A1 de Fès et du service de laboratoire de microbiologie au CHU HASSAN II de Fès, portant sur 68 échantillons prélevés chez des patients hospitalisés dans le service de réanimation S'étend sur 18 mois de Mars 2022 à Septembre 2023. Tous les patients inclus dans cette étude ont bénéficié parallèlement à la PCR multiplex et d'une étude cytotabériologique selon les techniques conventionnelles.

Avant la réalisation de la PCR, une vérification de la qualité des expectorations est effectuée afin de distinguer un prélèvement salivaire — qui ne doit pas bénéficier de l'analyse — d'un véritable crachat conforme aux critères de validité selon la classification *Bartlett- Murray et Washington*[22](Tableau1). Cette étape pré-analytique est essentielle dans ce contexte, compte tenu du risque élevé de portage lié au caractère non stérile des prélèvements respiratoires et du fait que la PCR ne permet pas, à elle seule, de différencier colonisation et infection active.

d'infections respiratoires (figure1) :

*Bactéries (semi-quantitatives) Complexe *Acinetobacter calcoaceticus-baumannii* -Complexe *Enterobacter cloacae-Escherichia coli-Haemophilus influenzae-Klebsiella aerogenes-Klebsiella oxytoca*-Groupe *Klebsiella pneumoniae-Moraxella catarrhalis-Protée spp.-Pseudomonas aeruginosa-Serratia marcescens-Staphylococcus aureus-Streptococcus agalactiae-Streptococcus pneumoniae-Streptococcus pyogenes*

*Bactéries atypiques (qualitatives) : *Chlamydia pneumoniae-Legionella pneumophila-Mycoplasma pneumoniae*

*Virus : *Adénovirus-Corona virus-métapneumovirus humain-Rhinovirus/entérovirus humain-virus de la grippe A-virus de la grippe B-Virus parainfluenza-Virus respiratoire syncytial*

*GENES DE RESISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES : IMP/ KPC /NDM /OXA-48-LIKE /VIM - BLSE CTX-M
Résistance à la méticilline mecA/C et MREJ - Carbapénèmes

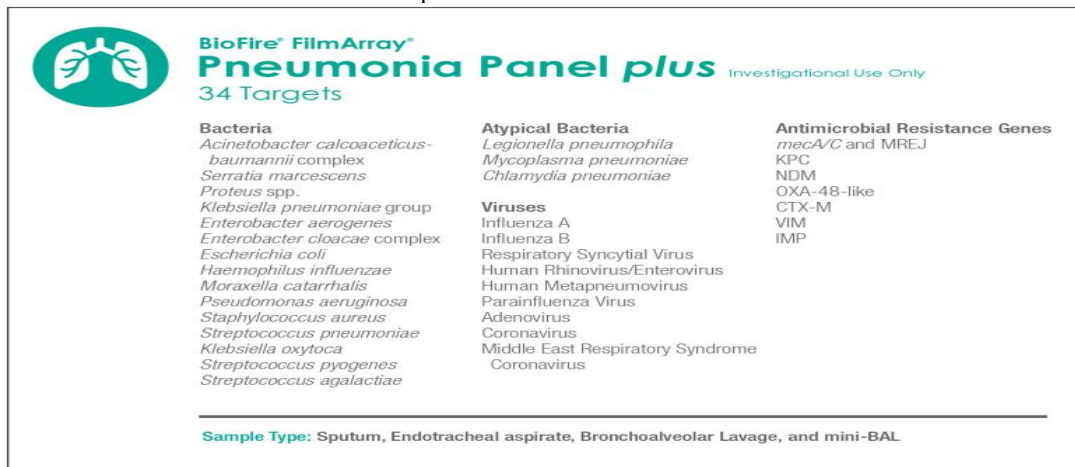


Figure 1 : Virus et bactéries identifiables par le PCR multiplex type *FILMARRAY® Pneumonia plus*[23].

Résultats

Durant cette période, 68 prélèvements respiratoires (PDP et crachats) ont été analysés par PCR, dont 44 ont été positifs avec un taux de positivité de 64,7%. L'âge des patients inclus variait entre 7 et 81 ans soit une médiane d'âge de 45,63 ans. La tranche d'âge la plus représentée se situait entre 35 et 64 ans. Sur les 68 patients : 39 de sexe masculin (57,35%) - 29 de sexe féminin (42,65%). Le sexe ratio H/F était de 1,34.

La pathologie médicale [EME, détresse respiratoire, exacerbation de BPCO, pneumonie grave, crise myasthénique, DAC, méningomyélite et médiastinite] représente le premier motif d'hospitalisation (50%) suivie de la pathologie traumatique (33,82%) [Traumatisme crânien grave, polytraumatisme, traumatisme thoracique grave] et chirurgicale (16,17%) [Hémorragie méningée, post opératoire tumeur cérébrale].

Dans notre série, la présentation clinique variait selon le type d'infection (Tableau 2) :

- PAVM : le signe le plus fréquent était le virage des sécrétions, suivi d'une désadaptation au respirateur.

- Pneumonies nosocomiales : tableau dominé par une toux avec expectoration purulente, puis une dyspnée.

Concernant les signes généraux une fièvre > 38,5 °C était présente chez la quasi-totalité des patients. Parmi les 68 prélèvements respiratoires réalisés, on note la présence de 47 prélèvements distaux protégés, contre 21 prélèvements de crachats. Imagerie thoracique : Une radiographie thoracique a été réalisée chez 75 % des patients : elle était normale dans 22 % des cas et pathologique dans 78 % (atélectasies, opacités). Une TDM thoracique a été effectuée chez 21 % des patients revenue pathologique. Dans cette série 72% des patients avaient une augmentation de la CRP, et une hyperleucocytose à prédominance neutrophile. Concernant l'antibiothérapie probabiliste. Parmi les patients prélevés, 79,4 % ont reçu une antibiothérapie empirique. Le schéma le plus prescrit était l'amoxicilline-acide clavulanique (16,17 %), suivi de l'association amoxicilline-acide clavulanique + gentamicine (13,23 %). Des associations moins fréquentes ont été utilisées selon l'orientation clinico-biologique de chaque patient

Tableau 2 : Répartition des germes détectés par PCRm selon le type d'infection.

	PAVM TARDIVE	PAVM PRECOCE	PNEUMONIES	TOTAL
<i>Acinetobacter Baumannii</i>	18	4	0	22
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	5	0	0	5
<i>Staphylococcus Aureus</i>	4	5	0	9
<i>Klebsiella Pneumoniae</i>	2	0	3	5
<i>Enterobacter Cloacae</i>	0	3	0	3
<i>Streptococcus Pneumoniae</i>	0	1	1	2
<i>Haemophilus Influenzae</i>	0	7	8	15
<i>Escherichia coli</i>	0	0	2	2
Coronavirus	0	0	2	2
VRS	0	0	1	1
TOTAL	29	20	17	66

Par ailleurs, *Acinetobacter Baumannii* était l'agent pathogène le plus détecté (n=22) suivi par l'*Haemophilus Influenzae* (n=15) par PCRm. Au sein de ces infections respiratoires documentées (n=44), une étiologie bactérienne a été retrouvée chez 95,5% des patients soit en mono ou en co-infection. Une étiologie virale a été retrouvée chez 4,5 % des patients

Proportion des agents identifiés (mono- vs co-infections) : Parmi les 44 échantillons positifs, le panel respiratoire FilmArray a identifié 21 mono-infections (48 %) et 23 co-infections (52 %). La co-infection la plus fréquente associait *Acinetobacter baumannii* et *Staphylococcus aureus*, suivie de l'association *Acinetobacter baumannii*-*Klebsiella pneumoniae*.

Dans l'ensemble le test a pu détecter 10 gènes de résistance dont 4 gènes de résistance aux carbapénèmes (2 OXA-48, 1 NDM et 1 VIM), 2 MecA ainsi que 4 CTX-M étant le gène le plus détecté

Le taux de positivité de la culture dans cette étude était de 50 %, avec la détection de 51 bactéries. Parmi ces 51 bactéries 84,4 %

Tableau 3: Adaptation de l'antibiothérapie après résultat de la PCRm

	PCRm positive	PCRm negative
Antibiothérapie maintenue	21	11
Escalade Thérapeutique	12	0
Désescalade thérapeutique	11	0
Arrêt de l'antibiothérapie	0	3
TOTAL	44	14

La PCR multiplex influence principalement l'adaptation de l'antibiothérapie (Tableau 3) : lorsqu'elle est positive (44 cas), elle conduit le plus souvent au maintien du traitement (21 cas) ou à son ajustement, soit par escalade (12 cas), soit par désescalade (11 cas). En cas de résultat négatif, elle peut parfois permettre l'arrêt du traitement (3 cas).

Une issue favorable avec amélioration clinique à la sortie a été observée chez 66,17 % des patients. Vingt-trois (23) décès ont été recensés sur la période d'étude ; parmi eux, 8 patients ont présenté une aggravation évoluant vers un choc septique réfractaire, tandis que les autres décès sont survenus à distance de l'épisode infectieux, liés à d'autres facteurs.

Discussion

La pneumonie nosocomiale, notamment en réanimation, demeure un enjeu majeur de morbi-mortalité, particulièrement dans les pays à ressources intermédiaires où la charge d'infections respiratoires multirésistantes est élevée [6,7]. Au Maroc, les pneumonies nosocomiales figurent parmi les principales infections associées aux soins, avec un impact significatif sur la durée d'hospitalisation et l'usage antibiotique [8]. Les méthodes conventionnelles, principalement basées sur la culture, sont limitées par un délai de

était des Gram négatif (43% *Acinetobacter Baumannii*, 19% *enterobactéries*, 12,7% *Pseudomonas aeruginosa*, 9,7 % *Haemophilus Influenzae*) et 15,6 % était des Gram positif (*Staphylococcus Aureus*).

Tous les isolats de *Acinetobacter Baumannii* ont gardé une sensibilité à la colistine uniquement. EN ce qui concerne les entérobactéries, 4 germes de BLSE ont été détecté. Tous les isolats du *Staphylocoque Aureus* étaient résistants à la Pénicilline G et tous sensibles à l'*amikacine* et à la *vancomycine*. 25 % des *staphylococcus Aureus* était résistant à la Céfotaxime, soit 2 cas SARM ont été détecté.

LA prise en charge thérapeutique : Chez les patients prélevés, 79,4 % ont reçu une antibiothérapie probabiliste. Après la documentation des infections grâce à la PCR, le traitement a été adapté en fonction de l'agent pathogène détecté (bactérien, viral), et en prenant en considération l'évolution clinique et paraclinique du patient.

rendu prolongé et une sensibilité suboptimale, retardant l'adaptation thérapeutique en milieu critique [6,9].

La PCR multiplex FilmArray® Pneumonia Plus permet une identification syndromique rapide d'un large panel de bactéries, virus et gènes de résistance en 1 à 3 h, apportant un gain diagnostique et décisionnel important par rapport aux techniques standards [6,10]. Dans notre cohorte, le taux de positivité était de 65 % en PCR contre 50 % en culture, confirmant une meilleure performance diagnostique de la PCR, en accord avec la littérature montrant une augmentation significative du rendement et un impact potentiel sur l'antibiothérapie précoce [10,11]. Ce bénéfice doit toutefois être interprété avec prudence, notamment en contexte de colonisation respiratoire fréquente en réanimation, nécessitant une corrélation clinico-radiologique pour guider l'escalade ou la désescalade thérapeutique [6,10].

Dans notre études 65% des patients appartenaient à la population adulte avec une moyenne d'âge de de 45.63 ans, Une étude Tunisienne de 2020 rapportait une médiane d'âge de 68 ans [12] et, selon plusieurs études européennes, les adultes représentent la majorité des cas, avec une médiane d'âge entre 59 et 71ans [13] Nous notons une prédominance masculine (57,4 % des cas) avec

un sexe-ratio a 1,4, ce qui concorde avec la Meta-analyse VAP 2023 qui regroupe 21 études Majoritairement Europe/Asie, qui montre une prédominance masculine a 65 % et un sexe-ratio de 1.85 [14]

Les pneumopathies nosocomiales touchaient majoritairement des patients hospitalisés pour pathologie médicale (50 %), suivis des traumatismes (33,82 %) et des chirurgies (16,17 %). Cette distribution est cohérente avec les données récentes de la littérature. Martin-Loeches et al. (2023), dans une grande cohorte multicentrique internationale de pneumonies nosocomiales, montrent que ces infections surviennent dans des réanimations médicales, chirurgicales et traumatiques, avec une proportion élevée de pathologie médicales et traumatiques [15]

Le syndrome infectieux était objectivé chez la majorité des patients, avec une CRP augmentée et une hyperleucocytose à prédominance neutrophile dans 72 % des cas. Ces résultats rejoignent les données de la littérature, où les pneumopathies nosocomiales sont fréquemment associées à une élévation marquée de la CRP et à une neutrophilie dans la majorité des épisodes [15] Dans notre série, la culture des prélèvements respiratoires présentait un taux de positivité de 50 %, tandis que la PCR multiplex respiratoire augmentait le rendement diagnostique à 64,7 %. Cette différence illustre l'apport des techniques moléculaires par rapport à la microbiologie conventionnelle qui demeure le gold standard. Nos résultats sont globalement concordants avec ceux de l'étude multicentrique menée en réanimation au Royaume-Uni, où Enne et al. Rapportent un rendement supérieur des panels de PCR multiplex par rapport aux cultures standard dans les pneumonies nosocomiales, avec un taux de positivité atteignant environ 74 % pour le panel FilmArray Pneumonia contre 44 % pour la culture classique [16] Cette comparaison confirme que, comme dans notre cohorte, l'utilisation de la PCR multiplex permet d'augmenter la documentation microbiologique des pneumopathies acquises en réanimation.

Le taux de positivité du panel FilmArray® Pneumonia plus était de 64,7 %, ce qui se situe dans la fourchette des valeurs rapportées en réanimation. Wichmann et al. Décrivent un taux de positivité de 72,4 % pour la PCR multiplex versus 42,2 % pour la microbiologie conventionnelle [17] tandis que Contier et al. Rapportent 36,8 % de prélèvements positifs chez des patients immunodéprimés, de rendu compris [18]

Les infections respiratoires documentées par PCR multiplex étaient largement dominées par *Acinetobacter baumannii*, suivi d'*Haemophilus influenzae*, avec une étiologie bactérienne retrouvée chez 93,2 % des patients et une étiologie virale dans 6,8 % des cas. Cette prédominance bactérienne, en particulier des bacilles à Gram négatif non fermentants, est concordante avec les données de la littérature : Kamel et al. Retrouvent, chez des patients avec pneumonie nosocomiale, une forte représentation de

Klebsiella pneumoniae et du complexe *A. baumannii* parmi les pathogènes identifiés par BioFire® FilmArray® Pneumonia Panel Plus [19] tandis que Gong et al. Confirment, dans les pneumonies acquises à l'hôpital, la place majeure d'*A. baumannii* et de *K. pneumoniae* [20] En revanche, la proportion relativement faible d'infections virales isolées dans notre cohorte contraste avec certaines séries de réanimation où les virus respiratoires sont plus fréquemment détectés, notamment dans les co-infections bactériennes-virales décrites par Do Rego et al. Chez des patients ventilés avec pneumonie nosocomiale [21] ce qui peut s'expliquer par des différences de profil de patients, de saisonnalité virale et de stratégie de dépistage.

Dans notre série, le délai moyen de rendu des résultats de la PCR multiplex respiratoire était de 140 minutes (≈ 3 h). Ce délai concorde pleinement avec les données rapportées par Contier et al., qui décrivent un temps de rendu compris entre 2h30 et 4h chez des patients en réanimation [18] confirmant ainsi que notre performance opérationnelle est en accord avec les standards publiés dans la littérature récente.

Malgré sa rapidité et ses bonnes performances diagnostiques, le BIOFIRE® FILMARRAY® Pneumonia Plus Panel présente plusieurs limites. En effet, la corrélation entre les charges bactériennes détectées par PCR et la positivité des cultures reste imparfaite, avec un risque d'interprétation difficile pour les faibles charges bactériennes pouvant correspondre à une colonisation plutôt qu'à une infection active [24]. De plus, bien que la sensibilité globale du test soit élevée, certaines bactéries identifiées en culture peuvent ne pas être détectées car elles ne figurent pas parmi les cibles du panel, soulignant ainsi la limite d'un panel fermé [25]. Ces éléments imposent une interprétation prudente des résultats, toujours intégrée au contexte clinique et aux méthodes microbiologiques conventionnelles.

Conclusion

La PCR multiplex, et en particulier le panel FilmArray® Pneumonia Plus, constitue un outil rapide et fiable pour le diagnostic des infections respiratoires en réanimation. Elle permet d'améliorer considérablement la documentation microbiologique, notamment dans les cas de cultures négatives, en particulier chez des patients déjà sous antibiothérapie probabiliste. L'intégration de cette technique dans le diagnostic de routine des pneumopathies en soins intensifs apparaît ainsi pertinente, en complément des méthodes conventionnelles afin de débiter plus précocement un traitement ciblé, de limiter les prescriptions inappropriées d'antibiotiques et d'antiviraux, et de réduire potentiellement la durée de séjour en réanimation. Néanmoins, certains freins persistent à son adoption large, tels que le coût élevé, la possibilité de faux négatifs et l'absence de détection des agents non inclus dans le panel.

References

1. Kalil AC, Metersky ML, Klompas M, Muscedere J, Sweeney DA, Palmer LB, et al. Management of Adults With Hospital-acquired and Ventilator-associated Pneumonia: 2016 Clinical Practice Guidelines by the Infectious Diseases Society of America and the American Thoracic Society. *Clin Infect Dis*. 2016;63(5):e61–e111.
2. Miron M, Blaj M, Ristescu AI, Iosep G, Avădanei AN, Iosep DG, et al. Hospital-Acquired Pneumonia and Ventilator-Associated Pneumonia: A Literature Review. *Microorganisms*. 2024;12(1):213.
3. Moy AC, Kimmoun A, Merklung T, Berçot B, Camélène F, Poncin T, et al.; PCR Multiplex Study Group. Performance evaluation of a PCR panel (FilmArray® Pneumonia Plus) for detection of respiratory bacterial pathogens in respiratory specimens: A systematic review and meta-analysis. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2023;42(6):101300.

4. Gong J, Yang J, Liu L, Chen X, Yang G, He Y, et al. Evaluation and clinical practice of pathogens and antimicrobial resistance genes of BioFire FilmArray Pneumonia panel in lower respiratory tract infections. *Infection*. 2024;52(5):1015–1027.
5. Contier J, et al. *Diagnostic performance of Pneumonia multiplex PCR in critically ill immunocompromised patients*. *Critical Care*. 2025;29:310.
6. Torres A, Niederman MS, Chastre J, et al. *ERS/ESICM/ESCMID/ALAT guidelines for HAP/VAP*. *Eur Respir J*. 2021;57:2000006.
7. Papazian L, Klompas M, Luyt CE. *Ventilator-associated pneumonia in adults: a narrative review*. *Intensive Care Med*. 2020;46:888–906.
8. El Rhazi K, et al. *Epidemiology of healthcare-associated infections in Moroccan hospitals*. *Antibiotics (Basel)*. 2021;10(11):1342.
9. Vaughn VM, Flanders SA. *Diagnostic stewardship for pneumonia in the ICU*. *JAMA*. 2021;326(9):844–6.
10. Lee SH, Ruan SY, Pan SC, et al. *Performance of the FilmArray Pneumonia Panel in critically ill patients*. *Clin Infect Dis*. 2021;73(7):e553–62.
11. Yoo IY, et al. *Impact of FilmArray Pneumonia Plus on antibiotic adjustment and clinical outcomes*. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:835715.
12. Ventilator-associated pneumonia, incidence and risk factors in six intensive care units in Tunisia, AB Cheikh et al., *European Journal of Public Health*, 30 (Supplement_5): ckaa166.712, 2020. « The mean age of patients was 44 ± 25 years. »
13. Martin-Loeches I, Reyes LF, Nseir S, Ranzani OT, Povoia P, Díaz E, et al.; on behalf of the ENIRRI Investigators. European Network for ICU-Related Respiratory Infections (ENIRRI): a multinational, prospective cohort study of nosocomial lower respiratory tract infections. *Intensive Care Med*. 2023;49(10):1212-1222.
14. Mumtaz H, Saqib M, Khan W, Ismail SM, Sohail H, Muneeb M, Sheikh SS. Ventilator-associated pneumonia in intensive care unit patients: a systematic review. *Ann Med Surg (Lond)*. 2023;85:2932-2939.
15. Martin-Loeches I, Torres A, et al. Nosocomial lower respiratory tract infections: multinational prospective cohort study. *Lancet Respir Med*. 2023;11(2):124-135.
16. Enne VI, Aydin A, Baldan R, et al. Multicentre evaluation of two multiplex PCR platforms for the rapid microbiological investigation of nosocomial pneumonia in UK ICUs: the INHALE WP1 study. *Thorax*. 2022;77(12):1220-1228.
17. Wichmann et al., 2024 — PCR multiplex en réanimation *Antibiotic stewardship with multiplex PCR for pneumonia in ICU patients*. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2024;68(1):78–87.
18. Contier et al., 2025 — mPCR chez les patients immunodéprimés en réanimation *Diagnostic performance of Pneumonia multiplex PCR in critically ill immunocompromised patients*. *Crit Care*. 2025 ;29:310.
19. Kamel NA, Mahdi A, Tuwajj M, et al. Evaluation of the BioFire FilmArray Pneumonia Panel Plus to the Conventional Diagnostic Methods in Determining the Microbiological Etiology of Hospital-Acquired Pneumonia. *Biology (Basel)*. 2022;11(3):377.
20. Gong J, Yang J, Liu L, et al. Evaluation and clinical practice of pathogens and antimicrobial resistance genes of BioFire FilmArray Pneumonia panel in lower respiratory tract infections. *Infection*. 2024;52(2):545–555.
21. Do Rego H, Dessajan J, Le Hingrat Q, et al. Impact of respiratory viruses detection on outcomes in ventilated nosocomial pneumonia: an exposed/unexposed study. *Ann Intensive Care*. 2025;15:172.
22. Zacharioudakis IM, Zervou FN, Dubrovskaya Y, et al. Evaluation of a Multiplex PCR Panel for the Microbiological Diagnosis of Pneumonia in Hospitalized Patients. *Int J Infect Dis*. 2021 ;104:354-360.
23. BioFire Diagnostics (bioMérieux). BIOFIRE® FILMARRAY® Pneumonia & Pneumonia Plus Panels – Panel Menu and Specifications. bioMérieux; 2025. Available from: bioMérieux official product documentation.
24. Giménez E, Clari MA, Albert E, Carbonell N, Navarro D. Performance of the BIOFIRE® Filmarray Pneumonia Plus Panel for quantifiable bacterial targets compared to semiquantitative culture methods: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Infection*. 2026;92(2):106683.
25. Wang X, et al. Performance evaluation of a PCR panel (FilmArray® Pneumonia Plus) for detection of respiratory bacterial pathogens: systematic review and meta-analysis. *Clinical Microbiology and Infection*. 2023. PMID: 37709201.