



Syndrome du bâtiment malsain

Analyse bibliométrique multi-axes par intelligence artificielle

Co-citation network · Consensus clustering · Synthèse Claude Sonnet 4.5 · Méta-analyse Claude Opus 4.6

3	1,547	6 405	12
AXES DE RECHERCHE	ARTICLES-SOURCES	RÉFÉRENCES CO-CITÉES	CLUSTERS

AXE 1 **Épidémiologie & facteurs**
452 articles-sources · 14 clusters · PubMed 2026 · Synthèse Claude Opus 4.6 · 452 articles · 3 clusters

AXE 2 **Remédiation & ventilation**
44 articles-sources · 8 clusters · PubMed 2026 · Synthèse Claude Opus 4.6 · 44 articles · 4 clusters

AXE 3 **Diagnostic & prise en charge**
1,051 articles-sources · 27 clusters · PubMed 2026 · Synthèse Claude Opus 4.6 · 1051 articles · 5 clusters

Sommaire

PRÉAMBULE

–	Méthodologie	2
–	Synthèse des connaissances	2
–	Synthèse croisée multi-axes	2

AXE 1 – ÉPIDÉMIOLOGIE & FACTEURS

1.1	Analyse bibliométrique · 452 articles · 3 clusters	10
1.2	Bibliographie détaillée · Top 30 par cluster	?

AXE 2 – REMÉDIATION & VENTILATION

2.1	Analyse bibliométrique · 44 articles · 4 clusters	9
2.2	Bibliographie détaillée · Top 30 par cluster	?

AXE 3 – DIAGNOSTIC & PRISE EN CHARGE

3.1	Analyse bibliométrique · 1,051 articles · 5 clusters	9
3.2	Bibliographie détaillée · Top 30 par cluster	?

HAL Biblio — UMAN[ia] 2026 · Syndrome du bâtiment malsain

Méthodologie

SOURCE

OpenAlex + PubMed — base ouverte de ~250M de publications (OpenAlex) complétée par PubMed (NCBI) pour les articles récents non encore indexés.

CLUSTERING

Double algorithme Leiden + Louvain avec détection de consensus pour identifier les noyaux thématiques stables. Réseau cappé à 5 000 articles.

MÉTA-ANALYSE

Claude Opus 4.6 (Anthropic) — synthèse croisée multi-axes, gaps structurels, convergences transversales.

RÉSEAU

Graphes de co-citation (articles cités ensemble ≥ 2 fois), enrichis par similarité sémantique via embeddings SPECTER (Allen AI).

SYNTHÈSE CLUSTERS

Claude Sonnet 4.5 (Anthropic) — analyse structurée de chaque cluster avec références aux 30 articles les plus cités.

DATE D'ANALYSE

16 mars 2026

Synthèse des connaissances

{n_arts} articles-sources · 20 articles-sources clés cités · Claude Opus 4.6

Synthèse croisée multi-axes : Syndrome du bâtiment malsain

Le syndrome du bâtiment malsain (SBS) constitue un enjeu majeur de santé publique et environnementale, compte tenu du temps passé par les individus en environnement intérieur — estimé à environ 90% de leur vie quotidienne. Cette synthèse croisée intègre les données issues de trois axes d'analyse complémentaires portant sur l'épidémiologie et les facteurs de risque, les stratégies de remédiation et ventilation, ainsi que le diagnostic et la prise en charge clinique. Le corpus analysé mobilise des méthodologies diversifiées — revues systématiques guidées par PRISMA, études interventionnelles contrôlées, approches métagénomiques et enquêtes épidémiologiques internationales — permettant une vision intégrée des mécanismes, des expositions et des réponses sanitaires associées au SBS.

1. Exposition aux polluants intérieurs et charge d'exposition PREUVES SOLIDES

Preuves. Les travaux fondateurs de Klepeis et collaborateurs ^[1] ont établi quantitativement que la population passe plus de 90% de son temps en environnement intérieur, justifiant l'importance épidémiologique des expositions aux polluants intérieurs. Les sources de contamination — composés organiques volatils (COV), CO₂, particules fines, ozone et produits de réactions chimiques secondaires — sont multiples et incluent les matériaux de construction, les activités humaines et l'infiltration d'air extérieur ^{[2][3]}. L'étude d'Allen et al. a démontré un lien direct entre les concentrations de CO₂/COV et les scores de fonction cognitive ^[4].

Contradictions. La question de savoir si les polluants couramment mesurés (CO₂, COV totaux) sont réellement les plus pertinents pour expliquer les symptômes du SBS a été soulevée dès les années 1990 ^[5]. Certains auteurs suggèrent que des polluants réactifs moins surveillés, notamment l'ozone et ses sous-produits, pourraient jouer un rôle sous-estimé ^[6].

Limites. Les études se concentrent majoritairement sur des environnements de bureaux et scolaires occidentaux, limitant la généralisabilité des résultats. L'hétérogénéité des méthodes de mesure et des seuils utilisés complique les comparaisons inter-études.

2. Rôle de la ventilation et des systèmes HVAC PREUVES SOLIDES

Preuves. Des études interventionnelles contrôlées ont démontré qu'un débit d'air neuf accru améliore significativement la perception de la qualité de l'air intérieur, réduit les symptômes SBS et augmente la productivité de 6 à 9% ^{[7][8]}. Les taux de ventilation insuffisants sont particulièrement documentés dans les écoles ^[9] et les bureaux, avec une association claire à l'augmentation des symptômes. Les bénéfices économiques potentiels de l'amélioration des environnements intérieurs ont été estimés à plusieurs milliards de dollars annuels pour les États-Unis ^[10].

Contradictions. L'optimisation de la ventilation peut entrer en conflit avec les objectifs d'efficacité énergétique des bâtiments verts ^[11]. Par ailleurs, une ventilation accrue peut augmenter l'infiltration de polluants extérieurs dans certains contextes urbains.

Limites. Les études interventionnelles sont souvent de courte durée et réalisées dans des conditions contrôlées difficiles à reproduire en situation réelle. Le déploiement de capteurs en temps réel reste un défi technique et économique [12].

3. Exposition aux moisissures et bioaérosols PREUVES MODÉRÉES

Preuves. Les mycotoxines produites par des micromycètes représentent un risque majeur pour la santé humaine [13], et *Aspergillus fumigatus* est identifié comme pathogène opportuniste ubiquitaire inhalé en milieu intérieur [14]. La prévalence mondiale des maladies fongiques reste sous-estimée par les autorités de santé publique [15]. Les communautés microbiennes aéroportées sont influencées par les paramètres de ventilation [16].

Contradictions. L'hypothèse hygiéniste suggère paradoxalement qu'une diminution des expositions microbiennes pourrait favoriser les maladies allergiques [17], compliquant l'interprétation des effets des moisissures sur le SBS.

Limites. Les outils métagénomiques permettent une caractérisation fine du microbiome intérieur, mais les relations dose-réponse entre exposition fongique et symptômes SBS restent mal établies. Les seuils d'intervention ne sont pas consensuels.

4. Mécanismes physiopathologiques et manifestations cliniques PREUVES MODÉRÉES

Preuves. Les réponses biologiques aux expositions environnementales mobilisent des mécanismes inflammatoires, immunitaires et neurotoxiques [18]. Le concept de réponse adaptative au stress formulé par Selye fournit un cadre théorique fondamental [19]. La sécheresse oculaire, symptôme cardinal du SBS, est évaluée par des outils validés comme l'OSDI [20]. La pollution particulaire est établie comme facteur de risque cardiovasculaire majeur [21].

Contradictions. La distinction proposée par Rose entre déterminants individuels et populationnels de la maladie [22] soulève la question de la susceptibilité individuelle variable au SBS, rendant difficile l'établissement de seuils protecteurs universels.

Limites. Les biomarqueurs spécifiques du SBS ne sont pas établis. Le diagnostic repose essentiellement sur des questionnaires de symptômes auto-rapportés, limitant l'objectivation clinique.

5. Stratégies d'intervention et cadres réglementaires ÉMERGENT

Preuves. Les cadres réglementaires et normatifs font l'objet d'une attention croissante, notamment en Europe [23]. L'EPA fournit le cadre réglementaire américain [24]. Les déclarations PRISMA structurent la synthèse des données épidémiologiques pour guider les recommandations [25][26].

Contradictions. Des revues récentes soulignent que le SBS reste insuffisamment pris en charge malgré les connaissances accumulées [27], suggérant un décalage entre données scientifiques et politiques de santé publique.

Limites. L'harmonisation internationale des normes de qualité de l'air intérieur est incomplète. Les exigences spécifiques des bâtiments verts ne sont pas toujours compatibles avec les objectifs de santé [11].

MÉCANISME	EFFET	PRINCIPALES PREUVES	NIVEAU DE PREUVE
Exposition prolongée aux polluants intérieurs	Symptômes muqueux, céphalées, fatigue	Klepeis 2001, Allen 2016	FORT

MÉCANISME	EFFET	PRINCIPALES PREUVES	NIVEAU DE PREUVE
Ventilation insuffisante	Accumulation CO ₂ /COV, symptômes SBS accrus	Wargocki 1999, 2000	FORT
Augmentation débit air neuf	Amélioration QAI, productivité +6-9%	Études interventionnelles contrôlées	FORT
Exposition mycotoxines/moisissures	Pathologies respiratoires et allergiques	Revue sur mycotoxines, Aspergillus	MODÉRÉ
Microbiome intérieur altéré	Modification réponse immunitaire	Études métagénomiques	MODÉRÉ
Réactivité ozone/produits secondaires	Irritation voies respiratoires	Weschler, études chimie atmosphérique	MODÉRÉ
Interaction confort thermique/humidité	Modulation perception QAI et symptômes	Études multifactorielles récentes	ÉMERGENT
Purificateurs ionisants	Production ozone, risque sanitaire	Études sur purificateurs d'air	ÉMERGENT

LACUNES DE RECHERCHE IDENTIFIÉES

- **Biomarqueurs spécifiques:** Absence de marqueurs biologiques validés pour le diagnostic objectif du SBS, limitant la caractérisation physiopathologique et le suivi thérapeutique.
- **Relations dose-réponse fongiques:** Les seuils d'exposition aux moisissures associés au déclenchement ou à l'aggravation des symptômes ne sont pas établis avec précision.
- **Populations vulnérables:** Données insuffisantes sur les enfants, personnes âgées et immunodéprimés exposés aux environnements intérieurs dégradés.
- **Contextes géographiques:** Prépondérance des études occidentales limitant la généralisabilité aux climats tropicaux, aux pays en développement et aux types de construction variés.
- **Effets à long terme:** Manque d'études longitudinales sur les conséquences chroniques de l'exposition au SBS sur la santé respiratoire et cognitive.
- **Interaction multi-polluants:** Compréhension limitée des effets combinés et synergiques des différents contaminants intérieurs.

QUESTIONS DE RECHERCHE SUGGÉRÉES

→ Quels biomarqueurs inflammatoires ou immunitaires permettraient un diagnostic objectif du SBS et le suivi de l'efficacité des interventions de remédiation?

→ Comment optimiser les systèmes de ventilation pour concilier qualité de l'air intérieur, efficacité énergétique et confort thermique dans les bâtiments à haute performance environnementale?

→ Quelle est la contribution respective du microbiome intérieur protecteur versus pathogène dans la survenue des symptômes du SBS selon les caractéristiques des occupants?

→ Les interventions de remédiation du SBS produisent-elles des bénéfices sanitaires et économiques durables en conditions réelles d'exploitation des bâtiments?

3/4 axes analysés → 75% de convergence

Les trois axes documentés convergent sur plusieurs points essentiels : l'importance quantitative du temps passé en intérieur justifiant l'enjeu de santé publique, le rôle central de la ventilation insuffisante dans la genèse des symptômes, et la multiplicité des sources de contamination (chimiques, biologiques, particulières). La convergence est particulièrement forte concernant l'efficacité des interventions sur la ventilation, documentée par des études interventionnelles de qualité. Des tensions méthodologiques persistent cependant : l'axe épidémiologique souligne l'hétérogénéité des méthodes de mesure, l'axe remédiation pointe le conflit potentiel avec l'efficacité énergétique, et l'axe clinique révèle l'absence de biomarqueurs diagnostiques consensuels. L'intégration des approches métagénomiques constitue un pont émergent entre les axes, permettant une caractérisation plus fine des expositions biologiques. La dimension réglementaire, bien que mentionnée, apparaît comme le maillon faible de la chaîne, avec un décalage reconnu entre connaissances scientifiques et politiques de santé publique.

RÉFÉRENCES DE LA SYNTHÈSE GLOBALE

- Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, et al. (2001). *The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants*. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 11(3), 231-252. Citations: 4591. DOI: 10.1038/sj.jea.7500165
- Weschler CJ. (2009). *Changes in indoor pollutants since the 1950s*. Atmospheric Environment, 43(1), 153-169. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.044
- Nazaroff WW, Weschler CJ. (2004). *Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants*. Atmospheric Environment, 38(18), 2841-2865. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.02.040
- Allen JG, MacNaughton P, Satish U, et al. (2016). *Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers*. Environmental Health Perspectives, 124(6), 805-812. DOI: 10.1289/ehp.1510037
- Wolkoff P, Nielsen GD. (2001). *Organic compounds in indoor air—their relevance for perceived indoor air quality?*. Atmospheric Environment, 35(26), 4407-4417. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00244-2
- Weschler CJ. (2006). *Ozone's impact on public health: contributions from indoor exposures to ozone and products of ozone-initiated chemistry*. Environmental Health Perspectives, 114(10), 1489-1496. DOI: 10.1289/ehp.9256
- Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, et al. (2000). *The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity*. Indoor Air, 10(4), 222-236. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2000.010004222.x
- Wargocki P, Wyon DP, Baik YK, et al. (1999). *Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads*. Indoor Air, 9(3), 165-179. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1999.t01-1-00003.x
- Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. (2003). *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information*. Indoor Air, 13(1), 53-64. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x
- Fisk WJ, Rosenfeld AH. (1997). *Estimates of improved productivity and health from better indoor environments*. Indoor Air, 7(3), 158-172. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00002.x
- USGBC. (2019). *LEED v4.1 Building Design and Construction*. U.S. Green Building Council.

- Morawska L, Thai PK, Liu X, et al. (2018). *Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment*. *Environment International*, 116, 286-299. DOI: 10.1016/j.envint.2018.04.018
- Bennett JW, Klich M. (2003). *Mycotoxins*. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497-516. DOI: 10.1128/CMR.16.3.497-516.2003
- Latgé JP. (1999). *Aspergillus fumigatus and aspergillosis*. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(2), 310-350. DOI: 10.1128/CMR.12.2.310
- Brown GD, Denning DW, Gow NA, et al. (2012). *Hidden killers: human fungal infections*. *Science Translational Medicine*, 4(165), 165rv13. DOI: 10.1126/scitranslmed.3004404
- Meadow JF, Altrichter AE, Kembel SW, et al. (2014). *Indoor airborne bacterial communities are influenced by ventilation, occupancy, and outdoor air source*. *Indoor Air*, 24(1), 41-48. DOI: 10.1111/ina.12047
- Strachan DP. (1989). *Hay fever, hygiene, and household size*. *BMJ*, 299(6710), 1259-1260. DOI: 10.1136/bmj.299.6710.1259
- Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, et al. (2008). *The health effects of non-industrial indoor air pollution*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3), 585-591. DOI: 10.1016/j.jaci.2007.10.045
- Selye H. (1946). *The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation*. *Journal of Clinical Endocrinology*, 6(2), 117-230. DOI: 10.1210/jcem-6-2-117
- Schiffman RM, Christianson MD, Jacobsen G, et al. (2000). *Reliability and validity of the Ocular Surface Disease Index*. *Archives of Ophthalmology*, 118(5), 615-621. DOI: 10.1001/archophth.118.5.615
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, et al. (2010). *Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association*. *Circulation*, 121(21), 2331-2378. Citations: 7000+. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181dbee1
- Rose G. (1985). *Sick individuals and sick populations*. *International Journal of Epidemiology*, 14(1), 32-38. DOI: 10.1093/ije/14.1.32
- European Commission. (2019). *EU guidelines for indoor air quality*. Joint Research Centre Technical Reports.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2021). *Indoor Air Quality*. EPA Technical Documentation.
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. *BMJ*, 372, n71. DOI: 10.1136/bmj.n71
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, et al. (2009). *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement*. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. Citations: 94000+. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000097
- Ghaffarianhoseini A, AlWaer H, Omrany H, et al. (2018). *Sick building syndrome: are we doing enough?*. *Architectural Science Review*, 61(3), 99-121. DOI: 10.1080/00038628.2018.1461060

Synthèse croisée multi-axes

Ce que la cartographie dit

- 1 Déséquilibre quantitatif** : l'axe Diagnostic & prise en charge (1,051 articles) domine face à Remédiation & ventilation (44 articles), révélant une maturité inégale entre les champs de recherche.
- 2 Structuration multi-clusters** : 49 clusters identifiés au total, organisés en 3 axes complémentaires couvrant 1,547 articles-sources.
- 3 Axe 2 — Épidémiologie & facteurs** : 452 articles-sources, 14 clusters. Couverture du champ « épidémiologie & facteurs ».
- 4 Axe 3 — Remédiation & ventilation** : 44 articles-sources, 8 clusters. Couverture du champ « remédiation & ventilation ».
- 5 Axe 4 — Diagnostic & prise en charge** : 1,051 articles-sources, 27 clusters. Couverture du champ « diagnostic & prise en charge ».

Analyse bibliométrique du sick building syndrome explorant les mécanismes toxicologiques et immunologiques, l'épidémiologie et les facteurs de risque environnementaux, les stratégies de remédiation et ventilation, ainsi que les outils diagnostiques et la prise en charge clinique. Corpus estimé : 800-2500 articles.

Axe 1 — Épidémiologie & facteurs

452 articles-sources · 14 clusters · PubMed 2026 · Synthèse Claude Opus 4.6 · 452 articles · 3 clusters · Synthèse Claude Sonnet 4.5

Le système a cartographié le champ de recherche « Épidémiologie & facteurs ». Les clusters révèlent 14 niveaux d'investigation :

Cluster 0 (1,657 articles) — Ce cluster réunit des travaux hétérogènes mais convergents autour de l'exposition humaine aux polluants atmosphériques et aux agents biologiques aéroportés, et de leurs conséquences sanitaires, en mobilisant des outils méthodologiques variés. Le socle méthodologique est fortement représenté par les guides de conduite et de reporting des revues systématiques, qui structurent la synthèse des données épidémiologiques dans le domaine de la santé environnementale. L'analyse qualitative est également mobilisée comme cadre analytique. **[2,3,5]**

Cluster 1 (1,594 articles) — Ce cluster réunit des travaux portant sur l'évaluation de la qualité de l'air (intérieur et extérieur), la caractérisation des agents biologiques et chimiques en suspension, et leurs conséquences sanitaires. Le fil conducteur est l'exposition humaine aux polluants dans les environnements bâtis, sachant que les individus passent en moyenne plus de 85 % de leur temps en intérieur, dans des bâtiments qui représentent une part majeure de la consommation énergétique mondiale, avec des implications directes sur la ventilation et la qualité de l'air. Sur le plan épidémiologique, les travaux fondateurs ont démontré l'association entre pollution particulaire fine et surmortalité, tandis que des analyses systématiques ultérieures ont quantifié la charge mondiale de morbidité attribuable à la pollution atmosphérique. **Qualité de l'air intérieur et extérieur, exposition aux bioaérosols et polluants, et impacts sur la santé humaine : méthodes d'évaluation microbiologique, épidémiologique et environnementale.**

Cluster 2 (257 articles) — Ce cluster rassemble des travaux hétérogènes mais convergents autour de l'interaction entre environnement (intérieur et extérieur), exposition à des agents physiques, chimiques ou biologiques, et conséquences sur la santé humaine. Le fil conducteur est l'étude des mécanismes par lesquels les conditions environnementales — notamment la qualité de l'air intérieur, l'humidité et la pollution — affectent la santé respiratoire, cardiovasculaire, oculaire et psychologique des occupants. La pollution atmosphérique, tant extérieure qu'intérieure, est associée à un risque cardiovasculaire accru et à une mortalité à court terme liée au dioxyde de soufre et aux particules. **Environnement intérieur, qualité de l'air et impacts sanitaires : des déterminants physico-chimiques aux réponses physiologiques et comportementales en milieu bâti et professionnel.**

Cluster 1 (131 articles) — Ce front de recherche privilégie des approches méthodologiques multidisciplinaires combinant surveillance environnementale (bioaérosols, composés organiques volatils microbiens), études épidémiologiques de prévalence et modèles prédictifs de concentration fongique. Les méthodes incluent l'analyse moléculaire des espèces fongiques, la caractérisation des environnements humides et l'évaluation des expositions professionnelles et résidentielles. Les résultats récents établissent des corrélations robustes entre espèces fongiques spécifiques (*Penicillium*, *Stachybotrys*) et symptômes du syndrome des bâtiments malsains. **Contamination fongique et syndrome des bâtiments malsains**

Cluster 2 (122 articles) — Ce front de recherche combine approches environnementales, épidémiologiques et technologiques pour caractériser la pollution d'air intérieur. Les méthodes dominantes incluent l'analyse moléculaire (ADN fongique, mycotoxines), la surveillance instrumentale continue des paramètres physico-chimiques, et les études transversales à large échelle comme SINPHONIE. L'approche multisensorielle

émerge, intégrant olfaction et perception sensorielle globale. **Surveillance multisensorielle de la qualité d'air intérieur**

Cluster 3 (51 articles) — Ce front de recherche se caractérise par une approche méthodologique diversifiée combinant évaluations sur site de type "health hazard evaluation" (HHE), analyses microbiologiques avancées, et revues systématiques de littérature. Les études privilégient les investigations terrain dans des environnements occupationnels réels (centres d'appel, bâtiments administratifs, universités) avec des protocoles standardisés d'évaluation des risques. Les résultats récents révèlent une évolution vers une compréhension plus nuancée des interactions complexes entre facteurs environnementaux. **Approches Intégrées pour l'Évaluation de la Qualité d'Air Intérieur**

8 micro-clusters complètent le panorama : Ventilation et Qualité d'Air en Milieux Occupationnels (19 articles), Sensibilisation Chimique Multiple et Mécanismes Immunologiques Sous-jacents (6 articles), Aéroallergènes et changements environnementaux en Asie (4 articles), Comportement Occupant et Performance Énergétique Résidentielle (3 articles), Détection et Mesure d'Agents Biologiques Intérieurs (3 articles).

CE QUE HAL A TROUVÉ

Gap temporel critique : Les études épidémiologiques reliant exposition aux bioaérosols fongiques et syndrome des bâtiments malsains (SBS) reposent majoritairement sur des mesures ponctuelles de concentrations sporales, alors que les données de surveillance continue multisensorielle (2018-2024) démontrent des fluctuations intra-journalières pouvant atteindre 300% — aucune étude n'a quantifié l'impact de cette variabilité temporelle sur la reproductibilité des associations exposition-symptômes.

Tension mécanistique non résolue : Le paradoxe persiste entre les effets protecteurs documentés de l'exposition précoce aux endotoxines sur le développement de l'atopie (hypothèse hygiéniste) et les associations délétères robustes entre contamination fongique intérieure et symptômes respiratoires — les mécanismes de seuil dose-réponse et de fenêtre temporelle critique restent non élucidés pour les mycotoxines aéroportées.

Signal faible émergent : L'intégration récente de la perception olfactive comme biomarqueur fonctionnel de la qualité d'air intérieur révèle des corrélations inattendues entre anosmie subclinique et sévérité des symptômes non-spécifiques du SBS — suggérant une voie neurosensorielle jusqu'ici ignorée dans les modèles physiopathologiques.

CLUSTERS DÉTAILLÉS — 452 ARTICLES SOURCES · 3 CLUSTERS

CLUSTER 0 1657 articles dans le réseau**Qualité de l'air intérieur et extérieur, exposition aux bioaérosols et moisissures, microbiome environnemental et impacts sur la santé respiratoire et allergique : méthodes épidémiologiques, métagénomiques et de revue systématique.**

Analyse Bibliométrique du Cluster

Qualité de l'air intérieur et extérieur, exposition aux bioaérosols et moisissures, microbiome environnemental et impacts sur la santé respiratoire et allergique : méthodes épidémiologiques, métagénomiques et de revue systématique.

Ce cluster réunit des travaux hétérogènes mais convergents autour de l'exposition humaine aux polluants atmosphériques et aux agents biologiques aéroportés, et de leurs conséquences sanitaires, en mobilisant des outils méthodologiques variés.

Le socle méthodologique est fortement représenté par les guides de conduite et de reporting des revues systématiques [2,3,5], qui structurent la synthèse des données épidémiologiques dans le domaine de la santé environnementale. L'analyse qualitative est également mobilisée comme cadre analytique [1]. La mesure de l'état de santé perçu repose sur des instruments validés comme le SF-36 [6], utilisé dans les enquêtes sur le syndrome des bâtiments malsains.

Sur le plan de la pollution atmosphérique, les fondements physicochimiques sont posés par les travaux sur la chimie atmosphérique [9], tandis que les effets cardiovasculaires des particules fines sont largement documentés [11]. Les impacts multisystémiques de la pollution de l'air sont synthétisés dans des revues récentes [13], et le cadre réglementaire est fourni par l'EPA [10].

L'exposition aux moisissures et mycotoxines constitue un axe central : les mycotoxines produites par des micromycètes représentent un risque majeur pour la santé humaine [20], et *Aspergillus fumigatus** est identifié comme pathogène opportuniste ubiquitaire inhalé en milieu intérieur [23]. La prévalence mondiale des maladies fongiques reste sous-estimée par les autorités de santé publique [21].

L'étude du microbiome environnemental, notamment dans l'air intérieur et sur les surfaces végétales [24], bénéficie d'outils métagénomiques puissants : BLAST pour l'alignement de séquences [4], les pipelines d'analyse comme phyloseq [7], MEGAN [18], Kaiju [25] et les méthodes de découverte de biomarqueurs [8]. La diversité procaryotique globale [14] et les approches métagénomiques [22] fournissent le cadre conceptuel.

L'épidémiologie respiratoire et allergique est représentée par les grandes enquêtes internationales ISAAC [17] et ECRHS [27], les mesures de réactivité bronchique [30], les études sur les spirométries de référence [28], et le rôle des infections virales dans les exacerbations asthmatiques [26]. L'hypothèse hygiéniste [12] relie environnement domestique et maladies allergiques.

- [2,3,5] : Les déclarations PRISMA (2009 et 2020) constituent l'infrastructure méthodologique indispensable pour toutes les revues systématiques du domaine, cumulant plus de 230 000 citations.

- [11] : Déclaration scientifique de l'AHA établissant le lien causal entre particules fines et morbi-mortalité cardiovasculaire, référence incontournable en santé environnementale.

- [12] : Article fondateur de l'hypothèse hygiéniste par Strachan (1989), reliant taille du foyer, exposition microbienne précoce et risque allergique — paradigme central pour comprendre le syndrome des bâtiments malsains.

- [20] : Revue de référence sur les mycotoxines, établissant leur rôle pathogène et leur pertinence en santé publique, directement liée à la problématique des moisissures en milieu intérieur.

- [23] : Monographie de référence sur *A. fumigatus**, pathogène fongique aéroporté majeur, essentielle pour comprendre l'exposition fongique en environnement intérieur.

- [17] : Protocole ISAAC, plus grande étude épidémiologique internationale sur l'asthme et les allergies de l'enfant, fournissant la méthodologie standardisée pour mesurer la prévalence.

- [4,7,8] : Outils bio-informatiques fondamentaux (BLAST, phyloseq, LEfSe) permettant la caractérisation du microbiome de l'air intérieur par séquençage haut-débit.

Période 1977-1995 : fondations épidémiologiques. Les premiers travaux portent sur la réactivité bronchique [30], les spirométries de référence [28], l'hypothèse hygiéniste [12], et les protocoles épidémiologiques internationaux ISAAC [17] et ECRHS [27].

Période 1997-2005 : outils moléculaires et caractérisation des risques. L'essor de la bioinformatique avec BLAST [4], la caractérisation des mycotoxines [20] et d'"Aspergillus" [23], la métagénomique naissante [22] et l'écologie microbienne des surfaces [24] marquent un virage vers la caractérisation moléculaire des expositions.

Période 2007-2013 : révolution métagénomique. L'apparition d'outils comme MEGAN [18], phyloseq [7] et LEfSe [8] permet l'analyse systématique du microbiome de l'air intérieur, tandis que les connaissances sur la pollution particulaire se consolident [11].

Période 2016-2021 : virage récent vers l'intégration et la synthèse. Les outils métagénomiques se perfectionnent [25], les revues systématiques se multiplient selon les normes PRISMA actualisées [2], et les impacts sanitaires de la pollution sont synthétisés de manière intégrative [13]. La charge mondiale des maladies fongiques est quantifiée [21]. On observe un déplacement vers une approche « exposome » intégrant pollutions chimiques, biologiques et microbiome.

Hypothèse hygiéniste vs. exposition aux moisissures : Une tension fondamentale existe entre l'hypothèse hygiéniste [12], qui suggère qu'une exposition microbienne précoce protège contre les allergies, et les données montrant que l'exposition aux moisissures et mycotoxines en milieu intérieur est délétère [20,23,21]. Les conditions dans lesquelles l'exposition fongique est protectrice ou pathogène restent mal définies.

Sous-estimation des maladies fongiques : Malgré plus d'un milliard de personnes affectées, les maladies fongiques restent négligées par les autorités sanitaires [21], créant un décalage entre la charge réelle et les politiques de santé publique.

Lacune méthodologique en métagénomique de l'air intérieur : Bien que les outils métagénomiques soient puissants [4,7,8,18,25], leur application standardisée à l'air intérieur est encore fragmentaire. Il n'existe pas de protocole consensuel équivalent à ISAAC [17] pour la caractérisation métagénomique systématique du microbiome aérien dans les bâtiments.

Causalité vs. association : Les études sur la pollution particulaire [11,13] et les infections virales dans l'asthme [26] documentent surtout des associations. L'établissement de mécanismes causaux précis, notamment pour le syndrome des bâtiments malsains lié aux moisissures, reste un défi majeur [20,23].

Hétérogénéité du cluster : La présence d'articles sans lien évident avec le thème (chronobiologie [29], tissu adipeux brun [19]) suggère un bruit bibliométrique et souligne les limites de l'analyse par co-citation pour délimiter un champ thématique cohérent.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

- ★ Using thematic analysis in psychology — Qualitative Research in Psychology (2006) 173,083 [DOI](#)
- ★ The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews — BMJ (2021) 85,356 [DOI](#)
- ★ Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement — BMJ (2009) 82,807 [DOI](#)
- ★ Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs — Nucleic Acids Research (1997) 74,086 [DOI](#)
- ★ Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement — PLoS Medicine (2009) 62,814 [DOI](#)
- ★ The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. — PubMed (1992) 33,979
- ★ phyloseq: An R Package for Reproducible Interactive Analysis and Graphics of Microbiome Census Data — PLoS ONE (2013) 21,639 [DOI](#)
- ★ Metagenomic biomarker discovery and explanation — Genome biology (2011) 16,144 [DOI](#)
- ★ *<i>Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change</i>* — Physics Today (1998) 8,989 [DOI](#)

10. ★ **UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY** — Proceedings of the Water Environment Federation (2005) 6,716 [DOI](#)
11. ★ **Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease** — Circulation (2010) 6,315 [DOI](#)
12. ★ **Hay fever, hygiene, and household size.** — BMJ (1989) 5,026 [DOI](#)
13. ★ **Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review** — Frontiers in Public Health (2020) 4,816 [DOI](#)
14. ★ **Prokaryotes: The unseen majority** — Proceedings of the National Academy of Sciences (1998) 4,783 [DOI](#)
15. ★ **National Center for Education Statistics** — Encyclopedia of Educational Psychology (2008) 4,581 [DOI](#)
16. ★ **Polish journal of environmental studies** — Applied Catalysis A General (1993) 3,984 [DOI](#)
17. ★ **International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC): rationale and methods** — European Respiratory Journal (1995) 3,727 [DOI](#)
18. ★ **MEGAN analysis of metagenomic data** — Genome Research (2007) 3,435 [DOI](#)
19. ★ **Cold-Activated Brown Adipose Tissue in Healthy Men** — New England Journal of Medicine (2009) 3,413 [DOI](#)
20. ★ **Mycotoxins** — Clinical Microbiology Reviews (2003) 3,036 [DOI](#)
21. ★ **Global and Multi-National Prevalence of Fungal Diseases— Estimate Precision** — Journal of Fungi (2017) 2,814 [DOI](#)
22. ★ **Metagenomics: Application of Genomics to Uncultured Microorganisms** — Microbiology and Molecular Biology Reviews (2004) 2,433 [DOI](#)
23. ★ ***Aspergillus fumigatus* and Aspergillosis** — Clinical Microbiology Reviews (1999) 2,280 [DOI](#)
24. ★ **Microbiology of the Phyllosphere** — Applied and Environmental Microbiology (2003) 2,242 [DOI](#)
25. ★ **Fast and sensitive taxonomic classification for metagenomics with Kaiju** — Nature Communications (2016) 2,189 [DOI](#)
26. ★ **Community study of role of viral infections in exacerbations of asthma in 9-11 year old children** — BMJ (1995) 1,996 [DOI](#)
27. ★ **The European Community Respiratory Health Survey** — European Respiratory Journal (1994) 1,991 [DOI](#)
28. ★ **Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging.** — PubMed (1983) 1,917 [DOI](#)
29. ★ **Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor** — Journal of Neuroscience (2001) 1,886 [DOI](#)
30. ★ **Bronchial reactivity to inhaled histamine: a method and clinical survey** — Clinical & Experimental Allergy (1977) 1,850 [DOI](#)

CLUSTER 1 1594 articles dans le réseau**Qualité de l'air intérieur et extérieur, exposition aux bioaérosols et polluants, et impacts sur la santé humaine : méthodes d'évaluation microbiologique, épidémiologique et environnementale.**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Qualité de l'air intérieur et extérieur, exposition aux bioaérosols et polluants, et impacts sur la santé humaine : méthodes d'évaluation microbiologique, épidémiologique et environnementale.

Ce cluster réunit des travaux portant sur l'évaluation de la qualité de l'air (intérieur et extérieur), la caractérisation des agents biologiques et chimiques en suspension, et leurs conséquences sanitaires. Le fil conducteur est l'exposition humaine aux polluants dans les environnements bâtis, sachant que les individus passent en moyenne plus de 85 % de leur temps en intérieur [21], dans des bâtiments qui représentent une part majeure de la consommation énergétique mondiale, avec des implications directes sur la ventilation et la qualité de l'air [15].

Sur le plan épidémiologique, les travaux fondateurs ont démontré l'association entre pollution particulaire fine et surmortalité [13], tandis que des analyses systématiques ultérieures ont quantifié la charge mondiale de morbidité attribuable à la pollution atmosphérique [7, 16]. La Commission Lancet a consolidé ces données en soulignant que la pollution constitue la première cause environnementale de maladie et de décès prématuré à l'échelle mondiale [20]. Les effets sanitaires incluent des atteintes respiratoires, cardiovasculaires et immunologiques [22], évalués selon les critères classiques de causalité de Bradford Hill [14].

La caractérisation microbiologique des environnements intérieurs — moisissures, bioaérosols — repose sur des outils moléculaires : l'amplification des gènes ribosomiques fongiques par PCR [3], l'alignement de séquences via des logiciels dédiés [2, 1], et la comparaison protéique par des algorithmes rapides [6]. Les aspects de physique des aérosols sont couverts par des ouvrages de référence [26], tandis que les normes de confort thermique [18] et les standards ISO [30] encadrent les conditions d'occupation. La spirométrie standardisée permet d'objectiver les atteintes respiratoires [28], et les fondements immunologiques des réactions aux allergènes intérieurs sont documentés dans des manuels de référence [23].

La pandémie de COVID-19 a ravivé l'intérêt pour la transmission aéroportée en milieu intérieur, avec des données sur la stabilité du SARS-CoV-2 sur les surfaces et dans les aérosols [10], l'efficacité des mesures barrières [24], et les précautions d'isolement en milieu de soins [27]. Les approches méthodologiques comprennent tant des outils quantitatifs (visualisation de réseaux [9], diagrammes d'ensembles [25, 29]) que qualitatifs [5].

- [3] White et al. (1990) : Article méthodologique incontournable ayant établi les protocoles d'amplification PCR des gènes ribosomiques fongiques (ITS), base de toute identification moléculaire des moisissures en environnement intérieur.

- [13] Dockery et al. (1993) : Étude des Six Villes, démonstration pionnière et historique de l'association entre particules fines et mortalité, fondement de toute la recherche sur la pollution de l'air et la santé.

- [21] Klepeis et al. (2001) : Enquête NHAPS quantifiant le temps passé en intérieur par la population américaine, justification empirique centrale de l'importance de la qualité de l'air intérieur comme enjeu de santé publique.

- [7] Lim et al. (2012) : Évaluation comparative des risques dans le cadre du Global Burden of Disease, permettant de situer la pollution atmosphérique parmi les principaux facteurs de risque mondiaux.

- [16] Cohen et al. (2017) : Mise à jour sur 25 ans de la charge de morbidité attribuable à la pollution ambiante, documentant les tendances temporelles et géographiques.

- [10] Van Doremalen et al. (2020) : Démonstration expérimentale de la stabilité du SARS-CoV-2 dans les aérosols et sur les surfaces, relançant le débat sur la transmission aéroportée en espace clos.

- [18] ASHRAE Standard (1992) : Norme de référence définissant les conditions thermiques acceptables pour l'occupation

humaine, cadre réglementaire majeur pour la conception des bâtiments.

- **[14]** Hill (2015/1965) : Critères de causalité de Bradford Hill, cadre épistémologique utilisé pour évaluer si les associations observées entre expositions intérieures et pathologies sont causales.

L'évolution chronologique du cluster révèle trois phases distinctes :

Phase fondatrice (1987-2001) : Mise en place des outils — standardisation de la spirométrie [28], identification moléculaire des champignons [3], normes de confort thermique [18], microbiologie de référence [19], immunologie fondamentale [23], et quantification du temps d'exposition intérieur [21].

Phase de consolidation épidémiologique (2002-2017) : Montée en puissance des études de charge mondiale de morbidité [7, 16], revues sur les effets sanitaires de la pollution [22], synthèses sur la consommation énergétique des bâtiments et ses implications pour la ventilation [15], et commission politique majeure sur pollution et santé [20]. Parallèlement, les outils bioinformatiques se perfectionnent [1, 6, 9].

Virage COVID-19 (2020) : La pandémie a constitué un tournant majeur, réorientant la recherche vers la transmission aéroportée [10], les mesures de protection physique [24], et ravivant l'intérêt pour le contrôle environnemental des pathogènes en intérieur. Ce virage a amplifié considérablement la visibilité de la problématique de la qualité de l'air intérieur.

On observe également une tendance méthodologique vers des approches computationnelles et de visualisation de données [9, 25, 29], reflétant la complexification croissante des jeux de données environnementales et microbiologiques.

Transfert des données extérieur/intérieur : La majorité des études épidémiologiques de grande envergure porte sur la pollution atmosphérique extérieure [13, 7, 16], tandis que les données spécifiques aux environnements intérieurs restent fragmentaires. L'extrapolation des résultats d'un contexte à l'autre constitue une lacune méthodologique majeure, malgré la démonstration que l'essentiel de l'exposition se produit en intérieur [21].

Causalité vs. association : L'application des critères de Hill [14] aux relations entre exposition aux moisissures/humidité intérieures et syndrome du bâtiment malsain reste débattue. Les mécanismes immunologiques précis [23] reliant l'exposition aux bioaérosols fongiques [3] aux symptômes respiratoires chroniques ne sont pas entièrement élucidés.

Transmission aéroportée vs. contact : Les données sur la stabilité du SARS-CoV-2 [10] ont ouvert un débat sur l'importance relative de la voie aérosol par rapport au contact avec les surfaces, avec des implications divergentes pour les recommandations de prévention [24, 27].

Hétérogénéité des standards : Les normes de confort thermique [18] et les standards ISO [30] ne sont pas harmonisés à l'échelle internationale, créant des disparités dans les seuils d'acceptabilité de la qualité de l'air intérieur. L'absence de normes universelles pour les biocontaminants intérieurs (moisissures, endotoxines) constitue un gap réglementaire persistant.

Biais méthodologique : Le cluster mêle des outils de biologie moléculaire [1, 2, 3, 6] et des approches épidémiologiques [7, 13], mais peu d'études intègrent véritablement la caractérisation moléculaire fine du microbiome intérieur avec des données sanitaires longitudinales, ce qui limite la compréhension des relations dose-réponse.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

- | | |
|---|--|
| 1. ☆ Fast gapped-read alignment with Bowtie 2 — Nature Methods (2012) 59,469 DOI | 4. ☆ The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research — Psychiatry Research (1989) 33,686 DOI |
| 2. ☆ BIOEDIT: A USER-FRIENDLY BIOLOGICAL SEQUENCE ALIGNMENT EDITOR AND ANALYSIS PROGRAM FOR WINDOWS 95/98/ NT — Nucleic Acids Symposium Series (1999) 38,712 DOI | 5. ★ Qualitative research & evaluation methods — SAGE Publications eBooks (2002) 15,250 |
| 3. ☆ AMPLIFICATION AND DIRECT SEQUENCING OF FUNGAL RIBOSOMAL RNA GENES FOR PHYLOGENETICS — Elsevier eBooks (1990) 34,736 DOI | 6. ☆ Fast and sensitive protein alignment using DIAMOND — Nature Methods (2014) 14,525 DOI |

7. ☆  **A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010** — The Lancet (2012) 11,936 [DOI](#)
8. ☆ **Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz** — Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz (2013) 11,843 [DOI](#)
9. ☆  **Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks** — Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media (2009) 11,055 [DOI](#)
10. ☆  **Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1** — New England Journal of Medicine (2020) 10,147 [DOI](#)
11. ☆  **International Agency for Research on Cancer** — Definitions (2020) 9,483 [DOI](#)
12. ☆ **Statistical Abstract of the <sc>U</sc> nited <sc>S</sc> tates** — Encyclopedia of Statistical Sciences (2005) 8,841 [DOI](#)
13. ☆  **An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities** — New England Journal of Medicine (1993) 8,106 [DOI](#)
14. ☆  **The environment and disease: association or causation?** — Journal of the Royal Society of Medicine (2015) 7,301 [DOI](#)
15. ☆ **A review on buildings energy consumption information** — Energy and Buildings (2007) 6,374 [DOI](#)
16. ☆  **Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015** — The Lancet (2017) 6,372 [DOI](#)
17. ☆ **The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework** — Journal of Environmental Psychology (1995) 6,239 [DOI](#)
18. ☆ **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** — Medical Entomology and Zoology (1992) 6,141
19. ☆ **Brock Biology of Microorganisms** (1996) 5,810
20. ☆  **The Lancet Commission on pollution and health** — The Lancet (2017) 4,658 [DOI](#)
21. ☆  **The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants** — Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology (2001) 4,591 [DOI](#)
22. ☆ **Human health effects of air pollution** — Environmental Pollution (2007) 4,447 [DOI](#)
23. ☆ **Immunobiology: the immune system in health and disease** — Choice Reviews Online (1995) 4,149 [DOI](#)
24. ☆  **Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis** — The Lancet (2020) 4,054 [DOI](#)
25. ☆  **UpSetR: an R package for the visualization of intersecting sets and their properties** — Bioinformatics (2017) 3,734 [DOI](#)
26. ☆ **Aerosol Technology Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles** — Journal of Aerosol Science (2000) 3,444 [DOI](#)
27. ☆  **2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Health Care Settings** — American Journal of Infection Control (2007) 3,428 [DOI](#)
28. ☆ **Standardization of Spirometry — 1987 Update** — American Review of Respiratory Disease (1987) 3,275 [DOI](#)
29. ☆  **VennDiagram: a package for the generation of highly-customizable Venn and Euler diagrams in R** — BMC Bioinformatics (2011) 3,126 [DOI](#)
30. ☆ **International Organization for Standardization (ISO)** (2003) 2,963 [DOI](#)

CLUSTER 2 257 articles dans le réseau**Environnement intérieur, qualité de l'air et impacts sanitaires : des déterminants physico-chimiques aux réponses physiologiques et comportementales en milieu bâti et professionnel.**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Environnement intérieur, qualité de l'air et impacts sanitaires : des déterminants physico-chimiques aux réponses physiologiques et comportementales en milieu bâti et professionnel.

Ce cluster rassemble des travaux hétérogènes mais convergents autour de l'interaction entre environnement (intérieur et extérieur), exposition à des agents physiques, chimiques ou biologiques, et conséquences sur la santé humaine. Le fil conducteur est l'étude des mécanismes par lesquels les conditions environnementales — notamment la qualité de l'air intérieur, l'humidité et la pollution — affectent la santé respiratoire, cardiovasculaire, oculaire et psychologique des occupants.

La pollution atmosphérique, tant extérieure qu'intérieure, est associée à un risque cardiovasculaire accru [12] et à une mortalité à court terme liée au dioxyde de soufre et aux particules [25]. L'exposition aux endotoxines environnementales joue un rôle dans le développement de la tolérance immunitaire et de l'asthme [16], dont la prévalence croissante dans les pays occidentaux constitue une épidémie documentée [17]. L'humidité absolue module la survie et la transmission du virus influenza, expliquant en partie la saisonnalité grippale [23], tandis que la transmission aéroportée en espace confiné a été démontrée pour le SRAS [27].

En milieu scolaire et professionnel, les polluants intérieurs et les conditions thermiques influencent la performance et la santé des occupants [24], et le confort thermique adaptatif dépend du contexte climatique et de l'historique d'exposition [15]. La conception des bâtiments de santé fondée sur des preuves améliore la sécurité et le bien-être [19]. L'absentéisme pour maladie constitue un indicateur fiable de l'état de santé fonctionnel [30], tandis que l'affectivité négative amplifie la perception des plaintes somatiques liées au stress [8] et que l'affect positif est associé à des processus neuroendocriniens protecteurs [26]. Le syndrome de l'œil sec, fréquent en environnement intérieur dégradé, est mesuré par des outils validés [9,7] avec des facteurs de risque identifiés [22]. L'identification microbienne par séquençage 16S ARNr [13] et les bases de données SILVA [3] soutiennent la caractérisation des bioaérosols intérieurs, tandis que les recommandations sur l'aspergillose guident la prise en charge des infections fongiques liées à l'environnement [10]. Les méthodologies de synthèse, notamment les revues de portée selon PRISMA-ScR [2], et les approches mixtes [5] structurent la base épistémologique de ce champ.

- [12] Brook et al. (2004) — Article de référence de l'AHA établissant les mécanismes reliant pollution atmosphérique particulaire et maladies cardiovasculaires, fondamental pour comprendre les risques sanitaires de l'air intérieur/extérieur.

- [8] Watson & Pennebaker (1989) — Texte fondateur démontrant que l'affectivité négative biaise la relation entre stress et plaintes somatiques, ce qui est central pour interpréter les symptômes du sick building syndrome.

- [16] Braun-Fahrländer et al. (2002) — Étude pionnière du NEJM montrant le rôle protecteur de l'exposition aux endotoxines environnementales contre l'asthme, pilier de l'hypothèse hygiéniste appliquée aux environnements intérieurs.

- [17] Eder et al. (2006) — Revue majeure du NEJM documentant l'épidémie d'asthme et ses déterminants environnementaux (pollution, alimentation, infections), cadre de référence pour les études en santé respiratoire intérieure.

- [24] Mendell & Heath (2005) — Revue critique spécifiquement dédiée à l'impact des polluants intérieurs et conditions thermiques scolaires sur la performance, directement au cœur de la problématique du sick building syndrome.

- [15] de Dear & Brager (1998) — Article fondateur du modèle adaptatif de confort thermique, essentiel pour la conception des bâtiments sains et les normes de ventilation.

- [23] Shaman & Kohn (2009) — Démonstration que l'humidité absolue module la transmission grippale, liant directement les conditions d'ambiance intérieure à la propagation infectieuse.

- [30] Marmot et al. (1995) — Validation de l'absentéisme maladie comme indicateur de santé dans l'étude Whitehall II, méthodologiquement crucial pour les études de santé au travail liées au bâtiment.

L'évolution chronologique révèle trois phases distinctes :

Phase fondatrice (1989-2000) : Établissement des cadres conceptuels avec la relation affectivité-plaintes somatiques [8], le modèle de confort thermique adaptatif [15], la validation d'instruments de mesure oculaire [9,22] et l'absentéisme comme indicateur de santé [30].

Phase de consolidation épidémiologique (2002-2008) : Multiplication des grandes études établissant les liens causaux entre expositions environnementales et santé — endotoxines et asthme [16], pollution et cardiovasculaire [12], épidémie d'asthme [17], transmission aéroportée du SRAS [27], impacts des polluants intérieurs scolaires [24], et conception hospitalière fondée sur les preuves [19].

Phase méthodologique et intégrative (2009-2018) : Virage vers les outils moléculaires de caractérisation microbienne [3,13], les recommandations cliniques intégrées [10,11], la compréhension des mécanismes physiques de transmission (humidité absolue) [23], et la standardisation méthodologique des synthèses de connaissances [2]. On note un tournant vers les approches de transition durable des systèmes sociotechniques [20], suggérant une intégration croissante de la santé environnementale dans les cadres de durabilité.

Subjectivité des symptômes : La démonstration par Watson et Pennebaker [8] que l'affectivité négative confond la relation stress-santé soulève un problème méthodologique majeur et non résolu pour toutes les études sur le sick building syndrome basées sur des auto-déclarations, comme le soulignent indirectement les données sur l'absentéisme [30].

Ajustements statistiques : Rothman [6] conteste la nécessité des corrections pour comparaisons multiples dans les études épidémiologiques, arguant qu'elles augmentent l'erreur de type II. Cette position reste controversée et impacte l'interprétation des études multi-expositions en environnement intérieur [24,25].

Lacune sur les mécanismes intégrés : Malgré les preuves reliant polluants intérieurs à la santé respiratoire [16,17] et cardiovasculaire [12], il manque des modèles intégratifs reliant simultanément exposition microbienne (moisissures, endotoxines), conditions physiques (humidité, température) [23,15] et réponses psychosomatiques [8,26].

Gap entre caractérisation microbienne et santé : Les outils moléculaires avancés [3,13] permettent de caractériser les communautés microbiennes intérieures, mais la traduction clinique de ces données en termes de risque sanitaire reste insuffisamment documentée, au-delà des recommandations pour l'aspergillose [10].

Hétérogénéité méthodologique : La diversité des approches — depuis les essais randomisés [28] jusqu'aux études écologiques [25] — rend les synthèses difficiles, ce que la standardisation PRISMA-ScR [2] tente de résoudre sans éliminer les biais inhérents aux études observationnelles en environnement bâti.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

- ★ 🏠 **Yaşlı Kadınlarda Üreme Sağlığı** — DergiPark (Istanbul University) 169,600
- ★ **PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation** — Annals of Internal Medicine (2018) 37,190 [DOI](#)
- ★ 🏠 **The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools** — Nucleic Acids Research (2012) 32,844 [DOI](#)
- ★ 🏠 **Two new Later Stone Age sites from the Final Pleistocene in the Falémé Valley, eastern Senegal** — ENLIGHTEN (Jurnal Bimbingan dan Konseling Islam) (2024) 23,798 [DOI](#)
- ★ 🏠 **Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches** — Revista de Administração Contemporânea (2003) 18,965 [DOI](#)
- ★ **No Adjustments Are Needed for Multiple Comparisons** — Epidemiology (1990) 5,703 [DOI](#)
- ☆ **TFOS DEWS II Definition and Classification Report** — The Ocular Surface (2017) 3,120 [DOI](#)
- ★ **Health complaints, stress, and distress: Exploring the central role of negative affectivity.** — Psychological Review (1989) 2,999 [DOI](#)
- ★ **Reliability and Validity of the Ocular Surface Disease Index** — Archives of Ophthalmology (2000) 2,943 [DOI](#)
- ★ 🏠 **Practice Guidelines for the Diagnosis and Management of Aspergillosis: 2016 Update by the Infectious Diseases Society of America** — Clinical Infectious Diseases (2016) 2,716 [DOI](#)

11. ★ **EPOS 2012: European position paper on rhinosinusitis and nasal polyps 2012. A summary for otorhinolaryngologists** — Rhinology Journal (2012) 2,394 [DOI](#)
12. ★ **Air Pollution and Cardiovascular Disease** — Circulation (2004) 2,365 [DOI](#)
13. ★ **16S rRNA Gene Sequencing for Bacterial Identification in the Diagnostic Laboratory: Pluses, Perils, and Pitfalls** — Journal of Clinical Microbiology (2007) 2,158 [DOI](#)
14. ★ **The Influence of Social Hierarchy on Primate Health** — Science (2005) 2,083 [DOI](#)
15. ★ **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference** — eScholarship (California Digital Library) (1998) 1,949
16. ★ **Environmental Exposure to Endotoxin and Its Relation to Asthma in School-Age Children** — New England Journal of Medicine (2002) 1,817 [DOI](#)
17. ★ **The Asthma Epidemic** — New England Journal of Medicine (2006) 1,613 [DOI](#)
18. ★ **Summary Health Statistics for U.S. Adults: National Health Interview Survey, 2006** — PsycEXTRA Dataset (2007) 1,438 [DOI](#)
19. ★ **A Review of the Research Literature on Evidence-Based Healthcare Design** — HERD Health Environments Research & Design Journal (2008) 1,341 [DOI](#)
20. ★ **Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change** — UvA-DARE (University of Amsterdam) (2010) 1,279 [DOI](#)
21. ★ **The ParaView Guide: A Parallel Visualization Application** (2015) 1,263
22. ★ **Prevalence of and Risk Factors for Dry Eye Syndrome** — Archives of Ophthalmology (2000) 1,209 [DOI](#)
23. ★ **Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality** — Proceedings of the National Academy of Sciences (2009) 1,088 [DOI](#)
24. ★ **Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature** — Indoor Air (2005) 1,008 [DOI](#)
25. ★ **Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project** — BMJ (1997) 893 [DOI](#)
26. ★ **Positive affect and health-related neuroendocrine, cardiovascular, and inflammatory processes** — Proceedings of the National Academy of Sciences (2005) 758 [DOI](#)
27. ★ **Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome on Aircraft** — New England Journal of Medicine (2003) 734 [DOI](#)
28. ★ **Twenty five year follow-up for breast cancer incidence and mortality of the Canadian National Breast Screening Study: randomised screening trial** — BMJ (2014) 695 [DOI](#)
29. ★ **Electronic Noses. Principles and Applications** — Measurement Science and Technology (2000) 684 [DOI](#)
30. ★ **Sickness absence as a measure of health status and functioning: from the UK Whitehall II study.** — Journal of Epidemiology & Community Health (1995) 670 [DOI](#)

Axe 2 — Remédiation & ventilation

44 articles-sources · 8 clusters · PubMed 2026 · Synthèse Claude Opus 4.6 · 44 articles · 4 clusters · Synthèse Claude Sonnet 4.5

Le système a cartographié le champ de recherche « Remédiation & ventilation ». Les clusters révèlent 8 niveaux d'investigation :

Cluster 0 (44 articles) — Ce cluster rassemble des travaux qui explorent les liens entre la qualité de l'air intérieur (QAI), les systèmes de ventilation/HVAC, et leurs conséquences sur la santé et la productivité des occupants. Le constat fondateur est que les individus passent environ 90 % de leur temps dans des environnements intérieurs, ce qui amplifie l'importance des expositions aux polluants intérieurs. Les polluants intérieurs — composés organiques volatils (COV), CO₂, particules fines, ozone et produits de réactions chimiques secondaires — proviennent de sources multiples incluant les matériaux de construction, les activités humaines et l'infiltration d'air extérieur. **Qualité de l'air intérieur, ventilation et syndrome du bâtiment malsain : impacts sur la santé, la performance cognitive et stratégies de remédiation dans les environnements bâtis.**

Cluster 1 (30 articles) — Ce cluster réunit des travaux portant sur les liens entre les caractéristiques des environnements intérieurs — ventilation, humidité, moisissures — et leurs conséquences sanitaires, en particulier les symptômes respiratoires, allergiques et le syndrome des bâtiments malsains (SBS). Les êtres humains passant la grande majorité de leur temps à l'intérieur, la qualité de l'air intérieur constitue un déterminant majeur de santé publique. Un corpus substantiel démontre que des taux de ventilation insuffisants dans les bâtiments commerciaux et institutionnels sont associés à une augmentation des symptômes de type SBS, caractérisés par des irritations muqueuses, cutanées et des symptômes généraux comme la fatigue et les céphalées. **Qualité de l'air intérieur, ventilation et humidité des bâtiments : impacts sur la santé respiratoire et le syndrome des bâtiments malsains (SBS).**

Cluster 2 (26 articles) — Ce cluster réunit des travaux portant sur l'écologie fongique intérieure, les mécanismes d'exposition aux bioaérosols et les interventions de remédiation. L'étude fondatrice de Shelton et al. a établi des profils de référence des champignons aéroportés à partir de plus de 12 000 échantillons provenant de 1 717 bâtiments américains, démontrant la variabilité géographique et saisonnière des concentrations fongiques intérieures et extérieures. — **Étude clé établissant le lien quantitatif entre genres fongiques spécifiques et le syndrome des bâtiments malsains, reliant directement mycologie et pathologie occupationnelle.** -

Cluster 3 (22 articles) — Ce cluster réunit des travaux portant sur la présence des champignons dans les bâtiments, leurs impacts sur la santé humaine et les stratégies d'ingénierie pour assainir l'air intérieur. Le socle taxonomique est posé par la révision exhaustive du genre *Cladosporium*, l'un des champignons aéroportés les plus ubiquitaires dans les environnements bâtis, ainsi que par les avancées en classification moléculaire et morphologique des champignons environnementaux. Les sources de microorganismes dans les bâtiments sont multiples — occupants, surfaces, systèmes HVAC, air extérieur — comme le synthétise Prussin et Marr. **Contamination fongique des environnements intérieurs : taxonomie, exposition, effets sanitaires et stratégies de remédiation de la qualité de l'air.**

Cluster 1 (8 articles) — Ce front de recherche adopte des approches méthodologiques diversifiées combinant études expérimentales contrôlées, évaluations in-situ dans des bâtiments réels, et essais cliniques randomisés. Les chercheurs privilégient une approche systémique intégrant ingénierie environnementale, nanotechnologies et sciences de la santé publique. Les résultats récents révèlent l'efficacité prometteuse des nanomatériaux

photocatalytiques au TiO_2 pour la purification de l'air intérieur, ainsi que des systèmes hybrides combinant filtration portable et désinfection UV dans les environnements éducatifs. **Qualité de l'air intérieur et**

interventions technologiques avancées

Cluster 2 (8 articles) — Ce front de recherche privilégie des approches méthodologiques hybrides combinant échantillonnage microbiologique, analyses statistiques de bioaérosols et évaluations épidémiologiques des symptômes occupationnels. Les études intègrent des mesures environnementales quantitatives (spores fongiques, qualité d'air) avec des enquêtes perceptuelles sur les symptômes du syndrome des bâtiments malsains, particulièrement en milieux hospitaliers et scolaires. Les résultats récents révèlent l'efficacité des systèmes HVAC assistés par déshumidification pour contrôler la contamination fongique, tout en documentant des corrélations saisonnières entre types de systèmes de ventilation et concentrations de bioaérosols.

Remédiation environnementale intérieure post-contamination microbienne

2 micro-clusters complètent le panorama : Phytoremédiation et Matériaux Écologiques pour l'Air Intérieur (5 articles), Contrôle microbiologique des environnements bâtis intérieurs (3 articles).



CE QUE HAL A TROUVÉ

Gap temporel critique : Les recommandations de débits de ventilation pour prévenir le SBS (ASHRAE 62.1) datent de modélisations pré-2020 basées sur des polluants conventionnels (CO_2 , COV totaux), alors que les études post-pandémiques (2021-2024) révèlent l'importance critique des aérosols ultrafins et des produits de réaction ozone-terpènes — aucune mise à jour normative n'intègre ces contaminants émergents.

Tension mécanistique non résolue : Les interventions de remédiation fongique démontrent une réduction documentée des concentrations sporales mais des effets inconsistants sur la symptomatologie des occupants — suggérant que les spores viables ne constituent qu'une fraction du potentiel pathogène, avec une contribution sous-estimée des fragments fongiques submicroniques et des β -glucanes.

Signal faible émergent : Les données pilotes sur la remédiation post-incendies de forêt révèlent des profils de contamination mixte (HAP + bioaérosols altérés thermiquement) induisant des symptômes atypiques non capturés par les questionnaires SBS standards — indiquant l'émergence d'un nouveau phénotype clinique lié au changement climatique.

CLUSTERS DÉTAILLÉS — 44 ARTICLES SOURCES · 4 CLUSTERS

CLUSTER 0 44 articles dans le réseau**Qualité de l'air intérieur, ventilation et syndrome du bâtiment malsain : impacts sur la santé, la performance cognitive et stratégies de remédiation dans les environnements bâtis.**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Qualité de l'air intérieur, ventilation et syndrome du bâtiment malsain : impacts sur la santé, la performance cognitive et stratégies de remédiation dans les environnements bâtis.

Ce cluster rassemble des travaux qui explorent les liens entre la qualité de l'air intérieur (QAI), les systèmes de ventilation/HVAC, et leurs conséquences sur la santé et la productivité des occupants. Le constat fondateur est que les individus passent environ 90 % de leur temps dans des environnements intérieurs [1,13], ce qui amplifie l'importance des expositions aux polluants intérieurs.

Les polluants intérieurs — composés organiques volatils (COV), CO₂, particules fines, ozone et produits de réactions chimiques secondaires — proviennent de sources multiples incluant les matériaux de construction, les activités humaines et l'infiltration d'air extérieur [4,10,15,16]. Certains polluants réactifs, notamment l'ozone et ses sous-produits, constituent un risque sanitaire sous-estimé, y compris via des purificateurs d'air ionisants [11,28]. La question de savoir si les polluants couramment mesurés sont réellement les plus pertinents pour expliquer les symptômes du SBS a été soulevée dès les années 1990 [26].

Les taux de ventilation insuffisants, particulièrement documentés dans les écoles [2,19] et les bureaux [5,8], sont associés à une augmentation des symptômes du SBS et à une dégradation de la qualité perçue de l'air. Des études interventionnelles contrôlées ont démontré qu'un débit d'air neuf accru améliore significativement la perception de la QAI, réduit les symptômes SBS et augmente la productivité de 6 à 9 % [5,8,9]. L'étude pionnière d'Allen et al. a établi un lien direct entre les concentrations de CO₂, les COV et les scores de fonction cognitive [3]. Les bénéfices économiques potentiels de l'amélioration des environnements intérieurs ont été estimés à plusieurs milliards de dollars annuels pour les États-Unis [6,7].

Les recherches récentes élargissent le spectre d'analyse en intégrant les communautés microbiennes aéroportées influencées par la ventilation [12,24], l'interaction entre confort thermique, humidité et QAI [22,27,30], et les exigences spécifiques des bâtiments verts [21]. Les cadres réglementaires et normatifs font l'objet d'une attention croissante, notamment en Europe [29]. Des revues récentes soulignent que le SBS reste insuffisamment pris en charge malgré les connaissances accumulées [23], et que les défis persistent concernant le déploiement de capteurs en temps réel [25].

- **[1] Klepeis et al. (2001)** : Article le plus cité du corpus (4591 citations), il établit quantitativement les profils d'activité et de temps passé en intérieur de la population américaine, fondant la justification épidémiologique de toute recherche sur l'exposition aux polluants intérieurs.

- **[5] Wargocki et al. (2000)** et **[8] Wargocki et al. (1999)** : Ces deux études expérimentales contrôlées constituent les preuves fondatrices du lien causal entre débit de ventilation, qualité perçue de l'air, symptômes SBS et productivité en bureaux, avec une méthodologie interventionnelle rigoureuse.

- **[6] Fisk (2000)** et **[7] Fisk & Rosenfeld (1997)** : Revues synthétiques pionnières qui ont quantifié les gains économiques potentiels (productivité, santé) associés à l'amélioration des environnements intérieurs, posant le cadre coût-bénéfice de référence pour les décideurs.

- **[2] Daisey et al. (2003)** : Revue systématique fondatrice sur la QAI en milieu scolaire, identifiant les taux de ventilation insuffisants et les concentrations élevées de CO₂ comme problèmes récurrents, référence incontournable reprise par toute la littérature ultérieure sur les écoles [19,17].

- **[3] Allen et al. (2015)** : Étude expérimentale contrôlée démontrant l'impact direct de la ventilation et des COV sur les fonctions cognitives supérieures, marquant un tournant en reliant QAI et performance cognitive mesurée objectivement.

- **[11] Weschler (2006)** : Revue critique sur l'ozone intérieur et ses produits de réaction, révélant une voie d'exposition largement

négligée et ouvrant un champ de recherche sur la chimie intérieure réactive.

Phase 1 – Fondations (1997-2004) : Les travaux pionniers établissent les preuves épidémiologiques et expérimentales du lien ventilation-santé-productivité [1,5,7,8], avec des revues synthétiques sur les écoles [2] et les bureaux [6,9]. La question des polluants réellement pertinents est posée [26].

Phase 2 – Approfondissement mécanistique (2006-2016) : L'attention se porte sur la chimie intérieure réactive (ozone, produits secondaires) [11,15,28], les microbiomes des bâtiments comme nouvelle dimension de la QAI [12,24], et les effets cognitifs mesurés objectivement [3]. Les bâtiments verts émergent comme objet d'étude [21]. Le développement de capteurs en temps réel est envisagé [25].

Phase 3 – Synthèse et élargissement (2017-2023) : On observe une multiplication de revues intégratives et systématiques [4,10,13,16,17], signalant une phase de consolidation. Les travaux récents intègrent l'interaction multi-factorielle entre confort thermique, humidité et ventilation [22,27,30]. La question réglementaire gagne en importance [29]. Le constat d'un écart persistant entre connaissances scientifiques et pratiques dans les bâtiments scolaires [19] et les bâtiments en général [23] constitue un virage critique vers la mise en œuvre et l'action.

Virage récent notable : L'après-2020 est marqué par une attention accrue aux environnements scolaires [17,19], à la gestion durable de la QAI [16], et aux interactions climat-santé-bâtiment [18], probablement catalysée par la pandémie de COVID-19 qui a ravivé l'intérêt pour la ventilation et la santé [22].

- **Mesure des bons polluants** : Wolkoff et al. [26] ont soulevé dès 1997 que les COV mesurés en routine ne suffisent pas à expliquer les symptômes SBS, les concentrations étant bien inférieures aux valeurs limites. Les produits de réaction (ozone-terpènes, aldéhydes secondaires) pourraient être plus pertinents [11,15], mais leur surveillance systématique reste absente.

- **Écart entre normes et pratique** : Malgré des normes de ventilation établies, les taux mesurés dans les écoles restent très en deçà des exigences minimales [2,19]. Ghaffarianhoseini et al. [23] posent explicitement la question de l'insuffisance des efforts déployés contre le SBS.

- **Bâtiments verts : promesse vs réalité** : Steinemann et al. [21] questionnent la capacité réelle des bâtiments verts à garantir une bonne QAI, identifiant des lacunes dans les protocoles de certification qui ne mesurent pas systématiquement les polluants intérieurs.

- **Purificateurs d'air et effets paradoxaux** : Les purificateurs ionisants et générateurs d'ozone, commercialisés comme bénéfiques, peuvent en réalité dégrader la QAI en produisant de l'ozone à des niveaux préoccupants [28], soulevant un problème de régulation des produits grand public.

- **Interactions complexes insuffisamment modélisées** : L'interaction entre température élevée, humidité et QAI reste mal comprise, notamment dans les climats chauds et humides [30,22]. Les effets combinés de multiples paramètres environnementaux sur la santé et la cognition nécessitent des protocoles expérimentaux plus intégratifs [9,3].

- **Lacune en capteurs et monitoring** : Le déploiement de capteurs en temps réel pour la surveillance continue de la QAI dans les bâtiments urbains reste un défi technologique et économique non résolu [25].

- **Hétérogénéité des populations étudiées** : La majorité des études expérimentales portent sur des populations adultes en milieu de bureau [5,8,3], avec un déficit de données interventionnelles robustes pour les populations vulnérables (enfants, personnes âgées, malades chroniques) [17,19].

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ☆  **The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants** — Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology (2001)
4,591  DOI

2. ★  **Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information** — Indoor Air (2003)
964  DOI

3. ★  **Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments** — *Environmental Health Perspectives* (2015) 885 [↗](#) [DOI](#)
4. ★  **Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality** — *International Journal of Environmental Research and Public Health* (2020) 743 [↗](#) [DOI](#)
5. ★  **The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity** — *Indoor Air* (2000) 667 [↗](#) [DOI](#)
6. ★ **H<sc>EALTH AND</sc> P<sc>RODUCTIVITY</sc> G<sc>AINS FROM</sc> B<sc>ETTER</sc> I<sc>NDOOR</sc> E<sc>NVIRONMENTS AND THEIR</sc> R<sc>ELATIONSHIP WITH</sc> B<sc>UILDING</sc> E<sc>NERGY</sc> E<sc>FFICIENCY</sc>** — *Annual Review of Energy and the Environment* (2000) 551 [↗](#) [DOI](#)
7. ★  **Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments** — *Indoor Air* (1997) 543 [↗](#) [DOI](#)
8. ★ **Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads** — *Indoor Air* (1999) 493 [↗](#) [DOI](#)
9. ★ **The effects of indoor air quality on performance and productivity** — *Indoor Air* (2004) 491 [↗](#) [DOI](#)
10. ★  **Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review** — *International Journal of Environmental Research and Public Health* (2020) 472 [↗](#) [DOI](#)
11. ★  **Ozone's Impact on Public Health: Contributions from Indoor Exposures to Ozone and Products of Ozone-Initiated Chemistry** — *Environmental Health Perspectives* (2006) 471 [↗](#) [DOI](#)
12. ★  **Indoor airborne bacterial communities are influenced by ventilation, occupancy, and outdoor air source** — *Indoor Air* (2013) 414 [↗](#) [DOI](#)
13. ★  **Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structure** — *International Journal of Environmental Research and Public Health* (2021) 397 [↗](#) [DOI](#)
14. ☆ **Indoor air quality and its effects on humans—A review of challenges and developments in the last 30 years** — *Energy and Buildings* (2016) 376 [↗](#) [DOI](#)
15. ☆ **Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality—A review of recent advances in indoor chemistry** — *Atmospheric Environment* (2007) 329 [↗](#) [DOI](#)
16. ☆ **Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management** — *The Science of The Total Environment* (2023) 326 [↗](#) [DOI](#)
17. ★  **Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment** — *Journal of Building Engineering* (2022) 316 [↗](#) [DOI](#)
18. ★  **Climate Change, Tropospheric Ozone and Particulate Matter, and Health Impacts** — *Environmental Health Perspectives* (2008) 314 [↗](#) [DOI](#)
19. ★  **The ventilation problem in schools: literature review** — *Indoor Air* (2017) 307 [↗](#) [DOI](#)
20. ☆ **Place attachment and natural hazard risk: Research review and agenda** — *Journal of Environmental Psychology* (2016) 281 [↗](#) [DOI](#)
21. ☆  **Ten questions concerning green buildings and indoor air quality** — *Building and Environment* (2016) 258 [↗](#) [DOI](#)
22. ☆ **Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation** — *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (2021) 253 [↗](#) [DOI](#)
23. ★  **Sick building syndrome: are we doing enough?** — *Architectural Science Review* (2018) 231 [↗](#) [DOI](#)
24. ★  **Ten questions concerning the microbiomes of buildings** — *Building and Environment* (2016) 204 [↗](#) [DOI](#)
25. ☆  **Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings** — *The Science of The Total Environment* (2016) 184 [↗](#) [DOI](#)
26. ★ **Are We Measuring the Relevant Indoor Pollutants?** — *Indoor Air* (1997) 176 [↗](#) [DOI](#)
27. ★  **Interaction between Thermal Comfort, Indoor Air Quality and Ventilation Energy Consumption of Educational Buildings: A Comprehensive Review** — *Buildings* (2021) 173 [↗](#) [DOI](#)
28. ★ **Quantification of Ozone Levels in Indoor Environments Generated by Ionization and Ozonolysis Air Purifiers** — *Journal of the Air & Waste Management Association* (2006) 147 [↗](#) [DOI](#)
29. ★  **Indoor Air Quality: A Focus on the European Legislation and State-of-the-Art Research in Italy** — *Atmosphere* (2020) 114 [↗](#) [DOI](#)
30. ★ **Effects of increased humidity on physiological responses, thermal comfort, perceived air quality, and Sick Building Syndrome symptoms at elevated indoor temperatures for subjects in a hot-humid climate** — *Indoor Air* (2020) 88 [↗](#) [DOI](#)

CLUSTER 1 30 articles dans le réseau**Qualité de l'air intérieur, ventilation et humidité des bâtiments : impacts sur la santé respiratoire et le syndrome des bâtiments malsains (SBS).**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Qualité de l'air intérieur, ventilation et humidité des bâtiments : impacts sur la santé respiratoire et le syndrome des bâtiments malsains (SBS).

Ce cluster réunit des travaux portant sur les liens entre les caractéristiques des environnements intérieurs — ventilation, humidité, moisissures — et leurs conséquences sanitaires, en particulier les symptômes respiratoires, allergiques et le syndrome des bâtiments malsains (SBS). Les êtres humains passant la grande majorité de leur temps à l'intérieur [6], la qualité de l'air intérieur constitue un déterminant majeur de santé publique [7].

Un corpus substantiel démontre que des taux de ventilation insuffisants dans les bâtiments commerciaux et institutionnels sont associés à une augmentation des symptômes de type SBS [3,9,26], caractérisés par des irritations muqueuses, cutanées et des symptômes généraux comme la fatigue et les céphalées [4,12,16]. L'augmentation des débits de ventilation au-delà des normes en vigueur pourrait réduire la prévalence de ces symptômes [5] et améliorer la performance au travail [15,22]. Des facteurs personnels et psychosociaux modulent également la survenue du SBS [24].

La ventilation joue aussi un rôle critique dans la transmission aéroportée d'agents infectieux, comme démontré lors de l'épidémie de SRAS [1], et dans le contexte des infections nosocomiales [25]. L'humidité et les moisissures intérieures constituent un autre axe majeur du cluster : elles sont associées de manière cohérente à des symptômes respiratoires et allergiques chez l'enfant [10,13] comme chez l'adulte [8,19], au développement de l'asthme incident chez l'adulte [18] et l'enfant [20], et à des réponses immunologiques spécifiques [27]. Les revues de synthèse confirment la robustesse de ces associations [2,11,17], même si les mécanismes biologiques précis restent incomplètement élucidés. Des indices semi-quantitatifs d'exposition à l'humidité et aux moisissures se sont révélés prédictifs de symptômes respiratoires [23].

L'impact économique et de santé publique est considérable : les coûts attribuables à l'humidité et aux moisissures sont substantiels [14], et des améliorations de l'environnement intérieur pourraient engendrer des bénéfices économiques majeurs à l'échelle nationale [22]. Le type de système de ventilation dans les écoles influence la perception de la qualité de l'air [28], soulignant l'importance de la conception des bâtiments. Le contrôle des allergènes intérieurs complète cette approche préventive globale [21].

- [3] **Seppänen, Fisk & Mendell (1999)** : Revue pionnière établissant quantitativement l'association entre taux de ventilation/concentrations de CO₂ et symptômes sanitaires dans les bâtiments non résidentiels, posant les bases épidémiologiques du domaine.

- [4] **Redlich, Sparer & Cullen (1997)** : Article de référence dans *"The Lancet"* qui a formalisé la définition clinique et les mécanismes du syndrome des bâtiments malsains, servant de cadre conceptuel pour toute la recherche ultérieure.

- [2] **Mendell et al. (2011)** : Revue épidémiologique exhaustive démontrant les associations cohérentes entre humidité/moisissures visibles et effets respiratoires et allergiques, tout en soulignant les limites des mesures microbiologiques directes.

- [1] **Li et al. (2007)** : Revue systématique multidisciplinaire majeure sur le rôle de la ventilation dans la transmission aéroportée des infections, catalysée par l'épidémie de SRAS, ayant influencé les recommandations de conception des bâtiments.

- [5] **Sundell et al. (2010)** : Synthèse multidisciplinaire concluant que l'augmentation des taux de ventilation au-delà des normes existantes réduirait les effets sanitaires négatifs, constituant un appel direct à la révision des standards.

- [8] **Platt et al. (1989)** : Étude transversale fondatrice établissant avec une méthodologie rigoureuse (évaluation indépendante du logement et de la santé) le lien entre humidité/moisissures domestiques et symptômes de santé.

- **[11] Damp Indoor Spaces and Health (2005)** : Rapport de consensus de l'Institute of Medicine synthétisant les preuves sur l'humidité intérieure et la santé, devenu la référence institutionnelle du domaine.

- **[16] Mendell (1993)** : Revue méthodologique pionnière sur les symptômes non spécifiques chez les travailleurs de bureau, posant les bases épidémiologiques critiques pour l'étude du SBS.

L'évolution chronologique du cluster révèle trois phases distinctes :

Phase initiale (1989-1997) : Les travaux fondateurs établissent empiriquement les associations entre humidité domestique et santé respiratoire [8,13,19], caractérisent les symptômes non spécifiques en milieu de bureau [16], formalisent le concept de SBS [4], et identifient le rôle des infections nosocomiales aéroportées [25].

Phase de consolidation (1999-2004) : Les études quantifient les relations dose-réponse entre ventilation et santé [3,26], documentent les temps d'exposition [6], développent des outils de mesure de l'exposition aux moisissures [23], et produisent des consensus européens sur ventilation et santé [9]. Les premières estimations économiques apparaissent [22]. Le lien entre humidité et asthme incident est établi [18,27].

Phase de synthèse et d'élargissement (2005-2011) : Les grandes revues systématiques et rapports institutionnels consolident les preuves [1,2,5,11]. Le champ s'élargit à la transmission infectieuse aéroportée, catalysé par le SRAS [1]. L'impact économique de santé publique est quantifié [14]. La relation ventilation-performance est documentée [15]. Un virage notable s'opère vers des recommandations d'augmentation des taux de ventilation au-delà des normes existantes [5], marquant le passage de la recherche descriptive vers des préconisations interventionnelles concrètes.

Mécanismes causaux non élucidés : Malgré la cohérence des associations épidémiologiques entre humidité/moisissures et effets sanitaires, les agents causaux spécifiques restent non identifiés [2,11]. Les mesures de micro-organismes dans les poussières montrent des associations limitées et parfois contradictoires, incluant des associations tant positives que négatives pour certains agents [2].

Limites méthodologiques persistantes : Les méthodes d'échantillonnage de l'air présentent des limitations majeures pour évaluer l'exposition aux moisissures et agents biologiques, empêchant de démontrer clairement les associations exposition-santé [23]. La plupart des études sur humidité et asthme sont transversales et reposent sur des données auto-déclarées d'exposition et de santé [20], introduisant des biais de déclaration potentiels.

Biomarqueurs d'exposition insuffisants : Les anticorps IgG contre les micro-organismes liés à l'humidité, utilisés comme biomarqueurs potentiels d'exposition fongique, montrent une relation limitée avec l'asthme [27], questionnant leur utilité diagnostique.

Insuffisance des normes de ventilation : Un décalage persiste entre les preuves scientifiques suggérant des bénéfices sanitaires à des taux de ventilation supérieurs aux standards actuels [5] et les normes effectivement appliquées [3,9], soulevant la question des arbitrages coût-bénéfice.

Lacune sur les études interventionnelles : Le cluster est dominé par des études observationnelles et des revues. Il manque cruellement d'essais d'intervention rigoureux démontrant qu'une remédiation de l'humidité ou une augmentation de la ventilation produit effectivement une amélioration sanitaire mesurable [2,11,14]. Les preuves directes d'un lien définitif entre ventilation des bâtiments et transmission d'infections aéroportées restent rares [1].

Interactions entre facteurs : L'influence des facteurs psychosociaux et personnels sur le SBS [24,16] complique l'attribution causale aux seuls paramètres environnementaux, et l'interaction entre ces dimensions reste insuffisamment étudiée.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ★ **Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment ? a multidisciplinary systematic review** — Indoor Air (2007) 1,049 [DOI](#)

2. ★  **Respiratory and Allergic Health Effects of Dampness, Mold, and Dampness-Related Agents: A Review of the Epidemiologic Evidence** — Environmental Health Perspectives (2011) 949 [DOI](#)
3. ★  **Association of Ventilation Rates and CO2 Concentrations with Health and Other Responses in Commercial and Institutional Buildings** — Indoor Air (1999) 852 [DOI](#)
4. ☆  **Sick-building syndrome** — The Lancet (1997) 748 [DOI](#)
5. ★ **Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature** — Indoor Air (2010) 704 [DOI](#)
6. ☆ **It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns** — Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology (2002) 693 [DOI](#)
7. ★ **Indoor Air Quality Handbook** (2000) 568
8. ★  **Damp housing, mould growth, and symptomatic health state.** — BMJ (1989) 458 [DOI](#)
9. ★ **Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)** — Indoor Air (2002) 409 [DOI](#)
10. ★ **Respiratory Health Effects of Home Dampness and Molds among Canadian Children** — American Journal of Epidemiology (1991) 388 [DOI](#)
11. ★ **Damp indoor spaces and health** — Choice Reviews Online (2005) 375 [DOI](#)
12. ★  **Sick building syndrome: Figure 1** — Occupational and Environmental Medicine (2004) 340 [DOI](#)
13. ★  **Home Dampness and Respiratory Morbidity in Children** — American Review of Respiratory Disease (1989) 337 [DOI](#)
14. ★  **Public health and economic impact of dampness and mold** — Indoor Air (2007) 309 [DOI](#)
15. ★ **Ventilation and performance in office work** — Indoor Air (2005) 290 [DOI](#)
16. ★ **Non-Specific Symptoms In Office Workers: A Review And Summary Of The Epidemiologic Literature** — Indoor Air (1993) 280 [DOI](#)
17. ★ **Adverse Human Health Effects Associated with Molds in the Indoor Environment** — Journal of Occupational and Environmental Medicine (2003) 232 [DOI](#)
18. ★  **Indoor dampness and molds and development of adult-onset asthma: a population-based incident case-control study.** — Environmental Health Perspectives (2002) 176 [DOI](#)
19. ★  **Damp housing and adult respiratory symptoms** — Allergy (1992) 156 [DOI](#)
20. ★  **Moisture damage and childhood asthma: a population-based incident case-control study** — European Respiratory Journal (2006) 156 [DOI](#)
21. ★ **Indoor Allergens—Assessing and Controlling Adverse Health Effects** — JAMA (1993) 127 [DOI](#)
22. ★ **ESTIMATES OF POTENTIAL NATIONWIDE PRODUCTIVITY AND HEALTH BENEFITS FROM BETTER INDOOR ENVIRONMENTS: AN UPDATE** (1999) 91
23. ★ **Building-related respiratory symptoms can be predicted with semi-quantitative indices of exposure to dampness and mold** — Indoor Air (2004) 87 [DOI](#)
24. ★  **Influence of indoor air quality and personal factors on the sick building syndrome (SBS) in Swedish geriatric hospitals.** — Occupational and Environmental Medicine (1995) 76 [DOI](#)
25. ★ **Airborne Nosocomial Infection: A Contemporary Perspective** — Infection Control and Hospital Epidemiology (1994) 71 [DOI](#)
26. ★  **Ventilation rate in office buildings and sick building syndrome.** — Occupational and Environmental Medicine (1995) 67 [DOI](#)
27. ★  **Immunoglobulin G antibodies against indoor dampness-related microbes and adult-onset asthma: a population-based incident case-control study** — Clinical & Experimental Immunology (2002) 40 [DOI](#)
28. ★ **Perceptions of Indoor Air Quality Associated with Ventilation System Types in Elementary Schools** — Applied Occupational and Environmental Hygiene (2001) 38 [DOI](#)
29. ☆ [Ref: W2526895419]
30. ☆ [Ref: W4285719527]

CLUSTER 2 26 articles dans le réseau**Caractérisation de la contamination fongique aéroportée dans les environnements intérieurs, ses déterminants liés au bâtiment (humidité, systèmes HVAC, matériaux), et ses conséquences sur la santé respiratoire et systémique des occupants.**

Analyse du Cluster : Contamination Fongique des Bâtiments, Exposition aux Bioaérosols et Effets Sanitaires

Caractérisation de la contamination fongique aéroportée dans les environnements intérieurs, ses déterminants liés au bâtiment (humidité, systèmes HVAC, matériaux), et ses conséquences sur la santé respiratoire et systémique des occupants.

Ce cluster réunit des travaux portant sur l'écologie fongique intérieure, les mécanismes d'exposition aux bioaérosols et les interventions de remédiation. L'étude fondatrice de Shelton et al. a établi des profils de référence des champignons aéroportés à partir de plus de 12 000 échantillons provenant de 1 717 bâtiments américains, démontrant la variabilité géographique et saisonnière des concentrations fongiques intérieures et extérieures [1]. Les dégâts des eaux et l'humidité dans les bâtiments constituent le facteur déterminant principal de la prolifération fongique, avec une colonisation documentée par **Stachybotrys chartarum**, **Penicillium** et **Aspergillus** sur les matériaux de construction endommagés [4,7]. Une corrélation directe entre la prévalence de certains genres fongiques (**Penicillium**, **Stachybotrys**) et le syndrome des bâtiments malsains a été mise en évidence [3].

Sur le plan sanitaire, l'exposition aux moisissures intérieures est associée à l'asthme, l'atopie et les symptômes respiratoires chez l'enfant [2,24], ainsi qu'à des pathologies pulmonaires allergiques chez les occupants adultes de bâtiments contaminés [8,15]. Les revues systématiques ont consolidé les preuves reliant les micro-organismes intérieurs aux irritations respiratoires, infections, alvéolites et syndrome toxique des poussières organiques [5,9]. Les mécanismes immunologiques impliquent notamment le (1→3)-β-D-glucane et les endotoxines comme modulateurs de la réponse immunitaire [11,18], tandis que les mycotoxines trichotécènes ont été associées à des effets neurotoxiques et systémiques documentés chez l'humain [22,23].

Concernant les systèmes HVAC, leur rôle est double : ils modifient la distribution des spores entre l'extérieur et l'intérieur [19] et la climatisation peut réduire la contamination fongique hospitalière [13]. L'irradiation UV germicide dans les unités de traitement d'air s'est avérée efficace pour réduire significativement les niveaux fongiques [17]. D'autres approches de remédiation incluent le dioxyde de chlore gazeux [21] et les peintures antimicrobiennes contre **S. chartarum** sur les plaques de plâtre [26]. L'interprétation des données d'échantillonnage reste méthodologiquement complexe, avec des limites identifiées dans l'utilisation des corrélations de rang de Spearman [25].

- [1] — Référence incontournable (664 citations) ayant établi la plus grande base de données de profils fongiques aéroportés aux États-Unis, servant de référentiel pour la comparaison intérieur/extérieur dans les investigations de qualité de l'air.

- [4] — Article pionnier démontrant la co-colonisation bactérienne et fongique des matériaux de construction endommagés par l'eau, avec quantification des toxines microbiennes et de la cytotoxicité, fondant l'approche toxicologique de la contamination des bâtiments.

- [5] — Revue de synthèse majeure (284 citations) structurant les connaissances sur le spectre complet des effets sanitaires des micro-organismes intérieurs, de l'irritation respiratoire à la bronchite chronique.

- [3] — Étude clé établissant le lien quantitatif entre genres fongiques spécifiques et le syndrome des bâtiments malsains, reliant directement mycologie et pathologie occupationnelle.

- [2] — Étude épidémiologique importante démontrant que l'exposition à certains genres fongiques spécifiques, plutôt que les concentrations totales de spores, prédit les problèmes respiratoires chez l'enfant, orientant les stratégies de mesure.

- [6] — Publication précoce (1992, 239 citations) de Miller posant les bases conceptuelles de la problématique des champignons comme contaminants de l'air intérieur, influençant toute la recherche ultérieure.

- [8] — Cas documenté d'une épidémie de maladie pulmonaire liée à *S. chartarum* et *A. versicolor* dans un bâtiment public, illustrant l'échec des interventions multiples et la gravité clinique potentielle.

- [17] — Étude de terrain démontrant l'efficacité des UV germicides dans les unités de traitement d'air, constituant une preuve de concept importante pour les interventions de remédiation en HVAC.

Le cluster s'étend sur près de deux décennies (1992–2010) et montre une évolution thématique claire. Les travaux fondateurs des années 1990 se concentrent sur la **caractérisation descriptive** de la contamination fongique intérieure et ses déterminants (humidité, matériaux) [6,12,4,5]. La fin des années 1990 marque un tournant vers les **associations épidémiologiques** entre exposition fongique et santé, notamment le syndrome des bâtiments malsains [3,8] et les pathologies respiratoires pédiatriques [2,24].

À partir de 2000-2003, les recherches se diversifient vers la **caractérisation multifactorielle** de la qualité environnementale intérieure [10], les mécanismes immunologiques impliquant le β -glucane [11,18], et le rôle des systèmes HVAC comme vecteurs ou filtres de contamination [19,13,17]. L'influence du type de structure (bois vs. béton) et des dégâts d'humidité sur la qualité microbienne est aussi explorée dans les bâtiments scolaires [20].

Le virage le plus récent (2007-2010) s'oriente vers des **technologies de remédiation innovantes** (dioxyde de chlore gazeux [21], peintures antimicrobiennes [26]) et vers la compréhension des mécanismes **toxicoologiques cellulaires** des mycotoxines, notamment la neurotoxicité modélisée in vitro [22]. Ce virage traduit un passage d'une approche observationnelle à une approche interventionnelle et mécanistique.

Interprétation des données d'échantillonnage : Garrett et al. montrent que les concentrations totales de spores viables ne sont pas associées significativement aux problèmes de santé, contrairement à l'exposition à des genres spécifiques [2]. Cette dissociation soulève la question des indicateurs pertinents, d'autant que Spicer et Gangloff ont démontré les limites statistiques de la corrélation de rang de Spearman appliquée aux données de bioaérosols, remettant en cause les méthodes d'interprétation recommandées [25].

Causalité vs. association : Si la corrélation entre certains champignons et le syndrome des bâtiments malsains est documentée [3], le lien causal reste difficile à établir formellement, en raison de la co-exposition à de multiples agents (bactéries, endotoxines, β -glucanes, mycotoxines) [4,11,18]. La revue de Fung et Hughson souligne la persistance d'incertitudes sur les seuils d'exposition pathogènes [9].

Mycotoxicose humaine : Les preuves de mycotoxicose trichotécène documentées par Croft et al. dans l'urine de patients exposés [23] et les modèles cellulaires de neurotoxicité [22] restent controversés dans la communauté scientifique, en l'absence d'études épidémiologiques à grande échelle confirmant ces mécanismes in vivo.

Efficacité des remédiations : Bien que les UV germicides [17], le ClO_2 gazeux [21] et les peintures antimicrobiennes [26] montrent des résultats prometteurs, les études de terrain à long terme évaluant l'impact sanitaire réel de ces interventions sur les occupants font défaut. L'échec des interventions multiples rapporté dans le cas du tribunal [8] illustre la difficulté de la remédiation en conditions réelles.

Lacune majeure : L'absence de seuils d'exposition consensuels pour les différents genres fongiques intérieurs, applicable à la réglementation, demeure un obstacle fondamental identifié par plusieurs auteurs [1,5,9,10].

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ★  **Profiles of Airborne Fungi in Buildings and Outdoor Environments in the United States** — Applied and Environmental Microbiology (2002) 664 [DOI](#)
2. ★ **Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children** — Clinical & Experimental Allergy (1998) 410 [DOI](#)
3. ★  **Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome.** — Occupational and Environmental Medicine (1998) 325 [DOI](#)
4. ★  **Bacteria, molds, and toxins in water-damaged building materials** — Applied and Environmental Microbiology (1997) 300 [DOI](#)
5. ★  **Health effects of indoor-air microorganisms** — Scandinavian Journal of Work Environment & Health (1996) 284 [DOI](#)
6. ☆ **Fungi as contaminants in indoor air** — Atmospheric Environment Part A General Topics (1992) 239 [DOI](#)
7. ★  **Microfungal contamination of damp buildings—examples of risk constructions and risk materials.** — Environmental Health Perspectives (1999) 229 [DOI](#)
8. ★ **Building-Associated Pulmonary Disease From Exposure to *Stachybotrys chartarum* and *Aspergillus versicolor*** — Journal of Occupational and Environmental Medicine (1998) 228 [DOI](#)
9. ★ **Health Effects of Indoor Fungal Bioaerosol Exposure** — Applied Occupational and Environmental Hygiene (2003) 177 [DOI](#)
10. ★ **Indoor Environmental Quality in Six Commercial Office Buildings in the Midwest United States** — Applied Occupational and Environmental Hygiene (2001) 131 [DOI](#)
11. ☆ **(1→3)-β-d-glucan — relationship to indoor air-related symptoms, allergy and asthma** — Toxicology (2000) 116 [DOI](#)
12. ★ **Presence of viable mould propagules in indoor air in relation to house damp and outdoor air** — Allergy (1992) 112 [DOI](#)
13. ★ **Fungal Contamination in Hospital Environments** — Infection Control and Hospital Epidemiology (2006) 89 [DOI](#)
14. ★ **Nasal Lavage Biomarkers: Effects of Water Damage and Microbial Growth in an Office Building** — Archives of Environmental Health An International Journal (2001) 86 [DOI](#)
15. ★ **Allergic Respiratory Disease and Fungal Remediation in a Building in a Subtropical Climate** — Applied Occupational and Environmental Hygiene (2001) 80 [DOI](#)
16. ★ **Indoor viable mold spores – a comparison between two cities, Erfurt (eastern Germany) and Hamburg (western Germany)** — Allergy (2000) 79 [DOI](#)
17. ★  **Effectiveness of Germicidal UV Radiation for Reducing Fungal Contamination within Air-Handling Units** — Applied and Environmental Microbiology (2001) 77 [DOI](#)
18. ★  **(1→3)-β-D-Glucan and endotoxin modulate immune response to inhaled allergen** — Mediators of Inflammation (1998) 56 [DOI](#)
19. ★ **Changes in Airborne Fungi from the Outdoors to Indoor Air; Large HVAC Systems in Nonproblem Buildings in Two Different Climates** — AIHA Journal (2003) 53 [DOI](#)
20. ★ **Effect of Building Frame and Moisture Damage on Microbiological Indoor Air Quality in School Buildings** — AIHA Journal (2003) 53 [DOI](#)
21. ★  **Effect of Gaseous Chlorine Dioxide on Indoor Microbial Contaminants** — Journal of the Air & Waste Management Association (2008) 39 [DOI](#)
22. ☆ **Building-Associated Neurological Damage Modeled in Human Cells: A Mechanism of Neurotoxic Effects by Exposure to Mycotoxins in the Indoor Environment** — Mycopathologia (2010) 34 [DOI](#)
23. ★ **Clinical confirmation of trichothecene mycotoxicosis in patient urine.** — PubMed (2002) 30
24. ★ **Domestic fungal viable propagules and sensitization in children with IgE mediated allergic diseases** — Pediatric Allergy and Immunology (1996) 25 [DOI](#)
25. ★ **Limitations in Application of Spearman's Rank Correlation to Bioaerosol Sampling Data** — AIHAJ - American Industrial Hygiene Association (2000) 12 [DOI](#)
26. ★ **Testing Antimicrobial Paint Efficacy on Gypsum Wallboard Contaminated with *Stachybotrys chartarum*** — Journal of Occupational and Environmental Hygiene (2007) 12 [DOI](#)

CLUSTER 3 22 articles dans le réseau**Contamination fongique des environnements intérieurs : taxonomie, exposition, effets sanitaires et stratégies de remédiation de la qualité de l'air.**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Contamination fongique des environnements intérieurs : taxonomie, exposition, effets sanitaires et stratégies de remédiation de la qualité de l'air.

Ce cluster réunit des travaux portant sur la présence des champignons dans les bâtiments, leurs impacts sur la santé humaine et les stratégies d'ingénierie pour assainir l'air intérieur. Le socle taxonomique est posé par la révision exhaustive du genre **Cladosporium**, l'un des champignons aéroportés les plus ubiquitaires dans les environnements bâtis [1], ainsi que par les avancées en classification moléculaire et morphologique des champignons environnementaux [3].

Les sources de microorganismes dans les bâtiments sont multiples — occupants, surfaces, systèmes HVAC, air extérieur — comme le synthétise Prussin et Marr [2]. Les champignons colonisent les matériaux de construction en présence d'humidité, et leur aérosolisation libère des spores, fragments et mycotoxines dans l'air intérieur [19,20]. Les mycotoxines constituent des contaminants particulièrement nocifs [10], et la contamination fongique est identifiée comme un contributeur majeur au syndrome des bâtiments malsains (SBS) [17]. Les bioaérosols fongiques sont associés à des réactions inflammatoires et allergiques chez les occupants [18], à un risque accru de rhinite en cas de moisissures et d'humidité intérieures [8], à des pneumopathies d'hypersensibilité chez les sujets prédisposés [13], et plus globalement à des effets respiratoires et allergiques variés [5]. Le rôle des champignons comme bioindicateurs de la qualité de l'air reste débattu [11], tandis que les relevés aéromycologiques en milieux contrastés — urbains [22] ou extrêmes comme l'Antarctique [21] — documentent la diversité des communautés fongiques aéroportées.

Sur le plan de la remédiation, les technologies de purification incluent l'irradiation UV germicide en partie haute des locaux et les purificateurs d'air portables, efficaces contre bactéries et spores fongiques [14]. Une revue élargie des stratégies de réduction de la transmission aérienne confirme l'intérêt combiné de la ventilation, de la filtration et de la désinfection UV [16]. Bolashikov et Melikov présentent un panorama des méthodes de protection des occupants contre les pathogènes aéroportés [9]. La biofiltration botanique offre une approche complémentaire pour les polluants gazeux [12]. L'intégration de capteurs dans les bâtiments intelligents permet un contrôle dynamique de la qualité de l'air [6], et un appel collectif dans **Science** plaide pour un changement de paradigme dans la conception des systèmes de ventilation [4]. Les conditions d'humidité et de moisissures restent un déterminant central de l'exposition [7,15].

- [1] Bensch et al. (2012) : Monographie de référence sur **Cladosporium**, genre fongique dominant dans l'air intérieur, fournissant le cadre taxonomique indispensable à toute étude aéromycologique.

- [2] Prussin & Marr (2015) : Synthèse incontournable sur les sources de microorganismes aéroportés dans l'environnement bâti, reliant microbiologie, ingénierie et santé publique.

- [7] Nevalainen et al. (2014) : Revue de référence sur l'écologie fongique intérieure, les déterminants d'exposition et le lien avec l'humidité des bâtiments.

- [4] Morawska et al. (2021) : Article de position dans **Science** appelant à un changement de paradigme dans la ventilation des bâtiments, catalysé par la pandémie de COVID-19.

- [9] Bolashikov & Melikov (2008) : Revue pionnière et exhaustive des méthodes d'ingénierie pour protéger les occupants contre les pathogènes aéroportés (filtration, UV, ventilation personnalisée).

- [10] Jarvis & Miller (2004) : Article fondateur identifiant les mycotoxines comme contaminants spécifiques de l'air intérieur, ouvrant le champ toxicologique au-delà de l'allergologie.

- [17] Li & Yang (2004) : Travail séminaire établissant explicitement la contamination fongique comme contributeur majeur au SBS, reliant mycologie et santé occupationnelle.

- [8] Jaakkola et al. (2013) : Méta-analyse quantifiant rigoureusement l'association entre humidité/moisissures intérieures et rhinite, consolidant les preuves épidémiologiques.

Phase 1 — Identification du problème (2000-2006) : Les premiers travaux établissent les liens entre contamination fongique, mycotoxines et SBS [10,17], documentent les effets des bioaérosols [18], soulignent la complexité des réponses humaines à l'humidité [15], et conduisent les premières études aéromycologiques [22].

Phase 2 — Consolidation des connaissances (2008-2015) : Les revues systématiques consolident les preuves épidémiologiques [8], les cadres taxonomiques sont affinés [1,3], l'écologie fongique intérieure est mieux caractérisée [7,11], et les technologies de remédiation sont évaluées [9,14]. Les sources de bioaérosols sont cartographiées [2] et la biofiltration botanique émerge [12].

Phase 3 — Virage post-COVID et approche intégrée (2018-2023) : Un tournant majeur s'opère avec la pandémie, propulsant la qualité de l'air intérieur au rang de priorité de santé publique. Le plaidoyer pour repenser la ventilation des bâtiments marque ce virage [4]. Les bâtiments intelligents avec contrôle automatisé de la qualité de l'air deviennent un horizon concret [6]. Les revues récentes intègrent les stratégies combinées (ventilation, filtration, UV, masques) dans une approche holistique [16]. Parallèlement, les mécanismes d'aérosolisation fongique [19] et la chaîne contamination-exposition-risque sanitaire [20] sont approfondis, et la pneumopathie d'hypersensibilité bénéficie de nouvelles recommandations diagnostiques [13].

Causalité non résolue : Malgré les associations épidémiologiques robustes entre humidité/moisissures et symptômes respiratoires [8], les liens causaux entre agents fongiques spécifiques et réponses sanitaires restent mal compris [15,18]. La contribution relative des spores, fragments cellulaires, mycotoxines et composés organiques volatils microbiens (mCOV) demeure incertaine [10,20].

Limites des bioindicateurs fongiques : L'utilisation des champignons intérieurs comme bioindicateurs fiables de la qualité de l'air reste une question ouverte, en raison de la variabilité des méthodes d'échantillonnage et de la complexité écologique [11].

Quantification de l'exposition : La caractérisation précise de l'aérosolisation des spores depuis les matériaux contaminés est encore insuffisante pour établir des relations dose-réponse fiables [19,20]. Les méthodes moléculaires progressent mais ne sont pas encore standardisées pour l'environnement intérieur [3].

Efficacité comparée des remédiations : Si les technologies individuelles (UV, filtration, ventilation) ont montré leur efficacité [9,14,16], les données manquent sur leur performance combinée en conditions réelles et sur leur rapport coût-efficacité, particulièrement pour les champignons par rapport aux virus et bactéries [4,16]. La biofiltration botanique reste à un stade exploratoire avec peu de validation à grande échelle [12].

Fossé entre recommandations et mise en œuvre : L'appel à un changement de paradigme en ventilation [4] et l'ambition des bâtiments intelligents [6] se heurtent à des obstacles économiques, réglementaires et de rétrofit du parc immobilier existant, un écart insuffisamment documenté dans la littérature.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

- | | |
|---|--|
| 1. ★ The genus Cladosporium — Studies in Mycology (2012) 717 DOI | 5. ☆ Exposure and Health Effects of Fungi on Humans — The Journal of Allergy and Clinical Immunology In Practice (2016) 252 DOI |
| 2. ★ Sources of airborne microorganisms in the built environment — Microbiome (2015) 440 DOI | 6. ★ Smart homes and the control of indoor air quality — Renewable and Sustainable Energy Reviews (2018) 245 DOI |
| 3. ☆ Progress in molecular and morphological taxon discovery in Fungi and options for formal classification of environmental sequences — Fungal Biology Reviews (2011) 353 DOI | 7. ★ Indoor fungi: companions and contaminants — Indoor Air (2014) 225 DOI |
| 4. ★ A paradigm shift to combat indoor respiratory infection — Science (2021) 303 DOI | 8. ☆ Association of indoor dampness and molds with rhinitis risk: A systematic review and meta-analysis — Journal of Allergy and Clinical Immunology (2013) 216 DOI |

9. ☆  **Methods for air cleaning and protection of building occupants from airborne pathogens** — Building and Environment (2008) 216  [DOI](#)
10. ☆ **Mycotoxins as harmful indoor air contaminants** — Applied Microbiology and Biotechnology (2004) 206  [DOI](#)
11. ☆ **Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions** — The Science of The Total Environment (2010) 191  [DOI](#)
12. ☆ **Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants – A mini-review** — Chemical Engineering Journal (2013) 178  [DOI](#)
13. ★  **Diagnosis, course and management of hypersensitivity pneumonitis** — European Respiratory Review (2022) 120  [DOI](#)
14. ★ **UV Air Cleaners and Upper-Room Air Ultraviolet Germicidal Irradiation for Controlling Airborne Bacteria and Fungal Spores** — Journal of Occupational and Environmental Hygiene (2006) 114  [DOI](#)
15. ★ **Of microbes and men** — Indoor Air (2005) 110  [DOI](#)
16. ☆  **A review of strategies and their effectiveness in reducing indoor airborne transmission and improving indoor air quality** — Environmental Research (2022) 100  [DOI](#)
17. ☆ **Fungal Contamination as a Major Contributor to Sick Building Syndrome** — Advances in applied microbiology (2004) 98  [DOI](#)
18. ★ **Bioaerosols and sick building syndrome: particles, inflammation, and allergy** — Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology (2005) 71  [DOI](#)
19. ☆ **Aerosolization of fungal spores in indoor environments** — The Science of The Total Environment (2022) 67  [DOI](#)
20. ★  **Fungal Contamination of Building Materials and the Aerosolization of Particles and Toxins in Indoor Air and Their Associated Risks to Health: A Review** — Toxins (2023) 59  [DOI](#)
21. ☆ **Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica** — Polar Science (2010) 36  [DOI](#)
22. ☆ **Indoor and outdoor aeromycological survey in Burdwan, West Bengal, India** — Aerobiologia (2000) 30  [DOI](#)

Axe 3 — Diagnostic & prise en charge

1,051 articles-sources · 27 clusters · PubMed 2026 · Synthèse Claude Opus 4.6 · 1051 articles · 5 clusters · Synthèse Claude Sonnet 4.5

Le système a cartographié le champ de recherche « Diagnostic & prise en charge ». Les clusters révèlent 27 niveaux d'investigation :

Cluster 0 (792 articles) — Ce cluster rassemble des travaux portant sur l'impact des environnements intérieurs et extérieurs sur la santé humaine, articulés autour de mécanismes inflammatoires, immunitaires et neurotoxiques. Le fil conducteur est la compréhension des réponses biologiques à des expositions environnementales variées — polluants particuliers, agents infectieux aéroportés, allergènes, produits chimiques — et leurs manifestations cliniques multisystémiques. La pollution atmosphérique particulière est établie comme facteur de risque cardiovasculaire majeur, tandis que le changement climatique amplifie les risques sanitaires par des voies multiples. **Facteurs environnementaux, expositions intérieures et réponses physiopathologiques systémiques : des maladies liées aux bâtiments aux pathologies respiratoires, oculaires et immunitaires.**

Cluster 1 (684 articles) — Ce cluster ne porte pas directement sur le syndrome du bâtiment malsain (*sick building syndrome*) en tant que tel, mais rassemble l'arsenal méthodologique et conceptuel mobilisé dans les recherches cliniques et comportementales qui étudient ce syndrome et les conditions apparentées. Il s'articule autour de plusieurs piliers. Premièrement, les outils diagnostiques et de dépistage psychiatrique/cognitif constituent un socle central : le DSM-5 fournit la nosologie de référence pour les troubles mentaux, tandis que des instruments de dépistage validés mesurent le déclin cognitif, la dépression et les affects positifs/négatifs. **Fondements méthodologiques, psychométriques et statistiques de la recherche clinique et comportementale en santé : outils de mesure, cadres théoriques et approches de synthèse des connaissances.**

Cluster 2 (626 articles) — Ce cluster ne constitue pas un champ thématique unifié autour du « sick building syndrome » mais représente plutôt un ensemble d'outils méthodologiques fondamentaux massivement co-cités dans la recherche biomédicale et épidémiologique. Le fil conducteur est l'infrastructure méthodologique commune à laquelle recourent les études cliniques portant sur les symptômes, le diagnostic, les questionnaires et la prise en charge. Le socle statistique et computationnel est représenté par l'environnement R, qui constitue la plateforme d'analyse dominante. **Outils méthodologiques et instruments de mesure transversaux utilisés dans la recherche clinique et épidémiologique : des questionnaires psychométriques aux cadres de reporting systématique.**

Cluster 3 (336 articles) — Ce cluster réunit des travaux qui, bien qu'issus d'une recherche sur le syndrome des bâtiments malsains (SBS), gravitent en réalité autour des mécanismes psychosociaux du stress, de la santé mentale au travail et des outils de mesure associés. Le cadre nosographique dominant est fourni par le DSM, qui structure le diagnostic des troubles mentaux associés au stress chronique, notamment le trouble de stress post-traumatique (TSPT) et les troubles du sommeil. Les modèles théoriques du stress professionnel constituent le noyau conceptuel du cluster. **Stress professionnel, santé mentale et mécanismes psychosociaux : modèles théoriques, outils diagnostiques et facteurs de risque en milieu de travail et dans les populations vulnérables.**

Cluster 4 (230 articles) — Ce cluster ne forme pas un ensemble thématiquement cohérent autour du « sick building syndrome ». Il s'agit manifestement d'un artefact de co-citation regroupant des références à très haut

volume de citations utilisées comme outils méthodologiques ou conceptuels dans des domaines disparates.

Plusieurs sous-ensembles coexistent sans lien organique. --- ## 2. **SYNTHÈSE Ce cluster ne forme**

Cluster 1 (62 articles) — Ce front de recherche se caractérise par l'adoption d'approches méthodologiques intégratives combinant des outils diagnostiques traditionnels avec des biomarqueurs innovants et des questionnaires standardisés. Les chercheurs privilégient les méta-analyses systématiques, les études de cohorte longitudinales et les approches de médecine des systèmes pour appréhender la complexité des syndromes multifactoriels. Les résultats récents révèlent l'importance cruciale des déterminants sociaux et environnementaux dans l'émergence des syndromes complexes. **Approches multidimensionnelles des syndromes complexes et santé environnementale**

21 micro-clusters complètent le panorama : Biomarqueurs et diagnostic des syndromes post-infectieux chroniques (37 articles), Biomarqueurs et Mesures Numériques pour Syndromes Professionnels (36 articles), Exposome fongique et biomarqueurs inflammatoires indoor (21 articles), Intolérances Chimiques Environnementales : Biomarqueurs et Pratique Clinique (18 articles), Inflammation Oculaire et Polluants Environnementaux Intérieurs (15 articles).

CE QUE HAL A TROUVÉ

Gap temporel critique : Les critères diagnostiques du syndrome des bâtiments malsains restent basés sur des définitions opérationnelles des années 1980-1990 (OMS 1983), alors que les outils psychométriques contemporains (HADS, GAD-7, PSS) et les biomarqueurs de stress ont révolutionné l'évaluation des syndromes fonctionnels — aucun algorithme diagnostique intégrant ces avancées n'a été validé prospectivement.

Tension mécanistique non résolue : Le chevauchement symptomatique majeur entre SBS, burnout professionnel et troubles somatoformes génère une confusion nosologique persistante — les modèles théoriques du stress (Karasek, Siegrist, JD-R) prédisent des mécanismes distincts mais leur contribution relative dans le contexte spécifique du SBS n'a jamais été démêlée empiriquement.

Signal faible émergent : L'application des cadres d'analyse de la médecine des systèmes aux syndromes environnementaux complexes révèle des signatures métaboliques distinctes (cortisol salivaire, marqueurs inflammatoires) selon le profil psychosocial — suggérant des endophénotypes du SBS jusqu'ici non identifiés.

CLUSTERS DÉTAILLÉS — 1051 ARTICLES SOURCES · 5 CLUSTERS

CLUSTER 0 792 articles dans le réseau

Facteurs environnementaux, expositions intérieures et réponses physiopathologiques systémiques : des maladies liées aux bâtiments aux pathologies respiratoires, oculaires et immunitaires.

Analyse du Cluster Bibliométrique

Facteurs environnementaux, expositions intérieures et réponses physiopathologiques systémiques : des maladies liées aux bâtiments aux pathologies respiratoires, oculaires et immunitaires.

Ce cluster rassemble des travaux portant sur l'impact des environnements intérieurs et extérieurs sur la santé humaine, articulés autour de mécanismes inflammatoires, immunitaires et neurotoxiques. Le fil conducteur est la compréhension des réponses biologiques à des expositions environnementales variées — polluants particulaires, agents infectieux aéroportés, allergènes, produits chimiques — et leurs manifestations cliniques multisystémiques.

La pollution atmosphérique particulaire est établie comme facteur de risque cardiovasculaire majeur [8], tandis que le changement climatique amplifie les risques sanitaires par des voies multiples [19]. L'exposition aux produits chimiques industriels provoque une neurotoxicité développementale documentée [24]. Le concept de réponse adaptative au stress, formulé dès 1946 par Selye [21], fournit un cadre théorique fondamental pour comprendre ces réactions systémiques. Rose a par ailleurs distingué les déterminants individuels des déterminants populationnels de la maladie [15], un paradigme essentiel en santé environnementale.

L'asthme, prototype des maladies liées à l'environnement intérieur, représente un fardeau mondial considérable [16], avec une hétérogénéité génétique confirmée [22] et un rôle du microbiome intestinal précoce dans le risque de développement [27]. La gestion de l'asthme sévère fait l'objet de recommandations internationales structurées [14], et le monitoring par les éosinophiles dans l'expectoration améliore le contrôle des exacerbations [25]. L'hypothèse hygiéniste, proposée initialement par Strachan [11], relie l'augmentation des allergies à la diminution des expositions microbiennes dans les environnements domestiques modernes, ce que corroborent les données sur le microbiome précoce [2,27].

Les pathologies de la surface oculaire, incluant la sécheresse oculaire — symptôme cardinal du sick building syndrome — sont définies [17], évaluées par des outils validés comme l'OSDI [18], diagnostiquées selon des méthodologies standardisées [23] et expliquées physiopathologiquement [28]. L'acné vulgaire, autre pathologie influencée par l'environnement, dispose également de guidelines de prise en charge [29].

La pandémie de COVID-19 a révélé la vulnérabilité aux pathogènes aéroportés en environnement confiné [1,3,4], avec des transmissions asymptomatiques documentées [12], une charge virale mesurable dans les voies respiratoires supérieures [10], un neurotropisme via la muqueuse olfactive [30], et des risques accrus en milieu clos comme les cabinets dentaires [20]. Les facteurs de risque de complications sévères ont été identifiés [7,9].

- **[15]** Rose (1985/2001) : Article conceptuel fondamental distinguant les causes individuelles des causes populationnelles de maladie, cadre épistémologique indispensable pour la santé environnementale et le sick building syndrome.

- **[21]** Selye (1946) : Texte séminal décrivant le syndrome général d'adaptation et les maladies d'adaptation, fournissant le modèle physiologique de la réponse au stress chronique (y compris environnemental) qui sous-tend la compréhension des symptômes non spécifiques des bâtiments malsains.

- **[11]** Strachan (1989) : Article fondateur de l'hypothèse hygiéniste, reliant la taille du ménage, l'hygiène domestique et le risque de rhinite allergique, pierre angulaire de la compréhension des allergies en environnement intérieur.

- **[8]** Brook et al. (2010) : Déclaration scientifique de l'AHA consolidant les preuves du lien entre pollution particulaire et maladies cardiovasculaires, référence majeure pour les expositions en air intérieur et extérieur.

- **[17]** Craig et al. (2017) : Rapport TFOS DEWS II définissant et classifiant la sécheresse oculaire, symptôme central du sick building syndrome, avec un cadre nosologique moderne intégrant les mécanismes inflammatoires.

- **[14]** Chung et al. (2013) : Guidelines ERS/ATS sur l'asthme sévère, établissant les critères d'évaluation et de traitement pour la pathologie respiratoire environnementale la plus prévalente.

- **[24]** Grandjean et Landrigan (2006) : Revue systématique de la neurotoxicité des produits chimiques industriels, documentant les expositions environnementales responsables de symptômes neurologiques souvent attribués au sick building syndrome.

- **[1]** Huang et al. (2020) : Description clinique inaugurale du COVID-19, illustrant comment un pathogène aéroporté en environnement confiné peut provoquer une pandémie et réactualisant la question de la qualité de l'air intérieur.

Phase conceptuelle (1946-2001) : Les travaux fondateurs établissent les cadres théoriques — réponse au stress [21], distinction cas/population [15], hypothèse hygiéniste [11] — qui structureront la recherche sur les maladies liées à l'environnement.

Phase de caractérisation clinique et épidémiologique (2000-2013) : L'attention se porte sur la quantification du fardeau mondial de l'asthme [16], la validation d'outils diagnostiques pour la sécheresse oculaire [18,26], l'identification des risques cardiovasculaires liés aux particules [8], la neurotoxicité chimique [24] et les risques climatiques [19]. Les biomarqueurs comme les éosinophiles sont intégrés à la gestion clinique [25]. L'asthme sévère reçoit des guidelines internationales [14].

Phase « -omique » et microbiome (2015-2019) : Un virage majeur s'opère vers l'étude du microbiome comme médiateur entre environnement et maladie. Les altérations microbiennes précoces sont liées au risque d'asthme [27], et les outils bio-informatiques standardisés comme QIIME 2 permettent l'analyse à grande échelle [2]. La génétique de l'asthme est explorée par GWAS [22]. La sécheresse oculaire est redéfinie avec une approche physiopathologique intégrée [17,23,28].

Phase COVID-19 (2020) : La pandémie catalyse un intérêt massif pour la transmission aéroportée en environnement clos [1,3,4,10,12], le neurotropisme viral [30], et la gestion des risques en milieux confinés [20]. Ce virage réactualise brutalement les problématiques de qualité de l'air intérieur et de ventilation, au cœur du sick building syndrome.

Absence d'instrument diagnostique unifié pour le sick building syndrome : Bien que des outils validés existent pour des symptômes isolés comme la sécheresse oculaire (OSDI [18], méthodologie TFOS DEWS II [23]) ou l'asthme (BODE index [13], éosinophiles [25]), aucun questionnaire intégré multisystémique validé n'émerge de ce cluster pour le diagnostic global du sick building syndrome. C'est une lacune majeure.

Causalité vs. association en santé environnementale : La tension entre déterminants individuels et populationnels [15] reste non résolue. Brook et al. reconnaissent la difficulté d'établir des seuils causaux pour les particules fines [8], et la neurotoxicité de nombreux produits chimiques reste insuffisamment caractérisée [24].

Rôle du microbiome : fenêtre critique vs. contribution continue : Arrieta et al. identifient une fenêtre critique précoce pour la dysbiose [27], mais le rôle du microbiome de l'environnement intérieur (bâtiment) dans les symptômes chroniques de l'adulte reste peu exploré, malgré la disponibilité d'outils comme QIIME 2 [2].

Hypothèse hygiéniste et environnements modernes : Le paradigme de Strachan [11] est partiellement confirmé par les données sur le microbiome [27], mais sa transposition aux bâtiments modernes hermétiques (faible ventilation, exposition chimique accrue) crée un paradoxe non résolu : l'excès d'hygiène réduit l'exposition microbienne protectrice tout en augmentant l'exposition aux polluants chimiques [24].

Biomarqueurs spécifiques : Le cluster révèle un manque de biomarqueurs spécifiques du sick building syndrome. Les marqueurs existants sont spécifiques à des organes cibles (éosinophiles pour l'asthme [25], marqueurs de surface oculaire [17,28]) mais aucun biomarqueur systémique intégrateur n'est identifié, malgré le cadre conceptuel fourni par Selye sur les marqueurs de stress adaptatif [21].

COVID-19 et réévaluation du risque intérieur : La documentation de la transmission aéroportée du SARS-CoV-2 [10,12,20] soulève la question non tranchée de la contribution relative de la ventilation insuffisante — facteur central du sick building syndrome — aux pandémies respiratoires, un lien encore insuffisamment étudié de manière intégrée [1,4,9].

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ☆ **Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China** — The Lancet (2020) 51,536 [DOI](#)
2. ☆ **Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2** — Nature Biotechnology (2019) 22,762 [DOI](#)
3. ☆ **Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study** — The Lancet (2020) 22,609 [DOI](#)
4. ★ **Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia** — New England Journal of Medicine (2020) 17,887 [DOI](#)
5. ☆ **Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz** — Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz (2013) 11,843 [DOI](#)
6. ★ **The global distribution and burden of dengue** — Nature (2013) 9,974 [DOI](#)
7. ★ **Risk Factors Associated With Acute Respiratory Distress Syndrome and Death in Patients With Coronavirus Disease 2019 Pneumonia in Wuhan, China** — JAMA Internal Medicine (2020) 8,706 [DOI](#)
8. ★ **Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease** — Circulation (2010) 6,315 [DOI](#)
9. ★ **World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19)** — International Journal of Surgery (2020) 6,283 [DOI](#)
10. ★ **SARS-CoV-2 Viral Load in Upper Respiratory Specimens of Infected Patients** — New England Journal of Medicine (2020) 5,170 [DOI](#)
11. ★ **Hay fever, hygiene, and household size.** — BMJ (1989) 5,026 [DOI](#)
12. ★ **Transmission of 2019-nCoV Infection from an Asymptomatic Contact in Germany** — New England Journal of Medicine (2020) 4,473 [DOI](#)
13. ★ **The Body-Mass Index, Airflow Obstruction, Dyspnea, and Exercise Capacity Index in Chronic Obstructive Pulmonary Disease** — New England Journal of Medicine (2004) 4,007 [DOI](#)
14. ★ **International ERS/ATS guidelines on definition, evaluation and treatment of severe asthma** — European Respiratory Journal (2013) 3,854 [DOI](#)
15. ★ **Sick individuals and sick populations** — International Journal of Epidemiology (2001) 3,674 [DOI](#)
16. ★ **The global burden of asthma: executive summary of the GINA Dissemination Committee Report** — Allergy (2004) 3,552 [DOI](#)
17. ☆ **TFOS DEWS II Definition and Classification Report** — The Ocular Surface (2017) 3,120 [DOI](#)
18. ★ **Reliability and Validity of the Ocular Surface Disease Index** — Archives of Ophthalmology (2000) 2,943 [DOI](#)
19. ☆ **Climate change and human health: present and future risks** — The Lancet (2006) 2,567 [DOI](#)
20. ★ **Transmission routes of 2019-nCoV and controls in dental practice** — International Journal of Oral Science (2020) 2,485 [DOI](#)
21. ★ **THE GENERAL ADAPTATION SYNDROME AND THE DISEASES OF ADAPTATION¹** — The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism (1946) 2,269 [DOI](#)
22. ★ **A Large-Scale, Consortium-Based Genomewide Association Study of Asthma** — New England Journal of Medicine (2010) 2,016 [DOI](#)
23. ☆ **TFOS DEWS II Diagnostic Methodology report** — The Ocular Surface (2017) 2,002 [DOI](#)
24. ☆ **Developmental neurotoxicity of industrial chemicals** — The Lancet (2006) 1,939 [DOI](#)
25. ☆ **Asthma exacerbations and sputum eosinophil counts: a randomised controlled trial** — The Lancet (2002) 1,758 [DOI](#)
26. ☆ **Report of the National Eye Institute/Industry workshop on Clinical Trials in Dry Eyes.** — PubMed (1995) 1,723
27. ★ **Early infancy microbial and metabolic alterations affect risk of childhood asthma** — Science Translational Medicine (2015) 1,713 [DOI](#)
28. ☆ **TFOS DEWS II pathophysiology report** — The Ocular Surface (2017) 1,668 [DOI](#)
29. ☆ **Guidelines of care for the management of acne vulgaris** — Journal of the American Academy of Dermatology (2016) 1,531 [DOI](#)
30. ★ **Olfactory transmucosal SARS-CoV-2 invasion as a port of central nervous system entry in individuals with COVID-19** — Nature Neuroscience (2020) 1,476 [DOI](#)

CLUSTER 1 684 articles dans le réseau**Fondements méthodologiques, psychométriques et statistiques de la recherche clinique et comportementale en santé : outils de mesure, cadres théoriques et approches de synthèse des connaissances.**

Analyse Bibliométrique du Cluster

Fondements méthodologiques, psychométriques et statistiques de la recherche clinique et comportementale en santé : outils de mesure, cadres théoriques et approches de synthèse des connaissances.

Ce cluster ne porte pas directement sur le syndrome du bâtiment malsain (*sick building syndrome*) en tant que tel, mais rassemble l'arsenal méthodologique et conceptuel mobilisé dans les recherches cliniques et comportementales qui étudient ce syndrome et les conditions apparentées. Il s'articule autour de plusieurs piliers.

Premièrement, les outils diagnostiques et de dépistage psychiatrique/cognitif constituent un socle central : le DSM-5 fournit la nosologie de référence pour les troubles mentaux [1], tandis que des instruments de dépistage validés mesurent le déclin cognitif [2,28], la dépression [9,13,20] et les affects positifs/négatifs [21]. Ces échelles sont indispensables pour objectiver la symptomatologie rapportée par les patients.

Deuxièmement, les cadres statistiques et méthodologiques structurent la rigueur des études : l'analyse de puissance statistique [3,6,16], la fiabilité inter-juges par le coefficient kappa [5,14], la modélisation par équations structurelles [26] et les logiciels de traitement statistique [22] permettent de garantir la validité des résultats. La capture électronique des données assure la traçabilité des protocoles translationnels [10].

Troisièmement, les méthodes de synthèse des connaissances — méta-analyses avec évaluation de l'hétérogénéité [7] et du biais de publication [8], revues de portée (*scoping reviews*) [17,19] et recherche qualitative [12,15] — permettent de consolider les preuves disponibles.

Quatrièmement, les théories comportementales et motivationnelles — théorie du comportement planifié [4,18], théorie de l'autodétermination [24], auto-efficacité [29] et modèle transactionnel du stress [23] — offrent les cadres explicatifs des comportements de santé et de l'adaptation des individus aux environnements pathogènes.

Enfin, des outils cliniques spécifiques comme l'indice de comorbidité de Charlson [11], l'estimation du débit de filtration glomérulaire [27] et les définitions du sepsis [25] ancrent le cluster dans la médecine somatique, permettant de contrôler les comorbidités et d'exclure des diagnostics différentiels. Les méthodes mixtes [30] intègrent ces différentes approches.

- [1] Le DSM-5 est la référence nosologique incontournable pour classer les troubles psychiatriques susceptibles de se superposer aux symptômes environnementaux, et constitue l'article le plus cité du cluster (>109 000 citations).

- [4] La théorie du comportement planifié d'Ajzen est le cadre théorique dominant pour modéliser les déterminants psychosociaux des comportements de santé, y compris les réponses comportementales aux environnements intérieurs.

- [3,6] Les ouvrages de Cohen et l'outil G*Power fournissent les bases du dimensionnement statistique des études, garantissant une puissance suffisante pour détecter les effets cliniques recherchés.

- [7,8] Higgins et al. (I²) et Egger et al. (test de biais) ont défini les standards méthodologiques de la méta-analyse moderne, essentiels pour synthétiser les preuves sur les interventions liées aux bâtiments malsains.

- [9,13] Les échelles CES-D et PHQ-9 sont les instruments auto-rapportés les plus utilisés pour mesurer la symptomatologie dépressive dans les populations générales et cliniques, centrale dans l'évaluation du SBS.

- [5,14] Les travaux de Landis & Koch et de Cohen sur l'accord inter-juges fondent l'évaluation de la fiabilité des mesures

catégorielles, cruciale pour la reproductibilité diagnostique.

- [23] Le modèle stress-coping de Lazarus et Folkman est le cadre théorique de référence pour comprendre comment les individus évaluent et gèrent les stressors environnementaux.

L'évolution chronologique révèle trois vagues distinctes :

Phase fondatrice (1960-1990) : développement des échelles cliniques classiques — échelle de Hamilton [20], kappa de Cohen [14], CES-D [9], MMSE [2], indice de Charlson [11], PANAS [21] — et des fondements théoriques comportementaux [18,4] et statistiques [3,16].

Phase de consolidation méthodologique (1997-2008) : émergence des outils de méta-analyse rigoureuse [7,8], des logiciels de puissance statistique [6], de la capture électronique de données [10], de la théorie de l'autodétermination [24] et des instruments cognitifs plus sensibles comme le MoCA [28].

Phase contemporaine (2005-2018) : virage marqué vers la transparence et la reproductibilité, avec les cadres de reporting qualitatif COREQ [15], les "scoping reviews" [17,19], l'analyse de contenu qualitative [12], les méthodes mixtes [30] et l'actualisation des définitions cliniques comme Sepsis-3 [25]. Ce virage reflète une exigence croissante de rigueur dans les études multidisciplinaires, où les symptômes subjectifs (typiques du SBS) nécessitent des approches plurielles.

Limites de la mesure subjective : La dépendance aux auto-questionnaires (CES-D [9], PHQ-9 [13], PANAS [21]) pour évaluer des symptômes comme ceux du SBS pose un problème de biais de déclaration, particulièrement en l'absence de biomarqueurs validés. Le MMSE [2] montre un effet plafond que le MoCA [28] tente de corriger, mais les seuils diagnostiques restent débattus.

Hétérogénéité des études synthétisées : Malgré les outils d'évaluation de l'hétérogénéité [7] et des biais [8], les méta-analyses dans le domaine du SBS souffrent de la grande variabilité des définitions de cas et des instruments utilisés, ce qui limite la comparabilité.

Tension entre approches quantitatives et qualitatives : L'intégration des données qualitatives [12,15] avec les cadres statistiques traditionnels [3,22,26] reste méthodologiquement complexe, même avec les méthodes mixtes [30].

Absence de biomarqueurs spécifiques : Le cluster met en évidence une lacune majeure — les outils cliniques présents (eGFR [27], Charlson [11], Sepsis-3 [25]) servent au contrôle des comorbidités mais aucun biomarqueur spécifique du SBS n'émerge, confirmant le fossé entre la symptomatologie rapportée et l'objectivation biologique.

Applicabilité transculturelle : Les théories comportementales [4,18,24,29] et les outils psychométriques [9,13,20] ont été principalement validés dans des contextes occidentaux, soulevant des questions sur leur généralisabilité dans les études internationales sur les environnements intérieurs.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ★  **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders** — Encyclopedia of Social Work (2013) 109,972 [DOI](#)
2. ☆ **"Mini-mental state"** — Journal of Psychiatric Research (1975) 86,130 [DOI](#)
3. ☆ **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences** — Technometrics (1989) 83,852 [DOI](#)
4. ☆ **The theory of planned behavior** — Organizational Behavior and Human Decision Processes (1991) 81,775 [DOI](#)
5. ★  **The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data** — Biometrics (1977) 76,967 [DOI](#)
6. ☆  **G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences** — Behavior Research Methods (2007) 61,643 [DOI](#)
7. ★ **Measuring inconsistency in meta-analyses** — BMJ (2003) 61,530 [DOI](#)
8. ★  **Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test** — BMJ (1997) 55,007 [DOI](#)
9. ★  **The CES-D Scale** — Applied Psychological Measurement (1977) 52,816 [DOI](#)
10. ☆  **Research electronic data capture (REDCap)—A metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support** — Journal of Biomedical Informatics (2008) 49,843 [DOI](#)
11. ☆ **A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation** — Journal of Chronic Diseases (1987) 49,097 [DOI](#)
12. ★ **Three Approaches to Qualitative Content Analysis** — Qualitative Health Research (2005) 42,828 [DOI](#)
13. ☆  **The PHQ-9** — Journal of General Internal Medicine (2001) 42,608 [DOI](#)

14. ☆ **A Coefficient of Agreement for Nominal Scales** — Educational and Psychological Measurement (1960) 40,409 [DOI](#)
15. ★ **Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups** — International Journal for Quality in Health Care (2007) 39,394 [DOI](#)
16. ☆ **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.)**. — Journal of the American Statistical Association (1989) 37,550 [DOI](#)
17. ★ **PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation** — Annals of Internal Medicine (2018) 37,190 [DOI](#)
18. ☆ **Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research** (1975) 36,690
19. ★ **Scoping studies: towards a methodological framework** — International Journal of Social Research Methodology (2005) 33,652 [DOI](#)
20. ☆ **A RATING SCALE FOR DEPRESSION** — Journal of Neurology Neurosurgery & Psychiatry (1960) 32,278 [DOI](#)
21. ☆ **Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales.** — Journal of Personality and Social Psychology (1988) 31,525 [DOI](#)
22. ★ **Discovering Statistics Using SPSS** — Medical Entomology and Zoology (2000) 27,794
23. ☆ **Stress: Appraisal and Coping** (2013) 27,732 [DOI](#)
24. ★ **Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being.** — American Psychologist (2000) 27,210 [DOI](#)
25. ★ **The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3)** — JAMA (2016) 26,838 [DOI](#)
26. ☆ **Principles and Practice of Structural Equation Modeling** — Canadian Graduate Journal of Sociology and Criminology (2012) 26,056 [DOI](#)
27. ★ **A New Equation to Estimate Glomerular Filtration Rate** — Annals of Internal Medicine (2009) 25,219 [DOI](#)
28. ★ **The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment** — Journal of the American Geriatrics Society (2005) 24,570 [DOI](#)
29. ☆ **Self-efficacy: the exercise of control** — Choice Reviews Online (1997) 24,438 [DOI](#)
30. ☆ **Designing and Conducting Mixed Methods Research** — Australian and New Zealand Journal of Public Health (2007) 23,534 [DOI](#)

CLUSTER 2 626 articles dans le réseau**Outils méthodologiques et instruments de mesure transversaux utilisés dans la recherche clinique et épidémiologique : des questionnaires psychométriques aux cadres de reporting systématique.**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Outils méthodologiques et instruments de mesure transversaux utilisés dans la recherche clinique et épidémiologique : des questionnaires psychométriques aux cadres de reporting systématique.

Ce cluster ne constitue pas un champ thématique unifié autour du « sick building syndrome » mais représente plutôt un **ensemble d'outils méthodologiques fondamentaux** massivement co-cités dans la recherche biomédicale et épidémiologique. Le fil conducteur est l'infrastructure méthodologique commune à laquelle recourent les études cliniques portant sur les symptômes, le diagnostic, les questionnaires et la prise en charge.

Le socle statistique et computationnel est représenté par l'environnement R [1], qui constitue la plateforme d'analyse dominante. Les **cadres de reporting pour les revues systématiques** sont centraux, avec la déclaration PRISMA publiée dans trois journaux distincts [5,6,11], complétée par des outils d'évaluation de l'hétérogénéité [12] et de la qualité des études non randomisées via l'échelle Newcastle-Ottawa [30].

Les **instruments psychométriques** de dépistage et mesure des symptômes forment un sous-ensemble majeur : l'échelle HADS pour l'anxiété et la dépression en milieu hospitalier [8], l'inventaire de dépression de Beck [10], le GAD-7 pour l'anxiété généralisée [17], l'échelle de stress perçu PSS [15], et le questionnaire SF-36 pour la qualité de vie liée à la santé [14,18]. Ces instruments sont systématiquement utilisés dans les études évaluant les symptômes subjectifs, y compris ceux du sick building syndrome.

Le cadre théorique inclut la théorie de l'auto-efficacité de Bandura [9,13], fondamentale pour comprendre les comportements de santé. Les principes éthiques sont encadrés par la Déclaration d'Helsinki [20].

Un sous-ensemble contextuel concerne les **pathologies chroniques et infectieuses** ayant généré des études utilisant ces mêmes outils : le COVID-19 [16,19,24], le diabète [21,27], le cancer [4,7,28] et l'insuffisance cardiaque [25]. L'analyse thématique qualitative [2] complète l'arsenal méthodologique pour les dimensions subjectives des symptômes.

- **[5,6,11]** — La déclaration PRISMA (triple publication) : norme universelle pour le reporting des revues systématiques et méta-analyses, indispensable à toute synthèse sur les biomarqueurs ou questionnaires diagnostiques.

- **[8]** — L'échelle HADS de Zigmond et Snaith : instrument de référence pour détecter anxiété et dépression en contexte médical somatique, directement pertinent pour l'évaluation des symptômes psychosomatiques du sick building syndrome.

- **[14,18]** — Le SF-36 de Ware et Sherbourne : questionnaire de qualité de vie le plus utilisé mondialement, outil central pour mesurer l'impact fonctionnel des symptômes environnementaux et cliniques.

- **[12]** — L'indice I² de Higgins et Thompson : méthode fondamentale pour quantifier l'hétérogénéité dans les méta-analyses, essentielle pour évaluer la cohérence des résultats entre études sur les symptômes bâtimentaires.

- **[15]** — L'échelle PSS de Cohen et al. : mesure de stress perçu largement déployée dans les études reliant environnement intérieur et symptômes psychologiques.

- **[13]** — La théorie de l'auto-efficacité de Bandura : cadre théorique majeur pour comprendre l'adoption de comportements de santé et l'adhérence thérapeutique.

- **[30]** — L'échelle Newcastle-Ottawa : outil standard d'évaluation de la qualité des études observationnelles, cruciales dans la recherche sur le sick building syndrome où les essais randomisés sont rares.

L'évolution chronologique révèle trois vagues distinctes :

Années 1960-1990 — Fondations psychométriques : développement des instruments de mesure avec l'inventaire de Beck [10] (1961), la théorie de Bandura [9,13] (1977), l'échelle HADS [8] (1983), le PSS [15] (1983) et le SF-36 [14,18] (1992). Ces outils restent dominants aujourd'hui.

Années 2000-2010 — Standardisation méthodologique : émergence des cadres de rigueur méthodologique avec PRISMA [5,6,11] (2009), l'indice I² [12] (2002), le NOS [30] (2014) et le GAD-7 [17] (2006). L'analyse thématique qualitative se formalise également [2] (2006).

Années 2018-2021 — Virage pandémique : la crise COVID-19 génère une explosion d'études cliniques [16,19,24] réutilisant massivement tous ces instruments, créant un pic de co-citation artificiel qui gonfle le cluster. Les statistiques cancer continuent d'être mises à jour [4] (2018).

Le **virage récent** majeur est la convergence entre outils psychométriques classiques et recherche sur le COVID-19, où les symptômes prolongés (fatigue, céphalées, troubles cognitifs) recoupent ceux du sick building syndrome.

Hétérogénéité thématique du cluster : la présence d'articles sans lien apparent avec le sujet (archéologie [22], santé reproductive [3], cancer [4,7,28]) révèle un biais de co-citation méthodologique plutôt qu'une cohérence thématique réelle. Ces articles sont co-cités pour leurs méthodes, non pour leur contenu.

Validité transculturelle des instruments : les échelles HADS [8], SF-36 [14,18] et PSS [15] ont été développées dans des contextes occidentaux. Leur application aux études internationales sur les bâtiments malsains pose des questions de validité interculturelle non résolues dans ce corpus.

Absence d'outils spécifiques : aucun des 30 articles les plus cités ne porte directement sur un questionnaire ou biomarqueur spécifique du sick building syndrome, révélant un **gap majeur** : le champ s'appuie sur des instruments génériques [8,10,15,17] plutôt que sur des outils diagnostiques dédiés.

Limites des études observationnelles : la prédominance d'outils pour études non randomisées [30,12] confirme la difficulté méthodologique à établir des relations causales entre environnement bâti et symptômes, les essais interventionnels restant rares.

Tension quantitatif/qualitatif : l'inclusion de l'analyse thématique [2] aux côtés des méta-analyses [5,6,11,12] reflète un débat non résolu sur la meilleure approche pour capturer l'expérience subjective des symptômes environnementaux.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

- ★ **R: A Language and Environment for Statistical Computing** (2000) 352,817 [DOI](#)
- ★ **Using thematic analysis in psychology** — Qualitative Research in Psychology (2006) 173,083 [DOI](#)
- ★ **Yaşlı Kadınlarda Üreme Sağlığı** — DergiPark (Istanbul University) 169,600
- ★ **Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries** — CA A Cancer Journal for Clinicians (2018) 87,253 [DOI](#)
- ★ **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement** — BMJ (2009) 82,807 [DOI](#)
- ★ **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement** — PLoS Medicine (2009) 62,814 [DOI](#)
- ★ **Global cancer statistics** — CA A Cancer Journal for Clinicians (2011) 54,999 [DOI](#)
- ★ **The Hospital Anxiety and Depression Scale** — Acta Psychiatrica Scandinavica (1983) 45,931 [DOI](#)
- ★ **Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change.** — Psychological Review (1977) 41,472 [DOI](#)
- ★ **An Inventory for Measuring Depression** — Archives of General Psychiatry (1961) 37,873 [DOI](#)
- ★ **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement** — Annals of Internal Medicine (2009) 37,550 [DOI](#)
- ★ **Quantifying heterogeneity in a meta-analysis** — Statistics in Medicine (2002) 36,009 [DOI](#)
- ★ **Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change.** — Psychological Review (1977) 35,481 [DOI](#)
- ★ **The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection.** — PubMed (1992) 33,979
- ★ **A Global Measure of Perceived Stress** — Journal of Health and Social Behavior (1983) 31,596 [DOI](#)
- ★ **Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China** — New England Journal of Medicine (2020) 31,032 [DOI](#)

17. ★ **A Brief Measure for Assessing Generalized Anxiety Disorder** — Archives of Internal Medicine (2006) 29,984 [DOI](#)
18. ★ **The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36)** — Medical Care (1992) 29,372 [DOI](#)
19. ☆ **Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study** — The Lancet (2020) 28,965 [DOI](#)
20. ★ **World Medical Association Declaration of Helsinki** — JAMA (2013) 27,788 [DOI](#)
21. ★ **The Effect of Intensive Treatment of Diabetes on the Development and Progression of Long-Term Complications in Insulin-Dependent Diabetes Mellitus** — New England Journal of Medicine (1993) 24,591 [DOI](#)
22. ★ **Two new Later Stone Age sites from the Final Pleistocene in the Falémé Valley, eastern Senegal** — ENLIGHTEN (Jurnal Bimbingan dan Konseling Islam) (2024) 23,798 [DOI](#)
23. ★ **Home visits: a strategy to improve newborn survival - Authors' reply** — Portuguese National Funding Agency for Science, Research and Technology (RCAAP Project by FCT) (2008) 22,515 [DOI](#)
24. ★ **Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China** — JAMA (2020) 21,104 [DOI](#)
25. ★ **Corrigendum to: 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) With the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC.** — PubMed (2021) 19,535 [DOI](#)
26. ★ **La certeza de lo impredecible: Cultura Educación y Sociedad en tiempos de COVID19** — DSPACE System - Metalibrary (University of the Coast) (2020) 19,271
27. ★ **Reduction in the Incidence of Type 2 Diabetes with Lifestyle Intervention or Metformin** — New England Journal of Medicine (2002) 18,863 [DOI](#)
28. ★ **Global Cancer Statistics, 2002** — CAA Cancer Journal for Clinicians (2005) 18,370 [DOI](#)
29. ★ **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** — Nutrition Reviews (2009) 17,967 [DOI](#)
30. ★ **The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for Assessing the Quality of Nonrandomised Studies in Meta-Analyses** — Medical Entomology and Zoology (2014) 17,868

CLUSTER 3 336 articles dans le réseau**Stress professionnel, santé mentale et mécanismes psychosociaux : modèles théoriques, outils diagnostiques et facteurs de risque en milieu de travail et dans les populations vulnérables.**

Analyse Bibliométrique du Cluster

Stress professionnel, santé mentale et mécanismes psychosociaux : modèles théoriques, outils diagnostiques et facteurs de risque en milieu de travail et dans les populations vulnérables.

Ce cluster réunit des travaux qui, bien qu'issus d'une recherche sur le syndrome des bâtiments malsains (SBS), gravitent en réalité autour des **mécanismes psychosociaux du stress, de la santé mentale au travail et des outils de mesure associés**. Le cadre nosographique dominant est fourni par le DSM [1,7], qui structure le diagnostic des troubles mentaux associés au stress chronique, notamment le trouble de stress post-traumatique (TSPT) [21,28,30] et les troubles du sommeil [5,25].

Les **modèles théoriques du stress professionnel** constituent le noyau conceptuel du cluster. Le modèle demande-contrôle de Karasek [11,18] postule que la combinaison de fortes exigences et d'une faible latitude décisionnelle génère une tension psychologique pathogène. Ce modèle a été étendu par le modèle demandes-ressources (JD-R), qui distingue les processus d'épuisement et de motivation [13,14], aboutissant à une conceptualisation multidimensionnelle du burnout [12]. Le modèle effort-récompense de Siegrist [26,29] complète cette perspective en soulignant le rôle du déséquilibre entre investissement et rétribution. La théorie de conservation des ressources (COR) de Hobfoll [10,16,20] propose un méta-cadre où la perte de ressources constitue l'ingrédient principal du processus de stress, avec une attention croissante au rôle de la culture et de la communauté [20].

Les **outils méthodologiques et psychométriques** sont massivement représentés : analyses factorielles et indices d'ajustement [2,8], régression multiple [15], statistiques multivariées [3,17], distinction médiation/modération [4] et inférence causale [22]. La validité des instruments de mesure comme le PSQI [5] et l'ISI [25] est centrale pour opérationnaliser les symptômes. Les dimensions d'acculturation [19], de statut socioéconomique subjectif [27], de stress minoritaire [9] et d'évaluation cognitive [6,24] élargissent le cluster aux déterminants sociaux et cognitifs de la santé, reliant les plaintes somatiques subjectives (caractéristiques du SBS) aux processus d'attribution et de jugement affectif [24].

- **[11] Karasek (1979)** : Article fondateur du modèle demande-contrôle, pierre angulaire de la psychologie de la santé au travail, directement applicable à la compréhension du stress en environnement bâti.

- **[10,16] Hobfoll (1989)** : Théorie COR qui redéfinit le stress comme un processus de perte de ressources, cadre intégrateur massivement cité dans toute la littérature sur le stress et la santé.

- **[12] Maslach, Schaufeli & Leiter (2001)** : Synthèse de référence sur le burnout en trois dimensions (épuisement, cynisme, inefficacité), ancrant le concept dans 25 ans de recherche empirique.

- **[14] Demerouti et al. (2001)** : Formalisation du modèle JD-R, démontrant que les demandes mènent à l'épuisement tandis que le manque de ressources mène au désengagement.

- **[1,7] DSM (2012, 2013)** : Référence diagnostique incontournable structurant la classification des troubles mentaux liés au stress chronique et aux symptômes somatiques.

- **[5] Buysse et al. (1989)** : Développement du PSQI, instrument psychométrique essentiel pour quantifier les troubles du sommeil, symptôme cardinal du SBS et du stress.

- **[6] Lazarus & Folkman (1985)** : Modèle transactionnel stress-coping posant que l'évaluation cognitive (appraisal) détermine la réponse au stress, fondamental pour comprendre les plaintes subjectives.

- **[2] Hu & Bentler (1999)** : Référence méthodologique majeure établissant les seuils d'ajustement pour les modèles d'équations structurelles, indispensable à la validation des instruments de mesure du cluster.

Phase 1 – Fondements théoriques (1979-1990) : Émergence des modèles princeps du stress : demande-contrôle [11], coping transactionnel [6], conservation des ressources [10,16], et la synthèse de Karasek & Theorell sur le travail sain [18]. Les outils psychométriques fondamentaux apparaissent simultanément [5,23].

Phase 2 – Formalisation et diversification (1996-2003) : Développement du modèle effort-récompense [26,29], du modèle JD-R [14], et de la conceptualisation intégrative du burnout [12]. Parallèlement, les facteurs de vulnérabilité s'élargissent : stress minoritaire chez les populations LGB [9], acculturation [19], statut socioéconomique subjectif [27], et facteurs de risque du TSPT [28,30]. Les outils méthodologiques se raffinent [2,8,15].

Phase 3 – Intégration et état de l'art (2007-2013) : Le modèle JD-R est consolidé [13], le DSM-5 est publié [1], et les outils de dépistage sont psychométriquement validés [25]. On observe un **virage vers l'intégration culturelle et contextuelle** du stress [20], et une sophistication méthodologique croissante dans l'évaluation de l'invariance de mesure [8].

La tendance générale révèle un **déplacement progressif** d'une approche centrée sur l'environnement physique (pertinente pour le SBS) vers une prise en compte dominante des **facteurs psychosociaux, organisationnels et individuels** dans l'explication des symptômes de santé.

Déséquilibre physique/psychosocial : Le cluster est quasi exclusivement orienté vers les modèles psychosociaux du stress [11,13,14,26] et néglige les **biomarqueurs objectifs et les expositions environnementales** (qualité de l'air, composés organiques volatils) pourtant centraux dans la littérature sur le SBS. Aucun article du top 30 ne traite directement de diagnostic clinique environnemental.

Subjectivité des mesures : La quasi-totalité des instruments repose sur l'auto-évaluation (PSQI [5], ISI [25]), ce qui pose un problème de biais de déclaration, particulièrement pour le SBS où la distinction entre symptômes objectifs et plaintes subjectives est cruciale. Le modèle affect-as-information [24] suggère que l'humeur biaise les jugements de bien-être, soulevant des questions sur la validité des questionnaires symptomatiques.

Compétition entre modèles théoriques : La coexistence du modèle demande-contrôle [11], du modèle effort-récompense [26,29] et du modèle JD-R [13,14] génère des débats sur leur complémentarité versus redondance. Le modèle JD-R se présente comme intégrateur [13], mais sa flexibilité théorique a été critiquée comme un manque de parcimonie.

Causalité non établie : La majorité des études sont transversales, ce que Holland [22] pointe implicitement en rappelant que corrélation n'implique pas causation. Les méta-analyses sur le TSPT [28,30] identifient des facteurs de risque mais peinent à établir des mécanismes causaux.

Gap interculturel : Bien que Berry [19] et Hobfoll [20] soulignent l'importance du contexte culturel, les instruments de mesure restent largement développés et validés dans des populations occidentales, posant des questions d'invariance de mesure [8] pour des populations diversifiées.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ★ **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders** — American Psychiatric Association eBooks (2013) 111,279 [DOI](#)
2. ★ **Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives** — Structural Equation Modeling A Multidisciplinary Journal (1999) 102,227 [DOI](#)
3. ★ **Using multivariate statistics** (1983) 77,468
4. ☆ **The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations.** — Journal of Personality and Social Psychology (1986) 69,701 [DOI](#)
5. ☆ **The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research** — Psychiatry Research (1989) 33,686 [DOI](#)
6. ☆ **Stress, appraisal, and coping** — Behaviour Research and Therapy (1985) 32,340 [DOI](#)
7. ☆ **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders** — SpringerReference (2012) 20,887 [DOI](#)
8. ★ **Evaluating Goodness-of-Fit Indexes for Testing Measurement Invariance** — Structural Equation Modeling A Multidisciplinary Journal (2002) 15,046 [DOI](#)
9. ★ **Prejudice, social stress, and mental health in lesbian, gay, and bisexual populations: Conceptual issues and research evidence.** — Psychological Bulletin (2003) 13,748 [DOI](#)
10. ☆ **Conservation of resources: A new attempt at conceptualizing stress.** — American Psychologist (1989) 13,193 [DOI](#)

11. ☆ **Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign** — Administrative Science Quarterly (1979) 12,109 [DOI](#)
12. ★ **Job Burnout** — Annual Review of Psychology (2001) 11,999 [DOI](#)
13. ★ **The Job Demands-Resources model: state of the art** — Journal of Managerial Psychology (2007) 11,282 [DOI](#)
14. ★ **The job demands-resources model of burnout.** — Journal of Applied Psychology (2001) 11,131 [DOI](#)
15. ☆ **Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences** — Journal of the Royal Statistical Society Series D (The Statistician) (2003) 9,374 [DOI](#)
16. ★ **Conservation of resources: A new attempt at conceptualizing stress.** — American Psychologist (1989) 8,873 [DOI](#)
17. ★ **Statistical Methods for Psychology.** — Journal of the Royal Statistical Society Series D (The Statistician) (1994) 8,377 [DOI](#)
18. ★ **Healthy work: stress, productivity, and the reconstruction of working life** — Choice Reviews Online (1990) 8,295 [DOI](#)
19. ★ **Immigration, Acculturation, and Adaptation** — Applied Psychology (1997) 7,334 [DOI](#)
20. ★ **The Influence of Culture, Community, and the Nested-Self in the Stress Process: Advancing Conservation of Resources Theory** — Applied Psychology (2001) 6,451 [DOI](#)
21. ☆ **A cognitive model of posttraumatic stress disorder** — Behaviour Research and Therapy (2000) 5,906 [DOI](#)
22. ★ **Statistics and Causal Inference** — Journal of the American Statistical Association (1986) 5,033 [DOI](#)
23. ☆ **Introduction to Classical and Modern Test Theory** (1986) 4,809
24. ★ **Mood, misattribution, and judgments of well-being: Informative and directive functions of affective states.** — Journal of Personality and Social Psychology (1983) 4,781 [DOI](#)
25. ★ **The Insomnia Severity Index: Psychometric Indicators to Detect Insomnia Cases and Evaluate Treatment Response** — SLEEP (2011) 4,429 [DOI](#)
26. ☆ **Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions.** — Journal of Occupational Health Psychology (1996) 4,279 [DOI](#)
27. ★ **Relationship of subjective and objective social status with psychological and physiological functioning: Preliminary data in healthy, White women.** — Health Psychology (2000) 4,251 [DOI](#)
28. ★ **Meta-analysis of risk factors for posttraumatic stress disorder in trauma-exposed adults.** — Journal of Consulting and Clinical Psychology (2000) 4,186 [DOI](#)
29. ★ **Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions.** — Journal of Occupational Health Psychology (1996) 4,092 [DOI](#)
30. ☆ **Meta-analysis of risk factors for posttraumatic stress disorder in trauma-exposed adults.** — Journal of Consulting and Clinical Psychology (2000) 3,939 [DOI](#)

CLUSTER 4 230 articles dans le réseau**Cluster hétérogène et artifactuel regroupant des références méthodologiques, diagnostiques et technologiques transversales, sans cohérence thématique intrinsèque autour du syndrome du bâtiment malsain.**

Analyse du Cluster Bibliométrique

Cluster hétérogène et artifactuel regroupant des références méthodologiques, diagnostiques et technologiques transversales, sans cohérence thématique intrinsèque autour du syndrome du bâtiment malsain.

Ce cluster ne forme **pas** un ensemble thématiquement cohérent autour du « sick building syndrome ». Il s'agit manifestement d'un artefact de co-citation regroupant des références à très haut volume de citations utilisées comme outils méthodologiques ou conceptuels dans des domaines disparates. Plusieurs sous-ensembles coexistent sans lien organique.

Un premier sous-ensemble concerne les **fondements méthodologiques et statistiques** : le critère d'information d'Akaike pour l'identification de modèles statistiques [1], la théorie ancrée de Glaser et Strauss pour la recherche qualitative [2], et l'apprentissage hybride instance-modèle de Quinlan [13] servent de socle méthodologique transversal à de nombreuses disciplines.

Un deuxième sous-ensemble porte sur le **diagnostic et la classification en santé mentale**, avec les éditions du DSM [3,5], les lignes directrices pour la pratique psychologique avec les personnes transgenres [9], et la recherche sur le burnout comme entité diagnostique contestée [30]. Le concept théorique de santé comme absence de maladie proposé par Boorse [8] constitue un fondement philosophique pour ces questions nosologiques.

Un troisième sous-ensemble, **quantitativement dominant parmi les articles récents**, concerne les **technologies blockchain** appliquées à la santé [14], aux chaînes d'approvisionnement [17,22,25,27,29], à l'industrie automobile [20] et à divers domaines [18]. La cryptographie de Diffie-Hellman [4] en constitue le socle technique.

Un quatrième sous-ensemble, plus marginal, touche à la **santé environnementale et physiologique** : toxicité du cadmium [16], masse néphronique et dysfonction rénale [21], variabilité de la fréquence cardiaque chez l'enfant [28], réponses cortisoliques chez l'adolescent [26], et médecine cardiovasculaire [24].

Enfin, un sous-ensemble isolé porte sur la **linguistique et le genre** : langage genré et stéréotypes [19,23], divergence des langues indo-européennes [11], et analyse du discours médiatique [10].

L'équilibre vapeur-liquide [6,12] et les technologies du germanium [15] semblent totalement orphelins thématiquement.

- **[1]** Akaike (1974) : Référence fondamentale en modélisation statistique (49 879 citations), utilisée comme outil d'identification de modèles dans pratiquement toutes les disciplines quantitatives représentées dans ce cluster.

- **[2]** Glaser & Strauss (1968) : Ouvrage fondateur de la théorie ancrée (38 808 citations), indispensable pour toute recherche qualitative, notamment en santé et sciences sociales.

- **[3]** DSM-5-TR (2022) : Référence nosologique incontournable en psychiatrie (20 331 citations), pertinente pour le diagnostic des troubles somatoformes et environnementaux, incluant potentiellement les symptômes du sick building syndrome.

- **[4]** Diffie & Hellman (1976) : Article séminal en cryptographie à clé publique (14 330 citations), fondement technique direct de toute la littérature blockchain de ce cluster [14,17,18,20].

- [8] Boorse (1977) : Conceptualisation philosophique de la santé comme concept théorique objectif, fondement de tout débat sur la définition et la légitimité diagnostique de syndromes contestés comme le sick building syndrome ou le burnout [30].

- [14] Hasselgren et al. (2019) : Revue de cadrage la plus citée sur la blockchain en santé (649 citations), pivot entre le sous-ensemble technologique et le domaine médical.

- [30] Heinemann & Heinemann (2017) : Analyse sociologique de la construction scientifique du burnout comme entité diagnostique, directement pertinente pour comprendre comment des syndromes environnementaux acquièrent ou non une reconnaissance officielle.

L'évolution chronologique révèle trois vagues distinctes :

Phase fondatrice (1964-1977) : Émergence des outils méthodologiques et conceptuels encore massivement cités — modélisation statistique [1], recherche qualitative [2], cryptographie [4], philosophie de la santé [8], thermodynamique [6,12].

Phase intermédiaire (2001-2011) : Contributions en physiologie clinique [21,26,28], linguistique [11,23], et actualisation du DSM [5].

Virage technologique marqué (2019-2021) : Concentration spectaculaire d'articles sur la blockchain, avec au moins huit publications en trois ans [14,17,18,20,22,25,27,29]. Ce virage récent suggère que la recherche sur la gestion des données de santé — potentiellement liées au suivi des symptômes du sick building syndrome — s'oriente vers des solutions de traçabilité et de transparence par blockchain [14,29]. Les lignes directrices sur les pratiques inclusives [9] et la recherche sur le burnout [30] traduisent aussi un virage vers la reconnaissance des déterminants psychosociaux.

Incohérence majeure du cluster : La première lacune est structurelle. Ce cluster ne présente aucune unité thématique identifiable autour du sick building syndrome. L'absence totale d'articles portant spécifiquement sur les questionnaires diagnostiques, les biomarqueurs ou la prise en charge clinique du SBS constitue un gap fondamental par rapport à la requête de recherche initiale.

Statut nosologique des syndromes environnementaux : Le débat entre une définition objectiviste de la santé [8] et la reconnaissance institutionnelle des troubles (DSM [3,5]) reste non résolu pour les syndromes fonctionnels comme le SBS. Le burnout illustre cette tension : malgré une littérature abondante, il n'est toujours pas reconnu comme trouble mental officiel dans la plupart des pays [30].

Blockchain et santé : promesses vs. preuves : La littérature blockchain [14,17,18,22,27,29] reste largement conceptuelle et programmatique. Hasselgren et al. [14] reconnaissent que les applications blockchain en santé croissent exponentiellement mais manquent de validation empirique. Le fossé entre cadres conceptuels [27] et implémentation réelle constitue une lacune critique.

Absence de lien entre biomarqueurs et diagnostic : Bien que des articles traitent de biomarqueurs spécifiques — cadmium [16], cortisol [26], variabilité cardiaque [28], masse néphronique [21] — aucun ne les relie à un cadre diagnostique intégré pour les pathologies environnementales, ce qui représente un gap majeur pour la recherche sur le SBS.

TOP 30 ARTICLES — CLASSÉS PAR CITATIONS

1. ★  **A new look at the statistical model identification** — IEEE Transactions on Automatic Control (1974) 49,879 [DOI](#)
2. ★ **The Discovery of Grounded Theory; Strategies for Qualitative Research** — Nursing Research (1968) 38,808 [DOI](#)
3. ☆ **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders** — American Psychiatric Association Publishing eBooks (2022) 20,331 [DOI](#)
4. ★ **New directions in cryptography** — IEEE Transactions on Information Theory (1976) 14,330 [DOI](#)

5. ☆ **Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders** — Encyclopedia of Special Education (2008) 8,496 [DOI](#)
6. ★ **Vapor-Liquid Equilibrium. XI. A New Expression for the Excess Free Energy of Mixing** — Journal of the American Chemical Society (1964) 3,251 [DOI](#)
7. ☆ **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education** — Contemporary issues in technology and teacher education (2025) 2,370 [DOI](#)
8. ★ **Health as a Theoretical Concept** — Philosophy of Science (1977) 1,725 [DOI](#)
9. ★ **Guidelines for psychological practice with transgender and gender nonconforming people.** — American Psychologist (2015) 1,304 [DOI](#)
10. ★ **Approaches To Media Discourse** (1998) 1,175
11. ☆ **Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin** — Nature (2003) 1,103 [DOI](#)
12. ☆ **Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection** (1977) 966
13. ☆ **Combining Instance-Based and Model-Based Learning** — Elsevier eBooks (1993) 741 [DOI](#)
14. ★ **Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review** — International Journal of Medical Informatics (2019) 649 [DOI](#)
15. ★ **Germanium-Based Technologies: From Materials to Devices** — Materials Today (2007) 530 [DOI](#)
16. ★ **Cadmium & its adverse effects on human health.** — PubMed (2008) 525
17. ★ **Leveraging the Internet of Things and Blockchain Technology in Supply Chain Management** — Future Internet (2019) 504 [DOI](#)
18. ★ **Blockchain Applications – Usage in Different Domains** — IEEE Access (2019) 367 [DOI](#)
19. ★ **Can Gender-Fair Language Reduce Gender Stereotyping and Discrimination?** — Frontiers in Psychology (2016) 356 [DOI](#)
20. ★ **A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry** — IEEE Access (2019) 339 [DOI](#)
21. ★ **The Clinical Importance of Nephron Mass** — Journal of the American Society of Nephrology (2010) 332 [DOI](#)
22. ★ **Potential of blockchain technology in supply chain management: a literature review** — International Journal of Physical Distribution & Logistics Management (2019) 330 [DOI](#)
23. ☆ **The Gendering of Language: A Comparison of Gender Equality in Countries with Gendered, Natural Gender, and Genderless Languages** — Sex Roles (2011) 261 [DOI](#)
24. ★ **Textbook of Cardiovascular Medicine** — JAMA (2007) 256 [DOI](#)
25. ★ **Blockchain in transport and logistics – paradigms and transitions** — International Journal of Production Research (2020) 250 [DOI](#)
26. ☆ **Adolescents' cortisol responses to awakening and social stress; Effects of gender, menstrual phase and oral contraceptives. The TRAILS study** — Psychoneuroendocrinology (2009) 246 [DOI](#)
27. ★ **Potentials of blockchain technologies for supply chain collaboration: a conceptual framework** — The International Journal of Logistics Management (2021) 239 [DOI](#)
28. ☆ **Heart rate variability in healthy children and adolescents is partially related to age and gender** — International Journal of Cardiology (2001) 238 [DOI](#)
29. ★ **Blockchain Technology for Transparency in Agri-Food Supply Chain: Use Cases, Limitations, and Future Directions** — IEEE Transactions on Engineering Management (2021) 219 [DOI](#)
30. ★ **Burnout Research** — SAGE Open (2017) 208 [DOI](#)

Fronts de recherche

Couplage bibliographique · 4 axes · Ce que les chercheurs publient maintenant

Note méthodologique — Le **couplage bibliographique** identifie les fronts de recherche en regroupant les articles-sources qui partagent les mêmes références. Co-citation → **fondations**. Couplage biblio → **fronts actifs** (ce qui s'écrit maintenant).

AXE 1 – ÉPIDÉMIOLOGIE & FACTEURS

363 articles · 11 fronts · 4999 connexions

Front 1 — 131 articles

>Contamination fongique et syndrome des bâtiments malsains

Ce front de recherche privilégie des approches méthodologiques multidisciplinaires combinant surveillance environnementale (bioaérosols, composés organiques volatils microbiens), études épidémiologiques de prévalence et modèles prédictifs de concentration fongique. Les méthodes incluent l'analyse moléculaire des espèces fongiques, la caractérisation des environnements humides et l'évaluation des expositions professionnelles et résidentielles.

Les résultats récents établissent des corrélations robustes entre espèces fongiques spécifiques (*Penicillium*, *Stachybotrys*) et symptômes du syndrome des bâtiments malsains. La recherche révèle l'impact critique de l'humidité sur la prolifération microbienne dans les environnements étanches économes en énergie. Les études identifient des biomarqueurs d'exposition et documentent les risques sanitaires dans des environnements spécialisés (archives, écoles, établissements de santé).

Ce front se distingue par son intégration de la microbiologie environnementale avec la santé occupationnelle, dépassant les approches traditionnelles focalisées uniquement sur les polluants chimiques. L'accent sur les mécanismes d'allergie et d'inflammation liés aux champignons, couplé aux stratégies de mitigation dans le contexte post-COVID, positionne cette recherche à l'intersection critique entre qualité de l'air intérieur et santé publique.

Front 2 — 122 articles

>Surveillance multisensorielle de la qualité d'air intérieur

Ce front de recherche combine approches environnementales, épidémiologiques et technologiques pour caractériser la pollution d'air intérieur. Les méthodes dominantes incluent l'analyse moléculaire (ADN fongique, mycotoxines), la surveillance instrumentale continue des paramètres physico-chimiques, et les études transversales à large échelle comme SINPHONIE. L'approche multisensorielle émerge, intégrant olfaction et perception sensorielle globale.

Les résultats récents révèlent des associations spécifiques entre humidité relative contrôlée et santé des travailleurs, l'impact oculaire comme biomarqueur d'exposition aux polluants, et l'identification de composés émergents comme le 2-éthyl-1-hexanol. Les études démontrent des liens quantifiables entre contamination fongique, mycotoxines et symptômes du syndrome du bâtiment malade, particulièrement en environnements tropicaux.

Ce front se distingue par son approche holistique combinant surveillance technologique avancée, biomarqueurs de santé et prise en compte de l'expérience sensorielle globale. Il dépasse la simple mesure de polluants pour intégrer les dimensions perceptuelles et psychophysiologiques de la qualité environnementale intérieure, orientant vers des stratégies de contrôle préventif basées sur l'évidence scientifique multidisciplinaire.

Front 3 — 51 articles

>Approches Intégrées pour l'Évaluation de la Qualité d'Air Intérieur

Ce front de recherche se caractérise par une approche méthodologique diversifiée combinant évaluations sur site de type "health hazard evaluation" (HHE), analyses microbiologiques avancées, et revues systématiques de littérature. Les études privilégient les investigations terrain dans des environnements occupationnels réels (centres d'appel, bâtiments administratifs, universités) avec des protocoles standardisés d'évaluation des risques.

Les résultats récents révèlent une évolution vers une compréhension plus nuancée des interactions complexes entre facteurs environnementaux. L'aérobiologie émergente comme discipline clé pour comprendre la transmission des pathogènes, tandis que l'impact de l'humidité faible sur le confort et la santé est mieux documenté. Les composés organiques volatils et bio-odorants sont identifiés comme contributeurs majeurs aux problèmes de qualité d'air intérieur.

Ce front se distingue par son approche holistique intégrant santé publique et environnement bâti, dépassant l'approche traditionnelle focalisée uniquement sur les moisissures. L'accent mis sur les évaluations occupationnelles réelles plutôt que sur des études en laboratoire constitue une spécificité méthodologique importante, reflétant une volonté de solutions pratiques et applicables.

Front 4 — 19 articles

>Ventilation et Qualité d'Air en Milieux Occupationnels

Ce front de recherche s'appuie principalement sur des études épidémiologiques transversales à grande échelle (jusqu'à 30 000 sujets) et des analyses de bases de données existantes comme l'étude EPA BASE. Les approches dominantes incluent la mesure simultanée des paramètres environnementaux (CO₂, taux de ventilation, humidité) et des symptômes rapportés, complétées par des outils d'évaluation semi-quantitative et des checklists standardisées.

Les résultats récents établissent des relations quantifiables entre la ventilation/qualité d'air et la productivité : l'amélioration de la qualité d'air intérieur peut générer des gains économiques supérieurs aux coûts énergétiques. Les chercheurs ont identifié des seuils critiques pour les concentrations de CO₂ et développé des indices de ventilation pour prédire les risques sanitaires. L'utilisation de réseaux de neurones artificiels émerge pour prédire la prévalence des symptômes.

Ce front se distingue par son approche éconómico-sanitaire intégrée, quantifiant les bénéfices productivité/santé des interventions sur l'environnement intérieur. Il élargit le champ traditionnel du syndrome des bâtiments malsains vers une vision holistique incluant performance au travail et coûts sociétaux, particulièrement dans les environnements institutionnels (écoles, bureaux, hôpitaux).

Front 5 — 6 articles

>Sensibilisation Chimique Multiple et Mécanismes Immunologiques Sous-jacents

Ce front de recherche se distingue par l'adoption d'approches méthodologiques intégrées combinant études cliniques observationnelles, interventions environnementales personnalisées ("house calls"), et investigations mécanistiques centrées sur la biologie des mastocytes. Les chercheurs utilisent le cadre conceptuel TILT (Toxicant-Induced Loss of Tolerance) pour structurer leurs analyses.

Les résultats récents révèlent que la sensibilisation des mastocytes par les toxiques synthétiques constitue un mécanisme plausible expliquant la sensibilité chimique multiple, résolvant ainsi le paradoxe entre les rapports cliniques massifs et l'absence de confirmation expérimentale antérieure. Les interventions environnementales personnalisées démontrent une efficacité thérapeutique mesurable, tandis que l'intégration d'approches psychothérapeutiques ciblant les traumatismes élargit le spectre thérapeutique.

Ce qui distingue ce front est son passage d'une approche purement descriptive vers une compréhension mécanistique intégrée, combinant immunologie cellulaire, médecine environnementale et psychiatrie. Cette convergence multidisciplinaire légitime scientifiquement un phénomène longtemps controversé, ouvrant des perspectives thérapeutiques concrètes pour 15-36% de la population affectée.

Front 6 — 4 articles

>Aéroallergènes et changements environnementaux en Asie

Ce front de recherche se caractérise par des approches méthodologiques diversifiées incluant des revues de portée systématiques, des analyses de littérature régionales et des études de prévalence multi-pays. Les chercheurs utilisent principalement des méthodologies observationnelles et des synthèses narratives pour cartographier les patterns d'exposition aux aéroallergènes.

Les résultats récents révèlent que les acariens demeurent les principaux allergènes intérieurs en Asie, mais que les changements climatiques modifient significativement les profils de sensibilisation. Les variations géographiques et climatiques créent des patterns régionaux distincts d'exposition aux aéroallergènes, avec une augmentation notable des cas d'asthme pédiatrique. En Malaisie spécifiquement, la rhinite allergique montre des prévalences élevées liées aux conditions tropicales.

Ce qui distingue ce front est son focus géographique asiatique couplé à une perspective de santé publique globale. Contrairement aux recherches classiques sur le syndrome des bâtiments malsains centrées sur les espaces clos occidentaux, cette approche intègre les impacts du changement climatique sur la qualité de l'air intérieur et extérieur dans des contextes tropicaux et subtropicaux spécifiques, révélant des enjeux sanitaires émergents propres aux populations asiatiques.

Front 7 — 3 articles

>Comportement Occupant et Performance Énergétique Résidentielle

Ce front de recherche adopte une approche méthodologique interdisciplinaire combinant l'analyse comportementale, la modélisation énergétique et l'évaluation du confort intérieur. Les études privilégient les revues de littérature systématiques pour identifier les lacunes méthodologiques et développer de nouveaux cadres d'analyse intégrant simultanément consommation énergétique, confort thermique et comportements quotidiens des occupants.

Les résultats récents révèlent l'existence d'un "gap de performance énergétique" significatif entre les prédictions théoriques et la consommation réelle des bâtiments résidentiels. Les recherches identifient les déterminants comportementaux clés influençant la consommation de chauffage et d'électricité, soulignant l'importance des pratiques quotidiennes dans l'efficacité énergétique globale.

Ce front se distingue par son approche holistique qui refuse de traiter séparément énergie et confort, reconnaissant leur interdépendance fondamentale avec les comportements humains. Contrairement aux approches traditionnelles focalisées sur la technique, ce courant place l'occupant au centre de l'équation énergétique, ouvrant la voie à des stratégies d'optimisation énergétique plus réalistes et durables pour l'habitat résidentiel.

Front 8 — 3 articles

>Détection et Mesure d'Agents Biologiques Intérieurs

Ce front de recherche se concentre sur l'identification méthodologique des contaminants biologiques dans les environnements intérieurs, particulièrement les acariens et leurs allergènes. Les approches méthodologiques dominantes combinent des techniques de mesure directe des agents biologiques (protocoles de prélèvement et d'analyse) avec des études expérimentales contrôlées examinant l'influence des matériaux de construction sur la prolifération microbienne.

Les résultats récents révèlent que les fibres de tapis influencent significativement la croissance des acariens *Dermatophagoides farinae*, remettant en question les recommandations systématiques de suppression des moquettes pour les personnes allergiques. Cette recherche suggère une approche plus nuancée, reconnaissant que certains types de fibres pourraient même être bénéfiques dans certains contextes.

Ce qui distingue ce front est son approche expérimentale rigoureuse des interactions matériaux-organismes, dépassant les corrélations épidémiologiques traditionnelles pour examiner les mécanismes causaux spécifiques. L'accent sur les protocoles standardisés de détection biologique représente une évolution vers une science plus précise de la qualité de l'air intérieur, permettant des interventions basées sur des preuves plutôt que sur des suppositions générales.

Front 9 — 2 articles

>Susceptibilité individuelle à la pollution intérieure

Ce front de recherche examine les facteurs de vulnérabilité individuelle face aux polluants intérieurs, s'écartant d'une approche populationnelle généraliste pour se concentrer sur les variations inter-individuelles de sensibilité.

L'approche méthodologique dominante repose sur l'identification des déterminants biologiques et génétiques de la susceptibilité, incluant l'analyse des prédispositions allergiques, des déficits immunitaires, et des variations dans les capacités de détoxification métabolique. Les études intègrent des évaluations cliniques détaillées avec des mesures d'exposition personnalisées.

Les résultats clés révèlent que certains sous-groupes populationnels (enfants, personnes âgées, individus atopiques, patients immunocompromis) présentent des risques disproportionnellement élevés face aux mêmes niveaux d'exposition. Les recherches identifient des biomarqueurs prédictifs de sensibilité et établissent des seuils d'exposition différenciés selon les profils de vulnérabilité.

Ce qui distingue ce front est son passage d'une toxicologie environnementale standardisée vers une médecine de précision environnementale. Plutôt que d'établir des normes universelles, cette approche vise à personnaliser l'évaluation des risques et les stratégies préventives selon les caractéristiques individuelles de susceptibilité aux polluants intérieurs.

Front 10 — 2 articles

>Technologies de Déshumidification Dessiccante contre le SBS

Ce front de recherche adopte une approche technologique appliquée centrée sur l'évaluation comparative des solutions de déshumidification. La méthodologie dominante combine des revues systématiques des technologies dessiccantes avec l'analyse comparative de logiciels de conception industriels, particulièrement dans le contexte brésilien où les conditions climatiques exacerbent les problèmes d'humidité intérieure.

Les résultats récents mettent en évidence l'efficacité des roues dessiccantes comme alternative aux systèmes de climatisation conventionnels pour contrôler l'humidité et prévenir le Syndrome des Bâtiments Malsains. L'étude identifie les lacunes dans les outils de sélection disponibles et propose des critères d'optimisation spécifiques aux climats tropicaux.

Ce front se distingue par son approche pragmatique axée sur l'implémentation technologique plutôt que sur l'épidémiologie du SBS. Il privilégie les solutions préventives par contrôle environnemental, intégrant les spécificités géoclimatiques régionales. Cette orientation technologique marque un passage des études diagnostiques vers des recherches orientées solutions, positionnant la déshumidification comme stratégie primaire de prévention du SBS dans les environnements à forte humidité.

Front 11 — 2 articles

>Évaluation Microbiologique d'Environnements Laboratoires Tropicaux

Ce front de recherche émergent adopte une approche méthodologique centrée sur l'échantillonnage direct et l'identification microbiologique de l'air intérieur dans des environnements de laboratoire en zone tropicale. Les méthodes privilégient l'estimation quantitative des spores fongiques et bactériennes comme indicateurs de propreté environnementale.

Les résultats récents révèlent une présence significative de microorganismes dans l'air intérieur des laboratoires de microbiologie appliquée, soulignant l'importance du monitoring microbien continu dans ces environnements spécialisés. Cette recherche documente spécifiquement les profils microbiens caractéristiques des environnements académiques nigériens.

Ce qui distingue ce front est son focus géographique sur l'Afrique subsaharienne et sa spécialisation dans les environnements de laboratoire plutôt que les espaces de bureau traditionnels du syndrome des bâtiments malsains. L'approche privilégie l'analyse microbiologique directe comme métrique principale de qualité de l'air, contrastant avec les études occidentales qui intègrent davantage les facteurs physico-chimiques et les symptômes occupationnels. Cette orientation reflète une adaptation contextuelle des méthodologies d'évaluation de la qualité de l'air intérieur aux réalités tropicales et aux ressources disponibles localement.

AXE 2 — REMÉDIATION & VENTILATION

30 articles · 4 fronts · 39 connexions

Front 1 — 8 articles

>Qualité de l'air intérieur et interventions technologiques avancées

Ce front de recherche adopte des approches méthodologiques diversifiées combinant études expérimentales contrôlées, évaluations in-situ dans des bâtiments réels, et essais cliniques randomisés. Les chercheurs privilégient une approche systémique intégrant ingénierie environnementale, nanotechnologies et sciences de la santé publique.

Les résultats récents révèlent l'efficacité prometteuse des nanomatériaux photocatalytiques au TiO_2 pour la purification de l'air intérieur, ainsi que des systèmes hybrides combinant filtration portable et désinfection UV dans les environnements éducatifs. Les études démontrent également le potentiel des solutions bio-inspirées (végétation d'intérieur) pour stabiliser les microclimats, particulièrement dans les climats arides. L'accent est mis sur des interventions mesurables dans des contextes vulnérables (écoles, jeunes enfants).

Ce front se distingue par son passage des diagnostics de qualité d'air vers des solutions technologiques concrètes et leur validation rigoureuse. Il intègre explicitement les enjeux d'équité sanitaire et adopte une perspective d'ingénierie systémique, dépassant les approches traditionnelles en silos pour proposer des cadres intégrés de résilience environnementale des bâtiments.

Front 2 — 8 articles

>Remédiation environnementale intérieure post-contamination microbienne

Ce front de recherche privilégie des approches méthodologiques hybrides combinant échantillonnage microbiologique, analyses statistiques de bioaérosols et évaluations épidémiologiques des symptômes occupationnels. Les études intègrent des mesures environnementales quantitatives (spores fongiques, qualité d'air) avec des enquêtes perceptuelles sur les symptômes du syndrome des bâtiments malsains, particulièrement en milieux hospitaliers et scolaires.

Les résultats récents révèlent l'efficacité des systèmes HVAC assistés par déshumidification pour contrôler la contamination fongique, tout en documentant des corrélations saisonnières entre types de systèmes de ventilation et concentrations de bioaérosols. Les recherches émergentes sur la remédiation post-incendies de forêt élargissent le spectre des contaminants traités au-delà des seuls agents microbiens traditionnels.

Ce qui distingue fondamentalement ce front est son orientation pragmatique vers l'intervention corrective plutôt que préventive, avec un focus spécifique sur les environnements à haute vulnérabilité (hôpitaux, écoles). L'approche multidisciplinaire intègre ingénierie des systèmes HVAC, microbiologie environnementale et santé occupationnelle pour développer des stratégies de remédiation ciblées et mesurables.

Front 3 — 5 articles

>Phytoremédiation et Matériaux Écologiques pour l'Air Intérieur

Ce front de recherche combine approches expérimentales contrôlées, études perceptuelles qualitatives et analyses environnementales multi-échelles. Les méthodologies dominantes incluent des tests en chambres climatiques pour évaluer l'efficacité des plantes dépolluantes, des caractérisations physico-chimiques de matériaux poreux, et des enquêtes perceptuelles auprès d'occupants (notamment enseignants).

Les résultats récents révèlent le potentiel significatif de la phytoremédiation pour réduire les polluants intérieurs post-COVID, particulièrement pertinent alors que nous passons 80-90% de notre temps en intérieur. Les recherches sur l'ozone et les matériaux poreux montrent des interactions complexes surface-polluant dans les bâtiments verts. L'industrie de la construction émerge comme contributeur majeur à la pollution de l'air intérieur, nécessitant des solutions intégrées.

Ce front se distingue par son approche holistique combinant solutions biologique (plantes), matériaux innovants, et dimension humaine/perceptuelle. Il transcende les frontières disciplinaires traditionnelles en intégrant écologie humaine, sciences des matériaux et santé publique, proposant des alternatives low-tech aux systèmes HVAC conventionnels tout en considérant l'expérience subjective des occupants.

Front 4 — 3 articles

>Contrôle microbiologique des environnements bâtis intérieurs

Ce front de recherche adopte une approche multidisciplinaire combinant épidémiologie environnementale, microbiologie de l'air et technologies émergentes. Les méthodes dominantes incluent les revues rapides de preuves, l'analyse de la diversité fongique aéroportée, et l'application de l'intelligence artificielle pour l'identification des bioaérosols. L'approche intègre également l'étude de cas spécifiques (bibliothèques) pour comprendre les mécanismes de contamination.

Les résultats récents révèlent l'importance critique des défaillances HVAC dans la prolifération microbienne, avec une attention particulière aux communautés fongiques aéroportées et leurs impacts sanitaires. L'émergence de l'IA en aéromycologie offre de nouvelles perspectives pour la surveillance et l'identification rapide des contaminants. Les études documentent les liens directs entre conception architecturale, maintenance des systèmes de ventilation et exposition aux microorganismes pathogènes.

Ce front se distingue par son approche holistique intégrant santé publique, ingénierie du bâtiment et innovations technologiques. Contrairement aux approches traditionnelles focalisées sur la ventilation mécanique, cette recherche examine les interactions complexes entre environnement bâti, écosystèmes microbiens et interventions de remédiation, positionnant l'IA comme outil diagnostique émergent.

AXE 3 – DIAGNOSTIC & PRISE EN CHARGE

492 articles · 22 fronts · 566 connexions

Front 1 — 62 articles

>Approches multidimensionnelles des syndromes complexes et santé environnementale

Ce front de recherche se caractérise par l'adoption d'approches méthodologiques intégratives combinant des outils diagnostiques traditionnels avec des biomarqueurs innovants et des questionnaires standardisés. Les chercheurs privilégient les méta-analyses systématiques, les études de cohorte longitudinales et les approches de médecine des systèmes pour appréhender la complexité des syndromes multifactoriels.

Les résultats récents révèlent l'importance cruciale des déterminants sociaux et environnementaux dans l'émergence des syndromes complexes. Les interventions basées sur la nature montrent une efficacité prometteuse pour la gestion des symptômes, tandis que l'intégration de l'intelligence artificielle améliore significativement les capacités diagnostiques. Les biomarqueurs de stress métabolique émergent comme outils prédictifs fiables.

Ce front se distingue par sa vision holistique transcendant les frontières disciplinaires traditionnelles, intégrant psychiatrie, médecine environnementale et santé publique. L'accent sur la prévention proactive plutôt que curative, couplé à l'utilisation d'outils numériques pour le diagnostic et le suivi, représente un changement paradigmatique vers une médecine personnalisée et préventive des syndromes environnementaux complexes.

Front 2 — 37 articles

>Biomarqueurs et diagnostic des syndromes post-infectieux chroniques

Ce front de recherche combine paradoxalement des études sur les dissections aortiques chroniques avec des syndromes post-infectieux comme le COVID long et l'encéphalomyélite myalgique/syndrome de fatigue chronique (EM/SFC). Les approches méthodologiques dominantes incluent la surveillance par imagerie médicale, le diagnostic différentiel par questionnaires standardisés, l'identification de biomarqueurs inflammatoires et métaboliques, et l'analyse des inégalités sociales de santé.

Les résultats récents révèlent des dysfonctions autonomes cardiovasculaires communes aux syndromes post-COVID et EM/SFC, avec des altérations spécifiques du métabolisme des acides gras dans les lymphocytes. La télémédecine et la surveillance à distance émergent comme outils diagnostiques essentiels, particulièrement pour les populations socialement défavorisées qui présentent un risque accru de COVID long.

Ce front se distingue par son approche transversale des maladies chroniques complexes, intégrant biomarqueurs moléculaires, facteurs psychosociaux et innovations technologiques. L'accent mis sur les disparités de soins et la nécessité d'une surveillance prolongée reflète une évolution vers une médecine personnalisée tenant compte des déterminants sociaux de la santé dans le diagnostic et la prise en charge.

Front 3 — 36 articles

>Biomarqueurs et Mesures Numériques pour Syndromes Professionnels

Ce front de recherche se distingue par l'intégration d'approches méthodologiques multidisciplinaires combinant biomarqueurs physiologiques, mesures numériques et questionnaires cliniques pour diagnostiquer les syndromes liés au travail. Les études adoptent des designs cas-témoins, des essais randomisés, et exploitent l'électroencéphalographie et l'intelligence artificielle pour identifier des signatures biologiques objectives.

Les résultats récents révèlent des corrélations entre burnout professionnel et dysfonctions cognitives exécutives, particulièrement dans des populations à haut risque (vétérinaires, personnel médical). L'inflammation systémique chronique et les déséquilibres autonomes émergent comme biomarqueurs prometteurs du syndrome d'épuisement. Les mesures numériques permettent désormais une détection précoce et un monitoring continu des symptômes.

Ce front se caractérise par son approche translationnelle : de la neurophysiologie (EEG, connectivité neuronale) aux interventions cliniques concrètes. Contrairement aux approches traditionnelles centrées sur l'auto-évaluation, cette recherche privilégie l'objectivation biologique des syndromes professionnels, ouvrant la voie à des diagnostics précoces et des thérapies personnalisées basées sur des profils biomoléculaires spécifiques.

Front 4 — 21 articles

>Exposome fongique et biomarqueurs inflammatoires indoor

Ce front de recherche se caractérise par des approches méthodologiques intégrant l'analyse de l'exposome fongique (articles 4, 5, 10), les biomarqueurs immunologiques et inflammatoires (article 6), et les évaluations cliniques standardisées en milieu professionnel (articles 9, 11, 14). Les chercheurs combinent surveillance environnementale microbiologique, dosage de cytokines/chimiokines spécifiques, et questionnaires de symptômes validés pour caractériser les bâtiments à problèmes.

Les résultats récents révèlent que l'exposition chronique aux moisissures induit des profils inflammatoires spécifiques permettant de différencier les patients exposés des témoins. L'identification de biomarqueurs SCFA et de voies métaboliques altérées (article 8) ouvre de nouvelles perspectives diagnostiques. Les études confirment l'influence des polluants volatils organiques et des paramètres physiques sur la symptomatologie (article 9).

Ce qui distingue ce front est l'approche "exposome" intégrative, dépassant la simple identification d'agents pathogènes pour caractériser l'ensemble des expositions fongiques et leurs effets immunologiques. Cette stratégie permet une documentation objective des réponses immunitaires spécifiques, révolutionnant le diagnostic différentiel du syndrome des bâtiments malsains par rapport aux approches purement symptomatologiques antérieures.

Front 5 — 18 articles

>Intolérances Chimiques Environnementales : Biomarqueurs et Pratique Clinique

Ce front de recherche révèle une approche méthodologique mixte combinant études épidémiologiques populationnelles, consensus d'experts cliniques et recherche de biomarqueurs biologiques. Les enquêtes transversales à grande échelle dominent pour évaluer la prévalence, tandis que les approches qualitatives explorent les perspectives cliniques sur l'évaluation toxicologique.

Les résultats récents établissent une prévalence significative des intolérances chimiques (15-36% aux États-Unis, 5,7% en Italie), avec identification de déclencheurs environnementaux spécifiques et exploration du rôle des mastocytes dans les mécanismes physiopathologiques. Les consensus d'experts italiens proposent des protocoles de prise en charge clinique standardisés, marquant une évolution vers la reconnaissance médicale.

Ce front se distingue par sa transition d'une approche purement symptomatique vers une recherche mécanistique intégrant biomarqueurs et surveillance professionnelle. L'accent mis sur les populations vulnérables (lycéens japonais) et l'élaboration de protocoles cliniques pratiques témoignent d'une maturation du domaine, passant de la controverse scientifique vers l'implémentation de solutions diagnostiques et thérapeutiques concrètes pour ces syndromes environnementaux émergents.

Front 6 — 15 articles

>Inflammation Oculaire et Polluants Environnementaux Intérieurs

Ce front de recherche adopte une approche multidisciplinaire combinant ophtalmologie clinique, science de l'air intérieur et immunologie. Les méthodologies dominantes incluent l'analyse cytologique des larmes, l'évaluation de la stabilité du film lacrymal, les questionnaires standardisés de symptômes oculaires, et les études transversales dans des environnements de travail contrôlés.

Les résultats récents révèlent que le syndrome des bâtiments malsains (SBS) présente des mécanismes inflammatoires similaires aux allergies oculaires, avec une production accrue d'IL-4 dans les larmes. La déstabilisation du film lacrymal précornéen émerge comme biomarqueur précoce d'exposition aux polluants intérieurs, tandis que l'efficacité du clignement apparaît comme facteur protecteur crucial. Les études post-ménopausiques identifient des populations à risque particulier.

Ce front se distingue par son passage d'une approche purement descriptive du SBS vers une caractérisation moléculaire précise des réponses inflammatoires oculaires. L'intégration de biomarqueurs lacrymaux avec des mesures environnementales objectives permet désormais un diagnostic différentiel entre SBS et dermatite de contact allergique, ouvrant la voie à des interventions thérapeutiques ciblées.

Front 7 — 13 articles

>Prise en Charge Intégrée des Comorbidités Chroniques

Ce cluster révèle une inadéquation majeure entre le titre annoncé (sick building syndrome) et le contenu réel des articles, qui portent essentiellement sur la gestion des maladies chroniques, principalement le diabète et l'insuffisance cardiaque. Les approches méthodologiques dominantes combinent études de cohorte prospectives, essais contrôlés randomisés en clusters, et analyses de biomarqueurs multiples pour optimiser les stratégies thérapeutiques.

Les résultats clés incluent l'identification de signatures métabolomiques prédictives pour la transition du diabète gestationnel vers le diabète de type 2, l'efficacité des inhibiteurs SGLT-2 dans l'insuffisance cardiaque, et l'amélioration du pronostic par les scores d'alerte précoce (NEWS2) combinés aux biomarqueurs cardiaques. Le concept émergent de "burnout diabétique" souligne l'importance des facteurs psychosociaux.

Ce front se distingue par son approche holistique intégrant biomarqueurs, facteurs sociodémographiques et interventions communautaires, visant une prise en charge personnalisée des comorbidités. L'accent mis sur la prévention primaire et la détection précoce des complications reflète une évolution vers une médecine prédictive et préventive.

Front 8 — 13 articles

>Modèles Vétérinaires pour Maladies Infectieuses Émergentes

Cette collection d'articles révèle un décalage significatif avec le "sick building syndrome" annoncé. Le cluster identifie plutôt un front de recherche vétérinaire axé sur les maladies infectieuses émergentes et les modèles diagnostiques.

Les approches méthodologiques dominantes incluent : modèles animaux transgéniques (souris ACE-2 humain pour SARS-CoV-2), analyses séroépidémiologiques, techniques MALDI-TOF pour l'identification d'arthropodes, et études hématologiques comparatives multi-espèces.

Les résultats clés montrent des prévalences variables de toxoplasmose (6,6% IgM+, 32,7% IgG+ chez l'humain vs 0,7% chez les chats), une dynamique neutrophile spécifique dans l'infection COVID-19 murine, et l'émergence du virus hépatite E comme facteur zoonotique majeur via les porcs et sangliers.

Ce qui distingue ce front est son approche One Health intégrée, combinant surveillance vétérinaire, modélisation expérimentale et risques zoonotiques. L'accent sur les technologies diagnostiques émergentes (MALDI-TOF) et les modèles de substitution BSL-2/BSL-3 reflète une adaptation aux contraintes de biosécurité post-pandémique, positionnant la recherche vétérinaire comme sentinelle des menaces sanitaires émergentes.

Front 9 — 11 articles

>Questionnaires de Santé Occupationnelle et Méthodologies d'Évaluation

Ce front de recherche se caractérise par l'utilisation d'approches méthodologiques mixtes combinant questionnaires standardisés, analyses statistiques avancées et apprentissage automatique. Les études privilégient les designs de cohortes prospectives et les analyses psychométriques pour valider les instruments de mesure. L'apprentissage automatique, notamment les machines à vecteurs de support (SVM), émerge comme approche prometteuse pour l'évaluation diagnostique avec une meilleure précision prédictive que les méthodes traditionnelles.

Les résultats récents révèlent l'importance de la validation contextuelle des questionnaires de santé, particulièrement pour des populations spécifiques (militaires, travailleurs industriels). La recherche démontre que les facteurs occupationnels influencent significativement la santé mentale et physique, avec des liens établis entre stress professionnel et résistance à l'insuline, ou entre expériences de combat et troubles post-traumatiques.

Ce front se distingue par son approche méthodologique rigoureuse de validation d'instruments plutôt que par l'étude directe du syndrome des bâtiments malsains. Il met l'accent sur la robustesse psychométrique des outils d'évaluation et l'intégration de nouvelles technologies d'analyse pour améliorer le diagnostic et la surveillance de la santé occupationnelle.

Front 10 — 5 articles

>Systèmes d'Aide à la Décision Clinique Digitalisés

Ce front de recherche se concentre sur le développement et l'implémentation de systèmes d'aide à la décision clinique (CDSS) dans des contextes variés, particulièrement les environnements à ressources limitées et la gestion de maladies chroniques comme la sclérose en plaques.

Les approches méthodologiques dominantes incluent la digitalisation d'algorithmes cliniques existants, l'intégration de l'intelligence artificielle pour la personnalisation des soins, et les essais contrôlés randomisés en cluster pour évaluer l'efficacité des interventions numériques.

Les résultats récents révèlent des défis significatifs d'implémentation, notamment une adhérence relativement faible aux recommandations des systèmes (comme observé dans l'étude cambodgienne sur la prescription d'antibiotiques). Cependant, les recherches montrent des promesses pour la gestion intégrée des maladies infantiles et le développement de parcours patients digitalisés pour la sclérose en plaques.

Ce front se distingue par sa focalisation sur l'applicabilité pratique dans des contextes réels difficiles (réfugiés au Tchad, soins primaires au Cambodge) plutôt que sur des environnements cliniques optimaux, révélant l'écart entre le potentiel théorique des CDSS et leur efficacité pratique sur le terrain.

Front 11 — 5 articles

>Santé Occupationnelle des Populations Vulnérables

Ce front de recherche adopte des approches méthodologiques diversifiées, combinant revues systématiques et umbrella reviews pour synthétiser les connaissances sur la santé des populations à risque. Les études privilégient l'analyse des facteurs de risque modifiables et l'évaluation des coûts socioéconomiques, utilisant des cadres conceptuels multidimensionnels pour appréhender les déterminants de santé.

Les résultats récents révèlent que jusqu'à 40% des cas de démence sont attribuables à des facteurs de risque modifiables, ouvrant des perspectives préventives prometteuses. Pour les travailleurs migrants, l'exposition aux "3D jobs" (dirty, dangerous, difficult) génère des risques sanitaires spécifiques dans les secteurs de la construction et de l'industrie lourde. L'évaluation des coûts de la maladie d'Alzheimer souligne l'ampleur sous-estimée de son impact socioéconomique global.

Ce front se distingue par son approche transversale des vulnérabilités, reliant santé occupationnelle, inégalités sociales et vieillissement. Il privilégie une perspective préventive et systémique, cherchant à identifier les leviers d'intervention sur les déterminants structurels de la santé plutôt que sur les seuls facteurs individuels.

Front 12 — 4 articles

>Biomarqueurs nutritionnels dans les syndromes post-infectieux

Ce front de recherche se concentre sur l'identification de biomarqueurs nutritionnels et métaboliques pour diagnostiquer et prendre en charge les syndromes persistants post-COVID-19, établissant des parallèles avec le syndrome des bâtiments malsains par leurs manifestations symptomatiques similaires.

Les approches méthodologiques privilégient les études de cohortes prospectives combinant questionnaires de symptômes rapportés par les patients, analyses du microbiote intestinal, et dosages de biomarqueurs plasmatiques spécifiques comme la transthyréline. L'intégration de données immunologiques, nutritionnelles et cliniques caractérise cette approche multidisciplinaire.

Les résultats récents révèlent que la transthyréline plasmatique constitue un biomarqueur robuste reflétant les changements de masse corporelle maigre et le statut nutritionnel dans diverses pathologies. Les comportements nutritionnels et la composition du microbiote intestinal influencent significativement le risque d'infection SARS-CoV-2 chez les jeunes adultes sains.

Ce front se distingue par sa perspective nutritionnelle innovante des syndromes post-infectieux, dépassant les approches purement symptomatiques pour intégrer des biomarqueurs métaboliques objectifs. Cette approche ouvre de nouvelles voies thérapeutiques ciblées basées sur la modulation nutritionnelle et microbienne.

Front 13 — 3 articles

>Optimisation de la Corticothérapie dans l'Asthme Sévère

Ce front de recherche se concentre sur les approches méthodologiques de consensus d'experts (méthode Delphi) et les déclarations institutionnelles internationales (ERS/EAACI) pour standardiser la prise en charge de l'asthme sévère. Les chercheurs privilégient les approches collaboratives multidisciplinaires et les séminaires européens pour développer des recommandations pratiques.

Les résultats récents établissent le premier consensus d'experts sur le sevrage des corticostéroïdes oraux dans l'asthme, identifient les priorités de recherche concernant les exacerbations sévères malgré les traitements efficaces disponibles, et définissent les déterminants de l'adhérence thérapeutique pour l'inhalothérapie comme enjeu majeur de la prochaine décennie.

Ce qui distingue ce front est son approche systémique intégrant la réduction des effets indésirables des corticostéroïdes (sevrage programmé), la prévention des complications graves (hospitalisation, décès), et l'optimisation de l'observance thérapeutique. Cette triangulation méthodologique - consensus d'experts, déclarations institutionnelles, et formation continue - vise à combler le vide des recommandations actuelles sur des aspects critiques mais négligés de la prise en charge de l'asthme sévère.

Front 14 — 2 articles

>Thérapie positive pour professionnels en contexte traumatique

Ce front de recherche adopte une approche méthodologique centrée sur l'évaluation longitudinale des interventions psychothérapeutiques positives, utilisant des mesures standardisées de l'état psycho-émotionnel et de la santé somatique. Les études combinent des questionnaires validés avec des biomarqueurs de stress pour documenter l'efficacité thérapeutique en temps réel, particulièrement dans des environnements à haut risque comme les zones de conflit.

Les résultats récents démontrent que les programmes de thérapie positive structurés améliorent significativement la résilience mentale des professionnels de l'éducation spécialisée et des populations exposées au trauma de guerre. Ces interventions favorisent la formation d'une image de soi mentalement saine et stimulent l'adhésion à des modes de vie protecteurs, avec des effets mesurables sur les indicateurs somatiques.

Ce qui distingue ce front est son focus sur les populations professionnelles vulnérables (éducateurs spécialisés, personnel en zone de conflit) plutôt que sur les environnements bâtis traditionnels du syndrome des bâtiments malsains. L'approche intègre explicitement les déterminants sociaux et contextuels du bien-être, élargissant le concept de "syndrome" vers une compréhension écosystémique de la santé occupationnelle.

Front 15 — 2 articles**>Santé reproductive en fibrose kystique pédiatrique**

Ces articles révèlent un front de recherche émergent focalisé sur la gestion holistique des complications extra-pulmonaires chez les jeunes patients atteints de fibrose kystique (FK). L'approche méthodologique dominante repose sur des modèles de soins intégrés combinant expertise pulmonaire, endocrinologique et reproductive, avec développement de protocoles éducationnels standardisés.

Les résultats récents soulignent des lacunes critiques : formation insuffisante des équipes soignantes en santé reproductive, absence de programmes éducationnels structurés pour les adolescentes FK, et nécessité d'adapter les objectifs thérapeutiques du diabète associé à la FK (préservation fonction pulmonaire/statut nutritionnel vs. prévention complications vasculaires).

Ce front se distingue par son approche multidisciplinaire intégrant développement pubertaire, fertilité et gestion métabolique dans un contexte de maladie chronique complexe. Il répond à l'augmentation de l'espérance de vie des patients FK atteignant l'âge reproductif, nécessitant une transition vers des soins adultes incluant ces dimensions. Cette évolution marque un passage d'une approche centrée sur la survie vers une gestion globale de la qualité de vie.

Front 16 — 2 articles**>HIV Prevention Ethics and Risk Reduction Strategies**

Ce front de recherche examine l'intersection entre l'éthique des essais cliniques VIH et l'évolution des comportements à risque dans les populations vulnérables. Les approches méthodologiques dominantes combinent des analyses longitudinales de cohortes prospectives sur de longues périodes (14+ années) avec des évaluations éthiques qualitatives des standards de prévention dans les essais contrôlés randomisés.

Les résultats récents clés révèlent les défis persistants dans la négociation des bénéfices pour les participants aux essais de technologies biomédicales de prévention VIH, particulièrement suite aux résultats d'efficacité positifs de six grands essais entre 2009-2012. Parallèlement, l'analyse détaillée des comportements sexuels à risque chez les travailleuses du sexe kényanes montre des tendances complexes dans l'utilisation du préservatif et les pratiques sexuelles sur une période de transformation majeure de la prévention VIH.

Ce front se distingue par son focus sur les dimensions éthiques et comportementales plutôt que purement biomédicales, intégrant les perspectives des communautés les plus affectées dans l'évaluation des stratégies préventives et questionnant les standards de soins dans la recherche interventionnelle.

Front 17 — 2 articles

>Technologies de Purification d'Air Industriel Avancées

Ces articles révèlent un front de recherche axé sur l'optimisation des systèmes de purification d'air industriel, particulièrement pertinent pour prévenir le syndrome des bâtiments malsains dans les environnements industriels.

Les approches méthodologiques dominantes combinent l'analyse théorique et l'évaluation pratique des performances des épurateurs à garnissage et des filtres électriques. Les recherches intègrent des modélisations d'efficacité de filtration avec des études de conformité réglementaire environnementale.

Les résultats récents mettent en évidence l'importance cruciale de comprendre les mécanismes d'élimination des particules et des gaz nocifs pour optimiser les performances des systèmes. Les travaux démontrent que l'efficacité de ces technologies dépend fortement de paramètres opérationnels spécifiques et de configurations techniques adaptées.

Ce front se distingue par son approche préventive du syndrome des bâtiments malsains, se concentrant sur les technologies de traitement de l'air en amont plutôt que sur les symptômes ou diagnostics cliniques. Cette perspective technologique complète les approches médicales traditionnelles en s'attaquant directement aux sources de contamination atmosphérique industrielle, offrant une stratégie de prévention primaire innovante.

Front 18 — 2 articles

>Approches Collaboratives en Oncologie Personnalisée

Ce cluster révèle une inadéquation flagrante avec la thématique du syndrome des bâtiments malsains. Les deux articles portent exclusivement sur l'oncologie et ne traitent ni des symptômes du sick building syndrome, ni des questionnaires diagnostiques, ni des biomarqueurs environnementaux.

Les approches méthodologiques dominantes se concentrent sur l'intégration de données du monde réel (real-world evidence) en oncologie et le développement d'approches génétiques conditionnelles pour les soins anticancéreux. Les résultats récents soulignent l'importance de la collaboration interdisciplinaire pour transformer les traitements oncologiques et l'impact des facteurs socioéconomiques sur les soins.

Ce qui distingue ce front est son focus sur la médecine personnalisée en oncologie plutôt que sur la santé environnementale. Il y a manifestement une erreur dans le système de couplage bibliographique, car ces articles ne partagent aucune référence commune avec la recherche sur les bâtiments malsains. Cette situation illustre les limites potentielles des algorithmes de clustering automatisés lorsqu'ils ne parviennent pas à identifier correctement les domaines de recherche pertinents.

Front 19 — 2 articles**>Intelligence Artificielle en Diagnostic Médical Multilingue**

Ce front de recherche émergent explore l'application des grands modèles de langage (LLMs) comme ChatGPT-4o, Claude 3.5 Sonnet et Medicine GPT dans le diagnostic médical, particulièrement pour les pathologies rares et complexes.

Les approches méthodologiques se concentrent sur l'évaluation comparative de différents LLMs dans des contextes cliniques réels, notamment aux urgences, avec une attention particulière aux performances multilingues et aux facteurs culturels influençant la précision diagnostique.

Les résultats récents révèlent que les LLMs démontrent une précision diagnostique substantielle pour les présentations rares en urgence, mais que les différences de performance sont davantage liées aux langues utilisées qu'aux modèles eux-mêmes. La complexité linguistique et les facteurs culturels émergent comme variables critiques, particulièrement dans les contextes multilingues impliquant l'arabe.

Ce qui distingue ce front est l'accent mis sur les défis linguistiques et culturels en IA médicale, dépassant la simple évaluation technique pour explorer l'impact de la diversité linguistique sur l'efficacité diagnostique. Cette approche reconnaît que l'IA médicale doit être adaptée aux contextes socioculturels spécifiques pour optimiser son utilité clinique.

Front 20 — 2 articles**>Morphologie Craniofaciale et Troubles Respiratoires Pédiatriques**

Ce front de recherche adopte une approche multidisciplinaire combinant évaluations morphométriques craniofaciales, polysomnographie diagnostique et analyses épidémiologiques systématiques. Les méthodologies dominantes intègrent l'imagerie morphologique quantitative, les mesures anthropométriques dentofaciales, et les revues systématiques axées sur les stratégies préventives communautaires.

Les résultats récents soulignent l'importance des anomalies craniofaciales spécifiques dans la pathogenèse de l'apnée obstructive du sommeil pédiatrique, avec des variations morphologiques significatives entre populations obèses et non-obèses. Les recherches démontrent l'efficacité des interventions préventives intégrées famille-communauté pour améliorer la qualité respiratoire chez l'enfant.

Ce front se distingue par son approche holistique reliant morphologie anatomique et santé respiratoire fonctionnelle, dépassant les approches traditionnelles focalisées uniquement sur les symptômes. L'intégration de la dimension communautaire dans la gestion clinique représente une évolution majeure, positionnant la prévention précoce comme pilier thérapeutique. Cette convergence entre diagnostic morphologique précis et stratégies préventives populationnelles ouvre de nouvelles perspectives pour la médecine respiratoire pédiatrique personnalisée.

Front 21 — 2 articles**>Complications vasculaires spécialisées de la drépanocytose**

Ce front de recherche se concentre sur des complications spécifiques de la drépanocytose plutôt que sur le syndrome des bâtiments malsains mentionné dans la requête. Les approches méthodologiques combinent la recherche biomédicale fondamentale utilisant des modèles murins transgéniques et la recherche qualitative phénoménologique pour comprendre l'expérience patient.

Les résultats récents révèlent une activation anormale du système de coagulation dans la drépanocytose, particulièrement l'expression aberrante du facteur tissulaire par l'endothélium vasculaire pulmonaire chez la souris drépanocytaire. Cette découverte éclaire les mécanismes physiopathologiques des complications vasculaires. Parallèlement, l'étude phénoménologique documente l'impact psychosocial du priapisme chez les adolescents, une complication douloureuse souvent négligée.

Ce front se distingue par son approche multidisciplinaire intégrant recherche fondamentale et sciences humaines pour appréhender les complications spécialisées de la drépanocytose. Il met l'accent sur des manifestations cliniques spécifiques (complications vasculaires pulmonaires, priapisme) plutôt que sur les symptômes généraux de la maladie, révélant la complexité des mécanismes pathologiques et de leur impact sur la qualité de vie des patients.

Front 22 — 2 articles**>Évaluation Biopsychosociale et Cognitive Post-Traumatique**

Ce front de recherche développe des approches méthodologiques innovantes combinant évaluations neuropsychologiques et technologies de mesure objective. Les chercheurs utilisent des capteurs optiques pour quantifier les fonctions cognitivo-motrices et des protocoles biopsychosociaux pour évaluer les séquelles post-traumatiques. L'accent est mis sur la mesure précise des temps de réaction et le suivi des mouvements fins des membres supérieurs comme biomarqueurs fonctionnels.

Les résultats récents révèlent que les traumatismes crâniens légers induisent des changements métaboliques cérébraux complexes avec des répercussions biopsychosociales durables. Les systèmes de capteurs développés permettent une mesure simultanée des temps de réaction et du tracking digital, offrant une évaluation objective de la récupération cognitive-motrice.

Ce qui distingue ce front est l'intégration de technologies de mesure non-invasives avec une approche holistique biopsychosociale. Cette convergence permet une caractérisation plus fine des déficits subtils post-traumatiques, particulièrement pertinente pour les traumatismes légers où les symptômes peuvent être diffus et difficiles à objectiver par les méthodes cliniques traditionnelles.

UMAN [iA]

HAL BIBLIO · Analyse bibliométrique par intelligence artificielle
OpenAlex · SPECTER · Leiden · Louvain · Claude Opus 4.6
uman-ia.fr/hal/biblio/

"Open the pod bay doors, HAL."

— *Dave Bowman, 2001 : L'Odyssée de l'espace*