MANGANÈSE : SOURCES, IMPACTS ET PRÉSENCE DANS L'ATMOSPHÈRE

Cette note apporte un complément d'information sur le manganèse (Mn) au rapport de cadrage du programme de retombées atmosphériques d'Atmo Normandie[1]. Elle a vocation à servir de base bibliographique pour l'interprétation de valeurs supérieures au percentile 95 régional observées dans les études menées.

Le Mn est un métal de transition présent dans la croûte terrestre. ***Essentiel à faible dose, il peut devenir toxique en cas d'exposition chronique excessive****, en particulier par inhalation de particules. Dans l'atmosphère, le Mn provient à la fois de sources naturelles, notamment via l'érosion des sols, et d'activités humaines telles que la métallurgie. Cette note présente les valeurs de référence existantes, les principales sources d'émission, les formes présentes dans l'atmosphère et les impacts sanitaires/environnementaux.*

Contexte

Des valeurs élevées en Mn ont été ponctuellement observées dans les retombées atmosphériques mesurées par Atmo Normandie à l'aide de jauges de dépôts. A noter que peu de données de référence sont disponibles. En 2023, une valeur de 147 µg/m²/jour (la valeur repère régionale pour le percentile 95[2] étant de 73,4 µg/m²/jour) a été relevée sur un site de la zone de Rouen, associée à des niveaux élevés d'autres éléments traces métalliques[3], pouvant s'expliquer par la proximité de travaux générant un ré-envol de terres ou des poussières de chantier. Pour certaines mesures élevées, aucune source n'est clairement identifiée. Cependant, ces niveaux sont observés en milieu résidentiel ou rural, où une influence du chauffage au bois peut être envisagée.

Valeurs de référence du Mn

Concernant la concentration du Mn dans l'air ambiant, il n'existe pas de norme réglementaire, en France ou en Europe, fixant une concentration maximale. À titre indicatif, une valeur guide de 0,15 µg/m³ en moyenne annuelle a été proposée dans les lignes directrices de l'OMS des années 2000, sur la base d'effets neurotoxiques observés par inhalation [1]. **En milieu professionnel**, des **valeurs limites d'exposition professionnelle** (VLEP) sont définies pour le Mn afin de limiter l'exposition des travailleurs. Au niveau européen, la Directive 2017/164/UE établit des valeurs limites indicatives en milieu professionnel : **0,2 mg/m³ pour la fraction inhalable** (particules qui se déposent dans les voies respiratoires supérieures) et **0,05 mg/m³ pour la fraction respirable** (particules fines pouvant atteindre profondément les poumons) [2]. Ces valeurs sont exprimées en **moyenne pondérée sur 8 heures** (VLEP-8h).

[1] https://www.atmonormandie.fr/publications/observatoire-regional-des-retombees-atmospheriques-rapport-de-cadrage

[2] Le percentile 95 régional correspond à la valeur en dessous de laquelle se situent 95 % des données de l'historique des mesures pour un polluant d'Atmo Normandie.

[3] Atmo Normandie mesure dans les retombées atmosphériques : l'antimoine, l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le lithium, le manganèse, le nickel, le plomb, le vanadium et le zinc.

Concernant les retombées atmosphériques, il n'existe pas de norme réglementaire, en France ou en Europe, fixant un flux de dépôt maximal de Mn. Atmo Normandie a déterminé des **valeurs repères régionales**, au moyen de jauges, sur la période 2009-2023 (1034 données disponibles). **La médiane régionale est de 16,7 µg/m²/jour et le percentile 95 est de 73,4 µg/m²/jour**. Pour compléter nos données, les **médianes régionales** dans les retombées atmosphériques d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (bilan 2022) s'élèvent à **12,3 µg/m²/jour en zone de fond** (133 mesures) et à **43,5 µg/m²/jour en proximité industrielle** (728 mesures). Atmo Nouvelle-Aquitaine (2005–2025, 479 mesures) indique pour le Mn dans les retombées atmosphériques une médiane de **14,7 µg/m²/j** et un percentile 95 de **86,0 µg/m²/j**, avec des sites majoritairement proches d'installations industrielles de combustion.

Source	Type de sites	Données	Retombées (µg/m²/jour)	Air ambiant (ng/m³)
Atmo Normandie (2009-2023)	Urbains, industriels, trafics et de fond	1034	Médiane : 16,7 Percentile 95 : 73,4	Moyenne annuelle : 1,2 (2024)[4]
Atmo Auvergne Rhône-Alpes (2006-2021)	De fond	133	Médiane : 12,3	Médiane : 10,3
	Industriels	728	Médiane : 43,5	Médiane : 19,9
	Trafic	169	—	Médiane : 7,3
Atmo Nouvelle-Aquitaine (2005 – 2025)	Urbains, industriels, trafics et de fond	479	Médiane : 14,7 Percentile 95 : 86,0	-
Référence OMS	—	—	—	Moyenne annuelle : 150
VLEP-8h Europe	—	—	—	Moyenne : 200000 – fraction inhalable
VLEP-8h Europe	—	—	—	Moyenne : 50000 – fraction respirable

Tableau 1 : Manganèse dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques - mesures régionales et limites d'exposition

[4] La moyenne annuelle 2024 a été calculée à partir des données mesurées par un analyseur Xact, présent sur la station de Gonfreville-l'Orcher d'Atmo Normandie.

Sources du manganèse dans l'air

Sources naturelles

Le Mn constitue environ 0,1 % de la croûte terrestre [3], et l'érosion naturelle des roches et des sols contribue à sa présence dans l'atmosphère. Lors de travaux qui perturbent le sol (chantiers, excavation, remblaiements, retournement de terre), des particules contenant du Mn peuvent se libérer dans l'air, constituant ainsi une source d'exposition [4], [5]. D'autres sources naturelles incluent **les embruns marins, les feux de forêt, la végétation et l'activité volcanique [6], [7].** Le Mn est également présent dans la plupart des aliments, constituant ainsi la principale source d'exposition de la population humaine à cet élément, et peut être ajouté comme complément nutritionnel [8], [9]. Néanmoins, la présence naturelle du Mn dans l'environnement a été progressivement dépassée par les apports d'origine anthropique [10].

Sources anthropiques

Le Mn est utilisé dans de nombreuses industries : **la sidérurgie, la production de piles et batteries, la métallurgie non ferreuse, les engrais, la fabrication de pièces liées au secteur de l'automobile**, dans certains cosmétiques, ainsi que dans le traitement de l'eau potable [3], [8], [11]. **Ces usages industriels entraînent une exposition principalement professionnelle**, touchant surtout les travailleurs de l'exploitation minière, de la production de fer et d'acier, de la fabrication d'alliages ferro/silico-manganèse, du soudage et de la production de piles alcalines [6], [10]. Ces activités génèrent des poussières ou fumées contenant notamment du Mn, constituant la voie d'exposition dominante pour ces populations. Par ailleurs, les personnes résidant à proximité d'installations industrielles peuvent être davantage exposées au Mn présent dans l'air ambiant que la population générale [3].

En dehors du contexte industriel, la **combustion de biomasse** peut également contribuer aux émissions atmosphériques du Mn [12]. En effet, il est naturellement présent dans la biomasse et est susceptible d'être associé aux particules émises lors de la combustion. Plus largement, l'exposition environnementale de la population, généralement moindre que l'exposition professionnelle [9], résulte des **émissions industrielles, de l'utilisation agricole de composés de Mn, de l'eau potable contenant des concentrations notables et de l'air ambiant** [3], [9]. Dans ce contexte, la principale voie d'absorption reste l'ingestion [8].



> *« **Les différentes formes chimiques du Mn influencent son comportement** dans l'air et lorsqu'il se dépose sur le sol ou dans l'eau. La solubilité joue un rôle important : certaines formes [...] restent longtemps en suspension, tandis que d'autres se dissolvent plus facilement et peuvent réagir avec d'autres substances. »*

Le Mn présent dans l'air n'est pas volatil : **il se retrouve presque exclusivement sous forme de particules fines respirables en suspension**, qui peuvent retomber au sol par dépôt sec ou humide. Selon leur taille et les conditions atmosphériques, ces particules peuvent être transportées jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres avant leur dépôt ou leur inhalation [13], [14].

Chimiquement, le Mn peut exister sous différents états d'oxydation, c'est-à-dire des formes dans lesquelles il a plus ou moins d'électrons, ce qui change sa réactivité et les composés qu'il peut former. Selon les usages industriels, les formes chimiques émises résultantes peuvent être résumées ainsi [4], [13], [15] :

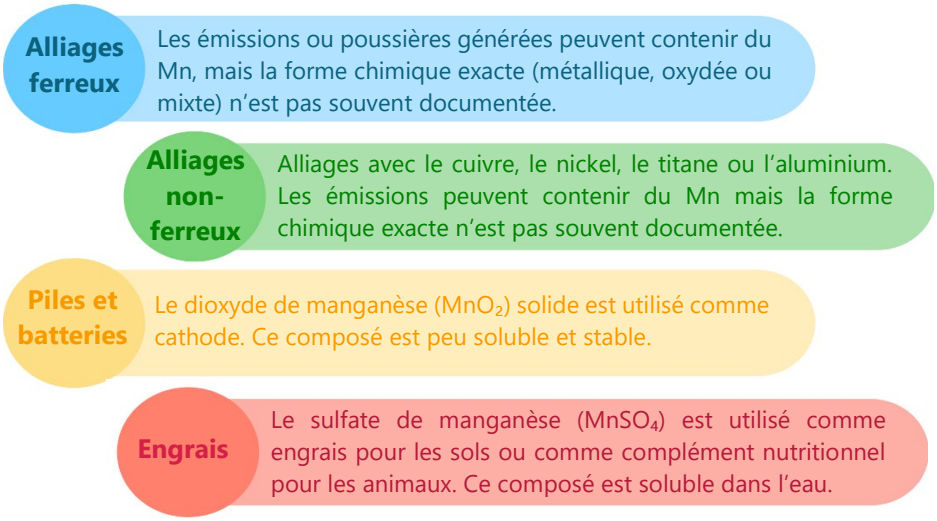


Figure 1 : Exemples de formes chimiques du Mn associées à différents usages

Le Mn métallique pur est produit industriellement à partir de minerais riches en oxydes (aluminothermie) ou par électrolyse de sels de Mn [4].

Les différentes formes chimiques du Mn influencent son comportement dans l'air, sur le sol ou dans l'eau. La solubilité joue un rôle important : certaines formes, comme les oxydes, restent longtemps en suspension, tandis que d'autres se dissolvent plus facilement et peuvent réagir avec d'autres substances. Ces caractéristiques déterminent comment le manganèse est transporté, déposé et rendu disponible pour les plantes, les animaux et l'homme, et expliquent son interaction avec l'environnement et la santé humaine.

Impacts sanitaires et environnementaux

Le Mn est un élément essentiel pour l'être humain, les animaux et les plantes. Chez l'humain, son ingestion entraîne généralement peu d'effets toxiques, puisque l'intestin n'en absorbe qu'une faible quantité et que le reste est éliminé naturellement [10]. Cet élément intervient dans la constitution de nombreuses enzymes et métalloenzymes [13], et soutient des fonctions métaboliques, antioxydantes, reproductives, immunitaires et neurologiques [16], [17].

À noter, qu'une carence en Mn, apporté par l'alimentation, peut entraîner des troubles de la croissance osseuse, du métabolisme glucidique, de la fertilité et de la fonction mitochondriale [10], [13], [16].

À l'inverse de l'ingestion, **l'inhalation constitue la voie d'exposition la plus préoccupante**, car elle permet au Mn d'atteindre directement le système nerveux central via le nerf olfactif, contournant les barrières de régulation classique [13]. Les effets sanitaires les mieux documentés concernent ainsi le système nerveux central : **une exposition inhalée élevée et répétée peut engendrer le « manganisme »**, caractérisé par des troubles psychiatriques, cognitifs et moteurs proches de ceux observés dans la maladie de Parkinson. Une exposition chronique à faibles doses peut également augmenter la fréquence des signes de parkinsonisme, situation observée principalement chez les travailleurs exposés à des aérosols de Mn dans les secteurs métallurgiques et miniers. D'autres systèmes peuvent être affectés : respiratoire, reproducteur, cardiovasculaire, hématologique, endocrinien et immunitaire.



Sur le plan environnemental, **un excès de Mn peut perturber la physiologie végétale** : dégradation des biomolécules, stress oxydatif, perturbation de la photosynthèse ou déséquilibre nutritionnel. La sensibilité à la toxicité du Mn varie toutefois selon les espèces végétales, qui peuvent présenter des capacités de tolérance différentes [16], [18]. Dans les zones minières, le ruissellement des résidus riches en Mn^{2+} semble pouvoir contaminer les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines [16], [19], [20].

Le Mn est également essentiel pour les animaux, intervenant dans le métabolisme, la croissance, la reproduction et le fonctionnement du système nerveux [21], [22]. Une carence peut provoquer des anomalies osseuses et de croissance, tandis qu'un excès important ou prolongé pourrait entraîner des effets neurotoxiques, des altérations du comportement et du développement, ainsi que des atteintes à certains organes, selon l'espèce et le stade de développement [23], [24], [25]. Les effets toxicologiques du Mn dépendent fortement de ses formes chimiques et de leur solubilité, décrites ci-après.

Conclusion

Les données disponibles montrent que **les flux en Mn mesurés dans les retombées atmosphériques dans les jauges de dépôt par Atmo Normandie restent globalement faibles à modérés**. Le percentile 95 régional (73,4 µg/m²/jour) constitue une valeur repère permettant d'identifier des flux ponctuellement élevés, sans constituer un seuil sanitaire ou réglementaire.

Les dépassements observés lors des études menées doivent être interprétés au regard du contexte local et des sources potentielles d'émission, telles que les activités industrielles, les travaux générant des poussières ou la combustion de biomasse. L'analyse de ces facteurs constitue un élément clé pour tenter de comprendre les flux en Mn mesurés.

Bibliographie

[1] Air Quality, Energy and Health (AQE), et Chemical Safety and Health Unit (CHE), *Air quality guidelines for Europe, 2nd edition*. in WHO Regional Publications, European Series, no. No. 91. World Health Organization. Regional Office for Europe., 2000. Consulté le: 22 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.who.int/publications/i/item/9789289013581

[2] Commission Directive 2017/164/EU, « Occupational Exposure Limits - 4th list - Indicative OELVs », European Chemicals Agency. Consulté le: 22 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://echa.europa.eu/indicative-oelvs-dir-2017-164

[3] Environnement et Changement climatique Canada, Gouvernement du Canada, et Santé Canada, « Ébauche d'évaluation - Le manganèse et ses composés ». Consulté le: 10 février 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-evaluation-manganese-et-ses-composes.html

[4] M. Bisson *et al.*, « Manganèse et ses dérivés », 2012.

[5] R. Charvet, C. Mougin, et É. Rémy, *Sols urbains, environnement et santé*. Editions Quae, 2024. doi: 10.35690/978-2-7592-3685-5.

[6] H. A. Affum *et al.*, « Lichens as a Monitor for Atmospheric Manganese Pollution », 2011.

[7] M. Williams *et al.*, « POTENTIAL FOR HUMAN EXPOSURE », in *Toxicological Profile for Manganese*, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), 2012. Consulté le: 18 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158869/

[8] Groupe scientifique sur l'eau, « Manganèse; Institut national de santé publique du Québec ». Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, 2019. Consulté le: 5 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/manganese

[9] SPAQUE, « Fiche environnementale: Manganèse ». 2015. Consulté le: 10 février 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://spaque.be/wp-content/uploads/2020/04/spaq-15-15617-fiche-manganse-se-081215-ld.pdf

[10] R. G. Lucchini, M. Aschner, et Y. Kim, « Manganese », in *Handbook on the Toxicology of Metals*, Academic Press, 2022, p. 501-538. doi: 10.1016/B978-0-12-822946-0.00019-2.

[11] Minéral Info, « Fiche substance - Manganèse », décembre 2023. Consulté le: 5 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/2025-06/Fiche_Mn_2023_publique_DRAFT_TA.pdf?

[12] INDDIGO, F. Paulus, G. Remond, CITEPA, B. Cuniasse, et INERIS, « EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DES CHAUFFERIES BOIS DE PUISSANCE INFERIEURE A 1 MW », La librairie ADEME. Consulté le: 10 février 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://librairie.ademe.fr/air/6367-emissions-atmospheriques-des-chaufferies-bois-de-puissance-inferieure-a-1-mw.html

[13] INERIS, « Manganèse ». Consulté le: 18 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://substances.ineris.fr/substance/7439-96-5

[14] S. Marx et H. Mcgowan, « Long-Distance Transport of Urban and Industrial Metals and Their Incorporation into the Environment: Sources, Transport Pathways and Historical Trends », in *Environmental Science and Engineering (Subseries: Environmental Science)*, 2011, p. 103-124. doi: 10.1007/978-3-642-12278-1_6.

[15] Daniel. A. Vallero, « Effects on Health and Human Welfare », in *Fundamentals of Air Pollution (Fourth Edition)*, 2008, p. 359-396. doi: 10.1016/B978-012373615-4/50012-1.

[16] A. Patil, S. Kaur, et A. Verma, « Manganese (Mn 2+) Pollution and its bioremediation: an overview », *Biochem. Cell. Arch.*, p. 1-11, avr. 2024, doi: 10.51470/bca.2024.24.1.1.

[17] D. Kumar et E. Khan, « Remediation and detection techniques for heavy metals in the environment », 2021, p. 205-222. doi: 10.1016/B978-0-12-821656-9.00012-2.

[18] E. F. Santos *et al.*, « Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses », *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 113, p. 6-19, avr. 2017, doi: 10.1016/j.plaphy.2017.01.022.

[19] J. Shu *et al.*, « Simultaneous stabilization/solidification of Mn2+ and NH4+-N from electrolytic manganese residue using MgO and different phosphate resource », *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 148, p. 220-227, févr. 2018, doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.10.027.

[20] Y. Wang, U. Munir, et Q. Huang, « Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in soil: Sources, fate, and remediation », *Soil Environ. Health*, vol. 1, nº 1, p. 100004, mars 2023, doi: 10.1016/j.seh.2023.100004.

[21] J. M. Studer, W. P. Schweer, N. K. Gabler, et J. W. Ross, « Functions of manganese in reproduction », *Anim. Reprod. Sci.*, vol. 238, p. 106924, mars 2022, doi: 10.1016/j.anireprosci.2022.106924.

[22] Vétalis, « Importance of trace elements in animals ». Consulté le: 10 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.vetalis.fr/en/importance-trace-elements/

[23] G. Cherian, « XVI. Microminerals », avr. 2019, Consulté le: 10 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://open.oregonstate.education/animalnutrition/chapter/chapter-16/

[24] C.-Y. Wang, W.-H. Xia, L. Wang, et Z.-Y. Wang, « Manganese deficiency induces avian tibial dyschondroplasia by inhibiting chondrocyte proliferation and differentiation », *Res. Vet. Sci.*, vol. 140, p. 164-170, nov. 2021, doi: 10.1016/j.rvsc.2021.08.018.

[25] X.-M. Fan *et al.*, « Chronic Manganese Administration with Longer Intervals Between Injections Produced Neurotoxicity and Hepatotoxicity in Rats », *Neurochem. Res.*, vol. 45, nº 8, p. 1941-1952, août 2020, doi: 10.1007/s11064-020-03059-2.

RETROUVEZ TOUTES NOS **PUBLICATIONS** SUR :

www.atmonormandie.fr

Pour en savoir +

CONTACT :

Atmo Normandie
3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN
Tél : +33 9.74.12.15.06
juliette.vievard@atmonormandie.fr