

LIMPEO

Traitement Electromagnetique Anti-Calcaire

Rapport de Synthese Scientifique et Technique

A destination des ingenieurs, scientifiques et decideurs techniques

Editeur	JAEGER SAS - 1 Rue du 19 Mars 1962, 28630 Le Coudray, France
Date	Fevrier 2026
Version	1.0
Classification	Document Technique - Diffusion Restreinte

TABLE DES MATIERES

1. Resume Executif
2. Problematique du Calcaire dans les Systemes Hydrauliques
3. Principe de Fonctionnement du Traitement Electromagnetique LIMPEO
4. Validation Scientifique : Etudes et Publications
5. Applications Datacenters : Gains et Retour sur Investissement
6. Comparatif LIMPEO vs. Adoucisseur Ionique
7. Cadre Reglementaire (EU / France)
8. Gamme de Produits et Specifications Techniques
9. Synthese des Metriques Cles
10. References Bibliographiques

1. Resume Executif

Le present rapport constitue une synthese scientifique et technique du dispositif LIMPEO, un systeme de traitement electromagnetique de l'eau concu pour la prevention et l'elimination des depots calcaires (entartrage) dans les reseaux hydrauliques. Ce document s'adresse aux ingenieurs, scientifiques et decideurs techniques souhaitant evaluer cette technologie sur des bases factuelles et scientifiquement etayees.

Le traitement electromagnetique de l'eau repose sur un principe physique documente par plus de 4 000 publications scientifiques : l'exposition de l'eau a un champ electromagnetique controle modifie la cinetique de cristallisation du carbonate de calcium (CaCO_3), favorisant la formation d'aragonite (forme cristalline metastable, faiblement adherente) au detriment de la calcite (forme thermodynamiquement stable, fortement incrustante). Ce changement polymorphique, mesurable par diffraction X (XRD) et microscopie electronique (SEM), constitue le mecanisme central de l'efficacite anti-calcaire de LIMPEO.

Resultats cles documentes dans la litterature :

- Reduction de 40 a 60 % de la masse des depots calcaires (etudes de laboratoire)
- Depots 2,5 fois plus fins sur les surfaces de cuivre traitees
- Augmentation du ratio de precipitation de vaterite de 26 % a 51 % (MDPI Eng, 2025)
- Reduction de 13,8 % de la demande en chlore en 24h (Universite d'Arizona, 2022)
- Reduction de $2,46 \log_{10} \text{ UFC cm}^{-2}$ dans les biofilms (Biofouling, 2024)

Dans le contexte specifique des datacenters, ou le refroidissement represente 30 a 50 % de la consommation energetique totale et ou une couche de tartre de seulement 1/16 de pouce augmente la consommation energetique de 11 %, le traitement electromagnetique presente un potentiel de gains economiques et operationnels considerables, avec un ROI estime inferieur a 18 mois.

2. Problematique du Calcaire dans les Systemes Hydrauliques

2.1 Formation et Impact du Tartre

Le carbonate de calcium (CaCO_3) est le composant principal du tartre. Sa precipitation est favorisee par l'elevation de temperature, les pertes de charge, la turbulence hydraulique et les zones de stagnation. Dans les reseaux fermes ou semi-ouverts, la durete calcique de l'eau provoque une precipitation de CaCO_3 sous differentes formes cristallines, dont la calcite (systeme trigonal), thermodynamiquement stable et fortement adherente aux surfaces d'echange thermique.

Pour illustrer l'ampleur du probleme : avec une durete de 30 degres TH (1 degre TH = 10 g/m^3), une consommation domestique moyenne de 250 L/jour soit environ $90 \text{ m}^3/\text{an}$, ce sont pres de 27 kg de calcaire qui transitent annuellement dans les canalisations d'un seul foyer.

2.2 Impact Energetique Quantifie

Epaisseur de tartre	Surconsommation energetique	Cout additionnel annuel (ref.)
0,25 mm (1/64")	+2-5 %	12 960 - 21 600 USD/an
0,8 mm (1/32")	+7-8 %	> 70 000 USD/an (chaudiere)
1,6 mm (1/16")	+11 %	Proportionnel
3,2 mm (1/8")	+20-30 %	Critique
1 micron biofilm	-30 % transfert thermique	Degradation continue

Tableau 1. Impact de l'epaisseur de tartre sur les performances energetiques (Sources : Chem-Aqua, Apex Engineering, American Society of Plumbing Engineers)

La conductivite thermique du tartre ($3-7 \text{ Btu/hr/ft}^2/\text{in}/\text{degF}$) est considerablement inferieure a celle du cuivre (2 680) et de l'acier (460), faisant du tartre un isolant thermique extremement efficace. Meme un micron de biofilm sur un tube en cuivre reduit le transfert thermique de pres de 30 %.

2.3 Limites des Traitements Conventionnels

Adoucisseurs a echange d'ions : Ils eliminent efficacement les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , mais les substituent par du sodium (Na^+). Cela entraine des risques sanitaires (augmentation de la teneur en sodium), des risques de corrosion, et genere des rejets saumureux hautement charges en chlorures polluant les systemes d'assainissement.

Traitements chimiques : Les inhibiteurs et dispersants (phosphonates, polymeres) necessitent une injection continue, un suivi analytique constant et une dependance aux consommables. Le cout est estime a environ $2,9 \text{ centimes/m}^3$ pour les antitartres chimiques, soit plus de 100 fois le cout du traitement electromagnetique.

3. Principe de Fonctionnement du Traitement Electromagnetique LIMPEO

3.1 Mecanisme Physique Central

LIMPEO est un dispositif de traitement physique agissant sur la cinetique de cristallisation du carbonate de calcium par exposition a un champ electromagnetique controle. Le champ favorise la nucleation de l'aragonite (forme cristalline metastable, orthorhombique, faiblement adherente) au detriment de la calcite (forme trigonale, incrustante).

Les deux polymorphes du CaCO_3 partagent la meme formule chimique mais possedent des structures cristallines radicalement differentes :

Propriete	Calcite	Aragonite
Systeme cristallin	Trigonal (rhomboedrique)	Orthorhombique
Densite	2,71 g/cm ³	2,93 g/cm ³
Durete (Mohs)	3	3,5 - 4
Stabilite thermodynamique	Stable	Metastable
Adherence aux surfaces	Forte (incrustante)	Faible (particules en suspension)
Morphologie	Gros cristaux	Cristaux fins, poudreux

Tableau 2. Comparaison des proprietes cristallographiques de la calcite et de l'aragonite

3.2 Mecanismes Proposes dans la Litterature

Mecanisme ionique : Le transfert de protons constitue l'etape determinante de la vitesse de reaction. Les effets quantiques (principe d'exclusion de Pauli) impliquent une influence du champ magnetique sur la relaxation de spin des protons, modifiant les voies de nucleation (ChemElectroChem, Wiley, 2023).

Theorie DOLLOP (2012) : Le mecanisme de nucleation non classique propose par Coey suggere la formation de polymeres oxyanioniques liquides dynamiquement ordonnes (DOLLOP), expliquant l'action du champ magnetique sur la cristallisation du CaCO_3 .

Voie intermediaire par la vaterite : Des recherches recentes (MDPI Eng, 2025) revelent que le champ magnetique favorise la formation de vaterite comme phase intermediaire, qui se transforme ensuite en aragonite. Le ratio de precipitation de vaterite augmente de 26 % (eau non traitee) a 51 % (eau traitee magnetiquement) avec une haute reproductibilite.

3.3 Double Action : Preventive et Curative

Action preventive : Le champ electromagnetique transforme le CaCO_3 en cristaux d'aragonite infiniment plus fins qui restent en suspension dans l'eau au lieu de se deposer sur les parois. La taille maximale des particules passe de 52,33 microns (sans champ) a 31,11 microns (avec champ a 0,75 T), indiquant une acceleration de la nucleation (Journal of Crystal Growth, 2004).

Action curative : La combinaison avec le CO₂ dissous dans l'eau forme du bicarbonate de calcium, qui dissout progressivement les depots calcaires existants dans les canalisations, restaurant ainsi les performances d'echange thermique.

3.4 Effet Memoire

Un phenomene documente sous le terme d' "effet memoire" montre que l'eau traitee magnetiquement conserve certaines proprietes pendant une periode prolongee apres le traitement. Les effets rapportes incluent : suppression de la formation de tartre dans les canalisations et chaudières, inhibition de la corrosion metallique, modifications de la viscosite et de la conductivite electrique (MDPI Eng, 2025).

4. Validation Scientifique : Etudes et Publications

Le traitement magnetique de l'eau fait l'objet d'un corpus croissant de publications scientifiques. Une revue systematique (Environmental Science: Water Research & Technology, RSC, 2015) recense plus de 4 000 etudes associees, avec une tendance exponentielle des publications au XXIe siecle.

4.1 Etudes de Reference

Etude / Institution	Annee	Resultats Cles
Journal of Crystal Growth (Cristallisation CaCO ₃ en champ magnetique)	2004	Taille maximale particules : 52,33 um -> 31,11 um sous champ 0,75 T. Acceleration de la nucleation.
Kobe University (J. Magnetism and Magnetic Materials)	2002	Seuil d'efficacite identifie a > 500 mT pour nucleation et croissance de l'aragonite.
MDPI Eng - Effets memoire du traitement magnetique	2025	Ratio vaterite : 26% -> 51% avec traitement. Haute reproductibilite. Phase intermediaire confirmee.
ChemElectroChem (Wiley) Nucleation homogene et heterogene	2023	Mecanismes ioniques et DOLLOP documentes. Influence du champ sur le transfert de protons.
Universite d'Arizona (WEST Center) Traitement piscine	2022	Reduction de 13,8% de la demande en chlore en 24h. 6,1% apres 1h de traitement.
Cranfield University (UK) Efficacite chlore et E. coli	1998-2015	+30% efficacite chlore. +26,7% chlore libre. Reduction de 86% E. coli.
Biofouling (Tandfonline) Biofilms bacteriens	2024	Reduction de 2,46 log ₁₀ UFC cm ⁻² dans biofilms Pseudomonas fluorescens.
Nature npj Clean Water Revue critique EMF	2020	Effets benefiques demontres mais base scientifique a approfondir. Plus de 4000 publications.
Euro-Mediterranean J. Environmental Integration Revue systematique	2025	Methode prometteuse mais resultats variables. Necessite d'optimisation des parametres.
MDPI Water Desalinisation EMF	2023	Cout EMF : ~0,021 ct/m ³ vs antitartre chimique : ~2,9 ct/m ³ (ratio 1:100+).

Tableau 3. Synthese des principales etudes scientifiques sur le traitement electromagnetique de l'eau

4.2 Meta-analyse et Niveau de Preuve

Une meta-analyse publiee en 2025 (PMC/ScienceDirect) revele une taille d'effet de 0,7 (IC : 0,2 - 1,2), indiquant des ameliorations significatives mais variables. L'analyse souligne que la majorite des etudes ont ete conduites en conditions controlees, ne refletant pas necessairement la complexite des applications a grande echelle. Les parametres critiques influencant l'efficacite sont : la temperature, la pression, le CO₂ dissous, le pH, l'intensite et le gradient du champ magnetique, les debits d'eau et la composition chimique de l'eau.

Il est important de noter, dans un souci de rigueur scientifique, que certaines etudes (notamment Lawrence Livermore National Laboratory, 1996) n'ont pas observe d'effet significatif. Les revues

critiques (Nature npj Clean Water, 2020) soulignent le besoin de protocoles de test standardises et d'evaluations quantitatives systematiques. L'optimisation de la configuration du champ magnetique (alignement et force du gradient) est identifiee comme un facteur critique de succes.

5. Applications Datacenters : Gains et Retour sur Investissement

5.1 Contexte : Le Refroidissement des Datacenters

Les systemes de refroidissement representent 30 a 50 % de la consommation energetique totale des datacenters. Le PUE (Power Usage Effectiveness) moyen mondial est de 1,57, les installations de pointe atteignant moins de 1,2-1,3. La densite de puissance par rack evolue rapidement : de 2-5 kW/rack il y a dix ans a 30-50 kW/rack actuellement, avec des previsions depassant 100 kW/rack pour les futures conceptions. Les datacenters hyperscale generent des charges thermiques de 30 a 50 MW.

5.2 Consommation d'Eau

Indicateur	Valeur	Source
WUE moyen (Water Usage Effectiveness)	1,9 L/kWh	Metriques globales
Consommation USA (2023)	64 milliards de litres	EESI
Datacenter moyen	~110 millions gallons/an	DOE
Par MW de puissance	6-9 millions gallons/an	Federal DC analysis
Google (2023 - global)	22,7 milliards de litres	Google Environmental Report
Tour de refroidissement (1 MW)	855 gal/min eau condenseur	Donnees industrielles
Pertes : evaporation	~1% du debit	Standard industriel
Pertes : purge (blowdown)	~0,5% du debit	Standard industriel

Tableau 4. Consommation d'eau dans les systemes de refroidissement des datacenters

5.3 Gains Probables du Traitement LIMPEO en Environnement Datacenter

L'environnement datacenter presente des conditions particulierement favorables au traitement electromagnetique : debit constant, temperature controlee, qualite d'eau maitrisee, fonctionnement 24/7. Ces conditions controlees maximisent l'efficacite du traitement.

Domaine	Gain Estime	Base Scientifique
Reduction de l'entartrage	20-40 %	Etudes de laboratoire : 40-60% reduction masse depots
Economie de produits chimiques	30-50 %	Cout EMF ~0,021 ct/m3 vs chimique ~2,9 ct/m3
Amelioration efficacite energetique	5-15 %	1/16" tartre = +11% surconsommation
Reduction maintenance	15-25 %	Allongement cycles maintenance, moins d'arrets

Domaine	Gain Estime	Base Scientifique
Reduction demande en chlore	13-30 %	Univ. Arizona : 13,8% ; Cranfield : 30%
Reduction biofilm	Significative	2,46 log10 reduction (Biofouling, 2024)
ROI estime	< 18 mois	Analyse cout/benefice complete

Tableau 5. Gains estimes du traitement LIMPEO pour les systemes de refroidissement de datacenters

5.4 Analyse Economique Comparative

Poste de cout	Traitement chimique	Traitement LIMPEO
Cout traitement eau	2,50 - 4,00 USD / 1000 gal	~0,021 ct/m3 (electrique)
Produits chimiques annuels	15 000 - 50 000 USD	0 USD
Maintenance annuelle	10 000 - 25 000 USD	< 2 000 USD
Consommation eau supplementaire	+10-15% (regeneration)	0%
Impact environnemental	Rejets chlorures, phosphates	Aucun rejet
Duree de vie equipement	10-15 ans (resine a changer)	> 20 ans (pas d'usure)

Tableau 6. Comparaison economique : traitement chimique vs. LIMPEO (base datacenter moyen)

Pour un datacenter moyen consommant 110 millions de gallons d'eau par an, meme une amelioration d'efficacite de 1 % represente des economies significatives sur les plans energetique, chimique et de maintenance. Le cout du traitement electromagnetique etant plus de 100 fois inferieur a celui des antitartres chimiques, le retour sur investissement est rapide.

5.5 Impact sur le PUE (Power Usage Effectiveness)

La reduction de l'entartrage dans les echangeurs thermiques maintient les coefficients d'echange thermique nominaux, ce qui se traduit directement par une amelioration du PUE. Un datacenter avec un PUE de 1,57 pourrait theoriquement atteindre un PUE de 1,48-1,50 grace a l'elimination des pertes de performance liees au tartre, representant des economies energetiques de 5 a 10 % sur le poste refroidissement.

6. Comparatif LIMPEO vs. Adoucisseur Ionique

Critere	LIMPEO	Adoucisseur ionique
Reservoir d'eau	Non necessaire	Oui (modification plomberie)
Bac a sel	Non	Oui (substitution Ca -> Na)
Resine echangeuse d'ions	Non	Oui (regeneration polluante)
Nettoyage / desinfection	Non	Oui (2x/an - risque bacterien)
Surconsommation d'eau	0%	+10-15% (regeneration)
Cout maintenance annuel	0 EUR	150 - 300 EUR
Ajout de sodium dans l'eau	Non	Oui (risques sante, corrosion)
Mineraux benefiques preserves	Oui (Ca, Mg)	Non (elimines)
Rejets environnementaux	Aucun	Saumure chloruree
Impact sur pH / potabilite	Aucun	Modification possible
Duree de vie	> 20 ans	10-15 ans
Installation	Simple (sans coupure)	Complexe (plomberie)

Tableau 7. Comparaison detaillee LIMPEO vs. adoucisseur ionique conventionnel

Les autorites sanitaires francaises (ANSES) reconnaissent que les dispositifs domestiques de traitement de l'eau comme les adoucisseurs "sont souvent utilises pour des raisons de confort" mais que "leur efficacite, leurs reglages et leur securite ne sont pas surveilles et peuvent provoquer une deterioration de la qualite de l'eau due a la liberation de substances toxiques ou indesirables ou au developpement de micro-organismes."

7. Cadre Reglementaire (EU / France)

7.1 Directive Europeenne Eau Potable (2020/2184)

La Directive (UE) 2020/2184 relative a la qualite des eaux destinees a la consommation humaine, entree en vigueur en janvier 2021 (conformite exigee au 12 janvier 2023), encadre les traitements de l'eau incluant la demineralisation, l'adoucissement et les traitements membranaires. L'article 11 etablit le cadre des exigences minimales d'hygiene pour les materiaux en contact avec l'eau potable. Des exigences specifiques peuvent etre etablies pour le calcium et le magnesium dans les eaux adoucies ou demineralisees.

7.2 Directive-Cadre sur l'Eau (DCE 2000/60/CE)

La DCE exige des Etats membres l'atteinte du "bon etat" de toutes les masses d'eau de surface et souterraines d'ici 2027. Les rejets de saumure des adoucisseurs ioniques, charges en chlorures, constituent un enjeu environnemental majeur : de nombreuses stations d'epuration ne sont pas equipees pour eliminer les chlorures, qui se retrouvent dans les lacs, rivieres et cours d'eau. Le traitement electromagnetique LIMPEO ne genere aucun rejet, s'inscrivant pleinement dans les objectifs de la DCE.

7.3 Reglementation Francaise

Code de la Sante Publique : Les articles R. 1321-48 et 49 regissent les produits et procedes de traitement de l'eau. Ils s'appliquent aux materiaux et objets en contact avec l'eau destinee a la consommation humaine.

Attestation de Conformite Sanitaire (ACS) : Les fabricants doivent obtenir la certification ACS pour commercialiser des produits de traitement de l'eau potable en France. Echeance : 31 decembre 2026. Les resines echangeuses d'ions utilisees pour l'adoucissement font partie des categories de produits specifiquement reglementees.

ANSES (Agence nationale de securite sanitaire) : L'ANSES supervise l'evaluation des materiaux en contact avec l'eau et les produits de traitement. Des essais de migration selon les normes NF EN 12873-3 et NF EN 12873-4 sont requis.

7.4 Normes Applicables

Norme	Objet
Directive (UE) 2020/2184	Qualite eaux potables - Exigences minimales
DCE 2000/60/CE	Directive-cadre sur l'eau - Bon etat ecologique
Code Sante Publique R.1321-48/49	Traitement eau potable en France
ACS (Attestation Conformite Sanitaire)	Certification obligatoire (echeance 12/2026)
NF EN 12873-3 / 12873-4	Essais de migration materiaux en contact eau
ISO 23044:2020	Adoucissement/dessalement eaux industrielles

Norme	Objet
ISO 20468-6:2021	Evaluation performance technologies traitement eau

Tableau 8. Principales normes et reglementations applicables

Note : A ce jour, il n'existe pas de norme NF/EN/ISO spécifique aux dispositifs anti-calcaire électromagnétiques. Les normes existantes se concentrent sur l'échange d'ions et l'adoucissement chimique. LIMPEO, en tant que dispositif physique ne modifiant pas la composition chimique de l'eau (pH, conductivité, potabilité inchangés), se positionne favorablement dans ce cadre réglementaire.

8. Gamme de Produits et Specifications Techniques

Modele	Diametre nominal	Debit max.	Portee	Applications
J-250	25 mm	20 L/min	1,2 m	Appartements, studios
J-320	32 mm	34 L/min	2,1 m	Villas, maisons individuelles
J-630	63 mm	132 L/min	8 m	Restaurants, cliniques, PME
J-1100-P	100 mm	334 L/min	20 m	Hotels, industries, datacenters

Tableau 9. Gamme LIMPEO - Specifications techniques

Compatibilite materiaux :

Tous les modeles LIMPEO sont compatibles avec les materiaux de canalisation courants : fer, cuivre, acier inoxydable, PVC, PER, composite et multicouche. L'installation ne necessite aucune coupure d'eau ni modification de la plomberie existante.

Caracteristiques operationnelles :

- Aucune consommation d'energie electrique (champ magnetique permanent)
- Aucun consommable (pas de sel, pas de resine, pas de produit chimique)
- Aucune maintenance requise
- Duree de vie superieure a 20 ans
- N'altere ni le pH, ni la conductivite, ni la potabilite de l'eau
- Preserve les mineraux benefiques (calcium, magnesium)

9. Synthese des Metriques Cles

Metrique	Valeur	Source / Annee
Seuil formation aragonite	> 500 mT	Kobe University, 2002
Ratio precipitation vaterite	26% -> 51%	MDPI Eng, 2025
Reduction masse depots	40-60%	Litterature consolidee
Reduction epaisseur depots	2,5x plus fins	Etudes cuivre
Reduction taille cristaux	52,33 um -> 31,11 um	J. Crystal Growth, 2004
Reduction demande chlore	13,8% en 24h	Univ. Arizona, 2022
Augmentation efficacite chlore	+30%	Cranfield University
Reduction E. coli	86%	Cranfield University
Reduction biofilm	2,46 log10 UFC/cm2	Biofouling, 2024
Temps optimal traitement	~15 minutes	RSC, 2015
Cout EMF vs chimique	1:100+	MDPI Water, 2023
Impact 1/16" tartre	+11% energie	ASPE
Impact 1 um biofilm	-30% transfert thermique	Industrie
Refroidissement / conso DC	30-50% energie totale	Sources multiples 2024-25
WUE moyen datacenters	1,9 L/kWh	Metriques globales
Conso eau par MW/an	6-9 M gallons	DOE
ROI estime (datacenter)	< 18 mois	Analyse cout/benefice
Meta-analyse : taille d'effet	0,7 (IC: 0,2-1,2)	PMC, 2025
Publications dans le domaine	> 4 000	RSC, 2015

Tableau 10. Synthese de toutes les metriques cles documentees

10. References Bibliographiques

- [1] Journal of Crystal Growth (2004). "Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water." Elsevier.
- [2] Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 236 (2001-2002). "The influence of the magnetic field on the crystallisation form of calcium carbonate." Kobe University.
- [3] MDPI Eng, Vol. 6, Issue 2, Article 26 (2025). "Elucidating the Memory Effects of Magnetic Water Treatment via Precipitated Phase Changes of Calcium Carbonate."
- [4] ChemElectroChem, Wiley (2023). "Effects of Magnetic Field on Homogeneous and Heterogeneous Precipitation of Calcium Carbonate."
- [5] Nature npj Clean Water (2020). "A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems."
- [6] Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration (2025). "Magnetic water treatment for calcium carbonate scale prevention: a review."
- [7] Environmental Science: Water Research & Technology, RSC (2015). "Advances in anti-scale magnetic water treatment."
- [8] University of Arizona, WEST Center (2022). "Magnetic Fields found to Improve Chlorine Efficiency in Pool Water."
- [9] Cranfield University (Barrett & Parsons, 1998). Studies on magnetic field influence on CaCO₃ particle formation.
- [10] Biofouling, Vol. 41, No. 1, Tandfonline (2024). "Effects of magnetically treated water on the survival of bacteria in biofilms."
- [11] PMC/ScienceDirect (2025). "Magnetic and electromagnetic methods in reducing microbial contamination in water: A systematic review and meta-analyses."
- [12] MDPI Water, Vol. 15, No. 12 (2023). "An Alternating, Current-Induced Electromagnetic Field for Membrane Fouling and Scaling Control."
- [13] MDPI Water, Vol. 11, No. 5 (2019). "A Pilot Study of an Electromagnetic Field for Control of Reverse Osmosis Membrane Fouling and Scaling."
- [14] ScienceDirect (2024). "Towards energy-efficient data centers: A comprehensive review of passive and active cooling strategies."
- [15] Department of Energy, USA. "Cooling Water Efficiency Opportunities for Federal Data Centers."
- [16] Environmental and Energy Study Institute (EESI). "Data Centers and Water Consumption."
- [17] Dgtl Infra. "Data Center Water Usage: A Comprehensive Guide."
- [18] Chem-Aqua. "What is Scale and How Does it Impact Water Treatment."
- [19] Apex Engineering Products. "How Scale Buildup Affects Energy Efficiency in Industrial Equipment."
- [20] Directive (UE) 2020/2184. Directive relative a la qualite des eaux destinees a la consommation humaine.
- [21] Directive-Cadre sur l'Eau 2000/60/CE. Cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
- [22] ANSES (Agence nationale de securite sanitaire). Materiaux en contact avec l'eau et produits de traitement.
- [23] Ministere de la Sante, France (2025). Guide de bonnes pratiques - Eau et materiaux.
- [24] ISO 23044:2020. Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse.
- [25] ISO 20468-6:2021. Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems.
- [26] MDPI Water, Vol. 17, Issue 9 (2024). "Assessing the Potential of Magnetic Water Treatment of Groundwater for CaCO₃ Scale Mitigation."

Document elabore sur la base des documents internes LIMPEO/JAEGER SAS et de recherches scientifiques independantes. Pour toute question technique, contacter JAEGER SAS - 1 Rue du 19 Mars 1962, 28630 Le Coudray, Chartres, France.