

# Remine Water

Français

Solar powered water reuse  
and resource recovery in mining

[reminewater.eu](http://reminewater.eu)  
#RemineWater



LIFE17  
ENV/ES/000315

# SOMMAIRE

<b>01</b>	Objectifs _____	3
<b>02</b>	Données du projet _____	4
<b>03</b>	Faire passer l'industrie minière du linéaire au circulaire _____	5
<b>04</b>	Cas d'étude _____	6
	Installation de récupération d'eau	7
	Installation de récupération de ressources	8
<b>05</b>	Résultats obtenus _____	9

# 01. OBJECTIFS

**L'objectif principal de REMINE WATER était de protéger l'environnement des rejets d'eaux usées de processus industriels (par exemple à haute salinité ou contenant des métaux) et des déchets issus des procédés de traitement afin de contribuer à l'économie circulaire grâce à la récupération de l'eau, des métaux, des sels et des acides forts et de leur valorisation *in-situ*.**

Les principaux objectifs du projet étaient les suivants :

- Valider une chaîne de traitement intégrant des technologies innovantes pour le traitement des saumures des eaux traitées des industries minières et métallurgiques.
- Réduire la consommation d'énergie et l'empreinte écologique de CO<sub>2</sub> du traitement des saumures grâce à l'intégration de l'énergie solaire thermique dans la chaîne de traitement.
- Développer des technologies pour récupérer les acides minéraux forts et les métaux de valeur des eaux de traitement des mines avant leur rejet dans les eaux de surface.
- Évaluer la répliquabilité et la transférabilité de la solution démontrée à d'autres sites miniers et métallurgiques européens en tenant compte des problèmes techniques, économiques et environnementaux, ainsi que du cadre juridique et réglementaire.

Afin de garantir la réalisation des principaux objectifs du projet, un ensemble d'objectifs spécifiques quantifiables ont été définis :

- Réduction de 50% de la salinité et de la concentration en sulfates des rejets fluviaux d'eaux usées de l'industrie minière et métallurgique.
- Réduction de 15% de la consommation d'eau de l'industrie minière et métallurgique en favorisant la réutilisation de l'eau sur site.
- Récupération de 90% de l'eau des concentrés d'osmose inverse rejetés.
- Réduction de 95% de la salinité des concentrés d'osmose inverse pour la réutilisation de l'eau.

- Réduction de 50% des dépenses opérationnelles par rapport à la concentration thermique conventionnelle de la saumure.
- Récupération de 90% d'acide sulfurique, 70% de cuivre et 40% de zinc, ce qui représente une augmentation de 1% de la production totale de métaux.
- Réduction de 70% des émissions de CO<sub>2</sub> (grâce à l'utilisation de l'énergie solaire thermique) par rapport aux processus d'évaporation thermique conventionnels présents dans les eaux usées traitées.



# 02. DONNÉES DU PROJET

LIFE REMINE WATER était un projet financé par le programme LIFE (le programme de financement de l'UE pour l'environnement et l'action climatique). Le budget total alloué s'élève à 1 812 708 € (1 087 623 € subventionnés par

le programme LIFE). Le projet a duré 60 mois, d'octobre 2018 à octobre 2023. Le consortium était composé de quatre partenaires : Cetaqua, Sandfire Matsa, IMN et NewHeat.

## Partenaires

### **CETAQUA** WATER TECHNOLOGY CENTRE

Cetaqua, Water Technology Center a été le coordinateur de ce projet. Cetaqua est une entité de collaboration public-privée créée pour assurer la durabilité et l'efficacité du cycle de l'eau tout en tenant compte des besoins régionaux.

Durant le projet, Cetaqua a eu la charge de la conception et du développement des pilotes du projet. Cetaqua a réalisé l'opération pilote, le suivi, l'analyse et l'intégration des résultats. De plus, ils ont effectué l'analyse technique, environnementale et économique du processus, incluant le coût du cycle de vie (LCC) et l'analyse du cycle de vie (LCA).

### **Sandfire matsa**

Sandfire Matsa est une société minière espagnole moderne et durable qui possède et exploite trois mines dans la province de Huelva : les mines Aguas Teñidas et Magdalena situées à Almonaster la Real, et la mine Sotiel située à Calañas, dans la province de Huelva.

Leur rôle au sein de REMINE WATER consistait à évaluer l'adéquation du site de démonstration et à réaliser l'installation des usines pilotes dans ses locaux. De plus, ils ont géré les projets pilotes et évalué les exigences techniques pour une mise en œuvre à grande échelle, en tenant compte des principes des systèmes circulaires.

### **Łukasiewicz** Instytut Metali Nieżelaznych

L'Institut des Métaux Non Ferreux (IMN) est un centre de recherche de l'industrie polonaise des métaux non ferreux. Les activités complexes de l'institut couvrent toutes les étapes de la production des matériaux métalliques : du traitement du minerai aux technologies permettant de fabriquer des produits modernes tout en respectant toutes les normes environnementales.

Au cours du projet, IMN a évalué le plan de répliquabilité des chaînes de traitement innovants pour les industries minières et a évalué sa transférabilité à d'autres secteurs.

### **newheat** renewable heat supplier

Newheat développe, construit et exploite des centrales de production de chaleur, exclusivement produites à partir de technologies d'énergie renouvelable pour les besoins des procédés industriels.

Le rôle de Newheat dans le projet consistait à concevoir et exploiter la centrale solaire thermique pilote. En outre, ils ont élaboré un modèle économique pour l'utilisation de l'énergie solaire thermique dans l'industrie minière.

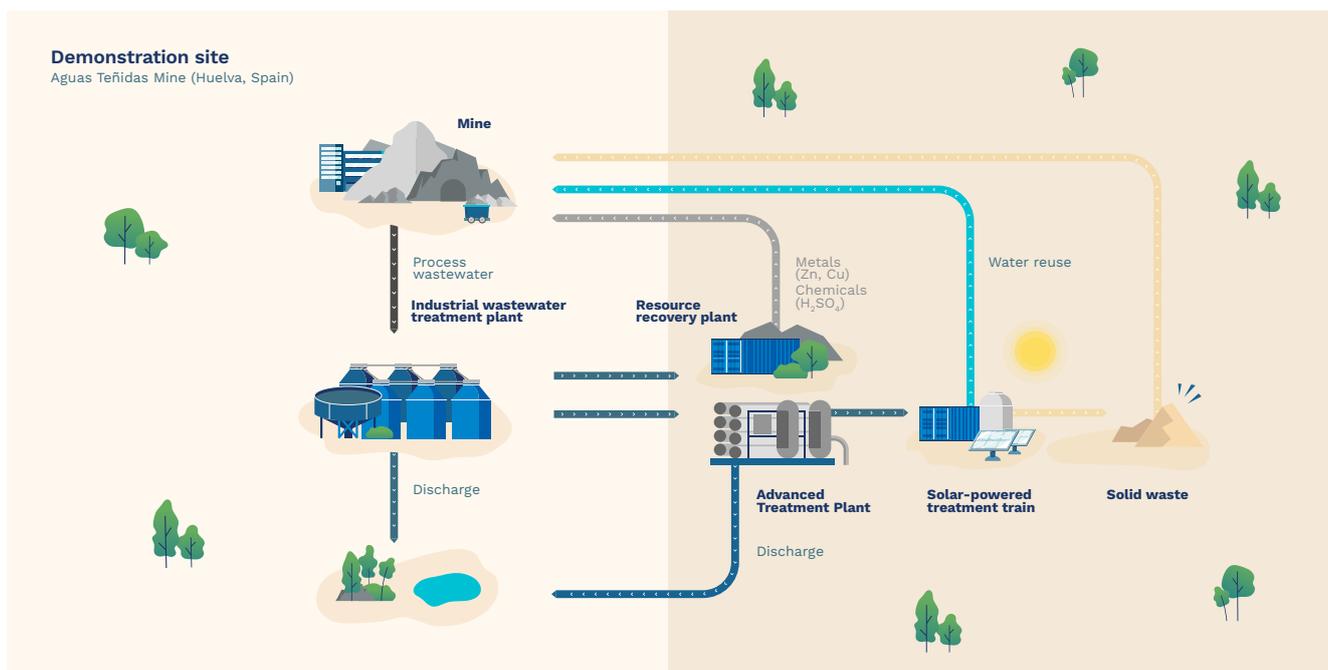
# 03. FAIRE PASSER L'INDUSTRIE MINIÈRE DU LINÉAIRE AU CIRCULAIRE

La pénurie d'eau est l'un des défis mondiaux majeurs de notre époque, représentant non seulement une menace pour les écosystèmes mais aussi un impact direct sur la croissance économique. Le changement climatique et les sécheresses continues dont souffrent les pays du sud de l'Europe nous imposent d'améliorer l'efficacité et la durabilité des usages de l'eau.

Le secteur minier est un important consommateur d'eau en Europe, car l'eau est un élément essentiel de l'exploitation d'une mine. Malgré l'amélioration des procédés de traitement des eaux usées et la mise en œuvre d'une réutilisation partielle des flux d'eau internes pour réduire les prélèvements d'eau, l'eau est toujours rejetée après traitement. Dans ce contexte, il est nécessaire de mettre en œuvre des programmes complets de réutilisation de l'eau, de minimiser les rejets de saumure et de réduire la dépendance aux sources d'eau externes.

De plus, les cycles accélérés d'innovation technologique et la croissance rapide des marchés émergents ont abouti à une demande croissante de métaux et de minéraux. En particulier, les scénarios de neutralité climatique et de digitalisation définis pour 2030 et 2050 dans le Pacte vert de l'UE nécessitent une consommation intensive de matières premières critiques et stratégiques. Dans l'exploitation minière, les métaux de valeur sont éliminés des eaux usées par précipitation sous forme de boues et sont gérés ultérieurement en tant que déchets. Dans un schéma circulaire, les eaux usées minières représentent une opportunité exploitable comme source secondaire potentielle de ressources de valeur.

L'objectif principal de REMINE WATER était de transformer le processus actuel en un processus circulaire (Figure 1). REMINE WATER a mis cela en œuvre en développant un système permettant de réutiliser l'eau et de récupérer les sous-produits contenus dans les eaux usées minières, tels que les acides, les métaux et les minéraux.



**Figure 1.** Transformation d'un schéma d'exploitation minière linéaire en un processus circulaire dans REMINE WATER.

# 04. CAS D'ÉTUDE

Le site de démonstration du projet se trouvait sur la mine d'Agua Teñidas, propriété de Sandfire Matsa, située dans la ville d'Almonaster la Real, dans la province de Huelva (sud-ouest de l'Espagne). Cette mine produit des concentrés de cuivre, de zinc et de plomb.

Leurs eaux usées sont traitées dans la station d'épuration située dans ses locaux (Figure 2). Leur traitement conventionnel comprend deux étapes : dans la première ligne de traitement, l'eau provient d'un grand bassin où sont mélangées différentes eaux usées (eaux de process et de contact, lixiviats contenant des métaux, etc.). L'objectif de cette étape est d'éliminer les thiosulfates présents sur les eaux usées. Dans la deuxième ligne de traitement, les sulfates sont éliminés sous forme d'ettringite et de gypse. Cependant, leurs eaux usées ont toujours une concentration de sulfate très élevée qu'il faut réduire pour répondre aux futures exigences en matière de rejets.

Dans ce cadre, le projet REMINE WATER a développé deux chaînes de traitement innovantes. La première visait à minimiser les rejets de saumure et à améliorer la qualité de l'eau en sortie afin qu'elle soit réutilisée en interne ou rejetée si nécessaire. Le second avait pour objectif de récupérer des matières premières de valeur à partir des eaux usées (Figure 3).



**Figure 2.** Vue d'ensemble de la station d'épuration conventionnelle de Matsa et du pilote REMINE WATER.



**Figure 3.** Vue générale des chaînes de traitements innovants REMINE WATER.

## INSTALLATION DE RÉCUPÉRATION D'EAU

Cette installation était composée de deux étages (Figure 4). Le premier consistait en un système d'élimination des sulfates et le deuxième d'un système Zéro Rejet de Liquide (ZLD, de son acronyme en anglais *Zero Liquide Discharge*). Le système d'élimination des sulfates traitait entre 4 et 6 m<sup>3</sup>/h d'eaux de procédé neutralisées. La chaîne était composée d'une installation d'adoucissement (SFT, de son abréviation en anglais *Softening*) pour éliminer la dureté de l'eau (calcium et magnésium), suivie d'une unité d'ajustement du pH, d'une filtration sur sable (SF, de son acronyme en anglais *Sand Filtration*) et de membranes de nanofiltration (NF) pour rejeter les sulfates. Le procédé ZLD consistait à concentrer les saumures et à récupérer l'eau avec différents traitements séquen-

tiels : les membranes d'osmose inverse (RO, de son acronyme en anglais *Reverse Osmosis*) traitaient le perméat de nanofiltration pour obtenir une eau de haute qualité qui pouvait être réutilisée directement par la mine. Le rejet de l'osmose inverse était conduit jusqu'à l'unité d'électrodialyse-concentration de saumure (ED-BC, de son acronyme en anglais *Electrodialysis-Brine Concentration*). Le flux de sortie du concentré ED-BC était traité par un évaporateur à basse température (LTE, de son acronyme en anglais *Low Temperature Evaporator*), couplé à une centrale solaire fournissant de l'énergie thermique (Figure 5). Cette dernière étape produisait un deuxième flux d'eau de qualité à réutiliser et une solution de saumure concentrée stockée dans des bassins internes.

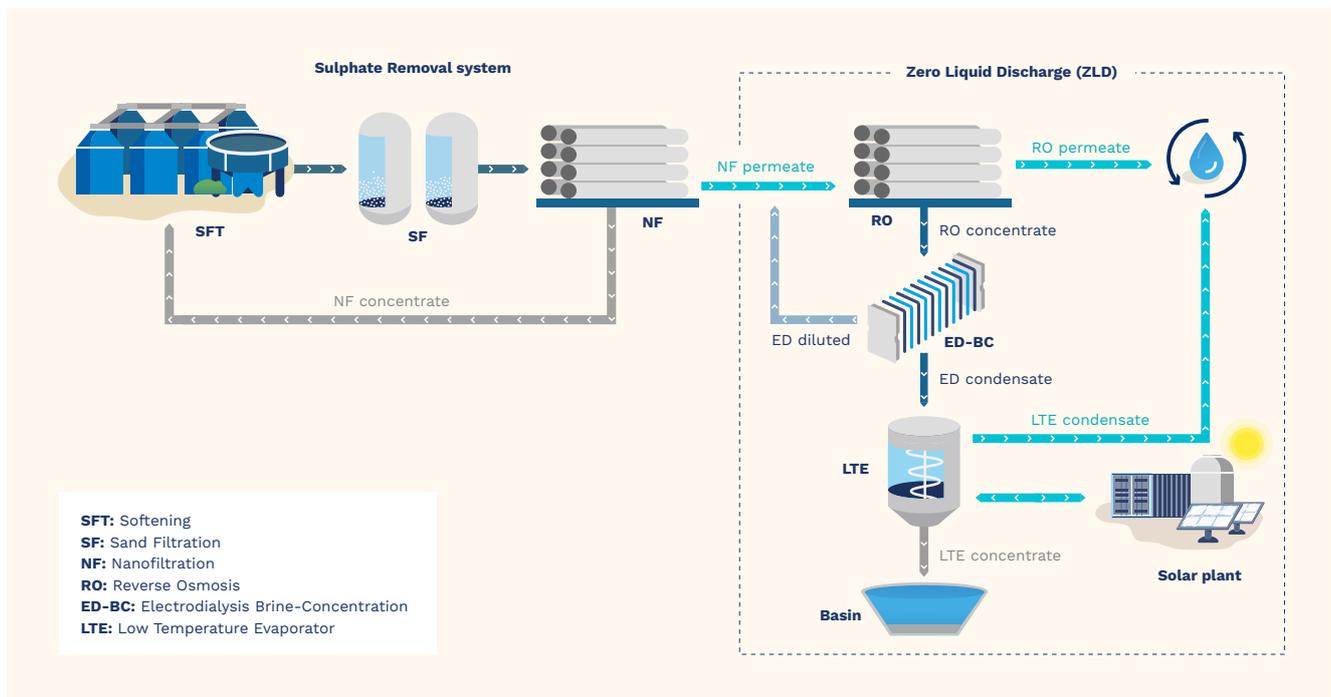


Figure 4. Système d'élimination des sulfates et schéma d'installation ZLD.



Figure 5. Vue d'ensemble de la centrale solaire.

## INSTALLATION DE RÉCUPÉRATION DE RESSOURCES

Le but de l'installation de valorisation des ressources (Figure 6) était de récupérer les métaux présents sur les lixiviats de la décharge, principalement le cuivre (Cu) et le zinc (Zn), pour les utiliser soit dans la mine ou dans d'autres industries, en privilégiant une démarche d'économie circulaire. L'installation a traité 0,1 m<sup>3</sup>/h de lixiviats. La première étape consistait en une oxydation chimique et une précipitation (COP, de son acronyme en anglais *Chemical Oxidation and Precipitation*) du fer et de l'aluminium. Le flux de sortie a été conduit vers les résines échangeuses d'ions (IEX, de son acronyme en anglais *Ion Exchange Resins*) pour éliminer sélectivement Cu et Zn. De l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

a été appliqué pour régénérer les résines et récupérer le Cu et le Zn. Cette solution acide a été traitée par des membranes de nanofiltration (ANF, de son acronyme en anglais *Acidic Nanofiltration*) pour récupérer l'acide sulfurique dans le flux de perméat et récupérer le Cu et le Zn dans la solution concentrée. Enfin, le Cu a été séparé du Zn par électrodéposition dans l'unité d'électrodéposition 3D (3D-ED, de son abréviation en anglais *3D-Electrodeposition*), tandis que le zinc est resté en solution et a été récupéré sous forme de sulfate de zinc (ZnSO<sub>4</sub>). De l'acide sulfurique a été appliqué pour dissoudre à nouveau le Cu déposé afin d'obtenir un concentré de sulfate de cuivre (CuSO<sub>4</sub>).

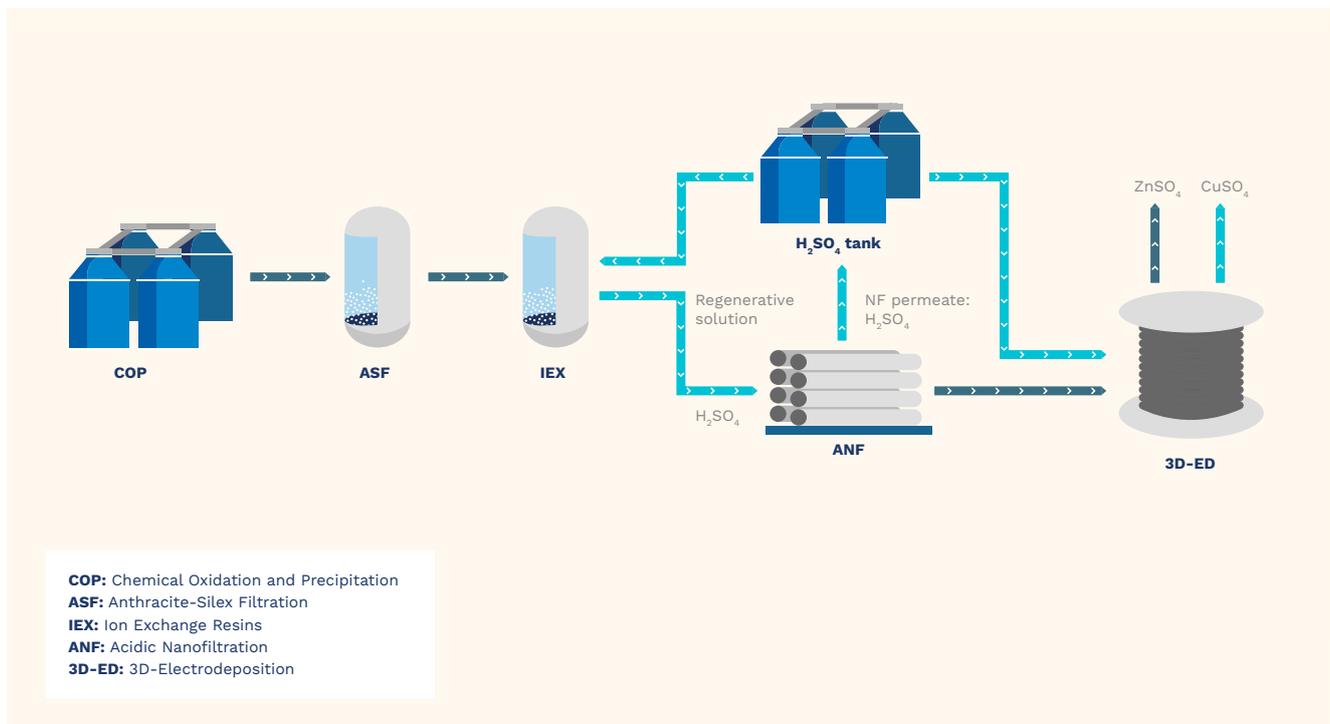


Figure 6. Schéma de l'installation de récupération des ressources.

# 05. RÉSULTATS OBTENUS

Le projet REMINE WATER a validé une chaîne de traitement intégrant des technologies innovantes pour le traitement des saumures à travers la construction et l'exploitation d'usines de recyclage d'eau et de valorisation des ressources. Les principaux résultats obtenus sont :

- **Réduction de 50% de la consommation d'eau douce** d'une installation à grande échelle en favorisant la réutilisation de l'eau sur le site et en tirant parti de l'eau de haute qualité produite par osmose inverse.
- **Récupération de 95% de l'eau des concentrés d'osmose inverse** grâce à la mise en œuvre du procédé zéro rejet liquide. Au cours du projet, il a été démontré que la concentration des sels passe d'environ 5 g/L de matières dissoutes totales (MDT) dans le flux de concentré d'osmose inverse à environ 100 g/L dans la saumure produite dans l'évaporateur.
- **Réduction de 99% de la salinité des concentrés d'osmose inverse pour la réutilisation de l'eau.** L'eau récupérée à l'extrémité du train ZLD, notamment dans les condensats de l'évaporateur, constitue une source secondaire d'eau de haute qualité disponible pour la mine, avec une concentration en MDT inférieure à 0,01 g/L.
- **Récupération des sous-produits pour une réutilisation interne impliquant des réductions de dépenses.** Le produit obtenu lors de l'étape de ramollissement à base de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium peut être utilisé pour augmenter le pH dans certaines étapes de leur installation de traitement conventionnelle, remplaçant ainsi dans une certaine mesure l'utilisation de chaux.
- **Réduction de la consommation d'énergie électrique et de 64% des émissions de CO<sub>2</sub>** dans l'évaporateur, par rapport aux procédés d'évaporation thermique conventionnels, par l'intégration de l'énergie solaire thermique dans la chaîne de traitement. De plus, ce remplacement entraîne une réduction de 50 % des dépenses opérationnelles de cette unité.

De plus, d'autres technologies ont été développées dans le pilote de récupération des ressources pour récupérer les acides minéraux forts et les métaux de valeur présents dans les eaux de traitement des mines. Les principaux résultats sont les suivants :

- **Récupération de 50% de l'acide sulfurique dans l'étape de nanofiltration acide.** Dans ces conditions, l'acide sulfurique obtenu peut être réutilisé dans la même chaîne de traitement pour la régénération des résines d'échange ionique ou la dissolution du cuivre dans l'électrodéposition.
- **Récupération de 95% du cuivre et 50% du zinc dans les résines échangeuses d'ions.** Les deux éléments sont concentrés quatre fois dans la nanofiltration acide. Enfin, le zinc est séparé du cuivre dans l'unité d'électrodéposition. De ce fait, le produit concentré présente une concentration de ~28 g/L de Zn et ~80 g/L de Cu, sous forme de sulfates. Ces deux produits peuvent être utilisés comme réactifs dans l'étape de flottation de l'installation de traitement des minéraux. Avant la mise en œuvre de cette chaîne de traitement, ces ressources étaient gaspillées dans les boues produites dans la station d'épuration conventionnelle.

Enfin, l'évaluation de la répliquabilité des deux chaînes de traitement sur d'autres sites miniers et métallurgiques européens a identifié des sites potentiels en Espagne et en Pologne où ces systèmes circulaires pourraient être mis en œuvre, en tenant compte des problèmes techniques, économiques et environnementaux, ainsi que du cadre juridique et réglementaire. Par ailleurs, des industries où les installations de traitement pourraient être transférées ont été identifiées, comme l'industrie des engrais, pour le traitement des saumures), ou l'hydrométallurgie, pour la récupération des métaux. Un avant-projet des besoins en station d'épuration et une première estimation économique ont été établis.



Plus d'informations  
[reminewater.eu](http://reminewater.eu)