



Pôle Européen Pour  
l'Innovation  
la Transition Energétique et  
l'Environnement

Technologie des VORTEX de PLASMA pour  
l'élimination des déchets organiques et la  
production d'énergie électrique et thermique

---

# VORTEX

---

# Technologie Plasma Vortex

**Technologie de combustion à vortex de plasma** est une technologie innovante pour l'élimination des déchets organiques, où l'énergie générée par la destruction d'une substance (déchets contenant du carbone) est utilisée pour produire des ressources énergétiques secondaires - eau chaude, vapeur, air chaud pour le séchage, vapeur pour alimenter une turbine et générateur d'électricité.

Cette technologie est basée sur la création d'un vortex de plasma à l'intérieur d'un « four à combustion », une invention initialement réalisée par des universitaires internationaux du domaine de l'ingénierie nucléaire et de la physique des plasmas froids, puis mise en œuvre par Pepitee en collaboration avec d'autres sociétés européennes.

Dans le dispositif **VORTEX®**, les processus de destruction des substances organiques ont lieu en l'absence d'oxygène ou d'un autre agent oxydant en raison de réactions plasma-chimiques dans un vortex d'énergie plasmatique de densité moyenne et élevée.

L'utilisation du vortex plasmatique est caractérisée par une température élevée de la substance impliquée dans les réactions, qui est à l'état de plasma froid. Le terme « plasma basse température » (LTP) désigne un gaz ionisé, dont l'énergie moyenne (température) est inférieure au potentiel d'ionisation d'un atome d'hydrogène de 13,6 eV.

Une température de 2000 °C est atteinte, elle est calculée en tenant compte à la fois de l'énergie cinétique des molécules de gaz et de leur charge électrique.

# Technologies traditionnelles

Le plasma forme un « faisceau » de vortex à haute énergie à l'intérieur de la chambre de combustion, concentré dans l'axe du four, éliminant ainsi le contact direct avec les parois du réacteur, conçu pour des températures plus basses (1600 °C / 1750 °C).

Le traitement des déchets carbonés par la méthode plasma-chimique (énergie) en WTP est basée sur l'analogie des processus naturels existants qui peuvent être observés et décrits physiquement. Il existe une similitude avec la technologie d'utilisation de torches à plasma pour l'incinération des déchets, tout d'abord, en termes de forte concentration d'énergie dans un petit volume - le four **VORTEX®**, est suffisant pour initier des réactions plasma-chimiques au cœur de la substance d'origine (déchets).

Avant d'évoquer la technologie des vortex plasma, examinons 2 autres technologies utilisées pour l'élimination des déchets organiques:

**1. Incinération**

**2. Torche à plasma**

# Incinération

L'**incinération** permet la production d'énergie électrique et thermique à partir de déchets.

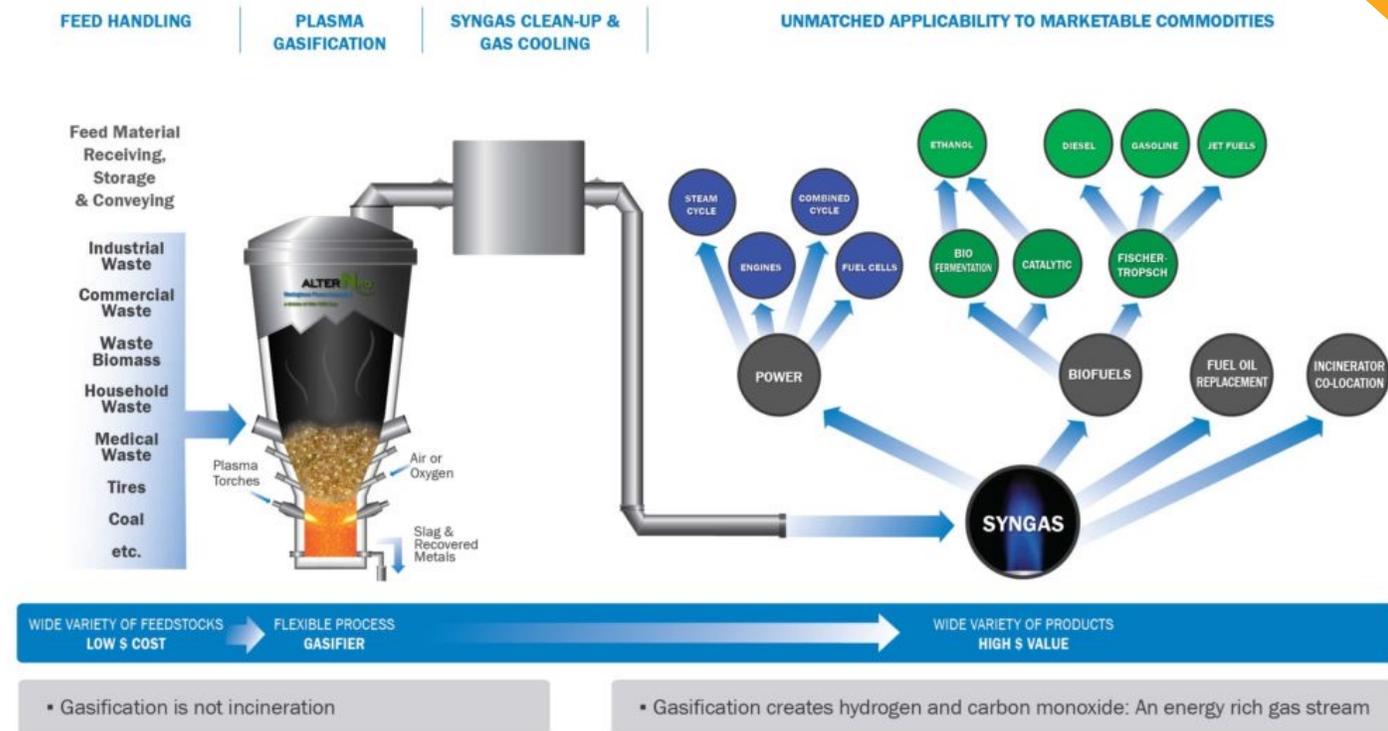
Aujourd'hui, ce procédé est le plus répandu il consiste en l'oxydation de la matière organique en excès d'oxygène visant à la production de chaleur, avec les caractéristiques suivantes:

1. Processus d'oxydation extrêmement rapide
2. Processus difficile à contrôler en présence de combustibles solides hétérogènes
3. La vitesse du procédé ne permet pas l'oxydation de la totalité des déchets **et libère des particules non brûlées (fumées de combustion). Ces émissions sont très polluantes.**
4. **Résidus solides (cendres) abondants (>25 %)**, contenant encore des matières non brûlées qui doivent être éliminées par enfouissement.

# Torche à plasma

Le principe général du traitement des déchets au plasma est la décomposition thermique avec oxydation incomplète sous l'influence de la vapeur d'eau, de l'oxygène atmosphérique et de la pression. Pour empêcher la matière première de brûler, il est nécessaire de contrôler le flux de l'agent oxydant - l'air. La pyrolyse des hydrocarbures dans les usines de plasma commence à des températures supérieures à 1000 ° C. À la sortie de l'usine, un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone avec des impuretés d'autres gaz combustibles se forme. **La torche à plasma est un appareil complexe et coûteux, d'une consommation élevée d'électricité.** La torche à plasma utilise de l'air et **un arc électrique à courant alternatif d'une puissance allant jusqu'à 50 000 W.** Le plasma agit sur la substance (déchets) et initie le processus de destruction des hydrocarbures dans les déchets, ce qui contribue à la formation de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> à partir d'une substance chimiquement complexe.

Westinghouse Corporation développe actuellement des torches à plasma qui permettent aujourd'hui de traiter les déchets à une température de plasma allant jusqu'à 6000 ° C. Un schéma fonctionnel de la technologie de traitement des déchets plasmatiques est illustré à la fig. 1 (figure tirée de sources ouvertes).



# Différence

## VORTEX® par rapport aux installations de torches à plasma

La technologie **VORTEX®** diffère des torches à plasma.

La technologie d'utilisation d'un vortex de plasma de déchets de carbone est basée sur la propriété de l'organisation de la matière dans l'espace, connue dès le début de la formation de l'Univers - une structure vortex autoorganisée. Dans l'espace, dans l'atmosphère, au niveau macro et micro, l'espace et la matière sont organisés sous une forme ordonnée en rotation.

La forme spatiale vortex de l'état de la matière est également liée aux objets de l'échelle cosmique : galaxies, systèmes stellaires et planétariums, ainsi qu'aux phénomènes atmosphériques et aux objets du micro-monde qui nous sont plus familiers.

Au cœur de tous ces phénomènes se trouve la rotation de la matière sous l'action de forces externes et internes, qui se combinent en une rotation de groupe et créent les systèmes d'énergie spatiale les plus puissants pouvant modifier le monde qui les entoure.

L'étude et l'observation de tels phénomènes ont conduit à l'idée de créer une usine **VORTEX®** avec une couche de vortex dans la zone interne de la chambre de travail d'un réacteur chimique à plasma.



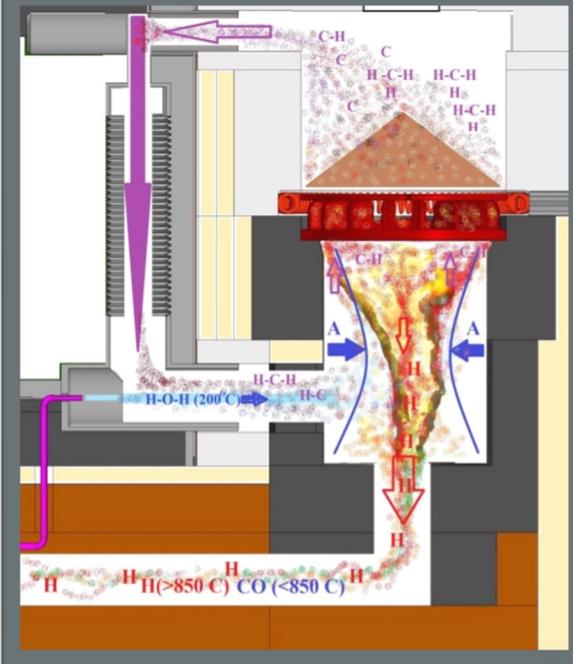
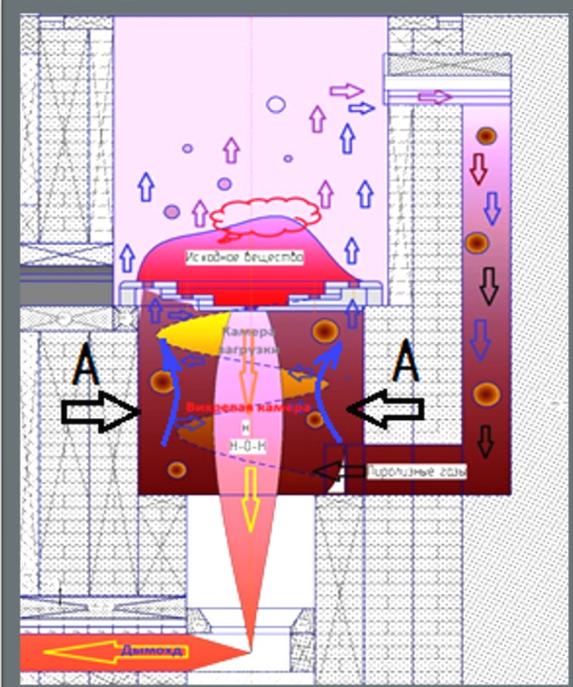
# VORTEX

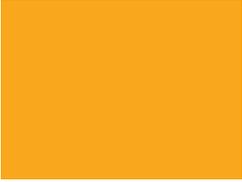
## Description de la technologie

La conception du réacteur **VORTEX**<sup>®</sup> a été développée sur la base de l'effet Ranke-Hilsch, qui sépare le flux de gaz dans l'espace en température et en composition chimique moléculaire.

Lorsque la substance carbonée est chauffée, une évolution intense du gaz ou de la gazéification a lieu, **la réaction commence et, au stade initial, se poursuit sous forme de pyrolyse sans accès à l'air externe.** En outre, sous l'action d'une force externe - raréfaction (vide faible) créée par un ventilateur d'échappement et la géométrie spéciale du réacteur, **les gaz à l'intérieur du réacteur se forment dans un vortex** où, sous l'influence de forces déjà tourbillonnantes et de températures élevées, **les réactions chimiques ont lieu à plusieurs niveaux et plus rapidement.** La substance elle-même est partiellement ionisée et passe dans le plasma.

Dans le vortex formé, **des molécules lourdes et des fragments de carbone volatils de haut poids moléculaire de gazéification sous forme de plasma sont projetés en rotation vers le haut. Les éléments légers et les gaz simples jusqu'à une température de 850 °C** (monoxyde de carbone) et au-dessus d'une température de 850 °C (hydrogène, H et partiellement H-O-H) dans le noyau **sont aspirés vers le bas dans la cheminée**, le long de la structure sous la forme d'un faisceau étroit de plasma mobile. Les réactions plasma-chimiques se produisent intensément, les liaisons chimiques sont rompues - les composés chimiques se décomposent en éléments (C, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, etc.), la structure vortex du flux de gaz est dirigée vers le haut le long des limites extérieures et vers le bas dans le cône interne, où se forment des sédiments de cendres.





# VORTEX

## Description de la technologie

Pour alimenter le plasma, à l'instar de la technologie d'incinération des déchets par une torche à plasma, la vapeur surchauffée est fournie directement au fond du four dans le **VORTEX®** dans la quantité nécessaire pour maintenir l'état physique du plasma et pour le choc thermique sur les particules de cendres solides de 1-2 mm de taille pour le broyage par choc thermique finement dispersé.

Physiquement, la substance d'origine est convertie en gaz, une partie de la substance change progressivement le volume d'origine, s'abaisse et « coule » sur la cloison entre les chambres jusqu'à ce qu'elle disparaisse complètement, après quoi il est nécessaire de fournir une nouvelle masse de matière pour répéter le cycle.

Une grande quantité de chaleur est générée, qui est ensuite utilisée à travers un échangeur à tubes ou un autre dispositif. Le processus de réaction est soutenu par un débordement en anneau de molécules lourdes de la chambre supérieure, où se trouve la substance initiale, à la chambre vortex inférieure (à haute température), jusqu'à ce que la destruction complète de la substance initiale se produise avec une transition vers le gaz et les cendres.

**Les boues de cendres sont du sable avec des composés de  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  et  $\text{FeSO}_4$** , qui se forment en raison des réactions plasma-chimiques de liaisons soufrées dans le réacteur.

Les composés contenant du potassium et du sodium se trouvent en grande quantité dans les molécules organiques et les combustibles solides, et sont également présents dans l'eau, ce qui détermine la teneur en humidité de la substance initiale.

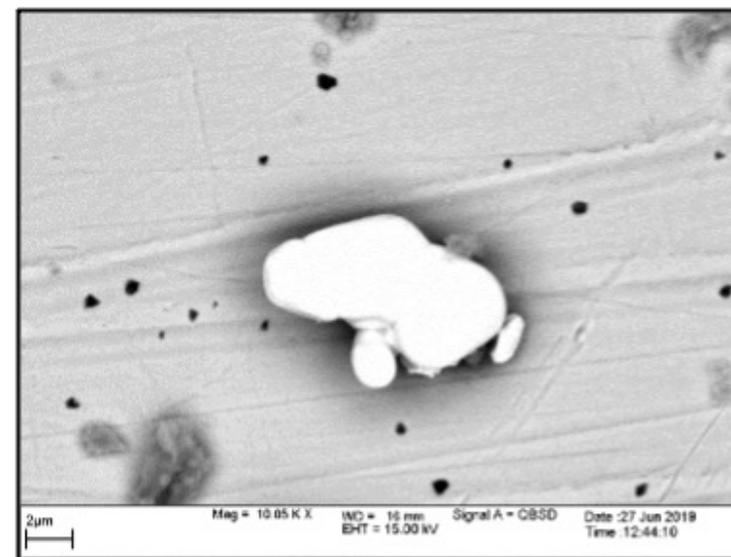
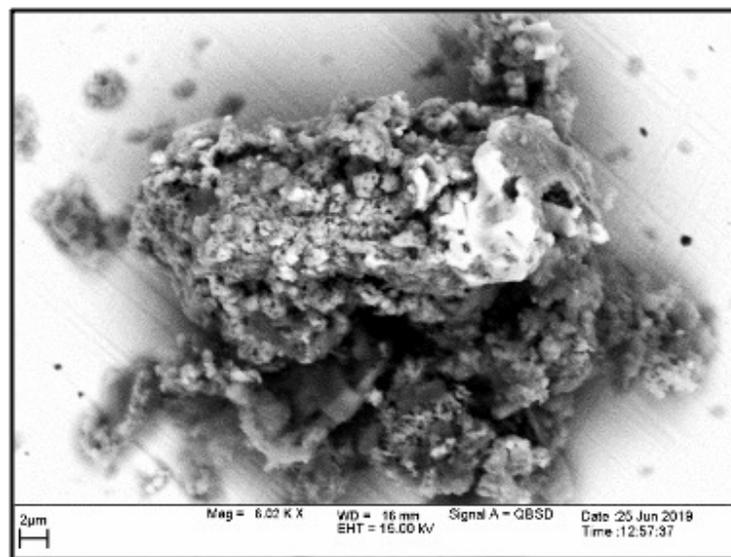
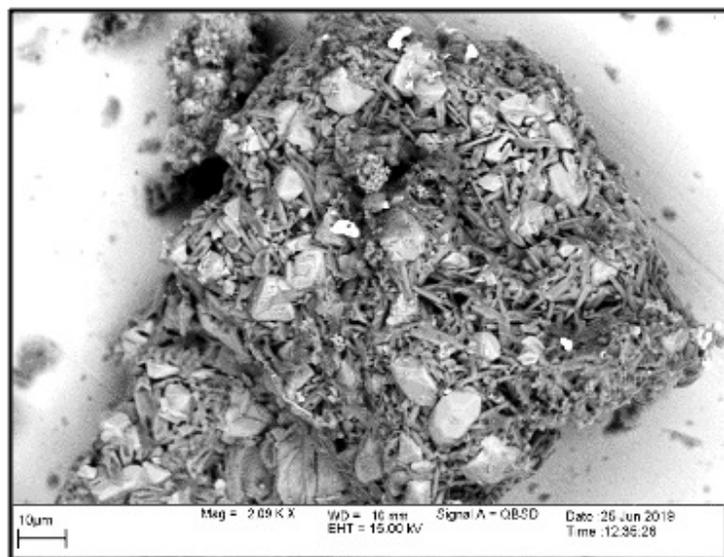
Les composés phosphorés dangereux dans les déchets agressifs sont réduits en « phosphore noir », qui est une substance noire avec un éclat métallique et complètement dépourvue de solubilité dans l'eau ou les solvants organiques.

---

# VORTEX

## Cendres

Des photographies prises au microscope électronique montrent la structure fine du résidu de cendres. Les cendres à la sortie de l'usine sont capturées par un collecteur de cendres (cyclone) et, dans les usines de grande capacité, en plus des méthodes d'élimination mécanique, les cendres sont collectées par absorption électrique par précipitation électrostatique.



Les processus de destruction de la matière dans le **VORTEX**<sup>®</sup> se produisent en l'absence d'oxygène ou d'un autre agent oxydant en raison de réactions plasma-chimiques dans un vortex mobile d'énergie plasmatisée à densité d'énergie moyenne et élevée. Tout d'abord, l'utilisation du vortex plasmatisé se caractérise par une température élevée de la substance qui participe aux réactions et est à l'état de plasma froid. Le plasma forme un « faisceau » de vortex de haute énergie à l'intérieur de la chambre **VORTEX**<sup>®</sup>, qui est concentré dans l'axe du four, éliminant ainsi le contact direct avec les parois de l'enveloppe thermique de la chambre, conçue pour des températures d'application plus basses (1600 ° C / 1750 ° C).

# Processus industriel

La chambre de combustion **VORTEX**<sup>®</sup> est le cœur de l'usine d'élimination des déchets, mais elle a besoin d'une ligne complète capable de recevoir et de traiter les déchets avant qu'ils ne soient introduits dans la chambre de combustion elle-même.

La liste suivante d'installations peut varier légèrement en fonction du type spécifique de déchets à éliminer :

1. trémie ou fosse de collecte
2. triituration pour obtenir des déchets d'une taille de 3 à 4 cm (surtout pour les déchets solides de dimensions importantes)
3. ligne d'alimentation automatique, bande transporteuse
4. tambour de séchage (uniquement pour les déchets dont l'humidité > 60 %)
- 5 **VORTEX**<sup>®</sup>
6. turbine à vapeur
7. alternateur
8. système de chauffage urbain ou conduites d'eau chaude pour d'autres applications

# Capacité de production

La formation du vortex plasmatique a des limites physiques qui ne permettent pas de réaliser de grandes usines, sauf au prix de complications techniques coûteuses.

Il est donc préférable d'installer 2 systèmes ou plusieurs en parallèle, assurant ainsi une plus grande flexibilité opérationnelle. Nous avons 3 tailles d'installations.

PRODUCTION CAPACITY				VORTEX 65	VORTEX 500	VORTEX 2000
<b>SORTED MUNICIPAL WASTE</b>	waste volume per cycle		m3	0,05	0,265	1,43
	cycle per hour			3	3	3
	<b>waste volume per hour</b>		<b>m3/h</b>	<b>0,15</b>	<b>0,795</b>	<b>4,29</b>
maintenance is carried out 30 days/year	waste volume per day - 24 h		m3	3,6	19,08	102,96
	<b>waste volume per year - 335 days</b>		<b>m3/year</b>	<b>1.206</b>	<b>6.392</b>	<b>34.491,60</b>
assuming sorted urban waste - specific weigh		kg/m3	350			
assuming waste calorific power		kcal/kg	2250			
VPU can treat	waste Ton per day - 24 h		Ton/day	1,26	6,678	36
	<b>waste Ton per hour</b>		<b>Ton/h</b>	<b>0,05</b>	<b>0,28</b>	<b>1,50</b>
	<b>waste Ton per year - 335 days</b>		<b>Ton/year</b>	<b>422</b>	<b>2.237</b>	<b>12.072</b>
VPU can produce	energy production	hour	MWh	0,02	0,15	0,5
	energy production	day	MWh	0,48	3,6	12
	<b>energy production</b>	<b>year</b>	<b>MWh</b>	<b>161</b>	<b>1.206</b>	<b>4.020</b>
hot water	Thermal production	hour	MWh	0,1	0,35	0,85
	Thermal production	day	MW	2,4	8,4	20,4
	Thermal production	year	MW	804	2.814	6.834



# Production d'énergie



Le **VORTEX**<sup>®</sup> est capable de transformer les déchets introduits en énergies suivantes :

## **Avec chaudière standard**

- Eau chaude à 95 °C
- Vapeur basse pression 110 – 140 °C **pour usage industriel**
- Air chaud sortant de la cheminée à 250 °C

## **Avec chaudière à vapeur**

- Eau chaude à 95 °C
- Vapeur sèche haute pression 190 °C **par turbine**
- Air chaud sortant de la cheminée à 250 °C

L'air chaud à 250 ° C sortant de la cheminée n'est pas pris en compte dans les budgets prévisionnels spécifiques à la demande des clients, mais représente une réserve disponible pour le séchage, l'eau chaude et d'autres processus industriels.

---

## Zone de collecte

*Les grands incinérateurs ont besoin d'une très grande zone de collecte, nécessaire pour alimenter ces cathédrales.*

*La capacité de production de la chambre de combustion permet de traiter les déchets solides municipaux des petites et moyennes collectivités, évitant ainsi les longs trajets des camions de collecte des déchets qui se déplacent parfois même sur des dizaines ou des centaines de kilomètres pour se rendre aux grandes usines de valorisation énergétique des déchets, obstruant le trafic et polluant.*

*Chaque pays européen dispose de ses propres statistiques sur la production annuelle de déchets par habitant.*

*Par exemple, l'Italie a une production annuelle de 503 kg/habitant. Dans ce cas les 3 tailles de la Chambre de combustion vous permettent de gérer les déchets de ces communautés d'habitants :*

**VORTEX 65 : 1,789 équivalents habitants**

**VORTEX 500 : 9,344 équivalent habitants**

**VORTEX 2000: 49,901 équivalent habitants**

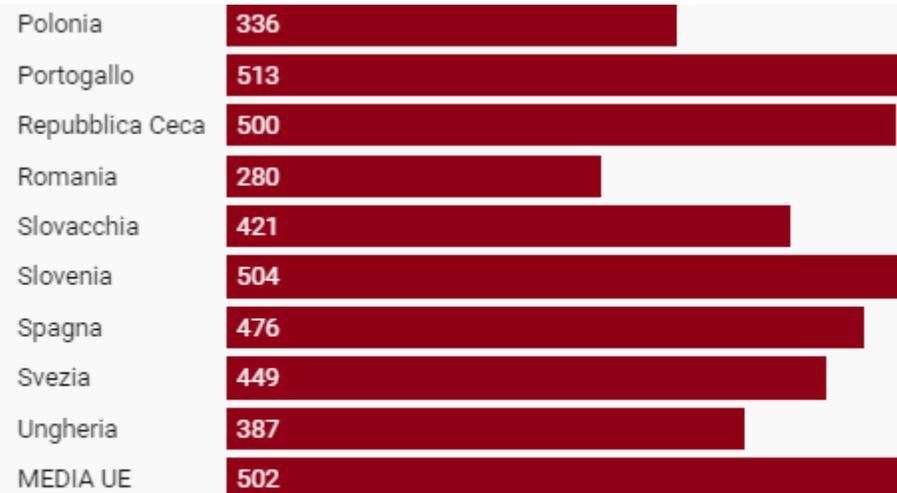
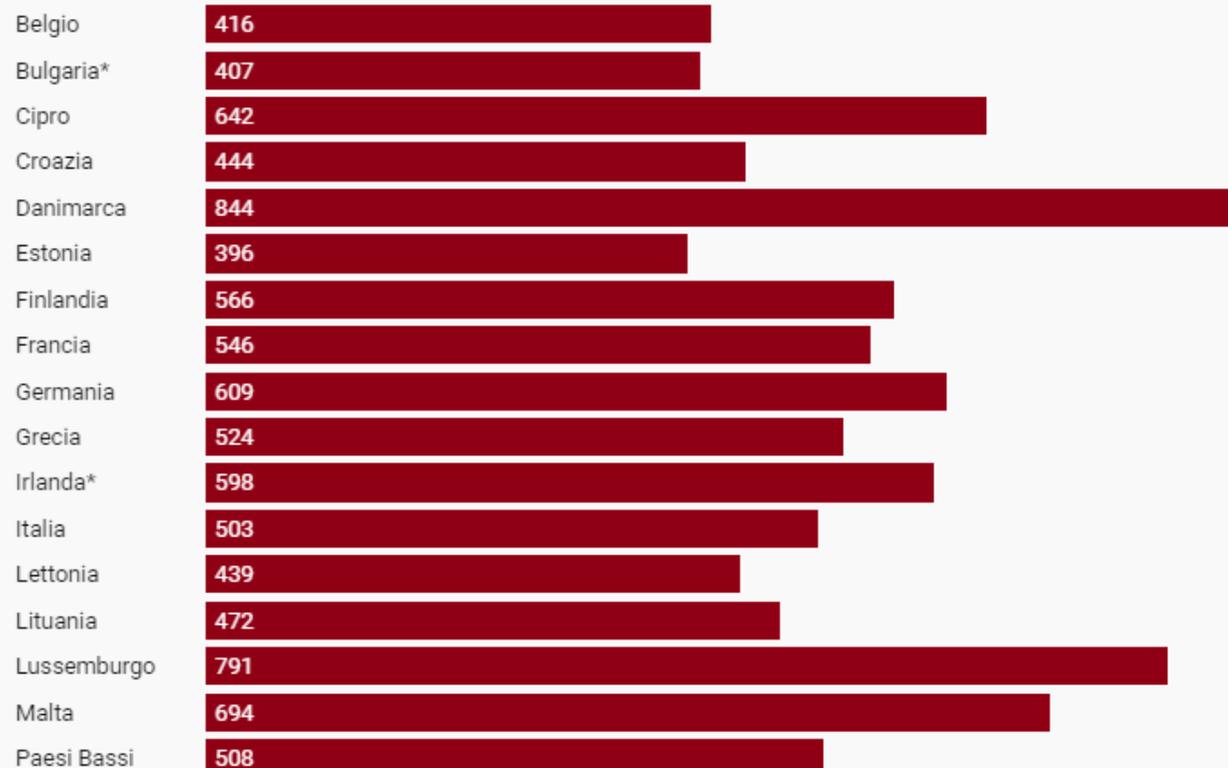
# Statistiques européennes

Statistiques européennes sur la production de déchets par habitant.

Ces données vous permettent de calculer rapidement pour chaque pays la zone de collecte que les 3 tailles du système **VORTEX®** peuvent satisfaire.

## Produzione di rifiuti in Europa

kg/abitante



Dati riferiti al 2019. Per Irlanda e Bulgaria i dati sono riferiti al 2018

Grafico: Antonio Massariolo • Fonte: [Ispra](#) • [Scaricare i dati](#) • Creato con [Datawrapper](#)

# Émissions

Le **VORTEX**<sup>®</sup> a besoin d'une cheminée de hauteur modeste, 2 mètres, car ses émissions ne sont pas dangereuses en cas d'inhalation. Voir le tableau ci-dessous.

La hauteur modeste de la cheminée, non visible de l'extérieur, évite toute préoccupation de la population environnante concernant les effets NIMBY (not in my back yard).

L'usine dispose de **6 capteurs pour la détection continue des émissions**, et ces données peuvent être transmises en direct aux agences de contrôle de l'environnement.

De plus, le **VORTEX**<sup>®</sup> émet de **l'oxygène à hauteur de 8 à 12 %** des fumées produites.

VORTEX EMISSION					
POLLUTANT	UNIT	Vortex over 1/2 hour	Vortex over 1 day	EU LIMIT over 1/2 hour	EU LIMIT over 1 day
CO	ppm	680	not detectable	100	50
Nox	ppm	105	53	400	200
TOC	ppm	not detectable	not detectable	20	10
ASH	ppm	not detectable	not detectable	30	10
Hg	ppm	not detectable	not detectable	0,05	0,03
HF	ppm	absent	absent	4	1
Cd - Ti	ppm	not detectable	not detectable		0,05
HEAVVY METALS	ppm	The release is prevented by an electrofilter = 0 ppm	absent		0,5
HCl	ppm	absent	absent	60	10
SO2	ppm	not detectable	not detectable	200	50
DIOXINS - FURANS	ng/kg	absent	absent		< 0,1

# Domaines d'application

## Types de déchets

Une caractéristique de la technologie **VORTEX**<sup>®</sup> est la quasi-absence d'émissions de substances dangereuses et nocives dans l'atmosphère, le réservoir ou le sol, ce qui est inhérent à la technologie classique de l'incinération des déchets.

Les installations d'incinération de déchets classiques nécessitent des équipements de traitement des émissions pouvant représenter jusqu'à **30% de l'investissement sans considération pour les consommables, le filtrage et la neutralisation des réactifs.**

La technologie **VORTEX**<sup>®</sup>, en revanche, ne nécessite pas de traitements d'émission.

L'absence d'émissions et la petite taille de **VORTEX**<sup>®</sup> permettent leur utilisation directe dans différents contextes :

1. l'élimination des **déchets municipaux** produits par les petites villes, les districts de grandes villes, les communautés de montagne, etc.
2. l'élimination des **déchets industriels** des petites et moyennes entreprises - **pulpe de papeterie, déchets de transformation des aliments, boues**, etc.
3. élimination des déchets produits par les fermes - **résidus de culture, pollen, fumier, litière**, etc.
4. élimination de **déchets vert et d'autres biomasses ligneuses**
5. élimination des **déchets portuaires et aéroportuaires**
6. élimination des **pneumatiques usagés**
7. élimination des **plastiques sales et non recyclables**
8. élimination des **déchet hospitalier**
9. la remise en état des **sites d'enfouissement usagés**
10. **boues d'épuration**

# Types de déchets

- **Déchets solides municipaux différenciés**
- **Fraction organique**

- **Déchets plastiques** (déchets de production, déchets industriels, différenciés et identifiés) :
  - Polychlorure de vinyle (PVC) – plastique rigide à base de chlorure de vinyle:
    - - les persiennes ,
    - - le drainage et les conduites d'eau,
    - - les dispositifs médicaux,
    - - poches de sang,
    - - l'isolation des câbles et des fils,
    - - sols élastiques,
    - - membranes pour toitures,
    - - papiers,
    - - intérieurs automobiles et housses de sièges,
    - - vêtements et chaussures,
    - - emballages, films alimentaires,
    - - cuir synthétique et autres tissus enduits
  - **Polystyrène ou polystyrène expansé (PS)** – polymère hydrocarboné aromatique synthétique à base de styrène monomère.
    - - jouets,
    - - emballages rigides
    - - plateaux et boîtes pour réfrigérateurs,
    - - emballages cosmétiques et bijoux.

- **Polyéthylène basse densité (PEBD)** – thermoplastique à base d'éthylène monomère par un procédé à haute pression par polymérisation de radicaux libres.
  - bouteilles compressibles,
  - jouets,
  - sacs de transport,
  - l'isolation à haute fréquence,
  - revêtement de réservoirs de produits chimiques,
  - sacs lourds,
  - l'emballage général,
  - conduites de gaz et d'eau.

- **Polypropylène (PP)** – polymère thermoplastique obtenu par polymérisation en chaîne à partir de monomère de propylène.
  - seaux,
  - boîtes,
  - jouets,
  - composants médicaux,
  - bouchons de bouteilles
  - boîtes de batterie.

# Utilisation des déchets solides municipaux

Cas particuliers de production de déchets municipaux

Élimination des conséquences des catastrophes naturelles: tremblements de terre, glissements de terrain, ouragans, inondations, accidents technologiques avec pollution par les hydrocarbures du territoire adjacent, restauration des lieux détruits suite à des conflits.

La technologie d'élimination par vortex de plasma est la meilleure technologie accessible (MTD) et convient parfaitement à l'élimination en toute sécurité des déchets plastiques et polymères (séparés par des briques cassées, du béton, du verre, du métal) formés dans les décombres des structures de bâtiment: cadres de fenêtres en plastique, revêtements, linoléum, articles ménagers en plastique, textiles, équipements, y compris ceux présentant des traces d'exposition et une décomposition incomplète de composés nitro-aromatiques. dangereux (traces toxiques de TNT, traces toxiques de cyclotriméthylèthrintramine, traces toxiques de pentaérytrytolétranitrate, autres déchets similaires).



A large pile of garbage, including plastic bags, cardboard, and other debris, is visible in the background. In the foreground, several black pipes are laid out on the ground. The scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

Le concept global , les descriptions  
techniques ainsi que les  
présentations commerciales  
bénéficient d'une protection  
intellectuelle valable dans 176 pays

Nos experts techniques sont à votre  
disposition pour étudier vos  
besoins spécifiques



**Pôle Européen Pour  
l'Innovation  
la Transition Energétique et  
l'Environnement**

**Albert Cavalli**

+33 766 34 59 25  
albert.cavalli@pepatee.eu  
www.pepatee.com