

Équipements  
pour l'enseignement  
technique



# Génie de l'environnement

Technologie durable pour la protection de l'environnement



# Table des matières

## Bienvenue chez GUNT

Dans ce catalogue, nous vous donnons une vue d'ensemble très complète de nos appareils innovants de démonstration et d'essai.

Appareils GUNT pour:

- l'apprentissage des métiers techniques
- la formation professionnelle et continue du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- les études d'ingénieur

## Génie de l'environnement

Introduction	004
--------------	-----

1	Eau	008
---	-----	-----

2	Air	056
---	-----	-----

3	Sol	068
---	-----	-----

4	Déchets	090
---	---------	-----

Index	108
-------	-----

Aperçu de produits	110
--------------------	-----

### Mentions légales

© 2022 G.U.N.T. Gerätebau GmbH. La réutilisation, le stockage, la reproduction et la réimpression – même partielle – du contenu sont interdits sans autorisation écrite préalable. GUNT est une marque déposée. Les produits GUNT sont donc protégés et relèvent du code de la propriété intellectuelle.

GUNT ne peut être tenu responsable de toute erreur d'impression.  
Sous réserve de modifications.

Crédits photo: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock, 123RF.  
Conception graphique & mise en page: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hamburg.  
Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.

Connaissances de base

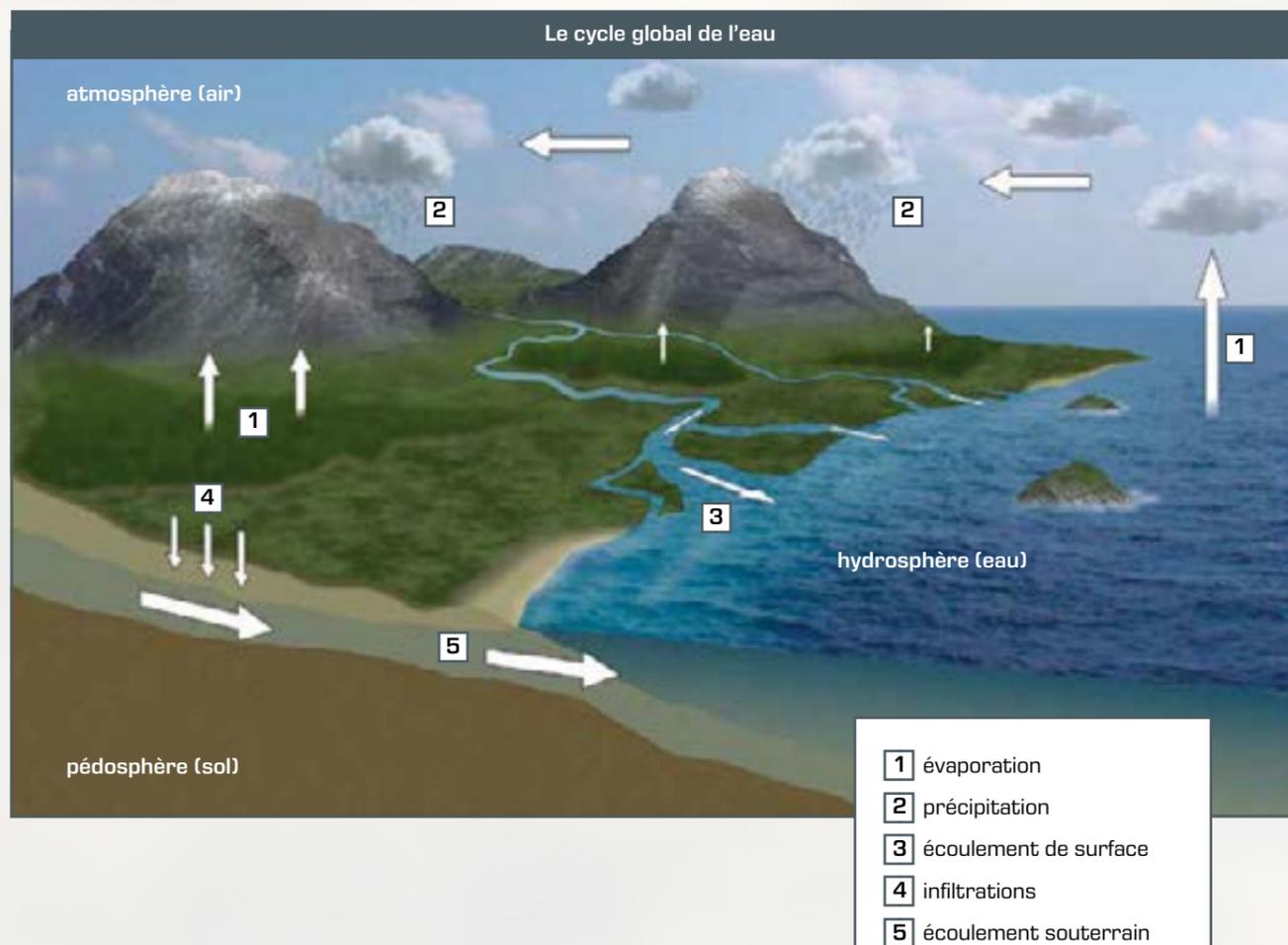
## Génie de l'environnement

Le cycle global de l'eau:  
passerelle entre les compartiments environnementaux

L'eau recouvre à peu près les trois-quarts de la planète. Cette eau se trouve au sein d'un cycle continu où elle traverse tous les états physiques. Les forces motrices de ce cycle sont le soleil et la force de gravité. Le cycle de l'eau fait le lien entre les trois compartiments environnementaux que sont l'atmosphère (air), l'hydrosphère (eau) et la pédosphère (sol).

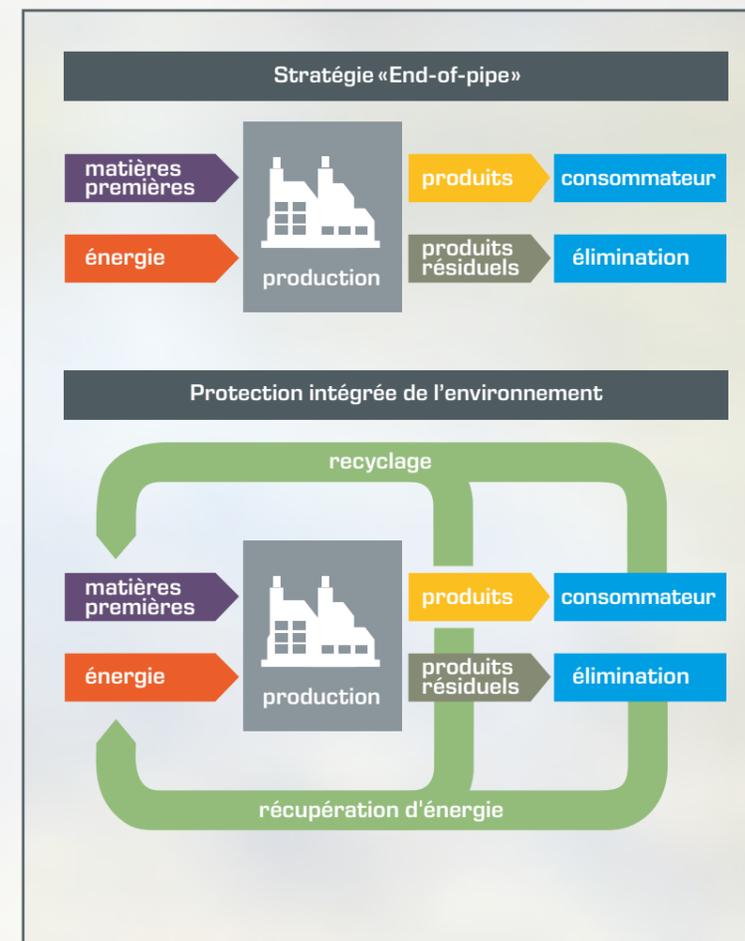
Sous l'effet des rayons du soleil, l'eau se réchauffe à la surface de la terre et dans les océans. Elle s'évapore alors et rejoint l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau qui conduit finalement à la formation des nuages. L'eau regagne ensuite la surface de la terre sous forme de précipitations. Ces dernières s'évaporent à nouveau pour moitié. L'essentiel des précipitations restantes s'écoule en surface sous forme de cours d'eau en direction des océans. L'eau résiduelle s'infiltré, elle, dans le sol, entraînant la formation d'eaux souterraines. La majeure partie des eaux souterraines regagne les océans par le sous-sol. Le reste quitte le sol par le biais de sources situées en surface et entraîne la formation de cours d'eau qui s'écoulent à leur tour en direction des océans.

L'Homme prélève à différentes fins de l'eau sur le cycle, et réinjecte après utilisation cette eau dans le cycle, eau alors bien souvent chargée de polluants. L'équilibre naturel du cycle de l'eau s'en trouve perturbé de manière significative. Loin de s'assainir, les eaux d'infiltration sont fréquemment contaminées dans le sol. Le sol ne peut plus remplir pleinement sa fonction naturelle d'assainissement. Autres exemples d'effets négatifs sur le bilan global de l'eau: l'imperméabilisation des surfaces, le déboisement des forêts ainsi que le dépôt de déchets contenant des polluants dans les décharges.

De la stratégie «End-of-pipe» à la protection  
intégrée de l'environnement

Face à la pollution croissante de l'environnement, on a suivi pendant longtemps ce que l'on appelle la stratégie « End-of-pipe ». Les mesures environnementales faisaient alors suite aux processus de production mais sans inclure ces derniers. L'eau, l'air et le sol étaient en outre considérés pour l'essentiel indépendamment les uns des autres. Mais il s'est avéré que cette approche unidimensionnelle ne correspondait pas à la complexité requise pour une protection durable de l'environnement. Par le passé, les problèmes rencontrés essentiellement dans les domaines de l'eau et de l'air ont souvent été déplacés vers le domaine des déchets, dont par exemple celui de l'élimination des boues produites par l'épuration des eaux usées.

Les concepts environnementaux modernes privilégient au contraire une approche globale incluant tous les domaines de l'environnement. Aujourd'hui, l'objectif consiste aussi à s'attaquer aux problèmes dès un stade d'apparition plus précoce. C'est ainsi qu'aujourd'hui des mesures de protection environnementale sont déjà intégrées dans de nombreux processus de production. Le recyclage des matières valorisables et les économies d'énergie qui l'accompagnent jouent ici un rôle de premier ordre.



Champs d'apprentissage

**Génie de l'environnement****Eau, air et sol:  
composantes centrales des  
programmes de formation**

Préserver la propreté de l'environnement constitue un immense défi. Une fois libérés dans l'environnement, les polluants ne restent pas forcément là où la contamination a eu lieu. Il est plus probable qu'ils soient transportés à travers le monde sous l'effet du cycle de l'eau et des vents. Le transport et la transformation des polluants peuvent avoir lieu dans l'atmosphère (air), l'hydrosphère (eau) et dans la pédosphère (sol). Comprendre les processus complexes se déroulant dans ces trois compartiments environnementaux est essentiel pour le développement des technologies modernes de protection de l'environnement.

C'est pourquoi l'acquisition de connaissances solides sur les interactions fondamentales dans les trois compartiments environnementaux que sont l'eau, l'air et le sol est essentielle pour tous les métiers se rattachant aux sciences et techniques de l'environnement. Étant donné qu'une protection durable de l'environnement implique également un traitement bien pensé et professionnel des déchets, les questions relatives à la gestion des ordures sont aussi un élément incontournable des programmes de formation en ingénierie de l'environnement.

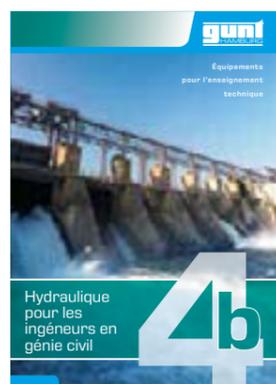
**Une réflexion interdisciplinaire pour une  
protection intégrale de l'environnement**

Notre gamme d'appareils est structurée de la même manière que les programmes pédagogiques validés en ingénierie de l'environnement. Les appareils ont été développés par des ingénieurs expérimentés disposant, de par leur formation, d'un savoir spécialisé et fondé en ingénierie de l'environnement.

Comparée à d'autres, l'ingénierie de l'environnement est une discipline relativement récente des sciences de l'ingénieur. De nombreux procédés utilisés pour la protection de l'environnement trouvent leurs sources dans d'autres disciplines de l'ingénieur. Ainsi les procédés utilisés dans le traitement de l'eau et la préservation de la qualité de l'air se basent-ils sur des procédés classiques du génie des procédés. De la même manière, les écoulements souterrains dans le sol font aussi évidemment partie intégrante de l'hydraulique en général et des constructions hydrauliques.

Tout cela montre bien que les futurs ingénieurs en environnement doivent être capables de réfléchir et agir aujourd'hui de manière interdisciplinaire pour relever les défis complexes qui se posent à eux.

Les appareils présentés dans ce catalogue sont une sélection de systèmes didactiques qui complètent de façon optimale les fondements théoriques de la formation en ingénierie de l'environnement. La plupart de ces appareils trouvent leur origine dans d'autres disciplines classiques des sciences de l'ingénieur. C'est la raison pour laquelle vous trouverez d'autres appareils traitant de thématiques similaires dans notre catalogue 4b «Hydraulique pour les ingénieurs en génie civil» et dans le catalogue 5 «Génie des procédés».



**Catalogue 4b**  
Hydraulique pour les  
ingénieurs en génie civil



**Catalogue 5**  
Génie des procédés



Introduction	
<b>Champs d'apprentissage</b> Eau	010
<b>Connaissances de base</b> Station d'épuration	012

Traitement mécanique de l'eau	
<b>Connaissances de base</b> Traitement mécanique de l'eau	014
<b>HM 142</b> Séparation dans les réservoirs de sédimentation	016
<b>CE 587</b> Flottation à l'air dissous	018
<b>CE 588</b> Démonstration de la flottation à l'air dissous	020
<b>CE 579</b> Filtration en profondeur	022

Traitement biologique de l'eau	
<b>Connaissances de base</b> Traitement biologique de l'eau	024
<b>CE 705</b> Procédé à boues activées	026
<b>CE 704</b> Procédé SBR	030
<b>CE 701</b> Procédé à biofilm	032
<b>CE 730</b> Réacteur airlift	034
<b>CE 702</b> Traitement anaérobie de l'eau	036

Traitement physico-chimique de l'eau	
<b>Connaissances de base</b> Traitement physico-chimique de l'eau	038
<b>CE 583</b> Adsorption	042
<b>CE 530</b> Osmose inverse	044
<b>CE 300</b> Échange d'ions	045
<b>CE 586</b> Précipitation et floculation	046
<b>CE 584</b> Oxydation avancée	048

Traitement de l'eau en plusieurs étapes	
<b>Connaissances de base</b> Traitement de l'eau en plusieurs étapes	050
<b>CE 581</b> Traitement de l'eau: Station 1	052
<b>CE 582</b> Traitement de l'eau: Station 2	054

## Procédés unitaires de traitement de l'eau

Le traitement de l'eau occupe une place centrale de ce domaine. L'objectif du traitement de l'eau consiste toujours à lui soustraire certains composants. Ce retrait peut servir par exemple à épurer des eaux usées en station avant de les rejeter dans un cours d'eau. Du point de vue de la protection de l'environnement, l'assainissement des eaux souterraines contaminées et des lixiviats de décharge constitue un autre vaste exemple d'application. L'objectif du traitement de l'eau peut aussi consister à rendre cette eau utilisable à une certaine fin, comme c'est le cas pour la préparation d'eau potable.

Indépendamment de l'application prévue, il existe toute une série de procédés unitaires pour le traitement de l'eau, que l'on divise traditionnellement en trois groupes.

Pour chacun des principaux procédés unitaires, vous trouverez dans ce chapitre un appareil didactique permettant d'expliquer visuellement et d'assimiler tous les aspects importants du procédé concerné.

Les stations de traitement de l'eau sont en général structurées autour de plusieurs étapes et associent différents procédés unitaires. C'est pourquoi nous vous proposons deux appareils pour vous permettre d'expliquer les opérations complexes, en plusieurs étapes, du traitement de l'eau.

## Procédés mécaniques

**HM 142**  
Séparation dans les réservoirs de sédimentation  
**CE 587**  
Flottation à l'air dissous  
**CE 588**  
Démonstration de la flottation à l'air dissous  
**CE 579**  
Filtration en profondeur

## Procédés biologiques

**CE 705**  
Procédé à boues activées  
**CE 704**  
Procédé SBR  
**CE 701**  
Procédé à biofilm  
**CE 730**  
Réacteur airlift  
**CE 702**  
Traitement anaérobie de l'eau

## Procédés physiques/chimiques

**CE 583**  
Adsorption  
**CE 530**  
Osmose inverse  
**CE 300**  
Échange d'ions  
**CE 586**  
Précipitation et floculation  
**CE 584**  
Oxydation avancée

## Traitement de l'eau en plusieurs étapes

## Procédés unitaires combinées

**CE 581**  
Traitement de l'eau: Station 1  
**CE 582**  
Traitement de l'eau: Station 2

## Connaissances de base

## Station d'épuration

Protection de l'environnement  
par l'épuration des eaux usées

Lorsque l'on déverse des eaux usées dans un cours d'eau, des micro-organismes dégradent les matières organiques qu'elles contiennent tout en consommant une grande quantité d'oxygène. Cela conduit à un défaut d'oxygène dans le cours d'eau et perturbe de ce fait l'équilibre écologique. Pour éviter cela, il faut purifier préalablement les eaux usées dans des stations d'épuration. La composante centrale d'une station d'épuration est constituée, c'est la purification biologique au moyen de micro-organismes. Les processus de dégradation naturelle sont donc déplacés du cours d'eau vers une installation technique où ils se déroulent dans des conditions contrôlées et optimisées.

## Purification mécanique

Les eaux usées sont soumises dans un premier temps à une purification mécanique. L'objectif étant de séparer certaines matières solides de l'eau. Un dégrilleur libère tout d'abord les eaux usées des matières solides grossières, telles que textiles, papier et sacs en plastique. Ensuite, un dessableur sépare par sédimentation les matières solides minérales telles que le sable charrié par l'eau. Les matières solides comme les restes de nourriture sont également séparées par sédimentation durant la décantation primaire.



## Purification biologique

Au terme du traitement mécanique, les eaux usées ne contiennent pratiquement plus que des matières dissoutes. Ces matières dissoutes sont dégradées au cours de la purification biologique par des micro-organismes. Le procédé le plus fréquemment utilisé ici est le procédé à boues activées aérobie. À cette étape du traitement, les eaux usées sont aérées afin d'alimenter les micro-organismes (boues activées) en oxygène. Étant donné que les boues activées sont en suspension dans le bassin d'aération, l'écoulement des eaux usées entraîne avec lui en continu également des boues activées. Dans le décanteur secondaire, ces boues activées entraînées sont séparées mécaniquement de l'eau épurée (en général par sédimentation). Une partie des boues activées séparées est reconduite en tant que boues de retour dans le bassin d'aération. Sans boues de retour, il est impossible d'obtenir un déroulement stable de la purification biologique. Donc même si la décantation secondaire est en réalité un processus mécanique, on l'inclut pour cette raison à la purification biologique.

## Traitement des boues

La part des boues séparées lors de la décantation secondaire qui n'est pas réintroduite est appelée boues en excès ou boues secondaires. Les boues en excès et la boue issue de la décantation primaire (boues primaires) sont essentiellement composées de substances organiques et constituent un résidu de l'épuration des eaux usées. C'est pourquoi ces boues (boues d'épuration) doivent faire l'objet d'un traitement séparé. Il a lieu en général dans des tours de fermentation, où les boues d'épuration se putréfient dans des conditions anaérobies. Les boues d'épuration ainsi digérées peuvent ensuite être utilisées par exemple comme engrais agricoles.



## Connaissances de base

## Traitement mécanique de l'eau

Les matières solides peuvent facilement provoquer des engorgements à l'intérieur des composants de la station comme les conduites et les robinetteries. C'est pourquoi dans les stations de traitement de l'eau en plusieurs étapes, on commence en règle générale par éliminer les matières solides au moyen de procédés mécaniques. Ces procédés ne modifient ni physiquement ni chimiquement la composition des matières solides. Il s'agit uniquement de séparer les matières solides de la phase liquide (eau). Ce qui peut être réalisé selon les trois principes de base suivants:

Force de gravité

Force ascensionnelle

Taille des particules

Sédimentation

Flottation

Filtration

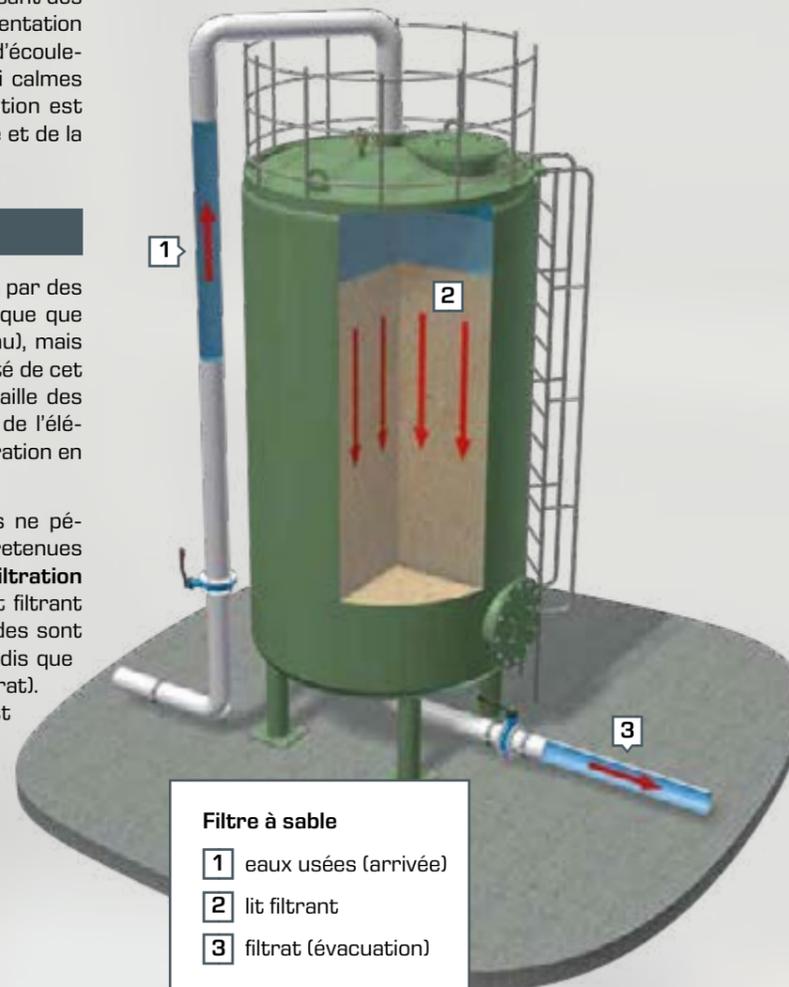
## Sédimentation

La sédimentation représente le moyen le plus simple pour séparer les matières solides. Sous l'effet de la force de gravité, les particules solides se déposent au fond du réservoir de sédimentation et peuvent alors facilement être retirées en utilisant des dispositifs d'évacuation des boues. Pour que la sédimentation soit la plus efficace possible, il faut que les conditions d'écoulement dans le réservoir de sédimentation soient aussi calmes que possible (absence de turbulences). La sédimentation est utilisée essentiellement lors de la décantation primaire et de la décantation secondaire dans les stations d'épuration.

## Filtration

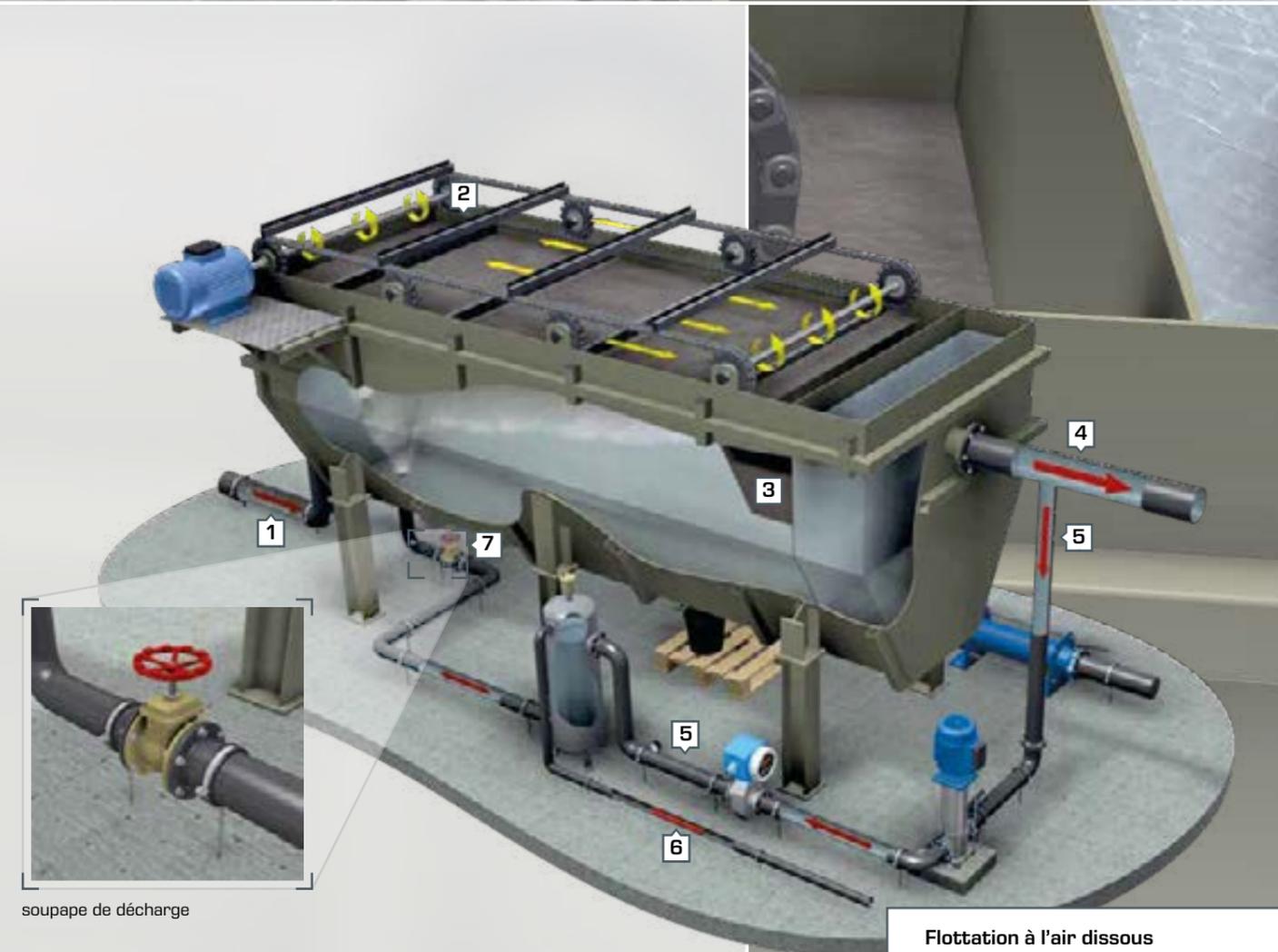
Lors de la filtration, les matières solides sont retenues par des éléments filtrants poreux. Une filtration efficace implique que l'élément filtrant soit perméable à la phase liquide (eau), mais qu'il ne laisse pas passer les matières solides. L'efficacité de cet étage d'épuration dépend donc du rapport entre la taille des particules des matières solides et la taille des pores de l'élément filtrant. On fait en général la distinction entre filtration en surface et filtration en profondeur.

Lors de la **filtration en surface**, les matières solides ne pénètrent pas à l'intérieur de l'élément filtrant mais sont retenues à sa surface (effet de tamisage). À l'inverse, lors de la **filtration en profondeur**, les eaux usées entrent dans l'élément filtrant (par ex. lit fixe de sable ou gravier). Les matières solides sont retenues dans les pores entre les grains de sable tandis que l'eau passe sans encombre au travers du lit fixe (filtrat). Plus le lit fixe est chargé, plus la perte de charge est forte et plus le débit baisse. Un rinçage à contre-courant permet de nettoyer le lit fixe avec pour effet de réduire à nouveau la perte de charge.



## Filtre à sable

- 1 eaux usées (arrivée)
- 2 lit filtrant
- 3 filtrat (évacuation)



soupape de décharge

## Flottation

Les matières solides ayant une faible vitesse de sédimentation ne peuvent être séparées efficacement par sédimentation, étant donné que les réservoirs de sédimentation requis à cet effet doivent être de très grande taille. Les procédés de flottation représentent dans ce cas une alternative judicieuse. Le principe de base est toujours le même: des bulles de gaz se collent aux matières solides par le bas et les entraînent ainsi vers la surface de l'eau. Les matières solides flottant à la surface de l'eau peuvent alors être retirées à l'aide de racleurs spéciaux. La manière dont sont générées les bulles de gaz est ce qui distingue les procédés de flottation entre eux.

Dans le domaine du traitement de l'eau, la flottation à l'air dissous est le procédé de flottation le plus fréquemment utilisé. Il consiste à saturer en air, sous pression, une partie d'écoulement de l'eau épurée. L'eau saturée en air est alors réacheminée vers la zone d'entrée du bassin de flottation (circulation). Une soupape de décharge se trouve devant l'entrée du bassin de flottation, ce qui permet une détente soudaine de l'eau à la pression atmosphérique. Sous l'effet de cette détente, l'air dissous se libère sous la forme de toutes petites bulles.

## Flottation à l'air dissous

- 1 eaux usées
- 2 dispositif d'évacuation des boues
- 3 boues séparées
- 4 eau épurée
- 5 circulation
- 6 air comprimé
- 7 soupape de décharge

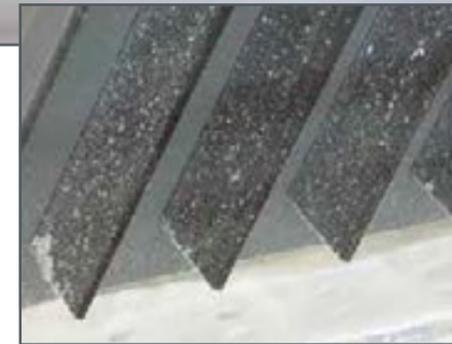
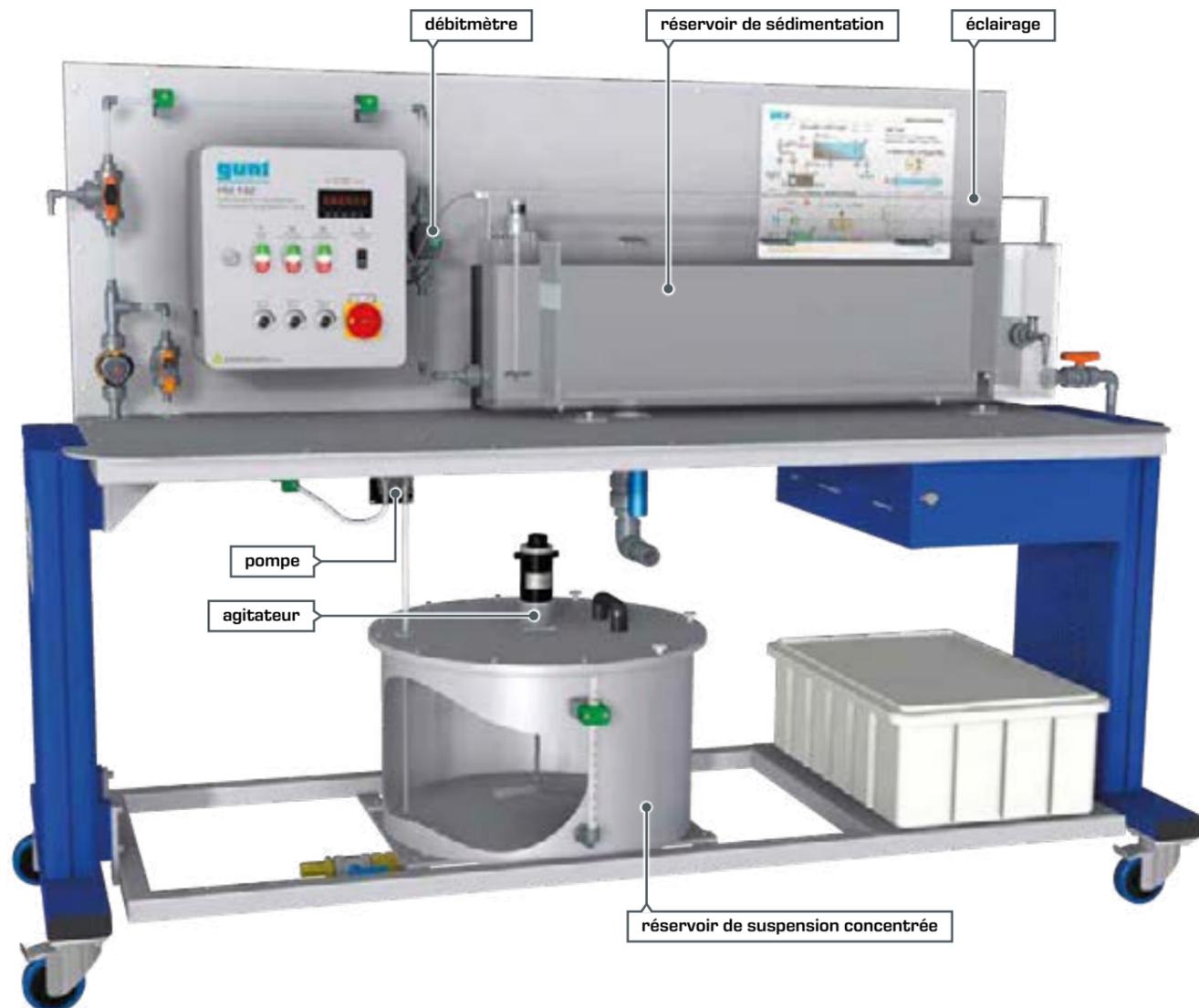
## HM 142 Séparation dans les réservoirs de sédimentation

La sédimentation est la méthode la plus simple pour séparer des particules de matière solide d'une phase liquide. C'est pourquoi ce procédé est très couramment utilisé pour le traitement de l'eau. Cet appareil permet d'expliquer de manière très parlante les principes de base de ce procédé de séparation. L'accent porte essentiellement sur la détermination de la charge de surface hydraulique maximale.

Nous avons accordé une grande importance à l'observation visuelle du processus de sédimentation. C'est pourquoi nous avons surtout utilisé des matériaux transparents. Et nous avons en plus équipé le réservoir de sédimentation d'un éclairage.

L'eau brute est produite en mélangeant une suspension concentrée avec de l'eau fraîche. Selon le rapport de mélange, on obtient ainsi une eau brute ayant la concentration de matières solides que l'on souhaite. Un agitateur situé dans la zone d'entrée du réservoir de sédimentation empêche toute sédimentation des matières solides avant leur entrée dans la section d'essai. Le niveau d'eau du réservoir de sédimentation est ajustable en continu.

Une unité de lamelles vient compléter l'appareil. L'unité de lamelles peut être placée si souhaité dans le réservoir de sédimentation. On a le choix entre des lamelles blanches ou noires, en fonction de la couleur des particules de saleté utilisées.



L'utilisation de matériaux transparents et d'un éclairage permettent une observation optimale du processus de sédimentation et des conditions d'écoulement.



Utilisation possible d'une unité de lamelles

Sur le produit:



🎓	Contenu didactique
■	principe de base de la séparation de matières solides de suspensions dans un réservoir de sédimentation
■	détermination de la charge superficielle hydraulique
■	influence des paramètres suivants sur le processus de séparation: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ concentration de matières solides</li> <li>▶ débit</li> <li>▶ vitesse d'écoulement à l'entrée</li> <li>▶ niveau d'eau dans le réservoir de sédimentation</li> </ul>
■	étude des conditions d'écoulement
■	influence des lamelles sur le processus de sédimentation

## CE 587 Flottation à l'air dissous

### Élimination de matières solides par sustentation

À côté de la sédimentation, la flottation représente un autre procédé souvent utilisé pour séparer les matières solides dans le cadre du traitement de l'eau. Parmi les procédés de flottation, la flottation à l'air dissous est celui le plus fréquemment utilisé.

### Des essais en lien étroit avec la pratique

Notre appareil didactique CE 587 vous permet d'étudier tous les aspects importants de ce procédé. Afin d'assurer un lien étroit avec la pratique, nous nous sommes efforcés d'être le plus près possibles de la réalité lorsque nous avons développé cet appareil.

L'appareil est constitué d'une unité d'alimentation et d'un banc d'essai. L'eau brute est tout d'abord prétraitée par floculation. Les flocons du bassin de flottation remontent ensuite à la surface de l'eau sous l'action de petites bulles d'air. Vous pouvez ensuite éliminer les résidus de flottation présents à la surface de l'eau à l'aide d'un racleur électrique. Nombre des composants utilisés ici, comme par exemple les capteurs de débit électromagnétiques ou les pompes de dosage, le sont également dans les installations industrielles. L'utilisation de matériaux transparents vous permet une observation optimale des étapes du processus.



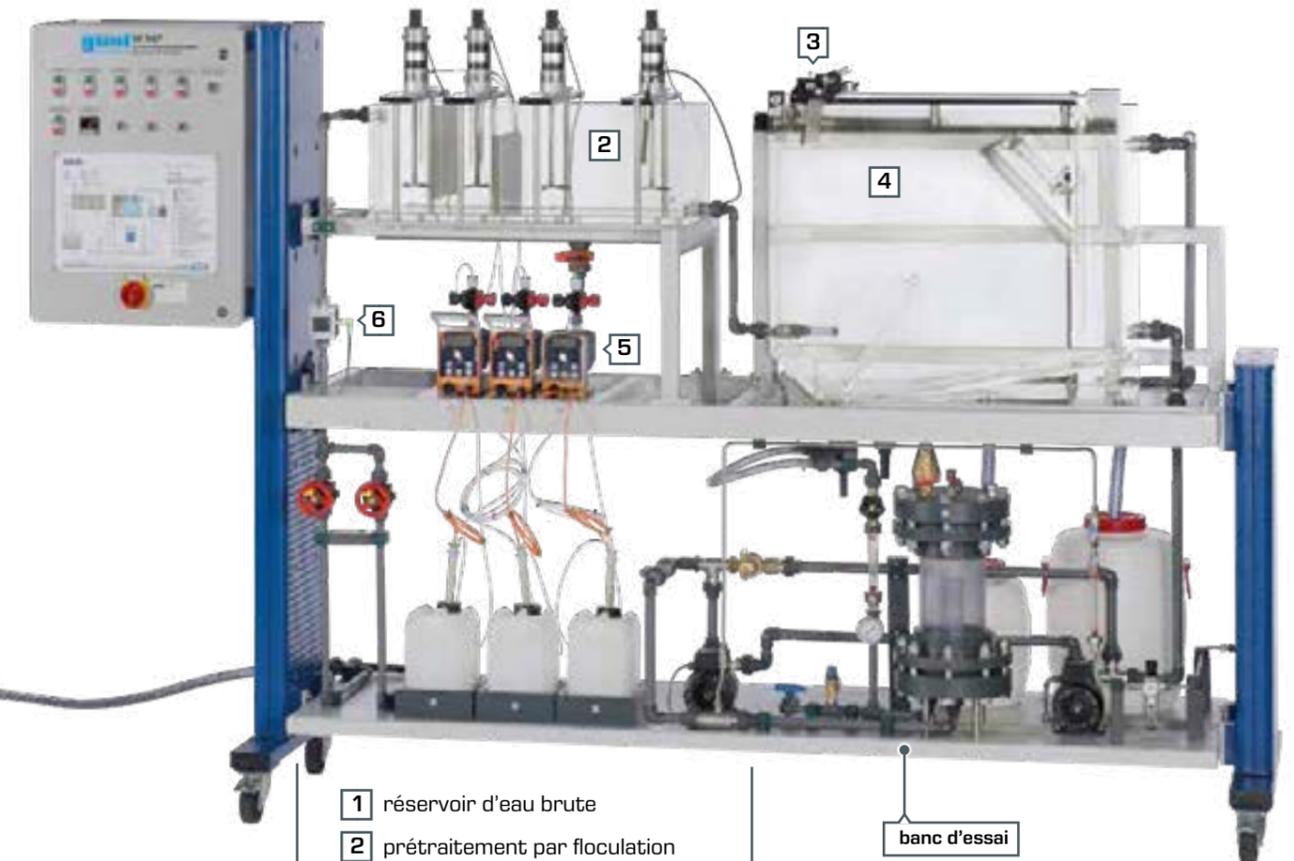
Comme sur les installations industrielles de flottation, le CE 587 est lui aussi équipé d'un racleur électrique qui élimine les matières solides de la surface de l'eau.



Standard chez GUNT: utilisation de composants industriels de qualité, comme par exemple les pompes de dosage professionnelles

### Contenu didactique

- mode de fonctionnement de la flottation à l'air dissous
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- influence de la concentration du coagulant et du floculant
- détermination de la charge superficielle hydraulique (vitesse ascensionnelle)



- 1 réservoir d'eau brute
- 2 prétraitement par floculation
- 3 racleur électrique
- 4 bassin de flottation
- 5 pompes de dosage
- 6 débitmètre électromagnétique

banc d'essai

Sur le produit:



## CE 588 Démonstration de la flottation à l'air dissous

### La flottation à l'air dissous démontrée de manière claire

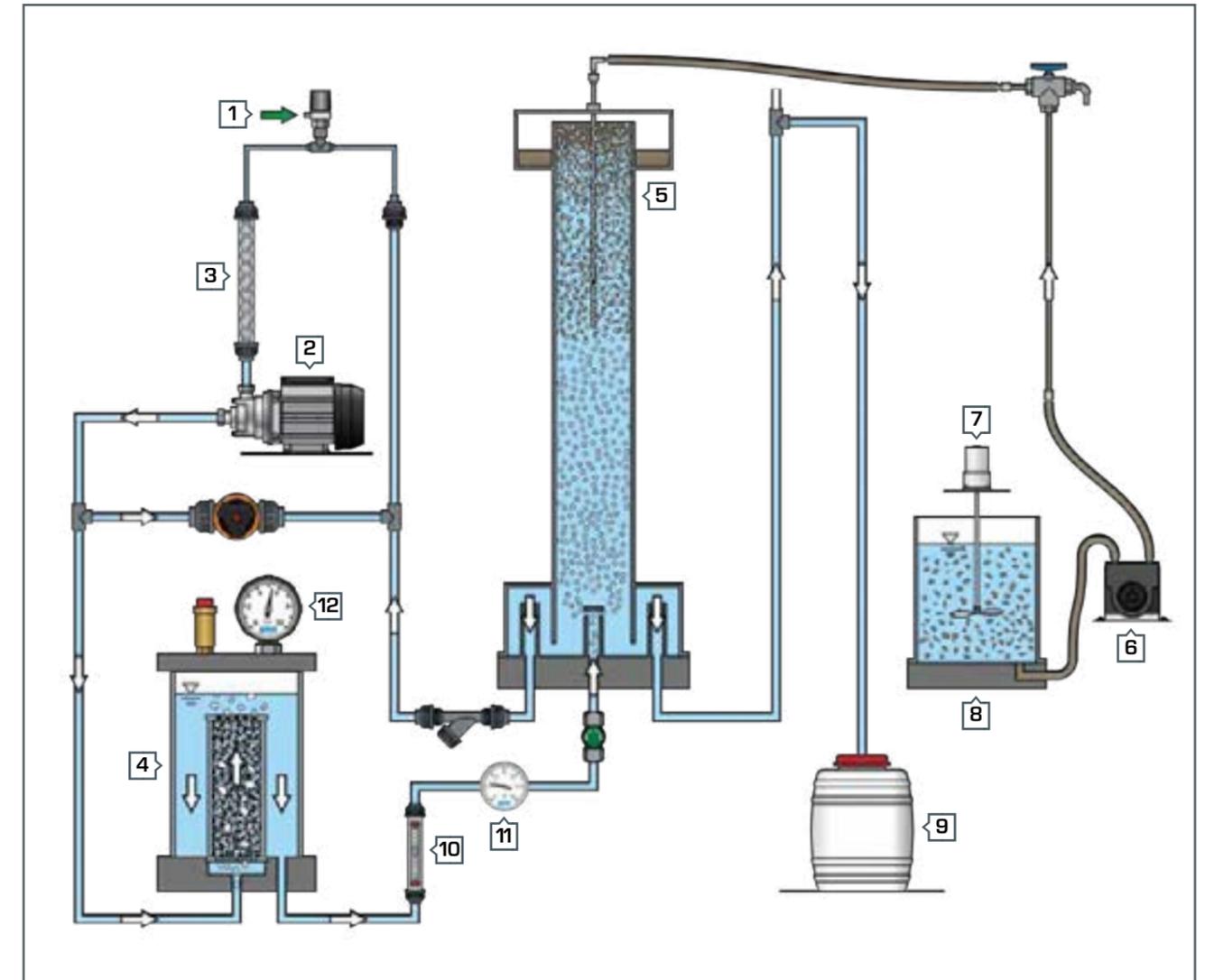
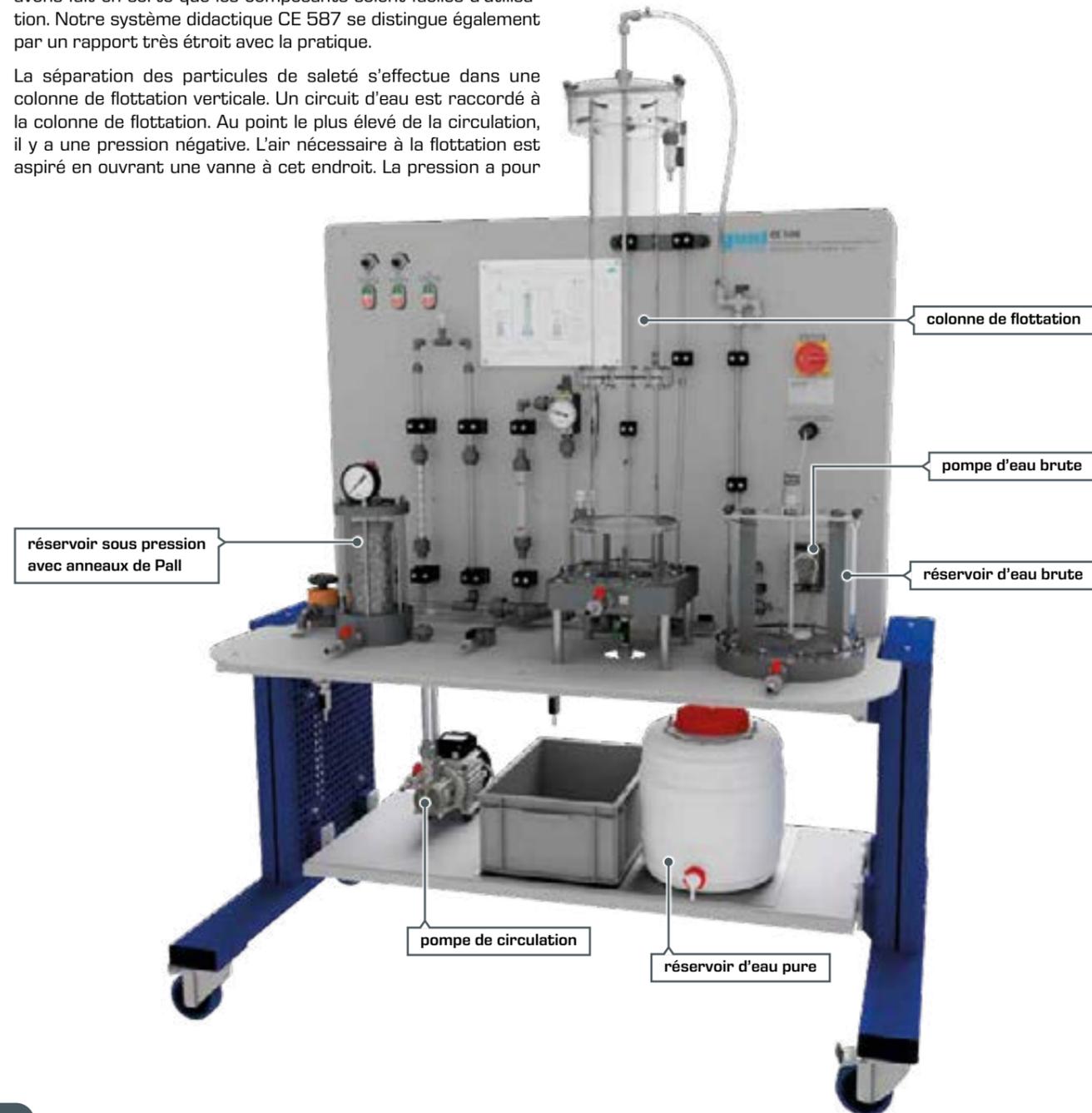
Lors de la flottation, les matières solides à séparer sont transportées jusqu'à la surface de l'eau par l'intermédiaire de petites bulles de gaz. Le procédé le plus fréquemment utilisé est ce que l'on appelle la flottation à l'air dissous. Ce procédé repose sur le fait que la solubilité de l'air dans l'eau augmente lorsque la pression augmente.

Ce banc d'essai compact porte l'accent sur le mode opératoire général et la visualisation du processus. C'est pourquoi nous avons intégré essentiellement des matériaux transparents et avons fait en sorte que les composants soient faciles d'utilisation. Notre système didactique CE 587 se distingue également par un rapport très étroit avec la pratique.

La séparation des particules de saleté s'effectue dans une colonne de flottation verticale. Un circuit d'eau est raccordé à la colonne de flottation. Au point le plus élevé de la circulation, il y a une pression négative. L'air nécessaire à la flottation est aspiré en ouvrant une vanne à cet endroit. La pression a pour

effet de dissoudre l'air dans l'eau; puis une fois détendu, l'air s'échappe sous forme de petites bulles dans la partie inférieure de la colonne de flottation. Un réservoir sous pression rempli d'anneaux de Pall assure une durée de séjour de l'air suffisante pour sa dissolution, et la séparation de l'air non dissous avant l'entrée dans la colonne de flottation.

Vous recevrez bien entendu avec cet appareil une documentation didactique exhaustive qui vous permettra de vous familiariser rapidement à son utilisation.



- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 air                     | 7 agitateur             |
| 2 pompe de circulation    | 8 réservoir d'eau brute |
| 3 mélangeur statique      | 9 réservoir d'eau pure  |
| 4 réservoir sous pression | 10 débitmètre           |
| 5 colonne de flottation   | 11 thermomètre          |
| 6 pompe d'eau brute       | 12 manomètre            |

#### Contenu didactique

- mode opératoire de la flottation à l'air dissous
- dissolution des gaz dans les liquides:
  - loi de Henry
  - loi de Dalton

Sur le produit:



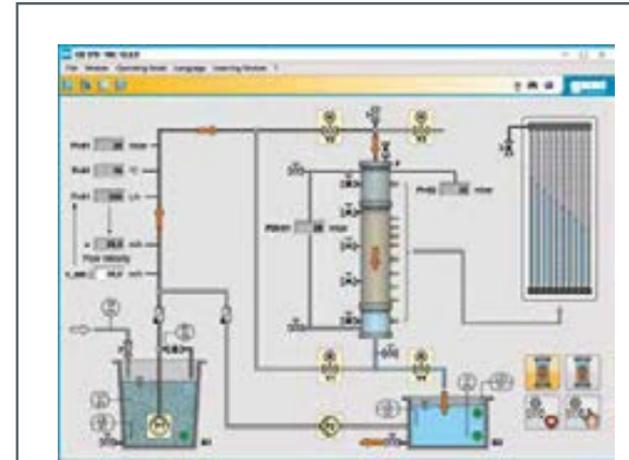
## CE 579 Filtration en profondeur

### Filtration en profondeur: une étape incontournable du traitement de l'eau

La filtration en profondeur représente une étape importante et souvent utilisée dans les procédés de traitement de l'eau. C'est pourquoi l'acquisition de connaissances solides sur le principe de fonctionnement et les particularités de ce procédé représente un élément important de la formation des futurs ingénieurs et techniciens.

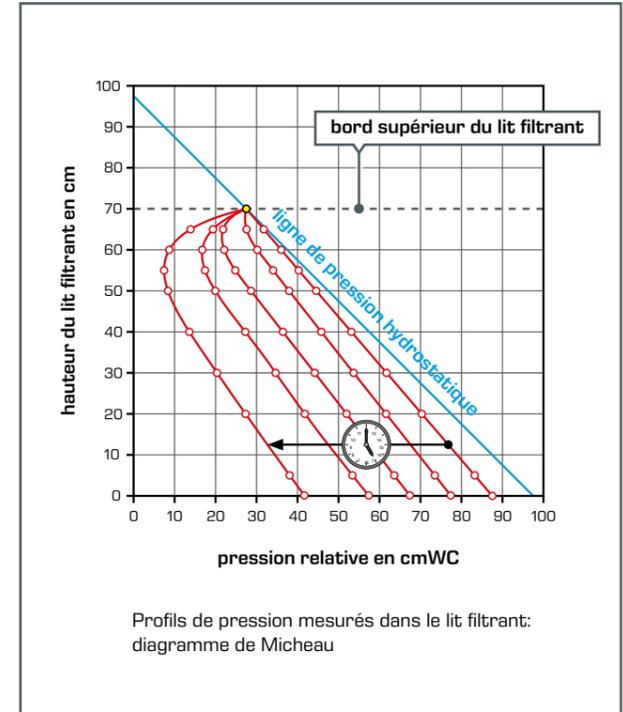
D'un point de vue didactique est centré sur l'étude des rapports de pression. Pour mesurer les pressions, le filtre est équipé d'un système de mesure de la pression différentielle et comporte de nombreux points de mesure le long du lit filtrant.

Ces points de mesure peuvent être reliés à un tableau des manomètres afin de bien visualiser les rapports de pression dans le lit filtrant et de les mesurer de manière très précise. L'utilisation d'un tube filtrant transparent permet d'observer aussi de visu le chargement progressif du lit filtrant. Si nécessaire, il est possible de procéder à un rinçage à contre-courant du filtre.



#### Logiciel

Le logiciel bien conçu du CE 579 affiche en continu les valeurs de toutes les grandeurs du processus importantes. Vous avez bien entendu la possibilité d'enregistrer les valeurs de mesure pour l'exploitation. Selon le mode sélectionné (filtration ou rinçage à contre-courant), le logiciel ajuste des robinets électriques sur la position correspondante.



Robinet électrique



Convertisseurs de fréquence pour contrôler les pompes



Connexions sur le tableau des manomètres pour mesurer le cours de la pression dans le lit filtrant

#### Contenu didactique

- conditions de pression dans un filtre
- facteurs influençant la perte de pression (loi de Darcy)
  - ▶ débit
  - ▶ hauteur du lit filtrant
  - ▶ perméabilité du lit filtrant
- déterminer la pression dans le lit filtrant (diagramme de Michéou)
- rinçage à contre-courant du filtres
  - ▶ observer le processus de fluidisation
  - ▶ déterminer l'expansion du lit filtrant
  - ▶ déterminer la vitesse d'écoulement nécessaire (vitesse de fluidisation)

Sur le produit:



## Connaissances de base

## Traitement biologique de l'eau

## Nettoyage des eaux usées par les micro-organismes

L'épuration biologique des eaux usées a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables. Cette élimination est confiée à des micro-organismes utilisant les matières organiques comme nutriments. Cette dégradation biologique entraîne donc une transformation de matière. Il s'agit là d'un avantage important des procédés biologiques par rapport à d'autres procédés. Ainsi, lors de l'adsorption, les matières à éliminer ne font que se déplacer des eaux usées vers l'adsorbant (transport de matière). La dégradation biologique peut se dérouler dans des conditions aérobies ou anaérobies. Il existe toute une série de procédés pour mettre en contact les eaux usées à nettoyer avec les micro-organismes (biomasse). Indépendamment du fait que la dégradation soit aérobie ou anaérobie, on distingue les deux principes de base suivants:

## Biomasse en suspension

La biomasse se présente sous la forme de petits flocons (boues activées). Les boues activées sont en suspension dans les eaux usées.

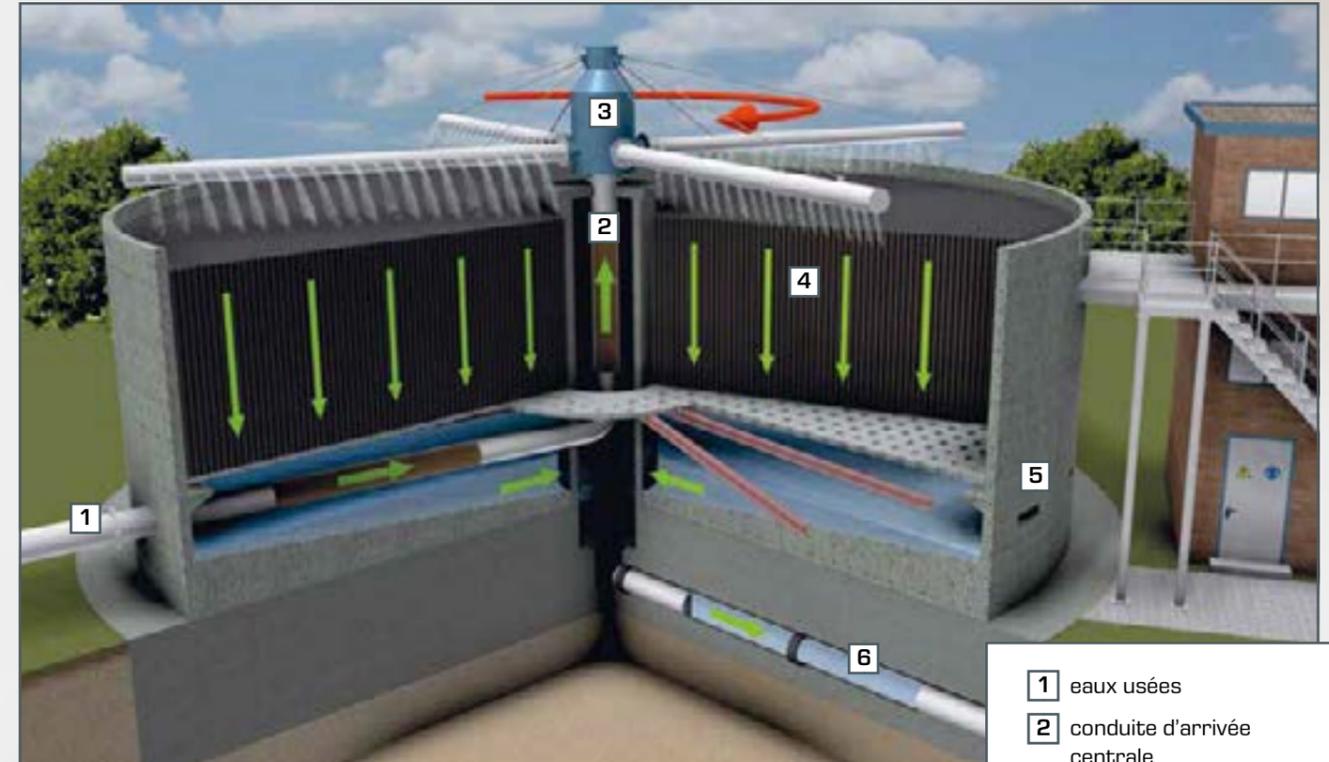
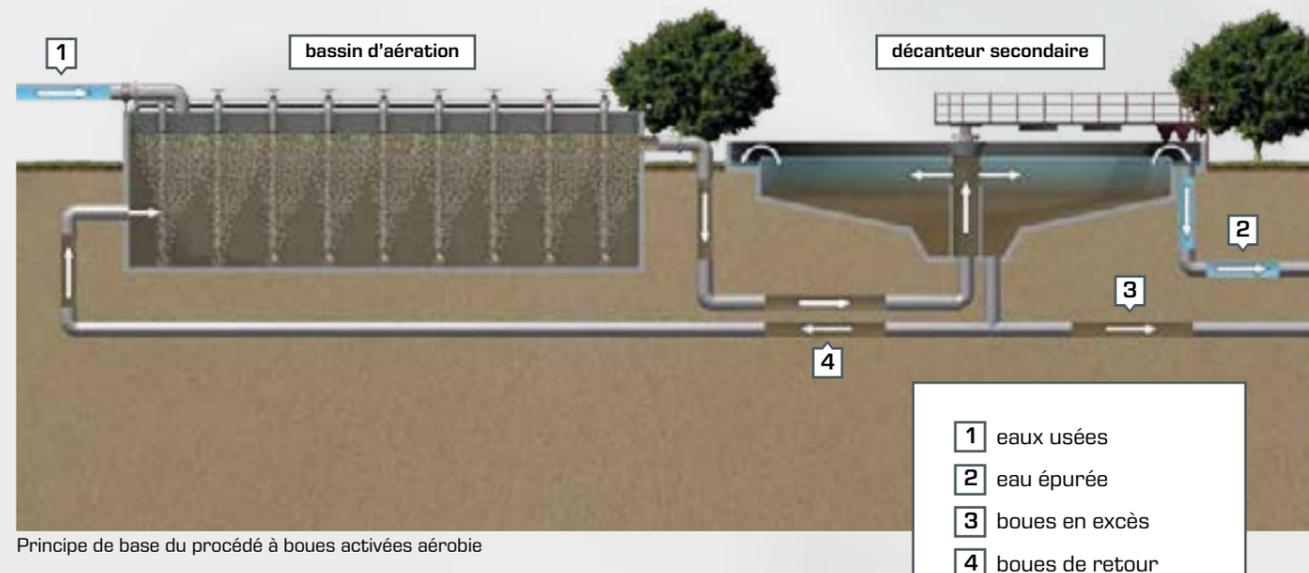
## Biomasse fixe

La biomasse est fixée sous la forme d'un biofilm à la surface de corps solides. Les eaux usées ruissellent en couche fine sur le biofilm.

## Procédé à boues activées aérobie

Le procédé à boues activées aérobie est le procédé d'épuration biologique des eaux usées le plus couramment utilisé. La biomasse se trouve sous la forme de boues activées en suspension dans le bassin d'aération qui est traversé en continu par des eaux usées. C'est ici aussi qu'a lieu l'aération des eaux usées, laquelle assure l'alimentation en oxygène des micro-organismes. De la biomasse (boues activées) quitte également en continu

le bassin d'aération avec l'écoulement des eaux usées. C'est pourquoi ces boues activées doivent ensuite être séparées des eaux usées épurées dans un décanteur secondaire (en général par sédimentation). Une partie de ces boues est réacheminée jusqu'au bassin d'aération (boues de retour). La partie qui n'est pas réintroduite est appelée boues en excès et constitue un résidu de ce procédé.



Construction et fonctionnement d'un lit bactérien

- 1 eaux usées
- 2 conduite d'arrivée centrale
- 3 tourniquet d'arrosage automatique
- 4 lit fixe avec biofilm
- 5 ouvertures d'aération
- 6 eau épurée

## Lits bactériens

Les lits bactériens font partie des procédés à biofilm aérobie. Un tourniquet d'arrosage automatique épand de manière homogène les eaux usées sur un lit fixe. Le lit fixe est constitué d'une matière support spéciale à la surface de laquelle se forme une fine couche de micro-organismes (biofilm). La purification biologique des eaux usées a lieu pendant leur ruissellement au travers du lit fixe. Les lits bactériens sont pour la plupart de type ouvert et disposent d'ouvertures latérales en dessous du lit fixe. Cela permet d'obtenir une aération par convection naturelle (effet de cheminée). Il n'est donc pas nécessaire d'avoir recours à une aération artificielle coûteuse en énergie, comme c'est le cas par exemple pour le procédé à boues activées.

## Procédés anaérobies

Les procédés anaérobies sont particulièrement adaptés aux eaux usées industrielles souvent très chargées en matières organiques (par ex. industrie alimentaire). On dispose ici d'une grande variété de procédés et de types de réacteurs différents. Du biogaz constitué essentiellement de méthane se forme durant la dégradation des matières organiques dans des conditions anaérobies. Ce biogaz peut être par exemple utilisé pour produire de l'électricité dans des centrales de cogénération. Il s'agit ici d'un aspect secondaire positif de l'épuration anaérobie des eaux usées, qui met également en évidence le lien étroit entre les questions d'énergie et d'environnement.

## CE 705 Procédé à boues activées

### La station d'épuration à l'échelle du laboratoire

Le procédé à boues activées aérobie est le procédé biologique le plus utilisé au monde dans les stations d'épuration. Les futurs spécialistes en ingénierie de l'environnement doivent donc impérativement disposer des connaissances solides sur ce procédé.

Cet appareil a été développé par des ingénieurs expérimentés pour expliquer d'une manière claire et pratique les processus complexes de ce procédé en fonctionnement continu. L'appareil est conçu pour l'élimination du carbone et de l'azote. L'élimination de l'azote se fait par nitrification et dénitrification en amont. Le bassin d'aération est divisé à cet effet en deux zones: l'une aérobie, l'autre anoxique.

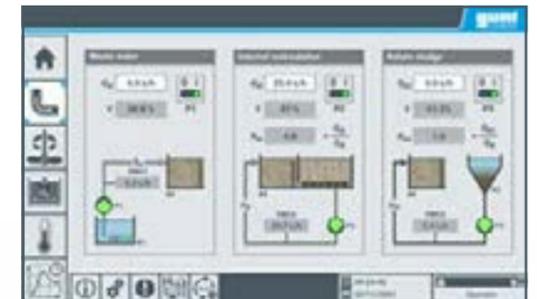
L'appareil est constitué d'une unité d'alimentation séparée avec un grand réservoir pour les eaux usées, et d'un banc d'essai. Tous les composants requis pour le processus se trouvent sur le banc d'essai. Parmi eux figurent avant tout le bassin d'aération et le décanteur secondaire.

Vous pouvez régler tous les paramètres utiles du processus afin d'étudier leur influence sur le processus d'épuration. La commande du banc d'essai est effectuée avec un API intégré via écran tactile. Grâce à un routeur intégré, le banc d'essai peut être alternativement commandé et exploité par un dispositif terminal. L'interface utilisateur peut également être affichée sur des terminaux supplémentaires ("screen mirroring").

- station d'épuration à l'échelle du laboratoire
- mode de fonctionnement en continu
- nitrification
- dénitrification en amont
- commande de l'appareil par API intégrée
- un routeur intégré pour l'exploitation et le contrôle via un dispositif terminal et pour le "screen mirroring" sur des terminaux supplémentaires: PC, tablette, smartphone



Écran tactile: schéma de processus



Écran tactile: commande des pompes



Sur le produit:

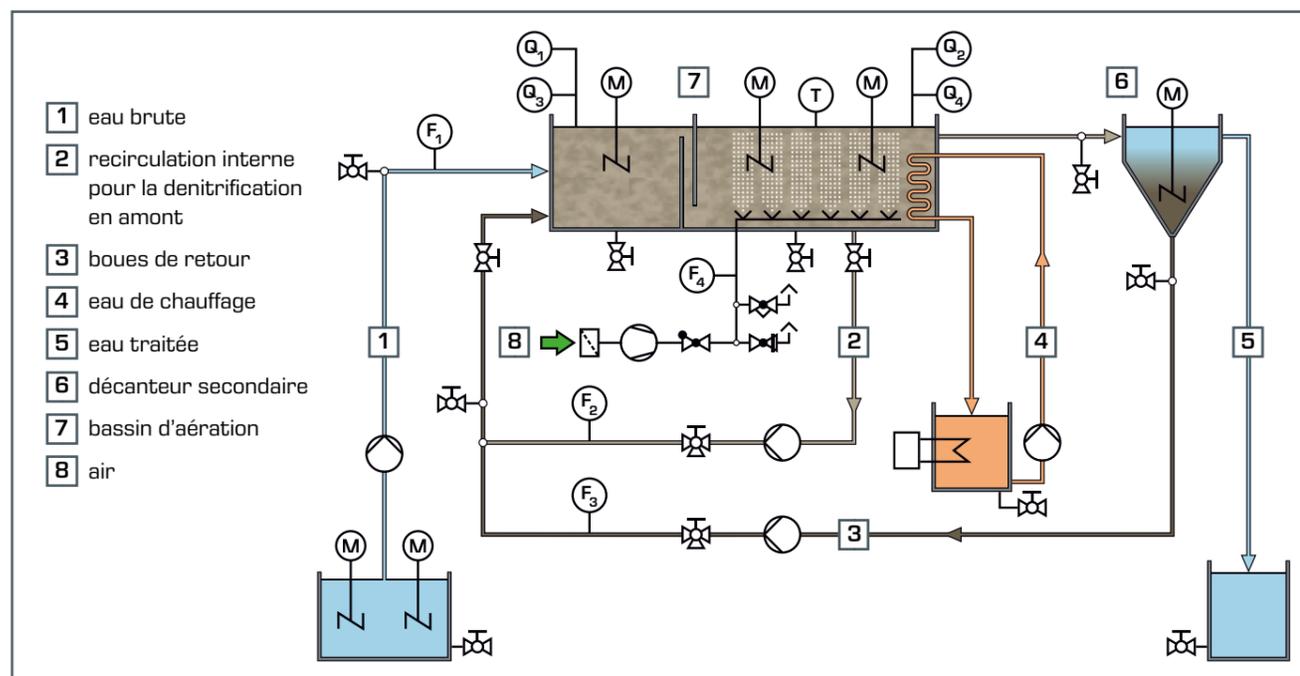


# CE 705 Procédé à boues activées

## Techniques de mesure et de régulation

Les processus complexes tels que le procédé à boues activées sont aujourd'hui en grande partie automatisés. Ce qui requiert l'utilisation de techniques modernes de mesure et régulation. Et cela demande aussi aux ingénieurs en environnement d'avoir au minimum des connaissances de base sur ce type de systèmes.

Afin de préparer les apprentis et les étudiants à ces exigences professionnelles, nous avons également tenu compte de cet aspect important lors du développement de l'appareil. C'est pourquoi le CE 705 est équipé de techniques très complètes de mesure et d'un API avec écran tactile.



## Matériel d'accompagnement didactique

Avec cet appareil, vous recevrez aussi bien entendu une documentation didactique exhaustive qui vous permettra de vous familiariser rapidement à son utilisation. Les fondements théoriques du procédé à boues activées sont en outre présentés de manière claire et détaillée.



## Mise en service et formation

Le CE 705 est utilisé avec succès par de nombreux établissements de formation à travers le monde. La mise en service ainsi que la formation du client sont assurées par le personnel compétent de GUNT. En plus de tester les produits fournis, le personnel forme le client à l'utilisation des appareils. Cela vous permet d'intégrer rapidement le système de formation à vos cours.

## Contenu didactique

- mode de fonctionnement de la nitrification et de la dénitrification en amont
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- identification des grandeurs influentes suivantes:
  - ▶ âge des boues
  - ▶ charge volumique
  - ▶ charge massique
  - ▶ taux de reflux de boues de retour
  - ▶ taux de reflux de recirculation interne (dénitrification)
- rendement de la dénitrification en amont
- influence des conditions ambiantes suivantes sur la dégradation biologique:
  - ▶ température
  - ▶ concentration d'oxygène

Grandeurs de mesure			(Auto)
débit	F <sub>1</sub>	eau brute	<input checked="" type="checkbox"/>
	F <sub>2</sub>	recirculation interne	<input checked="" type="checkbox"/>
	F <sub>3</sub>	boues de retour	<input checked="" type="checkbox"/>
	F <sub>4</sub>	aération	<input type="checkbox"/>
concentration d'oxygène	Q <sub>1</sub>	zone de dénitrification	<input type="checkbox"/>
	Q <sub>2</sub>	zone de nitrification	<input checked="" type="checkbox"/>
pH	Q <sub>3</sub>	zone de dénitrification	<input type="checkbox"/>
	Q <sub>4</sub>	zone de nitrification	<input type="checkbox"/>
température	T	zone de nitrification	<input checked="" type="checkbox"/>

(Auto) régulation

Sur le produit:



Après une mise en service et une formation réussie, un employé de chez GUNT remet le CE 705 à Madame Deininger, professeur et docteur en ingénierie, de l'école supérieure de Deggendorf (Allemagne).

TECHNISCHE HOCHSCHULE DEGGENDORF THD

École supérieur de Deggendorf, Allemagne  
Une formation moderne et orientée vers la pratique - à l'aide des systèmes didactiques de qualité GUNT

## CE 704 Procédé SBR – Sequencing Batch Reactor

### Épuration discontinue des eaux usées

Lors du procédé à boues activées continu classique, les différentes étapes du processus d'épuration biologique ont lieu en même temps à des endroits différents. Les étapes de processus du procédé SBR ont lieu au contraire de manière successive dans un seul bassin. L'épuration des eaux usées n'a donc pas lieu de manière continue mais bien discontinue. C'est pourquoi ce type de réacteur est appelé Sequencing Batch Reactor (SBR).

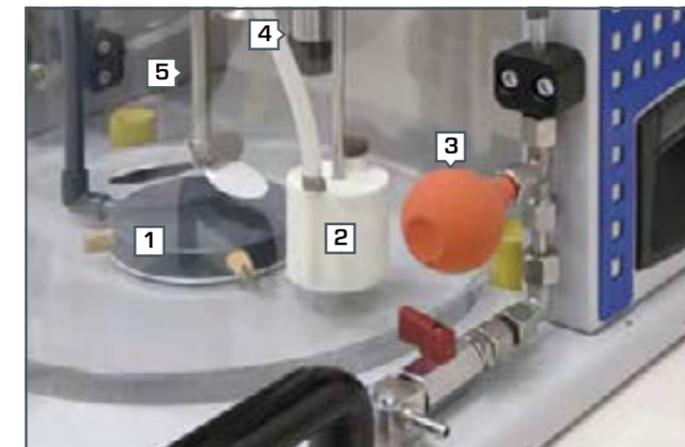
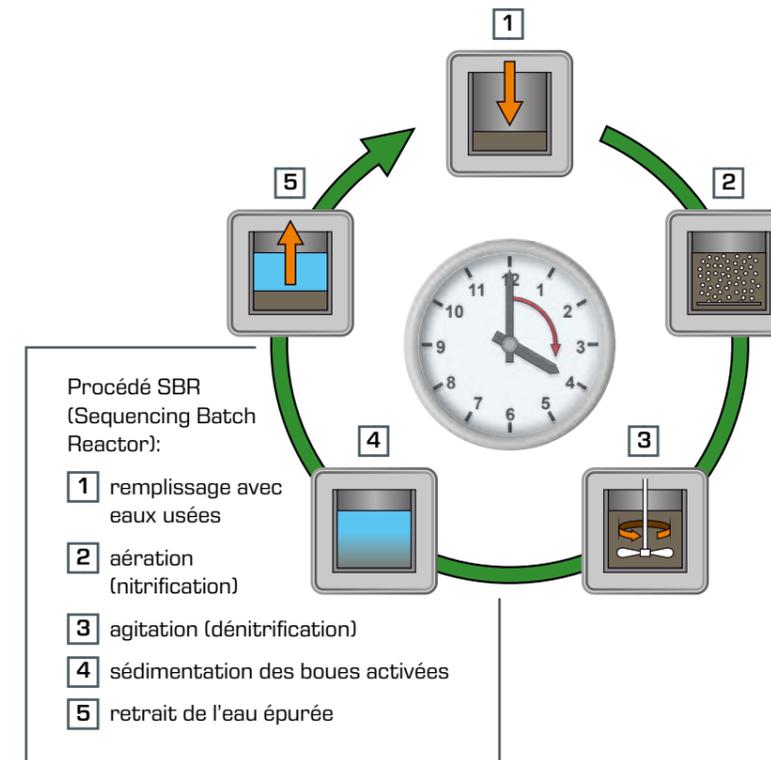
Au début d'un cycle, on remplit le réacteur d'eaux usées. Suivent les phases d'agitation et d'aération. Cela permet d'obtenir le milieu requis pour l'étape correspondante du processus. Après un temps défini, on éteint tous les agitateurs ainsi que l'aération. Cela fait sédimenter les boues activées au fond du réacteur. Une fois la phase de sédimentation terminée, les eaux usées nettoyées sont transportées hors du réacteur pour permettre le démarrage d'un nouveau cycle. La durée et l'ordre des différentes phases peut varier d'un cycle à l'autre. Seules la sédimentation des boues activées et le retrait de l'eau épurée ont toujours forcément lieu à la fin du cycle.

Cet appareil didactique sert à assimiler de manière pratique les principes de base du procédé SBR. Le réacteur constitue le composant principal de l'appareil; il est équipé d'un agitateur et d'un dispositif d'aération. L'agitateur garantit un mélange suffisant du contenu du réacteur même lors des phases sans aération (dénitrification).

Des programmeurs permettent d'ajuster les phases d'aération et les phases de mélange. La concentration d'oxygène, la valeur du pH et la température du réacteur sont enregistrées. Un régulateur numérique de processus indique les valeurs de mesure et la vitesse de rotation de l'agitateur. Le régulateur de processus sert également à régler la concentration d'oxygène durant la phase d'aération. Le régulateur de processus dispose d'une commande très conviviale par écran tactile.



Sur le produit:



- 1 dispositif d'aération
- 2 dispositif flottant pour retrait de l'eau claire
- 3 balle d'aspiration pour retrait de l'eau claire
- 4 capteur d'oxygène
- 5 agitateur



Régulateur numérique de processus indiquant les valeurs de processus et permettant la régulation de la concentration d'oxygène

### Contenu didactique

- mode opératoire du procédé SBR
- élimination de l'azote par nitrification et dénitrification
- influence de la forme du cycle sur le résultat de l'épuration
- enregistrement et interprétation des courbes de concentration dans le temps
- détermination des taux de rendement
- propriétés de sédimentation des boues activées

# CE 701

## Procédé à biofilm – Lits bactériens à l'échelle du laboratoire

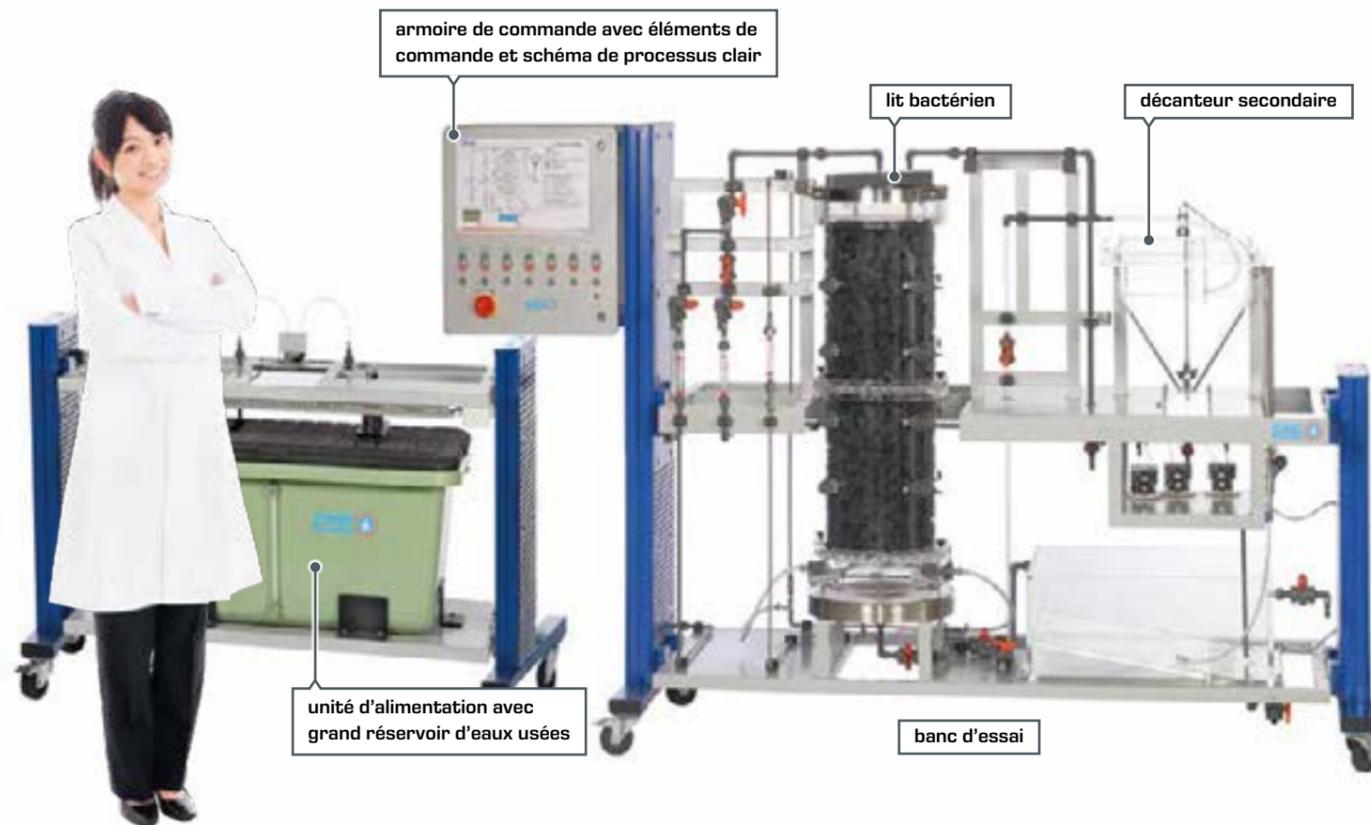
### Les lits bactériens: un procédé à biofilm aérobique

Bien que les lits bactériens comptent parmi les procédés biologiques d'épuration des eaux usées les plus anciens, ils sont encore beaucoup utilisés aujourd'hui. C'est pourquoi le procédé des lits bactériens fait aujourd'hui comme hier partie intégrante des programmes de formation sur le traitement de l'eau.

Le lit bactérien du CE 701 est conçu pour l'élimination du carbone et la nitrification. Une tête d'arrosage automatique épand de manière homogène les eaux usées à épurer sur le lit fixe. Vous pouvez ajuster en continu la vitesse de rotation de la tête d'arrosage automatique. Pour le lit fixe, vous disposez de deux types de corps de remplissage différents en PEHD. Les corps de remplissage se distinguent de par leur surface spécifique.

Le lit bactérien CE 701 dispose d'ouvertures d'aération en dessous du lit fixe. Cela permet une aération par convection naturelle. En cas de besoin, vous pouvez aussi fermer ces ouvertures d'aération, afin d'aérer le lit bactérien de manière artificielle au moyen d'un compresseur.

La documentation didactique présente de manière détaillée les fondements et les caractéristiques des dispositifs de lit bactérien. La description détaillée de l'appareil et des essais vous permet d'intégrer rapidement ce système didactique à vos cours.



Tête d'arrosage automatique sur le haut du lit bactérien avec ajustage en continu de la vitesse de rotation

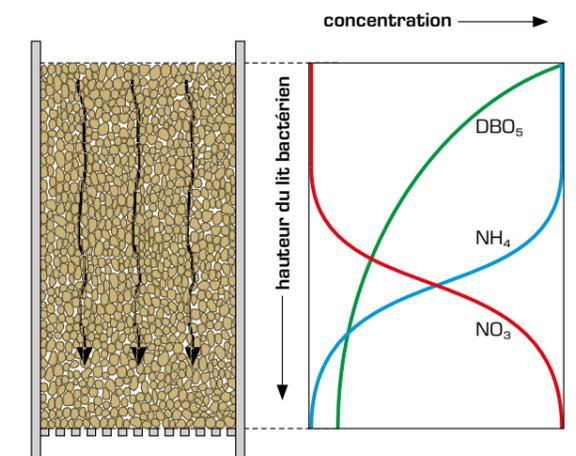


Point de prélèvement à l'intérieur du lit bactérien



### Profils de concentration

Des points de prélèvement sont disposés à l'intérieur du lit fixe. Cela vous permet de déterminer les profils de concentration caractéristiques du DBO<sub>5</sub>, de l'ammonium et du nitrate pour les lits bactériens.



Profils de concentration typiques du DBO<sub>5</sub>, de l'ammonium (NH<sub>4</sub>) et du nitrate (NO<sub>3</sub>) dans un lit bactérien

### Contenu didactique

- mode de fonctionnement d'un lit bactérien
- enregistrement des profils de concentration
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- identification des grandeurs influentes suivantes
  - ▶ débit de recirculation
  - ▶ charge volumique du lit bactérien
  - ▶ charge superficielle du lit bactérien
- comparaison des différents corps de remplissage

Sur le produit:

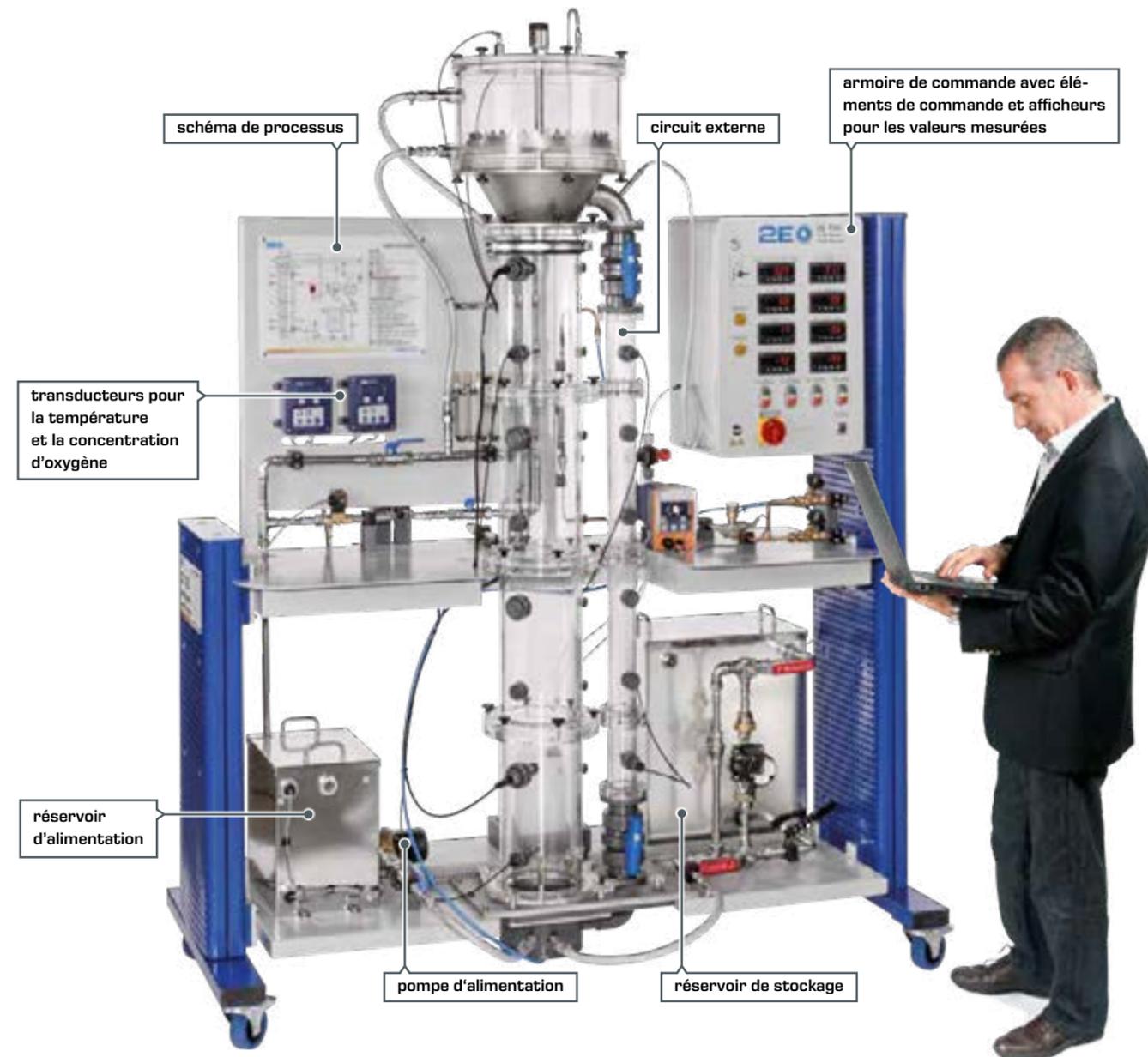


## CE 730 Réacteur airlift

### Bioréacteurs puissants

L'alimentation en oxygène des micro-organismes (biomasse) joue un rôle central dans l'efficacité d'un bioréacteur aérobique. Le mélange homogène du contenu dans le réacteur représente un autre aspect important. Les réacteurs airlift répondent particulièrement bien à ces deux exigences.

Dans un réacteur airlift, le mélange se fait exclusivement par le biais de l'aération qui est de toute façon requise. Aucune pièce mécanique mobile (par ex. agitateurs) n'est requise. La retenue de la biomasse dans le réacteur, condition nécessaire pour un fonctionnement efficace, est assurée par une circulation. Les réacteurs airlift sont utilisés en biotechnologie ainsi que pour l'épuration biologique des eaux usées.

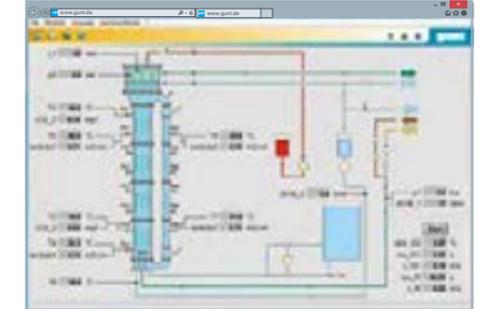


### Réacteur airlift CE 730

L'accent didactique du CE 730 porte sur le principe et le mode de fonctionnement d'un réacteur airlift. Ce qui inclut la libération d'oxygène dans la phase liquide (eau) et la détermination des conditions d'écoulement dans le réacteur.

Au cœur du banc d'essai, on trouve le réacteur airlift avec un circuit externe. Différents types de distributeurs sont à votre disposition pour l'aération du réacteur. Cela permet d'étudier l'influence de la taille des bulles sur le transfert de masse. Deux points de mesure de la conductivité se trouvent sur la circulation, à des intervalles définis. L'ajout d'une solution saline entraîne, aux deux points de mesure, une augmentation soudaine (pic) et décalée dans le temps de la conductivité. Il est possible de déterminer la vitesse d'écoulement dans le réacteur à l'aide de ce décalage temporel entre les deux pics et de la distance qui sépare les points de mesure.

Réacteur airlift dans l'opération de test



### Logiciel

Le logiciel bien conçu du CE 730 affiche en continu les valeurs de toutes les grandeurs du processus importantes. Vous avez bien entendu la possibilité d'enregistrer les valeurs de mesure pour l'exploitation.



Distributeurs divers pour l'aération du réacteur

### Contenu didactique

- influence de la vitesse du gaz dans le tube vide:
  - ▶ teneur en gaz
  - ▶ coefficient de transfert de masse
  - ▶ temps de mélange
  - ▶ vitesse du liquide dans le tube vide

Sur le produit:



# CE 702

## Traitement anaérobie de l'eau



Les procédés anaérobies sont essentiellement utilisés pour les eaux usées très chargées en matières organiques, comme c'est le cas par exemple dans l'industrie alimentaire.

Avec notre appareil didactique CE 702, vous disposez de deux procédés différents. D'un côté, le procédé à boues activées anaérobie, de l'autre le procédé UASB. Les deux procédés peuvent être installés soit séparément (1 étape) soit en série (2 étapes). Vous disposez ainsi de trois modes de fonctionnement différents. L'appareil dispose en outre de techniques de mesure et régulation très complètes, ainsi que d'un logiciel.

Vous recevrez bien entendu avec cet appareil une documentation didactique exhaustive qui vous permettra de vous familiariser rapidement à son utilisation. Les fondements théoriques de l'épuration anaérobie des eaux usées sont en outre présentés de manière claire et détaillée.

Le mode de fonctionnement à deux niveaux vous permet de régler le pH et la température aux deux niveaux, indépendamment l'un de l'autre. Ce type de procédure a fait ses preuves et a l'avantage de permettre un meilleur ajustement des conditions ambiantes aux différentes étapes de la dégradation. L'appareil est équipé de conduites de collecte des gaz, ce qui vous permet de prélever des échantillons de gaz sur le système à des fins d'analyse.

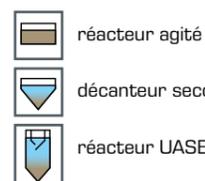
**Mode de fonctionnement 1  
(1 étape)**



**Mode de fonctionnement 2  
(1 étape)**



**Mode de fonctionnement 3  
(2 étapes)**



} procédé anaérobie  
à boues activées



Essai de fonctionnement réussi du réacteur UASB du CE 702 dans notre laboratoire

### Logiciel

Le logiciel du CE 702 indique en continu les températures et le pH dans les deux réacteurs. Cela vous permet d'obtenir à tout moment un aperçu rapide des conditions dans les réacteurs. Vous pouvez enregistrer les valeurs de mesure pour les analyser. Cela réduit les tâches de routine et permet de se concentrer sur la réalisation des essais.

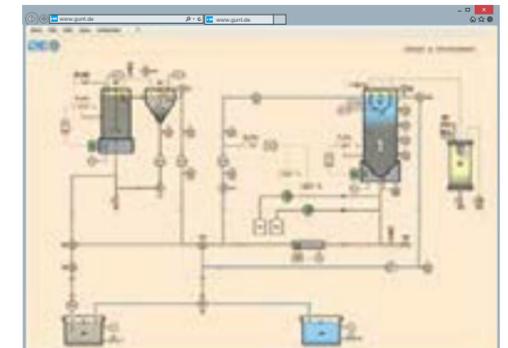
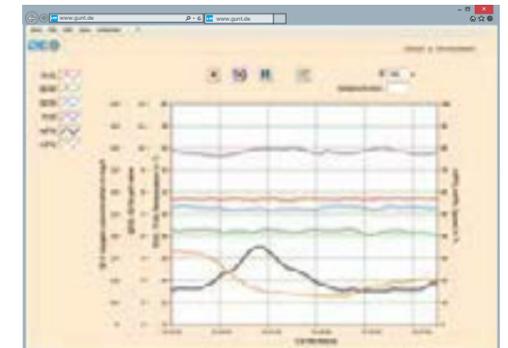


Schéma de processus avec affichage des valeurs de mesure



Affichage des valeurs de mesure en fonction du temps

### Contenu didactique

- influence de la température et du pH sur la dégradation anaérobie
- mode de fonctionnement d'un réacteur UASB
- comparaison entre les modes de fonctionnement en 1 et en 2 étapes
- observation et optimisation des conditions de fonctionnement
- identification des grandeurs influentes suivantes
  - ▶ charge massique
  - ▶ charge volumique
  - ▶ vitesse d'écoulement dans le réacteur UASB

Sur le produit:



## Connaissances de base

## Traitement physico-chimique de l'eau

## Domaine d'application des procédés physiques/chimiques

Les eaux usées industrielles contiennent souvent des matières inorganiques (par ex. des métaux lourds) ou organiques, qui ne sont pas biologiquement dégradables. Cela concerne de nombreux lixiviats de décharge et eaux souterraines contaminées. La mise en œuvre de procédés physiques/chimiques se prête à ces cas de figure. Ce domaine du traitement de l'eau compte une grande variété de procédés. Parmi les procédés les plus fréquemment utilisés, on peut citer les suivants:

Adsorption

Osmose inverse

Échange d'ions

Précipitation

Floculation

Procédé d'oxydation

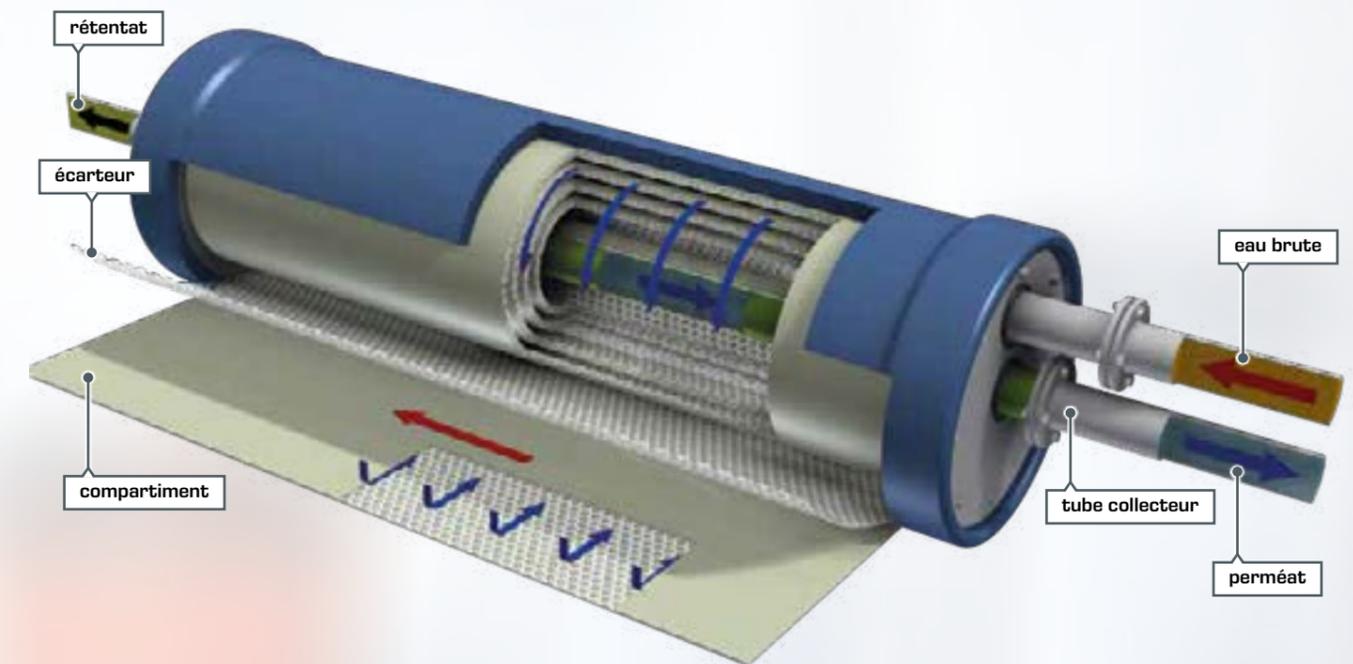


Adsorbants traversés en continu dans une station de traitement de l'eau

## Adsorption

Lors de l'adsorption, la matière à séparer (adsorbat) est liée à la surface d'un corps solide (adsorbant). Cette liaison peut s'effectuer physiquement ou chimiquement. L'adsorbant le plus couramment utilisé est le charbon actif en granules. Ce procédé permet de séparer de manière fiable de l'eau des composés toxiques tels que les hydrocarbures chlorés. Il s'agit de matières souvent présentes dans les lixiviats de décharge et les eaux souterraines contaminées.

L'adsorption se fait en général par le biais d'adsorbants qui sont traversés en continu. Ces adsorbants sont pourvus d'un lit fixe composé de granules de charbon actif. Au bout d'une certaine durée de fonctionnement, la concentration d'adsorbat dans d'autre d'une membrane l'évacuation d'un adsorbant se met à augmenter. Cet état est qualifié d'état de perçage. En relevant la concentration d'adsorbat dans l'évacuation d'un adsorbant en fonction du temps, on obtient ce que l'on appelle la courbe de perçage.



## Osmose inverse: procédé de séparation par membrane pour les plus hautes exigences

Le principe de base de l'osmose inverse est on ne peut plus simple. Il s'agit de contrecarrer la tendance à l'équilibre des concentrations de part et d'autre d'une membrane (osmose). On génère à cet effet une contre-pression, laquelle doit être au moins aussi élevée que la pression osmotique. L'eau s'écoule alors en direction de la baisse de concentration au travers de la membrane, si bien que la concentration augmente fortement d'un côté (rétentat) et continue de baisser de l'autre (perméat). Pour simplifier, on peut comparer l'osmose inverse à un processus de dilution.

Avec l'osmose inverse, même les matières dissoutes comme les ions peuvent être extraites de l'eau. Cela permet de produire de l'eau ultra-pure dont l'utilisation est requise dans de nombreux processus industriels sensibles dont notamment l'industrie pharmaceutique. Le dessalement de l'eau de mer est un autre domaine d'application.

On utilise pour l'osmose inverse ce que l'on appelle des modules à membrane spiralée. Leur particularité réside dans la membrane en forme de spirale enroulée autour d'un tube central. Étant donné la pression élevée du côté de l'arrivée, l'eau (perméat) traverse la membrane et s'écoule en spirale vers le tube collecteur central. Le flux partiel retenu par la membrane (rétentat) est conduit hors du module via un tube séparé.

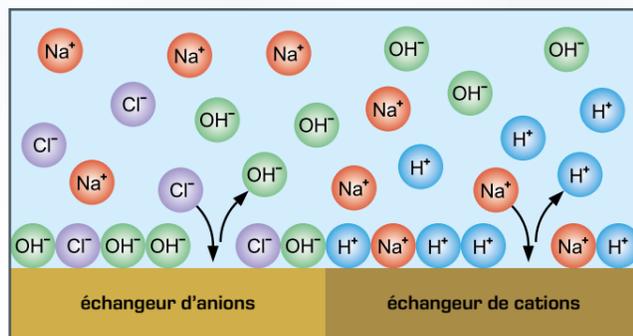
## Connaissances de base

## Traitement physico-chimique de l'eau

## Échange d'ions

L'échange d'ions est un procédé physico-chimique durant lequel une matière solide absorbe des ions d'un liquide et libère en échange une quantité équivalente d'ions de même charge dans le liquide. Si les ions échangés ont une charge positive (sodium  $\text{Na}^+$  par exemple), on parle d'échange de cations. A contrario, on parle d'échange d'anions lorsque les ions échangés sont chargés négativement (par ex. chlorure  $\text{Cl}^-$ ).

Les échangeurs d'ions sont utilisés essentiellement pour le dessalement et l'adoucissement. Les métaux lourds souvent contenus dans les effluents de l'industrie métallurgique peuvent être également éliminés par échange d'ions.



Dessalement par échange d'anions suivi d'un échange de cations

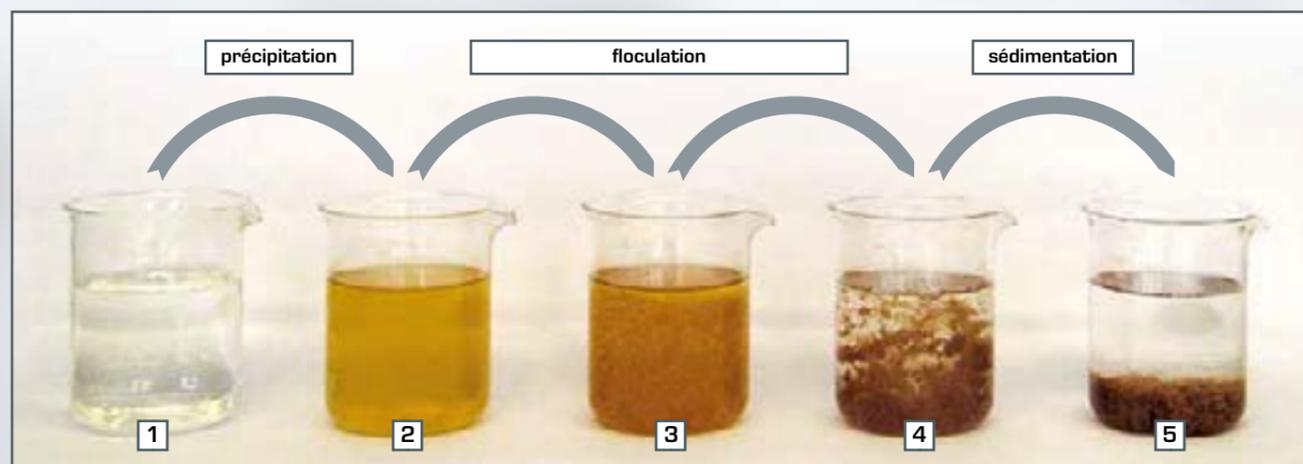
## Précipitation

La précipitation est un procédé chimique par lequel une matière dissoute prend une forme insoluble (matière solide) sous l'effet d'une réaction avec une autre matière. La précipitation est adaptée par ex. à l'élimination de métaux dissous. Par ailleurs, elle est aussi utilisée pour l'élimination du phosphore dans les stations d'épuration.

Dans la pratique, la précipitation est souvent suivie d'une floculation permettant d'augmenter la taille des matières solides formées. Ce qui facilite la séparation mécanique ultérieure des matières solides (par ex. par sédimentation).

## Floculation

Avant d'ajouter certains produits chimiques, on annule au préalable les forces électrostatiques répulsives qui s'exercent entre les particules solides. Cela a pour effet d'agglomérer les particules en petits flocons (coagulation). Pour augmenter la taille des flocons, on ajoute ensuite du floculant dans l'eau (par ex. polymère). Cela conduit à la formation de flocons de plusieurs millimètres de diamètre ensuite faciles à séparer mécaniquement.



Précipitation et floculation de fer dissous:

Lorsque l'on ajoute de la lessive de soude, le fer dissous (1) se dépose tout d'abord sous la forme d'hydroxyde de fer insoluble de couleur jaune (2). L'ajout d'autres produits chimiques entraîne la formation de gros flocons d'hydroxyde de fer (3 à 4) qui sont ensuite faciles à séparer par sédimentation (5).

## Procédé d'oxydation

Nombre de polluants ne sont pas dégradables biologiquement et ne peuvent donc être éliminés au moyen de procédés biologiques. C'est par exemple le cas de nombreux hydrocarbures chlorés. Suite à des traitements inadéquats, on retrouve ces matières en de nombreux endroits des eaux souterraines, ce qui représente une menace pour l'Homme et l'environnement. Le procédé d'oxydation constitue une méthode efficace pour éliminer ce type de matières de l'eau.

Il existe, pour traiter l'eau, une multitude de procédés d'oxydation différents. Ce que l'on appelle les « procédés d'oxydation

avancés » sont en particulier de plus en plus utilisés ces dernières années. Ce qui caractérise en premier lieu ces procédés est la formation de radicaux OH très réactifs. Ces radicaux font partie des oxydants les plus puissants et sont ainsi en mesure d'oxyder pratiquement n'importe quelle matière.

On peut générer des radicaux OH en irradiant de l'eau oxygénée ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) avec de la lumière UV. On utilise à cet effet de préférence des rayonnements UV-C d'une longueur d'onde de 254 nm.

**Production d'un radical OH au moyen de lumière UV et d'eau oxygénée ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

oxygène  
hydrogène  
électron libre

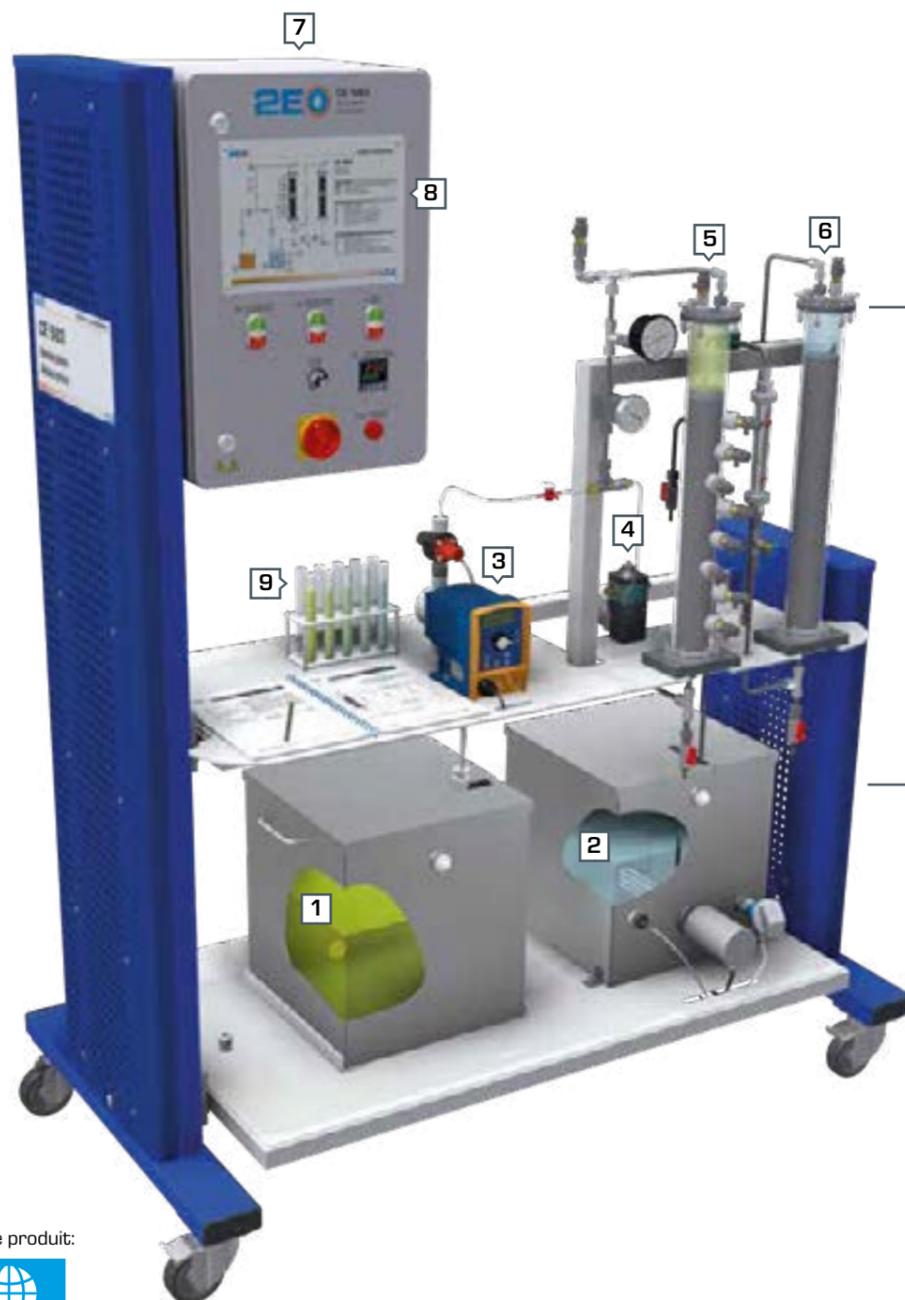
# CE 583

## Adsorption

### Traitement adsorptif de l'eau en fonctionnement continu

L'adsorption sur charbon actif représente une alternative efficace et souvent utilisée pour éliminer des substances organiques non dégradables biologiquement, comme c'est le cas des hydrocarbures chlorés. Notre appareil CE 583 vous permet d'expliquer les fondements de ce procédé en fonctionnement continu et donc sous des aspects très pratiques.

Cet appareil est constitué pour l'essentiel de deux adsorbours montés en série et remplis de granulés de charbon actif. Le premier adsorbours est équipé de robinets d'échantillonnage vous permettant de déterminer des profils de concentration. Ces profils jouent un rôle central dans la compréhension de l'adsorption.



- 1 concentration d'adsorbat
- 2 eau épurée
- 3 pompe de dosage
- 4 pompe de circulation
- 5 premier adsorbours
- 6 second adsorbours
- 7 armoire de commande
- 8 schéma de processus
- 9 tubes réactifs pour les prélèvements d'échantillons

### i Adsorbat

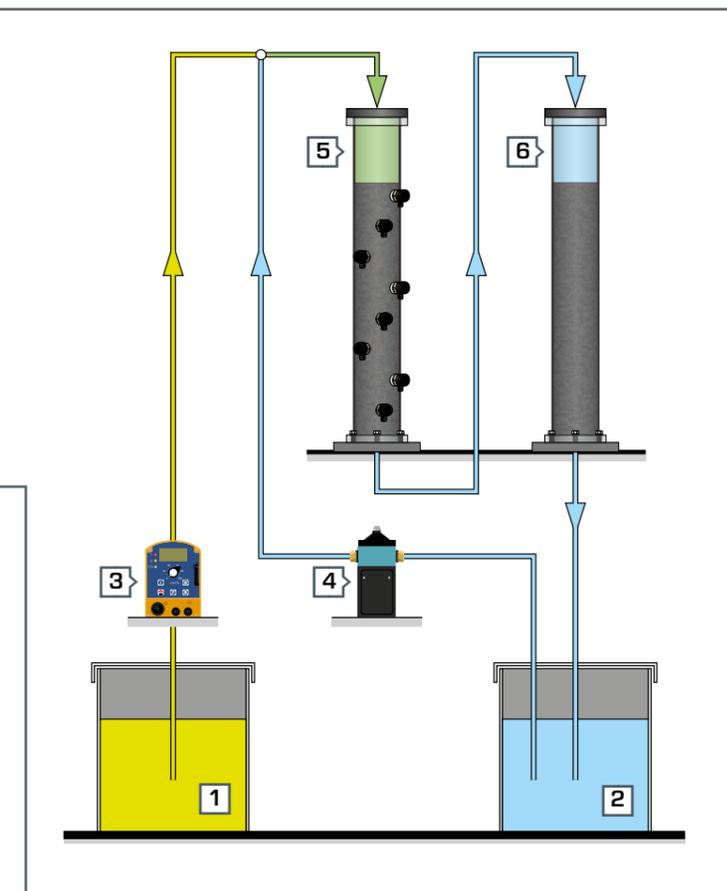
On appelle adsorbat la matière dissoute dans l'eau qui doit être éliminée par adsorption.

### Principe de fonctionnement

On fait circuler de l'eau épurée à travers les deux adsorbours. Une pompe de dosage injecte une solution concentrée d'adsorbat dans la zone d'alimentation du premier adsorbours du circuit. La pompe de dosage permet un ajustage très précis du débit de refoulement. Cela vous permet de régler très précisément la concentration d'alimentation de l'adsorbat. Le second adsorbours permet de s'assurer que l'eau qui circule ne contient plus du tout d'adsorbat, même en cas de percée intégrale du premier adsorbours. Cela garantit également, lors des essais de longue durée, une concentration constante de l'adsorbat dans l'alimentation du premier adsorbours.

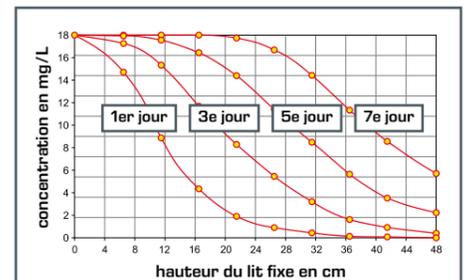
### Régulation de la température

L'appareil est équipé d'un dispositif de régulation de la température. Cela vous permet d'étudier l'influence de la température de l'eau sur le processus d'absorption.



### i Notre recommandation

Vous pouvez démontrer de manière impressionnante l'adsorption en utilisant comme adsorbat un colorant adsorbable soluble dans l'eau. C'est le cas par exemple du bleu de méthylène ou de la fluorescéine.



Extrait de l'instruction d'expériences du CE 583: profils de concentration du bleu de méthylène à différents instants

### Contenu didactique

- enregistrement des profils de concentration
- enregistrement des courbes de perçage
- relation entre des profils de concentration et des courbes de perçage
- détermination de la zone de transfert de masse
- bilan de masse et rendement d'un adsorbours
- prédiction des courbes de perçage
- extrapolation des résultats à l'échelle industrielle (scale-up)
- paramètres influant sur l'absorption
  - ▶ temps de contact
  - ▶ température
  - ▶ mode de fonctionnement

Sur le produit:



## CE 530 Osmose inverse

Cet appareil a été développé en étroite collaboration avec l'institut de génie des procédés thermiques de l'université technique de Hambourg Harburg, Allemagne.

Le composant principal du CE 530 est le module à membrane spiralée. Le concept est centré à la fois sur la construction, l'entretien et le principe de fonctionnement d'un module à membrane spiralée, et sur la détermination de paramètres spécifiques (par ex. la capacité de rétention). L'appareil est conçu pour le dessalement de l'eau. Afin de pouvoir contrôler le succès

du dessalement, des capteurs de conductivité ont été installés aux points requis sur l'appareil. Vous pouvez bien entendu ajuster la pression et le débit.

La documentation didactique expose de manière détaillée les fondements et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

## CE 300 Échange d'ions

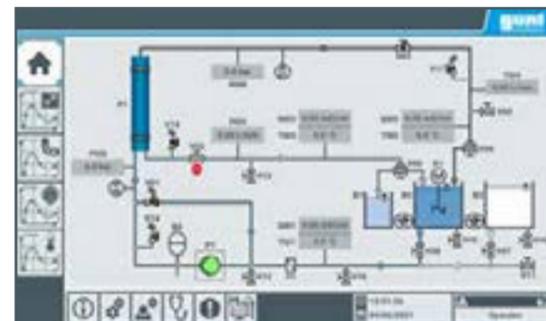
Les échangeurs d'ions sont utilisés essentiellement pour le dessalement et l'adoucissement de l'eau. Notre appareil d'essai CE 300 vous permet d'expliquer à vos élèves et étudiants tous les aspects importants de l'échange d'ions.

L'appareil dispose respectivement d'un échangeur d'anions et d'un échangeur de cations. Un simple déplacement des robinets permet de traverser les deux échangeurs d'ions soit l'un après l'autre, soit séparément l'un de l'autre. Pour l'évaluation des essais, un instrument portable de mesure de la conductivité est fourni avec l'appareil. Vous pouvez régénérer les échangeurs d'ions avec de l'acide et de la base. Étant donné ses faibles dimensions, nul besoin de disposer d'un grand laboratoire pour installer cet appareil, on peut le poser tout simplement sur une table.

En coopération avec

# TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg



Écran tactile: schéma de processus

Sur le produit:

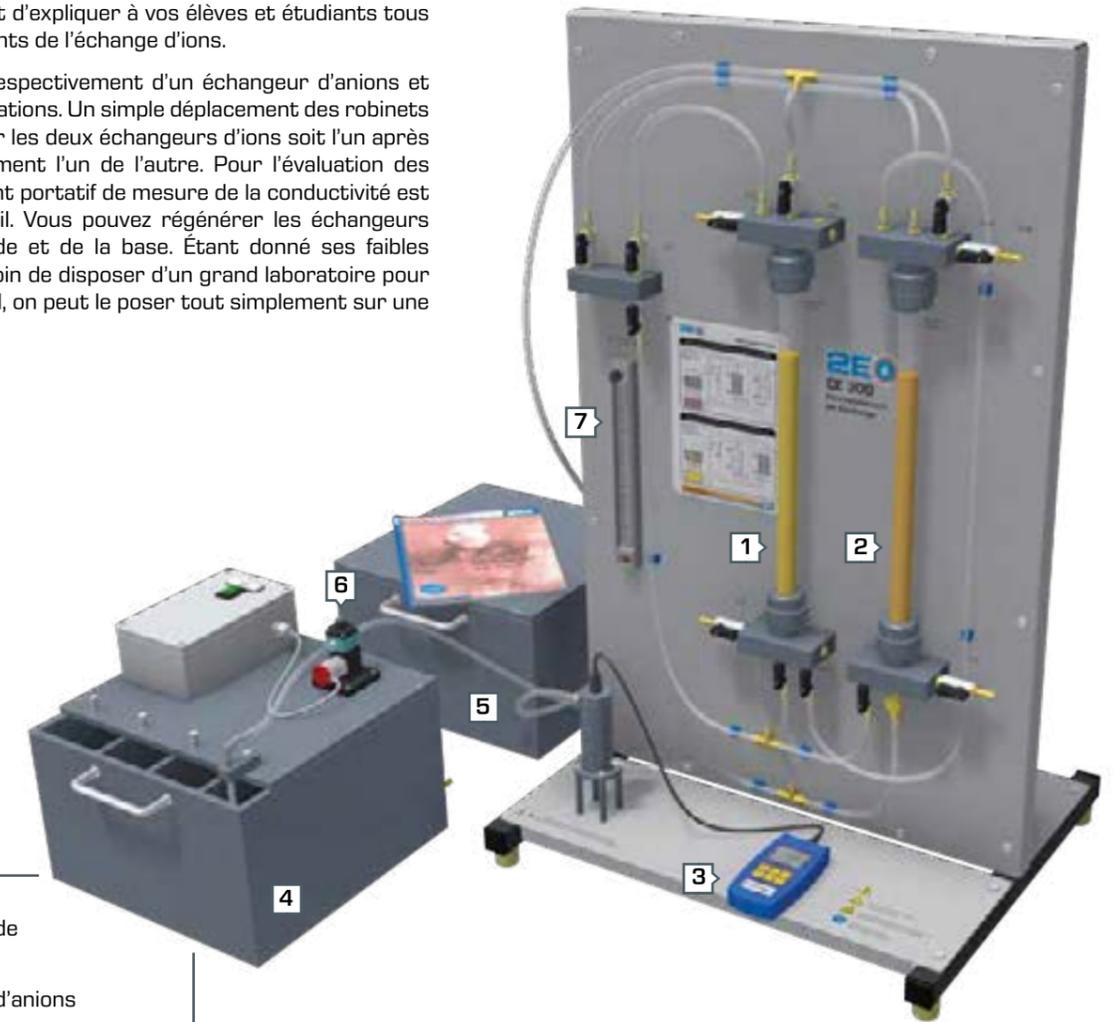


### Contenu didactique

- principe de fonctionnement d'un module à membrane spiralée
- assemblage, nettoyage et conservation des modules à membrane
- principe de base de l'osmose inverse
  - ▶ loi de Van't Hoff
- débit de perméat et capacité de rétention en fonction de
  - ▶ la pression de l'eau brute
  - ▶ concentration saline dans l'eau brute
  - ▶ rendement
- détermination du coefficient de diffusion

- 1 échangeur de cations
- 2 échangeur d'anions
- 3 instrument portable de mesure de la conductivité
- 4 réservoir d'alimentation en eau brute et agents de régénération
- 5 réservoir collecteur
- 6 pompe
- 7 débitmètre

Sur le produit:



### Contenu didactique

- principes de fonctionnement des échangeurs de cations et d'anions
- dessalement par combinaison d'échangeurs de cations et d'anions
- détermination des capacités d'échange et régénération
- vérification de la durée de régénération calculée de manière théorique

## CE 586 Précipitation et floculation

Vous pouvez, grâce à cet appareil, démontrer la précipitation et la floculation en fonctionnement continu, donc dans des conditions très réalistes. Ce procédé est constitué de trois phases, la précipitation, la floculation et la sédimentation. Tous les composants requis à cet effet sont disposés de manière claire sur le banc d'essai. Une unité d'alimentation séparée pourvue d'un grand réservoir est à votre disposition pour la préparation et le transport de l'eau brute.



Précipitation



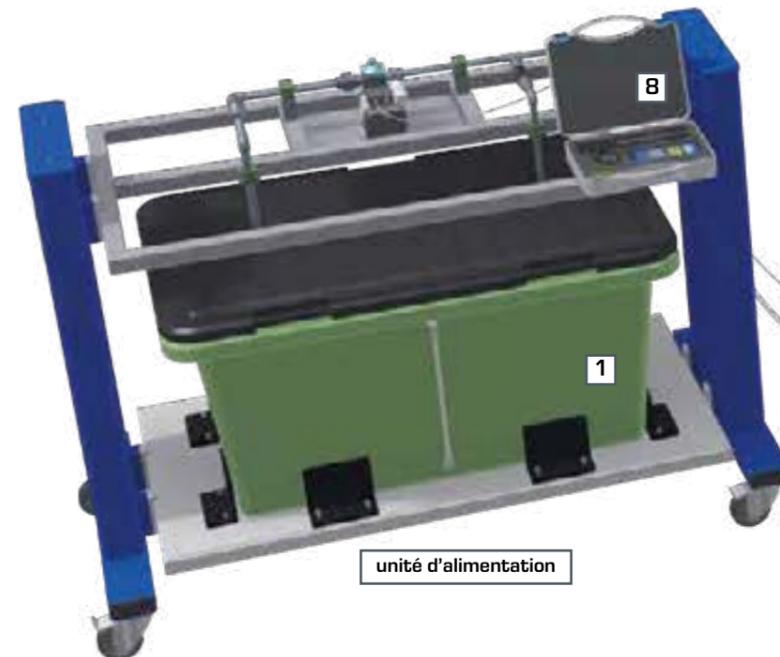
Floculation



Sédimentation

- 1 réservoir d'eau brute
- 2 réservoir de précipitation
- 3 bassin de floculation
- 4 décanteur lamellaire
- 5 réservoir d'eau épurée
- 6 pompes de dosage des matières auxiliaires
- 7 armoire de commande avec grand schéma de processus
- 8 instrument de mesure de la conductivité

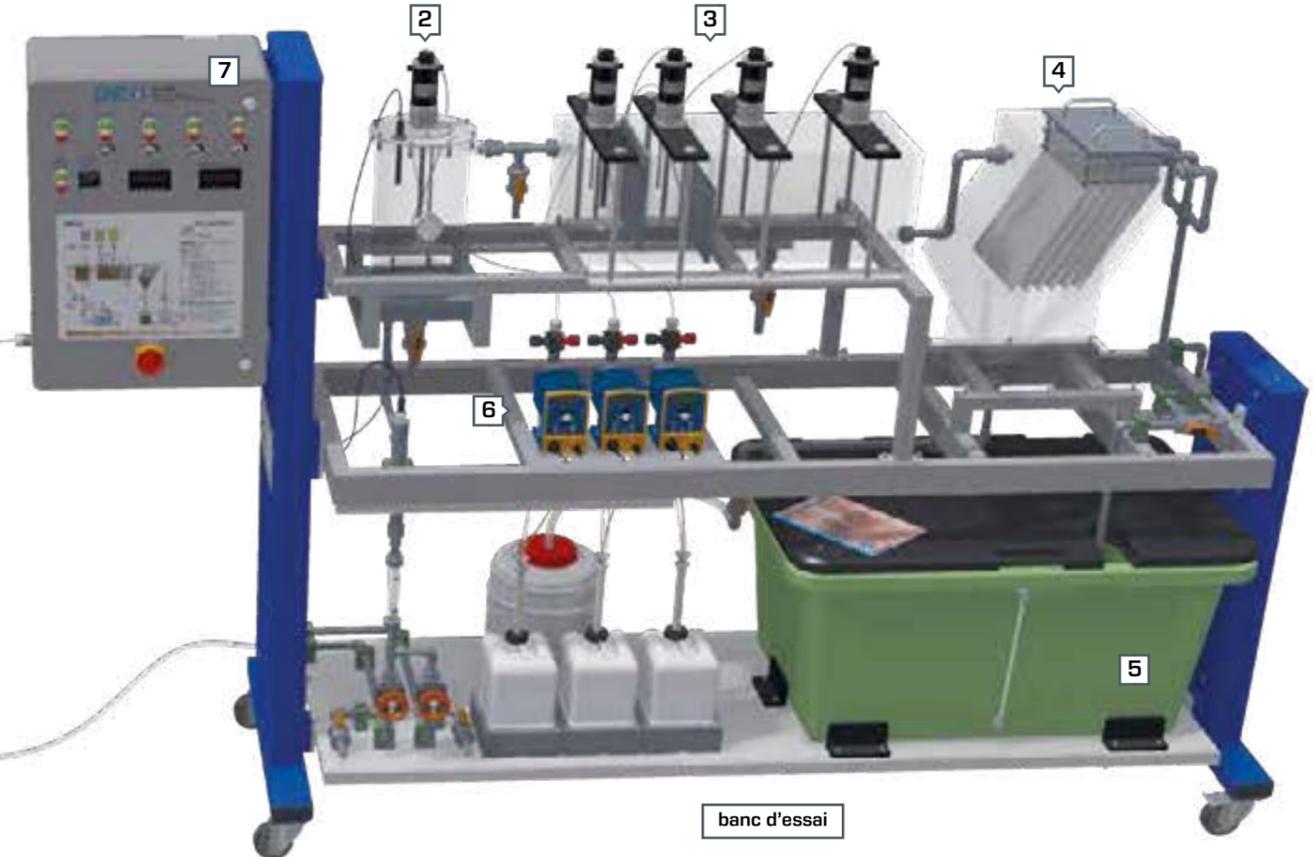
**i** Cet appareil est bien sûr également accompagné d'une documentation didactique détaillée.



unité d'alimentation



Le CE 586 est utilisé avec succès de nombreux établissements supérieurs à travers le monde, par exemple à la British University en Égypte (au Caire).



banc d'essai

### Contenu didactique

- influence du pH sur la précipitation
- établissement d'un état de fonctionnement stable
- détermination des doses nécessaires de matières auxiliaires
- mode de fonctionnement d'un décanteur lamellaire

Sur le produit:



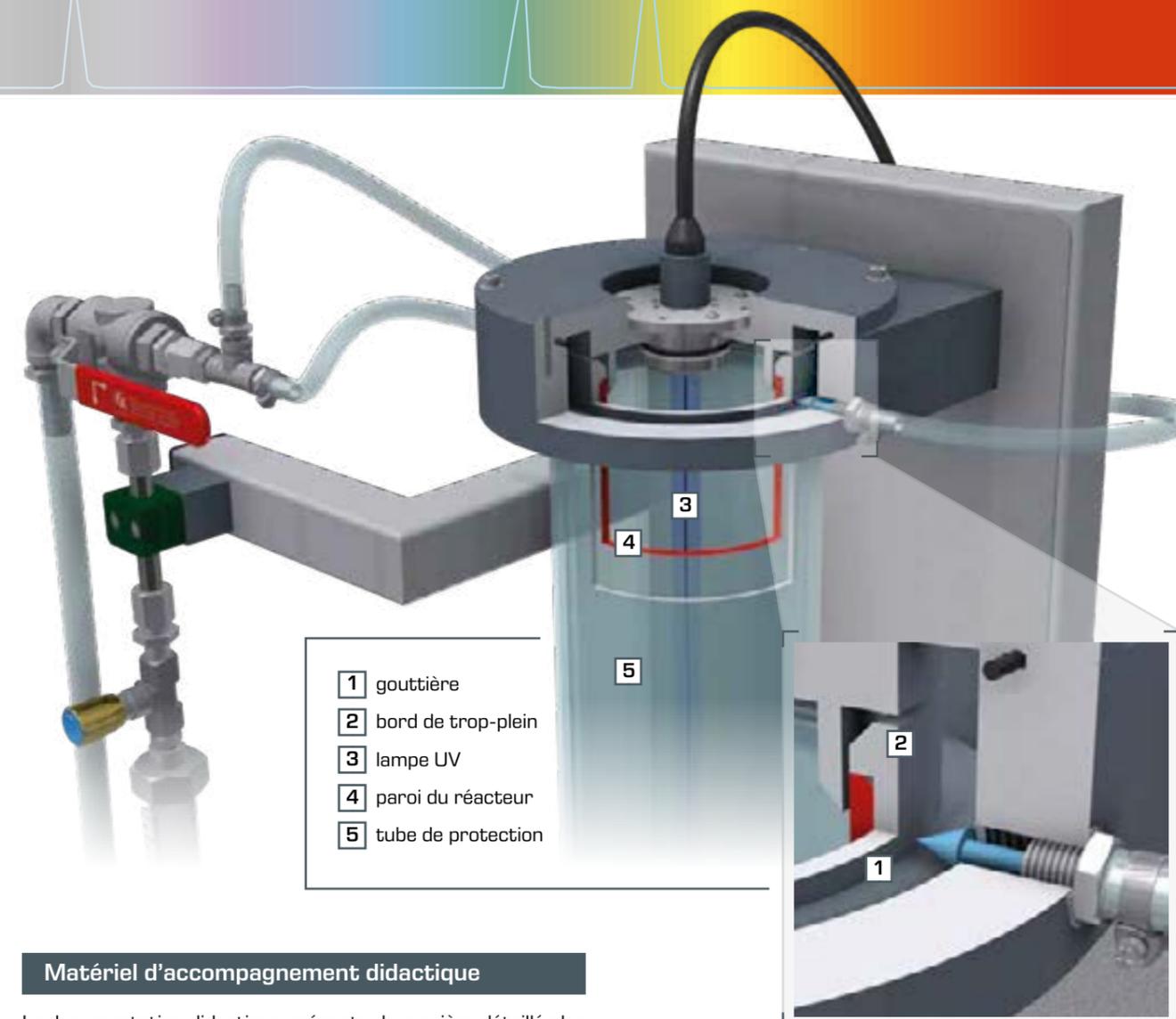
## CE 584 Oxydation avancée – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et UV

### Réacteur à film tombant en mode de fonctionnement batch

Les procédés d'oxydation avancés sont à la pointe des techniques de traitement de l'eau. Avec cet appareil, vous pouvez étudier l'oxydation des matières organiques non biodégradables avec de l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) et un rayonnement UV. L'accent didactique porte sur la mise en œuvre expérimentale des principes de cinétique des réactions.

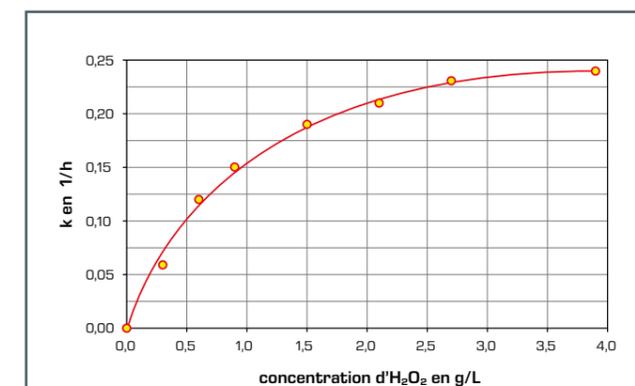
L'élément principal de l'appareil est un réacteur à film tombant fonctionnant de manière discontinue. L'eau brute mélangée à de l'eau oxygénée est pompée depuis un réservoir en direction d'une gouttière située à l'extrémité supérieure du réacteur. En passant par un bord de trop-plein, l'eau s'écoule en mince film vers le bas le long de la paroi interne du réacteur, et retourne ensuite dans le réservoir.

Une lampe UV se trouve au milieu du réacteur. Le rayonnement de lumière UV (254 nm) a pour effet de séparer l'eau oxygénée pour former les radicaux OH souhaités.



### Matériel d'accompagnement didactique

La documentation didactique présente de manière détaillée les fondements du procédé ainsi que les principes de cinétique des réactions. En outre, un essai réalisé à titre d'exemple y est décrit et analysé de manière détaillée.



Extrait de l'instruction d'expériences du CE 584: constante de vitesse  $k$  en fonction de la quantité d' H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilisée. Le polluant organique utilisé est de l'éther diméthyle du triéthylène-glycol.

### Contenu didactique

- enregistrement de courbes concentrations-temps
- étude de la cinétique des réactions
  - ▶ ordre de réaction
  - ▶ vitesse de réaction
- influence de la quantité d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sur la courbe de réaction

## Connaissances de base

## Traitement de l'eau en plusieurs étapes

## Traitement de l'eau en plusieurs étapes

L'eau à traiter contient en général plusieurs matières ayant des propriétés différentes. C'est pourquoi un seul procédé unitaire ne suffit pas pour éliminer ces matières. Les stations de traitement de l'eau sont en général structurées en plusieurs étapes.

Du point de vue de la protection de l'environnement, les stations d'épuration des eaux souterraines contaminées constituent un exemple d'application classique d'un traitement complexe de l'eau en plusieurs étapes.

Les matières solides contenues dans l'eau brute peuvent endommager ou obstruer des composants de l'installation (comme les tuyauteries et les pompes). C'est pourquoi la première étape consiste à effectuer une purification mécanique destinée à éliminer les matières solides. Si les matières solides apparaissent seulement au cours du traitement de l'eau, par exemple dans le cadre de la précipitation et de la floculation, le traitement de l'eau intègre aussi plus tard des étapes de traitement mécanique.

## Épuration des eaux souterraines

L'épuration des eaux souterraines contaminées est effectuée essentiellement par le biais de ce que l'on appelle un « pompage et traitement ». Les eaux souterraines sont transportées dans l'écoulement sortant de la zone de contamination puis sont épurées au moyen de procédés classiques de traitement de l'eau. Les eaux souterraines sont ensuite réinfiltrées dans la terre par l'écoulement entrant de la zone de contamination. On obtient ainsi un cycle dans lequel est intégrée la station d'épuration des eaux souterraines.

Puit de pompage pour eaux souterraines contaminées



## Station d'épuration des eaux souterraines en plusieurs étapes

- |   |  |    |  |
|---|--|----|--|
| 1 | puits de pompage                       | 9  | collecteur de boues                    |
| 2 | alimentation des puits de pompage      | 10 | adsorption sur charbon actif           |
| 3 | précipitation (par ex. de fer dissous) | 11 | adsorbent pour air extrait du stripage |
| 4 | floculation                            | 12 | collecteur d'eaux souterraines épurées |
| 5 | décanteur lamellaire (sédimentation)   | 13 | évacuation vers puits d'infiltration   |
| 6 | réservoir tampon                       | 14 | puits d'infiltration                   |
| 7 | filtre à sable                         |    |  |
| 8 | stripage                               |    |  |

# CE 581

## Traitement de l'eau: Station 1

Cet appareil vous permet de présenter et étudier de manière très visuelle les particularités d'un traitement de l'eau en plusieurs étapes. Vous disposez pour cela de six étapes de procédé consécutives.

### Filtration en profondeur

- 1 filtre à gravier
- 2 filtre à sable

### Adsorption

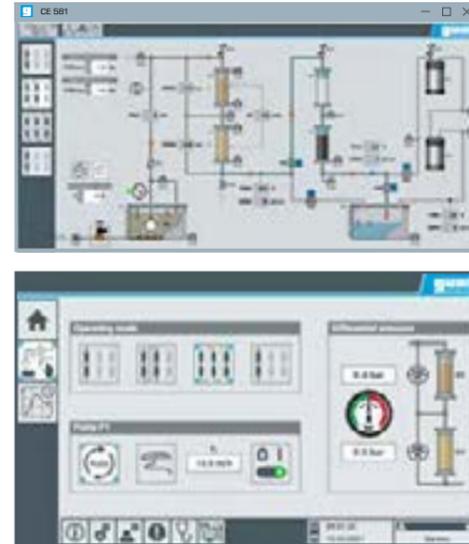
- 3 oxyde d'aluminium
- 4 charbon actif

### Échange d'ions

- 5 échangeur d'ions à lit mélangé
- 6 échangeur de cations



Sur le produit:



### Logiciel et API

L'appareil est exploité avec un API (automate programmable industriel). Le logiciel affiche en continu l'ensemble des grandeurs de processus mesurées. Le logiciel vous permet aussi bien entendu d'enregistrer les valeurs de mesure pour les analyser.

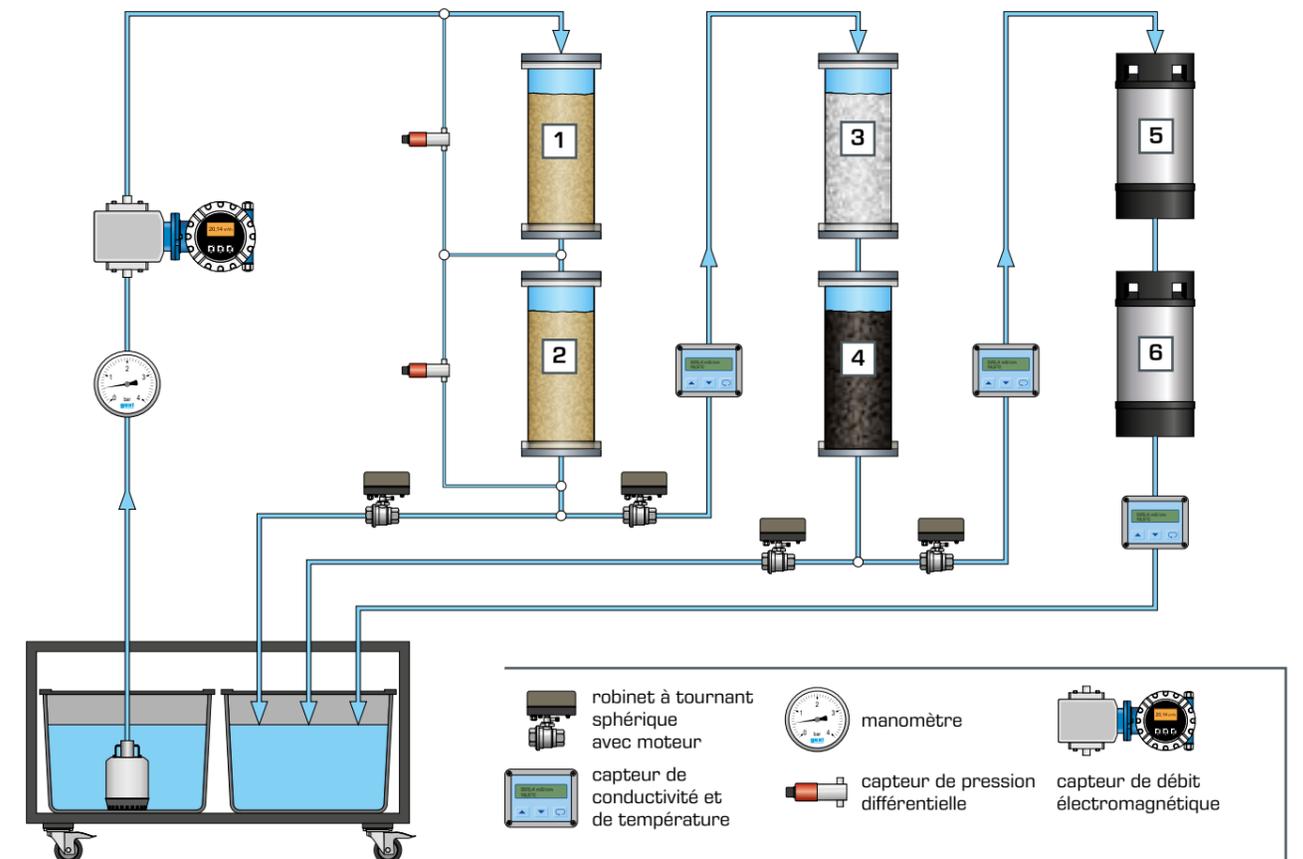
### Variantes de fonctionnement

Les différentes étapes du procédé peuvent être activées et désactivées séparément. En modifiant le réglage de robinets à tournant sphérique, vous pouvez choisir entre les trois variantes de fonctionnement suivantes:

	1	2	3	4	5	6
<b>Variante 1</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Variante 2</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Variante 3</b>	<input checked="" type="checkbox"/>					

### Contenu didactique

- apprentissage des procédés unitaires de filtration en profondeur, d'adsorption et d'échange d'ions
- observation et détermination de la perte de pression lors de la filtration en profondeur
- établissement des courbes de perçage (adsorption)
- comparaison des différents adsorbants
- apprentissage du principe de base de l'échange d'ions



## CE 582

### Traitement de l'eau: Station 2

#### Traitement de l'eau avec filtre à sable et échangeur d'ions

Cet appareil vous permet de présenter et d'étudier de manière très visuelle les particularités d'un traitement de l'eau en plusieurs étapes. Vous disposez pour cela d'un filtre à sable et de deux échangeurs d'ions.

En ce qui concerne le filtre à sable, l'accent didactique porte sur l'étude des rapports de pression dans le lit filtrant. Pour mesurer les pressions, le filtre à sable est équipé d'un système de mesure de la pression différentielle et comporte de nombreux points de mesure le long du lit filtrant. Ces points de mesure peuvent être reliés à un tableau des manomètres afin de bien visualiser

les rapports de pression dans le lit filtrant et de les mesurer de manière très précise. Le tableau des manomètres dispose de 20 manomètres à tubes. L'utilisation d'un tube filtrant transparent permet d'observer aussi de visu le chargement progressif du lit filtrant. Si nécessaire, il est possible de procéder à un rinçage à contre-courant du filtre à sable.

Un échange d'ions a lieu après la filtration. Vous disposez pour cela respectivement d'un échangeur de cations et d'un échangeur d'anions. L'appareil permet également la régénération des échangeurs d'ions.

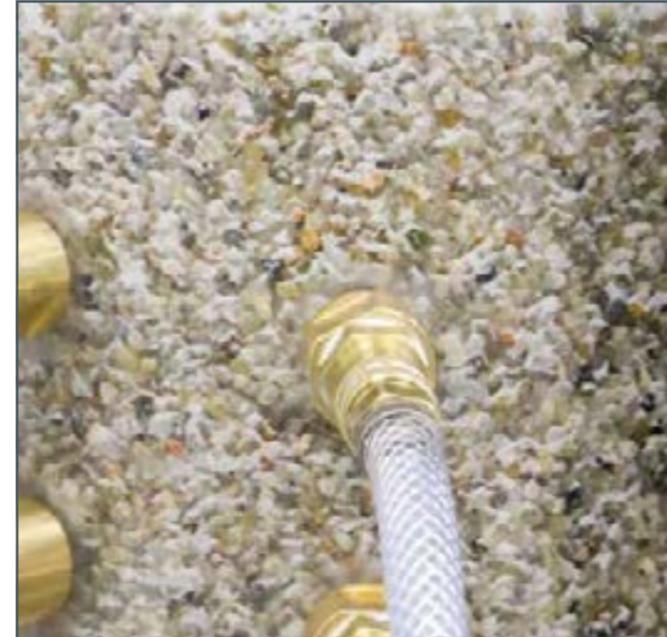


Développé en collaboration avec l'école supérieure Hochschule Magdeburg, Allemagne



- 1 tableau des manomètres
- 2 filtre à sable
- 3 échangeurs d'ions
- 4 réservoir d'agents de régénération
- 5 réservoirs d'eau brute et d'eau épurée
- 6 pompe de rinçage à contre-courant

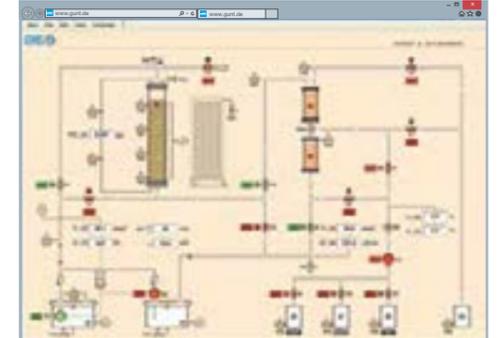
Sur le produit:



Le chargement progressif du lit filtrant se manifeste par la baisse croissante de la pression, mais on peut aussi l'observer de manière très visuelle à travers le tube filtrant transparent.



Standard chez GUNT: utilisation d'instruments de mesure professionnels



#### Logiciel

L'appareil dispose d'instruments de mesure très complets. L'appareil se commande au moyen d'un logiciel moderne et convivial. Le logiciel affiche en continu l'ensemble des grandeurs de processus mesurées. Le logiciel vous permet aussi bien entendu d'enregistrer les valeurs de mesure pour les analyser.

#### Contenu didactique

- observation et détermination des pertes de pression dans un filtre à sable
- établissement des diagrammes de Micheau
- rinçage à contre-courant des filtres à sable
- modes de fonctionnement des échangeurs de cations et d'anions
- régénération des échangeurs d'ions

## Introduction

**Champs d'apprentissage**

Air

058

**Connaissances de base**

Préservation de la qualité de l'air

060

## Procédés mécaniques

**CE 235**

Cyclone gaz

062

## Procédés thermiques

**CE 400**

Absorption de gaz

064

**CE 540**

Séchage de l'air par adsorption

066

Champs d'apprentissage  
Air

Champs d'apprentissage

Produits

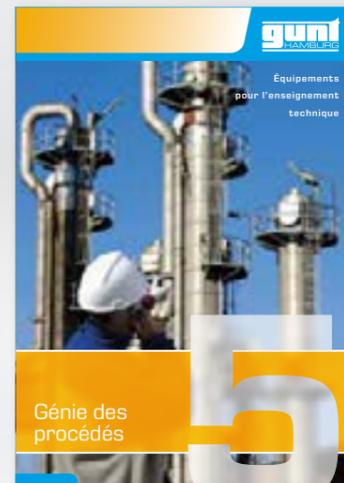
Sur la thématique de l'air, l'accent didactique porte sur les différents procédés d'épuration de milieux gazeux (préservation de la qualité de l'air). La plupart des pollutions contenues dans un écoulement d'air extrait sont éliminées par le biais de procédés mécaniques ou thermiques.

**Procédés mécaniques**

Les procédés mécaniques servent à éliminer les particules solides présentes dans un écoulement d'air extrait (dépoussiérage). Une méthode de dépoussiérage très efficace et donc très répandue est celle des cyclones de gaz. Notre banc d'essai HM 235 vous permet de démontrer de manière très visuelle ce processus.

**Procédés thermiques**

Si l'air extrait à épurer contient des polluants gazeux, les procédés thermiques sont adaptés. Les plus utilisés sont l'absorption et l'adsorption. Nous vous proposons un banc d'essai pour chacun de ces deux procédés, afin de vous permettre d'étudier de manière pratique à l'échelle du laboratoire les fondements théoriques de ces derniers.



Les procédés utilisés pour préserver la qualité de l'air trouvent leurs origines dans le génie des procédés classique. Vous trouverez d'autres appareils intéressants sur cette thématique dans notre catalogue 5.

Procédés mécaniques

**CE 235**  
Cyclone gaz

Procédés thermiques

**CE 400**  
Absorption de gaz  
**CE 540**  
Séchage de l'air par adsorption

## Connaissances de base

## Préservation de la qualité de l'air

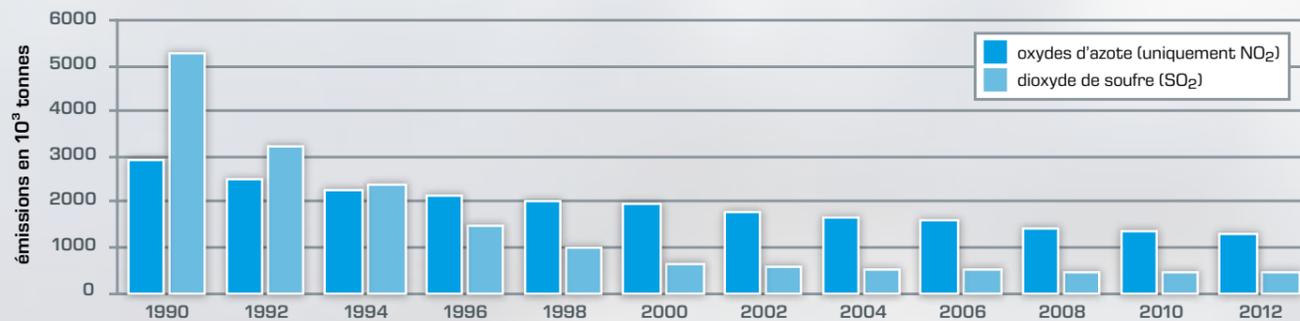
## L'air, un élément vital pour tous les êtres vivants

Depuis les débuts de l'industrialisation, la composition de l'atmosphère s'est modifiée de manière fondamentale sous l'influence de l'activité humaine. La destruction de la couche d'ozone et le réchauffement global de la planète sont de plus en plus visibles et trouvent sans nul doute leurs origines dans l'accumulation excessive de polluants dans l'atmosphère. Cela représente une menace sérieuse pour tous les êtres vivants sur terre. Il est donc essentiel de réduire autant que possible l'accumulation de polluants dans l'atmosphère. Le premier objectif est de réduire la production de polluants. Lorsque cela n'est pas possible, il faut épurer l'air extrait au moyen de procédés adéquats.

## Transport mondial de polluants

Les effets de cette accumulation de polluants dans l'atmosphère ne sont pas limités localement. Les polluants sont au contraire transportés par les vents sur des milliers et des milliers de kilomètres à travers le monde. Ce qui explique qu'aujourd'hui on puisse détecter des pollutions atmosphériques même dans des régions très éloignées de nos civilisations.

L'exemple le plus connu est ce que l'on appelle l'« Arctic Haze », une brume marron-jaune qui se manifeste dans l'Arctique en hiver et au printemps. Ce phénomène est dû principalement aux aérosols provenant des régions industrielles d'Europe de l'Est et d'Asie. Ces aérosols sont composés principalement de soufre et de carbone.



Émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et d'oxydes d'azote (uniquement NO<sub>2</sub>) en Allemagne  
Source: Umweltbundesamt (Ministère de l'environnement allemand), tableaux nationaux de tendances de l'étude allemande sur les émissions atmosphériques (version 2014)

## Procédés de préservation de la qualité de l'air

On dispose de toute une série de procédés de préservation de la qualité de l'air, dont la plupart peuvent être classés dans les catégories suivantes:

- procédés mécaniques
- procédés biologiques
- procédés thermiques

## Procédés biologiques

Les procédés biologiques consistent en une dégradation microbiologique de composants gazeux. Cela suppose que les composants soient biodégradables et soient présents dans de faibles concentrations; le domaine d'application des procédés biologiques reste de ce fait très limité. Ils sont utilisés principalement pour traiter des problèmes d'odeurs, comme ceux que l'on rencontre par exemple dans les centres d'équarrissage.

## Procédés mécaniques

Les procédés mécaniques consistent à séparer les particules d'un écoulement de gaz d'échappement (dépoussiérage). Il s'agit avant tout de séparer les particules fines.

## Séparateur à cyclone

Un cyclone impose un mouvement d'orbite en spirale à l'écoulement de gaz à épurer. La force centrifuge s'exerçant alors sur les particules de poussière est démultipliée par rapport à la force de gravité. Ce qui explique pourquoi avec ce procédé il est possible, au contraire de la simple séparation par gravité (sédimentation), de séparer même des particules très fines. Le seuil de séparation des cyclones est de l'ordre du 10 µm.

## Séparateur électrique

Un séparateur électrique commence par appliquer une charge électrique aux particules. Les particules chargées se déposent sur une électrode de charge opposée. La couche de poussière qui se forme sur l'électrode doit être éliminée mécaniquement de temps à autre. Un séparateur électrique est capable de séparer même les particules d'une taille inférieure à 1 µm.

## Procédés thermiques

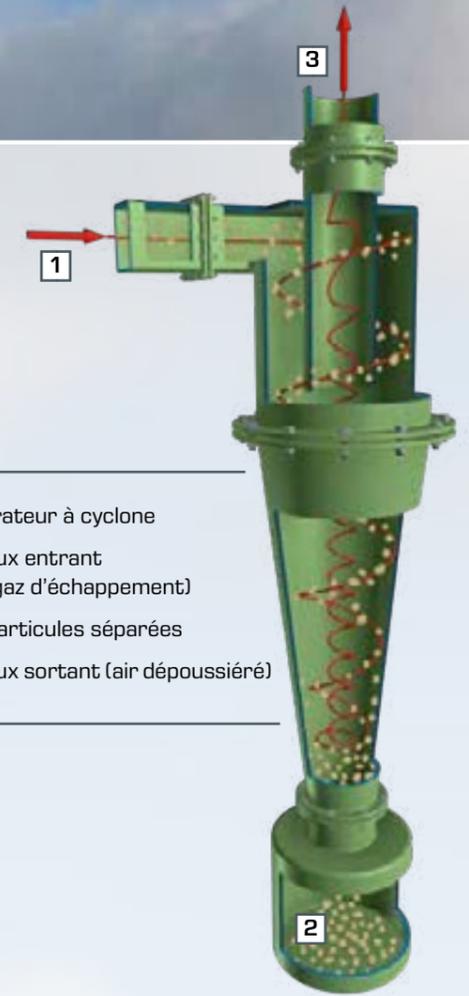
Les procédés thermiques sont utilisés pour éliminer des polluants gazeux. Parmi les procédés les plus courants, on peut citer l'absorption et l'adsorption. Les deux procédés ont des applications très diverses et se prêtent par exemple à l'élimination des oxydes d'azote, du dioxyde de soufre, de l'hydrogène sulfuré et du dioxyde de carbone. Les deux processus impliquent que les gaz d'échappement soient pratiquement dépourvus de poussière, donc qu'ils aient fait l'objet au préalable d'une purification mécanique si nécessaire.

## Absorption

Au moins trois éléments prennent part à l'absorption: le polluant à séparer, le gaz porteur et un solvant. Le solvant absorbe la matière gazeuse, ce qui peut se faire de manière physique ou chimique. Afin de s'assurer que le solvant absorbe uniquement le polluant et pas le gaz porteur, il faut que le solvant soit adapté au cas d'application concerné.

## Adsorption

Lors de l'adsorption, le polluant à séparer est lié à la surface d'une matière solide (adsorbant). Comme pour l'absorption, cela peut se faire physiquement ou chimiquement. Le charbon actif est très souvent utilisé comme adsorbant. L'adsorption est favorisée par des températures basses. C'est pourquoi les gaz d'échappement ne doivent pas avoir une température supérieure à 30°C.



Séparateur à cyclone

- 1 flux entrant (gaz d'échappement)
- 2 particules séparées
- 3 flux sortant (air dépoussiéré)

## CE 235 Cyclone gaz

Les cyclones gaz sont utilisés pour la séparation des particules solides d'un écoulement d'air. Cet appareil vous permet d'expliquer avec une grande clarté les fondements de ce procédé important dans le domaine de la préservation de la qualité de l'air.

Le cyclone du CE 235 est constitué de matériaux transparents. Cela vous permet de bien observer le mouvement en spirale des particules solides vers la base du cyclone.

Vous pouvez bien entendu ajuster toutes les grandeurs caractéristiques significatives du processus. Parmi celles-ci, le débit volumétrique et la teneur en matière solide du gaz brut. Pour permettre l'ajustage de la teneur en matière solide, l'appareil est équipé d'un dispositif de dispersion. La température du gaz brut, la pression différentielle au niveau du cyclone et la vitesse d'avance de la charge d'alimentation sont enregistrées par des instruments de mesure et affichées numériquement.



- 1 ventilateur
- 2 cyclone
- 3 réservoir pour particules séparées
- 4 affichages numériques des valeurs de mesure
- 5 débitmètre
- 6 dispositif de dispersion



Séparation de particules fines de quartz dans le cyclone gaz pendant un test de fonctionnement dans notre laboratoire. On reconnaît le mouvement en forme de spirale des particules qui est caractéristique des cyclones.

### Contenu didactique

- influence de la teneur en matière solide et du débit volumétrique d'air sur
  - ▶ la perte de charge au niveau du cyclone
  - ▶ le degré de séparation
  - ▶ la loi de répartition et le diamètre de coupure
- comparaison de la perte de charge et du taux de séparation avec les valeurs théoriques calculées

## TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Cet appareil a été développé par nos ingénieurs expérimentés en collaboration avec l'institut de génie des procédés des solides et de technologie des particules de l'université technique de Hamburg-Harburg en Allemagne.

Sur le produit:



## CE 400 Absorption de gaz

Les procédés d'absorption sont fréquemment utilisés pour la préservation de la qualité de l'air. Parmi les domaines d'application typiques, on peut citer l'épuration de l'air extrait des centrales nucléaires pour la désulfuration des gaz. Le banc d'essai CE 400 vous permet d'expliquer de manière claire les fondements théoriques complexes de ce procédé à l'échelle du laboratoire.

L'appareil est conçu pour la séparation absorptive du dioxyde de carbone dans un écoulement d'air. De l'eau est utilisée comme solvant pour l'absorption du dioxyde de carbone. Cela permet d'assurer aux utilisateurs un fonctionnement sécurisé de l'appareil.



- 1 armoire de commande
- 2 colonnes d'absorption
- 3 manomètre à tube en U
- 4 colonne de désorption
- 5 groupe frigorifique
- 6 réservoir de refroidissement
- 7 schéma de processus

### Mode de fonctionnement

Les composants principaux de l'appareil sont deux colonnes d'absorption remplies d'anneaux Raschig. Le mélange air/CO<sub>2</sub> préalablement refroidi est acheminé à partir du bas jusqu'aux colonnes d'absorption. Le solvant (eau) ruisselle à contre-courant du haut vers le bas à travers les colonnes d'absorption, ce qui a pour effet de dissoudre le dioxyde de carbone dans l'eau. L'eau ainsi enrichie en dioxyde de carbone peut ensuite être régénérée dans une colonne de désorption et redevenir ainsi disponible pour l'absorption.

### Instrumentation

L'appareil est équipé d'instruments de mesure et de régulation très complets. Tous les débits, températures et pressions significatifs sont mesurés et affichés en continu. Chaque colonne d'absorption est en outre équipée d'un manomètre à tube en U pour la mesure des pressions différentielles. Vous pouvez vérifier le succès du processus d'absorption à l'aide de l'appareil d'analyse des gaz qui est fourni. Ainsi, vous n'avez besoin d'aucun dispositif de mesure supplémentaire pour obtenir des résultats quantifiables.



Appareil d'analyse des gaz pour la détermination de la teneur en oxygène et de la teneur en dioxyde de carbone.

Sur le produit:



### UNIVERSITY OF Hull

Le CE 400 est utilisé avec succès par de nombreux établissements de formation supérieure à travers le monde. Comme par exemple à l'University of Hull (l'Angleterre).



Un employé de GUNT explique à des enseignants de l'University of Hull comment fonctionne le CE 400 Absorption de gaz.

### Contenu didactique

- étude de l'absorption lors de la séparation de mélanges gazeux dans une colonne à garnissage
- détermination des pertes de pression dans la colonne
- représentation de l'absorption dans le diagramme d'équilibre
- étude des grandeurs d'influence sur l'effectivité de l'absorption

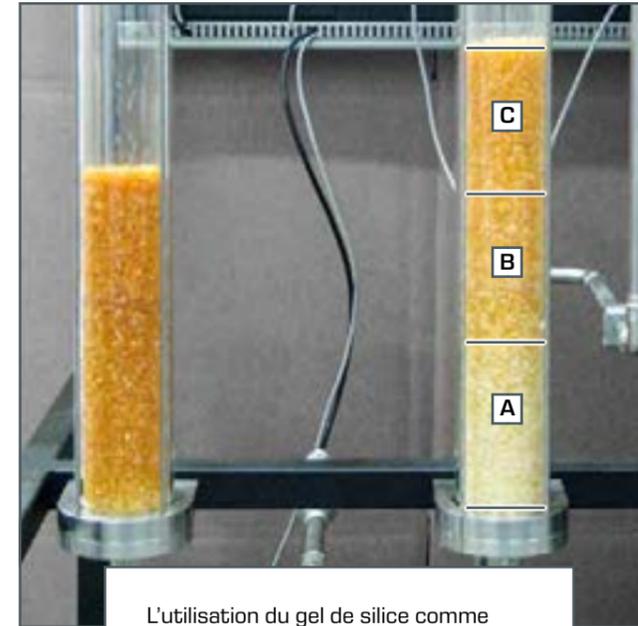
## CE 540 Séchage de l'air par adsorption

Les procédés d'adsorption sont fréquemment utilisés pour la préservation de la qualité de l'air. Un exemple typique d'application: l'élimination de polluants contenant des hydrocarbures chlorés comme ceux qui se forment durant les processus de vernissage et d'impression. Le banc d'essai CE 540 vous permet d'expliquer de manière claire les fondements théoriques complexes de ce procédé à l'échelle du laboratoire.

L'appareil est conçu pour la séparation adsorptive de l'humidité présente dans un écoulement d'air. Du gel de silice est utilisé comme adsorbant pour adsorber l'humidité. Cela permet d'assurer aux utilisateurs un fonctionnement sécurisé de l'appareil. Lorsque le chargement d'humidité augmente, le gel de silice se colore, ce qui rend le processus d'adsorption bien visible.



- 1 colonnes d'adsorption
- 2 humidificateur (bain-marie)
- 3 compresseur pour l'air amené
- 4 groupe frigorifique
- 5 débitmètre
- 6 armoire de commande
- 7 dispositif de chauffe pour l'air de régénération



L'utilisation du gel de silice comme adsorbant rend bien visibles les trois zones de l'adsorbent:

- A gel de silice chargé
- B gel de silice partiellement chargé (zone de transfert de masse)
- C gel de silice non chargé

### Mode de fonctionnement

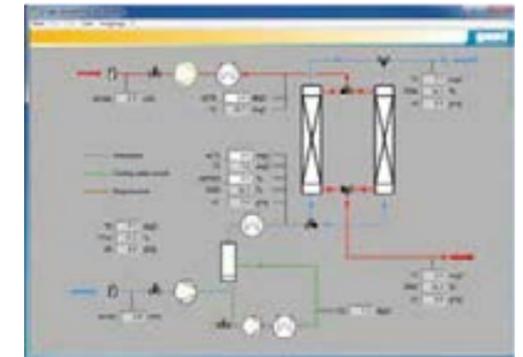
Les composants principaux de l'appareil sont deux colonnes remplies de gel de silice. Dans un premier temps, de l'air ambiant humidifié est transporté au moyen d'un compresseur à partir du bas en direction des colonnes. Là, le gel de silice adsorbe l'humidité contenue dans l'air. Dès que le chargement maximum en humidité du gel de silice est atteint, vous pouvez régénérer ce dernier. La régénération du gel de silice est assurée par le passage d'air réchauffé. Le gel de silice reprend alors sa couleur d'origine et peut être à nouveau utilisé. Vous n'avez ainsi aucun consommable à éliminer.

### Technique de mesure

Les températures et humidités sont mesurées à tous les points significatifs. Cela vous permet d'établir le bilan complet du processus.

### Logiciel

Le logiciel bien conçu du CE 540 affiche en continu les valeurs de mesure enregistrées. Le logiciel fait en plus office de régulateur de température et d'humidité du flux entrant de l'adsorbent. Vous avez bien entendu la possibilité d'enregistrer toutes les valeurs de mesure pour les exploiter ultérieurement.



### Contenu didactique

- principe de base de l'adsorption et de la désorption
- étude des paramètres influant sur le processus d'adsorption et de désorption
  - ▶ débit d'air
  - ▶ humidité et température de l'air
  - ▶ hauteur de la couche d'adsorbant
- représentation des processus sur un diagramme h, x
- enregistrement de courbes de perçage
- détermination du temps de perçage

Sur le produit:





Introduction	
<b>Champs d'apprentissage</b> Sol	070

Hydrogéologie	
<b>Connaissances de base</b> Hydrogéologie	072
<b>HM 165</b> Études hydrologiques	074
<b>HM 141</b> Hydrogrammes après des précipitations	076
<b>HM 167</b> Écoulements souterrains	078
<b>HM 169</b> Visualisation d'écoulements d'infiltration	080
<b>CE 117</b> Écoulement à travers des couches de particules	082

Traitement du sol	
<b>Connaissances de base</b> Traitement du sol	084
<b>CE 225</b> Hydrocyclone	086
<b>CE 630</b> Extraction solide-liquide	088



Champs d'apprentissage  
Sol

Champs d'apprentissage

Produits

Des processus complexes ont lieu dans le sol, et ils peuvent avoir des effets négatifs sur ce biotope. C'est pourquoi il est essentiel que les futurs spécialistes en ingénierie de l'environnement aient une bonne compréhension de ces processus. Les champs d'apprentissage de la thématique du sol englobent les domaines de l'hydrogéologie et du traitement du sol.

**Hydrogéologie**

Dans le domaine de l'hydrogéologie, nous vous proposons une sélection d'appareils didactiques qui vous aident à expliquer de manière visuelle et pratique les processus hydrogéologiques fondamentaux qui ont lieu dans les sols. L'accent porte entre autres sur les thèmes de l'infiltration des précipitations, les écoulements d'infiltration et les écoulements souterrains. Vous trouverez d'autres appareils intéressants sur ces sujets et des sujets connexes dans notre catalogue 4b «Hydraulique pour les ingénieurs en génie civil».

**Traitement du sol**

Vous trouverez dans ce champ d'apprentissage une sélection d'appareils didactiques qui traitent des procédés couramment utilisés pour le traitement des sols contaminés. La plupart de ces procédés trouvent leurs origines dans le génie des procédés classique. Vous trouverez notre programme complet du domaine du génie des procédés dans notre catalogue 5.

Hydrogéologie

**HM 165**

Études hydrologiques

**HM 141**

Hydrogrammes après des précipitations

**HM 167**

Écoulements souterrains

**HM 169**

Visualisation d'écoulements d'infiltration

**CE 117**

Écoulement à travers des couches de particules

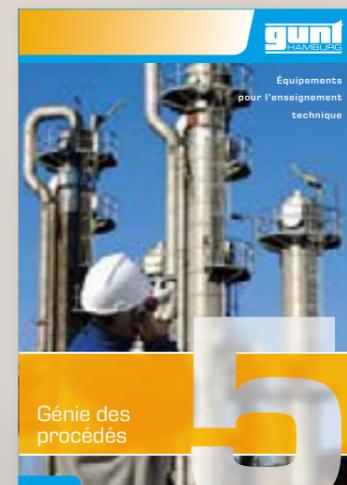
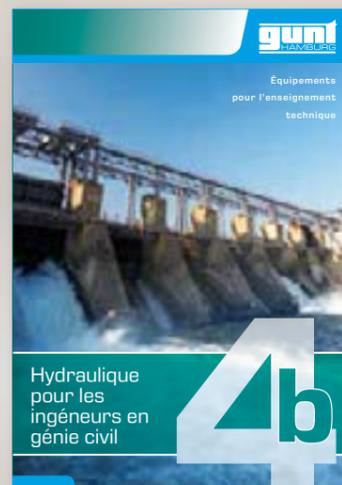
Traitement du sol

**CE 225**

Hydrocyclone

**CE 630**

Extraction solide-liquide



## Connaissances de base Hydrogéologie

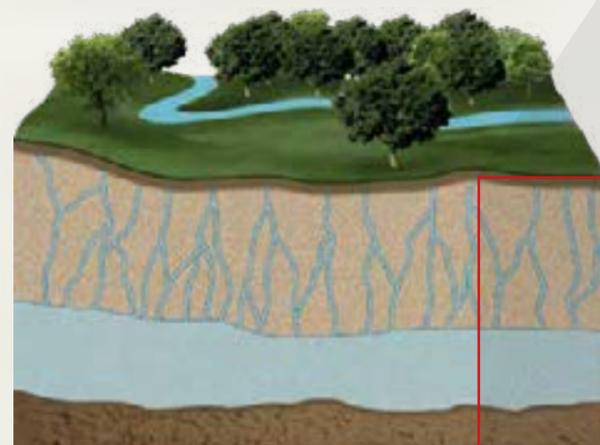
### Qu'est-ce que l'hydrogéologie?

L'hydrogéologie est une discipline appliquée des géosciences. À la différence de l'hydrologie qui étudie les eaux de surface, l'hydrogéologie traite de tous ce qui est en rapport avec l'eau se trouvant dans la terre. Ce qui englobe les thématiques suivantes:

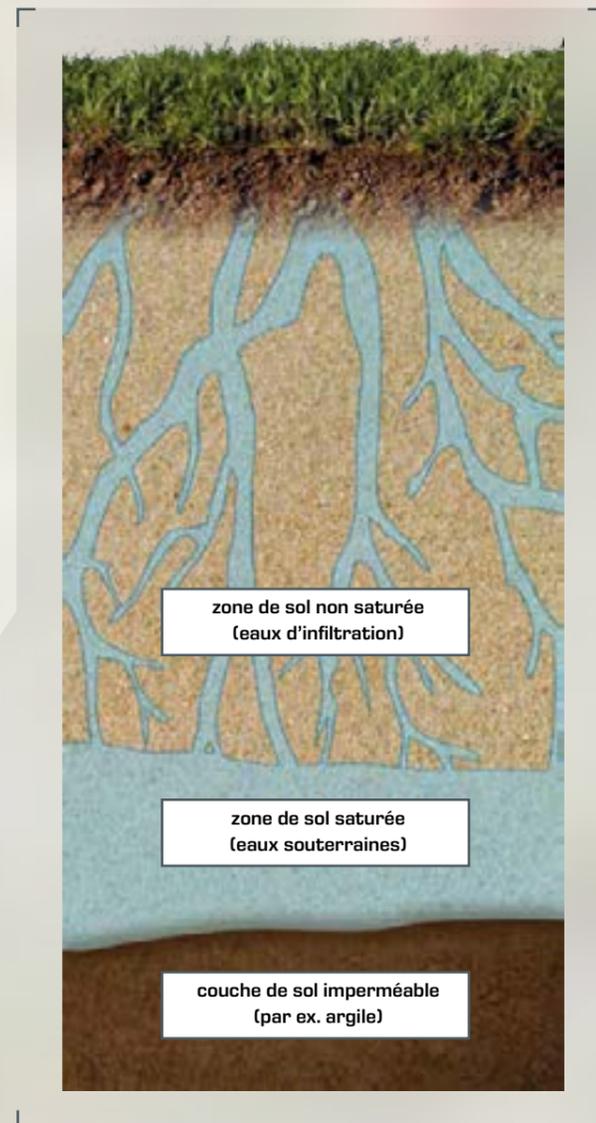
- infiltration et rétention des précipitations
- processus d'écoulement dans les sols (par ex. écoulements d'infiltration)
- régénération, écoulement et transport des eaux souterraines
- mesures de drainage
- influence des travaux de construction sur les conditions hydrogéologiques de la terre

### Processus d'écoulement dans les sols

Les processus d'écoulement dans les sols jouent un rôle central en hydrogéologie. Ces processus d'écoulement se déroulent dans différentes couches de sol, que l'on différencie principalement selon leur appartenance à la zone insaturée ou à la zone saturée du sol. La couche supérieure n'est en général pas saturée en eau, si bien que certains pores contiennent aussi de l'air. Juste au-dessous de cette zone se trouve une autre zone du sol dont les pores sont au contraire entièrement remplis d'eau. C'est pourquoi elle est qualifiée de zone saturée du sol.



Il est impératif d'avoir des connaissances de base sur ces thématiques lorsque l'on veut par exemple explorer, évaluer et exploiter des réserves d'eaux souterraines. Parmi les autres domaines d'application, on peut citer la protection des eaux souterraines par le biais de mesures de protection et d'assainissement ainsi que la dérivation des précipitations.



### Les eaux souterraines: un réservoir vital

Les eaux souterraines sont des eaux situées sous la surface de la terre, qui remplissent d'un seul tenant les pores de la croûte terrestre et dont la mobilité est exclusivement déterminée par la force de gravité. Les eaux souterraines remplissent de nombreuses fonctions importantes. Elles servent par exemple de réservoir pour la production d'eau potable. En outre, la préservation de la nappe phréatique est un élément central du cycle global de l'eau.

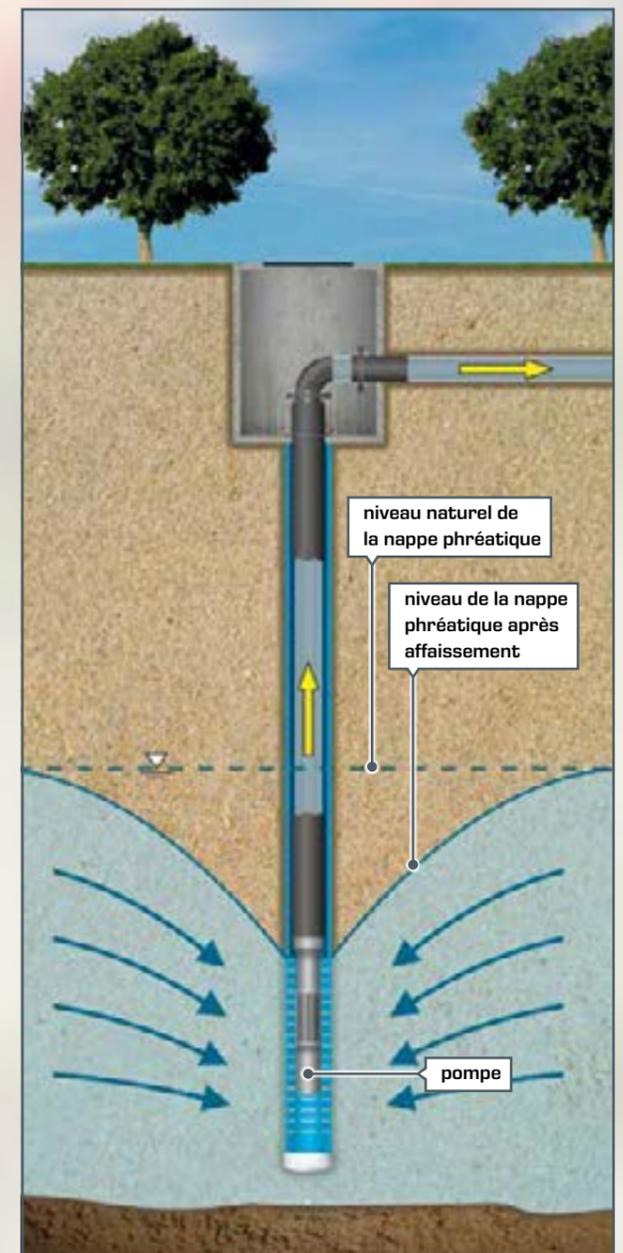
### Influences sur l'hydrogéologie

Suite usage inapproprié de produits chimiques, de nombreuses substances toxiques se sont retrouvées par le passé dans les eaux souterraines. Le génie durable de l'environnement s'est donc donné pour objectif de créer les conditions d'une exploitation respectueuse des eaux souterraines et simultanément d'éviter autant que possible que cette exploitation ait des effets nuisibles sur la nappe phréatique. Et partout où les eaux souterraines sont déjà polluées, il est nécessaire de sécuriser ou assainir la zone concernée afin d'éviter que ces contaminations continuent de se propager.

Nombre de chantiers de construction ont des effets importants sur les caractéristiques hydrogéologiques de la terre. Ces chantiers requièrent donc d'avoir des connaissances solides en hydrogéologie et doivent faire l'objet d'une planification très rigoureuse.

Ainsi, lorsqu'on prélève des eaux souterraines tout autour du puits de pompage, cela entraîne un abaissement en forme de cône du niveau de la nappe phréatique.

Pour les ouvrages contournés par le bas ou traversés par un écoulement comme c'est le cas des rideaux de palplanches et des barrages, le fait de connaître parfaitement le parcours des écoulements d'infiltration joue un rôle décisif sur la stabilité statique des ouvrages concernés. Lors de la réalisation de tels ouvrages, il faut donc aussi prendre en compte leurs conséquences hydrogéologiques.



Cône d'affaissement lors du prélèvement d'eaux souterraines

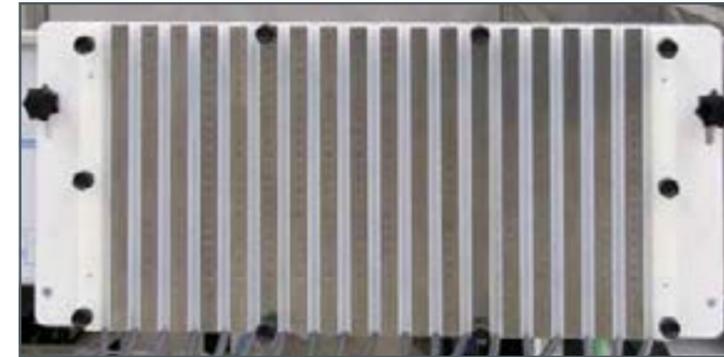
## HM 165 Études hydrologiques

Des études hydrologiques sont réalisées dans le cadre de la conception, construction et exploitation d'installations hydrauliques ainsi que pour tous les travaux liés à la gestion de l'eau. Les principales thématiques traitées ici sont l'infiltration et l'écoulement de l'eau dans le sol ainsi que l'exploitation des eaux souterraines.

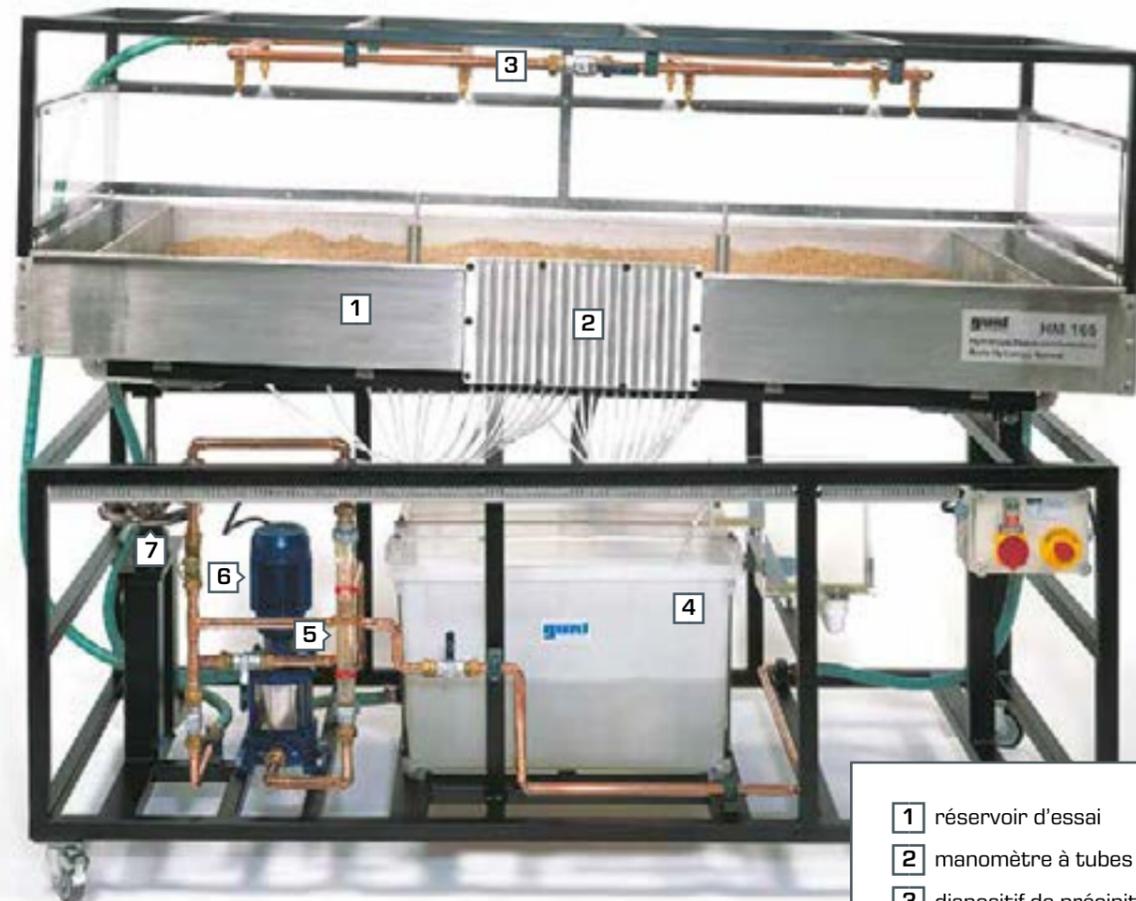
Cet appareil vous permet d'étudier les écoulements d'infiltration et les écoulements souterrains après des précipitations. Il permet de bien observer en particulier la perméabilité et la capacité de stockage des sols. Le grand nombre de paramètres ajustables permet de réaliser un éventail très complet d'essais différents.



Dispositif de précipitation avec buses pour la simulation réaliste de précipitations



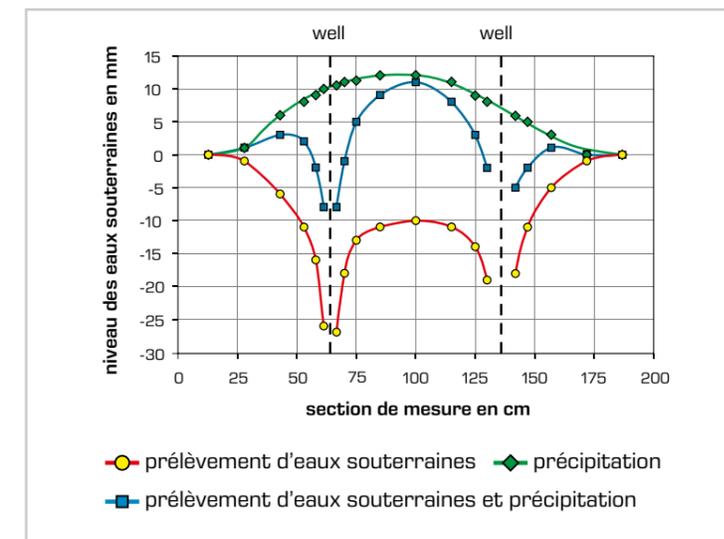
Les 19 manomètres à tubes permettent une mesure très détaillée du niveau de la nappe phréatique.



- 1 réservoir d'essai
- 2 manomètre à tubes
- 3 dispositif de précipitation
- 4 réservoir de stockage
- 5 débitmètre
- 6 pompe
- 7 système d'ajustage de l'inclinaison

Afin de représenter l'écoulement souterrain, l'alimentation en eau du réservoir d'essai se fait par l'intermédiaire de deux chambres latérales. Le banc d'essai est également pourvu d'un dispositif de précipitation pour l'étude des précipitations. Deux puits avec crépines ou les deux chambres latérales pourvues d'écrans de drainage permettent d'étudier différents drainages. 19 raccords de mesure se trouvant au fond du réservoir d'essai permettent de mesurer les niveaux des eaux souterraines, niveaux qui s'affichent ensuite sur des manomètres à tubes.

Cet appareil est bien sûr aussi accompagné d'une documentation didactique exhaustive. La description détaillée d'une sélection d'essais vous permet d'intégrer rapidement cet appareil à vos cours.



Extrait de l'instruction d'expériences du HM 165: mesures des niveaux des eaux souterraines d'une île pour trois scénarios différents.

**Contenu didactique**

- étude de processus non stationnaires
  - ▶ effets de précipitations de durées différentes sur l'évacuation
  - ▶ capacité de stockage d'un sol
- étude de processus stationnaires
  - ▶ étude de l'écoulement d'infiltration
  - ▶ étude des effets de puits sur l'évolution du niveau des eaux souterraines

Sur le produit:



## HM 141 Hydrogrammes après des précipitations

Les hydrogrammes sont un instrument important pour représenter des données hydrologiques telles que les précipitations, les niveaux des eaux souterraines ou les écoulements. En outre, l'hydrogramme sert de support pour dimensionner des réseaux de canalisations. Le volume de précipitations en fonction du temps joue pour cela un rôle tout aussi important que les propriétés du sol.

### i Hydrogramme

L'hydrogramme est la représentation graphique du débit évacué (par ex. en  $m^3/h$ ) à un point de mesure spécifique en fonction du temps.

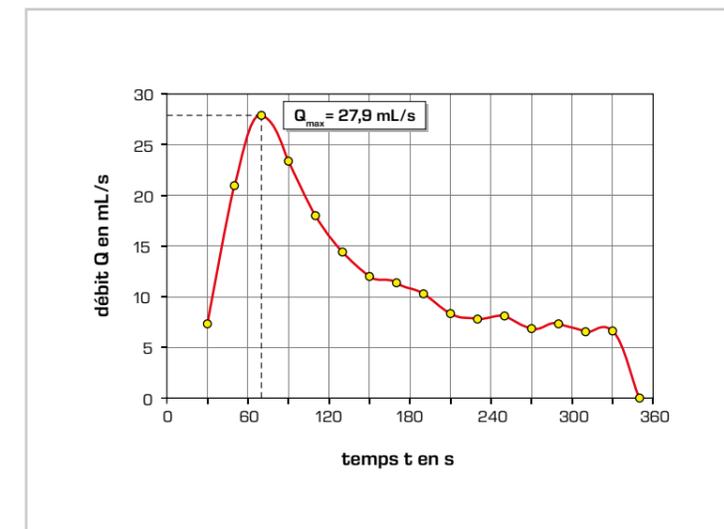


Un réservoir d'essai rempli de sable ou de graviers constitue l'élément central du HM 141. Des programmeurs permettent d'alimenter la surface d'essai en précipitations de durée et d'intensité différentes. Le drainage de la surface d'essai est assuré au choix soit par un tuyau de drainage, soit par une chambre d'évacuation se trouvant sur le côté du réservoir d'essai.

L'eau sortant du réservoir d'essai vient remplir l'une après l'autre, de manière programmée, 17 chambres de mesure. En déterminant la quantité d'eau dans chacune des chambres, vous pouvez déterminer le débit évacué de la surface d'essai en fonction du temps, en d'autres termes l'hydrogramme.



Les chambres de mesure sont remplies de manière programmée l'une après l'autre.



Extrait de l'instruction d'expériences du HM 141: courbe typique de l'hydrogramme lors d'un drainage par des chambres d'évacuation latérales. On peut calculer à partir de ce hydrogramme l'écoulement maximal au cours de ces précipitations.

### Contenu didactique

- effets de précipitations de durées et d'intensités différentes sur des sols ayant des taux de saturation différents
- enregistrement d'hydrogrammes après des précipitations
- comparaison entre drainage naturel et drainage par tuyau
- influence des bassins de retenue de l'eau de pluie sur l'hydrogramme

Sur le produit:



## HM167 Écoulements souterrains

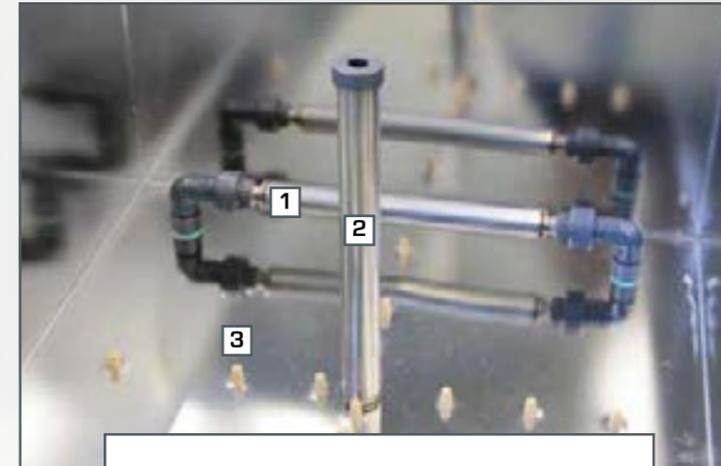
Un grand nombre de chantiers de construction ont une influence sur le niveau de la nappe phréatique. Ce qui peut être le cas par exemple lors de l'exploitation d'eaux souterraines, de protections contre les inondations ou de mesures d'assainissement. C'est pourquoi il est impératif que les spécialistes en ingénierie de l'environnement disposent de connaissances précises sur les effets que produisent de tels chantiers sur le niveau de la nappe phréatique et qui serviront de base à leurs travaux de planification.

Notre banc d'essai HM167 a été développé pour acquérir des connaissances pratiques sur de tels sujets. Le banc d'essai permet de représenter des scénarios typiques de construction et d'étudier en trois dimensions leurs conséquences sur l'écoulement souterrain.

Un réservoir d'essai rempli de sable ou de graviers constitue l'élément central du HM167. Pour simuler différents ouvrages, vous avez la possibilité de positionner différents modèles dans le réservoir d'essai. Les modèles permettent d'étudier des tranchées, fouilles et puits.



Modèles à installer dans les réservoirs d'essai



- 1** réservoir d'essai avec alimentation en eau
- 2** puit
- 3** points de mesure du niveau de la nappe phréatique

Les deux faces avant du réservoir d'essai sont pourvues respectivement d'une alimentation. L'étude de différents drainages est rendue possible par deux puits. Les alimentations et les puits peuvent être activés séparément. Cela rend possible un grand nombre d'essais.

Le réservoir d'essai est équipé au total de 19 points de mesure pour déterminer les niveaux des eaux souterraines. Ces niveaux sont affichés avec clarté sur des manomètres à tubes. Des graduations installées près des manomètres à tubes permettent de relever facilement et avec précision les niveaux des eaux souterraines.

### Contenu didactique

- détermination du niveau de la nappe phréatique
- abaissement des eaux par un ou deux puits
- écoulement souterrain en fouilles
- études des eaux souterraines en cas de charge concentrique sur le sous-sol



Sur le produit:



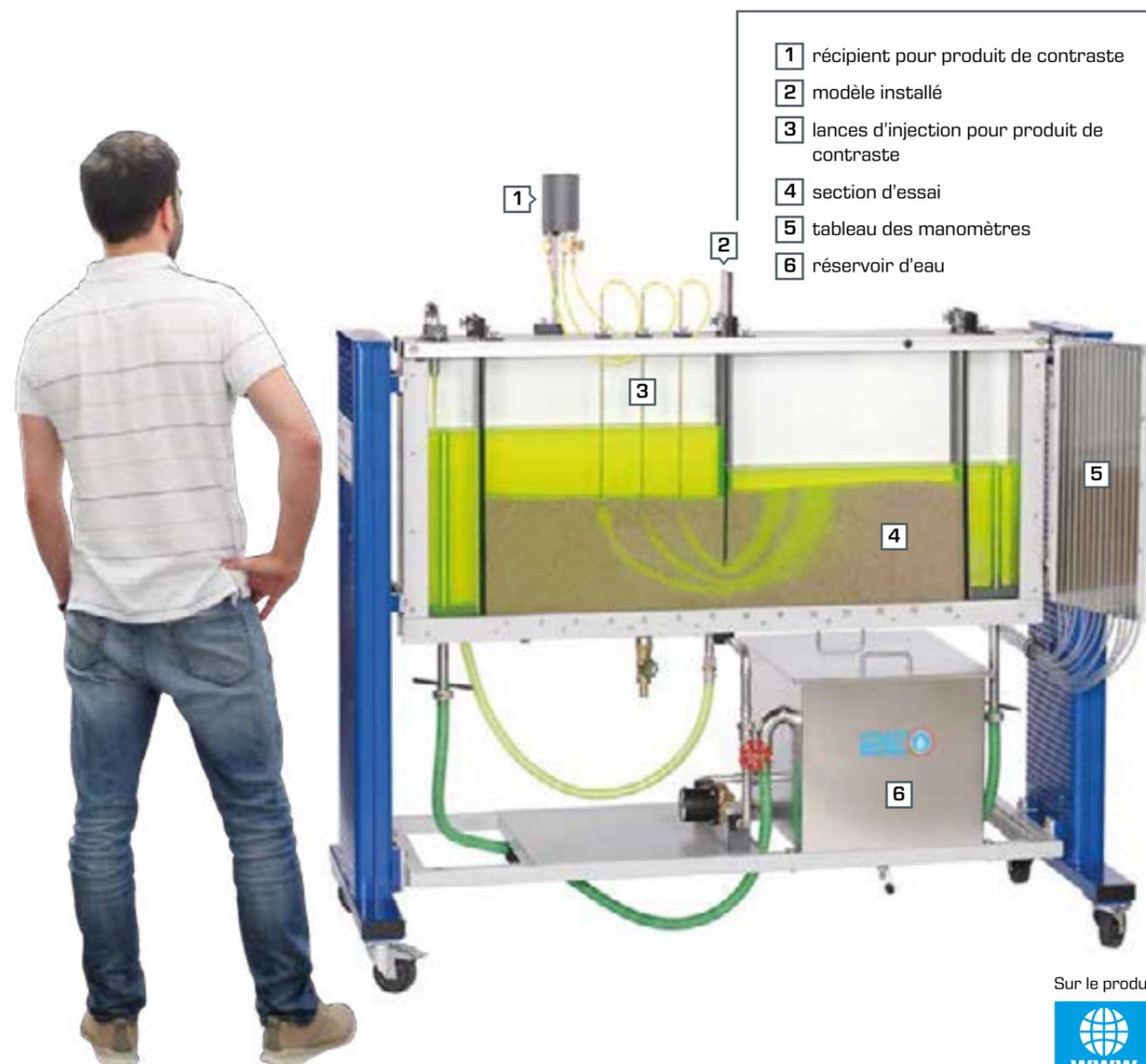
## HM 169 Visualisation d'écoulements d'infiltration

### Écoulements d'infiltration – protection des eaux souterraines et des ouvrages

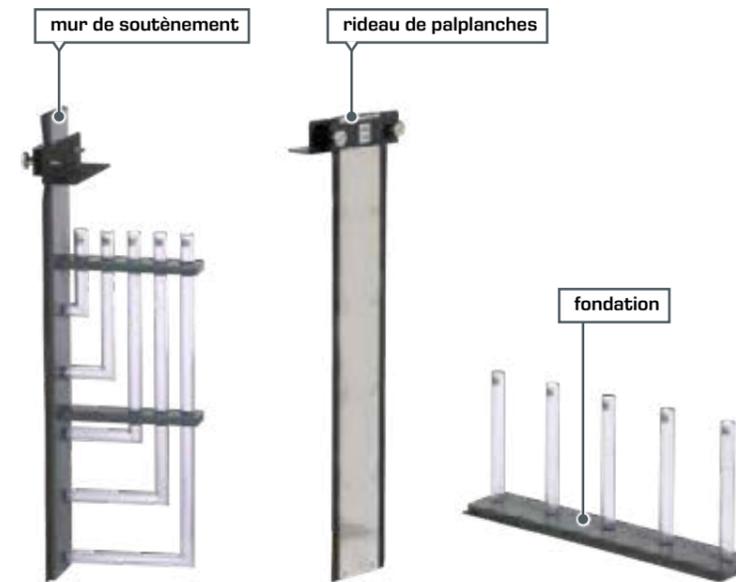
Les écoulements d'infiltration jouent un rôle important en cas de constructions dans des couches aquifères. Le fait que l'écoulement traverse ou contourne les ouvrages a d'une part son importance. L'autre élément à considérer étant la pression hydrostatique qui s'exerce sur les ouvrages.

Une méthode explicite pour étudier les écoulements d'infiltration et écoulements souterrains consiste à visualiser les lignes de courant et leur représentation graphique sous la forme d'un réseau d'écoulement. Le réseau d'écoulement donne des informations sur l'infiltration des eaux sur des ouvrages comme les barrages et les rideaux de palplanches.

Le banc d'essai HM 169 vous permet de bien visualiser et étudier les lignes de courant autour des ouvrages. Vous disposez à cet effet de différents modèles d'ouvrages que vous pouvez intégrer facilement à la section d'essai.



Sur le produit:



L'injection d'un produit de contraste comme la fluorescéine ou l'encre permet de mettre en évidence de manière très visible les lignes de courant. Pour les deux modèles «mur de soutènement» et «fondation», les deux évolutions de la pression de ces ouvrages sont également affichées. Les niveaux des eaux souterraines dans la section d'essai peuvent être mesurés facilement et de manière très précise avec des manomètres à tubes.



Présentation du HM 169 à l'école supérieure Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (Allemagne): les employés écoutent avec beaucoup d'intérêt les possibilités offertes par ce banc d'essai.

Contenu didactique
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ détermination graphique de réseaux d'écoulement dans des milieux perméables               <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ lignes de courant en dessous d'un rideau de palplanche</li> <li>▶ lignes de courant au travers de digues</li> <li>▶ drainage sur une tranchée ouverte</li> </ul> </li> <li>■ détermination de l'évolution de la pression sur une fondation</li> <li>■ détermination de l'évolution de la pression sur un mur de soutènement</li> <li>■ évolution des niveaux des eaux souterraines avec différents modèles</li> </ul>



## CE117 Écoulement à travers des couches de particules

### Écoulement d'infiltration

On appelle écoulement d'infiltration en hydrologie l'écoulement d'un fluide (eau) dans des couches de sol telles que le sable. Le fluide remplit plus ou moins les pores de la couche de sol non saturée en eau et se déplace vers le bas en direction de couches de sol plus profondes sous l'effet de la force de gravité. Pour que les eaux d'infiltration ne soient pas retenues, il faut que le sol soit perméable.

Dans les sols moins perméables, il est possible que les eaux d'infiltration soient temporairement retenues. Lorsque les eaux d'infiltration arrivent sur une couche de sol imperméable comme par exemple une roche imperméable, l'infiltration est stoppée et les eaux d'infiltration sont retenues de manière durable. Ces accumulations d'eaux en sous-sol sont appelées eaux souterraines. D'un point de vue hydraulique, l'écoulement d'infiltration correspond au écoulement à travers une couche de particules.

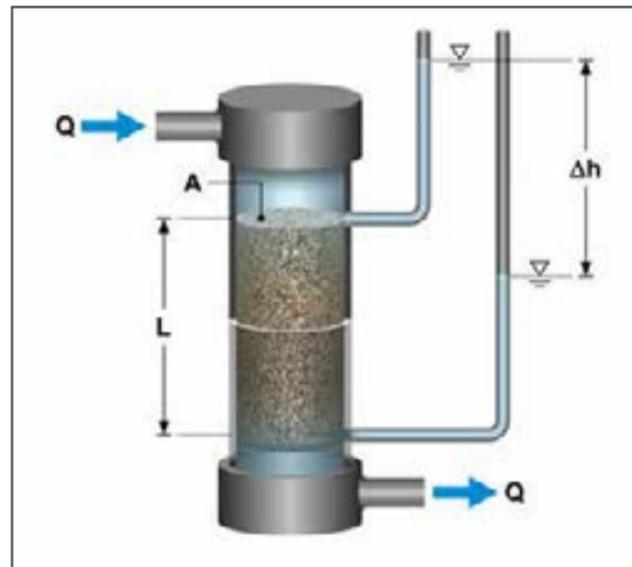
### Loi de Darcy

Les recherches sur les relations fondamentales entre l'écoulement à travers les couches de particules remontent à **Henry Darcy** (1803-1858).

Lorsque l'écoulement traverse une couche de particules, la couche de particules résiste à l'écoulement, ce qui entraîne une perte de pression. **Darcy** a découvert qu'avec l'écoulement laminaire, il existe une relation linéaire entre le débit  $Q$  et la perte de charge (hauteur de pression différentielle  $\Delta h$ ).

$$Q = k_f \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

La grandeur sans dimensions  $\Delta h/L$  est appelée gradient hydraulique. La perméabilité est définie par le coefficient de perméabilité  $k_f$  en l'unité m/s et dépend de la taille de grain et de l'espace poreux exploitable.

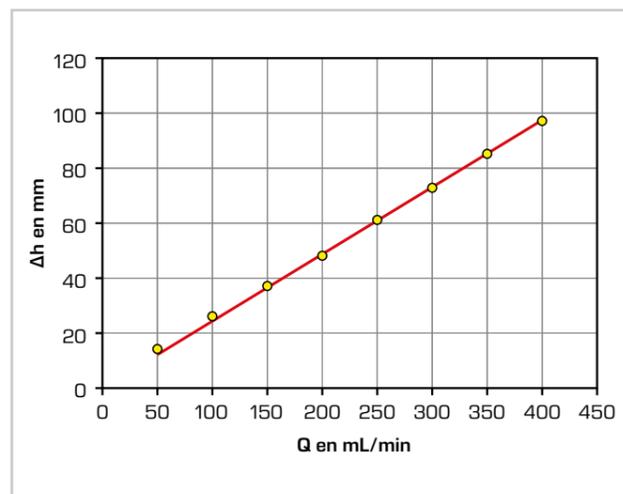


Écoulement à travers une couche de particules

### Appareil d'essai CE 117

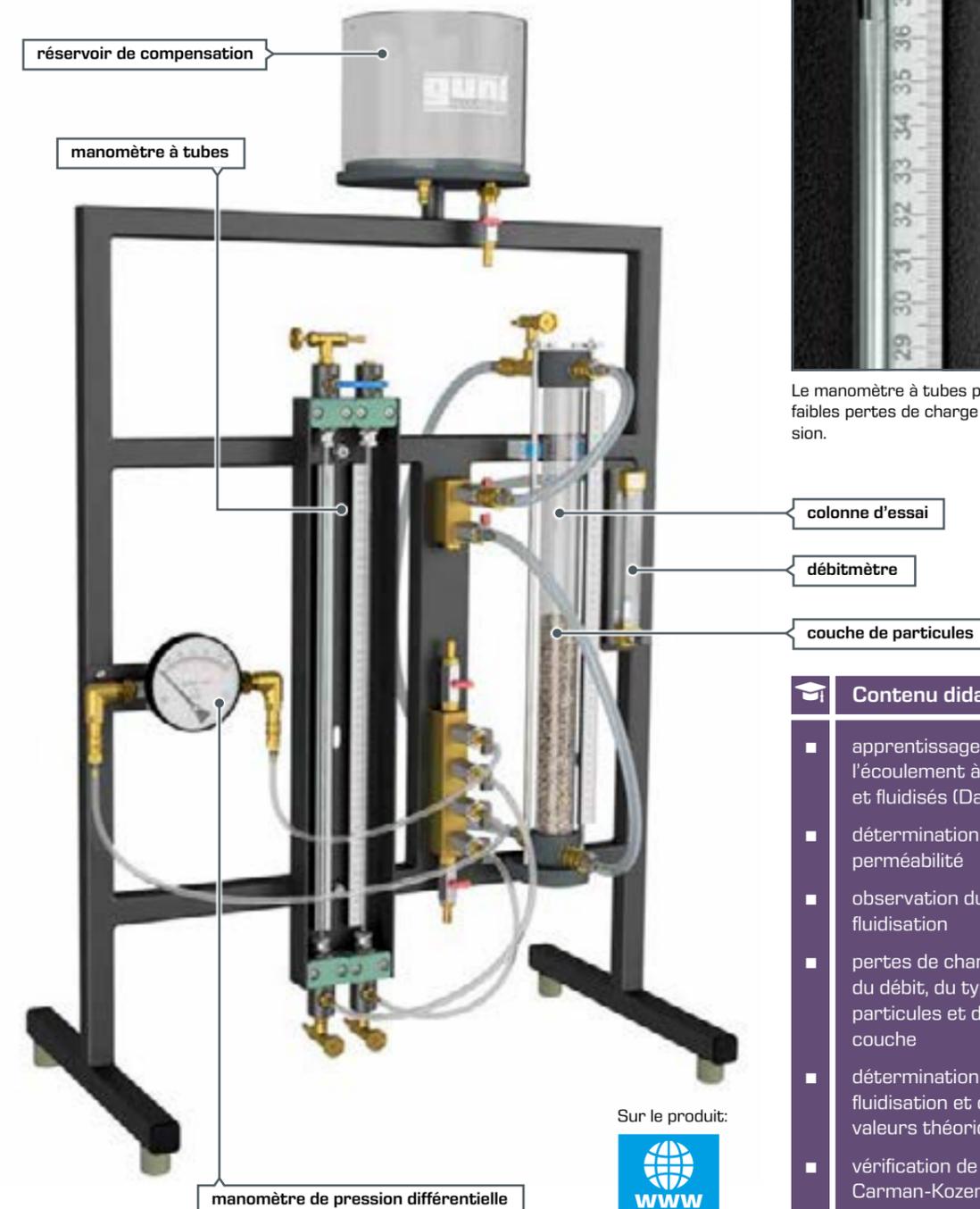
L'appareil d'essai CE 117 permet d'étudier les bases hydrodynamiques de l'écoulement à travers des lits fixes. L'appareil d'essai dispose à cet effet d'un réservoir d'essai en verre qui permet une observation optimale des procédés. Deux manomètres possédant des plages de mesure différentes sont prévus pour déterminer la perte de charge.

Des accouplements rapides permettent de modifier le montage expérimental. Ainsi, le sens d'écoulement dans le réservoir d'essai peut être inversé pour l'étude des lits fluidisés. Le débit s'ajuste à l'aide d'une vanne et est indiqué par un débitmètre.



L'hauteur de pression différentielle mesurée  $\Delta h$  en fonction du débit  $Q$  (sable:  $d = 1...2\text{mm}$ ,  $L = 60\text{mm}$ )

- essais de base relatifs aux mécanismes d'écoulement à travers des couches de particules
- écoulement à travers des lits fixes
- écoulement à travers des lits fluidisés
- pertes de charge dans le lit fixe et le lit fluidisé



Le manomètre à tubes permet de déterminer de faibles pertes de charge avec une grande précision.

### Contenu didactique

- apprentissage des bases de l'écoulement à travers les lits fixes et fluidisés (Darcy)
- détermination du coefficient de perméabilité
- observation du processus de fluidisation
- pertes de charge en fonction du débit, du type, de la taille des particules et de la hauteur de la couche
- détermination de la vitesse de fluidisation et comparaison aux valeurs théoriques calculées
- vérification de l'équation de Carman-Kozeny

Sur le produit:



## Connaissances de base Traitement du sol

### Présence de polluants dans le sol – une menace pour l'environnement

Le traitement des matières dangereuses pour l'environnement a longtemps été négligé. Ce qui a entraîné en de nombreux endroits la pénétration de matières toxiques (comme les hydrocarbures chlorés) dans la terre. Une grande partie de ces contaminations provient de décharges et de sites industriels désaffectés et constitue un risque pour l'environnement et en particulier pour les eaux souterraines. Un assainissement du sol contaminé est dans ce cas nécessaire. Différents procédés existent, en fonction de la nature du sol et du type de contamination.

Le traitement des matières dangereuses pour l'environnement a longtemps été négligé. Ce qui a entraîné en de nombreux endroits la pénétration de matières toxiques (comme les hydrocarbures chlorés) dans la terre. Une grande partie de ces contaminations provient de décharges et de sites industriels désaffectés et constitue un risque pour l'environnement et en particulier pour les eaux souterraines. Un assainissement du sol contaminé est dans ce cas nécessaire. Différents procédés existent, en fonction de la nature du sol et du type de contamination.

### Sol: un mélange polyphase

Les trois phases sont en général présentes dans le sol (solide, liquide et gazeux). C'est pourquoi la contamination peut concerner chacune de ces trois phases. Le traitement des sols nécessite donc une approche globale qui prend en considération ces trois phases et la complexité de leurs interactions.



### Traitement des sols contaminés: une tâche complexe

L'objectif principal du traitement du sol est de protéger les eaux souterraines et, dans la mesure du possible, de rétablir la fonction d'origine du sol contaminé. Étant donné que les trois phases peuvent être touchées par la contamination, le traitement du sol est une tâche très complexe.

En dehors du sol contaminé, la formation d'eau de processus contaminée et d'air extrait accompagnent en général le traitement. Là aussi, un traitement est requis, qui nécessite à son tour le recours à des procédés courants des domaines du traitement de l'eau et de la préservation de la qualité de l'air. On distingue principalement deux manières de procéder pour traiter le sol: In-situ et Ex-situ.

#### In-situ

Le traitement est effectué directement dans le sol, donc sur le lieu de la contamination.

#### Ex-situ

Le sol contaminé est prélevé et traité dans une installation externe.

### Traitement du sol In-situ

Le traitement In-situ des sols est adapté en particulier à la phase liquide et à la phase gazeuse:

- **phase liquide:** pompage et traitement
- **phase gazeuse:** aspiration de l'air du sol

Lors des deux procédés, le fluide est acheminé hors du sol pour en extraire le polluant, puis le fluide épuré est ensuite réacheminé dans le sol. La séparation du polluant et du fluide est assurée soit par des procédés classiques du traitement de l'eau (pompage et traitement) soit par des méthodes de préservation de la qualité de l'air (aspiration de l'air du sol).

### Traitement du sol Ex-situ

Lors du traitement Ex-situ des sols, le sol contaminé est prélevé dans un premier temps. Puis le sol est traité dans des installations spéciales. La plupart des procédés utilisés dans ce cadre trouvent leurs origines dans le domaine du génie des procédés mécaniques et thermiques. Voici quelques exemples de procédés fréquemment utilisés pour traiter le sol:

- broyage
- tamisage
- séparation solide/liquide
- séparation de petites particules (par ex. avec l'hydrocyclone)
- extraction solide/liquide

## CE 225 Hydrocyclone

### Hydrocyclone dans le traitement du sol

L'expérience a montré que les polluants des sols contaminés sont pour la plupart liés aux particules fines et aux éléments organiques. Les hydrocyclones permettent de séparer ces particules fines afin de les traiter ensuite au moyen d'autres procédés tels que l'extraction solide/liquide.

Notre banc d'essai CE 225 permet de démontrer et étudier de manière pratique le mode de fonctionnement d'un hydrocyclone. Vous êtes aidé dans cette tâche par la documentation didactique très complète, qui vous donne aussi des idées pour la réalisation des essais.



Élément central du CE 225:  
hydrocyclone transparent  
pour une observation opti-  
male du processus de sépa-  
ration.

L'appareil dispose d'un grand réservoir dans lequel est déposée la suspension à séparer. Le cyclone est fabriqué dans un matériau transparent, afin de rendre également visible le processus de séparation. Le débit d'alimentation du cyclone peut être ajusté de manière individuelle et être mesuré avec un débitmètre électromagnétique.

Il est bien sûr possible de prélever des échantillons à tous les points significatifs de l'appareil afin de pouvoir aussi réaliser une évaluation quantitative des essais.

#### Contenu didactique

- principe de base et des caractéristiques de fonctionnement d'un hydrocyclone
- débits massiques de matière solide dans l'alimentation, la surverse et la sousverse
- débits massiques de liquide dans l'alimentation, la surverse et la sousverse
- valeurs caractéristiques de la précision de séparation
- perte de charge au niveau du cyclone en fonction du débit d'alimentation
- influence de la densité des matières solides sur les valeurs caractéristiques et la perte de charge

Cet appareil a été développé par nos ingénieurs expérimentés en collaboration avec l'institut de génie des procédés mécaniques de l'école supérieure Hochschule Anhalt (en Allemagne).

**Hochschule Anhalt**  
Anhalt University of Applied Sciences

Sur le produit:



## CE 630 Extraction solide-liquide

### Utilisation d'un procédé de séparation thermique pour le traitement du sol

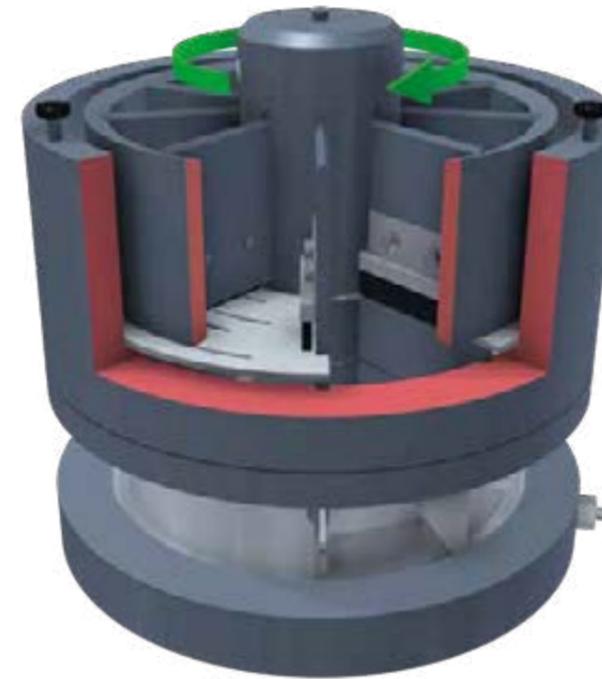
Il arrive que les polluants soient sorbés aux particules solides du sol. L'extraction solide-liquide permet de séparer ces polluants des particules du sol. Il faut choisir pour cela un solvant qui soit adapté au polluant et à la nature du sol.

L'appareil didactique CE 630 est idéal pour expliquer de manière pratique et visuelle le principe de base de ce procédé. Vous pouvez faire fonctionner cet appareil en mode continu ou discontinu, au choix. Vous pouvez également ajuster la température du solvant.

- 1 schéma de processus
- 2 trémie de matière à extraire (matière solide)
- 3 doseur de matières solides
- 4 extracteur
- 5 collecteur des résidus d'extraction
- 6 collecteur de matière extraite
- 7 réservoir de solvants
- 8 armoire de commande avec éléments de commande et affichages numériques



Sur le produit:

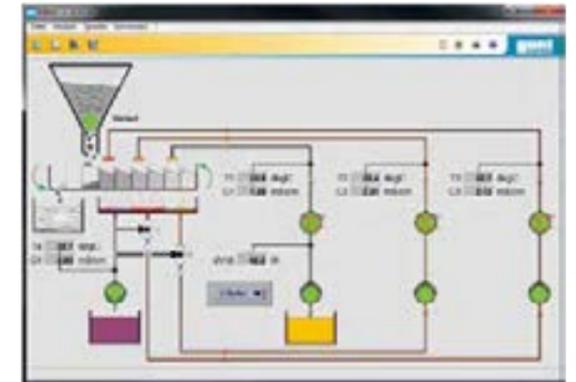


### Extracteur rotatif

L'élément principal du CE 630 est un extracteur rotatif divisé en plusieurs chambres. La matière à extraire, c'est-à-dire la matière solide contenant la matière à éliminer, est acheminée dans ces chambres. Le solvant est injecté au moyen de trois buses, par le haut, à l'intérieur des chambres. La rotation de l'extracteur rend possible un déroulement en 3 étapes du processus. Vous pouvez bien sûr ajuster la vitesse de rotation de l'extracteur.

### Contenu didactique

- principe de base de l'extraction solide-liquide
- influence du mode de fonctionnement (continu / discontinu)
- étude du processus en 1, 2 et 3 étapes
- influence des paramètres typiques sur le processus:
  - ▶ débit du solvant
  - ▶ température du solvant
  - ▶ débit de refoulement de la matière à extraire
  - ▶ vitesse de rotation de l'extracteur



### Logiciel

L'appareil est équipé d'un logiciel qui affiche en continu toutes les grandeurs importantes du processus. Vous avez bien entendu la possibilité d'enregistrer les valeurs de mesure pour l'évaluation des essais.



Un enseignant satisfait de l'Industrial College de Yanbu (Arabie Saoudite) après la mise en service réussie du CE 630



## Introduction

<b>Champs d'apprentissage</b> Déchets	092
--	-----

<b>Connaissances de base</b> Déchets	094
---	-----

## Broyage

<b>CE 245</b> Broyeur à billes	096
-----------------------------------	-----

## Procédés de séparation

<b>CE 280</b> Séparation magnétique	098
--	-----

<b>CE 275</b> Aéroséparation	100
---------------------------------	-----

<b>MT 174</b> Installation de tri	102
--------------------------------------	-----



Champs d'apprentissage  
Déchets Champs d'apprentissage

Produits

**Broyage**

Le broyage des déchets joue un rôle important dans la gestion des ordures et constitue une étape préalable incontournable de nombreux procédés de recyclage. Le broyage prépare les déchets pour les étapes du procédé qui va suivre. Les broyeurs à billes constituent une méthode classique de broyage des matières solides. Notre appareil d'essai CE 245 démontre avec une grande clarté ce procédé.

Broyage

**CE 245**  
Broyeur à billes**Procédés de séparation**

Les procédés de séparation servent à diviser les mélanges de déchets en plusieurs fractions. Cette séparation peut se faire en fonction des caractéristiques des matières (matériaux) ou de leurs caractéristiques géométriques (taille des particules).

Parmi les exemples d'application classiques, on peut citer la séparation des métaux permettant de les intégrer ensuite à un processus de recyclage. La séparation des métaux est assurée en règle générale par des séparateurs magnétiques. Avec notre banc d'essai CE 280, vous pouvez utiliser ce procédé de séparation à l'échelle du laboratoire.

Lors de l'aéroséparation au contraire, les différentes fractions d'un mélange de déchets sont séparées les unes des autres en fonction de leurs propriétés géométriques. Notre séparateur en zigzag CE 275 a été développé pour pouvoir expliquer de manière claire les fondements de ce procédé.

Procédés de séparation

**CE 280**  
Séparation magnétique**CE 275**  
Aéroséparation**MT 174**  
Installation de tri

Un grand nombre de procédés utilisés dans la gestion des ordures trouvent leurs origines dans le génie des procédés classique. En particulier les procédés de séparation du génie des procédés mécaniques sont utilisés ici. Vous trouverez d'autres appareils intéressants sur la thématique du génie des procédés dans notre catalogue 5.

## Connaissances de base

## Déchets

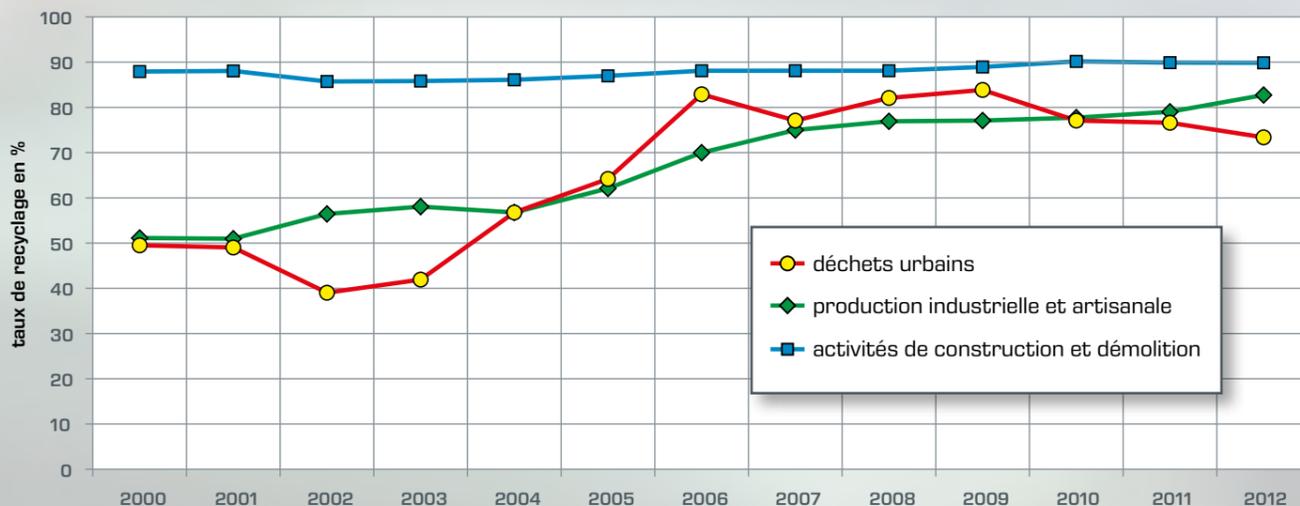
## Les déchets dans le circuit économique

En Allemagne, env. 500 à 600 kg de déchets domestiques par habitant sont produits chaque année. Ces déchets sont constitués des matériaux les plus divers et représentent d'un point de vue économique une ressource importante pour la création de matières premières. En Allemagne, la législation sur les déchets est régie par la loi dite « Loi sur la gestion du cycle de vie des produits ». L'objectif principal de cette loi est d'encourager la préservation des ressources naturelles par le biais de la réutilisation ou du recyclage des déchets, et d'assurer ainsi la protection de l'Homme et de son environnement dans le cadre de la production et de la gestion des déchets.

1	Éviter les déchets
2	Préparation en vue de la réutilisation des déchets
3	Recyclage des déchets
4	Autres utilisations des déchets (par ex. énergie)
5	Évacuation des déchets

## La hiérarchie à 5 étages des déchets

La hiérarchie à 5 étages des déchets constitue un point central de la « Loi sur la gestion du cycle de vie des produits ». Selon ce classement, la priorité absolue est d'éviter la production de déchets (1). Si cela est inévitable, il faut tout faire pour réutiliser ces déchets en les nettoyant ou en les réparant (2). Si une réutilisation directe n'est pas possible, il faut recycler les déchets produits en fonction des propriétés de leurs matériaux (3). Si cela n'est pas possible ou pas rentable, les déchets doivent être réutilisés de toute autre manière (4), par exemple pour produire de l'énergie. Enfin, l'évacuation des déchets arrive en dernière place de ce classement (5); cette évacuation est assurée essentiellement par les décharges.



Taux d'utilisation des types de déchets principaux en Allemagne  
Source: Office fédéral des statistiques, Wiesbaden (Allemagne), Bilan des déchets, différentes années;  
Ministère de l'environnement allemand, calculs internes

## Broyage: la condition d'un recyclage efficace

Le broyage tient une place importante dans la gestion des déchets. Le broyage a pour effet de réduire la taille des particules de déchets. Il entraîne aussi l'augmentation de la surface spécifique des particules. Le broyage constitue généralement un prétraitement qui est suivi par les autres étapes du processus. La fusion des plastiques est ainsi facilitée, entre autres par la taille réduite des particules. On utilise pour le broyage des déchets différentes techniques comme par ex. le broyage à billes.



## Séparation magnétique

La séparation magnétique est un procédé de séparation qui s'appuie sur la magnétisation des éléments (comme le fer) d'un mélange de déchets. Le mélange de déchets est acheminé jusqu'à un tambour rotatif aimanté. Un aimant permanent se trouve dans une partie du tambour, qui attire et transporte les éléments magnétisables sur le tambour. Les éléments non magnétisables tombent par gravité dans un récipient collecteur. Les éléments magnétisables se détachent eux du tambour seulement une fois qu'ils ont quitté la zone d'influence de l'aimant permanent et chutent alors dans un autre récipient collecteur.

## Aéroséparation

Ce procédé de séparation s'appuie sur les différences de vitesse de sédimentation des particules dans un écoulement d'air. La vitesse de sédimentation dépend de la taille, de la densité et de la forme des différentes particules, et des forces de résistance à l'écoulement et poids qui en résultent. On utilise pour l'aéroséparation essentiellement ce que l'on appelle des séparateurs en zigzag. Sur un séparateur en zigzag, le mélange de déchets à séparer est introduit latéralement dans le canal en zigzag dans lequel un écoulement d'air se déplace vers le haut. En fonction de leur géométrie et de leur densité, les particules sont soit emportées par l'écoulement d'air, soit tombent au fond par gravité. Un cyclone est souvent monté après le séparateur en zigzag. Il a pour effet de séparer la fraction emportée par l'écoulement d'air, ce qui permet d'imprimer à l'air un mouvement de rotation.

## Aéroséparation

- 1** mélange de déchets
- 2** séparateur en zigzag
- 3** cyclone gaz
- 4** ventilateur
- 5** réservoir pour fines particules
- 6** réservoir pour grosses particules

## CE 245 Broyeur à billes



De nombreux procédés utilisés pour le recyclage des déchets sont plus efficaces lorsque les particules sont de petite taille. C'est pourquoi il faut en général commencer par broyer les déchets. On utilise à cet effet différentes techniques comme par exemple le broyage à billes.



Broyeur à billes industriel utilisé pour la gestion des déchets

Avec notre appareil d'essai CE 245, vous pouvez expliquer les fondements de ce procédé de broyage conformément à la pratique. Trois tambours sont à votre disposition. La face avant de tous les tambours est transparente. Vous pouvez de cette façon bien observer le processus de broyage et les mouvements caractéristiques des broyeurs à billes à l'intérieur des tambours.

La vitesse de rotation des broyeurs à billes est ajustable en continu. La vitesse de rotation et la puissance absorbée du moteur d'entraînement sont affichées numériquement. Cela vous permet de comparer les puissances nécessaires théorique et réelle. Le programmateur vous permet d'ajuster la durée de fonctionnement souhaitée.

La documentation didactique présente de manière détaillée les fondements de ce procédé. Des essais réalisés à titre d'exemple sont décrits et analysés avec une grande clarté.

### Accessoire recommandé



Pour l'évaluation des essais, nous vous conseillons d'utiliser notre tamiseuse CE 264.

### Contenu didactique

- mouvement de cascade
- mouvement de cataracte
- détermination de la vitesse de rotation critique
- comparaison des puissances nécessaires théorique et réelle
- influence des paramètres suivants sur le degré de réduction:
  - ▶ durée de fonctionnement
  - ▶ vitesse de rotation
  - ▶ diamètre des billes
  - ▶ degré de remplissage en billes
  - ▶ charge de broyage

Sur le produit:



## CE 280 Séparation magnétique



### Séparation magnétique: récupération de matières premières importantes

La récupération de matières valorisables constitue un aspect central de la gestion des déchets. La séparation magnétique représente une méthode très efficace et donc très répandue de séparation de matières valorisables et magnétisables, comme le fer par exemple.

### Séparateur magnétique CE 280

Notre banc d'essai CE 280 permet de démontrer de manière très visuelle le mode de fonctionnement d'un séparateur magnétique. Son composant principal est un séparateur magnétique à tambour professionnel similaire à ceux fréquemment utilisés dans l'industrie pour trier les mélanges de matières solides.

Le mélange à séparer est acheminé à débit régulier jusqu'au séparateur magnétique par le biais d'une goulotte vibrante. La trémie d'alimentation réglable en hauteur vous permet d'ajuster la distance qui sépare la sortie de la trémie de la goulotte vibrante. L'amplitude des oscillations et la fréquence de la goulotte vibrante peuvent être ajustées de manière individuelle. Ces trois possibilités d'ajustage vous permettent d'influencer le débit massique de la charge d'alimentation.

Vous pouvez bien entendu ajuster en continu la vitesse de rotation du séparateur magnétique à tambour afin de pouvoir étudier l'influence de la vitesse de rotation sur l'efficacité de la séparation.

### Contenu didactique

- principe de base et comportement en service d'un séparateur magnétique à tambour
- influence des grandeurs suivantes sur l'efficacité de la séparation:
  - ▶ débit massique de la charge d'alimentation
  - ▶ composition de la charge d'alimentation
  - ▶ type de charge d'alimentation
  - ▶ vitesse du tambour

Sur le produit:

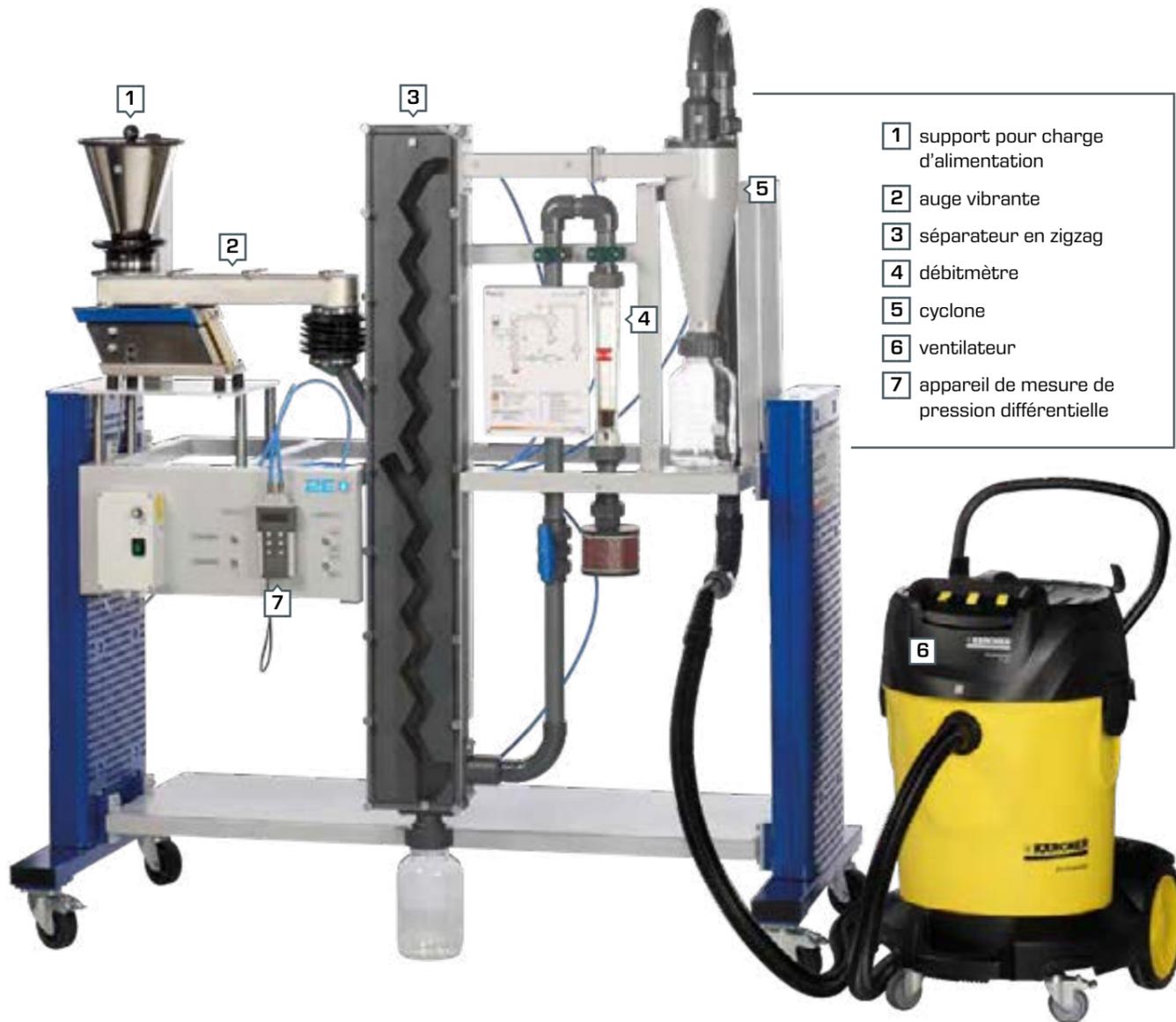


## CE 275 Aéroséparation

### L'aéroséparation avec séparateur en zigzag: un procédé de séparation mécanique

L'aéroséparation est un procédé de séparation mécanique utilisé en génie classique des procédés. Ce procédé est utilisé pour séparer les déchets les plus divers, par exemple pour retirer poussière, sable ou matières non utilisables des matières valorisables. On utilise pour cela principalement des séparateurs en zigzag.

Cet appareil didactique est idéal pour expliquer d'une manière claire et conforme à la pratique les fondements théoriques de ce procédé. L'élément principal du CE 275 est un séparateur en zigzag à 20 étages pourvu d'une protection transparente. Cela permet d'observer de manière optimale et sur toute la hauteur le processus de séparation se déroulant dans le canal en zigzag.



Sur le produit:



### Principe de fonctionnement

Le mélange de déchets (charge d'alimentation) est acheminé de manière régulière jusqu'au séparateur en zigzag par le biais d'une goulotte vibrante. Le ventilateur génère à travers le canal en zigzag l'écoulement d'air ascendant requis pour la séparation. Vous pouvez bien entendu ajuster le débit massique de la charge d'alimentation et le débit volumétrique de l'air. La fraction de la charge d'alimentation transportée dans l'air est ensuite séparée dans un cyclone. Cela permet d'obtenir pour l'écoulement d'air un circuit fermé. Le séparateur en zigzag et le cyclone sont équipés chacun d'une mesure de la pression différentielle.



Le CE 275 pendant son essai de fonctionnement:  
L'auge vibrante transporte le mélange à séparer composé de vannure d'épeautre et de noyaux de cerises de manière régulière jusqu'au séparateur en zigzag.



On observe de manière claire et évidente la séparation du mélange dans le canal en zigzag.

Cet appareil a été développé par nos ingénieurs expérimentés en collaboration avec l'institut de génie des procédés mécaniques de l'école supérieure Hochschule Anhalt (en Allemagne).

**Hochschule Anhalt**  
Anhalt University of Applied Sciences

### Accessoire recommandé



Pour l'évaluation des essais, nous vous conseillons d'utiliser notre tamiseuse CE 264.

### Contenu didactique

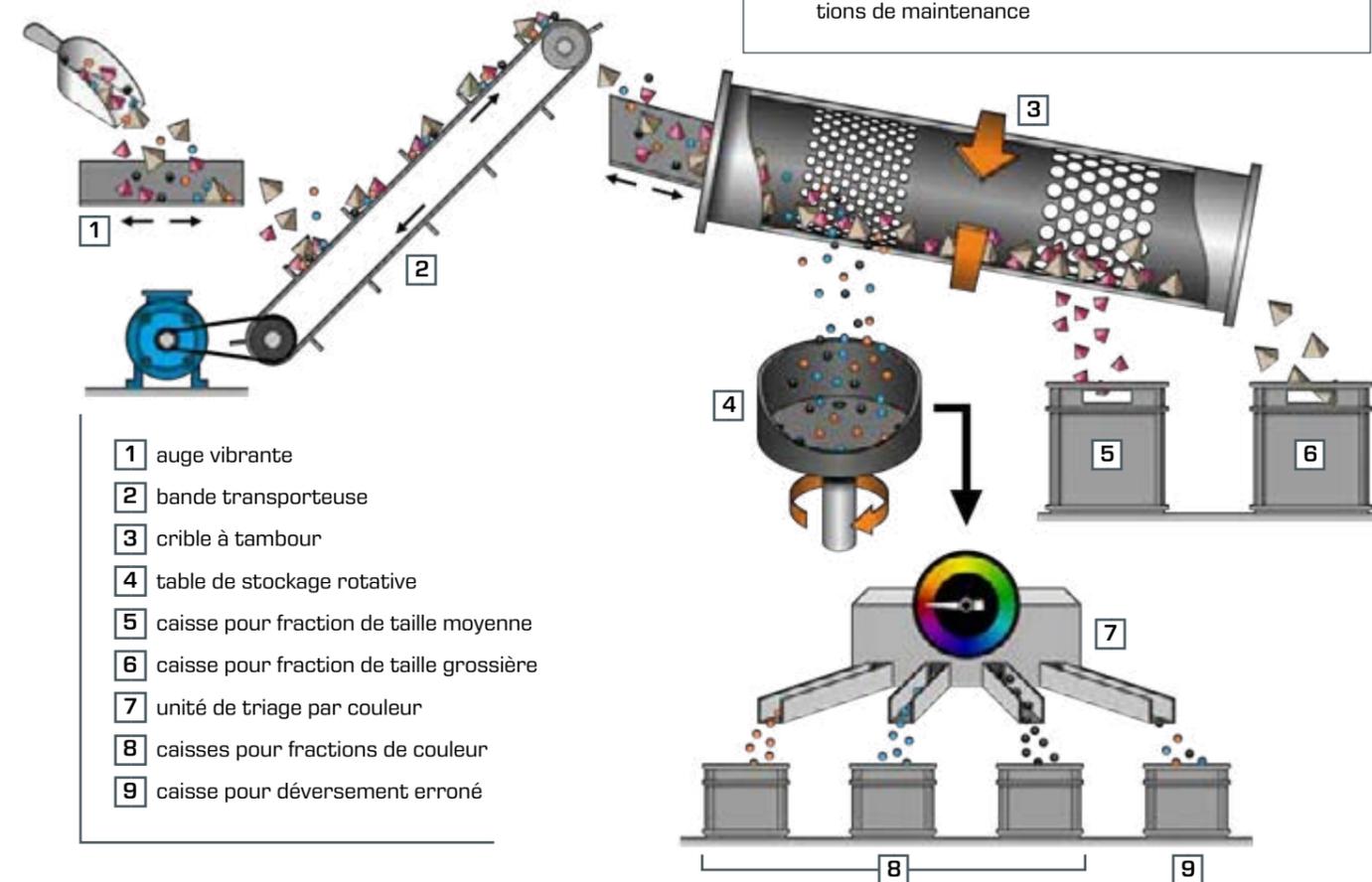
- se familiariser avec le principe de base de l'aéroséparation
  - influence du débit massique et du débit volumique d'air sur
    - ▶ la fraction de fines particules
    - ▶ les produits de la séparation
    - ▶ la perte de charge du séparateur
    - ▶ la perte de charge du cyclone
  - ▶ le bilan de séparation
  - ▶ la loi de répartition
  - ▶ le diamètre de coupure
  - ▶ la précision de séparation
- } avec le CE 264

## MT174 Installation de tri

Le tri de déchets mélangés dans différents groupes ayant les mêmes propriétés joue un rôle essentiel dans la gestion des déchets. Il s'agit d'une condition nécessaire à des processus efficaces de recyclage afin de revaloriser les matières.

L'installation de tri MT 174 reproduit un processus de séparation traditionnel de la gestion des déchets et contient une classification avec un tamis à tambour et un tri par couleur.

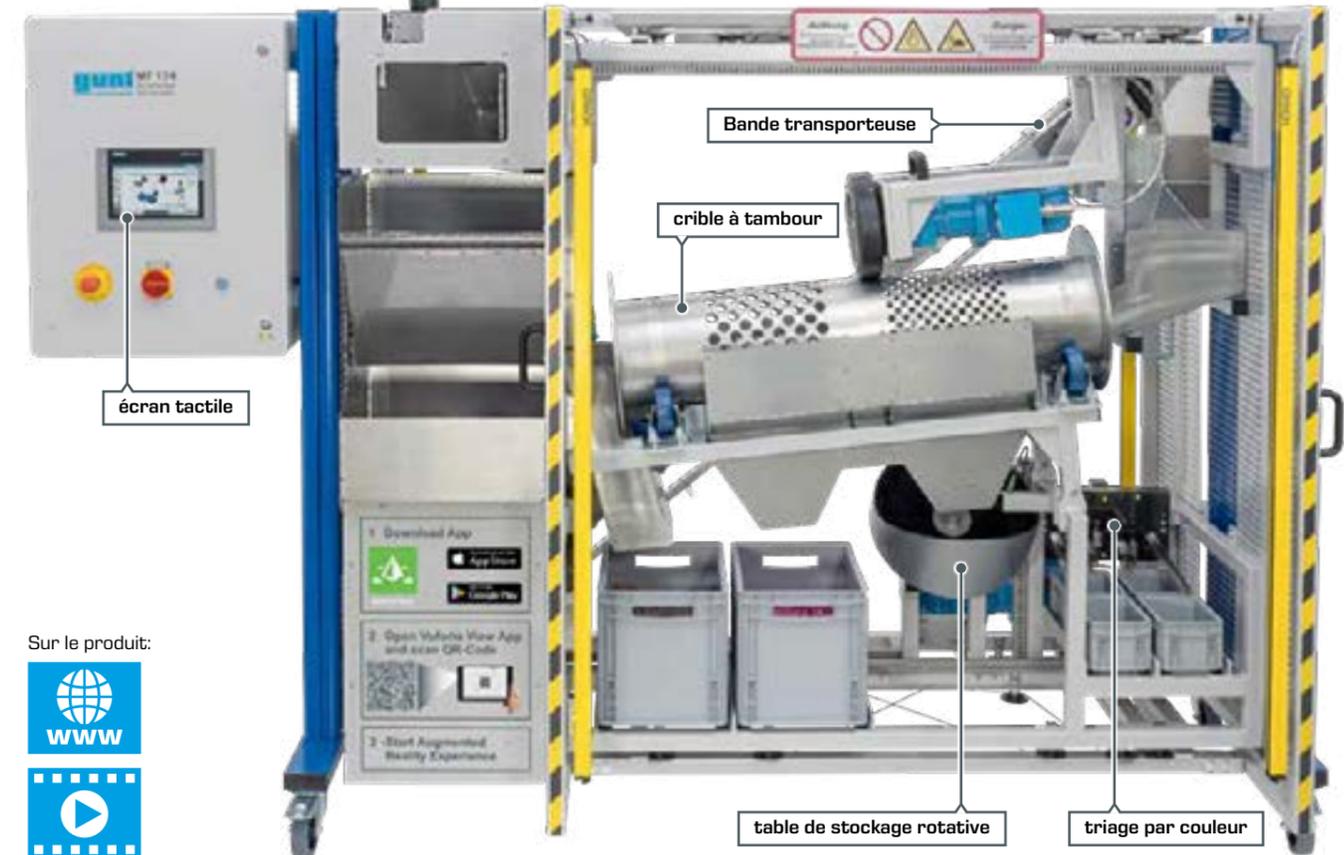
- installation de tri à l'échelle du laboratoire avec des composants industriels standard
- séparation en 3 fractions de taille à l'aide d'un crible à tambour
- triage par couleur en 3 fractions
- commande de l'installation d'essai avec API par écran tactile
- réalité augmentée pour la visualisation des opérations de maintenance



Crible à tambour



Table de stockage rotative et triage par couleur



Sur le produit:

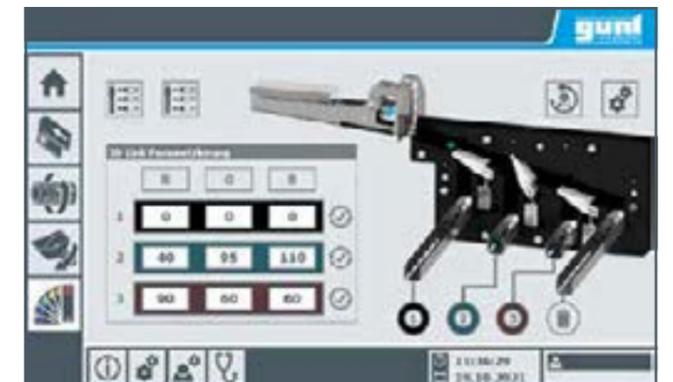


### API avec écran tactile

L'installation est contrôlée par un API moderne avec écran tactile. Pour plus de clarté, chaque groupe fonctionnel dispose d'une interface distincte. L'API permet de configurer tous les paramètres nécessaires au processus de séparation comme la vitesse de rotation et l'inclinaison du tamis du tambour. Par ailleurs, l'API permet de définir les couleurs des particules à trier.

### Contenu didactique

- influence des paramètres suivants sur le processus de séparation:
  - ▶ vitesse de la bande transporteuse
  - ▶ inclinaison et vitesse du crible à tambour
  - ▶ vitesse de la table de stockage rotative
  - ▶ fréquence des auges vibrantes
  - ▶ définition des couleurs pour le triage par couleur
- opérations de maintenance sur une installation industrielle
  - ▶ avec temporisation
  - ▶ avec commande par capteurs
  - ▶ assistance par la réalité augmentée



Capture d'écran de l'API (trilage par couleur)

### Maintenance

L'entretien et la maintenance sont nécessaires au bon fonctionnement de l'installation de tri. Par conséquent, des interventions de maintenance sur l'installation de tri peuvent être effectuées à des fins pédagogiques. Lorsque l'installation fonctionne en mode d'apprentissage, l'API déclenche automatiquement à certains intervalles des messages contrôlés par capteurs pour attirer l'attention sur les mesures d'entretien à réaliser. Une interface avec réalité augmentée destinée aux appareils mobiles est disponible pour visualiser les interventions de maintenance.

# MT174 Installation de tri – GUNT DigiSkills 3

Skill Level				
1	2	3	4	5

**Numérisation du monde du travail: de nouvelles exigences en matière d'éducation**

**Conception de la formation aux métiers de la métallurgie et de l'électricité industrielles**

**Objectifs d'apprentissage standard, en prenant l'exemple du mécanicien industriel**

- fabrication d'éléments de construction à l'aide d'outils manuels ou de machines
- fabrication de modules simples
- fabrication, mise en service et réparation de systèmes techniques
- entretien de systèmes techniques

**Nouveaux objectifs d'apprentissage concernant Numérisation du travail**

- utilisation des logiciels standards, par exemple ERP, CAO, FAO
- conversion de données
- utilisation des technologies et outils de travail numériques, par ex. LAN/WLAN, code QR, RFID, Bluetooth
- enseignement assisté par ordinateur (EAO) et enseignement assisté par internet (WBT en anglais)
- travail avec des appareils mobiles
- réalité augmentée (Augmented Reality)
- réalité virtuelle (Virtual Reality)
- surveillance d'état (Condition Monitoring)

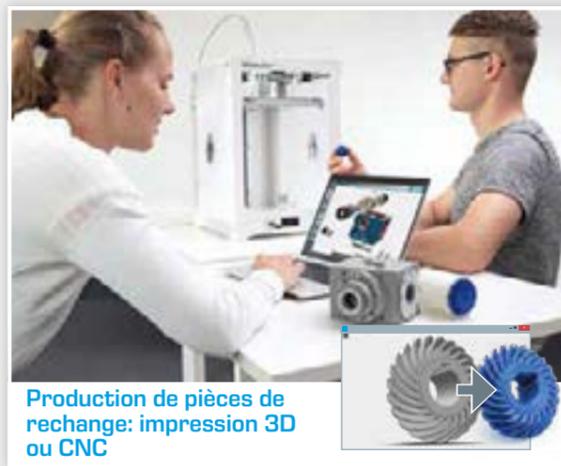


**Concept didactique GUNT-DigiSkills 3**

Planification des éléments de formation et des déroulés de cours pour un projet d'apprentissage complexe



Désinstallation de l'engrenage



Production de pièces de rechange: impression 3D ou CNC



Montage de l'engrenage



Test fonctionnel pour l'assurance qualité



Désinstallation de l'engrenage



Notification de maintenance



l'installation de tri MT174 sert d'installation d'exploitation

## Gérer la transformation numérique vers l'industrie 4.0

# Le programme complet GUNT – équipements pour l'enseignement technique



## Mécanique appliquée et conception mécanique

- statique
- résistance des matériaux
- dynamique
- dynamique des machines
- conception mécanique
- essai des matériaux



## Mécatronique

- dessin industriel
- modèles en coupe
- métrologie
- technique d'assemblage et d'ajustage
- techniques de production
- kits d'assemblage
- maintenance
- diagnostic de machines
- automatisation et conduit de procédés



## Génie thermique et énergie

- principes de base de la thermodynamique
- applications thermodynamiques en CVC
- énergies renouvelables
- machines à fluide thermiques
- génie frigorifique et génie climatique



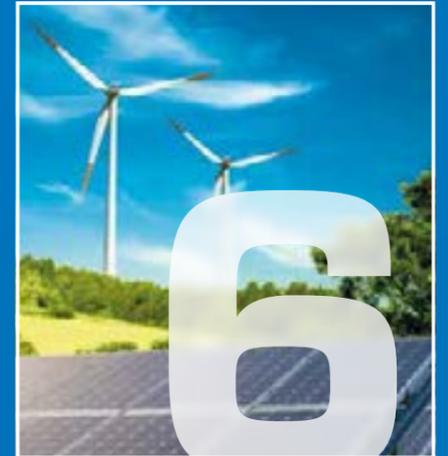
## Mécanique des fluides

- écoulement stationnaire
- écoulement non stationnaire
- écoulements autour de corps
- machines à fluide
- éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- génie hydraulique



## Génie de procédés

- génie des procédés mécaniques
- génie des procédés thermiques
- génie des procédés chimiques
- génie des procédés biologiques
- traitement de l'eau



## 2E Energy & Environment

### Energy

- énergie solaire
- énergie hydraulique et énergie marine
- énergie éolienne
- biomasse
- géothermie
- systèmes énergétiques
- efficacité énergétique en génie du bâtiment

### Environment

- eau
- air
- sol
- déchets

Planification et conseils · Service technique  
Mise en service et formation

## Index

Mot-clé	Code (page)
---------	-------------

A	
absorption	CE 400 (64)
adsorption	CE 540 (66) CE 581 (52) CE 583 (42)
aéroséparation	CE 275 (100)
airlift	CE 730 (34)
API	CE 530 (44) CE 581 (52) CE 705 (26) MT 174 (102)

B	
bande transporteuse	MT 174 (102)
bassin de retenue des eaux pluviales	HM 141 (76)
biofilm	CE 701 (32)
biogaz	CE 702 (36)
broyeur à billes	CE 245 (96)

C	
capacité de stockage (du sol)	HM 141 (76) HM 165 (74)
Carman-Kozeny	CE 117 (82)
charbon actif	CE 581 (52) CE 583 (42)
cinétique des réactions	CE 584 (48)
classification	MT 174 (102)
couche de particules	CE 117 (82)
courbe de perçage	CE 540 (66) CE 582 (54) CE 583 (42)
crible à tambour	MT 174 (102)
cyclone	CE 225 (86) CE 235 (62) CE 275 (100)

D	
Darcy	CE 117 (82) CE 579 (22)
décantation secondaire	CE 701 (32) CE 702 (36) CE 705 (26)
décanteur lamellaire	CE 586 (46) HM 142 (16)
dénitrification	CE 701 (32) CE 704 (30) CE 705 (26)
désorption	CE 400 (64)
diamètre de coupure	CE 235 (62) CE 275 (100)

E	
eau oxygénée	CE 584 (48)
échange d'ions	CE 300 (45) CE 581 (52) CE 582 (54)
écoulement d'infiltration	CE 117 (82) HM 165 (74) HM 167 (78) HM 169 (80)
écoulements souterrains	CE 117 (82) HM 165 (74) HM 167 (78) HM 169 (80)
écran tactile	CE 530 (44) CE 581 (52) CE 704 (30) CE 705 (26) MT 174 (102)
extraction	CE 630 (88)

Mot-clé	Code (page)
---------	-------------

F	
filtration	CE 117 (82) CE 579 (22) CE 581 (52) CE 582 (54)
filtre à sable	CE 579 (22) CE 581 (52) CE 582 (54)
floculation	CE 586 (46) CE 587 (18) CE 588 (20)
flottation	CE 587 (18) CE 588 (20)
flottation à l'air dissous	CE 587 (18) CE 588 (20)
fonction de séparation	CE 235 (62) CE 275 (100)

H	
hauteur de pression différentielle	CE 117 (82) CE 579 (22)
hydrogéologie	CE 117 (82) HM 141 (76) HM 165 (74) HM 167 (78) HM 169 (80)
hydrogramme	HM 141 (76)

L	
lignes de courant	HM 169 (80)
lit bactérien	CE 701 (32)
lit fixe	CE 117 (82)
lit fluidisé	CE 117 (82) CE 579 (22)

M	
maintenance	MT 174 (102)
méthane	CE 702 (36)
Micheau	CE 579 (22) CE 582 (54)
module à membrane spiralée	CE 530 (44)
mur de soutènement	HM 169 (80)

N	
nitrification	CE 701 (32) CE 704 (30) CE 705 (26)

O	
osmose inverse	CE 530 (44)
oxydation	CE 584 (48)

Mot-clé	Code (page)
---------	-------------

P	
perméabilité	CE 117 (82)
pertes de charge	CE 117 (82) CE 225 (86) CE 235 (62) CE 275 (100) CE 579 (22) CE 581 (52) CE 582 (54)
pluie	HM 141 (76) HM 165 (74)
précipitation	CE 586 (46)
préservation de la qualité de l'air	CE 235 (62) CE 400 (64) CE 540 (66)
pression différentielle	CE 117 (82) CE 225 (86) CE 235 (62) CE 275 (100) CE 579 (22) CE 581 (52) CE 582 (54)
procédé à boues activées	CE 704 (30) CE 705 (26)
procédé de séparation	CE 280 (98) MT 174 (102)
procédé de séparation par membrane	CE 530 (44)
profil de concentration	CE 583 (42) CE 701 (32)
puit	HM 165 (74) HM 167 (78)

R	
réacteur agité	CE 702 (36) CE 704 (30)
réalité augmentée	MT 174 (102)
réduction	CE 245 (96)
rideau de palplanche	HM 169 (80)
rinçage à contre-courant	CE 579 (22) CE 581 (52) CE 582 (54)

S	
SBR	CE 704 (30)
sédimentation	HM 142 (16) CE 586 (46) CE 704 (30) CE 705 (26)
séparateur zigzag	CE 275 (100)
séparation magnétique	CE 280 (98)
sequencing batch reactor	CE 704 (30)
station d'épuration	CE 701 (32) CE 702 (36) CE 704 (30) CE 705 (26)

T	
traitement de l'eau (aérobie)	CE 701 (32) CE 704 (30) CE 705 (26) CE 730 (34)
traitement de l'eau (anaérobie)	CE 702 (36)
traitement de l'eau (biologique)	CE 701 (32) CE 702 (36) CE 704 (30) CE 705 (26) CE 730 (34)
traitement de l'eau (en plusieurs étapes)	CE 581 (52) CE 582 (54)
traitement de l'eau (mécanique)	CE 579 (22) CE 587 (18) CE 588 (20) HM 142 (16)
traitement de l'eau (physico-chimiques)	CE 300 (45) CE 530 (44) CE 583 (42) CE 584 (48) CE 586 (46)
traitement du sol	CE 225 (86) CE 630 (88)
tri	CE 280 (98) MT 174 (102)
triage par couleur	MT 174 (102)

Mot-clé	Code (page)
---------	-------------

U	
UASB	CE 702 (36)
UV (lumière ultraviolette)	CE 584 (48)

V	
vitesse de fluidisation	CE 117 (82) CE 579 (22)

Z	
zone de transfert de masse	CE 540 (66) CE 583 (42)

## Aperçu de produits

CE		
<b>CE 117</b>	Écoulement à travers des couches de particules	082
<b>CE 225</b>	Hydrocyclone	086
<b>CE 235</b>	Cyclone gaz	062
<b>CE 245</b>	Broyeur à billes	096
<b>CE 275</b>	Aéroséparation	100
<b>CE 280</b>	Séparation magnétique	098
<b>CE 300</b>	Échange d'ions	045
<b>CE 400</b>	Absorption de gaz	064
<b>CE 530</b>	Osmose inverse	044
<b>CE 540</b>	Séchage de l'air par adsorption	066
<b>CE 579</b>	Filtration en profondeur	022
<b>CE 581</b>	Traitement de l'eau: Station 1	052
<b>CE 582</b>	Traitement de l'eau: Station 2	054
<b>CE 583</b>	Adsorption	042
<b>CE 584</b>	Oxydation avancée	048
<b>CE 586</b>	Précipitation et floculation	046
<b>CE 587</b>	Flottation à l'air dissous	018
<b>CE 588</b>	Démonstration de la flottation à l'air dissous	020
<b>CE 630</b>	Extraction solide-liquide	088
<b>CE 701</b>	Procédé à biofilm	032
<b>CE 702</b>	Traitement anaérobie de l'eau	036
<b>CE 704</b>	Procédé SBR	030
<b>CE 705</b>	Procédé à boues activées	026
<b>CE 730</b>	Réacteur airlift	034

HM		
<b>HM 141</b>	Hydrogrammes après des précipitations	076
<b>HM 142</b>	Séparation dans les réservoirs de sédimentation	016
<b>HM 165</b>	Études hydrologiques	074
<b>HM 167</b>	Écoulements souterrains	078
<b>HM 169</b>	Visualisation d'écoulements d'infiltration	080

MT		
<b>MT 174</b>	Installation de tri	102



## G. Systemes Didactiques E. s.a.r.l.

Equipement pour l'enseignement expérimental, scientifique et technique  
[www.systemes-didactiques.fr](http://www.systemes-didactiques.fr)

GSDE 181 rue Franz Liszt  
 F 73000 CHAMBERY  
 Tél : 04 56 42 80 70 Fax : 04 56 42 80 71  
[xavier.granjon@systemes-didactiques.fr](mailto:xavier.granjon@systemes-didactiques.fr)

Génie Mécanique, Génie Thermique, Génie des Procédés, Mécaniques des fluides,  
 Physique, Chimie, Modèles anatomiques et végétaux, Microscopes, SVT,  
 Génie électrique, Automatismes, Régulation, Télécommunications,  
 Energies renouvelables, Solaire, Piles à Hydrogène, Mobilier



Consultez notre  
 page d'accueil  
[www.gunt.de](http://www.gunt.de)

