

30.04.2025



PRESENTATION
Grenaillage

Rachid Laksiri
Ingénieur Process
Département Trempe et Revenu

Bienvenue



Formation Grenailage

Sommaire

- I. Grenaille
- II. Machine
- III. Rôle de l'opérateur
- IV. Rôle de la maintenance

Formation Grenaillage

Sommaire

I. **Grenaille**

II. Machine

III. Rôle de l'opérateur

IV. Rôle de la maintenance

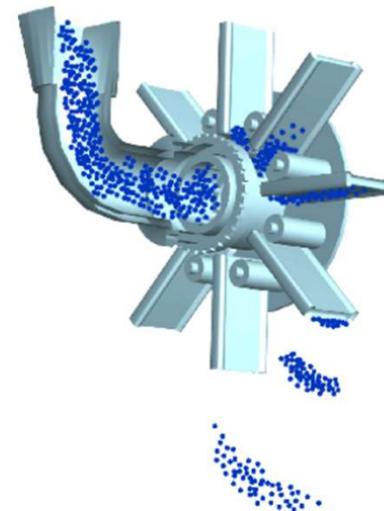
GRENAILLE : Grenaillage

- Traitement de surface consistant à projeter de la grenaille à grande vitesse, en continu, sur la surface d'une pièce à traiter pour en modifier la structure superficielle.
- **Applicable sur :** Acier, Fonte, Bronze, Aluminium, Magnésium.
- **Dans les secteurs tels que :** l' automobile, l'aéronautique, l'industrie navale, la métallurgie, le ferroviaire, le bâtiment et l'entretien routier.
- **Buts recherchés dans la métallurgie :**
 - 1) Eliminer la rouille, la calamine, la poussière, les bavures ou tout autre impureté ;
 - 2) Assurer une homogénéité de refroidissement lors de la trempe ;
 - 3) Préparer la surface avant recouvrement par une couche de protection.
- **Avantages :**
 - Déforme légèrement les pièces ;
 - Améliore la qualité du traitement anticorrosion ;
 - Réutilisation des billes après nettoyage ;
 - Permet d'éviter l'ajout d'éléments extérieurs ;
 - Facile à mettre en œuvre.

GRENAILLE : Grenaillage

- **Procédés de projection :**

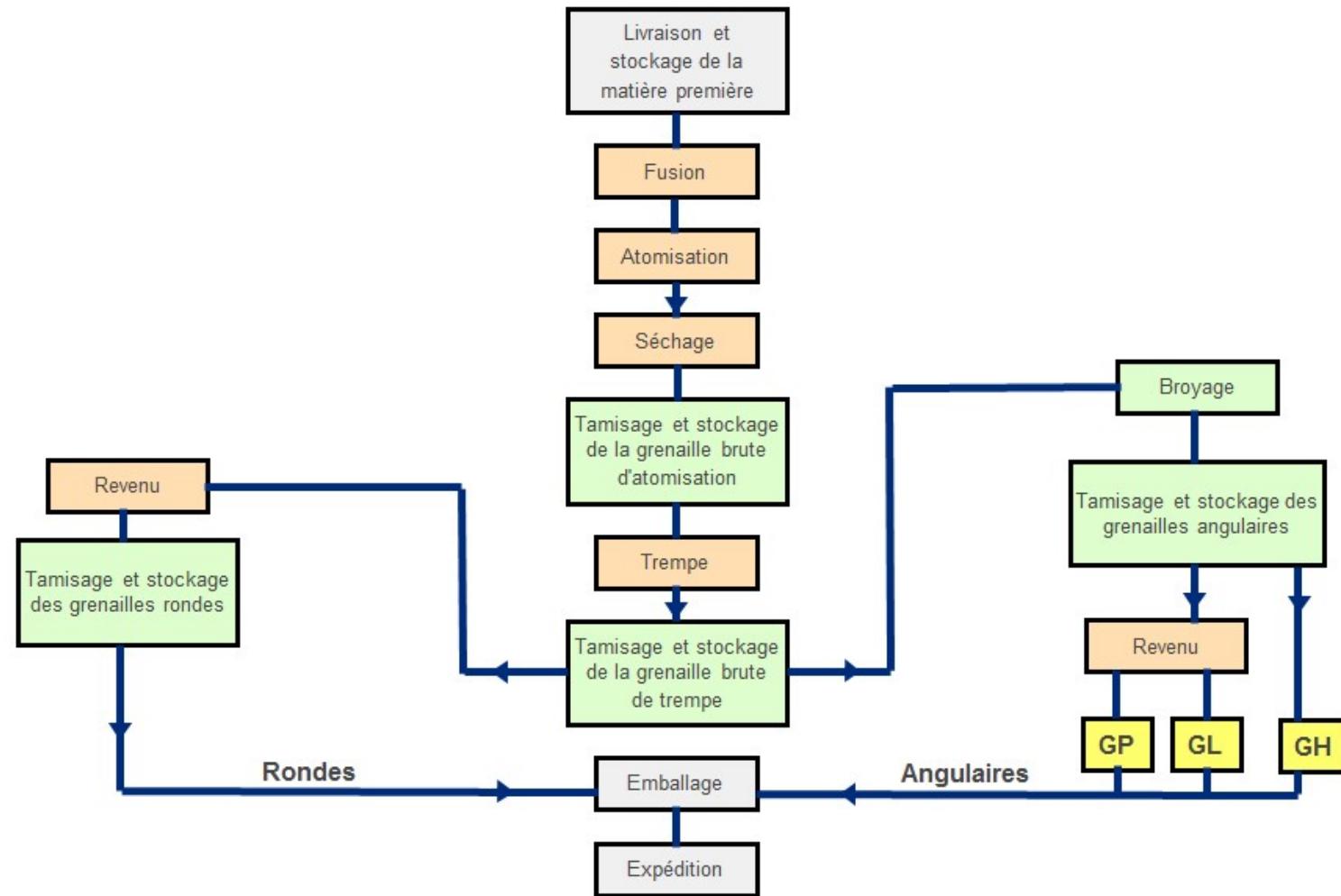
- 1) Projection pneumatique : grenade mélangée à l'air comprimé est projetée par un flexible terminant par une buse.
- 2) Projection mécanique : la grenade est projetée par une roue à palettes tournant à grande vitesse alimentée par son centre de grenade (grenailleuse à turbines).



GRENAILLE : Type

- Petites billes d'acier
- La gamme se décline en différentes :
 - Formes : rondes ou angulaires
 - Duretés : 40 – 65 HRC
 - Tailles : 0,3 à 2,8 mm
- Le choix se fait en fonction :
 - De l'application (décalaminage, préparation de surface, shotpeening, dessablage,...) ;
 - Des pièces à grenailler ;
 - De la machine.
- Fournisseurs de grenailles :
 - Winoa ;
 - Ervin Amasteel.

GRENAILLE : Processus de fabrication

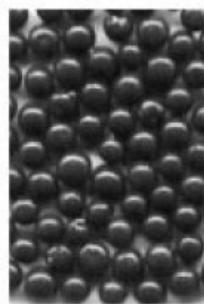


GRENAILLE : Forme

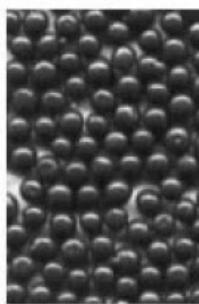
- La grenade ronde est fabriquée à partir d'acier à haute teneur en carbone, développée pour être utilisée dans des applications nécessitant un effet de rebond et un transfert maximum d'énergie.
- La grenade angulaire est obtenue en broyant la grenade ronde. Cette opération crée des arêtes coupantes nécessaire à la préparation de surface avant mise en peinture.



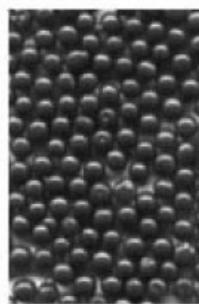
GRENAILLE : Taille



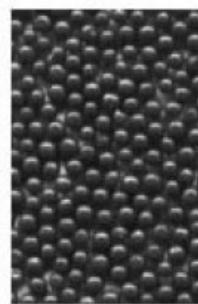
S780
2.0-2.8 mm



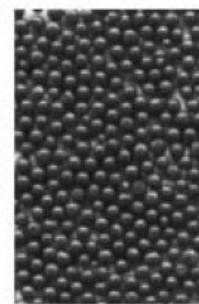
S660
1.7-2.4 mm



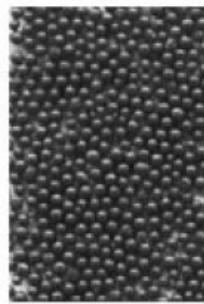
S550
1.4-2.0 mm



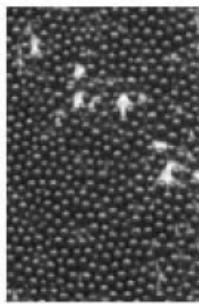
S460
1.2-1.7 mm



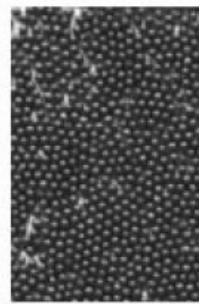
S390
1.0-1.4 mm



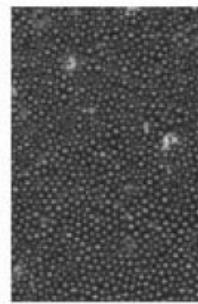
S330
0.85-1.2 mm



S280
0.71-1.0 mm



S230
0.6-0.85 mm



S170
0.42-0.71 mm



S110
0.3-0.5 mm

SAE NO.	Actual size	Nomi. size mm
GL-14		1.41
GL-16		1.19
GL-18		1.00
GL-25		0.71
GL-40		0.42
GL-50		0.30
GL-80		0.20

GRENAILLE : Energie cinétique

L'énergie cinétique d'un corps en mouvement est proportionnelle à sa masse et au carré de sa vitesse.

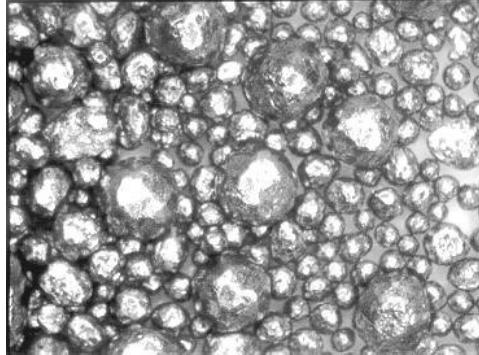
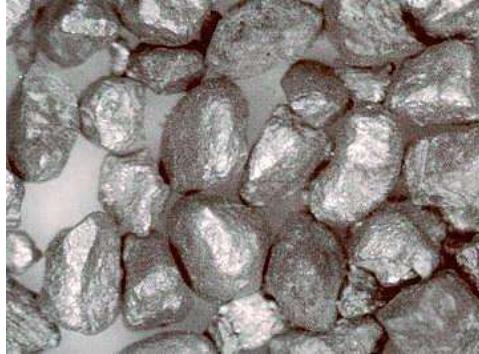
$$E = \frac{1}{2} * m * V^2$$

L'énergie cinétique de la grenade projetée dépend donc :

- Du débit de grenade (quantité projetée par unité de temps) ;
- De la vitesse de projection ;
- De la masse des grains projetés.

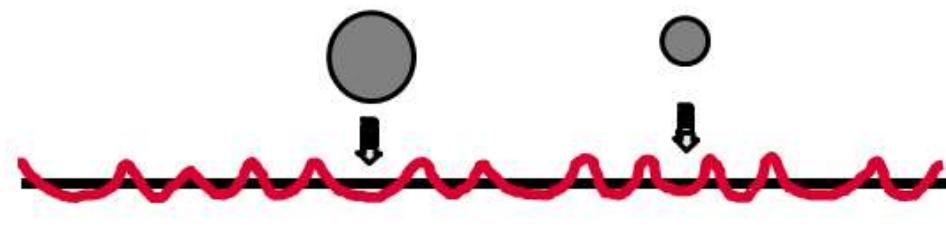
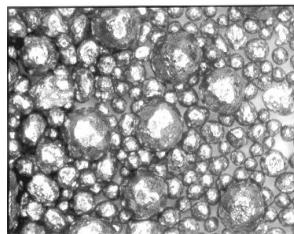
GRENAILLE : Mélange opératoire

Mélange opératoire = grenaille dans divers états d'usure dans la grenailleuse

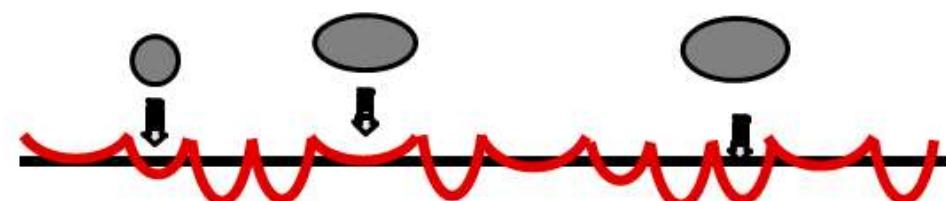
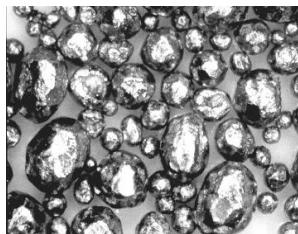
	Grenaille neuve	Mélange opératoire
Sphérique		
Angulaire		

GRENAILLE : Rugosité

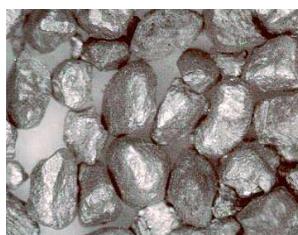
Ronde



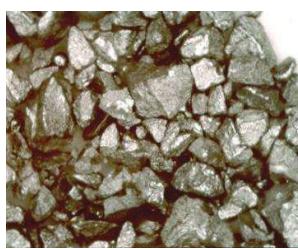
Angulaire
Dureté faible



Angulaire
Dureté moyenne



Angulaire
Dureté élevée

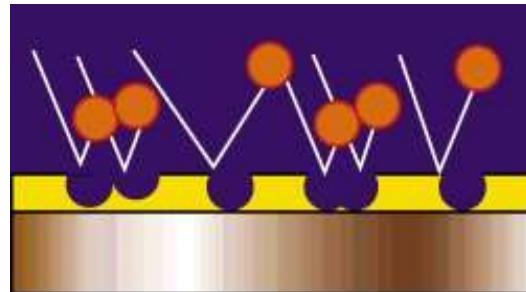


GRENAILLE : Nombre de particules par kg

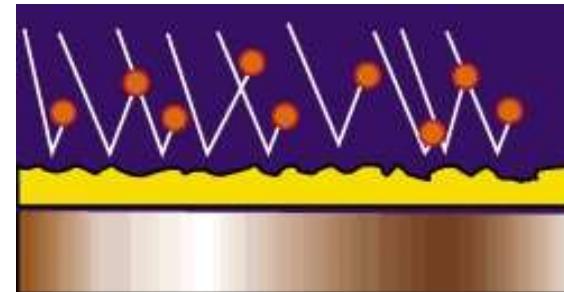
Grenaille ronde	Grenaille angulaire	Dimension nominale (mm)	Nombre de grains par kg de produit neuf	Nombres de grains par kg de MO
S780		2,00	22.500	106.000
S660	G12	1,70	38.500	180.000
S550	G14	1,40	65.000	310.000
S460	G16	1,18	110.000	510.000
S390	G18	1,00	175.000	800.000
S330		0,85	300.000	1.400.000
S280	G25	0,71	500.000	1.950.000
S230	G40	0,60	850.000	4.500.000
S170		0,42	2.000.000	13.500.000
S110	G50	0,30	5.700.000	28.600.000
S070	G80	0,21	18.000.000	32.000.000

GRENAILLE : Equilibre du mélange opératoire

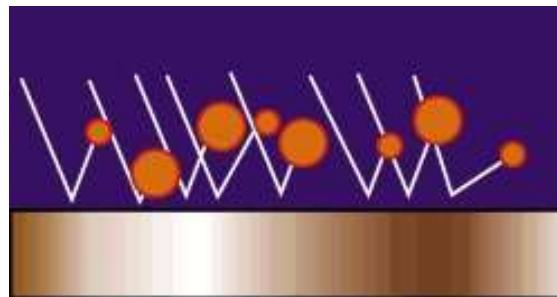
- Les **gross grains** sont nécessaires pour casser ou arracher la couche d'oxyde ou de calamine (plus d'énergie).
- Les **grains fins** assurent un recouvrement important et une finition rapide (plus d'impact).



Gros grains



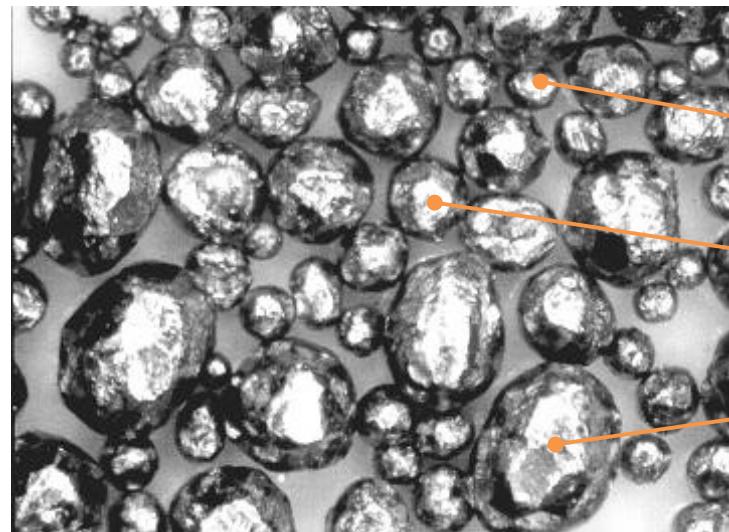
Grains fins



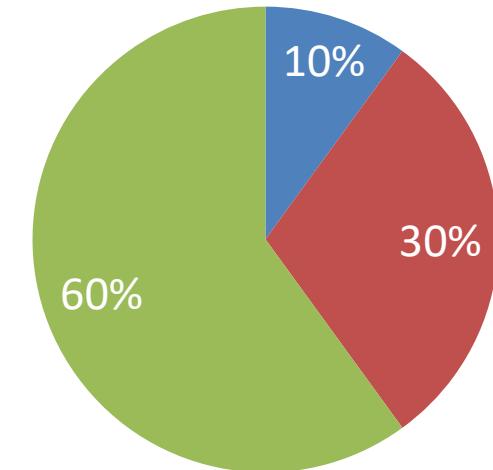
Mélange équilibré

Taille nominal du grain	Nombre de particules par kg
1 mm	800 000
0,85 mm	1 400 000

GRENAILLE : Equilibre du mélange opératoire



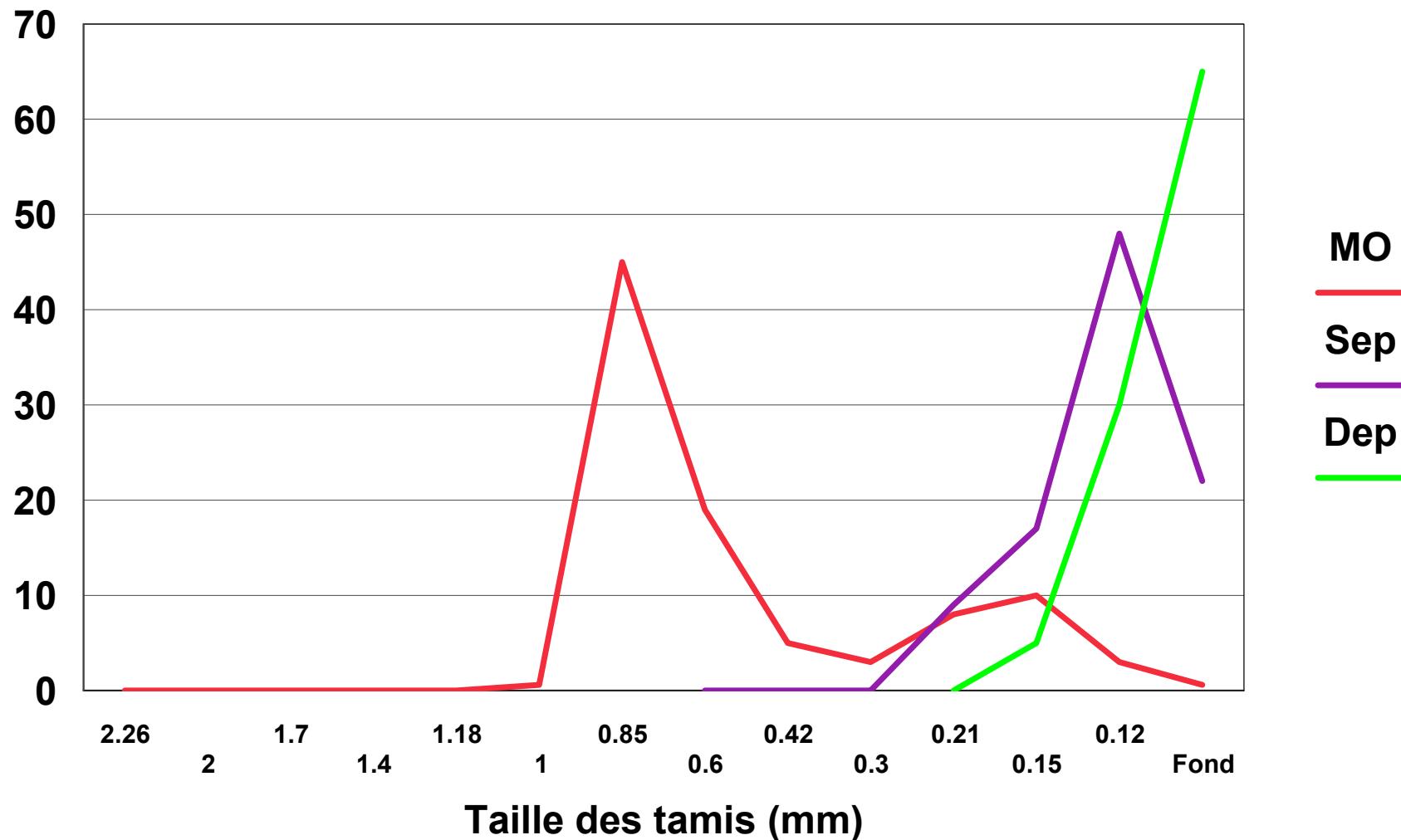
■ Grains fins
■ Grains moyens
■ Gros grains



- Appoint excessif de grenaille neuve → mauvais recouvrement ;
- Appoint insuffisant de grenaille neuve → énergie insuffisante pour retirer la calamine ;
- Analyse granulométrique → contrôler l'équilibre du mélange opératoire.
- Une machine vide est toujours remplie avec un mélange opératoire reconstitué.

GRENAILLE : Analyse granulométrique

% refus simple



Formation Grenailage

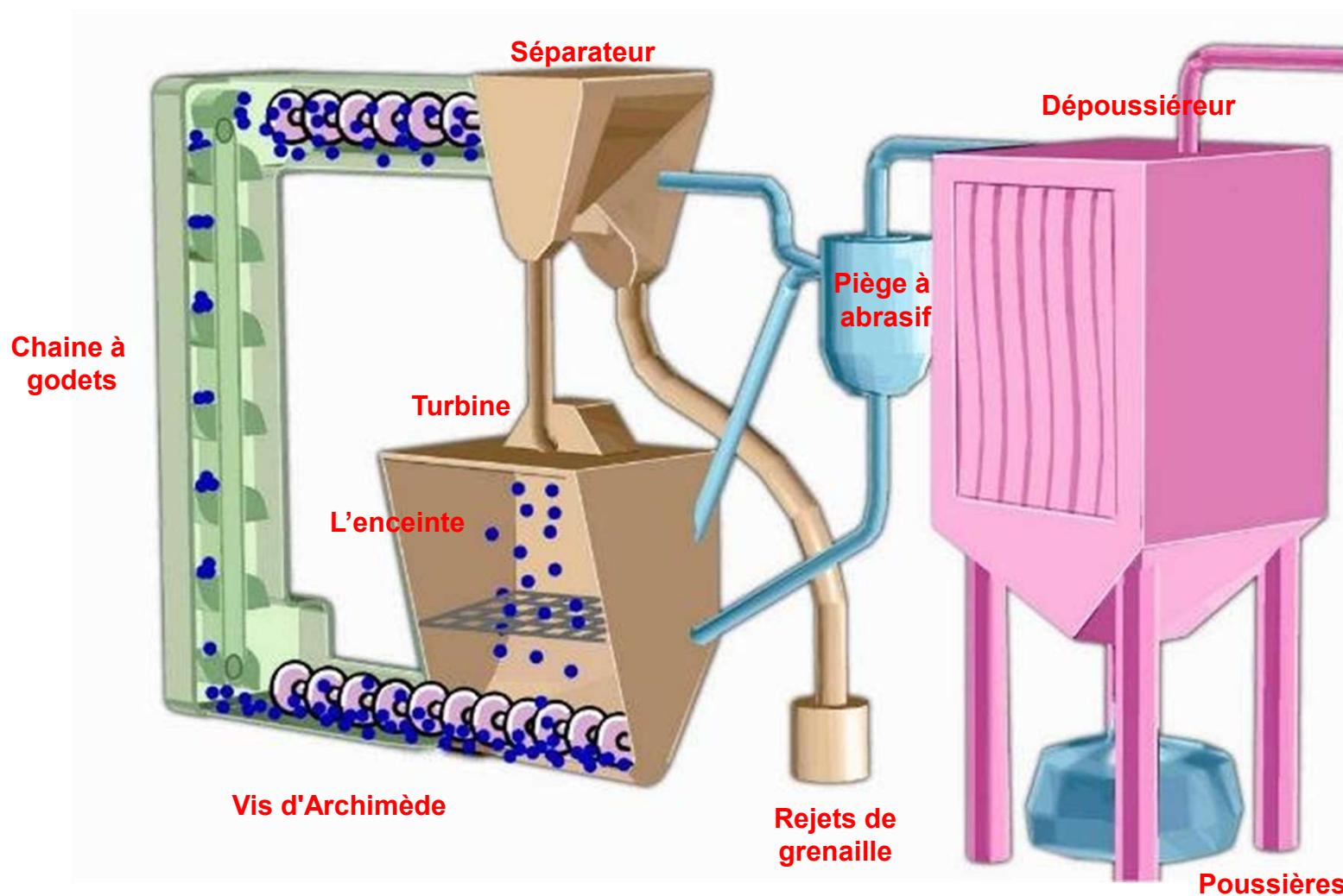
Sommaire

I. Grenaille

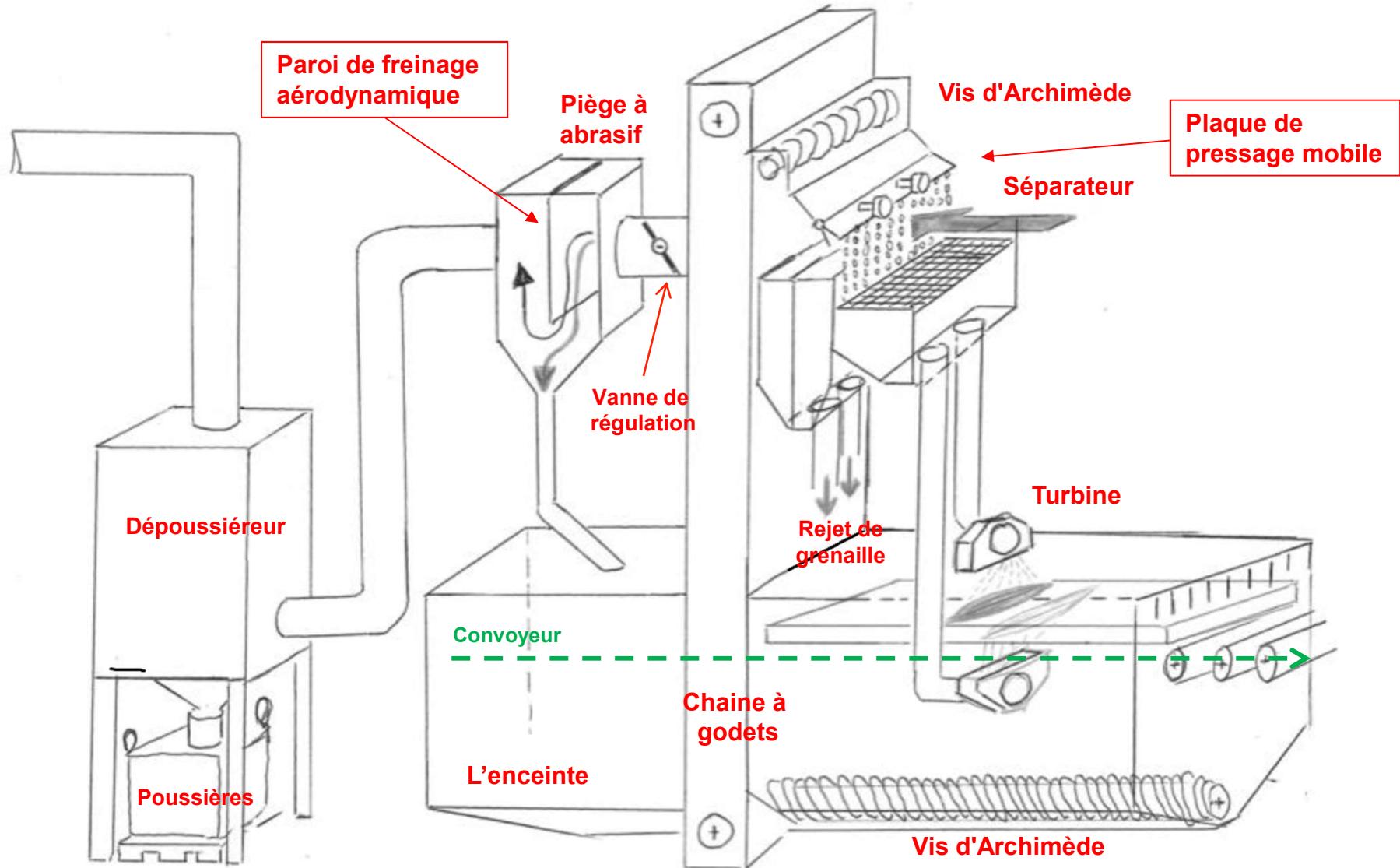
II. Machine

III. Rôle de l'opérateur

MACHINE : Schémas de l'installation



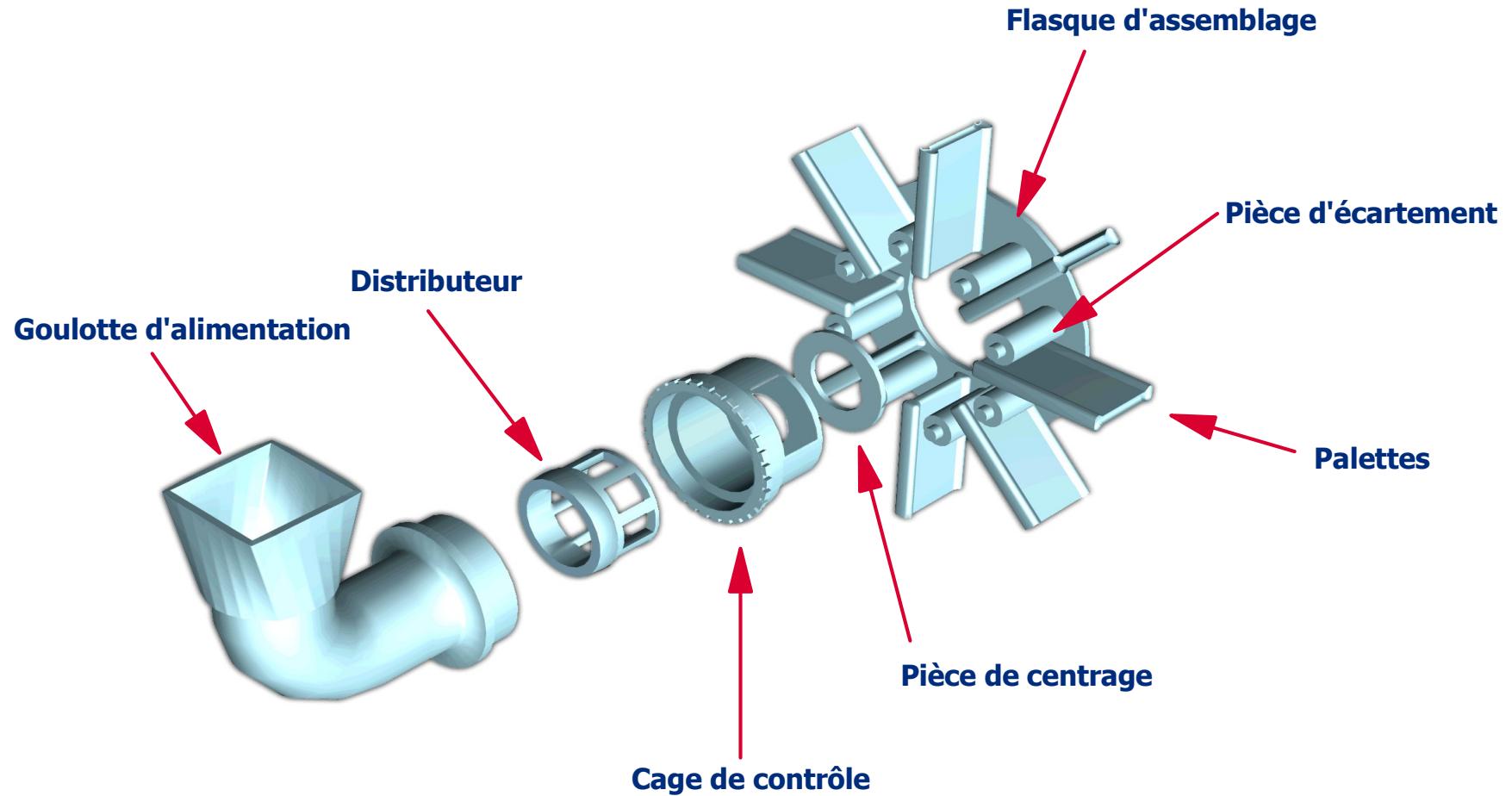
MACHINE : Schémas de l'installation



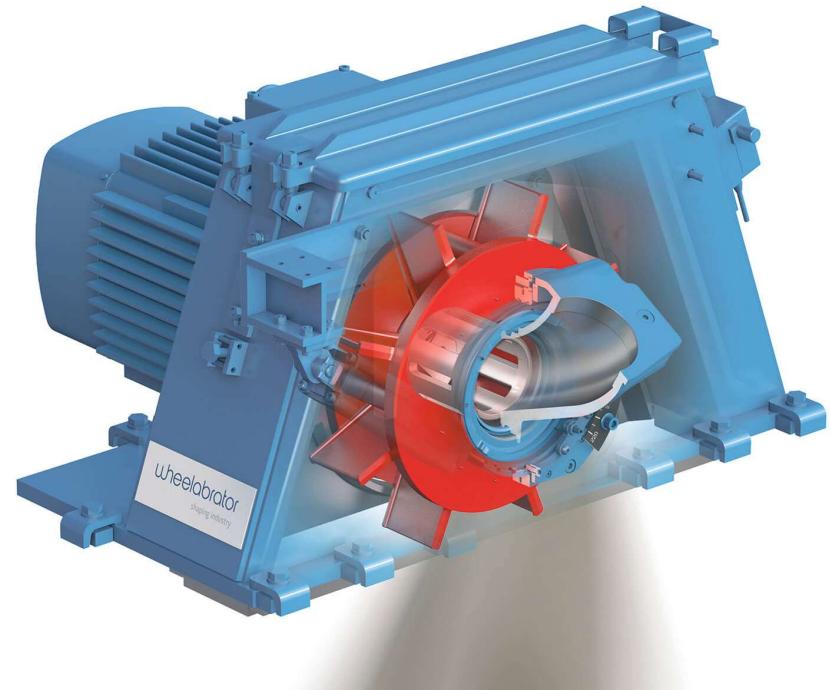
MACHINE : Les principaux éléments

Turbine	<p>La projection de la grenaille par la turbine à palettes se fait par la force centrifuge. Il existe toutes sortes de turbines et de formes de palettes.</p>
L'enceinte	<p>Les vitesses de projection étant très élevées(50 à100 m/s), il est nécessaire d'avoir des parois très résistantes(acier au manganèse). En fonction des pièces à traiter, il existe différents systèmes de convoyage.</p>
Séparateur	<p>Avant d'alimenter les turbines, l'abrasif doit être épuré des contaminants. C'est le rôle du séparateur.</p>
Dépoussiéreur	<p>Le dépoussiéreurs récupère les poussières issues du séparateur et de la ventilation de la cabine.</p>
Piège à abrasif	<p>Le dépoussiéreur peut être protégé par un piége chargé de collecter les plus grosses particules qui pourraient l'endommager.</p>

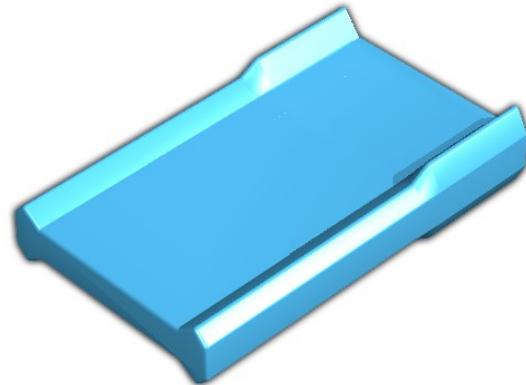
MACHINE : La turbine – Vue éclatée



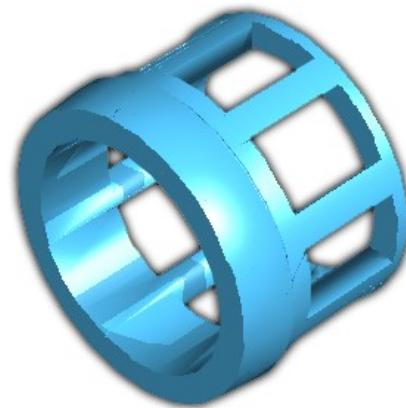
MACHINE : La turbine



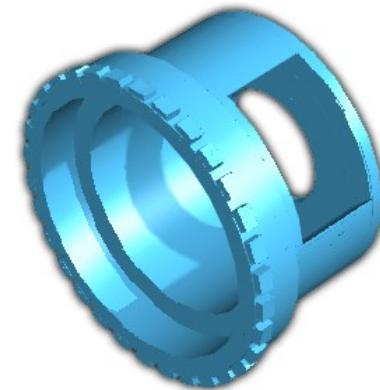
MACHINE : Les pièces d'usure



Palettes



Distributeur



Cage de contrôle

MACHINE : Les palettes



MACHINE : Pièces d'usure



Distributeur

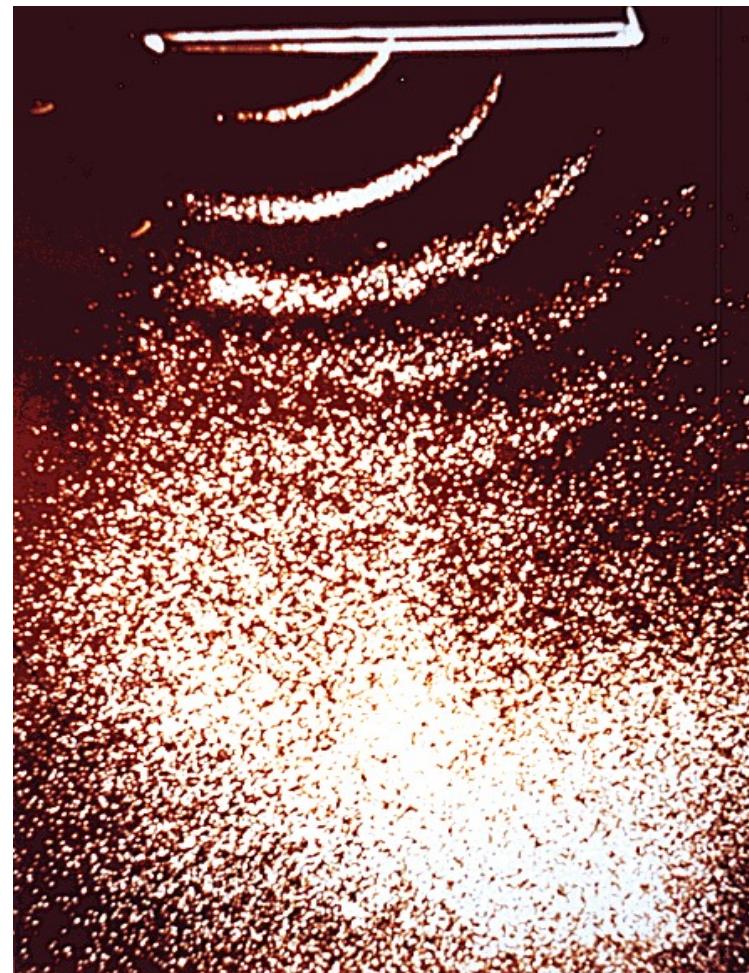
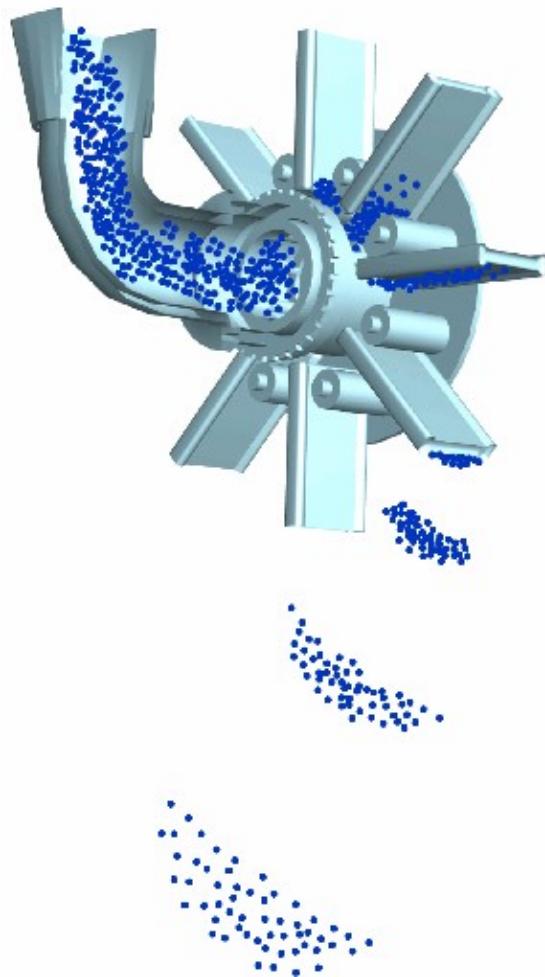


Cage de contrôle

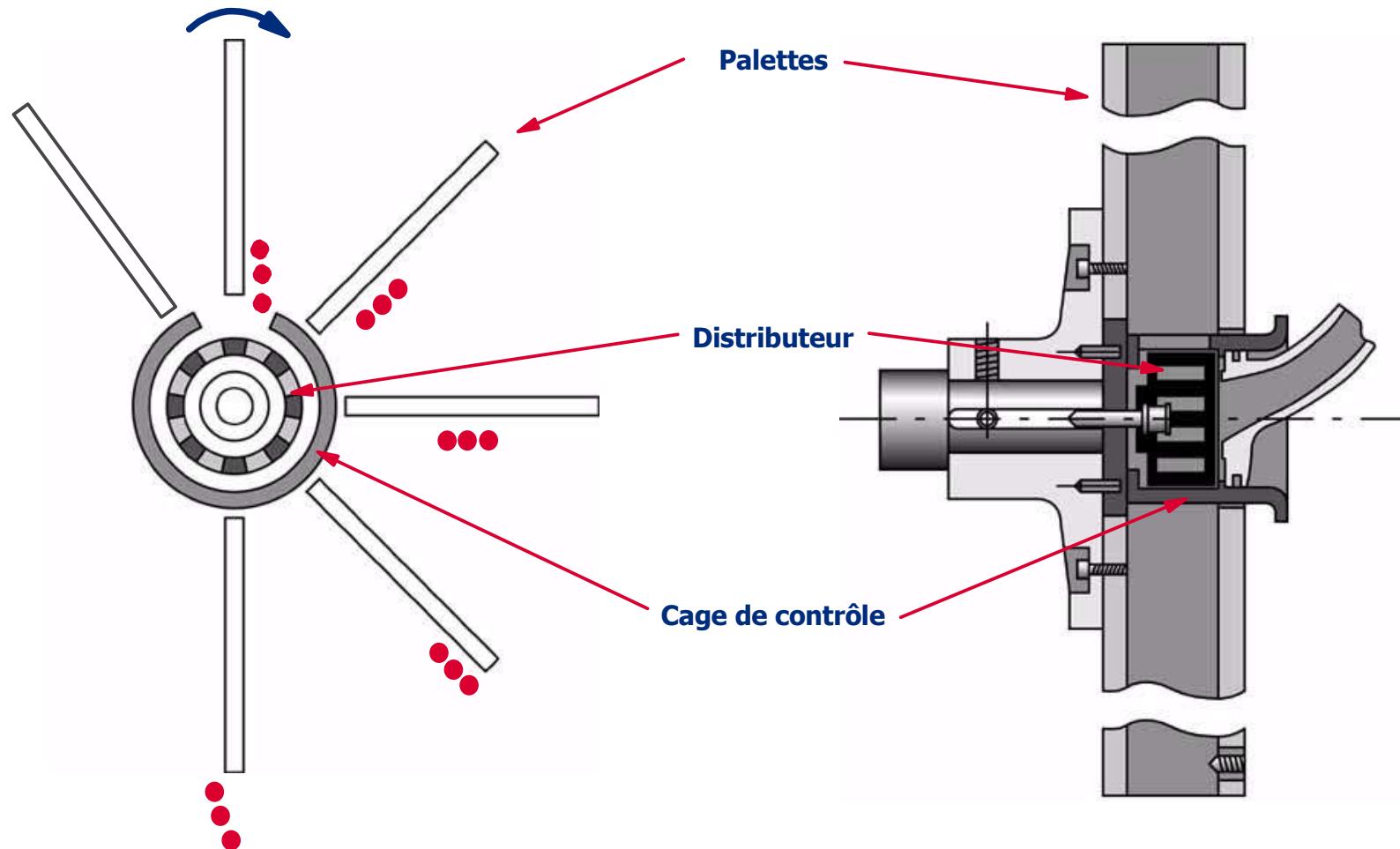


Pièces assemblées

MACHINE : Projection de grenailles

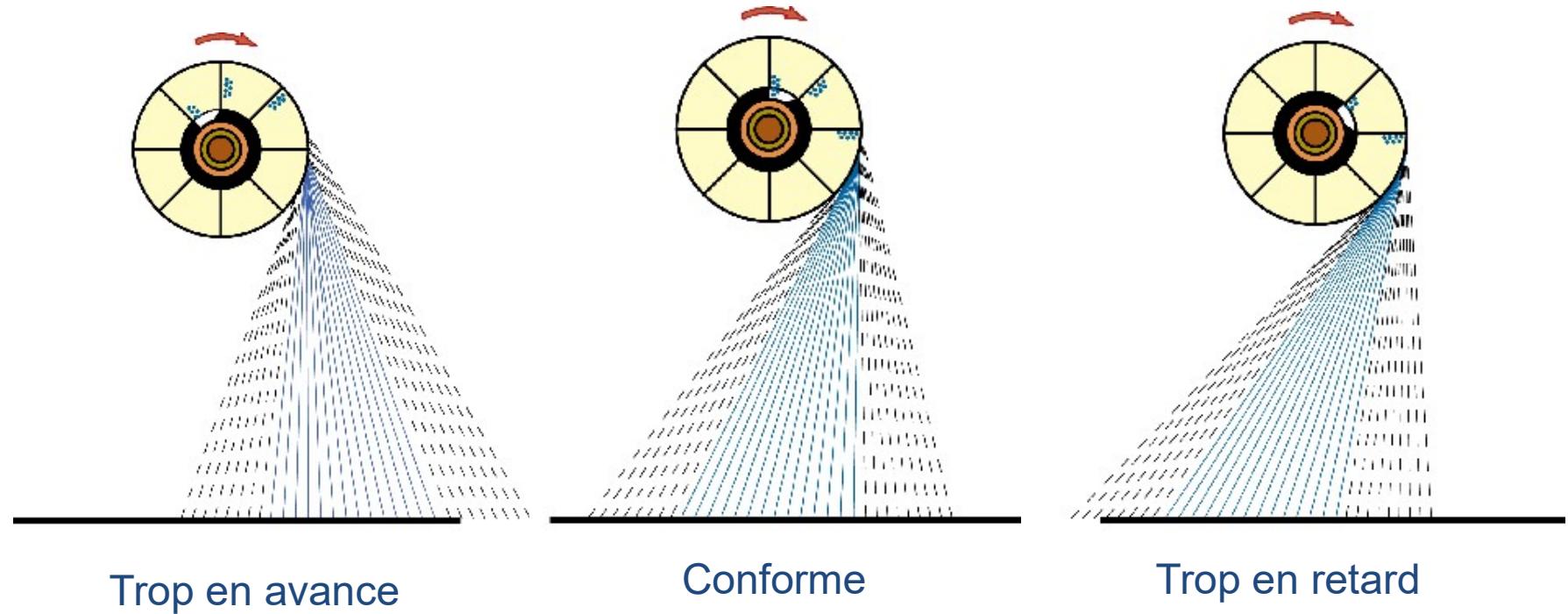


MACHINE : Projection de grenades



L'éjection de grenade se fait à l'opposée de l'ouverture de la cage de contrôle.

MACHINE : Réglage du point chaud



Trop en avance

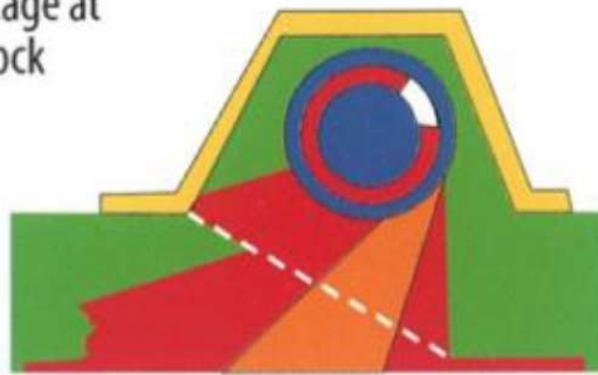
Conforme

Trop en retard

Le **réglage** du point chaud s'effectue en modifiant l'angle de la **cage de contrôle**.

MACHINE : Réglage du point chaud

Control cage at
1:00 o'clock

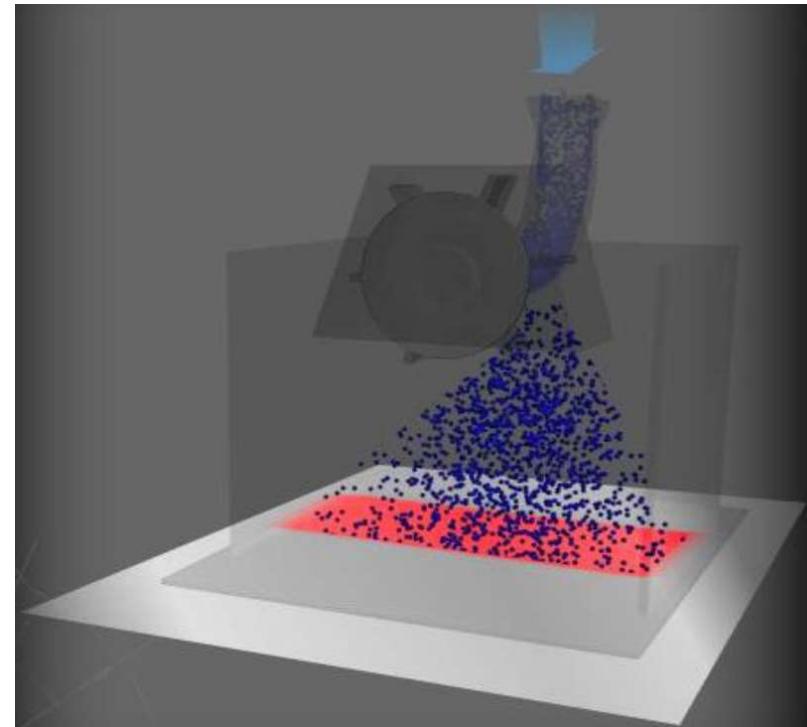
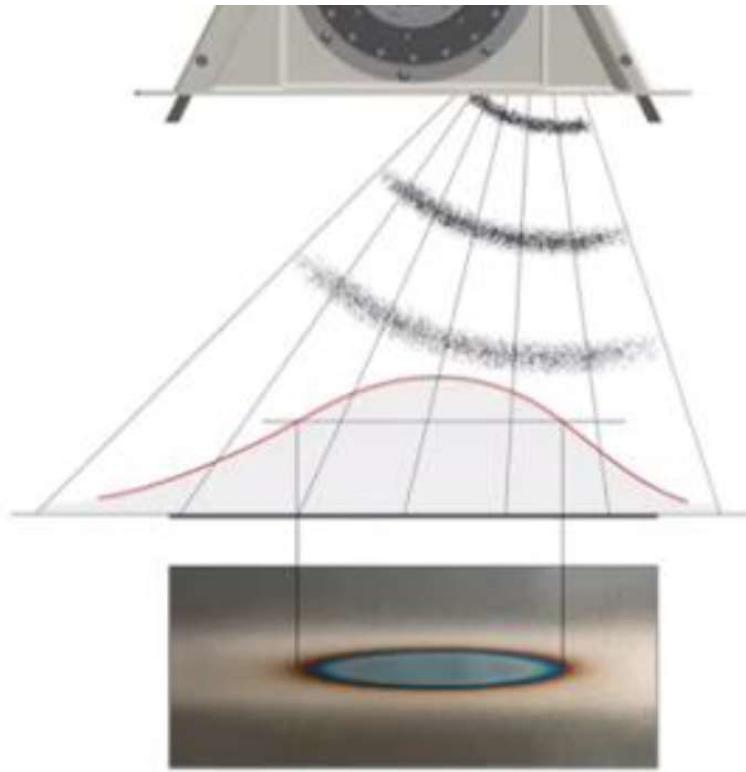


Control cage at
10:00 o'clock



Un **mauvais réglage** du point chaud peut provoquer une **usure anormale** de la machine entraînant **l'apparition de fuites** et une **augmentation de la consommation** de grenade.

MACHINE : Réglage du point chaud



Un mauvais réglage du point chaud peut causer un manque de recouvrement entraînant un traitement de surface inefficace.

MACHINE : Le point chaud

Paramètres qui influencent la position du point chaud :

- **La grenaille**

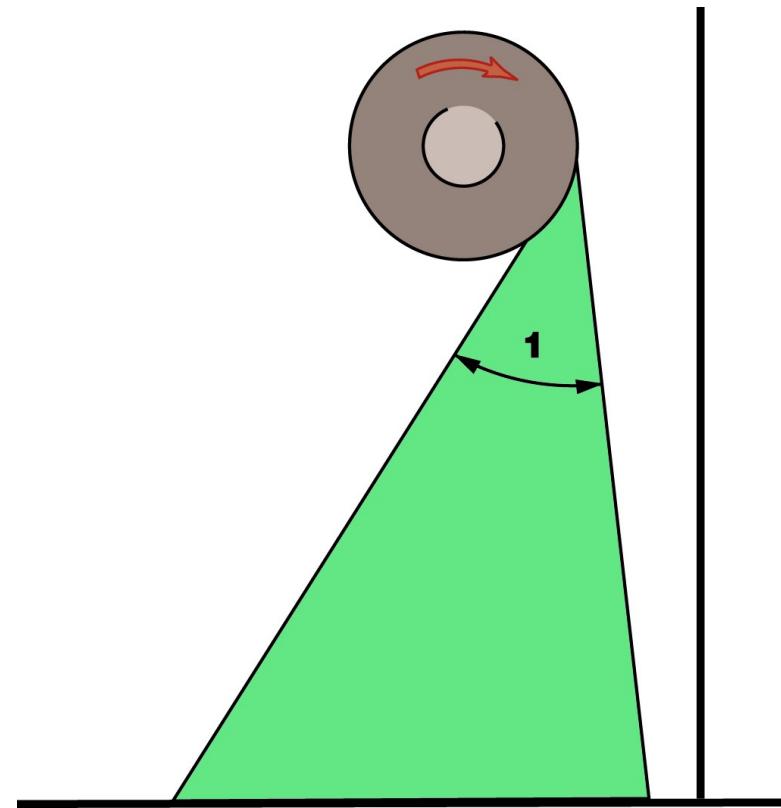
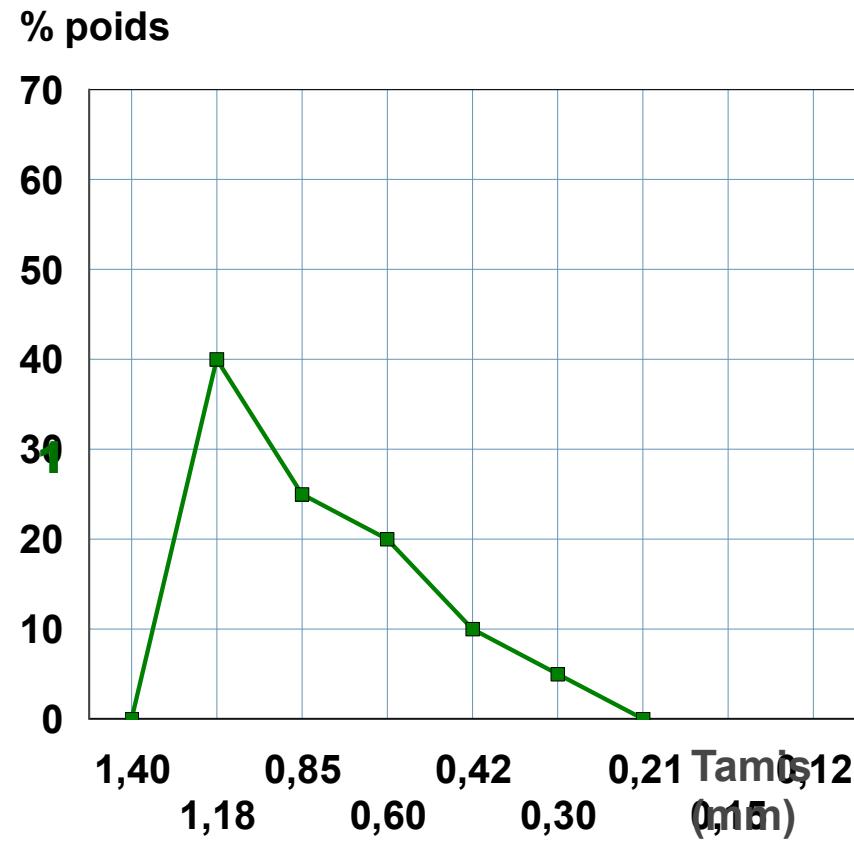
- 1) Distribution granulométrique du mélange opératoire ;
- 2) Forme des grains composant le mélange opératoire.

- **La turbine**

- 3) L'état d'usure des pièces d'usure (palettes, distributeur, cage de contrôle);
- 4) Vitesse de rotation de la turbine.

MACHINE : Influence du MO sur le point chaud

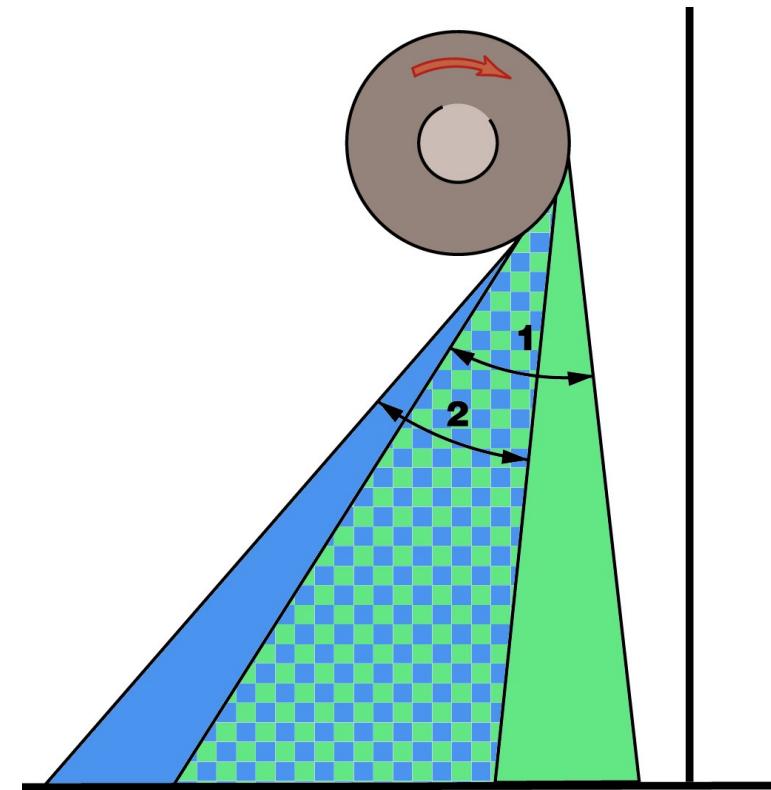
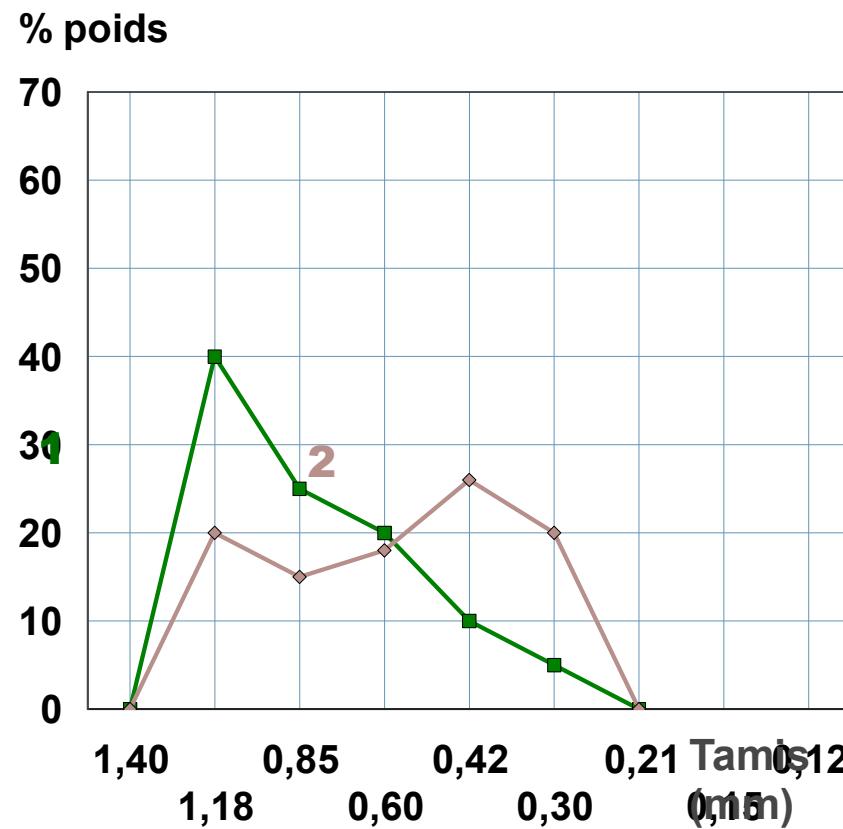
mélange opératoire conforme



MACHINE : Influence du MO sur le point chaud

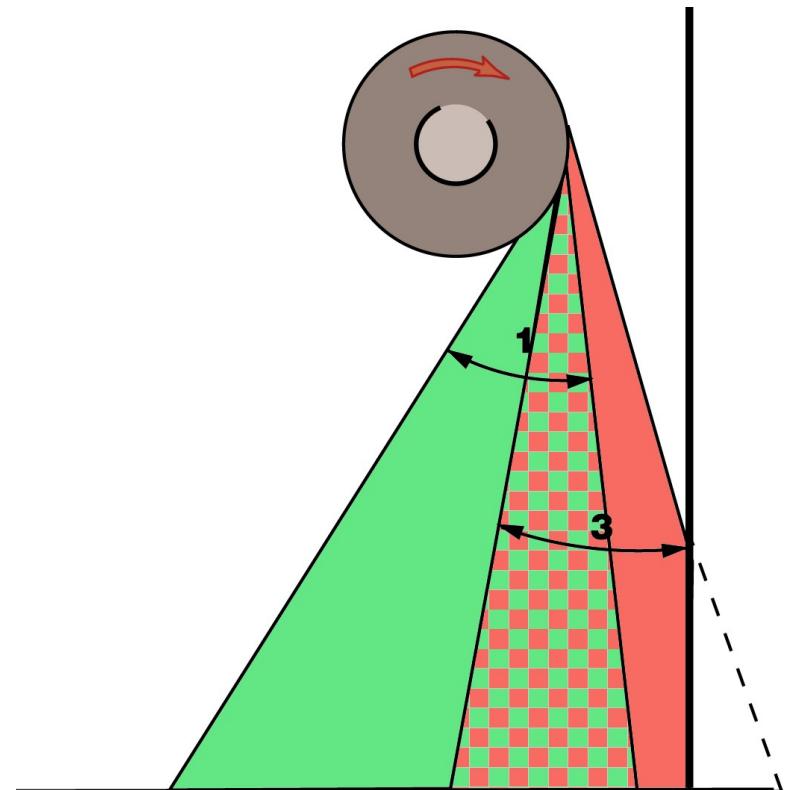
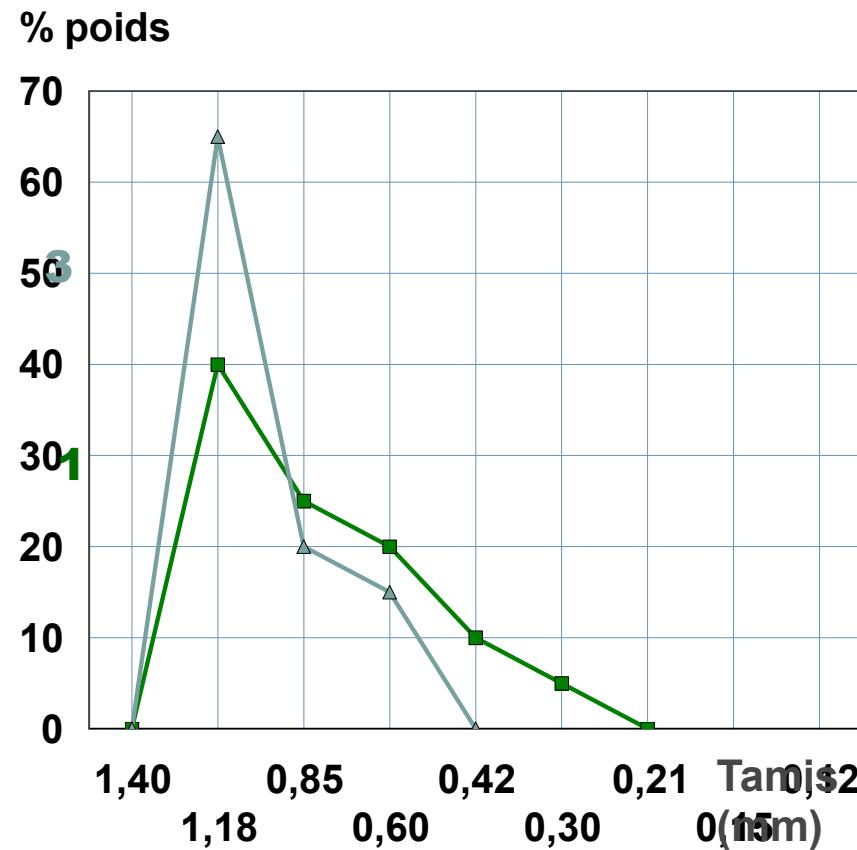
mélange opératoire conforme

mélange trop fin, apport insuffisant

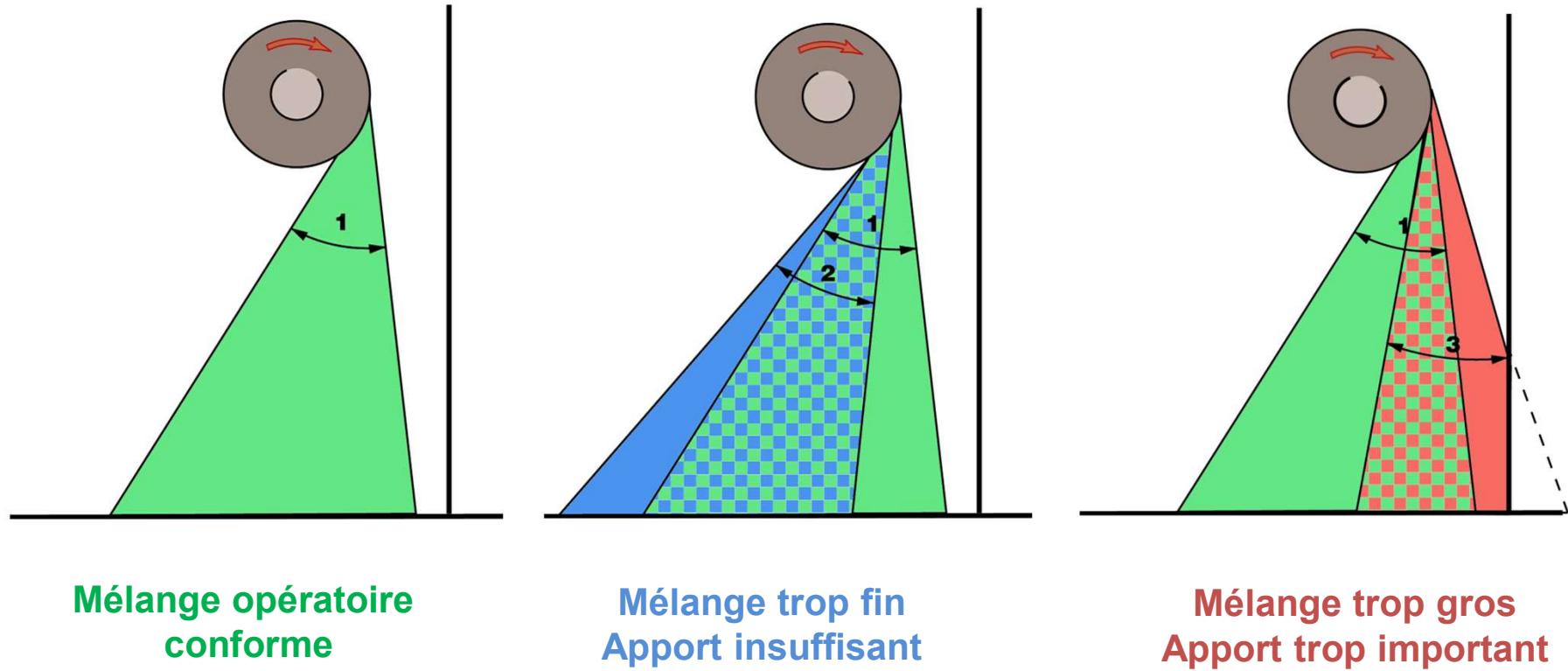


MACHINE : Influence du MO sur le point chaud

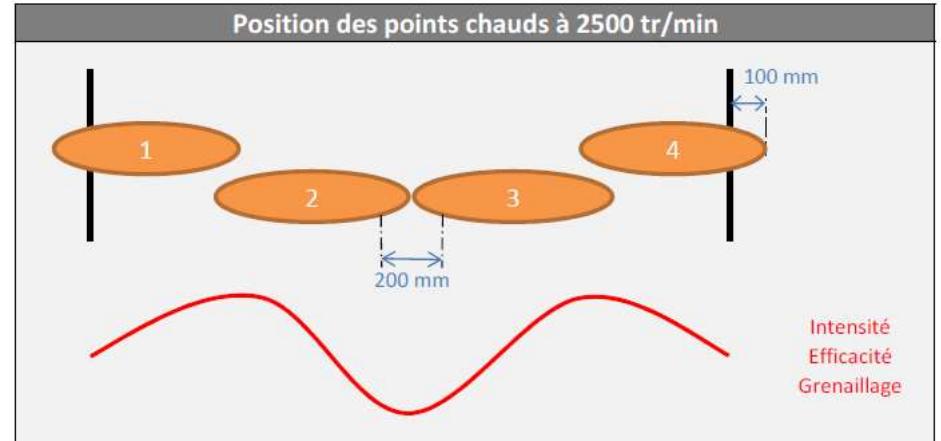
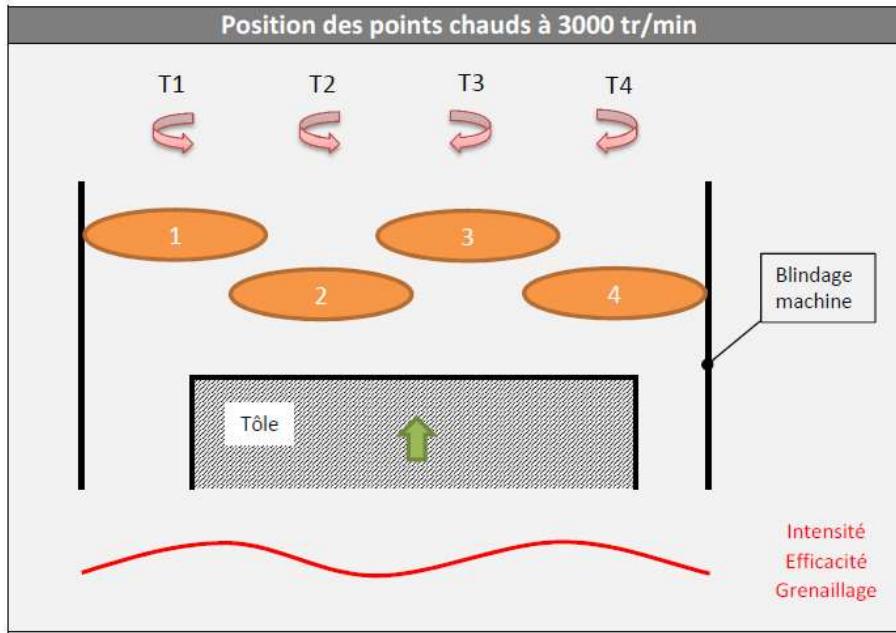
mélange opératoire conforme
trop de grains neufs, apport trop important



MACHINE : Influence du MO sur le point chaud



MACHINE : Influence de la vitesse de turbine



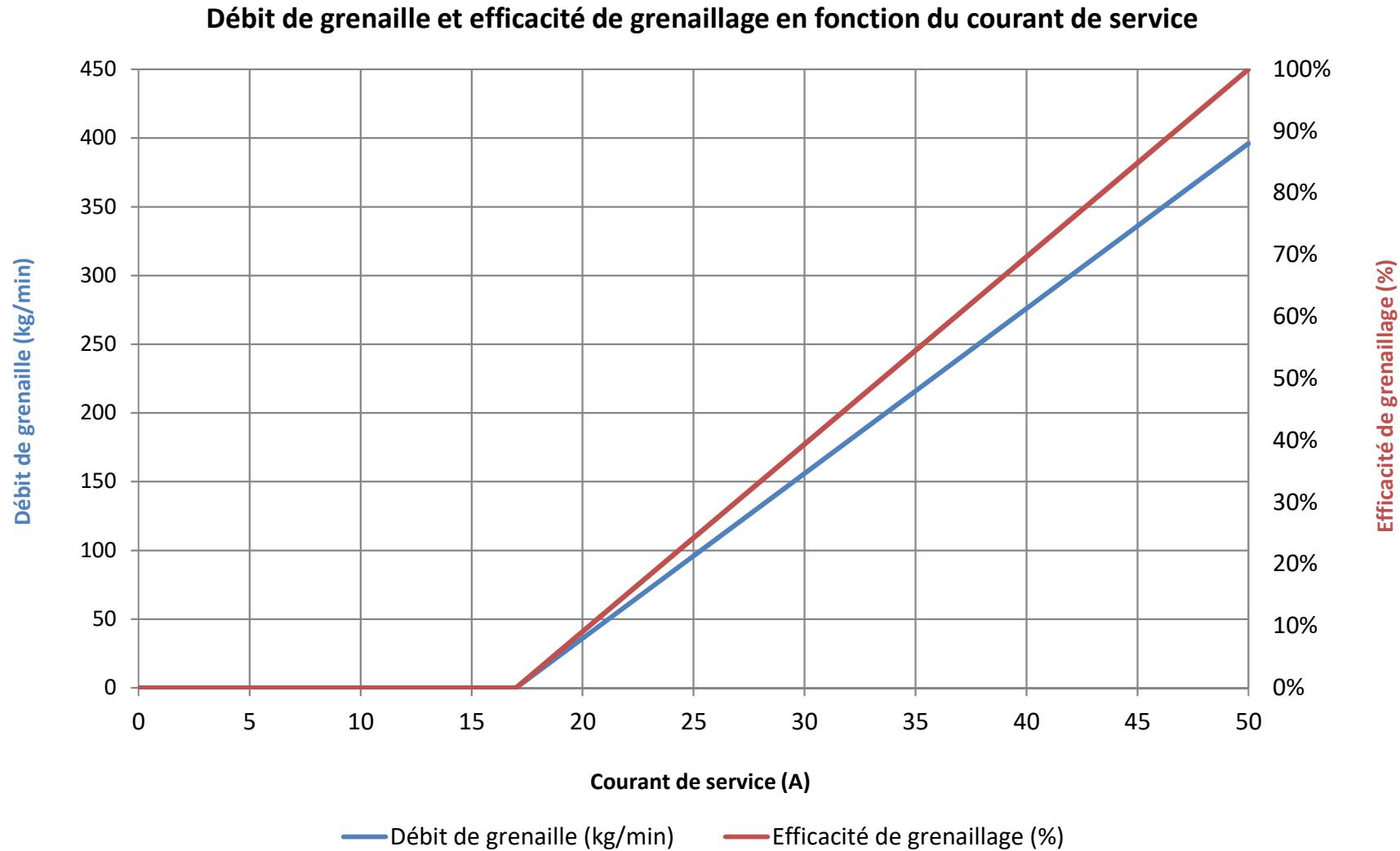
MACHINE : Puissance moteur

MOTEUR		Ampere (380 V)			Ampere (220 V)		
KW	HP	A vide	Pleine charge	Utile	A vide	Pleine charge	Utile
7,4	10	5,8	17,0	11,2	8	26	18
11,0	15	8,1	24,5	16,4	12	39	27
14,7	20	10,5	31,0	20,5	16	52	36
18,4	25	11,6	38,0	26,4	21	64	43
22,0	30	14,0	45,0	31	25	77	52
29,4	40	19,8	59,0	39,2	33	103	70
36,8	50	23,0	74,0	51,0	41	129	88
44,1	60	27,0	86,0	59,0	50	155	105
55,0	75	35,0	106,0	71,0	62	193	131

MACHINE : Débit de grenaillage

- Le débit de grenade est évalué à partir de la consommation électrique des turbines :
 - à vide (I_0) ;
 - en service (I).
- On considère en première approximation que :
 - le débit de grenade est proportionnel à l'intensité utile $I_u = I - I_0$
 - l'efficacité de la turbine est égal à $I_u / I_{u,max} = (I - I_0) / (I_{max} - I_0)$
- De façon très simplifiée, pour avoir une idée approximative de la quantité de grenade projetée, on considère qu'une turbine projette : **12 kg/min/Ampère utile.**

MACHINE : Efficacité grenaillage



MACHINE : Vitesse de projection

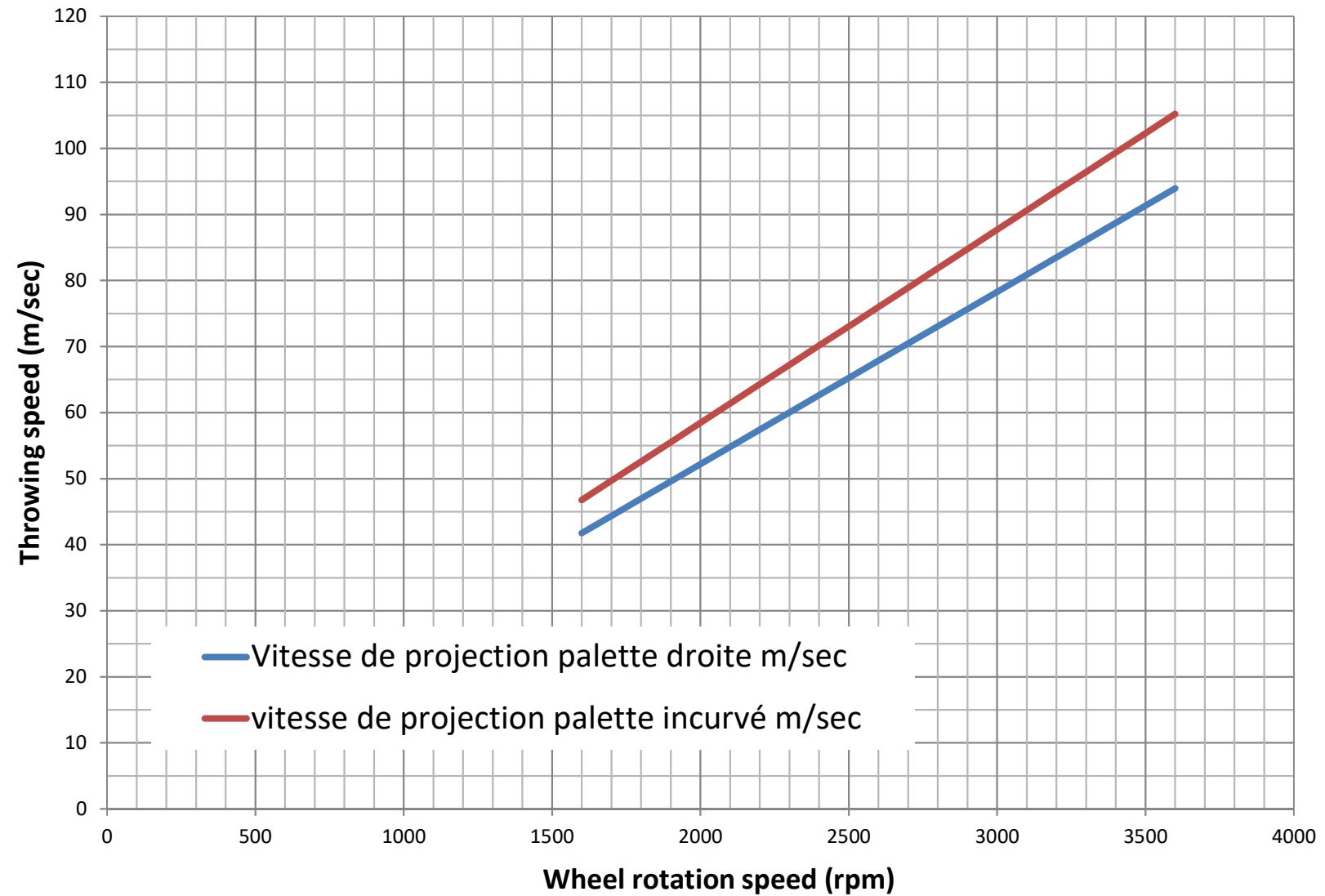
- La vitesse de projection dépend:
 - des diamètres intérieur et extérieur de la turbine (extrémités intérieure et extérieure des palettes);
 - de la vitesse de rotation de la turbine;
 - du type de palette : droite ou courbe;
 - de la forme de la grenade.
- Pour une turbine à palettes droites

$$Vp = 0,05 \times \omega \times \sqrt{(2 \times D_{ext}^2 - D_{int}^2)}$$

MACHINE : Les turbines Rutten



MACHINE : Les turbines Rutten



MACHINE : Les turbines Rutten

Plus-value

- Réduire la vitesse de rotation des turbine → réduire la consommation électrique.
- Augmenter la durée de vie des consommables → moins de main d'œuvre, point chaud plus stable.

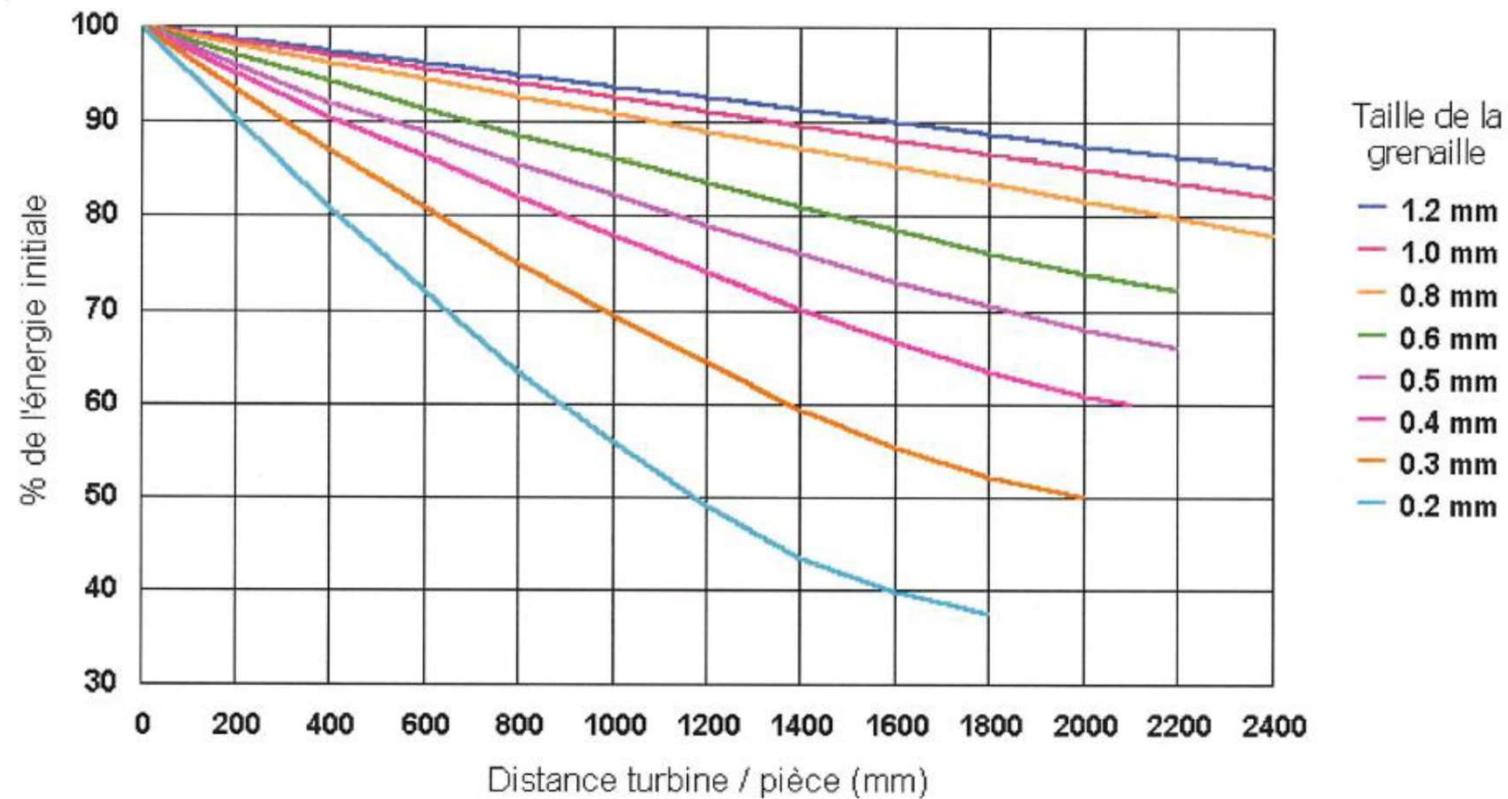
MACHINE : Les turbines Rutten

Plus-value

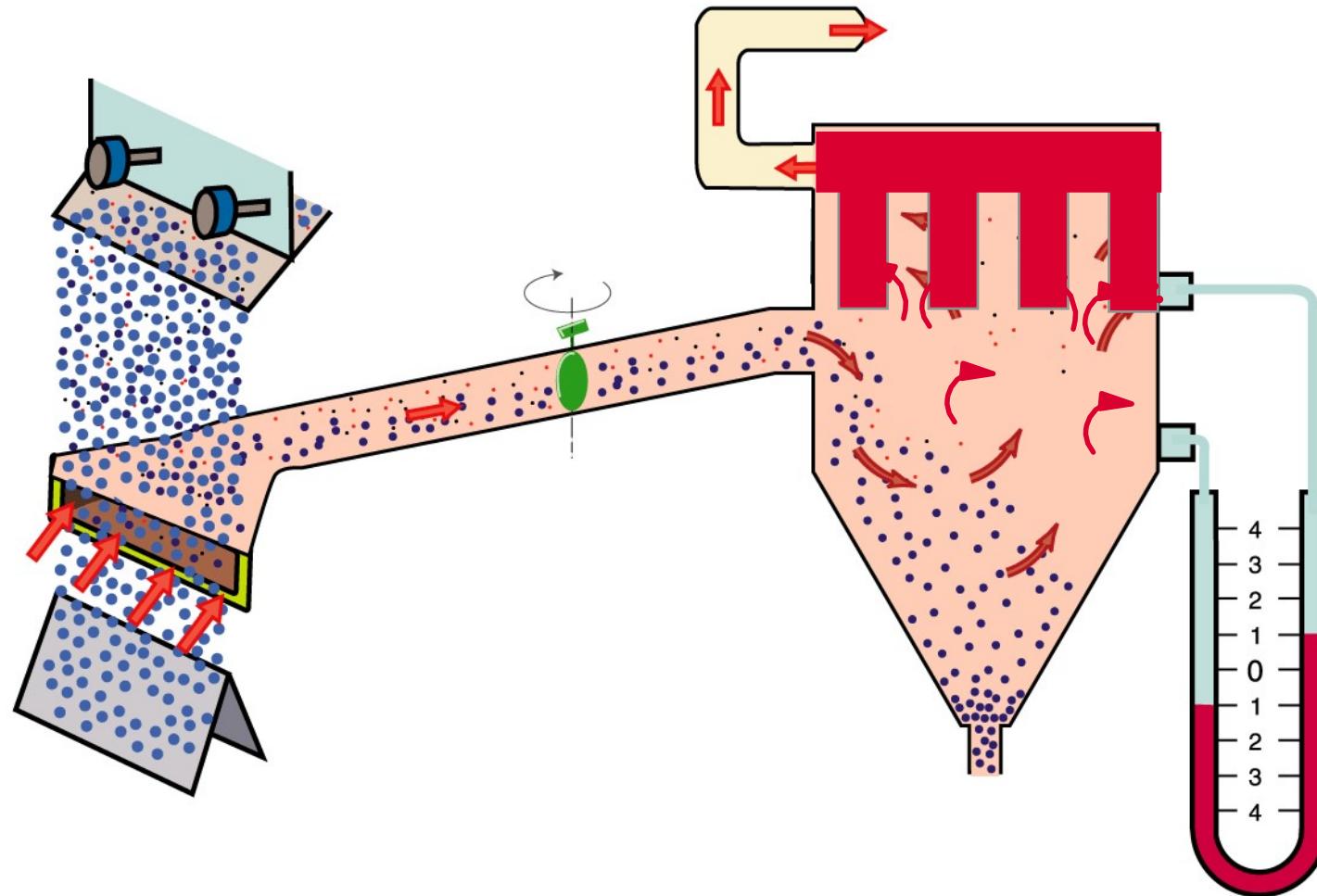
- Réduire la vitesse de rotation des turbine → réduire la consommation électrique.
- Augmenter la durée de vie des consommables → moins de main d'œuvre, point chaud plus stable.

MACHINE : L'énergie cinétique

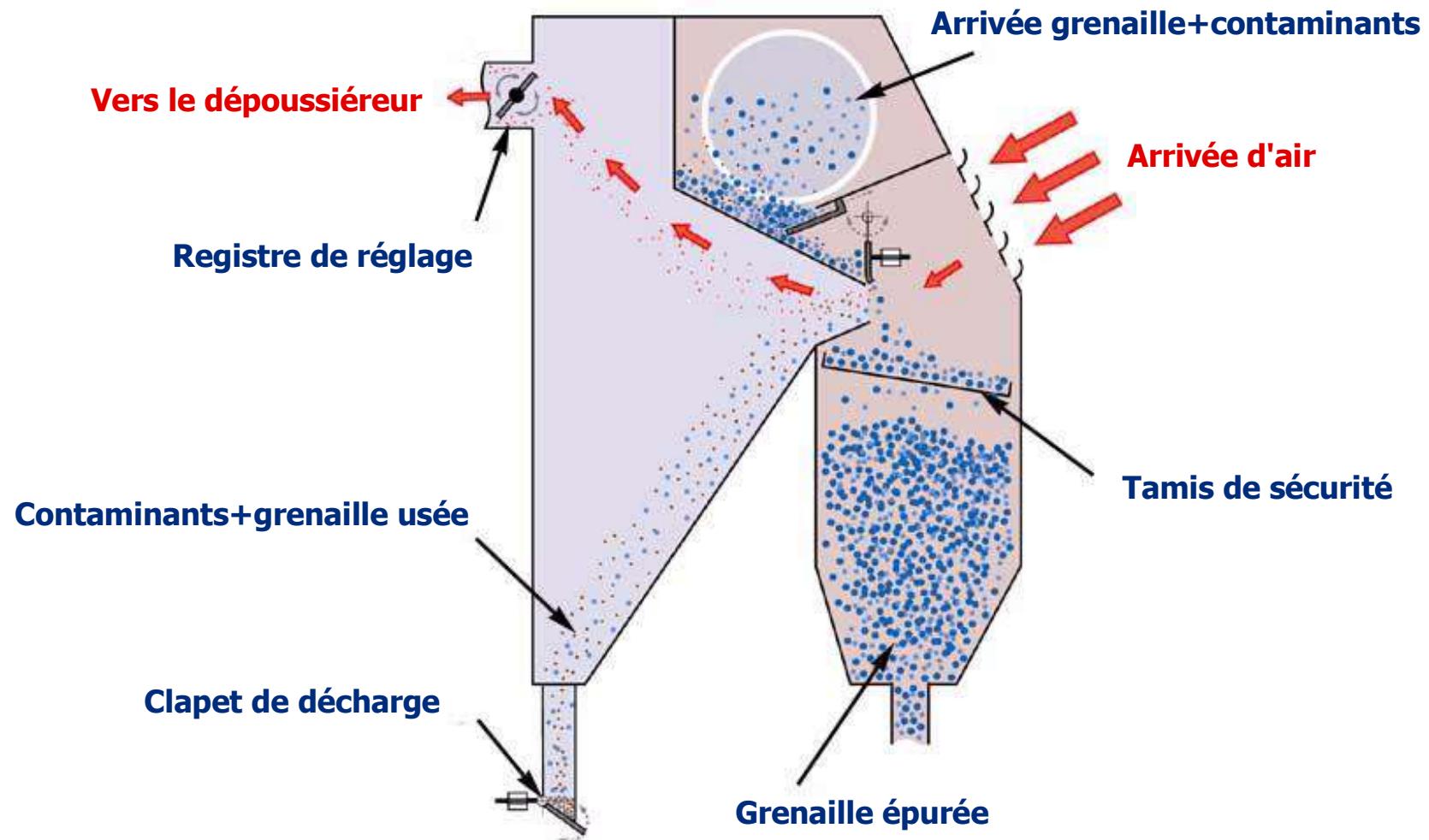
Perte d'énergie cinétique en fonction de la taille nominale du média de grenaillage et de la distance entre la turbine et la pièce



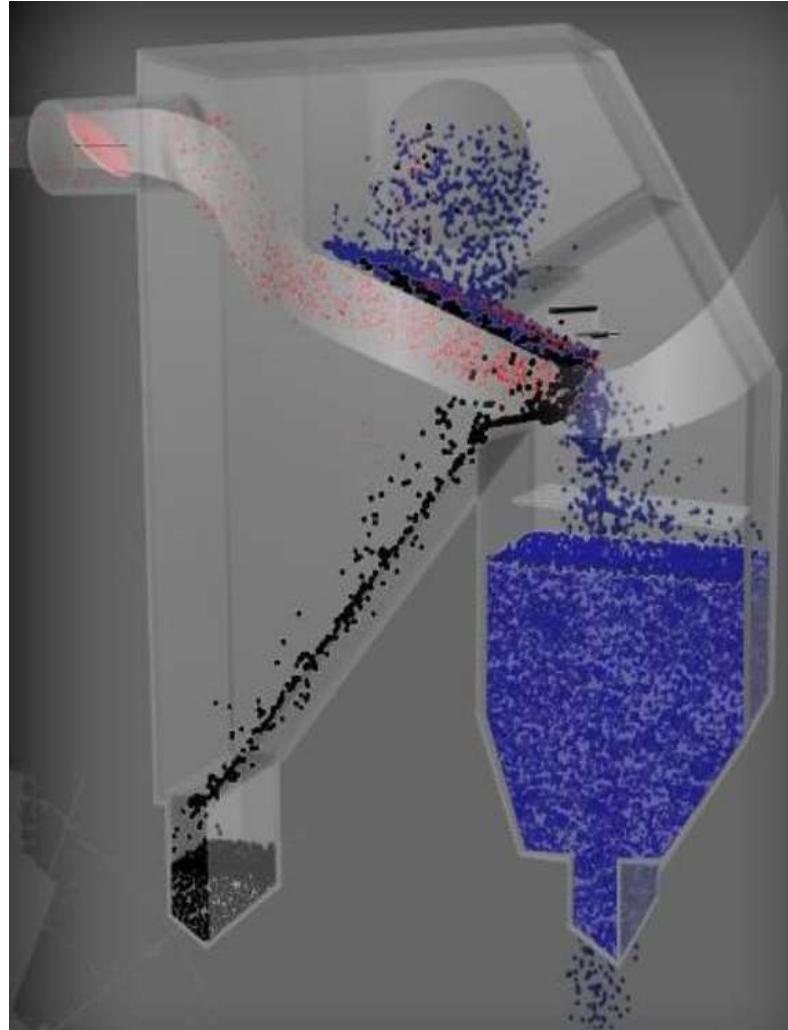
MACHINE : Séparateur



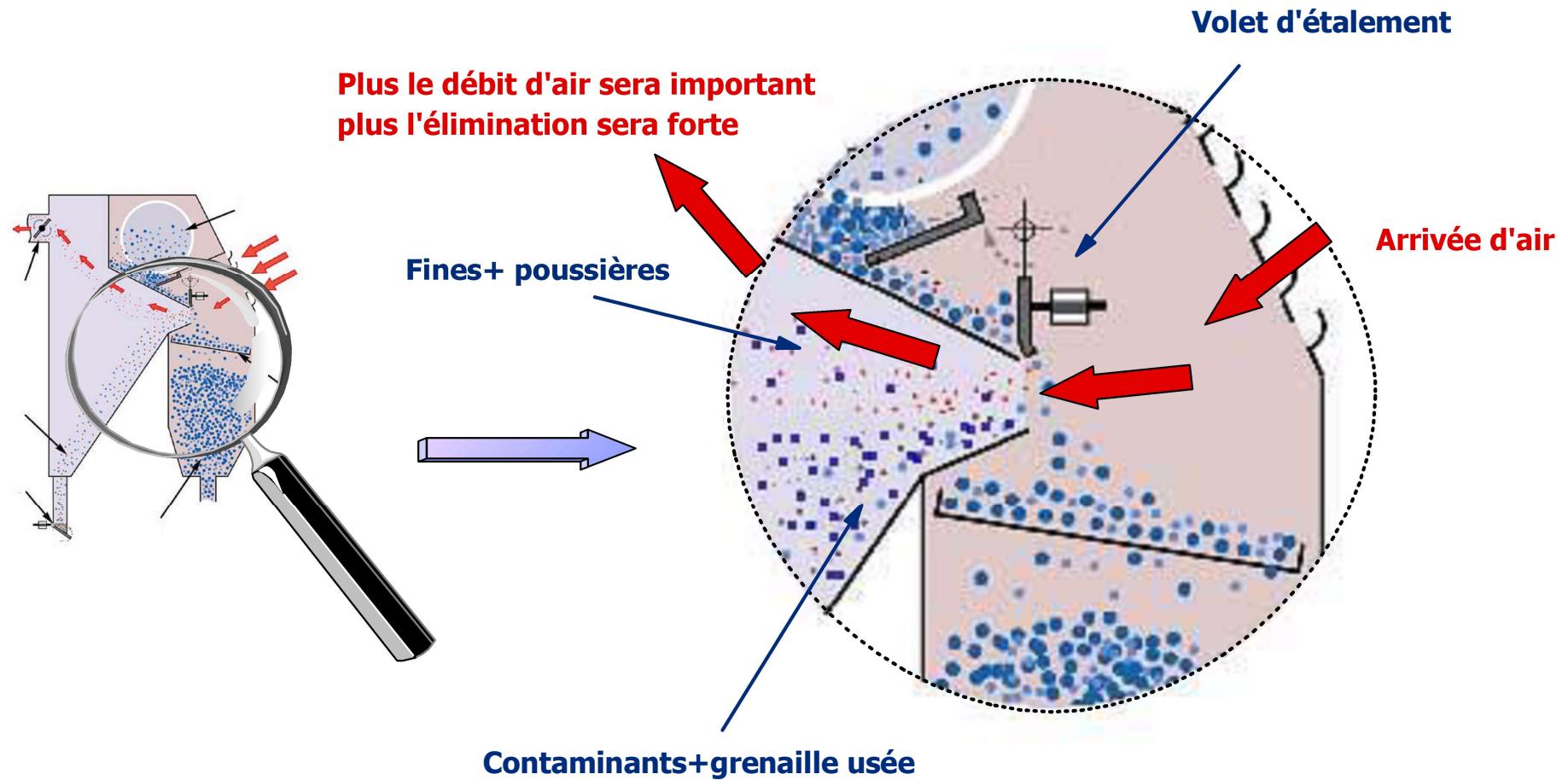
MACHINE : Séparateur



MACHINE : Séparateur



MACHINE : Séparateur



MACHINE : Séparateur

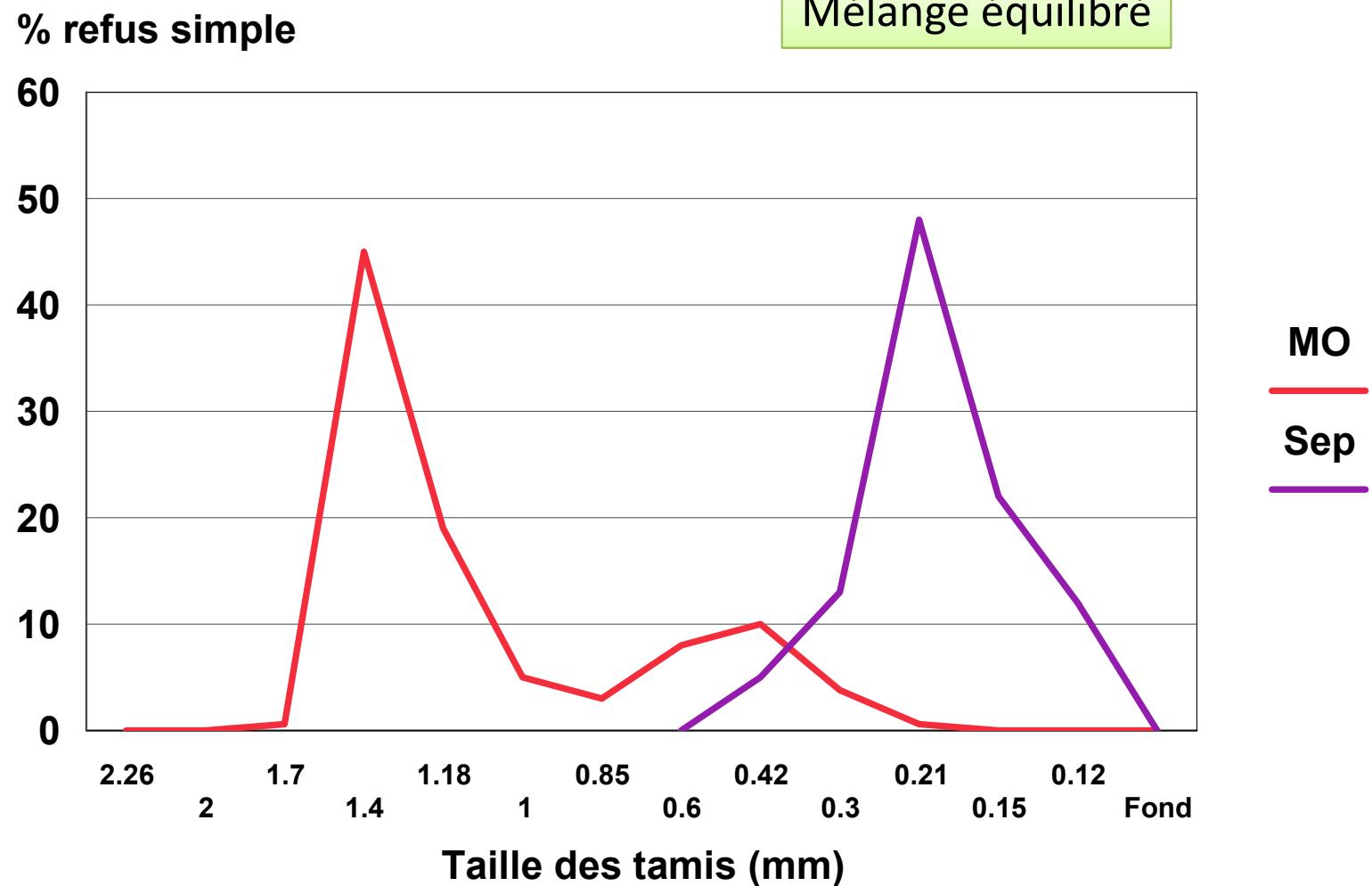


MACHINE : Séparateur – Défaut type

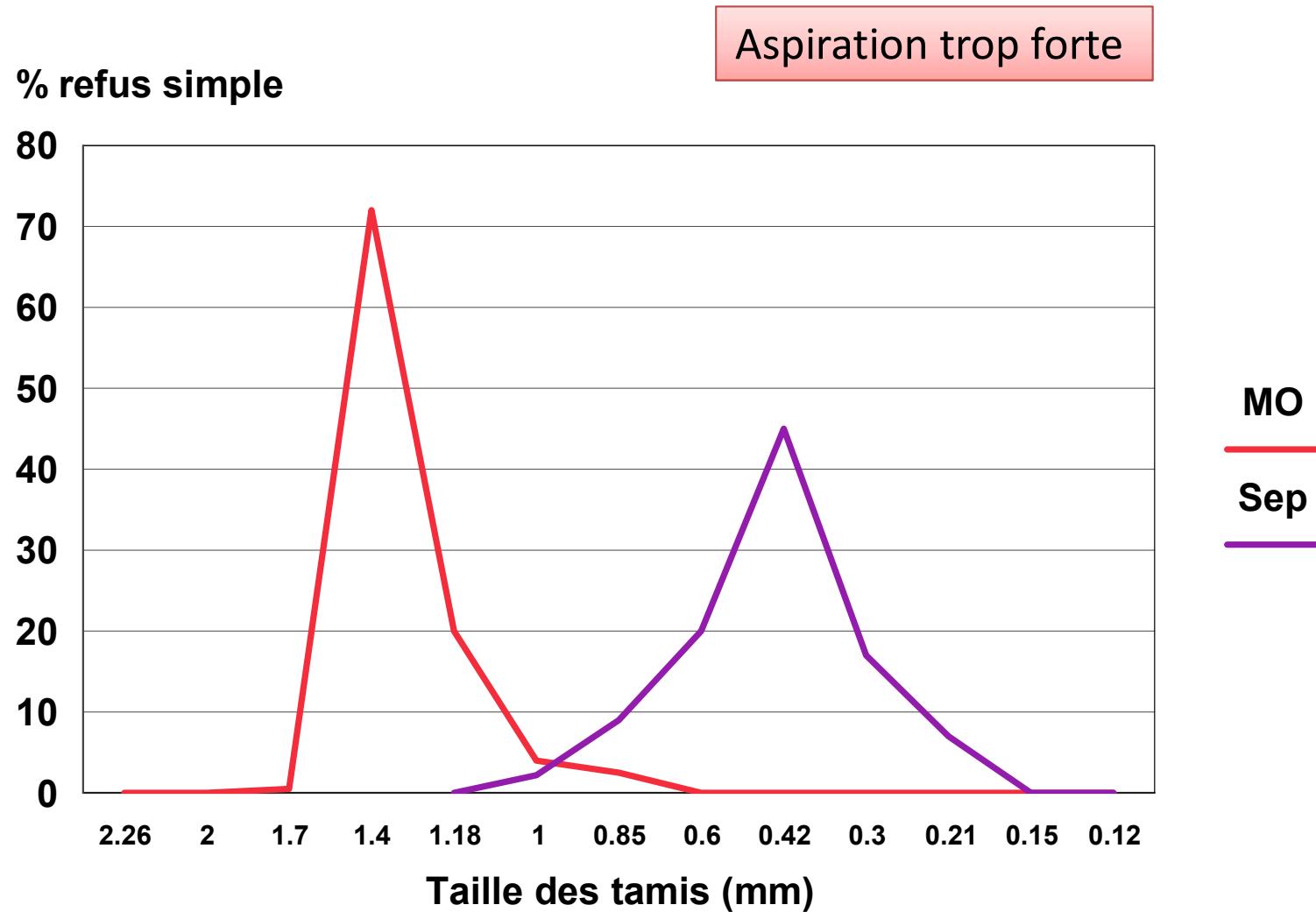
Rideau discontinu



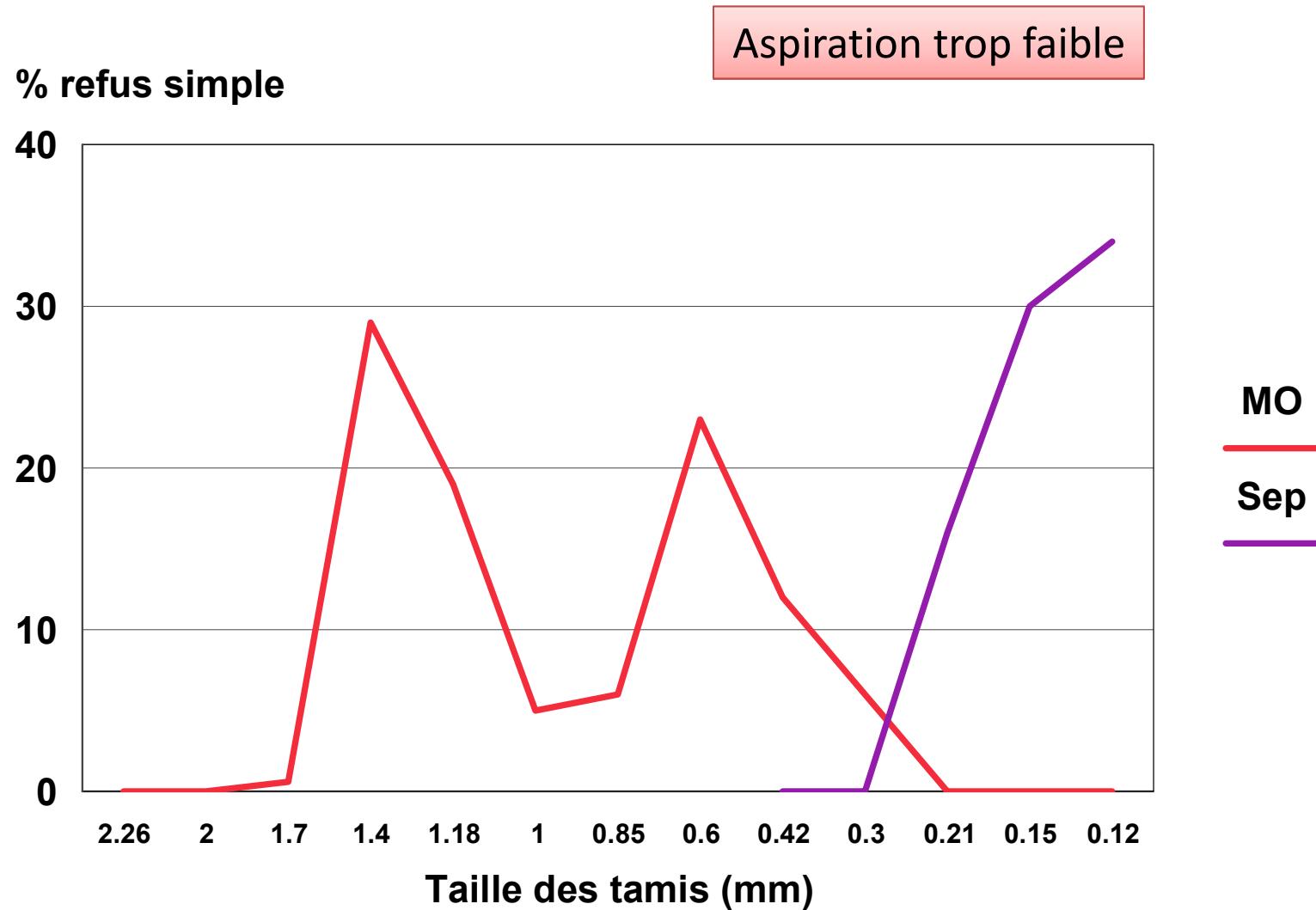
MACHINE : Courbe granulométrique - Standard



MACHINE : Courbe granulométrique – Défaut type

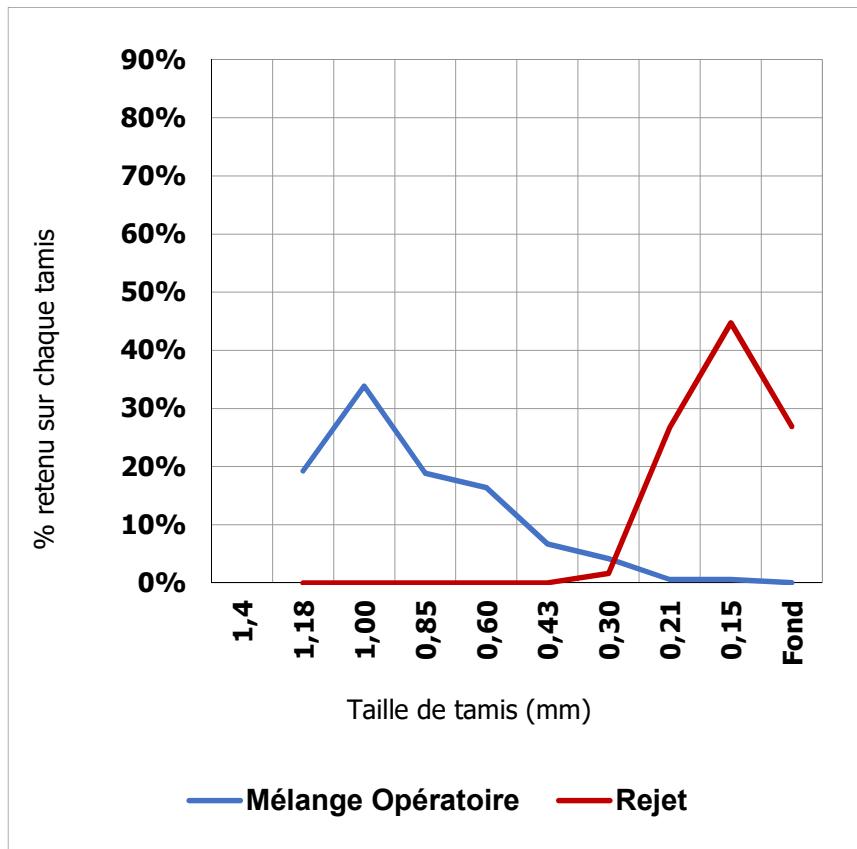


MACHINE : Courbe granulométrique – Défaut type

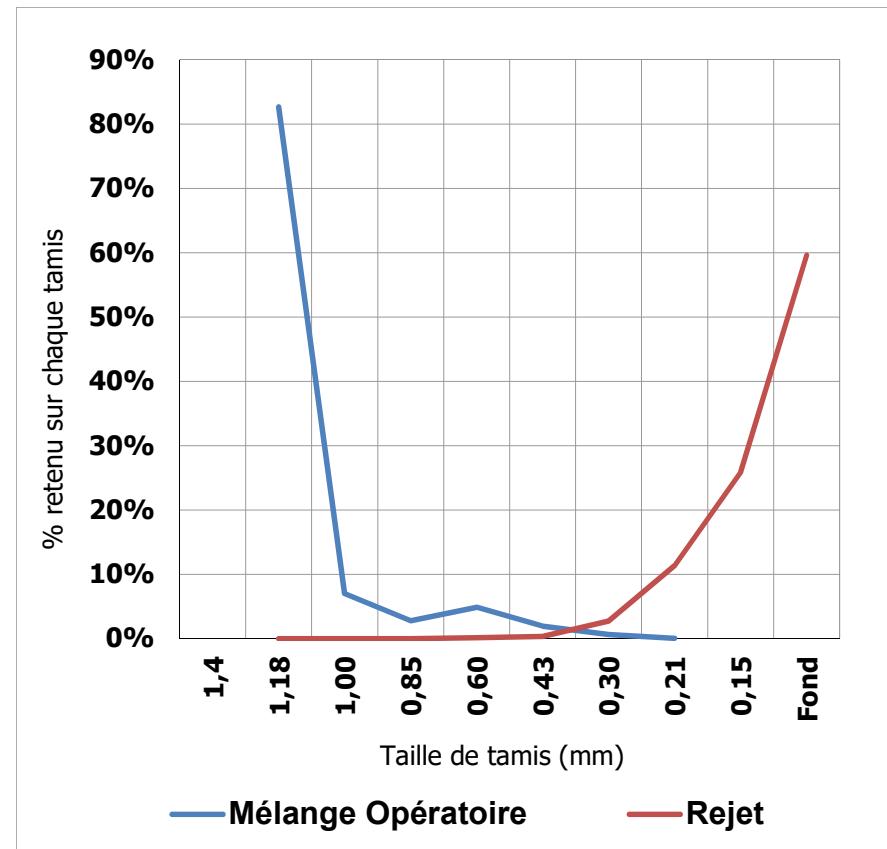


MACHINE : Courbe granulométrique – Défaut type

Standard



Ajout excessif



MACHINE : Seuil d'élimination

Dessablage :

1/3 de la dimension nominale

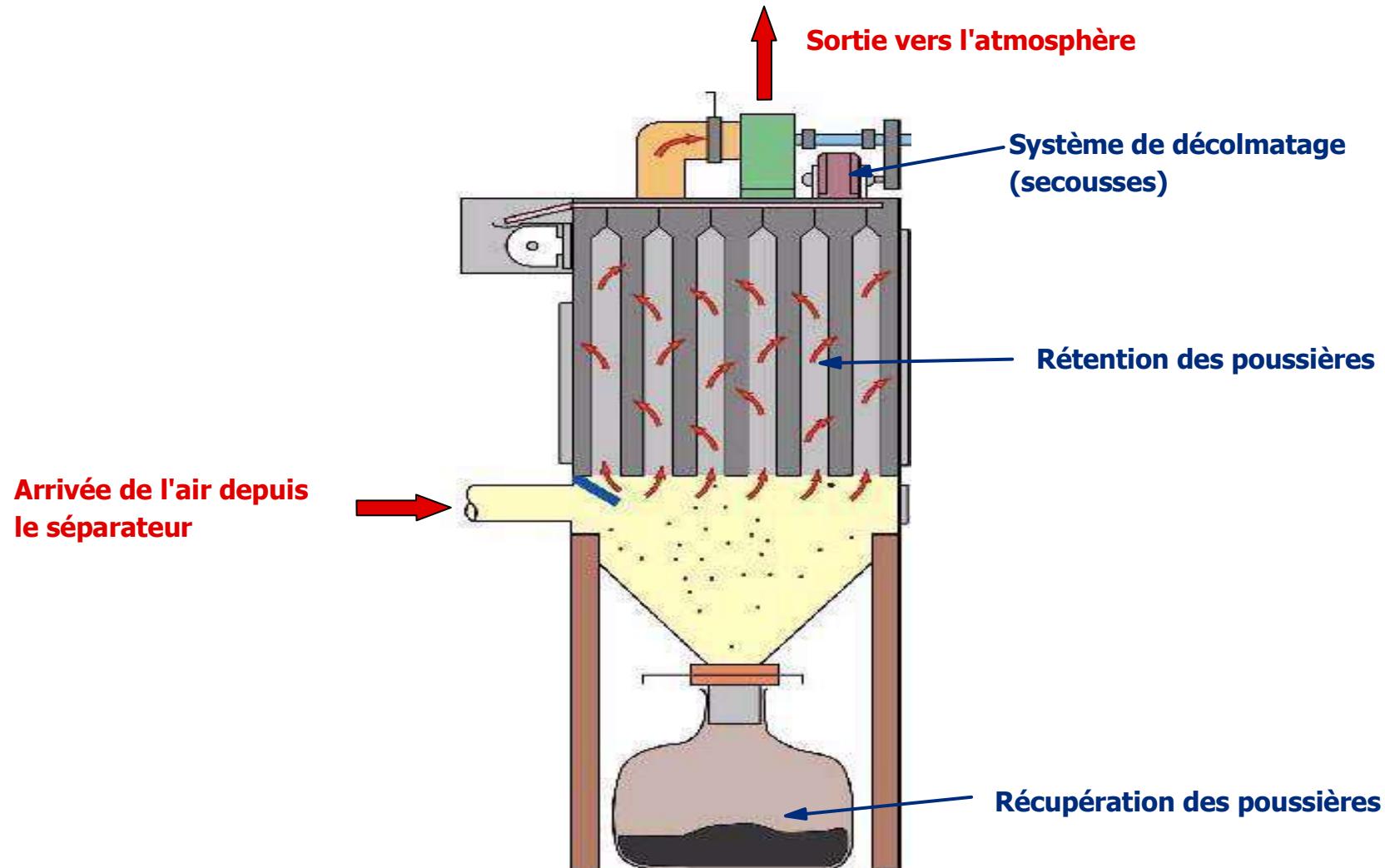
Décalaminage, préparation de surface :

1/4 de la dimension nominale

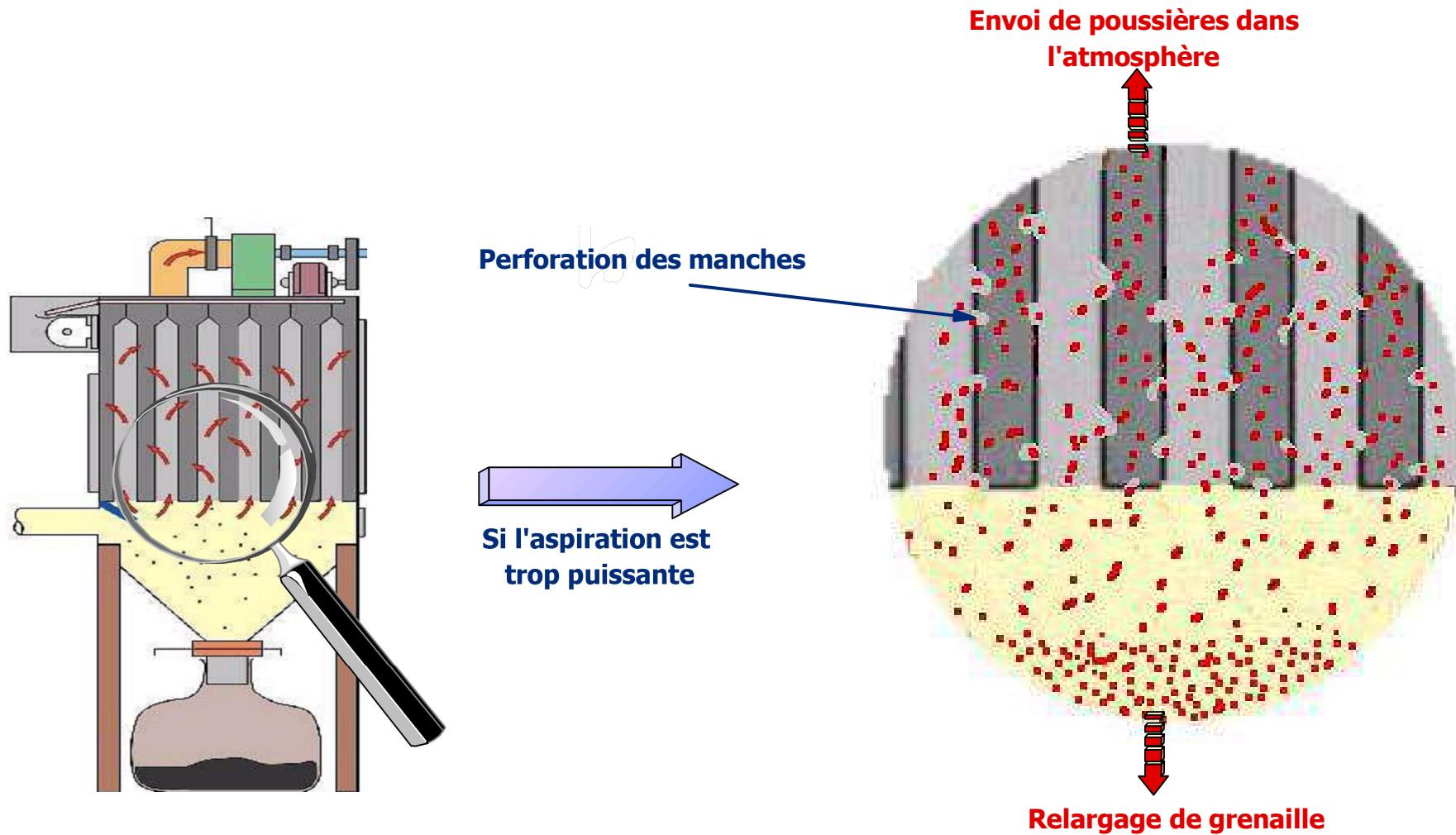
Shot Peening :

1/2 de la dimension nominale

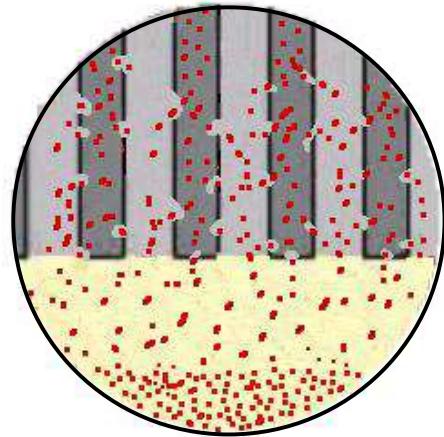
MACHINE : Dépoussiéreur – Fonctionnement



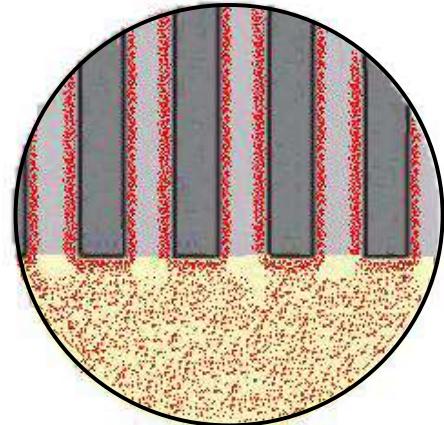
MACHINE : Dépoussiéreur – Altération des manches



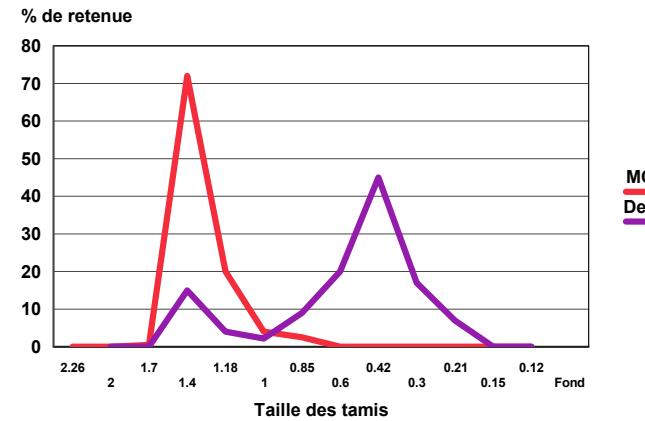
MACHINE : Dépoussiéreur – Défaut de fonctionnement



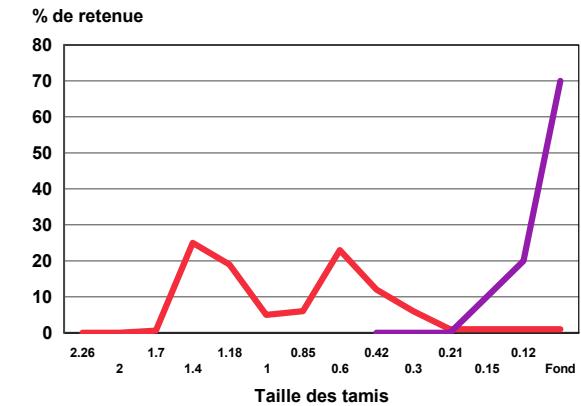
Perforation des filtres



Colmatage des filtres

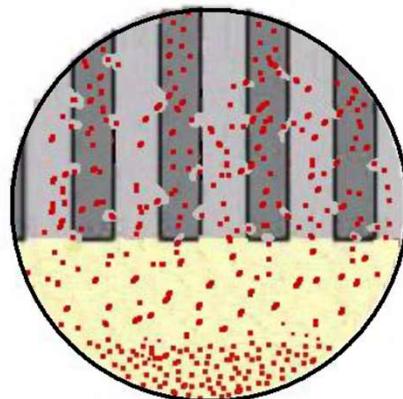


MO
Dep



MO
Dep

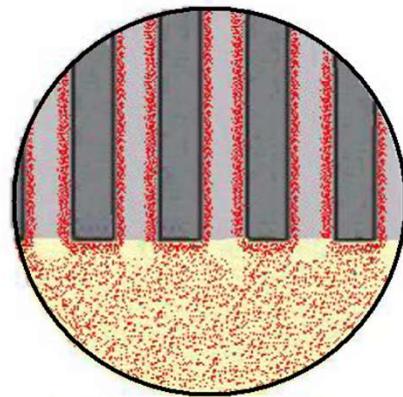
MACHINE : Dépoussiéreur – Défaut de fonctionnement



Perforation des filtres



- Perturbation du mélange opératoire ;
- Mélange opératoire trop gros ;
- Augmentation de la consommation de grenaille ;
- Accélération de l'usure de la machine ;
- Décalage des points chauds ;
- Diminution du taux de recouvrement.



Colmatage des filtres



- Perturbation du mélange opératoire ;
- Mélange opératoire trop fin ;
- Accélération de l'usure de la machine ;
- Décalage des points chauds ;
- Diminution de l'efficacité de grenaillage.

MACHINE : Dépoussiéreur – précaution et sécurité

Généralités

- Les particules < 200 µm sont inflammables (combustion lente) ;
- Risque d'explosion lorsque la concentration est entre 20 et 30 gr/m³.

Préconisations

- Vidange régulière de la trémie poussiére ;
- Mise à la terre du dépoussiéreur ;
- Sondage des tuyauteries lors des visites préventives de l'installation ;
- Eviter toute trace d'humidité et de graisse sur les pièces => risque accru de colmatage des filtres.

Formation Grenailage

Sommaire

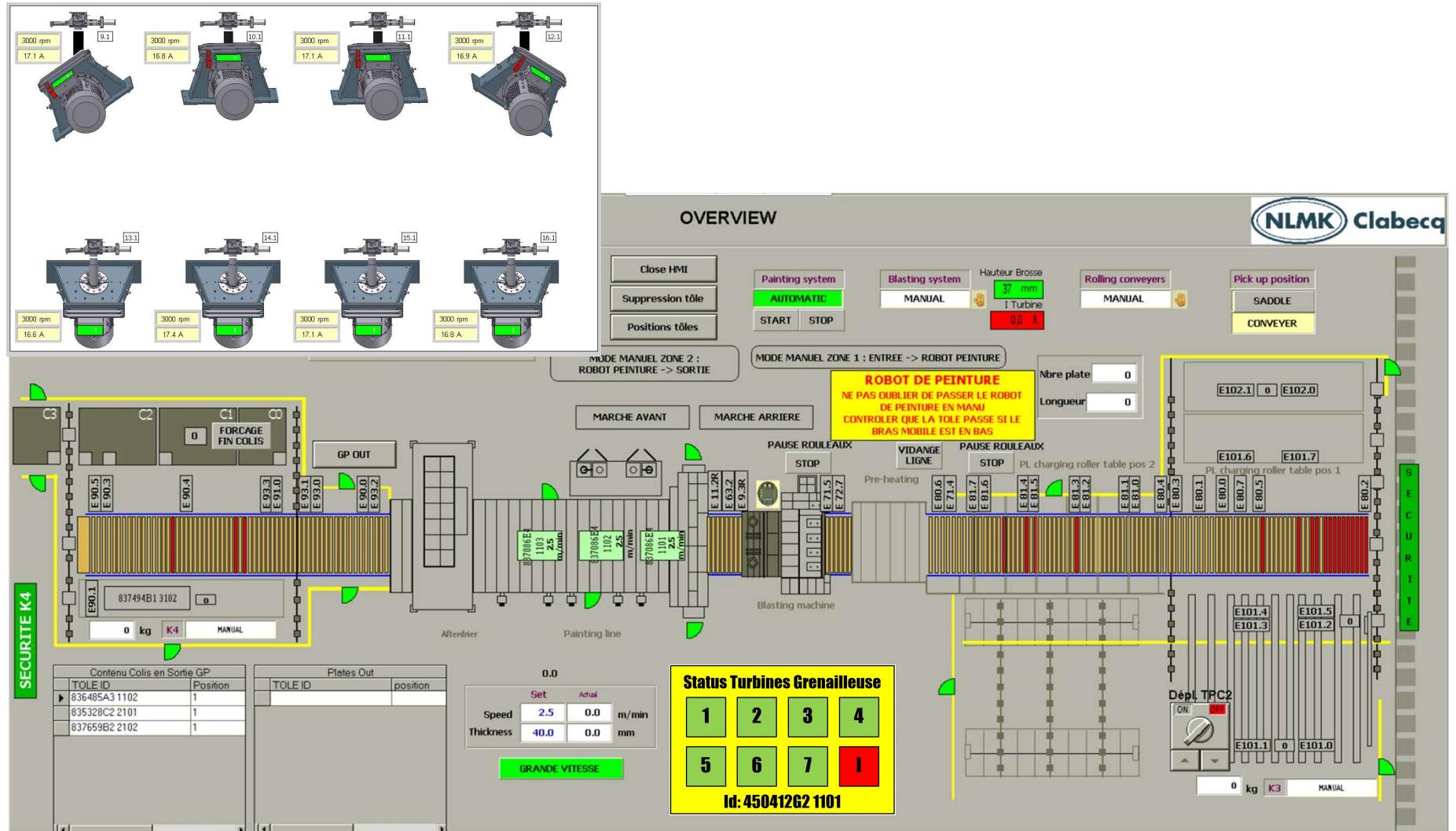
- I. Grenaille
- II. Machine
- III. Rôle de l'opérateur**

Rôle de l'opérateur



- Alimentation de la grenailleuse
- Suivi des paramètres de production
- Maintenir la machine en bon état de fonctionnement

Rôle de l'opérateur : Efficacité



Rôle de l'opérateur : Alimentation de la grenailleuse

- Evaluation de la contenance d'une machine ;

Nombre de turbines x CV x 12 x 2,5



Approximativement
12 kg/min/Amp utile

2,5 pour moteur > 40 CV
3 pour moteur > 40 CV

- Lors du remplissage d'une machine vide :

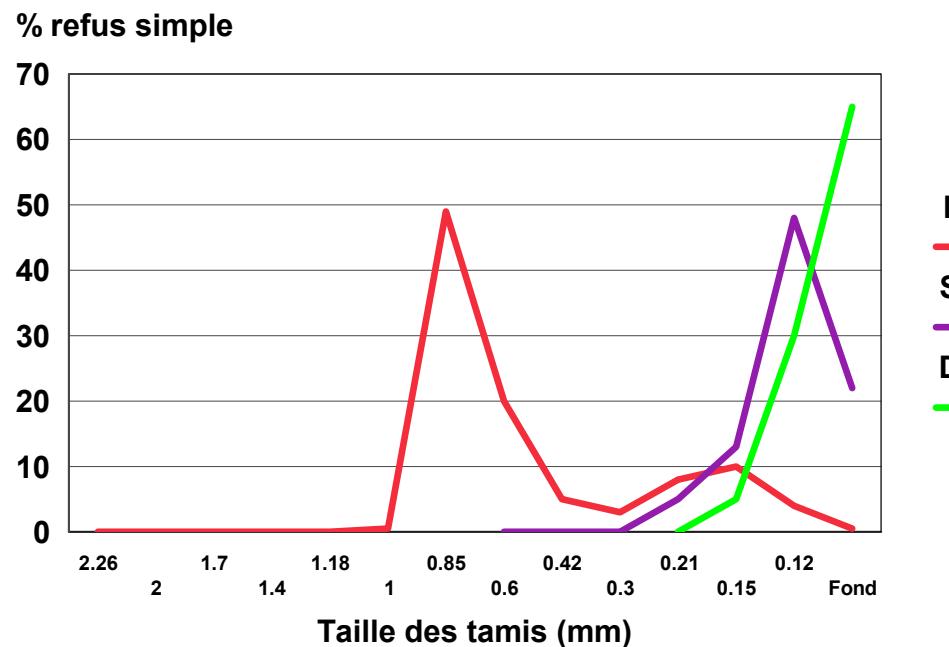
Ajouter 500 kg pour chaque vis sans fin et 500 kg pour chaque élévateur

Rôle de l'opérateur : Règle d'addition en fonctionnement

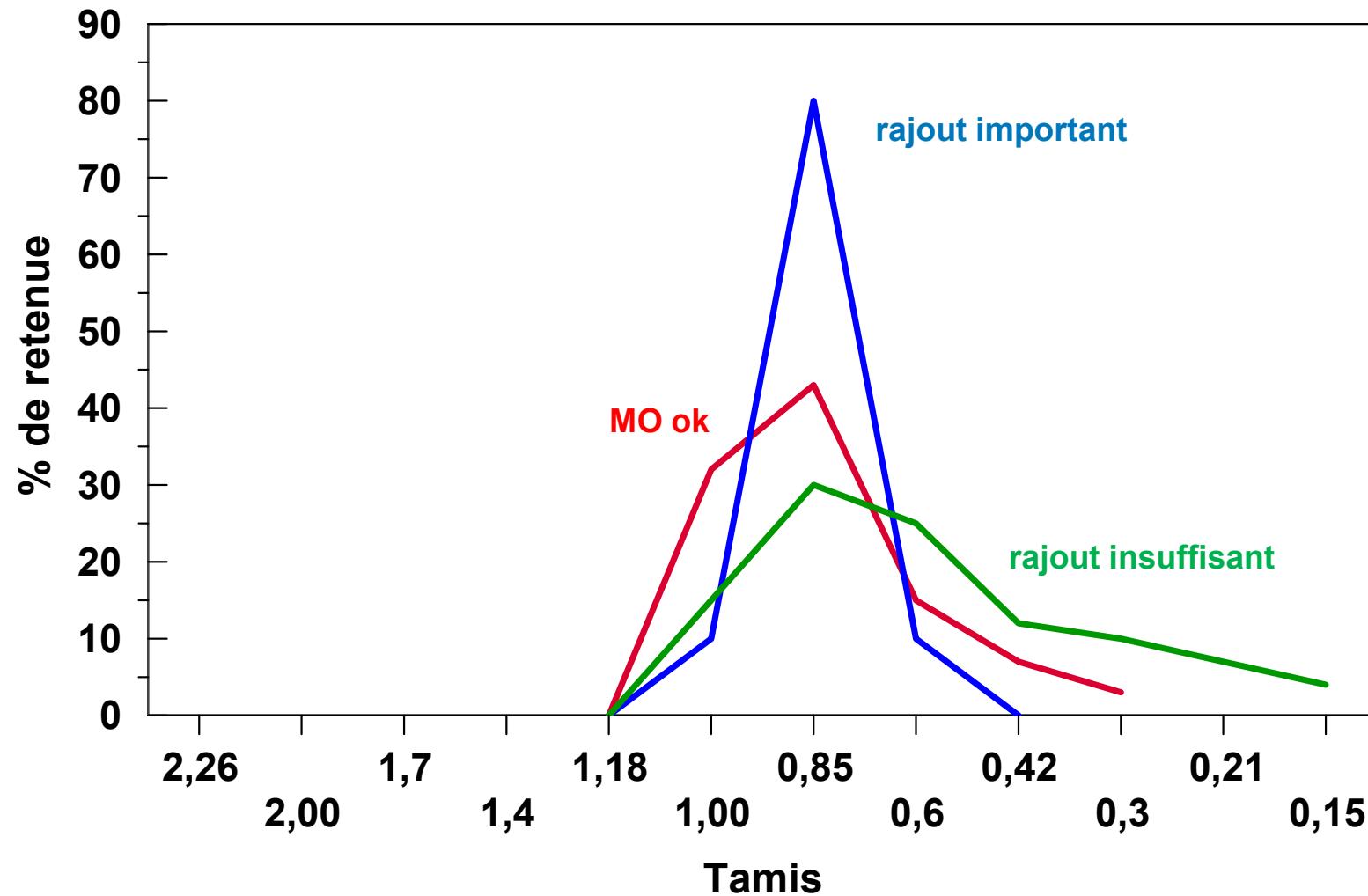
- Ajout fréquent et par petites quantités de 5 à 10% de la contenance totale ;
- Une machine vide doit être remplie avec un mélange opératoire reconstitué, jamais avec 100% de grenaille neuve.

Rôle de l'opérateur : Analyse granulométrique

Tamis	Mél op %	Sép air %	Dép %
2,26			
2,00	0		
1,7	0		
1,4	0		
1,18	0		
1,00	0,5		
0,85	49		
0,60	20	0	
0,42	5	0	
0,30	3	0	
0,21	8	6	0
0,15	10	13	5
0,12	4	49	30
Fond	0,5	21	65
Total	100 %	100 %	100 %



Rôle de l'opérateur : Importance des ajouts de grenaille



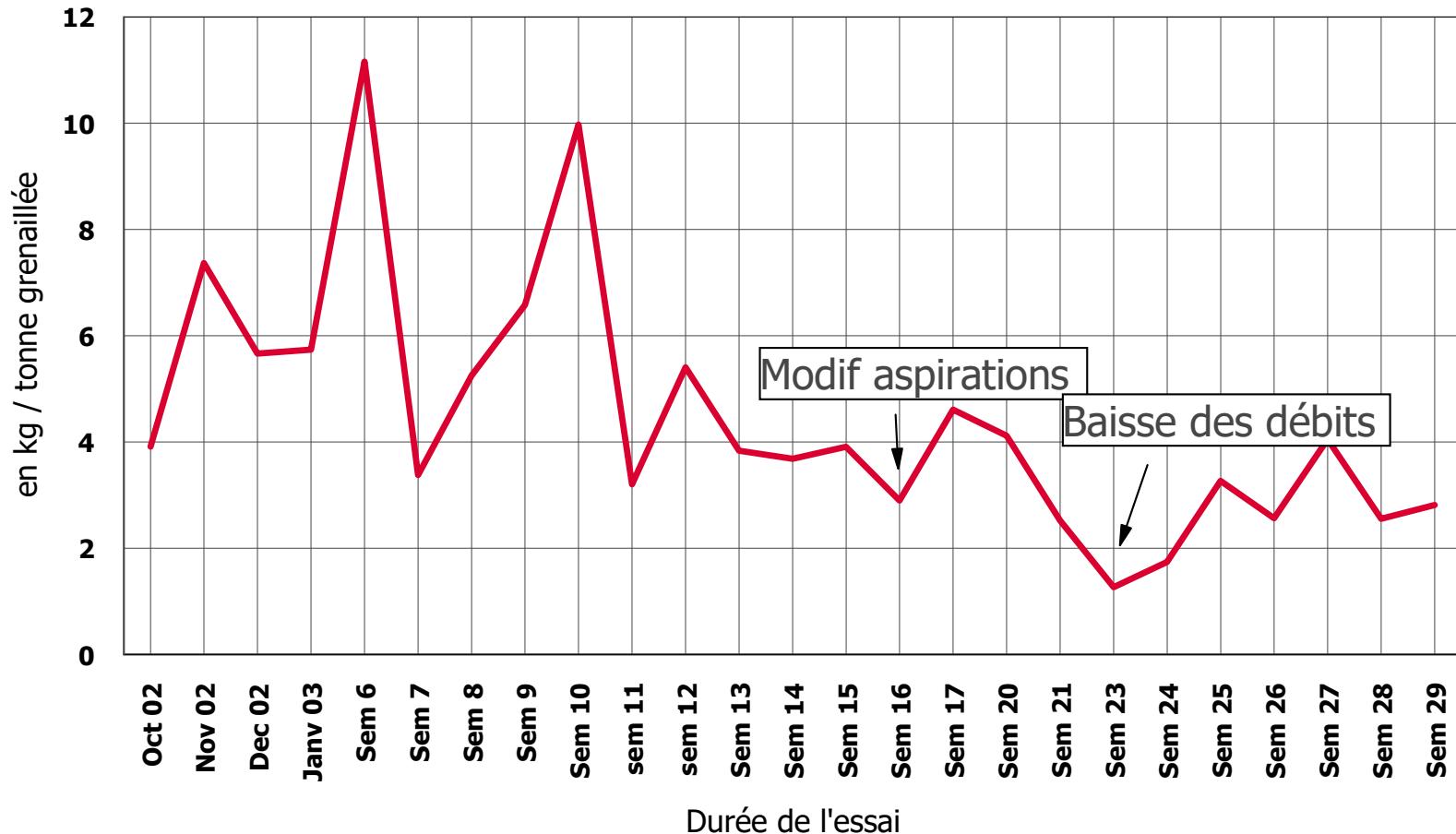
Rôle de l'opérateur : suivi de la consommation

Relevés journaliers :

Dates	Qté grenaille neuve	Heures grenaillage effectives	Tonnage pièces
06/10	250 kg/ eq1 175 kg/eq2 250 kg/eq3	7,6 H/eq1 7,4 H/eq2 7,4 H/eq3	224
07/10	125 kg/ eq1 150 kg/eq2 250 kg/eq3	4,8 H/eq1 6,2 H/eq2 7,4 H/eq3	159
08/10	250 kg/ eq1 175 kg/eq2 275 kg/eq3	7,2 H/eq1 7,2 H/eq2 7,7 H/eq3	234
09/10	250 kg/ eq1 175 kg/eq2 250 kg/eq3	7,6 H/eq1 7,2 H/eq2 7,4 H/eq3	203
10/10	250 kg/ eq1 150 kg/eq2 125 kg/eq3	7,6 H/eq1 6,8 H/eq2 4,7 H/eq3	113
Semaine	3100 kg	104,2 H	933 tonnes

Rôle de l'opérateur : Suivi de la consommation

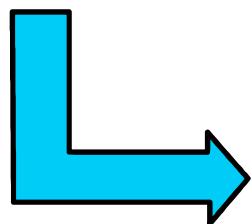
Consommation à la tonne grenaillée



Rôle de l'opérateur :

Les 5 commandements du grenailleur

- 1) **Mélange** (analyse granulo 1 fois/sem)
- 2) **Temps** (consigner les heures de grenaillage effectif)
- 3) **Echelonner les ajouts** (fréquemment et par petites quantités)
- 4) **Unités** (consigner les quantités de pièces traitées)
- 5) **Résultat** (contrôle visuel de la propreté des pièces)



Vous maîtrisez votre process !

Rôle de l'opérateur

- Nettoyage des filtres
- Risque de colmatage si sac de poussière pas changer à temps
- Exempte de morceaux de bois, poils de brosse, pailles , caoutchouc, étiquettes.

Formation Grenailage

Sommaire

- I. Grenaille
- II. Machine
- III. Rôle de l'opérateur
- IV. Rôle de la maintenance

Rôle de la maintenance



- Action sur les fuites
(préventif et curatif)
- Suivi des pièces d'usures
- Efficacité du grenaillage
 - contrôle point chaud
 - contrôle des intensités

Rôle de la maintenance : Suivi de l'état des consommables

La grenaille exploseront en s'écrasant sur le blindage ce qui augmentera la consommation de grenade. La quantité de grenades fines augmentera ce qui perturbera le mélange opératoire et déplacera la position du point chaud.



Rôle de la maintenance : Usure des palettes



MO
trop fin



Sable ou
poussière



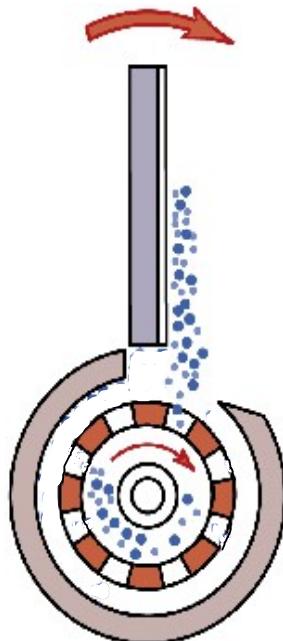
Défaut de
fabrication



Endommagée
par un object



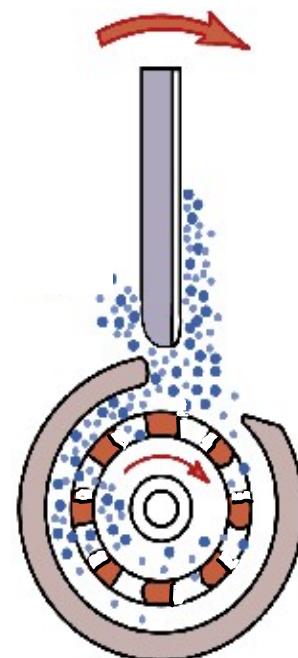
Rôle de la maintenance : Usure - distributeur et cage de contrôle



Turbine neuve

Le rythme de sortie des grains n'est plus en phase avec le passage des palettes

Les grains de grenaille doivent être projetés en glissant sur les palettes et non pas en étant frappés



Turbine usagée

Rôle de la maintenance : Usure - distributeur et cage de contrôle



Formation Grenaillage

Merci de votre attention !