

# SIMULATEUR DE PLUIES



## TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	3
2	ETUDE TECHNIQUE.....	3
2.1	La reproduction de pluies artificielles par atomiseurs à disques tournants SPRAI .....	3
2.2	La méthode de pulvérisation par disque tournant .....	4
2.3	Surface mouillée.....	4
2.4	Répartition granulométrique .....	5
2.5	Vitesse des gouttes .....	9
3	NOTRE PROPOSITION DE FOURNITURE D'UN SIMULATEUR DE PLUIE	
	COMPOSE DE :.....	15
3.1	Une tête d'atomisation SPRAI.....	15
3.2	Une pompe volumique péristaltique d'alimentation en liquide de type pompe péristaltique.....	15
3.3	Un boîtier d'alimentation électrique et de contrôle commande de la pompe et de la tête de pulvérisation.....	15
3.4	Un logiciel SPRAI.....	15
3.5	Notices.....	16
4	INSTALLATION.....	16
5	MISE EN SERVICE, FORMATION.....	17
6	GARANTIE .....	17
7	DELAI DE LIVRAISON .....	17

## 1 INTRODUCTION

La société SPRAI est une Jeune Entreprise Innovante créée en 2005 pour valoriser les travaux de recherche effectués au CNAM sur les aérosols. Son équipe a acquis une expérience et une maîtrise probablement uniques au monde de la pulvérisation et de ses techniques.

Ce document présente un simulateur de pluies artificielles générées par une tête d'atomisation à disque tournant, Cette méthode permet de générer différents types de pluviométries connues et de passer très facilement d'une pluie à l'autre, comme le montre l'étude de faisabilité.

La solution proposée privilégie la flexibilité et est **évolutive**, deux paramètres qui nous semblent très importants pour un laboratoire de recherches et d'essais.

Le pilotage se fait très facilement par un exécutable créé par SPRAI à partir de LABVIEW et spécialement conçu pour cette installation. Il pourra également évoluer en même temps que celle-ci.

L'installation, ainsi que ses modifications ultérieures éventuelles, ne nécessite pas de connaissances techniques particulières et peut-être réalisée par des équipes locales.

Bureau d'étude et Société de services, SPRAI peut concevoir des installations spéciales, assurer la mise en route du système, la formation des utilisateurs ainsi que la maintenance éventuelle.

## 2 ETUDE TECHNIQUE

### 2.1 La reproduction de pluies artificielles par atomiseurs à disques tournants SPRAI

Il existe deux principales méthodes industrielles de pulvérisation de liquides :

- La pulvérisation d'un liquide sous pression à travers une buse.
- La pulvérisation d'un liquide par un objet tournant à grande vitesse.

SPRAI est spécialisée dans la pulvérisation par **disque tournant** qui présente un certain nombre d'avantages par rapport à la pulvérisation par buse :

- La granulométrie est moins dispersée (l'écart type relatif est inférieur à 0.4).
- La granulométrie et le débit sont facilement modifiables dans une certaine gamme par simple réglage du débit et de la vitesse de rotation du moteur.
- Il n'est pas nécessaire de mettre le liquide sous pression pour obtenir une bonne pulvérisation. L'appareil peut être directement alimenté en eau de ville, éventuellement traitée.

- Il n'y a pas de gaz sous pression.
- Il n'y a pas de risque de bouchage, car il n'y a ni orifice, ni buse.
- L'installation est facilement programmable à partir d'un ordinateur.

Le dispositif de pulvérisation est constitué d' 1 tête d'atomisation à disque tournant, disposée à environ 2 mètres du sol<sup>1</sup>, alimentée en eau de ville par l'intermédiaire d'un réservoir de stockage.

## 2.2 La méthode de pulvérisation par disque tournant

Le liquide partant du centre d'un disque en rotation rapide s'étale sur celui-ci (Figure 1) et se disperse à la périphérie en jets liquides, qui se fractionnent naturellement en gouttes (sous l'effet d'une instabilité) dans le plan du disque (Figure 2).

Le débit, la vitesse d'éjection et la taille des gouttes sont liés à la vitesse de rotation du disque, au nombre de jets et au rayon du disque.

Pour un disque et un liquide donnés, la granulométrie moyenne des gouttes est donnée par une loi dépendant du débit et de la vitesse de rotation de telle sorte qu'un simple changement de l'un, l'autre ou de ces deux paramètres permet de faire varier celle-ci.

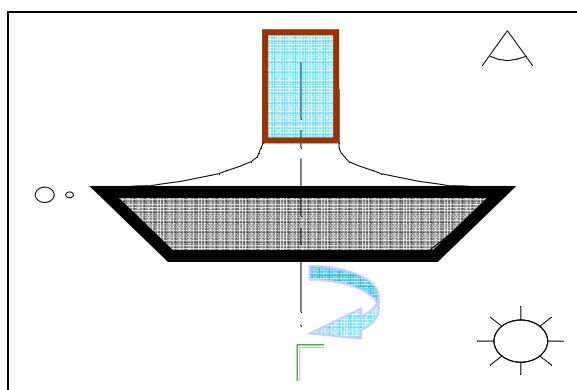


Figure 1 : disque en rotation

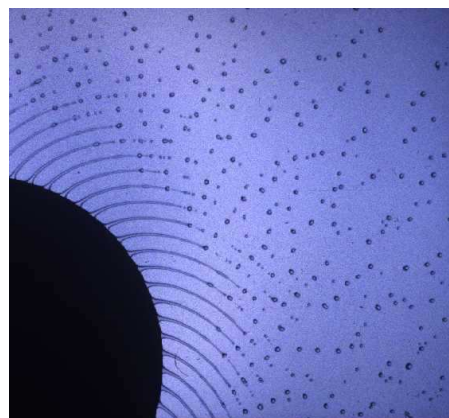


Figure 2 : désintégration des jets en gouttes

## 2.3 Surface mouillée

Les gouttes sont émises par le disque dans le plan perpendiculaire à l'axe de rotation du moteur. Elles perdent peu à peu leur énergie cinétique sous l'effet des forces de frottement aérodynamique et leurs trajectoires deviennent de plus en plus soumises aux forces de pesanteur.

Ainsi :

- Un disque circulaire placé en hauteur et ayant un axe de rotation vertical fournit au sol une couronne mouillée circulaire dont le diamètre D est donné par la distance à laquelle la

<sup>1</sup> Selon hauteur disponible sous plafond.

goutte est arrêtée par les forces aérodynamiques. Cette distance est fonction de la vitesse initiale dépendant de la vitesse de rotation du disque et de la taille des gouttes.

- Un disque circulaire placé en hauteur et ayant un axe de rotation horizontal fournit au sol un rectangle mouillé de longueur D et d'épaisseur e fonction de la géométrie du disque.
- Un disque circulaire placé en hauteur et ayant un axe de rotation incliné par rapport à l'horizontale fournit au sol une couronne mouillée elliptique de grand axe D dont le petit axe moyen b dépend de l'angle d'inclinaison et de la géométrie du disque. Un simple calcul montre que lorsque ce petit axe est égal à b, on obtient une bande mouillée d'épaisseur moyenne  $2*b$

## 2.4 Répartition granulométrique

Les courbes (Figures 3 à 9) donnent à titre d'exemple différents spectres granulométriques obtenus avec un disque pour deux diamètres moyens de gouttes D(4,3) et pour des pluies faibles, modérées et fortes. Elles montrent que l'on peut reproduire des types de pluies très différents avec des granulométries allant de quelques dizaines de micromètres à plus de 2 mm et des spectres granulométriques larges ou étroits.

Le passage d'un type de pluie à un autre se réalise par simple changement de la vitesse de rotation et du débit et est programmé par un logiciel fourni par SPRAI.

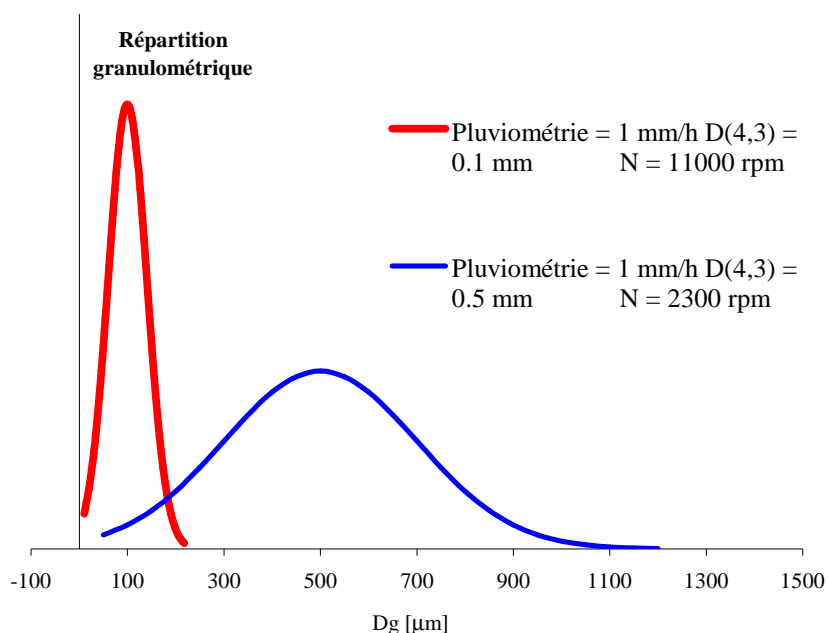


Figure 3 : exemple de répartition granulométrique, pluie faible

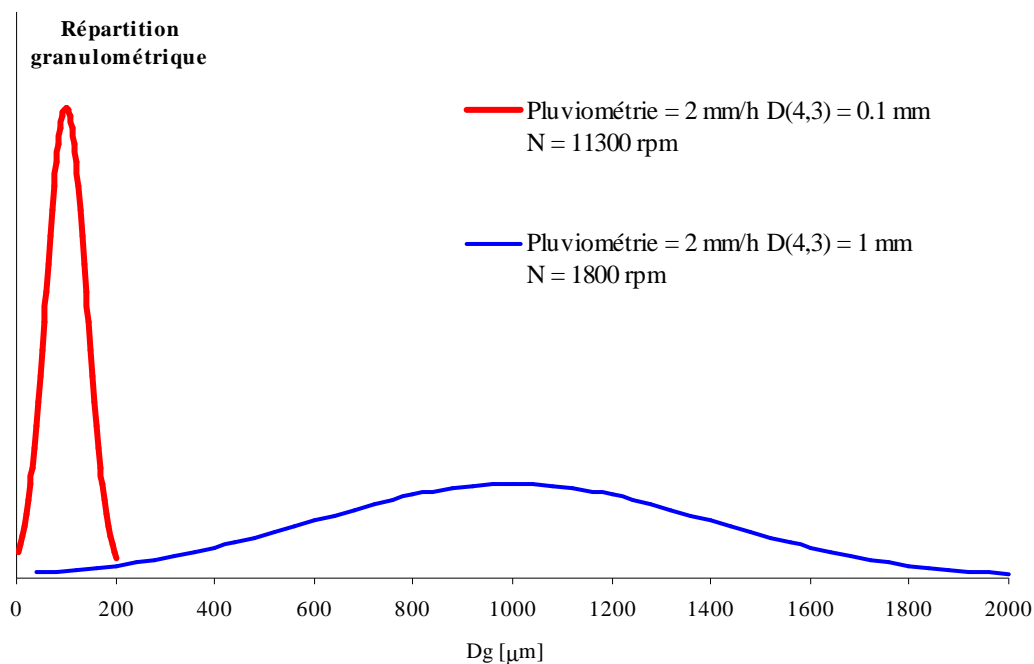


Figure 4 : exemple de répartition granulométrique, pluie faible

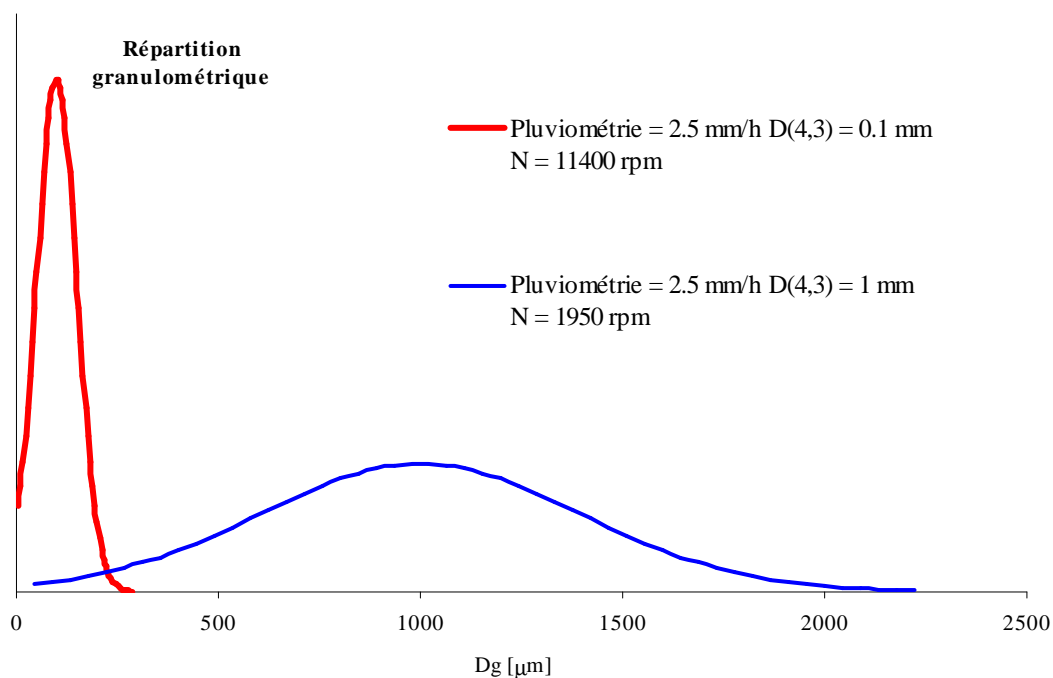


Figure 5 : exemple de répartition granulométrique, pluie faible

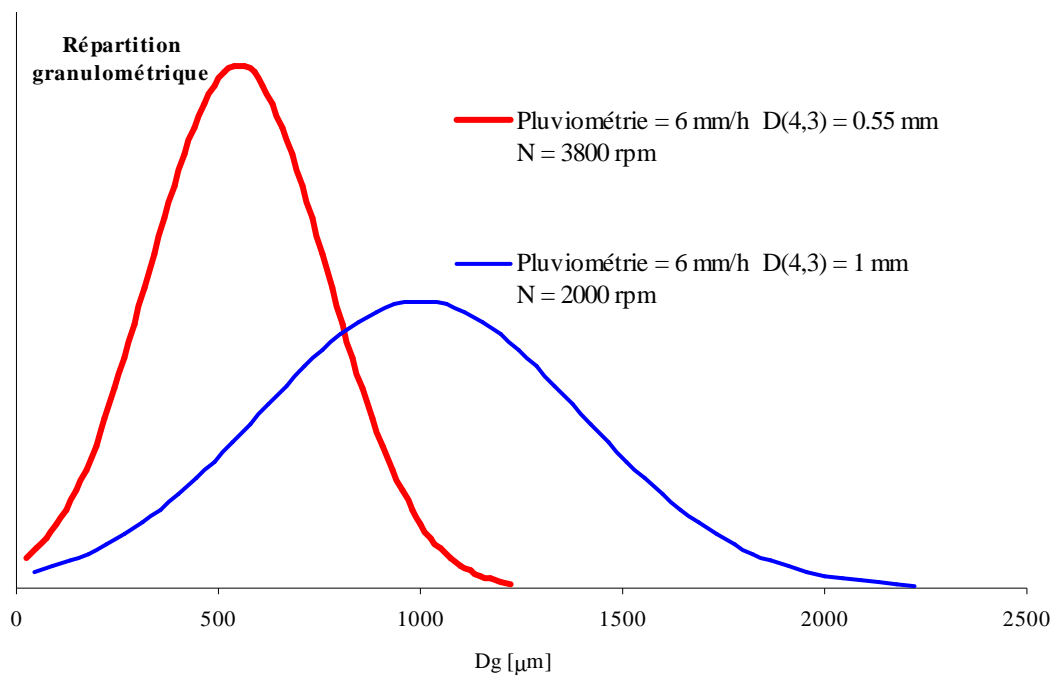


Figure 6 : exemple de répartition granulométrique, pluie modérée

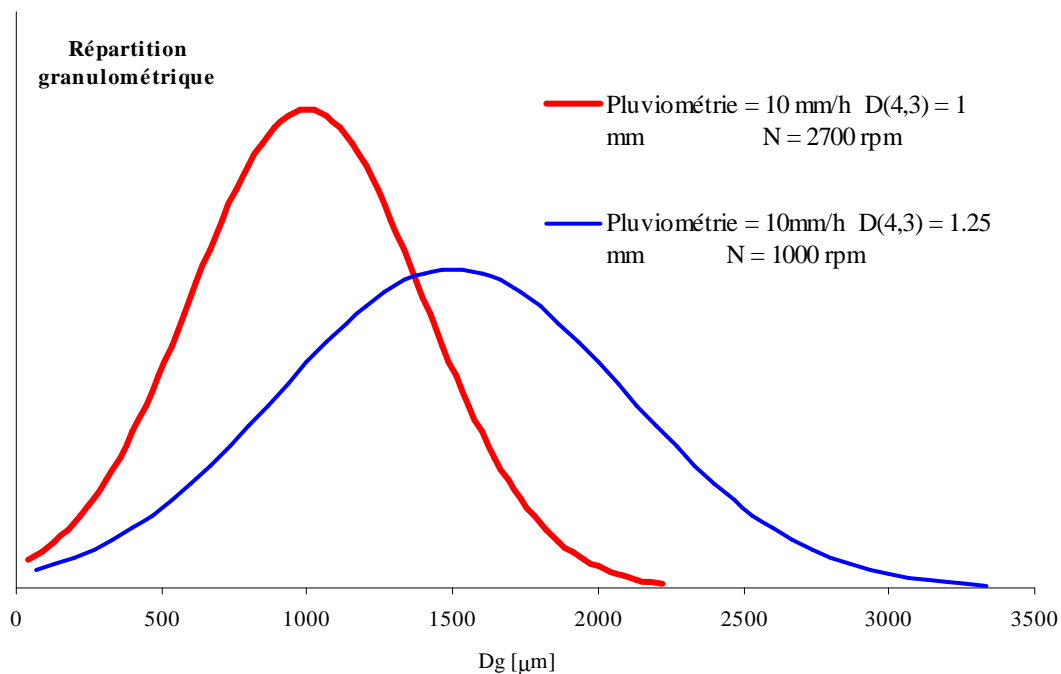


Figure 7 : exemple de répartition granulométrique, pluie modérée

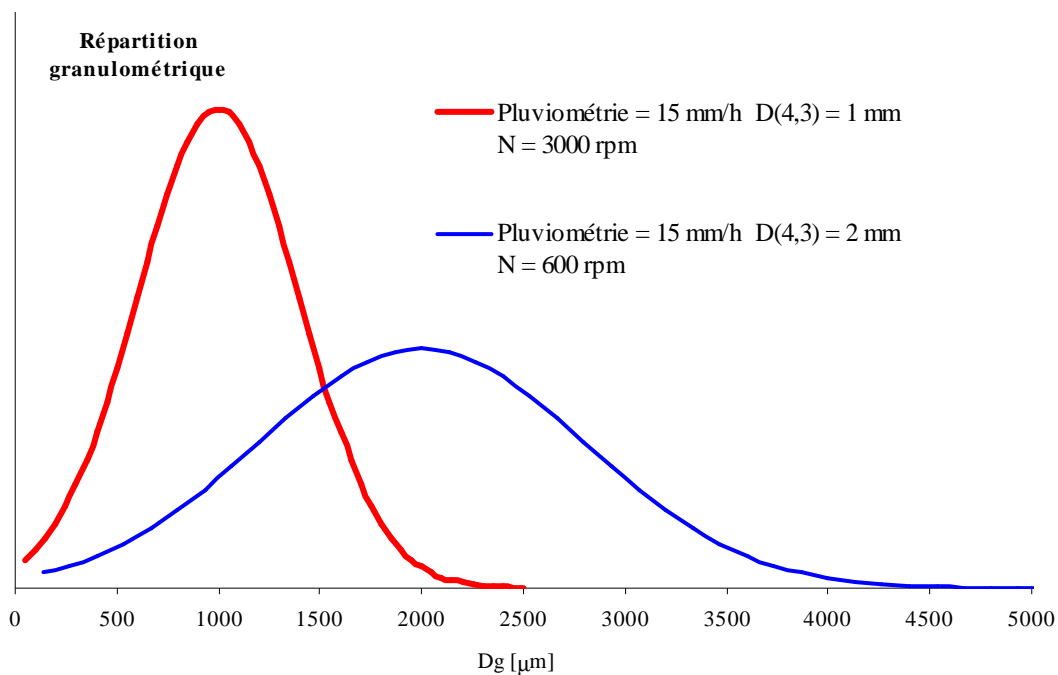


Figure 8 : exemple de répartition granulométrique, pluie forte

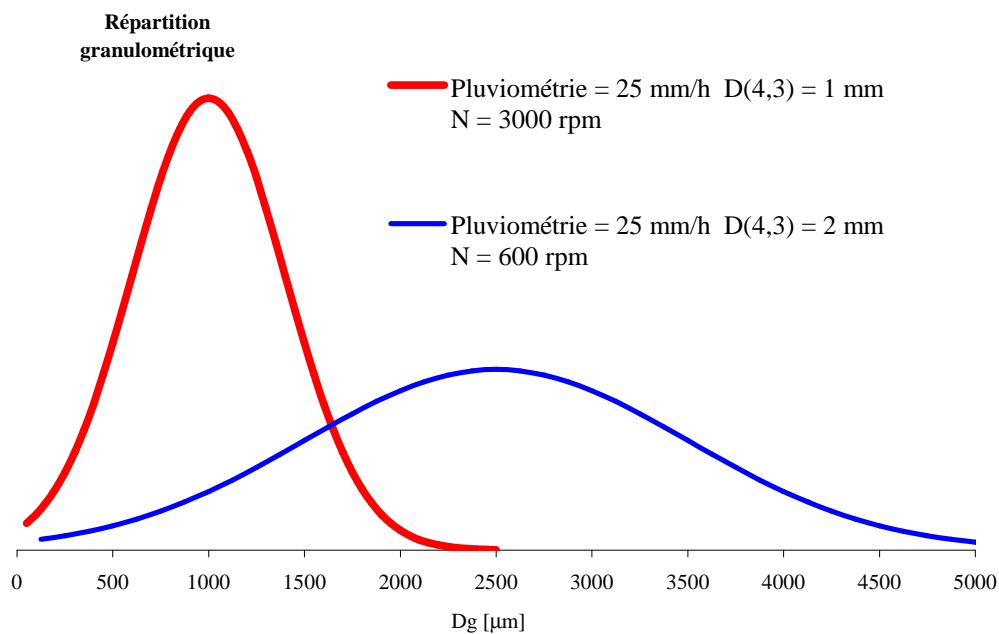


Figure 9 : exemple de répartition granulométrique, pluie forte



## 2.5 Vitesse des gouttes

Les gouttes sont éjectées dans le plan du disque et tout autour de celui-ci avec une vitesse presque tangentielle pratiquement égale à  $R\omega$  où  $R$  est le rayon du disque et  $\omega$  la vitesse angulaire. Une fois éjectées, les gouttes sont soumises aux forces aérodynamiques qui les ralentissent et aux forces de pesanteur qui les attirent vers le bas. Ces deux forces dépendent du diamètre de la goutte.

Dans le cas d'un disque ayant un axe de rotation presque horizontal, les gouttes sont émises dans un plan presque vertical.

Les lois de variation du module de la vitesse sont encadrées par les lois gouvernant :

- les gouttes émises vers le haut, qui sont freinées par les forces de frottement et la pesanteur
- et
- les gouttes émises vers le bas qui sont freinées par le frottement et accélérées par la pesanteur.
- Le cas intermédiaire est celui des gouttes émises horizontalement qui sont freinées par les forces aérodynamiques, accélérées et orientées par les forces de pesanteur.

Les figures 10, 12, 14, 16 et 18 donnent le **module** de la vitesse **V** des gouttes en fonction de l'altitude **Z** pour différents types de pluies et pour des gouttes émises vers le **haut** (courbes en **bleu**), vers le **bas** (courbes en **rouge**) et horizontalement (courbes en **noir**). L'altitude « zéro » est l'altitude du disque.

Aux points de rebroussement des courbes « **bleu** » où la vitesse est nulle, la goutte est uniquement soumise aux forces de pesanteur et en dessous de ces points la vitesse peut partout être considérée comme ayant une seule composante verticale.

Les tableaux 11, 13, 15, 17 et 19 indiquent, pour chaque pluviométrie et diamètre moyen de gouttes, les vitesses initiales et les vitesses limites. Ils donnent également pour les gouttes émises vers le **haut**, horizontalement et vers le **bas**, les vitesses à  $Z= 0.5\text{m}$  en dessous du disque, la moyenne de ces vitesses ainsi que l'écart par rapport à la vitesse limite, exprimé en %. La dernière ligne de chaque tableau indique la hauteur à laquelle la goutte émise vers le haut s'arrête avant de redescendre.

**PLUVIOMETRIE 2 mm/h  
DIAMETRE MOYEN DES GOUTTES : 0.1mm**

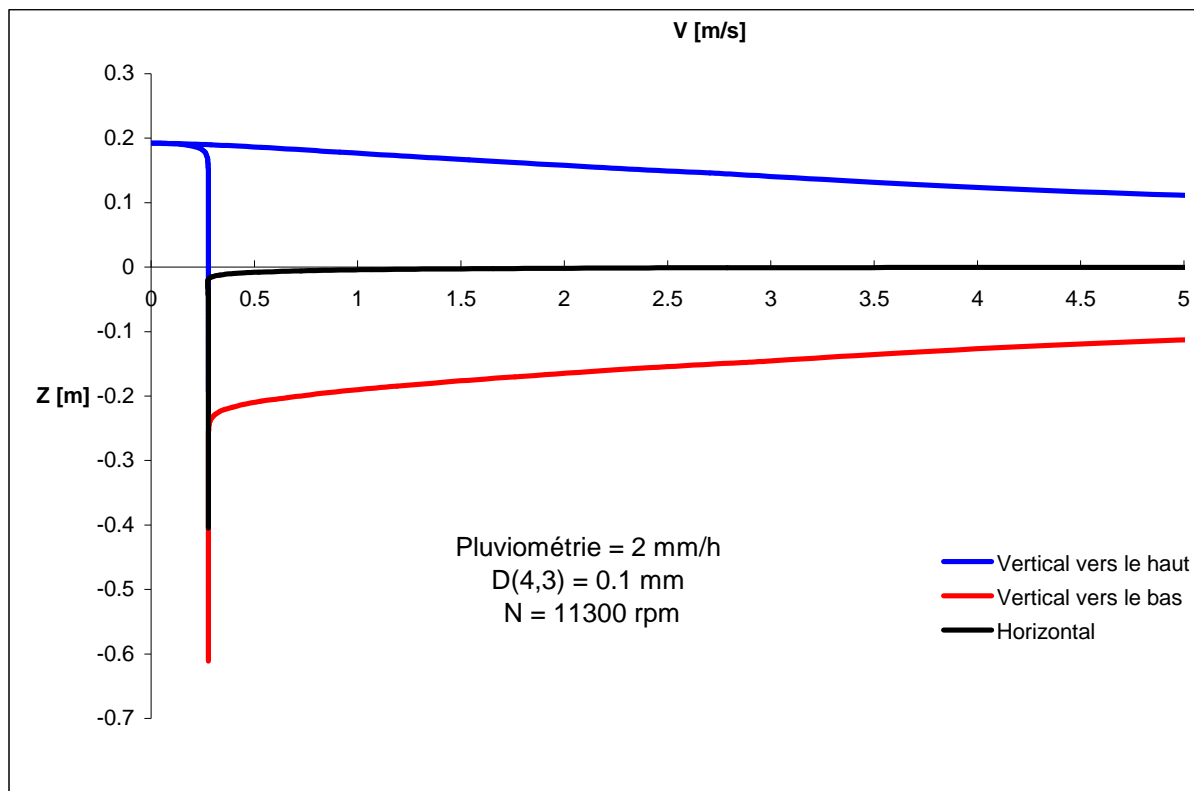


Figure 10 : modules des vitesses, pluie faible

PLUVIOMETRIE		2.00			
D(4.3)		0.10 mm			
	Horizontal	Vertical vers le bas	Vertical vers le haut	moyenne	écart vitesse limite
V initiale	23.62	23.62	23.62		
V limite	0.28	0.28	0.28		
V à Z= -0.5m	0.28	0.28	0.28	0.28	0.0%
Z (V=0)			0.19		

Tableau 11 : vitesses initiales, limites et à Z=-0.5m, pluie faible

**PLUVIOMETRIE 2.5 mm/h**  
**DIAMETRE MOYEN DES GOUTTES : 1mm**

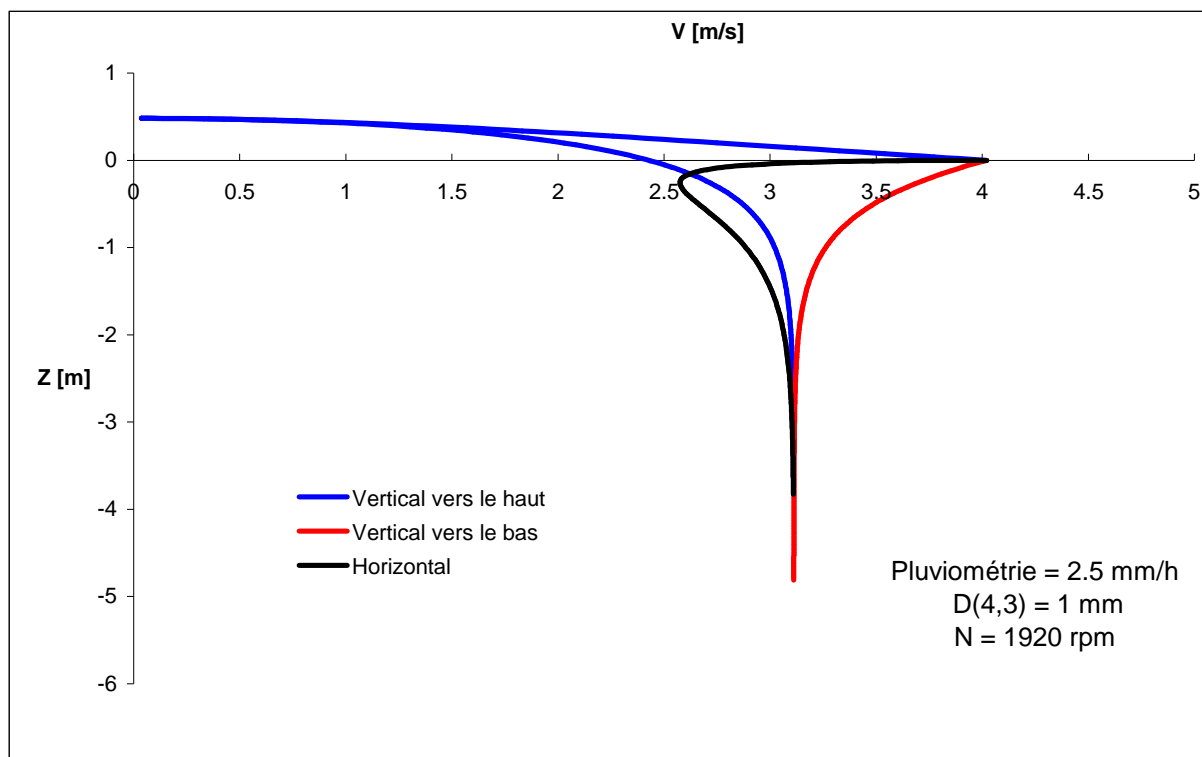


Figure 12 : modules des vitesses, pluie faible

PLUVIOMETRIE		2.50			
D(4.3)		1.00			
	Horizontal	Vertical vers le bas	Vertical vers le haut	moyenne	écart vitesse limite
V initiale	4.02	4.02	4.02		
V limite	3.11	3.11	3.11		
V à Z= -0.5m	2.66	3.15	2.88	2.90	-6.9%
Z (V=0)			0.48		

Tableau 13 : vitesses initiales, limites et à Z=-0.5m, pluie faible

**PLUVIOMETRIE 6 mm/h  
DIAMETRE MOYEN DES GOUTTES : 1mm**

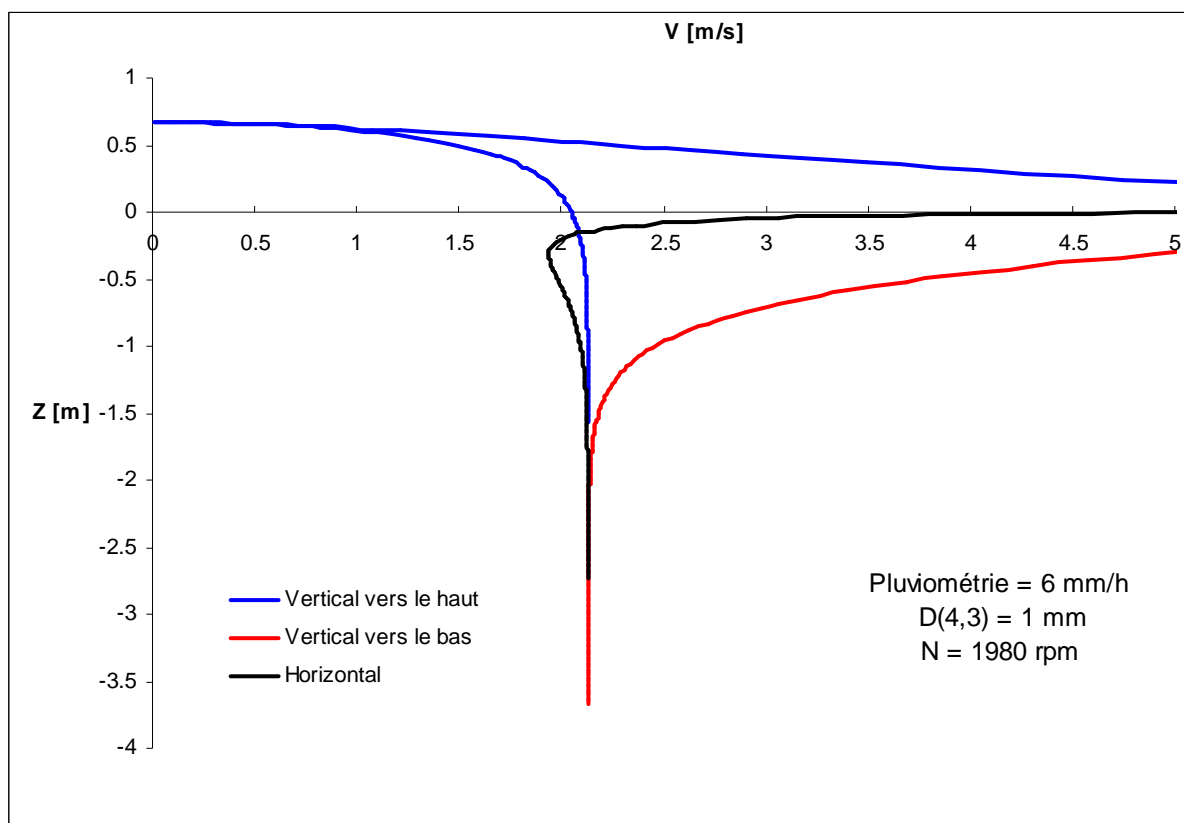


Figure 14 : modules des vitesses, pluie modérée

PLUVIOMETRIE		6.00			
D(4.3)		1.00			
	Horizontal	Vertical vers le bas	Vertical vers le haut	moyenne	écart vitesse limite
V initiale	7.92	7.92	7.92		
V limite	3.11	3.11	3.11		
V à Z= -0.5m	1.98	3.68	2.12	2.60	-16.5%
Z (V=0)			0.67		

Tableau 15 : vitesses initiales, limites et à Z=-0.5m, pluie modérée

**PLUVIOMETRIE 15 mm/h**  
**DIAMETRE MOYEN DES GOUTTES : 1.25mm**

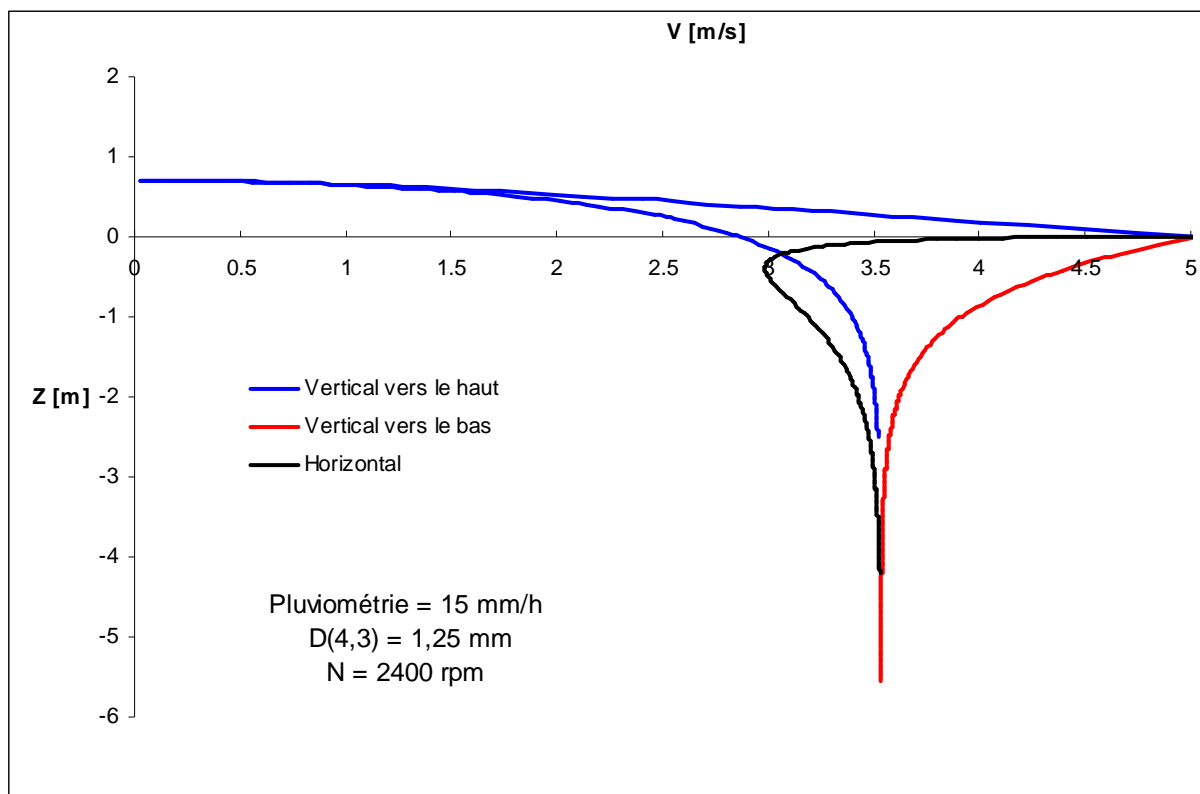


Figure 16 : modules des vitesses, pluie forte

PLUVIOMETRIE		15.00			
D(4.3)		1.25			
	Horizontal	Vertical vers le bas	Vertical vers le haut	moyenne	écart vitesse limite
V initiale	5.03	5.03	5.03		
V limite	3.53	3.53	3.53		
V à Z= -0.5m	3.00	4.29	3.24	3.51	-0.6%
Z (V=0)			0.70		

Tableau 17 : vitesses initiales, limites et à Z=-0.5m, pluie forte

**PLUVIOMETRIE 25 mm/h  
DIAMETRE MOYEN DES GOUTTES : 2mm**

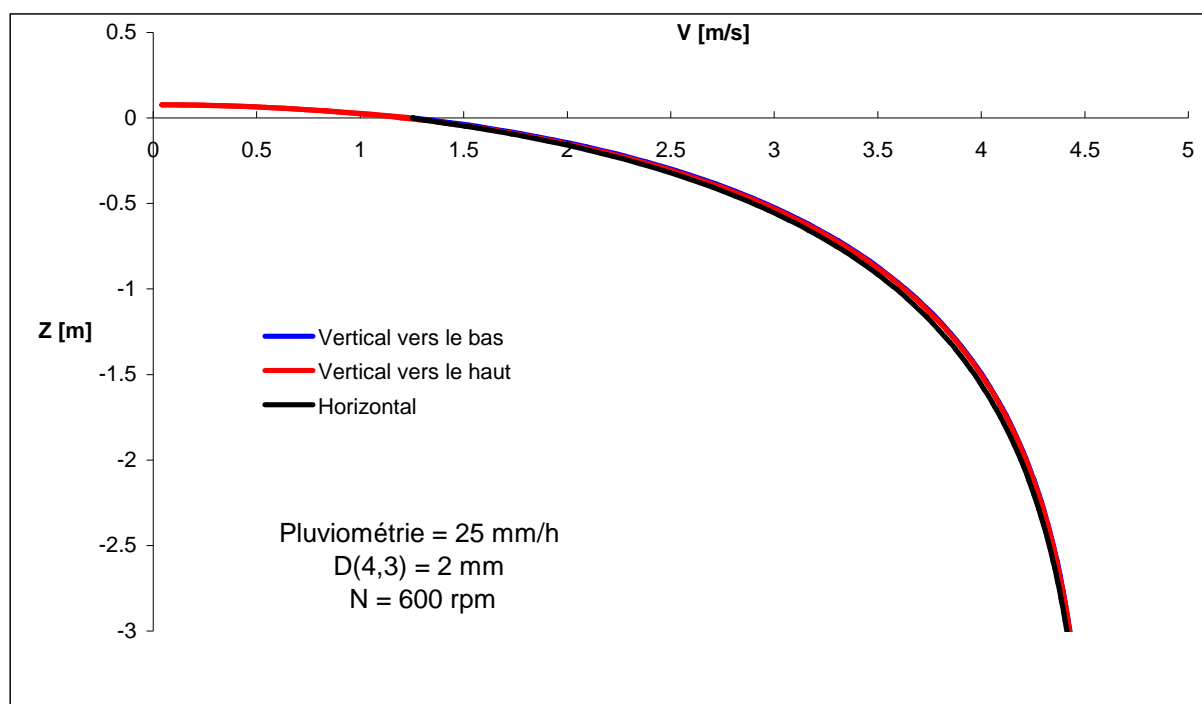


Figure 18 : modules des vitesses, pluie forte

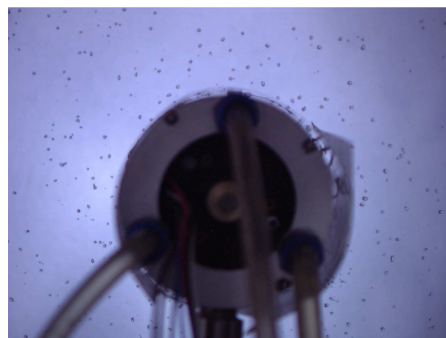
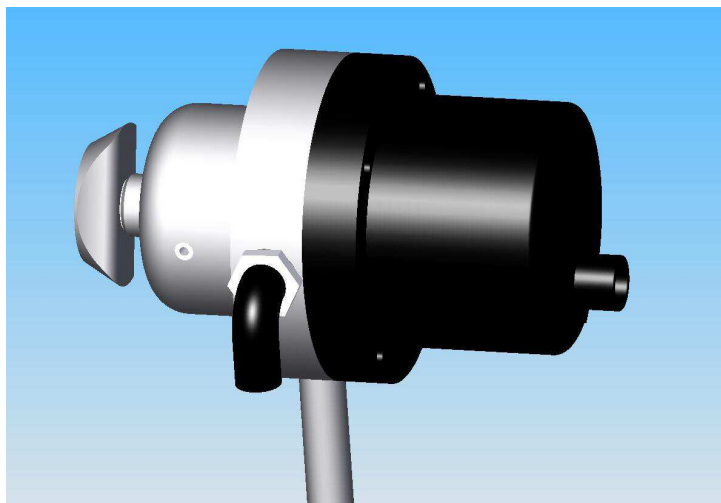
PLUVIOMETRIE		25.00			
D(4.3)		2.00			
	Horizontal	Vertical vers le bas	Vertical vers le haut	moyenne	écart vitesse limite
V initiale	1.25	1.25	1.25		
V limite	4.60	4.60	4.60		
V à Z= -0.5m	2.77	2.97	2.77	2.84	-38.3%
Z (V=0)			0.08		

Tableau 19 : vitesses initiales, limites et à Z=-0.5m, pluie forte

Ces courbes et tableaux montrent que, dans l'hypothèse d'un pulvérisateur placé à 2 m. du sol, la hauteur de chute des gouttes est trop faible pour que celles-ci puissent atteindre leurs vitesses limites, sauf dans le cas des gouttes de faibles diamètres.

### 3 NOTRE PROPOSITION DE FOURNITURE D'UN SIMULATEUR DE PLUIE COMPOSE DE :

#### 3.1 Une tête d'atomisation SPRAI



Photos non contractuelles

- moteur à courant continu placé dans un boîtier étanche entraînant le disque d'atomisation.
- disque SPRAI épais asymétrique : ce disque permet de pulvériser le liquide selon une bande d'épaisseur totale de 0.5m. et de longueur environ 1m dépendant des points de fonctionnement.

#### 3.2 Une pompe volumique péristaltique d'alimentation en liquide de type pompe péristaltique.

- Débit réglable entre 1 et 75L/h par variation de la vitesse d'entraînement et changement du tuyau de la pompe :
  - ❑ Tuyau 1 pour débits de 1 à 20L/h
  - ❑ Tuyau 2 pour débits de 20 à 75L/h

#### 3.3 Un boîtier d'alimentation électrique et de contrôle commande de la pompe et de la tête de pulvérisation.

- Convertisseur AC-DC basse tension
- Carte de commande moteur
- Carte multifonctions USB

#### 3.4 Un logiciel SPRAI

- Ce logiciel permet de programmer des points de fonctionnement définis par SPRAI et/ou par l'utilisateur directement à partir d'un ordinateur (non fourni dans la prestation).
- Fourniture de 6 points de fonctionnement (relations liant la taille des gouttes au débit et à la vitesse de rotation).

Une pluviométrie, définie par une hauteur pluviométrique et un diamètre moyen de gouttes  $D_g$ , se traduit pour une tête d'atomisation par un débit et une vitesse de rotation définis par SPRAI.

- Le débit est fixé par la tension de la pompe, fournie par une alimentation pilotable à partir d'un logiciel SPRAI installé sur un ordinateur et d'une carte d'acquisition.
- La vitesse de rotation est fixée par la tension d'alimentation du moteur courant continu de la tête d'atomisation, fournie par une alimentation pilotable à partir d'un logiciel SPRAI installé sur l'ordinateur et de la carte d'acquisition.

Après sélection d'un type de pluviométrie par l'opérateur, parmi les 6 pluviométries différentes prévues au départ, le logiciel assure les opérations suivantes :

- Mise en rotation des têtes d'atomisation à la vitesse correspondant à la pluviométrie.
- Mise en marche des pompes au débit correspondant.
- Arrêt des pompes.
- Arrêt des disques.

#### Remarques

- Les pompes démarrant après la mise en rotation des disques et s'arrêtant avant, il n'y a aucun risque de gouttage en début ou en fin d'essai.
- les pluviométries exactes seront définies en concertation entre SPRAI et le client en cas de commande.
- Des pluviométries supplémentaires peuvent être prévues ou ajoutées par l'opérateur.
- Le logiciel permet d'enregistrer les paramètres de l'essai ( date, heure, type d'essai, pluviométrie, .. selon un cahier des charges à définir).

### **3.5 Notices**

- La fourniture de l'ensemble des notices d'utilisation des appareils livrés.
- Le manuel technique d'utilisation du système.

## **4 INSTALLATION**

L'ensemble du matériel indiqué en 3. est livré prêt à être installé. L'installation sur place comprend les opérations suivantes :

- Fixation des têtes d'atomisation sur un support à définir.



- Raccordements hydrauliques par tuyaux souples et raccords rapides
  - Equipements préalables à prévoir : robinet d'alimentation et réservoir
- Raccordements électriques par câbles souples et connecteurs ou borniers.
  - Equipement préalable : une prise de courant 220V. – 10A.

N.B. : ce travail peut facilement être réalisé par un technicien du laboratoire.

## 5 MISE EN SERVICE, FORMATION

Ce poste comprend :

- La vérification des montages
- La mise en route et les réglages.
- La formation du personnel (une journée).

## 6 GARANTIE

La société SPRAI s'engage à remédier à tout défaut de fonctionnement des produits provenant d'un vice dans la conception, les matières ou la fabrication, qui se sera manifesté dans un délai de 12 mois à compter de la mise en service des produits. La réparation, la modification ou le remplacement de pièces pendant la période de garantie ne peuvent avoir pour effet de prolonger le délai de garantie des produits. La garantie est strictement limitée à la remise en état ou au remplacement des marchandises affectées d'un vice, à l'exclusion de tout dédommagement à quelque titre que ce soit.

Cette garantie ne s'applique pas en cas de défaut résultant d'une usure normale des produits, d'une utilisation non conforme à leur destination, d'un entretien non conforme aux prescriptions ou aux règles de l'art, de conditions de stockage non adaptées, d'un environnement non approprié aux produits ou du non respect des notices d'installation ou de raccordement. De plus la garantie ne pourra s'appliquer si des modifications ou adjonctions ont été effectuées par le client sans l'accord écrit de la société SPRAI.

La réparation a lieu dans les ateliers de la société SPRAI qui prend à sa charge les frais de main d'œuvre et de pièces détachées relatifs à la réparation.

Pour pouvoir invoquer le bénéfice de la garantie, l'acquéreur doit s'abstenir d'effectuer ou de faire effectuer la réparation par un tiers.

## 7 DELAI DE LIVRAISON

2 à 3 mois à réception de commande.

