

Caractérisation de la distribution granulométrique d'un asperseur au moyen d'une méthode optique

Bruno Molle

Les caractéristiques les plus connues des asperseurs d'irrigation se limitent le plus souvent à déterminer sa portée et son débit moyen, mais l'optimisation des apports en eau sur les cultures nécessite de pouvoir aussi évaluer les variations d'intensité et de tailles des gouttes émises par les différents équipements. L'auteur présente ici une méthode qui consiste à déterminer la distribution granulométrique des gouttes d'eau d'un asperseur à l'aide d'un capteur optique à infra-rouge et d'un modèle adapté.

L'évaluation des performances des asperseurs d'irrigation, conduite classiquement par la douzaine de laboratoires spécialisés disséminés dans le monde, vise à établir la courbe de distribution de l'apport d'eau en fonction de la distance, en vue de définir la configuration optimale des asperseurs ou passages d'asperseurs, pour obtenir la meilleure uniformité de distribution.

Or la connaissance de l'uniformité de distribution (Molle *et al.*, 1998) ne suffit pour garantir que l'eau appliquée en un point est effectivement disponible pour la plante. L'intensité moyenne de l'application (en mm/h, hauteur d'eau par unité de temps) doit en effet être cohérente avec la capacité d'infiltration du sol. Si on étudie d'un peu plus près le fonctionnement d'un asperseur on note que l'apport d'eau est discontinu, sous forme de jets dirigés. Ainsi un asperseur effectuant deux tours par minute, distribuant l'eau sous forme de deux jets diamétralement opposés, qui appliquent l'eau 6 secondes par tour (quatre passages de 1,5 seconde), avec une intensité d'application moyenne de 10 mm/h, délivrera en fait son eau avec une intensité instantanée de 0 mm/h pendant 54 secondes par minute à 100 mm/h pendant 6 secondes par minute¹. Cet apport massif d'eau, suivant qu'il est constitué d'une multitude de gouttelettes fines ou de particules de gros volume, aura un effet dynamique différent sur la surface du sol.

Une telle analyse de l'intensité d'application requiert la connaissance de la vitesse et de la taille des particules composant les jets.

La mesure de diamètre des gouttes a été de nombreuses fois utilisée pour l'étude de l'intensité de la pluie ou de l'irrigation dans ses relations avec l'érosion ou le compactage (Kincaid, 1993 ; Edling, 1984), pour l'étude des sprays agricoles au moment de leur impact sur les feuilles (Reichard *et al.*, 1986), pour l'étude des asperseurs d'irrigation en vue de la modélisation des mécanismes de la dispersion de leurs jets (Al-Rhumikani, 1994 ; Augier, 1996) ou de la prédiction de leur sensibilité au vent et aux pertes par évaporation et transport (Solomon *et al.*, 1985 ; Edling, 1984 ; Thompson *et al.*, 2000). Ces études ont permis de développer des modèles plus ou moins sophistiqués de prévision de la balistique des gouttes, et de la distribution d'eau (Grose, 1999 ; Von Bernuth, 1984 ; Tarjuello *et al.*, 1999 ; Al-Rhumikani, 1994 ; Carran, 1977).

Les méthodes de mesure utilisées ont beaucoup évolué : des méthodes très lourdes et peu précises à base de papier sensible ou de bacs à farine, aux méthodes photographiques plus précises, on est passé plus récemment à des méthodes optiques permettant la mesure d'un grand nombre de particules : diffraction laser, atténuation d'un faisceau infra-rouge (IR). Ces dernières semblent s'imposer (Augier, 1996) car elles permettent de multiplier les mesures, donc d'approcher statistiquement le phénomène et sont non destructives.

1. Durée d'arrosage effectif par heure : $60 \times 6 \text{ sec/h} = 360 \text{ sec/h}$, Facteur multiplicatif pour une intensité en mm/h : $3\ 600/360 = 10$.

Contact

Bruno Molle
Cemagref,
UR Ouvrages
hydrauliques et
équipements pour
l'irrigation,
3275, route Cézanne,
Le Tholonet, BP 31
13612 Aix-en-Provence

Les méthodes laser sont bien adaptées aux gouttes de faibles tailles (moins de 2,0 mm) qui présentent une portion sphéroïde et sont capables de dévier la lumière. Elles sont assez compliquées à mettre en œuvre et sont plutôt réservées aux conditions contrôlées du laboratoire. La méthode IR est plus robuste, adaptée à des particules de tailles élevées (gouttes, flocons de neige, grêle), de forme quelconque, mesurées en conditions naturelles, elle s'adapte donc bien à des mesures à l'extérieur.

Dans le présent article sont présentés une méthode de mesure optique de type IR et les résultats obtenus sur un sprinkler fonctionnant à pression moyenne, à angle bas, équipé de deux buses. Une méthode de traitement des résultats et de caractérisation de la distribution d'eau d'un asperseur est proposée, en utilisant un nombre limité de mesures, et ce, quelles que soient les conditions hydrauliques de fonctionnement.

Cette méthode permettra à la fois de caractériser la distribution d'un asperseur en vue de sa modélisation, et d'aider les constructeurs dans la concep-

tion des buses qu'ils produisent. La connaissance de la composition du jet permettra de mieux prévoir la sensibilité d'un asperseur au vent, et plus spécifiquement aux pertes d'eau par évaporation et transport avant toute mesure au champ.

Matériel et méthodes

Description de l'asperseur utilisé, et conditions expérimentales

L'asperseur que nous avons utilisé (photo 1) pour cette expérimentation est un sprinkler à angle bas, à deux buses, généralement utilisé sur les pivots. Les mêmes mesures et calculs que ceux exposés ici, ont été réalisés sur des sprays à rotors utilisés couramment sur les pivots, mais ne seront pas présentés ici.

Pour approcher les différentes conditions de fonctionnement d'un asperseur sur un pivot classique, nous avons choisi de travailler sur les combinaisons listées dans le tableau 1. Ces mêmes combinaisons ont été utilisées lors d'un travail précédent (Molle et Le Gat, 2000) pour caler des modèles de distribution spatiale des apports d'eau en conditions ventées.

Les combinaisons de buses, pression, hauteur suivantes ont été évaluées (tableau 1).

Pour chacune des combinaisons de cet asperseur on a évalué en conditions contrôlées : la distribution radiale des hauteurs d'eau tous les 0,5 m, au moyen du banc d'essai du Cemagref d'Aix-en-Provence, et la distribution des tailles de gouttes en 7 à 10 points de la portée.

Mesure des diamètres et vitesses des gouttes (Salles, 1995)

Le capteur utilisé est un spectro-pluviomètre optique (SPO). Il est constitué d'une diode émettrice dont le faisceau traverse l'espace de mesure pour être reçu par une photodiode réceptrice. On mesure l'atténuation produite par une particule lors de son passage dans un faisceau lumineux infrarouge dont les dimensions sont données en figure 1(a). Le capteur fournit un signal analogique dont la valeur crête est proportionnelle au diamètre de la goutte présente dans le faisceau, et dont la durée est inversement proportionnelle à la vitesse de la goutte (figure 1(b)).

Le signal issu du capteur est échantillonné et numérisé en temps réel toutes les 100 ms. Il est compris entre 0 et 15 V permettant de mesurer théori-

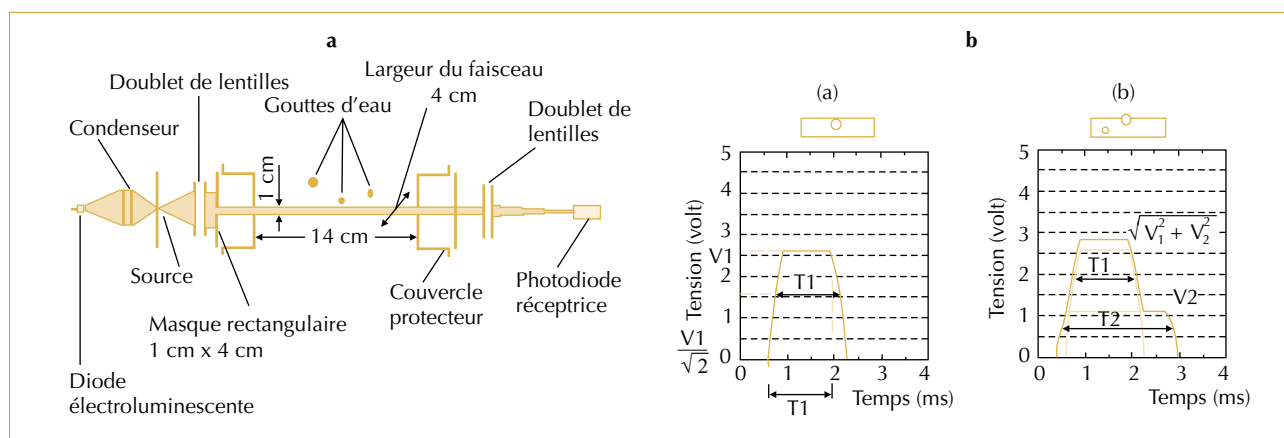
► Photo 1 – Asperseur F44 à angle bas.



▼ Tableau 1 – Combinaisons testées pour le sprinkler à batteur F44.

Configuration	Hauteur	Buses	Pression
Effet pression :			
C1F Référence	1,7 m	3,6 – 4,4 mm	250 kPa ²
C2F Pression -	1,7 m	3,6 – 4,4 mm	150 kPa
C3F Pression +	1,7 m	3,6 – 4,4 mm	350 kPa
Effet buse :			
C4F Buse ++	1,7 m	4,4 – 5,2 mm	250 kPa
C5F Buse +	1,7 m	4,4 – 4,4 mm	250 kPa
C6F Buse -	1,7 m	3,6 – 3,6 mm	250 kPa
Effet hauteur :			
C7F Hauteur +	2,7 m	3,6 – 4,4 mm	250 kPa
C8F Hauteur ++	3,7 m	3,6 – 4,4 mm	250 kPa

2. 1kPa=0,01 bar



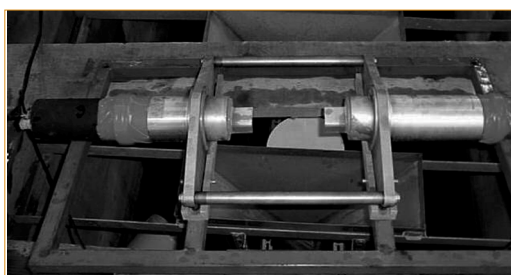
quement des particules de surface équivalente à un diamètre de 15 mm. S'agissant de ces grosses particules, elles ne sont plus à proprement parler sphériques, mais de forme quelconque pouvant dépasser 10 mm de diamètre équivalent (Augier, 1996) sous des canons d'arrosage et 7 mm sous des asperseurs, comme nous le verrons.

Ces grosses particules représenteraient des gouttes en cours de formation (Kincaid, 1996). Leur mesure est essentielle, car leur volume est très élevé relativement aux autres gouttes même si leur nombre est très faible. Elles sont, en particulier, responsables de la plus grande part des dégradations de la surface du sol, dues à leur énergie cinétique lors de l'impact.

Les informations fournies par le SPO (photos 2 et 3) sont : le diamètre et la vitesse de chaque goutte traversant le faisceau optique. On calcule ensuite les effectifs, volumes et vitesses de gouttes par classes de diamètre de 0,1 mm d'amplitude.

ÉTALONNAGES ET CORRECTIONS

Le capteur est étalonné régulièrement au moyen de billes d'acier calibrées, de 1 à 11 mm de diamètre par pas de 1 mm, lâchées d'une hauteur de 4 m. On en déduit une courbe d'étalonnage, reliant le diamètre réel au diamètre mesuré avec le SPO.



Les gouttes d'eau en chute libre dans l'air subissent des déformations par rapport à la forme sphérique qu'elles sont supposées avoir en l'absence de frottements. Elles prennent une forme sphéroïde ovale qui tend à se creuser par le bas (figure 2, p. 60) sous l'influence des frottements avec l'air. Un modèle de prédiction de la forme des gouttes en fonction de leur diamètre vertical apparent a été élaboré par Pruppacher *et al.* (1971).

$$r = r_0 \left[1 + \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(n\theta) \right]$$



▲ Figure 1 – Schéma de principe du SPO (a), exemple de signaux mesurés (b).

◀ Photos 2 et 3 – Le capteur SPO et sa disposition lors des mesures.

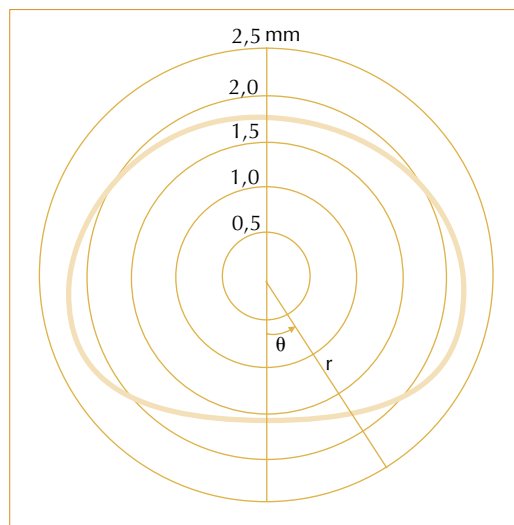
(r) rayon de la section verticale de la goutte ; (r_0) rayon équivalent au volume ; (q) angle par rapport à la verticale orienté dans le sens trigonométrique ; (C_n) coefficients de déformation qui dépendent de la valeur du rayon.

Cet aspect doit être approfondi dans le cadre d'un travail programmé pour l'année 2002-2003, pour améliorer notre connaissance du mode d'éclatement des grosses gouttes en particules plus fines. En particulier la scission d'une goutte principale en gouttes secondaires verra son mode changer suivant la gamme de vitesse et la turbulence de l'air (Bayvel *et al.*, 1993). Le spectre des gouttes variera par pas en s'éloignant du jet et non de manière continue comme on pourrait le croire si les gouttes se divisaient en deux.

LIMITATIONS EXPÉRIMENTALES, INCERTITUDES SUR LA MESURE (SALLES 1995)

Les particules ayant subi un éclatement ou une déviation aux abords du capteur sont rejetées car leur vitesse est très faible par rapport à celle des autres ; elles sont considérées comme parasites.

Les gouttes passant en marge du volume de mesure dont le signal correspond à celui d'une goutte de diamètre inférieur à son diamètre réel ne peuvent pas être corrigées. L'erreur relative sur les volumes par unité de temps qui en découle est estimée par Salles (1995) à moins de 2 % pour des intensités pluviométriques compatibles avec celles observées en irrigation.



▲ Figure 2 – Profil de la section verticale d'une goutte de diamètre $D = 4$ mm (Pruppacher et Pitter, 1971).

3. VMD (Volume Median Diameter) [NMD (Number Median Diameter)]: valeur de la médiane du diamètre de gouttes permettant de diviser un lot de gouttes en deux lots de même volume [effectif]. Le VMD [NMD] est appelé aussi dv_{50} .

Autant que possible le capteur est incliné (photos 2 et 3) pour que le faisceau de mesure soit perpendiculaire à la trajectoire moyenne des gouttes en un point. Il s'ensuit une erreur absolue sur le calcul de la vitesse que l'on estime à 5 %.

Le logiciel de déconvolution du signal est capable de distinguer jusqu'à trois gouttes passant en même temps dans le faisceau. Dans le cas où plus de trois gouttes passent simultanément dans le volume de mesure, le signal n'est pas traité. Au cas où ce problème se présente trop souvent, il est nécessaire de réduire la fenêtre de mesure au moyen de caches, cela a notamment été le cas pour l'évaluation des canons d'arrosage.

Le nombre de gouttes nécessaire pour observer une stabilisation de la distribution des diamètres mesurés est de l'ordre de 500 pour les faibles distances à l'asperseur, où les spectres de distribution sont resserrés, à 1 000 lorsque la distribution est plus dispersée (Augier, 1996). Ces effectifs échantillonnés ont été parfois difficiles à atteindre au-delà de 90 % de la portée maximum.

Traitement et analyse des résultats de mesures de granulométrie

Les résultats de mesures de distributions granulométriques sont organisés en classes de diamètres des gouttes. L'analyse de ces données pourra s'envisager du point de vue des effectifs ou des volumes échantillonnés par classe de diamètre.

Les mesures sont faites au cours d'intervalles de quatre secondes au moment du passage du jet. La durée de rotation du jet est de 25 à 55 secondes suivant la combinaison. Les gouttes issues du batteur n'ont pas été évaluées indépendamment des autres dans le travail exposé ici.

Ci-après sont donnés pour la combinaison C8F (tableau 1), les distributions des effectifs et volumes cumulés par classes de diamètre de gouttes à différentes distances de l'asperseur.

À partir de ces distributions mesurées on calcule les paramètres suivants :

- NMD et VMD³ : diamètre pour l'effectif et le volume cumulé médian; ce paramètre est très simple et caractéristique. Il ne rend pas compte de la dispersion de la distribution mais peut permettre de caractériser l'effet de certains paramètres hydrauliques (Hills *et al.*, 1989).
- Diamètre moyen (m) et écart-type (s) ajustés aux effectifs et aux volumes, calculés sous l'hypothèse

que la distribution des diamètres de gouttes (D) est log-normale (LN). Ce qui revient à dire que la distribution des $\log(D)$ suit une loi normale.

Les paramètres des distributions sous l'hypothèse d'un ajustement LN ont été ajustés, à partir des données mesurées, au moyen de la méthode non linéaire DUD avec le logiciel SAS (V6.12). Deux types d'ajustements ont été faits, les ajustements aux effectifs sensés reproduire les populations de gouttes, et les ajustements aux volumes sensés reproduire les quantités d'eau distribuées.

Dans le cas des distributions des effectifs aux plus grandes distances de l'asperseur, la courbe (figure 3(a) 11,5 m et 12,5 m) présente une bi-modalité assez marquée due à l'existence des deux buses dont les distributions granulométriques sont différentes. Dans une telle situation, on a consi-

déré l'ajustement de ces distributions, non pas par une, mais par deux populations de gouttes.

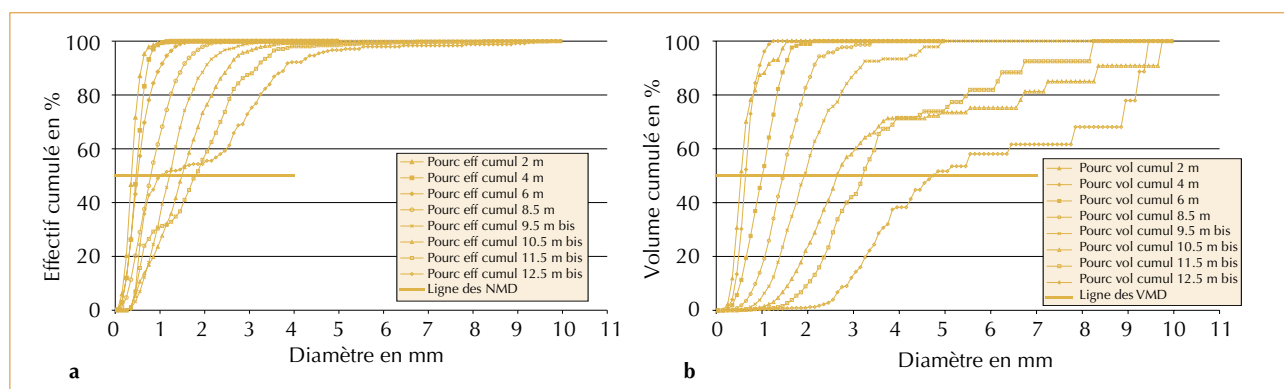
Resultats et discussions

Distribution radiale des apports d'eau

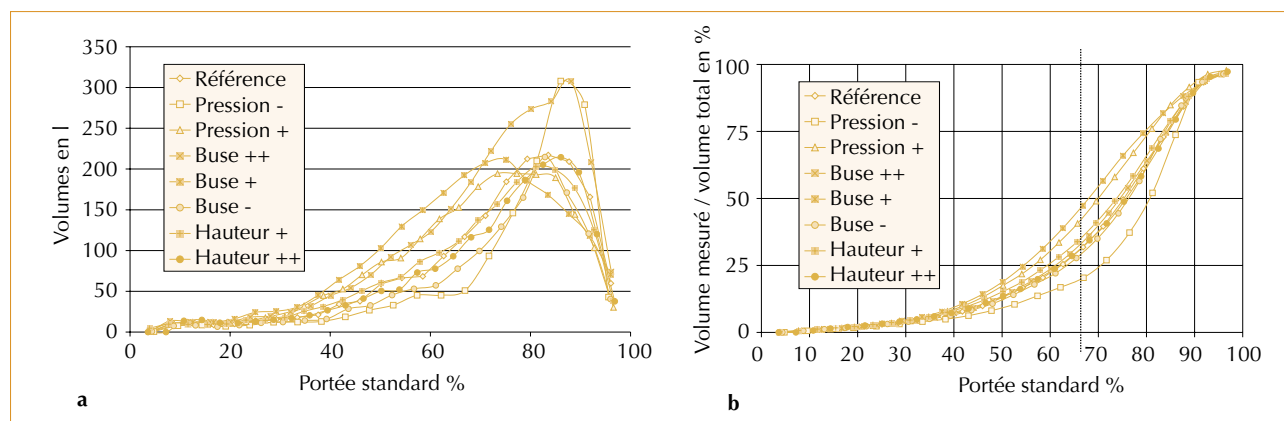
La distribution radiale des volumes d'eau en fonction de la portée standard⁴ (figure 4(a) et (b)) montre que ce type d'asperseurs distribue plus de la moitié du débit sur le tiers externe de la portée. En conséquence, pour qualifier la distribution d'un asperseur, il conviendra de se concentrer avant tout sur la fraction arrosée au-delà de 60 % de la portée maximum.

On notera ici que la hauteur de l'asperseur ne modifie pratiquement pas la répartition des volumes en fonction de la portée standard, seuls influent les diamètres de buse et la pression.

4. Portée standard % : rapport en % entre la distance à l'asperseur et la portée maximum.



▲ Figure 3 – Distributions granulométriques mesurées sous la combinaison C8F, en différents points de la portée, en tenant compte des effectifs (a) ou des volumes (b) par classe de diamètres.



▲ Figure 4 – Répartition de l'eau en volume absolu (a) et % par rapport au volume total (b) en fonction de la portée standard pour les différentes combinaisons testées.

Ajustement des distributions granulométriques

À partir des mesures de diamètre on a ajusté les paramètres des distributions en tenant compte des effectifs et des volumes à chaque position de mesure en utilisant les différentes méthodes de traitement évoquées précédemment.

CALCULS DES NMD ET VMD AUX DIFFÉRENTES DISTANCES (FIGURE 5)

Ce sont les paramètres les plus immédiats à déterminer, ou à déduire graphiquement de la distribution mesurée (figure 3).

On constate que la variabilité des NMD entre combinaisons est faible en regard de la variabilité observée de 15 à 90 % de la portée pour une même combinaison. Seules les valeurs calculées au-delà de 90 % de la portée montrent un comportement hétérogène. Les VMD montrent des distributions moins homogènes. L'influence des gouttes de grande taille dont le nombre est peu élevé mais le volume important en est probablement la cause. Une augmentation de la taille des échantillons permettrait de stabiliser ces valeurs.

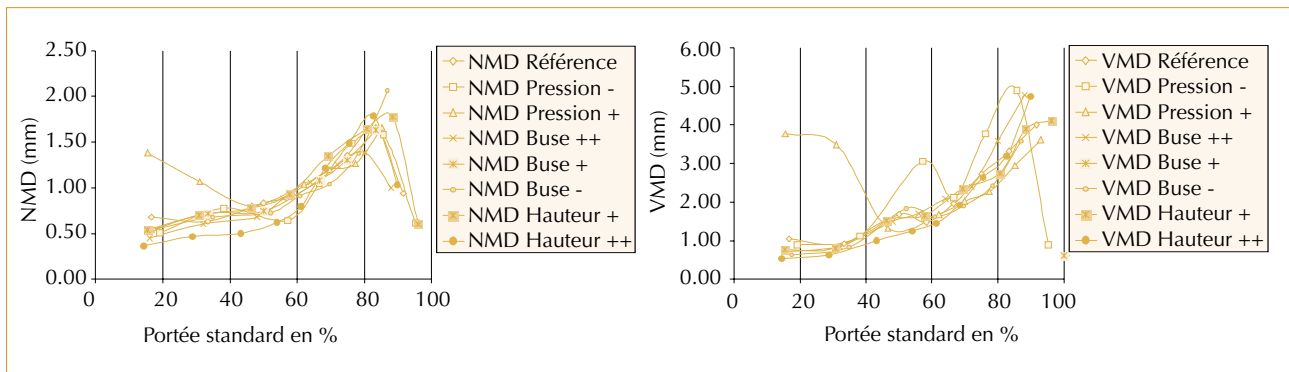
On note l'apparition de gouttes isolées de gros diamètre avant 50 % de la portée pour la plus forte pression : ces gouttes dont la vitesse de chute est très inférieure (moins de 3 m/s) à celle du reste de la population (plus de 5 m/s) seraient dues à des rebonds dans l'abri de mesure ou aux interceptions provoquées par le batteur.

Cette première analyse reste uniquement qualitative, et ne donne aucune idée des paramètres de dispersion des distributions.

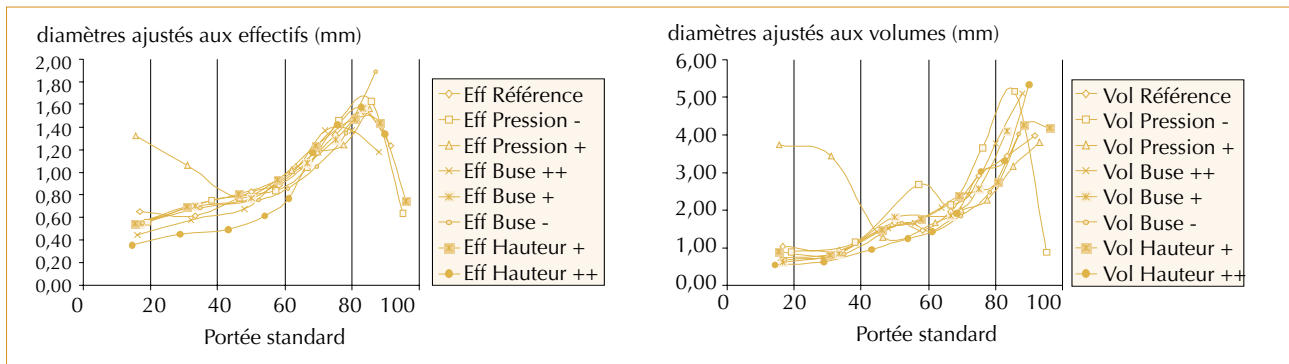
AJUSTEMENT PAR UNE LOI LN (FIGURE 6)

Les paramètres ajustés à partir des distributions observées sont la moyenne et l'écart-type, calculés sur les distributions en effectifs et en volumes par classe de diamètre sous l'hypothèse que leur logarithme suit une loi normale. Les coefficients de détermination calculés sur chacune des distributions mesurées sont tous plus grands que 0,95, les ajustements sont donc de bonne qualité.

On peut faire les mêmes observations que pour les NMD et VMD, au niveau des distributions pour les différentes combinaisons et entre combinaisons au-delà de 90 % de portée.



▲ Figure 5 – NMD (a) et VMD (b) des différentes combinaisons en fonction de la portée standard.



▲ Figure 6 – Diamètre moyen calculé par rapport à un ajustement sur les effectifs (a) et les volumes (b) par une loi LN en fonction de la portée standard.

La suite de la présentation sera focalisée sur les distributions observées jusqu'à 90 % de la portée, sans tenir compte des gouttes issues du batteur ou des rebonds identifiés en première analyse sur deux des combinaisons (Pression+ et Pression-).

Les paramètres de dispersion des distributions en effectifs et en volumes sont assez proches d'une combinaison à l'autre et augmentent avec la portée standard dans l'intervalle 15 à 90 % (figure 7). Au-delà de 90 % de la portée, les valeurs de l'écart-type sont supérieures à 2,5 mm, mais les effectifs des échantillons mesurés n'ayant pas été suffisants nous n'en tiendrons pas compte ici (une étude ultérieure est prévue sur ce thème).

AJUSTEMENT DES DISTRIBUTIONS PAR DEUX LOIS LN

Certaines des distributions mesurées présentent une bi-modalité marquée aux plus grandes distances de l'asperseur (figure 3, 11,5 m et 12,5 m), due en particulier au fait que les deux buses sont de diamètre différent, et donc ont des portées différentes. Cette bi-modalité n'apparaît pas sur les combinaisons 5 et 6 dont les buses avant et arrière sont identiques.

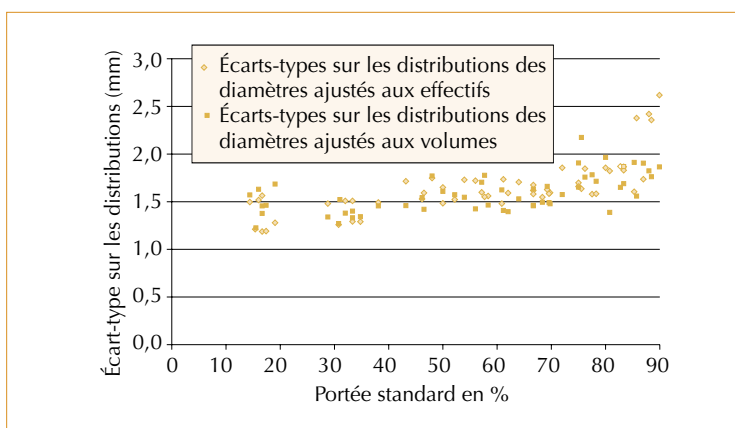
Des ajustements de ces distributions avec deux lois LN combinées ont pu être réalisés sur les effectifs de façon très satisfaisante (coefficients de détermination > 0,97). Sur les distributions en volume, la qualité obtenue pour l'ajustement n'est pas meilleure avec deux lois qu'avec une seule. Le nombre réduit des particules de gros diamètre ne permet pas d'ajuster correctement une distribution aux volumes mesurés.

Ce type d'ajustement ne sera donc pas conservé pour caractériser les distributions d'un asperseur. Pour aller vers la modélisation de la distribution (non abordée ici), il conviendra d'approfondir cet aspect, en particulier par un traitement séparé des distributions des deux buses de l'asperseur.

EN CONCLUSION SUR LES AJUSTEMENTS

Les ajustements des données avec une ou deux lois LN sur les effectifs sont toujours d'une bonne qualité, cela est vrai avec les volumes, sauf en bout de portée. Dans ce cas la pondération forte imposée par les particules de gros volumes requiert une connaissance plus approfondie de leur distribution et de leur comportement.

Une telle analyse (forme et volume réel) est envisagée, en combinant une méthode de mesure de la granulométrie et une méthode d'observation (pho-



tographie, vidéo rapide). On pourra aussi analyser ces mêmes paramètres indirectement par mesure d'énergie cinétique des particules en fin de course.

Caractérisation globale de la granulométrie de l'asperseur entre 15 et 90 % de la portée

À partir de l'ensemble des NMD et VMD calculés et des diamètres moyens ajustés aux effectifs (DmEff) et aux volumes (DmVol) pour une distribution suivant une loi LN, en fonction de la portée standard (Pstd), on peut tenter de caractériser la distribution de l'asperseur étudié quelles que soient les combinaisons de [hauteur - buse(s) - pression].

Après avoir éliminé des données les valeurs perturbées par l'existence de rebonds, on a pu ajuster des fonctions exponentielles aux relations de NMD, VMD, DEff, DVol avec la portée standard, pour le cas de notre asperseur, sous la forme :

$$D = k e^{a Pstd}$$

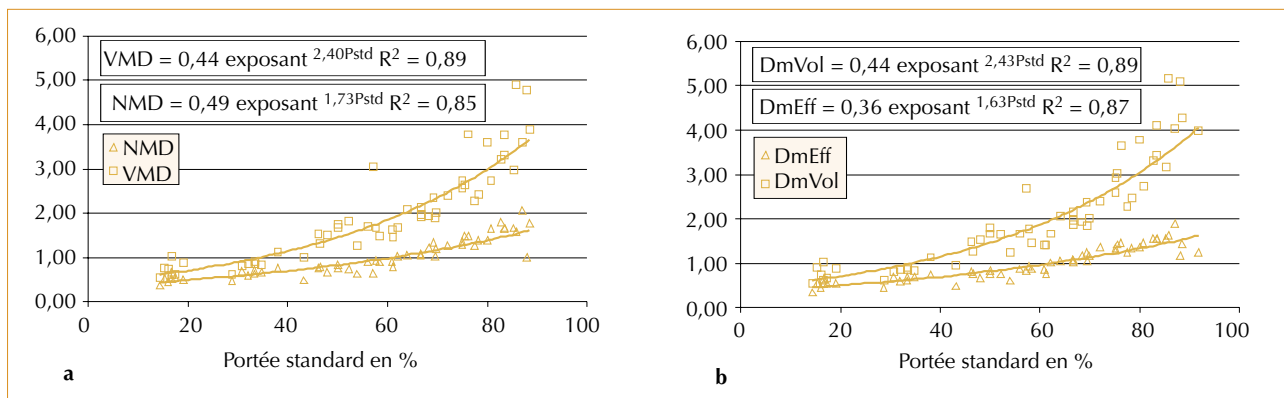
On note que les distributions NMD et DmEff, et VMD et DmVol sont bien corrélées :

$$\begin{aligned} \text{NMD} &= 1,07 \text{ DmEff} - 0,065 \quad (R^2 = 0,94) \text{ et} \\ \text{VMD} &= 0,93 \text{ DmVol} + 0,11 \quad (R^2 = 0,99) \end{aligned}$$

NMD et VMD peuvent donc être considérés comme de bons indicateurs globaux de la qualité des gouttes produites par un asperseur, sans présumer de la dispersion de leur distribution. Cela permet d'avoir accès à un critère simple facilitant la comparaison immédiate de différents asperseurs entre eux.

La connaissance de quelques valeurs de portée, de VMD, ou NMD, pour une (ou quelques) combinaison(s) « centrale(s) » d'un modèle d'asperseur, peut permettre de déduire les courbes

▲ Figure 7 – Écarts-types des distributions d'effectifs et de volumes par classes de diamètres en fonction de la portée standard.



▲ Figure 8 – Distribution des médianes (a) et moyennes (b) décrivant la répartition des gouttes d'eau produites par toutes les combinaisons de l'asperseur testé.

de la figure 8 et donc les tendances en matière de production de gouttes. Un ajustement des distributions observées à une loi LN est requise pour évaluer la dispersion des distributions indispensable pour aller plus loin dans la description de l'arrosage en particulier du point de vue énergétique, ou de la sensibilité à la dérive ou aux pertes.

Note : le même type de travail a été effectué sur deux sprays à rotor, divisant en quatre le jet vertical issu de la buse dirigé vers le bas dans un cas et vers le haut dans l'autre.

De la comparaison des valeurs calculées à partir des mesures et des paramètres déduits des ajustements pour chaque combinaison, on constate que (figure 9) :

- les effectifs sont assez bien reproduits, le nuage des points est proche de la première bissectrice ;
- les valeurs ajustées des volumes sont proches des valeurs mesurées dans le domaine des petites gouttes ($DmVol < 3,5$ mm) ; pour les plus grosses gouttes les valeurs calculées sont plus faibles que les valeurs mesurées.

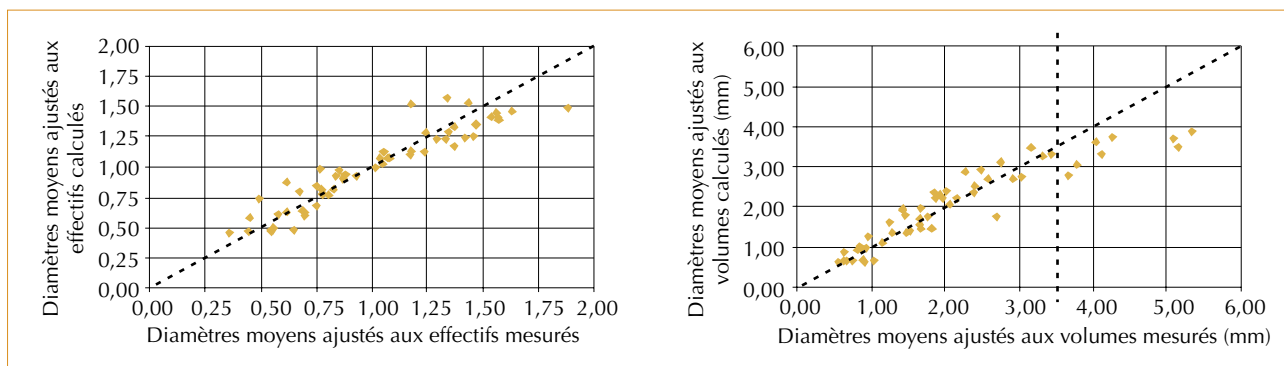
▼ Figure 9 – Comparaison des diamètres ajustés aux effectifs et volumes mesurés par rapport aux valeurs calculés.

Ces observations confirment le besoin de travailler plus en détail sur le comportement du jet en bout de portée (au-delà de 75 %), là où les particules d'eau ne semblent pas complètement fragmentées et les trajectoires rasantes. C'est aussi là que se concentre la majeure partie de l'énergie cinétique délivrée par l'asperseur au sol, en particulier avec ces asperseurs dont la direction du jet est proche de l'horizontale.

Conclusions et perspectives

La méthode de mesure utilisée par le Cemagref utilisant l'atténuation d'un faisceau IR, est simple et robuste et s'adapte bien à la large gamme de tailles de gouttes rencontrées sur des asperseurs d'irrigation. Le capteur étant mis au point pour travailler avec des pluies naturelles on peut envisager de l'utiliser dehors comme en conditions de laboratoire.

La méthode d'analyse appliquée aux données que nous avons recueillies donne des résultats satisfaisants sur 90 % de la portée de l'asperseur. Au-delà de cette valeur, les mesures sont très difficiles à effectuer :



- la trajectoire des gouttes est rasante ; il est donc difficile de positionner correctement les points de mesure par rapport à la portée ;
- les gouttes sont peu nombreuses et de forte taille ; dans nos exemples les effectifs des gouttes de plus de 2 mm représentent au-delà du premier tiers de la portée moins de 50 % de l'effectif total, leur volume jusqu'à 98 % ;
- les échantillons de gouttes sont donc plus difficiles à collecter pour obtenir une population suffisante ;
- les grosses particules ne sont pas forcément des gouttes (au sens de Pruppacher et Pitter, 1976), mais plutôt des particules dont la forme est éloignée d'une sphère. Leur analyse fine impose de combiner plusieurs méthodes d'observation : Énergie Cinétique et Pluviomètre Optique, ou Analyse d'Images et Plu-

viomètre Optique. Il conviendrait de confirmer ce que Kincaid *et al.* (1996) affirment : des particules de plus de 7 mm doivent être rejetées, considérées comme des particules sans forme définie, ou superposition de particules, au risque de passer à côté des phénomènes physiques liés à leur énergie cinétique lors de l'impact au sol ou sur la plante.

Il est prévu au Cemagref de tester la méthode d'analyse proposée sur d'autres types d'asperseurs ayant d'autres caractéristiques, principalement les canons d'arrosage, les sprays et les asperseurs à angle haut. Elle reste à compléter pour prendre en compte l'énergie cinétique des gouttes, et ainsi analyser leur impact sur le sol. La modélisation des différents paramètres de la distribution en fonction des facteurs hydrauliques et techniques pour un type d'asperseur donné pourrait alors être envisagée. □

Résumé

Lorsque l'on évalue un asperseur d'irrigation, le premier paramètre pris en compte est la portée utilisée pour définir les écartements et le recouvrement entre asperseurs voisins. Cela ne représente qu'une partie des caractéristiques de l'application de l'eau. Un sprinkler à batteur apporte l'eau de manière discontinue avec une intensité variable, sous la forme de gouttelettes de tailles variables en fonction du rayon et des paramètres hydrauliques de fonctionnement. La granulométrie des gouttes conditionne la sensibilité de l'arrosage délivré par l'asperseur au vent et son impact sur la structure du sol. L'article proposé présente un capteur de mesure et une méthode de caractérisation de l'arrosage d'un asperseur, à partir de mesures de distributions de tailles de gouttes en différents points de la portée. La méthode suppose que i) les distributions de tailles de gouttes peuvent être ajustées par des fonctions densité de probabilité de type Log-normales en différents points de la portée, ii) les paramètres des distributions suivent une même tendance sur 90 % de la portée quels que soient les pressions et les diamètres de buses, pour un asperseur donné. Ces mêmes données peuvent permettre de prédire les effets de l'irrigation sur la surface du sol et sa sensibilité au vent.

Abstract

When evaluating irrigation sprinklers, radius of throw is the first parameter considered for defining spacing and overlapping between adjacent sprinklers. This represents only part of the characteristics of water application quality. An impact sprinkler apply water on a discontinuous mode, varying intensity and droplet size with radius and hydraulic operating conditions. Droplet size distribution determines the sensitivity of sprinkler watering to wind and its impact on soil structure.

The following paper presents a measurement sensor and a method for characterising a sprinkler from droplet size distribution measurement. The method lays on the assumption that i) log-normal probability functions can fit droplet distribution at different positions along the radius, ii) distribution parameters can be adjusted on 90% of the radius for all nozzle diameters and operating pressures for one sprinkler type. This method applies for a wide range of hydraulic conditions of the sprinkler in use. It can be used to predict the effects of irrigation on soil surface and the sensitivity of the distribution to wind. Using this characterising method it can be possible to select sprinkler types and functioning parameters compared to soil and climate characteristics. Inversely it is possible from several measurement to characterise a sprinkler droplet distribution model and to determine ranges of functioning pressure or nozzle type selection.

Bibliographie

AL-RHUMIKANI, Y.A., *Modeling and measuring the performance of medium and large irrigation sprinklers*, Phd thesis, Cranfield University, Silsoe College, 222 p.

AUGIER, P., 1996, *Contribution à l'étude et à la modélisation mécaniste-statistique de la distribution spatiale des apports d'eau sous un canon d'irrigation, Application de la méthode à la caractérisation des effets du vent sur l'uniformité d'arrosage*, Montpellier, ENGREF, 248 p.

BAYVAL, L., ORZEKOWSKI, Z., 1993, *Liquid atomization, Combustion series*, Taylor and Francis publisher, 461 p.

CARRAN, C.S., 1977, *The prediction of wind affected-sprinkler performance*, Phd thesis, 187 p.

EDLING, R.J. and CHOWDHURY, P.K., 1984, *Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles*, ASAE paper n° 84 2084, 38 p.

GROSE, D., 1999, *Mathematical modeling and simulation of irrigation sprinkler*, PhD thesis, Cranfield University, Silsoe College Institute.

KINCAID, D.C., 1993, *Sprinkler droplet kinetic energy and erosion potential*, ASAE paper (n° 932103), 13 p.

KINCAID, D.C., SOLOMON, K.H., OLIPHANT, J.C., 1996, *Drop size distributions for irrigation sprinklers*, KIMBERLY ID, USDA-ARS.

HILLS, D.J. and GU, Y., 1989, *Sprinkler volume median diameter as a function of pressure*, Transactions of the ASAE, 32(2), p. 471-476.

MOLLE, B., LEGAT, Y., 2000, *Water application simulation under pivot sprinklers, Statistical Model Calibration & Results*, *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, vol. 126(6), p. 348-354.

MOLLE, B., BAUDEQUIN, D. and HAIDAR, S., 1998, *Choix du busage et conduite de l'irrigation par pivots, Prise en compte de la capacité d'infiltration du sol*, *Ingénieries-EAT*, n° 13, mars 1998, p. 57-69.

PRUPACHER, H.R., PITTER, R.L., 1971, *A semi empirical determination of the shape of cloud and rain drops*, *Journal of Atmospheric science*, V. 28, p. 886-94.

REICHARD, D.L., BRAZEE, R.D. et al., 1986, *A system for photographically studying droplet impaction on leaf surfaces*, *Transactions of the ASAE*, vol. 29, n° 3, p. 707-713.

SALLES, C., 1995, *Analyse microphysique de la pluie au sol, Mesures par spectro-pluviomètre optique et méthodes statistiques d'analyse spectrale et de simulation numérique*, Grenoble, Université Joseph Fourier, 212 p.

SOLOMON, K.H., KINCAID, D.C., et al., 1985, *Drop size distributions for irrigation spray nozzles*, *Transactions of the ASAE*, vol. 28, n°6, p. 1966-1974.

TARJUELO, J.M., VALIENTE, M. et al., 1999, *Irrigation uniformity with medium size sprinklers, part I: Characterization of water distribution in no-wind conditions, part II: Influence of wind and other factors on water distribution*, vol. 42(3), p. 665-689.

THOMPSON, A.L., MARTIN, D.L., and KRANTZ, W.L., 2000, *Water application distribution under centre pivot systems*, *Proceedings of the ASAE 4th Decennial National Irrigation symposium*, Phoenix, AZ, p. 103-108.

VON BERNUTH, R.D. and GILLEY, J.R., 1984, *Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data*, *Transactions of the ASAE*, vol. 27, n° 5, p. 1435-1441.