

**Estimation des fuites sur un réseau ancien de
transport de l'eau sous tuyaux galvanisés :
exemple de PPI de Melalsa**

Note technique

Juillet 2000

Jean-Paul LUC
Roger CALVEZ
Patrick Le GOULVEN

Le travail présenté a pour objet de présenter les résultats d'une série de mesures de fuites réalisées sur le réseau de Melalsa et d'analyser les informations que ce type de mesures peut apporter dans l'analyse du fonctionnement d'un périmètre irrigué.

1 CONCEPTION DU RESEAU

Le réseau d'irrigation avant réhabilitation est composé :

- Une station de pompage avec pompe immergée dans un forage
- Un tronc commun en tuyaux d'acier galvanisé
- Trois branches secondaires en tuyaux d'acier galvanisé branchées sur le tronc commun par l'intermédiaire d'un T et d'une vanne. Ces branches sont prolongées par les agriculteurs d'extrémité par une conduite en Polyéthylène (Bergater). La vanne de tête des secondaires est utilisée par le gestionnaire pour répartir le débit initial en trois débits sensiblement égaux. Le réglage des vannes est fonction de la distance à laquelle est située la parcelle en irrigation par rapport à la tête de l'antenne. La main d'eau est donc unique et la pompe assure en permanence la fourniture de trois mains d'eau supposées égales. Ce réglage est totalement empirique.

Le schéma du réseau est présenté ci-dessous :

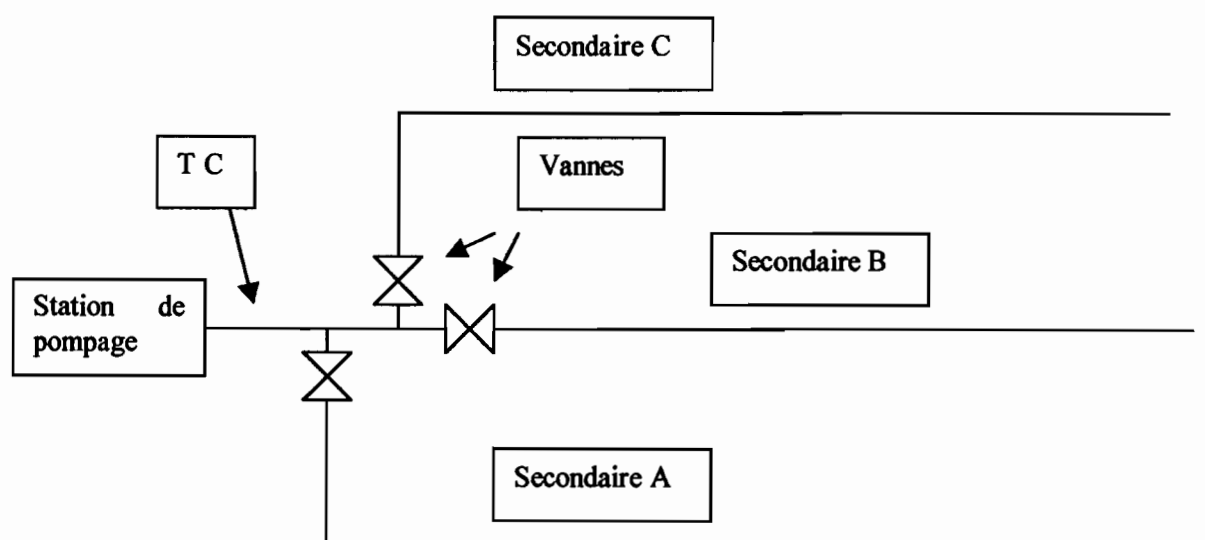


Figure n° 1

Ses caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Éléments du réseau	Tronçon	Matériau	Diamètre en mm	Longueur en m	Longueurs cumulées
Tronc commun		Acier Galvanisé	133	20	20
Secondaire A	N° 1	Acier Galvanisé	133	610	610
	N° 2	PE (Bergater)	75	220	730
Secondaire B	N° 1	Acier Galvanisé	133	459	459
	N° 2	Acier Galvanisé	108.5	90	549
Secondaire C	N° 1	Acier Galvanisé	133	510	510
	N° 2	PE (Bergater)	75	40	550
	N° 3	Acier Galvanisé	133	150	700
	N° 4	Acier Galvanisé	108.5	176	876
	N° 5	Acier Galvanisé	76	200	1076
	N° 6	PE (Bergater)	75	300	1376

Tableau n°1

2 MESURES DE DEBIT

Elles ont été réalisées le 22 mars 2000 à l'aide d'un débitmètre portable à ultrasons de marque Fuji Electric type : Portaflow X.

L'appareil n'a pas subi d'étalonnage préalable et a été paramétré avec les données du constructeur.

Les mesures ont été effectuées selon le schéma suivant :

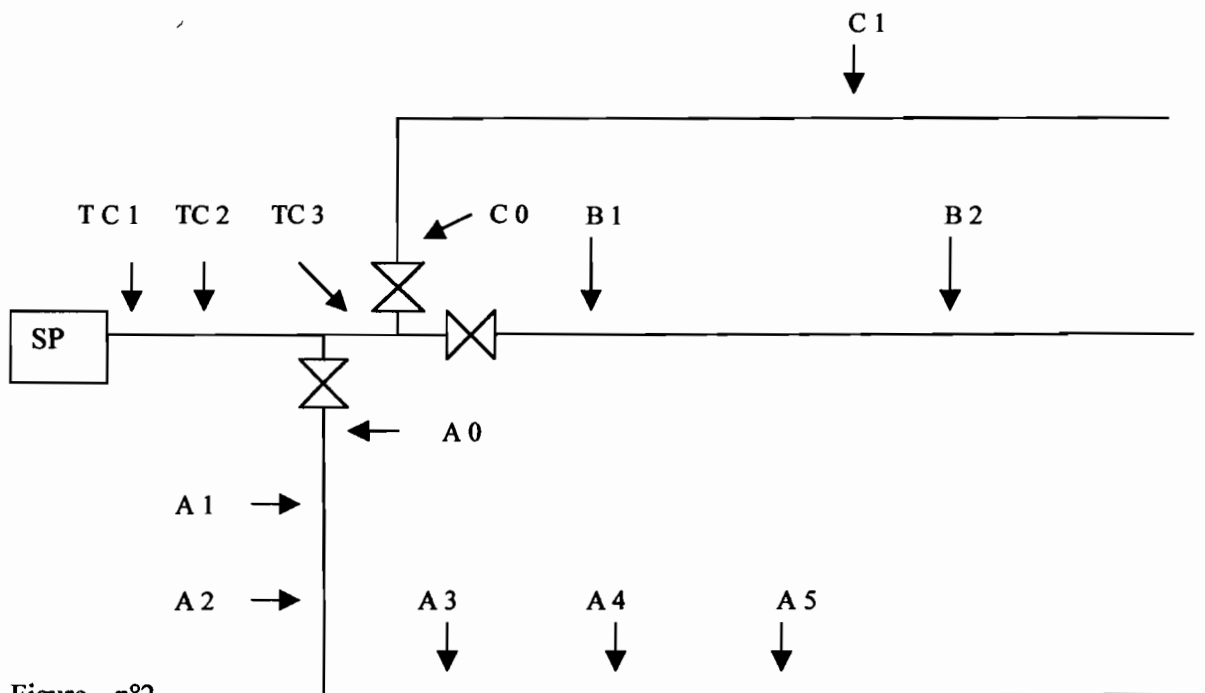


Figure n°2

Les données techniques sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Eléments du réseau	N° du point	Distance par rapport au départ de l'antenne en m	Débit en l/s
Tronc commun	TC 1	5	20
	TC 2	15	20
	TC 3 (après départ secondaire A)	20	14.2
Secondaire A	A 0 (estimée)	0	5.8
	A 1	69	6.3
	A 2	166	5.2
	A 3	267	5.4
	A 4	327	5.15
	A 5	477	3.75
Secondaire B	B 1	15	8.2
	B 2	549	7.4
Secondaire C	C 0 (estimée)	0	6
	C 1	510	6.2

Tableau n°2

Une première analyse des résultats montre que la répartition empirique des débits entre les trois secondaires qui devrait être de 3×6.66 l/s est correcte pour le secondaire A mais favorise le secondaire B de 23%.

Sur les secondaires A et C, un contrôle visuel du réseau a permis de constater qu'après le dernier point de mesure, le réseau était totalement étanche soit parce qu'il est constitué d'un tuyau de PE sans joint (secondaire A) ou de tuyaux neufs (secondaire C).

Pour une estimation des fuites sur réseau traditionnel non réhabilité, ces tronçons ne seront pas pris en compte dans les calculs.

Les valeurs C0 et A0 ne sont pas homogènes. Il est fort possible que la mesure TC 3, très proche des vannes ait été perturbée par des turbulences. Seules seront donc retenues les valeurs cohérentes.

On trouve alors comme résultats :

	Débit en tête en l/s	Débit en extrémité en l/s	Perte de débit en l/s	Longueur en m	Perte d'eau en l/s/m de conduite
Secondaire A	6.3	3.75	2.55	408	0.0063
Secondaire B	8.2	7.4	0.8	549	0.0015
moyenne					0.0039

Tableau n° 3

Les valeurs calculées pour chaque secondaire peuvent être utilisées pour calculer le déficit d'alimentation des parcelles en fonction de leur distance, à l'intérieur du périmètre irrigué, par rapport à la station de pompage.

Elles caractérisent chaque secondaire dans les conditions de fonctionnement et de débit existantes au moment de la mesure.

Avec leur généralisation à l'ensemble des parcelles, on suppose que les débits de fuites linéaires ne varient pas avec la longueur totale du tuyau. Ceci voudrait dire que la variation de pression interne au tuyau au droit de la fuite est négligeable quand la longueur totale du secondaire change.

Ces valeurs doivent tout de même être utilisées avec précaution vu les conditions de mesures et les simplifications du calcul.

3 AMELIORATIONS DE LA METHODE

Elles doivent porter sur l'utilisation de l'appareil de mesure ainsi que sur la méthode de calcul.

3.1 AMELIORATION DES MESURES

3.1.1 INSTALLATION DE L'APPAREIL

Les premières précautions sont celles données par le constructeur :

- longueur droite en amont égale à 10 diamètres de la conduite,
- longueur droite en aval égale à 5 diamètres de la conduite,
- pas d'élément pouvant perturber l'écoulement (pompe, vanne...) à moins de 30 diamètres en amont
- canalisation sans rouille ni dépôt calcaire
- canalisation remplie de liquide sans trop de bulles ni chargé.

Pour cette dernière condition et avec le réseau étudié, les agriculteurs réalisent une irrigation gravitaire ce qui fait qu'en extrémité de conduite, l'écoulement se fait à gueule-bée et donc à la pression atmosphérique. Il en résulte que les pressions existantes à l'intérieur de la conduite ne sont dues qu'à la différence d'altitude liée à la topographie et aux pertes de charge. Le passage d'un écoulement en charge à un écoulement à surface libre à l'intérieur du tuyau va être provoqué par un simple ondulation de la canalisation posée sans précautions particulières à la surface du sol. Dans ce cas, la conduite n'est plus pleine et le débitmètre ne peut plus fonctionner.

Une précaution essentielle à prendre, est donc l'installation de l'appareil uniquement aux points bas de la conduite.

3.1.2 ETALONNAGE DE L'APPAREIL

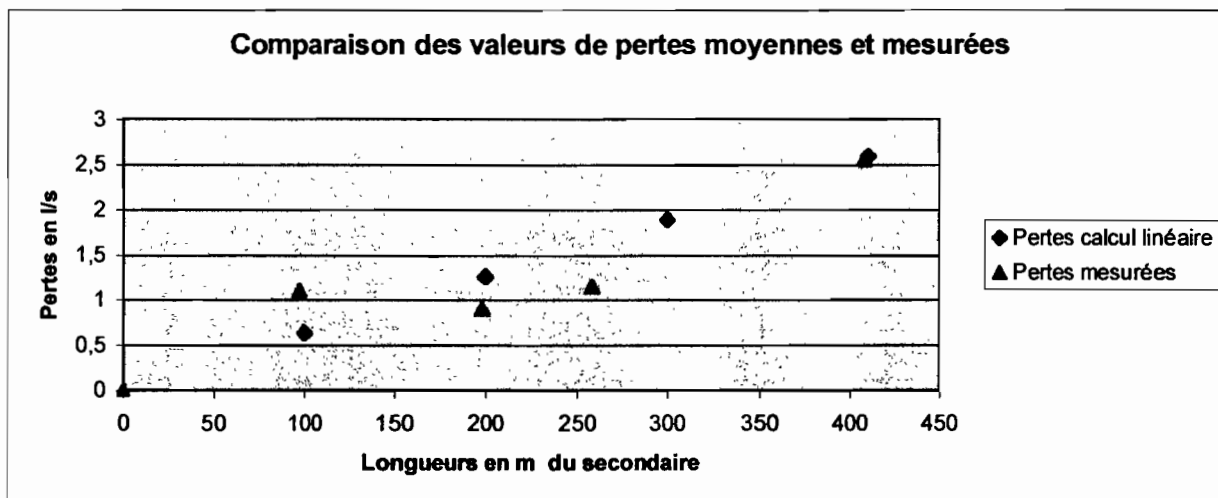
Les paramètres de réglage donnés par le constructeur, nous ont permis de réaliser des mesures cohérentes lorsque les conditions d'installation présentées ci-dessus ont été parfaitement respectées. Par contre, il semble que l'appareil soit relativement sensible aux perturbations de l'écoulement. Il se met alors en défaut. Ce point est intéressant car les risques de mesures erronées sont limités.

Les types de tuyau rencontrés sur le terrain étant limité, il est envisagé de réaliser un étalonnage en laboratoire pour chacun d'eux. Ce travail permettrait de caler les paramètres de réglage de l'appareil.

3.2 COMPARAISON DES METHODES DE CALCULS

3.2.1 REPARTITION DES FUITES LE LONG DU TUYAU

Le graphique 1 comparant la droite théorique obtenue par calcul d'une perte linéaire moyenne avec les valeurs mesurées le long du tuyau illustre bien que les fuites sont réparties de façon aléatoire.



graphique n°1

Dans la pratique, cet aléa n'est pas quantifiable et seule une répartition uniforme des fuites le long du tuyau est modélisable.

3.3 APPLICATION D'UN MODELE HYDRAULIQUE

3.3.1 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

Pour construire ce modèle, on va faire les hypothèses suivantes :

Le secondaire est composé de tronçon en série d'une longueur unitaire de 1 m

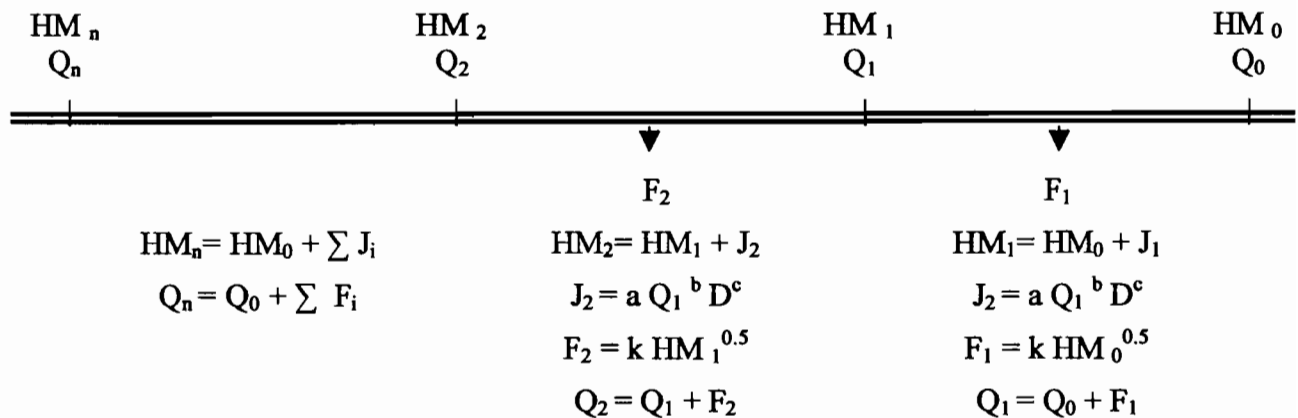
Chaque fuite est considérée comme un orifice dont le débit varie proportionnellement à la racine carrée de la hauteur manométrique régnant à l'intérieur du tuyau,

Les pertes de charge dans la conduite varie avec le débit suivant la loi établie par Lechapt et Calmon

La charge en extrémité n'est pas totalement nulle.

Les calculs sont faits de l'aval vers l'amont en considérant que le débit en tête de chaque tronçon est celui de l'extrémité majoré des fuites et que la hauteur manométrique dans le tronçon est celle calculée à l'extrémité (ceci pour éviter la résolution de formules circulaire et sachant que l'erreur générée sera inférieure à 5 mm sur la charge totale en tête de secondaire).

Les formules utilisées sont présentées ci-dessous :



Avec $a = 0.000916$, $b = 1.78$, $c = - 4.78$

Les unités sont :

HM en m

Q en m^3 / s

J en m/m

Le modèle a été écrit sur un tableau Excel.

Le seul coefficient pour lequel la littérature ne fournit aucune valeur, est dans notre cas le coefficient k de fuites par mètre de conduite. Les mesures de pertes totales réalisées sur le terrain ont permis de trouver un ajustement à $k = 0.0035$ pour obtenir les valeurs de fuite en l/s/m de conduite.

Pour vérifier la cohérence de ce coefficient, on peut calculer le diamètre du trou fournissant une telle fuite en appliquant la formule d'écoulement à travers un orifice à parois mince :

$$Q = 0.62 \pi D^2/4 (2 g H)^{1/2}$$

On trouve une valeur pour D de 1.5 mm ce qui est cohérent.

3.3.2 COMPARAISON DU RESULTATS FOURNIS PAR LE MODELE HYDRAULIQUE AVEC CEUX DU CALCUL LINEAIRE

Le tableau ci-dessous permet de comparer les valeurs des pertes totales pour différentes longueurs de secondaire suivant les deux modes de calculs.

Longueur de secondaire en m	Pertes calcul linéaire en l/s	Pertes totales modèle en l/s	Ecart en %
100	0,63	0,61	3,3
200	1,26	1,24	1,6
300	1,89	1,87	1,1
410	2,58	2,57	0,5

Tableau n° 4

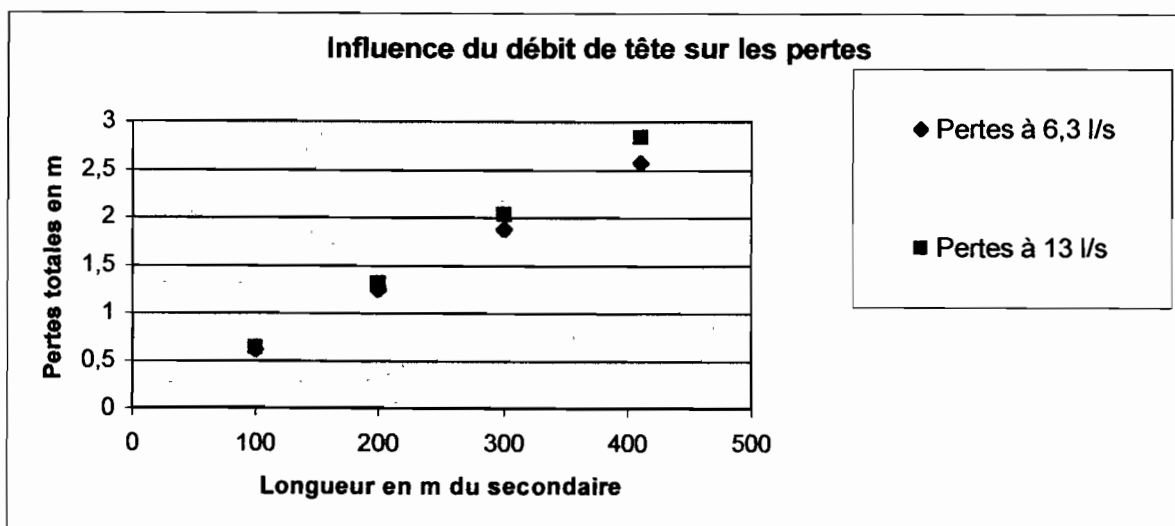
Dans notre cas, l'apport du modèle est insignifiant. Ceci se justifie par le fait que les deux calculs ont été fait avec le même débit de tête à savoir 6.3 l/s (ce qui donne une vitesse de 0.45 m/s) et que la hauteur manométrique dans la conduite est faible.

3.3.3 INFLUENCE DU DEBIT DE TETE SUR LES PERTES

Si on augmente le débit de tête en agissant sur la vanne de réglage, la vitesse et les pertes de charge dans la conduite vont augmenter et le tableau ci-dessous donne les nouvelles valeurs de pertes.

Longueur de secondaire en m	Pertes totales à 6,3 l/s		Pertes totales à 13 l/s		Augmentation des pertes totales en %
	en l/s	% du débit	en l/s	% du débit	
100	0,61	9,7	0,63	4,8	3,3
200	1,24	19,7	1,31	10,1	5,6
300	1,87	29,7	2,03	15,6	8,6
410	2,57	40,8	2,84	21,8	10,5

Tableau n° 5



Graphique n° 2

Les augmentations de fuites atteignent 10% et le modèle linéaire initial n'est plus adapté. Par contre, si on exprime les pertes en pourcentage du débit, il apparaît nettement que leur importance relative diminue de façon très significative puisque pratiquement divisée par 2.

3.3.4 INFLUENCE DE LA HAUTEUR MANOMETRIQUE EN EXTREMITÉ DE CONDUITE

Dans le cadre d'une volonté nationale d'économie d'eau, les agriculteurs sont incités à passer d'une irrigation gravitaire à une irrigation goutte-à-goutte. On constate sur le terrain que, pour cette transformation, certains exploitants utilisent le même réseau de transport de l'eau pour les deux types d'irrigation.

Dans le cas de réseaux neufs et sans fuites, la seule contrainte théorique est celle de la pompe et de sa capacité à répondre à la nouvelle demande de hauteur manométrique.

Par contre si le réseau présente des fuites, le modèle doit donner une réponse quant à leur évolution.

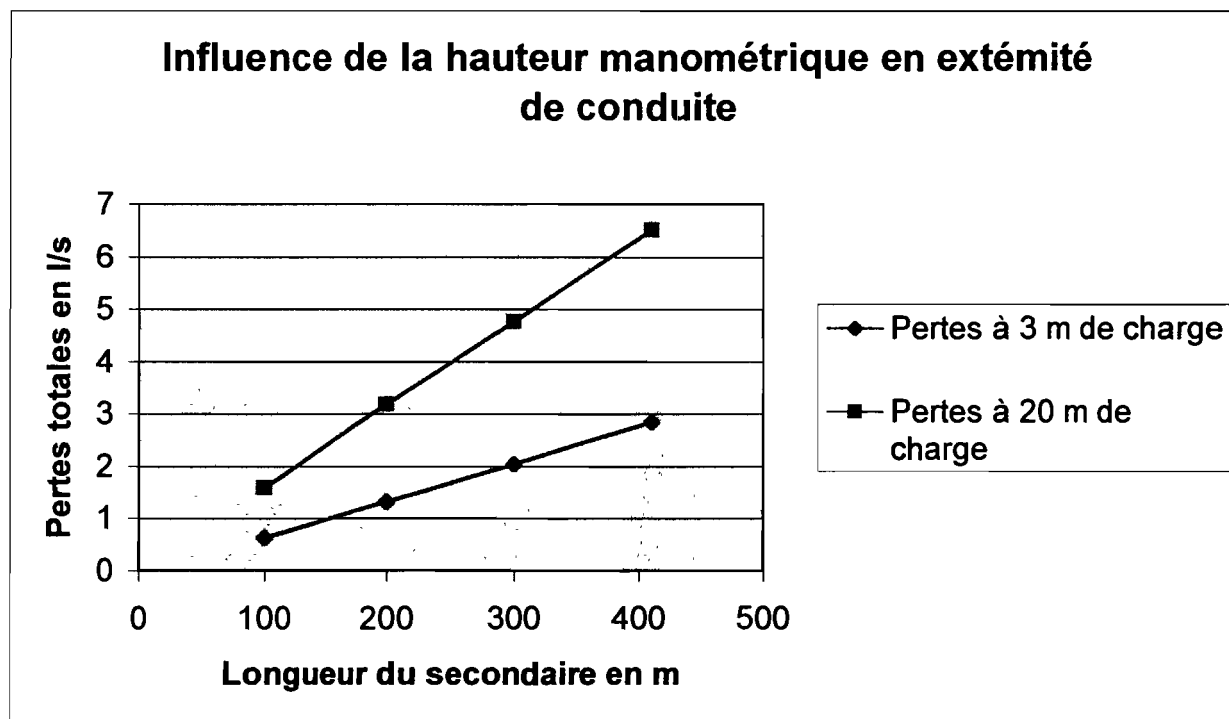
Les calculs ont été réalisés avec une hypothèse de 20 m de hauteur manométrique en extrémité, valeur minimale pour pouvoir alimenter correctement les filtres et le réseau parcellaire de goutte-à-goutte.

Dans notre exemple, avec une longueur de 410 m et un débit en tête de 6.6 l/s, le débit d'extrémité devient nul et les pertes égales donc à 100 %.

Un deuxième calcul a été réalisé à 13 l/s. Les résultats figurent sur le tableau et le graphique suivants.

Longueur de secondaire en m	Pertes à 3 m de charge pour un débit de 13l/s		Pertes à 20 m de charge pour un débit de 13l/s		Augmentation des pertes en %
	en l/s	en %	en l/s	en %	
100	0,63	4,8	1,58	12,2	150,8
200	1,31	10,1	3,17	24,4	142,0
300	2,03	15,6	4,76	36,6	134,5
410	2,84	21,8	6,51	50,1	129,2

Tableau n° 6



Graphique n° 3

Il apparaît que les volumes perdus augmentent considérablement de 130 à 150%. De plus, exprimés en pourcentage du débit, l'évolution est inverse de celle rencontrée précédemment. L'augmentation de la charge, dans un système à fuites, diminue considérablement l'efficacité du transport.

3.4 DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DES PERTES DANS UN RESEAU ANCIEN

Le réseau étudié est en phase de réhabilitation mais pour la campagne actuelle, ce sont encore les anciennes conduites qui sont utilisées. Deux branches : A et B présentent des fuites importantes et la branche C est beaucoup plus étanche.

La comparaison des pertes entre les débits 6.3 et 13 l/s démontre qu'une stratégie simple de réduction des pertes, consisterait à instaurer un tour d'eau entre les secondaires A et B associé à un doublement du débit en tête.

Techniquement, il s'agit d'une simple manœuvre de vanne sachant que l'on aurait deux parcelles irriguées simultanément sur chacun des secondaires divisant ainsi par deux le temps de marche de chacun de ces secondaires. Vu les tailles de tuyaux utilisés, il n'y a pas de contrainte hydraulique (à 13 l/s on sera à 0.94 m/s dans le tuyau).

Avec cette solution, les pertes sont pratiquement divisées par deux mettant ainsi 20% d'eau en plus disponible pour les parcelles les plus éloignées et 10 % pour les parcelles les plus proches.

La comparaison des pertes liées à l'augmentation de la charge demande une analyse plus approfondie. Ce cas est intéressant car il traduit ce qui peut se passer si on introduisait une technique d'irrigation sous pression sur ces vieux réseaux (par exemple goutte-à-goutte).

Le calcul suivant va permettre de déterminer la surface irrigable avec un débit donné (l/s) avec, par exemple, pour hypothèse de base, un besoin en eau des plantes de 1/s/ha soit 8.6 mm/jour.

Avec un réseau totalement étanche et une efficacité parcellaire égale à 100 % la surface irrigable est de 1 ha. Si on introduit des efficacités parcellaires théoriques (50% pour le gravitaire et 80 % pour le goutte à goutte) et les efficacités de réseaux trouvées précédemment on a :

Type d'irrigation et débit de secondaire	Fuites sur les secondaires en %	Débit disponible à l'entrée de la parcelle en l/s	Efficacité parcellaire en %	Surface réellement irrigable en ha
Gravitaire : 6.3 l/s	40	0.6	50	0.3
Gravitaire : 13 l/s	20	0.8	50	0.4
Goutte-à-goutte 13 l/s	50	0.5	80	0.4
Goutte-à-goutte 13 l/s	90	0.9	80	0.72

Tableau n° 7

On constate que l'introduction du goutte-à-goutte sur un réseau ancien n'est pas plus intéressante qu'une simple modification des pratiques de gestion. L'investissement parcellaire en goutte-à-goutte ne peut être valorisé que si le réseau d'alimentation des parcelles a été réhabilité.

4 CONCLUSION

La quantification des fuites ou pertes sur un réseau d'irrigation est une nécessité si l'on veut approcher de façon précise les volumes et les débits réellement disponibles au niveau des parcelles.

Le présent travail montre qu'une mesure ponctuelle associée à un modèle hydraulique permet d'approcher dans de bonnes conditions l'ensemble des situations de fonctionnement du réseau et les fuites correspondantes.

Il apparaît clairement que les fuites doivent être quantifiées en terme de volume perdu pendant un temps de marche et non en pourcentage par rapport au débit mobilisé. Leur importance relative diminue quand le débit augmente.

La pression dans le réseau a une influence très forte sur les fuites ce qui veut dire que tous les gains réalisés par changement de technique d'irrigation à la parcelle : passage du gravitaire au goutte-à-goutte, peuvent être annihilés par une augmentation des pertes sur le réseau si celui-ci n'est pas réhabilité en même temps que le changement de technique d'irrigation. Tout se passe comme si il y avait transfert de manque d'efficacité. A la limite, l'efficacité globale du système peut être plus faible après introduction d'une technique réputée économe en eau qu'avec le système traditionnel.