



**HAL**  
open science

## Influence de la stratégie d'équipement sur la demande énergétique en irrigation par canon enrouleur

L. Huet, Jean Marc Granier, Bruno Molle

► **To cite this version:**

L. Huet, Jean Marc Granier, Bruno Molle. Influence de la stratégie d'équipement sur la demande énergétique en irrigation par canon enrouleur. [Rapport Technique] irstea. 2010, pp.12. hal-02595057

**HAL Id: hal-02595057**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02595057v1>**

Submitted on 15 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Ets**  
**ALSG**  
**RI**



**Influence de la stratégie  
d'équipement  
sur la demande énergétique  
en irrigation  
par canon enrouleur**

*Jacques Granier*

*Laurent Huet*

*Septembre 2010*



## **Influence de la stratégie d'équipement sur la demande énergétique en irrigation par canon enrouleur**

**Tests effectués le 17 septembre 2010**

### **Contexte :**

Les irrigants Bas-Rhinois utilisent essentiellement l'énergie thermique pour irriguer les cultures au cours de la période estivale. Le parc matériel est constitué en grande majorité par des enrouleurs. Contrairement aux autres régions françaises, sur le secteur sud de Strasbourg, lorsqu'il y a renouvellement, les exploitants investissent dans des enrouleurs de grands diamètres, avec des tubes polyéthylène de 125 mm et maintenant 140 mm de diamètre. Les débits d'utilisation dépassent les 110 m<sup>3</sup>/h, ce qui engendre une demande énergétique non négligeable.

Les agriculteurs situés sur la plaine alsacienne n'ont, pour l'instant, pas de restrictions d'eau, mais par contre sont tributaires du coût de l'énergie thermique (coût du gasoil). Une augmentation du prix du carburant entraîne une charge financière importante pour l'irrigant.

### **Objectif de l'essai :**

La demande en énergie dépend d'un certain nombre de facteurs et notamment du débit, de la pression au canon, des pertes de charge dans le tube PE et de la traction sur le tube pour l'avancement du système. L'objectif de cette expérimentation est d'évaluer les consommations énergétiques de différents enrouleurs, équipés de différentes buses.

Plus concrètement, il s'agit de savoir pour chaque type d'enrouleur et avec un réglage donné, comment se répartissent les consommations d'énergies sur l'ensemble des organes, et sur lesquels des économies seraient possibles.

En particulier, la tendance à utiliser des débits et des pressions de plus en plus élevées modifie-t-elle significativement le bilan énergétique au niveau de la parcelle ?

Par ailleurs, l'utilisation de groupes thermiques à la place des systèmes à turbine pour la traction du chariot, permet-elle des économies au niveau de la station de pompage ?

## Description du protocole suivi et des mesures effectuées :

Les tests concernent 6 modèles d'enrouleur :

- IDROFOGLIA à turbine 110/350
- IDROFOGLIA à turbine 125/400
- CASELLA à moteur auxiliaire 110/400
- CASELLA à moteur auxiliaire 125/400
- CASELLA à moteur auxiliaire 140/380
- CASELLA à moteur auxiliaire 150/400

Les turbines fonctionnent avec un circuit en dérivation, piloté par une électrovanne, qui permet de détourner une part plus ou importante du débit en fonction de la vitesse d'avancement fournie en consigne.

Les moteurs auxiliaires au gasoil mettent en pression le circuit d'huile d'un système oléodynamique, qui entraîne la rotation de la bobine ; la régulation de la vitesse d'entraînement se fait alors en agissant sur le circuit du système oléodynamique.

Sur chaque enrouleur, 2 ou 3 tests sont effectués selon les modalités suivantes :

Durée du test : 20 mn  
Pression au canon : 5 bar  
Vitesse d'avancement : 20 m/h

Le débit est mesuré sur une conduite rectiligne en sortie de pompe, avec un débitmètre à ultrasons (enregistrement avec un pas de temps de 20 s)

Les pressions sont mesurées grâce à des manomètres à cadran placés :

- en sortie de pompe ;
- à l'entrée de l'enrouleur ;
- en sortie de turbine (pour les systèmes à turbine) ;
- au canon.

La lecture de la pression est faite sur chaque manomètre au moins toutes les 5 mn au cours de chaque essai.

Par ailleurs, un capteur/enregistreur de pression est placé à l'entrée de l'enrouleur (au même point que le manomètre à cadran), ou en sortie de turbine pour les systèmes à turbine.

Le canon est un Twin 202 de Komet, sauf dans le cas du CASELLA 150/400 qui est équipé d'un canon SIME.

Le tableau ci-dessous donne les buses utilisées pour chaque test :

	25.0 mm	27.5 mm	30.0 mm	32.0 mm	34.0 mm	35.0 mm
<b>IDROFOGLIA 110/350 à turbine</b>	×	×	×			
<b>IDROFOGLIA 125/400 à turbine</b>		×	×	×		
<b>CASELLA 110/400 à moteur</b>	×	×	×			
<b>CASELLA 125/400 à moteur</b>		×	×	×		
<b>CASELLA 140/380 à moteur</b>				×		×
<b>CASELLA 150/400 à moteur</b>				×	×	

Tableau 1 : Busages adoptés pour les différents tests

La consommation de gasoil du groupe motopompe est mesurée par pesée. La balance utilisée a une résolution de 10 g.

La consommation de gasoil des moteurs auxiliaires est mesurée de la même manière.

Par ailleurs, on mesure aussi la distance parcourue par le canon au cours du test, afin d'avoir sa vitesse moyenne.

On mesure également la longueur déroulée du tube PE, qui servira pour l'évaluation de l'énergie perdue par frottement sur le sol.

### Déroulement des essais :

Avant l'essai proprement dit, un préréglage de la motopompe est effectué : le système est mis en pression, l'enrouleur est alimenté en eau, et le régime du moteur est réglé de façon à atteindre une pression stable de 5 bar au canon.

On redémarre la pompe pour lancer le test. L'ensemble du système pompe-enrouleur-canon atteint très rapidement un niveau d'équilibre (en quelques dizaines de secondes), comme on a pu le constater sur les enregistrements de pressions.

En notant périodiquement la masse de gasoil restant dans le réservoir d'alimentation de la pompe, on a pu également confirmer la bonne régularité de la consommation en carburant. Le régime du moteur (en t/mn) a été également contrôlé régulièrement, et n'a pas montré de variations significatives.

Par contre la balance utilisée pour la pesée du gasoil des moteurs auxiliaires avait une résolution de 50g, et donc une incertitude au moins égale à cette valeur, ce qui est malheureusement insuffisant par rapport aux quantités à mesurer.

Le réglage de la vitesse d'avancement a pu se faire correctement, sauf pour le 125/400 à turbine qui avait du mal à stabiliser sa vitesse : pour cette raison, les vitesses d'avancement que l'on s'était fixées ont été largement dépassées dans deux cas : on a atteint 38 m/h avec la buse de 30 mm, et 51 m/h avec celle de 32.5 mm.

On a mesuré également une vitesse d'avancement élevée (32 m/h) pour le 140/380 avec la buse de 35 mm.

Par ailleurs, le détail des enregistrements de débit n'a pas pu être exploité, et nous ne disposons que des valeurs moyennes du débit pour chaque essai.

## Résultats :

Les valeurs des principaux paramètres mesurés figurent dans le tableau ci-dessous :

Marque système	Diam du tube (mm)	Long du tube (m)	Diam de la buse (mm)	Durée du test (s)	Conso gasoil pompe (kg)	Gasoil mot. aux. (g)	Press. à la pompe (bar)	Pression entrée enrouleur (bar)	Press. aval turbine (bar)	Pression au canon (bar)	Vitesse avcmt chariot (m/h)	Long frott. tube (m)	Débit au DUS (m3/h)
IDROFOGLIA turbine	110	350	25.0	1205	1.65		7.85	7.80	6.74	5.12	24.20	293	51.4
	110	350	27.5	1195	2.07		8.90	8.70	7.66	5.09	24.70	284	62.0
	110	350	30.0	1200	2.57		9.62	9.37	8.42	5.00	24.90	274	71.4
IDROFOGLIA turbine	125	400		1200	1.72		7.20	7.12	6.60	5.00	26.40	300	61.5
	125	400	30.0	1200	2.36		8.50	8.30	7.51	5.15	37.80	288	74.0
	125	400	32.5	1200	3.08		9.60	9.20	8.10	4.92	51.15	272	85.5
CASELLA moteur	110	400	25.0	1200	1.57	150	7.12	7.11		5.05	23.55	291	50.4
	110	400	27.5	1200	1.90	100	7.97	7.87		4.97	25.50	300	61.2
	110	400	30.0	1200	2.58	100	9.37	9.19		5.00	23.70	308	73.2
CASELLA moteur	125	400	27.5	1200	1.74	150	6.90	6.86		5.15	28.20	287	63.0
	125	400	30.0	1200	1.94	100	7.40	7.18		5.00	26.70	296	73.1
	125	400	32.5	1200	2.65	150	8.20	7.89		5.00	23.10	304	85.7
CASELLA moteur	140	380	32.5	1200	2.49	220	7.50	7.21		5.02	23.25	307	87.0
	140	380	35.0	1200	3.32	210	8.20	7.79		5.00	31.95	298	99.6
CASELLA moteur	150	400	32.0	1200	1.90		6.40	6.30		5.00			77.6
	150	400	34.0	1200	2.49		6.90	6.70		5.00			87.6

Tableau 2 : Paramètres mesurés au cours des tests

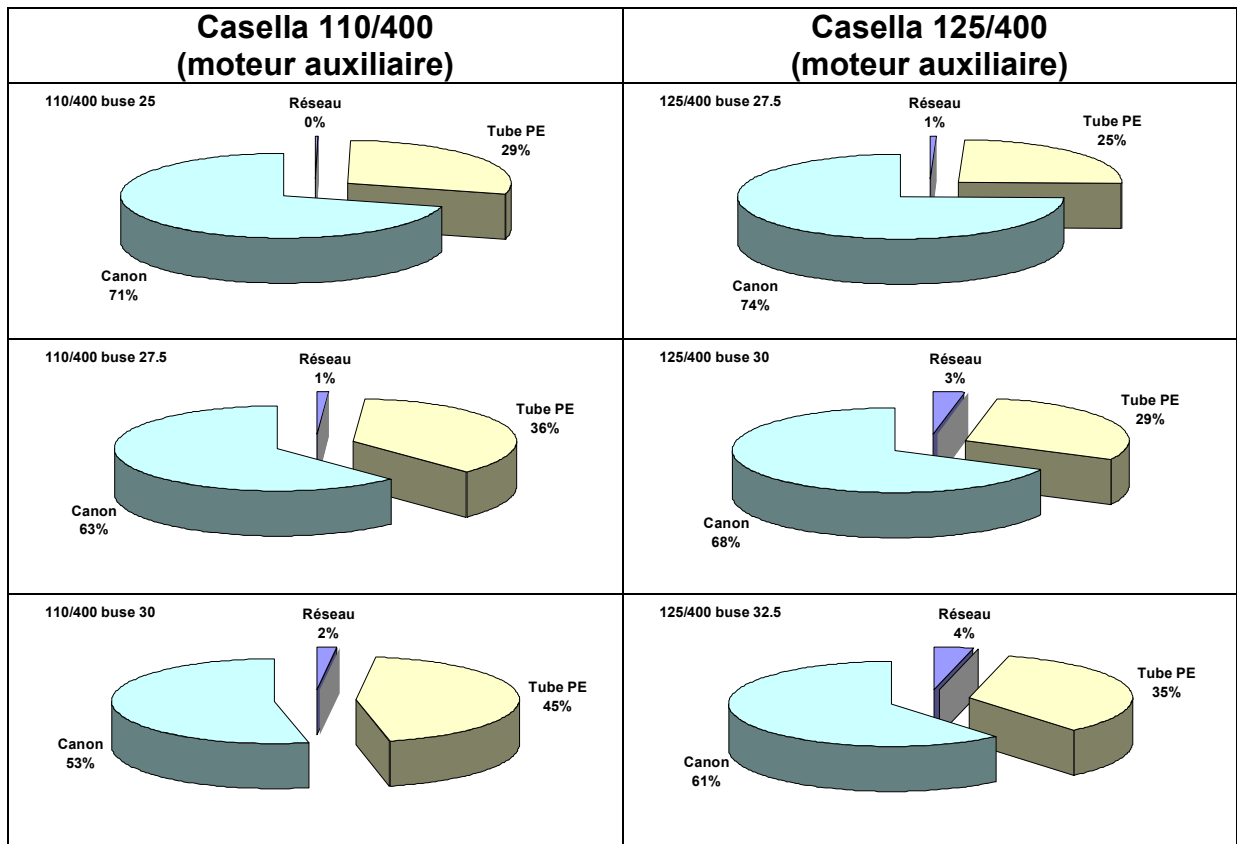
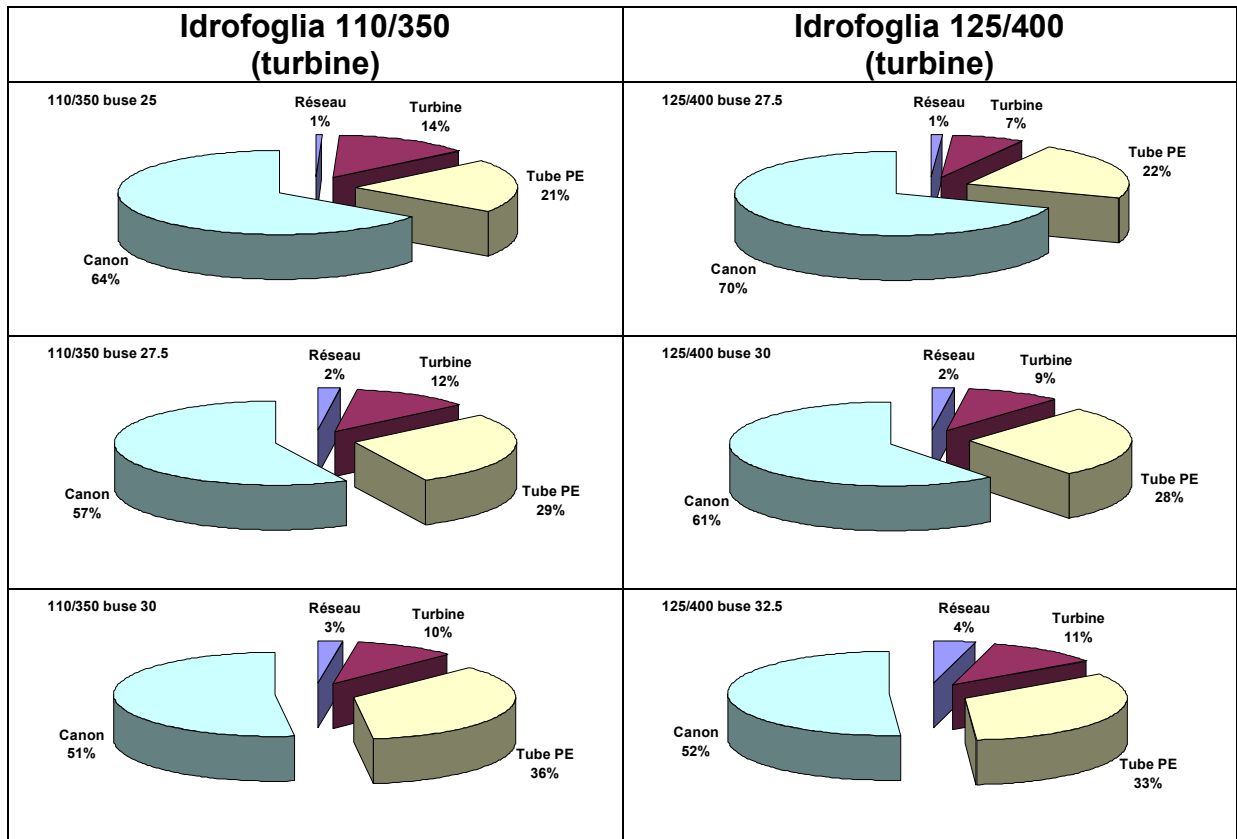
Dans le tableau 3 ci-dessous, le calcul du bilan d'énergie a été fait de façon à faire apparaître les consommations d'énergie au niveau des différents organes du système, et pour la durée du test (20 minutes) :

- La consommation de gasoil correspond à la demande globale en énergie finale pour le groupe moto-pompe ; on peut la convertir en kWh (colonne 5 = Energie brute gasoil).
- Les mesures de débit et de pression en sortie de la station de pompage permettent d'évaluer l'énergie disponible sous forme hydraulique : elle est égale au produit de ces 2 termes (colonne 6 = Energie utile pompe). Dans tous les cas, on négligera la pression dynamique liée à la vitesse de l'eau, qui est faible dans notre cas (quelques centièmes de bar).
- Le rendement du groupe motopompe est le quotient de l'énergie hydraulique disponible par l'énergie finale consommée (en colonne 7).
- Les colonnes 8 à 10 donnent les pertes d'énergie dans la conduite d'amenée, dans la turbine et dans le tube polyéthylène ; l'énergie qui reste disponible au canon est en colonne 11.

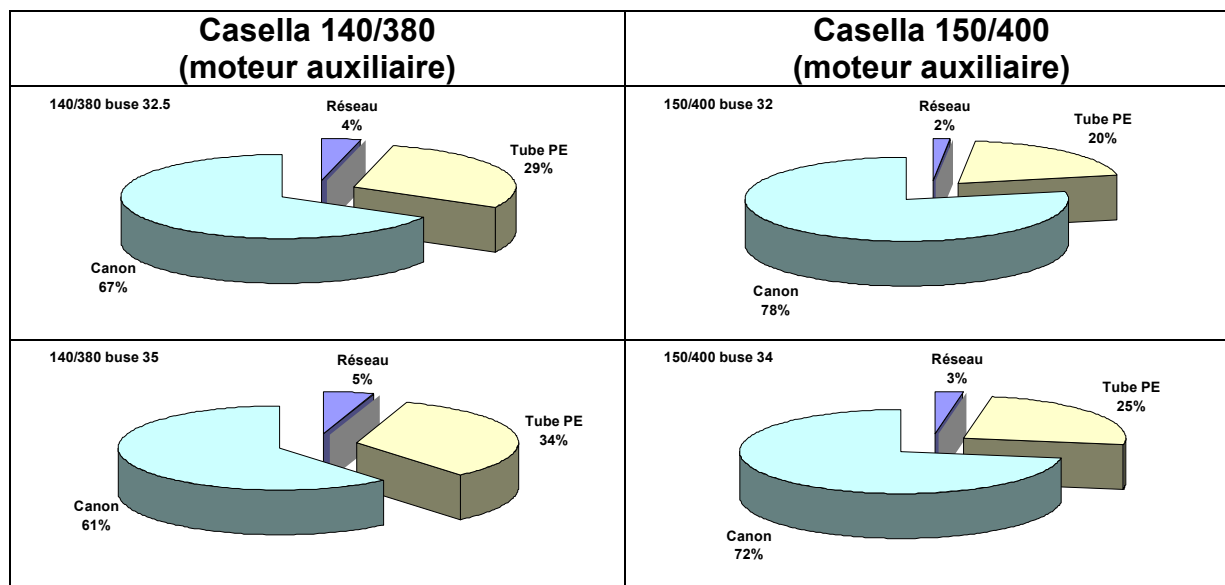
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Marque système	Diam de la buse (mm)	Débit au DUS (m3/h)	Conso gasoil pompe (kg)	Energie brute gasoil (kWh)	Energie utile pompe (kWh)	Rdt moto pompe (%)	Pertes E conduite amenée (kWh)	Pertes énergie turbine (kWh)	Pertes énergie turbe PE (kWh)	Energie dispo canon (kWh)
IDROFOGLIA turbine 110/350	25.0	51.4	1.65	19.25	3.75	19.5	0.024	0.508	0.773	2.45
	27.5	62.0	2.07	24.15	5.09	21.1	0.114	0.596	1.468	2.91
	30.0	71.4	2.57	29.98	6.36	21.2	0.165	0.626	2.263	3.31
IDROFOGLIA turbine 125/400	27.5	61.5	1.72	20.07	4.10	20.4	0.046	0.297	0.910	2.85
	30.0	74.0	2.36	27.53	5.82	21.2	0.137	0.540	1.618	3.53
	32.5	85.5	3.08	35.93	7.60	21.2	0.317	0.871	2.517	3.90
CASELLA moteur 110/400	25.0	50.4	1.57	18.32	3.32	18.1	0.005		0.961	2.36
	27.5	61.2	1.90	22.17	4.52	20.4	0.055		1.645	2.82
	30.0	73.2	2.58	30.10	6.35	21.1	0.123		2.839	3.39
CASELLA moteur 125/400	27.5	63.0	1.74	20.30	4.03	19.8	0.026		0.995	3.00
	30.0	73.1	1.94	22.63	5.01	22.1	0.152		1.473	3.38
	32.5	85.7	2.65	30.92	6.51	21.0	0.247		2.292	3.97
CASELLA moteur 140/380	32.5	87.0	2.49	29.05	6.04	20.8	0.233		1.764	4.04
	35.0	99.6	3.32	38.73	7.56	19.5	0.377		2.575	4.61
CASELLA moteur 150/400	32.0	77.6	1.90	22.17	4.60	20.7	0.071		0.935	3.59
	34.0	87.6	2.49	29.05	5.60	19.3	0.162		1.379	4.06

Tableau 3 : Répartition des consommations énergétiques

Les diagrammes ci-dessous résument la répartition des consommations énergétiques dans chaque cas.







Ces diagrammes ne font apparaître que la répartition de l'énergie utile sous forme hydraulique, c'est-à-dire sans tenir compte des pertes d'énergie dans le groupe moto-pompe. Or, comme il apparaît dans le tableau 3 (colonnes 5 à 7) l'énergie hydraulique utile ne représente qu'environ 20% de la consommation finale : ceci confirme donc bien l'attention que l'on doit porter au niveau du rendement de la station de pompage pour maîtriser les consommations d'énergie en irrigation.

Pour les autres organes, c'est le canon qui consomme l'essentiel de l'énergie hydraulique, convertie en énergie cinétique pour assurer la portée à la distance voulue. Les valeurs se situent entre 2.4 kWh et 4.6 kWh pour les 20 minutes de test : le choix du canon et de la buse est donc un paramètre important à considérer pour optimiser le bilan énergétique.

Par contre, les pertes de charge dans le tube PE augmentent rapidement quand le débit augmente.

La question se pose de savoir si l'augmentation de ces consommations est compensée par la diminution du nombre de passages ; pour y répondre, le bon indicateur est le rapport entre l'énergie finale consommée et le volume total d'eau apporté, que l'on a calculé ci-dessous (tableau 4), en kWh/m<sup>3</sup>

Marque système	Diam de la buse (mm)	Débit au DUS (m3/h)	Energie brute gasoil (kWh)	Volume d'eau sur 20 mn (m3)	Energie / Volume (kWh/m3)
IDROFOGLIA turbine 110/350	25.0	51.4	19.25	17.20	1.12
	27.5	62.0	24.15	20.58	1.17
	30.0	71.4	29.98	23.80	1.26
IDROFOGLIA turbine 125/400	27.5	61.5	20.07	20.50	0.98
	30.0	74.0	27.53	24.67	1.12
	32.5	85.5	35.93	28.50	1.26
CASELLA moteur 110/400	25.0	50.4	18.32	16.80	1.09
	27.5	61.2	22.17	20.40	1.09
	30.0	73.2	30.10	24.40	1.23
CASELLA moteur 125/400	27.5	63.0	20.30	21.00	0.97
	30.0	73.1	22.63	24.37	0.93
	32.5	85.7	30.92	28.57	1.08
CASELLA moteur 140/380	32.5	87.0	29.05	29.00	1.00
	35.0	99.6	38.73	33.20	1.17
CASELLA moteur 150/400	32.0	77.6	22.17	25.87	0.86
	34.0	87.6	29.05	29.20	0.99

Tableau 4 : Indices de consommation en kWh par m3 d'eau

Un diagnostic complet exigerait de prendre en compte également la qualité de la répartition de l'eau, et éventuellement la sensibilité au vent (en utilisant la méthode IRRIPARC® par exemple). L'augmentation des débits au canon permet de minimiser le nombre de passages, mais le meilleur compromis doit tenir compte non seulement du coût énergétique qui en résulte, mais également de la dégradation possible de l'uniformité de répartition.

### Bilan énergétique du système de traction :

L'un des objectifs des tests était de comparer les systèmes à turbine et les systèmes à moteur auxiliaire : pour cela, il faut définir un indicateur permettant de comparer les deux techniques.

L'indicateur qui permet le mieux cette comparaison est le rendement énergétique du système de traction, c'est à dire le rapport entre la demande nette en énergie pour la traction, et l'énergie finale correspondante consommée.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Energie nette}}{\text{Energie finale consommée}}$$

Il s'agit là du rendement global du système de traction :

- Dans le cas de la turbine, c'est le rendement de l'ensemble « turbine + dérivation hydraulique ».
- Dans le cas du moteur thermique, c'est le rendement « moteur + système oléodynamique »

La demande nette en énergie est le travail nécessaire pour la traction du tube PE et du chariot. Elle n'a pas pu être mesurée, mais on peut l'estimer à partir du poids du tube plein, et d'un coefficient de terrain correspondant à un sol sec ( $\alpha = 0.5$ ).

$$F = \alpha.m.L$$

Avec :

<b>F</b>	Effort résistant en daN
<b><math>\alpha</math></b>	Coefficient de terrain
<b>m</b>	Masse linéaire du PE plein d'eau en kg/m
<b>L</b>	Longueur de tube en frottement au sol (m)

L'énergie finale consommée doit être évaluée dans les 2 cas comme la consommation de gasoil supplémentaire liée à la traction ; on la calcule de la manière suivante :

Pour les turbines:

- On convertit en énergie la différence de pression entre l'amont et l'aval du groupe turbine: c'est l'énergie hydraulique brute nécessaire pour faire fonctionner la turbine ( $E = P \times V$ ).

- On divise le résultat obtenu par le rendement énergétique de la motopompe: on obtient la surconsommation d'énergie qu'il a fallu mettre en œuvre au niveau de la motopompe pour faire fonctionner la turbine.

Pour les moteurs auxiliaires:

- On convertit en énergie la masse de gasoil consommé au niveau du moteur auxiliaire pendant la durée du test. On retient pour cela un pouvoir calorifique inférieur du gasoil de 42 MJoules par kg de carburant.

Les résultats figurent dans le tableau 5 ci-dessous : les consommations énergétiques totales des turbines ont été converties en équivalent gasoil, afin de les comparer à celles des moteurs auxiliaires.

Marque système	Diam de la buse (mm)	Débit au DUS (m3/h)	Rdt moto pompe (%)	Vitesse avcmt canon (m/h)	Energie requise traction (kWh)	Conso turbine équiv. gasoil (g)	Conso moteur auxiliaire (g)	Rend turbine (%)	Rend traction (%)
IDROFOGLIA turbine 110/350	25.0	51.4	19.5	24.20	0.031	216		6.2	1.2
	27.5	62.0	21.1	24.70	0.031	236		5.2	1.1
	30.0	71.4	21.2	24.90	0.030	247		4.8	1.0
IDROFOGLIA turbine 125/400	27.5	61.5	20.4	26.40	0.045	120		15.1	3.1
	30.0	74.0	21.2	37.80	0.062	213		11.4	2.4
	32.5	85.5	21.2	51.15	0.079	344		9.1	1.9
CASELLA moteur 110/400	25.0	50.4	18.1	23.55	0.030		150		1.7
	27.5	61.2	20.4	25.50	0.034		100		2.9
	30.0	73.2	21.1	23.70	0.032		100		2.8
CASELLA moteur 125/400	27.5	63.0	19.8	28.20	0.046		150		2.6
	30.0	73.1	22.1	26.70	0.045		100		3.8
	32.5	85.7	21.0	23.10	0.040		150		2.3
CASELLA moteur 140/380	32.5	87.0	20.8	23.25	0.051		220		2.0
	35.0	99.6	19.5	31.95	0.068		210		2.8
CASELLA moteur 150/400	32.0	77.6	20.7						
	34.0	87.6	19.3						

Tableau 5 : Consommations énergétiques pour la traction du chariot

Le rendement de la turbine est variable, mais son ordre de grandeur correspond aux valeurs obtenues en laboratoire pour des essais réalisés au Cemagref sur des enrouleurs analogues.

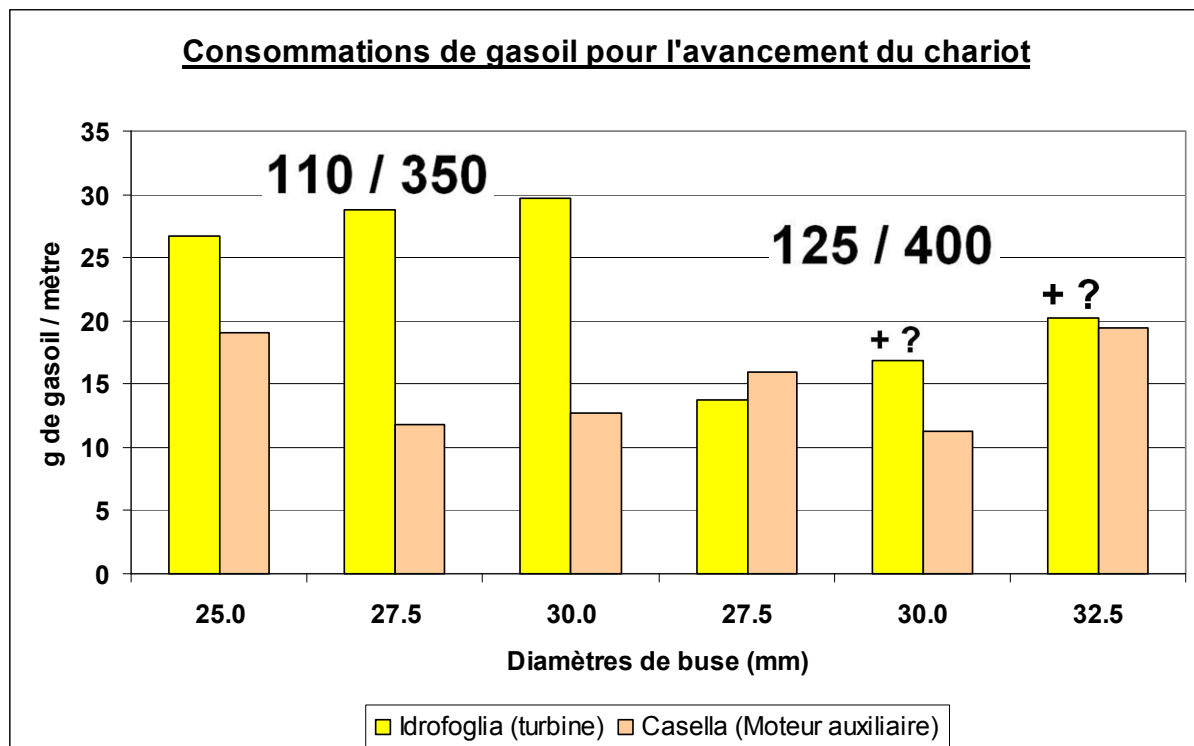
Au vu des valeurs obtenues pour l'Idrofoglia 125/400, il ne faudrait pas conclure hâtivement que sa turbine a un meilleur rendement que le 110/350 : en effet, comme expliqué ci-dessus, le test a été fait avec des vitesses d'avancement différentes, et l'on sait que le rendement énergétique des turbines d'enrouleur est d'autant plus élevé que la vitesse est grande (donc si l'Idrofoglia 125/400 avec buse de 30 mm et 32.5 mm avait réellement fonctionné à 20 m/h, son rendement aurait été nettement plus faible que les valeurs indiquées). D'autre part, le calcul de l'incertitude sur le rendement évalué par cette méthode reste à faire.

Seule la valeur de 15.1% pour le rendement turbine de l'Idrofoglia 125/400 avec buse de 27.5 mm est surprenante. La connaissance du débit dérivé de la turbine pourrait peut-être nous permettre d'expliquer ce qui a pu se passer. On a également une forte incertitude sur les mesures de consommations de gasoil des moteurs auxiliaires, ce qui peut sans doute fournir aussi une partie de l'explication.

Il est intéressant de comparer 2 à 2 les mêmes configurations avec turbine et avec moteur auxiliaire. On a calculé pour cela les consommations énergétiques rapportées à la distance d'avancement du chariot, exprimées en équivalent gasoil par mètre d'avancement. Pour nuancer cette comparaison, il faut rappeler que cette consommation est également augmentée pour les 2 cas où la vitesse d'avancement est élevée (Idrofoglia 125/400 avec buse de 30 mm et 32.5 mm)

Diamètre (mm) et longueur (m) du tube PE	Diam de la buse (mm)	Conso gasoil/m (g) turbine	Conso gasoil/m (g) mot.auxil.
110/350 ou 110/400	25.0	26.7	19.1
	27.5	28.7	11.8
	30.0	29.7	12.7
125/400	27.5	13.7	16.0
	30.0	16.9	11.2
	32.5	20.2	19.5

Tableau 6 : Comparaison des consommations énergétiques pour les différents systèmes de traction



## Conclusions :

Ces tests permettent de donner un ordre de grandeur des consommations d'énergie pour les différentes configurations d'enrouleur.

Dans tous les cas, la configuration de la station de pompage constitue le point où l'on pourrait avoir le plus de possibilités d'améliorer l'efficacité énergétique.

La pression disponible au canon est également grosse consommatrice, d'où l'importance de bien raisonner le choix de la pression de service.

Les pertes dans la turbine sont moins importantes, mais le faible rendement énergétique de cet organe laisse penser qu'il y a peut être là une voie d'amélioration intéressante pour les constructeurs d'enrouleurs.

Ce travail pourrait être complété par des études de scénarios correspondant à des situations réelles, où l'on prendrait en compte tous les éléments utiles pour guider l'irrigant dans son choix d'installation (coût énergétique, coût d'équipement, main d'œuvre, uniformité de répartition, pluviométrie instantanée, etc...)