

Innovations dans la gestion de la quantité des eaux usées traitées

الابتكارات في إدارة كمية مياه الصرف الصحي المعالجة



Quantité



Amélioration de l'efficiency
des systèmes irrigués

Sommes-nous prêts à adopter
une agriculture intelligente



Photo Sciences Eaux & Territoires n°10 – 2013

Projet BONEX - Atelier de Clôture

Jeudi 22 mai 2025, Hôtel Rosa Beach, Monastir, Tunisie

كمية



تحسين كفاءة الري

هل نحن مستعدون لتبني الزراعة الذكية؟

تقديم الباحث : عبد العزيز زايري

3 services opérationnels 3 خدمات

Service 1 : Surveillance, suivi et évaluation de l'usage de l'eau dans les zones irriguées;

Service 2 : Suivi et évaluation de la dégradation de l'environnement;

Service 3 : Suivi saisonnier, alerte et évaluation de l'agriculture

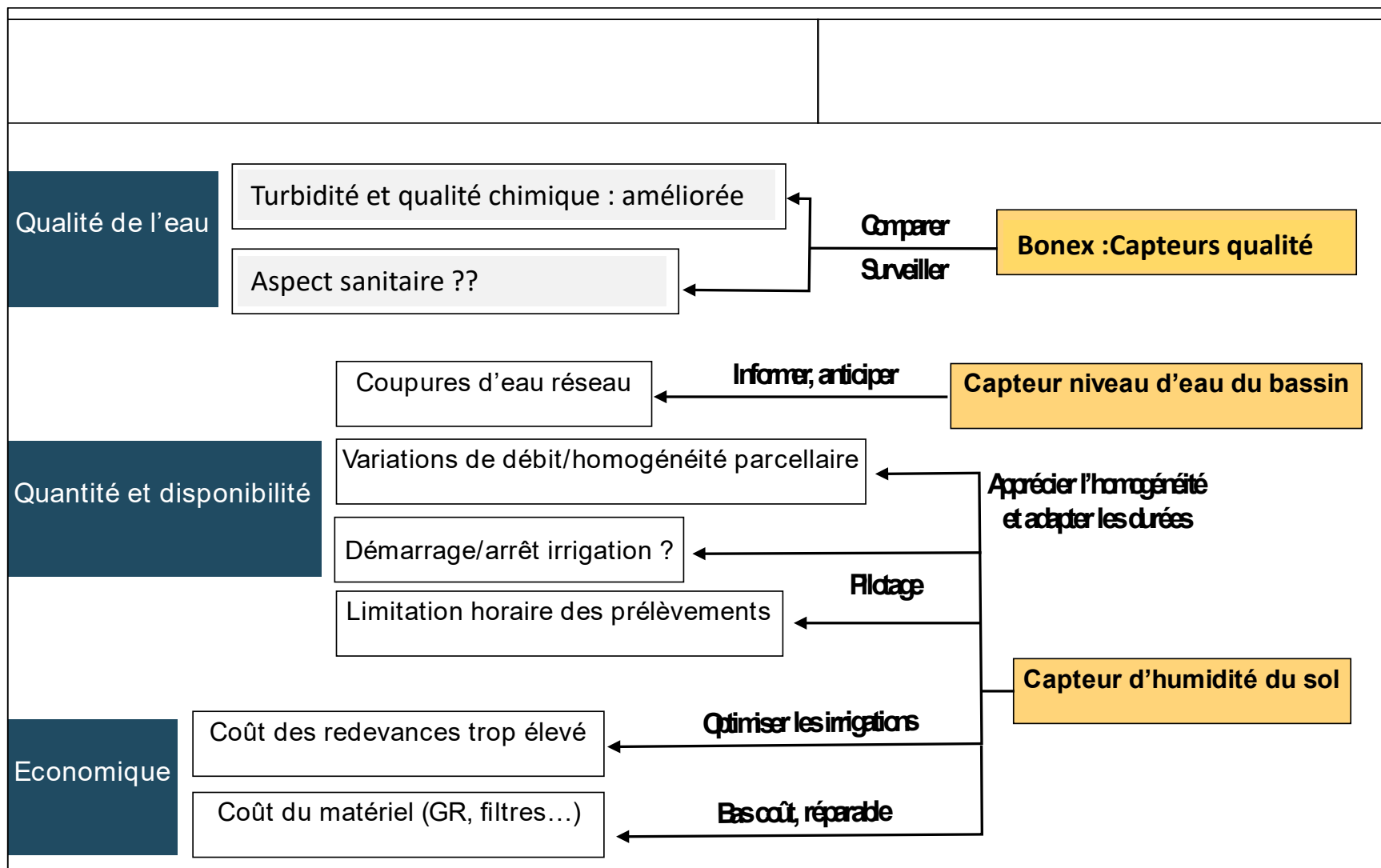
الخدمة 1: مراقبة ورصد وتقييم استخدام المياه في المناطق المروية؛

الخدمة 2: رصد وتقييم التدهور البيئي؛

الخدمة 3: المراقبة الموسمية والتنبيه والتقييم الزراعي

Rappel des contraintes et des besoins liés à la gestion de l'eau d'irrigation

تذكير بالمشاكل والاحتياجات المتعلقة بإدارة مياه الري



Innovation : Identifier les produits de recherche valorisables

Combinaison Mesures de Terrain, télédétection et modélisation

Mesures de terrain

Observation des
processus

Interprétation physique
Représentativité spatiale ?

Télédétection

Observation spatialisée et
répétitive

Interprétation physique
du signal satellitaire ?

Modélisation des processus

Description des processus d'échanges
physiques et de la végétation

Paramétrisation ? Hétérogénéité ?

Outils pour le suivi du bilan hydrique pour la gestion de l'irrigation

أدوات مراقبة تسيير الري

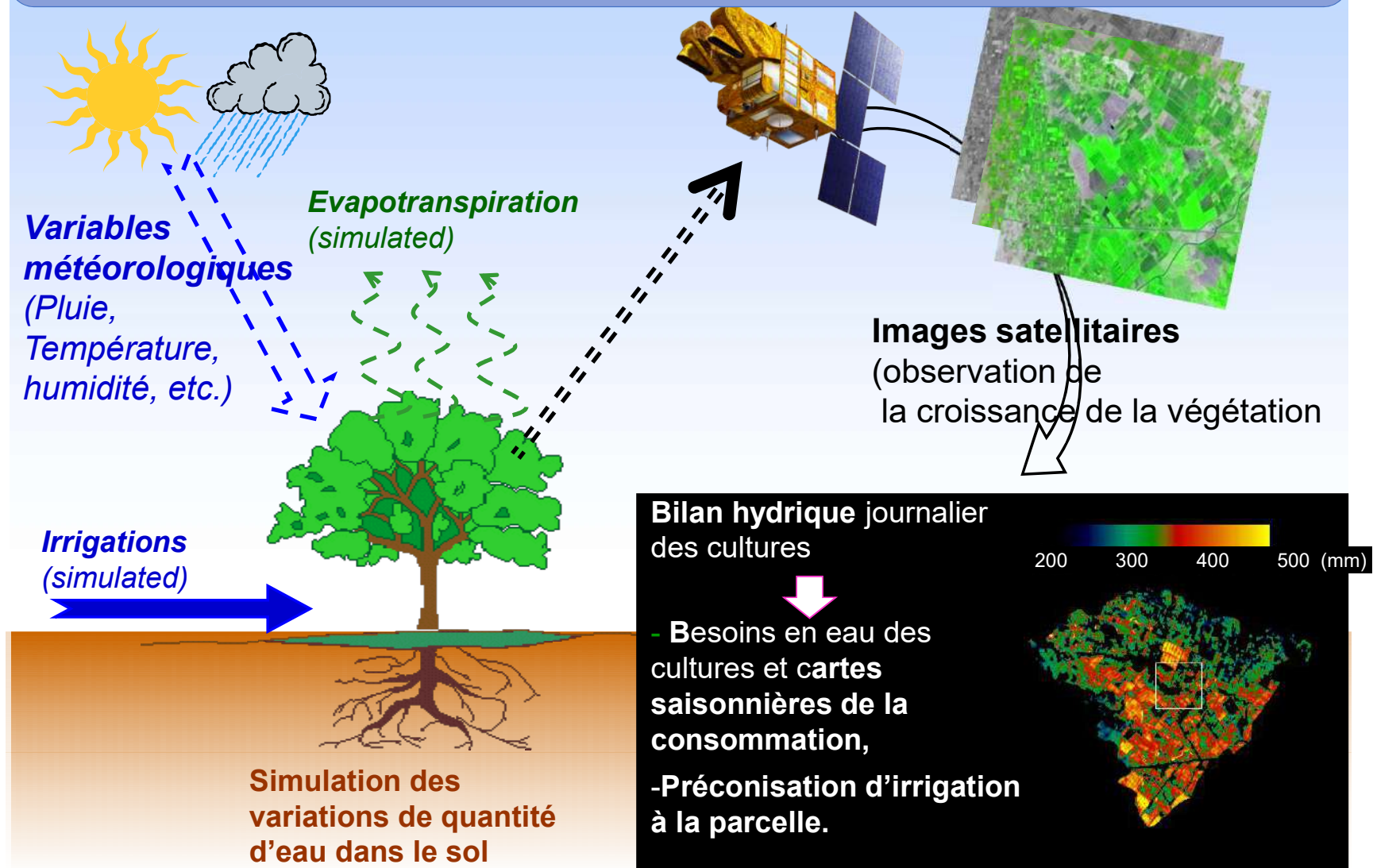


Schéma de fonctionnement du réseau de capteurs connectés مخطط تشغيل شبكة الاستشعار الذكية لرطوبة التربة

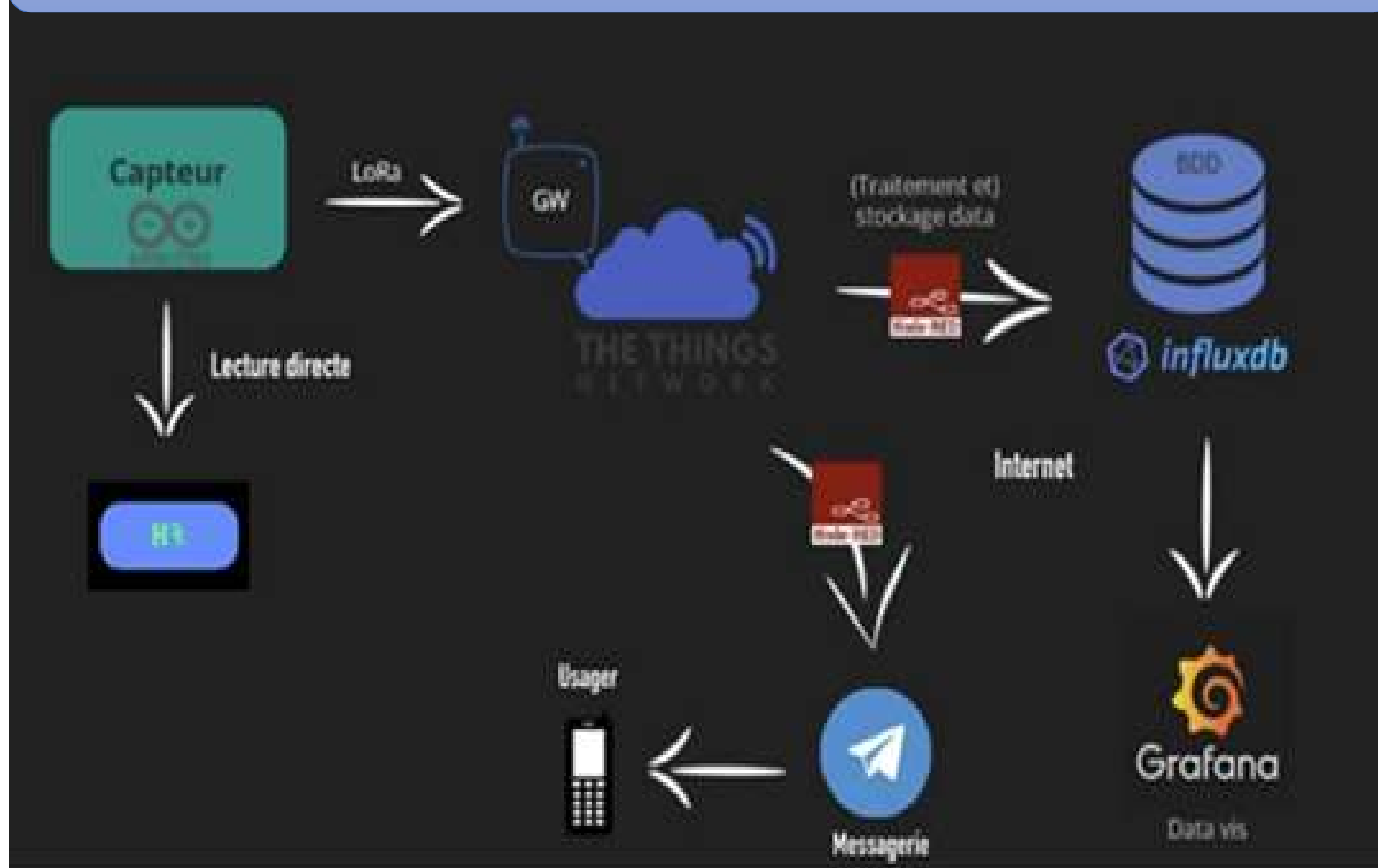


Figure 1 Schéma du transfert de la donnée de la sonde vers l'utilisateur



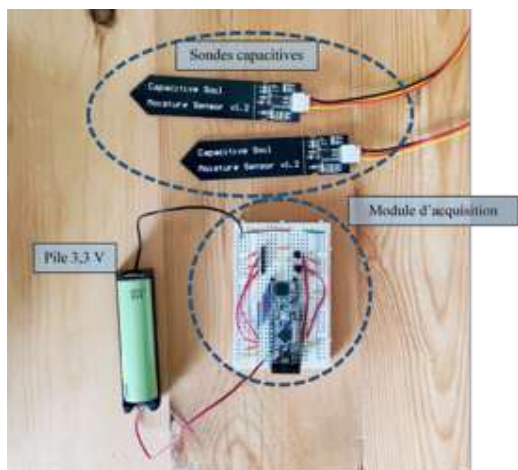
Tableau Récapitulatif des offres conformes (PU HTVA en TND)

	1	2	3	4	5
Sonde de profil 6 points, profondeur max. de mesure 100 cm, interface analogique connecteur IP68 mâle.					
Tube d'accès en fibre de verre pour sonde de profil 6 points	16125,513	8394,800	8124,000	11998,000	13101,110
Câble de liaison entre sonde PR2 et centrale type DL2e					

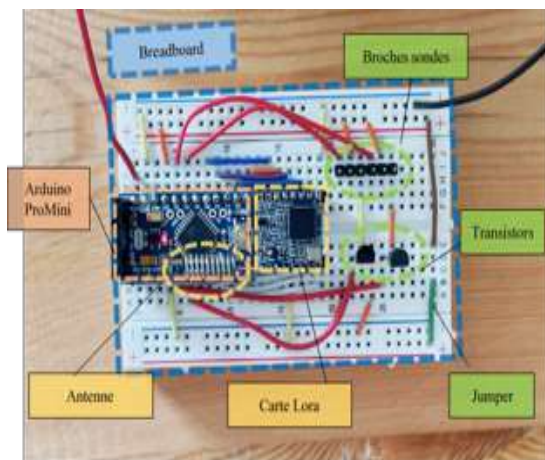
conception d'un réseau de capteurs à faible coût pour la maîtrise de l'irrigation

il est proposé d'explorer les voies d'appropriation, par les agriculteurs, d'un outil d'évaluation de l'état hydrique du sol pour le pilotage de l'irrigation : capteurs capacitifs dits « à faible coût ».

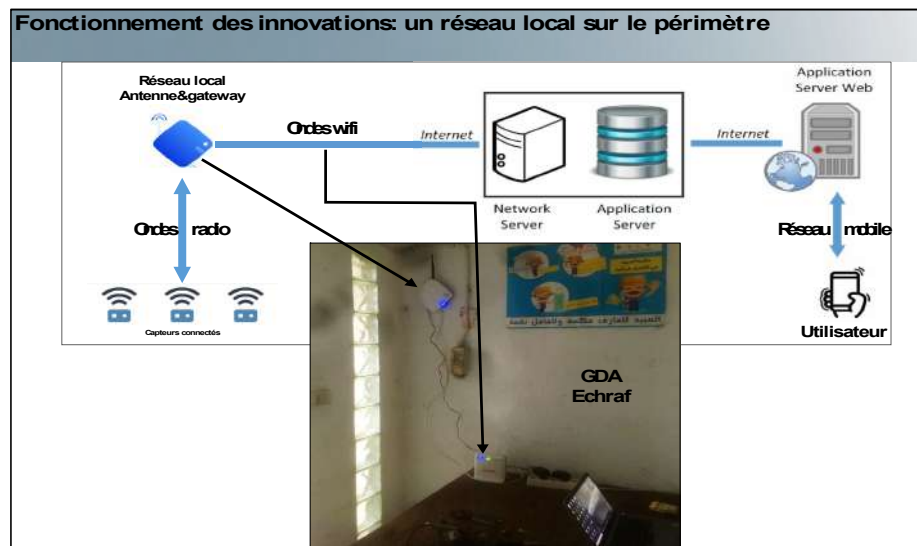
Le « Pilowtech », pour « pilotage low-tech », est le nom donné au capteur construit pour cette étude. La mesure se fait à l'aide d'une sonde capacitive (mesure de permittivité) à sortie analogique (modèle SKU:SEN0193). Le voltage de sortie de la sonde capacitive est associé à une valeur d'humidité via le software d'un micro-contrôleur arduino.



Les composants du Pilowtech (Source : Sainlez Oliver)



Circuit électronique du Pilowtech (Source : Sainlez Oliver)



Création de FABLAB au GDA Chraf-Haouaria (do it yourself)



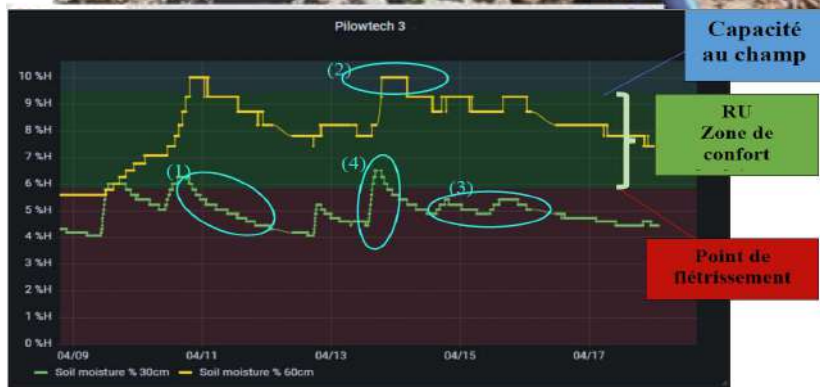
Options de lectures

Pratiquement, nous avons envisagé trois options pour l'alerte à l'irrigation :

- **le signal le plus accessible est de type SMS. Au-delà d'un seuil d'humidité détecté par le capteur, un SMS d'alerte est envoyé sur le numéro de téléphone de l'agriculteur**
- **Les mêmes informations apparaissant sur l'interface web sont accessibles**
- **La lecture directe sur le capteur, via un afficheur, est possible aussi pour l'agriculteur, même si elle implique d'être présent physiquement sur la parcelle.**

Options de lectures

Lecture en ligne



Interface en ligne sur Grafana

Lecture directe



Figure 1 Pilowtech dans une culture de pomme de terre et lecture de la donnée en ligne sur Grafana

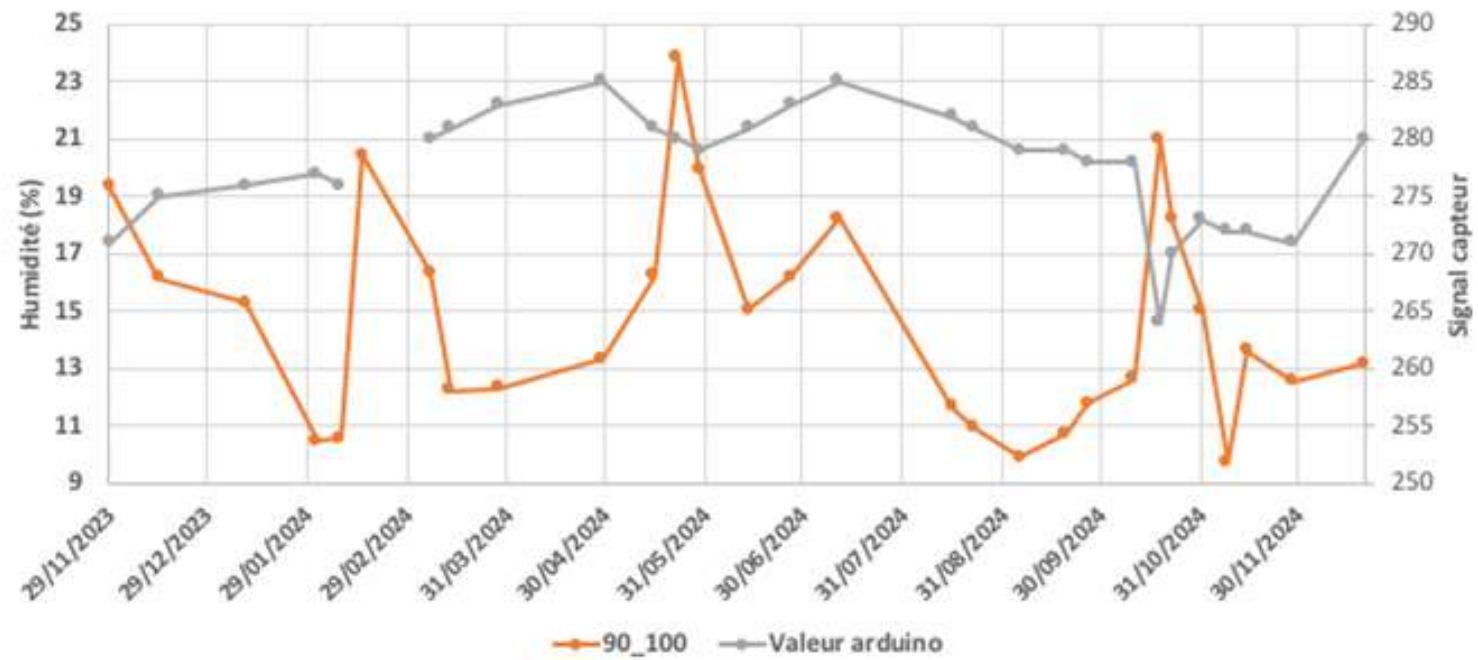
Coût des composants du capteur

S.N	Component	Cost (€)
1.	Acquisition module	
a.	Arduino pro mini 3.3V	3.35
b.	LoRa microchip SX1276	4.10
c.	Small connectors	2.00
d.	Li-ion 18650 rechargeable battery	1.83
e.	18650 battery slot	0.3
2.	Capacitive probes	
a.	Capacitive soil moisture sensor v1.2 x2	1.56
b.	Dupont wires 30cm x5	0.5
	Subtotal wireless double depth sensor	13.64
3.	Onsite data reader	
a.	Arduino Uno R3	3.36
b.	Shield Arduino LCD	3.91
	Subtotal onsite reading double depth sensor	9.33
	Total online & onsite reading sensor	20.91

Exploitation des capteurs d'humidité du sol

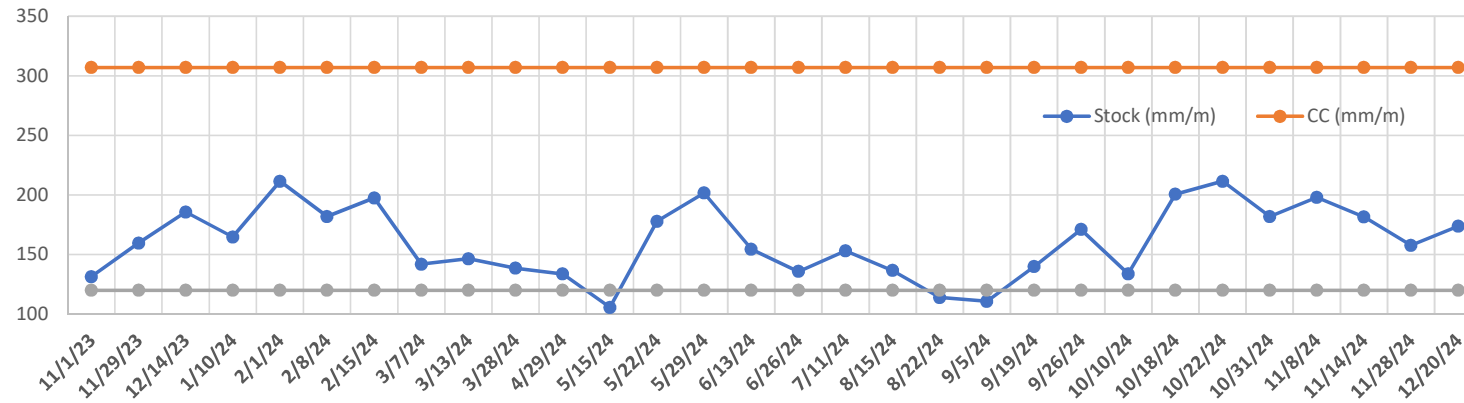


Concordance entre le signal du capteur et l'humidité gravimétrique
Capteur P2bis

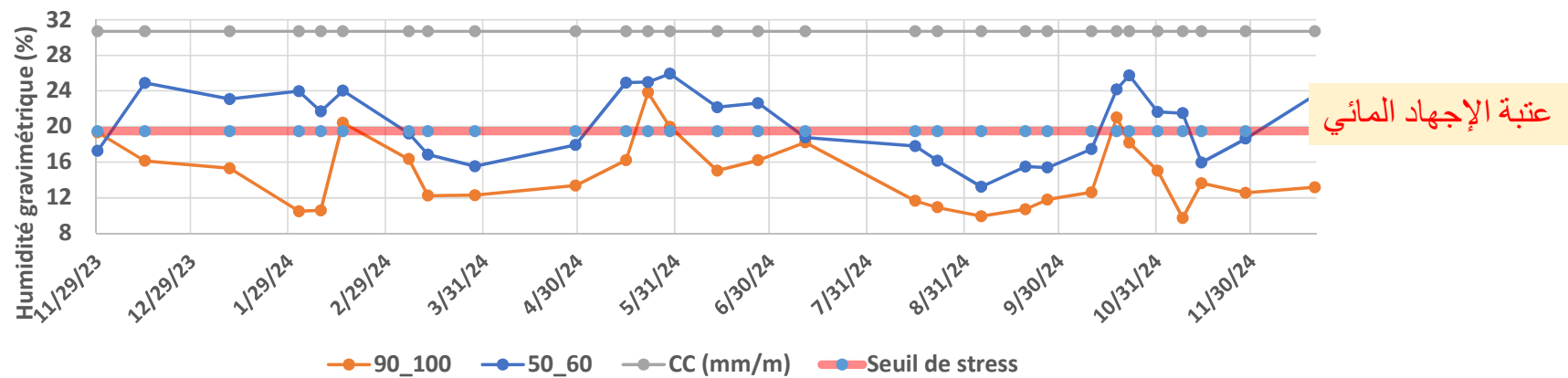


Bilan hydrique au sol

Stock d'eau du sol P1 (mm/m)



Evolution de l'humidité du sol en fonction de la profondeur
Site P2bis



Calibration des capteurs d'humidité معايرة أجهزة استشعار الرطوبة

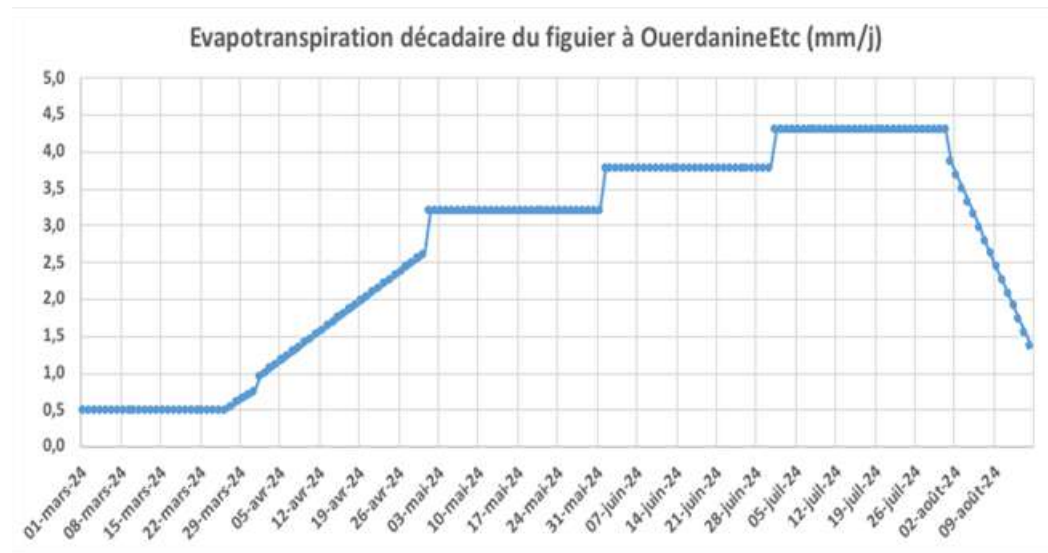
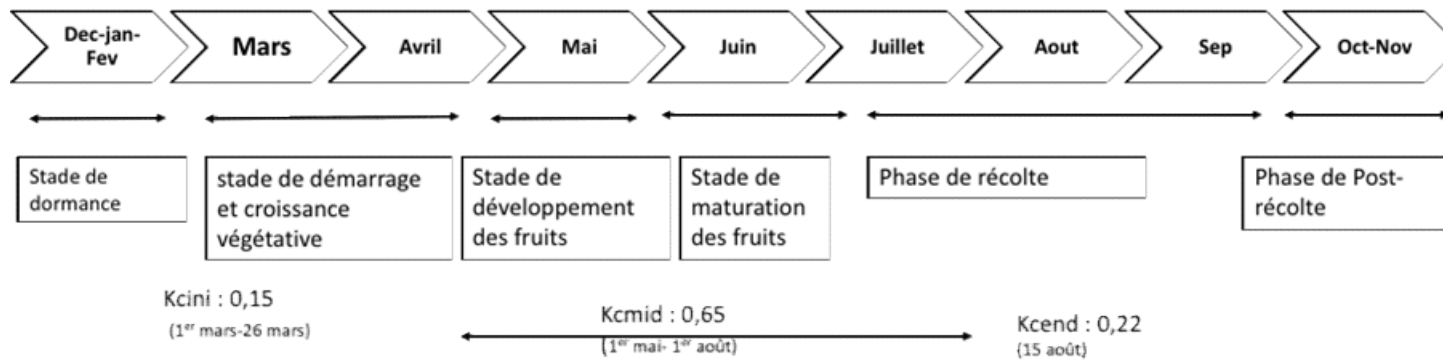


Résultats des analyses

Réf.lab	Echs.	Prof.	Argile %	Limon %	Sable %	% MO	CE. _{1/5} (mS/cm)	Capacité aux Champs mm/cm	PF4.2 %H	PF2.5 %H
S22_814	Achref	(0-30)	4,25	3,55	92,20	0,52	0,18	2.26	6.97	10.37
S22_815	Aissa	(0-30)	7,24	1,86	90,90	0,84	0,13	2.56	7.03	10.87
S22_816	Aniss	(0-30)	3,91	2,58	93,51	0,76	0,12	2.42	5.88	9.52
S22_817	Ban Amara	(0-30)	7,89	1,75	90,36	0,68	0,11	2.40	7.05	10.65
S22_818	Mhamdi	(0-30)	4,84	1,75	93,41	0,68	0,11	2.38	5.83	9.41
S22_819	Mouldi	(0-30)	8,03	1,85	90,11	0,49	0,09	2.47	7.00	10.71

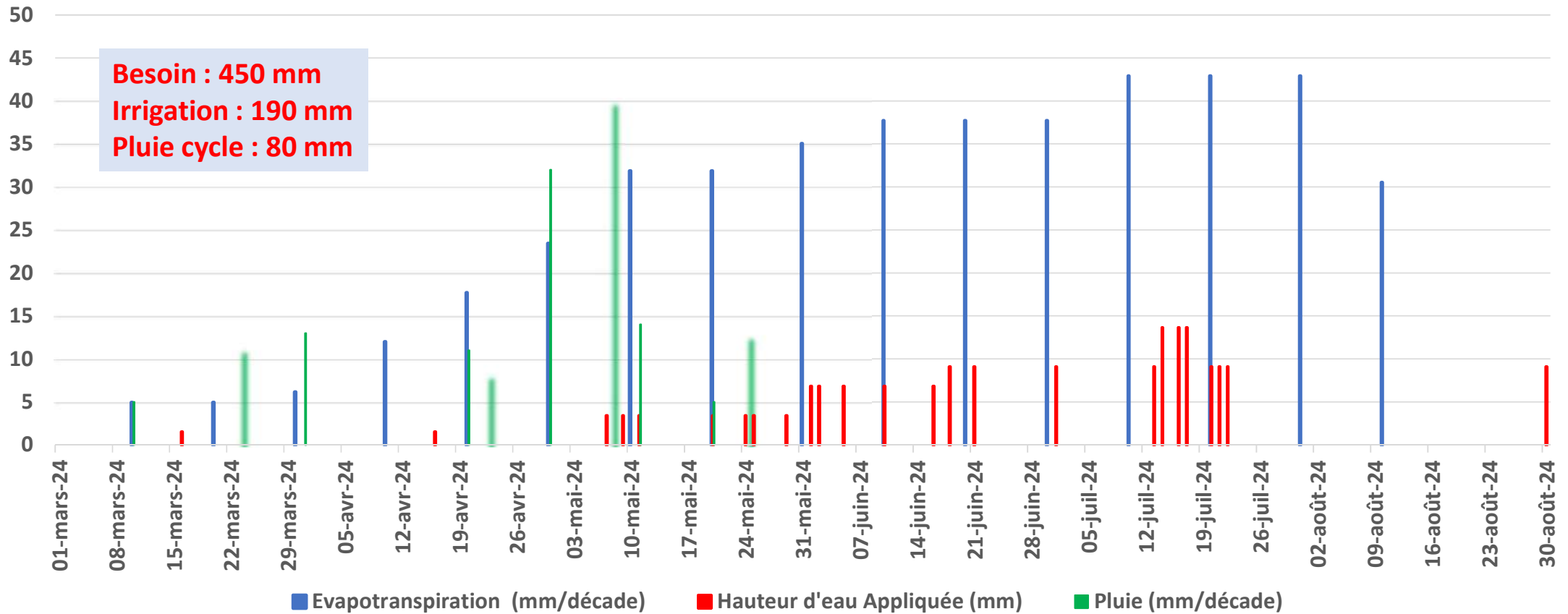
Bilan agrométéorologique

Les coefficients culturaux Kc relatifs aux stades phénologiques du figuier à Ouerdanine



كمية الماء المضافة (مم)

Hauteurs d'eau appliquées % aux besoins de la culture



Hauteurs d'eau appliquées suivant les caractéristiques des rampes

Caractéristiques	GR	GR	Gaine	Gaine
Diamètre nominal (mm)	16	16	16	16
Débit goutteur (l/h)	4	4	1	1,5
Ecartement entre goutteurs (m)	0,4	0,4	0,1	0,1
Ecartement entre 2 arbres suivant ligne goutteur (m)	5	5	5	5
Ecartement entre 2 arbres perpend ligne goutteur (m)	5	5	5	5
Nombre de rampes par rangée d'arbre	2	4	2	2
Nombre de goutteurs par arbre	25	50	100	100
débit par arbre (l/h)	100	200	100	150
Taux de couverture (%)	100	100	100	101
Superficie transpirante par arbre (m2)	25	25	25	25
Hauteur d'eau appliquée (mm/h)	4	8	4	6

Calendriers d'arrosage suivant les caractéristiques des rampes d'irrigation

			2 Rampe GR, 2 l/h, e = 40 cm	4 Rampe GR, 2 l/h, e = 40 cm	2 Rampes Gains 1 l/h, e = 10 cm	2 Rampes Gains 1.5 l/h, e = 10 cm
Mois	Décade	Etc moyen (mm/j)	Temps journalier (mn)	Temps journalier (mn)	Temps journalier (mn)	Temps journalier (mn)
Mars	Décade 1	0,50	7	4	7	3
	Décade 2	0,50	7	4	7	3
	Décade 3	0,62	9	5	9	4
Avril	Décade 1	1,20	18	9	18	7
	Décade 2	1,77	27	13	27	10
	Décade 3	2,34	35	18	35	13
mai	Décade 1	3,19	48	24	48	18
	Décade 2	3,19	48	24	48	18
	Décade 3	3,50	53	26	53	20
Juin	Décade 1	3,77	57	28	57	21
	Décade 2	3,77	57	28	57	21
	Décade 3	3,77	57	28	57	21
Juillet	Décade 1	4,29	64	32	64	24
	Décade 2	4,29	64	32	64	24
	Décade 3	4,29	64	32	64	24
Août	Décade 1	3,05	46	23	46	17

Un service national lucratif !

**Institut National de la
Météorologie**
Avenue Mohamed Ali Akid
Cité olympique El Khadhra
2035 TUNIS TN



Bon Pour Accord

Client : C10968
Nom : INRGREF
Tél : 71719630
Fax : 71717951
Adresse : -
Code TVA : -
MF 710529GNN000

DEVIS

Numéro : **D202500780**
Date : **16/05/2025**

Code Article	Désignation	Période	St.	TVA	PUHT	Total HT
SGE-0122	température max journalière en °C	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
SGE-0128	Température mini journalière en °C	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
SGE-0100	Pluie journalière en mm	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
SGE-0110	Vitesse vent maximal journalière en km/h	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
SGE-0140	Humidité relative mini journalière en %	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
SGE-0139	Humidité relative max journalière en %	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
SGE-0149	durée d'insolation journalière en h	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 049.375
SGE-0146	rayonnement global journalier en J/cm2	Du 01/01/2020 Au 31/12/2024	1	19.0 %	0.575	1 050.525
9999	STATION MONASTIR LA PLUS PROCHE	Du 16/05/2025 Au 16/05/2025	1	0.0 %	0.000	0.000
9999	DE OUARDANINE	Du 19/05/2025 Au 19/05/2025	1	0.0 %	0.000	0.000

Base TVA	TVA	Montant TVA
0.000		0
8 403.050	19 %	1 596.580
Total TVA :		1 596.580

Total HT :	8 403.050
TVA :	1 596.580
Timbre	1.000
Net A Payer :	10 000.630

Arrêter le présent devis à la somme de :
DIX MILLE DINARS 630 MILLIEMS

19 9 MAI 2025

يقع الدفع بواسطة صك غير قابل للتظهير و مسطر باسم المعهد الوطني للرصد الجوي أو بواسطة التحويل البريدي للحساب الجاري عدد : 17001000000029924979 أو مباشرة بمقر المعهد شارع محمد علي عقيد الشرقية تونس فوطاج 2035 أو بتحويل بالحساب البنكي المعنوق بالبنك الوطني الفلاحي عيديد 03029159011500418148

Observation :

Signature et Cachet

(Signature)

000MP3050004
C0182222013 : السجل التجاري رقم

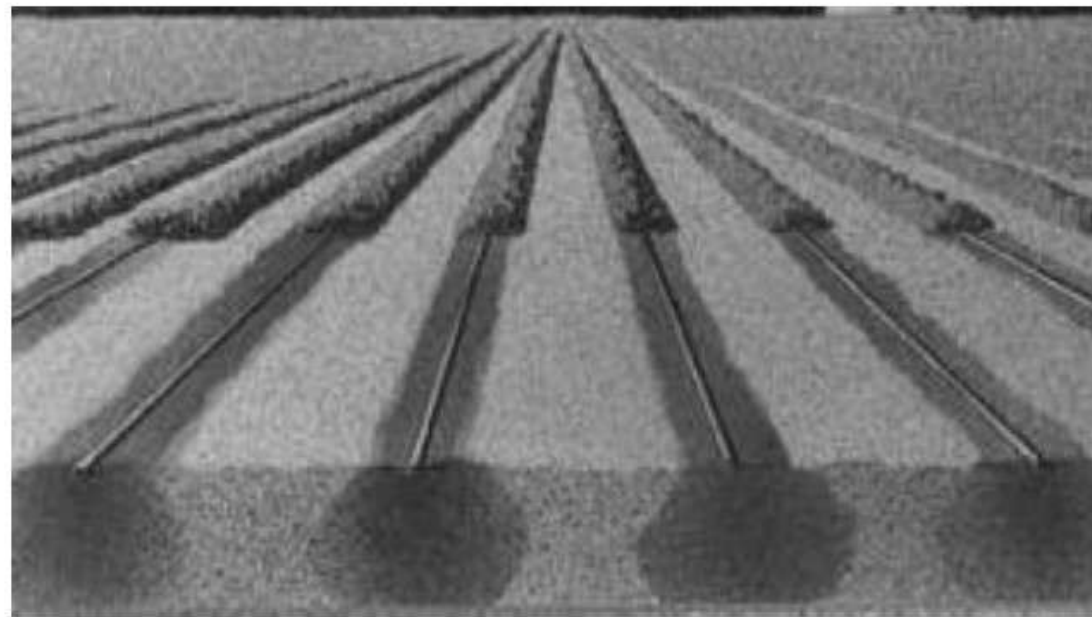
A quand le service payant de la recherche ?



Humidification par les goutteurs par point source (gauche) et par ligne source (droite)



disposition est privilégiée pour l'irrigation des vergers et des cultures annuelles sur des grands espaces



structure est adoptée dans le cas des cultures annuelles denses

Pb de mélange des 2 sources sur 1 ou 2 sous unité d'irrigation

Forme et profondeur du bulbe humide suivant la nature du sol
تطور الرطوبة حسب طبيعة التربة في الري الموضعي



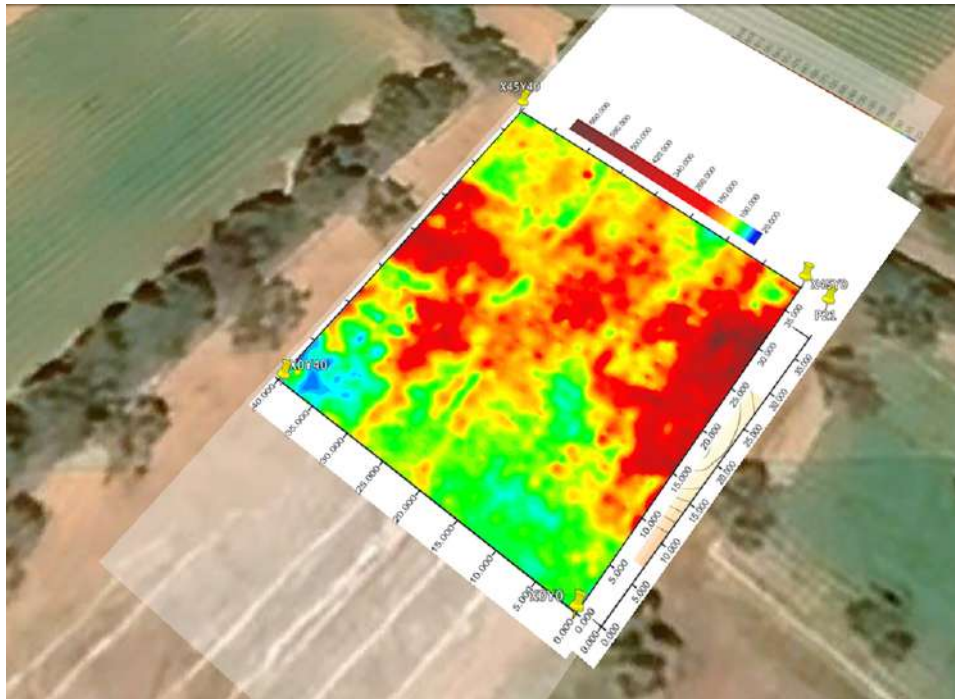
تربة رملية : عمق 30 سم

تربة متوسطة : عمق 60 سم

تربة ثقيلة : عمق 90 سم

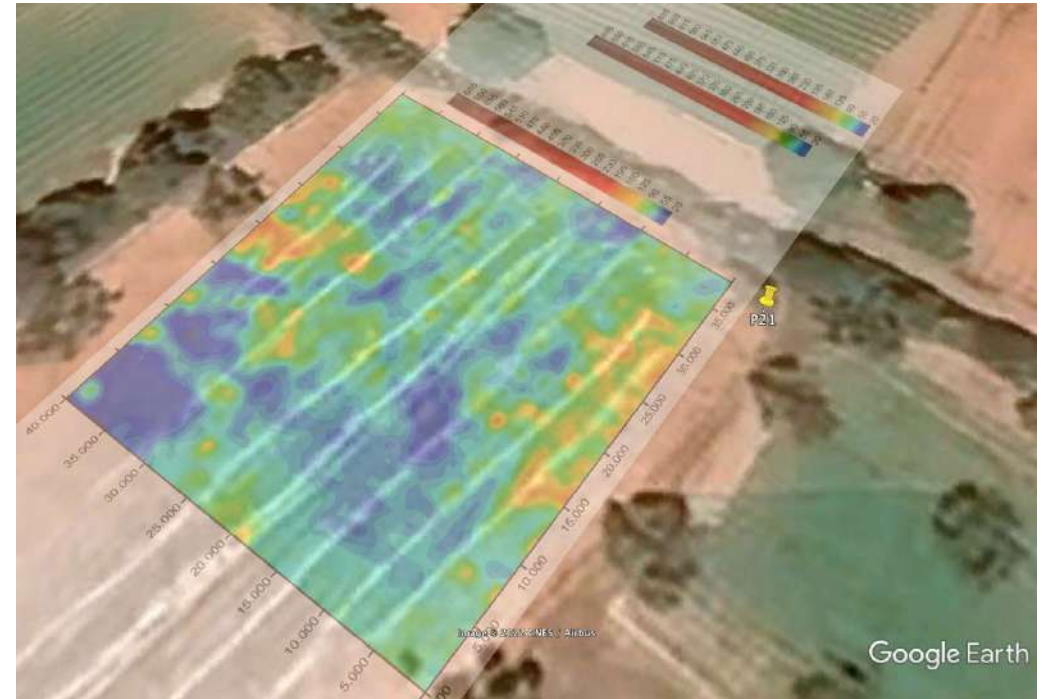
Diagnostic des pratiques de l'irrigation : Cartographie de la résistivité du sol Prospection électrique

تربة جافة على عمق ضحل Sol sec en surface



Soil resistivity map at 0.5 m depth (50-340 Ohm.m)

تغدق في العمق Hydromorphie.



Soil resistivity map at 1 m depth (20 et 125 Ohm.m)

Décrypter les informations relatives aux caractéristiques des rampes

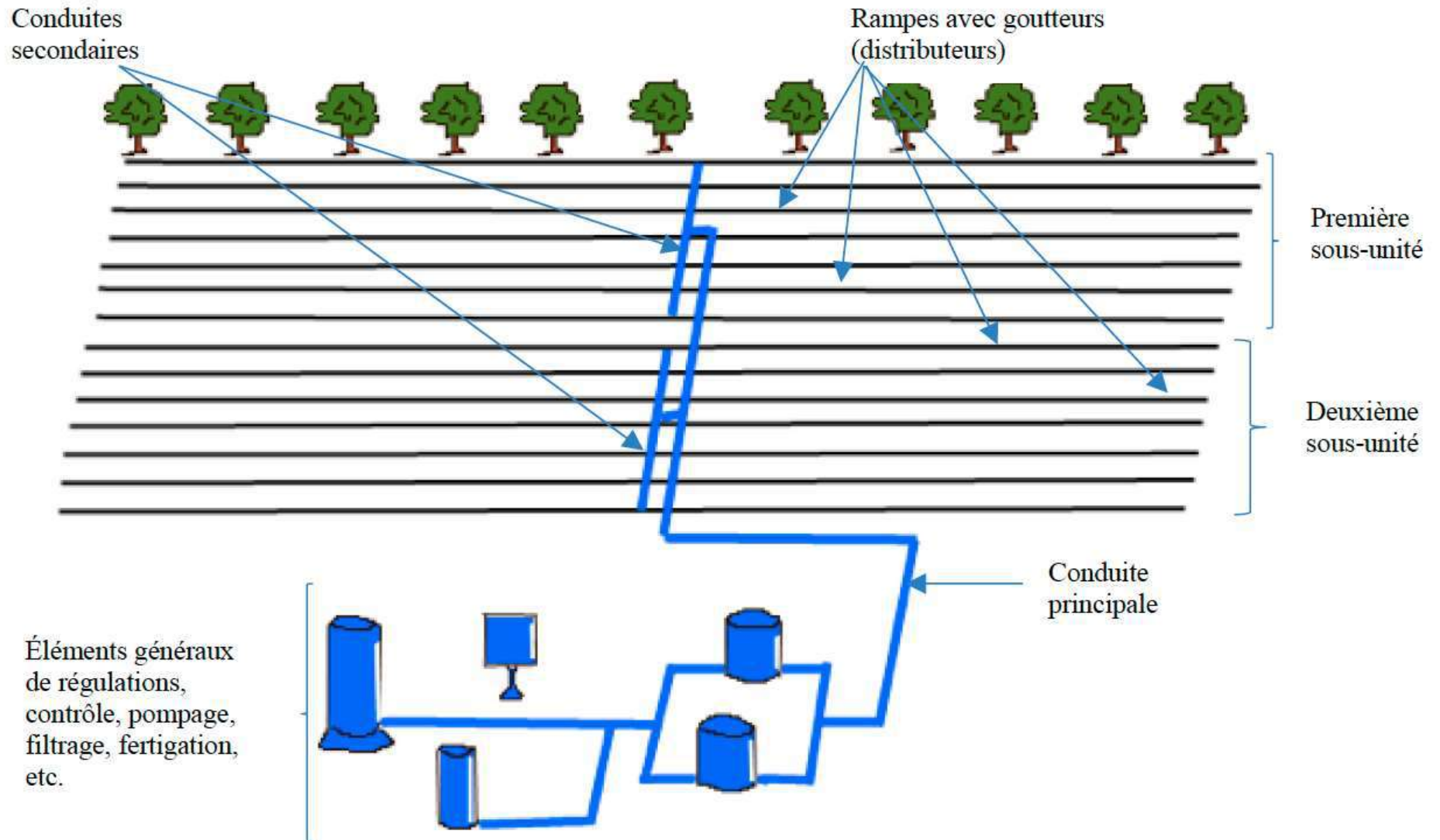
Casse tête chinois (ou Tunisien)



Ø Nominale Ø Nominal	Spessore Épaisseur		Pressione max Pression max	Portata Débit	Filtraggio Filtrage
mm	mil	mm	bar	l/h	mesh
16	6	0,15	0,6	0,8	≥ 150
	8	0,20	0,7		
	10	0,25	1,0	1,2 - 1,6	≥ 130
	12	0,30		2,0 - 3,0	
	15	0,38		4,0	
	18	0,45			
22	8	0,20	0,6	0,8	≥ 150
	10	0,25	0,7	1,2 - 1,6	≥ 130
	12	0,30		2,0 - 3,0	
	15	0,38			
	18	0,45			



Nombre adéquat de sous-unités ouvertes ?



Les conflits organisationnels moteurs du processus inverse

Quelle résilience ??



فاتورة استهلاك الجهد المتوسط

FACTURE MOYENNE TENSION

1234

Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz

الشركة التونسية للكهرباء والغاز

N° Facture : 81104292

Mois : 10/2024

رقم الفاتورة : شهر

Distriet : MONASTIR

الفاكس : 73467288

الهاتف : 73461384

Payer : S.D.A 2

Adresse : STATION POMPAGE 5010

المستند : 5010

المحلون : OUERDANINE

RIB ou RIP : 1750300, 300005020240

Consommateur : G.D. 2 OUERDANINE

الاستهلاك المحسوب له و من

Consumation : 5010

المستند : 5010

المحلون : OUERDANINE

الرمز المعيار UR	المرجع Référence	رمز المستند Code Payer	رقم الحساب البنكي أو الـ RIB ou RIP
81	597521	5810133	

مؤشر القراء Index

القديم	الجديد	الفرق
165044	1318	163974
266838	1318	264080
297487	1318	294673

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923	55	110	24
4124			
2814			

الاستهلاك المحسوب له و من	الفرق	المستند	المحلون
1177	24	86	24
2923			

Récapitulatif ملخص

Etat des lieux	Solutions (quoi ?)	Protagoniste (Qui ?)
Réseau vétuste ou défaillant	Diagnostic Redimensionnement réparation Réhabilitation	
Consommation excessive d'eau	Diagnostic pertes diagnostic Volumes	
Ignorance Pilotage	formation	
ignorance Fertigation	formation	
Smart agriculture	Quels outils Quels contextes	
Perméabilité des sols	Automatisme (pulsed irrigation)	

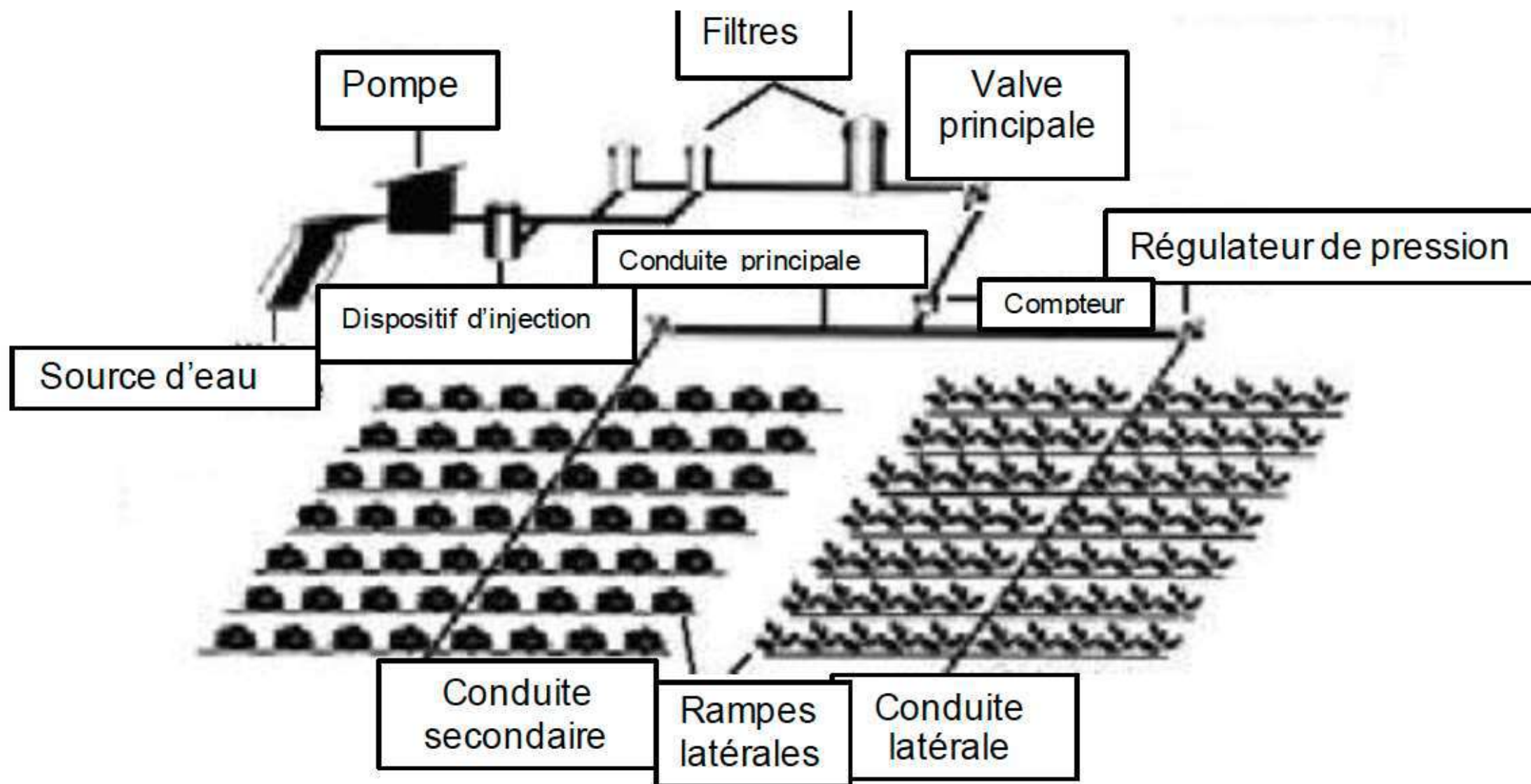


Figure : Dispositifs de sécurité d'un schéma d'irrigation goutte à goutte

