

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

GESTIÓN DEL RIEGO DEL MAIZ MEDIANTE EL METODO IRRINOV

.....

presentado por

IMANOL SINDE MARTINEZ (e)k

aurkeztua

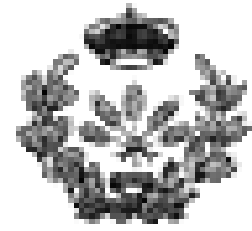
**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Julio del 2011 / 2011ko Uztailan

Índice

1. Introducción.....	3
1.1. Importancia del cultivo del maíz.....	3
1.2. Problemática actual ligada al maíz.....	5
1.3. Métodos precedentes al método IRRINOV.....	5
1.4. Objetivos	5
2. Material y métodos	6
2.1. Datos de campo	6
2.1.1. Presentación de la región de la Nièvre.....	6
2.1.1.1. Geografía de la región	6
2.1.1.2. La agricultura en el departamento.....	6
2.1.1.3. Climatología del departamento.....	9
2.1.1.4. Periodos meteorológicos de la campaña de riego.....	10
2.1.1.5. Geología del departamento.....	12
2.1.2. Localización de las parcelas	14
2.1.3. Características edafológicas de las parcelas.....	15
2.1.3.1. Suelo parcela de Mr. Vincent	15
2.1.3.2. Suelo parcela de Mr. Guédon	15
2.1.3.3. Suelo parcela de Mr. Robin.....	16
2.1.4. Características del riego en las parcelas	17
2.2. El método IRRINOV.....	17
2.2.1. Principios físicos aplicados al comportamiento hídrico del suelo.	17
2.2.1.1. Significado de la tensión hídrica del suelo.....	17
2.2.1.2. Reserva Útil (RU) y Reserva Fácilmente Utilizable (RFU).....	18
2.2.1.3. La evapotranspiración	18
2.2.2. Los fundamentos de la tensiometría.....	19
2.2.2.1. Relación tensión-reserva hídrica del suelo	19
2.2.2.2. Umbral de tensión.....	19
2.2.3. Puesta en práctica del método	20
2.2.3.1. Instalación de los tensiómetros.....	20
2.2.3.1.1. Material utilizado	20
2.2.3.1.2. La estación IRRINOV	21
2.2.3.1.3. Localización de los tensiómetros.	22
2.2.3.2. Seguimiento en campo de los estadios vegetativos.....	22
2.2.3.3. Reglas de decisión	22
2.2.3.3.1. Reglas de decisión para suelos arenosos	22
2.2.3.3.2. Reglas de decisión para suelos calizo-arcillosos.....	23
2.2.3.3.3. Reglas de decisión para suelos profundos.....	23

3. Resultados y discusión.....	25
3.1. Interpretación de los gráficos tensiométricos	25
3.2. Balance hídrico	27
3.3. Resultados parcela Mr. Vincent	28
3.3.1. Resultados tensiométricos	28
3.3.2. Resultados balance hídrico	34
3.3.3. Comparación de los resultados de los dos métodos	37
3.4. Resultados parcela Mr. Guédon	37
3.4.1. Resultados tensiométricos	37
3.4.2. Resultados balance hídrico	43
3.4.3. Comparación de los resultados de los dos métodos	45
3.5. Resultados parcela Mr. Robin	46
3.5.1. Resultados tensiométricos	46
3.5.2. Resultados balance hídrico	52
3.5.3. Comparación de los resultados de los dos métodos	54
4. Conclusiones.....	55
5. Bibliografía.....	56



CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

GESTION DEL RIEGO DEL MAIZ MEDIANTE EL METODO IRRINOV

IMANOL SINDE MARTINEZ

JULIO 2011

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Importancia del cultivo del maíz

El maíz es hoy en día uno de los tres cereales, junto con el trigo y el arroz, más importantes en cuanto a producción se refiere. Su rendimiento por hectárea es el más alto de todos los cereales, siendo el segundo cereal en producción total, aunque se encuentra por detrás de estos dos cereales en cuanto a superficie cultivada. El maíz es importante a nivel mundial ya que se utiliza tanto como para alimentación animal, en forma de grano o forraje, como para alimentación humana. Además, el maíz tiene la ventaja de tener un amplio espectro en cuanto a condiciones ambientales de cultivo se refiere, ya que puede cultivarse tanto en regiones frías como cálidas.

La superficie mundial de cultivo de maíz se situaba en el año 2009 en 159 millones de hectáreas (FAOstats, 2011) con una producción anual de 817 millones de toneladas. En Europa, la superficie cultivada del maíz, representa alrededor del 8.7% de la superficie mundial, con cerca de 14 millones de hectáreas; con respecto a la producción, esta es el 10% de la producción mundial con 84 millones de toneladas. Como se puede ver en la figura 1, la producción mundial de maíz se mantuvo más o menos constante entre el año 1999 y el 2002. En el año 2003 la producción creció un 6,2% para descender un poco hasta el año 2006, a partir del cual la producción creció un 14.3%. La superficie cultivada, por el contrario, no ha tenido un crecimiento significativo, si no que se ha mantenido constante durante los años (Figura 1).

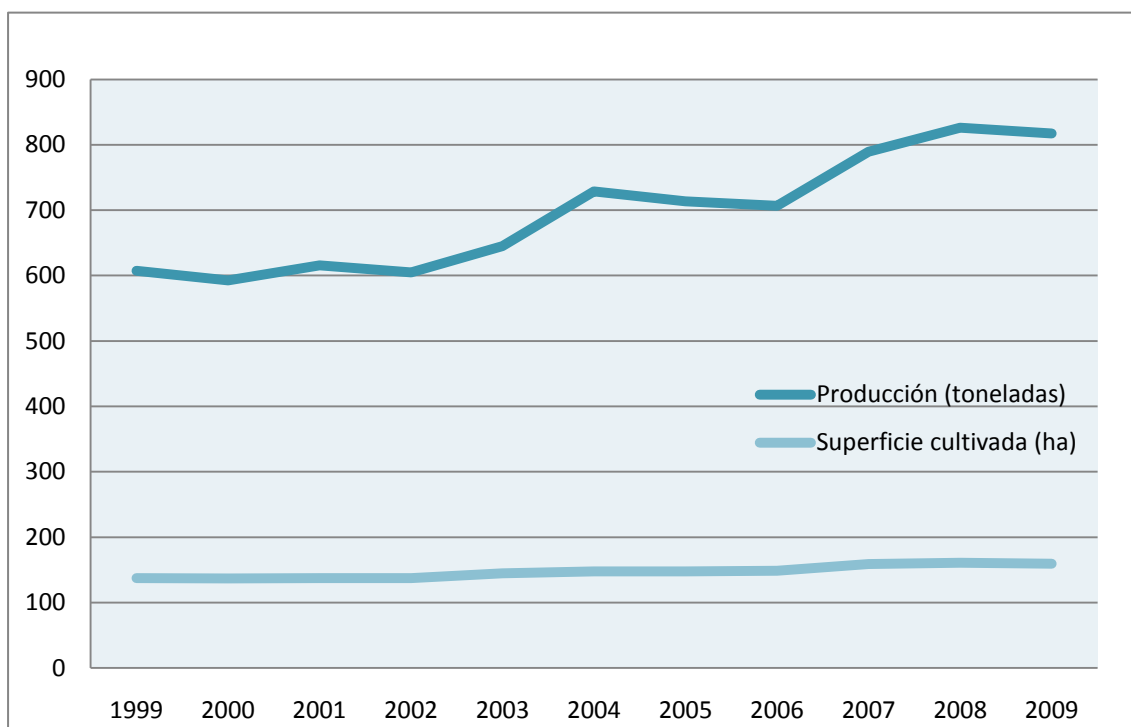


Figura 1 Evolución de la producción y de la superficie cultivada (unidades en millones). Fuente: FAOstats

Por otro lado, el precio del maíz ha venido registrando continuos aumentos desde el año 2005; según cifras del FMI, este ha crecido un 137% entre el año 2005 y el año 2008, es decir, una media de 34% por año. Esto ha sido así debido, en gran medida, a la disminución de las existencias mundiales de maíz y a pesar de los continuos aumentos de su producción. Las reservas mundiales de maíz han caído un 22,5% entre estos dos años, situándose en 102,9 millones de toneladas en el año 2008 (Figura 2).



Figura 2 Existencias mundiales de maíz. Fuente: Comité Ciudadano de Evaluación de Estadística Económica de Sinalca.

El precio de la tonelada de maíz ha ido creciendo desde el año 2005 hasta hoy en día, exceptuando una bajada de su precio en el año 2009. De todas maneras, se espera que durante este año su precio siga subiendo, debido, entre otras cosas, al ascenso del precio del petróleo (Figura 3).

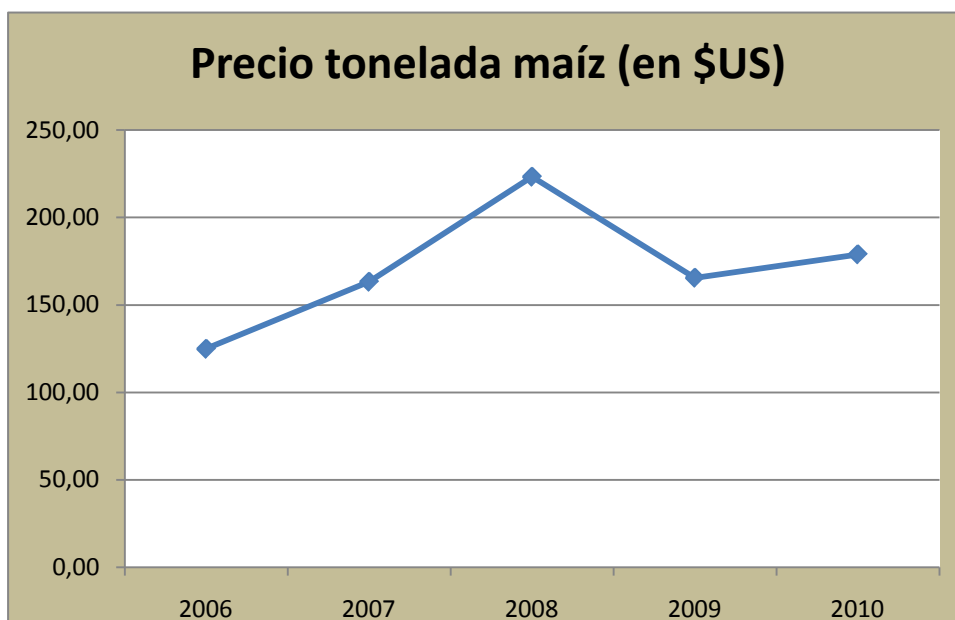


Figura 3 Evolución precio del maíz (en \$US/tn). Fuente: FAOstats

1.2 Problemática actual ligada al maíz

El maíz es un cultivo que, debido a su origen subtropical, requiere de buenas condiciones hídricas para su crecimiento óptimo; además, no tolera el frío, situándose su temperatura ideal para el crecimiento entre los 20 y 30°C. Por todo ello, se trata de un cultivo de verano, época en la cual, en las latitudes que nos conciernen, no se producen muchas precipitaciones, por lo que para su correcto crecimiento, es necesario hacer regarlo. La situación actual en la que nos encontramos, en la cual poco a poco los recursos hídricos son más difíciles de obtener, una correcta gestión de los mismo es muy necesaria.

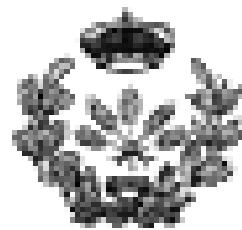
1.3 Precedentes del método IRRINOV

Además del método IRRINOV, han sido desarrollados varios modelos de simulación de cultivos. Según Fischer *et al.*, 2000; Hammer *et al.*, 2002; Hansen, 2002, un modelo de simulación de cultivos es una representación matemática de los procesos de crecimiento de la planta, en los cuales influyen las interacciones entre el genotipo, el ambiente y el manejo de los cultivos. Como ejemplos de estos modelos tenemos el Hybrid Maize, desarrollado en la Universidad de Nebraska (Yang *et al.*, 2004), CERES-Maize (Jones y Kiniry, 1986; Kiniry *et al.*, 1997; Lizaso *et al.*, 2003b) y, en Francia, el STICS (Brisson *et al.*, 2003) y MODERATO (Bergez *et al.*, 2001a). La diferencia de todos estos modelos con respecto al IRRINOV, es que, este último, no pretende gestionar el riego en base a una simulación del cultivo, si no en base al seguimiento del contenido hídrico del suelo durante el ciclo del mismo.

1.4 Objetivos

Hacer una revisión del método IRRINOV, mediante su seguimiento durante el verano de 2010 en la región francesa de la Nièvre, para ver su posible introducción y utilización en Navarra.

Optimizar el riego del maíz al máximo para una gestión del agua más ecológica.



CAPÍTULO II – MATERIAL Y METODOS

**GESTION DEL RIEGO DEL MAIZ MEDIANTE EL METODO
IRRINOV**

IMANOL SINDE MARTINEZ

JULIO 2011

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Datos de campo

En el apartado material y métodos se van a analizar las parcelas, localizarlas y describir el clima, las condiciones edáficas, la variedad de maíz y el tipo de riego.

Además, se va a hacer una introducción general de diversas características de la región, tales como la geografía, la climatología y la geología.

2.1.1 Presentación de la región de la Nièvre

2.1.1.1 Geografía de la región



Figura 4 Mapa del departamento de la Nièvre

Capital	Nevers
Superficie	6.817 km ²
Población	221.448 habitantes
Densidad	32,5 habitantes/km ²

2.1.1.2 La agricultura en el departamento.

1. Evolución de la agricultura

El número de explotaciones agrícolas va en descenso desde los años 70 y es a partir del año 1988 cuando este descenso se hace más pronunciado, de las 6.418 explotaciones que había en ese año, se ha pasado a un total de 4.368 explotaciones en el año 2000. Actualmente, el sector primario en el departamento representa un 6.9 % de la población activa

Las explotaciones que eran rentables hace 20 años, con SAU sobre 70-80 has, han sido obligadas a abandonar la agricultura o a expandirse para hacer frente a las

condiciones económicas: aumento de los costes de producción, bajada de los precios de venta... Los agricultores que han deseado aumentar su superficie de explotación han recuperado las parcelas de aquellos que han tenido que abandonar. El censo agrícola del año 2000 muestra que el número de explotaciones de más de 150 has ha pasado de 441 en 1988 a 795 en el año 2000. De manera general, la SAU del departamento ha ido disminuyendo progresivamente desde hace más de 10 años. En el año 2004, por ejemplo, la SAU departamental estaba en 394.899 has, es decir, el 58 % de la superficie del departamento, y en el año 2010, la SAU había disminuido hasta 370.000 has, el 54 % del total.

2. Diversidad de la agricultura

La repartición de las actividades agrícolas en el departamento se organiza según la morfología y la hidrología de las principales zonas geográficas.

En la parte montañosa al este del departamento, el “Morvan”, la ganadería

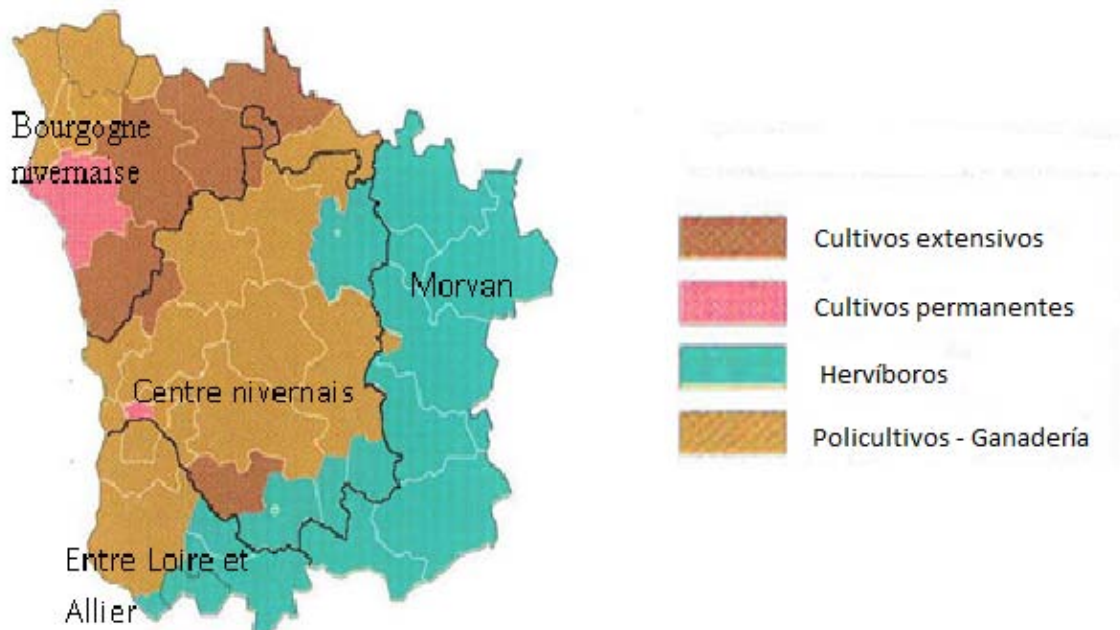


Figura 5 Repartición de las actividades agrícolas en el departamento

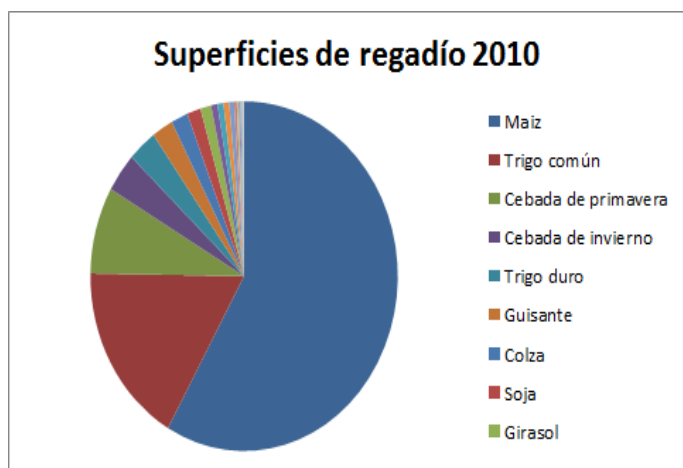
extensiva es la actividad predominante. El sur de la región, la zona denominada “Entre Loire et Allier”, constituye una llanura de poca altitud. Allí, las capas de acompañamiento de los dos cursos fluviales, los ríos Loira y Allier, afloran a la superficie y las tierras pueden ser inundadas incluso hasta los meses de abril y mayo. Por ello, la actividad agrícola ha estado por mucho tiempo limitada a la ganadería. Hoy en día, gracias al drenaje, han aparecido más explotaciones y los sistemas de producción actuales son de tipo policultural o mixtos. La zona de la “Bourgogne Nivernaise”, esto es, el norte de la región, es una llanura donde los sistemas de explotación son mixtos o cultivos extensivos. La viticultura también está presente, aunque su presencia es un poco marginal. En el centro del departamento encontramos caracteres morfológicos variados, valles boscosos, llanuras secundarias o terciarias, crestas abruptas. En esta zona encontramos sistemas mixtos o policulturales.

3. El maíz en el departamento

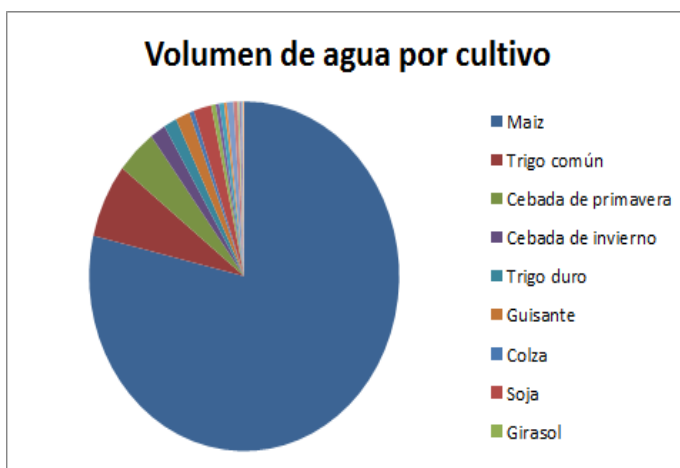
A pesar de un cierto declive, la ganadería sigue siendo la actividad agrícola predominante en el departamento, especialmente la ganadería lechera. En efecto, el 51 % del total de la SAU departamental corresponde a las praderas temporales. Después tenemos el trigo con un 14 % de la SAU, la cebada (de invierno y primavera) y la colza, que representan, las dos, el 7% de la SAU.

El maíz grano está en el quinto puesto, con una superficie de alrededor de 7.300 has, esto es, el 2 % de la SAU.

El cultivo del maíz apareció en el departamento al final de los años 50, una vez que las variedades creadas por el INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) fueron adaptadas a las condiciones de la región. Los rendimientos se acercaban, en aquellos años, a los 9000 kg/ha, en suelos profundos y en los años húmedos. En los años más secos, los rendimientos caían hasta los 2000-3000 kg/ha. La llegada del riego permitió asegurar los rendimientos y, hoy en día, el maíz ocupa la primera plaza de los cultivos de regadío en la Nièvre.



Gráfica 1 Repartición de las superficies regadas en el departamento



Gráfica 2 Repartición de los volúmenes de agua usada por cultivo

Como se puede ver en las gráficas, más del 50 % de las superficie regada y del 75 % del volumen de agua usado se deben al cultivo del maíz. Después se encuentran el trigo y la cebada, que consumen el 10 % del agua total y ocupan el 25 % de la superficie de regadío del departamento.

Entre el año 2001 y el 2010, el número de regantes ha ido disminuyendo progresivamente pasando de 122 regantes en el 2001 a los 107 regantes de la última campaña, lo que significa una disminución 12.3 %. Por su parte, la superficie regada aumentó en un 60 % hasta el año 2004, pasando de 5244 ha hasta 8620. A partir de ese año, la superficie regada empezó a disminuir hasta llegar a las 6676 ha actuales.

Muchos de los que riegan mediante cañones de riego siguen haciendo rotaciones entre las diferentes parcelas regadas. Según las posibilidades de las explotaciones, las rotaciones son de tipo maíz – trigo o maíz – maíz – trigo – guisante. Por su parte, los que han optado por un sistema de pivot, normalmente optan por monocultivo de maíz

En las parcelas de regadío, los rendimientos pueden estar entre 1000 y 1300 kg/ha, dependiendo del tipo de suelo, las prácticas culturales y si hay o no restricciones en la toma de agua.

2.1.1.3 Climatología del departamento

La climatología del departamento es de tipo oceánico. Gracias a un relieve poco accidentado, el clima es bastante homogéneo en toda su superficie, exceptuando la parte este del departamento, el Morvan, el cual debido a un relieve un poco más accidentado, presenta diferencias con respecto al resto del departamento, siendo una región con un clima más húmedo y más fresco.

Como se puede observar, las temperaturas medias más bajas en la región se encuentran alrededor de los 0°C, nunca bajando por debajo de ellos; por el contrario, las temperaturas medias más altas, se encuentran alrededor de los 25°C.

Las precipitaciones anuales medias son de 800 mm, siendo los meses más lluviosos mayo y los meses otoñales.

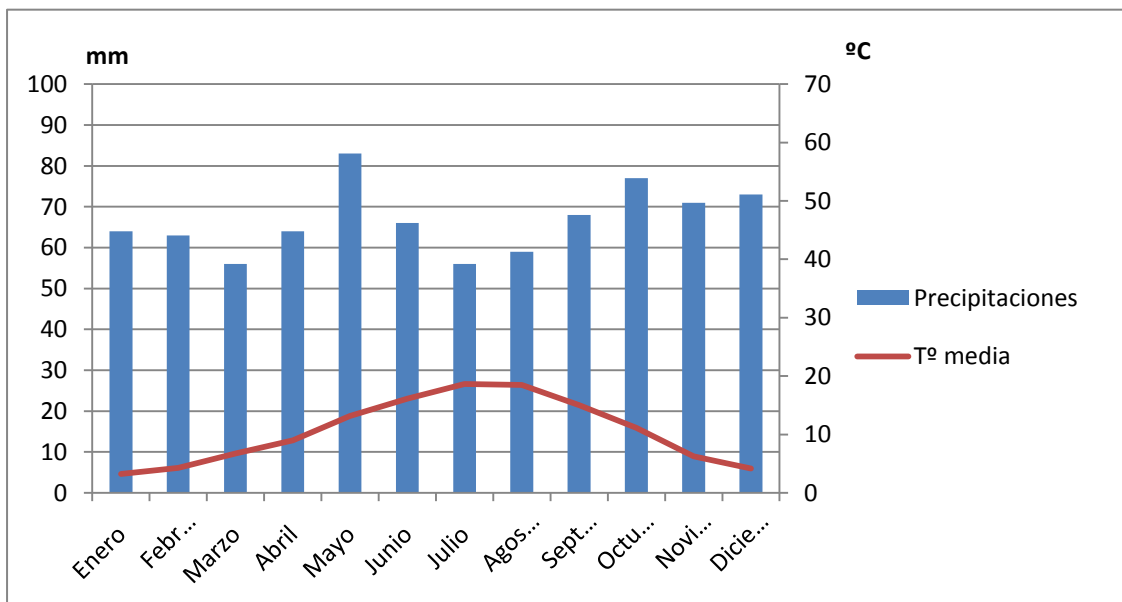


Figura 6 Climatograma con los datos de la estación climatológica de Nevers-Marzy. Fuente: Meteo France

2.1.1.4 Periodos meteorológicos de la campaña de riego del maíz (Junio-Septiembre 2010)

La campaña de riego del maíz del año 2010 se ha caracterizado por los periodos expuestos en la siguiente tabla:

Periodos	Duración (días)	Precipitaciones medias diarias	Grados-día, en base 6 - 30°C
del 1 ^{er} al 18 junio	18	3,7 mm/día - lluvioso	11 - fresco
del 19 al 21 junio	3	1 mm/día - poco lluvioso	6 - muy fresco
del 22 al 25 junio	4	0 mm/día - seco	10 - fresco a caluroso
del 26 junio al 16 juillet	19	0,5 mm/día - muy poco lluvioso	16 - muy caluroso
del 17 juillet al 10 août	25	0,5 mm/día - muy poco lluvioso	12 - bastante fresco
del 11 al 19 août	8	2 mm/día - lluvioso	11 - fresco
del 20 al 27 août	9	3 mm/día - lluvioso	14 - caluroso
del 28 août al 5 sept.	9	2 mm/día - seco	9 - fresco
del 6 al 12 sept.	7	2,5 mm/día - lluvioso	11 - suave
del 13 al 21 sept.	9	0,5 mm/día - muy poco lluvioso	7 - muy fresco
del 22 al 24 sept.	3	10 mm/día - muy lluvioso	11 - suave
del 25 sept. al 1 oct.	7	0,5 mm/día - muy poco lluvioso	5 - muy fresco
del 2 al 4 oct.	4	2 mm/día - lluvioso	11 - suave

Tabla 1 Secuencias meteorológicas. Fuente: Chambre d'Agriculture de la Nièvre

Esta campaña se ha caracterizado por cuatro eventos principales:

- Un periodo canicular entre el 25 de junio y el 15 de julio.
- Un periodo muy lluvioso y fresco entre el 15 de julio y el 10 de agosto.
- Un periodo de 10 días muy lluvioso y muy fresco entre el 10 y el 20 de agosto, seguido por otro periodo de 10 días lluvioso y cálido.
- Un mes de septiembre bastante fresco, con 3 periodos lluviosos y frescos alternándose con otros 3 periodos frescos y secos.

Durante el mes de junio, las temperaturas medias diarias pasaron de 16°C a 22°C. A continuación, estas se han mantenido altas desde el 25 de junio hasta el 15 de julio, a partir de cuando las temperaturas han comenzado a oscilar entre 18°C y 22°C hasta el fin de agosto. En el mes de septiembre, las temperaturas han comenzado a bajar paulatinamente hasta los 10°C, aunque esta bajada de temperaturas ha estado interrumpida por tres secuencias climatológicas con temperaturas suaves (18°C) (Figura 7).

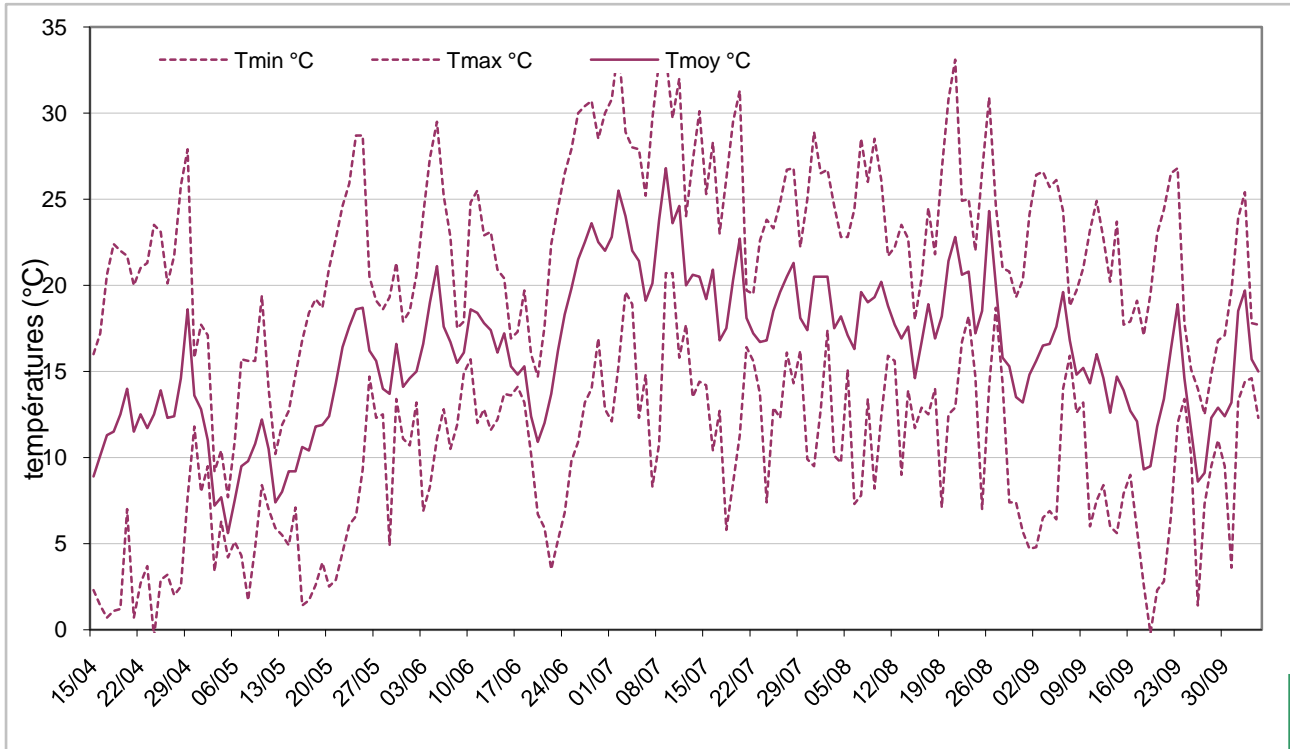


Figura 7 Evolución de las temperaturas durante la campaña de riego del 2010. Fuente: Meteo France

En cuanto a las precipitaciones, cabe destacar diversos periodos. En la época de plantación, alrededor de la segunda semana de abril, las precipitaciones fueron mínimas, lo cual no afecta al maíz, ya que las necesidades hídricas de este en las primeras fases de su ciclo son bajas. Después, durante la primera quincena del mes de mayo, tenemos un periodo bastante húmedo coincidente con la fase de 4-5 hojas desarrolladas en la planta. A partir de esta fase, las necesidades hídricas del maíz comienzan a aumentar, por lo que estas lluvias vinieron bastante bien al cultivo. Más tarde, entre el fin del mes de mayo y el fin del mes de junio, se produjeron una serie de lluvias que ayudaron a mantener el suelo recargado de agua. Luego entramos, a principios del mes de julio, en un periodo seco y caluroso, coincidente con la fase del cultivo cuyas necesidades hídricas son máximas, la floración. Por ello, en vista de la ausencia de precipitaciones, se dio comienzo a la campaña de riegos. A partir de aquí, se fueron sucediendo periodos secos y lluviosos a partes iguales hasta el fin de la campaña de riego, que se situó alrededor de principios de septiembre (Figura 8).

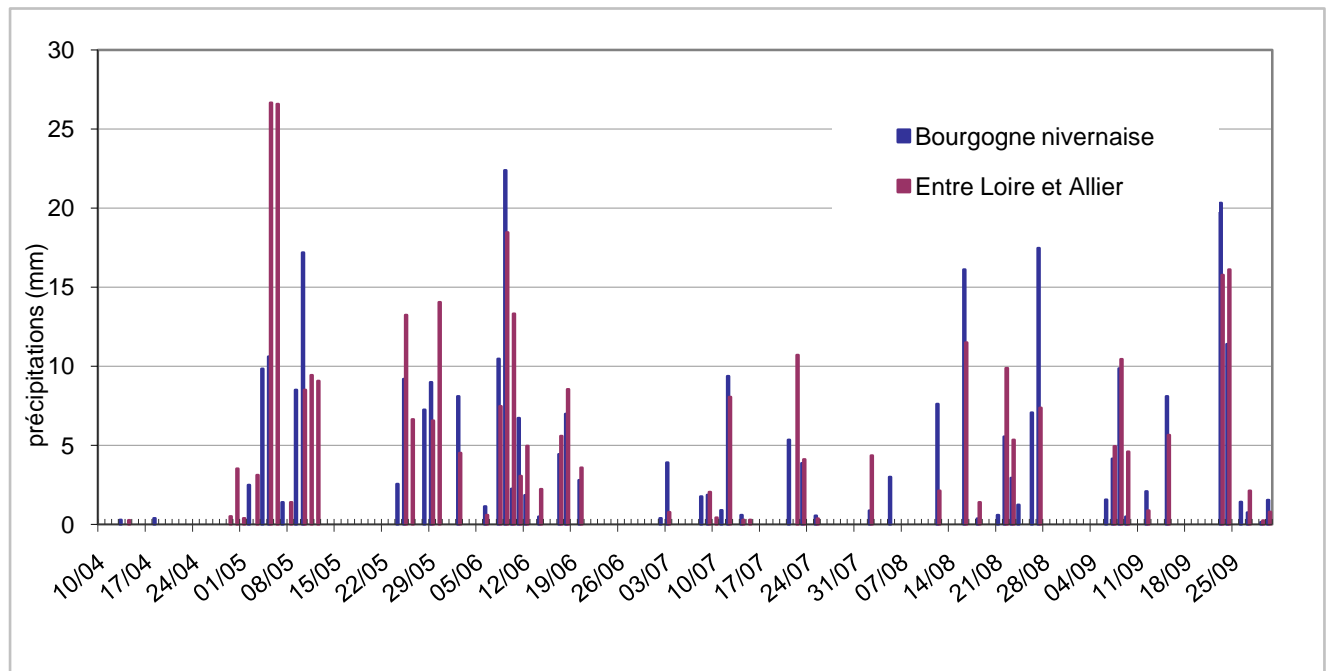


Figura 8 Histograma de precipitaciones durante la campaña de riego del 2010. Fuente: Chambre d’agriculture de la Nièvre.

2.1.1.5 Geología del departamento

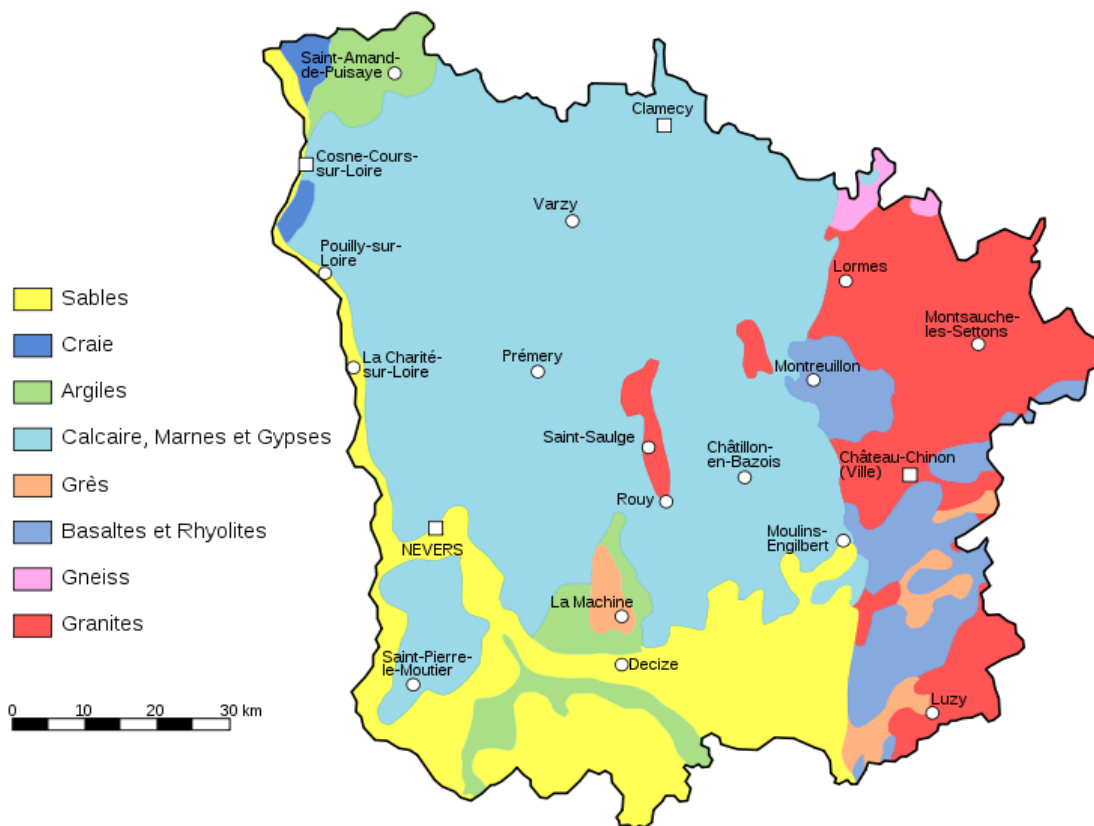


Figura 9 Mapa geológico de la Nièvre

El departamento de la Nièvre está situado dentro de las formaciones geológicas del sur-este de la cuenca parisina. Presenta una gran variedad de paisajes, directamente ligados a su formación geológica:

- El Loira y el Allier con sus capas aluviales.
- La zona de La Puisaye, en el norte del departamento, con sus arcillas y arenas.
- La zona del “Bazois” con su arenisca.
- El centro del departamento, claramente calizo.

En el este encontramos las tierras del “Morvan”, con un estrato geológico granítico-cristalino que da lugar a una zona de media montaña y principalmente boscosa. Hacia el oeste encontramos primero la depresión del “Bazois”, con un estrato de arcilla y marga que propicia la presencia de praderas; y después se encuentra la zona denominada “Bourgogne Nivernaise”, con un substrato de calizas heterogéneas, base de una gran variedad de paisajes, que van desde pequeños valles arbolados a las llanuras y laderas vitícolas para terminar en la zona que hay entre los ríos Loira y Allier. Al sur del departamento, se encuentra la zona denominada “Entre Loire et Allier”, caracterizada por llanuras de arenas y arcillas. Es en estas dos últimas zonas, “Bourgogne Nivernaise” y “Entre Loire et Allier” donde se encuentran casi la totalidad de la superficie regada del departamento (Figura 9).

2.1.2 Localización de las parcelas

La red de tensiómetros que sigue la evolución del riego de los cultivos está instalada en un total de 16 parcelas de la región de la Nièvre, en Francia, pero para este trabajo se han tomado como referencia 3 parcelas. A continuación, se muestra el mapa del departamento con la totalidad de las parcelas de la red de tensiómetros (Figura 10).

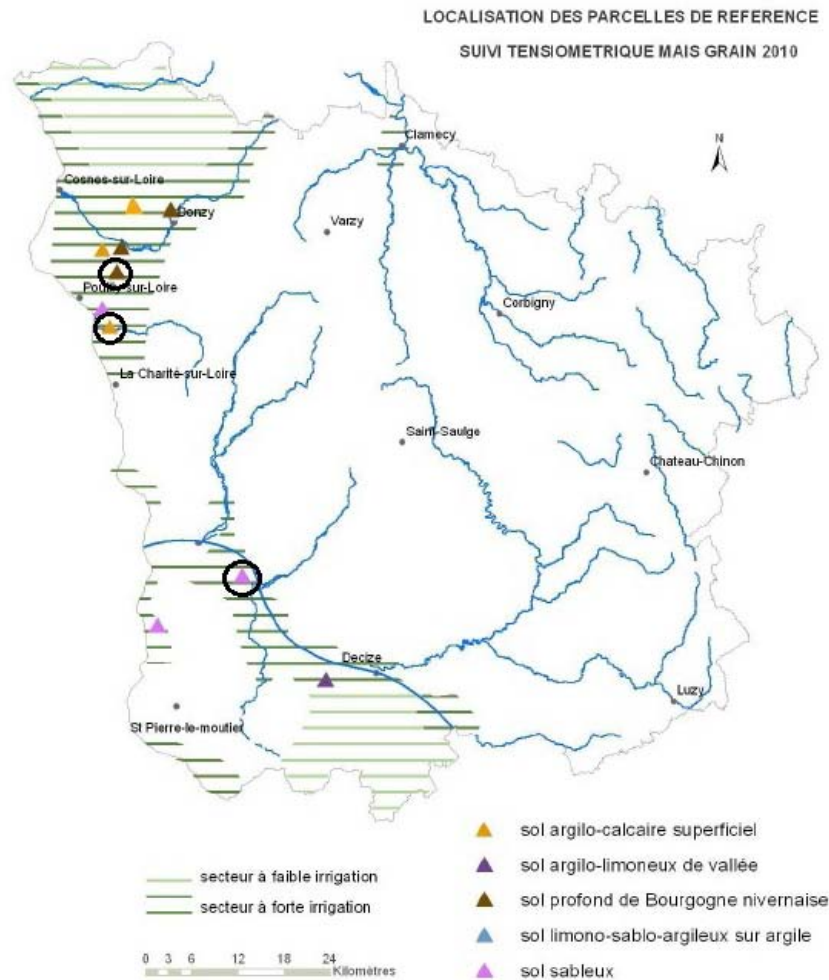


Figura 10 Localización parcelas de referencia

Los lugares marcados con un círculo son las tres estaciones de referencia antes mencionadas.

2.1.3 Características edafológicas de las parcelas

2.1.3.1 Suelo parcela de Mr. Vincent

Se trata de una parcela con un suelo arenoso, propio de su situación, ya que se encuentra al borde del río Loira, en una zona donde se produce una importante acumulación de arena. Es un suelo bastante superficial, donde las raíces no alcanzan nunca más de 30 cm de profundidad. Por ello, se trata de un suelo con poca capacidad de almacenamiento de agua. En esta parcela, se ha colocado solamente un grupo de 3 tensiómetros a 30 cm de profundidad. A continuación se muestra una imagen cartográfica de la situación de la parcela (Figura 11).

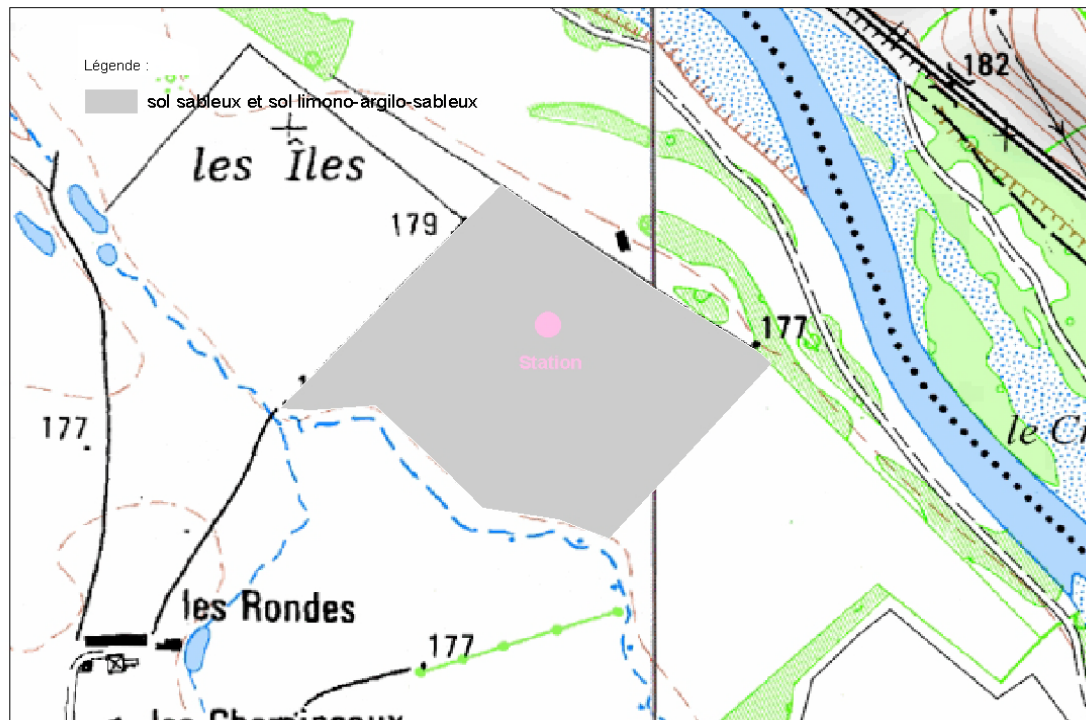


Figura 11 Mapa del suelo de la parcela de Mr. Vincent

2.1.3.2 Suelo parcela de Mr. Guédon

En esta parcela, tenemos un suelo de tipo calizo-arcilloso, de poca profundidad, alrededor de 30 cm, ya que encontramos enseguida la roca caliza que da nombre al suelo. Este suelo es típico de la región. Como sucede en la anterior parcela, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo no es muy grande, alrededor de 30mm. Debido a la superficialidad del suelo, sólo se instalaron tensiómetros a 30 cm de profundidad (Figura 12).

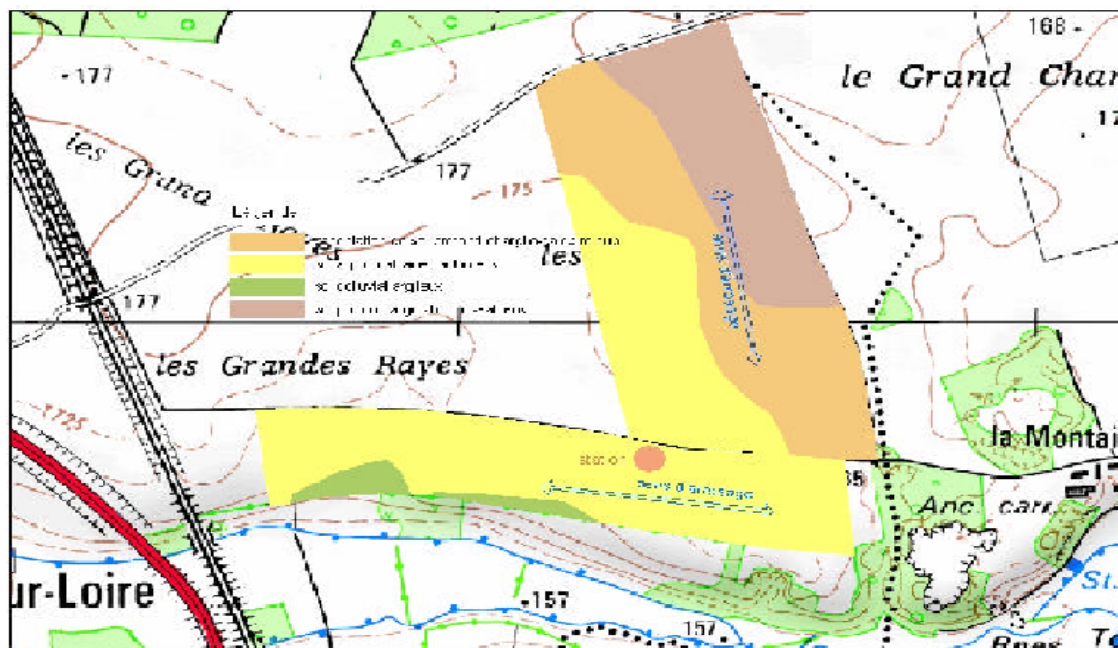


Figura 12 Mapa del suelo de la parcela de Mr. Guédon

2.1.3.3 Suelo parcela de Mr. Robin

El suelo de la tercera parcela es un suelo de tipo profundo y textura de tipo arcillo-limoso. Es otro suelo típico de la región, denominado suelo de “Bourgogne Nivernaise”. Este suelo, a diferencia de los otros, es colonizado en sus tres horizontes, 0-30cm, 30-60 cm y 60cm- 90 cm, por las raíces del cultivo. La capacidad de retención de agua de este suelo es bastante más grande que la de los anteriores suelos, siendo esta del orden de 85 mm. Aquí se han instalado 9 tensiómetros en total, 3 grupos de 3 tensiómetros cada uno, instalándose a 30, 60 y 85 cm de profundidad (Figura 13).

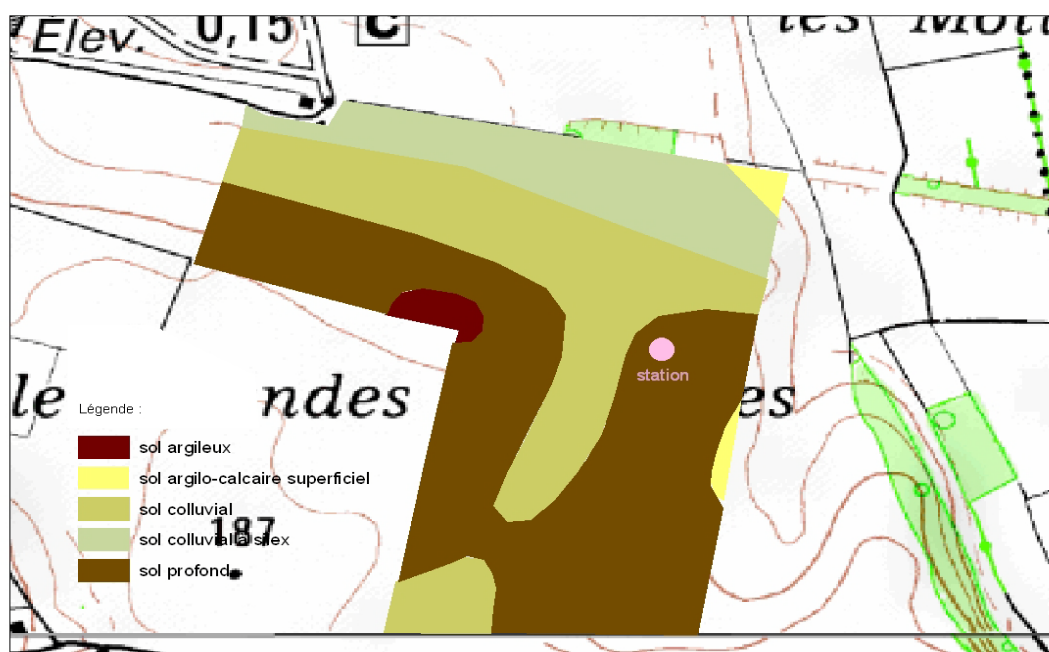


Figura 13 Carta de suelo de la parcela de Mr. Robin

2.1.4 Características del riego de las parcelas

	Material de riego	Duración del riego	Dosis media	Dosis diaria
Mr. Vincent	Pivot	4 días	20 mm	5 mm
Mr. Guédon	Cañón de riego	8 días	30 mm	3.75 mm
Mr. Robin	Cañón de riego	8 días	35 mm	4,375 mm

2.2 El método IRRINOV

2.2.1 Principios físicos aplicados al comportamiento hídrico del suelo

Normalmente, las partículas de agua que están en el suelo están expuestas a tres fuerzas que les permiten moverse. Estas fuerzas son:

1. Las fuerzas de succión de las raíces.
2. La fuerza de la gravedad.
3. Las fuerzas de atracción de las partículas del suelo.

Cada una de estas fuerzas tiene un sentido, una intensidad y una dirección característicos. Dependiendo de la predominancia de una fuerza u otra, el agua se desplazará en un sentido u otro. Así:

- Si la fuerza de la gravedad es más importante que las otras dos, el agua tenderá a percolar.
- En otro caso, si las fuerzas de atracción del suelo son las más importantes, el desplazamiento del agua en el suelo será controlado por este último.
- Y, por último, si las fuerzas de succión son las más fuertes, el agua se dirigirá hacia la planta.

2.2.1.1 Significado de la tensión hídrica en el suelo

El movimiento del agua en el suelo le confiere determinada energía potencial, que se puede descomponer en dos potenciales, el potencial matricial, relacionado con la absorción de agua por capilaridad, y el potencial gravitatorio. El método IRRINOV está basado en la medida de este potencial matricial, el negativo del cual es llamado *tensión*. Cuando la tensión tiene un valor, próximo de cero, el potencial matricial es despreciable con respecto al potencial gravitatorio, y el suelo se encuentra en vía de secarse. El fenómeno de percolación del agua acaba cuando las fuerzas ejercidas por las partículas del suelo y por las raíces compensan la fuerza de la gravedad; suponemos, entonces, que el potencial gravitatorio pasa a ser despreciable con respecto a las otras dos fuerzas. Para que el agua pueda ser absorbida por las raíces, las fuerzas de succión de las raíces tendrán que ser más fuertes que las fuerzas de atracción del suelo. Así, la medida de la tensión en un suelo no saturado nos indica directamente la fuerza de succión que la raíz debe ejercer para extraer el agua del suelo.

suelo suficiente para que la planta no entre en stress hídrico, por lo que, supondremos que, debido al riego, la ETR es igual a la ETM.

2.2.2 Los fundamentos de la tensiometría

La tensión que medimos en el suelo, nos indica la dificultad que tiene una planta para captar el agua del suelo. En este apartado veremos las cuestiones teóricas que nos permitirán comprender mejor estos valores de tensión.

2.2.2.1 Relación tensión-reserva hídrica del suelo

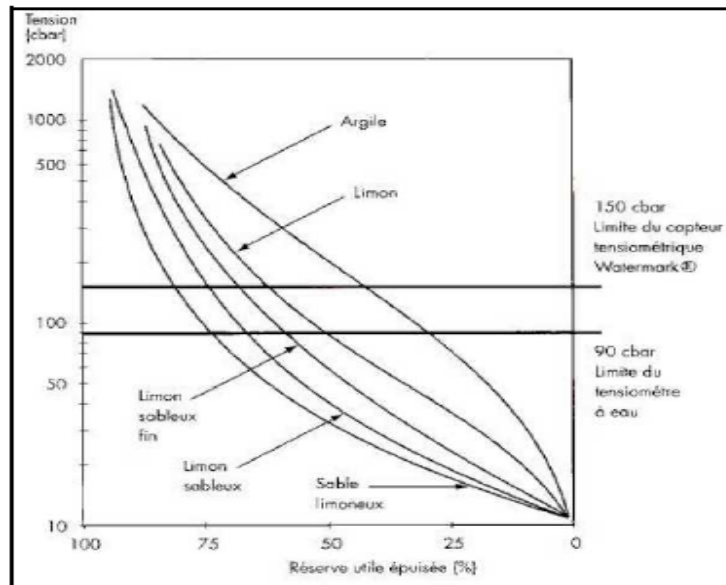


Figura 14 Relación entre la reserva hídrica del suelo y la tensión. Fuente: la tensiometrie pour piloter les irrigations

Dependiendo de las características del suelo, la tensión medida no indica siempre el mismo nivel del consumo hídrico del suelo, es decir, la RU agotada varía según la naturaleza del suelo. Así, por ejemplo, cuando se mide una tensión de 90 cbar, se observa que cerca del 75% de la RU de un suelo arcilloso está agotada, mientras que en un suelo arcilloso, solamente está agotado alrededor de un 25 % de la RU (Figura 14).

2.2.2.2 Umbral de tensión

A partir de un determinado valor tensiométrico, la tendencia de las curvas se vuelve exponencial, es decir, según la RU del suelo va disminuyendo, la tensión aumenta de forma más rápida, lo que nos indica un descenso repentino de la disponibilidad hídrica para la planta. Por ello, si un agricultor riega el total de su parcela en 6 días, habrá que fijar una tensión umbral que no hay que sobrepasar antes de que el riego vuelva a la primera posición.

Además, a medida que la planta va creciendo, lo hace a su vez su sistema radical, que va conquistando el terreno más profundo e incorporando así más horizontes que contribuyen en la alimentación hídrica de la planta. Por ello, la tensión umbral también varía en función del estado vegetativo del cultivo, siendo mayor cuanto más desarrollado esté el cultivo.

Por ello, la tensión umbral es la tensión que se establece para cada parcela y que se utiliza para determinar el inicio del riego. Depende del cultivo, del estado vegetativo del mismo, de las características del suelo, de la duración del riego de la parcela y de las condiciones climáticas.

2.2.3 Puesta en práctica del método

Una vez decidido el uso de este método para la gestión del riego, se procederá a la instalación de la estación de medidas, según se indica en los apartados siguientes.

2.2.3.1 Instalación de los tensiómetros

Cuando se decide utilizar la tensiometría para la gestión del riego de un cultivo, estamos añadiendo, a los problemas ligados a errores de medida, diversos errores ligados al medio en el cual las fuentes de heterogeneidad son múltiples. Así, encontramos la heterogeneidad del suelo, la heterogeneidad de la de la repartición del agua de riego en la parcela y, por último, la heterogeneidad del cultivo. Por ello, se encuentra indispensable el multiplicar los puntos de recogida de las mediciones con un material no excesivamente caro, antes que elegir los aparatos más caros haciendo las mediciones solamente en un punto.

Por ello, los aparatos que midan la tensión deben satisfacer las siguientes cuestiones:

- el coste debe ser abordable.
- Los aparatos deben ser resistentes, tienen que resistir los problemas ligados a una utilización normal de ellos, así como los problemas ligados a una estancia prolongada en el exterior.
- deben ser simples a la vez que precisos.

2.2.3.1.1 Material utilizado

Los aparatos utilizados en este trabajo han sido unos tensiómetros de la marca Watermark. Estos tensiómetros están compuestos por dos partes diferentes, el sensor que se sitúa en contacto con el suelo y una caja de toma de muestras. Esta caja es móvil, lo que permite la lectura de diferentes tensiómetros. De todas maneras, en este trabajo, cada estación tenía su propia caja, por lo que estas estuvieron inmóviles durante toda la campaña.

El sensor está constituido por una envoltura exterior de acero que protege la envoltura permeable al agua que se sitúa por debajo de ella. Esta envoltura de acero está perforada de manera que se tenga una buena superficie de contacto con el suelo. En el interior del sensor encontramos dos cámaras rellenas con una sustancia hidrófila y separadas por una barrera de yeso; además, la cámara superior contiene dos electrodos.

El sensor se prolonga superiormente por un tubo de plástico de entre 30 y 90 cm, dentro del cual se encuentran dos cables eléctricos que salen desde el sensor hasta el exterior.

El funcionamiento de estos tensiómetros es el siguiente: cuando el sensor está en contacto por el suelo, la tensión entre el suelo y el interior del sensor se equilibra. El yeso satura el agua en sulfato de calcio, permitiendo que la medida de la tensión no dependa de la salinidad del agua. Pero la medida de la tensión sí depende de la temperatura del suelo, por lo que siempre se instalará un termómetro en el suelo para medir la temperatura.

En verdad, lo que se mide es la resistividad eléctrica del medio, la cual presenta una relación casi lineal con la cantidad de agua contenida en el interior del sensor. Pero, esta cantidad de agua es un reflejo de la tensión del agua en el suelo porque la cantidad de agua en el sensor es tal que las fuerzas de tensión en el interior y en el exterior del sensor son iguales.

2.2.3.1.2 La estación IRRINOV

El sitio de toma de medidas, que llamaremos “Estación IRRINOV”, está compuesta por:

- Diversos tensiómetros. Dependiendo del tipo de suelo, el número de tensiómetros variará, aunque generalmente variará entre 4-6 tensiómetros.
- Un pluviómetro para medir las precipitaciones y las cantidades de agua aportadas por el riego.
- Un termómetro para medir la temperatura ambiente.
- Un termómetro para medir la temperatura del suelo.

Esta estación deberá estar situada en una zona representativa del suelo de la parcela. Por ejemplo, si se colocase en una parte de la parcela cuyo suelo tiene poca RU, entonces, las tensiones aumentarían muy rápidamente, por lo que se tomará la decisión de hacer riegos frecuentes. Así, si tenemos colocada esta estación en el suelo con poca RU, mientras que el suelo representativo de la parcela tiene una buena RU, entonces el cultivo de la parcela está sobre-regado.

También tiene que estar situada en una zona representativa de la situación hídrica de la parcela. Si el riego se realiza mediante un cañón de riego, entonces la estación deberá estar situada a más de 60 metros del chasis del mismo y a más de 20 metros (pueden ser 10) del paso del cañón (Figura 16). Si, por el contrario, se realiza el riego mediante un pívot, entonces la estación tendrá que estar situada en el centro del lateral del pívot (Figura 15).

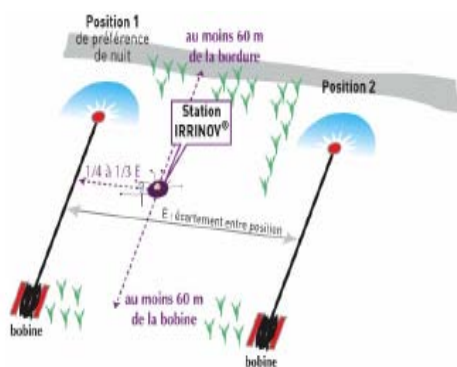


Figura 15 Posición estación en riego con cañón.
Fuente: ARVALIS



Figura 16 Posición estación en riego mediante pívot. Fuente: ARVALIS

2.2.3.1.3 Localización de los tensiómetros

A la hora de instalar los tensiómetros, se debe hacer siempre en grupos de tres y, preferiblemente, a tres profundidades distintas, 30 cm, 60 cm y 90 cm. Se elige este número debido a que las tensiones son bastante variables entre los tensiómetros de los diferentes grupos, debido al enraizamiento más o menos denso, a la textura o la estructura del suelo en los emplazamientos.

Los tensiómetros deben ser instalados a 20 cm del pie del maíz, y espaciados entre ellos la misma distancia. Además, la zona de instalación de los tensiómetros debe ser representativa del cultivo, es decir, la densidad del cultivo media, estado vegetativo representativo de la parcela... Por fin, los diferentes grupos de tensiómetros tienen que ser instalados en líneas de cultivo diferentes, en caso de que se produjera un incidente, por ejemplo, una enfermedad.

2.2.3.2 Seguimiento en campo de los estadios vegetativos

Hay tres estadios vegetativos que se toman como referencia para la gestión del riego por medio de IRRINOV:

- Estadio de 10 hojas: se alcanza cuando la décima hoja es visible en, al menos, el 50% de los pies de maíz. Este estadio se toma como referencia a la hora de iniciar la campaña de riego, ya que se aconseja esperar a este estadio antes de hacer el primer riego. Una vez el estadio es alcanzado, hay que vigilar la evolución de las tensiones para determinar la fecha exacta del inicio de la campaña.
- Estadio floración femenina: se alcanza cuando se observan los estigmas de la flor femenina en, al menos, el 50% de los pies de maíz. Este es un estado crítico, ya que cualquier stress hídrico sería muy perjudicial para el rendimiento de la planta.
- Estadio "50% Humedad del Grano (H.G): se toma como referencia para determinar la finalización de la campaña de riego.

2.2.3.3 Reglas de decisión

Las reglas de decisión se utilizan para determinar el inicio y el fin de la campaña de riego, el número de días entre riegos y el retorno del riego tras una lluvia. Estas reglas dependerán de las características del suelo de cada parcela.

2.2.3.3.1 Reglas de decisión para suelos arenosos

En nuestro suelo de textura arenosa, el inicio de la campaña de riego se realizará cuando 2 de los 3 tensiómetros de cada grupo sobrepase 100 cb de tensión. Este umbral de tensión se mantendrá fijo hasta el final de campaña.

Si no se producen precipitaciones, se harán aportes de 20 mm cada 4 días. Si, por el contrario, se producen precipitaciones, entonces hay tres casos:

- Si son inferiores a 10 mm: continuar y terminar el turno de riego.
- Si se encuentran entre 10 y 20 mm: interrumpir el turno de riego un día por cada 5 mm de lluvia, luego continuar y terminar el turno de riego.
- Si son superiores a 20 mm: interrumpir el riego y comenzar de nuevo una vez los tensiómetros han alcanzado el umbral de 100 cb.

A la hora de decidir el último riego, se tendrán en cuenta los estadios vegetativos, las tensiones del suelo en ese momento y las previsiones meteorológicas. Así, encontramos 4 casos según la humedad del grano:

- Humedad del grano a más de 50 %: la campaña de riego no ha terminado todavía, hay que seguir regando según el umbral de tensión antes expuesto.
- Humedad del grano cercana a 50%: si las tensiones son cercanas o superiores a 100 cb, entonces hay que continuar regando. Si, por el contrario, las tensiones son inferiores a 100 cb hay que volver a verificar las tensiones a los 4-5 días para decidir.
- Humedad del grano inferior a 50%: hay que seguir la evolución de las tensiones, si estas alcanzan el valor umbral en los 6 días siguientes hay que hacer un último riego pero con un aporte algo inferior al normal.
- Humedad del grano inferior a 45%: la campaña de riego ha terminado.

2.2.3.3.2 Reglas de decisión para suelos calizo-arcillosos

En este caso, el inicio de campaña se realizará cuando 2 de los 3 tensiómetros de cada grupo haya alcanzado 70 cb. de presión. Este umbral se mantendrá hasta el final de la campaña.

Si hay ausencia de precipitaciones, entonces se harán aportes de 30 mm cada 8 días. En caso contrario, se procederá igual que en la situación anterior.

A la hora de decidir el último riego, se procederá del mismo modo que para el caso de un suelo arenoso.

2.2.3.3.3 Reglas de decisión para suelos arcillosos profundos

En el caso de un suelo profundo, es algo más complejo, ya que hay más horizontes que contribuyen a la alimentación hídrica de la planta. Los umbrales de tensión para estos suelos, dependiendo de los estadios vegetativos son los siguientes:

Estadio vegetativo	Tensiómetros a 30cm	Tensiómetros a 60 cm	Tensiómetros a 90 cm
De 10 a 13 hojas	90 cb	-	-
De 13 hasta la última hoja	90 cb	30 cb	--
De la última hoja a +7 días después de floración femenina	90 cb	50 cb	-
De +7 a +21 días después de la floración femenina	90 cb	70 cb	30 cb
De +21 días después de la floración femenina hasta 50% H.G.	90cb	90 cb	80 cb

Los valores en rojo son los valores umbral, los que, si son alcanzados, nos indican la pertinencia de regar. Por su parte, los valores de tensión a 30 cm, son los valores que se aconseja no sobrepasar; mientras que los valores a 90 cm, son indicativos, nos permiten seguir la evolución de las raíces en el suelo y verificar la contribución de este horizonte en la alimentación hídrica de la planta.

A partir de que las raíces van colonizando horizontes más profundos, las tensiones a 30 y 60 cm evolucionan de forma similar. Por ello, el riego se produce cuando la suma de las tensiones a 30 y 60 cm alcanza la suma de los valores umbrales correspondientes.

Ejemplo: durante la floración femenina, el total de los umbrales es de 140 cb.

- Caso 1: 80 cb a 30 cm y 60 cb a 60 cm.

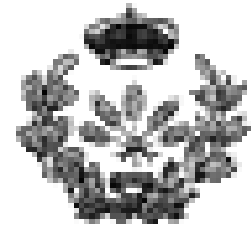
- Caso 2: 70 cb a 30 y 60cm.

La dosis y frecuencia de riego, en el caso de no producirse ninguna precipitación, son de 35 mm cada 8 días. En caso de lluvia:

- Si son inferiores a 10 mm: continuar y terminar el turno de riego.
- Entre 10 y 40 mm: interrumpir el turno de riego un día por cada 4 mm de lluvia, luego continuar y terminar el turno de riego.
- Superiores a 40 mm: interrumpir el riego y recomenzarlo cuando los valores de tensión a 30 y 60 cm hayan alcanzado los valores umbral.

Por último, para decidir la fecha del último riego, también se tendrán en cuenta el estado vegetativo, las tensiones y las previsiones meteorológicas, pero, a diferencia de las situaciones anteriores, sólo se dan tres casos:

- Humedad del grano a más de 50 %: la campaña de riego no ha terminado todavía, hay que seguir regando cuando las tensiones alcancen los umbrales de tensión antes expuestos.
- Humedad del grano cercana a 50%: si las tensiones son cercanas o superiores a los valores umbral, entonces hay que continuar regando. Si, por el contrario, las tensiones son inferiores hay que volver a verificar las tensiones a los 4-5 días para tomar la decisión.
- Humedad del grano inferior a 50%: la campaña de riego ha terminado.



CAPÍTULO III – RESULTADOS Y DISCUSION

**GESTION DEL RIEGO DEL MAIZ MEDIANTE EL METODO
IRRINOV**

IMANOL SINDE MARTINEZ

JULIO 2011

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Interpretación de los gráficos tensiométricos

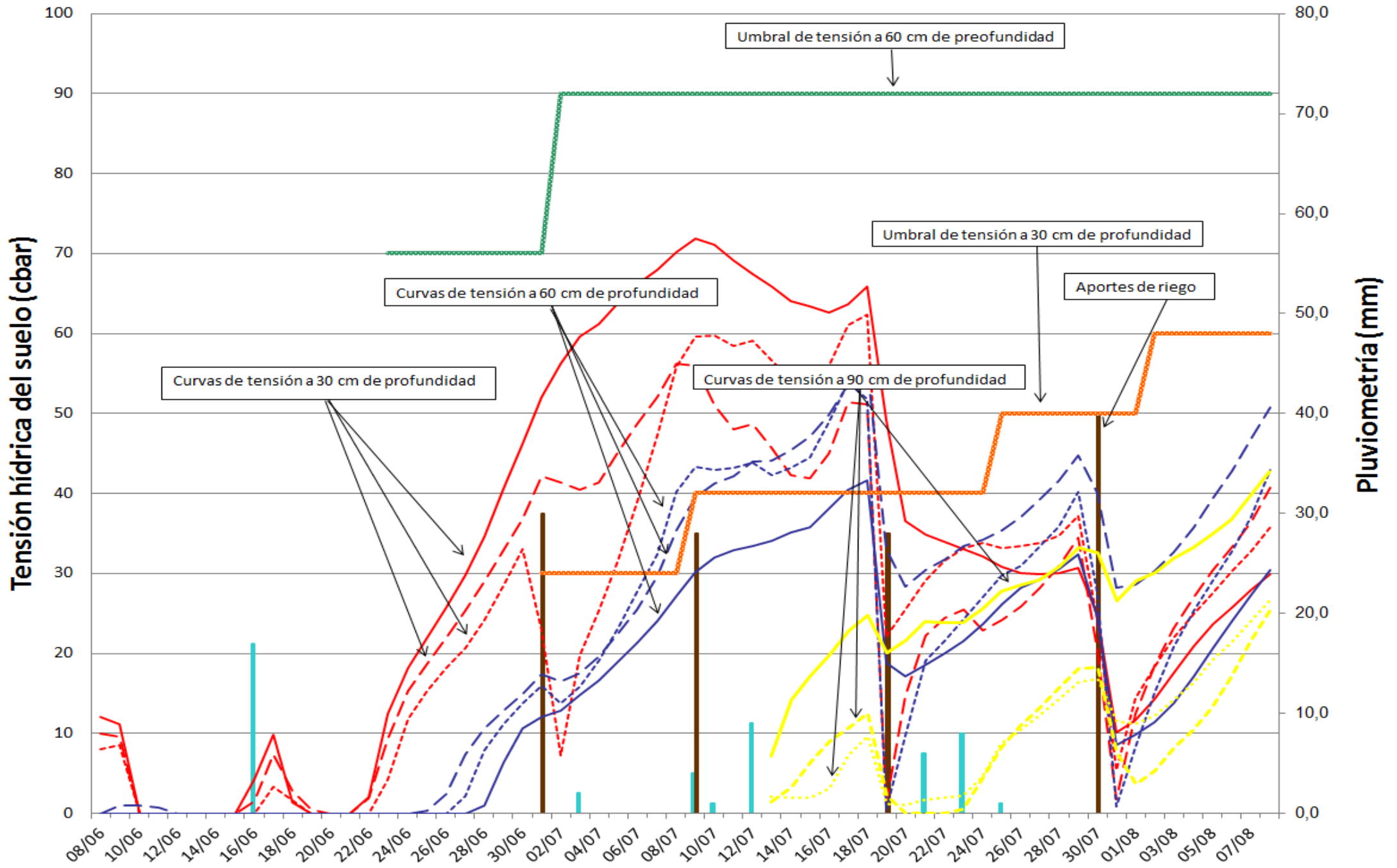
Los gráficos tensiométricos, realizados a partir de los datos obtenidos en la red de tensiómetros que se encuentran instalados en las parcelas, sirven para dos cosas: 1) ver la evolución de las raíces en el suelo, 2) ver la evolución de la cantidad de agua en el suelo.



En primer lugar, estos gráficos nos permiten seguir la evolución del enraizamiento del cultivo; para ello, solamente hay que tener instalados diversos tensiómetros a distintas profundidades del suelo. Al principio del ciclo, las curvas pertenecientes a estos tensiómetros, no mostrarán una evolución, serán líneas rectas. Pero cuando se vea que estas curvas comienzan a ascender, significa que las raíces han alcanzado esa profundidad. Esto es así debido a que un ascenso de las curvas significa un descenso de la cantidad de agua, por lo que se deduce que las raíces han comenzado a consumir agua en esa profundidad. Además, si tenemos que las raíces de la planta se encuentran a diferentes profundidades y las curvas evolucionan de manera que algunas aumentan más que otras, significa que las raíces toman el agua preferentemente de la profundidad en la cual la curva aumenta más.

Por otro lado, los gráficos también nos informan sobre la eficiencia de los riegos. Así, estudiando la manera de evolucionar de las curvas podemos deducir si el suelo ha sido re-alimentado por el riego o no. Además, también podemos inferir a partir de las curvas si existe lixiviación. Cuando las curvas tienden a disminuir es debido a que el agua ha llegado a su nivel. En el caso de la curva de mayor profundidad, sus tensiómetros han sido, teóricamente, situados en la óptima profundidad de enraizamiento. Por ello, si las curvas de tensión de este nivel disminuyen, es debido a que una parte del agua se pierde por lixiviación, ya que las raíces no se han desarrollado lo suficiente como para consumir toda el agua que les llega.

En cuanto a la interpretación de los valores tensiométricos, hay que decir que un nivel de 0 cb significa que el suelo está saturado en ese momento. Si la tensión está entre 0 y 15 cb quiere decir que el agua es fácilmente utilizable por la planta. Por el contrario, si la tensión sobre pasa en algún momento los valores umbral, significa que la planta puede comenzar a sufrir de stress hídrico, lo que podría suponer pérdidas en el rendimiento del cultivo, si no se revierte la situación mediante la aplicación de un riego.

Además de todo esto, los gráficos nos permiten de ver, a posteriori, si la campaña de riego ha sido bien dirigida, sobre todo en lo que respecta a las dosis y frecuencias de riego.



Riego (mm) Sonda sup. 1 Sonda sup. 2 Sonda sup. 3 Umbral tensión superficie Sonda inter. 4 Sonda inter. 5 Sonda inter. 6 Umbral tensión intermedia Sonda prof. 7 Sonda prof. 8 Sonda prof. 9

3.2 El balance hídrico

Cálculo del balance hídrico para los casos estudiados:

1) Fórmula general del balance:

El balance hídrico puede ser una herramienta válida a la hora de calcular las necesidades hídricas del cultivo, ya que es posible saber la evolución de la reserva de agua que se encuentra en el suelo y que está disponible para la planta. Además, puede ser una herramienta complementaria para el método IRRINOV.

La fórmula del balance hídrico es la siguiente:

$$D + R + P - ETP + \Delta S + I = 0$$

De donde:

- D = Drenaje
- R = Escorrentía
- P = Precipitaciones
- $ETR = k_c \cdot ETP$
- ETP = Evapotranspiración
- $\Delta S =$ Variación del stock hídrico en el suelo ($S_n - S_{n-1}$)
- I = Aportes de riego

La fórmula anterior es una fórmula general, pero se dan situaciones específicas en las que esta varía. En nuestro caso, los aportes de agua de riego se supone que no implican pérdidas por lixiviación, por lo que este término se puede obviar de la fórmula.

Además, algunos de los parámetros de la fórmula están limitados. Por ejemplo, dentro del parámetro “Variación del stock hídrico” encontramos que el Stock hídrico del suelo en el momento n (“ S_n ”) nunca puede ser mayor que la RU (Reserva útil), ya que la RU es el volumen máximo de agua que un suelo puede contener. Y, por el otro lado, este Stock hídrico tampoco puede ser menor que 0. Por lo que, tenemos que: $0 < S_n < RU$.

2) Reserva Útil (RU) y ETP

Los valores más difíciles de calcular son los de la RU y la ETP. Para el segundo de ellos, se ha optado por tomarlos de la red de meteorología francesa *Météo France*, la cual calcula la ETP diaria mediante la fórmula de *Penman-Monteith*. El cálculo se hace a partir de unos parámetros ya conocidos (temperatura mínima y máxima, velocidad media del viento, insolación, radiación solar, tensión de vapor), tomados de los valores de las cinco estaciones climatológicas más próximas.

Por otro lado, los valores de la RU no se pueden encontrar en ningún lugar, ya que para su cálculo se necesitan unos parámetros que dependen de diversos factores, como son, el tipo de textura del suelo de la parcela y el tipo de cultivo. Los parámetros necesarios para el cálculo de la RU son los siguientes:

1. *Profundidad de las raíces:* La profundidad de enraizamiento de una planta varía según el tipo de textura del suelo y evoluciona según el estado vegetativo de la planta. Es difícil saber exactamente a qué

profundidad se encuentran las raíces en un día preciso, pero gracias a diversas fosas realizadas en las parcelas, se comprobó que las raíces crecían a un ritmo de alrededor de 5 centímetros de media por hoja, siendo la evolución de las raíces lineal. Además, dependiendo de las características de cada suelo, la profundidad de las raíces tiene un límite, siendo en nuestro caso de 30 cm en los suelos de la parcela de M. Vincent y de M. Guédon y de 90 cm en la parcela de M. Robin.

2. *Cantidad de agua volumétrica:* Esta cantidad ha sido calculada mediante los valores teóricos de agua volumétrica obtenidos en laboratorio con diferentes potenciales. Así, se tuvo en cuenta el potencial $Pf_{4,2}$ para el punto de marchitamiento y $Pf_{2,0}$ para la capacidad de campo. La cantidad de agua volumétrica es, por tanto, la diferencia de las cantidades volumétricas teóricas. De todas maneras, estas capacidades están calculadas para un suelo sin tener en consideración los elementos gruesos, por lo que, se ha procedido a rebajar esta cantidad en relación a la cantidad de elementos gruesos presentes en cada suelo.

3) *Cálculo del stock hídrico del suelo:*

El balance hídrico se empezó a calcular en diferentes fechas para los casos, aunque se hicieron coincidir con la fecha en la que se desarrolló la cuarta hoja. El stock inicial del suelo se supuso que era el mismo que el de la RU ya que las condiciones climáticas en esas fechas, con lluvias frecuentes, además de unas plantas que todavía no consumían mucha agua, permitía una buena recarga hídrica del suelo.

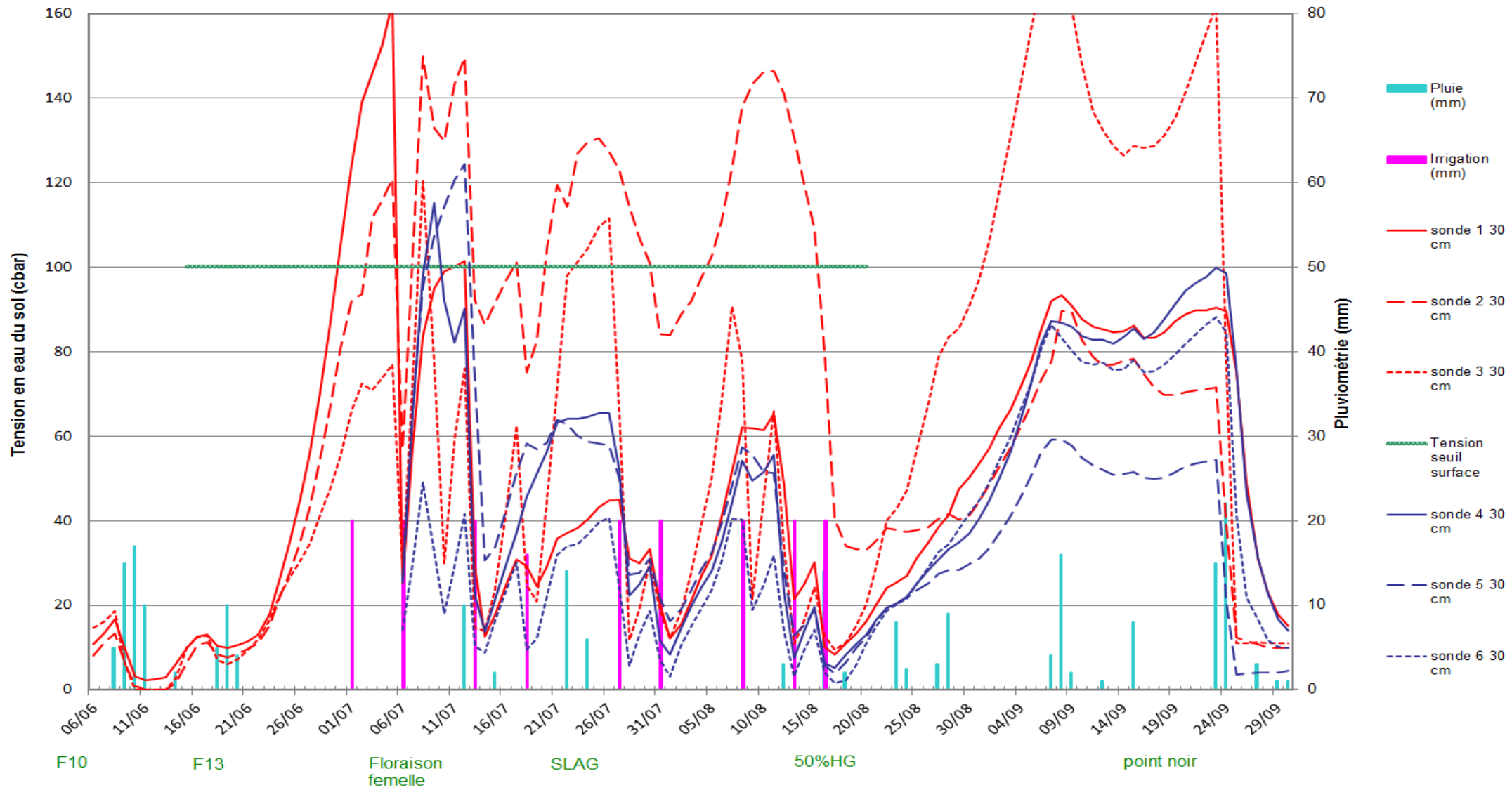
El cálculo del stock hídrico para los días siguientes al primer día, se hizo mediante la suposición de que el suelo es alimentado por las lluvias y los aportes de riego. Como se ha dicho anteriormente, se ha considerado la escorrentía superficial como nula para nuestros casos, así que las únicas pérdidas que tenemos en estos casos es el de las pérdidas por evapotranspiración y drenaje. También se consideró que el stock hídrico evolucionaba de igual modo que lo hacía la RU por el hecho del crecimiento de la densidad radicular.

3.3 Resultados parcela Mr. Vincent

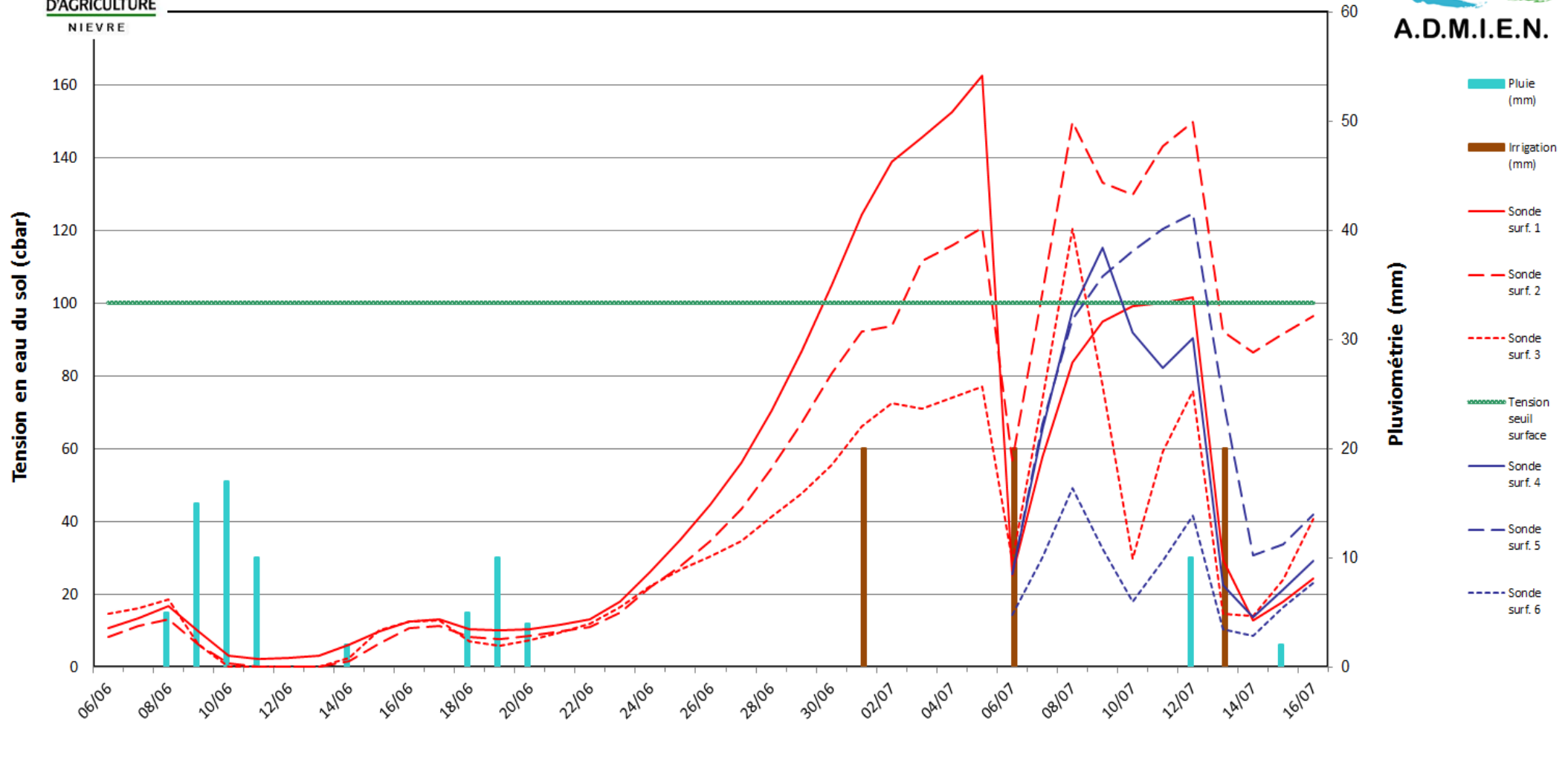
Vamos a comenzar a presentar y analizar los resultados de la primera parcela. Cabe recordar que se trata de la parcela cuyo suelo era de textura arenosa y no profundo. Se van a analizar los resultados obtenidos del seguimiento del contenido hídrico del suelo mediante el método IRRINOV, además de presentar un balance hídrico del mismo periodo para verificar si los resultados obtenidos por el método son aceptables.

3.3.1 Resultados tensiométricos

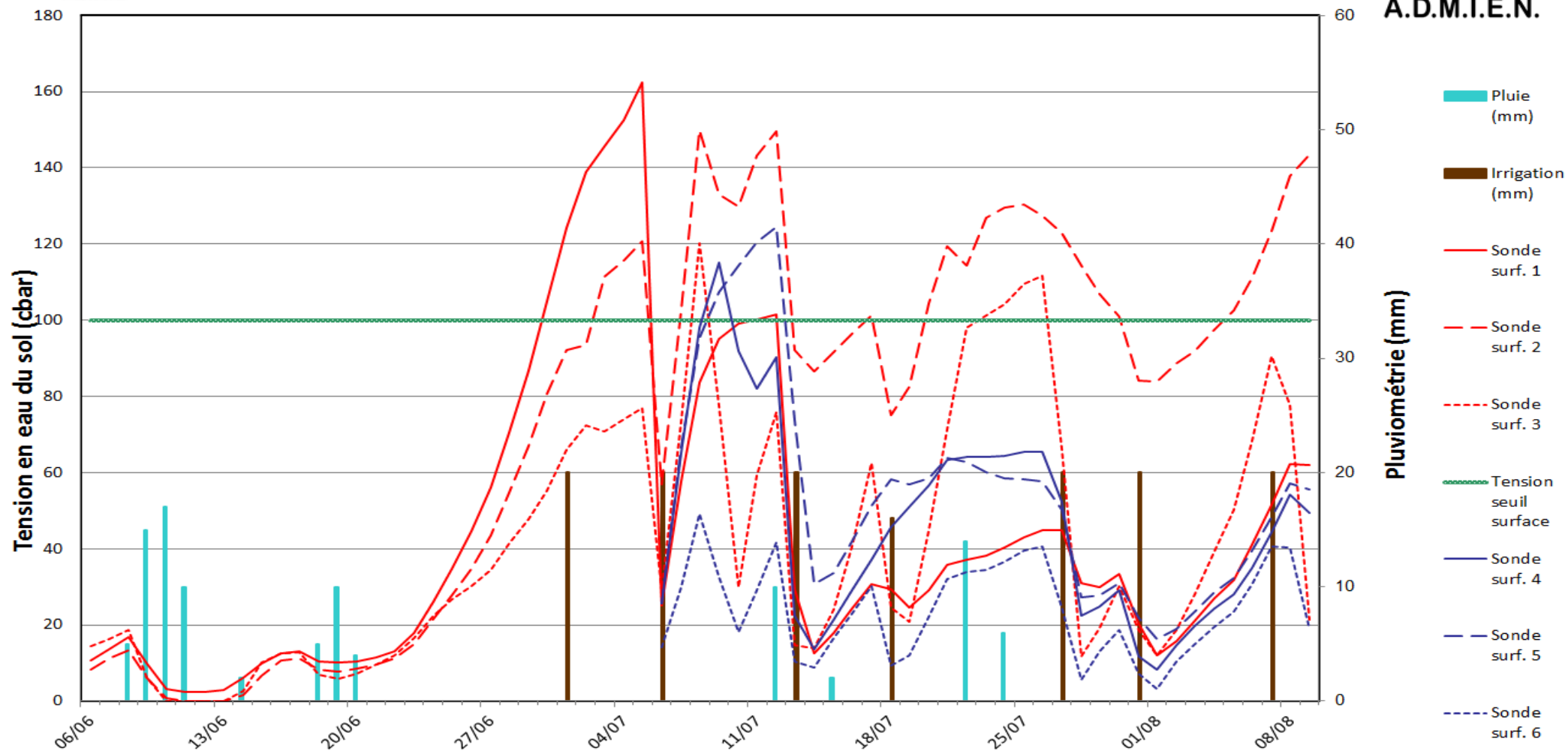
Primero empezaremos con los resultados tensiométricos mediante la presentación de una gráfica que muestra la evolución de las tensiones durante la campaña de riego (Gráfica 3).



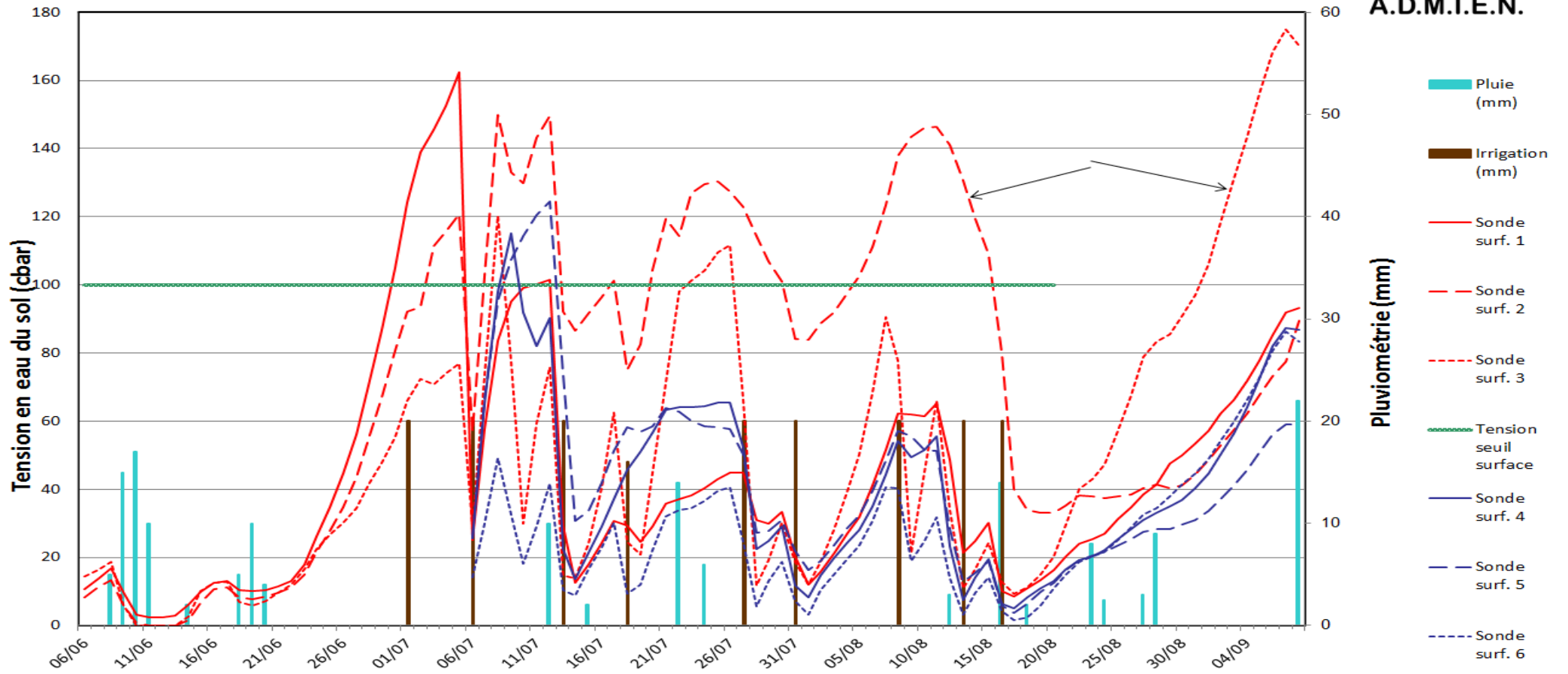
Gráfica 3 Evolución de la tensión durante la campaña de riego en la parcela de Mr. Vincent. Fuente: Chambre d'agriculture



Gráfica 4 Evolución de la tensión hídrica entre el 06/06 y el 17/07 en la parcela de Mr. Vincent. Fuente: Chambre d'Agriculture



Gráfica 5 Evolución de la tensión hídrica entre el 06/06 y el 10/08 en la parcela de Mr. Vincent. Fuente: Chambre d'Agriculture



Gráfica 6 Evolución de la tensión hídrica entre el 06/06 y el 09/09 en la parcela de Mr. Vincent. Fuente: Chambre d'Agriculture

Se ha procedido a dividir la gráfica 3 en otras tres gráficas, correspondientes a distintos periodos de la campaña de riego, con el objetivo de hacer más fácil la lectura y comprensión de la misma.

Mediante la observación de la gráfica 4 se puede observar lo siguiente:

- A partir de la instalación de los tensiómetros y hasta alrededor del día 24 de junio, el cultivo estaba en un periodo de confort hídrico. Debido a las lluvias continuas que se produjeron durante el mes de junio, el horizonte de superficie estuvo en fase de resecamiento, valores de tensiometría por debajo de 20 cb, con algún periodo de saturación, 3 días entre el 10/06 y el 13/06.
- A finales de junio, coincidiendo con la época seca y calurosa, el cultivo comienza a extraer el agua del suelo y las tensiones aumentan rápidamente, a una velocidad media de 8.4 cb/día hasta el 30/06.
- En vista de la evolución de las tensiones y de la meteorología, se extendió un informe al agricultor con la recomendación de regar el 30 de junio. Se regó finalmente el 1 de julio, pero no fue suficiente para disminuir el aumento de las tensiones, por lo que estas sobrepasaron el umbral de 100 cb.
- El 6 de julio se instaló nuevo grupo de tensiómetros, con lo que la precisión de las medidas aumentó. Así, se puede comprobar que el riego de ese día, 06/07, no surtió efecto, ya que no fue suficiente para contrarrestar las condiciones meteorológicas de ausencia de lluvias y altas temperaturas.
- Observando la gráfica se ve que la lluvia que el agricultor anotó el día 12 de julio tuvo que ser antes, ya que se observa un puntual descenso de la curvas de tensión alrededor del día 9. Hay que destacar que la anotación de los días de lluvia y riego lo hace el propio agricultor, de ahí que haya una diferencia entre los datos de tensión y los días de lluvia o riego.
- Se programó un tercer riego para el días 13 de julio, ya que las tensiones estaban sobrepasando las tensiones umbral. Este riego fue capaz, gracias a las condiciones meteorológicas frescas, de disminuir las tensiones y mantenerlas relativamente bajas, lo cual no fueron capaces los dos anteriores debido a la meteorología.
- Cabe observar un extraño comportamiento del tensiómetro 1 hasta el segundo riego, lo cual pudo haber sido debido a una entrada de aire en el tensiómetro. A partir del 2º riego, este tensiómetro vuelve a comportarse normalmente.
- Se observa el inicio del mal funcionamiento del tensiómetro 2, que durará, como se observará más adelante, hasta el día 15 de agosto.

De la gráfica 5 se observa lo siguiente:

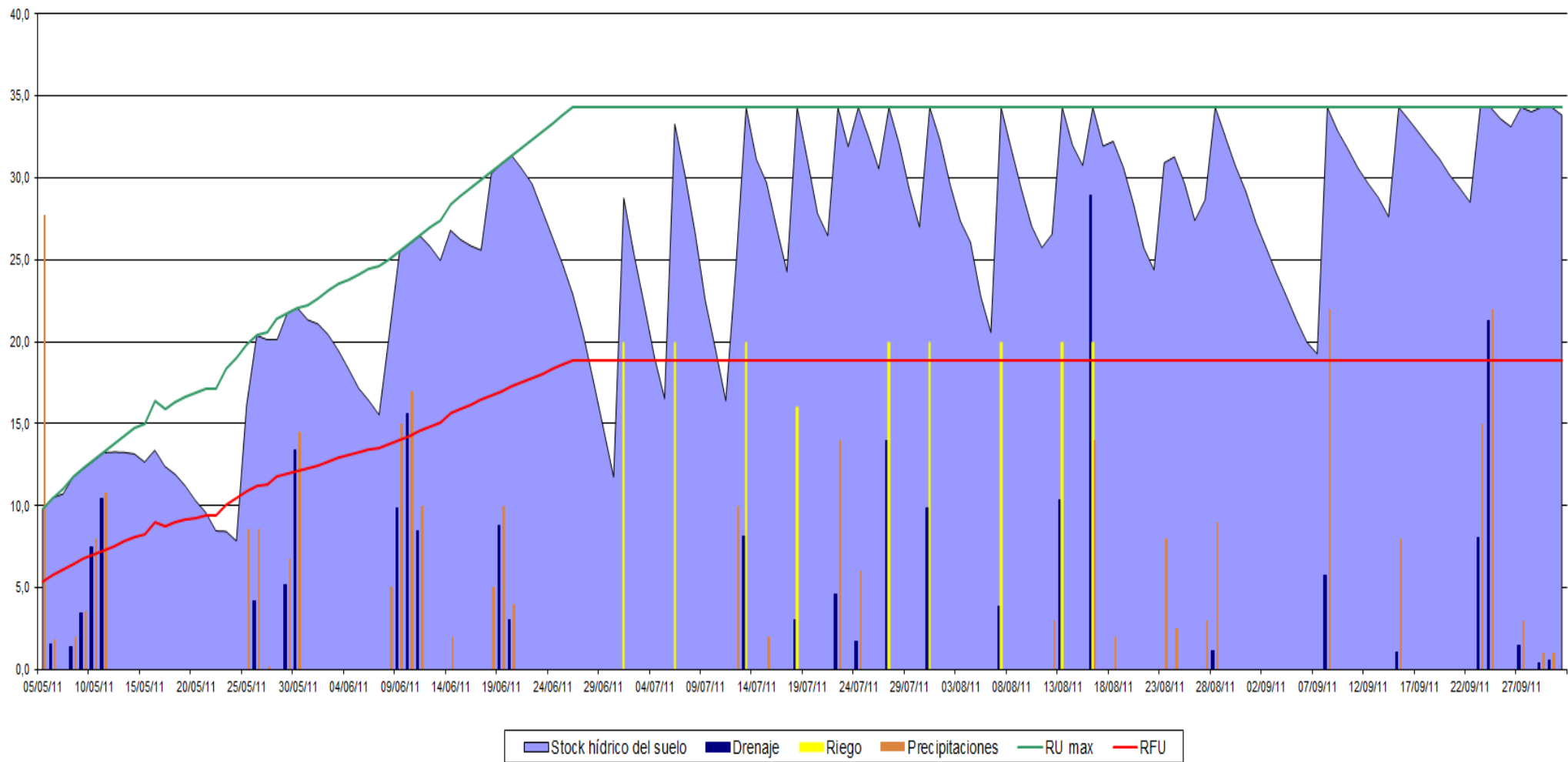
- El cuarto riego se efectuó el 18 de julio. Este riego fue algo inferior a lo habitual, 16 mm, debido a la lluvia de 12 mm que hubo unos días atrás. La concatenación de la lluvia más el riego hizo que las tensiones se mantuvieran en general bajas, una media de 50 cb, exceptuando las tensiones el tensiómetro 2 y las del 3. Este último tuvo un mal funcionamiento momentáneo entre los riegos 4 y 5, debido posiblemente a la entrada de aire en el tensiómetro.
- Las dos lluvias de mediados de agosto, de un total de 20 mm, sustituyeron al riego que se debía haber efectuado. El periodo entre los riegos 4 y 5 fue de siete días, siendo normalmente de 4 días.
- El 5 y 6 riegos se efectuaron con un intervalo normal, de 4 días, lo que mantuvo las tensiones muy bajas, alrededor de 20 cb, permitiendo que el cultivo estuviese en un fase de confort hídrico.
- Después del 6 riego, en vista de las tensiones bajas se permitió que el siguiente riego, el séptimo, fuese algo más tarde, 7 días más tarde, ya que de haber sido antes se podría haber perdido agua por escorrentía. Se puede comprobar que está fue una buena decisión, ya que el retardo del riego por unos días no supuso que las tensiones aumentasen por encima del umbral, si no que se siguieron manteniendo relativamente bajas, cerca de 40 cb.

Por último, nos encontramos con la gráfica 6, que nos muestra la evolución de la tensión hídrica hasta el 9 de septiembre. Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Se observa como el tensiómetro 2 continúa comportándose de manera extraña hasta el día 15 de agosto. Ese día, en vista de que el mal funcionamiento continuaba, se procedió a verificar el tensiómetro y se observó que uno de los cables que lo unían con la caja de lecturas estaba partido, siendo esa la causa de su mal funcionamiento.
- El riego número 8 se demoró un poco a causa de una pequeña precipitación que hizo descender las tensiones.
- El siguiente riego, el noveno, se produjo a la vez que una precipitación importante, de 13 mm, por lo que las tensiones descendieron mucho y se mantuvieron por debajo de 20 cb durante 6 días.
- El noveno riego fue a su vez el último riego. Debido a que en esta época el cultivo se encontraba en el estadio de 50% H.G., que las tensiones eran bajas y que se preveían precipitaciones para los siguientes días, se decidió terminar la campaña de riego en ese momento, y que el cultivo iba a poder terminar su ciclo con el stock hídrico que ya había en el suelo.

3.3.2 Resultados balance hídrico

A continuación se hará un seguimiento del stock hídrico del suelo durante la campaña de riego mediante un balance hídrico.



Gráfica 7 Balance hídrico de la parcela de Mr. Vincent

Durante la campaña de riego del año 2010, podemos encontrar en la parcela de M. Vincent, según el balance hídrico, tres periodos representativos:

- El primero de ellos, se encuentra ubicado entre el 5 de mayo y el 29 de junio, en el cual la planta no ha tenido problemas para conseguir su alimentación hídrica, ya que el stock hídrico del suelo ha estado siempre por encima de la RFU, exceptuando un pequeño intervalo de 4 días entre el 20 y el 24 de mayo, durante el cual un periodo seco hizo disminuir el stock hídrico del suelo. En este periodo también encontramos bastantes pérdidas de agua, debido sobre todo a que las lluvias que se producían, caían cuando el stock hídrico del suelo era bastante alto, por lo que el suelo no podía retener ese aporte extra de agua.
- El segundo periodo destacable lo encontramos entre el 30 de junio y principios de agosto. Este periodo coincide en su mayor parte con la campaña de riego propiamente dicha. Encontramos en el periodo un continuo ir y venir del stock hídrico del suelo por encima de la RFU del suelo, debido al periodo caluroso y seco en que nos encontramos al principio del mes de julio, por el cual se da una brusca bajada del stock hídrico que los sucesivos riegos no logran aumentar más que durante 5 días cada uno. De todas maneras, la disponibilidad del agua para la planta no fue baja durante demasiados días, gracias al buen ritmo de riego que se llevó a cabo, ayudado un poco más tarde por algunas lluvias que se dieron. Encontramos en este periodo menos pérdidas de agua por drenaje que en el periodo anterior. De todas maneras, las pérdidas de agua que se dan aquí son en su mayor parte debido al riego, por lo que nos son achacables, ya que en algún caso se podría haber esperado un poco más para efectuar el riego (siempre según lo visto en el balance hídrico).
- Por último, el tercer periodo corresponde al fin de la campaña de riego, una vez se constató que el cultivo estaba en su ciclo final. En este periodo encontramos que el stock hídrico del suelo se sitúa, en su mayor parte, por encima de la RFU. Durante una semana, a principios de septiembre, a causa de la ausencia de precipitaciones, el stock hídrico comienza a descender y se sitúa justo por encima de la RFU antes de que una precipitación vuelva a aumentar ese stock hídrico. De todas maneras, esta disponibilidad baja de agua para la planta no es importante, ya que el grano de maíz se encontraba en su fase de disminución del contenido húmedo, por lo tanto, en la fase de senescencia del cultivo. Por su parte, en este periodo las pérdidas de agua por drenaje han sido mínimas después de cada lluvia, exceptuando un periodo de 2 días, el 23 y 24 de septiembre en el que se sucedieron dos lluvias importantes cuando el suelo estaba casi repleto.

3.3.3 Comparación de los resultados de los dos métodos

A continuación se van a comparar los dos métodos, para verificar si los resultados obtenidos mediante la tensiometría, los cuales fueren aplicados a la hora de gestionar el riego, eran correctos.

A principios de junio, la tensiometría nos indica un periodo de alrededor de 5 días, entre el 10 y el 15 de junio, en el cual el suelo se encontraba saturado. Esto se verifica parcialmente en el balance hídrico, ya que el balance nos muestra que durante tres días, entre el 10 y el 13, el stock hídrico del suelo estaba completo. También se verifica el comienzo de la desecación del suelo mostrada por la tensiometría, ya que se observa en el balance como, después de las lluvias el stock hídrico comienza a descender.

A finales de junio, observamos en la tensiometría como las tensiones muestran un ascenso muy rápido, incluso sobrepasando la tensión umbral. Esto también se verifica en el balance, ya que en esa misma época, el stock hídrico cae por debajo de la RFU.

Después de este episodio, encontramos en la tensiometría como las tensiones aumentan y disminuyen antes y después de cada riego. Pues bien, en el balance hídrico también encontramos la misma antes y después de cada riego, con el stock hídrico cayendo por debajo de la RFU por momentos.

A continuación, a mediados de julio, la tensiometría nos muestra que las tensiones se mantienen a niveles bajos en general, lo cual se refleja en el balance hídrico, donde el stock hídrico se mantenía cercano a la RU y siempre por encima de la RFU.

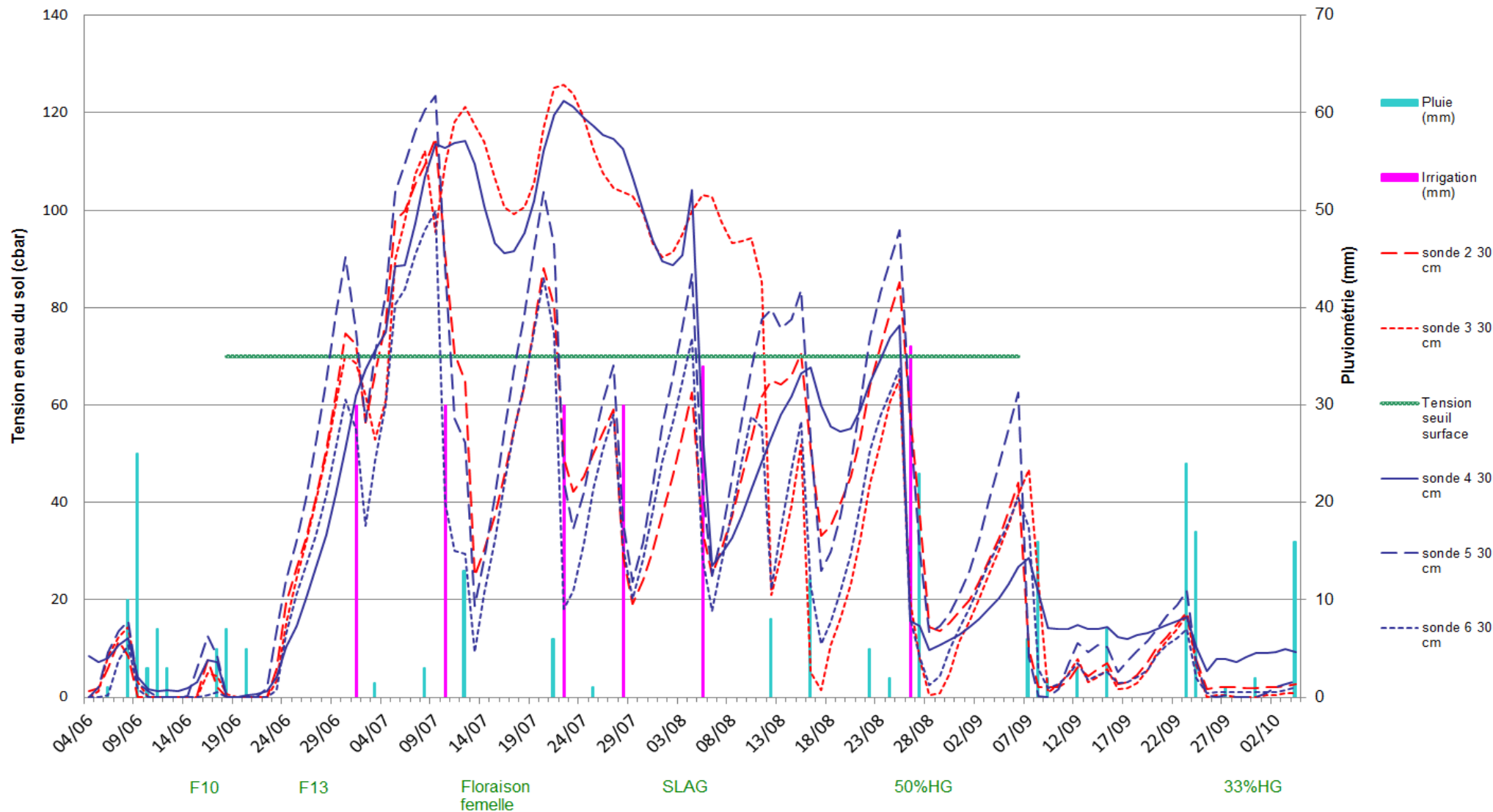
Luego, a principios de septiembre, y una vez acabada la campaña de riego, hay un periodo de una semana en el cual, debido a la ausencia de lluvias, las tensiones comienzan a aumentar; encontramos su imagen en el balance hídrico, ya que en las mismas fechas el stock hídrico comienza a descender situándose, en un momento, al límite de la RFU.

3.4 Resultados parcela Mr. Guédon

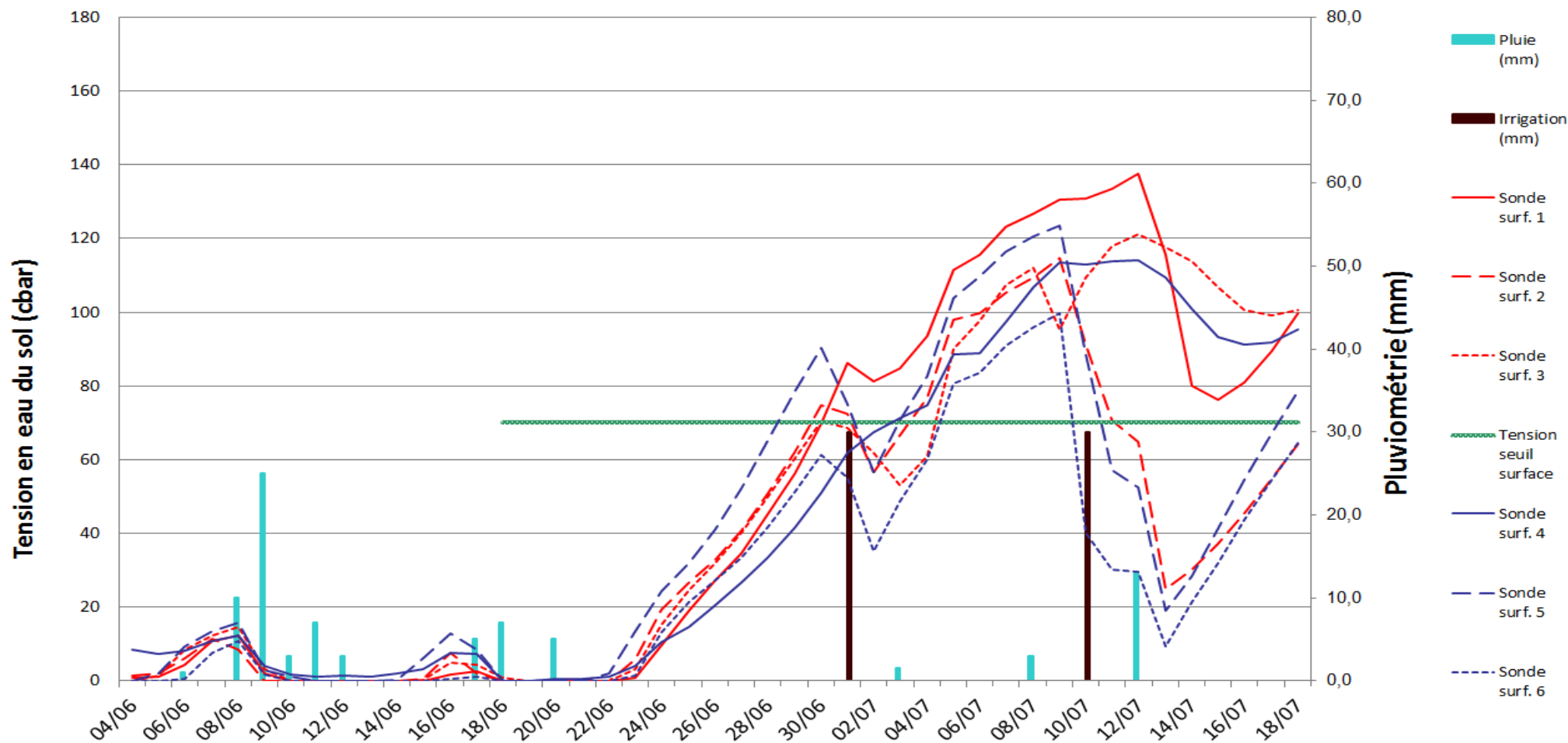
A continuación se van a exponer los resultados tensiométricos y del balance hídrico de la parcela de Mr. Guédon.

3.4.1 Resultados tensiométricos

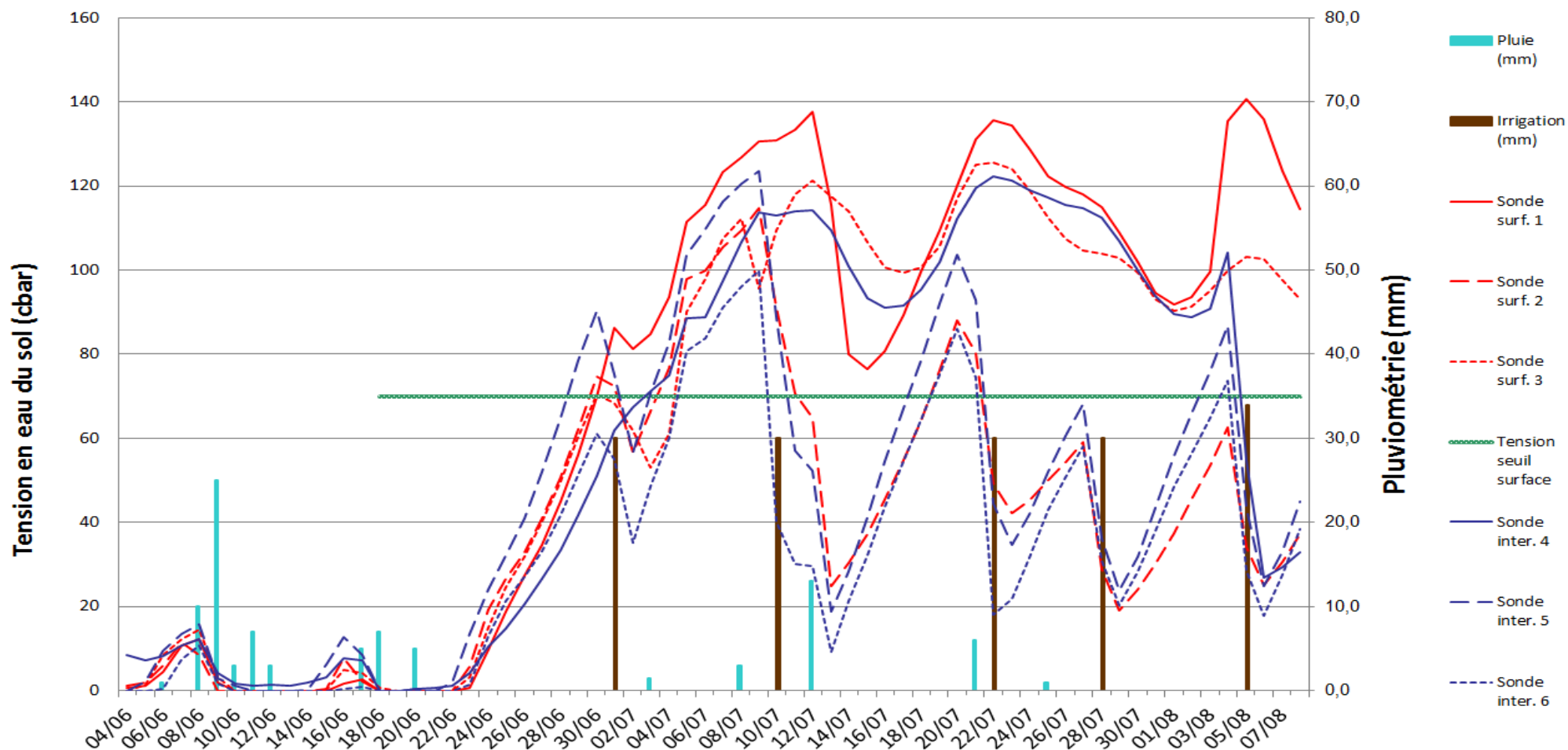
Comenzaremos comentando los resultados tensiométricos mediante la presentación de diversas gráficas, tal y como se ha hecho en el caso anterior.



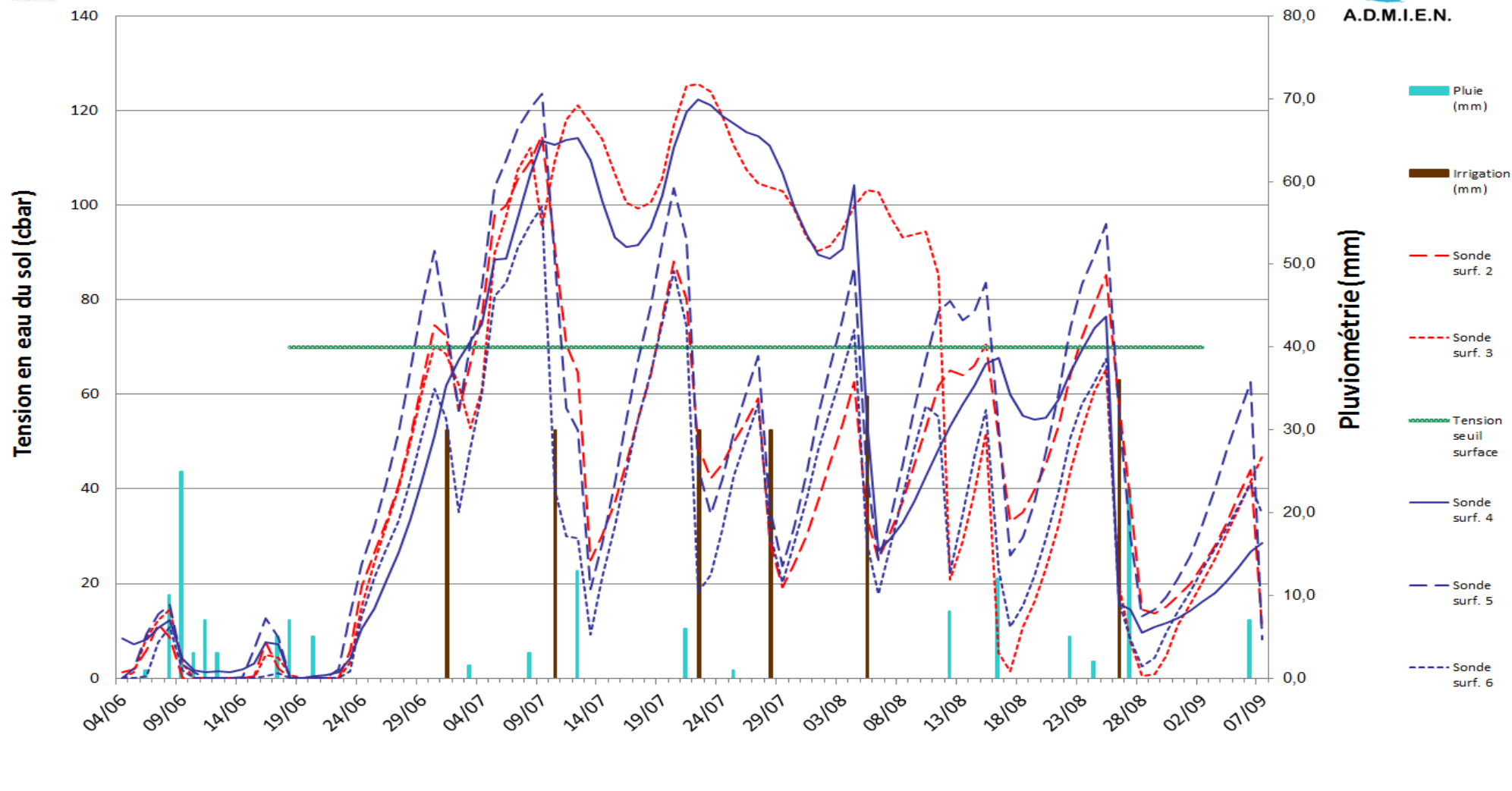
Gráfica 8 Evolución de la tensión durante la campaña de riego en la parcela de Mr. Guédon. Fuente: Chambre d'agriculture



Gráfica 9 Evolución de la tensión entre el 04/06 y 19/07 en la parcela de Mr. Guédon. Fuente: Chambre d'agriculture



Gráfica 10 Evolución de la tensión entre el 04/06 y 09/08 en la parcela de Mr. Guédon. Fuente: Chambre d'agriculture



Gráfica 11 Evolución de la tensión entre el 04/06 y 08/09 en la parcela de Mr. Guédon. Fuente: Chambre d'agriculture

Como se ha hecho en el caso anterior, se va a proceder a comentar la evolución de las tensiones gráfica por gráfica, para hacer más comprensible la lectura de las mismas.

Comenzaremos con la gráfica 9, que corresponde al periodo comprendido entre el 4 de junio, día de instalación de los tensiómetros, y el 19 de julio:

- Los primeros días tras al colocación de los tensiómetros, encontramos que, como en el caso anterior, el cultivo se encuentra en una fase de confort hídrico, gracias a las continuas lluvias. Por su parte, el suelo se encuentra saturado durante algunos días, entre el 10/06 y el 14/06 y entre el 18/06 y 22/06. Los demás días, hasta el 24 de junio, el suelo se encuentra en fase de secamiento, tensiones por debajo de 20 cb, por lo que el agua es fácilmente disponible para la planta.
- Después, encontramos que entre el 24 de junio y hasta el primer riego, las tensiones comienzan a aumentar, a un ritmo de 10 cb/día, debido a que el cultivo se encuentra en un periodo vegetativo en el que sus necesidades hídricas son importantes. Además de esto, nos encontramos es un periodo seco y caluroso, por lo que también ayuda a que las tensiones aumenten rápidamente.
- El primer riego se efectúa el 1 de julio, algo después de que las tensiones hayan sobrepasado el umbral de tensión. Este riego consigue bajar las tensiones, aunque no por mucho tiempo, ya que estas comienzan a aumentar otra vez, aunque esta vez algo más despacio, a un ritmo de 7 cb/día. Sobre el día 6 de julio se observa que las tensiones siguen aumentando pero la pendiente de la curva es menos pronunciada, lo cual se debe a la capilaridad.
- Se realiza el segundo riego el 10 de julio, 9 días más tarde, y se consigue una fuerte bajada de las tensiones, gracias también a la lluvia que se produjo 2 días después, que ayudó a bajar más esas tensiones.
- Se observa que hay tres tensiómetros cuyas tensiones son altas y otros tres que ocurre lo contrario. Esto es debido a que los tres con las tensiones altas se encontraban situados en zonas donde la estructura era más densa, por lo que los aportes de agua no llegaban hasta los 30 cm. Por su parte, los otros tres tensiómetros estaban situados en lugares donde la estructura del suelo era más porosa, por lo que el agua se infiltraba correctamente y llegaba hasta los 30 cm. Este fenómeno se observa que continúa hasta principios de agosto, cuando el agua ya comienza a infiltrarse hasta los 30 cm.

De la gráfica 10 se observa lo siguiente:

- Después del segundo riego y la lluvia que le siguió, las tensiones se mantienen bajas un día y comienzan a subir de manera vertiginosa, a un ritmo de 11 cb/día.
- Tras esto, se aconsejó al agricultor de efectuar un riego alrededor del 18 de julio pero por problemas personales suyos, no lo pudo hacer hasta 2 días más tarde. Esto tuvo como consecuencia que las tensiones sobrepasaran durante dos días el umbral de tensión. Aunque no fuera demasiado grave, sólo se sobrepasó en un valor de unos 10 cb, hubiera sido mejor no hacerlo, ya que el periodo vegetativo en el que se encontraba el cultivo, floración femenina, las consecuencias de sufrir un stress hídrico son, a nivel de rendimiento, bastante graves.

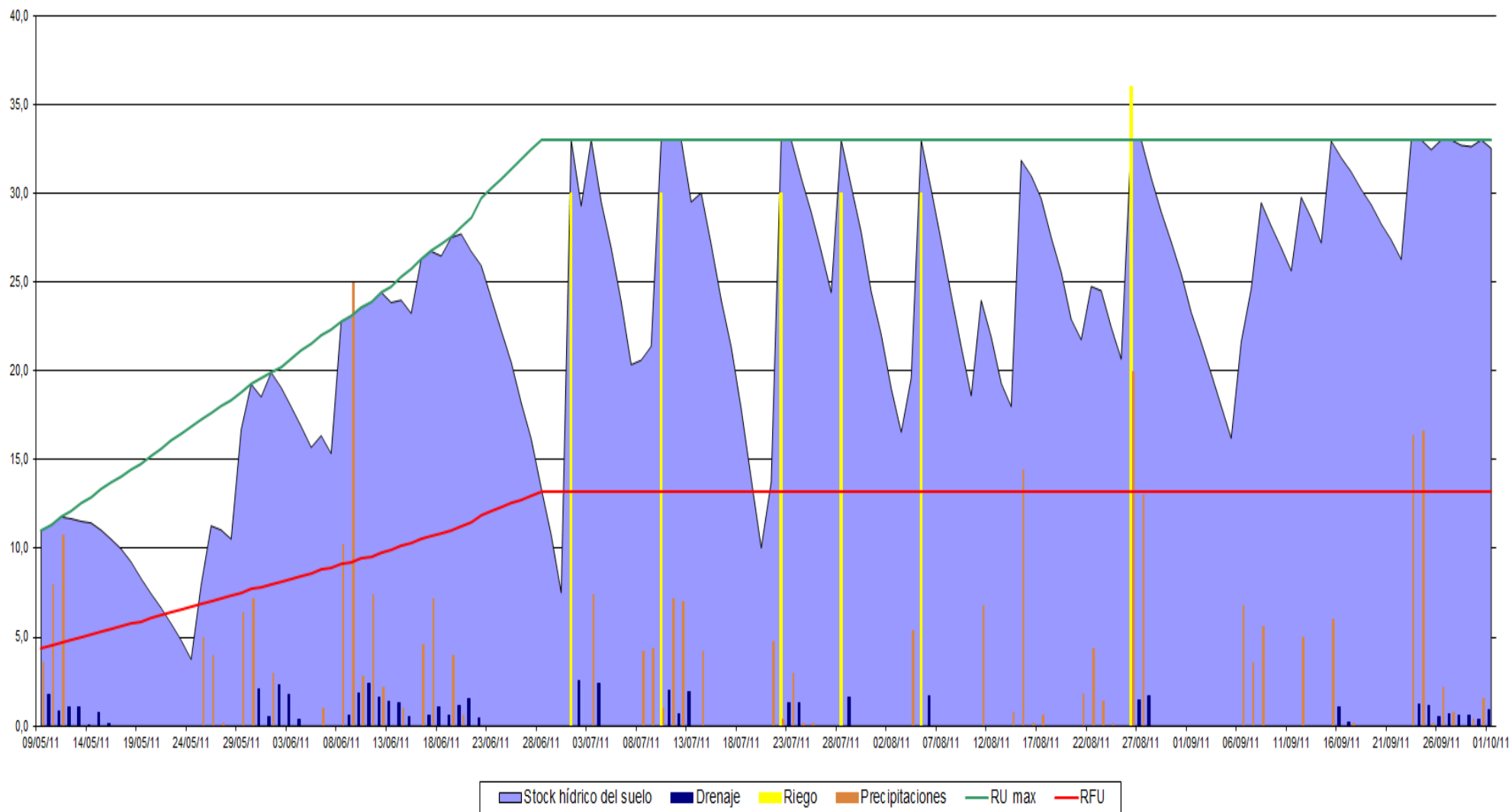
- El siguiente riego, el cuarto, se realizó el día 27 de julio. La decisión de regar ese día fue buena, ya que se consiguió bajar las tensiones antes de que volviesen a subir por encima del umbral.
- El quinto riego se realizó el día 4 de agosto. Este riego, a diferencia del anterior, debió haberse realizado algo antes, para evitar que las tensiones no sobrepasaran el umbral de tensión. Sin embargo, esto no era técnicamente posible, ya que el agricultor estaba preparado para hacer un riego cada 8 días, por lo que no disponía de la capacidad material para adelantar ese riego.

Por último, de la gráfica 11 observamos lo siguiente:

- Entre el quinto y el sexto riego encontramos una serie de precipitaciones que se encargan de bajar las tensiones.
- Tras este periodo de precipitaciones, se realiza un sexto riego, el día 26 de agosto, ya que las tensiones estaban sobrepasando el umbral.
- Una precipitación bastante importante tuvo lugar un día después de este sexto riego, lo que motivó que las tensiones se situasen por debajo de los 20 cb durante algunos días.
- Debido al estadio fenológico en el que se encontraba el cultivo, 50% H.G, a las condiciones meteorológicas que se esperaban para los días siguientes y a las bajas tensiones que se tenían tras este riego, se decidió que este fuese el último riego de la campaña, ya que el cultivo podía llegar a su fin vegetativo con el stock hídrico existente en el suelo.

3.4.2 Resultados balance hídrico

A continuación se hará un seguimiento del stock hídrico del suelo durante la campaña de riego mediante un balance hídrico.



Gráfica 12 Balance hídrico de la parcela de Mr. Guédon

Para el caso de la parcela de M. Gúedon, encontramos básicamente 2 periodos:

- El primero de ellos, situado antes del inicio del riego, entre el 9 de mayo y finales de junio. Es un periodo en el que el stock hídrico se sitúa casi siempre por encima de la RFU, teniendo un ligero descenso del mismo a mediados de mayo, aunque el nivel del stock rápidamente ascendió por encima de la RFU gracias a las lluvias que se dieron. El final de este periodo coincide con una disminución bastante notable del nivel hídrico del suelo, debido al periodo seco y caluroso de finales de junio e inicios de julio, por lo que se tomó la decisión de comenzar los riegos. Por el lado de las pérdidas por drenaje, encontramos que estas no son muy importantes, teniéndose pequeñas pérdidas tras cada lluvia.
- El segundo periodo está caracterizado por un vaivén de la reserva de agua, que durante el mismo se sitúa varias veces al nivel de la RFU o, incluso, por debajo. Los riegos efectuados consiguen levantar la reserva hídrica por encima de la RFU, pero no consiguen mantener esta reserva por encima durante mucho tiempo. Las pérdidas por drenaje en este periodo fueron incluso menores que en el primer periodo, debido a que el suelo no tuvo casi nunca completa la reserva hídrica.

3.4.3 Comparación de los resultados de los dos métodos

Como se ha hecho en el caso anterior, se van a comparar los dos métodos, para verificar si los resultados obtenidos mediante la tensiometría, los cuales fueron aplicados a la hora de gestionar el riego, eran correctos.

A principios de junio, la tensiometría nos muestra dos periodos los cuales el suelo estuvo saturado, entre el 10 y el 14 y entre el 19 y el 22. El balance hídrico nos confirma este hecho, ya que en las mismas fechas el stock hídrico del suelo se encontraba completo o un poco por debajo de la Ru max.

Más tarde, a comienzos del mes de julio, las tensiones sobrepasan el umbral, lo cual se corresponde con el descenso del stock hídrico por debajo de la RFU en las mismas fechas. Tras un primer riego, estas tensiones vuelven a bajar para poder después aumentar de nuevo y sobrepasar el umbral. El balance hídrico nos indica que si bien tras el riego el stock hídrico del suelo volvió a situarse por encima de la RFU, este stock no volvió a bajar por debajo de la RFU como nos indican las tensiones.

Después del segundo riego hay un periodo en el cual, según la tensiometría, las tensiones aumentan mucho y se sitúan por encima del umbral y esta vez sí es reflejado en el balance hídrico, donde vemos como el stock hídrico cae por debajo de la RFU en las mismas fechas.

Tras esto, tenemos un periodo en el que las tensiones bajan como consecuencia de un riego y después vuelven a subir, aunque nunca por encima del umbral, lo cual se ve a su vez representado en el balance hídrico en el cual vemos la misma serie de subidas y bajadas del stock hídrico.

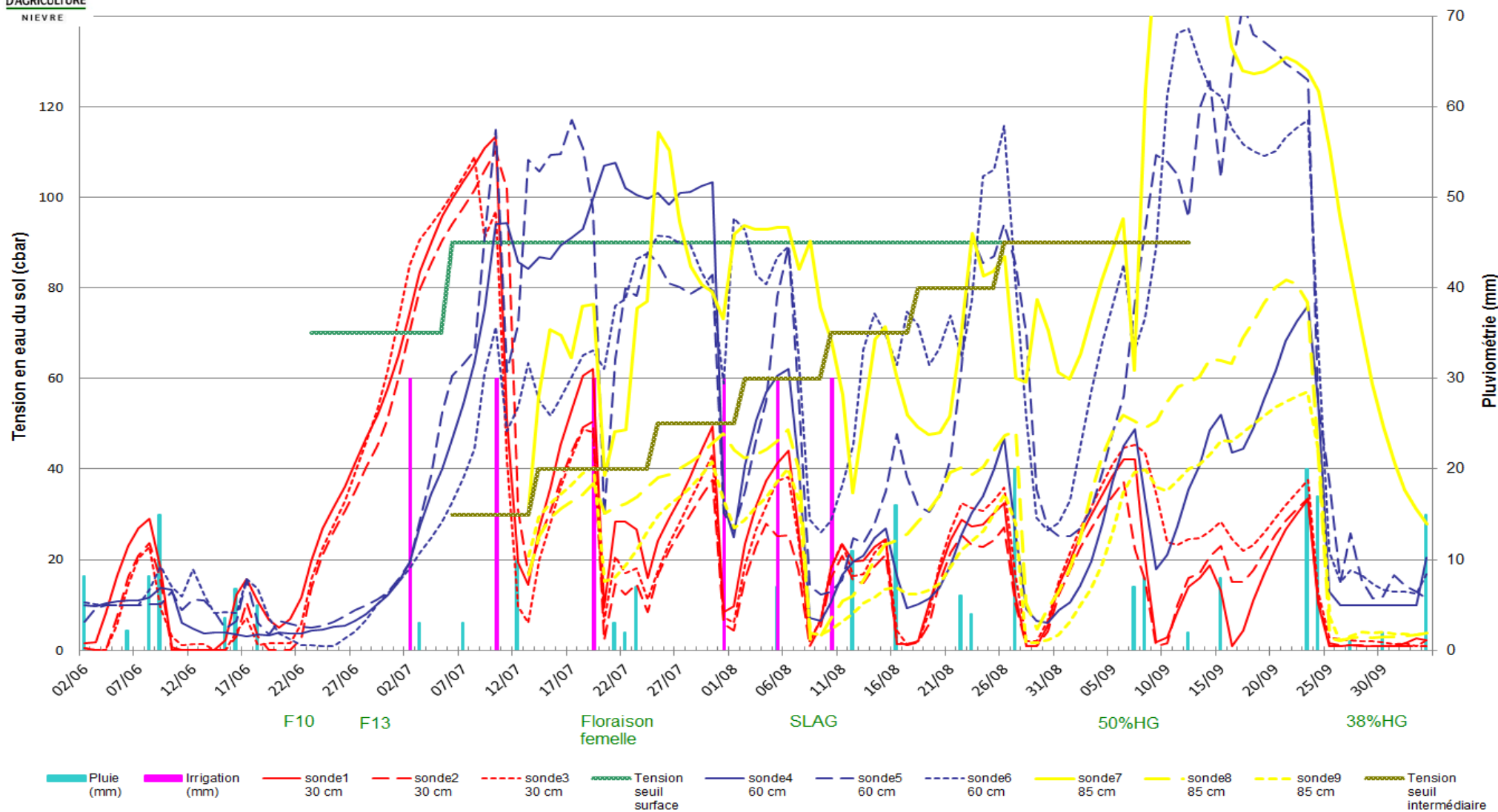
Para terminar, en la tensiometría se ve como al final del mes de septiembre, las continuas lluvias mantienen las tensiones por debajo de los 20 cb y, en ocasiones, el suelo saturado. En el balance hídrico se observa la misma tendencia, el stock hídrico muy elevado, cercano a la RU máxima por momentos.

3.5 Resultados parcela Mr. Robin

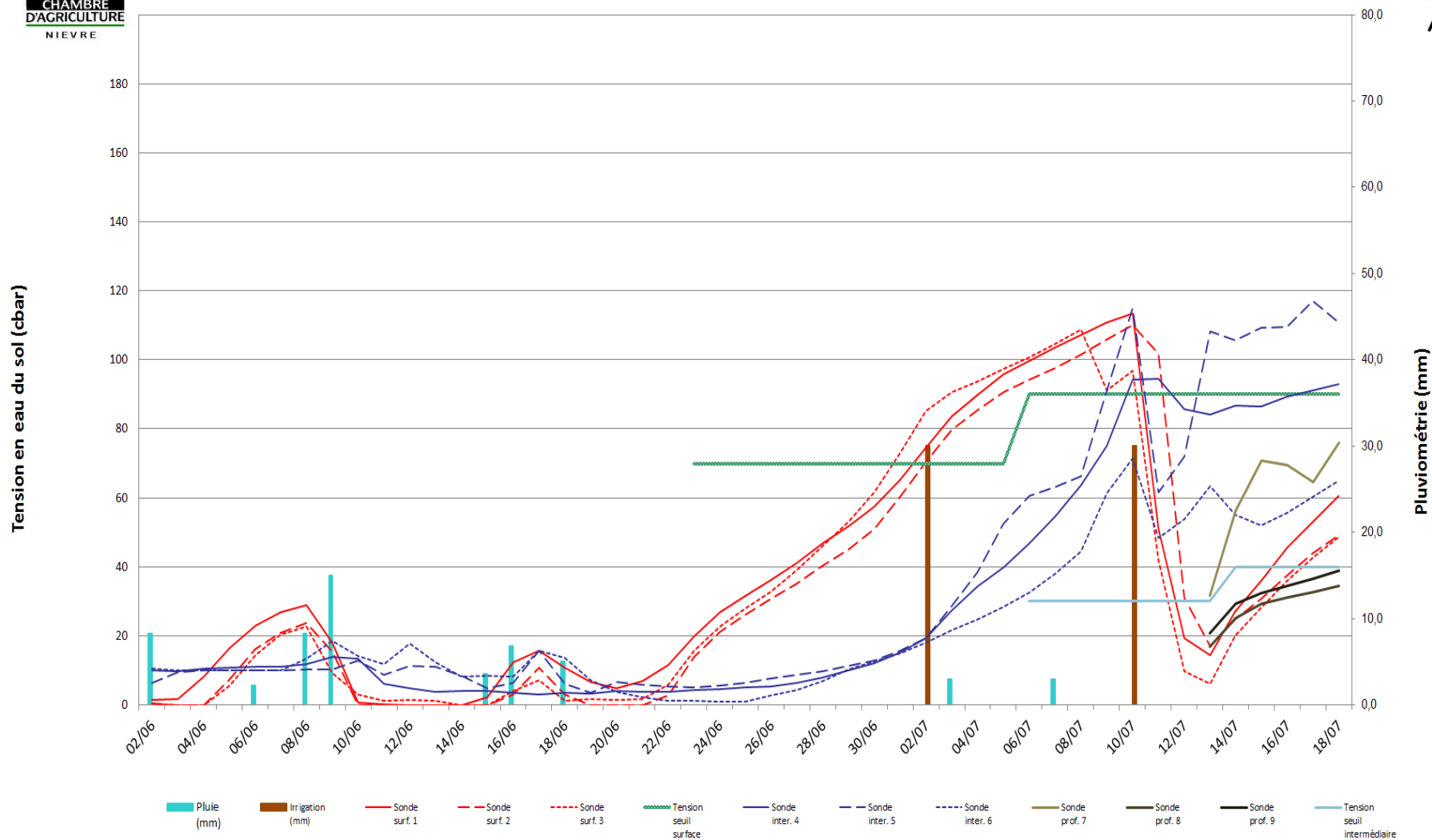
A continuación se presentarán los resultados de la parcela de suelo de textura arcillosa, de Mr. Robin. Estos resultados se dividirán en dos, por un lado los resultados tensiométricos y, por el otro, los resultados de un balance hídrico.

3.5.1 Resultados tensiométricos

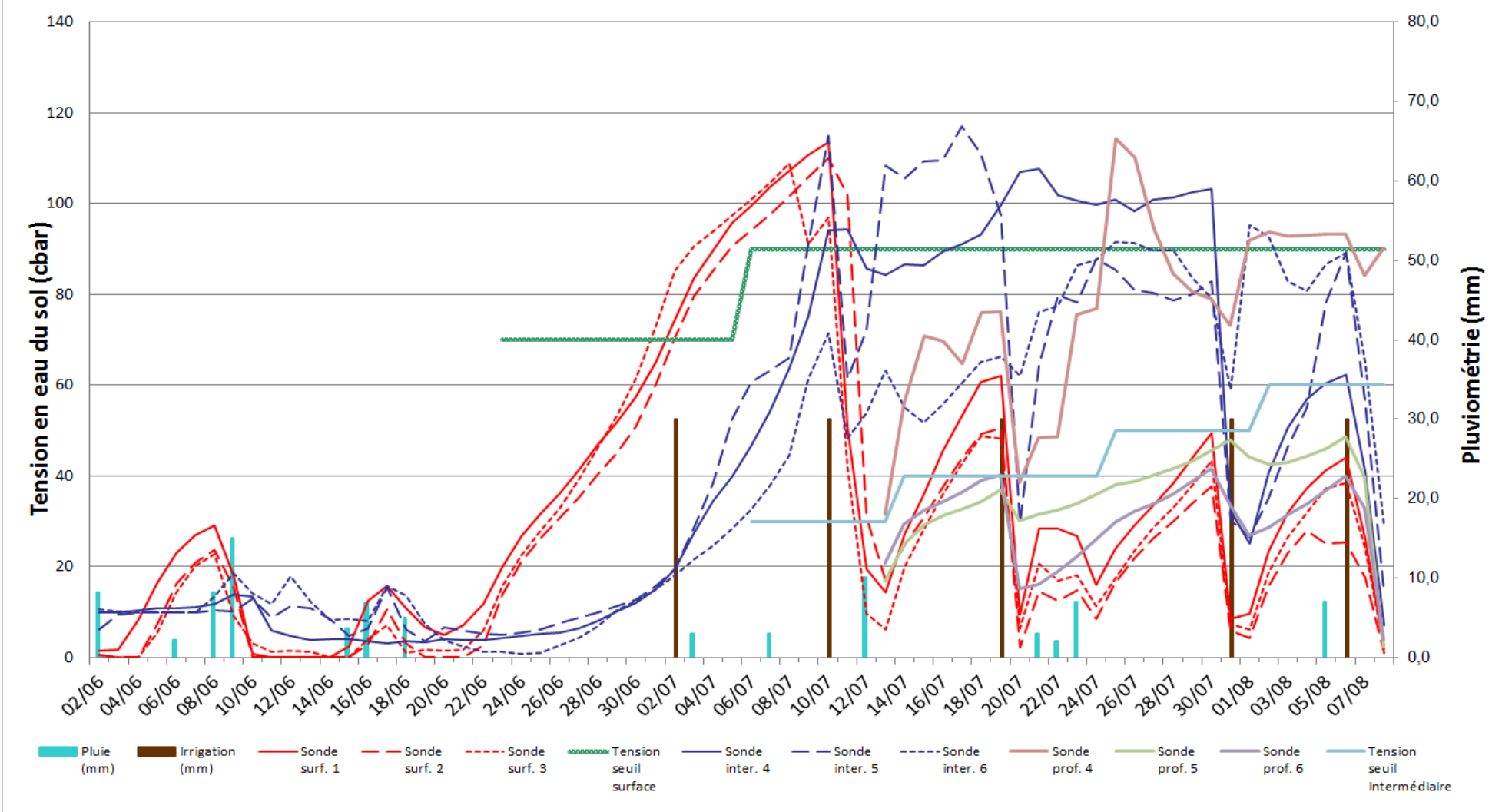
Como ya se ha hecho en los dos casos anteriores, se presentarán los resultados tensiométricos en 4 gráficas diferentes. La primera de ellas corresponde al seguimiento de las tensiones durante toda la campaña de riego; las otras tres gráficas nos mostrarán la evolución de la tensión hídrica durante periodos más cortos, para una mejor comprensión de los resultados.



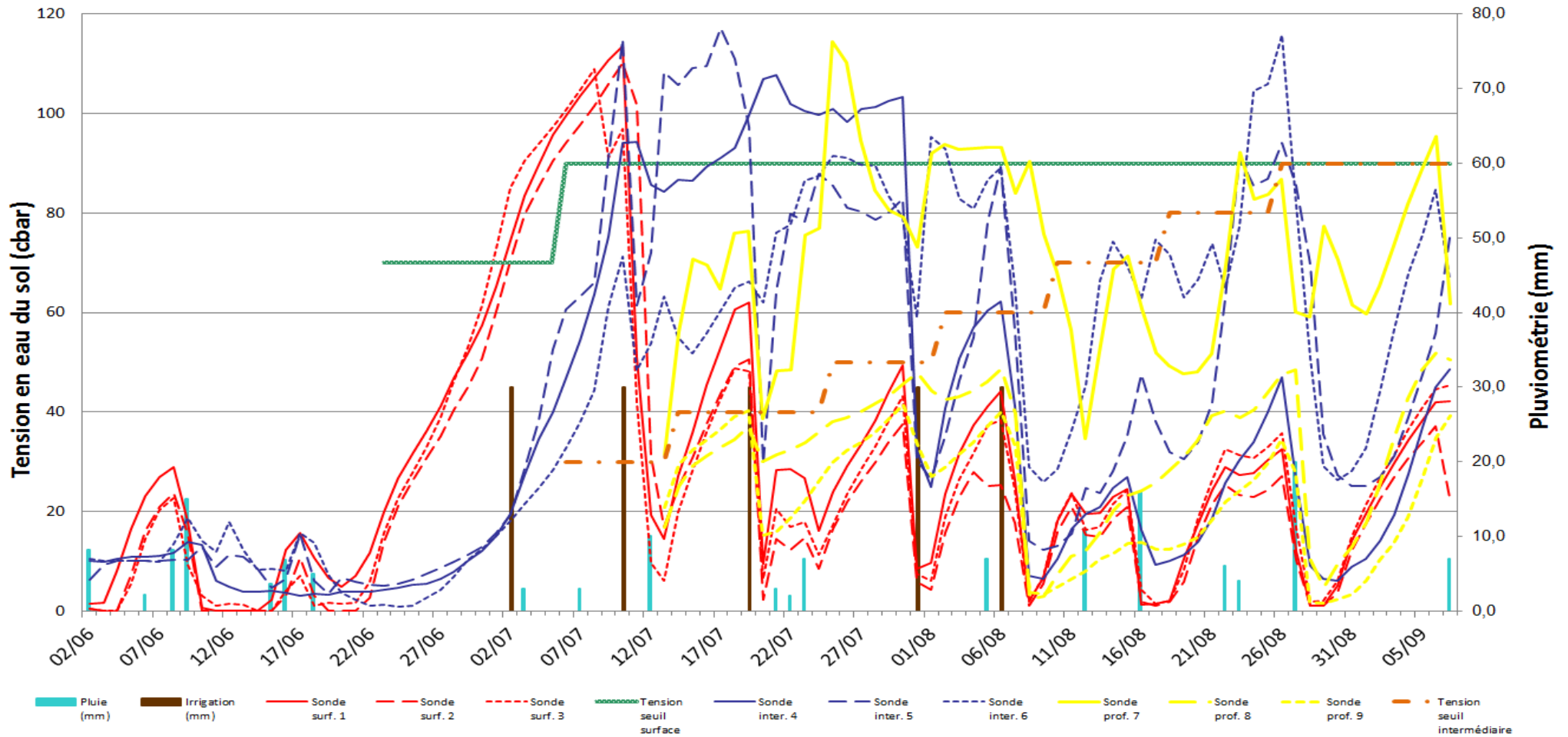
Gráfica 13 Evolución de la tensión hídrica durante la campaña de riego en la parcela de Mr. Robin. Fuente: Chambre d'agriculture



Gráfica 14 Evolución de la tensión entre el 02/06 y 19/07 en la parcela de Mr. Robin. Fuente: Chambre d'agriculture



Gráfica 15 Evolución de la tensión entre el 02/06 y 08/08 en la parcela de Mr. Robin. Fuente: Chambre d'Agriculture



Gráfica 16 Evolución de la tensión entre el 02/06 y 07/09 en la parcela de Mr. Robin. Fuente: Chambre d'agriculture

Como se ha hecho en los casos anteriores, se va a proceder a comentar la evolución de las tensiones gráfica por gráfica, para hacer más comprensible la lectura de las mismas.

Comenzaremos por la gráfica 14, correspondiente al periodo comprendido entre el 2 de junio y el 19 de julio:

- Como en los casos anteriores, al inicio del seguimiento de la tensión por medio de los tensiómetros, durante las primeras 3 semanas de junio, la planta estaba en una fase de confort hídrico. El suelo se encontró por momentos saturado, tensiones igual a 0 cb, mientras que en la mayoría de los días, las tensiones eran menores a 20 cb, lo que corresponde a una situación en la que el suelo se comienza a secar y el agua es fácilmente movilizable por la planta.
- A partir del día 23 de junio las tensiones comienzan a aumentar a un ritmo de 6 cb/día. En vista de que las tensiones van a sobrepasar el umbral de tensión se aconseja al agricultor de regar el 2 julio. Finalmente el riego no fue suficiente para poder parar la tendencia ascendente de las tensiones. Por otro lado, a inicios de julio se observa que el sistema radical del cultivo alcanza el horizonte de 60 cm, ya que las tensiones comienzan a reaccionar. En esta época, los dos horizontes, el de superficie y el que está comprendido entre 30 y 60 cm, contribuyen a la hidratación del cultivo.
- El segundo riego se efectuó el 10 de julio, y este si fue capaz de disminuir las tensiones. Se empieza a vislumbrar que hay dos tensiómetros, el 4 y el 5, que comienzan a funcionar mal.
- El día 13 de julio se procedió a instalar los tensiómetros a 90 cm de profundidad. Se observa que las tensiones asociadas a estos tensiómetros comienzan a reaccionar poco a poco, lo que significa que el sistema radical va colonizando lentamente el tercer horizonte.

De la gráfica 15 se observa lo siguiente:

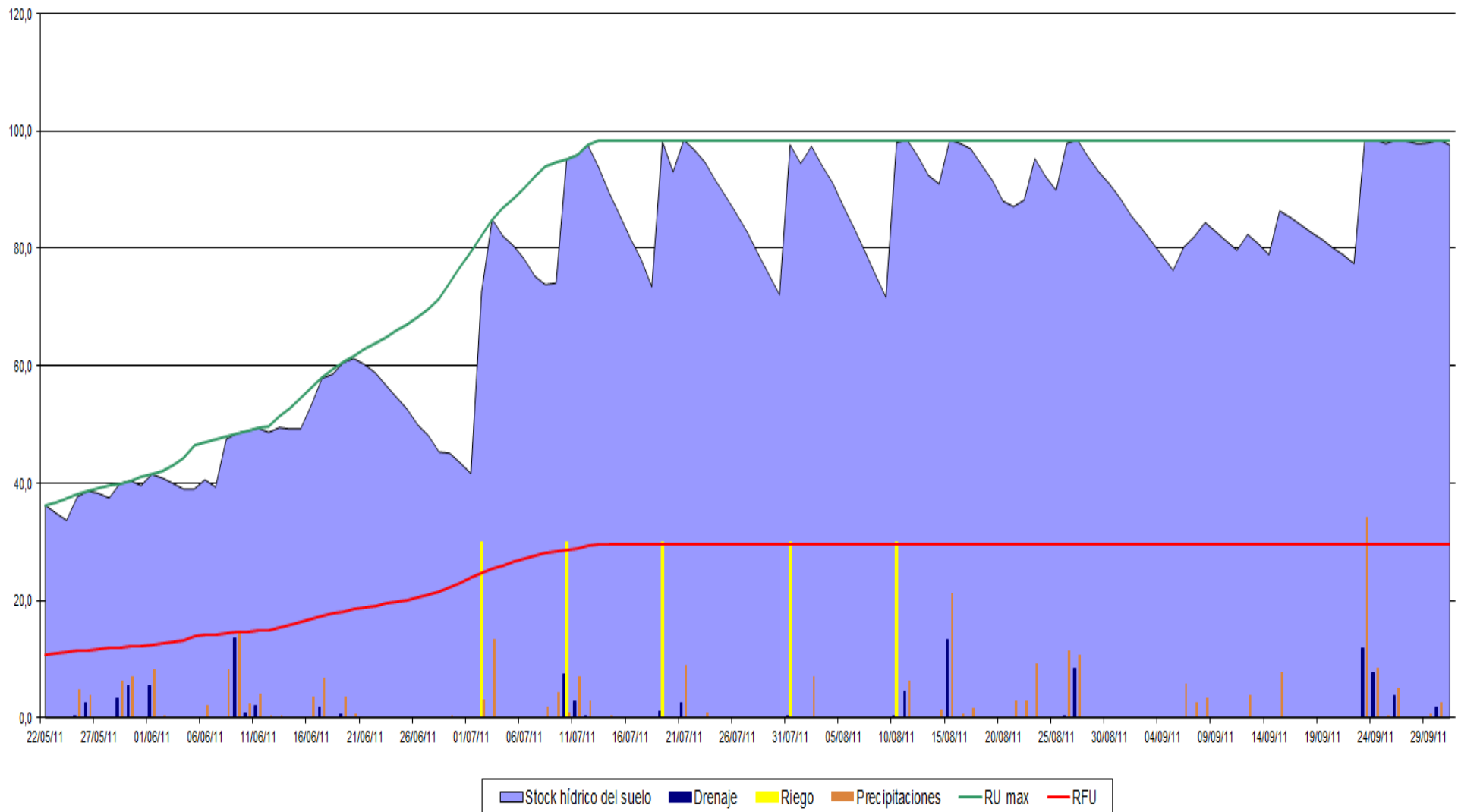
- Se continua con la frecuencia normal de los riego y se hace un tercer riego el 10 de agosto. Este riego tiene como consecuencia el descenso de las tensiones del horizonte superficial pero el de las del segundo horizonte. Se empieza a vislumbrar un ligero retardo en el riego, ya que no se es capaz de mantener todas las tensiones bajo sus umbrales respectivos.
- Unas pequeñas precipitaciones consecutivas los días siguientes al tercer riego mantienen las tensiones superficiales bajas. Como consecuencia de estas precipitaciones, el cuarto riego se retrasa unos días y se realiza el 31 de julio. Como consecuencia de este riego se empieza a corregir el retraso del riego y tanto las tensiones superficiales como aquellas en profundidad descienden.
- El quinto riego se adelanta dos días, con la idea de corregir por fin el retraso del riego, y es efectuado el 6 de agosto. Tras este riego, y con la ayuda de la precipitación de 7 mm que tuvo lugar el día anterior, todas las tensiones bajan por fin y el retraso es corregido.

Por último, de la gráfica 16 observamos lo siguiente:

- La curva de la tensión del tensiómetro 7 nos da valores muy variados, lo que nos indica que el tensiómetro posee algún tipo de problema. Se verifica más tarde que el cable que une el tensiómetro con la caja de lecturas está roto, lo cual es el motivo de los valores irreales.
- Tras el quinto riego, las continuas precipitaciones mantienen las tensiones bajas sin que sobrepasen el umbral, excepto aquellas cuyos tensiómetros funcionan mal, es decir, la 6 la 7 y la 5.
- Se programa un riego para el 21 de agosto, pero gracias a las precipitaciones antes mencionadas esto no será necesario.
- Una vez llegado al estadio vegetativo de 50% H.G, que se alcanzó a principios de septiembre, y viendo que las tensiones eran bajas y el suelo tenía suficiente stock hídrico como para mantener el cultivo hasta su fin, se decidió que no eran necesarios más riegos y se dio por finalizada la campaña de riego.

3.5.2 Resultados balance hídrico

A continuación se hará un seguimiento del stock hídrico del suelo durante la campaña de riego mediante un balance hídrico.



Gráfica 17 Balance hídrico parcela Mr. Robin

El último de los casos estudiados es el de la parcela de Mr. Robin. Se trata de una parcela de suelo profundo por lo que su capacidad de almacenamiento de agua es mayor que la de las otras parcelas. En un primer momento, encontramos que gracias a esta capacidad de almacenamiento de agua y a las lluvias frecuentes que se dieron hasta finales del mes de junio, el suelo estuvo casi siempre lleno de agua y siempre por encima de la reserva fácilmente utilizable, por lo que las plantas no tuvieron ningún problema en cuanto a su alimentación hídrica. A partir de finales de junio, cuando se comprobó que nos encontrábamos en una época seca y muy calurosa, se decidió el comenzar los riegos. Se puede comprobar, que a inicios de este periodo, finales de junio, se produce un notable descenso del stock hídrico del suelo, el cual descendió a la mitad justo antes del inicio del riego. Una vez iniciado el riego, nos encontramos con un periodo en el cual el stock hídrico del suelo se sitúa siempre muy por encima de la RFU, alcanzando su máximo después de cada riego. Llegados a mediados de agosto, entramos en un periodo fresco y algo húmedo, lo que da lugar a que el suelo se llene sin necesidad de regar, por lo que se decide finalizar la campaña de riego en esta parcela. Así, gracias a estas lluvias y al stock hídrico que el suelo todavía tenía, se pudo llegar al final del ciclo del maíz sin ningún riego más.

Durante todo el ciclo, las pérdidas de agua por drenaje fueron pequeñas siendo la mayor de 10 mm y causada por la lluvia de principios del mes de junio. Las pérdidas de agua causadas por el riego fueron mínimas, y en algunos casos nulas, por lo que se puede decir que se hizo una buena planificación de los riegos.

3.5.3 Comparación de los resultados de los dos métodos

A inicios del mes de junio, las tensiones se mantuvieron bajas, lo cual se ve reflejado en el balance hídrico, ya que en esas fechas la reserva hídrica del suelo se encontraba completa o casi completa.

A finales de junio y principios de julio nos encontramos con una subida de las tensiones que terminan por sobrepasar los umbrales. En el balance hídrico vemos que la reserva disminuye en las mismas fechas pero sin llegar a bajar por debajo de la RFU. Esta diferencia entre los dos métodos puede ser debida a que el suelo tiene mucha más capacidad de almacenamiento del agua que los anteriores, al ser un suelo bastante profundo. Por ello, en esas fechas, al no estar todavía muy desarrollado el sistema radical en profundidad, las tensiones en superficie aumentan mucho, pero el suelo sigue manteniendo su reserva en profundidad, de ahí la diferencia.

Tras el segundo riego, se observa que el sistema radicular ha colonizado el horizonte profundo, por lo que la planta ahora es abastecida en los tres horizontes, lo que se refleja también en una disminución de las tensiones en superficie. Ello se ve también en el balance hídrico, donde el stock hídrico se mantiene alto, con algunos descensos antes de cada riego.

En esta parcela, al tener un suelo de tipo profundo, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo es bastante alta y las tensiones se mantienen bajas en general, como consecuencia de que la planta es capaz de captar el agua de los tres horizontes.



CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES

GESTION DEL RIEGO DEL MAIZ MEDIANTE EL METODO IRRINOV

IMANOL SINDE MARTINEZ

JULIO 2011

4. Conclusiones

Una vez mostrado, comparado y analizado los resultados de la evolución de la tensión hídrica durante la campaña de riego del maíz del año 2010, es hora de plantear y sacar algunas conclusiones.

El seguimiento de las tensiones es un método sencillo para la gestión del riego, ya que no implica grandes costes.

El método IRRINOV nos indica cual es el estado de la tensión hídrica en el suelo, pero no nos ofrece ningún dato sobre el llenado de la RU y de la RFU. Por ello, se aconseja, si no esencial, sí bastante útil la utilización de balances hídricos como complemento a las tensiones para observar la evolución de la RU durante la campaña de riego. En este trabajo se compararon los dos métodos, el balance hídrico y el IRRINOV y se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Se trata de métodos complementarios, que trabajan muy bien conjuntamente.
- La evolución de las tensiones encontraba una evolución parecida en cuanto a la evolución del stock hídrico del suelo en la mayoría de los casos.

Por otro lado, a pesar de su sencillez, la instalación de la estación nos puede dar problemas, ya que al estar todos los cables que unen los tensiómetros con la caja de medidas a ras de suelo, el paso de animales salvajes entre el cultivo, por ejemplo, jabalíes, puede provocar problemas en las medidas y falsearlas. Por ello, es necesario un revisado semanal de todas las estaciones.

La presencia permanente de los tensiómetros en el campo nos permite tener una buena y objetiva información de la situación hídrica del suelo durante todo el ciclo vegetativo del maíz. De todas formas, es aconsejable comparar los resultados con otros métodos, por ejemplo el balance hídrico, para asegurarnos de la veracidad de esos resultados.

Al ser un método sencillo, los agricultores se dejan aconsejar más fácilmente por los técnicos, además de mostrar una buena disposición al aprendizaje del método. Por ello, potenciar el método entre los agricultores podría ser una buena medida para que se optimice el agua utilizada para el riego y la sociedad tenga una mejor visión de la agricultura de regadío.

5. Bibliografía

- Tron Gérard, Isberie Carole, Chol Pierre. **La tensiométrie pour piloter les irrigations, une gestion raisonnée de la ressource en eau.** Educagri éditions, Dijon, 2000. 247 p
- Bergez J.-E., Debaeke, P., Deumier J.M., Lacroix B., LEENHARDT D., Leroy P., Wallach D. **MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules.** Ecological Modelling 137 (2001) 43-60
- Jones, C.A., Kiniry, J.R., 1986. **CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development.** Texas A&M Univ. Press, College Station.
- Yang, H., Dobermann, A., Cassman, K.G., Walters, D.T., 2006. **Features, applications, and limitations of the hybrid-maize simulation model.** Agronomy Journal, 98(3): 737-748
- Ollobarren del Barrio, P. 2009. **Evaluación del programa “Hybrid-Maize” para la producción de maíz en Valtierra (Navarra)**
- Vautier Arnaud, CA 58. **Rapport de présentation de la demande d'autorisation groupée temporaire de prélèvement d'eau à usage agricole de la campagne 2010**
- Vautier Arnaud, CA58. **Bilan de la campagne d'irrigation de l'année 2010**
- ARVALIS institut du végétal, Chambre d'Agriculture de la région Centre, 2003. **Guide de l'utilisateur: piloter l'irrigation avec la méthode Irrinov.**
- CIMMYT, 1994. 1993/1994. World maize facts and trends. Mexico, DF.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2011. www.fao.org
- Meteo-France, 2011. www.meteofrance.com

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

Figura 1 Evolución de la producción y de la superficie cultivada.....	3
Figura 2 Existencias mundiales de maíz.....	4
Figura 3 Evolución precio del maíz.....	4

CAPÍTULO II. MATERIAL Y METODOS

Figura 4 Mapa del departamento de la Nièvre	6
Figura 5 Repartición de las actividades agrícolas en el departamento	7
Gráfica 1 Repartición de las superficies regadas en el departamento	8
Gráfica2 Repartición de los volúmenes de agua usada por cultivo.....	8
Figura 6 Climatograma con datos de la estación de Nevers-Marzy	9
Tabla 1 Secuencias meteorológicas.....	10
Figura 7 Evolución de las temperaturas durante la campaña de riego del 2010	11
Figura 8 Histograma de precipitaciones durante la campaña de riego del 2010.	12
Figura 9 Mapa geológico de la Nièvre	12
Figura 10 Localización parcelas de referencia	14
Figura 11 Mapa del suelo de la parcela de Mr. Vincent.....	15
Figura 12 Mapa del suelo de la parcela de Mr. Guédon.....	16
Figura 13 Mapa del suelo de la parcela de Mr. Robin.....	16
Figura 14 Relación entre la reserva hídrica del suelo y la tensión	19
Figura 15 Posición estación en riego mediante pívot.....	21
Figura 16 Posición estación en riego con cañón.....	21

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gráfica 3 Evolución tensión durante campaña riego en parcela de Mr. Vincent	29
Gráfica 4 Evolución tensión entre 06/06 y 17/07 en parcela de Mr. Vincent	30
Gráfica 5 Evolución tensión entre 06/06 y 10/08 en parcela de Mr. Vincent	31
Gráfica 6 Evolución tensión entre 06/06 y 09/09 en parcela de Mr. Vincent	32
Gráfica 7 Balance hídrico de la parcela de Mr. Vincent	33
Gráfica 8 Evolución tensión durante campaña riego en parcela de Mr. Guédon	38
Gráfica 9 Evolución tensión entre 04/06 y 19/07 en parcela de Mr. Guédon	39
Gráfica 10 Evolución tensión entre 04/06 y 09/08 en parcela de Mr. Guédon	40
Gráfica 11 Evolución tensión entre 04/06 y 08/09 en parcela de Mr. Guédon	41
Gráfica 12 Balance hídrico de la parcela de Mr. Guédon	42
Gráfica 13 Evolución tensión durante campaña riego en parcela de Mr. Robin	47
Gráfica 14 Evolución tensión entre 02/06 y 19/07 en parcela de Mr. Robin	48
Gráfica 15 Evolución tensión entre 02/06 y 08/08 en parcela de Mr. Robin	49
Gráfica 16 Evolución tensión entre 02/06 y 07/09 en parcela de Mr. Robin	50
Gráfica 17 Balance hídrico parcela Mr. Robin.....	53