علاقـــة جـديدة لحساب التبخر ـ نتح الحقيقي اليومي

NOUVELLE RELATION POUR CALCULER L'EVAPO-TRANSPIRATION REÉLLE JOURNALIÈRE

الدكتور أحمد الخضر
مدرس في كلية الزراعة
جامعة تشرين

قمنا بتحديد علاقة جديدة يمكن أن تعطي التبخر ـ نتح الحقيقي(ETR) انطلاقا من معطيات تجريبية بسيطة ،حيث عبّر عن الطلب الطاقي المناخي في هذه العلاقة بالتبخر ـ نتح الكامن (ETP) ،وعن حالة العرض المائي للتربة بكمون الماء فيها معدلا بدلالة مقاطع الجذور($\bar{\Psi}S$) وذلك كالتالي : $ETR = \alpha + \beta_1 ETP + \beta_2 \bar{\Psi}S$ حيث :
α , β_1 , β_2 هي معاملات التراجع المتعدد والمعتمدة على نوع التربة وعلى طبيعة المناخ ،هذه العلاقة هي في الواقع ،مشابهة لعلاقة الباحث " ايكلمان " التي أوجدها عام ١٩٧٠ ،حيث تم اختبار صحتها تحت ظروف مخبرية محكمة وتحت الظروف الحقلية عن طريق مقارنتها مع الطرق الأخرى المعروفة .

" كلمات مفاتيح " : تبخر ـ نتح ،كمون مائي ،مقاطع جذور ،ميزان مائي ،ميزان طاقي .

١ ـ مقدمـــة :

تحتل معرفة التبخر ـ نتح (التبخر والنتح) الحقيقي مكانتها المرموقة على الصعيد الزراعي ،خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة من العالم ،وذلك لأنه تتحدد على ضوئها الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية وبالتالي فانها تساهم في تحديد المقننات المائية التي يتوجب الري بها دون هدر بالماء،باعتبار مصادره محدودة في مثل هذه المناطق التي تنضوي ضمنها معظم أماكن الزراعات الواسعة في قطرنا العربي السوري . أضف الى كل هذا وذاك،فان التبخر والنتح الحقيقي هو أحد المعايير المستعملة لتحديد فعالية مياه الري وللتنبؤ بمستوى الانتاج الزراعي (Renger, 1987;Ehlers et al.,1987).رغم هذه الأهمية الملحوظة للتبخر والنتح الحقيقي ،فان الطرق المباشرة لقياسه لازالت شاقة ومكلفة جدا (استخدام الليزيميترات مثلا) ،كذلك فان الطرق غير المباشرة لازالت في طور البحث،ولازالت بحاجة الى الكثير من التحقيقات التجريبية قبل تعميم استعمالها ،ناهيك عن أنها هي الأخرى بحاجة الى أجهزة متطورة ولتكاليف مرتفعة نسبيا (استخدام الاشعة تحت الحمراء والامواج فوق الصوتية ...).أمام هذه الصعوبات في قياس التبخر والنتح الحقيقي،فقد اقترح بعض الباحثين علاقات رياضية لحسابه ،يمكن أن نذكر منها بعض العلاقات النظرية المعتمدة على ميزان الطاقة كعلاقة العالم " بوشيه " عام ١٩٦٤ (Bouchet, 1964) ومعادلة

الباحث " برينيه " عام ١٩٨١ (Brunet 1981) ، ومن ثم بعض العلاقات نصف التجريبية المعتمدة على ميزان الطاقة وعلى رطوبة التربة، والتي أشهرها علاقة الباحث "ايكلمان" عام ١٩٧١ (Eagleman,1971). يمكن تصنيف علاقتنا الجديدة المقترحة مع العلاقات نصف التجريبية باعتبارها تعتمد على ميزان الطاقة وعلى توتر ماء التربة وكثافة المجموع الجذري في الاعماق المختلفة من التربة . ونحن نستعرض هذه العلاقة المقترحة فاننا لنأمل أن تكون صالحة للاستعمال في كافة الاتربة ومختلف انواع المناخ باعتبارها قد أعطت نتائجا مخبرية وحقلية واعدة .

٢ – طرق البحث :

قمنا في هذه الدراسة باختبار مدى صحة علاقتنا المقترحة لحساب التبخر والنتح الحقيقي في وسط مخبري محكم ، حيث الظروف المحيطة شبه ثابتة ، ثم انتقلنا بعدها لاختبار صحتها تحت الظروف الحقلية حيث عناصر المناخ متغيرة ، وذلك بمقارنة النتائج المستحصل عليها باستخدام هذه العلاقة مع النتائج المستحصل عليها باستخدام الطرق الأخرى المعروفة هادفين من وراء ذلك الى اعطاء صيغتنا المقترحة طابع العمومية .

٢ ٠ ١ – في الظروف المخبرية

نفذت تحت الظروف المخبرية تجربة طويلة المدى على مقطع من التربة حيث العناصر المناخية محكمة وشبه ثابتة .

٢٠١٠١ – التجهيزات والمعدات التجريبية المستخدمة :

اقتطعت التربة المستخدمة في هذه التجربة ، من الطبقة الزراعية لحقل تم اختياره لاجراء تجربة أخرى تحت الظروف الطبيعية ، كما سنرى فيما بعد . لقد استخدمنا في تجربتنا المخبرية كوسط للزراعة اسطوانة مصنوعة من البولي ڤينيلين غليكول (P.V.C) ارتفاعها الداخلي يساوي ٥٦ سم وقطرها يساوي ٣٥ سم (مساحة مقطعها ٩٦٢سم٢) مغلفة بأوراق من الالمنيوم المبطن بطبقة عازلة منعا لتأثير عناصر الجو بشكل جانبي على الوسط الداخلي للاسطوانة المحتوية على فتحات مخصصة لغرس أجهزة قياس توتر الماء (Tensiomètres) في مقطع التربة . أما قاعدة هذه الاسطوانة فهي مثقبة وموصولة بأنابيب لصرف الماء الزائد عن السعة الحقلية ، كما هو موضح في الصورة رقم١ (Photo 1) . تحتوي هذه الاسطوانة على مقطع من تربة الحقل التجريبي تتوضع فوق طبقة من الحصى لتسهيل عملية الصرف . لقد تم وضع هذه الاسطوانة المحتوية على مقطع التربة في غرفة مكيفة ، حيث عناصر الجو المحيط شبه ثابتة (درجة الحرارة ١٧ – ١٨م° ، الرطوبة النسبية ٨٠ – ٨٥ ٪ ، مدة الاضاءة اليومية ١٦ ساعة وبشدة قدرها ١٠٠٠٠ لوكس) تمت بعد ذلك زراعة التربة ببذور نبات الاصبعية (Dactylis glomeratia L.) بعد تسميد التربة بسماد متوازن يحتوي على العناصر السمادية الثلاثة (N P K) . أما الري فقد كان يجري باستخدام محاليل الصرف بعد تهويتها واكمالها بكمية من الماء كافية لتعويض مافقد منه بالتبخر والنتح خلال الفترة الواقعة بين ريتين متتاليتين ، التي تراوحت بين يوم واحد في بداية التجربة لتصل في نهايتها الى ١٦ يوما (يوم ، يومين ، ٣ أيام ، ٤ أيام ، ٨ أيام ، ١٦ يوما) . كذلك فقد تم اجراء قياسات يومية للتبخر والنتح باستعمال

ميزان قبان وقياسات يومية أخرى لتوتر ماء التربة ،باستخدام أجهزة قياس توتر الماء المغروسة على بعد ٥ر١٧ سم من محيط الاسطوانة المملوءة بالتربة والموزعة على ستة أعماق (٧ ، ١١ ،٥ر١٥ ، ٢٤ ، ٣٤ ، ٤٤سم). أخيرا فقد تم تحديد الكثافة الجذرية للنبات المزروع على طبقات بسماكة ٥ سم داخل مقطع التربة ،بغية حساب كمون الماء المعدل في هذه الطبقات بدلالة كثافة الجذور .

٢٠١٠٢ – النتائج والمناقشة :

يوضح التبخر والنتح الحقيقي المقاس بين اليوم ٢٩ واليوم ٨٣ بعد الزراعة ومن أجل فترة بين ريتين تتباعد بين ١ و ١٦ يوما سلوكا معقدا جدا ،حيث نلاحظ من خلال الشكل رقم (١) تزايدا مستمرا للتبخر والنتح الحقيقي مع تقدم الزمن بعد الزراعة عندما يكون الري يوميا ،بينما يستقر أو يتناقص بين اليوم ٤٦ واليوم ٦٣ بعد الزراعة مع ازدياد لحدة هذا التناقص بازدياد الفترة الفاصلة بين ريتين متتاليتين . ان هذا السلوك يعكس في الواقع توازنا بين العديد من العوامل صعبة الفصل عن بعضها البعض ،فالكتلة الحيوية للنبات تزدادومع زيادتها يزداد مسطح المجموع الخضري وسطح الجذور،وتزداد والحالة هذه حركة الماء عبر النبات باتجاه الغلاف الجوي . بالمقابل فان جفاف التربة الذي يتبعه تزايد كمون الماء فيها (ΨS) يزداد بنفس الوقت مع تزايد عمر النبات ومع تباعد الفترة الفاصلة بين ريتين، كذلك فان تغيرات السطح المبخر سيكون لها دور مهم في تغيرات التبخر والنتح الحقيقي،وذلك لأننا نستطيع اعتبار النباتات كأفراد معزولة في بداية التجربة، لأن أوراقها لاتغطي الا جزءا من سطح مقطع التربة ،بينما يلاحظ في نهاية التجربة بأنها لم تغط سطح التربة فحسب ،بل انها امتدت الى خارج اطار محيط الاسطوانة كما هو واضح في الصورة رقم ٢ (Photo 2) هذا في حين أن العناصر الجوية المؤثرة على التبخر والنتح بقيت شبه ثابتة (شدة الاضاءة) الفترة الضوئية ،درجة الحرارة ، بعد الهواء عن الاشباع ببخار الماء،سرعة الرياح ،....) لذلك فانه من غيرالمستغرب أن تكون العلاقة بين التبخر والنتح الحقيقي وبين الزمن بعد الزراعة علاقة معقدة جدا.

١٠٢٠١٠٢– العلاقة بين التبخر والنتح الحقيقي وبين كمون ماء التربة :

يمكن تفسير حركة الماء بين التربة والنبات والجو المحيط بالاستناد الى نظرية van den Honert, 1948 التي طبقها وطورها العديد من الباحثين أمثال Hallaire,1964,Gardener,1960 Berger,1971,Van Bavel,1974 , Black,1979 . EL - Khodre,1984

في الواقع تنطلق جميع هذه الاعمال من تطبيق قانون " اوم " على شدة التدفق المائي المعتبرة على أنها خارج قسمة فرق الكمون المائي على مجموع المقاومات التي تعترض تدفق الماء في مسيرته المفترضة. من جهة أخرى ،بما أن مصدر كامل التدفق المائي بين التربة والغلاف الجوي(التبخر) وكذلك قرابة كامل التدفق المائي بين النبات والجو المحيط (النتح) هو التربة (في حالة النتح هناك تدفق مائي ضئيل مصدره النبات نفسه كما أشار الى ذلك العديد من الباحثين أمثال: Berger 1981 , KAterji et al, 1983 فان العلاقة بين التدفق المائي وكمون الماء ضمن التربة يمكن أن تمدنا بمعلومات مهمة جدا عن ظروف التبخر والنتح. لقد استطعنا من خلال هذه الدراسة أن نوضح

تواجد علاقة بصورة قطع زائد بين المعدل $\frac{ETR}{\psi S}$ وبين القيمة المطلقة لكمون ماء التربة ، حيث يمدنا الشكل رقم (٢) بالمنحنيات المحددة للنقاط المستحصل عليها تجريبيا ، مستخدمين في ذلك جميع القياسات الخاصة بكمون الماء ضمن التربة، مهما كان العمق المأخوذ عنده، ومهما كانت تكرارية الري المتبعة . في الواقع ، لم يسمح لنا العدد الكبير للنقاط التجريبية من تمثيلها فرديا، لكن مع ذلك، فانه من الواضح على الشكل بأن عدم الانتظام في المنحني المعبر عن تغيرات التبخر والنتح الحقيقي بدلالة الزمن (شكل رقم ١)، يمكن تفسيره انطلاقا من تغيرات كمون الماء ضمن التربة . لقد أوضح الاختبار المفصل للنتائج بأن المنحني العلوي المحدد للنقاط التجريبية يقابل الافراد النباتية الاكثر عمرا ، بينما تتوضع النقاط الممثلة للأفراد النباتية الفتية على مقربة من المنحني السفلي، وبأن النقاط التجريبية لاتتوضع على خط القطع الزائد بصورة دقيقة سوى في نهايته ، عندما تكون القيمة المطلقة لتوتر ماء التربة أكبر من ١٨٠ سم ماء ، حيث إن الافراد النباتية الممثلة لهذه النقاط التجريبية هي في الواقع ذات عمر كبير وسطوح تبادلية كبيرة . في مثل هذه الحالة تصبح العلاقة بين توتر ماء التربة وبين التبخر والنتح الحقيقي في ظل ظروف مناخية ثابتة واضحة دون غموض . ان لهذا الطور النهائي من القطع الزائد دلالات ذات اهمية بالغة، وذلك لأنه يشير الى أننا اذا استطعنا ايجاد علاقة بين التبخر والنتح الحقيقي وبين كمون الماء ضمن التربة، فان هذه العلاقة ستكون دقيقة بشكل كاف عندما يبلغ النبات نموه الكامل، وهذا ماينطبق على حالة المروج المؤقتة والدائمة . اقتصر عرضنا في الشكل رقم ٣ على النقاط التجريبية الخاصة بقياسات كمون الماء داخل التربة المنفذة على عمق ٧ سم ، باعتبارها تسمح بتحليل دقيق ومفصل لتأثير العوامل المدروسة هنا ، حيث تلاحظ امكانية ضبط النقاط التجريبية عند العمق المذكور أعلاه بعلاقة قطع زائد من الشكل التالي :

$$ETR/|\psi S| = f(1/|\psi S|)$$

من جهة أخرى ، يوضح التمثيل اللوغاريتمي للعلاقة السابقة (شكل رقم ٤) خطية جيدة مع توزع متوازن وطبيعي للنقاط التجريبية حول مستقيم التراجع الخطي، بحيث نستطيع أن نكتب والحالة هذه العلاقة التالية :

$$ETR/|\psi S| = 10^{2,193} \cdot (1/|\psi S|)^{0,764}$$

مع وجود معامل ارتباط (r) قوي ويساوي ٠ر٩٨٢ . فضلا عن ذلك، فان المقارنة بين مميزات ضبط النقاط التجريبية توضح بشكل عام تناقصا تدريجيا للميل (b) ولمعامل الارتباط (r) مع ازدياد العمق، كما في الجدول رقم (١) :، حيث يمكن أن يعزى ذلك الى تناقص الكثافة الجذرية . في النهاية فانه يمكن ضبط مجمل النقاط التجريبية مهما كان العمق بمستقيم تراجع خطي وحيد من الشكل

$$ETR/|\psi S| = 10^{2,288} \cdot (1/|\psi S|)^{0,776}$$

بوجود معامل ارتباط قدرة ٠ر٩٦٠.

مهما يكن شكل القطع الزائد الممثل للعلاقة بين النسبة $ETR / |\psi S|$ وبين $|\psi S|$، فانه يعطي قيما تقريبية للتبخر والنتح الحقيقي في ظروف متغيرة من التغذية المائية ومن مراحل تطور النبات، وذلك عن طريق تحديد بسيط لكمون الماء ضمن التربة .

من أجل اعطاء هذه العلاقة معنى أكثر شمولية، فقد كان من المتوجب تحديد الناقلية المائية للمنظومة البيئية الاتصالية تربة ـ نبات ـ غلاف جوي حيث يتطلب ذلك تحديدا

جدول رقم (١)

العمق سم	b	r
٧	٠ر٧٦٤	٠ر٩٨٢
١١	٠ر٧١٦	٠ر٩٧٧
١٥م	٠ر٦٧٦	٠ر٩٥٤
٢٤	٠ر٧٠٨	٠ر٩٤٥
٣٤	٠ر٧٠٠	٠ر٩٤١
٤٤	٠ر٥٤٩	٠ر٨٦٢

لتغيرات كمون الماء ضمن النبات وضمن الغلاف الجوي ،الامرالذي لم نفعله ،والذي كان وراء عدم ذهابنا الى أبعد مما ذهبنا اليه في تحليل النتائج المستحصل عليها.

٢٠٢٠١٠٢- العلاقة المقترحة لحساب التبخر والنتح الحقيقي اليومي :

بما أن التبخر والنتح الكامن المعرف من قبل العالم " بنمان"(Penman,1956) ثابت خلال تجربتنا المخبرية في وقت يتزايد فيه النتح مع تزايد السطوح الورقية والجذرية للنبات ، فانه من المنطقي التفكير بأننا يمكن أن نتوصل الى تعميم للعلاقة بين التبخر والنتح الحقيقي وبين كمون الماء ضمن التربة،عندما يكون التبخر والنتح الكامن المناخي متغيرا ،أي عندما يكون :

$$ETR = f(ETP, \psi S)$$

لقد اعتبرنا بهذا الصدد أن التبخر والنتح الكامن مساو بالتقريب للتبخر والنتح الحقيقي عندما يتم ري النباتات يوميا مستندين في ذلك على أعمال المؤلف " بوشيه "(Bouchet, 1964)،وبالتالي فان التبخر والنتح الكامن المقابل لتبخر ونتح حقيقي في ظل نظام ري أكثر تباعدا، يمكن استنتاجه انطلاقا من منحني التبخر والنتح الحقيقي عندما يكون الري يوميا (راجع الشكل رقم ١). من جهة أخرى ، فقد تم تعديل كمون الماء ضمن التربة على مختلف أعماقها المدروسه بالتبعية لمقطع الجذور المستحصل عليه في نهاية التجربة، وذلك بضرب كمون الماء الوسطي عند كل عمق ($\bar{\psi}i$) بالنسبة $\frac{BRi}{BRT}$ حيث :

BRi : الكتلة الحيوية للجذور عند العمق i

BRT : الكتلة الحيوية الكلية للجذور في كامل المقطع المعتبر للتربة .

بهذه الطريقة فاننا نستطيع التعبير عن الكمون الوسطي المعدل لماء التربة ($\bar{\psi}S$) بالشكل التالي :

$$\bar{\psi}S = \psi_1 \cdot \frac{BR_1}{BRT} + \psi_2 \cdot \frac{BR_2}{BRT} + \ldots + \psi_N \frac{BRN}{BRT}$$

هذه الطريقة المتبعة في تعديل كمون ماء التربة مشابهة للطريقة المقترحة من قبل الباحثين(Van-Bavel et Ahmed,1976) لقد تم تحليل النتائج المستحصل عليها

من التابع $ETR = f(ETP, \psi_S)$ باستخدام برنامج متعدد العوامل (راجع برامج الحسابات البيولوجية B.M.D.P لعام ١٩٧٩) ، حيث حصلنا من هذا التحليل على العلاقة التالية

$$ETR = 0,34058 + 0,87908\ ETP + 0,00743\ \overline{\psi}_S$$

مع وجود معامل ارتباط متعدد يساوي ٠ر٩٥٪ وخطأ قياسي يساوي ٠ر٣٢٩٥ في تقدير التبخر والنتح الحقيقي،ويمثل الشكل رقم (٥) العلاقة بين قيم التبخر والنتح الحقيقي المحسوبة انطلاقا من العلاقة المذكورة أعلاه (ETR_C) وبين قيمه المقاسة مباشرة (ETR_O) .

علاوة على ذلك فقد أوضح التحليل المميزات الاحصائية التالية :

- يظهر اختبار الاحتمالية توزعا طبيعيا للقيم المتبقية ($ETR_O - ETR_C$)
- يشير اختبار" F " بأن التراجع المتعدد ذو معنى جوهري،وذلك لأن قيمة F بلغت ١٧٤ر٢١٨ .
- توضح مصفوفة الارتباط بين متغيرات التابع ($ETR = f(ETP, \overline{\psi}_S)$ وجود القيم التالية

	ETR	ETP	$\overline{\psi}$ S
ETR	1	-	-
ETP	0,949	1	-
$\overline{\psi}$ s	0,729	0,839	1

لو قارنا العلاقة المقترحة أعلاه مع العلاقات الاخرى المقترحة في هذا المجال، فاننا سنجد بأنها الأكثر بساطة والاسهل استعمالا وبانها قريبة من بعض الموديلات الرياضية المبسطة المستعملة لحساب التبخر والنتح الحقيقي (Goodall,1969)، فعلى سبيل المثال،أوضح الباحثان Denmead et Shaw, 1962 بأنه من الممكن الحصول على التبخر والنتح النسبي ETR/ETP انطلاقا من الرطوبة النسبية للتربة (Hr) حيث $Hr = \frac{Ha - Hf}{Hc - Hf}$ وذلك باستخدام الصيغة التجريبية التالية :

$$ETR / ETP = A + B(Hr) + C(Hr)^2 + D(Hr)^3$$

مع العلم أن: A ، B ، C ، D هي معاملات التراجع المتعدد العوامل

Ha : هي الرطوبة الحالية للتربة

Hf : هي الرطوبة عند نقطة الذبول

Hc : هي الرطوبة عند السعة الحقلية

كذلك فقد حصل الباحث Eagleman,1971 على علاقة احصائية تجريبية تعطى التبخر والنتح الحقيقي (ETR) انطلاقا من التبخر والنتح الكامن (ETP) ومن الرطوبة النسبية للتربة (Hr) وذلك كالتالي :

$$ETR = 0,732 - 0,050(ETP) + [4,97(ETP) - 0,661(ETP)^2]\ Hr - [8,570\ (ETP) - 1,56(ETP)^2]Hr^2 + [4,35\ (ETP) - 0,88(ETP)^2]Hr^3$$

لقد استخدمت هذه النماذج من العلاقات من قبل العديد من المؤلفين بغية نمذجة (modélisation) التبخر والنتح الحقيقي اليومي (انظر Yu et al.,1957 وكذلك COrnet ,1981).من خلال استعراضنا السريع للعلاقتين السابقتين، نجد بأنهما تستخدمان التبخر والنتح الكامن والرطوبة النسبية لحساب التبخر والنتح الحقيقي ، فاذا علمنا أن الارتباط وثيق بين الرطوبة النسبية للتربة وكمون الماء فيها،فاننا سنجد أن مزايا علاقتنا المقترحة تكمن في قدرتها على تبسيط الحد $\frac{Ha - Hf}{Hc - Hf}$ ، وذلك باستبداله بكمون الماء ضمن التربة الاسهل تحديدا في

الظروف الحقلية دون احداث تغيير ملحوظ في مقطع التربة (قياس غير مدمر).

٢٠٢ ـ في الظروف الحقلية :

نفذت تحت ظروف طبيعية متغيرة ، تجربة طويلة المدى، في حقل مخصص لذلك، كانت قد أجريت على مقطع من تربته التجربة المخبرية التي قمنا باستعراضها آنفا .

١٠٢٠٢ـ التجهيزات والمعدات التجريبية

لقد كان الهدف من اجراء هذه التجربة الحقلية هو اختبار مدى قدرة العلاقة المقترحة لحساب التبخر والنتح الحقيقي في الظروف المخبرية على تقدير هذه الظاهرة تحت ظروف طبيعية متغيرة، حيث استخدمنا من أجل ذلك حقلا تجريبيا مستطيل الشكل أبعاده ٢٥ x ٥ر١٦ مترا مكون من ١٢ قطعة مستطيلة متساوية الابعاد (٢٥ x ٥٠ر١م) مفصولة عن بعضها بأحد عشر ممرا متساوية الابعاد (٢٥ x ٣٦ر٠م). تمت زراعة القطع المستطيلة على خطوط متباعدة بمقدار ٥ر١سم ببذور نبات الاصبعية - Dactylis) (glomerata وطبقت على الحقل التجريبي أربعة أنواع من المعاملات المائية والآزوتية، بحيث خصص لكل معاملة ثلاث قطع بمثابة مكررات(شكل رقم ٦) أي ان المعاملات كانت كالتالي :

- قطع مروية ومسمدة بالآزوت ($H^+ N^+$)
- قطع مروية بدون تسميد آزوتي (H^+N^-)
- قطع بدون ري مع تسميد آزوتي (H^-N^+)
- قطع بدون ري وبدون تسميد آزوتي (H^-N^-).

أما العناصر السمادية الاخرى (الفوسفور والبوتاسيوم) والعناصر الصغرى، فقد أضيفت بشكل متوازن الى كافة القطع.

لقد حددت في هذا الحقل التجريبي خصائص الوسط الداخلي للتربة (وصف آفاق مقطع التربة ، تحاليل البناء والقوام والتحاليل الكيميائية، الكثافة الظاهرية، تغيرات الرطوبة الحجمية ، تغيرات كمون الماء والحمولة المائية في التربة ، تغيرات مستوى الماء الارضي ، مراقبة التوابع الهيدروديناميكية للتربة ، مراقبة درجة حرارة التربة والانتشارية الحرارية على الاعماق المختلفة، ....) ، كذلك فقد تمت مراقبة تغيرات عناصر الجو (القدرة البخرية للهواء ، الهطولات ، درجات الحرارة العظمى والصغرى ، سرعة الرياح ، الشعاع الاجمالي ، مدة السطوع الشمسي اليومي،..) وتوضح الصورة رقم (٣)(Photo 3)بعض الاجهزة المستخدمة في تحديد خصائص الوسط الداخلي للتربة ولعناصر الجو،والتي رمز لها بالأحرف G,F,E, D,C , B, A حيث :

A تمثل من الاعلى نحو الاسفل مقياسي مدة السطوع الشمسي (هليوغراف Héliographe) وشدة الشعاع الاجمالي (بيرانومتر Pyranomètre

B : تمثل طريقة اقتطاع عينات التربة باستخدام الاسطوانات الفولاذية لتحديد الكثافة الجذرية .

C : حفرة في الحقل التجريبي استعملت لوصف مقطع التربة .

D,E : منظر اجمالي للحقل التجريبي حيث تظهر فيه شبكة ري بالرذاذ ومقياس لسرعة الرياح وقفص خشبي يحتوي على مقاييس لدرجات الحرارة العظمى والصغرى وعلى مبخر البيش لقياس قدرة الهواء على تبخير الماء، كذلك يظهر في الصورتين D,E محطات قياس

حرارة التربة ومراكز قياس توتر مـــاء التربة .

F : تمثل المبعثر النيتروني الـــذي استخدم لقياسات الرطوبة الحجمية للتربة .

G : تمثل المبعثر الغامانيتروني المستعمل لقياس الرطوبة الحجمية والكثافة الظاهرية للتربة بآن واحد .

٢٠٢٠٢ ـ النتائج والمناقشة :

بهدف التثبت من صحة العلاقـــة بعض التجريبية التي قمنا باقتراحهـــا في الفقرة ٢٠٢٠١٠٢ ومن قدرتها على حساب التبخر والنتح الحقيقي تحت ظروف طبيعيـــة متغيرة ومتداخلة، فقد قمنا بمقارنـــة نتائجها مع نتائج الطرق الاخرى المعروفة المعتمدة على الموازين المائية والطاقيـــة، آملين من كل هذا وذاك أن نصبغ علـــى علاقتنا المقترحة صبغة التعميم

٢٠٢٠٢٠١ـ التبخر والنتح الحقيقـــي المحسوب باستخدام ميزان الطاقـــة (ETR b.e)

لقد تم حساب التبخر والنتـــح الحقيقي المعتمد على ميزان الطاقـــة باستخدام صيغة المؤلف بوشيه (Bouchet ,1964) وكذلك صيغة الباحث (Brunet, 1981) وكذلك باستعمال صيغة الباحثين (Priestley et Taylor,1972) من أجل حساب التبخر والنتح الحدي(ETPO) المعرّف من قبل الباحث(Perrier,1975) وذلك باعتماد معامل تأفق وسطي لكتلـــة الهواء يساوي ١٫٢٦ : (NAJJAR,1982). لقد دلت نتائج المقارنة بين قيم التبخـــر والنتح الحقيقي المحسوبة بأن صيغتـــي Bouchet و BRunet متقاربتـــان جداً،وذلك لأن مستقيم التراجع الخطي الممثل للعلاقة بين قيم التبخر والنتح الحقيقـــي اليومي المحسوبة باستخدام الصيغتيـــن هو مستقيم منطبق تقريبا على المنصـــف (شكل رقم ٧)،حيث تأخذ معادلته الشكل التالي :

$$ETR(Brunet) = 0,042 + 1,037\ ETR(Bouchet)$$

مع وجود معامل ارتباط قوي($r=0,997$)

٢٠٢٠٢٠٢ ـ التبخر والنتح الحقيقـــي المستخرج من الميزان المائي (ETR b.h)

اقترحت عدة موديلات لاستخراج التبخر والنتح الحقيقي انطلاقا من الميزان المائي، والتي نذكر منها العلاقات الرياضية المبدئية المجردة (GOOdall,1969).ثـــم الموديلات التجريبية (Rambal,1980 , Franquin et Forest, 1977 وأخيرا الموديلات التحليلية التي تستخدم قانـــون " دارسي " بغية حساب تدفق المـــاء والمستخلصات الجذرية (Rose et al,1972 Rose,1966 , Vachaud et al.,1978 Humbert, 1982).

لقد تم حساب التبخر والنتح الحقيقي خلال دراستنا الحالية انطلاقا من الميـــزان المائي المبسط،وذلك في بعض الفترات الجافة نسبيا (في حالة عدم وجود صرف أوجريان سطحي وباهمال مايصعد من الماء بالخاصـــة الشعرية،حيث استخدمت الصيغة المبسطـــة التالية في حسابه

$$ETR_{b.h} = [(P + I) - (\Delta S)_0^{60}]$$

مع العلم أن : $P + I$ هو مجموع كميات المياه المستقبلة من قبل التربة (مم ماء) سواء عن طريق الأمطار(P) أو عن طريق الري (I) ، أما $(\Delta S)_0^{60}$ فهي عبارة عن تغيرات المخزون المائي ضمن الطبقـــة المحصورة بين سطح التربة والعمق ٦٠ سم

مقاسة بالمليميتر ماء .

لقد قمنا بتمثيل العلاقة بين قيم التبخر والنتح المحسوب باستخدام الميزان المائي المبسط،وبين قيمه المحسوبة باستخدام ميزان الطاقة بالأشكال رقم ٨ و ٩ حيث يظهر من خلال هذه الأشكال بأن هناك علاقة خطية يمكن التعبير عنها بطريقتين بحسب الصيغة المستخدمة لحساب التبخر والنتح الحقيقي انطلاقا من ميزان الطاقة :

ETRb.h=0,249 + 0,952 ETR(Bouchet)

r = 0,982

ETR b.h= 0,250 + 0,943 ETR(Brunet)

r = 0,984

يظهر أن هذين الشكلين قريبان من بعضهما البعض و أن قيم التبخر والنتح الحقيقي المحسوبة باستخدام الميزان المائي أعلى بقليل من قيمه المحسوبة باستخدام ميزان الطاقة . في الواقع ، وكما أشار العديد من المؤلفين (Daudet et valancogne 1976 ; cornet , 1981) فان قيم التبخر والنتح الحقيقي المحسوبة باستخدام الميزان المائي المبسط لاتعكس الحقيقة دائما،وذلك لأن مخزونا ثابتا من الماء ضمن التربة يمكن أن يفسر بطريقتين، فهو اما أن ينتج عن تدفق مائي معدوم، واما أن ينتج عن نظام مائي مستمر .

٣٠٢٠٢٠٢- التبخر والنتح الحقيقي المحسوب من علاقتنا المقترحة (ETR*)

اقترح العديد من المؤلفين علاقات تجريبية تربط بين التبخر والنتح وبين رطوبة التربة (Denmead et shaw,1962 ; Van Bavel , 1967) وتعتبر علاقة Eagleman, 1971 في هذا المجال العلاقة الأكثر استعمالا،حيث عدلت من قبل Hanson,1976، وادخل اليها معاملا جديدا متعلقا بأهمية الغطاء النباتي معبرا عنه بالدليل الورقي ، كذلك فقد أدخل Cornet, 1981 اليها معاملا يدعى معامل استهلاك النبات للماء الذي يكبر مع تطور الغطاء النباتي

لقد (Clement et Galand, 1979) أفضت دراستنا لنبات الاصبعية في الظروف المخبرية المراقبة الى علاقة تعطي التبخر والنتح الحقيقي اليومي اعتبارا من التبخر والنتح الكامن والكمون الوسطي للماء المعدل في التربة بالتبعية لمقطع الجذور($\bar{\psi}S$) بحيث يكون :

$$ETR = 0,34058 + 0,879\ ETP - 0,00743\ \bar{\psi}S$$

حيث : ETR و ETP هما على التوالي لتبخر والنتح الحقيقي والكامن معبرا عنهما بالمليميتر ماء في اليوم .

$\bar{\psi}S$ هو الكمون الوسطي المعدل لماء التربة معبرا عنه بالسنتيميتر ماء ، أما درجة نمو النباتات فقد تمثلت في علاقتنا السابقة عن طريق استخدامها في تعديل كمون الماء عند كل عمق من أعماق مقطع التربة المستعمر من قبل الجذور النباتية، وذلك بضرب الكمون الوسطي للماء في الفترة المعتبرة ($\bar{\psi}i$) بالمعامل الوسطي للتعديل $\bar{K}i$ $(\bar{K}i=\bar{BR}i/BRT)$

أي ان $\bar{\psi}S$ يصبح بالشكل التالي :

$$\bar{\psi}S = \bar{\psi}1 \cdot \frac{BR_1}{BRT} + \bar{\psi}2 \cdot \frac{BR_2}{BRT} + \bar{\psi}N \frac{BRN}{BRT} = \sum_{i=1}^{i=n} \bar{\psi} \cdot \frac{BRi}{BRT} = \sum_{i=1}^{i=n} \bar{\psi}i \cdot \bar{K}i$$

لقد استحصل على المعامل الوسطي للتعديل في الحقل التجريبي باستخدام مقطعي تجذير متوسطة ممثلة لمرحلة نمو النبات المزروع (يمثل كل مقطع متوسط ستة مقاطع منفذة بنفس التاريخ)، ويعطى الجدول أدناه القيم الوسطية لمعاملات

للتعديل ($\overline{Ki}$) ولمعاملات التغير (C.V) حيث: $C.V = 100 \times \frac{\text{الانحراف عن المتوسط}}{\text{المتوسط}}$

العمق سم	مقطع الجذور الأول				مقطع الجذور الثاني			
	Ki		BRi غ/دسم٣		Ki		BRi غ/دسم٣	
	C.V	$\overline{Ki}$	C.V	$\overline{BRi}$	C.V	$\overline{Ki}$	C.V	$\overline{BRi}$
٠٠ – ٥	٤ر١٤١	٠ر٦٤٣٦	١٦ر٣٣٩	٢ر٩٦٠	٢ر١٠٣	٠ر٦٢٨	١٤ر٩٠٩	٣ر٢٤٤
٥ – ١٠	١٢ر٢٥١	٠ر١٩٢٢	١٨ر٠٤٧	٠ر٨٨٤	٧ر٠٧٣	٠ر١٨٣٧	١٠ر٥٧٥	٠ر٩٤٩
١٠–١٥	١٥ر١٣٥	٠ر١١٢٢	١٠ر٣٥٥	٠ر٥١٦	٧ر١٩٠	٠ر١٢٠٢	١٧ر٩٥١	٠ر٦٢١
١٥–٢٠	٢٤ر٦٨٧	٠ر٠٣٤٨	٢٥ر٢٥٨	٠ر١٦٠	١٥ر٤١٥	٠ر٠٤٩٧	٢٨ر١٩١	٠ر٢٥٧
٢٠ – ٣٠	١٩ر٨٥٠	٠ر٠١٧٢	١٦ر٨٢٥	٠ر٠٧٩	٢١ر٣٩٩	٠ر٠١٨٤	٣٦ر٢٧٤	٠ر٠٩٥
المجموع	–	–	١٣ر٨٤٥	٤ر٩٩	–	–	١٤ر٢٢٤	٥ر١٦٦

توضح الاشكال رقم ٧ ، ٨ ، ٩ العلاقة بين التبخر والنتح الحقيقي المحسوب باستخدام الصيغة التي قمنا باقتراحها (ETR^*) وبين التبخر والنتح الحقيقي المحسوب باستخدام ميزان الطاقة (ETR Brunet, ETR Bouchet)، وكذلك التبخر والنتح الحقيقي المحسوب باستخدام الميزان المائي المبسط($ETR_{b.h}$)، حيث يلاحظ من خلال هذه الاشكال أن قيم التبخر والنتح المحسوبة باستخدام علاقتنا المقترحة وقيمه المحسوبة باستخدام علاقة المؤلف " بوشيه " وصيغة الباحث"بريتيه " هي قيم متقاربة جدا،وذلك لأن مستقيمات التراجع الخطي الممثلة للعلاقات بين الطرق السابقة مأخوذة مثنى مثنى،هي مستقيمات منطبقة على المنصف تقريبا، بالمقابل فان قيم التبخر والنتح الحقيقي المستحصل عليها باستخدام الميزان المائي المبسط هي أعلى بقليل من القيم المستحصل عليها بالطرق الثلاث السابقة،وبالتحديد فقد قادت هذه المقارنة الى المعادلات الخطية التالية :

$ETR^* = 0,018 + 0,904\ ETR\ (Bouchet)$,
$r = 0,952$

$ETR^* = 0,039 + 0,879\ ETR\ (Brunet)$,
$r = 0,963$

$ETR^* = 0,457 + 0,987\ ETR\ b.h$,
$r = 0,998$

٣ – خاتمة :

من خلال هذا الاستعراض للعلاقة التي قمنا باقتراحها لحساب التبخر والنتح الحقيقي اليومي ، ومن خلال مقارنة النتائج المستحصل عليها باستخدامها في الظروف المخبرية مع نتائج الطريقة الوزنية المباشرة، كذلك من مقارنة النتائج المستحصل عليها باستخدامها تحت الظروف الطبيعية مع النتائج المستحصل عليها باستخدام الطرق الاخرى

المعروفة كطريقة المؤلف " بوشيه " وطريقة الباحث " برنيه "،ومن ثم الطريقة التي تعتمد على الميزانية المائية للتربة نخلص الى أن العلاقة التي قمنا باقتراحها لاتتفق مع الطرق الاخرى المعروفة فحسب، بل قد تكون الاكثر بساطة وربما الاكثر دقة بآن واحد،باعتبارها تستخدم حدودا سهلة التعيين دون احداث اضطراب في الوسط الطبيعي (قياسات غير مدمرة)، ولأنها تعكس بنفس الوقت ظروف المناخ المعبر عنها بالتبخر والنتح الكامن وظروف امتصاص الماء المعبر عنها بانتشار المجموع الجذري للنبات في الآفاق المختلفة للتربة ، وما يتبع ذلك من تغيرات في كمونية الماء ضمن هذه الآفاق . ختاما فان هذه العلاقة المقترحة صالحة لحساب التبخر والنتح الحقيقي اليومي في كافة أنواع التربة وفي مختلف أنواع المناخ بعد ادخال معامل تجريبي خاص بالتربة وآخر خاص بالمناخ في العلاقة الاساسية المقترحة، واننا لنأمل لهذه العلاقة دخولا سهلا في اطار التعميم مادامت متجانسة مع الطرق المباشرة لقياس التبخر النتح الحقيقي ومنسجمة مع صيغ حسابه .

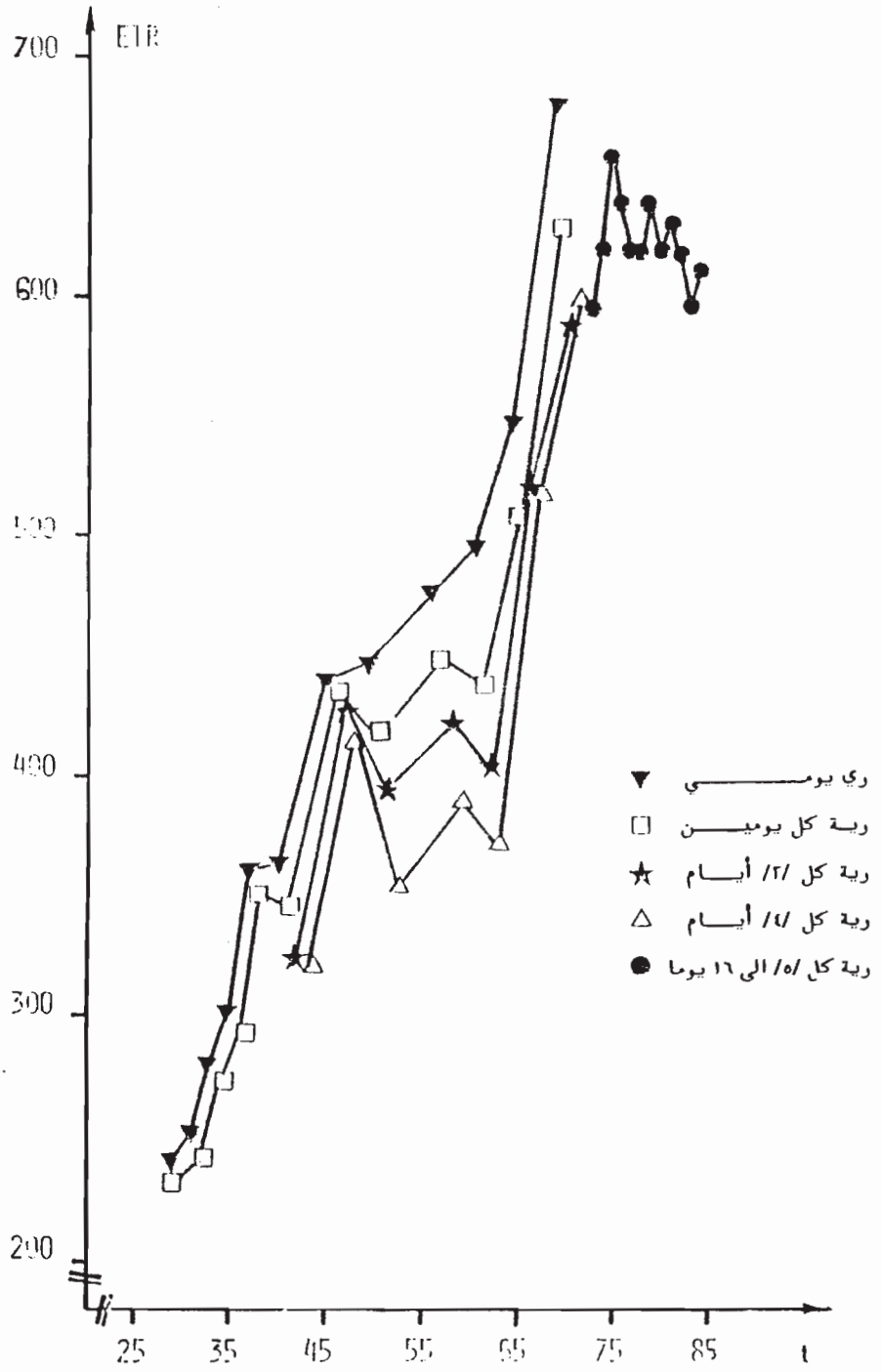
RÉSUMÉ

Nous avons déterminer une novelle relation qui peut donner l'évapotranspiration réelle (ETR) à partir de données empiriques simples . Dans cette relation , la demande énergétique climatique est représentée par l'évapotranspiration potentielle (ETP) , et l'état de l'ofre hydrique du sol est représentée par le potentiel de l'eau dans le sol pondéré en fonction des profils de racines ($\bar{\Psi}$ S) tel que :ETR = $\alpha + \beta_1 ETP + \beta_2 \bar{\Psi} S$, avec: α , β_1, β_2 sont les coefficients de la régression multiple qui dépendent des types de sol et de climat . Cette relation est analogue à celle d'EAGLEMAN, 1971. Elle est testée en conditions contrôlées et sur le terrain en rapport avec les autres méthodes connues.

" Mots clés" : Évapo - Transpiration, Potentiel hydrique, profils de racines, Bilan hydrique, Bilan énergétique .

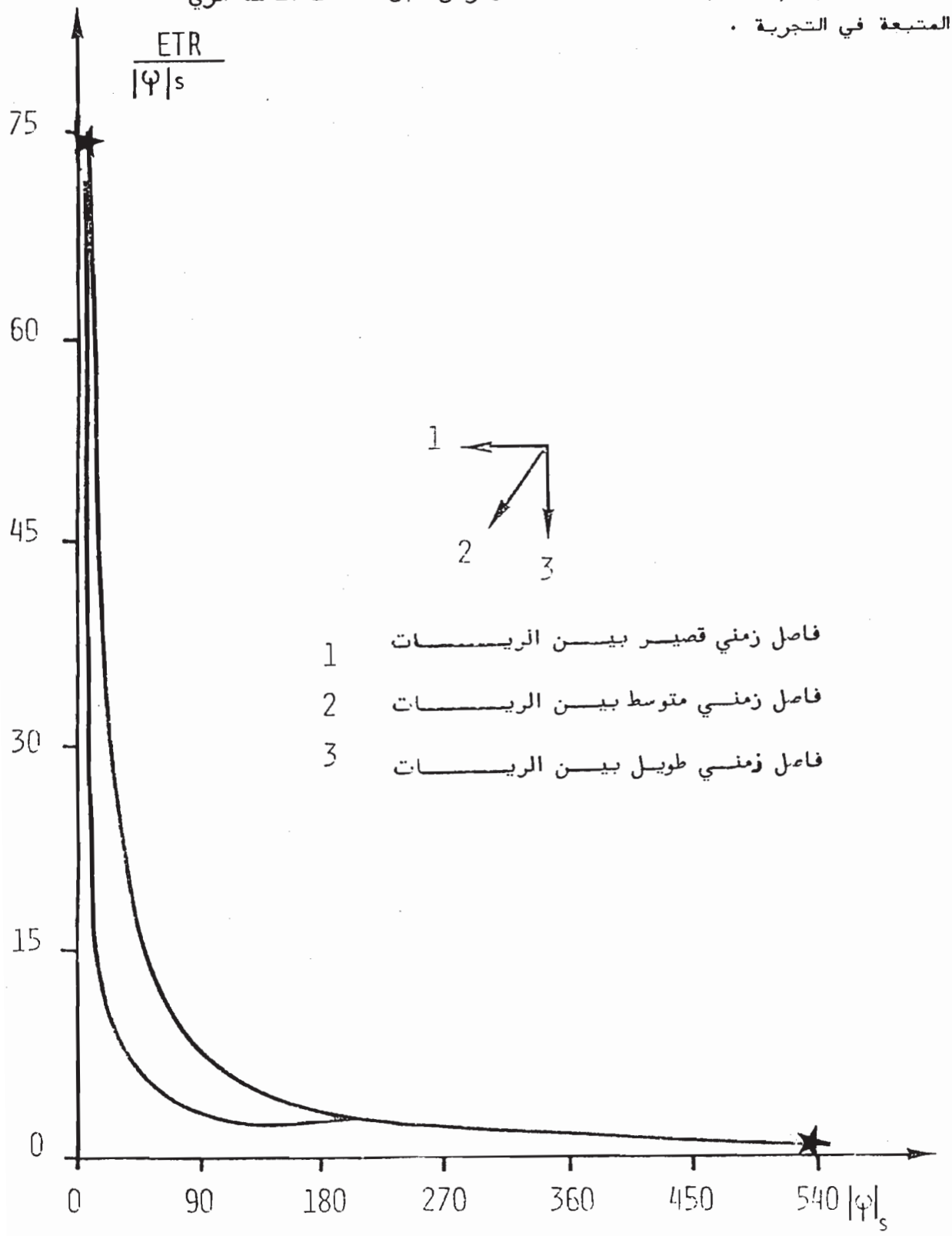
شكـــل (١) :

تغيرات التبخر والنتح الحقيقي اليومي ETR (غ/يوم) بدلالة الزمن ١ يوم بعد الزراعة)
من أجل مختلف أنظمة الري المتبعة في التجربة .



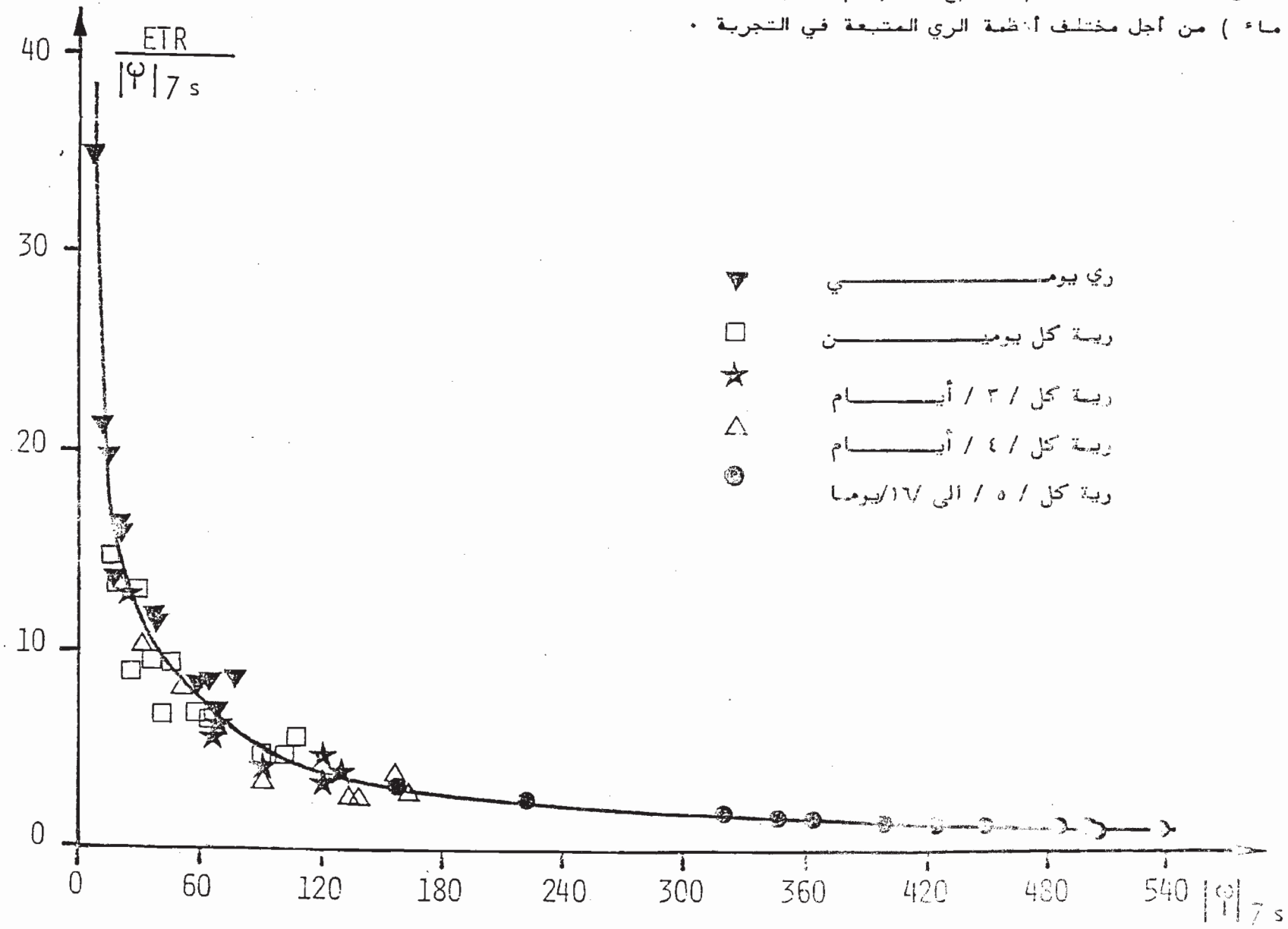
شكل رقم (٢) :

المنحني المغلف لتغيرات النقاط التجريبية (٣٠٠ نقطة) الممثلة للعلاقة بين النسبة S ETR/|Ψ| (غ ماء / سم ماء) وبين القيم المطلقة لكمون الماء ضمن التربة (سم ماء) على مختلف الأعمال ومن أجل مختلف أنظمة الري المتبعة في التجربة .



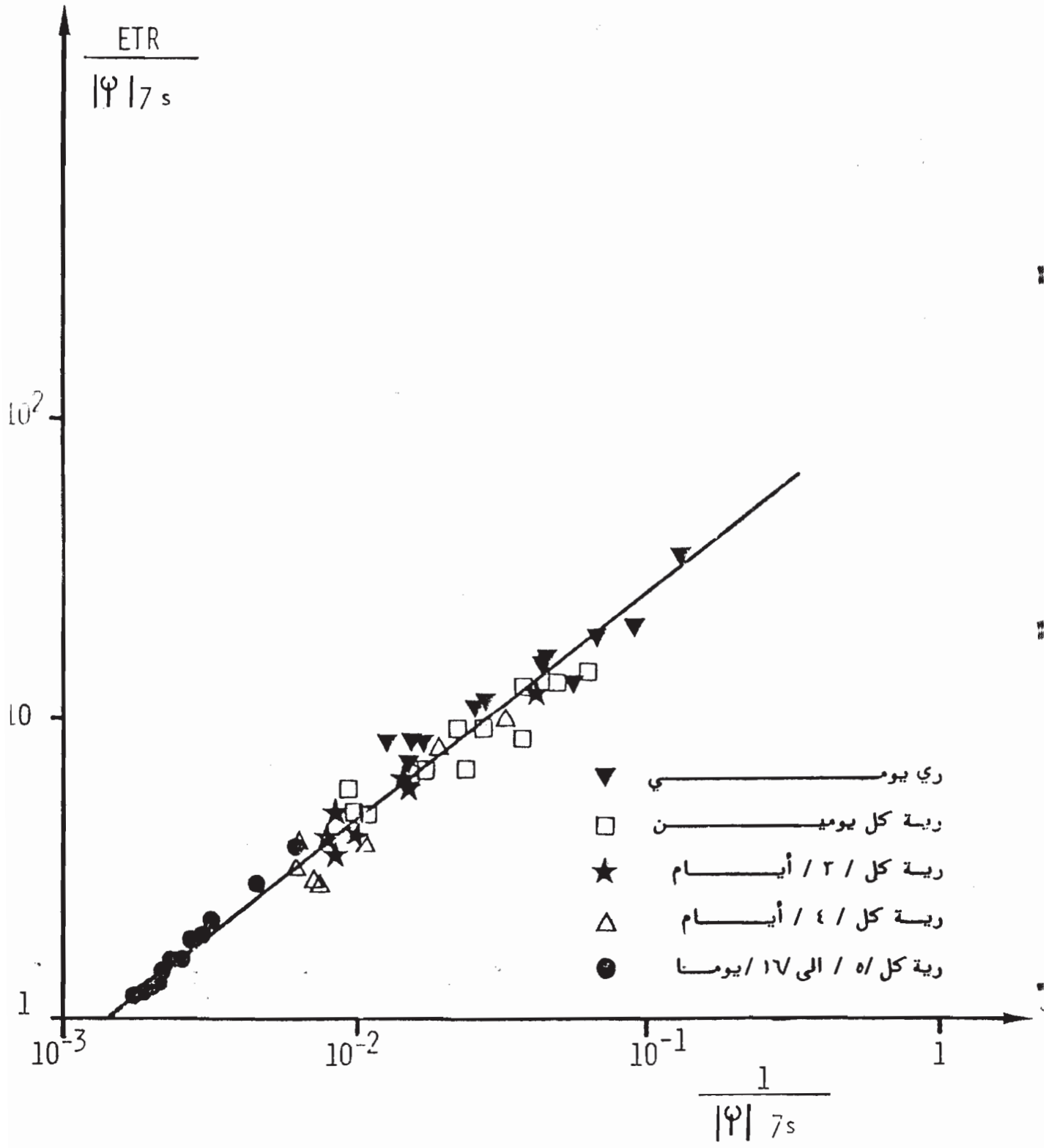
شكل (٣) :

العلاقة بين النسبة $ETR/|\Psi|_S$ (غ ماء/ سم ماء) وبين القيم المطلقة لكمون الماء على عمق ٧ سم ضمن التربة $|\Psi|_{7S}$ (سم ماء) من أجل مختلف أنظمة الري المتبعة في التجربة .



شكل (٤):

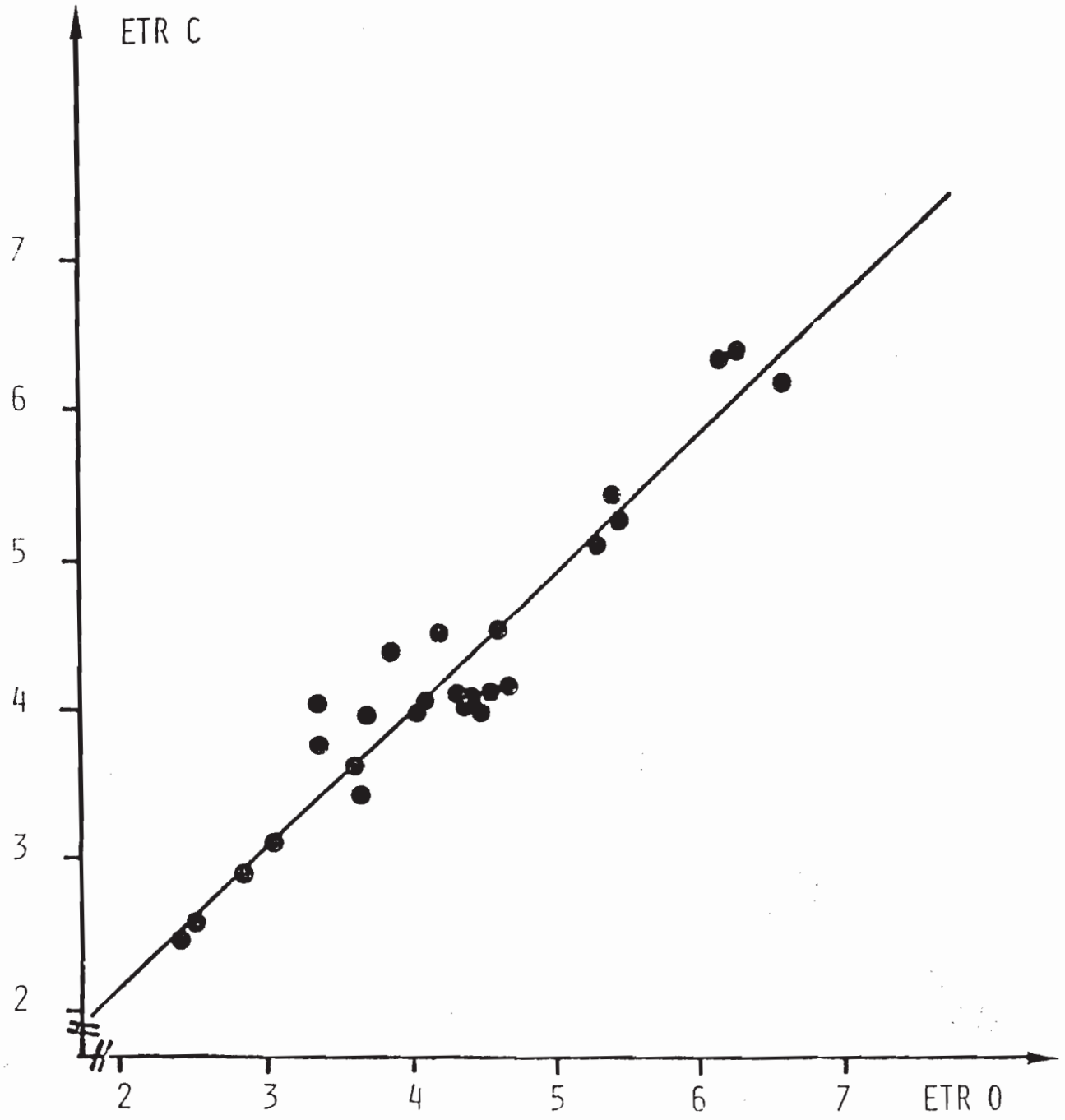
العلاقة اللوغاريتمية بين النسبة ETR/|Ψ|7 S (غماء / سم ماء) وبين مقلوب كمون الماء ضمن التربة على عمق ٧ سم (1/|Ψ|7 S) من أجل مختلف أنظمة الري المتبعة في التجربة .



شكل (٥) :

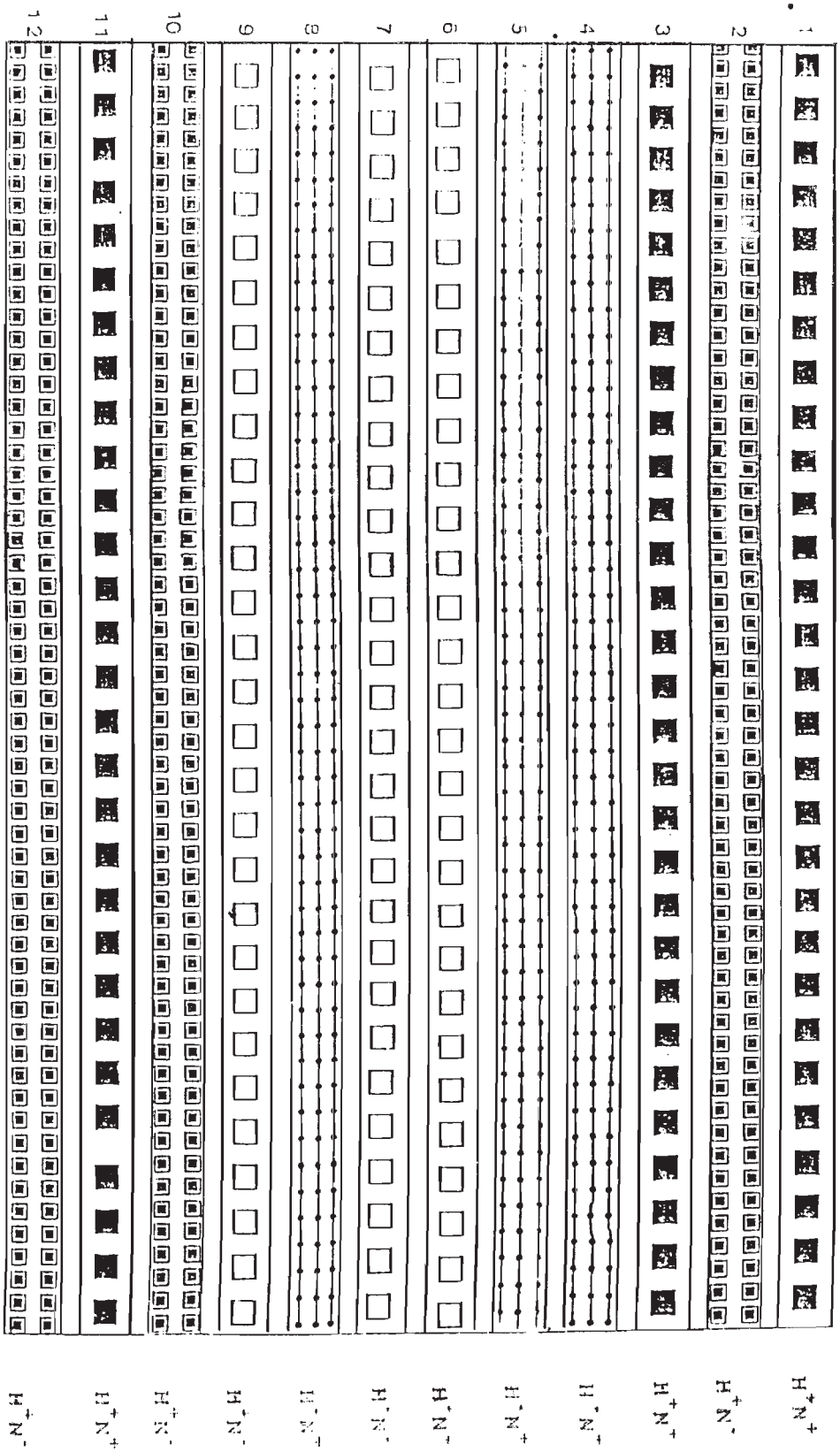
العلاقة بين التبخر والنتح الحقيقي المقاس ETRO (مم ماء / يوم) وبين التبخر والنتح الحقيقي المحسوب ETRC (مم ماء / يوم انطلاقا من التابع

$$ETR = F (\bar{\Psi}_S , ETP)$$



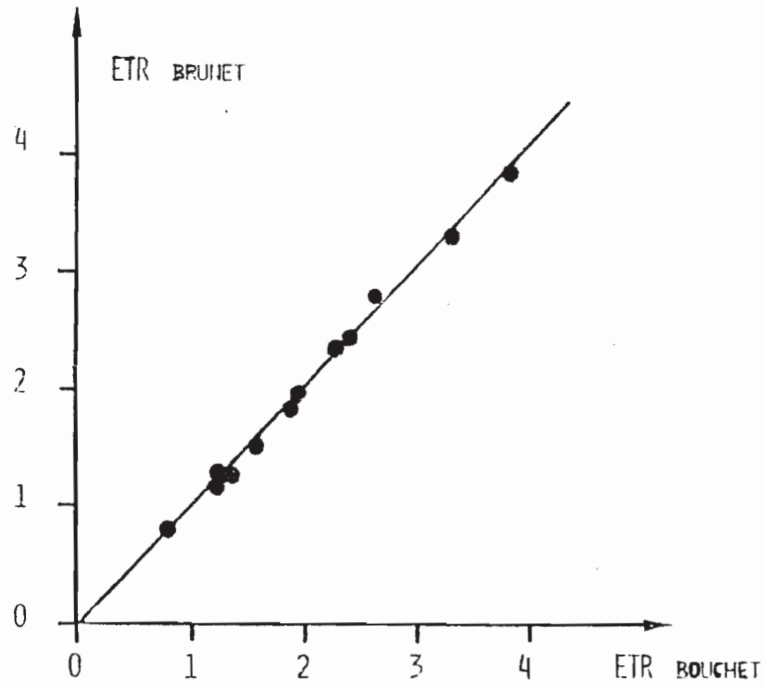
شكل (٦) :

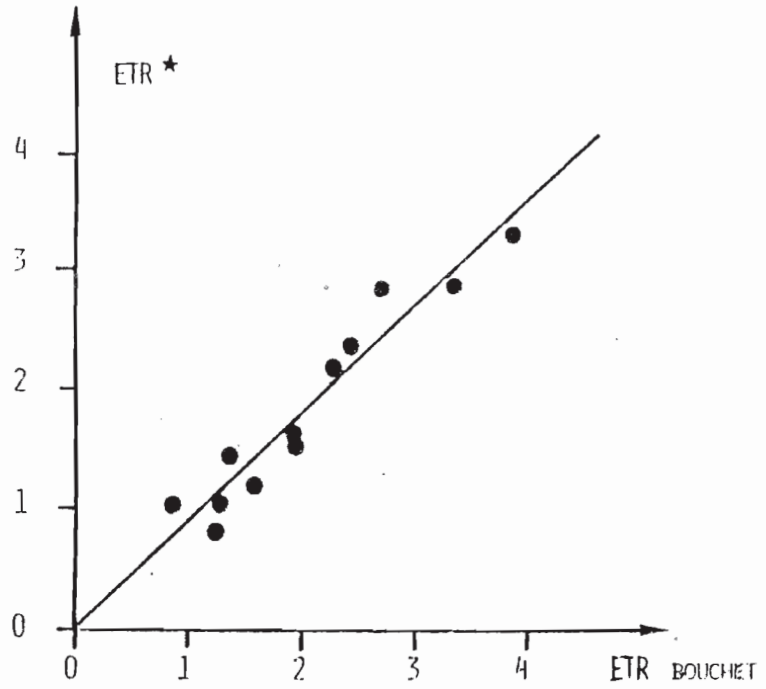
مخطط يوضح كيفية تقسيم الحقل التجريبي بغية تطبيق المعاملات المائية و الآزوتية في اطار التجربة الحقلية (مقياس $\frac{1}{100}$)



شكل (٧) :

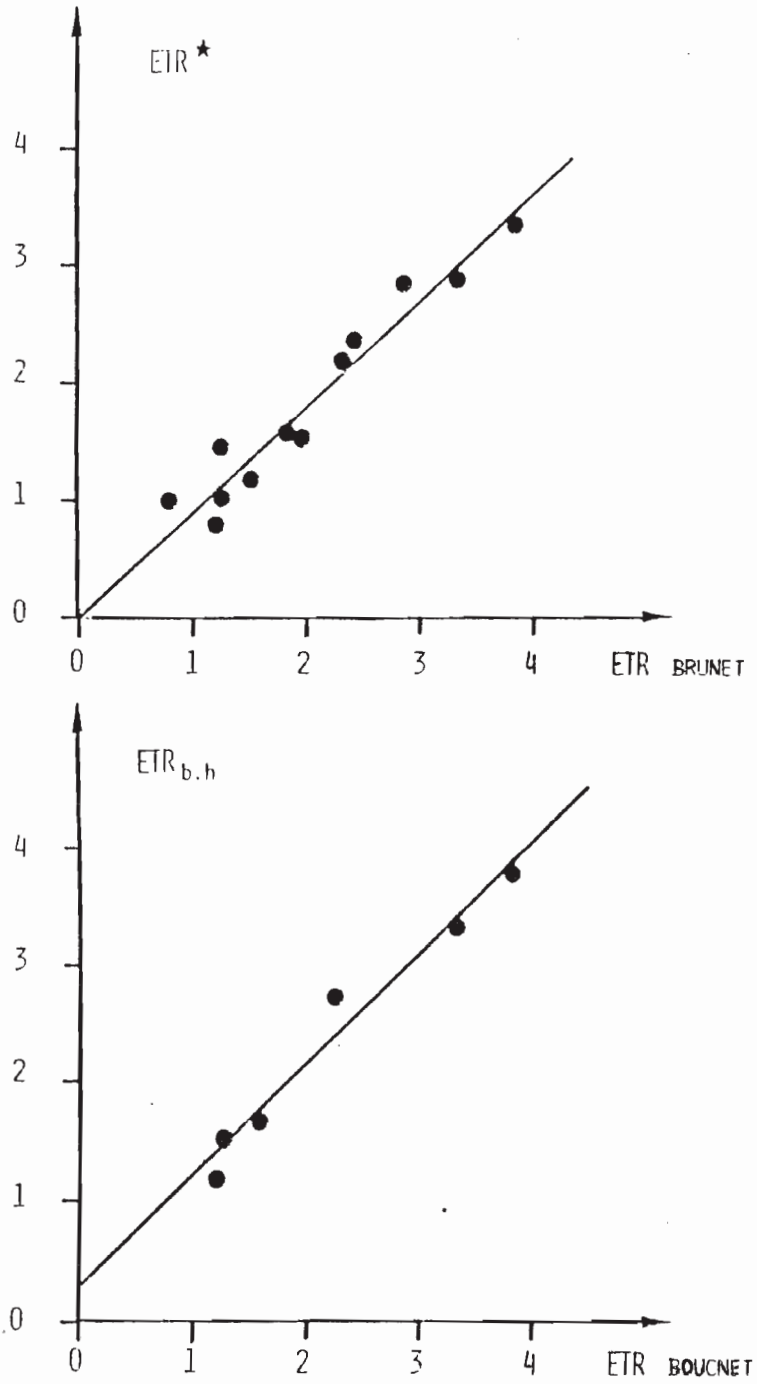
مقارنة بين قيم التبخر والنتح الحقيقي اليومي(مم ماء / يوم) المحسوبة باستخدام مختلف الصيغ (صيغة برنية، صيغة بوشيه ، ومن ثم صيغتنا المقترحة ETR^*)ضمن اطار التجربة الحقلية .





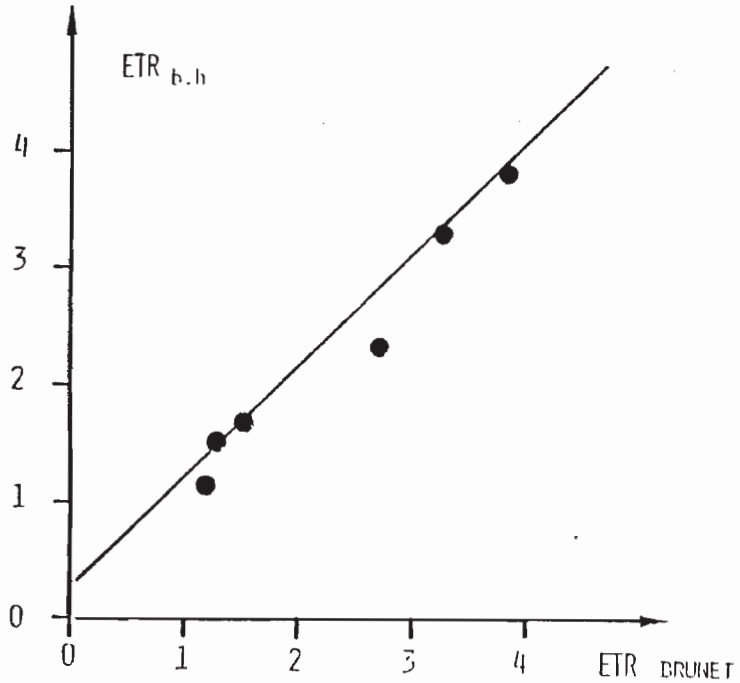
شكل (٨) :

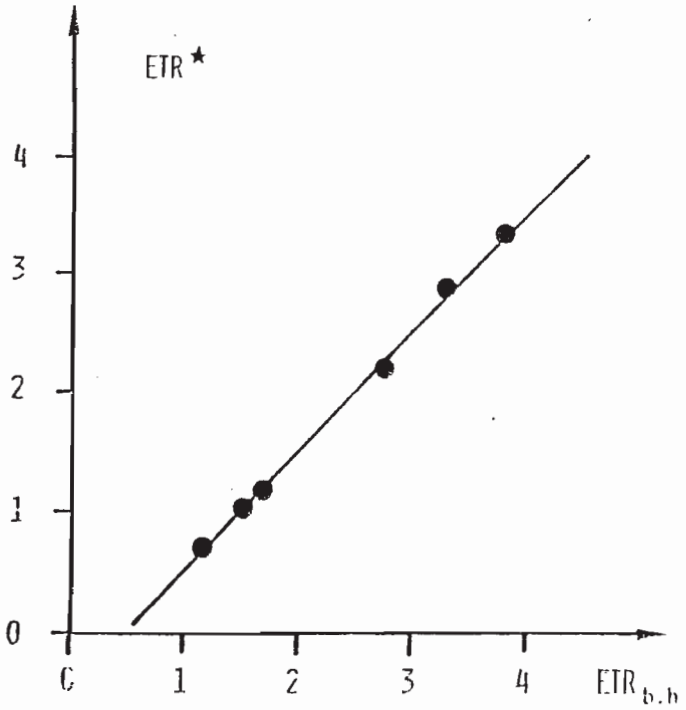
مقارنة بين قيم التبخر والنتح الحقيقي اليومي (مم ماء /يوم) المحسوبة باستخدام مختلف الصيغ (صيغة برنيه ، صيغة بوشيه ، صيغتنا المقترحة ETR^* ومن ثم الصيغة التي تستخدم الميزانية المائية $ETR_{b.h}$ ضمن اطار التجربة الحقلية .



شكل (٩) :

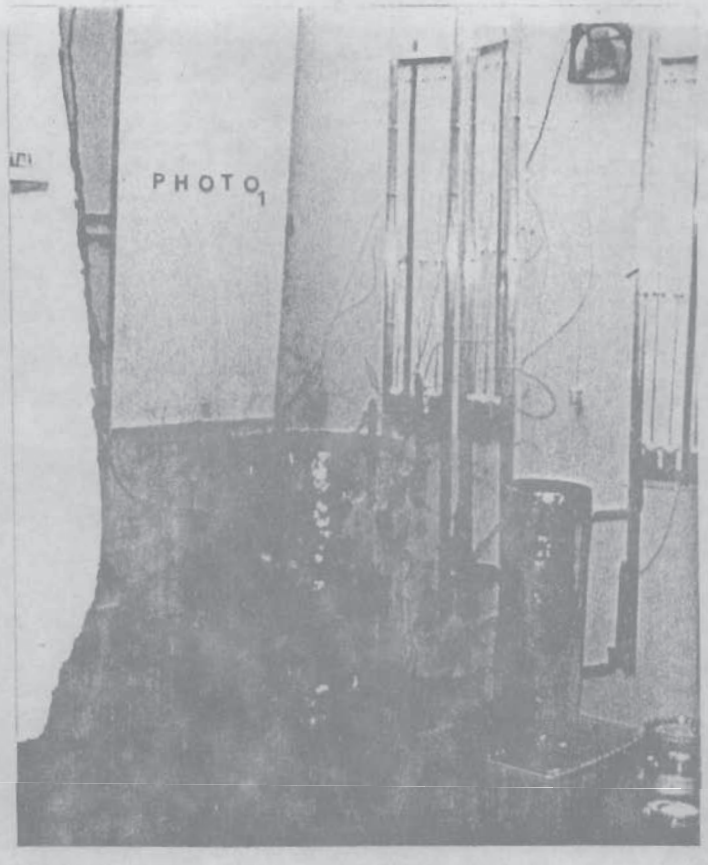
مقارنة بين قيم التبخر والنتح الحقيقي اليومي (مم ماء / يوم) المحسوبة باستخدام مختلف الصيغ (صيغة برنيه ، صيغة بوشيه ، صيغتنا المقترحة ETR ومن ثم الصيغة التي تستخدم الميزانية المائية $ETR_{b.h}$) ضمن اطار التجربة الحقلية .





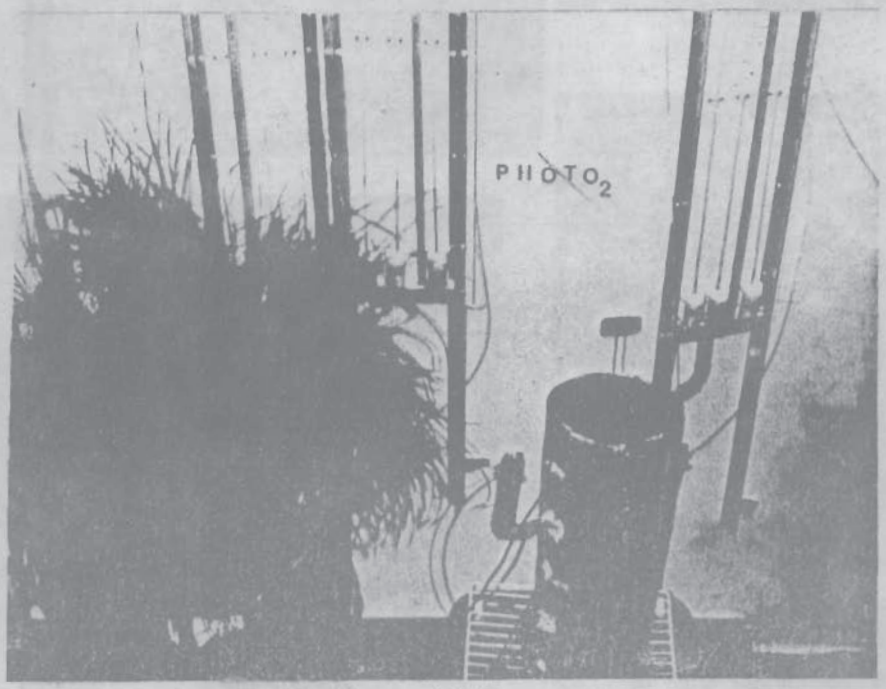
صورة رقم (١) :

كيفية الاعداد للتجربة المخبرية لتقدير التبخر والنتح الحقيقي ، حيث تظهر الاسطوانات التي وضعت فيها مقاطع التربة ووزعت ضمنها أجهزة قياس توتر الماء على مختلف الاعماق .



صورة رقم (٢) :

آخر مراحل نمو النباتات في التجربة المخبرية، حيث تظهر أوراق نباتات الاصبعية ،وقد تدلت خارجة من اطار محيط الاسطوانة المحتوية لها .



صورة رقم (٣) :

صورة توضح المنظر العام للتجربة الحقلية وبعض الاجهزة المستخدمة في قياس عناصر الجو والرطوبة الارضية .

PHOTO 3

المراجـــــــع

REFERENCES

1- BERGER,A.(1971):La circulation de l'eau dans le système sol - plant. Etude de quelques résistances en relation avec certains Facteurs du milieu. Thèse d'Etat. Univ. de Montpellier,224 P.

2- BERGER,A.(1981):Les transferts d'eau dans les tissus Végétaux. Etude expérimentale, modélisation.Sém.EC.Biol. Théor.,Maloine S.A.Editeur Paris,P.433 - 448.

3- BLACK,C.R.(1979): Aquantitative study of the resistances to transpirational water movement in sunflower (Helianthus annus L.)J.EXP. BOt., (118):947 - 953.

4- B.M.D.P (1979):Biomedical Computer programs.P.series University California press, 880 P.

5- BOUCHET,R.J.(1964): Evapotranspiration réelle, transpiration potentielle et production agricole . In"L'eau et la production végétal" INRA,Paris,P.151 232 .

6- BRUNET, Y.(1981): La Paramétrisation des flux dévaporation à linterface sol- atmosphère dans les modèles de couches limites atmosphérique et planétaire: mise au point et Perspectives. Note interne, I.N.R.A, Bioclimatologie , Avignon 26 P.

7 - CLÉMENT.R.et GALAND,A . (1979):IRRIgation par aspersion et réseaux Collectifs de distribution sous pression . Ed. Eyrolles Paris, 182 P.

8- CORNET,A.(1981):Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. Thèse DOC.Ing Univ. des Sciences et techniques du Languedoc 353 P.

9 -DAUDET,F.A.et VALANCOGNE, Ch.(1976):Mesure des Flux profonds de drainage ou de remontées capillaires . Leur importance dans le

bilan hydrique. Ann.agron., 27(2):165-182.

10-DENMEAD,O.T.et SHAW,R.H . (1962):Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions Agron.J.,(54):385- 390 .

11-EAGLEMAN,J.R.(1971): An experimentally derived model for actual evOpotranspiration . Agric.Meteorol. (8):385- 394 .

12- EHLERS,W.;GOSS.; BOONE , R.F.(1987):Tillage effects on soil moisture,ROOT development and crop water extraction . Plant research and development,Vol.25.P.92- 110

13-EL- KHODRE,A.(1984): Interaction chez le dactyle (Dactylis glomerata L.)de la croissance et du - développement végétatif avec l'alimentation en eau et en azote. Application aux bilans hydriques et énrrgétiques et à la - productivité d'une culture. Thèse d'ETAT.Univ.LOUIS Pasteur de strasbourg, I-texte 243P,II- FIgures et annexes 204 P.

14-FRANQUIN,P.et FOREST,F. (1977):Des Programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique Ann.Agron. Trop.32(1):7 - 11 .

15-GARDNER,W.R.(1960):Dynamic aspects of water availability to plants.Soil Sci.(89) : 63- 73.

16-Goodall,D.W(1969)Simulating the grazing situation. Biomathematics F.Heinmets id.M.Dekher, New - york, Vol.,(1):211 - 236.

17-HALLAIRE,M.(1964): Le potentiel efficace de l'eau dans le sol en régime de dessèchement.In:l'eau et la production végétale, Ed.INRA,Paris,P.27 - 62.

18-HANSON,C.L.(1976):Model for predicting evapotranspi - ration from natives rangelands in the Northern Great plains. Trans.of the ASAE ,19,(3) : 471 - 481.

19-HUMBERT,J.(1982):Etude expérimentale et simulation de l'extraction de l'eau par les racines d'une - graminée en régime de desséchement. Une contribution à l'étude de l'évapotranspiration réelle ponctuelle Recherches Geographiques à -

155 - 168 .

20-KATERJI,N.;HALLAIRE,M.; PERRIER,A.et DURAND,R. (1983):Transfert hydrique dans le végétal. I - Modélisation à l'échelle du couvert végétal en conditions naturelles.ACt. oecol. plant;Vol.4(18),n°1, P.11 - 26 .

21-NAJJAR,G.(1982):Méthode de cartographie de l'évapotranspiration journalière en moyenne montagne tempérée. Application au bassin - versant de Ringelbach (Hautes vosges).Thèse 3e Cycle Univ.Luis Pasteur , Strasbourg, 168 Pages.

22-PENMAN,H.(1956):Evaporation. An introductory survey. Netherl.J.Agric . SCi ,(4): 9 - 29.

23- PERRIER,A.(1975):ETUDE physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles .I:Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles. Ann. Agron.,26(1):1-18.II : Expressions et paramètres donnant l'évapotranspiration réelle d'une surface mince Ann.Agron.26(2): 105- 123. III: Evapotranspiration réelle et potentielle des couverts vegetaux.Ann.Agron., 26 (3):229 - 243 .

24-PRIESTLEY,C.H.B et TAYLOR R.J.(1972):On the assessment of surface heat flux and evaporation Using large - scale Parameters.Month . Weath .Rev.,100(2):81-92.

25-RAMBAL,S.(1980):Modélisation de l'utilisation de l'eau et de la production vegetal d'une steppe a a Rhantherium sauveolens desf. de la zone aride sud - tunisienne .thèse Doc. Ing Univ.S.T.L,Montpellier , 180 P.

26-RENGER,M.(1987):Water consumption and plant yield. plant research and developmt vol .25.P.120 - 127 .

27-ROSE,C.W;BEGG,J.E; BYRNE, G.F;TORSSELL,B.W.R.et GoNCZ J.H.(1972):A simulation model of Growth- Field environment relationships for Townsville stylo pasture agric. Meteorol. ,(10) : 161 - 183 .

28-VACHAUD,G;DANCETTE,C.; SONKO,S.et THONY,J.L.(1978): Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application à deux types de sol du -

Sénégale en vue de la détermination des termes du bilan hydrique . Ann . Agron., 29(1):1 - 36 .

29- VAN BAVEL,C.H.M.(1967) : Changes in canopy resistance to water loss from alfalfa induced by soil water depletion. Agric.Meteorol . (4):165 - 176.

30-VAN BAVEL ,C.H.M.(1974) : Soil water potential and plant behaviour :A Case modeling study with sunflowers.Act.Oecol.plant (9): 89 - 109 .

31- VAN BAVEL,C.H.M.et HAMED , J.(1976):Dynamic simulation of water depletion in the root zone. Ecol.Model.(2) P.189 - 212 .

32- VAN DEN HONERT,T.H.(1948) Water transport in as catenary process.Faraday Soc., Discuss., (3): 146-153 .

33-YU,O,GINTZBURGER,G.et GOUNOT,M.(1975): Modèle de fonctionnement d'un peuplement de dactylis glomerata L.) en phase Végétative .Approche morphogénétique . ACT.Oecol. plant.,10 (2): 107 - 139 .