السدود الفيضية الصغيرة بموريتانيا

توصيات حول التصميم والتشييد

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Direction du développement
et de la coopération DDC

IFAD
تمكين السكان الريفيين الفقراء
من التغلب على الفقر

السدود الفيضية الصغيرة بموريتانيا

توصيات حول التصميم والتشييد

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Direction du développement
et de la coopération DDC

IFAD
تمكين السكان الريفيين الفقراء
من التغلب على الفقر

يتقدم الصندوق الدولي للتنمية الزراعية بالشكر لوكالة التنمية والتعاون التابعة للكونفيديرالية السويسرية على المنحة التي قدمتها للصندوق، والتي لولاها لم يكن ممكناً انجاز هذا الدليل. كما نتقدم أيضاً بالشكر إلى المؤلف السيد جان-موريس دوران المستشار التقني لدى الوزارة الفرنسية للشؤون الخارجية، المنتدب لدى شعبة السياسات والمشورة التقنية للصندوق الدولي للتنمية الزراعية، إضافة إلى كل من شاركوا في نشر هذا الدليل.

قام بمراجعة هذا الدليل:
- السيد مرزوق عبد العزيز، مسؤول البرنامج
- الآنسة أودري نيبفو دوفيلمارسو، مستشارة تقنية
- السيد جاك دو بواسزون، خبير
- السيد داريو تريكولي، خبير

قام بوضع الرسوم التوضيحية والصور السيد جان-موريس دوران.

© 2012 الصندوق الدولي للتنمية الزراعية

ليس في التسميات المستخدمة في هذا المنشور ولا في طريقة عرض المادة الواردة فيه ما ينطوي على التعبير عن أي رأي كان من جانب الصندوق الدولي للتنمية الزراعية التابع للأمم المتحدة بشأن المركز القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أولسلطات أيٍ منها، وبشأن تعيين حدودها أو تخومها. ويستخدم المسميان "متقدمة" و"نامية" في وصف الاقتصادات لأغراض السهولة الإحصائية ولا يعبران بالضرورة عن أي حكم بشأن المرحلة التي بلغها بلد بعينه أو منطقة بعينها في عملية التنمية.

يمكن إستنساخ هذه النشرة جزئياً أو كلياً بدون إذن مسبق من الصندوق بشرط ذكر المصدر من طرف الناشر وإرسال نسخة ما يتم نشره إلى الصندوق.

صفحة الغلاف: جان-موريس دوران

ISBN 978-92-9072-330-1

مارس/آذار 2013

المحتويات

	مقدمة	4
1	**عرض عام حول سدود الزراعة الفيضية بموريتانيا**	**5**
2	**الخطوة الأولى في عملية التصميم: اختيار موقع السد الفيضي**	**7**
	الخصائص الأولية لموقع محتمل لسد بناء على معايير بسيطة	7
	الشروط الطبوغرافية والخاصة بنوعية التربة اللازمة لإنجاح الزراعة الفيضية في المنطقة أعلى السد	8
	دراسة الجدوى الفنية للسد	10
	إمكانية تعزيز حسن استغلال أسفل السد: خصائص إضافية يمكن أخذها بعين الاعتبار عند اختيار الموقع	12
	الشروط الاجتماعية والاقتصادية اللازمة لنجاح المشروع	17
3	**تصميم وتشييد السدود الردمية**	**18**
	هندسة الردميات وضغطها	18
	معالجة الطبقة الأساسية للسد	21
	مجاري التصريف	22
	حماية قمة السد وجوانبه من اجراف المياه	23
4	**المنشآت المائية المندمجة ضمن السد الردمي**	**26**
	مفرغات الفيضان	26
	مبددات الطاقة	32
	منشآت التفريغ	33
	المقاييس الليمنيمترية	37
5	**أنواع أخرى من السدود**	**38**
	السدود الصخرية	38
	السدود الخرسانية أو الطوبية الركامية	38
	السدود من نوع خاص	39
	المراجع	40

مقدمة

إن الإدارة المستدامة لموارد المياه من أجل مواجهة الضغط الذي يشكله الطلب المتزايد للمياه من قبل سكان في نمو مستمر هي من دون شك إحدى التحديات الكبرى التي تواجهها الإنسانية خلال هذه الألفية الجديدة. فالاحتياجات متعددة والمصادر محدودة. ويعتبر الوضع في البلدان الجافة وشبه الجافة أكثر تعقداً نظراً للتقلبات المناخية. وفي هذه المناطق، فإن التحكم في المياه السطحية بصفة خاصة يعتبر حيوياً وذلك نظراً للدور الأساسي الذي غالباً ما تلعبه هذه الموارد في نجاح المشاريع الزراعية.

وخلال الثلاثين عاماً الماضية، قامت العديد من الحكومات والمؤسسات الدولية والمتخصصة بوضع برامج ومشاريع ضخمة تهدف إلى تشجيع المحافظة على موارد المياه وتعبئتها واستغلالها بالشكل الأمثل. وفي موريتانيا وفي العديد من البلدان المتأثرة بالجفاف، يمثّل تشييد السدود الصغيرة أحد الحلول المفضلة لتلبية احتياجات المزارعين والرعاة والأسر الريفية عموماً. فالزراعة الفيضية أعلى السدود تمثّل إحدى الاستخدامات المكنة لهذا المورد النفيس الذي يشكله الماء.

إن تصميم المنشآت وتشييدها طبقاً للمواصفات والقواعد الفنية تشكل ضمانات لاستمراريتها ولحسن أدائها ومن ثم تحقيق الأهداف التي تم تشييدها من أجلها. وفي هذا الصدد، يلاحظ أن العديد من السدود الصغيرة التي تم تشييدها في المناطق السودانية الساحلية قد بنيت حسب التقنيات المجازة وتعتبر شاهداً لمصمميها بالخبرة الثرية والمتنوعة. وبالرغم من ذلك يمكن ملاحظة العديد من المشاكل وبصفة متكررة في هذه المنشآت. وتعكس هذه المشاكل أخطاءاً في التصميم أو البناء تنتج عنها أحياناً أضرار كبيرة قد تصل إلى حد هدم كل السد أو جزء منه. ولذا فإنه من الضروري التذكير بالقواعد الأساسية لتصميم وبناء السدود الصغيرة، مع الأخذ بعين الاعتبار المعوقات الخاصة بالمناطق الجافة. ويعتبر هذا الدليل مكملاً لدليل متابعة وصيانة السدود الصغيرة بموريتانيا الذي تم نشره في نفس السلسلة.

وبالنسبة للصندوق الدولي للتنمية الزراعية فإن الحصول المؤمن لسكان الريف الفقراء على المياه هو أمر أساسي لبلوغ أهداف الألفية للتنمية خاصةً هدف تقليل نصف نسبة الأشخاص الذين يعيشون تحت دائرة الفقر المدقع والجوع منذ الآن وحتى العام 2015. ومن هذا المنطلق فإن شعبة السياسات والمشورة التقنية بالصندوق الدولي للتنمية الزراعية بالتعاون مع شعبة أفريقيا الغربية والوسطى يصدر هذا الدليل الموجّه لمصممي السدود الصغيرة. وهو يذكّر بالقواعد الأساسية ذات الصلة بتشييد السدود الصغيرة بموريتانيا، مستنداً في ذلك على ممارسات وخبرات وأفكار العديد من الخبراء. تجدر الاشارة إلى ان التوصيات التي يحتويها هذا الدليل يمكن توسيعها واستخدامها في بلدان أخرى ذات خصائص جغرافية مشابهة.

وعليه فإننا نتمنى أن يكون هذا الدليل ذو فائدة لكل الفاعلين المهتمين بقضايا تصميم وبناء السدود الصغيرة، إضافةً إلى الجمعيات والتعاونيات والتجمعات الريفية المسؤولة عن إدارة هذه المنشآت المائية. ومن خلال مساهمتنا في استمرارية هذه المنشآت المؤسسية في إطار مشاريع نقوم بتنفيذها مع حكومات الدول ومع المستفيدين، نتمنى أيضاً أن نتوسع أكثر في تحقيق أهدافنا في زيادة الأمن الغذائي والحد من الفقر في موريتانيا وفي الدول الأخرى التي نعمل فيها مع شركائنا.

أدولفو بريزي
مدير
شعبة السياسات والمشورة التقنية

إيد دو ويلبوا
مدير
شعبة أفريقيا الغربية والوسطى

1. عرض عام حول سدود الزراعة الفيضية بموريتانيا

تستقبل المناطق الساحلية بموريتانيا أمطاراً يتراوح متوسطها السنوي ما بين 200 و400 ملم. ونظراً إلى هذا المستوى الضعيف لمعدل كمية الأمطار وعدم انتظام الأمطار، فإن زراعة الحبوب تعتبر عشوائية جداً بالمنطقة. وأمام هذه الصعوبات المناخية، دأب السكان منذ زمن بعيد جداً على بناء سدود طينية غير مضغوطة وغير مصحوبة بأي منشآت إضافية متطورة. هذه السدود البدائية تحتفظ بالمياه لعدة أسابيع متيحة بذلك الفرصة للأراضي الموجودة في الأعلى بالتشبع بالمياه، كما أنها تساهم في تغذية الآبار الجوفية السطحية بالمياه. ويتم تفريغ هذه السدود بنهاية الشتاء وذلك بالقيام بخرق الردمية بطريقة بسيطة جداً. هذه السدود العشوائية تتعرض للهدم السريع نوعاً ما (كل 3 أو 4 سنوات، وأحياناً أقل) وذلك لأنها لا تحتوي على مفرغات الفيضانات.

إن الزراعة الفيضية تمثّل حوالي 40 000 هكتار من الأراضي الزراعية بموريتانيا، وهو ما يمثل نسبة تتراوح ما بين 10% إلى 30% من الأراضي المزروعة على الصعيد القومي كل عام. والمحصول الذي عادة ما يتم زراعته هو الذرة البيضاء مع أن الدخن واللوبيا والبطيخ والذرة الصفراء تعطي نتائج جيدة هي الأخرى. ولا شك أن هذا النظام الزراعي يمكن أن يلعب دوراً بارزاً في استراتيجية الأمن الغذائي بموريتانيا.

ونظراً إلى أن هذه الملاحظات قد تم استخلاصها منذ فترة الاستعمار، فقد حرصت الهندسة الريفية مبكراً على تصميم وبناء سدود فيضية أكثر تطوراً وذلك وفق قواعد الفن المؤسسة في هذا المجال والتي تشمل أساساً ضغط الردميات، وتشييد منشآت التفريغ ولمفرغات الفيضانات. يشار إلى أن بعض هذه السدود تم إنشاؤها منذ الخمسينات كما ظهرت موجة أخرى من تشييد السدود في الفترة ما بين 1970 و1990 وقد تم تشييد معظمها بواسطة الإدارات الحكومية. لكن منذ بداية التسعينات عرف تشييد السدود بواسطة شركات البناء، على أساس تقديم عطاءات، تطوراً كبيراً.

ويظل مبدأ المنشآت التي تم تنفيذها هو نفس مبدأ السدود القديمة العشوائية حيث يتيح الحوض العلوي فرصة تخزين المياه الجارية لفترة تتراوح بين شهرين إلى أربعة أشهر، وبعد ذلك يتم تفريغ الحوض بواسطة المنشآت التي تم تصميمها لهذا الغرض والتي عادة ما تكون في الجزء الأوسط من السد. إن المساحات الواقعة فوق مستوى سطح الماء تتم زراعتها بطريقة تتيح الفرصة للنباتات للاستفادة بصورة أفضل من المياه المخزنة في الأرض. ويبدو جلياً أن الهدف من هذه المنشآت هو التمكن من غمر أكبر مساحة ممكنة (عملياً، المساحة تتراوح ما بين بضع هكتارات إلى أكثر من 1000 هكتار).

على الصعيد البنائي، فإن جودة السدود الفيضية بموريتانيا تختلف بشدة من سد إلى آخر. ورغم تنوع المصممين والمشيدين عبر العقود ظل نطاق الخيار التقني محدوداً نوعاً ما. إذ أن معظم السدود الفيضية الموريتانية مكونة من ردم نادراً ما يتجاوز ارتفاعه الأربعة أمتار لكنه قد يصل إلى أطوال معتبرة (1 كيلومتر أو أكثر) وذلك بسبب الطبوغرافية (التضاريس) المنعدمة نوعاً ما. كما أنه يتم تشييد قنوات التصريف (والتي عادة ما تتسم بالتوسع إلى الأمام) ومنشآت التفريغ بالخرسانة وأحياناً من المتاريس (المحلية أو المستوردة). لكن توجد أيضاً بعض أنواع من السدود مبنية من الطوب الركامي (في غيديماكا على سبيل المثال).

لقد تم تكرار العديد من التصاميم لدرجة أن معظم المنشآت تحتوي غالباً على نفس العيوب. والمعاينات العديدة التي تم القيام بها على السدود، العاملة منها وغير العاملة، أظهرت أن هذه التصاميم كانت دائماً تحتوي على عدد من نقاط الضعف:

- نوعية الضغط التي عادة ما تكون ضعيفة أو غير أكيدة؛
- ربط غير جيد بين الردمية والخرسانة؛
- دراسات جيوتقنية غير متقدمة؛
- تشييد منشآت من المتاريس غير مطابقة للمواصفات والقواعد الفنية؛
- اختيار موقع سيء لمفرغات الفيضان؛ وأيضاً
- إجراءات حماية غير كافية.

ونظراً إلى أن الصندوق الدولي للتنمية الزراعية مطالب بدعم المشاريع التي تسعى لتنفيذ سدود فيضية جديدة، فلذا من الضرورة بمكان التذكير بأساسيات تصميم وتشييد هذا النوع من المنشآت. لكن هذا المستند قد يختصر على (1) تحليل المشاكل التي تتم مواجهتها غالباً بموريتانيا (2) وتقديم معالجات تقنية تصلح لهذا الوضع بالتحديد. كما أنه لم يتم تناول طرق الحساب والأبعاد في هذا الدليل، ولذا وفي هذا الصدد، ننصح القارئ باللجوء إلى كتب أكثر تخصصاً وشمولاً مثل الكتاب المذكور في المرجع [8].

2. الخطوة الأولى في عملية التصميم: اختيار موقع السد الفيضي

إن اختيار موقع للسد يرتبط ارتباطاً وثيقاً بدراسة جدوى المشروع. هذا الاختيار بطبيعة الحال متعدد المعايير، إذ أن المنشأة يجب أن تكون ممكنة التشييد، ومستديمة، وقابلة للاستخدام بفعالية، وأن تكون ذات فائدة على الصعيد الاجتماعي الاقتصادي.

إذن على الاختيار النهائي للموقع أن يأخذ بعين الاعتبار مجموعة من المقاييس التقنية، والبيئية والإنسانية. وفي موريتانيا يكون هذا الاختيار غالباً محكوماً برغبة المستخدمين المستقبليين الذين يكونون، أحياناً، قد نفذوا سداً أو عدة سدود تقليدية في المنطقة المقترحة. من المناسب إذن دراسة هذه المنشآت وما حولها بروية وتمعن إذ أنه قد يكون من الملائم إنشاء السد الجديد في نفس المكان الذي كان موجوداً فيه المبنى البدائي القديم. هذه الطريقة تمثل عدداً من الفوائد. ففي المقام الأول يمكن التفكير في أن هؤلاء المزارعين قاموا باختيار هذا الموقع لأنه يمثّل "فرصة جغرافية" من وجهة نظرهم. وزيادة على ذلك فالقيام بإنشاء مبنى يدل على نوع من الرغبة في إعطاء قيمة للمنطقة ويشهد على تماسك اجتماعي موجود في المنطقة.

على الخبير التقني إذن القيام بدراسة متأنية لإمكانية قيام منشأة أكثر دقةً في المنطقة المختارة. لكن عليه أيضاً التأكد، ليس فقط من جدوى المشروع التقنية، بل من فائدته الاقتصادية والاجتماعية فيما يخص الاستثمار المزمع القيام به.

يمكن إذن للتحليل متعدد المعايير الذي يؤدي لاختيار موقع السد الفيضي أن يعتمد على المعايير الثلاثة الرئيسية التالية:

أ) ملاءمة تربة حوض السد مع ممارسة نظام الزراعة الفيضية (والإمكانيات المحتملة لتثمين أسفله والاستفادة منه)؛
ب) الجدوى التقنية للسد؛ وأيضاً
ج) الظروف الاجتماعية والاقتصادية المناسبة لإنجاح المشروع.

ومن البديهي أنه قليلاً ما يوجد موقع تتوفر فيه جميع هذه المعايير.

الخصائص الأولية لموقع محتمل لسد بناء على معايير بسيطة

يمكن الحصول على دراسة أولية لجدوى سد الزراعة الفيضية بعد القيام بتحليل أولي سريع يحتوي على الأقل على الخطوات التالية:

أ) تحديد حجم حوض المصب على خريطة طبوغرافية، مع تقدير أولي للموارد المائية والفيضانات المتوقعة؛
ب) قياس مساحة الحوض التي يمكن زراعتها وقياس المساحات التي يمكن الاستفادة منها باستخدام مياه التفريغ بالأسفل؛
ج) الشكل الطبوغرافي للموقع: منحنيات المستوى يجب أن تحدد حوضاً مغلقاً. كما يجب التمكن من وضع محور السد في الجزء الأكثر ضيقاً من الوادي (يجب دراسة العديد من المواقع: فليس بالضرورة أن يكون الموقع الطبوغرافي المناسب ملائماً من وجهة نظر جيوتقنية على سبيل المثال)؛
د) وجود صخرة سد من عدمه؛
هـ) وجود مناطق مميزة لبناء الردمية؛
و) صلاحية تربة الحوض للزراعة الفيضية؛
ز) دراسة أولية للعقبات الأنثروبولوجية (عقبات عقارية، بعد عن الموقع، وجود طرق مؤدية إلى الموقع، التنظيم الاجتماعي للمستفيدين، إلخ)؛ وأيضاً
ح) تقدير تقريبي لتكلفة المنشأة ومقارنة مع الخيارات الأخرى.

عندما يتم العثور على موقع يضم معظم هذه الخصائص، يتم الانتقال إلى الخطوة التالية وهي عبارة عن القيام بدراسات أولية للتربة وللنواحي الطبوغرافية الهيدرولوجية والجيوتقنية. وبالمقابل يجب أيضاً التعمق في القضايا الاجتماعية الاقتصادية والتأكد من حصول المستفيدين على أفضل ظروف ممكنة للأمن العقاري. وهكذا فإن الدراسات الأولية تهدف إلى رفع الشك التقني والاجتماعي وإلى توفير المعطيات الأساسية الضرورية لتصميم المشروع. عند ذلك، يتجه المصمم إلى الجدوى التقنية للعملية.

الشروط الطبوغرافية والخاصة بنوعية التربة اللازمة لإنجاح الزراعة الفيضية في المنطقة أعلى السد

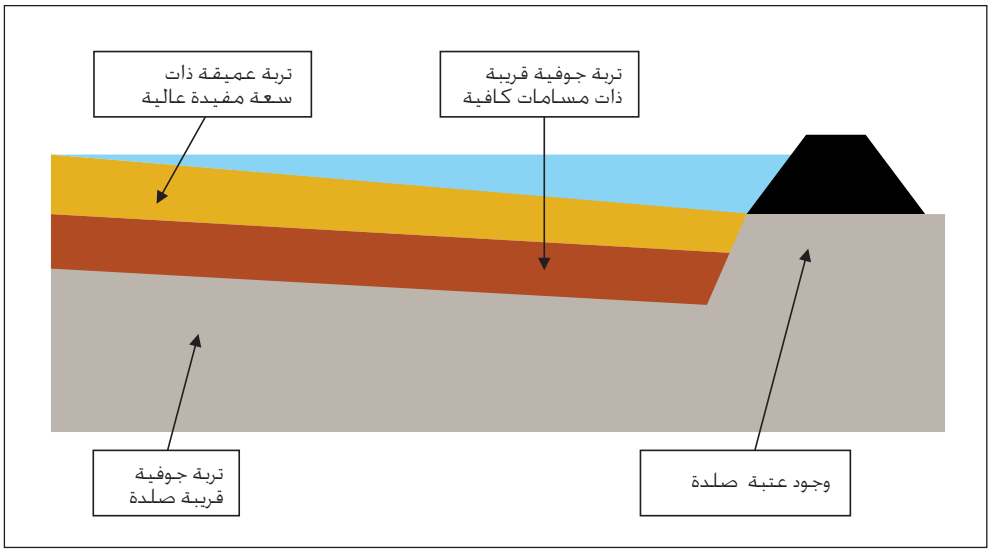
إن زراعة الحبوب في الأراضي شبه الجافة بموريتانيا عموماً مستحيلة دون الحصول على مياه إضافية، عندما لا يبلغ معدل الأمطار 350 إلى 450 مليمتراً خلال فصل الشتاء.

إن الممارسة الزراعية التي تقوم على فلاحة الأراضي السابق غمرها بالمياه تتناسب تماماً مع هذا الوضع المناخي. لكنها غير ممكنة الحدوث إن لم توفر الأرض للنباتات كمية المياه الضرورية لها. لكن السعة المفيدة للأراضي غالباً ما تكون أقل من 100 مليمتر، حتى بالنسبة للنباتات ذات الجذور المتعمقة في التربة، ويجب إذن تخزين الـ 250 إلى 350 مليمتراً الناقصة في الجزء القريب من سطح الأرض ويجب التمكن من رفعها للسطح بواسطة الخاصية الشعرية أو بفضل طبقة من المياه الجوفية القريبة المؤهلة لذلك. ومن أجل زراعة ذات دورة طويلة (120 إلى 150 يوماً) يجب توفير 2 إلى 3 ملم/يوم. إن الملاحظات التي تمت على العديد من السدود أتاحت الفرصة للتعرف على الشروط التالية الخاصة بالتربة والجيولوجيا كشروط ملائمة لإنشاء سد فيضي (الرسم رقم 1):

- أرض عميقة ذات سعة مفيدة عالية؛
- أفق أو مدى صلد في الجزء القريب من سطح الأرض لا يسمح بالتسرب العميق للمياه؛
- عتبة صخرية صلدة تحد من تسرب المياه الجوفية نحو أسفل الوادي، ويفضل أن يقوم السد على هذه العتبة الصخرية إن كانت الشروط الأخرى ملائمة؛
- طبقة كافية من الطمي لتخزين كمية المياه الضرورية؛
- حجم حبيبات مناسب يفضي إلى رفع شعري قوي (وهكذا يكون الحال عندما يكون الطمي خليطاً من الرواسب النهرية ومن تلك التي تجلبها الرياح)؛ وأيضاً

الشكل 1

مقطع مورفولوجي لتربة صالحة للزراعة لسد زراعة فيضية



• أراضي تسمح بانسياب مياه الأمطار في حوض التصريف مما يعني رفع مستوى ضغط المياه الجوفية الموجودة أسفل الطمي.

وتظهر التجارب أنه عندما تجتمع كل هذه الخصائص يكون الموقع صالحاً للزراعة الفيضية ويتم الاستغلال الأمثل لأراضي الحوض. وبالمقابل، غالباً ما تكون الزراعة الفيضية صعبة وقليلة الإنتاج وقد تكون أحياناً مستحيلة على المواقع التي لا تتوفر فيها كل الشروط المذكورة اعلاه. وخلال القيام بدراسة الجدوى للسد، يجب القيام بتشخيص تربة الحوض المستقبلي، ليس فقط عن طريق القيام بتنقيب سطحي فقط، ولكن أيضاً بحفر عدة حفر في التربة.

الجدير بالذكر أيضاً أن البحوث الزراعية في مجال الزراعة الفيضية تشير إلى أن الحصول على عائد جيد يعتمد على بعض القواعد البسيطة: العمل على الأرض قبل الفيضان، تاريخ البذر، التخفيف[1]، التخلص من الحشائش، والتحكم في مدة الغمر المحددة بدقة.

على الصعيد الطبوغرافي يجب البحث عن واد ذي منحنيات طبوغرافية مغلقة وذلك حتى لا يؤدي وجود أعناق جانبية أدنى من مستوى الماء الطبيعي المتوقع إلى منع الملء (في الحالات المعاكسة، يمكن أن تقوم هذه الأعناق بدور مفرغات أو قنوات تصريف ثانوية). إن المبدأ الأساسي في السد الفيضي هو العثور على موقع يسمح بإغراق أكبر مساحة ممكنة من الأراضي (ذات الخصائص المورفولوجية للتربة، أي المتعلقة بتشكيل التربة، المذكورة سابقاً) خلف أصغر سد ممكن.

إن الموقع المثالي، من الناحية الطبوغرافية، هو وادي عريض يضيق فجأةً وجوانبه حادة نوعاً ما في المكان الذي سيتم فيه تشييد السد. يمكن القيام بدراسة استقصائية أولية على خرائط طبوغرافية على مدى صغير نوعاً ما (1/200 000e على سبيل المثال)، لكن الزيارة الميدانية للموقع لا غنى عنها بالتأكيد. إن كان هذا المسح الأولي إيجابياً، فمن البديهي الانتقال لمسح طبوغرافي أكثر دقة. يجب أن يتم تحديد الحوض، على الأقل حتى أقصى مستوى لارتفاع المياه، حيث يعتمد مستوى القياس المعتمد على مساحة الحوض، و غالباً ما يتراوح مستوى القياس ما بين 1/2 500e و1/1 000e وهي مقاييس تتناسب مع السدود الفيضية الصغيرة. إن منطقة تشييد السد يجب أن يتم مسحها حسب مقياس مرتفع لأقصى حد (1/500e أو أكثر إن استدعى الأمر)، دون أن ننسى أن نجمل جزءاً من المنطقة أسفل السد حتى نتمكن من الحصول على المعطيات الطبوغرافية اللازمة لحساب المنشآت المائية. ومن أجل اختيار أبعاد متساوية للمنحنيات، يمكن الاستفادة من القيم المذكورة في الجدول أدناه:

الجدول 1: اختيار ابعاد متساوية للمنحنيات

الشكل الطبوغرافي للأرض	المقياس		
	أكثر من 1/1 000e	بين 1/1 000e و 1/10 000e	أقل من 1/10 000e
أرض مستوية	0.15 إلى 0.3 م	0.3 إلى 0.6 م	0.6 إلى 3 م
أرض ذات ميلان طفيف	0.3 إلى 0.6 م	0.6 إلى 1.5 م	1.5 إلى 3 م
أرض ذات تضاريس	0.6 إلى 1.5 م	1.5 إلى 3 م	3 إلى 6

إن الخرائط الطبوغرافية التي يتم الحصول عليها تتيح الفرصة لتحديد المنحني الممثل لارتباط عمق الحوض بحجمه، والمنحني الممثل لارتباط عمق الحوض بمساحته. ومن ناحية أخرى تمكن هذه الخرائط من احتساب حجم المنشآت المقرر تشييدها وذلك حسب الفرضيات المختلفة للارتفاع، والمكان المحدد للبناء، والمساحة التي يمكن زراعتها في المنطقة الأعلى.

1 التخلص من النباتات الزائدة.

دراسة الجدوى الفنية للسد

الدراسة الهيدرولوجية

من ناحية دراسة الجدوى، فإن الدراسة الهيدرولوجية التي يجب القيام بها لتصميم سد صغير لزراعة فيضية تهدف للإجابة على السؤالين التاليين:

- هل سيمتلئ الحوض كل عام حتى يتمكن من تأمين الحملة الزراعية؟
- ما هو التدفق الفيضي الذي يجب حماية السد منه بصورة مناسبة حتى نتجنب الفيض الزائد الذي قد يتسبب في أضرار فادحة (مما يستدعي احتساب أقصى حد لنظام التفريغ الفيضي)؟

إن المستند الحالي لا يهدف إلى التذكير بطرق الحساب المستخدمة والتي ننصح بصددها بالاطلاع على المراجع المتخصصة، خاصةً المرجع [2].

ومع ذلك من الضروري التذكير ببعض النقاط الهامة:

- إن عدم التأكد فيما يختص بالمعلومات الهيدرولوجية يظل كبيراً بموريتانيا إذ أن المتوفر من المعطيات المتعلقة بهذا الأمر قليل ولا يكفي لتطبيق طرق الحساب الكلاسيكية (نذكر بأنه، بغرض تطوير خطة روديو اوفري، تم فقط دراسة حوض أو حوضين من أحواض التفريغ التجريبية بموريتانيا).
- إن السبب في تحطم العديد من السدود هو الفيض الدافق، مما يستدعي عدم تقليل حجم مفرغات الفيضان. والمشكلة تكمن في أن اللجوء إلى تطبيق معاملات أمنية عالية غالباً ما يؤدي إلى زيادة مبالغ فيها لحجم مفرغات الفيضان، وهو ما يترتب عليه زيادة تكلفة السد بشكل كبير. وعليه فإنه من المناسب والطبيعي الأخذ بعين الاعتبار أثر التوجيه الفيضي، الأمر الذي يساعد على حساب الطول الطردي بطريقة دقيقة ومع ذلك فيجب اتخاذ الحذر والحيطة اللازمين. فهناك حالات، لا يجب استبعادها، لفيضانات طويلة تتميز بطاقة مائية مستوية وكميات عالية يصعب توجيهها. من ناحية أخرى، فإن ترسيب الحوض على مر الزمن يمكن أن يتسبب في تغيير طفيف في أثر التوجيه. والحل الأمثل هو تصور تنفيذ مفرغين اثنين:
  - مفرغ أول موجود داخل المنشأة والغرض منه تصريف الفيضانات التي غالباً ما تحدث (التي ترجع بمعدل عشرة أو عشرين سنة)، ويتم تصميمه على أساس تسوية تنتج عن تقييم دقيق لأثر التوجيه ولأخذ عدم الدقة الهيدرولوجية الموجودة بعين الاعتبار؛ وأيضاً
  - مفرغ ثاني يتم تنفيذه بالاستفادة من عنق طبيعي على حافة الحوض للقيام بالتصريف خلال الفترات النادرة ولكن التكوين الطبوغرافي الذي يطبع تنوع التضاريس لا يسمح بتنفيذ هذا النوع من المنشآت دائماً.

الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية

ليس من الضروري القيام بدراسات جيولوجية بكل ما تتضمنه الكلمة من معنى، بخصوص فئة المنشآت التي تنتمي إليها السدود الفيضية الصغيرة. وبالعكس، فإنه لاغنى عن القيام بإعداد بعض الدراسات الجيوتقنية وذلك من التأكد من جدوى تلك المنشآت من جهة وضمان استدامتها من جهة أخرى. ويجب أن تكون محصلة هذه الدراسات ومحتواها متناسبان مع الحجم والأهمية الحقيقية للمنشأة. ونذكر بأنه، في حال عدم ملائمة الوضع الجيوتقني، يفضّل عموماً عدم تنفيذ السد. و غالباً ما يكون السبب هو أن التكلفة اللازمة لإنشاء السد بشروط أمنية مناسبة قد تصبح باهظة، أو أن خطر وقوع الأضرار يكون كبيراً جداً وقد يتسبب في دمار المنشأة.

التعرُف على الموقع وإجراء تجارب ميدانية

إن تجارب ميكانيكية التربة التي يجب تنفيذها على أرض الموقع تهدف بصورة رئيسية إلى التأكد من بعض المؤشرات الميكانيكية والمائية للمواد الموجودة بالموقع، خاصةً في منطقة الأساس. وبما أن الردميات مكونة من مواد منقحة أو معادة الاستخدام فالأفضل إجراء التجارب في المعامل.

بالنسبة لسدود الزراعة الفيضية الصغيرة بموريتانيا فإن الاختبارات التي من الأفضل القيام بها هي:

- اختبارات النفاذية أو الاختراقية من نوع "اختبارات لوفران" (اختبار بسيط من ناحية المواد المستخدمة ومن ناحية النتائج التي يتم التوصل إليها، يتم فيه حقن مياه عبر عدة طبقات من التربة وبعد ذلك يقاس حجم الماء المتص في ظروف ضغط مائي معين)؛ وأيضاً
- اختبارات مقياس الاختراق التي تساعد على التأكد من تجانس منطقة الأساس، بالإضافة إلى التحقيقات الأخرى.

نشير هنا أيضاً إلى أهمية القيام بالتعرف بالمعاينة على منطقة الأساس وذلك بحفر آبار تعريفية في محور السد المستقبلي. يجب أن تتراوح المسافة بين كل بئرين متتاليين من هذه الآبار ما بين 25 و50 متراً وتختلف هذه المسافة كلما تبين عدم التجانس لنوعية مكونات التربة الذي تتم ملاحظته في الحفر، كما يجب حفر هذه الآبار حتى عمق يوازي الارتفاع المتوقع للمنشأة في الجزء المركزي للسد (المسافة بين الحفر تتزايد بينما يقل عمقها كلما ابتعدنا عن المجرى الضيق للوادي). هذا النوع من التعرف يساعد على تحديد بعض المميزات الخاصة بالأرض مثل العدسات الرملية أو طبقات الطين المشابهة للقنوات والتي قد تكون ضارة جداً بالأداء الجيد للمنشآت المقرر إنشاؤها.

تجارب معملية

لنذكر باختصار بعض التجارب الكلاسيكية التي عادة ما تتم بمعامل ميكانيكية التربة على عينات تم أخذها من الموقع:

أ) **تجارب التحديد:** محتوى التربة من المياه الطبيعية، وحجم الحبيبات المكونة، ودرجة الترسيب وتحديد حدود آتيربيرغ. إن التجارب حول المحتوى المائي ذات أهمية خاصة، سواء كان ذلك خلال الدراسات الأولية أو خلال مرحلة بناء الردمية، فهي تحكم بالفعل في نجاح عمليات الضغط التي يتوقف عليها استقرار واستمرارية المنشأة ومنع التسرب المائي من خلالها.

ب) **تجارب الضغط:** والتي يطلق عليها "تجارب بروكتور العادية" و"تجارب بروكتور المعدلة": هذه التجارب تساعد على تحديد الخصائص الأمثل (كثافة التربة ومحتواها من المياه) للمادة المضغوطة بواسطة طاقة معينة. ولاحقاً تصبح هذه الخصائص مرجعاً في موقع البناء.

ج) **تجارب النفاذية** (بواسطة جهاز الأودوميتر لقياس تنفيخ الأرض أو جهاز البيرميأميتر لقياس النفاذية) على مادة بكر أو مضغوطة بعد القيام بتجربة بروكتور (قالب كبير أو صغير): هذه التجارب تساعد على تحديد مدى نفاذية المواد المضغوطة أو التربة الموجودة وعلى التأكد من قابليتها للقيام بوظيفة محددة (منع التسريب، تصريف، إلخ) أو ضرورة زيادة موانع تسريب إضافية (نواة من الطين أو غشاء أرضي، إلخ).

د) **تجارب تدعيم بواسطة جهاز الأودوميتر:** تهدف هذه التجارب إلى قياس اختلافات حجم تربة قد تتعرض للضغط. في الغالب نحصل من هذه التجارب على توقعات ارتصاص الردم لذا فهي ذات فائدة محدودة عندما يتعلق الأمر بالسدود ذات الارتفاع الضئيل (حتى 5 أمتار في الجزء المركزي).

هـ) **تجارب القص:** يتم القيام بهذه التجارب بمساعدة علبة كازاغراند أو جهاز القياس ثلاثي المحاور وهي تساعد على تحديد الخصائص الميكانيكية للمادة عند قصها، والتي هي التناسق، وزاوية الاحتكاك، اللازمتين لحساب مدى استقرار جانبي السد.

و) **تجارب التشتت في التربة:** إن خاصية التشتت هي ظاهرة ذات أصل كيميائي تتم ملاحظتها غالباً في رواسب الطمي وبعض أنواع الطين الأخرى. وقد تسببت هذه الظاهرة في انفصام العديد من السدود في أنحاء العالم المختلفة ويمكن إرجاعها لعامل انخفاض تماسك التربة. إن الأراضي المصابة بتلك الظاهرة تصبح شديدة التآكل، وهذا التآكل قد يكون سطحياً و/أو داخلياً. في الحالة الأولى، التي يمكن أن تحدث إن تم استخدام مواد مشتتة في جانبي السد دون توفير حماية كافية، أو

عندما تكون طبقة الحماية نفسها مكونة من مواد مشتتة، نلاحظ فوراً تآكل على شكل خدوش و/أو اخدود. أما الحالة الثانية فتنتج عنها ظاهرة الاسترواء،[2] ويتمثل شكلها النهائي في ظهور الثعلبة المائية،[3] وهي في الغالب مدمرة للمنشأة. هذه الظاهرة دائماً ما تذكر عند التحدث عن السدود بموريتانيا لذا من الضروري بمكان القيام بتجارب مناسبة "pinhole test"، "crumb test"، أو جهاز ضعف الهايدروميتر أو تجارب كيميائية (يتعين الرجوع للقيام بها إلى المراجع المختصة) وبناء على ذلك إعادة ملاءمة تصميم المنشآت التي تكون مجمل موادها أو جزء منها قابلة للتشتيت. كما يجب بالأخص التزام أقصى الدقة فيما يتعلق بتصميم منشآت التصريف مع المراعاة الصارمة لقواعد الترشيح.

إمكانية تعزيز حسن استغلال أسفل السد: خصائص إضافية يمكن أخذها بعين الاعتبار عند اختيار موقع السد

ضروريات وأسس التفريغ

في موريتانيا، تتطلب ممارسة الزراعة الفيضية في المنطقة أعلى سدٍ ما غمر كل المساحات المراد زراعتها، وفي الواقع فإن الهدف من تخزين المياه هو فقط لملء المخزونات الأرضية والتحت أرضية. لذا من الطبيعي أن تفرغ السدود كلما كان ذلك بالإمكان، وذلك عندما تكون التغطية بالمياه كاملة وتكون مسامات التربة مشبعة. وحينئذ يمكن زراعة كل الأراضي التي كانت مغمورة لهذا الغرض. وفي ظروف مواسم الأمطار العادية، يتم عادة امتلاء السدود في الفترة ما بين يوليو/تموز وسبتمبر/أيلول. وفي شهر أكتوبر/تشرين الأول يتوقف تساقط الأمطار فيصبح التفريغ ممكناً. يتم تفريغ كل المياه التي يحتويها الحوض لأعلى السد بواسطة منشأة التفريغ، وفي معظم الأحيان تستغرق هذه العملية فترة قصيرة. فإن كانت منشأة التصريف تساعد على ذلك يمكن للمزارعين التحكم في التدفق وذلك لتمديد مرحلة البذر لمدة تتناسب وتوفر الأيدي العاملة (شهر تقريباً).

عندما تتوالى العديد من السدود على نفس حوض المصب لواد ما، يجب أن تكون عمليات تفريغها المتتالية مدروسة ومنسقة، فتفريغ المياه المحصورة في الأعلى يمكن أن يتضارب مع تنظيم العمليات المقامة في الأسفل. لذا يجب اختيار الوقت والمدة التي تستغرقها العملية وتحديد مستوى التدفق المناسب من أجل أخذ هذا الأمر بعين الاعتبار. وقد يبدو من الصعب اعتماد هذا المنطق حالياً على مستوى أي حوض مصب لواد ما في الظروف الحالية الخاصة بموريتانيا.

تأهيل أسفل السد والاستفادة من مياه التفريغ

إن مياه التصريف قد لا يتم استخدامها في معظم الأحوال أو قد يتم استخدامها قليلاً من أجل استغلال المنطقة أسفل السد، وهذا أمر غريب يثير الدهشة في بلد شديد الجفاف. ولاشك أنه من الممكن إيجاد العديد من الحلول للاستفادة من مياه التفريغ ومن الأراضي الواقعة في الأسفل، وعليه فإنه عند اختيار الموقع، يجب الأخذ بعين الاعتبار شكل هذا الجزء من الوادي إضافة إلى جودة الأراضي الموجودة به، حتى وإن لم تكن هذه العوامل مؤثرة جداً في الاختيار.

2 الأسترواء هو العملية التي تقوم فيها أكثر المكونات دقةً في التربة بالتفكك من المنظومة الصلبة وذلك عبر التدفق التخللي من خلال المسامات الموجودة في الوسط.

3 الثعلبة المائية هي ظاهرة لتآكل ارتدادي داخلي في الردمية أو الأساس.

النشر التقليدي للمياه والتحسينات الممكنة عليه

الجدير بالذكر ملاحظة الاستخدام التقليدي لمياه التفريغ أحياناً. ويتم الأمر عادةً بتعريض حقول الذرة البيضاء لغمر مؤقت جداً. ويبدو أن هذه المحاولات لا تتم إلا عندما يكون منسوب المطر مناسباً لبداية الزراعة وعندما تتمكن الأراضي من تخزين فائض مياه معتبر تستطيع إرجاعه بعد الغمر. وعليه فالأمر عبارة عن ري طمري تكميلي هامشي جداً، تتم ممارسته بصفة خاصة على الزراعة التي تعتمد على الأمطار والسيول في فصل الشتاء. ويتم اللجوء إلى هذه التقنية في مراحل الزراعة المتقدمة وبذا تستطيع تمثيل عامل يقلل من خطر تأثير عدم توفر المياه.

هذا النشر التقليدي يمكن تحسينه بطرق بسيطة مثل المصدات الرملية التي توضع عرضياً في اتجاه سيلان المياه. هذه المصدات تساعد على إبطاء تدفق المياه وتسهم في تغلغلها. هنالك حل آخر أكثر دقةً يتمثل في بناء سلسلة من السدود الصغيرة المرشحة (المصفية) التي تسمح بتغلغل أفضل للمياه في التربة مع الحرص على عدم اجراف المواد المكونة لها مع التيار.

إن الاستفادة التقليدية من مياه التصريف لا تقتصر على زراعة الحبوب بل يمكنها أيضاً أن تصلح لزراعة النباتات ذات الفائدة الرعوية أو أشجار الغابات. وعلى وجه الخصوص، عندما يكون الحوض مصمتاً،[4] تتجمع المياه في المنخفضات المغلقة التي يطلق عليها اسم "تامورت" أو "تاشوت" بموريتانيا.

هذه الموارد الطبيعية يمكن استخدامها والاستفادة منها لأنها تساعد على تنمية النباتات الغذائية والأشجار، كما أن البستنة ممكنة أيضاً في هذه المناطق الرطبة. ووجود منخفض كذلك في الأسفل يمكن أن يعزز إيجابية اختيار الموقع آخذاً بالاعتبار الاحتمالات التي يقدمها من ناحية الاستفادة من مياه التفريغ. لكن على المصمم الانتباه إلى النقاط التالية:

- لا يجب استغلال التامورت والتاشوت بكثافة إذ أن هذه المناطق تعتبر عادةً غنية من ناحية التنوع الأحيائي.
- يجب تجنب إغلاقها إغلاقاً كاملاً حتى لا يتم منع المربين الرحل، الذين يرتادونها بقطعانهم، من الدخول إليها (الصورة 1).

الصورة 1: منطقة نباتات رعي قابلة للغمر تقع أسفل سد مآل: استخدام المضخات يساعد أيضاً على ري المساحات الصغيرة من البساتين.

4 يكون الحوض مصمتاً عندما تكون كل محاور التصريف الخاصة به منتهية بمنخفض مغلق.

إنشاء برك معمقة أو "بولي"

يتعلق الأمر بالمقدرة على الاحتفاظ بالمياه الموجودة في باطن الأرض، في المناطق المنخفضة، حيث، في الغالب، توجد بركة طبيعية مسبقاً. يجب أن تكون هذه المنشآت عميقة للتمكن من الاحتفاظ بالمياه لأطول فترة ممكنة، مع الأخذ بعين الاعتبار الاحتياجات التي تتم تغطيتها وعمليات التبخر (الصورة 2). إن المياه المخزونة في "البولي" يمكن استخدامها حتى لفترات طويلة بعد ذلك خلال مواسم الجفاف للبستنة أو لسقاية القطعان، لكن من الأفضل منع استخدامها من أجل الاستهلاك البشري: فالمخاطر الصحية شديدة جداً إذ أن هذا النوع من مخازن المياه يكون مرتعاً خصباً للطفيليات والميكروبات لكونه مغلقاً.

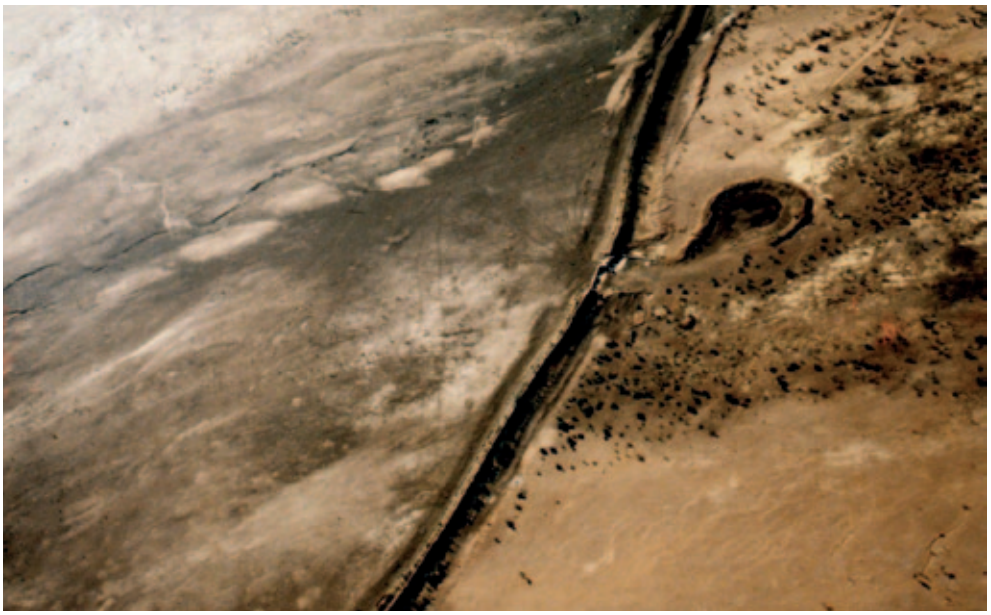
وبسبب الظروف المناخية، فإن عمق 2.5 متر هو أقل حد يمكن أن يكونه عمق البركة. ومع ذلك فالبركة ليست فقط مجرد حفرية إذ أنه بالإمكان إنشاؤها بطريقة تقلل من التبخر وتساعد على زراعة الخضروات وتمنع ترسب الطمي. الشكل 2 يصور مبدأ لبركة تم اتخاذ تجهيزات معينة بها لتحقيق هذه الأهداف: زراعة أشجار في المنطقة المحيطة، ورفع للأرض يحد من آثار الرياح، وبالتالي التبخر، ومنشأة لاستخلاص المياه تساعد على حجز الرمل والطين.

إن كنا نخطط لتنفيذ بركة أو أكثر، محفورة بعمق أسفل السد، فمن المناسب القيام ببعض التجارب البسيطة للتعرف على المنطقة، وذلك للتأكد من جودة تماسك الأرض وعدم تسريبها للمياه (انظر التجارب الموصوفة في الصفحة 11).

تشييد نظام بسيط للري بالجاذبية

عندما يمتلئ الحوض، حتى التفريغ، يمكن في الأسفل القيام بعملية ري تكمل ما تم خلال موسم الأمطار، على أن تكون التربة في منطقة أسفل السد صالحة للزراعة. فمن البديهي أن يتم تصميم المناطق المروية بطريقة لا يتم معها تدميرها خلال عملية التفريغ إن كانت المحصولات لا تزال موجودة بها في ذلك الوقت. ويمكن أيضاً تصور أنظمة مزدوجة لنفس المساحة المزروعة، تجمع على التوالي، بين نظام الري بالجاذبية، ثم بعد ذلك الري بالمضخات من برك يتم ملؤها خلال فترة التفريغ.

إن نظام "قطرة قطرة" يمكن أن يكون مناسباً جداً لأنه يستهلك القليل من المياه



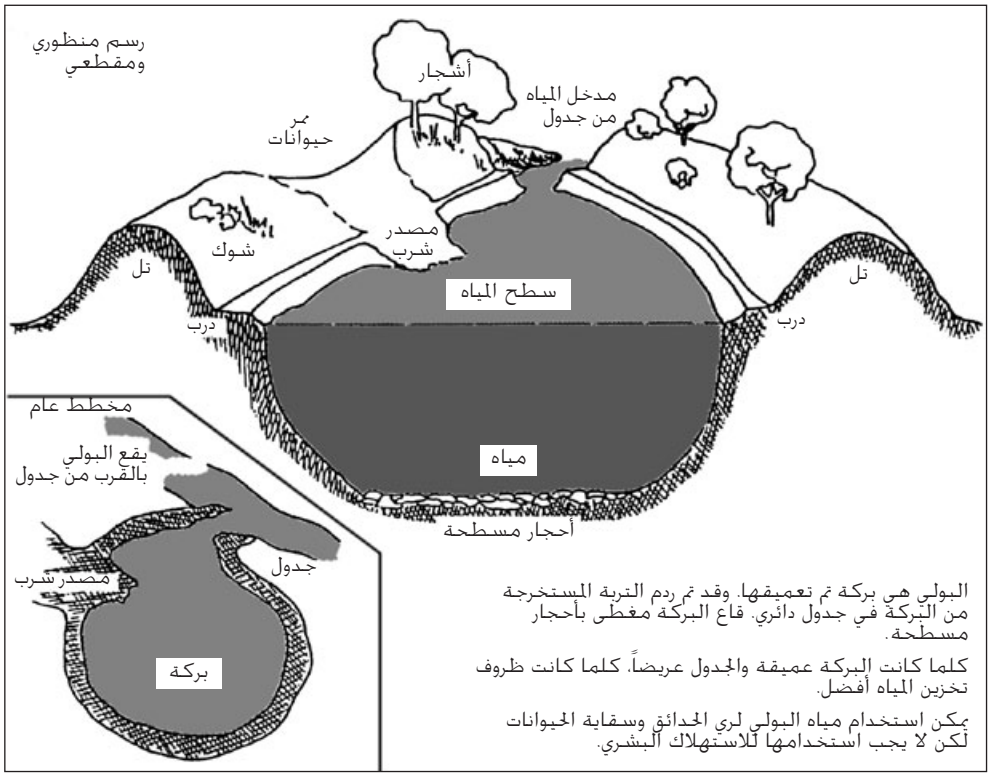
الصورة 2: منظر جوي لسد فيضي تم إنشاء بولي أو بركة بأسفله للتمكن من استرداد واستخلاص بعض من مياه التفريغ. يجب إنشاء هذه البركة على بعد بضع عشرات من الأمتار على الأقل من أسفل السد وذلك لتجنب مساعدة صعود المياه إلى طبقة داخلية من الردمية مما يمكن أن يؤثر في استقرارها. من ناحية أخرى، هذه المسافة ضرورية للتمكن من السيطرة على التسريبات المحتملة في الجانب السفلي للسد.

ويساعد في الحفاظ على امتلاء الحوض لأقصى حد، حتى تكون درجة ترطيب الحوض في الأعلى جيدة قبل التفريغ. فيمكن إذن وضع جهاز شفط (من نوع شافط من القاع) متصل بمنشأة التفريغ (الصورة 3).

نلاحظ أيضاً أن الري بالجاذبية البسيط يمكن أن يتم بواسطة شافطات، أكثرها بساطةً

الشكل 2

شكل تصميمي يظهر مبدأ بركة (مأخوذ من كتاب *مياه وأراضي التسريبية* للكاتبين شليك ودوبريز)



الصورة 3: سد تيارت (أدرار). شفط مبسط للمياه بواسطة شافطات (أنابيب توضع ببساطة فوق مفرغ الفيضان).

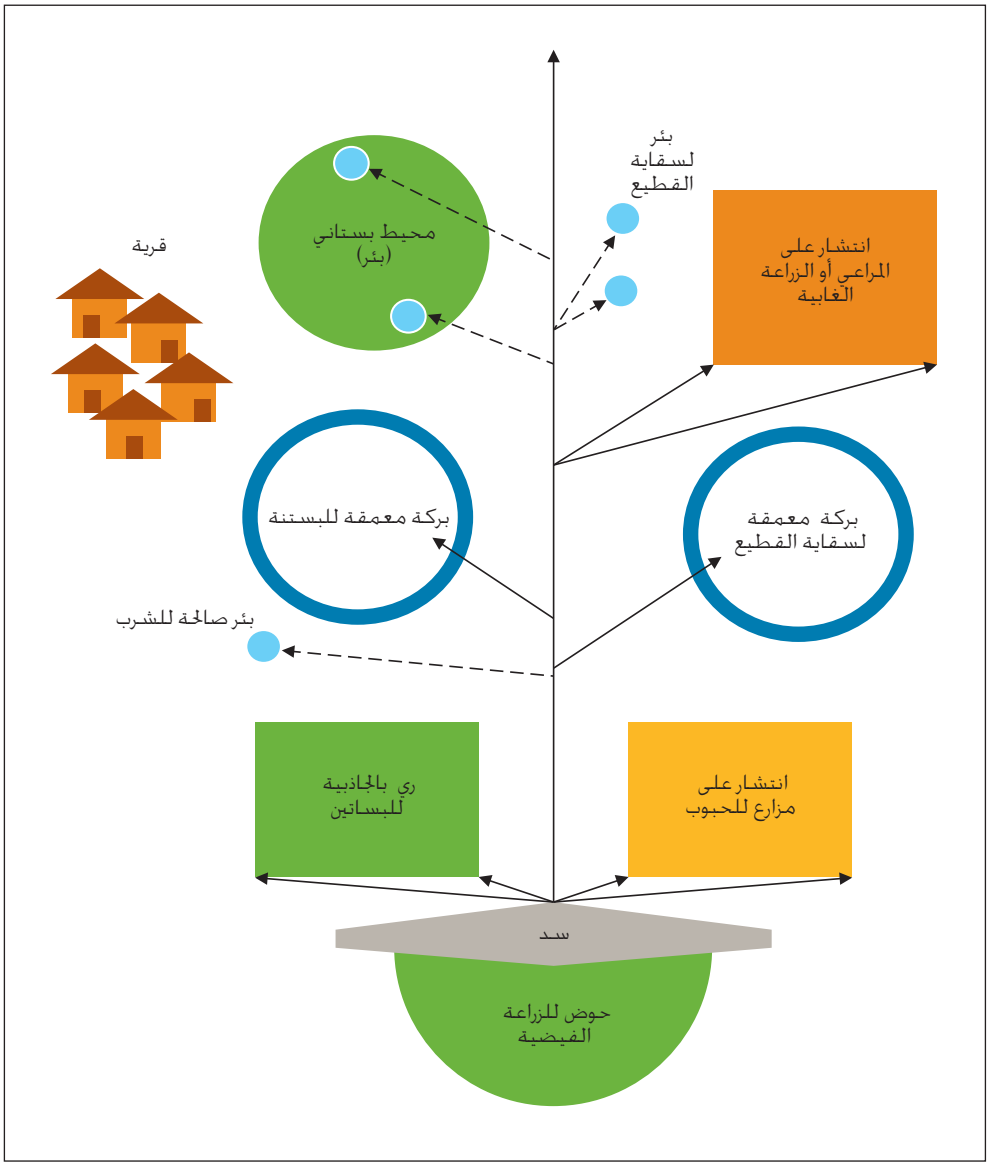
يمكن تكوينه من أنابيب بلاستيكية (نظام سهل الاستخدام؛ تدفق بسيط، لكنه يحتمل استخدام عدة أنابيب).

استخدام المياه الجوفية

إن تخزين المياه أعلى السد يمكن أن يساعد في إعادة ملء الطبقة الجوفية، التي يمكن استخدامها في الأسفل من خلال إنشاء آبار. فهذه الآبار يمكن أن يتم استخدامها لري بساتين صغيرة أو المساهمة في سقاية القطعان. قد تساعد دراسة جيوتقنية أولية في تكوين فكرة عن جدوى هذا الخيار.

الشكل 3

تنظيم تصميمي لإمكانية استخدام أسفل سد الزراعات الفيضية (الأسهم المتواصلة تمثل التغذية السطحية؛ والأسهم المتقطعة تمثل التغلغل)



الشروط الاجتماعية والاقتصادية الملائمة لنجاح المشروع

إن اختيار الموقع والتصميم لموقع الزراعة الفيضية يجب أن يمثلا فرصة اقتصادية مثالية إذا ما أخذنا بعين الاعتبار معطيات المشروع. وعليه، فإن النسبة بين مساحة الحوض الصالحة للزراعة وحجم السد ينبغي أن تكون أعلى ما يمكن؛ الأمر الذي غالباً ما يتطابق مع الظروف الطبوغرافية الجيدة مثل تلك المذكورة سابقاً (في الصفحتين 8-9). كما يجب، بقدر الإمكان، أن يتم تأسيس المشروع في أقرب مكان من سكن المستخدمين المستقبليين. فبعض المواقع، الملائمة جداً من الناحية الطبوغرافية والجيوتقنية، يمكن أن تكون ذات فائدة محدودة وذلك نظراً لبعدها الشديد من المستخدمين المنتظرين. ومع ذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار عامل القدرة على التنقل الذي يتميز به السكان في موريتانيا.

من جانب آخر، يجب أن تكون مساحة الحوض ملائمة للقوة العمالية أي الأيدي العاملة المتوفرة: ليس هناك معنى لإعداد أحواض كبيرة جداً إن لا عدد المستخدمين كافياً لذلك. العديد من السدود التي تم تشييدها في الماضي لم يكن يتم استخدامها بصورة كاملة وذلك بسبب عدم كفاية الأيدي العاملة. وبصفة عامة، يمكن تفضيل المشاريع التي تتميز بالآتي:

- المشاريع التقنية الفردية أو الجماعية التي تتجلى فيها مقدرات عالية لدى المزارعين؛ وأيضاً
- بدايات لتشييد المنشآت الفردية أو الجماعية والتي تشير إلى أن السكان لديهم الهمة والقدرة على التحكم بمنشآت أكثر دقة وإدارتها.

في المقابل، فمفهوم العائد الاقتصادي الجزي لمنشآت الزراعة الفيضية الصغيرة لا معنى له مع الفقر المزمن الموجود في الأرياف الموريتانية. فالغرض من زراعة الحبوب (ذرة بيضاء، قمح، إلخ) يكون في معظم الأحيان للاستهلاك الذاتي، دون أن تكون الكميات المزروعة كافية لاستهلاك المستخدمين طوال السنة. لذا يمكن أن تمثل الزراعة الفيضية نشاطاً تكميلياً لتربية الحيوانات بتوفيرها لدعم غذائي لا غنى عنه للرعاة. ويمكنها توفير أساس غذائي للسكان المستقرين الذين يعانون من الفقر المدقع، مثل الحراطين المستقرين في التامورة (المنخفضات المغلقة).

ولضمان استدامة المنشآت، ينبغي أيضاً توضيح الوضع العقاري للأراضي في المنطقة المراد زراعتها قبل البدء بأي استثمار وذلك بتنفيذ استراتيجية تأمين الولوج إلى الأرض لصالح المستخدمين. هذه الاستراتيجية يجب أن تكون مبنية على تحليل مكثّف للأرض وللنواحي الاجتماعية لكل موقع وذلك باستخدام مناهج تشاركية تأخذ بعين الاعتبار تعقيد المجتمع الموريتاني وخاصة الفوارق التي قد توجد بين النصوص التي تم اعتمادها مؤخراً وبين الوضع الحقيقي لبعض المجموعات في المنطقة. هذه الخطوة يجب أن تقود في النهاية إلى اعتماد تسويات، مثل الاتفاقيات العقارية التي سبق وأن جربت في منطقة مقاما بناء على اتفاق تم ابرامه بين أصحاب الحقوق، العرفية أو المكتوبة، وبين المستخدمين الذين يستفيدون من المساحة المغمورة. أحد مبادئ هذه الاتفاقيات هو السماح لأكثر المستخدمين ضعفاً بالولوج للأرض بصفة دائمة وآمنة، وبالمقابل، بالنسبة "للملاك" التقليديين، استخدام أراضيهم وإعطائها قيمة بفضل القيام بالمنشآت (وربما، إعطائهم مساحة أكبر في الحوض). لكن يجب تجنب أو إلغاء الرسوم العينية أو المادية، التي كان يقوم بدفعها عادةً "الذين لا أرض لهم" لـ "الملاك"، إذ أن هذه الرسوم غالباً ما تمثل عاملاً يسهم في استمرار ذوي الأوضاع الضعيفة في فقرهم.

3. تصميم وتشييد السدود الردمية

هندسة الردميات وضغطها

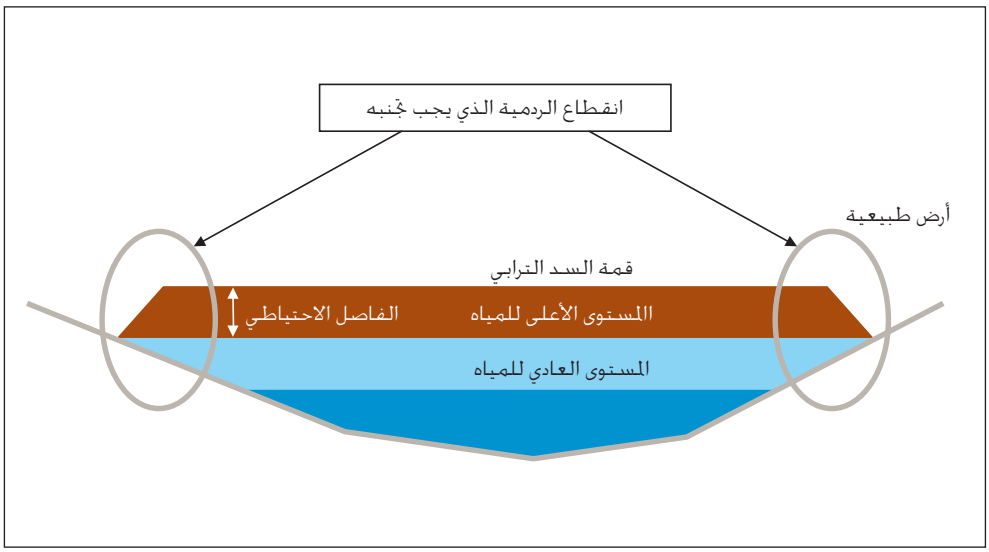
من الناحية النظرية، فإن معظم سدود الزراعة الفيضية المبنية في موريتانيا هي عبارة عن سدود ردمية ذات طابع منسجم، يتم تنفيذها بواسطة مواد طينية مضغوطة تتراوح انحدارات واجهاتها ما بين 1.5/1 و3/1. ونادراً ما يلاحظ وجود انحدارات بنسبة 4/1. ولكن بعض الردميات، وبما فيها تلك التي قامت بتنفيذها شركات، تعكس انحدارات غير منتظمة. إن حماية الواجهات تتفاوت من واحدة لأخرى، وتتراوح من عدم وجود أي حماية إلى تنفيذ الواقيات الصخرية المصممة بعناية شديدة.

هندسة الردميات

لنذكر في المقام الأول بضرورة تجنب اتباع طريقة الهندسة غير المنتظمة لجوانب السد وقمته. فانتظام جانبي السد أو قمته حسب سطح مستوي ليس له أي تأثير يذكر على استقرار المنشأة لكن أفقية القمة وانتظام منحدرات السد عاملان أساسيان لاستمرارية السد ومنشآت الحماية. إن أي خلل في أفقية قمة السد أو في انتظام الانحدار يمكن أن يتحول إلى بؤرة لتجمع مياه الأمطار مما قد يؤدي إلى بروز أخاديد تآكلية يمكن أن تكون ضارة جداً على المدى الطويل، إلى درجة قد تنذر بنهاية المطاف إلى تدمير المنشأة. وعليه فإنه يجب اتخاذ الحيطة والحذر الشديدين والانتباه لتفادي حصول هذه المشاكل خلال فترة عمليات البناء.

إن اختيار انحدار جوانب السد يتم بالتأكد من استقرارها وفق المواد التي يتم استخدامها. وعليه فإنه يتعين التأكد من ضمان الاستقرار الكلي للمنشآت سواء من الناحية الميكانيكية أو المائية، مع الأخذ في الحسبان لظاهرة جريان المياه الداخلية إذ أنها تمثل عاملاً هاماً في لعبة التحديات التي تواجه الردمية. ونظراً إلى حجم السدود المعتبرة، فإن منحدرات بدرجة 2/1 أو 2.5/1 مناسبة تماماً لضمان استقرار هذا النوع من المنشآت. لكن يجب تجنب المنحدرات الأقل من نسبة 2/1. والمقاسات الأكبر تمثل ضماناً مضاعفاً للاستقرار ولاستمرارية المنشآت الواقية (فهي إذن أقل عرضة للتدحرج نحو الأسفل، كما يسهل القيام بضغطها)، لكنها أكثر كلفةً بصورة واضحة.

الشكل 4
انقطاع الردمية في المكان الذي تتقاطع فيه حافة أعلى الأرض الطبيعية مع المستوى الأعلى للمياه وهي ممارسة يجب تجنبها



من المناسب الابتعاد عن ممارسة تتم ملاحظتها بكثرة وهي قطع الردمية في كل من أطرافها، وفي المكان الذي تتصل فيه الأرض الطبيعية بمستوى أعلى المياه (الشكل 4).

ويبدو أن هذا الخيار قد يمليه قلق اقتصادي قصير المدى من جهة، ومن جهة أخرى إمكانية توظيف النهايتين المقطوعتين في القيام بدور قناتي تفريغ استثنائيتين وذلك من أجل تفريغ الفيضانات غير المتوقعة. ولكن ممكنة الحدوث نظراً لعدم جدوائية المعطيات الهيدرولوجية، وهذا ما يشكل، نوعاً ما، إنكاراً للدور الأساسي الذي يشكله الفاصل الاحتياطي[5] كهامش ضمان بالنسبة لمستوى الفيضان الخاص بالمشروع ولعمليات الارتطام (الأمواج). ولكن المشكلة العظمى هي أن قنوات التفريغ الجانبي المستعارة هذه تتسبب غالباً في أضرار كبيرة وتآكل ارتدادي قد يكون مدمراً للمنشأة، وذلك منذ أول استخدام لها كقنوات للتفريغ. قنوات التصريف الاستثنائية مثل هذه يجب تصورها في منطقة الأعناق الطبيعية على حافة حوض السد، إن وجدت هكذا أعناق، كما سبق وأسلفنا في الصفحة 10.

أهمية عملية الضغط

فيما يتعلق بعملية الضغط، فإن العديد من الأخطاء وطرق التنفيذ غير الصحيحة تتم ممارستها في السدود بموريتانيا، فالبعض منها لم يتم تنفيذ عملية الضغط عليه أبداً. لذا من الضروري التذكير بأهمية هذه المرحلة في موقع العمل، وذلك من أجل استقرار السد ولضمان منع التسرب فيه.

بالطريقة الكلاسيكية، يتم تنفيذ عملية الضغط بمنهج بروكتور العادي (+ أو – 2%). إن قيود رش الرمل بموريتانيا صعبة وتتخللها العقبات إذ يجب قطع العديد من الكيلومترات للعثور على الماء الكافي، حتى وإن تم بدء العمل مباشرةً بعد موسم الأمطار، وهو تخوّط حكيم جداً. ونظراً للصعوبات التي تتم مواجهتها في الحصول على المياه، فمن الأفضل القيام بعملية الضغط على طريقة بركتور المعدلة والتي تتطلب طاقة أكبر في الضغط (معدات أثقل وعدد مرور أكثر) لكن في المقابل، يكون محتوى مياه أقل من ذلك المطلوب الحصول عليه عند استخدام طريقة بروكتور العادي (وأحياناً يكون المحتوى مساوياً للمحتوى الطبيعي للمادة المضغوطة من الماء، وهو وضع ممتاز جداً إذ أنه يساعد على تجنب الرش). إن زيادة التكلفة لمكون الطاقة الضروري لهذه العملية يتم لا شك تعويض أكثر من قيمتها وذلك بفضل التوفير الذي يتم من عملية ترحيل المياه.

وعموماً فإنه لا يتم أبداً التأكيد بصورة كافية على أهمية مراقبة عملية الضغط خلال أعمال البناء. وعليه فمن الضروري أن تكون المراقبة دقيقة جدا، ومتكررة، أو بالأحرى مستمرة. ثم إن النقاط الرئيسة التي يجب التأكد منها هي:

- جودة المواد المقتطفة من المناطق المخصصة لتوفير الرملية (الأمر الذي يعني كذلك أهمية القيام بدراسات مسبقة جادة لتحديد هذه المواد بصورة صحيحة)؛
- عدد مرات المرور بالنسبة للآلات التي تقوم بعملية ضغط الردمية؛ وأيضاً
- نسبة محتوى المواد من المياه وكثافة الضغط على تلك المواد، سواء كان ذلك على مستوى الردمية أو فيما يخص الحاجز المانع لتسريب المياه في منطقة الأساس.

هنالك ممارسة كثيرة التكرار في موريتانيا تتمثل في إعادة الاستفادة من ردم قديم وتحويله إلى سد جديد. وهنا لا يمكننا إلا أن نؤكد على التحفظ فيما يخص إعادة استخدام منشأة قديمة لسنا متأكدين من خصائصها الخاصة بعملية ضغطها، ومدى نفاذيتها أو قدرتها على التصريف. لذا من الأفضل ترك هذه السدود الهامشية وإعادة بناء منشأة جديدة بصورة كاملة بالقرب من المواقع القديمة (أو بتحطيمها وإعادة استخدام ما أمكن من موادها، بعد القيام بتجارب على ميكانيكية التربة الخاصة بها).

ومع ذلك، يجب الاعتراف بأن إعادة استخدام هذه المواد قد تساعد في بعض الأحيان في التمكن من توفيرات جوهرية فيما يتعلق بحجم الردمية. وكلما تم الأخذ بهذا الخيار، فإنه يجب القيام بالاحتياطات التالية:

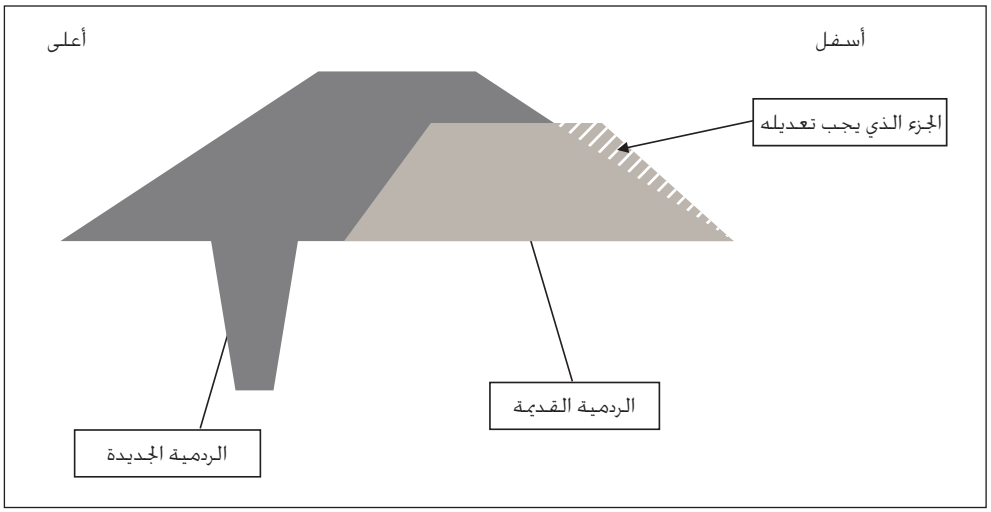
5 الفاصل الاحتياطي هو الحد الفاصل بين مستوى اعلى المياه وقمة السد.

- القيام على الردمية القديمة بنفس الممارسات التعرفية التي يجب القيام بها في الأساس (مدى النفاذية، الكثافة، إلخ). إن حملة للتعرف، والتي يمكن القيام بها بجهاز قياس مدى النفاذية "بنيترو ميتر" بالخصوص، ستساعد في التأكد من تجانس المواد على طول الردمية القديمة؛
- اعتبار السد الجديد كسد يتكون من مناطق، ووضع الردمية القديمة دائماً في منطقة أسفل السد. وإن كانت مواد الردمية القديمة شديدة النفاذية فيمكن اعتبارها كجزء يقوم بالتصريف؛ وعلى كل حال، فإنه يجب بصفة خاصة التأكد من اتباع قواعد التصفية بين الردميتين القديمة والجديدة وذلك لتجنب تكون الأشكال الثعلبية للتآكل. وفي حالة ما لم يكن الوضع كذلك، فإنه يتعين وضع مصفاة حبيبية أو نسيج أرضي؛
- التأكد من عدم تسريب طبقة الطين المكمّلة والتي يتم بناؤها في الأعلى. كما يجب أيضاً التأكد من صلابة هذه الطبقة، وقدرتها كأساس للسد على منع تسريب المياه (يجب دائماً اعتبار أن هذه العملية لم يتم القيام بها بطريقة صحيحة على الردمية الموجودة أصلاً)؛ وأيضاً
- إن كانت الردمية القديمة ذات خصائص جيدة من حيث الكثافة والنفاذية، وإن كان إنشاء مصفاة ليس ضرورياً، فيجب خلق ربط جيد بين الردميتين القديمة والحديثة وذلك من خلال القيام بعمليات التنظيف والتشريط والترطيب بقدر الإمكان كلما لزم الأمر.

إضافة لكل ذلك، يجب التنبيه إلى أنه في حال إعادة استخدام منشأة قديمة، فهنالك مشكلة هندسية تطرأ دائماً بالنسبة للسد الجديد إذ ليس من النادر فعلاً ظهور منحدرات على الجوانب القديمة للسد تكون درجة ميلانها أعلى من 2/1. وفي هذه الحالة من الضروري إذن تصحيح المنحدر الخاص بالجانب الأسفل ليتطابق مع المنحدر العام الجديد للسد، كما يجب تجنب إحداث تغيير في المنحدر قد يؤدي إلى إضعاف المنشأة (الشكل 5). كما أنه من الطبيعي توفير حماية جيدة للجانب السفلي (صخور أو حشو رملي مضغوط بشدة) على مجمل الواجهة السفلية التي تم إنشاؤها.

وأخيراً، وفيما يتعلق بعملية الضغط، فيجب أيضاً ذكر الصعوبات التي تواجهها الشركات لتنفيذه بصورة جيدة في منطقة اتصال الردمية بالمنشآت الخرسانية (الجدران الفاصلة[6] لمفرغات الفيضان خاصة). وهذه المشكلة يمكن حلها باستخدام تتم متابعته بدقة فائقة لمعدات صغيرة من نوع الشفرات النابضة، تقوم بضغط طبقات رقيقة من التربة. إلا أنه من الأفضل، كلما أمكن ذلك، القيام بصب العناصر الخرسانية بعد تنفيذ الردمية، وذلك لضمان أفضل اتصال ممكن بين المكونين.

الشكل 5
تعديل لجانب ذو منحدر حاد في حال إدراج ردم قديم في السد الجديد



6 الجدار الفاصل هو ذلك الذي يفصل بين منشأة خرسانية وردم طيني.

معالجة الطبقة الأساسية للسد

التماس بين الردمية والأساس

يجب أن يتم تنفيذ الرابط بين الطبقات الأولى من الردمية وبين الأرض الطبيعية بصورة جيدة. فيتعين أولاً تنظيف التربة السطحية والتخلص من كل البقايا العضوية. بعد ذلك يجب أن يتم الربط جيداً وذلك بفضل تشريط التربة، وإن اقتضى الأمر ذلك ترطيب الأرض التي تتم معالجتها.

الخندق المانع للتسريب

إن الخندق المانع للتسريب، والذي يلعب أيضاً دور مفتاح المرساة، يتم تنفيذه قبل الردمية وبنفس المواد التي يتم تنفيذ هذه الأخيرة منها. ويتم تحديد عمقه حسب ارتفاع المياه وحسب التحاليل التي يتم تنفيذها خلال الدراسات الأولية، وخاصةً خلال عملية التعرف بالمعاينة. ويتناقص عمق الخندق تدريجياً ابتداء من الجزء المركزي للسد، نحو المراسي الجانبية ويمكن أن يزداد في بعض الأماكن ليصل إلى الطبقة الأولى الصلدة الموجودة في الأساس. وعندما تكون الأسس الصلدة شديدة البعد ويتعذر الوصول إليها بواسطة مفتاح منع التسريب الكلاسيكي والمحفور بالبلدوزر، يمكن اللجوء إلى تقنيات خندقة لصيقة، وحتى حقن بينتونيت أسمنت إن كانت الأرض صخرية وغير قادرة على منع تسريب المياه. ولا شك أن مثل هذه الإجراءات قد تزيد كثيراً من تكلفة معالجة الأساس، خاصةً في حالات السدود الصغيرة. ولنضف إلى ذلك، أنه في حالة ما إذا كانت تسربات المياه تحت السد تضر بتأمين المنشأة، فإنها يمكن أن تكون مقبولة في حالات السدود الزراعة الفيضية لأن:

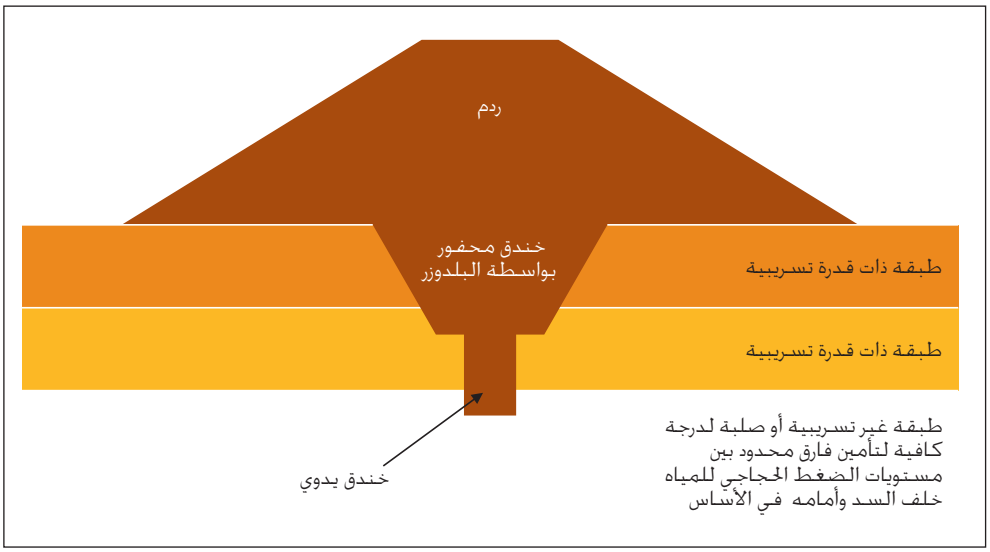
- هذه السدود على كل حال يتم تفريغها بنهاية موسم الشتاء؛ وأيضاً
- إعادة ملء خزان المياه الجوفية يمكن أن يكون أحد الأدوار المفيدة التي يلعبها هذا النوع من المنشآت.

وهكذا، ونظراً إلى أن أراضي الوديان معظمها رملية بموريتانيا، يجب أن يكون عمق الخندق المانع للتسريب كافياً، بحيث يصبح الفارق بين مستويات الضغط الحجاجي للمياه خلف السد وأمامه ضعيفاً وذلك لتجنب تكوين الأشكال الثعلبية من الانجراف تحت أساس السد.

إن المنهجية الجيدة للحصول على هذه النتيجة تتمثل في إنشاء خندق كلاسيكي بواسطة البلدوزر والقيام بتعميقه حسب الحاجة من خلال خندق محفور يدوياً ومردوم بالطين المضغوط بواسطة آلة ضغط أسطوانية صغيرة نابضة (الشكل 6). ويمكن بهذه

الشكل 6

شكل تصميمي أساسي لخندق كلاسيكي مانع للتسريب محفور بواسطة البلدوزر ومعمّق بواسطة خندق يدوي



الطريقة الوصول بسهولة إلى أعماق 3 أو 4 أمتار، الأمر الذي يكفي للحد من حدوث فارق كبير بين مستويات الضغط الحجاجي للمياه خلف السد وأمامه في حالات سدود الزراعة الفيضية الصغيرة. هذا الحل له ميزة كونه غير عالي التكلفة، وأنه يشكل طريقة ذكية للتعميق عندما نلاحظ خلال عمليات البناء وجود طبقات أرضية مفاجئة ذات قدرة نفاذية أو تسريبية لم تتم ملاحظتها خلال الدراسات الأولية.

من جهة أخرى، ومن أجل ضمان سلامة العمال، فإنه لا يجب حفر الخندق اليدوي لعمق أكثر من 1.5 متر.

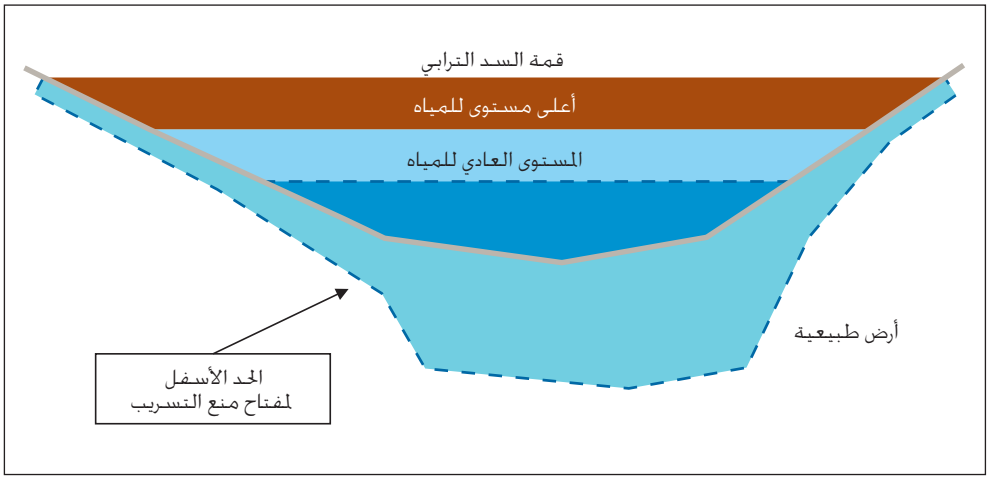
إن الخندق المانع للتسريب، مثله مثل الردمية (انظر الفقرة فقرة الأولى من الصفحة 18)، يتواصل حتى يرتبط عضوياً بالداعمات الجانبية ويجب أن يضمن هذا الارتباط أن مستوى المياه العليا محجوز كلياً بواسطة منشأة مانعة لتسريب المياه (الشكل 7 أسفله). عملياً وعلى مستوى الداعمات الجانبية، يتراوح عمق الخندق عموماً بين 50 سنتيمتراً ومتر واحد، في حالات السدود الفيضية الصغيرة.

مجاري التصريف

لنذكر بأن دور قنوات التصريف هو اعتراض تدفق المياه المتسللة وذلك كي لا يؤدي عودة ظهورهم غير المتحكم فيه في الأسفل إلى الإضرار باستقرار المنشأة (ارتفاع ضغط المياه تحت السد، أشكال ثعلبية، إلخ). لقد تم إنشاء معظم السدود الفيضية بموريتانيا دون أنظمة تصريف. ومع ذلك يمكن القول بأن قنوات التصريف ليست بالغة الأهمية وليست منشآت لا يمكن الاستغناء عنها في هذه الحالة. في الواقع، إن السد يتم تفريغه بنهاية موسم الأمطار، وعليه فلا يمكن للردم امتلاك الوقت الكافي للتشبع بالمياه إن كانت درجة تسريبه للمياه ضعيفة بما يكفي. لكن قد يحدث أن لا يتم تفريغ السد بسبب احتمال ظهور حالات تمنع القيام بزراعة الحوض (نزاع بين المستخدمين، وسائل غير كافية، إلخ). وفي هذه الحالة يمكن لعدم التصريف أن يضر بتأمين سلامة المنشأة. كما أنه لا يمكن استبعاد حصول ضغط سيئ للردمية أو حضور مواد مشتتة لم يتم اكتشافها من قبل. وعليه تجدر التوصية دائماً بوجود وسيلة تصريف، على الأقل في كل السدود التي يتجاوز ارتفاعها 3 أمتار.

إن قنوات التصريف المناسبة أكثر هي غالباً ذات الطبقة الحبيبية وذلك لسهولة تنفيذها ولأن المواد الضرورية لتنفيذها (رمل خشن وحصى صغيرة) دائماً ما تكون متوفرة بكثرة بالقرب من مواقع السدود بموريتانيا. ولوجودها على الأقل في الجزء المركزي من السد تحت الجانب السفلي للسد وعلى مستوى التماس بين الأرض والردمية، فهي تمتد على مساحة تتراوح بين ربع وثلث المنطقة المغطاة بالردمية وفي الاتجاه العرضي للسد. وعلى كل حال يجب التأكد من احترام شروط التصفية ما بين قنوات التصريف والردمية من جهة، وما بين قنوات التصريف والأرض الموجودة بالمكان من جهة أخرى.

الشكل 7
مقطع طولي تصميمي لسد ولمفتاح منع التسريب



وللحصول على أداء جيد لنظام التصريف، فمن الضروري تطويل نسيج التصريف وذلك عبر إنشاء حفرة تصريف على حافة أسفل السد، محفورة عرضياً على محور الوادي، وعلى طول يساوي طول مجال قناة التصريف. يتم ملء هذه الحفرة عادةً بمواد تصريفية (رمل خشن وصخر رملي).

حماية قمة السد وجوانبه من انجراف المياه

إن حماية قمة السد وجوانبه أمر لا غنى عنه خاصةً إن أردنا تجنب الأضرار التي تنتج عن آثار التعديات الخارجية: ارتطام أمواج في الواجهة العليا، تآكل بسبب الأمطار و/أو مرور المشاة والحيوانات والسيارات، بالنسبة لكل من قمة السد ولجانبيه.

في العادة تختلف حماية الجانب العلوي للسد عن حماية جانبه السفلي وقمته: فحماية الجانب العلوي يجب ان تكون أشد إذ أن عليها مقاومة آثار الأمواج.

حماية الجانب العلوي للسد

إن الحماية الأكثر شيوعاً تتم باستخدام الدعامة الجافة (الحجر الطبيعي)، مع أو بدون الطبقة الأساسية (الصورة رقم 4). عادةً ما يكون نوع الأحجار المستخدمة جيداً (الشست أو الكوارتز)، لكن أحجامها قد تكون أحياناً غير كافية وطريقة تجميعها لا تتم بالعناية الضرورية. لكن الأضرار التي يسببها ارتطام الأمواج ليست ذات أهمية كبرى إذ أن السدود لا تحتفظ بالمياه إلا لشهور معدودة والتأثير الميكانيكي للأمواج لا يحدث إلا خلال فترة محدودة. مع ذلك، وعلى المدى الطويل، فإنه من الأفضل تنفيذ أعمال حماية وذلك باتباع بعض القواعد البسيطة:

- توفير طبقة أساسية: يمكن تنفيذ هذه الطبقة من الصخر الرملي (مع اتباع قواعد التصفية) أو من النسيج المموه: هذه الطبقة تمنع امتصاص المواد الدقيقة من الردمية عند حدوث عملية الجزر بواسطة الأمواج.
- ترتيب ومزاوجة الصخور باليد: هذا الحل هو الأكثر ملائمة للسدود بموريتانيا، كما يمكن تنفيذ هذا النوع من الأعمال وفق الطرق المسماة "الكثافة العالية في الأيدي العاملة". يجب تجنب أي خيار يقضي بتفريغ الصخور من قمة السد.

الصورة 4: طبقة دعم في الأعلى على النسيج المموه (سد فيتي، العصابة)، حل مناسب إن تم تنفيذه بالطريقة الصحيحة.. والحال ليس كذلك في هذا السد. يجب في الواقع وضع طبقة بين السد الترابي والنسيج المموه: علاوة على ذلك، كان من اللازم إعادة ترميم سطح هذه الردمية إذ أنه منخفض بسبب الشروخ التآكلية التي سببتها الأمطار التي حدثت خلال أعمال الإنشاء.

الجدير بالذكر أن الحلول التي تم استخدامها على سد مقطع لحجار وسد سانغارافا هي حلول مرضية جداً: تم وضح لوحات من الشيست على رأس الجانب العلوي للسد، بل وقد تم غرز هذه اللوحات تماماً في الداخل وأغلقت كل واحدة منهما بالضغط على جانبها الأعرض (الصورة 5). يجب أن يكون التنفيذ متواصلاً وأن يتقدم أفقياً بشكل مائل وذلك لتجنب تكوين لوحات تحدّها خطوط طبقات رأسية، الأمر الذي قد يؤدي لتكوين مناطق ضعيفة عرضة للتآكل. هذا الحل، الأكثر طولاً والأكثر كلفةً في التنفيذ، يبقى هو من الأكثر فعالية.

عندما لا نتحصل على كتل ذات أحجام كافية، بل فقط على حصى أو حجارة ذات أحجام أصغر، يمكن القيام بحماية الجانب الأعلى من السد بواسطة مراتب رينو (متاريس ذات سماكة ضعيفة)، موضوع على نسيج موه أو على طبقة أساس حبيبية. مع ذلك، يظل هذا الحل ذو تكلفة عالية نسبياً وغير واقعي بالنسبة للسدود ذات الأطوال العالية والتي تتميز بالمساحات العريضة والمحتاجة لحماية.

حماية الجانب الأسفل من السد

إن حماية الجانب الأسفل من السد غالباً ما شكلت نقطة ضعف في السدود بموريتانيا، بل إن عدداً منها أظهر أحياناً شروخاً تآكلية قد تكون أحياناً شديدة العمق (الصورة 6). ومع ذلك فإن هذه الحماية أساسية لاستدامة الأداء الجيد للمنشآت على المدى الطويل (يمكن أن تتسبب الشروخ في تكوين أشكال تآكل ثعلبية، إذ أن الشروخ عندما تكون عميقة فهي تختصر الطريق الذي تسلكه السيلانات الداخلية بالردمية وتزيد من قوة سرعة انسياب المياه؛ كما أنه بإمكان هذه الشروخ أيضاً أن تسبب في انزلاقات الردمية في الجانب الأسفل للسد).

إن الغياب الكلي لحماية الجانب الأسفل للسد، والذي غالباً ما يلاحظ في منشآت السدود الموريتانية، يتعين في كل حال من الأحوال تجنبه، وذلك باللجوء إلى إجراءآت الحماية الأكثر انتشاراً وهي:

- التعشيب: هذا الحل قد يبدو قليل الاستخدام نظراً إلى الظروف المناخية بموريتانيا. ومع ذلك فقد أوصى البعض في الماضي بزراعة نبتة عشب محلية يطلق عليها محلياً اسم "كرام-كرام" على طبقة من التربة النباتية التي يتم تمديدها سلفاً على الجانب الأسفل للسد. قد يكون من المفيد إعادة تجربة هذه الطريقة من جديد.

الصورة 5: حماية الجانب العلوي لسد "مقطع لحجار" بواسطة ألواح من الشيست موضوعة على راس الجانب العلوي للسد.

- التحصيب أو الترصيف: إن تم تنفيذ هذا الحل جيداً فهو شديد الفعالية، حتى وإن كان الانحدار بمقياس 1.5/1، لكنه يظل مكلفاً. ومن الممكن أن يكون هذا الحل مفيداً خاصةً مع توفر صخور في الجوار وإذا ما كان من الممكن تنفيذ العمل من خلال ورشة ذات كثافة عمالية عالية.
- طبقة من الحشو الرملي مضغوطة: هذا الحل يمثل دون شك أفضل معدل تناسب ما بين الجودة والسعر بموريتانيا. ويعتمد نجاحه بصورة أساسية على ثلاث نقاط يجب التأكد منها في آن واحد:
  - سماكة الطبقة: 20 سنتيمتراً قد تكون الحد الأدنى؛
  - انحدار جوانب السد: تظهر الخبرة أنه لا يمكن ملاحظة أي أضرار ابتداءً من انحدار يساوي 2.5/1 فما أعلى، ويعتبر انحدار بمقدار 2/1 مقبولاً، لكن عملية الضغط قد تكون في هذه الحالة أقل سهولة مما يجب؛ وأيضاً
  - الضغط: سرعان ما تظهر الخدوش التي تحدث بسبب التآكل على مساحة كل طبقات الحماية التي لم يتم ضغطها. لذا يجب ضغط طبقة الأساس بشدة.

حماية قمة السد

تتم دائماً حماية قمة السدود الترابية في السدود الصغيرة بواسطة طبقة من الحشو المضغوط، تماما كما هو الحال بالنسبة للجانب الأسفل من السد. هذه الطريقة أثبتت جدارتها دائماً حتى وإن لم يكن الضغط كافياً. وعليه فإنه يجب تجنب انعدام الحماية في هذه الحالة أيضاً.

إن مبادئ التشييد هي نفسها التي يتم استخدامها بالنسبة للواجهة السفلى للسد: يجب أن تكون سماكة طبقة الحماية 20 سنتيمتراً على الأقل. كما يجب أن يتم ضغطها بشدة. كما أنه من المحبذ أيضاً أن يتم تشييد السطح حسب منحدر نحو الأعلى (2% إلى 3%) وذلك لتسهيل تفريغ مياه الأمطار.

وأخيراً، فإن ربط حمايات جوانب السد مع قمته يجب أن يحظى باهتمام خاص، لاسيما إذا ما كانت أنواع الحماية المستخدمة مختلفة، وهو الحال عموماً بالنسبة للجانب الأعلى للسد. على سبيل المثال يجب أن تكون طبقات الأساس للنسيج المموه مزروعة بالمتراس وأن يتم وضع الحجر الواقي بالتداخل مع الحافة التي ترسم الحدود بين جانب السد وقمته.

الصورة 6: الجانب الأسفل غير المحمي بسد أمدير أطار (أدرار). لقد ظهرت خدوش عميقة بسبب التآكل مما أدى إلى تغيرات في بعض المناطق لانحدار الجانب الأسفل للسد، وهو ما يهدد استقرار المنشأة بأكملها.

4. المنشآت المائية المندمجة ضمن السد الردمي

مفرغ الفيضان

معظم السدود، وخصوصاً السدود الردمية التي لا تحتمل أي فيض، يجب أن تشتمل على منشآت تمكنها من تصريف المياه الزائدة نحو أسفل السد عندما يتم بلوغ المستوى العادي للمياه في الحوض. هذه المنشآت تسمى "بمفرغات الفيضان" ويجب أن تصمم بعناية وأن يتم تنفيذ تشييدها بدقة لأنها مهمة لسلامة السد بل لسلامة السكان في منطقة أسفل السد أحياناً.

تحليل نقدي للحلول المتبعة في موريتانيا في تصميم وبناء مفرغات الفيضان

موقع المفرغ وظواهر التعرية الارتدادية

إن معظم مفرغات الفيضان المشيدة في السدود الصغيرة لأغراض الزراعة الفيضية بموريتانيا يتم تصميمها إما على أساس مصب أمامي من النوع الذي يعتمد على الثقل، عندما تقع في مواجهة المجرى، أو أن تتخذ شكل حائط من الخرسانة، عندما تقع في أطراف الردمية. إن مفرغات الفيضان غالباً ما تكون طويلة جداً وتعمل بمعدل انسياب ضعيف، ونادراً ما تم أخذ عامل تصفيح مياه الفيضانات بالاعتبار عند إعداد حسابات التصاميم.

من المهم أن نلاحظ أن الوضع الجانبي لمفرغات الفيضان أو تشييدها البعيد أكثر من اللازم عن المجرى غالباً ما يؤدي في كلتي الحالتين إلى مشاكل خطيرة متعلقة بالتعرية الارتدادية، وقد لوحظ ذلك ليس في موريتانيا فقط ولكن أيضا في العديد من الدول الأفريقية (الصورة 7). وبالفعل، فإنه في غياب القناة[7] التي تربط بين مفرغ الفيضان ومبدد الطاقة، في أدنى مفرغ الفيضان أو عندما يرتبط مبدد الطاقة مباشرة بمفرغ

الصورة 7: انهيار مفرغ فيضان جانبي بسبب ظاهرة التعرية الارتدادية (سد باميرا، الحوض الغربي)

7 القناة التي تربط بين اسفل مفرغ الفيضان ومفرغ الطاقة.

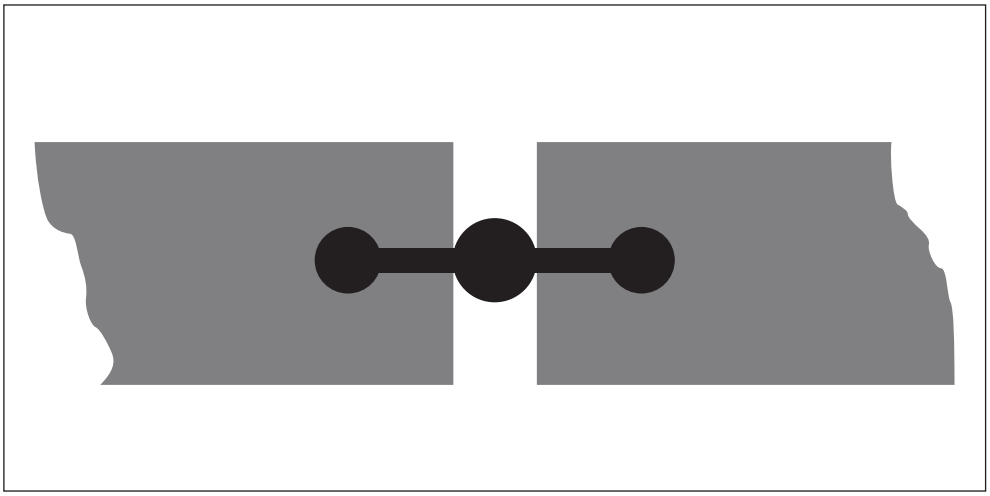
الفيضان، فإن الماء ينحدر إلى المجرى أو الخط الأكثر انحداراً. يكتسب جريان الماء على طول هذا الخط سرعة كافية لاقتلاع جزيئات التربة فيؤدي إلى حدوث ظاهرة التعرية التي تبدأ في الموقع، حيث السرعة الأكبر، ثم تتقدم نحو المنبع بشكل ارتدادي بالنظر لاتجاه جريان المياه. هذا التآكل يصعد حتى مصب المفرغ فيدمره، وقد يؤدي ذلك في بعض الحالات إلى تفريغ الحوض. وإذا ما دمر مفرغ الفيضان، فإن السد وكل المنشأة تصبح مهددة.

يجب تجنب هذا النوع من التصاميم الناتج عن البحث عن التكلفة الأقل للمشروع (نسبة لما توفره قلة ارتفاع مفرغ الفيضان). إن التخفيض من التكلفة الذي يتحقق على المدى القصير يقابله الخطر شبه المؤكد للانهيار الكامل أو الجزئي للمنشأة.

يجب إذن وبشكل دائم ترجيح خيار المفرغات المركزية للفيضان والتي تعيد المياه مباشرة إلى المجرى عبر أداة تبديد الطاقة التي يجب أن تكون مصممة بشكل صحيح وذات

الشكل 8

وضع صحيح لفاصل مانع للتسريب في فاصل الخرسانة.



الصورة 8: فاصل خرسانة. يتم الفصل بين القطعتين بواسطة لوح من البوليستيرين. ويتم منع التسريب بواسطة وضع فواصل من نوع waterstop يتم صب كل فاصل في القطعتين المتجاورتين.

مقاييس مناسبة. إن هذا الخيار قابل للتنفيذ خصوصاً وأن السدود المعنية غالباً ما تكون قليلة الارتفاع.

أهمية التصميم والتنفيذ المحكم لمفرغات الفيضان

إن عدداً كبيراً جداً من مفرغات الفيضانات تم تشييده من الخرسانة. فالمشاكل الأساسية التي تتم مواجهتها في هذه الحالة متعلقة بتدن جودة الخرسانة و/أو بالتصدع المتزايد بسبب عدم وجود فواصل الخرسانة أو نظراً للتباعد الحاصل بين هذه الفواصل.

وعليه فإنه من المناسب استخدام النسب الصحيحة عند خلط الخرسانة واختيار نوعيات نظيفة من الرمل والحصى مع التقيد بالآجال اللازمة قبل فك القوالب.

ومن أجل الحد من أثر التصدع الذي يصعب تجنبه خصوصاً في المنشآت الطويلة بسبب الانكماش الذي يحدث عند تصلب الخرسانة، فإنه يجب أن تشيد المنشأة من قطع من الخرسانة، محاذية لبعضها البعض، وتفصل بينها فواصل الخرسانة (الشكل 8). وحتى نضمن عدم تسرب الماء فإن الحل الأمثل يكمن في صب مانع (فاصل من النوع waterstop) بين القطع، على كل جانب من الخرسانة (الصورة 8).

إن بعض مفرغات الفيضان لا يتم تشييدها من الخرسانة بل تقام في شكل منطقة تصريف تهيأ في الردمية، مع حماية مشددة بالمقارنة مع جوانب السد المجاورة (حماية بالتحجير أو البناء من من الطوب الركامي أو المتاريس). يمكن أن يكون هذا الحل مقبولاً وغير مكلف إذا كان ارتفاع شفرات الماء لا يتعدى بضعة ديسيمترات وإذا ما تم الاعتناء جيداً بتنفيذ المنشأة.

لتفادي انجراف المواد الدقيقة من الردمية عند التصريف، فإن الحل المناسب (الصورة 9) يكمن في تنفيذ نظام الحماية فوق نسيج مموه، موضوع بطريقة صحيحة بين الأرصفة الصخرية والردمية (مع الحرص على الربط بين[8] شرائح النسيج المموه). وأخيراً فإن الجزء الواقع على الجانب الأسفل للسد يجب أن يغطى بطريقة مماثلة من أجل تفادي الانجراف الناتج عن المرور السريع للماء. ويمكن إنشاء ذلك من مدرجات متراسية، مما يمكن من تبديد طاقة الجريان وبالتالي تقليل حجم حوض التبديد الواقع في أسفل المنشأة. إن المتاريس المستخدمة يجب أن تكون من النوع المصنع إذ أنها تتعرض لضغوط كبيرة بسبب تعرضها الدائم للغمر بالماء تارة والتعرض للهواء تارة أخرى (مما يعني خطر تآكل متزايد).

الصورة 9 سد زمال (براكنة). صورة لمنطقة التفريغ المهيأة الواقعة في الردمية والمحمية بطبقة من الحجارة موضوعة على نسيج مموه وممتدة عبر مبدد للطاقة مكون من مدرجات متراسية.

8 شرائح النسيج المموه.

أهمية الربط المتقن بين جدران الحوض الفاصلة المصنوعة من الخرسانة والردميات

تم رصد العديد من المشاكل الناجمة عن ظاهرة التآكل الداخلي في السدود في موريتانيا، وذلك عند نقاط تماس الجدران الفاصلة لمفرغات الفيضانات مع الردميات، سواء كان ذلك في مناطق الالتصاق الأفقية أو الرأسية، وعادة فإن اهمال التعاطي مع ما يلزم من حزم في تفادي هذه المخاطر قد ينتج عنه ظهور مناطق مفضلة لجريان المياه المتسربة (الصورة 10).

يتعين اللجوء الى إجرائين احترازيين مكملين لبعضهما البعض من أجل تفادي المشاكل التي أدت إلى الانهيار الكلي للعديد من السدود في موريتانيا:

- كما هو موضح في الفقرة الخاصة بأهمية عملية الضغط المفصلة في الصفحة 19، فإنه بدلاً من الدك خلف الجدار الفاصل المشيد مسبقاً، وهي عملية صعبة وغير كافية على الإطلاق، من الأفضل عمل ردمية زائدة وضغطها جيداً في موضع مفرغ الفيضان، ثم قطعها أفقياً واستخدام السطح المتكون من الردمية بهذه الطريقة كقالب للجدار الفاصل (أما السطح الآخر المعد ليكون على اتصال مع الماء فيجب أن يقولب بالطريقة التقليدية). إن ذلك يمثل حلاً أفضل لضمان اتصال جيد بين الخرسانة والردمية، ولكنه يتطلب درجة عالية من الدقة في تصميمه وتنفيذه.
- من الضروري تشييد أجنحة من الخرسانة المسلحة تعامدياً مع حوائط الاكتاف، وتكون مغروسة في الردمية بشكل كاف وذلك مما يقلل بشكل كبير فرق الضغط المائي (حواجز مقاومة لظاهرة الانهيار الداخلي). كما أن أجنحة مماثلة يجب أن يتم تشييدها تحت المنشأة في منطقة أساسها. ويتعين عدم التردد في إعطائها حجماً أكبر قليلاً مما يلزم لأن النظريات التي عادة ما يتم أخذها في الاعتبار عند الحساب (بالاعتماد على قاعدة لان Lane) يمكن أن تكون متفائلة بخصوص جودة دك الردمية الذي تم عملياً في الموقع. كما يجب عدم الاستهانة بالصعوبة في اختيار المعامل المتعلق باحتساب لان (Lane). أما إذا كان السد مقسماً إلى مناطق، فإن الحواجز يجب أن تصب في النواة المركزية. ومن ناحية البناء فإن الحواجز يجب أن تصب في نفس الوقت مع الجدران الفاصلة ويجب أن يتم تسليح كل هذه المنشآت الخرسانية بشكل متماسك.

مقترحات لبدائل فنية لتصميم مفرغات الفيضان

نظراً لضرورة إعادة المياه المفرغة إلى مجرى الوادي المشيد عليه الخزان مما يترتب عليه إقامة منشأة التفريغ في الجزء المركزي للسد، فإن هناك عدة حلول ممكنة لتصميم مصب مستقيم

الصورة 10: انهيار ردمية بعد تعرضها لظاهرة التآكل الداخلي على مستوى التقاء أحد اكتاف حائط مفرغ الفيضان مع الردمية (سد وادي عباري بولاية براكنة).

من الخرسانة الثقلية. وتمكن هذه الحلول كلها من الحصول على طول فيضي مقبول، يغطي مساحة محدودة ومتوقعة بالقرب من قاع الوادي. ومن هذا المنطلق فإن هذه الحلول تمكن من تقليل التكلفة مقارنة بالحل التقليدي (يبقى أنه من الأفضل إجراء دراسة مقارنة للتحقق من صحة هذه النواحي بالنسبة لكل حالة على حدة).

المفرغات المتضمنة مصباً على شكل "منقار البطة"

إن اسم هذه المنشأة يأتي من كونها في شكلها التقليدي تشبه منقار البطة أو حرف U مائل نحو الأمام؛ حيث أن عتبة التصريف تمثل نصف دائرة متصلة بجزئين مستقيمين (الشكل رقم 9). وفي حالة السدود الصغيرة، فإن الجزء المقوس يمكن أن يتم استبداله بجزء مستقيم، وذلك من أجل تسهيل تصميم المنشأة وبصفة خاصة تنفيذ إنجازها. ويوضح المخطط التالي الشكل التصميمي للمنشأة.

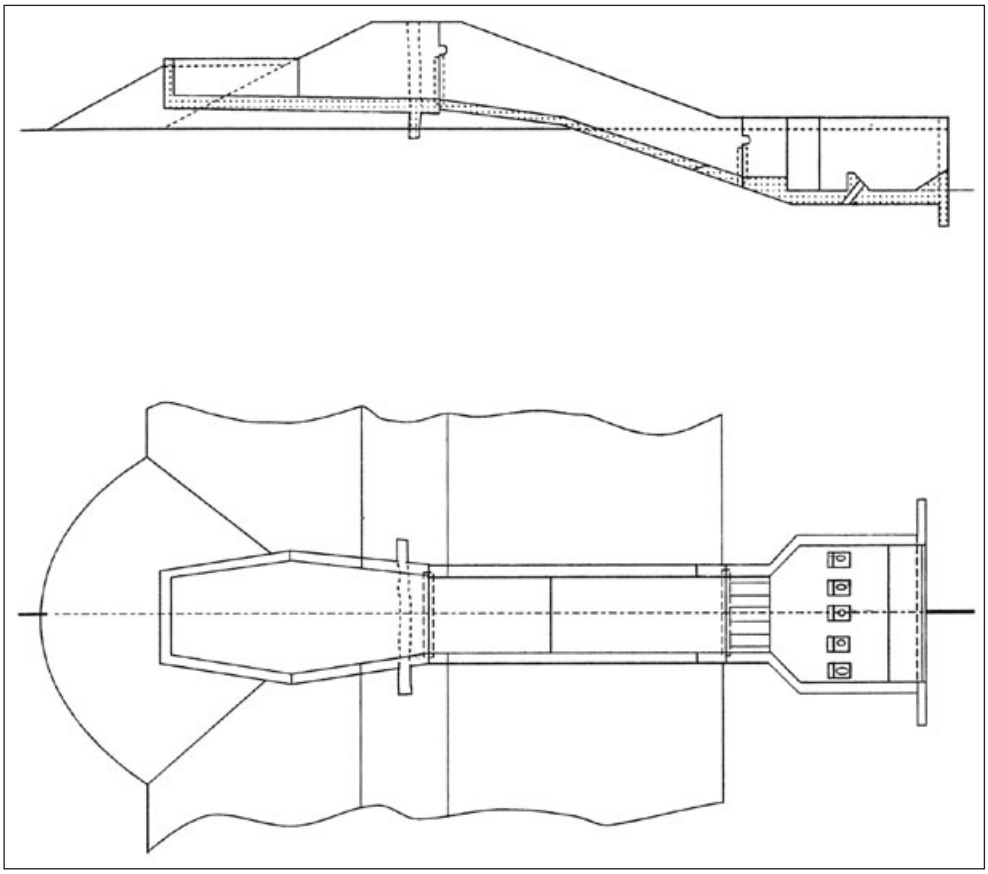
وفي كلتي الحالتين، فإن عتبة التصريف تشكل الجزء الأعلى لعلبة توجد بها وسادة مائية تمكن من امتصاص طاقة السقوط. ويجري الماء بعد ذلك في مجرى من الخرسانة واقع في الجانب السفلي للسد والذي ينتهي منحدره إلى حوض تبديد للطاقة متصل بقاع الوادي.

المفرغات المتضمنة مصباً ذا فتحات

إن هذا النوع من المصبات، المصمم على شكل خط منكسر، يمكن من الحصول على طول تصريفي أكبر بكثير مقارنة بالعتبة المستقيمة، وذلك بالنسبة إلى نفس المساحة الواقعة في المنطقة المركزية للسد (الصورة رقم 11). ومن أجل تشغيل صحيح لهذا النوع من المنشآت، فإن أبعاد الفتحات يجب أن تكون أكبر من ارتفاع الماء فوق العتبة. كما أنه يجب أن لا تكون

الشكل 9

شكل تصميمي مقطعي ونظرة من أعلى لمصب ذي شكل "منقار البطة" (مستخرج من المرجع ‹8›)



العتبة مغمورة تحت الماء وإلا أصبح أثرها مماثلاً لأثر عتبة مستقيمة، وفي هذه الحالة فإن الفائدة المتوخاة من الطول الإضافي الذي تقدمه الفتحات تكون لاغية.

من المناسب التذكير بأن الفتحات قد لا تكون دائماً بزاوية قائمة ويمكن أن تكون بطريقة الشكل رقم 10.

بدائل التصميم لمناطق التصريف التي يتم تنفيذها داخل الردميات

يوجد بديل لطرق الحماية الخاصة بطبقة الحماية الصخرية، أو بعتبات المتاريس، كما ورد في الصفحة 28، وهذا البديل هو وضع مرتبة رينو على طبقة من النسيج المموه. هذا النوع الخاص من المتاريس، الذي يتميز بسمك أقل بكثير من غيره (30 سنتيمتراً)، ملائم جداً لهذا الشكل من التصميم الخاص بمنطقة التصريف. وفعلاً فإن هذا النوع من الحماية أقل عرضة من المدرجات المتراسية لما يترتب على تدفق المياه من أخطار وذلك حسب شفرة مماثلة من الماء في كلتي الحالتين. وبالمقابل، فإنه بالإمكان أن تتحرك المواد المالئة من مكانها بفعل جريان المياه. لقد مكنت بعض التجارب من تحديد المستويات القصوى لسرعة جريان المياه ولتدفقها التي يمكن أن تتحملها مراتب رينو والتي يمكن أن تظهر الأضرار في حال مستويات سرعة جريان أو تدفق أعلى منها. وعليه فإن مصباً واقعاً أسفل السد مكون من مرتبة رينو بسمك 30 سم يمكن أن يحتمل سرعة 6 متر/ثانية كحد أقصى، وهو ما يعادل مستوى

الشكل 10

تصميم بديل لمصب ذي فتحات

الصورة رقم 11: مصب ذو فتحات في السد الطرقي الواقع بأشرام (ناقانت). كما يشتمل أيضاً هذا السد على مفرغ بواسطة ممر بسكر (مفتوح في المستوى الأول). ملاحظة: هناك عيب أساسي في هذا المثال إذ لم يتم عمل أي حوض تبديد للطاقة في أسفل منشأة التصريف، مما يعرض هذه المنشأة لاحتمال التفتت بفعل المياه.

تدفق بمقدار متر واحد مكعب في الثانية ولكل متر طولي. عملياً، فإن هذا الحل مناسب بصفة خاصة للسرعات الضعيفة وفي مستويات مياه منخفضة الارتفاع. وكما هو الحال في العتبات، فإن هذا الإنشاء التصريفي الخاص بمرتبة رينو يجب أن يكون أيضاً على هيئة مراتب رينو (ولكن أوسع قليلاً إذ لا تتم في حالة هذا البديل الاستفادة من الأثر التبديدي الإيجابي للطاقة الذي توفره العتبات).

هناك حل آخر أكثر استدامة لتصميم مناطق التصريف وهو إنشاء وقاية من معجون الزفت. لقد تم تجريب هذا الحل في الستينات بجمهورية كوت ديفوار وقد أعطى نتائج جيدة إلا أنه مع ذلك يستدعي توفير ماكينة زفت في موقع التشييد، مما يحد من فرص اللجوء إلى هذا الحل. وتم تطبيق حلول أخرى كعمل وقاية من الحجر المرصوص بالخرسانة أو عمل بلاطة تصريف من الخرسانة المسلحة. وينبغي مقارنة تكلفة هذه الحلول بتكلفة الحلول التقليدية المتمثلة في مصب مستقيم من الخرسانة الثقلية مع الأخذ في الاعتبار كل حالة على حدة، وطبقاً للظروف المحلية.

مبددات الطاقة

إن ضرورة استعادة تدفق هادئ للمياه في قاع الوادي أسفل السد، لتفادي التآكل والأضرار الأخرى، يجعل من اللازم تصميم مبددات للطاقة عند أسفل مفرغات الفيضان أو في نهاية قنوات مجرى المياه التي تتصل بأسفل المفرغات وتربطها بقاع الوادي.

على الرغم من ذلك فإن العديد من سدود الزراعة الفيضية في موريتانيا تفتقر لمثل هذه المنشآت. في أفضل الأحوال فإن مفرغات الفيضان تنتهي إلى أحواض تبديد بسيطة جداً، مبنية من الخرسانة أو من الحجر، تفتقر إلى الكتل الموجة وإلى كتل السقوط ولا تحتوي على البلاطات[9] القاعدية الضرورية التي عادة ما يتم تشييدها تحت المستوى الطبيعي للأرض (أحياناً يتم عمل متاريس صد في مخرج الحوض). وقد يتم فرش قاع الحوض بالحجارة، التي لا تكون دائماً ثقيلة مما يؤدي سريعاً إلى حدوث أضرار نتيجة للتيار.

بما أن الارتفاعات التصريفية غير مهمة بصفة عامة في هذا النوع من المنشآت، فإن الأضرار التي يمكن أن نلاحظها في تلك الأحواض تبقى محدودة. فالحالات الأكثر حدوثاً منها تتمثل في تعرية التربة الطبيعية في أسفل المجرى (حوض صغير جداً) أو في دمار في منشآت

الصورة 12: سد امدير أطار (أدرار). مصب ثقلي من الخرسانة الصقلوبية موصول بحوض إسقاط، مغطى أيضاً بالخرسانة.

9 بلاطات الأساس في منشأة.

التبديد نفسها. في بعض الحالات يمكن أن نلاحظ تفاقماً لهذه الأضرار مما قد يهدد سلامة السد بصورة عامة.

إن الحل الأكثر ملائمة للسدود الصغيرة يبقى حوض البروز. إن أبعاده (الطول والعمق) تحتسب بطريقة تؤدي إلى احتواء البروز الناتج عن التحول من الجريان السيلي لمفرغة الفيضان إلى التدفق النهري في قاع الوادي في سافلة السد. هذا البروز يبدد الطاقة الزائدة في الحوض الذي يجب أن تتم تغطيته لتجنب التآكل. وقد تم تفصيل طرق الاحتساب لا سيما في المرجع [8]. وتتمثل الفكرة المبدئية في إعادة ترتيب المستوى النهري في سافلة الحوض حتى يتناسب مع خط جريان المياه العادي في هذه النقطة من الوادي.

يفضل أن يكون غطاء الحماية مشيد من الخرسانة أو من المتاريس (مرتبة رينو كما هو مبين في الصورة 12). يمكن أيضاً أن يكون من الصخور على أن يتم اختيار الأحجام المناسبة للقطع لتفادي جرفها بواسطة التيار.

كما تم تبيانه سابقاً في الصفحة 28، فإن أحواض التبديد يمكن أن تستفيد بأن تكون مسبوقة بمبددات على شكل مدرجات (من المتاريس أو الخرسانة) كما هو مبين في الصورة 13. فبفعل تبديد الطاقة المتحصل عليه من جريان الماء في المدرجات، فإن مقاييس الأحواض يمكن أن تكون أصغر. يشتمل المرجع [8] على طرق الاحتساب. إن فكرة التبديد على المدرجات تختلف على حسب قوة الجريان: في حالة الجريان الضعيف، فإن الطاقة تتبدد بفعل سقوط الماء على كل درج. أما في حالة الجريان الأكثر قوة، تتبدد الطاقة بفعل اللفات المتشكلة على مستوى كل درج.

منشآت التفريغ

إن الوظيفة الأساسية لسدود الزراعة الفيضية تعطي منشآت التفريغ أهمية خاصة. على ذلك فإن كفاءة هذه المنشآت يجب أن تكون عالية. ومن أجل ذلك، يجب عند التصميم إعطاء الأولوية للبساطة والقوة (ولا يعني هذا، على الإطلاق، غياب المتابعة والصيانة).

الصورة 13: سد سانقرافا (براكنة). مشهد لمصب ذي عتبة سميكة من الخرسانة، موصول بمبدد طاقة من مدرجات متراسية وحوض تبديد بسيط من الصخور. أثبت هذا التصميم كفاءته فبالرغم من قدم المنشأة لم تظهر بها أي أضرار بالغة.

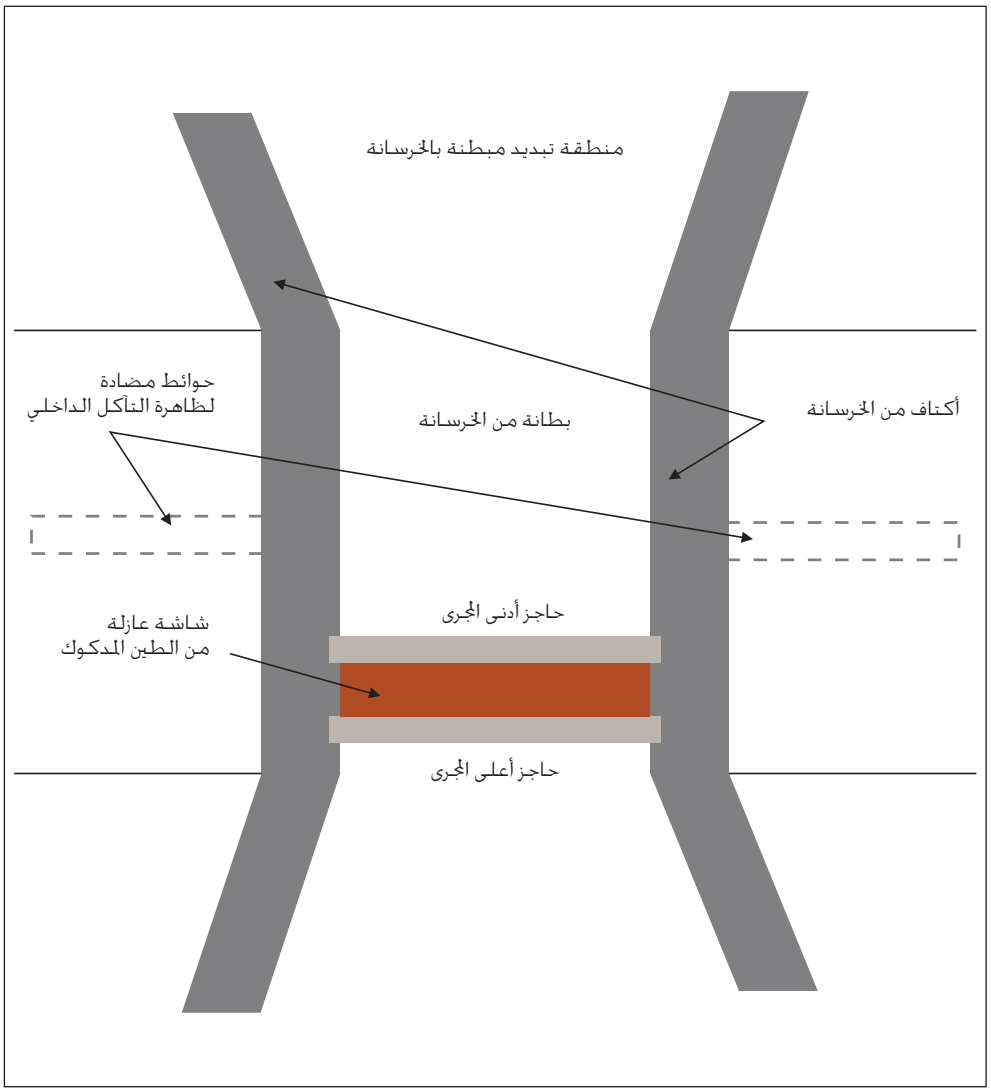
هناك ثلاثة أنواع من منشآت التفريغ تنطبق عليها هذه المواصفات ومستخدمة بنجاح في موريتانيا.

مر بسكر

وهو من منشآت التفريغ الأكثر انتشاراً. يكون عادة ملحقاً بالردمية أو في أحيان نادرة بالمصب الخرساني وقد أثبت قوته وسهولة صيانته. سعره معقول بالنسبة للسدود التي يبلغ ارتفاعها بضعة أمتار. وإذا ما زاد الارتفاع عن 5 أو 6 أمتار، فإن كمية الخرسانة الضرورية يمكن أن ترجح كفة الخيارات الأخرى المذكورة في الفقرات التالية. الشكل التصميمي رقم 11 التالي يوضح الفكرة الأساسية لهذا النوع من المنشآت.

يتم صنع الحواجز[10] من ألواح من الخشب أو المعدن (شكل IPN أو UPN) تنصب مقابل بعضها البعض بحيث تشكل حاجزين متوازيين يوضع بينهما حائط من الطين المضغوط من أجل ضمان عدم تسرب المياه في انتظار التفريغ. ويفضل اللجوء إلى الألواح المعدنية بدلاً عن الألواح الخشبية وذلك نظراً لكونها أقل قابلية للتشويه وغير معرضة للحشرات الآكلة للخشب.

الشكل 11
مخطط لمنشأة تفريغ عبر مر بسكر



10 ألواح من الخشب أو المعدن يتم وضعها البعض فوق البعض من اجل سد منشأة تفريغ.

عند التفريغ، يمكن نزع الألواح الواحدة بعد الأخرى وتدمير حائط الطين تدريجياً، مما يضمن الجريان التدريجي للمياه الموجودة في الحوض. يتم التحكم في قوة الاندفاع بالتحكم في عدد الألواح المنزوعة. وفي السنة التالية يكفي أن يتم وضع الألواح في أماكنها السابقة وعمل حائط الطين مرة أخرى ليصبح الحاجز فعالاً مرة أخرى مما يمكن من تخزين المياه من جديد في الحوض (الصورة 14).

يجب أن تكون قمة الممر بسكر أعلى من أو مساوية لأعلى مستوى للمياه لتفادي تدفق المياه من أعلى منشأة التفريغ إذ أنها غير مصممة لذلك (قد يؤدي ذلك إلى تآكل الحائط الطيني أو الإضرار بالألواح).

من الناحية المتعلقة بالبناء، كما يظهر في الشكل 11، فإن الجدران الفاصلة يجب أن تكون في شكل متقارب في عالية السد وأن تكون متباعدة في سافلة السد لتسهيل انسياب المياه. وكما هو الحال بالنسبة لمفرغات الفيضان، فيجب عمل حواجز من الخرسانة مضادة لظاهرة التآكل الداخلي ومرتبطة عضوياً باكتاف منشآت التفريغ ومصبوبة مباشرة داخل الردمية. يمكن تشييد جزء من الجدران الفاصلة من المتاريس (في الجانب السفلي بصفة عامة).

منشآت تفريغ بواسطة نظام قنوات مردومة تحت الردمية

يمكن استخدام نوعين من القنوات المردومة:

- مجرى الخرسانة المردوم، يكون عموماً ذو مقطع مربع (1م X 1م). هذه الأداة مختلفة قليلاً عن سابقتها إذ أن دخول المياه يكون في عالية السد عبر ممر بسكر ويكون جريان المياه في الخندق عبر سطح مفتوح (الصورة 15).
- أنبوب التحميل الذي يكون مردوماً تحت التراب. يمكن أن يتكون من فوهة "ARMCO"، أو من مجرى من السبك، الصلب أو الخرسانة. يمكن التحكم فيه عبر بوابة. إلا أن النظام الأكثر ملائمة للسدود الصغيرة للزراعة الفيضية يظل هو نظام الممر بسكر، الموضوع في الجانب العلوي لتجنب ترك أنبوب التحميل وبالتالي للحد من مخاطر التسريب والتآكل الدخلي على طول عالية السد (الصورة 16).

الصورة 14: تفريغ عبر ممر بسكر في سد جيفيرا (العصابة)؛ جدران فاصلة في العالية من الخرسانة؛ وجدران فاصلة في السافلة ومنطقة التبديد من المتاريس؛ وممر بسكر من الألواح المعدنية IPN.

النوع الثاني هو الأكثر استخداماً بعد نوع الممر بسكر والمشاكل المتعلقة به قليلة جداً ولكن بشرط:

- إيلاء اهتمام خاص بمنطقة اتصال الأنبوب والخرسانة في منطقة المصب؛
- الضغط الجيد للردمية حول الأنبوب وعمل حوائط مضادة لظاهرة الانهيار الداخلي. هذه الحوائط أساسية بصفة خاصة في حالة الفوهات ARMCO، التي يمكن أن يحدث تسريب في مناطق اتصال عناصرها؛
- بناء حوض تبديد مصمم بشكل جيد في سافلة السد (صخور كبيرة، مدرجات متراسية أو خرسانة) (الصورة 17).

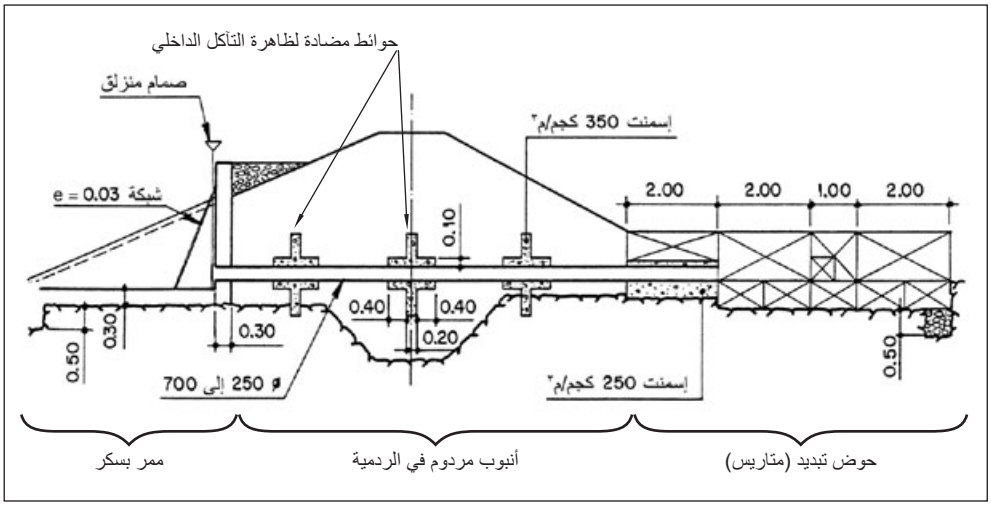
الصورة 15: منشأة تفريغ تقليدية من الخرسانة. سد بوخليخل- الحوض الغربي.

الصورة 16: الجزء الأعلى من مصرف خزان لخليوا (براكنة). منطقة الاتصال بين فوهة ARMCO والممر بسكر.

الصورة 17: صورة لسافلة السد لقناة تصريف سد اعوينات عر (تكانت). لاحظ الحماية الجيدة لحوض التبديد من الحجارة والدبشة. إلا أن الربط مع قاع الوادى غير جيد وقد أدى ذلك لظهور تآكل.

الشكل 12

رسم مقطعي لمنشأة تفريغ مكونة من أنبوب مردوم تحت الردمية يتم التحكم فيه من العالية عبر ممر بسكر [3]



المقاييس الليمنيمترية

إن وضع المقاييس الليمنيمترية يجب أن يتم بصورة منتظمة عند إنشاء السدود وذلك من أجل ضمان المراقبة بالإضافة إلى التحكم في مستوى الماء. ويعتبر النوع الأكثر ملاءمة هو المقياس المعدني المطلي بالمينا، وذلك نظراً لتوفره ولمستوى سعره المعقول. كما يمكن أن يتم تثبيتها على جزء خرساني للمنشأة (مثل جزء من عالية الجدار الفاصل لممر بسكر، كما هو مبين في الصورة 14 أعلاه). وفي حالة عدم توفر مثل تلك المنشآت، فإنه من الممكن اللجوء إلى لحمها بجائز صغير من نوع IPN يتم ترسيخها في عمق الحوض على قاعدة من الخرسانة مثبتة داخل الأرض.

5. أنواع أخرى من السدود

رغم أن السدود الردمية تمثل الغالبية العظمى للمنشآت المصممة للزراعة الفيضية في موريتانيا، إلا أن هناك أنواع أخرى يمكن أن تمثل حلولاً مناسبة حسب الظروف المحلية وخصوصاً عندما لا تكون المواد الطينية الجيدة متوفرة.

السدود الصخرية

يتم تشييد السدود الصخرية من الحجارة أو من مواد حشو صخرية، وهي تنتمي إلى نوع خاص من السدود الردمية التي لا يمكن معها ضمان عدم تسرب المياه وذلك نظراً لطبيعة المواد التي يتم إنشاؤها منها من جهة أو بسبب عدم دك تلك المواد من جهة أخرى. وعليه فإن وظيفة عدم الانسياب يجب أن تقوم بها منشأة إضافية مكملة للسد، مثل حاجز داخلي مانع للتسرب أو قناع في عالية السد يوضع على جوانب السد طبقاً لطريقة تخضع لطبيعة السد. وأياً كان الحل المعتمد، فإن الأداة المانعة للتسرب يجب أن تكون مربوطة بعناية مع الأساس.

يمكن تشييد الحواجز المانعة للتسرب من الخرسانة في حالة السدود الصغيرة (إلا أن احتمالات التصدع وبالتالي التسرب تبقى كبيرة في هذه الحالة). يفضل استخدام مواد أكثر مرونة مثل الأسمنت البنتونيتي أو معجون الزفت، ذي القدرة على مقاومة التغيرات والضغوط الداخلية دون تصدع. ومع ذلك فإن الشروط الواجب مراعاتها عند تنفيذ مثل هذه الحلول تجعل اللجوء إليها قليل الواقعية بالنسبة للسدود الصغيرة في موريتانيا.

إن تشييد حاجز في عالية السد من النوع العازل بواسطة غشاء مموه، قد يشكل حلولاً واعدة أكثر، لا سيما وأن هذا النوع من المواد (المختصر بعبارة DEG) أصبح ذا قدرة عالية على المنافسة.

ويبين المرجع (8) تفاصيل دقيقة لهذا النوع من العدة، إلا أن النقاط التالية ينبغي أن تحظى بعناية خاصة:

- يتعين وضع هذه العدة بدقة لأنه لا يكفي فقط أن نضع قطعة غشاء مموه على سطح جانب السد، بل يجب أن يتم دمج قطعة الغشاء داخل غلاف مكون من طبقة وقاية فوق الغشاء، وطبقة دعم مع طبقة قالب تحت الغشاء.
- في منطقة جوانب السد، يتعين أن يتم الربط الوثيق للغشاء المموه بحاجز عازل من الخرسانة، على ان يتم ربط ذلك الحاجز بالمنشأة الضامنة[11] لعدم تسرب المياه على مستوى منشأة الأساس.
- يتعين كذلك الربط الوثيق للغشاء فوق قمة السد.
- إن الصلابة الشاملة للغشاء المموه يجب أن تولى عناية خاصة لتفادي مخاطر التمزق من نوع الانزلاق السطحي. عملياً ينبغي اعتماد منحدرات جوانب السد من 2/1 أو 2.5/1، ولو أن استقرار جوانب المنشآت المبنية من الحجارة يمكن ضمانها من خلال اعتماد منحدرات ما فوق 1.5/1.

السدود الخرسانية أو الطوبية الركامية

لقد تم في بعض الأحيان تشييد هذا النوع الكثيف من المنشآت في موريتانيا، والذي يتميز بقدرته على مقاومة قوة دفع المياه وذلك نظراً إلى وزنه الكثيف تماسكه الداخلي.

إن أول شرط يتعين التأكد منه لبناء سد من الخرسانة أو من الطوب هو نوعية منطقة الأساس، والذي يعتبر أفضل ظروفه هو وجود أساس صخري قليل التشقق واقع على عمق قليل.

11 عبارة عن غشاء من الخرسانة يربط المنشأة بالأساس مع ضمان عدم تسرب المياه.

وكثيراً ما تكون الجانبية العرضانية للسد على شكل هندسي لمربع شبه منحرف غير متماثل (انحدار أقوى في العالية)، والذي يرتبط بقدرة السد من عدمها على صب المياه. إن الجانب السفلي للسد يمكن إذن أن يتم تشييدها على شكل مدرجات من أجل تبديد طاقة المياه. ثم إن تشييد هذا النوع من السدود ينبغي أن يحترم بدقة التعليمات الخاصة بمنشآت الخرسانة، والتي هي تقريباً نفس تلك المواصفات المعتمدة بالنسبة لمنشآت الصب الثقيلة (منطقة العالية مشيدة من خليط من الخرسانة الغني بالملاط من أجل ضمان إحكام المنشأة، نوعية الخرسانة والقوالب، فواصل البناء من النوع العازل للمياه، الخ).

السدود من نوع خاص

إن السدود ذات غطاء من الخرسانة المسلحة وذات الجدران الفاصلة يمكن النظر في تشييدها. تحتاج هذه المنشآت إلى نفس الشروط الضرورية لتشييد السدود الخرسانية الثقيلة، مع أنها تستهلك قدراً أقل من المواد الضرورية إلا أنها بالمقابل تحتاج إلى مستوى اعلى من التقنية بالنسبة للمقاولة المنفذة.

يذكر أيضاً أنه تم تشييد بعض السدود الفيضية من خلال ستار من ألواح التخشيب (Palplanches). ومع أن هذا النوع من السدود تم تشييده منذ عدة عقود، إلا أنها لا زالت تعمل بصفة جيدة. ومع أن نفاذية هذه المنشآت تظل بدون شك غير ممتازة، إلا أن مخاطر هدم هذا النوع من السدود تبقى ضعيفة. ومن جهة أخرى فإن تشييد هذه المنشآت مرهون بتوفر المعدات[12] الضرورية لغرز ألواح التخشيب.

12 عبارة عن مكنة لغرز ألواح التخشيب.

المراجع

Chleq J. L. et Dupriez H., *Eau et terres en fuite*, L'Harmattan, ENDA, 1984. [1]

Collectif, Apports et crues - *Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*, FAO, ORSTOM, CEMAGREF, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage numéro 54, Rome, 1996. http://www.fao.org/docrep/W2570F/W2570F00.htm [2]

Collectif, - *Mission d'expertise sur les barrages de culture de décrue*, Rapport à la SONADER, Bureau d'ingénieurs conseils Coyne et Bellier, 1981. [3]

Collectif, - *Séminaire international sur les petits barrages dans le monde méditerranéen*, Recueil des résumés, IDR, Hydromed, INRCREF, Tunis, 2001, http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers3/010026135.pdf [4]

Degoutte, G., Deymier C., Durand J. M., Peyras L., sous la coordination de Royet P., *Les ouvrages en gabions*, Collection techniques rurales en Afrique, Ministère de la Coopération, Paris, 1992. [5]

Durand J. M., Expertise de 45 *barrages en Mauritanie, bilan et analyse critique*, Rapport à la Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural, 2000. [6]

Durand J. M, et Boissezon J., *Utilisation des barrages et des ressources en eau en Mauritanie*, Mauritanian Consulting Group, 1999. [7]

Durand J. M., Royet P. et Meriaux P., *Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale*, EIER-CEMAGREF Éditions, 1999. [8]

Stephens T., *Manual on small earth dams: A guide to sitting, design and construction*, FAO, 2010, 124 pages. **http://www.fao.org/docrep/012/i1531e/i1531e.pdf** [9]

Tourment R., *Petits barrages en Mauritanie : bilan, analyse critique et introduction de variantes techniques*, Document CEMAGREF, Aix-en-Provence, avril 2000. [10]

الصندوق الدولي للتنمية الزراعية
Via Paolo di Dono, 44 – 00142 Rome, Italy
رقم الهاتف: 54591 06 39+ – رقم الفاكس: 5043463 06 39+
البريد الإلكتروني: ifad@ifad.org
www.ifad.org
www.ruralpovertyportal.org
ifad-un.blogspot.com
www.facebook.com/ifad
www.twitter.com/ifadnews
www.youtube.com/user/ifadTV

ISBN 978-92-9072-330-1