

LES CHANGEMENTS D'UTILISATION ET DE COUVERT DES SOLS ET LEURS IMPACTS SUR LES RESSOURCES EN EAU EN ESPAGNE

RAPPORT PRELIMINAIRE

RESUME

Depuis la deuxième moitié du XXe siècle, le reboisement représente le principal changement concernant l'utilisation et le couvert des sols dans les zones montagneuses d'Espagne. Ce reboisement, conséquence de l'abandon des terres agricoles, peut être spontané ou subventionné par les politiques espagnoles et européennes. Les changements de couvert des sols sont plus difficiles à déterminer que les changements d'utilisation des sols ; les informations les plus fiables sur ce sujet sont fournies par les deux évaluations successives de l'« Inventario Forestal Nacional » (Inventaire National des Forêts). Cet inventaire révèle une augmentation importante de la canopée forestière sur l'ensemble des régions, même si la surface boisée proprement dite a plutôt tendance à diminuer. Il existe de nombreux signes de l'amointrissement des ressources en eau dans diverses régions d'Espagne sur la période 1921-1999. On a estimé que cette diminution, évaluée en moyenne à 0.4% par an, était le résultat tout d'abord de l'augmentation de l'irrigation, puis en second lieu, de la variabilité climatique. En fait, la réduction des flux observée peut s'expliquer en partie par l'augmentation des surfaces irriguées dans les zones en aval, mais on remarque également une diminution considérable des flux dans les régions proches des sources, que la variabilité climatique ne peut à elle seule expliquer.

Les liens de causalité entre les changements de couvert des sols et la production d'eau ont été largement démontrés au niveau expérimental dans certains bassins hydrologiques. Néanmoins, il est nécessaire de fournir d'autres preuves de ces liens au niveau opérationnel. Les changements précités qui se sont produits en Espagne au cours des 50 dernières années ont permis d'effectuer de type d'étude.

LES CHANGEMENTS D'UTILISATION ET DE COUVERT DES SOLS AU COURS DU XXE SIECLE

En Espagne, de vastes zones proches des sources ont souffert au cours des trois premiers quarts du XXe siècle de l'abandon des activités agricoles et d'élevage, lié à la perte d'environ 80% de la population (Lasanta, 1990). Ce processus a permis l'extension des zones boisées, à la fois par le reboisement naturel et grâce aux politiques lancées par l'Espagne et l'Union Européenne. Au cours de la période 1940-1982, environ 3,2 millions d'hectares ont été reboisés en Espagne ; toutefois l'échec de certaines plantations et les incendies de forêts ont contrebalancé la majeure partie de cet effort (Ortigosa, 1990). Par conséquent, suivant les directives de l'Union Européenne, plus de 400.000 hectares ont été replantés au cours de la période 1994-98 (DGCONA, 2000). Dans un avenir proche, les gouvernements nationaux pourraient inciter au reboisement dans le cadre de mesures visant à compenser les émissions de CO₂, suite aux directives du protocole de Kyoto.

L'évaluation des changements d'utilisation des sols effectuée par la FAO (1990-1998) fait état d'une augmentation de 23% des surfaces de forêts et de bois (soit 6% de la surface totale de l'Espagne) au cours de la période 1961-1998 (Figure 1). L'augmentation de la surface boisée s'est produite principalement au détriment des pâturages jusqu'en 1985 et au détriment des terres cultivées par la suite. Ce changement peut être imputé à l'adhésion de l'Espagne à l'Union Européenne.

Ces informations donnent une idée des changements administratifs survenus plutôt qu'une évaluation proprement dite du couvert des sols. Les informations les plus précises sur le couvert forestier sont fournies par le premier et le second inventaire forestier (MA, 1968-1974 ; MAPA, 1990-1997) qui, bien qu'ils n'aient pas été effectués en même temps sur toutes les régions, donnent une idée des changements survenus en 20 ans, entre 1970 et 1990. Un récapitulatif de ces inventaires (Figure 2) montre que la superficie des forêts est stable dans les

régions autonomes les plus humides, alors qu'elle a subi les changements précités dans les zones les plus sèches (Extrémadoure, Murcie). La superficie globale des forêts a diminué de 9% sur l'ensemble du territoire national. D'autre part, la fraction de couvert de la canopée a augmenté dans toutes les régions autonomes, passant en moyenne de 0,38 à 0,55. Ce changement doit être interprété comme la conséquence de l'arrêt du déboisement et de la croissance de jeunes forêts devenues adultes ou plantées sur des zones précédemment destinées aux pâturages ou aux cultures.

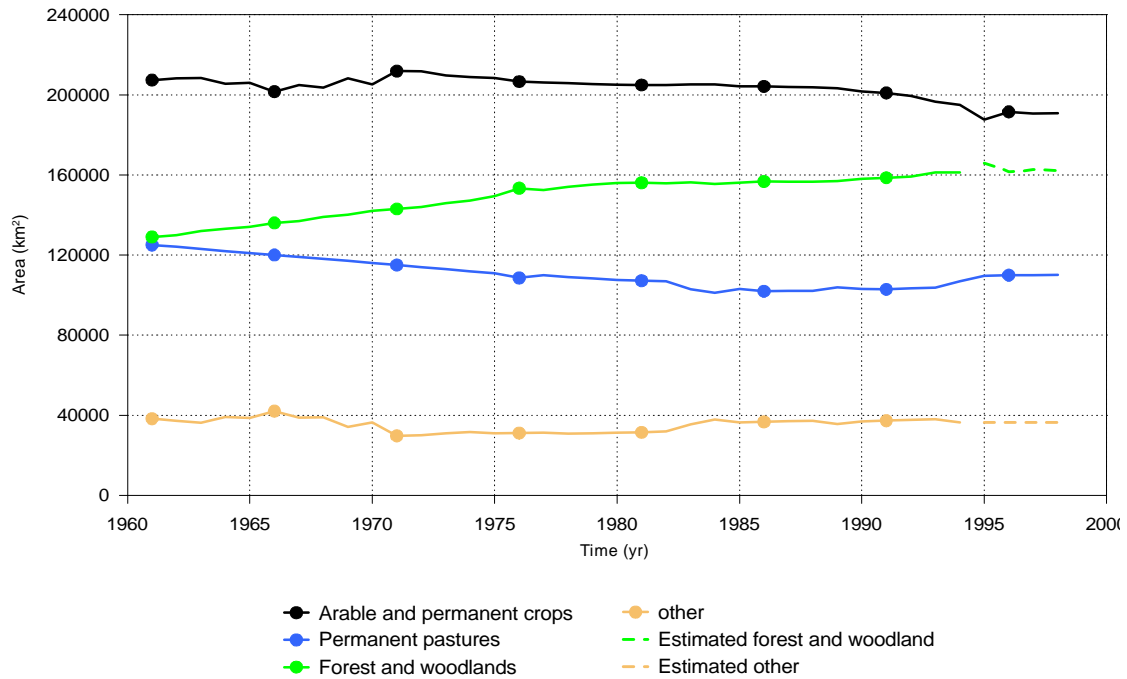


Figure 1 - Evolution de l'utilisation et du couvert des sols en Espagne, sur la période 1961-1998 (FAO, 1990-98)

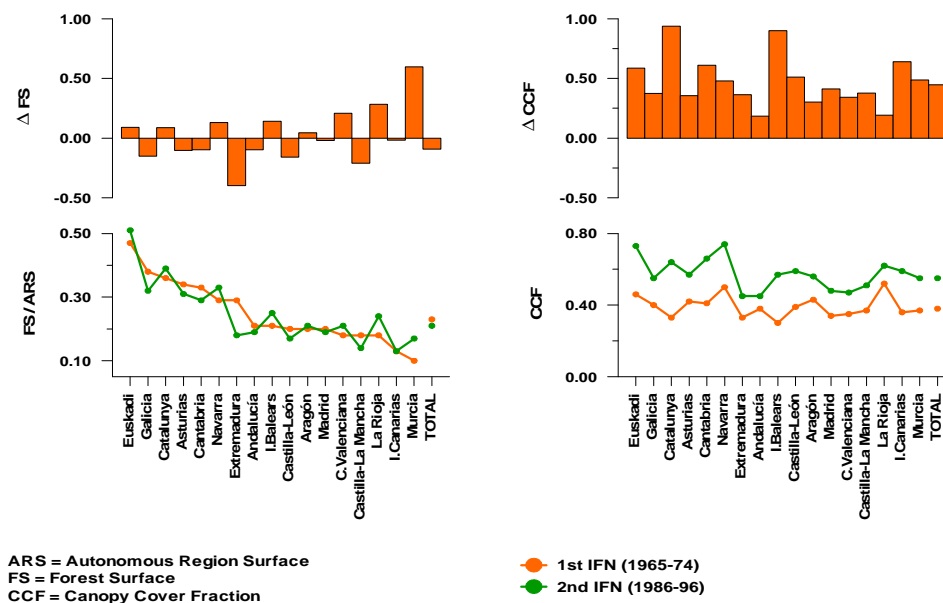


Figure 2 - Différences entre la superficie des forêts et la fraction de couvert de la canopée entre le 1^{er} et le 2^e « Inventario Forestal Nacional » (inventaire national des forêts)

L'effectivité des changements de couvert des sols résulte à la fois du changement de superficie des forêts et de la fraction de couvert de la canopée. Le produit de la superficie des forêts et de la fraction de couvert de la canopée (c'est à dire, la mesure de la surface complètement recouverte par la canopée de la forêt) a augmenté de 1.411.300 ha entre les deux inventaires (soit 2,8% de la superficie totale du pays). Si l'on divise cette augmentation par la fraction de couvert de la canopée obtenue lors du 1^{er} inventaire, les changements, exprimés en termes constants de fraction de couvert, représenteraient une augmentation de 3.713.950 ha (7,3% de la superficie totale).

L'EVOLUTION DANS LE TEMPS DES RESSOURCES EN EAU DE L'ESPAGNE

L'enregistrement du débit des rivières en Espagne a généralement débuté vers 1940. Actuellement, plus de 50 ans plus tard, plusieurs auteurs ont constaté une tendance à la baisse des débits annuels, sur la plupart des enregistrements de flux (Batalla et al., 1992 ; Vieira et Tavares, 1996 ; Prieto, 1996 ; MIMAM, 1998 ; MIMAM, 2000). Cette tendance à la diminution des flux a d'abord été imputée à l'augmentation des prélèvements d'eau – principalement pour l'irrigation – et ensuite à la variabilité climatique.

Les Figures 3 à 5 montrent un exemple des tendances à la baisse les plus évidentes. Les enregistrements effectués sur le Douro à Miranda (Figure 3) montrent une diminution de 5.450 hm³ a⁻¹ (59% du débit moyen) sur les 62 ans que compte la période d'analyse. La courbe de régression linéaire est significative à 0,01 malgré l'importante irrégularité inter-annuelle du débit.

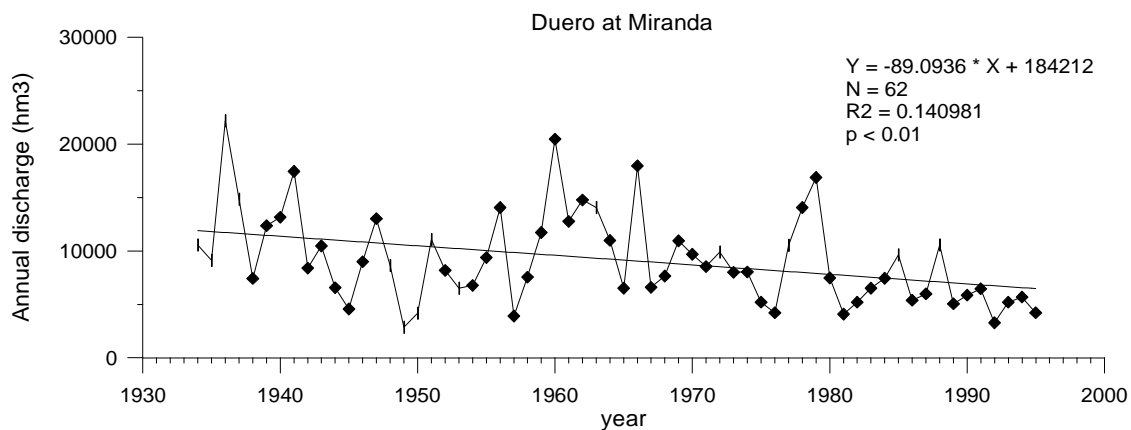


Figure 3 -Débit annuel observé sur le Douro à Miranda (données de Vieira et Tavares, 1996)

L'enregistrement du débit annuel de l'Ebre à Tortosa (Figure 4) a récemment été révisé dans le cadre du plan hydrologique espagnol (MIMAM, 2000). L'enregistrement corrigé apparaît plus stable dans le temps que les enregistrements d'origine, mais il montre quand même une diminution de 5.760 hm³ a⁻¹ (58,2% du débit moyen) sur les 57 ans que compte la période d'analyse. Comme c'était le cas pour les précédents enregistrements, la courbe de régression linéaire est significative à 0,01 malgré la forte variabilité des valeurs annuelles.

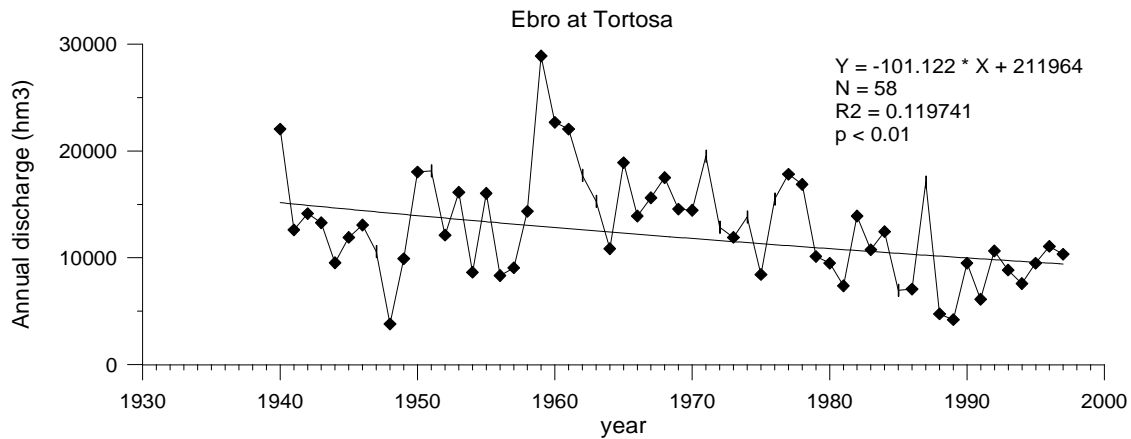


Figure 4 - Débit annuel observé sur l'Ebre à Tortosa (données du MI MAM, 2000)

Enfin, la Figure 5 montre les enregistrements du débit du Tage à l'entrée du transvasement Tage-Segura. C'est un bassin hydrologique beaucoup plus petit, mais il est analysé ici car il n'y a pas eu d'augmentation significative d'utilisation de l'eau dans ce bassin, et aussi parce qu'il représente la principale infrastructure de gestion de l'eau en Espagne. Les enregistrements de 1912 à 1970 ne révèlent aucune tendance significative, mais de 1940 à 1996 on constate une diminution de 687 hm³ a⁻¹ (58% du débit moyen), la courbe de régression linéaire étant significative à 0,01. Il est important de mentionner que le transvasement Tage-Segura, depuis sa mise en service en 1979 jusqu'en 1997, n'a pu canaliser que 263 hm³ a⁻¹ en moyenne, alors qu'il était conçu pour transvaser 600 hm³ a⁻¹ (MIMAM, 1998).

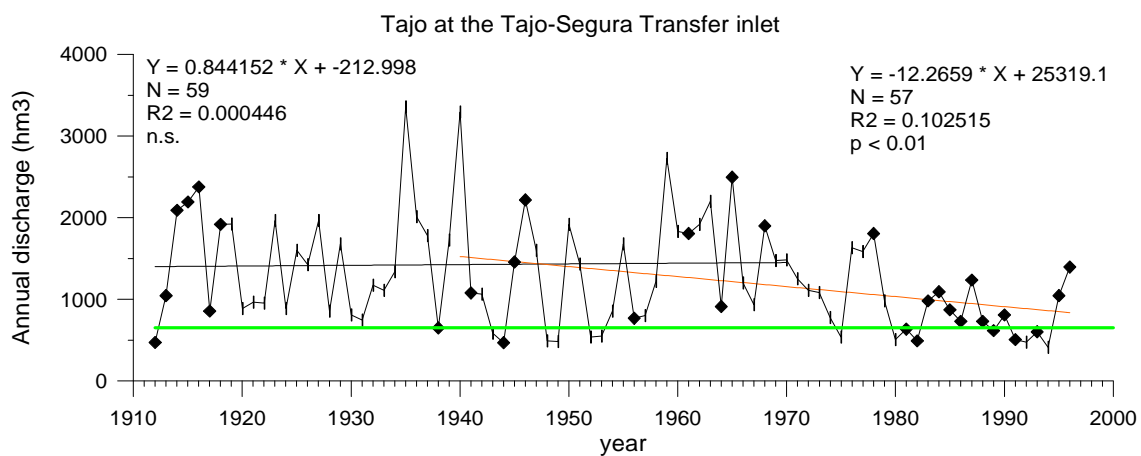


Figure 5 - Débit moyen observé sur le Tage au niveau du transvasement Tage-Segura (données du MI MAM, 1998). Le trait gris en gras représente la demande de cette infrastructure

Prieto (1996) a tenté d'évaluer l'importance de ces changements sur l'ensemble des ressources en eau de l'Espagne, en utilisant les enregistrements concernant un ensemble de fleuves représentatifs des diverses régions hydrologiques. Selon cette évaluation, la diminution représenterait environ 33,7% du débit moyen sur la période 1921-1995.

LES LIENS ENTRE LES CHANGEMENTS DE COUVERT VEGETAL ET LES TENDANCES DES RESSOURCES EN EAU

La Figure 6 représente l'analyse des changements affectant le bilan hydrique de l'Ebre à Tortosa. La partie supérieure montre les flux constatés et les flux simulés par le MIMAM (2000), à l'aide d'un modèle conceptuel distribué précipitations-ruissellement (Ruíz-García, 1999) qui tient compte de la demande d'évapotranspiration. La tendance dans le temps du débit simulé n'est pas significative mais représente une diminution de 2.140 hm³ a⁻¹ (16,6% du débit moyen) qui doit être prise en compte dans l'analyse. Dans la partie inférieure, on a évalué l'évolution de la consommation d'eau pour l'irrigation à partir de l'augmentation des surfaces irriguées estimée par le MIMAM (2000) et de la consommation d'eau propre à l'irrigation des récoltes (440 mm a⁻¹) évaluée par Casterad et Herrero (1996). L'eau consommée pour d'autres usages a été jugée moindre que le retour de l'irrigation. L'évolution dans le temps des excédents (débit simulé moins débit observé moins consommation d'eau) représente une diminution du débit d'eau de 2 .220 hm³ a⁻¹ (17,2% du débit moyen) sur la période étudiée, et la courbe de régression linéaire est significative à 0,01. La diminution importante du débit de l'eau qui ne peut s'expliquer par la variabilité du climat et l'évolution des prélèvements d'eau doit être considérée comme le résultat de la consommation d'eau par la végétation au niveau des régions proches des sources. En effet, la plupart des enregistrements concernant les affluents de l'Ebre montrent une tendance à la baisse aux points de mesure situés avant les dérivations pour l'irrigation (Gracia, 2000).

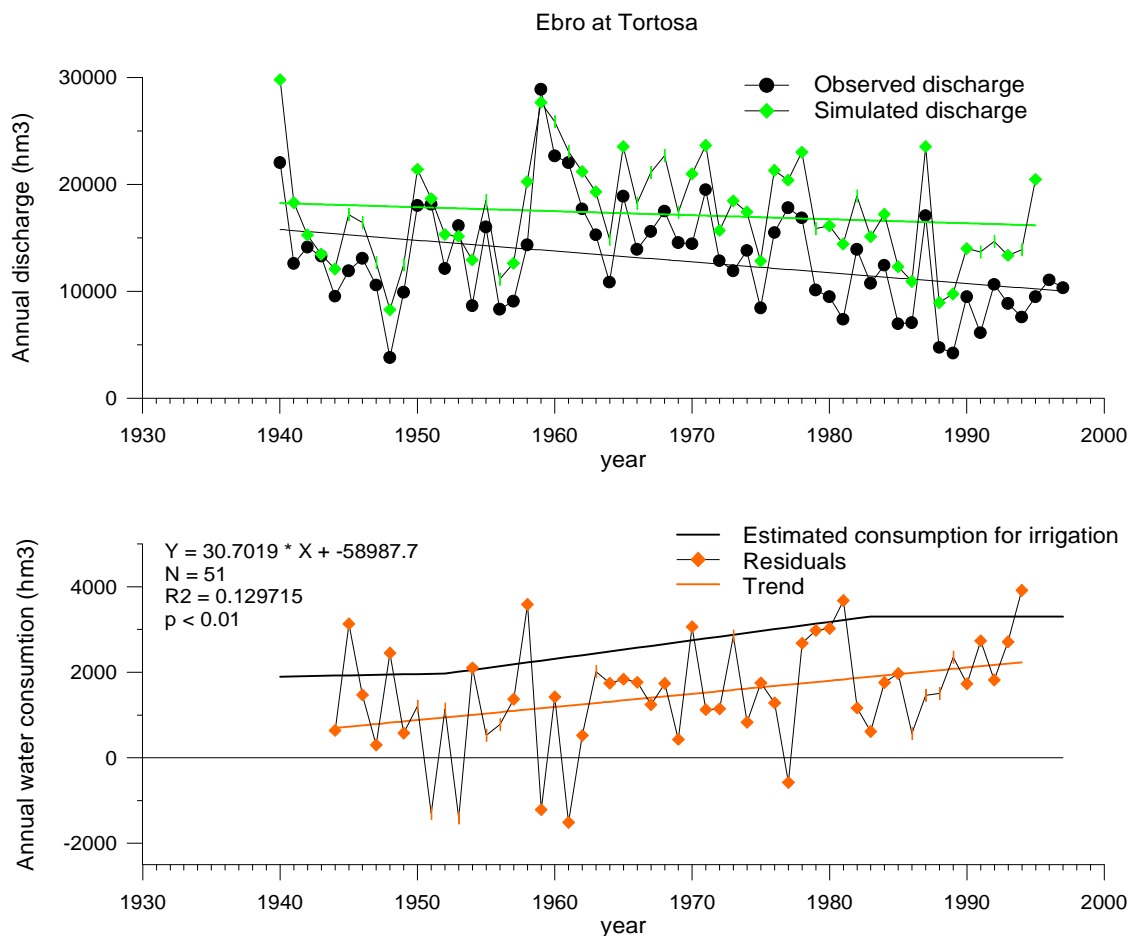


Figure 6 - En haut : débit observé et simulé par un modèle précipitation-ruissellement sur l'Ebre à Tortosa (sources : MIMAM, 2000). En bas : consommation d'eau estimée pour l'irrigation et les excédents

Le même type d'analyse a été effectué de façon plus simple pour les enregistrements des Figures 3 et 5, de même que pour l'Ebre à Palazuelos et le Douro à Carrascal, sur la base de données de Prieto (1996). Les résultats sont exposés au Tableau 1. On ne trouve de changements significatifs que pour les prélèvements d'eau sur les deux sites du Douro, où la quantité d'eau consommée a été estimée en attribuant une consommation d'eau spécifique de 440 mm a⁻¹ (Casterad et Herrero, 1998) à la nouvelle superficie irriguée (en faisant l'hypothèse d'une augmentation de 55% au cours de la période d'enregistrement sur la zone actuellement irriguée estimée par le MIMAM, 2000). Les changements de débit dus à la variation des précipitations ont été obtenus par Prieto (1996) pour le Douro à Carrascal, par Mestre (1996) pour le Douro à Miranda et l'Ebre à Palazuelos, et par le MIMAM (1998) pour le bassin du Tage.

Fleuve et lieu	Période	Débit hm ³ a ⁻¹	Diminution brute		Consommation		Précipitations		Excédents	
			hm ³ a ⁻¹	%	hm ³ a ⁻¹	%	hm ³ a ⁻¹	%	hm ³ a ⁻¹	%
Le Douro à Carrascal	1921-95	4440	1770	39.8	658	14.8	338	7.6	774	17.4
Le Douro à Miranda	1934-96	9190	5450	59.3	1080	11.8	1630	17.7	2740	29.8
L'Ebre à Palazuelos	1915-95	1670	619	37.1	-	-	112	6.7	507	30.4
L'Ebre à Tortosa	1940-97	12900	5760	44.7	1410	10.9	2140	16.6	2220	17.2
Le Tage à hauteur du transvasement Tage- Segura	1940-96	1180	687	58.2	-	-	145	11.4	542	45.9

Tableau 1 - Analyse des changements de débit dans le temps pour un échantillon de fleuves

Le fait que les bassins hydrologiques dont la consommation d'eau n'a pas changé de façon significative aient les excédents les plus importants montre que la consommation d'eau n'a pratiquement pas été sous-évaluée dans les autres bassins. Cette évaluation préliminaire donne à penser que les excédents, c'est à dire la perte de flux due aux changements de comportement des zones proches des sources, ont été plus importants que la perte de flux due soit à la variabilité des précipitations, soit à l'augmentation de la consommation d'eau.

Un certain nombre d'expériences menées dans le monde entier ont montré que la diminution du couvert forestier dans un bassin hydrologique entraînait une augmentation de sa production d'eau, et, au contraire, que l'existence d'un couvert forestier entraînait une diminution de la production d'eau (Bosch et Hewlett, 1982 ; Sahin et Hall, 1996).

Les excédents figurant au tableau 1 sont exprimés en termes de perte de profondeur de ruissellement sur une période de 20 ans (en prenant l'hypothèse d'un changement linéaire tout au long de la période analysée). Ils sont ensuite comparés à l'augmentation respective de la surface boisée exprimée en termes de fraction de couvert de la canopée dans le premier inventaire forestier. La Figure 7 montre ces résultats ainsi que ceux obtenus par ailleurs afin de faciliter la comparaison. Sur ce graphique, les points dont la valeur des deux coordonnées est négative (diminution de la production d'eau à la suite d'une augmentation du couvert forestier) figurent avec les points dont les deux variables sont positives.

Ce graphique montre que les résultats obtenus dans cette étude sont cohérents avec les résultats obtenus par ailleurs, bien que pour quatre des cas les changements de couvert forestier soient inférieurs ou égaux à la catégorie inférieure dont il est fait état dans la littérature. De plus, la taille des bassins hydrologiques étudiés est supérieure à celle des cas étudiés dans la littérature.

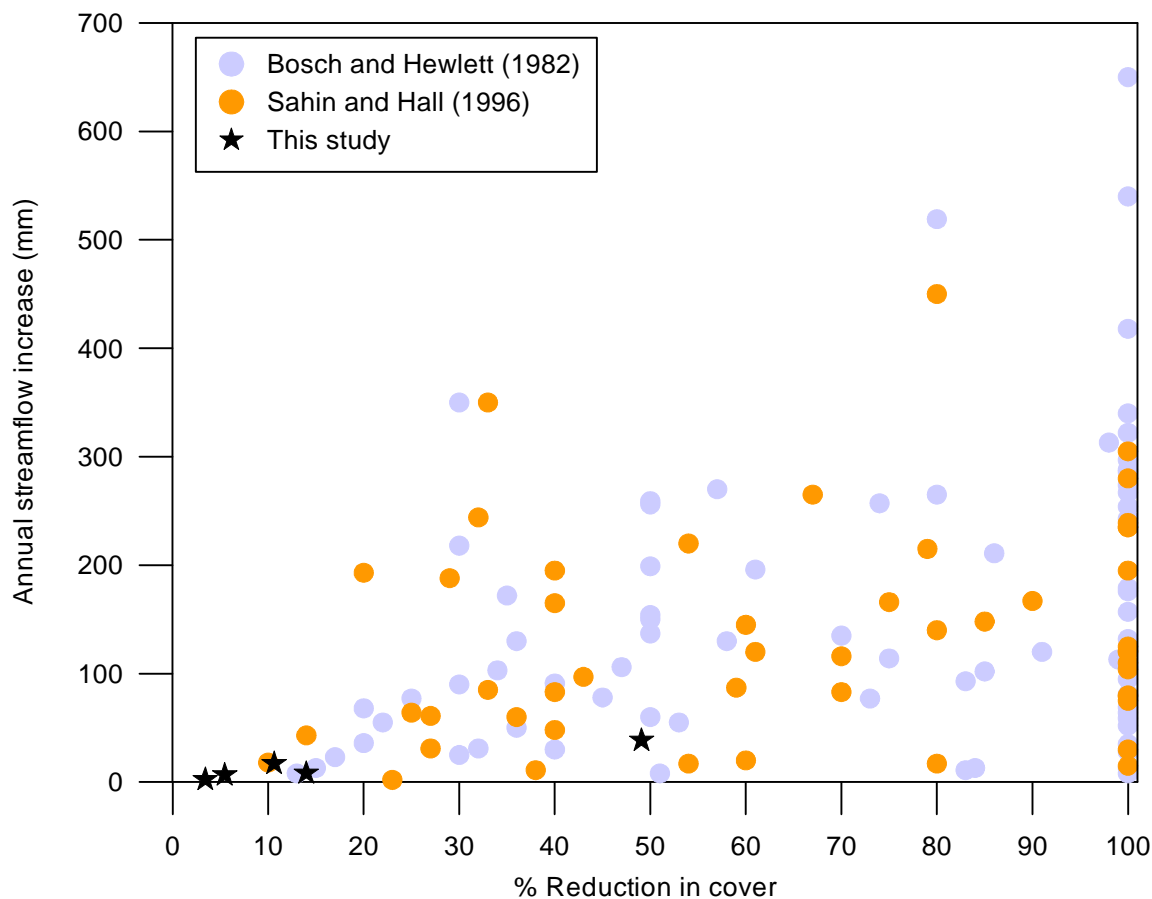


Figure 1 - Les liens entre les changements du couvert forestier et la production d'eau dans les exemples du tableau 1, comparés aux cas rapportés ailleurs (les étoiles ont des valeurs négatives dans les deux variables coordonnées)

CONCLUSIONS

Au cours des 60 dernières années, l'Espagne a subi d'importants changements du couvert des sols dans les régions proches des sources. Ils sont la conséquence de l'exode rural et des politiques écologiques et agricoles. Le reboisement est un processus lent : pour analyser le changement de couvert des sols, il est donc nécessaire de prendre en compte, non seulement la variation de la surface boisée, mais aussi les changements de la fraction de couvert de la canopée. Les informations précises dont nous disposons pour analyser les changements de couvert des sols en Espagne ne couvrent qu'une courte période (20 ans seulement).

Les relations précipitations-ruissellement ne sont stables dans quasiment aucun bassin hydrologique espagnol. La diminution des flux n'est pas seulement due aux prélèvements d'eau pour l'irrigation, mais aussi et surtout au comportement des zones proches des sources, imputable à l'augmentation du couvert forestier.

Les conséquences hydrologiques de ces changements d'utilisation des sols sur les zones proches des sources semblent donc plus importantes que celles dues aux tendances des précipitations et à l'augmentation des prélèvements d'eau. De plus, ces changements sont d'ores et déjà observables et sont par conséquent plus concrets que la diminution prévisible des flux due au changement climatique.

Les résultats préliminaires obtenus laissent penser que la relation entre le changement de couvert des sols et la diminution des flux rentre dans le cadre de la littérature, mais le cas présent concerne des bassins hydrologiques plus vastes, analyse le processus de reboisement et prend en compte de plus petites modifications du couvert des sols.

Par conséquent, il convient de prêter davantage attention aux changements de couvert des sols dans les zones proches des sources ainsi qu'aux relations précipitations-ruissellement. Dans cette étude, on a étudié de

façon préliminaire de vastes bassins hydrologiques, afin d'évaluer l'impact économique et stratégique de ces changements. Néanmoins, il faudra mener des études scientifiques et appliquées sur des bassins moins vastes, afin de prendre en compte les caractéristiques plus précises de la végétation (densité, type d'arbres, indice de surface foliaire, ...) et l'hydrométéorologie (écarts des précipitations, rôle de la neige, schémas saisonniers, ...). Les résultats de ces études seraient précieux pour évaluer l'impact hydrologique des changements du couvert des sols à l'avenir ou sur d'autres sites. Ils permettraient aussi de valider des modèles hydrologiques et de concevoir des stratégies de gestion des terres qui soient judicieuses au plan hydrologique, afin d'atténuer les conséquences du changement climatique.

Remerciements

Cette étude a été en partie financée par le Secrétariat d'Etat à l'Eau et aux Côtes (Ministère de l'Environnement), et par le projet EPROHIDRO (HID98-1056), du Plan National de Ressources Naturelles, ressources en eau. ◆

Contact :

Pilar Llorens et Francesc Gallart

Institut des Sciences de la Terre 'Jaume Almera' (CSIC)

Lluís Solé i Sabarís, s/n 08028-Barcelona

E-mail : pllorens@ija.csic.es, fgallart@ija.csic.es

Références

- Bosch, J.M. & Hewlett, J.D. (1982) : A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.*, 55: 3-23.
- Casterad, M. A. & J. Herrero (1998). Irrivol : a method to estimate the yearly and monthly water applied in an irrigation district. *Water Resources Research*, 34: 3045-3049.
- DGCONA (2000). *Estrategia Forestal Española*. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid, 240pp.
- FAO (1990-98) : *FAO Production Yearbook*. FAOSTAT.
- Gracia, J.J. (2000). *La cuestión de los sobrantes del Ebro en el PHN*. <http://jaca.com/yesano/informes/informesobran/sobrantes.htm>
- Lasanta, T. (1990) Tendances actuelles de l'organisation spatiale des montagnes espagnoles. *Annales de Géographie*, 551: 51-71.
- Mestre, A.(1996) : Análisis de las series históricas de volúmenes de precipitación en las cuencas del Duero y el Ebro. 2ª Conferencia Internacional de Hidrología Mediterránea. *Los recursos hídricos en los países Mediterráneos*. Iberdrola Instituto Tecnológico, Bilbao: 289-302.
- MA (1968-1974) *Primer inventario forestal de España*. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Madrid, 50v.
- MAPA (1990-1997) *Segundo inventario forestal nacional : 1986-1995*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid
- MIMAM (1998). *Libro Blanco del Agua en España*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 855 pp.
- MIMAM (2000). *Plan Hidrológico Nacional*. Análisis de los sistemas hidráulicos. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 390 pp.
- Ortigosa, L. (1990) Las repoblaciones forestales como estrategia pública de intervención en regiones degradadas de montaña. In : *Geoecología de las áreas de montaña*, Ed. J.M. García-Ruiz, Geofoma, Logroño, 297-311.
- Prieto, C. (1996). La evolución de los recursos hídricos en España. 2ª Conferencia Internacional de Hidrología Mediterránea. *Los recursos hídricos en los países Mediterráneos*. Iberdrola Instituto Tecnológico, Bilbao, 257-288.

- Ruiz-García, J.M. (1999). *Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos*. Monografías del CEDEX, 67. Ministerio de Fomento, Madrid, 245 pp.
- Sahin, V. & Hall, M.J. (1996) : The effects of afforestation and deforestation on water yields. *J. Hydrol.*, 178: 293-309
- Vieira, V. & Tavares, MN. (1996). A brief statistical analysis of some Portuguese hydrologic data. 2ª Conferencia Internacional de Hidrología Mediterránea. *Los recursos hídricos en los países Mediterráneos*. Iberdrola Instituto Tecnológico, Bilbao, 227-254.