

# RAVINEMENT ET BILAN HYDRO-SÉDIMENTAIRE DES LACS DE RETENUES COLLINAIRES AU MAGHREB

Jean ALBERGEL\*, Patrick ZANTE\*,  
Jean COLLINET\*\*, Rafla ATTIA\*\*\* et Abdelaziz MERZOUK\*\*\*\*

\* IRD, UMR LISAH, 2 place Viala, 34060 Montpellier ; Jean.Albergel@ird.fr

\*\* IRD, 5 route de Bitche 67110 Niederbronn-les-Bains

\*\*\*Direction des sols, 17 Rue Hédi Karray Ariana Tunis

\*\*\*\*IFAD, PN Rome

## Abstract

*In Tunisia, more than 50 000 km<sup>2</sup>, which is 31% of the territory, are threatened or already degraded by gully erosion. On small catchments, from 50 to 500 ha, the density of ravines networks reaches at present 40 to 150 m/ha and it doubled in 27 years. This paper has two objectives: to measure the evolution of ravines degrading farmlands in semi-arid Tunisia; to present the principles of gully erosion modelling onto hillsides. This modelling considers simultaneously the dynamics of catchment areas and ravines, to be able to identify functional links allowing interconnecting the both dynamics: sheet and gully erosion.*

**Keywords** : Tunisia ; Gully Erosion ; Modelling ; Hillslopes Dynamics.

## INTRODUCTION

De nombreuses retenues collinaires ont été construites dans les régions semi-arides, particulièrement en domaine méditerranéen. Généralement, dans les pertes en terre du bassin, la part prise par la seule érosion aréolaire reste à un niveau modeste, n'excédant pas les 15 t/ha/an pour ses formes les plus sévères sur matériaux très peu cohérents (Hamed *et al.*, 2002). L'érosion par ravinement des bassins versants est la cause principale des comblements plus ou moins rapides de ces retenues (Abdellaoui *et al.*, 2002 ; Poesen *et al.*, 2003). Ce ravinement est particulièrement préoccupant sur les sols différenciés aux dépens de marnes et argilites sédimentaires affleurant en de nombreux pays autour de la Méditerranée (Poesen et Hooke, 1997). Verstraeten *et al.* (2003) montrent en outre que la topographie (pente), la couverture végétale, la forme du bassin versant, la lithologie et la présence de ravines à proximité du réservoir sont les principaux facteurs qui contrôlent l'érosion spécifique annuelle pour 60 bassins versants étudiés en Espagne. En Tunisie, Sfar *et al.* (1999) ont constaté que sur des bassins de 50 ha à 500 ha, la densité des réseaux de ravins atteignait actuellement 40 m/ha à 150 m/ha et qu'elle avait parfois doublé en vingt-sept ans. D'autre part, ces auteurs ont noté que plus de 50 000 km<sup>2</sup>, soit 31 % du territoire tunisien, sont menacés ou déjà dégradés par l'érosion linéaire.

Le premier objectif de cette étude est la mesure de l'évolution des ravins dégradant les terres cultivées dans le domaine semi-aride tunisien afin de prévoir la diminution de capacité de retenues collinaires. Le second objectif est une contribution à la modélisation du ravinement sur les versants. Pour ce faire, on considère simultanément les dynamiques des *impluviums* et des ravins, afin de pouvoir identifier des liens fonctionnels permettant d'interconnecter ces dynamiques (Bull et Kirkby, 2002).

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux sites ont été retenus dans deux bassins versants de la Dorsale tunisienne. L'un est situé dans le bassin versant de Kamech (245 ha), dans la péninsule du Cap Bon : il s'inscrit dans une surface d'aplanissement recoupant un anticlinal gréseux et marneux du Miocène moyen. Avec 500 mm à 1 000 mm de pluies (Gounot et Le Houerou, 1967), il est situé en limite des bioclimats méditerranéens sub-humides inférieurs et semi-arides supérieurs. Ce bassin versant est cultivé à 75 % en céréales, légumineuses ; les plus fortes pentes sont réservées aux parcours. L'autre est dans le bassin versant de Fidh Ali (212 ha), il occupe la voûte érodée d'un anticlinal, constitué de calcaires à lumachelles d'âge tertiaire, surmontant des argilites gypseuses avec de minces bancs de calcaires gréseux intercalés qui constituent un long glacis localement fortement entaillé en *badlands*. Avec 200 mm à 600 mm de précipitations, la région se trouve à la limite des climats semi-aride inférieur et aride supérieur. Le bassin versant est occupé en quasi-totalité par de la céréaliculture extensive alternant avec la jachère. La dynamique structurale saisonnière forte est liée aux smectites et illites issues de l'altération des roches. Elle s'exprime sur les deux sites par une fissuration importante en saison sèche et à Fidh Ali. La dissolution du gypse en profondeur provoque des effondrements structuraux préparant au *piping*.

Sachant que la dynamique des ravins est influencée par celle des *impluviums* situés à l'amont (Bull et Kirkby, 2002), la méthode consiste à prendre en compte le fonctionnement de l'*impluvium*, le fonctionnement de la ravine et les connexions entre les deux dynamiques. La prévision des écoulements et les premiers stades d'érosion sur *impluvium* sont déduits des essais de simulation de pluies qui permettent une prévision des périodicités, des intensités du ruissellement et des charges solides qui parviennent à la ravine. Les données expérimentales obtenues sont reportées (modèle MOBIL) dans les hyétogrammes des pluies naturelles et permettent de prévoir les zones génératrices de ruissellement et les charges solides des flux engendrés selon les caractéristiques hydrodynamiques des différentes zones de l'*impluvium* (fig. 1).

La dynamique des ravins est étudiée en recherchant les relations entre les bilans abrasion/dépôt et la caractéristique d'état des versants. Les bilans abrasion/dépôts sont obtenus par comparaison de MNT issus des levés de terrain au théodolite laser ; ils sont complétés localement par un dispositif permettant de restituer des profils en travers à partir de mesures effectuées au distance-mètre laser. Les points sont choisis en fonction des irrégularités du relief, le long de lignes perpendiculaires aux ravins et matérialisées par une corde posée au sol. Des points complémentaires sont levés pour rendre compte des ruptures de pentes.

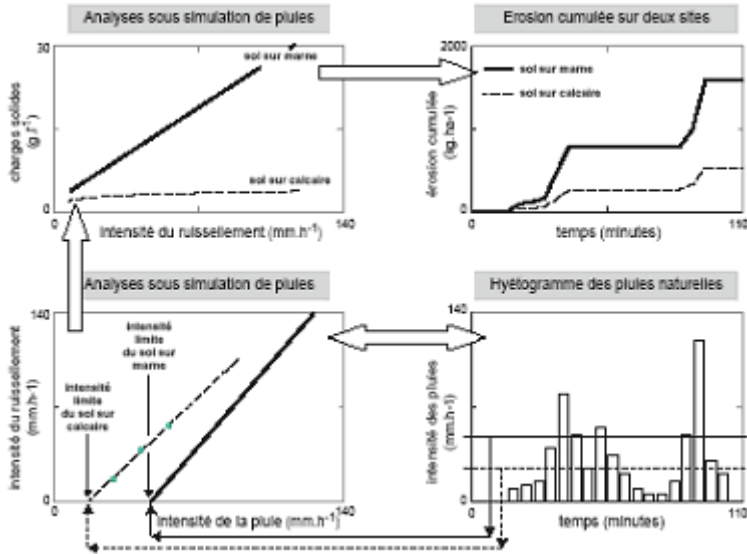


Fig. 1. Prévision des écoulements et de l'érosion avec le modèle MOBIL

Les MNT sont élaborés avec SURFER 8.0 en choisissant une grille de 0,05 m ; les courbes de niveau sont obtenues par triangulation avec interpolation linéaire ; les volumes sont calculés par la méthode des trapèzes et le ravin *stricto sensu* est délimité par un masque qui suit la rupture de pente. Les variations de volume sont obtenues par différence entre deux MNT limités par le même masque. L'incertitude sur la cote moyenne du MNT est de 0,0128 m ( $P = 0,01$ ) et les incertitudes de calage sur borne ( $P = 0,01$ ) sont de 0,0319 m sur X, 0,0204 m sur Y et 0,009 m sur Z. Ces résultats permettent le calcul des volumes par différence des MNT en 1999, 2001 et 2003 pour les conditions de tolérance les plus sévères ( $P = 0,01$ ). Cette méthode est appliquée une fois par an ou après un événement érosif important. Les zones d'isocaractéristiques d'états des ravines sont définies par les types d'occupation (Vif 1 : 0 %-25 % de végétation ; Vif 2 : 25 %-50 % ; Enherbé1 : 75 %-100 % ; Enherbé2 : 50 %-75 %) et sont caractérisées par des variables de géométrie (largeur et profondeur de ravine, pente des berges et du lit, distance à la tête, exposition...), de substrat (sol ou roche mère). Elles sont tracées sur le MNT après leur identification sur le terrain et constituent autant de masques permettant d'établir leur bilan volumique par comparaison entre deux MNT, et de rechercher des relations bi-variées et des corrélations entre les variables et les bilans volumiques.

## 2. RÉSULTATS

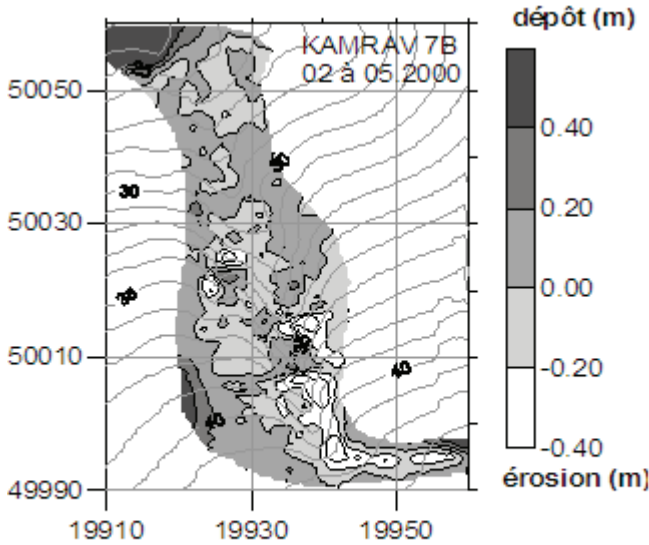
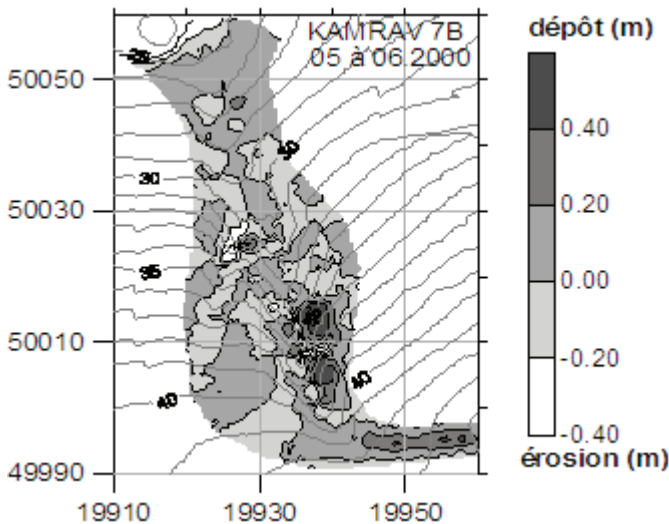


Fig. 2. Iso-volumes des remaniements sur la ravine 7b de Kamech (Tunisie)



positif avec  $+ 0,032 \text{ m}^3/\text{m}^2$  à un bilan légèrement érosif avec  $- 0,009 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Sur ces ravins, on repère une nette influence des flux provenant des champs de l'amont avec des effets souvent divergents sur différents secteurs des ravins. Les remaniements dans les ravins résultent d'une juxtaposition de processus d'ablation par des flux intenses et peu chargés, donc à forte capacité abrasive, et de processus de sédimentation liés à des flux moins intenses mais très chargés. Le

Deux catégories d'informations sont disponibles. La première donne les bilans volumiques portant sur des surfaces développées de ravins allant de  $1\,500 \text{ m}^2$  à  $6\,000 \text{ m}^2$ . La seconde catégorie se rapporte aux études sur des mailles plus fines pour prévoir des fonctionnements. Les bilans volumiques globaux sont traduits par des cartes qui représentent des surfaces d'isoremaniements (fig. 2). Sur l'ensemble des ravins étudiés dans les deux bassins versants, on constate que la position des aires contributives des apports et des départs de matériaux n'est pas stable d'une période à la suivante. Par exemple, sur le ravin Kamech 7B, aux phases d'érosion du lit à l'amont en début d'année (février à mai 2000) succèdent des phases de dépôts (mai à juin 2000), tandis que les sédiments du large lit à l'aval sont totalement déblayés à l'issue des averses de juin 2000.

On passe d'un bilan

tableau ci-dessous résume les bilans volumiques des trois ravins étudiés durant trois à cinq ans. Les ablations y apparaissent très dispersées, entre 9 dm<sup>3</sup> et 76 dm<sup>3</sup> de terre par m<sup>2</sup> de surface développée, les comblements sont plus regroupés, entre 29 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> et 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Il s'agit donc d'un système complexe nécessitant la connaissance des connexions entre les dynamiques d'*impluvium* et celles des ravins.

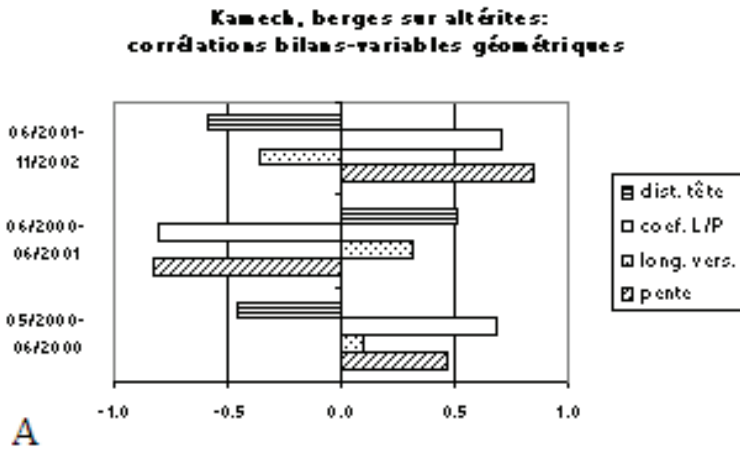
**Tab. 1. Bilan spécifique de l'érosion ravinatoire sur les sites étudiés à Kamech et Fidh Ali**

| Sites<br>(superficie<br>développée,<br>m <sup>2</sup> ) | Date               | Durée<br>(mois) | Pluies<br>cumulées<br>(mm) | Érosivités<br>cumulées<br>(MJ.mm/ha.h) | Bilan<br>spécifique<br>/superficie<br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | Bilan<br>spécifique<br>/pluie<br>(m <sup>3</sup> /mm) |
|---|--------------------|-----------------|----------------------------|--|---|---|
| Kamech 7b<br>(1440)                                     | 02/2000<br>05/2000 | 4               | 155                        | 20                                     | 0,032   | 0,206   |
|   | 05/2000<br>06/2000 | 1,4             | 83                         | 7                                      | - 0,009   | - 0,110   |
|   | 06/2000<br>06/2001 | 12              | 628                        | 163                                    | - 0,076   | - 0,120   |
|   | 06/2001<br>11/2002 | 17              | 642                        | 99                                     | - 0,038   | - 0,060   |
| Kamech 2F<br>(1725)                                     | 05/2000<br>06/2000 | 1,4             | 83                         | 7                                      | - 0,064   | - 0,700   |
|   | 06/2001<br>11/2002 | 17              | 642                        | 99                                     | - 0,012   | - 0,020   |
| Fidh'Ali (5680)   | 08/1999<br>12/2001 | 28              | 532                        | 112                                    | 0,035   | 0,070   |
|   | 12/2001<br>10/2003 | 23              | 484                        | 83                                     | 0,029   | 0,060   |

La recherche de relations explicatives du fonctionnement des ravines s'est faite à partir d'environ 130 masques présentant des situations simples d'occupation et de géométrie. L'analyse bi-variée sur ces masques a montré que pour un état donné du versant (surface nue sur sol ou sur altérite, surface plus ou moins végétalisée), il existe des relations fonctionnelles entre les berges et les lits et les bilans volumiques spécifiques. Les variables géométriques qui semblent les plus efficaces sont : la pente des berges et des lits, la longueur des versants et des lits, un coefficient de forme donnant une indication sur le stade d'activité du ravin (largeur/profondeur), la distance à la tête du ravin. Des matrices de corrélations ont ensuite été dressées entre les bilans et ces variables géométriques pour chaque état donné du versant. Elles montrent (v. page suivante, fig. 3a et 3b) que les comportements divergent selon les périodes et que, selon les périodes, les meilleures corrélations s'établissent sur des variables différentes. Ceci pourrait être dû à l'influence du comportement différent des *impluviums*. Une analyse

multivariée des données permet de mettre en évidence que, par exemple, dans le bassin versant de Kamech, le fonctionnement des lits de ravine creusés dans les altérites est lié au rapport L/P (largeur/profondeur) de la ravine, alors qu'un lit creusé dans les sédiments a un fonctionnement plutôt dépendant de la distance à la tête de ravine. L'évolution des berges végétalisées est, elle, en relation avec la longueur du versant et la pente.

3a



3b

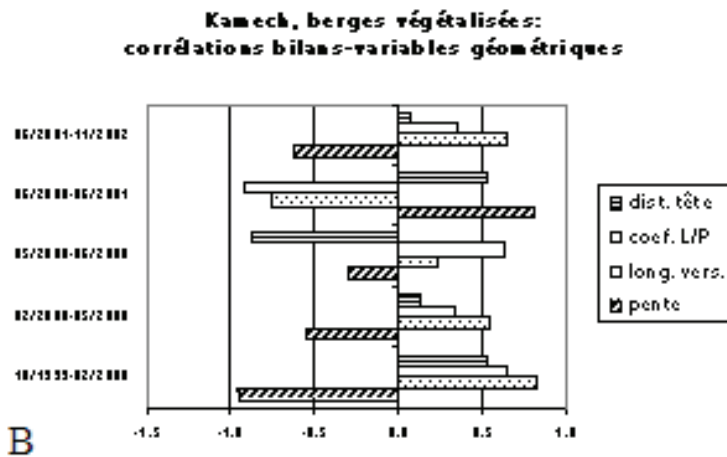


Fig. 3. Bassin versant de Kamech, corrélations bilans volumiques - variables géométriques

## CONCLUSION

Les comparaisons diachroniques de MNT produits à partir de levés topographiques effectués sur des ravines des bassins versants de Kamech et Fidh Ali ont montré un taux d'érosion annuel sur les versants ravinés allant de 15 à 60 m<sup>3</sup>/ha selon les ravins, en tenant compte de la surface de leur *impluvium* respectif. Ces valeurs sont cohérentes avec celles qui sont fournies par les mesures de sédimentation (via la bathymétrie), effectuées dans une vingtaine de retenues âgées d'environ 10 ans (J. Albergel *et al.*, 2001). Pour un état donné du versant (surface nue sur sol ou sur altérite, surface plus ou moins végétalisée), les variables géométriques explicatives sont les pentes des berges et des lits, leur longueur, un coefficient de forme donnant une indication sur le stade d'activité du ravin (largeur/profondeur) et, enfin, la distance jusqu'aux têtes des ravins. Les matrices de corrélations établies pour chaque état donné du versant entre les bilans et ces variables géométriques ont des coefficients entre 0,7 et 0,96 dans 30 % des cas à Fidh-Ali et dans 60 % des cas à Kamech, mais elles indiquent aussi que les fonctionnements peuvent diverger d'une époque à la suivante. C'est ainsi que, par exemple, l'augmentation de pente d'une berge dénudée peut entraîner soit une augmentation de l'ablation, soit sa diminution, selon la saison. Il apparaît ici que les fréquences des écoulements provenant des *impluviums* de l'amont, les variations de leurs débits et, surtout, de leurs charges solides, en relation avec les façons culturales en période de forte agressivité des pluies, sont des éléments particulièrement importants pour expliquer les modifications des bilans volumiques les mieux corrélés dans les ravins.

## Références bibliographiques

- ABDELHAOUI B., MERZOUK A., ABERKAN M., ALBERGEL J., 2002. Bilan hydrologique et envasement du barrage Saboun (Maroc), *Revue des sciences de l'eau*, vol. 15 : 737-748.
- ALBERGEL J., NASRI S., BOUFAROUA M., PÉPIN Y., 2001. Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale tunisienne. PHI-V, UNESCO (édit.). In : Séminaire International Montpellier 2000 « Hydrologie des régions méditerranéennes ». *Documents techniques en hydrologie* 51, 63-70.
- BULL L.J., KIRKBY M.J., 2002. Channel Heads and Channel Extension. In : Bull L. J., Kirkby M. J. (édit.), *Dryland Rivers, Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels*. John Wiley & Sons, 263-298.
- HAMED Y., ALBERGEL J., PÉPIN Y., ASSELINE J., NASRI S., ZANTE P., BERNDTSSON R., EL-NAIZY M., BALAH M. 2002. Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservoir sedimentation in an erosion-sensitive semiarid catchment. *Catena*, 50 : 1-16.
- POESEN J., HOOKE J.M., 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean Environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21 (2) 157-199.
- POESEN J., NACHTERGAELE J., VERSTRAETEN G., VALENTIN C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50 : 91-133.
- SFAR F. M., SNANE M. H., MLAOUHI A., MEGDICHE M.F. 1999. Importance du facteur lithologique sur le développement des ravins du bassin versant de l'oued Maiez en Tunisie centrale. *Bull. Eng. Geol. Env.* 57: 285-293.
- VERSTRAETEN G., POESEN J., DE VENTE J., KONINCKX X., 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology* 50: 327-348.



## EFFICACITÉ DE LA GESTION DE L'EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS EN MILIEUX SEMI-ARIDES

*Sous la direction de :*

**Eric ROOSE**

**Jean ALBERGEL**

**Georges DE NONI**

**Abdellah LAOUINA**

**Mohamed SABIR**



# **EFFICACITÉ DE LA GESTION DE L'EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS EN MILIEUX SEMI-ARIDES**

Actes de la session VII  
organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF  
au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc),  
du 14 au 19 mai 2006

Sous la direction de

**Eric ROOSE, Jean ALBERGEL, Georges DE NONI  
Abdellah LAOUINA et Mohamed SABIR**



Copyright © 2008 Éditions des archives contemporaines et en partenariat avec l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF).

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement, quelque système de stockage et de récupération d'information) des pages publiées dans le présent ouvrage faite sans autorisation écrite de l'éditeur, est interdite.

Éditions des archives contemporaines  
41, rue Barrault  
75013 Paris (France)  
Tél.-Fax : +33 (0)1 45 81 56 33  
Courriel : info@eacgb.com  
Catalogue : www.eacgb.com

---

ISBN : 978-2-914610-76-6

**Référence bibliographique :**

Roose E., Albergel J., De Noni G., Sabir M., Laouina A., 2008., *Efficacité de la GCES en milieu semi-aride*, AUF, EAC et IRD éditeurs, Paris : 425 pages

**Crédit iconographique de la couverture :**

Oued Rhéraya, *Haut-Atlas : terrasses permettant de reconstituer des sols dans le lit majeur, d'irriguer des pentes fortes grâce aux seguias et fertiliser le sol en place autour d'un village.*

**Avertissement**

Les textes publiés dans ce volume n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs. Pour faciliter la lecture, la mise en pages a été harmonisée, mais la spécificité de chacun, dans le système des titres, le choix de transcriptions et des abréviations, l'emploi de majuscules, la présentation des références bibliographiques, etc. a été le plus souvent conservée.