

Technologies nouvelles en améliorations foncières et réflexions sur leurs retombées économiques

O. Cogels

Résumé

Après une introduction sur la problématique des améliorations foncières, une synthèse est présentée concernant les principales contributions des technologies nouvelles au niveau des phases des études préliminaires, de l'exécution et de la gestion. La contribution de l'électronique et de l'informatique au niveau des études préliminaires est discutée tant en ce qui concerne la prospection et l'acquisition des données qu'en ce qui concerne leur structuration, notamment à l'aide de banques de données et de cartographie numérique. Au niveau de l'exécution, la technique du laser, utilisée pour le guidage des engins de terrassements, est présentée. Enfin, au niveau de la gestion, c'est l'usage accru des senseurs électroniques pour le contrôle local ou à distance (télédétection) de l'état hydrique du sol et de la plante qui est discuté. La technique du laser est utilisée aussi à ce niveau pour le guidage de certaines machines d'irrigation (système central pivot). Du point de vue économique, ces innovations ne semblent pas accroître fortement les rendements par unité de surface, c'est-à-dire la productivité du facteur terre. Par contre elles accroissent incontestablement la productivité du facteur eau. Ceci est d'autant plus marquant que la superficie des périmètres améliorés est grande. En d'autres termes, les technologies nouvelles permettent des économies d'échelle. Par conséquent, elles favorisent la mise en commun des terres pendant les phases d'études et d'exécution ainsi que la mise en commun de certaines opérations de gestion.

Summary

After an introduction on the importance of land and water improvement in the world, a synthesis is presented about the main contributions of new technologies at the levels of the preliminary investigations, the execution and the operation and management. At the level of the preliminary investigations, the contribution of electronics and computers is discussed as well for the data acquisition as for the data structuration, namely with the aid of data banks and numerical cartography. At the level of the execution, the laser technique for guidance of earthwork engines is discussed. At the level of operation and management, the support of new technologies consists of an increasing use of electronic sensors for local or remote control and monitoring of soil and plant water status. The laser technique is also used for the guidance of irrigation machines such as the central pivot. On an economical point of view, these innovations don't seem to improve considerably the agricultural production per unit area, but they increase undoubtedly the productivity of the factor water. This is all the more true when the improved area is large. New technologies lead to scale economies. They are thus in favor of putting the land in common during the stages of investigations and excutions and to keep in common some aspects of the management.

I. Introduction

On peut définir les améliorations foncières comme étant les systèmes ayant pour but d'améliorer, définitivement ou du moins pour un grand nombre d'années, la potentialité de production des terres agricoles. Dans les régions d'agriculture ancienne et de population dense, les terres ont presque toutes subi, au cours des siècles, des améliorations foncières plus ou moins poussées. Dans les régions d'agriculture neuve, elles précèdent le plus souvent la mise en culture de nouvelles terres. Dans tous les cas elles imposent au paysage leur caractère, parfois très géométrique.

Les améliorations foncières les plus importantes et celles dont les effets sont les plus marqués, sont les améliorations hydrauliques : à savoir, l'assainissement agricole, l'irrigation et la protection antiérosive,

dont les objectifs sont de remédier à l'excès d'eau, au manque d'eau ou à l'excès d'érosion hydraulique.

Le coût de ces travaux atteint quelques dizaines de milliers de francs par hectare pour l'assainissement et quelques centaines de milliers de francs par hectare pour l'irrigation. Leur rentabilité, dans le cas de terres de faible ou moyenne productivité due, soit à l'excès, soit au manque d'eau, est rarement contestée à condition que les périmètres aménagés soient gérés convenablement par la suite. Dans la plupart des pays en voie de développement, l'état est amené à consacrer des budgets énormes à cette activité.

L'irrigation est l'amélioration foncière la plus spectaculaire. Elle concerne actuellement près de 300 millions d'hectares, soit environ 10% de la

surface cultivée. Cette activité mobilise environ 3000 milliards de m³ d'eau par an soit environ 20 fois plus que la consommation à usage domestique.

Ces investissements énormes sont caractérisés par un haut risque car les réactions de la nature ainsi que des hommes face à ces modifications profondes de la terre sont difficilement prévisibles. D'où la nécessité d'études préliminaires approfondies.

Quant une nouvelle technologie permet à l'homme d'atteindre de nouveaux objectifs jusqu'alors inatteignables, elle prend évidemment un caractère spectaculaire. N'est-il pas plus fréquent toutefois que les nouvelles technologies permettent d'atteindre des objectifs classiques mais de façon plus performante et plus rentable ? Ces dernières décennies, l'homme a mis au point plusieurs nouvelles technologies, qui s'infiltrèrent de toutes part dans cette activité aux multiples aspects que sont les améliorations foncières, sans viser réellement des objectifs nouveaux et spectaculaires.

Notre but ici est d'analyser quelles sont actuellement les technologies nouvelles dont l'utilisation dans ce domaine semble faire ses preuves et de réfléchir à la nature des retombées économiques qu'elles entraînent.

L'amélioration foncière est un processus séquentiel. Chronologiquement elle se présente en trois phases successives : les préétudes et études de projet, l'exécution des travaux et finalement la gestion ou exploitation.

II. Phase d'études

La phase "études" est généralement subdivisée en trois étapes :

- identification ou diagnose
- études préliminaires ou de faisabilité
- études de projet, conception et dimensionnement

Quelle que soit l'étape en question, le chargé d'études est amené à prospecter et à manipuler un grand nombre d'informations édaphiques, climatiques, biotiques, topographiques et socio-économiques.

Les études ont pour objectif de "produire", au départ de données élémentaires, de nouvelles informations utiles pour les autres études, le maître d'oeuvre ainsi que pour les entreprises d'exécution. Ces informations sont par exemple les dimensions d'une digue, la capacité d'une station de pompage, les volumes de terrassements, des plans d'implantation de tuyaux de drainage, des réseaux de distribution d'eau, etc...

De l'exactitude et de la qualité des nouvelles informations produites, dépend d'une part le coût des améliorations foncières et d'autre part leur efficacité. La qualité et l'utilité de ces nouvelles informations dépendent certes de la qualité des données de

base mais aussi de la façon dont les données sont structurées entr'elles. Pour chacun de ces deux aspects, les technologies nouvelles présentent un très grand intérêt.

Prospection des données

On peut classer les données du milieu selon deux critères : le critère temporel et le critère spatial. Les données climatiques par exemple sont variables dans le temps et nécessitent donc des échantillonnages répétés. Les données pédologiques et géologiques ont un caractère beaucoup plus permanent. La plupart des données sont variables dans l'espace. On pourrait donc distinguer les données spatiales et les données spatio-temporelles. Les efforts de prospection des décennies et siècles précédents ont été tels que bon nombre des données spatiales sont à l'heure actuelle connues, publiées, cartographiées. Bien que beaucoup soit déjà fait, il reste énormément de données à prospecter, notamment dans le sous-sol. L'hydrogéologie ou l'étude des ressources en eau souterraines, utilise des méthodes de prospection géophysique de plus en plus sophistiquées. Il n'est pas rare de prospecter les nappes souterraines à plus de 1000 mètres de profondeur. En ce qui concerne les données spatio-temporelles, les technologies nouvelles offrent d'énormes possibilités par la mise à disposition d'une grande diversité de "capteurs d'informations". Ces capteurs détectent soit un champ naturel (infrarouge, lumière visible, température) soit un champ induit par une source (radioisotopes, laser, radar). Ils présentent l'avantage du faible coût, de la rapidité, de la tolérance aux conditions extérieures, de l'autonomie et de la rigueur en comparaison avec l'observateur humain. On peut les classer aussi en deux groupes : ceux qui procèdent par télédétection terrestre, aéroportée ou spatiale. Grâce à la micro-électronique, ces capteurs évoluent de plus en plus vers des microstations capables d'enregistrer, de traiter localement, de stocker et finalement de transmettre les données aux utilisateurs.

En ce qui concerne la télédétection, c'est principalement la télédétection aéroportée qui, au stade des études, présente un réel intérêt pratique. La photographie aérienne est très largement utilisée pour définir la topographie des sites à aménager. Elle constitue l'information de base de la photogrammétrie et de l'orthophotographie. Un lever photogrammétrique planimétrique s'avère souvent être plus économique qu'un lever terrestre classique pour des chantiers dépassant une superficie de l'ordre de 1000 hectares.

Si la photo, qui donne des informations spectrales dans le domaine du visible, est ainsi largement utilisée, il n'en va pas de même pour les autres capteurs spectraux (infrarouge, micro-ondes), du moins au stade des études. Leurs utilités pratiques spécifiques, à côté des cartes et photos, sont encore mal définies.

Structuration des données

La façon dont les informations de base sont charpentées entr'elles, c'est-à-dire leur structure, élaborée à l'aide de relations mathématiques et graphiques, détermine la qualité de l'information nouvelle qui en résulte.

Ici c'est l'informatisation qui se développe à grande vitesse et qui bouleverse les habitudes. La tendance actuelle est de constituer des "banques de données du milieu" où les données climatiques, édaphiques, biotiques et topographiques, spatiales et spatio-temporelles sont numérisées et ensuite structurées à l'aide de "modèles mathématiques". La tâche est plus complexe qu'il n'y paraît à première vue. Un premier problème se pose au niveau de la numérisation des informations cartographiques existantes. Les variables sont souvent discrètes plutôt que continues et associées à des interprétations assez qualitatives. Beaucoup de descriptions du milieu utilisent encore les qualificatifs du vocabulaire (grand, petit, long, étroit) plutôt que des échelles de référence non-équivoques, tout comme c'était encore le cas il y a cinq siècles pour des variables physiques comme la température ou la force. Les seules données connues avec assez grande précision de façon quantitative concernent la morphologie des terres, ce qui constitue d'ailleurs l'information essentielle pour la conception des projets.

L'ingénieur qui choisit les dimensions des ouvrages qu'il conçoit, peut le faire d'autant mieux, c'est-à-dire de façon optimale, qu'il peut prédire quel seront les conséquences de ses choix, d'où l'intérêt de l'utilisation de la simulation sur modèles. Dans le domaine de la grande hydraulique, les possibilités de simulation à l'aide de modèles physiques réduits, ou maquettes, a été et est encore beaucoup utilisée. C'est le cas des ouvrages d'art portuaires, des aménagements fluviaux et des ouvrages d'évacuation des crues des grands barrages. Dans le domaine des améliorations foncières ou de la petite hydraulique, l'utilisation de telles maquettes n'est pas vraiment rentable. Or, grâce à l'informatique, et surtout la micro-informatique, l'ingénieur peut avoir à sa disposition, pour un coût relativement réduit, des modèles mathématiques permettant de simuler très rapidement et avec fiabilité les conséquences de ses choix de dimensions d'ouvrages. Il peut donc déterminer des choix optimaux qui réduisent parfois fortement le coût des travaux en offrant une efficacité accrue. A titre d'exemple, considérons la construction d'une digue en terre compactée pour permettre l'irrigation d'un périmètre de 500 ha. Les besoins en eau s'élèvent à environ 5 millions de m³ par an, ce qui nécessite la construction d'une digue en terre de 500.000 m³. L'ingénieur doit implanter cette digue dans le vallon d'un cours d'eau et rechercher l'implantation qui maximise le volume d'eau stockable en minimisant le volume des

terres remblayées. Grâce à la simulation numérique de la topographie du vallon et de la cuvette de la retenue d'eau, un très grand nombre de solutions peuvent être comparées avant de fixer le choix définitif, ce qui serait impossible à réaliser manuellement. Dans notre exemple, chaque % de remblais en moins représente un gain de quelques centaines de milliers de francs, ce qui justifie amplement l'utilisation de la simulation.

Le modèle numérique de la morphologie du terrain est constitué d'un fichier de points dont on connaît les coordonnées cartésiennes X, Y, Z dans un système de référence déterminé. Ce modèle, qui est appelé "Modèle Digital Terrain" et qui peut être déterminé à partir de photographies aériennes à l'aide de restituteurs analytiques ou au départ de cartes topographiques, permet la conception et le dimensionnement de tous travaux impliquant des terrassements, ce qui est pratiquement toujours le cas en améliorations foncières, notamment pour l'irrigation par sillons, bassins ou calants, pour l'assainissement de surface des sols lourds, pour les ouvrages de conservation antiérosifs des sols. Sans doute est-ce l'amélioration foncière qui est de loin l'activité humaine qui modifie artificiellement la morphologie des terres sur les plus grandes étendues.

En combinant le "Modèle Digital Terrain" aux données climatiques, édaphiques et biotiques, ce qui peut se faire en définissant des attributs en tout point défini par ses coordonnées X, Y et Z, on peut caractériser le milieu aménagé par un nombre quasi illimité de propriétés telles que les aptitudes des terres à l'irrigation, leur valeur foncière relative avant et après aménagement, etc... Ceci constitue la base de la cartographie numérique thématique. L'informatisation des études d'aménagement foncier et d'hydraulique agricole permet de les réaliser plus économiquement, plus rapidement et plus rigoureusement. Le coût des travaux s'en trouve réduit, leur efficacité accrue et la délimitation des périmètres aptes à l'amélioration est plus précise. De plus le risque de l'investissement est mieux connu et réduit.

III. Phase d'exécution des travaux

Comme nous l'avons souligné antérieurement, la plupart des améliorations foncières impliquent avant tout des travaux de terrassements qui modifient plus ou moins fortement la morphologie du paysage. Qu'il s'agisse de nivelage, de construction de digues ou de creusement de fossés, ces travaux nécessitent lors de leur mise en oeuvre un contrôle permanent rigoureux de la topographie. La nouvelle technologie qui a fait une percée spectaculaire dans cette phase d'exécution est le guidage des outils de terrassements par rayons laser.

Un faisceau laser tourne autour d'un axe inclinable par rapport à la verticale et décrit ainsi un plan optique de pentes imposées avec précision. L'outil de

l'engin de terrassement est surmonté d'une tige qui porte un capteur que l'on maintient dans le plan optique. Ce guidage est très précis et permet par exemple la pose rapide (2m/s) d'un tuyau de drainage dans un sol avec une pente constante de moins de 2mm par m, ou le nivelage d'une rizière.

Les avantages économiques résultent avant tout de la rapidité d'exécution, d'un gain en main d'oeuvre par rapport au contrôle topographique manuel et aussi d'une meilleure garantie de qualité.

IV. Phase d'exploitation et de gestion

De toutes les techniques d'améliorations foncières, c'est l'irrigation qui est la plus exigeante du point de vue de la gestion, qui doit être quotidienne. Son impact économique est énorme. Le premier problème auquel le gestionnaire est confronté consiste à décider des moments d'arrosage ainsi que des doses à fournir. Ces décisions ne peuvent être prises qu'en se basant sur un suivi de l'état hydrique du sol et des végétaux. De plus en plus l'eau devient un facteur de production rare et donc coûteux. Ceci implique une optimisation permanente de son utilisation en fonction du stade de croissance des végétaux, de leur sensibilité au manque d'eau et de leur prix de vente.

Le monitoring quotidien de l'état hydrique du sol et des végétaux est difficile et onéreux. Il est dès lors le plus souvent remplacé par un suivi climatique donnant une information indirecte. D'où l'importance des stations climatologiques avec analyse des données en temps réel. Ces stations comportent généralement un bac évaporatoire qui joue le rôle de modèle physique de l'état hydrique du sol. A ce niveau, les technologies nouvelles apportent leur appui par l'introduction de capteurs ainsi que de l'informatique à l'instar de ce qui est constaté pour la phase d'études. Récemment, le monitoring direct de l'état hydrique des végétaux est devenu possible et s'améliore constamment grâce à la télédétection manuelle, aéroportée et spatiale. Le radiomètre infrarouge portable avec lequel on peut "balayer" le couvert végétal pour en connaître la température moyenne superficielle, connaît un succès croissant. Au stade actuel, il semblerait que c'est le rayonnement infrarouge, émis par les végétaux qui donnerait l'information la plus utile, du moins pour les régions méditerranéennes et semi-arides où la différence entre la température des végétaux et la température de l'air ambiant est suffisamment marquée. Tant que les feuilles ne sont pas en état de stress hydrique, l'évaporation de l'eau au niveau des stomates a un effet de refroidissement par absorption de chaleur latente d'évaporation. Cet effet s'atténue, puis disparaît dès que le taux d'évaporation demandé par l'atmosphère dépasse le taux d'absorption d'eau par les racines et il est alors temps d'intervenir.

La réflexion de microondes (radar) semble également présenter certaines possibilités. Des essais ont été faits aux U.S.A. à l'aide d'avions ultra-légers. Etant donné que le suivi doit être quasi quotidien, la télédétection aéroportée est assez onéreuse et sa rentabilité est discutable. Toutefois, on peut être quasi certain que dès que les données détectées par satellites seront disponibles en temps réel par l'utilisateur, son utilisation se généralisera.

Le laser est également utilisé en phase d'exploitation pour guider les machines géantes d'irrigation par aspersion que sont le système central pivot et de l'aile roulante. Ces énormes bras mobiles de parfois plusieurs centaines de mètres de longueur sont alignés parfaitement à l'aide d'un faisceau laser.

Il est difficile de chiffrer le coût de la gestion car celui-ci varie énormément d'une région à une autre. Il est clair toutefois, que la gestion de périmètres irrigués à l'aide des technologies nouvelles représente, pour les périmètres d'au moins une centaine d'hectares, à la fois une réduction de coût et un gain d'efficacité. Lorsque l'eau est rare et chère, la rentabilité de l'unité de production est d'avantage exprimée par le "water use efficiency" que par le rendement à l'hectare. L'introduction des technologies nouvelles et notamment la gestion des irrigations à l'aide de l'ordinateur est à même de quasi doubler cette rentabilité. La gestion assistée par ordinateur est un facteur de production qui accroît fortement l'efficacité de l'utilisation des autres facteurs de production, sans représenter un surcoût sensible lorsque l'unité de production est de taille suffisante.

V. Conclusion

Dans l'introduction, l'on se demandait dans quelle mesure les technologies nouvelles augmentent la rentabilité des améliorations foncières. Après avoir passé en revue les étapes et les techniques qui connaissent les appuis de la technologie nouvelle, on est en droit de douter que celle-ci augmente de façon spectaculaire le rendement à l'hectare des unités de production. L'effet n'est en tout cas pas aussi spectaculaire que celui dû à l'introduction de la chimie et de la mécanisation. Toutefois, ce serait mal poser le problème. Ce qui importe n'est pas d'accroître la production par unité de superficie, mais bien la production par unité de l'ensemble des facteurs de production : superficie, eau, main d'oeuvre, infrastructures. D'ailleurs, dans les pays semi-arides, où la superficie cultivée est nettement inférieure à la superficie disponible, le critère de rentabilité utilisé est davantage le "water use efficiency" que la production par unité de superficie. Ce qui importe bien sur c'est de répondre à la question : de combien les technologies nouvelles permettent-elles d'accroître la marge bénéficiaire ou

le bénéfice net de l'unité de production. Sans pouvoir le chiffrer, cet accroissement nous semble sous cet angle aussi important que celui dû à l'introduction de la chimie et de la mécanisation. Cet effet semble d'autant plus évident que la superficie du périmètre aménagé et géré est grande. En fait, les technologies nouvelles permettent de réaliser des "économies d'échelle".

De façon générale, les technologies nouvelles permettent, quelle que soit la phase envisagée, d'atteindre les mêmes objectifs qu'auparavant à un moindre coût. D'autre part, la rigueur des études étant améliorée, la qualité des améliorations foncières est accrue dans une certaine mesure. Grâce à la possibilité d'études préliminaires plus poussées et plus fiables, les risques d'échec, qui sont souvent importants en cette matière, sont réduits. La classification et la cartographie d'aptitude à l'amélioration, c'est-à-dire la délimitation des zones où l'amélioration est jugée rentable, est faite avec plus de précision et de certitude.

En tout cas, il nous semble clair que quelle que soit la nouvelle technologie utilisée, elle ne devient ren-

table, par rapport aux techniques classiques, qu'à partir d'une certaine superficie aménagée et sa rentabilité augmente très vite en fonction de cette superficie. Ceci n'est donc pas favorable aux micro-aménagements.

Les améliorations foncières sont des infrastructures et il serait erroné d'extrapoler ces conclusions pour les appliquer à l'exploitation agricole. L'attitude qu'il convient à notre avis d'adopter en conséquence, est de favoriser la mise en commun du facteur de production "terre" pendant la phase d'étude et d'exécution pour la redistribuer ensuite en tenant compte des accroissements de valeur vénale produite par l'amélioration. Ensuite, il est nécessaire de garder en commun certains facteurs de production, tel que par exemple le réseau de distribution d'eau d'irrigation ou les émissaires d'assainissement. Certains aspects de gestion également nécessitent une mise en commun, par exemple le monitoring des besoins en eau, qu'elle soit climatique ou directe. Cette mise en commun de certains moyens de production et de gestion est de nature à améliorer la rentabilité des petites comme des grandes unités de production.

O. Cogels : Ing. Agron. Gén. Rur. UCL 1975; Doct. Sc. Agron. UCL 1980; Assistant UCL 1975-1980; Postdoct. Calif. Univ. 1981; Chargé de Cours Fac. Sc. Agron. UCL 1981 — ..
Organisme de subsidiation: Université Catholique de Louvain — 1348 Louvain-La-Neuve, Belgique.

Abonnement / Subscription / Suscripción

Ordinaire/Gewone/Individuals/Ordinario:	BF 1200	ou	FF 200	or	US\$ 30
Volontaires/Vrijwilligers/Volunteers/Voluntarios:	BF 800	ou	FF 133	or	US\$ 20
Nationaux des pays en développement Burgers van ontwikkelingslanden Nationals in developing countries Nacionales des paisés en desarrollo	BF 800	ou	FF 133	or	US\$ 20
Etudiants/Studenten/Students/Estudiantes:	BF 500	ou	FF 84	or	US\$ 12.5
Par avion/Luchtpost/Airmail/Por avion:	+ BF 250	ou	+ FF 42	or	+ US\$ 6

CCP/PCR/Post Cheque Account/Cuentas de cheque:	000-0003516-24 (BF)
SGB/GBM/Bank Soc. Générale/Banca Soc. Générale:	210-0911680-29 (BF)
Banque Générale du Luxembourg, Luxembourg, Grand-Duché:	30-252135-65 (FF)
Banque Générale du Luxembourg, Luxembourg, Grand-Duché:	30-252135-70-1 (US\$)