



EVOLUTION DE L'IRRIGATION

ZELLA L.¹, SMADHI D.²

¹ Maître de Conférence, Université de Blida, Algérie

² Chercheur, Institut National Agronomique, Alger, Algérie

RESUME

Faut-il développer l'irrigation ou les cultures pluviales ? Si ces dernières pouvaient satisfaire les besoins alimentaires et n'utilisaient pas assez de terres, elles seraient une solution salubre. Ce n'est pas toujours le cas et l'augmentation des rendements agricoles est réalisée par ce facteur important qu'est l'irrigation.

Elle est nécessaire quand les apports naturels en eau ne permettent pas de combler les besoins alimentaires; elle est adoptée pour utiliser moins de terres. C'est un régime intensif qui doit assurer un rendement maximal sur tous les plans (économique, agronomique, social et environnemental). L'irrigation est concurrencée par d'autres secteurs utilisateurs d'eau, jugés prioritaires. Elle est souvent déclassée par cette mondialisation rampante qui offre des produits alimentaires à bas prix et renvoie au chômage les agriculteurs traditionnels. Les zones où la rareté de l'eau est manifeste sont les premières victimes et où les irrigants doivent répondre à un cahier de charge des plus sévères dont la rentabilité est le maître mot.

Mots-clés : Irrigation, hydro-pédologie, hydrosphère, mécanisation, agriculture

INTRODUCTION

L'agriculture, une activité traditionnelle et fondamentalement vitale, est à l'origine de l'émergence des civilisations et donc du développement qui s'en est suivi. Elle s'était développée là où les conditions hydro-pédologiques étaient naturellement aptes à la culture. Ainsi les anciens peuples se sont sédentarisés en pratiquant l'irrigation pour subvenir à leurs besoins vitaux de plus en plus croissants et se prémunir des éventuelles années de "vaches maigres". Les rives

de lacs, de fleuves et de mers ont favorisé des pôles de peuplements humains, animaux et végétaux. Des cités antiques comme Sumer, Akkad et Ur ont été parmi les premiers peuplements établis autour du Tigre et de l'Euphrate où se pratiquait déjà l'agriculture irriguée. La prospérité d'un peuple déclarait, il y a près de 4000 ans, Hammourabi, le sixième roi et fondateur de la première dynastie de Babylone dépend de l'irrigation. Le barrage légendaire de Yethreb au Yémen, un autre près du Nil sont considérés comme les premiers grands ouvrages de stockage d'eau. L'écope, le chadouf et la roue hydraulique ont été des inventions ayant favorisé le développement et l'invention des actuelles pompes hydrauliques. Beaucoup d'historiens soulignent assez clairement la corrélation entre la maîtrise de l'eau et la force des empires, devenus de véritables sociétés hydrauliques. La pratique de l'irrigation a assuré la longévité socio-économique de ces peuples en garantissant des surplus de production qui renforcèrent leur sécurité et leur prospérité. En revanche, l'irrigation mal maîtrisée avait engendré la désertification et la décadence.

Ce désir d'asservissement de l'eau n'est pas un fait isolé, il s'étend en effet à d'autres éléments de l'environnement humain. La nature et ses bouleversements posaient déjà trop d'énigmes à l'esprit des alchimistes Grecs, Romains, Chinois, Musulmans et d'autres, ce qui les a amené à définir les relations entre le Feu, l'Air, l'Eau et la Terre. En témoigne l'hypothèse d'Empédocle d'Agrigente, au milieu du V^{ème} siècle av. J-C qui considéra que ces quatre éléments répondent aux apparences et aux états de la matière: La terre est le principe et le support de l'état solide et de la sécheresse. L'eau, obtenue soit par fusion ignée soit par dissolution est le principe et le support de l'état liquide et du froid. L'air, celui de l'état volatil et gazeux. Le feu, plus subtil, répond à la fois à la notion de fluide éthéré, support symbolique de la lumière, de la chaleur, des affinités (PNUE, 2003).

Les peuples sont devenus des agriculteurs artistes qui utilisaient tout leur potentiel sensoriel dans la production et la prévention. Leurs pieds arpentaient le sol, leurs yeux scrutaient le ciel et leurs mains caressaient le fruit. Cette expérience a été peu à peu oubliée au profit de la machine qui a réduit le contact direct de l'agriculteur et son impact sur le processus de production. Son art, sa force et son endurance sont légués à la machine et à la technologie. L'agriculture intensive a certes fait croître la production mais elle est de plus en plus remise en cause du fait de son impact négatif sur l'environnement et autres domaines socio-économiques. L'agriculture biologique est devenu un label à grande valeur ajoutée.

L'ERE DE LA MECANISATION

Pendant des millénaires, l'agriculture a été quasi autonome sur le plan énergétique et garantissait même la production de l'énergie. Jadis, il fallait 500 heures de dur labeur pour obtenir une tonne de céréales en culture manuelle et 400 heures en culture attelée, alors qu'en agriculture moderne, il n'en faut guère que 2 heures. Mais, cela requiert un investissement conséquent en capital, en technicité et surtout en énergie.

La relation de l'agriculture (et de tout développement) à l'énergie est de plus en plus étroite. L'introduction de la machine a constitué un tournant dans les pratiques agricoles et la productivité. Un modèle de vie vient d'être inventé. La puissance développée par travailleur est multipliée par cent et le temps de travail s'est considérablement réduit. La célérité est devenue un facteur prépondérant. Pour récolter 1 ha de céréales, il fallait 100 heures à la faucille en l'an 1800, 25 heures à la faux en 1850 et 3 heures en 1900 avec la faucheuse-lieuse à traction animale. De nos jours, l'opération se fait en moins d'une heure à la moissonneuse batteuse. Entre 1800 et aujourd'hui, le rendement à l'hectare a par ailleurs septuplé.

En Europe occidentale, ce n'est que depuis peu de temps que l'homme se trouve à l'abri de la famine et des épidémies et c'est dès le XVIII^{ème} siècle que l'agriculture a pour support des pratiques scientifiques. On est tenté de croire qu'elle a banni à jamais la sous-alimentation dans les pays ayant intégré totalement les sciences agronomiques dans leurs complexes agro-alimentaires.

Aujourd'hui, l'agriculture a perdu son autonomie énergétique et désormais pour produire une calorie rendue-assiette, sachant que la ration énergétique d'un adulte est de 2700 à 3000 Cal/j, une dépense moyenne de 5,5 cal pétrole est nécessaire.

L'apport de la machine et des technologies nouvelles a réduit considérablement la main d'œuvre agricole et a modifié l'âme agricole de la campagne. Pour l'ensemble des pays, elle est en nette régression. Elle est passée de 48,9% à 46% entre 1990 et 1997 (FAO, 1997). En Afrique, elle a diminué en moyenne de 62,8 à 58,9% et en Europe de 10 à 9,6%. Bien que l'effort de l'Afrique est le plus élevé (5%), le niveau de mécanisation est resté en dessous de la moyenne mondiale. En revanche, la main d'œuvre est demeurée abondante dans les pays à agriculture traditionnelle avec un taux des plus élevé soit 93,3% pour le Népal et 84,6% pour la Guinée. Dans les pays développés comme la France, les USA ou l'Angleterre, la participation directe de la population est des plus faibles avec des taux respectifs de 3,9% à 2,3% et seulement 1,9%, pour l'année 1997. La mécanisation à outrance, l'automatisation et les nouvelles techniques ont imprimé cette tendance et ont libéré l'homme à d'autres fonctions. En Algérie, ce paramètre a évolué de 26,1% à 25%, se situant en dessous de la moyenne mondiale et loin des pays développés.

Il ressort que la moyenne mondiale est de 2 ouvriers par hectare, 7 ouvriers en Asie, 3 en Afrique, alors qu'en Europe 1 ouvrier pour 1,5 ha et 1 ouvrier pour 2 ha en Amérique. En Océanie seulement 1 ouvrier pour 25 ha est nécessaire.

UTILISATION DES EAUX ET DES SOLS

L'eau couvre 73% du globe terrestre. Les continents et l'atmosphère en contiennent des potentialités appréciables, mais la disponibilité de l'eau constitue un problème qui se pose avec acuité ces derniers temps.

L'hydrosphère englobe un volume d'eau estimé à environ 1,4 milliards de km³ dont 97,5% (1,365 milliards km³) représente les eaux salées (35 g/l de sels en moyenne) des océans et des mers. En revanche, l'eau dite douce, de salinité inférieure à 1 g/l, utilisée sans contrainte, représente une proportion de 2,5% soit 35 millions km³ dont 79% sont sous forme de glace et de neige et 21% est de l'eau courante et souterraine (7,35 millions km³.environ) Cette eau est répartie inégalement sur les continents, localisée dans des endroits inhabités ou à de grandes profondeurs dans le sous sol, permettant à une faible proportion (0,2%) soit 14.000 km³ d'être accessible pour le moment. Cependant, les spécialistes estiment que la quantité d'eau douce régulièrement disponible pour l'humanité totalise 9000 km³. La part utilisée par l'homme de ces potentialités naturelles, dites renouvelables, est un critère d'appréciation de la situation de pénurie ou de crise hydrique. Ces ressources disponibles dans une zone donnée se composent de quantité d'eau apportée par les précipitations et des débits fluviaux entrant auxquels on soustrait les quantités perdues par l'évapotranspiration. Ce bilan varie d'une région à une autre. Au Proche Orient et en Afrique du Nord, seuls 18% des précipitations et des débits entrants subsistent à l'évapotranspiration, alors qu'en Asie de l'Est, de climat humide, cette part atteint 50%. On considère que la part des disponibilités en eau devient un facteur critique lorsque 40% ou plus des ressources renouvelables sont utilisées, souvent par l'irrigation. Cette dernière consomme dans le monde 70% de toute l'eau prélevée pour les besoins humains. Le seuil de 40% et celui à partir duquel les pays sont contraints de faire des choix difficiles entre l'approvisionnement en eau de leurs secteurs urbain ou ruraux. Dans le continent africain l'agriculture consomme 88% des ressources en eau mobilisées. Au Moyen Orient et en Afrique du Nord le niveau atteindrait 58% en l'an 2030. Parmi les 93 pays en développement étudiés par la FAO (2004), 10 utilisaient déjà plus de 40% de leurs ressources en eau renouvelables entre 1997 et 1999. Un groupe de 8 autres pays utiliseraient plus de 20%, une limite qui est considérée comme indiquant une menace de pénurie d'eau. D'ici l'an 2030, l'Asie du Sud aura atteint ce seuil et d'autres pays l'auront dépassé et un pays en développement sur cinq sera sujet à une pénurie d'eau effective ou imminente (FAO, 2004). La Libye et l'Arabie Saoudite utilisent déjà

annuellement plus d'eau pour l'irrigation que n'en dispose leur potentiel de ressources renouvelables, en puisant sur les réserves fossiles d'eau souterraines.

Les superficies irriguées, à l'échelle mondiale, sont évaluées à 264 millions d'hectares soit 17% des 1,5 milliards d'hectares de superficies cultivées (surface agricole utile-SAU). Les superficies cultivables sont estimées par la FAO à 4,2 milliards d'hectares. Le détail par continent est illustré dans le tableau 1.

Tableau 1: Potentialités en superficies totales, agricoles et irriguées.

| Continent | Superficie Totale (Mha) | SAU (Mha) | % SAU/ST | S. irriguée (Mha) | % S.irrig/SAU | S. drain (Mha) |
|--------------|-------------------------|---------------|--------------|-------------------|---------------|----------------|
| Amérique | 3 798,6 | 370,5 | 09,75 | 40,75 | 10,99 | 64,56 |
| Asie | 3 001,9 | 527,3 | 17,56 | 183,51 | 34,80 | 54,72 |
| Europe | 2 172,7 | 290,9 | 13,40 | 23,46 | 8,06 | 46,06 |
| Afrique | 2 199,4 | 172,6 | 07,84 | 11,93 | 6,91 | 3,88 |
| Océanie | 801,1 | 53,9 | 06,72 | 02,66 | 4,93 | 2,17 |
| Monde | 13425,4 | 1497,4 | 11,15 | 271,68 | 18,14 | 190 |
| Algérie | 238,2 | 8,2 | 03,44 | 0,56 | 6,83 | - |

Il apparaît clairement, selon les chiffres de la commission internationale de l'irrigation-drainage (CIID, 2001), que l'Asie est le continent le plus irrigué, bien qu'il englobe assez de terres drainées. L'Amérique, la plus drainée n'est irriguée qu'à 11%. Ces deux continents (asiatique et américain) sont les plus bénéficiaires du réseau hydrographique mondial. Les trois premiers continents drainent plus qu'ils n'irriguent, semblant souffrir plus d'un excès d'eau que d'un manque. En Océanie et en Afrique, les surfaces irriguées aussi bien que drainées sont les plus faibles.

Les superficies de terres agricoles potentielles non exploitées sont évaluées à 2,8 milliards d'hectares, qui conviendraient à différents degrés de production de cultures pluviales et permanentes, ce qui représente le double de la superficie actuellement exploitée.

Les terres irriguées représentent le cinquième de la superficie totale agricole dans les pays en développement, fournissant les deux cinquièmes de la totalité de la production végétale et près des trois cinquièmes des céréales.

Les besoins alimentaires nécessitent une expansion de la superficie irriguée, estime la FAO, de 202 millions d'hectares entre 1997 et 1999 à 242 millions en 2030 (FAO, 2004). Depuis 1960, pas moins de 100 millions d'hectares de nouvelles terres irriguées ont été créés. L'irrigation dans les pays développés

représente le quart des superficies irriguées dans le monde. Le potentiel total d'irrigation dans les pays en développement est néanmoins estimé à quelques 402 millions d'hectares. Sur cette totalité, la moitié était exploitée entre 1997 et 1999, ce qui laisse un potentiel inutilisé de 200 millions d'hectares.

Les superficies irriguées utilisent 1500 km³ d'eau. Les plus vastes sont indiquées dans le tableau 2. Les pays où les superficies irriguées sont les plus vastes, les techniques d'irrigation sont dominées par l'archaïsme. Ces pays (Chine, Inde et Pakistan) totalisent à eux seuls 58% des terres irriguées dans le monde.

Tableau 2 : Superficies irriguées dans le monde

| Pays | Superficies irriguées (Mha) | % |
|-----------------------------|------------------------------------|------------|
| Chine | 76 | 28,8 |
| Inde | 44 | 16,2 |
| Europe | 31 | 12 |
| Autres pays | 30 | 11,2 |
| USA | 25 | 9,6 |
| Moyen Orient et Afr. Nord | 23 | 8,7 |
| Pakistan | 15 | 5,8 |
| Amérique latine et Caraïbes | 14 | 5,4 |
| Afrique subsaharienne | 6 | 2,3 |
| Total | 264 | 100 |

Les 264 millions d'hectares (17% de la SAU) assurent 40% de la production alimentaire en utilisant 1500 km³, des engrais et une bonne dose de technicité. La productivité d'un hectare irrigué est trois fois plus grande que celle d'un hectare en pluvial. Néanmoins, c'est l'agriculture pluviale qui garantit 60% de la production mondiale mais en utilisant 83% de terres agricoles. L'irrigation est donc un élément crucial pour les disponibilités alimentaires mondiales. Elle n'est pas la seule, la célérité de la croissance de la population, relativement à celle de la production, entraîne souvent le pays dans une situation de déficit alimentaire. La productivité agricole engendrée par un hectare irrigué dans les pays développés dépasse de deux à trois fois celle des pays en développement. Le rendement en céréales de l'Algérie, comparé à celui des pays ayant la même proportion de terre irriguée, est 10 fois plus faible que celui des Pays-Bas, 4 fois moins celui d'Israël et 3 fois moins celui du Liban dont les superficies irriguées sont respectivement 2 et 6 fois moins grandes que celle de l'Algérie.

En général, l'efficacité de l'eau est plus élevée là où la disponibilité de l'eau est plus faible. Cependant, en Amérique latine, elle n'est que de 25%. Elle est de 40% au Proche Orient et en Afrique du Nord et de 44% en Asie du Sud. La moyenne mondiale est de 38%. L'insuffisance de la production se traduira par la sous-alimentation de la population ou par une importation massive des produits agricoles. La production vivrière doit augmenter de 60% pour combler les déficits nutritionnels causés par la croissance démographique. L'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation à l'échelle mondiale doit augmenter en moyenne à 42%.

Les importations nettes de céréales par les pays en développement vont presque tripler au cours des 30 prochaines années et leurs importations nettes en viande seraient multipliées par cinq. La viande n'est autre que de l'herbe transformée.

LA SOUS ALIMENTATION

L'humanité est toujours confrontée à la cruelle réalité de la sous-alimentation chronique qui affecte plus de 800 millions de personnes. La majorité (17%) soit une personne sur dix est victime de la faim et se trouve dans les pays en développement, et cette proportion monte jusqu'à 34% en Afrique subsaharienne et encore plus dans certains pays pris individuellement.

La plupart des pays sont largement tributaire de l'agriculture en matière d'emploi et de revenu. L'agriculture est souvent un élément critique de leur stratégie d'amélioration de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la pauvreté. Les disponibilités alimentaires des pays en développement se situent entre 1 720 à 1 960 Calories par personne et par jour. Une ration qui sert juste pour assurer les fonctions métaboliques et une légère activité, alors que la moyenne mondiale individuelle a augmenté de un cinquième, passant de 2360 cal/jour dans les années 1960 à 2 800 Cal/jour aujourd'hui.

La proportion de personnes vivant dans les pays en développement dont la consommation alimentaire moyenne est inférieure à 2200 calories par jour est passée de 57% entre 1964 et 1966 à tout juste 10% entre 1997 et 1999 (FAO, 2004).

Les sources de croissance de la productivité sont liées à l'expansion des terres arables, l'accroissement de l'intensité culturale (fréquence des récoltes sur une même superficie) et l'amélioration des rendements.

Durant les années 1960 à 1999, cette amélioration des rendements est de loin la plus importante source de croissance de la production végétale mondiale; elle représente près de 78%. L'expansion des terres quant à elle a participé de 15% et enfin l'accroissement de l'intensité culturale a contribué pour sa part à 7% de cette production supplémentaire (FAO, 2004).

SITUATION EN ALGERIE

En Algérie, la disparité de la disponibilité des ressources hydriques est remarquable. Le Tell qui représente 7% de la superficie du pays enregistre 90% de l'écoulement total. Le reste du territoire est caractérisé par une aridité chronique. L'apport pluviométrique annuel est à hauteur de 65 km^3 dont 46 km^3 s'évaporent, 15 km^3 ruissellent et 4 km^3 s'infiltrent.

Les possibilités de mobilisation en 2010, estimées à $4,52 \text{ km}^3$, représenteront un taux de mobilisation de plus de 30% de l'écoulement moyen annuel mais demeureront insuffisantes pour satisfaire les besoins croissants (*Anonyme*, 1990).

L'analyse des variations des volumes des deux principales réserves d'eau souterraines au Sud du pays (albiennaise et complexe terminal) a montré que dès 1970, les nappes étaient en tarissement avec un prélèvement de $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Les niveaux piézométriques n'ont pas cessé de baisser, bien que les différentes simulations effectuées montrent qu'il est possible d'envisager une exploitation contrôlée jusqu'à $5 \text{ km}^3/\text{an}$ pour les deux nappes (*Anonyme*, 1990).

Les superficies irriguées s'élèvent à 498.430 ha soit 6,64% de la SAU et les terres irrigables à 1.154.000 ha (hors Sahara) dont 607.000 ha facilement irrigables et 547.000 ha irrigables moyennant des travaux. Les superficies concernées par la grande hydraulique, essentiellement les périmètres irrigués, varient entre 50.000 et 90.000 ha. Celles relatives à la moyenne et petite hydraulique vont de 230.000 à 260.000 ha dont 3% desservies par les retenues collinaires, 42% par les puits, 20% par les forages, 3% par les sources et 8% au fil de l'eau. L'épandage des crues concerne 24% des terres irriguées (*Anonyme*, 1990).

Par ailleurs, sur un total de 498.430 ha irrigués (*Anonyme*, 1997), les quatre wilayates du Sud s'accaparent 30% de la SAU irriguée. La wilaya de Biskra occupe la première place avec 13,24%, suivie de la Wilaya de M'sila avec 5,64% puis la Wilaya d'Adrar avec 5,54% et celle d'El Oued avec 5,3%. Ce sont particulièrement ces zones d'irrigation qui nécessitent une rénovation de leur technique d'irrigation sachant que l'agriculture pluviale est quasi impossible.

L'agriculture, telle que pratiquée depuis longtemps, a montré ses limites face à des besoins croissants et des changements fondamentaux y sont apportés régulièrement. Le ratio (SAU irriguée/habitant) n'a pas cessé de diminuer. De 0,009 ha/hab en 2000, il serait seulement de 0,005 ha/hab en 2025. Si les rendements agricoles ne s'améliorent pas et la superficie agricole (3,1% de la surface du pays) n'augmente pas, la dépendance alimentaire ne ferait sans doute que s'élargir.

EVOLUTION DE L'AGRICULTURE

Si en Algérie les terres au repos sont évaluées actuellement à 41,6% de la SAU, dès 1960 dans les pays développés, on ne parlait déjà plus d'assolement-rotation ni de jachère, selon le sens classique. Les terres peuvent être productives à plusieurs niveaux et tous les étages climatiques et les types de sols conviennent à un type de production. Cependant, sous la pression d'exigences naturelles, l'intensification et l'emploi abusif d'intrants a fini par poser de graves contraintes, d'où la nécessité d'une utilisation méthodique et rationnelle. Cet exemple reflète la persistance de deux types d'agriculture dans le monde, l'une moderne occupant de très grandes superficies, basée sur le progrès technique et sur la rationalité ayant entraîné de forts rendements et une qualité meilleure (labels) du produit au point où les agriculteurs ont laissé des parties de terres en friche pour maintenir leur rentabilité économique. L'autre est plutôt traditionnelle ne différant pas d'une conduite de jardinage, pratiquant encore l'écobuage avec de larges parts des exploitations en jachère et où il est quasi-impossible d'appliquer certaines techniques modernes. L'agriculture qui a longtemps caractérisé un état social est maintenant un métier réalisé dans une structure de production ayant le statut d'entreprise et cela change radicalement les réflexes de la société rurale. Il lui est désormais demandé d'accroître la productivité du travail et du capital. A cet égard, la consommation d'eau à l'hectare est considérée comme un indice de développement économique d'une nation autant que peut l'être la référence au produit national brut.

L'évolution technologique actuelle de l'agriculture avec en particulier le développement des biotechnologies et des nouvelles technologies de l'information laisse entrevoir que l'agriculture pourrait évoluer vers un modèle reposant davantage sur l'information et sur la maîtrise du processus du vivant par rapport à l'emploi des produits chimiques et de l'énergie fossile, le pétrole.

Il est même envisagé que l'agriculture puisse à nouveau fournir de l'énergie au reste de l'économie en produisant de l'alcool carburant à partir du blé, de la canne à sucre, de la datte ou de la betterave et du diester à partir du colza (PNUE, 2003).

TECHNIQUES D'IRRIGATION

Depuis longtemps et jusqu'au début du XX^{ème} siècle, les techniques d'irrigation sont restées immuables tant au plan des réseaux collectifs de distribution sous forme de canaux délivrant l'eau "au tour d'eau" aux exploitations, qu'au plan des différentes pratiques de l'irrigation gravitaire à la parcelle.

L'étude du continuum *eau-sol-plante-atmosphère* affine le calcul des besoins en eau des plantes et donc du volume global de l'eau d'irrigation et permet un

dimensionnement plus précis et plus économique des installations d'irrigation ainsi qu'une meilleure balance entre les besoins et les ressources en eau.

Au plan technologique, l'apparition d'une gamme variée de matériel, a amélioré les rendements hydrauliques alors que l'apparition de l'aspersion a permis l'extension de l'irrigation à d'autres terres. Dans les années 50, l'irrigation par aspersion se généralise avec l'introduction d'ailes mobiles d'arrosage équipées d'arroseurs rotatifs à moyenne pression et de moyenne portée. Ces installations vont permettre l'introduction d'un nouveau réseau collectif de distribution, en conduite sous pression, caractérisé par la distribution de l'eau à chaque lot d'exploitation.

Le passage d'une irrigation pluviale tributaire du calendrier de l'intensité et de la répartition des pluies et des inondations à l'irrigation d'appoint et intégrale a été un saut déterminant pour la production et la qualité.

L'agriculture irriguée doit produire plus de nourriture pour répondre à la croissance des besoins mais en utilisant moins d'eau, d'énergie et de capitaux. Jusqu'à présent, les superficies mondiales sont irriguées en grande partie traditionnellement en considérant que l'irrigation par submersion est de loin la plus dominante.

L'agriculteur a toujours considéré qu'irriguer copieusement la plante apporterait l'abondance de la récolte, ce qui explique en partie les réticences vis-à-vis du choix du goutte à goutte. Or, les inconvénients d'une irrigation traditionnelle, avec les pertes d'eau par évaporation et par percolation se traduisant aussi par la diminution de la concentration de l'oxygène au niveau des racines, la migration des éléments fertilisants en profondeur, constituent une source probable de pollution et de salinisation de la nappe. La superficie cultivée est pratiquement dans son intégralité mise à eau d'où une poussée abondante de mauvaises herbes, une destruction de la structure du sol et une érosion des terrains en pente.

Les deux questions classiques de l'irrigation conventionnelle (irrigation de surface et par aspersion) ont toujours été : quand irriguer ? Quel volume d'eau utiliser ?

A la première question, la micro irrigation fournit une réponse simple en assurant un arrosage aussi fréquent qu'il est possible de le faire et à la limite de façon continue. A la seconde question, la réponse est relativement complexe étant donné la variabilité du biotope. C'est la précision de la mesure de paramètres de cette dernière qui améliore l'efficacité.

L'eau apportée doit pénétrer dans le sol là où il en faut et humidifier un volume de sol limité uniquement à la rhizosphère à la portée des racines de la culture. Le bulbe humide ainsi formé renferme également les éléments nutritifs dosés et dilués dans l'eau d'irrigation prêts à l'absorption. L'irrigation essaye de répondre à un régime physiologique commandé par la croissance de la plante, son état de santé et les variations du milieu. L'activité métabolique de la plante qui garantit

la production agricole est la photosynthèse. C'est un processus fondamental connu par lequel les plantes vertes synthétisent la matière organique à partir du CO₂, de l'eau et de l'énergie lumineuse. Cette dernière se transforme en énergie chimique sous la forme de liaisons phospho-anhydres dans des molécules d'ATP (adénosine triphosphate). L'énergie est aussi utilisée pour arracher des électrons à des molécules d'eau et les transférer à des capteurs d'électrons telles les molécules d'NADP (nicotinamide adénine di-nucléotide phosphate). Les molécules d'ATP et de NADP fournissent l'énergie nécessaire à la synthèse d'hexoses (sucres à 6 carbones) et d'oxygène.

Le rôle de la température en tant que facteur externe et par induction comme facteur interne, est déterminant. Elle influence non seulement la photosynthèse brute mais également la respiration et les translocations des molécules.

A l'échelle de la parcelle, les besoins d'irrigation varient dans le temps principalement en relation avec les conditions météorologiques, lesquelles sont à leur tour influencées par l'arrosage.

Pour pouvoir suivre ces changements et y répondre de manière correcte, cela exige des mesures fiables, fréquentes ou de préférence continues alors que les paramètres de calcul des doses d'irrigation ont toujours été considérés comme constants en irrigation traditionnelle.

LE SYSTEME DE MICROIRRIGATION

Le reproche que fait *Hillel (Decroix, 1988)* aux chercheurs adeptes des techniques conventionnelles d'irrigation est le fait qu'ils se sont polarisés sur les sols à faibles teneur en eau, ce qui les a empêché pendant longtemps de découvrir les avantages potentiels d'un régime hydrique proche de la capacité au champ. Celui que l'on réalise par des apports d'eau lents et continus, directement dans la zone racinaire, est maintenu constamment dans une situation quasi idéale d'humidité et d'aération.

L'approche de ces chercheurs, qui possèdent sans doute des arguments solides, consiste à pousser la dessiccation du sol à son maximum sans subir des pertes de rendement de la culture. Ceci équivaut à espacer au maximum les arrosages c'est à dire l'inverse de la micro irrigation. En ce sens, la micro irrigation, ajoute *Hillel (Decroix, 1988)* a été vraiment une révolution qui semblait à de nombreux chercheurs en contradiction avec les expériences courantes.

Selon la théorie alors en vigueur, un bon régime d'irrigation était celui qui utilisait au maximum la capacité de stockage du sol, alors qu'en micro irrigation, c'est le niveau minimum (optimal) qui est considéré. Ce niveau a été arrêté par les expériences à 30% de la rhizosphère. Cette voie nouvelle est apparue seulement au début des années 60 avec la micro-irrigation. Les recherches se poursuivent pour réduire voire éliminer complètement ce volume

et répondre en temps réel aux besoins de la plante. La physiologie, la rhéologie, la météorologie et l'informatique sont parmi tant d'autres disciplines sollicitées pour accomplir cet objectif. Le modèle de la photosynthèse, tenant compte de la température et du taux de gaz carbonique, pourrait être associé au modèle d'irrigation. Le pool des sucres pourrait aussi être intégré dans le modèle de croissance. D'immenses perspectives de recherche-développement sont envisagées dans ce sens. De nos jours, des réseaux d'irrigation sont informatisés, automatisés et commandés à distance. Leur fonctionnement est rendu sensible aux variations météorologiques locales contrôlées par des capteurs qui mesurent à la précision du centième de mm les très fines dilatations des dimensions du tronc ou de la tige de la plante, liées à l'état hydrique de la plante. Pour exemple, le diamètre des troncs d'arbre varie de 1 mm dans la journée avec un maximum vers 8h du matin et un minimum vers 6 h de l'après-midi (PNUE, 2003). Ces bio-programmateurs concernent également les mesures du potentiel foliaire et la température du feuillage. Des capteurs peuvent être placés dans la rhizosphère pour fournir des informations sur la fertilité chimique, physique ou hydrique et restituer automatiquement les déficits en eau et en éléments nutritifs de manière très précise. Et non moins importante est la possibilité d'injecter des produits chimiques dosés dans les eaux d'irrigation, ce que l'on appelle *chimigation*, *fertigation*, *pestigation* et *insectigation*.

L'irrigation biologique à l'aide de bactéries hydrophyles ou de champignon vivant en symbiose et qui captent les molécules d'eau dans le sol pour les fixer, à la manière des azotobacters sur les racines d'où ils pompent leurs aliments, serait une véritable révolution si elle se produisait.

Il faut préciser que ces idées n'ont pas la même importance en irrigation conventionnelle qui a pour objectif de remplir la réserve du sol (RU) laquelle se charge de tamponner les variations climatiques et physiologiques. L'hydroponie qui combine ce principe avec la rationalité est une technique hybride entre l'irrigation de surface et la micro irrigation. Le but de l'irrigation étant d'optimiser et non de maximaliser la croissance des racines en relation avec la partie aérienne. Cependant, il est encore difficile d'apporter une réponse claire à cet optimum insaisissable qui dépend de l'irrigation rapporte Hillel (Decroix, 1988).

La technique de la micro irrigation est née de l'effet synergique lié à l'apparition de matériau en plastique bon marché, durable et adapté à la fabrication de capillaires ensuite à des goutteurs et des gaines. Les gaines poreuses ou perforées agissant comme des sources linéaires ou ponctuelles selon le cas, sont devenues un matériel consommable, le temps d'une campagne agricole. De très nombreux modèles de goutteurs, de mini-diffuseurs et de micro-asperseurs sont actuellement disponibles sur le marché.

Il faut cependant signaler que bon nombre de ce matériel n'obéit pas aux critères de normalisation de l'ISO (International Standardization Organization) correspondant à la micro irrigation. Les caractéristiques techniques de certains

matériels rapportées par les fabricants et commerçants ne correspondent pas toujours à la réalité des résultats obtenus par les laboratoires et centres d'homologation.

Le coût élevé de l'eau et de l'énergie, conjugué à la nécessité d'étendre l'irrigation à des sols classés marginaux, hydromorphes ou désertiques, ont constitué des arguments suffisants pour le choix de la micro irrigation. La technique permet ainsi de démystifier le spectre de la pénurie d'eau et d'étendre l'utilisation aux eaux jusque là impropres à l'irrigation, telles les eaux saumâtres et les eaux usées épurées.

Comme tout apport nouveau, la micro irrigation a rencontré des rejets sinon de l'indifférence, comme elle a été comblée de louanges exagérées suivies d'expériences non réalistes et superficielles, ce qui a provoqué des désillusions et des préjugés. Bien qu'il ait été démontré que les plantes maintiennent une croissance normale dans moins de 30% du volume humidifié de la rhizosphère, pourvu que les quantités d'eau et d'engrais nécessaires soient apportées en quantités suffisantes dans ce volume réduit, le fait que le bulbe humide concerne une faible partie de la rhizosphère constitue une contrainte et une limite à la technique de micro irrigation, en ce sens que la culture devient sensible et vulnérable à de faibles variations d'humidité et d'éléments nutritifs. Cette caractéristique exige un dimensionnement et un fonctionnement rigoureux du réseau et une quelconque imprécision ou interruption dans les doses d'irrigation induit des répercussions fatales.

La nécessité de réduire les coûts d'équipement, de fonctionnement et le désir de garantir des rendements élevés et des produits agricoles de meilleure qualité ont justifié et augmenté l'intérêt de la technique de micro irrigation. La complexité de ces modèles et leur enchevêtrement peuvent s'avérer très théoriques ou académiques mais elles ont bien des conséquences pratiques sur le terrain.

Aujourd'hui, on peut constater que la micro irrigation s'est progressivement développée et diversifiée en occupant de vastes superficies pour s'imposer en tant que système d'irrigation technologiquement avancé et hautement sophistiqué.

Les superficies dotées de systèmes de micro irrigation occupent dans le monde (Abbott, 1988) plus de 1.082.000 ha répartis tel que le montre le tableau 3.

Tableau 3 : Répartition des surfaces équipées en microirrigation dans le monde

| Pays | Superficie en micro-irrigation (ha) | Pays | Superficie en micro-irrigation (ha) |
|-------------|--------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|
| USA | 392.000 | Australie | 59.000 |
| Israël | 127.000 | France | 51.000 |
| Espagne | 112.000 | Portugal | 24.000 |
| Afrique Sud | 102.000 | Italie | 21.000 |
| Egypte | 68.000 | Brésil | 20.000 |

Certains pays, comme l'Algérie dont la superficie est de 60.000 ha, ne sont pas représentés.

D'autres pays comme la Jordanie, la Chine, Taiwan et Chypre ont un peu plus de 10.000 ha. Par ailleurs, il y a lieu de noter que de 1981 à 1986, les superficies ont plus que doublées dépassant 1 million d'hectares, soit 0,5% de la superficie mondiale irriguée.

En Allemagne, il a été remarqué qu'avec une extension des superficies irrigables de 30%, les besoins en eau pour l'irrigation ont diminué d'environ 85%. Cette forte régression de la consommation d'eau est attribuée exclusivement à l'introduction des méthodes d'irrigation modernes et en première ligne la micro irrigation.

Dès 1969, *Goldberg et Shmueli (FAO, 1973)* ont constaté que les expériences réalisées en Israël ont pu montrer que le goutte à goutte, comparé à l'aspersion et à la raie, permet d'augmenter les rendements de 30% avec les mêmes volumes d'eau d'irrigation. Par ailleurs, en appliquant trois méthodes avec une eau titrant 0,54 g/l de sels, la micro-irrigation a provoqué un supplément de récolte de plus 50% alors qu'avec une concentration de 2,5 g/l, la réduction a été de 14% pour le goutte à goutte, 54% pour la raie et 94% pour l'aspersion.

A Hawaï, le goutte à goutte a sauvé l'industrie sucrière menacée de disparition en raison de l'effondrement des cours mondiaux, en réduisant les coûts de production et en augmentant les recettes. Le taux de sucre a été relevé à 22% et la consommation d'eau a chuté de 25% avec 78% de réduction de main d'œuvre par rapport aux exigences de la raie (*FAO, 1973*).

L'utilisation du goutte à goutte avec une eau de nappe salée, a permis la création d'une forêt entière de 4000 ha et la stabilité de plusieurs dunes de sable dans l'Emirat d'Abu Dhabi. Le succès de la micro irrigation dans le sud de la

Californie est dû en partie à la teneur relativement élevée en sels des eaux du fleuve Colorado (*Decroix*, 1983).

Les Français ont même tenté des expériences sur les forêts en les irriguant avec de l'eau usée épurée et les résultats ont été spectaculaires.

Aux USA, une superficie de 48000 ha de canne à sucre a été irriguée au goutte à goutte. Il a été constaté un bonus de 22% de récolte brute et 26% de sucre en plus. Le rendement obtenu sur la tomate est de 82,5 t/ha contre 65 t/ha à la raie soit 27% de plus, avec 35% d'eau en moins.

Le vignoble a montré une grande sensibilité à la micro irrigation, ainsi le rendement du raisin de table en Australie a augmenté de 43% en utilisant l'aspersion et 98% en micro irrigation. La vigne a fourni 53 q/ha à 11°8 de degré alcoolique en micro irrigation contre 17 q/ha en sec et à 11°5.

Aux Caraïbes, des bananiers ont donné 40 t/ha au lieu de 10 t/ha en sec (*FAO*, 1973).

Plusieurs autres expériences ont confirmé l'impact de la micro irrigation sur des cultures diversifiées. Le cas de l'expérience Chinoise est singulier dans le sens où l'irrigation d'appoint du blé a été réalisée par une rampe mobile de 30 m déplacée manuellement sur 120 m (*Decroix*, 1988).

Pour l'ensemble des pays, la répartition des superficies équipées en micro-irrigation concerne surtout celles qui sont occupées par les cultures arboricoles consommatrices d'eau. L'affectation de la technique de micro irrigation par spéculation est de 55% pour les cultures fruitières, 16% pour les cultures maraîchères, 13% pour la vigne, 12% pour les grandes cultures et 1,5% pour les cultures florales (*Decroix*, 1988). Les réactions d'un verger relatives au changement du système d'irrigation ont été également expérimentées.

En effet, l'adoption du goutte à goutte dans des vergers adultes précédemment arrosés selon les pratiques de couverture totale n'a nullement nui et il n'a été décelé aucune réaction présumée des arbres qui se sont adaptés rapidement au nouveau régime d'humidité.

En Algérie, la micro irrigation est à ses débuts. Elle a été introduite et implantée dans quelques zones de manière disparate sans une prise en charge sérieuse par les services concernés et sans l'implication directe des spécialistes. Selon les informations non officielles, glanées ici et là, elle couvrirait actuellement quelques milliers d'hectares localisés en majorité dans le Sud du pays et dans les zones dominées par les cultures sous serres. Selon les fournisseurs du matériel de micro irrigation, la demande est croissante et l'offre ne suffit guère.

En considérant les superficies actuellement irriguées, celles potentiellement aptes à la micro irrigation et en prenant un taux de 50% de la superficie occupée par les cultures maraîchères (soit 20% de la SAU irriguée), 50% de la superficie des cultures fruitières (19% de la SAU irriguée), 50% de la superficie des

cultures industrielles (2,5%) et 50% de la superficie irriguée occupée par la vigne (0,5%), on totalise 42% de la SAU irriguée nationale. Ce chiffre peut être relevé à 80% en y associant d'autres cultures (sous serre et palmiers). Il constitue 54% de la superficie des grands périmètres irrigués dominés par une irrigation classique déficiente. L'économie d'eau avoisine le milliard de m³ sur les volumes actuellement distribués, ce qui permettra de doubler la SAU irriguée et accroîtra les rendements agricoles d'au moins 30%.

CONCLUSION

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés. La micro irrigation est le niveau actuel de l'évolution de l'irrigation qui conviendrait à contrer la menace de pénurie d'eau et de pollution tout en augmentant les rendements agricoles. Elle ne s'applique pas à toutes les cultures, néanmoins elle permet une grande économie d'eau et de fertilisants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBOTT J.S. (1988). Micro irrigation. Bulletin CIID, vol. 37 n°1.
- ANONYME (1990). Stratégie de la gestion des eaux dans le bassin méditerranéen. Actes de la conférence ministérielle Horizon 2000. Ministère de l'équipement, Algérie, 174 p.
- ANONYME (1997). Agriculture par les chiffres. Ministère de l'agriculture, Algérie
- DECROIX M. (1983). Technologie de l'agriculture. Cemagref, n°503, 60p.
- DECROIX M. (1988) La micro irrigation dans le monde. CEMAGREF, 208p
- FAO (1973). L'irrigation goutte à goutte. Bulletin irrig. drain. FAO n°14, Rome, 146p.
- FAO (1997). Annuaire de la FAO, vol.5, n°142
- FAO (2004). Agriculture mondiale-Horizon 2015-2030, ed. FAO, 94P.
- PNUE (2003). Géo-annuaire 2003. Ed. PNUE, 74P.