

## Restauration de sols volcaniques dégradés de l'altiplano mexicain par plantation d'agaves, d'herbes et d'arbres

**Prat Christian<sup>1</sup>, Martínez Palacios Alejandro<sup>2</sup>, Ríos Patrón Eduardo<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>IRD, Laboratoire Population, Environnement, Développement (LPED), UMR 151, Aix-Marseille Université/IRD, Marseille, France, [christian.prat@ird.fr](mailto:christian.prat@ird.fr);

<sup>2</sup>UMSNH, Inst. Inves. Agropecuarias y Forestales (IIAF), Morelia, Mich., Mexique, [apalacios56@gmail.com](mailto:apalacios56@gmail.com);

<sup>3</sup>SEMARNAT Delegación Michoacán, Unidad de Planeación y Política Ambiental, Morelia, Mich., Mexique, [eduardo.rios@semarnat.gob.mx](mailto:eduardo.rios@semarnat.gob.mx)

### Résumé

Dans l'état du Michoacán au Mexique, 55% des terres sont dégradées, dont 27% à cause de l'érosion hydrique. Le bassin versant de Cointzio situé en amont de Morelia, la capitale régionale, au cœur de l'altiplano mexicain, est représentatif de cette situation. Au cours de la dernière décennie, des programmes de recherches pluridisciplinaires ont été menés dans cette région. Sur la base des résultats obtenus, un programme participatif (DESIRE) a été mené, associant chercheurs, communautés paysannes, institutions et politiques afin d'aboutir à des propositions visant à limiter l'érosion hydrique et à restaurer des terres déjà dégradées. La proposition retenue est une association entre une agave endémique (*A. inaequidens*), des arbres locaux à usages multiples et des annuelles médicinales. Ces plantes grandissent pendant un an sous serres, gérées par les communautés. Ensuite, les agaves sont plantées d'une part de façon dense en courbes de niveaux afin de créer un système antiérosif qui s'auto-entretiendra et d'autre part, de façon plus espacée en association avec des arbres et des plantes annuelles. Ces agaves seront coupées au bout de 7 à 14 ans, remplacées par de nouvelles plantes. Après transformations, elles fourniront du mezcal (alcool) dont le prix est 10 fois plus élevé que celui du maïs cultivé traditionnellement! Grâce à ces revenus confortables, les communautés paysannes n'auront plus besoin de fuir leurs terres et auront les moyens de gérer leurs ressources de façon durable, de sauvegarder la biodiversité, protéger et restaurer les sols.

**Mots clés:** agave-foresterie, réhabilitation sols dégradés, actions participatives, Mexique.

### Abstract

On the Michoacán state in Mexico, 55% of the surface is degraded, 27% due to water erosion. The Cointzio watershed, located upstream of Morelia the regional capital, in the middle of the Mexican altiplano, is representative of this situation. During the last decade, multidisciplinary research programs have been conducted in this area. Based on this results, a participatory program (DESIRE Desertification mitigation and remediation-land) was conducted, involving researchers, farmer communities, institutions and politics to lead proposals to reduce erosion and restore soils already degraded. The selected proposal is the agave-forestry based on the association between an endemic agave (*A. inaequidens*), local trees multipurpose and medicinal annuals. These plants grow for a year in greenhouses, managed by communities. Then, agaves are planted, some in dense contour lines to create an anti-erosion system self-maintain and the others, with more space, in association with trees and annuals. These agaves are harvested after 7 to 14 years, replaced by new one. After processes, they provide mezcal (alcohol) whose price is 10 times higher than traditionally grown corn! With these comfortable incomes, rural communities will no longer need to leave their land and have means to manage their resources in a sustainable way, preserve biodiversity, protect and restore their soil.

**Keywords:** agave, forestry, land remediation, participative action, intercropping, Mexico.

## Introduction

L'état du Michoacán, localisé à 150 km à l'est de Mexico est un des états du Mexique particulièrement touchés par la dégradation de ses sols: 55% des sols y seraient dégradés, dont 27% à cause d'érosion hydrique (SEMARNAT & COLPOS, 2003). Situé juste en amont de la ville de Morelia, capitale de l'état du Michoacán, le bassin versant du lac de Cointzio couvre plus de 650 km<sup>2</sup> et est situé en plein cœur de l'altiplano. Il est à ce titre très représentatif des conditions humaines et environnementales qui existent dans cette partie du Mexique, une des plus peuplées du pays. Des travaux menés au début des années 2000 (Mendoza *et al.*, 2010) montrent que l'érosion et la dégradation des sols sont généralisées sur l'ensemble du bassin versant du lac de Cuitzeo (4 000 km<sup>2</sup>) dont fait partie celui de Cointzio. La cartographie des indicateurs de dégradation des sols menée sur l'ensemble du bassin de Cointzio (Alcala *et al.*, 2012) montre que les zones les plus érodées se localisent sur les piedmonts, souvent en amont et à proximité des villages. Elles correspondent le plus souvent à la réserve foncière de terres de l'ejido<sup>1</sup> et dont l'usage est libre aux membres de la communauté. Ces terres étaient déjà souvent dégradées au moment de la réforme agraire menée dans les années 1940 et ne représentaient pas alors des enjeux économiques contrairement à aujourd'hui.

Ces zones érodées ont aussi des impacts régionaux. Les sols décapés et les ravines peu perméables (Bravo *et al.*, 2009), génèrent à chaque pluie un ruissellement, qui peut provoquer des inondations en aval. De plus, ces crues transportent les sédiments accumulés en fond de ravines et dans les rivières, et se retrouvent très rapidement dans le lac de barrage de Cointzio (Evrard *et al.*, 2010). Il faut alors arrêter le prélèvement d'eau afin de ne pas boucher les filtres de la station de traitement, car c'est près de 20% des besoins en eau potable de la ville de Morelia qui sont ainsi couverts. Des quartiers de la ville se retrouvent alors sans eau pendant plusieurs heures.

C'est dans ce cadre que le programme européen DESIRE (2007-2012) et "Bassin versant Lerma-Chapala" de la SEMARNAT, ont étudié la dégradation du milieu afin de proposer des alternatives pour réduire les causes et processus conduisant à l'érosion des sols et récupérer les parties dégradées du bassin versant de Cointzio. Ce travail a été mené dans le sous-bassin versant représentatif "Potrerillos-El Calabozo", de façon participative avec l'ensemble des parties prenantes locales : habitants des communautés concernées, autorités et organisations locales, régionales, nationales et scientifiques.

### 1. Le milieu : le sous bassin versant "Potrerillos-El Calabozo"

Au sein du bassin endoréique du lac de Cuitzeo (4 000 km<sup>2</sup>), celui de « Potrerillos-El Calabozo » situé à 20 km à l'est de Morelia, capitale de l'état du Michoacán, et à une dizaine de kilomètres du lac de barrage de Cointzio, couvre 40 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Son relief marqué va de 3 500 m à 2 200 m, depuis le haut des volcans éteints couverts de forêts mixtes pins-chênes jusqu'à la plaine irriguée et intensément cultivée. Entre ces deux secteurs, c'est la zone de piedmont qui prédomine avec des usages liés aux sols et aux climats : Andosols et Cambisols andiques sous forêts et pâturages en haut de piedmont, Acrisols associés localement à des Cambisols andiques sous forêts très dégradés, matorrals, agriculture pluviale d'autosubsistance reposant sur le système d'une année cultivée et l'autre en jachère pâturée. Le climat est de type tempéré subhumide à saison sèche marquée et à pluies d'été, avec des températures journalières variant de 7° en janvier à 17°C en juin. Les gelées sont fréquentes entre octobre et mars. Le climat est plus humide sur les hauteurs (type C(w1)(w) selon Köppen modifié par Garcia) avec près

<sup>1</sup> Ejido: terme désignant les communautés rurales à qui l'Etat a attribué des terres des latifundios suite à la révolution de 1910. Ces terres sont la propriété de la communauté et mises à disposition de ses membres.

de 1 200 mm an<sup>-1</sup> qu'en piedmont et en plaine (type C(w2)(w)) avec 800 mm / an et où la saison sèche est beaucoup plus marquée (6 mois d'octobre-mai / 3 mois de février- avril).

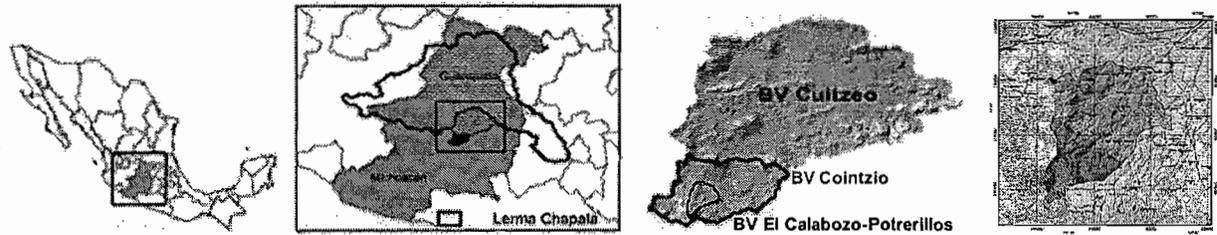


Fig. 1. Localisation du bassin versant Lerma-Chapala, qui inclut celui de Cuitzeo, incluant lui-même celui de Cointzio au sud, lequel englobe celui de El Calabozo-Potrerrillos

Si l'érosion qui touche les Andosols et les Cambisols andiques est limitée et de type diffus (Prat *et al.*, 2011) donc peu visible, il en va tout autrement dans le cas des Acrisols. Ces sols formés à partir de l'altération de coulées ou de tufs de basalte andésitique, laissent affleurer ces roches en cas d'érosion extrême sous forme de ravines voire même de ravins profonds de plusieurs dizaines de mètres. Bien que très altérés, ces matériaux restent durs et difficiles à pénétrer par les racines des plantes. Dans le cas des Acrisols décapés de leur horizon supérieur fertile, ce sont les horizons B et même (C) qui affleurent et qui sont pratiquement stériles: pas d'azote ni de carbone, taux d'argile extrêmement élevé (>60%), très compact, CEC très faible, activité biologique pratiquement nulle... Ces conditions extrêmes, encore aggravées par 6 mois sans pluies, expliquent les difficultés d'installation et de croissance de la végétation naturelle. Quant à la production agricole, elle est impossible selon les techniques traditionnelles. Les sols les plus érodés (classés comme Lithosols), pratiquement sans végétation, jouent le rôle d'impluvium. Leur compacité empêche l'eau de s'infiltrer et favorise leur concentration, provoquant de profondes ravines au niveau des ruptures de pente. Ces profondes balafres marquent le paysage de façon spectaculaire (photo 1). Ces zones érodées distribuées en tâches dans le paysage couvrent près de 10% de la zone étudiée et sont localisées principalement sur la partie basse des piedmonts, souvent à proximité des villages (Servenay & Prat, 2003).

Le sous bassin «Potrerillos-El Calabozo» est occupé par 10 communautés rurales, reliées entres elles par une route et qui sont situées dans les limites de la ville de Morelia, sauf une qui dépend de la ville d'Acuitzio del canje. Le village de Potrerillos est au centre de ce bassin (101°40'19''O; 19°29'49''N, 2260 m). Ces communautés comptent de 50 à 600 habitants. 10% de la population est analphabète contre 30% au niveau national. Les revenus économiques tournent autour du salaire minimum (MICAS, 2004). Seuls 10 à 20% de ces revenus sont issus de l'agriculture. Les envois d'argent des membres de la famille émigrés aux USA, du travail en ville et les programmes sociaux d'aide constituent les sources principales de revenus. Il ne s'agit donc pas de communautés marginalisées et d'extrême pauvreté, mais simplement de communautés en situation précaire, très représentative des communautés rurales de l'altiplano mexicain (Gruffat & Prat, 2007).

Après avoir étudié, mesuré, analysé les causes, processus, dynamiques et ampleurs des différents phénomènes en jeu, de l'échelle du champ à celui des bassins versants (de 6 km<sup>2</sup> à 650 km<sup>2</sup>) pendant plusieurs années (REVOLSO, 2007; STREAM, 2010; DESIRE, 2012), des options et propositions ont été élaborées dans le cadre de travaux participatifs associant les communautés rurales du bassin de Potrerillos-El Calabozo. Plusieurs d'entres elles sont relativement classiques (labour minimum, contrôle des ravines, gestion du bétail, production fourragère, pratiques agricoles, etc.). Toutes ont été faites de façon holistique, c'est-à-dire en étant complémentaires les unes avec les autres, tant à l'échelle de l'espace, du temps, des sexes, de la santé, des ressources économiques disponibles et si possible, des institutions, des pouvoirs politiques et administratifs (Avila *et al.*, 2009). Si ces propositions ont été testées et utilisées par nombre de paysans, elles concernent

des champs en cours de dégradation mais pas les zones les plus dégradées. De plus, elles impliquent un investissement humain, technique et financier important, difficile à mettre en œuvre localement. Finalement, une proposition a émergée de l'équipe des chercheurs qui a été très rapidement acceptée et même plébiscitée par tous : l'agave-foresterie.

## 2. La place de l'Agave au Mexique et la production du Mezcal

La famille des *Agavae* s'étend du Canada au Paraguay, depuis le niveau de la mer jusqu'à 3 500 m d'altitude, en milieu aride à semi-humide et sur tous types de sols, même pauvres. C'est au Mexique que l'on compte le plus d'espèces (217 espèces sur les 288 recensées en Amérique) dont 55% endémiques (García-Mendoza & Galván, 1995). Cette biodiversité pourrait être liée à l'action de l'Homme qui au cours des derniers millénaires, aurait sélectionné des lignées d'agaves en fonction de ses intérêts : construction, clôture, médicinale, hygiène (saponine), vestimentaire (fibres), utilitaire (cordes, protection) et bien sûr alimentaire (Homme, bétail) (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2007); García-Herrera *et al.*, 2010). C'est également le cas de l'association agave (utilisée comme barrière antiérosive) et maïs/haricot/courgette (production alimentaire) qui a été attestée à maintes reprises au Mexique (Aliphath & Werner, 1994). La forme alimentaire des agaves la plus connue dans le monde, est probablement l'alcool qui en est tiré, connu sous les noms de mezcal et de tequila (qui est une variante du mezcal). De fait, ces deux alcools constituent des enjeux économiques de plusieurs milliards d'euros par an. Bien que les agaves soient indissociables de la société mexicaine, tant hier qu'aujourd'hui, cela ne signifie pas pour autant que leur gestion soit menée de façon durable en respectant les sols, ni que nous sachions tout de leur mode de culture: de nouvelles voies restent à explorer.

Sur les 162 000 ha où l'agave est collectée, seules 10% sont cultivées. Or, comme pour la tequila, la demande de mezcal a explosée ces dernières années. La cueillette des agaves sauvages s'est donc accrue d'autant, entraînant parfois leur disparition dans certains secteurs du Mexique (Martinez *et al.*, 2009) Une des alternatives à cette situation, est la conversion de terres cultivées ou non, à la culture d'agaves. Cela peut se faire, soit en suivant le modèle industriel mis en place pour la tequila avec toutes les conséquences négative pour l'environnement et les communautés que cela implique, soit de façon durable, telle que l'agave-foresterie que nous préconisons.

Afin d'ajouter une plus-value à ce produit d'exception, des producteurs de mezcal ont obtenus la dénomination d'origine (D.O.) de leur produit en 1994. Malheureusement, seules quelques régions du Mexique étaient concernées. Les 11 000 producteurs du Michoacán exclus de cette D.O. ont finalement réussi fin 2012, à étendre le territoire certifié à une vingtaine de municipalités, dont celles du bassin versant de Cointzio. Or, l'obtention de cette norme, permet de multiplier de 2 à 4 fois le prix de vente d'une bouteille de mezcal par rapport à une autre non certifiée. Les revenus tirés de ces activités seront extrêmement élevés. Ni les agriculteurs ni leurs enfants, n'auront intérêt à abandonner leurs communautés en allant émigrer. Ils auront alors le temps et les moyens économiques de bien gérer et de protéger leur environnement.

## 3. L'agave-foresterie : une proposition nouvelle de développement durable

Le but principal de l'agave-foresterie est de parvenir à la réhabilitation durable des terres, tout en générant des revenus élevés pour les agriculteurs. Cela leur permettra à terme de réduire le nombre de bovins et la pratique du pâturage incontrôlé, principales causes de l'érosion des sols dans cette région. Les sols seront également protégés par les arbres et plantes annuelles, ainsi que par la litière qui se formera au cours des années. On passera progressivement d'un sol érodé stérile à un sol productif qui aura capturé

beaucoup de carbone et accru la disponibilité en eau. L'augmentation de la biodiversité se fera par la plantation d'espèces locales comme l'*Agave inaequidens*, d'arbres tels que le cerisier noir du Mexique (*Prunus seronita*, var. *capuli*), des pins (*Pinus cembroides*, *Pinus michoacana*, *Pinus maximartinezii*), l'aubépine du Mexique (*Crataegus mexicana*), chérimolier (*Annona cherimola*), le néflier du Japon (*Eriobotrya japonica*) et d'herbacées telles que l'oeillet d'Inde (*Tagetes erecta*), ansérine ou thé du Mexique (*Chenopodium ambrosioides*), tournesol (*Helianthus annuus*), amarante (*Amaranthus leucospermus*), camomille\* (*Chamaemelum nobile*). Ces associations végétales sont efficaces pour contrôler leurs ravageurs et maladies. Ces plantes constituent également des ressources à des fins médicinales, alimentaires et fourragères. Elles sont donc un complément économique à la production d'agaves au cours des premières années de plantation. Ce sont les femmes qui s'occupent de ces plantes alors que la culture, la récolte et la transformation des agaves en mezcal, sont des activités masculines.

### 3.1. Les termes techniques de l'agave-foresterie à El Calabozo-Potrerrillos.

Le bassin versant de El Calabozo-Potrerrillos est caractérisé par la présence de *Agave inaequidens*, une des agaves endémiques de la région qui ne pousse qu'entre 1 500 et 2 000 m d'altitude, avec une pluviosité annuelle variant de 700 à 1 200 mm répartie sur 6 mois, de mai-juin à octobre. Contrairement à la plupart des agaves, *Agave inaequidens* se reproduit à partir de graines portées par une hampe florale de plusieurs mètres de haut qui apparaît à la maturité de la plante et qui signe son arrêt de mort qui arrive entre 7 et 14 ans, en fonction des conditions du milieu. Elle pousse aussi bien au soleil avec ses feuilles dressées vers le haut qu'à l'ombre avec les feuilles ouvertes et avachies sur le sol.

Dans le cadre du programme DESIRE (Schwilch *et al.*, 2012) associé à celui de la SEMARNAT «Manejo micro-cuencas» (2008), une proposition de récupération de sols dégradés par agave-foresterie a été élaborée en concertation avec des communautés paysannes du bassin versant de El Calabozo-Potrerrillos, puis mise en application depuis 2010 selon le schéma décrit ci dessous (Martínez *et al.*, 2010). Ce plan est en partie basé sur celui mis en place avec la communauté de Titzio, à 2h du site d'étude par A. Martínez-Palacios en 2002 (Martínez *et al.*, 2009) mais avec une autre variété d'agaves endémiques (*A. cupreata*) que celle utilisée ici (*A. inaequidens*). En 2010, les premiers litres de mezcal ont commencé à couler à Titzio... (Photos a à c).



Le même champs d'agaves a/ 2 ans, b/ 4 ans, c/ 7 ans après sa plantation (Photos a, b: Martínez A; c: Prat C.)

Les graines ont été récoltées sur quelques plantes situées dans des secteurs éloignés les uns des autres et géolocalisées précisément. Lors des prochains prélèvements, on pourra ainsi choisir d'autres sites, ce qui permettra de maintenir la diversité génétique des souches, même si en fait, la diversité génétique des graines est très élevée naturellement. Chaque agave produit plus de 80 000 graines. Semées sous serre, plus de 90% des graines ont germées. Au bout de 3 mois, les plantules ont été transplantées avec plus de 90% de survie. Les semences d'une plante permettent donc de couvrir plus de 25 ha de plantations dans le cadre d'une plantation d'agave-foresterie avec contrôle de l'érosion des sols.

La serre de 10 x 5 m a été construite grâce à l'aide financière de la SEMARNAT sur un terrain prêté par la communauté et pourvu d'eau. Elle est gérée par la communauté dont 2 membres sont responsables des plants. Parallèlement au semis des agaves, des arbres font aussi l'objet de semis. Les plants ont été disposés à l'ombre d'un filet à mailles denses, arrosés et fertilisés (17-17-17) régulièrement pendant 7 mois. En début de saison des pluies, les plantations dans les champs ont été effectuées. Les agaves ayant un système racinaire peu développé, un trou fait à la pioche de 30x30 cm est suffisant alors que pour les arbres il doit être de 50x50 cm. Plutôt que d'ajouter des fertilisants de synthèse, vite minéralisés, l'idéal est d'ajouter une poignée de compost à ce nouveau sol totalement dépourvu d'éléments fertiles au moment de la plantation.



Situation actuelle à la communauté de La Maïza, Morelia, Mich. d/ Acrisol érodé et *A. inaequidens*  
e/ Arrosage et maintenance des plants d'agaves e/ Plants d'agaves de 4 mois (Photos Prat C.)

Le schéma de plantation a 2 objectifs: 1/ récupérer les sols et les rendre productifs 2/ contrôler l'érosion hydrique. Dans le premier cas, l'agave foresterie permet de cultiver des agaves pour faire du mezcal et obtenir des produits issus des arbres et des annuelles. Les agaves sont plantées tous les 1,5x1,2 m soit 2 218 plantes ha<sup>-1</sup> avec des arbres tous les 6x6 m soit 545 arbres.ha<sup>-1</sup>. Dans le second cas, on installe un système antiérosif d'agaves densément plantées en courbes de niveaux, qui ne seront pas récoltées. Les agaves sont plantées en quinconce tous les 0,2 m sur 3 lignes espacées de 0,5 m (Fig. 2).

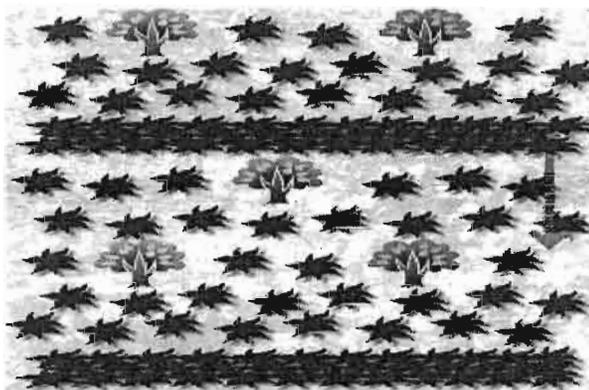


Figure 2. Schéma de plantation des agaves, des arbres et des lignes antiérosives d'agaves.

Il aura fallu une semaine avec 30 jours.hommes<sup>-1</sup> pour planter un hectare du fait de la difficulté de creuser des trous à la pioche dans le tuf volcanique induré affleurant et moitié moins de temps quand il s'agit d'Acrisols dégradés. Pour contrôler les ravines, des petits ouvrages en pierres sèches ( $\leq 3$  m de haut) ont été installés dans la zone de plantation. Celle-ci a été mise en défens via une clôture de fil de fer barbelé afin d'empêcher le bétail élevé de façon extensive, ne vienne détruire les plantations, non pas tant en mangeant les jeunes plants qui sont déjà pourvus d'épines, mais surtout de les détruire en les piétinant. L'idéal est de maintenir cette interdiction au moins les 3 premières années.

### 3.2 Un bilan économique extrêmement positif

Les récoltes concernant les arbres et herbacées seront faites chaque année, mais pour les agaves elle n'a lieu qu'une seule fois au bout de 7 à 14 ans. Quelques mois auparavant, la hampe florale doit être coupée. Les feuilles sont coupées et laissées sur le terrain. A la récolte, 2 hommes travaillant à temps partiel pendant 3 semaines, peuvent produire à partir de 20-25 cœurs de plantes de 60-70 kg chacun, 300 l de mezcal. Un litre en D.O. est vendu autour de 20 € contre moins de 5 € pour un mezcal non référencé. Ainsi, pour une densité moyenne de 1 200 plantes ha<sup>-1</sup>, le producteur peut espérer obtenir 30 000 € ha<sup>-1</sup>, soit 3 000 €.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> au bout de 10 ans! Ce chiffre est à rapporter aux 350 €.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> obtenu pour le maïs pluvial avec un investissement, du temps et des risques agroclimatiques conséquents contrairement à la culture durable d'agaves locales.

Il est également important d'inclure dans ce bilan, les bénéfices obtenus par la vente de plants d'agaves issus des serres communautaires (0,5 € le plant, et 200 000 plants produits chaque années), des plantes médicinales récoltées, et des fourrages économisés grâce à l'usage des feuillages des arbres complantés avec les agaves.

On voit donc immédiatement l'immense écart qui sépare les revenus issus de la culture de rente d'agaves à mezcal, de celle de cultures vivrières... et on comprend également l'intérêt et l'enthousiasme des petits paysans, suscités par nos propositions !

### Conclusion : une expérience participative prometteuse

L'étude du milieu naturel et humain, des expériences et des programmes de recherches menés au préalable dans la région, le travail d'échanges entre paysans, autorités, institutions, scientifiques ainsi que des financements sur le moyen terme ont permis de faire un bilan de la situation et d'élaborer des propositions de développement durable qui satisfont l'ensemble des partenaires, et en premier lieu les paysans. Contrairement à la majorité des projets, il ne s'agit pas d'améliorer sensiblement les ressources des paysans mais bien de leur apporter des ressources qui leur permettront de ne plus avoir à quitter leurs terres, ni eux, ni leurs enfants. Le futur étant chez eux, ils se donneront alors les moyens de préserver et de restaurer leur environnement. L'agave-foresterie est un des moyens de le faire et est garante de durabilité et de biodiversité.

Ce programme de réhabilitation des terres dégradées par agave-foresterie commencé en 2010, va se poursuivre au cours de la prochaine décennie. Des recherches sont menées comme le suivi de l'impact réel de ces aménagements et plantations sur la récupération du milieu et en particulier des sols (fertilité, capture du carbone..) l'étude de l'impact sur les sucres des plantes en fonction de leur position vis-à-vis de l'ombrage (plein soleil vs ombre), les problèmes de gouvernance des communautés dès que la production de mezcal, et donc de l'arrivée de la richesse économique, débutera... Le risque de vouloir transformer l'agave-foresterie en exploitation industrielle d'agaves n'est pas non plus à exclure. Le démon de l'argent l'emportera-t-il sur le développement durable ? L'avenir nous le dira !

### Bibliographie

Alcala De Jesus M., Ramos Gonzalez J.J., Medina Orozco L.E., Ramos Ramirez A.G., Prat Ch., Gonzalez Cortes J.C., Santiz Gomez R.E., 2012. Indicadores de degradacion en suelos de la cuenca de Coatzacoahuila, Michoacan. *In* : 19 CLCS, 16-20/04/2012, Mar del Plata, Argentina.

Aliphat Fernández, M., G. Werner, 1994. The tepetate of the central Mexican highlands: prehispanic and modern impact of agriculture and water management. *In*: 15th world congress of soil science, Acapulco, México, 12-16/07/94. AISSS, INEGI, CNA.: 528-540.

Ávila, P., M. Tripp, C. Prat, 2009. Legislation and urban-environmental policies in the Cointzio sub-watershed of Cuitzeo. WB1 DESIRE (Desertification mitigation and remediation land-A global approach for local solutions). Morelia, Mich., Mexico, pp. 20.

Bravo Espinosa M., Mendoza M. E., Medina Orozco L., Prat C., García Oliva F., Lopez Granados E. 2009. Runoff, soil loss, and nutrient depletion under traditional and alternative cropping systems in the transmexican volcanic belt, central Mexico. *Land Degradation and Development*, 20 (6) : 640-653.

Colunga-GarcíaMarín, P., Eguiarte, L., Larqué, A., Zizumbo-Villarreal, D. (eds) 2007. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. CICY-CONACYT-CONABIO-SEMARNAT. Mexico. 402 p

DESIRE : Desertification mitigation and remediation land- A global approach for local solutions 2012. UE6, Integrated project, Contract N° 037046. www.desire-project.eu

Evrard, O., J. Némery, N. Gratiot, C. Duvert, S. Ayrault, I. Lefèvre, J. Poulenard, C. Prat, P. Bonté, M. Esteves, 2010. Sediment dynamics during the rainy season in tropical highland catchments of central Mexico using fallout radionuclides. *Geomorphology*, Vol: 124 (1-2): 42-54.

García-Mendoza, A., R. Galván. 1995. Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56: 7-24.

García-Herrera, E. J., S. d. J. Méndez-Gallegos, D. Talavera-Magaña, 2010. El genero Agave spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. In: VIII Simposium-Taller Nacional Producción y Aprovechamiento del Nopal. *Revista Salud Pública y Nutrición*: pp. 109-129.

Gruffat, D., C. Prat, 2007. Estudio socioeconómico de las comunidades campesinas de la Reunion y del Pedregal (Mun. Huiramba). In: *Simposio Acciones y resultados para el desarrollo sostenible de la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán*, Morelia, Mich. Mexico, 04/10/2007.

Illsley Granich, C., G. Rivera, A. Tlacotempa, P. Morales, J. García, T. Gómez, J. M. Martínez, J. Marcial, F. Castro, M. Calzada, S. Mancilla, P. García, L. Casarrubias, F. Hernández, J. Flores, 2004. Manual de manejo campesino de magueyes mezcaleros silvestres. GEA A.C., CONABIO, Mexico, 125 pp.

Martínez-Palacios, A., S. Chávez Mendoza, M. Gómez Sierra, M. Sierra Yxta, R. Cárdenas Navarro, 2009. Management and Conservation of Agave cupreata (Agavaceae). In: First International Conference on Sustainable Cities (Ed.), Morelia, Michoacán, México, 26-29/10/2009. 11 p.

Martínez-Palacios, A., C. Prat, E. Ríos Patrón, 2010. Propuestas del uso del Agave para la recuperación de terrenos degradados en las comunidades campesinas de la subcuenca "El Calabozo-Potrerrillos", Cuenca de Cointzio, Mich. UMSNH, IRD, SEMARNAT, Morelia, Mich. Mexico, pp. 16.

Mendoza, M. E., G. Bocco, E. López-Granados, M. Bravo Espinoza, 2010. Hydrological implications of land use and landcover change: Spatial analytical approach at regional scale in the closed basin of the Cuitzeo Lake, Michoacan, Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 21(2): 197-214.

MICAS-Manejo integral de Cuencas, 2004. Elaboración de diagnóstico y plan de manejo de los recursos naturales en la microcuenca "El calabozo", Municipios de Morelia, Huiramba y Acuitzio del Canje, Michoacán. Chapingo, Edomex, México, pp. 300.

Prat, C., Medina-Orozco, L.E., Carlon, T., Mendoza, M., Etchevers, J., Patron, E.R., Alcalá, M., Bravo-Espinosa, M., Gratiot, N., Nemery, J., 2011. Estudio multiescala de la erosión de suelos en la cuenca de Cointzio. In : Guerrero A. et al. (eds.). 36 CNCS, 21-25/11/2011, Campeche, Mexico. 696-701.

REVOLSO, 2002 Alternative agriculture for a sustainable rehabilitation of deteriorated volcanic soils in Mexico and Chile. Contrat UE/U.J.L. Giessen : ICA4-CT-2001-10052. Inco-dev (int. coop. with developing countries) 1998-2002. Final report of the coordination. Giessen, Germany. 62 p.

Schwilch G., Hessel R., Verzaandvoort S. (Eds). 2012. Desire for greener land : options for sustainable land management in drylands. Université de Bern, ALTERRA, ISRIC-World Soil Information, CTA. 282 p.

SEMARNAT, Colegio de Postgraduados, 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250,000. Memoria Nacional 2001-2002. México.

SEMARNAT., 2008. Desarrollo y ordenamiento ambiental por cuencas y ecosistemas, Lerma - Chapala. Manejo de microcuencas. Caso Michoacán.

Servenay, A., C. Prat, 2003. Erosion extension of indurated volcanic soils of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis. *Geoderma*, 117:(3-4): 367-375

STREAMS-Sediment TRANSPORT and Erosion Across MountainS. 2010. Projeet ANR Blanc 06-1 139157.



Photo 1/ Site initial avant travaux, *tepetate* affleurant. 2/ Défonçage au bulldozer. 3/ Affinage du sol par passage d'un tracteur (Photos C. Prat).



Photo 4/ Champs prêt à être semé. 5/ Un mois après le semis (orge+vesce) 6/ Récolte à 4 mois des semis (orge+vesce) (Photos C. Prat).



Photo 7/ Deux mois après le semis (maïs-fève) 8/ *Tepetate* défonçé 9/ Profil du sol après 6 mois de culture (Photos C. Prat).

**Restauration de la productivité  
des sols tropicaux et méditerranéens  
Contribution à l'agroécologie**

Version préliminaire



**Eric ROOSE**  
Editeur scientifique

**IRD Editions**  
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT  
MONTPELLIER, JUILLET 2015