Matière
à débattre & décider

Élevages et pâturages sous tension

Nouveaux regards sur les territoires méditerranéens et tropicaux

K. Alinon, G. Duteurtre, J. Lasseur, R. Poccard-Chapuis, coord.

éditions Quæ

3. Les impacts des transformations agraires sur la consommation d'eau et d'énergie au sein d'un territoire : agriculture comparée et métabolisme territorial en Inde semi-aride

Charlotte Hemingway, Mathieu Vigne, Laurent Ruiz, Claire Aubron

Cette étude documente les transformations d'une petite région agricole semi-aride du plateau du Deccan en Inde des années 1950 à nos jours. La méthodologie combine les approches de l'agriculture comparée et du métabolisme territorial. Sont représentés des flux d'eau et d'énergie entre catégories sociales d'agriculteurs et d'éleveurs sur la période. Dans les années 1950, animaux de traction et hommes étaient les clés de voûte du système agraire. Depuis, d'importantes politiques agraires ont permis à de nombreuses familles d'accéder à du foncier, ont rendu possible la culture d'arachide en cycle court et ont encouragé la moto-mécanisation. La place de l'élevage de traction a été considérablement réduite, mais des formes d'élevage spécialisées comme l'élevage pastoral ovin se sont renforcées. Notre approche permet d'analyser la question environnementale comme un phénomène historiquement et socialement constitué.

Figure 3.1. Désherbage d'une parcelle de culture d'arachide dans l'état de l'Andhra Pradesh en Inde.

© C. Hemingway.

Introduction

Depuis son accession à l'Indépendance en 1947, l'Inde a fait des choix politiques forts pour augmenter la production agricole, éloigner le spectre des famines et réduire les inégalités d'accès à la terre (Dorin et Landy, 2002 ; Pouchepadass, 2006). Ces choix se sont traduits par la mise en œuvre d'une réforme agraire et de plusieurs programmes structurants pouvant être qualifiés de « révolutions » sociotechniques tant ils ont induit des changements importants : une révolution jaune (secteur des oléagineux), une révolution verte (production intensive de céréales grâce à l'irrigation par forages et l'utilisation d'engrais de synthèse) et une révolution blanche (structuration du secteur laitier) (Dorin et Aubron, 2016). Les résultats de ces politiques agricoles sont mitigés selon que l'on s'intéresse aux dimensions agronomiques, économiques, sociales ou environnementales. Elles ont permis une augmentation considérable de la production agricole, hissant l'Inde au rang de premier et second producteur mondial de riz, blé, lait, légumineuses (FAO, 2023).

Cependant les inégalités sociales et la pauvreté n'ont pas été enrayées, notamment en zone rurale (NITI Aayog, 2023 ; World Food Programme, 2023). L'agriculture est aussi devenue la cause de nombreuses pollutions environnementales, comme le montre la multiplication par 1,75 des émissions de gaz à effet de serre du secteur entre 1970 et 2010 (Pathak *et al.*, 2014) ou la concentration alarmante en nitrates dans l'eau souterraine dans certaines régions de l'Inde (Buvaneshwari *et al.*, 2017).

Pour comprendre ces contradictions et pouvoir mesurer les divers impacts à long terme des programmes de développement agricoles, il convient de s'intéresser aux déterminants sociaux de ces transformations. En effet, si l'environnement est un bien commun, sa dégradation n'est pas portée de manière uniforme par chacune des formes d'agriculture (Aubron *et al.*, 2021 ; Hemingway *et al.*, 2023 ; Mabon *et al.*, 2009). Il s'agit donc d'évaluer l'impact environnemental des différents types d'exploitations agricoles sur un territoire déterminé et de comprendre les conditions d'émergence de ces systèmes afin de proposer des politiques qui permettent de réduire ces pollutions environnementales tout en étant plus justes d'un point de vue social. L'approche territoriale permet d'aborder ces déterminants en croisant des études de terrain et des données secondaires. En particulier, la dimension territoriale offre une échelle pertinente pour l'évaluation des impacts économiques, sociaux, et environnementaux des transformations, en s'appuyant notamment sur le concept de métabolisme social (Fischer-Kowalski et Haberl, 2007 ; Le Noë *et al.*, 2018).

Nous étudions donc dans ce chapitre la transformation d'un territoire agricole des années 1950 à aujourd'hui et évaluons ces transformations d'un point de vue environnemental. Cette évaluation est réalisée par l'estimation de flux de matière (ici l'eau) et d'énergie entre catégories sociales agricoles, c'est-à-dire les types d'exploitations agricoles. Nous avons choisi la petite région agricole du *mandal*[8] de

8. Un *mandal* est une entité administrative indienne, située entre l'échelle du village et l'échelle du district, et qui correspond à un groupe de villages.

Raptadu, située dans le district d'Anantapur (État de l'Andhra Pradesh, au sud de l'Inde). Depuis l'indépendance de l'Inde en 1947, cette région a subi de profondes mutations au cours des révolutions verte et blanche, avec notamment un développement de l'irrigation par forage.

Évaluer les flux de matière et d'énergie entre catégories sociales au sein d'un territoire

Pour étudier la diversité des catégories sociales d'agriculteurs et d'éleveurs, et la manière dont elles coexistent les unes avec les autres, nous nous appuyons sur le cadre conceptuel de l'agriculture comparée (Cochet, 2015). Ce cadre nous a permis de construire une typologie des exploitations agricoles dans les années 1950 et en 2022, année durant laquelle le travail de terrain à l'origine de cette étude a été réalisé. Dans ces typologies, chaque type d'exploitation correspond à un système de production, c'est-à-dire à un ensemble d'exploitations qui ont accès aux mêmes gammes de ressources (superficie, équipement, main-d'œuvre), ont la même insertion dans les filières et le territoire et s'appuient sur les mêmes pratiques à des fins de production végétale et/ou animale (Cochet et Devienne, 2006).

De 1950 à 2022, nous avons étudié la différenciation sociotechnique de ces catégories sociales. Pour l'année 2022, nous avons évalué les inégalités économiques entre catégories sociales en comparant les écarts dans le revenu agricole. Celui-ci correspond à la part de la valeur ajoutée créée lors du processus de production et qui reste dans les mains des agriculteurs familiaux après redistribution avec les acteurs ayant contribué à sa production (salaires de la main-d'œuvre extérieure par exemple). Ce revenu agricole est exprimé par actif familial (homme ou femme) et par an, et est comparé à un seuil de survie annuel, qui est le revenu minimum qu'un actif familial doit dégager de son exploitation pour assurer sa survie et celle de ses dépendants, dont les personnes non actives à sa charge. Les résultats sont exprimés en euros, en appliquant un taux de change de 82 roupies (Rs) pour 1 euro, correspondant à l'année 2022, période de collecte des données.

Les relations d'interdépendance entre systèmes de production ont été analysées, en termes de flux d'énergie et de matière, en se basant sur les concepts de métabolisme social (Fischer-Kowalski et Haberl, 2007 ; Le Noë *et al*., 2018). Nous avons choisi de nous concentrer sur deux types de flux qui intègrent les questions sociales et environnementales : 1) les flux d'énergie qui permettent d'évaluer d'un point de vue environnemental la moto-mécanisation de l'agriculture et également d'intégrer les questions du travail animal et humain, et 2) les flux d'eau dans la mesure où l'eau de la nappe est une ressource commune limitée dans la région, qui ne peut être captée que grâce à des investissements privés.

Nous avons représenté les changements du système agraire et les modifications des relations sociales en construisant le métabolisme social d'un village archétype à deux époques différentes, les années 1950 et l'année 2022, cette dernière étant assimilée à la période actuelle. Ce village archétype est un village de taille moyenne dans la région d'étude (1000 hectares). Pour le construire, il a fallu estimer le pourcentage d'exploitations agricoles appartenant à chacune des catégories sociales aux deux époques. Cela a été fait en croisant trois sources de données : 1) nos propres observations, 2) la mémoire des agriculteurs et des éleveurs, 3) les informations issues d'archives et de statistiques agricoles sur les usages des sols, densité de population et catégories socioprofessionnelles. La structure du village archétype est donnée en tableau 3.1. Pour chaque période, nous représentons les flux d'énergie et d'eau entrant, circulant et sortant des catégories sociales à l'échelle territoriale, matérialisant ainsi les relations d'interdépendance entre catégories sociales.

Dans la figure 3.2, nous avons représenté et analysé les flux d'énergie en différentiant : 1) l'énergie du travail humain et animal (ET), 2) l'énergie brute calorifique des produits (EB) et 3) l'énergie fossile (EF). À l'échelle du territoire, nous complétons cette analyse par une évaluation du retour sur investissement de l'énergie importée dans le territoire (EROI, correspondant à *Energy Return On Investment*), que l'on définit comme le rapport de l'énergie produite exportée sur l'énergie investie importée (Gingrich *et al.*, 2018 ; Vigne, 2012). Les flux d'eau ont été calculés à partir de bilans hydriques (Allen *et al.*, 1998) à l'échelle des exploitations et du territoire, ce qui permet d'estimer la contribution de chacun des types d'exploitations à la recharge de la nappe souterraine (extraction, recharge). Nous calculons la recharge nette potentielle[9] des exploitations agricoles qui correspond à la différence entre la recharge brute potentielle (eau de pluie infiltrant le sol qui n'est pas évapotranspirée par le sol et les plantes) et le besoin en eau souterraine pour les cultures irriguées. Nous ne considérons pas l'eau consommée par les animaux d'élevage car une partie importante est réattribuée au sol sous forme d'urines et de fèces, tandis que l'eau transpirée est considérée comme négligeable par rapport à l'eau évapotranspirée par la végétation. La contribution des activités d'élevage à la recharge potentielle de la nappe est ainsi analysée au regard des surfaces cultivées et pâturées utilisées par les animaux d'élevage. L'ensemble de cette analyse repose sur 215 entretiens, principalement d'agriculteurs ou d'éleveurs, de nombreuses observations de pratiques agricoles, ainsi que des données de la littérature scientifique et des archives.

9. Nous ne considérons ni le ruissellement, ni les remontées capillaires. Seuls les précipitations, la recharge de la nappe, l'évapotranspiration par les plantes et le sol, ainsi que le pompage (besoins en eau) sont pris en compte.

Les forces musculaires humaines et animales, clés de voûte du système agraire des années 1950

Un système agraire autonome reposant essentiellement sur une agriculture pluviale

Dans les années 1950, la mise en valeur de la petite région agricole de Raptadu s'effectuait au moyen d'une grande diversité de pratiques permettant de s'adapter aux contraintes du milieu, dont le climat semi-aride. L'essentiel du territoire était dominé par un *ager* pluvial localisé sur le pédiment (85 % du territoire, tableau 3.1), où les agriculteurs possédant des terres cultivaient une grande variété de millets et de légumineuses, alternant avec des friches herbeuses pâturées d'environ cinq ans. L'*ager*[10] irrigué et le *saltus* étaient tous deux réduits (respectivement 4 et 11 % du territoire, tableau 3.1), le premier étant cantonné aux bas-fonds et le deuxième aux collines couvertes d'une végétation arbustive et de larges rochers.

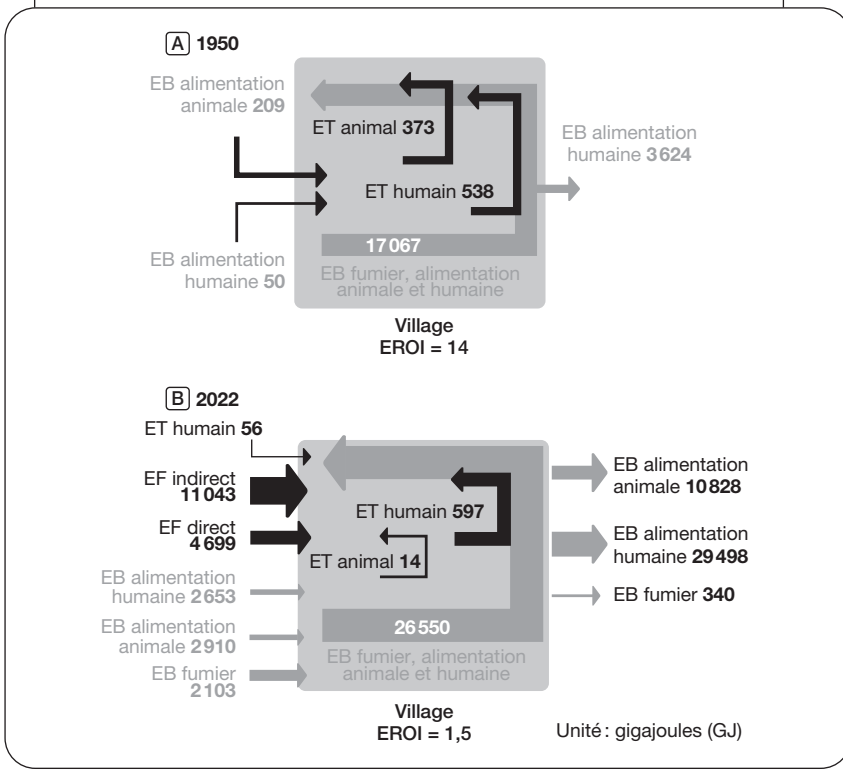
L'essentiel de la production agricole du territoire était destiné à l'alimentation des forces productives de ce même territoire, c'est-à-dire les hommes et les animaux d'élevage. Un petit surplus était produit et exporté hors du territoire (figure 3.3A). Le système agraire des années 1950 était fortement autonome d'un point de vue énergétique : les seuls flux importés correspondaient à l'énergie calorifique de la biomasse pâturée par le cheptel ovin en transhumance pendant la saison sèche, ainsi qu'à certains aliments comme le sucre.

Le rôle de l'élevage de traction et de l'accès à la terre dans la différenciation sociale

Les catégories sociales du système agraire des années 1950 se différenciaient notamment par leur accès à la terre, la possession d'animaux d'élevage, les choix culturaux et la dépendance à la main-d'œuvre extérieure. Deux catégories avaient accès à la terre : des grands propriétaires avec 25 à 100 hectares de terres et des petits propriétaires avec seulement 2 hectares. Les principales plantes cultivées en conditions pluviales étaient les légumineuses, dont l'arachide (*Arachis hypogaea*) et les millets. La variété d'arachide cultivée était une variété à port rampant et à cycle long (5 mois) dont la récolte se faisait en décembre, quelques semaines après la fin de la saison des pluies, dans des sols qui étaient par conséquent difficiles à travailler. Pour assurer une récolte décente, les agriculteurs avaient recours à la force simultanée de trois paires de bœufs tractant une barre niveleuse dans le sol pour pouvoir arracher les plants d'arachide. Les grands propriétaires possédaient au moins une paire de bœufs. Ceux qui possédaient trois paires de bœufs

10. En Europe, l'*ager* désigne les champs cultivés, le *saltus* les landes, les parcours et les espaces du pastoralisme, et la *silva* correspond à la forêt. Nous appliquons cette classification au contexte de l'étude.

Figure 3.2. Flux d'énergie brute calorifique des produits (EB) de la biomasse (en gris clair), d'énergie du travail humain et animal (ET, en gris foncé), d'énergie fossile (EF) directe et indirecte (en noir) et d'énergie importée dans le territoire (EROI) dans le village archétype entre 1950 (A) et 2022 (B).



étaient les seuls à posséder la force de traction animale nécessaire pour pouvoir cultiver l'arachide. Les petits propriétaires n'avaient qu'une paire de bœufs de traction et ne pouvaient donc cultiver que des millets et des légumineuses telles que le pois d'Angole (*Cajanus indicus*) ou la dolique biflore (*Macrotyloma uniflorum* L.).

Grands et petits propriétaires possédaient des terres dans les bas-fonds à proximité de puits. Ils y cultivaient l'éleusine et le riz sur deux cycles par an, irrigués grâce à la force de traction animale qui permettait l'extraction de l'eau de la nappe. Ce type d'irrigation nécessitait de telles quantités de travail que les surfaces irriguées étaient restreintes : l'*ager* irrigué constituait 5 % tout au plus de la surface du territoire. Du fait de la prédominance des surfaces pâturées ou cultivées en conditions

Tableau 3.1. Structure du village archétype en 1950 et 2022 avec usages des sols, population d'animaux d'élevage et diversité des catégories sociales.

Taille du village archétype : 1000 ha	1950	2022
Population humaine		
Densité de population (en nombre d'habitants par ha)	0,8	1,4
Nombre de familles vivant de l'agriculture (comprend les sans-terre) (en nombre de familles pour 1000 ha)	160	280
Usages des sols (en %)		
Surfaces cultivées irriguées	4	15
Surfaces cultivées (pluviales)	19	42
Surfaces pâturées	77	41
Surfaces abandonnées	0	2
Population animale		
Animaux de trait (en nombre de mâles)	208	10
Bufflesses (en nombre de mères et leur suite)	80	12
Vaches races locales (en nombre de mères et leur suite)	64	7
Vaches races croisées Holstein Friesian (en nombre de mères et leur suite)	0	124
Brebis (en nombre de mères et leur suite)	240	1260
Agneaux engraissés (en nombre de mâles)	0	150
Total TLU*	485	644

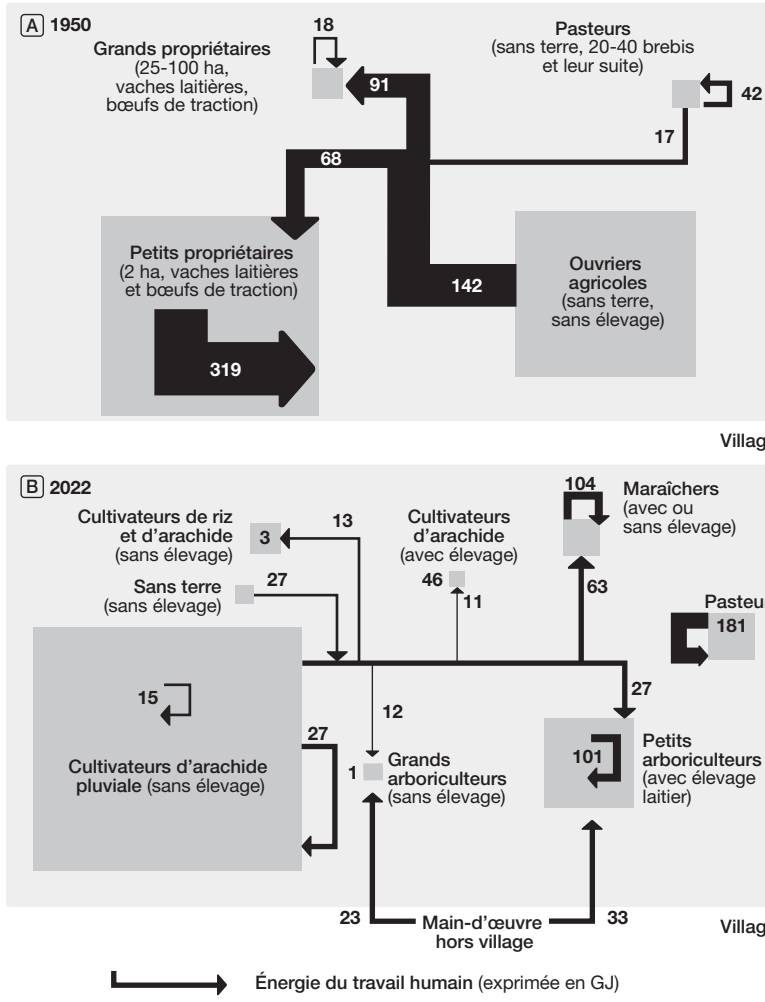
* Une TLU (*Tropical Livestock Unit*) correspond à un animal pesant 250 kg de poids vif (Jahnke, 1982).

pluviales, la recharge nette de chacune des exploitations était positive, et *a fortiori,* la recharge nette à l'échelle du territoire l'était aussi.

L'importance des flux d'énergie provenant du travail humain

Les propriétaires terriens avaient recours à une main-d'œuvre extérieure, dont la plus grande part était constituée d'ouvriers agricoles sans terre et sans élevage qui vivaient de la vente de leur force de travail sur les exploitations. Les pasteurs, une deuxième catégorie d'ouvriers, n'avaient pas de terre mais possédaient un troupeau d'ovins. Ils travaillaient aussi occasionnellement sur les champs des grands et petits propriétaires. Le captage de la main-d'œuvre sans terre par les propriétaires terriens est illustré par la figure 3.3.

Figure 3.3. Flux d'énergie du travail humain en 1950 (A) et 2022 (B) dans le village archétype. L'aire des carrés est proportionnelle à la représentativité de chaque catégorie sociale dans le village.



Des modifications profondes de l'élevage de 1950 à aujourd'hui

Depuis 1950, les différentes orientations de politiques agraires couplées aux diverses transformations de l'économie et de la société ont conduit à une réorganisation complète du territoire.

L'essor de l'arachide en cycle court et l'abandon progressif de l'élevage de traction

La première politique agraire déployée dans la région a été une réforme agraire amorcée pendant les années 1970 par la distribution de 2 hectares de terres aux ouvriers agricoles et aux pasteurs auparavant sans terre. Ensuite, une série de révolutions agricoles visant chacune des productions agricoles particulières ont été mises en place. C'est la révolution agricole dite « jaune », portant sur le développement de la culture de l'arachide, qui a impacté en premier le territoire. Elle a porté principalement sur l'introduction d'une nouvelle variété d'arachide, à port érigé, et qui avait un cycle plus court que la variété précédente, si bien que la récolte pouvait être effectuée à la fin du mois de novembre, lorsque le sol était encore humide des dernières pluies de la mousson. Les plants d'arachide pouvaient alors être arrachés à la main et les bœufs de traction n'étaient plus nécessaires. À partir de cette révolution jaune, tous les agriculteurs se sont mis à cultiver l'arachide en conditions pluviales, et l'arachide a remplacé progressivement les millets pour devenir aujourd'hui la culture principale de la région (figure 3.1).

Le développement des forages : remplacement de l'énergie animale par l'énergie fossile

La révolution verte, avec ses trois ingrédients clés (engrais de synthèse, variétés à haut potentiel de rendement et irrigation par forage ; Dorin et Landy, 2022) est la deuxième[11] grande transformation agricole qui s'est imposée au sein du territoire étudié. Elle a reposé sur des subventions massives de l'État au secteur agricole, dont près de la moitié ont concerné l'électricité pour l'irrigation par forage et près d'un quart les engrais de synthèse en 1994-1995 (Allaoua, 1996).

Dans la région d'étude, les agriculteurs les mieux lotis financièrement ont tenté de creuser les premiers forages. Mais les fractures de l'aquifère de socle sont très variables et les agriculteurs ont dû souvent s'y prendre à plusieurs fois avant d'obtenir un forage avec un débit suffisant pour irriguer au minimum 1 hectare. Les taux d'échecs dans le creusement des forages dans la région sont estimés par les

11. La révolution verte a en réalité été pensée et engagée avant la révolution jaune à l'échelle de l'Inde, mais leur déploiement respectif ne s'est pas réalisé en même temps aux différentes échelles locales : dans la région où a été menée cette étude, c'est la révolution jaune qui a impacté en premier le territoire.

hydrologues entre 40 et 77 % (Raizada *et al.*, 2018 ; Vasudevan et Mysore, 1997). Quand le forage aboutit, l'eau est relevée au moyen de pompes électriques submersibles qui permettent d'extraire l'eau souterraine plus profondément. Pendant la révolution verte, les forages ont d'abord été réalisés dans les bas-fonds au profit de la culture d'une nouvelle variété de riz à haut potentiel de rendement sur deux cycles par an. Puis certains agriculteurs ont commencé à forer sur le pédiment pour des cultures maraîchères, qui ont été d'abord irriguées à la raie, puis au goutte-à-goutte lorsque ces dispositifs ont commencé à être subventionnés au début des années 2000.

Parallèlement à la motorisation de l'irrigation, les agriculteurs qui avaient des capacités d'investissement suffisantes (ou qui bénéficiaient de quelques rares subventions grâce à des relations clientélistes) achetèrent des tracteurs qui facilitèrent le travail du sol, le semis et certaines opérations de récolte et post-récolte. N'étant plus nécessaires ni pour l'exhaure de l'eau, ni pour le labour ou la récolte dans les exploitations mécanisées, les bœufs furent peu à peu vendus. Les fanes d'arachide et les espaces de pâturage qui étaient auparavant dédiés aux bœufs d'attelage furent redirigés vers les pasteurs engagés dans l'élevage de troupeaux ovins. L'accès aux fanes d'arachide fut particulièrement bienvenu pour l'alimentation du cheptel ovin en été, et les pasteurs cessèrent en grande partie d'amener leurs troupeaux en transhumance en saison sèche. La taille du cheptel ovin augmenta progressivement.

Pour les irrigants : révolution blanche et course aux forages de plus en plus profonds

Durant les années 2000 la révolution blanche est amorcée. Cette transformation du secteur laitier passe 1) par la structuration de la filière lait et le développement de son réseau de collecte et de commercialisation (Dervillé *et al.*, 2023) et 2) par l'introduction d'animaux laitiers issus de croisements entre races locales et race Holstein. Ces nouvelles races produisent davantage de lait par an et par femelle mais requièrent un changement de calendrier fourrager. Elles sont nourries avec des aliments concentrés achetés et avec de l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum*), un fourrage cultivé en conditions irriguées. La fabrication de ces deux types d'aliments est consommatrice d'énergie fossile. Aujourd'hui les vaches de races croisées ont en grande partie remplacé les bufflesses et les vaches de races locales qui existaient dans les années 1950 (tableau 3.1). Le lait est vendu dans des centres de collecte présents dans la plupart des villages et est ensuite acheminé dans les usines de transformation de chacune des entreprises laitières présentes dans la région, par exemple les entreprises Gayathri et Dodla. Les concentrés sont disponibles à l'achat dans les centres de collecte des villages.

Au même moment, les agriculteurs ayant déjà investi dans des forages de première génération creusent des forages encore plus profonds (150 à 200 m) pour planter

des vergers de grenadiers, de limettiers doux (*Citrus limetta*) ou des vignes pour la production de raisin de table. Ces plantations pérennes (de 15 à 20 ans) nécessitent en effet une irrigation tout au long de l'année et les forages doivent être suffisamment profonds pour assurer un accès à l'eau de la nappe en toutes circonstances, même en cas d'une éventuelle baisse saisonnière de celle-ci.

Parallèlement, les pasteurs commencent à semer de la dolique biflore sur leurs terres pluviales. Cette culture fourragère est pâturée par le cheptel ovin de janvier à mars, permettant ainsi une intensification de la production fourragère (qui reposait auparavant sur les fanes d'arachides et sur les parcours) et un accroissement du cheptel.

Le système agraire aujourd'hui : des inégalités qui persistent

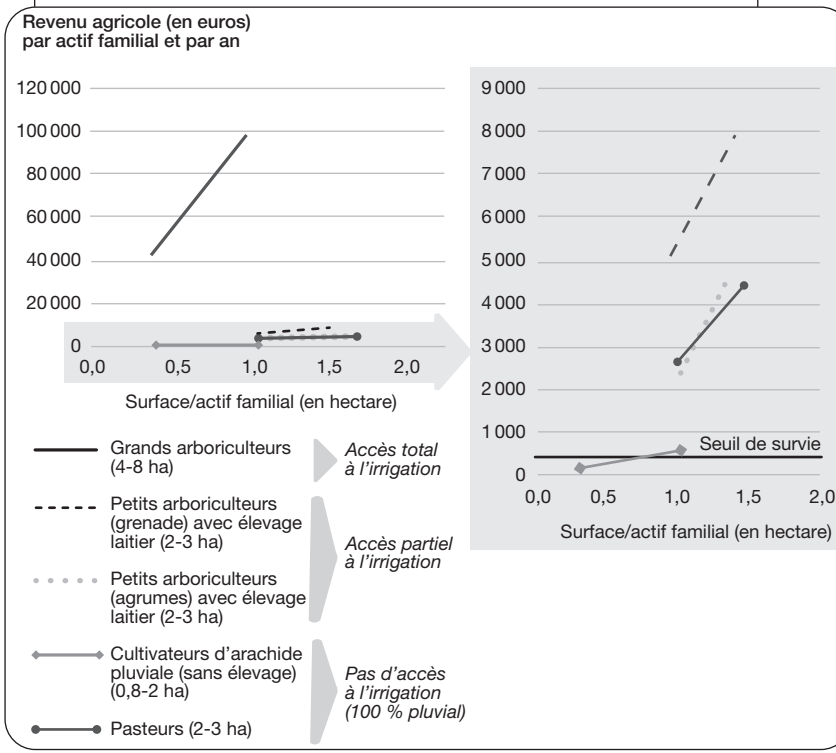
Le système agraire actuel présente des indicateurs de durabilité préoccupants, au moins en ce qui concerne la recharge de la nappe souterraine et l'utilisation d'énergie fossile.

Un accès limité à l'irrigation et un épuisement de l'eau de la nappe

Entre les années 1950 et 2022, les surfaces irriguées ont significativement augmenté. Dans le village archétype, nous rendons compte de cette augmentation en les faisant passer de 4 à 14 % de la surface totale du territoire. Elles ont aussi changé de localisation. Alors qu'en 1950, elles étaient principalement localisées dans les bas-fonds, elles sont aujourd'hui surtout localisées sur le pédiment. L'accès à l'irrigation reste cependant limité. Les catégories sociales peuvent être réparties selon trois grands groupes selon leur accès à l'eau souterraine :

- Les exploitations qui n'ont aucun accès à l'irrigation par forage représentent plus de la moitié du nombre total d'exploitations (64 % des exploitations dans le village archétype). Elles vivent de la culture de l'arachide pluviale ou de l'élevage ovin. Ce groupe inclut les cultivateurs d'arachide pluviale sans élevage et les pasteurs. Les cultivateurs d'arachide ont un revenu annuel proche du seuil de survie calculé à 360 € par actif et par an. Les pasteurs ont un revenu annuel plus élevé mais qui reste modéré, de l'ordre de 200 000 à 350 000 Rs par actif (soit 2 500 à 4 300 €) (figure 3.4).
- Les exploitations qui ont un accès partiel à l'irrigation représentent un quart des exploitations. Sur ces exploitations, un tiers environ de la surface agricole utile est irrigué pour les cultures maraîchères ou pour des vergers, et le reste est cultivé en conditions pluviales. Une partie de ces exploitations a conservé l'élevage laitier. Ces exploitations ont un revenu annuel qui varie entre 100 000 et

Figure 3.4. Revenus agricoles des systèmes de production en 2022 (seuls les principaux systèmes de production sont représentés).

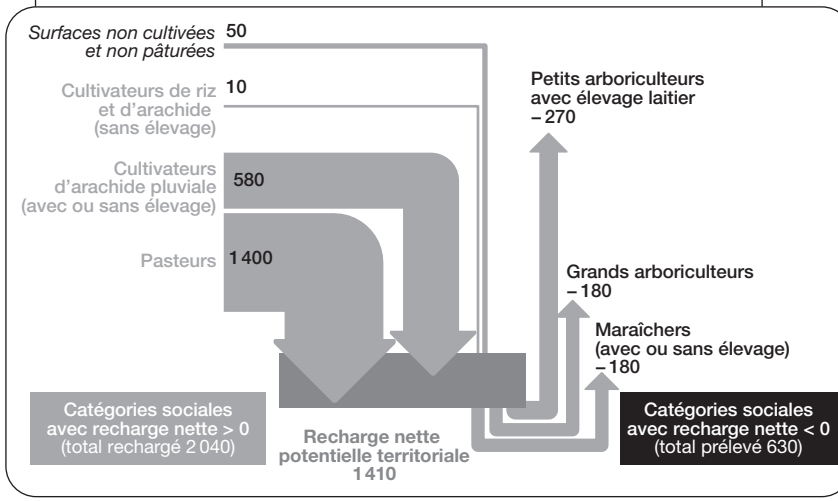


600 000 Rs par actif familial (soit 1 250 à 7 500 €), selon qu'il s'agisse de maraîchers sans élevage laitier ou d'arboriculteurs avec élevage laitier (figure 3.4).

• Les exploitations qui ont un accès total à l'irrigation représentent seulement 1 % du total des exploitations. Elles ont de grands vergers fruitiers (4 à 8 hectares) et ont abandonné l'élevage. Ces exploitations spécialisées dans l'arboriculture irriguée ont un revenu agricole par actif familial 10 à 100 fois supérieur à celui des autres exploitations, en comparant au revenu respectivement des petits arboriculteurs cultivant de la grenade et des cultivateurs d'arachide pluviale (figure 3.4).

L'accès à l'irrigation, et plus particulièrement l'arboriculture permet une nette augmentation du revenu agricole par actif. Dans les exploitations qui génèrent des revenus faibles ou insuffisants, les actifs familiaux complètent leur revenu en vendant leur force de travail auprès des autres exploitations, notamment pour le désherbage ou la récolte des fruits et légumes.

Figure 3.5. Contribution de chaque catégorie sociale à la recharge nette potentielle territoriale dans le village archétype en 2022 (les résultats sont exprimés en milliers de mètres cubes, soit 10^3 m^3, et arrondis à la dizaine de milliers).



L'augmentation des surfaces irriguées de 4 à 15 % de la surface du village (tableau 3.1) a eu pour conséquence une baisse de la recharge hydrique potentielle du territoire depuis les années 1950. En 1950, irriguer était si coûteux, en énergie animale notamment, que c'est le nombre de paires de bœufs qui conditionnait la taille des surfaces irriguées. Pour chacune des catégories sociales disposant de terres, les surfaces irriguées étaient minoritaires par rapport aux surfaces pluviales et la recharge nette liée aux activités de toutes les catégories était positive. Aujourd'hui, le bilan hydrique du territoire doit être raisonné par catégories sociales. En effet, les exploitations sans accès à l'irrigation jouent un rôle très important dans le bilan hydrique du territoire. Par la recharge de 2 millions de mètres cubes (Mm^3, soit 2.10^6 m^3) qu'elles permettent, elles compensent le pompage du 0,6 Mm^3 d'eau des exploitations ayant accès à l'irrigation. Au total, la recharge nette territoriale est positive de 1,4 Mm^3 (figure 3.5). Les catégories sociales qui pompent l'eau sont aussi les plus aisées et celles qui permettent la recharge de la nappe sont constituées des catégories les plus pauvres (cultivateurs d'arachide pluviale) ou celles aux revenus intermédiaires (pasteurs) (figure 3.4). Ainsi, si la recharge hydrique potentielle du territoire est encore positive aujourd'hui, c'est parce qu'il y a une majorité d'agriculteurs et d'éleveurs globalement pauvres qui rechargent la nappe par les surfaces cultivées en conditions pluviales ou pâturées, pour une minoritaire d'agriculteurs riches qui pompent l'eau souterraine.

Une importation croissante d'énergie fossile, mais un travail humain encore très présent

Entre 1950 et 2022, la production agricole exportée et autoconsommée a plus que triplé. De ce fait, l'énergie calorifique de la biomasse circulant dans le territoire et sortant du territoire a augmenté dans les mêmes proportions (figure 3.2). Cette augmentation de production a été rendue possible par l'augmentation des importations d'énergie fossile, qui ont représenté 65 % de l'énergie importée dans le territoire en 2022, mais aussi par l'achat d'aliments concentrés pour l'élevage et de fumier (pour les arboriculteurs sans élevage) (figure 3.2B). Par conséquent, le retour sur investissement de l'énergie investie (EROI) a fortement diminué, passant de 14 à 1,5 entre les deux périodes (figure 3.3). Cette diminution de l'EROI est cohérente avec les évaluations réalisées dans d'autres territoires (Galán *et al*., 2016 ; Gingrich *et al*., 2018). Elle rend compte de la dépendance accrue à l'énergie fossile, notamment pour le fonctionnement des tracteurs et des pompes, mais aussi de l'intensification des systèmes de culture et d'élevage, par l'utilisation d'engrais de synthèse et d'aliments concentrés.

Par ailleurs, il faut noter que l'EROI reste supérieur à 1, ce qui indique que le système agraire de Raptadu exporte toujours plus d'énergie qu'il n'en importe. Cela est dû d'une part à l'importance de la culture de l'arachide, qui est devenue la culture majoritaire du territoire, destinée à l'exportation, et dont les produits ont une haute valeur énergétique. La valeur de l'EROI est également due à l'importance du travail humain. En effet, même si l'irrigation est assurée de manière motorisée, et même si des tracteurs sont utilisés pour certaines opérations culturales, le travail humain reste essentiel, surtout pour le désherbage et la récolte des cultures fruitières et maraîchères, ainsi que pour la taille des arbres fruitiers. L'énergie issue du travail humain dans le territoire est ainsi passée de 538 GJ à 596 GJ entre 1950 et 2022. C'est une trajectoire différente de celle de la majorité des systèmes agraires occidentaux qui ont connu une baisse du nombre d'actifs agricoles et de la demande en travail manuel. Or, ce travail humain est surtout assuré par les exploitations les moins bien dotées en capital pour le compte des exploitations les plus riches. En effet, les trois quarts de la demande en travail du territoire sont liés aux opérations de désherbage et récolte des cultures maraîchères et arboricoles irriguées, bien que ces cultures irriguées ne représentent qu'un quart de la surface cultivée en 2022. Mais ce sont principalement les catégories sociales sans accès à l'irrigation et vivant de la culture de l'arachide pluviale qui fournissent ce travail sous forme d'emplois journaliers auprès des exploitations maraîchères et arboricoles irriguées (figure 3.3B)

Conclusion

Depuis l'indépendance de l'Inde, le système agraire de la petite région de Raptadu a profondément évolué. Ces évolutions ont été impulsées par les différentes politiques agricoles conduites au cours de la période. Le territoire de Raptadu est ainsi passé d'une agriculture majoritairement pluviale, utilisant la traction animale, à une agriculture partiellement irriguée, reposant sur la moto-mécanisation. Si les politiques agricoles ont permis aux agriculteurs les moins bien dotés d'accéder à la terre et à la culture de l'arachide, elles n'ont pas impacté toutes les catégories sociales de la même manière et de nombreuses inégalités perdurent aujourd'hui. La révolution des forages n'a pas eu l'effet escompté, car elle n'a pas permis l'accès à l'eau souterraine pour tous. Dans cette zone d'aquifère de socle, le creusement des forages ne peut en effet se faire que grâce à d'importants investissements financiers et la majorité des exploitations agricoles sont restées dans l'angle mort du développement de l'irrigation. Cette dichotomie est à l'origine d'une nouvelle forme d'interdépendance, matérialisée par des flux d'eau entre catégories sociales contribuant à la recharge de l'eau souterraine ou à son prélèvement. La recharge nette potentielle du territoire a diminué en raison du développement des cultures irriguées pérennes, mais reste tout de même positive aujourd'hui car l'eau rechargée grâce aux surfaces d'arachide pluviale ou pâturées utilisées par les catégories pauvres compense largement l'eau pompée par les exploitations maraîchères et arboricoles aisées. Ainsi, la durabilité de l'utilisation de la ressource en eau souterraine est fondée sur d'importantes inégalités sociales.

La région a connu des transformations énergétiques qui font écho à d'autres dans le monde. Notre étude souligne notamment l'abandon de la traction animale, la dépendance accrue aux énergies fossiles et aux importations d'aliments pour le bétail, mais aussi l'intensité en travail humain du territoire, comme c'est le cas dans de nombreux systèmes agraires asiatiques (Dorin et Aubron, 2016). Le rôle de l'élevage a été bouleversé, avec une perte de la multifonctionnalité de l'élevage et l'apparition de nouvelles formes d'élevages spécialisées. L'élevage laitier impulsé par la révolution blanche s'est peu étendu car l'accès à l'irrigation pour le développer est nécessaire. Cet élevage laitier se révèle intensif en énergie fossile utilisée pour le pompage de l'eau destinée aux cultures fourragères irriguées et pour la production d'aliments concentrés achetés. L'élevage de traction a été réduit quasiment à néant mais reste quand même indispensable pour une opération culturale bien spécifique : le sarclo-binage de l'arachide pluviale, qui est la culture majoritaire du territoire aujourd'hui. En revanche, le pastoralisme a pris de l'importance, avec une augmentation notable du cheptel ovin (tableau 3.1), grâce à la disponibilité de ressources fourragères et à des coproduits de cultures (comme les fanes d'arachide) auparavant réservées aux animaux de traction. Ce pastoralisme a cependant évolué vers des formes moins mobiles et plus dépendantes de fourrages achetés (fanes d'arachide) et produits sur les exploitations (dolique biflore pâturée). Cet élevage

pastoral a un rôle important dans la recharge hydrique potentielle du territoire par l'intermédiaire des terres de parcours qu'il exploite. Il reste aussi important dans la gestion de la fertilité par le parcage nocturne des ovins sur les parcelles des agriculteurs qui n'ont plus d'élevage. Il serait intéressant de compléter ce travail sur les flux d'eau et d'énergie par une analyse des flux de carbone, afin d'évaluer le rôle de l'élevage dans la gestion de la fertilité notamment par l'importance du fumier pour l'agriculture irriguée et le stockage du carbone. De la même manière, une analyse plus poussée des temps de travail pourrait montrer le rôle de l'élevage dans la valorisation du travail familial sur les périodes ou les travaux culturaux sont réduits.

Notre analyse met en avant les déterminants sociaux de la durabilité environnementale d'un territoire : les solutions techniques ne pourront pas enrayer la fracture sociale entre les catégories sans irrigation et celles ayant un accès à l'irrigation, et la prise en compte de la diversité sociale des acteurs est nécessaire pour formuler des politiques de développement pertinentes et plus durables, environnementalement et socialement.

Références bibliographiques

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Determination of ET_o. *In Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Allaoua Z., 1996. *India: Five years of stabilization and reform and the challenges ahead*. Washington : World Bank Publications, 224 p.

Aubron C., Vigne M., Philippon O., Lucas C., Lesens P., Upton S. *et al.*, 2021. Nitrogen metabolism of an Indian village based on the comparative agriculture approach : How characterizing social diversity was essential for understanding crop-livestock integration. *Agricultural systems*, 193(13). https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103218

Buvaneshwari S., Riotte J., Sekhar M., Mohan Kumar M.S., Sharma A.K., Duprey J.L. *et al.*, 2017. Groundwater resource vulnerability and spatial variability of nitrate contamination: Insights from high density tubewell monitoring in a hard rock aquifer. *Science of the Total Environment*, 579, 838-847. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.017

Cochet H., 2015. *Comparative Agriculture*. Dordrecht : Springer, Netherlands, 154 p. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9828-0

Cochet H., Devienne S., 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. *Cahiers Agricultures*, 15(6), 578-583.

Dervillé M., Dorin B., Jenin L., Raboisson D., Aubron C., 2023. Inclusiveness of the Indian dairy sector : An institutional approach. *Journal of Economic Issues*, 57(3), 994-1017. https://doi.org/10.1080/00213624.2023.2240182

Dorin B., Aubron C., 2016. Croissance et revenu du travail agricole en Inde. Une économie politique de la divergence (1950-2014). *Économie Rurale*, 352, 41-65. https://doi.org/10.4000/economierurale.4865

Dorin B., Landy F., 2002. *Agriculture et alimentation de l'Inde. Les vertes années (1947-2001)*. Paris : Inra éditions.

FAO, 2023. India at a glance [en ligne]. FAO India Food and Agriculture Organization. https://www.fao.org/india/fao-in-india/india-at-a-glance/en/

Fischer-Kowalski M., Haberl H. (coord.), 2007. *Socioecological transitions and global change: Trajectories of social metabolism and land use*. Cheltenham (UK) ; Northampton (USA), Edward Elgar Publishing Ltd, 288 p.

Galán E., Padró R., Marco I., Tello E., Cunfer G., Guzmán G.I. *et al.*, 2016. Widening the analysis of Energy Return on Investment (EROI) in agro-ecosystems: Socio-ecological transitions to industrialized farm systems (the Vallès County, Catalonia, c. 1860 and 1999). *Ecological Modelling*, 336, 13-25. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.05.012

Gingrich S., Marco I., Aguilera E., Padró R., Cattaneo C., Cunfer G. *et al*., 2018. Agroecosystem energy transitions in the old and new worlds: trajectories and determinants at the regional scale. *Regional Environmental Change*, 18, 1089-1101. https://doi.org/10.1007/s10113-017-1261-y

Hemingway C., Vigne M., Aubron C., 2023. Agricultural greenhouse gas emissions of an Indian village: Who's to blame : crops or livestock ? *Science of the Total Environment*, 856(2). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159145

Jahnke H.E., 1982. *Livestock production systems and livestock development in tropical Africa*. Kiel (Germany), Wissenschaftsverlag Vauk.

Le Noë J., Billen G., Esculier F., Garnier J., 2018. Long-term socioecological trajectories of agro-food systems revealed by N and P flows in French regions from 1852 to 2014. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 265, 132-143. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.006

Mabon F., Raimbault T., Moreau P., Devienne S., Delaby L., Durand P. *et al*., 2009. Concilier efficacité technico-économique et environnementale des exploitations agricoles en zone vulnérable : apport du diagnostic agraire. *Fourrages*, 199, 373-388.

NITI Aayog, 2023. *India: National multidimensional poverty index; a progress review 2023*.

Pathak S., Bhatia A., Jain N., 2014. *Greenhouse gas emission from Indian agriculture: Trends, mitigation and policy needs*. Center for Environment Science and Climate Resilient Agriculture ; Indian Agricultural Research Institute (New Delhi).

Pouchepadass J., 2006. Le monde rural. *In* Jaffrelot C. (ed.), *L'Inde contemporaine. De l'indépendance à nos jours*. Paris : Fayard, pp. 421-458.

Raizada A., Kumar S., Mishra P.K., 2018. Vulnerability of rainfed areas in the Indian Deccan to climate change: Can we cope with the challenges? *Indian Journal of Soil Conservation*. 46(1), 1-10.

Vasudevan A., Mysore C., 1997. Externalities in groundwater irrigation in hard rock areas. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 52(4), 761-771.

Vigne M., 2012. *Flux d'énergie dans des systèmes d'élevage laitiers contrastés : Élaboration d'indicateurs et analyse de la diversité inter et intra-territoire*. Université Européenne de Bretagne, AgroCampusOuest.

World Food Programme, 2023. *What the World Food Programme is doing in India* [en ligne]. https://www.wfp.org/countries/india