



HAL
open science

**Quand la terre dévoile l'eau : l'ajout d'une quatrième
dimension au concept de Nexus
Eau/Énergie/Alimentation et sa pertinence pour les
recherches sur l'eau**

David Blanchon, François-Michel Le Tourneau

► **To cite this version:**

David Blanchon, François-Michel Le Tourneau. Quand la terre dévoile l'eau : l'ajout d'une quatrième dimension au concept de Nexus Eau/Énergie/Alimentation et sa pertinence pour les recherches sur l'eau. Géocarrefour - Revue de géographie de Lyon, 2022, 96 (2), 10.4000/geocarrefour.20162 . hal-03737411

HAL Id: hal-03737411

<https://hal.science/hal-03737411>

Submitted on 2 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Géocarrefour

96/2 | 2022

Chercheurs d'eau au temps des changements globaux.
Quel avenir pour les territoires ? (2)

Quand la terre dévoile l'eau : l'ajout d'une quatrième dimension au concept de Nexus Eau/Énergie/Alimentation et sa pertinence pour les recherches sur l'eau

When land unveils water: adding a fourth dimension to the Water/Energy/Food Nexus concept and its relevance to water research

David Blanchon and François-Michel Le Tourneau



Electronic version

URL: <https://journals.openedition.org/geocarrefour/20162>

DOI: 10.4000/geocarrefour.20162

ISSN: 1960-601X

Publisher

Association des amis de la Revue de géographie de Lyon

Brought to you by Campus Condorcet



Electronic reference

David Blanchon and François-Michel Le Tourneau, "Quand la terre dévoile l'eau : l'ajout d'une quatrième dimension au concept de Nexus Eau/Énergie/Alimentation et sa pertinence pour les recherches sur l'eau", *Géocarrefour* [Online], 96/2 | 2022, Online since 22 July 2022, connection on 02 January 2023. URL: <http://journals.openedition.org/geocarrefour/20162> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.20162>

This text was automatically generated on 13 December 2022.

All rights reserved

Quand la terre dévoile l'eau : l'ajout d'une quatrième dimension au concept de Nexus Eau/Énergie/Alimentation et sa pertinence pour les recherches sur l'eau

When land unveils water: adding a fourth dimension to the Water/Energy/Food Nexus concept and its relevance to water research

David Blanchon and François-Michel Le Tourneau

- 1 Le concept de Nexus Eau-Énergie Alimentation (en anglais *Food Energy and Water* -FEW) s'est popularisé depuis les années 2010 notamment dans les institutions internationales pour insister sur les relations systémiques entre ces trois dimensions fondamentales pour les sociétés humaines contemporaines. Il rappelle qu'il faut de l'eau pour produire de l'alimentation mais qu'elle sert aussi à produire de l'énergie, qu'il faut également de l'énergie et de l'eau pour produire des aliments – et de l'énergie pour apporter l'eau – mais que ceux-ci produisent à leur tour de l'énergie. Il souligne aussi que ces différents aspects et interrelations doivent être abordés ensemble et de manière systémique si l'on veut arriver à une meilleure compréhension et à une meilleure gestion des questions liées à la sécurité alimentaire et énergétique tant au niveau international que pour chaque État ou région.
- 2 Pour autant, ces apports heuristiques semblent incomplets lorsque l'on observe certaines situations particulières, comme celle du sud-est de l'Arizona, aux États-Unis. Dans cette région, les restrictions croissantes sur l'approvisionnement en eau venu du Colorado, pourtant capital pour le maintien des activités agricoles et pour la distribution d'eau dans les zones urbaines, ne semblent pas entraîner de changement de systèmes d'utilisation de la ressource. Malgré un coût important en énergie, les propriétaires fonciers préfèrent encore utiliser les terres des vallées pour des productions irriguées à faible valeur ajoutée (luzerne, coton) plutôt que de se convertir

à de l'agriculture de haute intensité ou de se tourner vers le développement urbain, comme on l'observe dans d'autres zones soumises au stress hydrique comme le bassin méditerranéen ou l'Afrique australe (Marshall et Lavie, 2017 ; Molle *et al.*, 2010 ; Blanchon, 2009)

- 3 Le Nexus tridimensionnel ne permet pas de comprendre ce paradoxe apparent dans la gestion des ressources en eau. L'ajout d'une quatrième dimension, celle de la terre (*land*, en anglais, qui désigne autant la dimension foncière que celle des usages), en revanche, permet de mieux éclairer la situation et de montrer des interactions jusque-là peu visibles, voire masquées, si l'on s'en tient à l'approche Nexus Eau-Alimentation-Energie « classique ». L'objectif de cet article est de démontrer l'apport du passage d'un Nexus de trois à quatre dimensions pour la compréhension de ce cas d'étude mais également, plus généralement, comment il permet de mettre en valeur plusieurs dimensions du cycle hydrosocial.

L'intégration du « Land » dans le Nexus Eau-Énergie-Alimentation

Nexus : un concept consolidé sur le plan international mais émergent en France

- 4 Depuis la Conférence sur le Nexus tenue à Bonn en 2011, intitulée « le lien entre l'eau, l'énergie et la sécurité alimentaire—Solutions pour l'économie verte », l'interrelation entre l'alimentation, l'énergie et l'eau (en anglais *Food Energy and Water* -FEW) a suscité un intérêt croissant, au point que le « FEW Nexus » est désormais un concept commun dans la littérature scientifique anglophone. De nombreux articles traitent de la présentation des origines et du développement du lien FEW, comme Galaitsi *et al.* (2018) ou Kurian et Ardakanian (2015), et une revue de la littérature récente à ce sujet a été publiée par Simpson et Jewitt (2019). Selon ces articles, le FEW Nexus est le plus souvent représenté sous la forme d'un triangle avec 6 interconnexions (Figure 1), dont la valeur heuristique est de montrer des relations systémiques qui ne sont pas nécessairement évidentes et appeler à l'approche conjointe des trois dimensions mises en avant. Le Nexus rappelle par exemple qu'il faut un système énergétique pour produire de l'alimentation mais que la relation réciproque peut aussi exister par la transformation de productions agricoles en énergie. De même, il souligne que l'eau est souvent extraite de l'environnement au prix d'une dépense en énergie.
- 5 Le concept est très utilisé dans les sphères politiques et commerciales (Leck *et al.*, 2015) telles que le Forum économique mondial de Davos, où il est présenté comme le nouveau cadre de gestion des ressources dans la perspective du développement durable et de la sécurité, deux notions auxquelles il est fréquemment associé (Bhaduri *et al.*, 2017). D'innovation analytique, le Nexus en devient une nouvelle forme de justification de politiques publiques ou d'investissements, ainsi qu'Allouche *et al.* (2018) le montrent à partir de l'exemple du Mékong. Pour eux, dans ce cas précis, la notion de Nexus Eau-Energie Alimentation n'est convoquée que pour justifier la construction de nouvelles infrastructures hydrauliques qui reproduisent les asymétries de pouvoir. Pour ces auteurs, il reprend le rôle dévolu jusqu'ici au concept de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE), dominant dans les années 1990 et 2000.

- 6 Les sciences sociales se sont emparées plus récemment de ce concept. Il a fait notamment l'objet d'un numéro spécial de la revue en ligne *Water Alternative* en 2015¹, dans lequel de nombreux articles ont abordé une approche critique de la notion de Nexus. Dans l'introduction de ce numéro, Allouche *et al.*, soulignent que le concept de Nexus est encore trop peu développé, et qu'il n'est qu'un nouvel outil de la « *green economy* » pour l'optimisation de l'allocation des ressources dans une système économique marqué par la crise financière de 2008. Dans le même numéro, Foran (2015) souligne les limites du concept qui tend à masquer toutes les autres dimensions qui déterminent les politiques de l'eau, de l'énergie et de l'alimentation.
- 7 Comparativement au monde anglo-saxon, la notion de Nexus Eau-Energie Alimentation est relativement peu utilisée dans la littérature scientifique francophone, et il est employé le plus souvent comme synonyme d'interactions entre les questions d'eau et celles d'alimentation ou d'énergie, pour comprendre les questions géopolitiques (Comair, 2017 ; Taithe, 2014 ; Blanchon, 2019) ou plus généralement les enjeux de la gestion de l'eau, notamment dans les pays méditerranéens et des Suds (Petit, 2016 ; Maupin-Beskin et Lavie, 2019).
- 8 De ce bref aperçu bibliographique, deux points émergent. D'une part, le concept de Nexus Eau-Energie-Alimentation est encore largement « en construction » et, d'autre part, les sciences sociales, en l'occurrence dans ce numéro « les chercheurs d'eaux » peuvent apporter une dimension critique, notamment en soulignant les rapports de pouvoir entre les acteurs impliqués. C'est dans cette perspective que nous nous proposons d'inclure les dynamiques foncières, qui permettent d'intégrer les dimensions politiques d'interaction et les stratégies des acteurs.

L'intégration du « Land » dans la littérature anglophone

- 9 Au-delà des trois premières dimensions, le « FEW Nexus », l'intégration d'autres dimensions comme la gouvernance, la « sécurisation des ressources » ou encore la résilience, ont été proposées. Scott *et al.* (2015) affirment ainsi que : « *L'approche Nexus exige que des facteurs interdépendants soient réunis, ceux qui étaient auparavant considérés comme séparés, voire isolés* ». Ainsi, pour être efficace selon ces auteurs, le *nexus* doit alors englober et intégrer autant de facteurs ou de dimensions que possible, en particulier la complexité des systèmes socio-écologiques (Scott *et al.*, 2015) ou l'environnement dans son ensemble comme le proposent Grenade *et al.* (2016).
- 10 Le premier ajout de « Land » dans le FEW Nexus a été proposé par Ringler *et al.* (2013) dans un article dans lequel ils présentent un cadre conceptuel incluant la terre dans le Nexus sans fournir une application à une étude de cas spécifique. Récemment, plusieurs études ont pris en compte la terre comme facteur dans leur analyse du Nexus dans différents contextes².
- 11 Parmi ces travaux, quatre articles ont proposé une approche théorique plus détaillée. Ainsi, Bijl *et al.* (2018) ont souligné que la terre est le support des trois dimensions du Nexus : « *la production alimentaire nécessite de la terre et de l'eau, mais aussi de l'énergie (pour alimenter les machines et produire des engrais). [...] L'extraction de combustibles fossiles « consomme » des terres et de l'eau en les polluant. La terre et l'eau sont également utilisées dans la production de bioénergie (à la fois des biocarburants liquides et du bois de chauffage ou du charbon de bois). [...] Enfin, la terre elle-même est également intimement impliquée dans le cycle de l'eau, en collectant les précipitations et en servant de tampon pour la disponibilité de l'eau, et*

parce que les droits d'irrigation sont souvent liés à la propriété foncière ». Mais, outre leur description de telles interactions, ces auteurs se focalisent plus sur les questions de distance et d'échelle dans le cadre du WEF-Nexus, n'allant pas jusqu'à proposer la terre comme une dimension à part entière.

- 12 Dans leur étude sur le Darfour, Elagib et Al-Saidi (2020) vont plus loin en étendant le lien Alimentation-Énergie-Eau (FEW) pour devenir Food-Water-Energy-Land (FEWL). Ils montrent comment « la terre et l'eau sont considérées comme l'élément contraignant du WELF Nexus ». Dans leur perspective, l'agroforesterie est le lieu où se produit le compromis entre la terre et la nourriture. Abdali *et al.* (2021), étudiant l'industrie de la canne à sucre en Iran, ont également proposé un cadre d'intégration des dynamiques foncières dans le cadre de cette industrie spécifique, qui demande à la fois une quantité énorme d'eau et des surfaces foncières importantes. Enfin, Karabulut *et al.* (2018), ont concentré leur analyse sur le concept de sécurité, ajoutant la dimension des écosystèmes au Nexus standard.

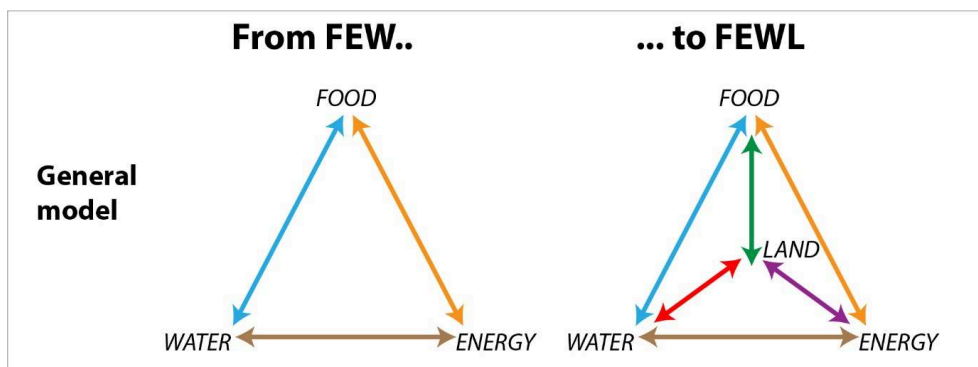
Du triangle au tétraèdre : l'ajout de la dimension "land"

- 13 Ainsi que le montrent les exemples de la section précédente, la question du "land" a souvent été associée au Nexus, sans pour autant y être toujours intégrée à parité avec les autres. Suivant cette approche, nous explorons ici l'intérêt d'intégrer « la terre » comme une quatrième dimension à part entière dans le Nexus.
- 14 Comme les autres parties du « FEW Nexus » existant, « la terre » est une notion complexe qui peut être abordée à la fois comme une réalité physique (un terrain), un actif économique (un capital ou un bien), un ensemble de droits (propriété foncière/tenure foncière), des règles (politiques de gestion foncière/coutumière) ou encore une réalité vécue de manière spécifique par chaque société (territoire) servant d'interface avec les autres composantes du Nexus. En anglais, « Land » est aussi un terme polysémique qui fait référence aussi bien à une « partie de l'espace » et à son utilisation (agricole, urbaine...*land use*) qu'à la propriété foncière (publique ou privée, sous différentes formes - *land ownership*). Ce sont l'ensemble de ces significations que nous associons ici, ainsi que leurs interactions et évolutions souvent désignées comme dynamiques territoriales.
- 15 Intégrer cette nouvelle dimension au Nexus implique de changer de figure géométrique : au lieu de l'intégrer à l'intérieur du triangle FEW ou de faire du triangle FEW un carré, nous préférons utiliser la figure du tétraèdre qui nous semble avoir de meilleures potentialités heuristiques pour représenter le Nexus FEWL. En effet, dans un tétraèdre, chaque sommet se rapporte à tous les autres, montrant l'ensemble des interactions possibles entre les quatre dimensions. De plus, le tétraèdre FEWL peut être décomposé en quatre triangles distincts. Le modèle standard du Nexus FEW est l'un d'entre eux, mais trois autres Nexus apparaissent également : Terre/Nourriture/Eau (LFW), Terre/Nourriture/Énergie (LFE) et Terre/Eau/Énergie (LWE).
- 16 Chaque triangle est composé de trois arcs, qui peuvent être interprétés comme des relations binomiales entre deux sommets (représentés par des doubles flèches sur la figure). Ainsi, dans le premier triangle, l'eau se rapporte à la nourriture et la nourriture à l'eau, l'énergie à l'eau et l'eau à l'énergie, et ainsi de suite. Comme les quatre triangles du tétraèdre partagent certains sommets, ils partagent également certaines de ces relations. Au total, il existe six relations binomiales distinctes entre chacun des quatre

sommets : Eau/Terre, Eau/Énergie, Eau/Nourriture, Terre/Nourriture, Terre/Énergie, Nourriture/Énergie. Ceci est bien entendu théorique. Il s'agit de l'univers des relations possibles, qui apparaîtront ou non (ou seront significatives ou non) selon la situation empirique considérée.

- 17 Ce nouveau cadre permet de dévoiler des liens faibles ou invisibles, et de favoriser de nouvelles approches lorsqu'il est appliqué à des études de cas. Il conduit également à élargir les différentes interactions perçues sur le terrain avec les composants « standards » du Nexus. C'est ce que nous allons essayer de démontrer avec une étude de cas sur le sud-est de l'État d'Arizona (États-Unis) en le traitant tout d'abord sous l'angle Nexus FEW puis en y ajoutant la dimension Land.
- 18 Pour ce faire, notre étude s'appuie à la fois sur des données quantitatives (traitement d'images satellites et photographies aériennes diachroniques pour documenter les changements de l'occupation des sols) et qualitatives (lecture des rapports internes des différents organismes et entretiens avec les acteurs de terrains).

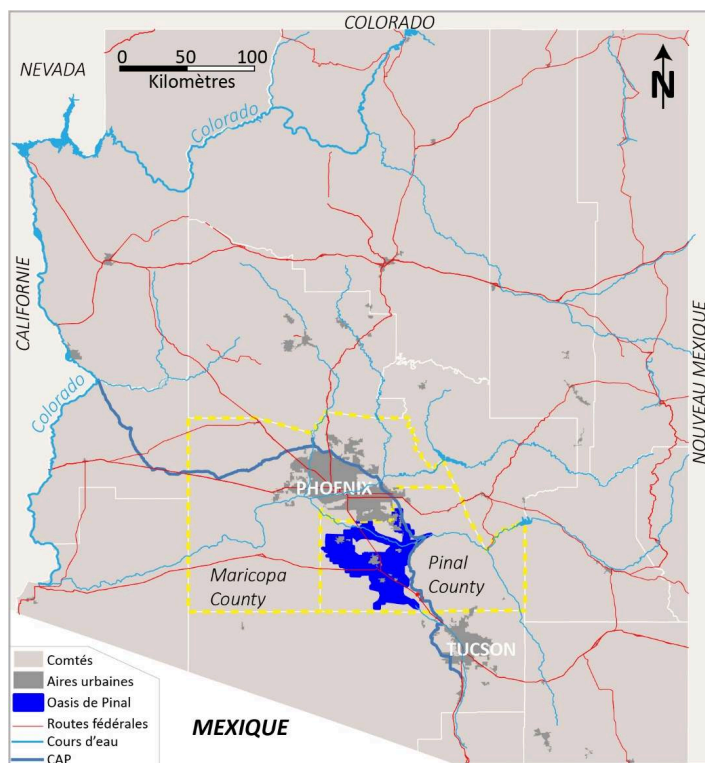
Figure 1a et 1b : De FEW à FEWL, le passage à quatre dimensions du Nexus



Le sud-est de l'Arizona et son approche par le Nexus FEW.

- 19 Situé au Centre-Sud de l'Arizona, entre Phoenix et Tucson, le comté de Pinal (Figure 2) était jusque récemment principalement tourné vers l'agriculture irriguée, représentant une configuration typique de ce que Lavie et Marshall (2017) désignent comme des « oasis mondialisées »³. Il connaît actuellement une croissance très rapide des activités industrielles et de l'étalement suburbain (*urban sprawl*).

Figure 2 : carte de situation du comté de Pinal et de son « oasis »



- 20 De fait, tout au long du XX^e siècle, le territoire de l'actuel comté de Pinal a connu la croissance de 4 des 5 « » qui, selon Sheridan (2012), caractérisent le développement économique de l'Arizona. L'élevage (*cattle*), d'abord, sur les vastes étendues - appelées bajadas - à l'ouest et à l'est du périmètre irrigué ; le coton, encore cultivé aujourd'hui sur les terres irriguées ; le cuivre, avec la mine de Silverbell et la SASCO (Southern Arizona Smelter Company), fonderie de cuivre autour de laquelle s'était formée une agglomération qui n'est plus aujourd'hui qu'une ville-fantôme ; et enfin, le climat, avec l'afflux de retraités à la recherche d'un climat plus chaud en hiver (les *snowbirds*) et l'expansion des lotissements suburbains, des communautés de retraités, des terrains de golf et des parcs de camping-cars.
- 21 Ce dernier changement s'est fortement marqué dans le paysage, en particulier depuis une trentaine d'années. D'après des calculs effectués pour cette étude, le principal changement d'affectation des terres entre 2004 et 2020 est la croissance des zones urbaines et périurbaines. Celles-ci sont passées de 25 000 ha (8,7 % de la superficie totale des oasis) à 39 000 ha (13,5 % de la superficie totale des oasis). La croissance du nombre d'habitants a motivé ce changement. Longtemps réduite par rapport aux comtés voisins de Maricopa (Phoenix) et de Pima (Tucson), la population du comté de Pinal a récemment cru de manière exponentielle : +54 % ont été enregistrés dans les années 1990 et une croissance de +100 % dans les années 2000. Selon le recensement de 2020, le comté compte désormais 425 000 habitants, alors qu'il n'en avait que 116 000 en 1990 (et 43 000 en 1950). Comme on le verra, ces changements apparents peuvent masquer un autre changement fondamental qui est le glissement vers le sud et l'ouest des aires d'agriculture irriguées, sous l'impulsion de la croissance urbaine de Phoenix.
- 22 Par son histoire, sa composition ethnique (30 % d'Hispaniques) et ses activités, le comté de Pinal est représentatif de l'Arizona et plus largement de l'ouest des États-Unis, en

étant ni presque exclusivement urbain comme les comtés voisins de Maricopa ou Pima, ni essentiellement tourné vers l'agriculture comme le comté de Yuma. On y retrouve toutes les dynamiques liées à l'eau, l'énergie et l'agriculture, dans un contexte de croissance de la population et d'urbanisation rapide.

L'eau et l'agriculture, une relation fondamentale dans le comté de Pinal

- 23 La lecture de la situation au travers du Nexus à trois dimensions permet de mettre en valeur à quel point la relation eau-alimentation (et donc eau-agriculture en l'absence de culture pour la production de biocombustibles) est forte dans le comté de Pinal. En effet, si les autoroutes I-10 et I-8 traversent de vastes étendues de champs cultivés, ce paysage fausse l'impression du « milieu naturel ». Avec une pluviométrie moyenne de 200 mm par an, le paysage original était en effet celui d'une vaste plaine sableuse aride, uniquement interrompue par quelques couloirs de cours d'eau éphémères. Même la rivière Santa Cruz s'y perdait, n'atteignant jamais la Gila sauf lors des épisodes les plus pluvieux des moussons d'été... L'oasis de Pinal a donc été créée de toutes pièces par l'activité humaine, depuis les premières civilisations amérindiennes jusqu'à nos jours. La relation eau/alimentation du Nexus est donc une dimension principale pour le socio-hydrosystème local.
- 24 L'irrigation dans la zone remonte au premier millénaire, avec les canaux de la civilisation Hohokam près de Casa-Grande (Doolittle et Mabry, 2006). L'agriculture amérindienne reposait sur un mélange de champs inondés et irrigués et elle s'est maintenue jusqu'à la fin du XIX^e siècle quand elle a été privée d'eau par les colons anglo-saxons qui ont importé des techniques d'irrigation intensive, en bâtissant des premiers barrages et creusant de grands canaux, ce qui a conduit à l'assèchement des rivières. Face à ces difficultés, dans les premières décennies du XX^e siècle, ils ont utilisé leur influence politique au niveau local et fédéral pour faire financer de grandes infrastructures pour réguler le débit des cours d'eau d'amont (Salt et Gila River), promouvant la construction de plusieurs barrages et lacs. (Sheridan, 2012).
- 25 Les pompes massifs ont cependant entraîné une baisse drastique du niveau de la nappe phréatique, provoquant de vastes subsidences à partir des années 1960 (Poupeau *et al.*, 2016). Devant le danger de voir les terrains devenir inutilisables, l'État d'Arizona plaçait au niveau fédéral pour construire un grand canal pour détourner l'eau du fleuve Colorado vers le centre de l'État. Les financements fédéraux pour le Projet de l'Arizona Central (ou Central Arizona Project - CAP) n'ont été accordés qu'à la fin des années 1970. Mais en contrepartie de cet investissement, l'État d'Arizona s'est engagé à mieux gérer les eaux souterraines grâce à des politiques qui réduiraient le pompage et restaureraient l'aquifère (Poupeau *et al.*, 2016). Pour ce faire, la loi appelée *Groundwater Management Act* (GMA) a été adoptée en 1980 (Engel *et al.*, 2020). Celle-ci délimite des Zones de Gestion Active (*Active Management Areas*- AMA) comme cadre de gestion, et elle limite les droits de pompage des différents acteurs présents sur le territoire en remettant en cause les droits de « première appropriation » qui donnaient auparavant aux propriétaires fonciers (en l'occurrence les agriculteurs) un droit presque illimité sur les eaux souterraines. La gestion par « l'offre » du CAP était ainsi contrebalancée par une gestion « de la demande » du GMA qui, à l'époque, était présenté comme un mode de gestion novateur de l'eau aux États-Unis (Megdal *et al.*, 2017).

- 26 Malgré l'importance de la croissance urbaine récente, l'essentiel de la consommation en eau du comté de Pinal concerne l'irrigation (81 %, selon l'*Arizona Department of Water Resources*) soit autour de 100 millions de mètres cubes par an, un chiffre stable depuis 1985. Elle est essentiellement destinée au coton (40 % de la superficie irriguée) et à la luzerne (40 %) et secondairement aux céréales. En comparaison, la consommation urbaine (environ 4,3 millions de m³) est assez stable depuis 2008, ce malgré la croissance démographique. Les principales sources d'eau sont le pompage des eaux souterraines (47 %), les eaux de surface captées dans la Gila River (8 %) et, depuis 1992, les eaux provenant du Colorado et transitant par le *Central Arizona Project* (45 %). Au niveau local, 4 districts d'irrigation et de drainage (IDD) prennent en charge l'essentiel de la distribution d'eau⁴ (87 %) dans les terres irriguées : Central Arizona IDD, Hohokam IDD, Maricopa Stanfield IDD, San Carlos IDD et New Magma IDD (ce dernier est situé en dehors de Pinal AMA, mais dans le département de Pinal). Selon Whipple (2018) : « *Les districts d'irrigation utilisent en grande partie un mélange de CAP et d'eaux souterraines, les livraisons de CAP représentant environ 45 % de l'utilisation d'eau en volume dans les districts d'irrigation à partir de 2015* (Betcher, 2015) ». Depuis le vote de la GMA en 1980, le pouvoir des IDD est largement limité et la gestion de l'eau s'effectue dans les AMA sous contrôle de *Arizona Department of Water Resource*.
- 27 Depuis l'arrivée du CAP en 1992, la nappe phréatique s'est stabilisée, prouvant que les agriculteurs se sont largement tournés vers l'eau du Colorado pour l'irrigation. Toutefois, cette conversion n'a pas été sans contestation sur le prix de cet approvisionnement. Par ailleurs, la situation de sécheresse chronique enregistrée dans le bassin du Colorado depuis le début des années 2000 a entraîné une réflexion autour de la nécessité de limiter les prélèvements, qui a débouché sur un plan de rationnement élaboré par chacun des États concernés et a été mis en application en 2021. À ce stade, une diminution de 15 % des volumes d'eau prélevés a été appliquée.
- 28 Cette situation de sécheresse récurrente a également profondément bouleversé le système d'acteurs et les modes de régulations, en complexifiant considérablement le Nexus Eau-Énergie-Alimentation (et en le tendant considérablement du fait de la nécessité de distribuer spatialement et socialement les contraintes liées à cette diminution ?).

Les relations énergie/eau et énergie/alimentation

- 29 Le lien « énergie vers eau »⁵ est le deuxième composant important que la lecture FEW permet de mettre en avant, et qui est souvent oublié. Il faut en effet des quantités importantes d'énergie pour approvisionner l'oasis de Pinal en eau, quelle que soit la source choisie.
- 30 Concernant le CAP, l'eau du Colorado circule, pour ainsi dire à « contre-pente », le point d'arrivée au sud de Tucson se trouvant 500 mètres plus haut que la prise dans le Lac Havasu. En 2011, Eden *et al.* ont évalué l'énergie incluse dans les transferts d'eau depuis le Colorado, en montrant qu'il fallait environ 1,24 KWh par m³ dans la région de Pinal (chiffres 2009). À cette époque, la majeure partie de l'énergie consommée par le gestionnaire du CAP était produite par la Navajo Generating Station (NGS), une vaste centrale électrique au charbon qui a été démantelée en 2019. Les sources d'énergie pour le CAP sont aujourd'hui beaucoup plus diversifiées via des achats sur les marchés de gros de l'électricité, ce qui rend bien plus difficile l'évaluation de l'empreinte

environnementale de l'eau fournie par le CAP. Toutefois, le coût énergétique de cette eau demeure élevé.

- 31 Mais l'usage des eaux souterraines est également loin d'être gratuit sur le plan énergétique puisque la nappe phréatique se situe aujourd'hui à une profondeur d'environ 100 m pour la plus grande partie de l'oasis. Opter pour cette ressource au lieu de celle fournie par le CAP a donc longtemps été une question de coût. Whipple (2018, p. 26) a ainsi calculé que le coût énergétique de l'eau du CAP équivaut à celui d'un forage d'environ 100 mètres, si bien qu'avant même les restrictions dues à la sécheresse, le choix des agriculteurs pouvait déjà se porter sur une reprise des pompes pour des raisons économiques.
- 32 La relation énergie pour l'agriculture est également difficile à calculer, mais l'agriculture du comté de Pinal, tant pour la luzerne que l'élevage bovin, est extrêmement consommatrice en énergie du fait de la mécanisation et du fait de l'importance des surfaces concernées et de l'intensité de l'exploitation.

Derrière l'approche Nexus-FEW, des questions sans réponse

- 33 Plusieurs points demeurent obscurs, si l'on s'en tient au Nexus classique à trois dimensions pour le comté de Pinal. En premier lieu, on y observe que les développements urbains se font sur les terres agricoles, ce qui peut paraître surprenant étant donné les vastes espaces disponibles dans les *bajadas*, vastes piémonts en pente douce qui se trouvent entre les montagnes et les zones irriguées. Comment peut-on comprendre cette dynamique de remplacement de terres productives par des lotissements alors que tant d'espaces équivalents « vides » sont disponibles à proximité du centre des agglomérations de Phoenix et Tucson ?
- 34 En second lieu, l'absence de modernisation agricole, elle aussi, interroge. L'Arizona d'aujourd'hui est en effet aux prises avec une diminution des réserves d'eau utilisables pour l'agriculture (Bickel, Duval Frisvold, 2016 ; Hullinger, 2020) et avec un développement urbain à croissance rapide qui lui dispute cette ressource rare (Benites-Gambirazio, 2016 ; Boyer et Le Lay, 2019). Dans de telles conditions, selon une approche uniquement basée sur le Nexus Eau-Energie-Alimentation, on pourrait imaginer que le futur de l'agriculture se situerait dans une conversion massive vers des productions de haute valeur ajoutée et des systèmes économes en eau. Au contraire, on observe le maintien de la luzerne ou du coton comme productions principales et celle de l'irrigation par submersion comme pratique quasi exclusive, le seul signe d'amélioration étant le bétonnage des canaux d'irrigation primaires et parfois secondaires.
- 35 Enfin, on peut s'interroger sur le peu de politiques d'adaptation au changement climatique dans un socio-hydrosystème qui est fragile et vulnérable à la multiplication des sécheresses. À l'arrière-plan de la controverse « agricole » se trouvent en effet les changements climatiques aux effets déjà sensibles dans la région (Frisvold et Konyar, 2012), qui font passer le problème de l'eau d'une crise conjoncturelle à une crise structurelle (Eakin et York, 2020).
- 36 Ainsi, Bausch *et al.* (2015) soulignent que trois « récits contradictoires », selon les acteurs qu'ils ont interrogé, dominent désormais dans le centre de l'Arizona à propos de la place et l'avenir de l'agriculture : l'un affirmant que l'agriculture est désormais obsolète et devrait être abandonnée ; le second, au contraire, postulant que

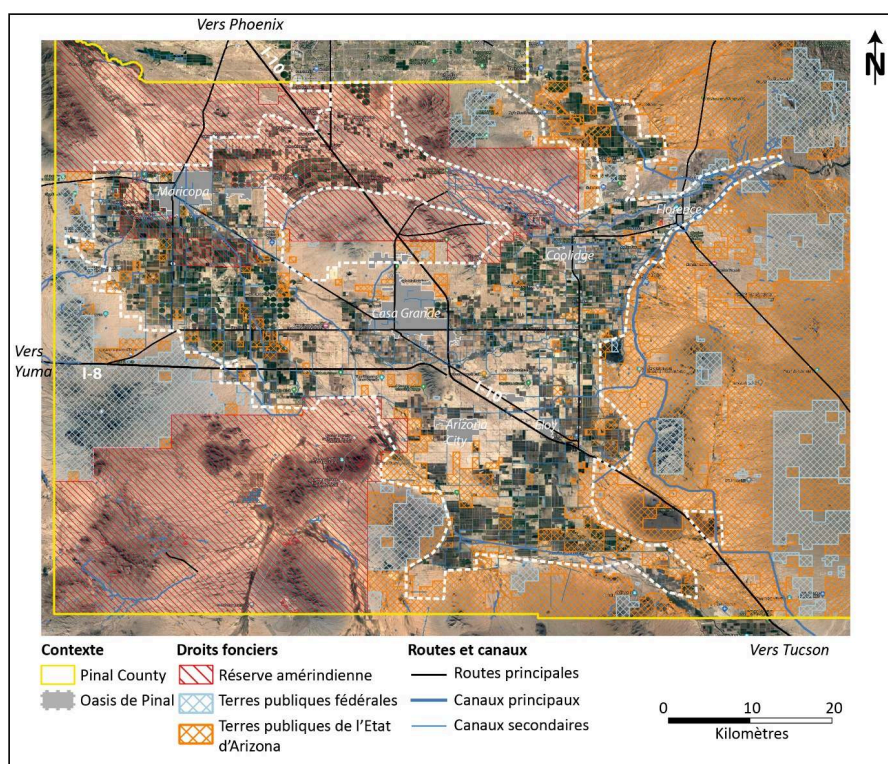
l'agriculture est résiliente et résistera aux défis auxquels elle est confrontée ; et le troisième affirmant que l'agriculture a une valeur, mais que sa place devrait être discutée.

La dimension « land » comme révélatrice d'autres dynamiques

L'appropriation foncière dans le Comté de Pinal

- 37 Jusqu'à ce qu'il soit acheté par les États-Unis en 1853, le territoire de ce qui est maintenant la partie sud de l'État de l'Arizona, sous le contrôle théorique de l'Espagne puis du Mexique, était habité par plusieurs tribus indiennes, comme les Tohono-O'odham, les Ak-Chin et les Apaches, et par une poignée de colonies hispano-mexicaines. En raison des conditions climatiques difficiles, seule une petite fraction de la migration anglo-saxonne vers l'Ouest s'est installée en Arizona, et beaucoup de ceux qui l'ont fait ont échoué (Stein, 1990). L'acquisition des terres s'est d'abord faite par appropriation directe et, après 1865, par le *homesteading*⁶ (Le Tourneau, 2019). Les colons privilégiant les plaines alluviales irrigables aux piémonts (les *bajadas*), la plupart des terres entourant les cours d'eau éphémères ou permanents sont désormais des propriétés privées, alors que les piémonts restent occupés par des terres publiques le plus souvent louées à des éleveurs (Figure 3).
- 38 Au niveau du comté, seulement 25 % des terres sont privées. Les terres publiques (sous divers statuts : Bureau of Land Management, forêts fédérales ou fiducies d'État) occupent 52,8 % de la superficie totale. En regardant la partie de l'AMA de Pinal contenue dans le comté de Pinal, les proportions sont différentes. La part des terres privées s'élève à 38,2 % alors que les terres publiques chutent à 30,4 %. Enfin, si l'on regarde la zone irriguée de Pinal, 68,7 % de sa surface sont des terres privées, illustrant le processus historique d'accaparement par les colons. Seulement 12,6 % des terres y sont publiques (la plupart sont composées de terres domaniales). Les terres tribales représentent une part importante de l'AMA mais une partie beaucoup plus petite de la zone irriguée, montrant comment les Amérindiens ont été exclus des terres les plus facilement irrigables.

Figure 3 : configuration de l'oasis de Pinal et droits fonciers



Le triangle Eau/terre/Agriculture pour comprendre l'inertie des pratiques agricoles

- 39 Le système mis en place avec le GMA avait pour objectif de promouvoir une gestion vertueuse des prélèvements d'eau souterraine dans les zones de "gestion active". Pour ce faire, le législateur avait édicté l'interdiction de l'expansion des parcelles irriguées, pour limiter le volume des prélèvements au niveau constaté à la fin des années 1970.
- 40 Ainsi, chaque agriculteur pouvait disposer d'un volume d'irrigation pour les parcelles effectivement utilisées entre 1976 et 1979. Ces droits sont appelés « *Irrigation Grandfathers Groudwater Rights* » -IGR. Comme la zone irriguée de Pinal et, d'une manière générale, l'ensemble des zones irriguées d'Arizona, avait connu un déclin depuis leur pic d'expansion des années 1950, le système conduisait effectivement à une réduction importante des prélèvements potentiels.
- 41 Toutefois, plusieurs facteurs ont contribué à limiter considérablement l'efficacité du dispositif. Le premier est que l'allocation des droits d'irrigation a été conçue de manière fixe et sans aucune autre incitation au changement des pratiques agricoles. Aucune augmentation programmée et progressive du prix de l'eau ou taxe sur les volumes, ni aucune diminution graduelle des volumes alloués n'ont été prévues, contrairement à ce que l'on peut observer dans des contextes similaires de tension sur la ressource comme au Maghreb ou en Afrique du Sud. L'allocation étant généreuse (2 pieds d'eau par acre de parcelle considérée -soit environ 6 000 m³ par hectare), les agriculteurs ne font pas vraiment face à une pénurie tant qu'ils ne cherchent pas à étendre les surfaces cultivées, et des gains peu importants d'efficacité peuvent suffire à leur donner de quoi s'étendre.

- 42 En second lieu, dans le système mis en place en Arizona, les IGR sont les droits à l'eau les plus robustes sur le plan juridique⁷, et ils ne dépendent pas du contexte hydrique global. Ainsi, face au plan de réduction de la fourniture d'eau par le CAP mis en œuvre depuis 2021⁸, les agriculteurs peuvent décider de reprendre leurs pompages dans la nappe phréatique à hauteur de leurs droits à l'eau sans qu'aucune autorité ne puisse les limiter. Jusqu'ici, comme on l'a vu dans la partie précédente, le calcul était économique. Aujourd'hui, il devient conjoncturel, car la demande que le CAP ne sera plus en mesure de satisfaire pourra être compensée par des pompages, jusqu'à ce que la profondeur à atteindre rende cette solution non-viable sur le plan économique.
- 43 Ainsi, par le biais des IGR, la question de l'approvisionnement en eau s'exprime principalement sous la forme d'une dépendance aux parcelles irriguées durant la période de référence, ce que l'observation de la relation binomiale eau/foncier permet de mettre en valeur. Les agriculteurs qui disposent d'IGR se trouvent en effet en possession d'un important stock d'eau dont ils peuvent décider de faire ce qu'ils veulent, que ce soit le consacrer à l'agriculture – pas nécessairement sur les parcelles qui supportent les droits en question, on le verra dans la section suivante - et maintenir des pratiques peu efficaces ou convertir cette eau pour d'autres usages (voir ci-dessous). Cela explique donc le conservatisme des *farmers*, qui n'ont aucun intérêt à court terme pour modifier leurs pratiques.
- 44 Dans le Nexus FEWL, la relation inhérente entre l'eau et le foncier - et son inertie - permet ainsi de comprendre les particularités de l'axe eau-agriculture dans cette région de l'Arizona, tant le foncier détermine toujours *in fine* l'allocation des ressources en eau.

Le triangle Eau/foncier/énergie pour comprendre les dynamiques urbaines et agricoles

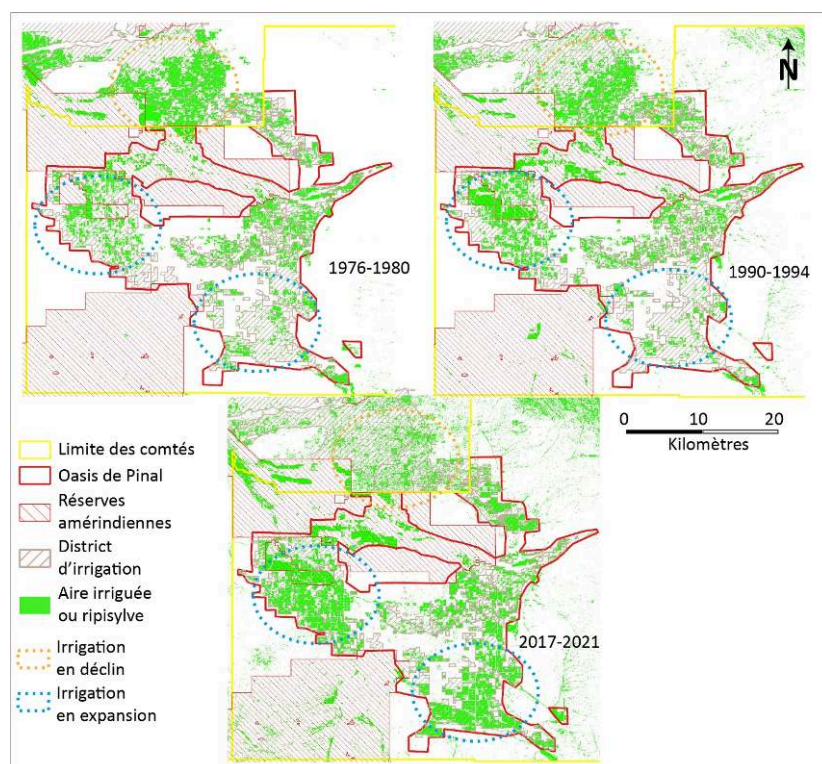
- 45 Si la relation indissociable entre certaines terres et les droits à l'eau explique le maintien de l'agriculture telle qu'elle est, il n'en est pas de même pour la conversion des usages car les IGR se maintiennent même si les parcelles qui donnent droit à de l'eau sont converties pour un autre usage. Il est en effet possible dans le cadre des AMA de transférer les droits sur l'eau d'une terre agricole vers une autre terre ou vers un développement urbain. Cette relation "souple" du foncier et de l'eau explique trois stratégies que nous avons observées lors de nos recherches sur le terrain en 2020-2021.
- 46 La première est une transformation des parcelles ayant donné lieu à des IGR de l'usage agricole en usage urbain. Les avantages sont multiples. Le propriétaire peut en effet vendre un espace valorisé à un promoteur immobilier et lui garantir par la même occasion l'approvisionnement pérenne en eau nécessaire pour la construction du lotissement. Les usages urbains étant largement inférieurs aux 6 000 m³ par hectare auquel les IGR donnent droit, le propriétaire, s'il conserve les IGR pour lui, peut même utiliser l'eau à laquelle il a droit sur une autre parcelle agricole, ce qui lui permet de maintenir sa production. Comme on l'a dit, la surface irriguée à la fin des années 1970 était considérablement inférieure à celle des années 1950, si bien qu'il existe, dans la zone irriguée de Pinal, une réserve de parcelles potentiellement cultivables qui ne le sont pas faute d'IGR. Celles-ci peuvent accueillir des cultures qui se trouvent en quelque sorte déplacées des zones qui sont loties. L'importance des revenus obtenus lors de la cession des parcelles pour des développements urbains et la conservation des

IGR expliquent la constitution d'un front de développement des activités agricoles vers les périphéries. Les fermiers du comté voisin de Maricopa, où se trouvent la ville de Phoenix et ses banlieues, se sont ainsi étendus vers Pinal et les fermiers du comté poussent leurs activités plus au sud. Le fait que le développement urbain ne se concentre pas sur les zones de *bajadas* et qu'il morde sur les zones agricoles est ainsi expliqué de deux façons. Il répond à la logique de maximisation de l'utilisation du foncier par les agriculteurs. Et, à l'inverse, les *bajadas*, terres publiques, ne bénéficient pas de droits sur l'eau qui permettraient le développement urbain dans le cadre des AMAs. Le déplacement des zones irriguées sous la pression du développement urbain est clair dans la Figure 4, qui représente les zones irriguées durant trois époques (1976-1980, 1990-1994 et 2017-2021)⁹. On observe que le nord de la région, correspondant au comté de Maricopa et à l'extension urbaine de Phoenix, passe d'une configuration d'agriculture irriguée (en grandes parcelles continues) à une configuration mouchetée typique de jardins de pavillons suburbains, alors que le sud et le sud-ouest de la zone (correspondant à la plus grande partie de l'oasis de Pinal) voient une réactivation des parcelles irriguées.

- 47 Une seconde stratégie que l'on observe est la transformation de parcelles agricoles en fermes solaires. Celle-ci s'explique principalement par les mêmes éléments que plus haut, avec quelques spécificités. La première est que la demande pour des énergies renouvelables est en forte croissance, rendant l'investissement dans d'immenses fermes solaires attractif. La seconde est que les fermes solaires sont une transformation non-définitive du foncier. Les terres sont en effet louées en général pour trente ans, ce qui correspond à la durée de vie attendue des panneaux. Le propriétaire peut donc à l'issue du bail décider d'un démontage de l'installation et d'un retour à la production agricole, ce qui n'est pas le cas pour des lotissements. Dans tous les cas, les fermes solaires utilisant très peu d'eau¹⁰, le propriétaire conserve ses IGR, ce qui lui permet de continuer à mener une activité agricole sur d'autres parcelles. Cette transformation permet de valider l'existence du lien foncier/énergie de notre tétraèdre.
- 48 La troisième et dernière stratégie consiste à transférer les droits sur l'eau d'une ferme vers un développement industriel ou urbain, mais cette fois plus lointain. Dans le cadre très complexe de la gestion des eaux souterraines en Arizona, tout développement urbain doit prouver qu'il y a une ressource disponible (*Assured Water Supply-AWS*) pour « les cent prochaines années ». Les promoteurs peuvent donc acheter des « droits » à des vendeurs, dans la limite de la même AMA (Bernat, 2020). Un agent immobilier spécialisé dans la vente de propriétés agricoles nous a ainsi expliqué qu'un des arguments premiers, notamment pour les fermes relativement peu rentables, était l'existence de IGR qui y étaient attachés¹¹. Des promoteurs immobiliers pouvaient ainsi acheter un grand nombre de fermes, les laisser en culture provisoirement, et ensuite les abandonner lorsqu'ils auront besoin des droits sur l'eau pour des développements futurs.
- 49 Dans tous les cas, l'interrogation du triangle eau/foncier/énergie permet de mettre en relief des relations qui auraient pu passer inaperçues dans une approche classique du Nexus, notamment en quoi la relation indissociable mais souple des parcelles ouvrant droit aux IGR avec l'eau agit comme un accélérateur des transformations du paysage. L'analyse des dynamiques spatiales, ainsi que nos entretiens convergent vers le fait que les propriétaires fonciers, essentiellement les agriculteurs, sont bien les moteurs des dynamiques industrielles et urbaines, notamment par leur maîtrise de la terre et de

l'eau. Dans la perspective du Nexus WEFL, cela souligne le poids politique de ces acteurs, d'ailleurs largement évoqué dans les débats politiques en Arizona.

Figure 4 : Les dynamiques spatiales de l'agriculture irriguées dans l'oasis de Pinal



Le fond de la figure est constitué par un traitement d'imagerie satellite basé sur le NDVI qui permet d'isoler les espaces dans lesquels se trouve une végétation importante à plusieurs moments de l'année. Le fond vert pointe donc les parcelles irriguées, les zones de ripisylve et les jardins. La géométrie des parcelles permet de faire assez aisément la distinction entre chacun des types.

Pourquoi peu d'adaptation au changement climatique et aux restrictions d'eau ?

- 50 Les deux points précédents expliquent pourquoi les restrictions d'eau actuelles (et futures), qui touchent principalement les agriculteurs, ne soulèvent pas plus de conflits dans le sud de l'Arizona. Comme on l'a souligné, les IGR, bien qu'ils soient clairement une survivance de l'époque des pratiques insoutenables des années 1960 et 1970, sont garantis par la loi et ils ne sont pas susceptibles d'être révisés (sauf chamboulement total et peu probable de la législation de l'État d'Arizona sur l'eau), même si le CAP devient défaillant. On touche là aux limites du GMA de 1980, et des AMA, qui sont actuellement l'objet de discussions intenses entre les diverses parties prenantes.
- 51 Les terres, et principalement les parcelles qui ouvrent droit à ces fameux IGR, sont donc non seulement des réserves foncières mais aussi des réserves hydriques, méticuleusement gérées par leurs propriétaires. Comme le soulignait l'agent immobilier déjà cité, les agriculteurs ont toujours suivi et anticipé le « front urbain », qu'ils alimentent en proposant des terrains et des droits sur l'eau sécurisés -AWS- et qu'ils précèdent en relocalisant leurs activités en avant des lotissements.

- 52 On peut alors avancer l'hypothèse qu'en Arizona l'agriculture n'est qu'une activité spéculative comme une autre, et qu'elle ne procède pas « d'un attachement territorial » particulier. Les *farmers* gèrent leurs stocks de terre/eau au mieux de leurs intérêts et des opportunités, optant selon les cas pour une expansion de leur système luzerne/coton/bétail, pour une conversion vers l'urbanisation, pour la production d'énergie ou encore pour le développement de zones industrielles. Leur stratégie est donc de parcourir chacun des axes du tétraèdre FEWL en fonction des circonstances mais toujours au mieux de leur intérêt.

Conclusion : quand la terre révèle l'eau

- 53 Dans le contexte aride de l'Arizona, l'approche du périmètre irrigué de Pinal en fonction du Nexus eau/énergie/aliments s'avère particulièrement utile car elle permet de mettre en valeur des relations de codépendance ou d'évolution conjointe des différentes dimensions, tout en identifiant aussi les éléments de relation qui n'y sont pas présents. Toutefois, le contexte juridique de l'Arizona et les modifications de la gestion de l'eau introduites par le GMA de 1980 ont renforcé l'importance d'une quatrième dimension de ce Nexus, présente de manière indirecte dans chacune des composantes : celle de la terre ou du foncier.
- 54 En introduisant cette dimension comme un élément à part entière du Nexus, et en passant de la figure du triangle à celle du tétraèdre, notre travail montre combien la prise en compte de ce composant "land" permet de comprendre des éléments qui étaient insuffisamment expliqués dans l'approche précédente. Ainsi, interroger la relation binomiale terre/eau permet de montrer la relation complexe créée entre les deux par les IGR. Celle-ci est à la fois indissociable, puisque les IGR ont été émis en fonction des parcelles effectivement irriguées à une date de référence, et souple car les parcelles qui sont le support des IGR peuvent être converties pour d'autres usages sans perte du bénéfice des droits à l'eau.
- 55 Par ailleurs, l'incorporation de la dimension "terre" amène à interroger de nouveaux triangles de relations, permettant ainsi une meilleure compréhension de l'état et de l'évolution du comté de Pinal, et plus largement de l'Arizona. Elle explique notamment ce qui peut sembler être des aberrations de prime abord, comme le maintien et l'extension d'élevage laitier en plein désert, qui ne se comprend qu'avec la combinaison des questions foncières, des modes d'appropriation d'eau et de spécialisations agricoles. A travers l'apport de la dimension foncière, le Nexus à quatre dimensions réintroduit par ailleurs la question politique dans le NEXUS WEF « classique », en montrant que certains groupes, en l'occurrence ici les fermiers, alliés aux promoteurs immobiliers, ont un poids prépondérant dans les dynamiques socio-spatiales et peuvent en tirer un profit conséquent.

BIBLIOGRAPHY

- ALLOUCHE J., MIDDELTON C., et GYAWALI D., 2015, Technical veil, hidden politics: Interrogating the power linkages behind the nexus, *Water Alternatives*, 8(1), p. 610-626.
- ALLOUCHE J., MIDDELTON C. ET GYAWALY D., 2018, *The water-food-energy nexus. Power, politics and Justice*, Earthscan.
- ABDALI H., SAHEBI H., PISHVAEE M., 2021, The water-energy-food-land nexus at the sugarcane-to-bioenergy supply chain: A sustainable network design model, *Computers & Chemical Engineering*, vol. 145, <https://doi.org/10.1016/j.comchem.2021.107288>.
- BHADURI A., RINGLER C., DOMBROWSKI C., MOHTAR R. et SCHEUMANN W. (Eds), 2017, *Sustainability in the water-energy-food nexus*, London and New York, Routledge with IWRA.
- BAHRI M., 2020, Analysis of the water, energy, food and land nexus using the system archetypes: A case study in the Jatiluhur reservoir, West Java, Indonesia, *Sci Total Environ*, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137025.
- BAUSCH J. C., EAKIN H., SMITH-HEISTERS S., YORK A. M., WHITE D. D., RUBIÑOS C., AGGARWAL R. M., 2015, Development pathways at the agriculture-urban interface: the case of Central Arizona, *Agriculture and Human Values*, vol. 32, n° 4, p. 743-759.
- BENITEZ-GAMBIRAZIO E., 2016, The social logic of urban sprawl: Arizona cities under environmental pressure”, in POUPEAU F., GUPTA, H. SERRAT-CAPDEVILA A., SANS-FUENTES M., HARRIS S., L. et HAYDE G. (dirs.), *Water Bankruptcy in a land of plenty*, UNESCO-IHE lecture series, CRC Press.
- BERNAT R.F.A., MEGDAL S.B., EDEN S., 2020, Long-Term Storage Credits: Analyzing Market-Based Transactions to Achieve Arizona Water Policy Objectives, *Water*, 2020, vol. 12, p. 568.
- BICKEL A. K., DUVAL D., et FRISVOLD G., 2018, *Contribution of On-Farm Agriculture and Agribusiness to the Pinal County Economy*, The Department of Agricultural and Resource Economics, The University of Arizona, 64p.
- BIJL D. L., BOGAART P. W., DEKKER S. C., et Van VUUREN D. P., 2018, Unpacking the nexus: Different spatial scales for water, food and energy, *Global Environmental Change*, vol. 48, P. 22-31.
- BLANCHON D., 2019, *Géopolitique de l'eau*, Paris, Editions le Cavalier bleu, 168 p.
- BLANCHON D., 2009, *L'espace Hydraulique sud-africain : le partage des eaux*, Paris, Éditions Karthala, 294 p.
- BOYER A.-L. et LE LAY Y.-F., 2019, Think of your house as a watershed! » La récupération des eaux de pluie à Tucson, en Arizona : vers la diversification de l'approvisionnement en eau dans le Sud-Ouest étasunien ? », *Développement durable et territoires*, vol. 10, n° 3 | Décembre 2019, mis en ligne le 20 décembre 2019.
- CHEN M, SHANG S., LI W., 2020, Integrated Modeling Approach for Sustainable Land-Water-Food Nexus Management, *Agriculture*, vol. 10, n° 4, p. 104. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040104>
- COLBY B. G., et FRISVOLD G. B., 2011, The Climate-in Water-Energy Nexus in the Arid Southwest” in COLBY B. G., et FRISVOLD G. B., *Adaptation and Resilience. The Economics of Climate, Water, and Energy Challenges in the American Southwest*, New York, Routledge.

- COMAIR F., 2017, Hydro-diplomatie et Nouvelle masse d'eau pour la paix au Moyen-Orient, *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, vol. 86, p. 49-55. <https://doi.org/10.3917/re1.086.0049>
- CORTINAS J., COEURDRAY M., O'NEIL B. et POUPEAU F., 2016, Les mégaprojets hydriques de l'ouest étasunien : histoire d'État(s) et gestion des ressources naturelles, *Vertigo*, vol. 16, n° 3, <https://journals.openedition.org/vertigo/18085>.
- DOOLITTLE W et MABRY J, 2006, Environmental mosaics, agricultural diversities and the evolutionary adoption of Maize in the American Southwest, in STALLER J., TYKOT R. et BENZ B. (eds), *Histories of Maize: multidisciplinary approaches to the Prehistory, linguistics, biogeography, domestication and evolution of Maize*, Amsterdam, Academic Press, p. 109-121
- EAKIN H., YORK A., AGGARWAL R., WATERS S., WELCH J., RUBIÑOS C., SMITH-HEISTERS S., BAUSCH C., et ANDERIES J. M., 2016, Cognitive and institutional influences on farmers' adaptive capacity: insights into barriers and opportunities for transformative change in central Arizona, *Regional Environmental Change*, vol. 16, n° 3, p. 801-814.
- EDEN S., SCOTT C. A., LAMBERTON M. L., et MEGDAL S. B., 2011, Water-Energy Interdependencies and the Central Arizona Project, in *The Water-Energy Nexus in the American West*, 14271. Edward Elgar Publishing <http://www.elgaronline.com/view/9781849809368.00019.xml> (last accessed 30 October 2020).
- ENGEL K., LOISELEUR E. et DRILHON E., 2020, Arizona's groundwater management act at forty: tackling unfinished business", *Arizona journal of environmental law and policy*, vol. 10, n° 2.
- FORAN T., 2015, Node and regime: Interdisciplinary analysis of water-energy-food nexus in the Mekong Region, *Water Alternatives*, vol. 8, n° 1, 2015. <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol8/v8issue1/270-a8-1-3>
- FRISVOLD G. B., et KONYAR K., 2012, Less water: How will agriculture in Southern Mountain states adapt? *Water Resources Research*, vol. 48, n° 5. <http://doi.wiley.com/10.1029/2011WR011057>
- GALAITSI S., VEYSEY J., et HUBER-LEE A., 2018, *Where is the added value?: A review of the water-energy-food nexus literature*. Stockholm Environment Institute. doi:10.2307/resrep22961.
- de GRENADE R., HOUSE-PETERS L., SCOTT C., THAPA B., MILLS-NOVOA M., GERLAK A. et VERBIST K., 2016, The nexus: reconsidering environmental security and adaptive capacity, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 21, p. 15-21.
- HULLINGER A., 2020, Getting Down to Facts: A Visual Guide to Water in the Pinal Active Management Area, Water Resources Research Center, University of Arizona.
- IMASIKU K. et NTAGWIRUMUGARA E., 2020, An impact analysis of population growth on energy-water-food-land nexus for ecological sustainable development in Rwanda, *Food & Energy Security*, vol. 9, p. e185, [10.1002/fes3.185](https://doi.org/10.1002/fes3.185)
- JANSSEN D.N.G., RAMOS E.P., LINDERHOF V., POLMAN N., LASPIDOU C., FOKKINGA D., DE MESQUITA E SOUSA D., 2020, The Climate, Land, Energy, Water and Food Nexus Challenge in a Land Scarce Country: Innovations in the Netherlands, *Sustainability*, vol. 12, n° 24, <https://doi.org/10.3390/su122410491>.
- KARABULUT A., CRENNNA E., SALA S., UDIAS A., 2018, A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security, *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, p. 3874-3889, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.092>.

- KURIAN M., et ARDAKANIAN R. (eds), 2015, *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*, Cham, Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-05747-7>
- LAVIE E. et MARSHALL A. (eds.), 2017, *Oases and Globalization. Ruptures and Continuities*, Springer-Verlag, 255 p.
- LECK H., CONWAY D., BRADSHAW M. et REES J., 2015, Tracing the Water–Energy–Food Nexus: Description, Theory and Practice, *Geography Compass*, vol. 9, n° 8, p. 445–460.
- LE TOURNEAU F.-M., 2019, Mosaïques foncières en Arizona : paradoxe et complexités de la domination des terres publiques au pays de la propriété privée, *Cybergeo : European Journal of Geography* [Online], Space, Society, Territory, document 888, DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.31934>
- LE TOURNEAU F.-M. et DUBERTRET F., 2019, L'espace et l'eau, variables clés de la croissance urbaine dans le Sud-Ouest des États-Unis : le cas de Tucson et du Pima County (Arizona), *L'Espace géographique*, vol. 48, n° 2019/1, p. 39-56.
- MAUPIN-BUSKIN A., et LAVIE E., 2019, Introduction : Risques et ressources dans les Suds. Concilier environnement, développement et sécurité dans le cadre des changements globaux, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, vol. 280, p. 393-400. <https://doi.org/10.4000/com.10491>
- MEGDAL S.B., GERLAK A.K., HUANG LY., 2017, Innovative Approaches to Collaborative Groundwater Governance in the United States: Case Studies from Three High-Growth Regions in the Sun Belt, *Environmental Management*, vol. 59, p. 718–735. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0830-7>
- MOLLE F., VENOT J.-P., LANNERSTAD M. et HOOGESTEGER J., 2010, Villains or heroes? Farmers' adjustments to water scarcity, *Irrigation and Drainage*, vol. 59, n° 4, p. 419-431.
- PETIT O., 2016, Comprendre les conflits environnementaux : le cas de l'eau en Espagne, *L'Économie politique*, 69, p. 66-75. <https://doi.org/10.3917/leco.069.0066>
- POUPEAU F., GUPTA H., SERRAT-CAPDEVILA A., SANS-FUENTES M., HARRIS S., HAYDE G. L. (dirs.), 2016, *Water Bankruptcy in a land of plenty*, UNESCO-IHE lecture series, CRC Press. 2020.
- POUPEAU F. et O'NEIL B., 2020, *The field of water policy: power and scarcity in the American southwest*, London: Routledge, Taylor & Francis Group.
- RINGLER C., BHADURI A. et LAWFORD R., 2013, The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, n° 6, p. 617-624.
- SCOTT C. A., KURIAN M., et WESCOAT J. L., 2015, The Water-Energy-Food Nexus: Enhancing Adaptive Capacity to Complex Global Challenges, in KURIAN M. et ARDAKANIAN R., *Governing the Nexus*, p. 15–38. Cham: Springer International Publishing http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-05747-7_2
- SHANNAK S., MABREY D., VITTORIO M., 2018, Moving from theory to practice in the water–energy–food nexus: An evaluation of existing models and frameworks, *Water-Energy Nexus*, vol. 1, n° 1, p. 17-25, <https://doi.org/10.1016/j>
- SHANXIA S., ORDONEZ B.V., WEBSTER M.D., LIU J., KUCHARIK C.J., et HERTEL T., 2020, Fine-Scale Analysis of the Energy–Land–Water Nexus: Nitrate Leaching Implications of Biomass Cofiring in the Midwestern United States, *Environmental Science & Technology*, vol. 54, n° 4, p. 2122-2132. DOI: 10.1021/acs.est.9b07458.

- SHERIDAN T., 2012, *Arizona, a history*, Tucson, University of Arizona press.
- SIMPSON G.B., et JEWITT G.P.W., 2019, The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review, *Front. Environ. Sci.*, vol. 7, N° 8. doi: 10.3389/fenvs.2019.00008.
- STEIN P., 1990, *Homesteading in Arizona 1870-1942. A component of the Arizona Historic Preservation Plan*, Phoenix, Arizona State Historic Preservation Office
- TAITHE A., 2014, Les interactions Eau-Énergie : une menace pour la sécurité énergétique des États, *Confluences Méditerranée*, vol. 91, P.121-132. <https://doi.org/10.3917/come.091.0121>
- WHIPPLE T., 2018, *Planning for depletion: optimal irrigation in the pinal ama under changing water sources*, Master thesis, University of Arizona, 46 p.
- VILLAMOR G.B., GUTA D.D. et MIRZABAEV A., 2020, Gender Specific Differences of Smallholder Farm Households Perspective of Food-Energy-Land Nexus Frameworks in Ethiopia, *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 4. doi: 10.3389/fsufs.2020.491725

NOTES

1. <https://www.water-alternatives.org/index.php/spe?id=288;catid=1888;Itemid=175>
2. Ces travaux restent peu nombreux. Parmi les exemples les plus aboutis d'utilisation de la dimension foncière, on peut citer Bahri (2020) dans le cas d'un réservoir d'eau en Indonésie, Sun *et al.* (2020) pour l'évaluation de la co-combustion de biomasse dans les centrales électriques au charbon, Villamor *et al.* (2020) pour aborder les questions de genre dans les ménages de petites exploitations agricoles en Éthiopie, Imasiku et Ntagwirumugara (2019) pour étudier l'impact de la croissance démographique sur le Nexus au Rwanda, Chen *et al.* (2020) pour optimiser les allocations de ressources vers une sécurité alimentaire et hydrique durable, ou enfin Janssen *et al.* (2020) pour rechercher les effets de la rareté des terres sur d'autres composantes du Nexus aux Pays-Bas.
3. Espaces hydrauliques avec de grandes structures de distribution d'eau d'échelle régionale, dont l'objectif est de fournir collectivement ou individuellement en ressources en eau à des filières agro-industrielles qui se veulent compétitives dans le marché mondial (Lavie et Marshall, 2017).
4. Certains IDD, comme le CAIDD, sont également distributeur d'électricité.
5. Deux autres dimensions du Nexus sont relativement peu importantes dans le cadre du comté de Pinal. La relation « eau vers énergie » est absente car il n'y a pas de production hydro-électrique. De même la relation « agriculture vers énergie » car les cultures locales ne proposent pour le moment aucune valorisation vers la production d'énergie que ce soit directement ou indirectement.
6. Le « *Homestead Act* » adopté en 1862 pour favoriser l'installation d'agriculteurs notamment dans l'Ouest, donnait en propriété privée un terrain de 160 acres (environ 65 ha) à toute famille qui l'exploitait depuis 5 ans.
7. Les IGR sont dit « robustes » car ils ont été acquis en « premier » ; leur antécédence les rend difficilement attaquables face aux droits acquis plus récemment ; et défendables, dans le système judiciaire américain, face à toute loi qui les remettrait en cause.
8. En 2019, après de longues années de négociation, les Etats du bassin du Colorado ont adopté le *Drought Contingency Plan* (DCP), par lequel ils s'engagent à réduire leur quota d'eau provenant du

Colorado, en fonction du volume stocké dans le lac-réservoir Mead (situé derrière le Hoover Dam). Pour l'Arizona, cette réduction peut aller jusqu'à 22,8%.

9. Le fond de la figure est constitué par un traitement d'imagerie satellite basé sur le NDVI qui permet d'isoler les espaces dans lesquelles se trouve une végétation importante à plusieurs moments de l'année. Le fond vert pointe donc les parcelles irriguées, les zones de ripisylve et les jardins. La géométrie des parcelles permet de faire assez aisément la distinction entre chacun des types.

10. Uniquement pour le nettoyage des panneaux

11. Sur ce type d'annonce, on peut ainsi lire "The farm holds a grandfathered water right for 496 acres with a current allotment of 1,656.64 acre-feet per year." http://threeriversag.com/images/HansenFarm_webPKG_060921.pdf

ABSTRACTS

In the context of the arid region of Southern Arizona, the irrigated perimeter of Pinal county can be approached in function of the Nexus Food-Energy-Water, which highlights the co-dependency or co-evolution relationships between its three different dimensions. However, other interrelations between those components remain hidden or unexplained if a fourth dimension (land), which is indirectly present in each, is not considered. In this paper, we test how the transformation of the three-dimensions (i.e. triangular) Nexus to a four-dimensions (i.e. tetrahedral) one allows the unveiling of elements and dependencies previously unaccounted for, and how it explains apparently illogical decisions made by local stakeholders. The case study therefore demonstrates the usefulness of the definition of a new "FEWL" Nexus.

Dans le contexte aride de l'Arizona, l'approche du périmètre irrigué de Pinal en fonction du Nexus eau/énergie/alimentation permet de mettre en valeur des relations de codépendance ou d'évolution conjointe de ses différentes dimensions. Toutefois, d'autres interrelations demeurent cachées et elles imposent de prendre en compte une quatrième dimension de ce Nexus, présente de manière indirecte dans chacune des composantes : celle de la terre ou du foncier. Nous proposons dans cet article de regarder les conséquences de son introduction comme un élément à part entière du Nexus, et en passant de la figure du triangle à celle du tétraèdre. Nous démontrons ce faisant que la prise en compte de ce composant « terre » (*land*) amène à interroger de nouveaux triangles de relations, permettant ainsi une meilleure compréhension de l'état et de l'évolution du comté de Pinal, et plus largement de l'Arizona. A travers cet exemple, l'apport de la dimension foncière et l'approche au travers d'un Nexus à quatre dimensions nous semble montrer toute sa pertinence et sa fertilité.

INDEX

Mots-clés: nexus Eau-Énergie-Alimentation, foncier, Arizona

Keywords: Food-Energy-Water nexus, land, Arizona

AUTHORS

DAVID BLANCHON

Professeur, UMR 7218 LAVUE, CNRS/Université de Paris Nanterre, 200 avenue de la République,
92 000 Nanterre, dblanchon@gmail.com

FRANÇOIS-MICHEL LE TOURNEAU

Directeur de recherche, UMR PRODIG, UMI 8586 – PRODIG, CNRS/Université Panthéon Sorbonne/
IRD/Université de Paris/Agroparistech/Sorbonne Université, Campus Condorcet Bâtiment
Recherche Sud 5, cours des Humanités 93300 AUBERVILLIERS, ORCID : 0000-0003-1184-8624,
francois-michel.le-tourneau@cnrs.fr