

Réflexions sur l'évolution des forces productives de nouvelle qualité, des énergies renouvelables et de la planification spatiale territoriale : discussion centrée sur l'énergie éolienne et solaire

WANG Yizhe, WANG Xingping, ZHU Zhenwei

Résumé. Les « forces productives de nouvelle qualité » constituent un levier stratégique pour permettre à la Chine de franchir un palier dans le développement de sa capacité productive. La planification spatiale doit prendre l'initiative de guider l'implantation des systèmes d'énergie renouvelable, en particulier l'éolien et le solaire, et mobiliser l'énergie comme médiation favorisant l'émergence de forces productives de nouvelle qualité. L'article analyse en profondeur les relations entre forces productives, énergie et espace. Il montre que les énergies renouvelables constituent un socle du développement des forces productives de nouvelle qualité : l'expérience historique indique que les transformations qualitatives de la productivité s'accompagnent généralement d'un renouvellement des formes énergétiques. La transition énergétique entraîne également une mutation des usages de la surface terrestre. L'éolien et le solaire rompent avec la logique spatiale des systèmes énergétiques conventionnels et font apparaître une nouvelle forme d'usage, la « production énergétique spatiale », qui redéfinit la valeur de l'espace tout en mettant à l'épreuve les systèmes existants d'utilisation du sol. Sur cette base, l'article construit un cadre analytique « forces productives-énergie-espace ». La planification spatiale territoriale assume une responsabilité majeure dans la gestion des ressources énergétiques réparties sur l'ensemble du territoire chinois ; toutefois, les concepts et instruments hérités de l'ère des combustibles fossiles répondent de moins en moins aux exigences du développement des énergies renouvelables. Il convient donc de revenir à la relation fondamentale entre production énergétique et espace et d'innover dans les conceptions spatiales, les méthodes d'analyse, les outils opérationnels et les mécanismes de mise en œuvre.

Mots-clés : forces productives de nouvelle qualité ; énergies renouvelables ; planification spatiale territoriale ; surface terrestre ; ressources spatiales ; énergie solaire ; énergie éolienne ; production énergétique.

Classification des bibliothèques chinoises : TU984. Code du document : A. DOI : 10.16361/j.upf.202503006. Numéro d'article : 1000-3363 (2025) 03-0043-09.

* Recherche financée par le projet clé du Fonds national des sciences sociales de Chine, « Promouvoir le développement de haute qualité des parcs industriels chinois à l'étranger le long de la Ceinture et la Route » (projet no 22AZD052), et par le Programme d'innovation en recherche et pratique des étudiants diplômés du Jiangsu, « Trajectoires, mécanismes et modèles de planification du développement bas carbone des parcs industriels » (projet no KYCX23_0313).

Le monde traverse des transformations inédites depuis un siècle et l'ordre mondial connaît de profondes recompositions. La Chine a fait des « forces productives de nouvelle qualité » un instrument stratégique pour prendre l'initiative dans la concurrence internationale, moderniser sa capacité productive et promouvoir un développement de haute qualité. Ces dernières années, des formes représentées par l'intelligence artificielle, les véhicules électriques intelligents et la robotique s'intègrent rapidement à la production et à la vie quotidienne, entraînant d'importants progrès scientifiques, technologiques et économiques. Dans ce contexte d'accélération technologique, le rôle de la planification spatiale — et la contribution qu'elle doit apporter — est devenu une question centrale pour la discipline comme pour l'ensemble de la profession [1]. Bien que la planification spatiale soit liée à de nombreux domaines, son objet direct n'est pas la technologie elle-même, mais l'environnement extérieur dans lequel celle-ci se développe et fonctionne. À mesure que les sciences de l'information, portées par l'intelligence artificielle, se

concentrent sur l'expansion des espaces virtuels, la planification spatiale peut sembler s'éloigner des frontières technologiques.

Il n'en est pourtant rien. Les espaces physique et virtuel acquièrent un nouveau lien par l'intermédiaire de l'énergie. Les systèmes énergétiques émergents fondés sur l'éolien et le solaire intègrent les forces productives, l'énergie et l'espace dans un ensemble organique et ouvrent une nouvelle voie par laquelle la planification spatiale peut soutenir le développement de la productivité. Dès 2005, Shen Qingji [2] soulignait le rôle important de l'urbanisme dans le développement des énergies renouvelables. Plus récemment, les chercheurs en géographie de l'énergie et en transitions durables ont confirmé, sur le plan théorique, l'importance de l'« espace » dans la « transition énergétique ». Matthew Huber [3], Gavin Bridge et d'autres auteurs [4] ont ainsi affirmé que l'espace et le foncier doivent être placés au cœur de toute théorie de la transition énergétique. Les géographes ont exploré les rapports entre énergie, espace, pouvoir, sécurité et justice [5-6]. Des chercheurs en architecture et en urbanisme étudient les relations entre la forme urbaine — bâtiment isolé, ensemble bâti ou ville entière — et la production d'énergie renouvelable [7-8], tandis que d'autres s'intéressent à la réponse de la planification spatiale au changement climatique [9]. En revanche, rares sont les travaux qui articulent directement espace et énergie pour examiner les réponses à apporter par la planification.

Premier promoteur mondial de la transition vers les énergies renouvelables, la Chine vient de mettre en place la planification spatiale territoriale, nouvel instrument puissant de gouvernance de l'espace [10-11]. Quel rapport cet outil entretient-il avec la transition énergétique actuelle et le développement des forces productives de nouvelle qualité ? Quel rôle peut-il jouer ? Cette réflexion possède une valeur exploratoire importante pour la construction d'une théorie moderne de la planification à la chinoise [12]. De nombreux spécialistes ont déjà examiné les liens riches et multiples entre forces productives de nouvelle qualité et planification spatiale [13]. En prenant l'énergie comme médiation, cet article se concentre sur deux ensembles de relations — forces productives et énergie, puis énergie et usage de la surface terrestre —, construit un cadre analytique « forces productives–énergie–espace » et précise le rôle, les limites actuelles et les orientations futures de la planification spatiale territoriale dans la transition vers les énergies renouvelables.

1 « Forces productives de nouvelle qualité » et « énergies renouvelables »

1.1 Clarification conceptuelle : le lien entre « forces productives » et « énergie »

Les « forces productives » sont généralement définies comme la capacité de l'être humain à transformer et à utiliser la nature, tandis que l'« énergie » est communément comprise comme une « capacité à produire un travail », applicable à l'ensemble des sociétés humaines et à leurs interactions avec le milieu naturel [14]. Ces deux notions décrivent une capacité abstraite de la pratique humaine et présentent donc des significations très proches. Dans les années 1960, l'astronome soviétique Nikolaï Kardachev [15] a considéré l'énergie comme le fondement du développement productif de toute civilisation et proposé un indice fondé sur la capacité à utiliser l'énergie — l'échelle de Kardachev^① — pour mesurer le niveau d'avancement d'une civilisation. Si l'on tient compte des relations historiques entre révolutions technologiques et énergie [16], l'énergie peut même être comprise comme une expression concrète et quantifiable de la puissance productive.

L'accroissement du volume total d'énergie consommée constitue un indicateur majeur du niveau de développement des forces productives et demeure étroitement lié au degré de prospérité matérielle des individus. La consommation énergétique quotidienne d'un ménage de classe moyenne vivant dans une banlieue américaine du XXI^e siècle peut atteindre une puissance moyenne de 30 kW, soit l'équivalent du travail cumulé de 6 000 esclaves robustes possédés par un aristocrate de l'Empire romain [17]. Cette comparaison montre que l'approvisionnement énergétique massif de la société moderne permet à des individus ordinaires de bénéficier d'un niveau de vie très supérieur à celui des élites de l'Antiquité^②. De

même, la consommation énergétique par habitant en Chine a atteint 4 053 kg équivalent charbon en 2023, soit 43,6 fois le niveau de 1953, qui était de 93 kg. Il s'agit de l'une des manifestations les plus directes de la modernisation rapide des forces productives chinoises. Ainsi, chaque grand saut de productivité repose sur une révolution énergétique. Bien que l'expression « forte consommation énergétique » soit aujourd'hui souvent négative, l'expérience historique montre que les instruments de production avancés impliquent généralement une consommation plus importante : les forces productives avancées sont soutenues par une forte mobilisation d'énergie.

1.2 Expérience historique : les « forces productives de nouvelle qualité » reposent sur de « nouvelles énergies »

Dans le contexte actuel, l'expression « forces productives de nouvelle qualité » désigne une forme avancée de productivité où l'innovation joue un rôle directeur, qui s'affranchit des modes traditionnels de croissance économique et des trajectoires établies de développement, et se caractérise par la haute technologie, la haute efficacité et la haute qualité, en cohérence avec la nouvelle philosophie du développement [18]. Sur le temps long, toutefois, le « nouveau » n'existe qu'en relation avec l'« ancien » ; les forces productives de nouvelle qualité sont donc une notion relative, fortement marquée par son époque. L'histoire de la productivité humaine est un processus itératif dans lequel les forces productives « nouvelles » de chaque période éliminent et remplacent les forces « anciennes ». La diffusion de la machine à vapeur au XIX^e siècle, puis celle du moteur à combustion interne et des systèmes électriques au XX^e siècle, illustrent toutes deux le remplacement des anciennes forces productives par celles de leur temps. Le charbon et le pétrole⁽³⁾ se sont parallèlement imposés comme les « nouvelles énergies » propres à ces deux époques [19].

Depuis l'Antiquité, la croissance démographique continue et la recherche d'un niveau de vie supérieur élargissent l'échelle de la demande énergétique et suscitent l'apparition de formes nouvelles d'énergie. Depuis la révolution industrielle du XVIII^e siècle, les vagues successives de diffusion du charbon, du pétrole, du gaz naturel et d'autres énergies « nouvelles » ont fait passer le volume total d'énergie disponible pour l'humanité de 5 653 TWh⁽⁴⁾ à 168 779 TWh [20], soit une augmentation de deux ordres de grandeur. Aucun des grands accomplissements collectifs de l'histoire humaine — dans l'agriculture, l'ingénierie, l'industrie ou la guerre — n'aurait été possible sans une capture, une utilisation, une gestion et une innovation efficaces de l'énergie. Du point de vue du matérialisme historique, le développement des forces productives de nouvelle qualité crée objectivement une pression en faveur de l'expansion de la production énergétique, tandis que les nouvelles formes d'énergie constituent le socle de leur croissance. Dans une certaine mesure, une nouvelle forme d'énergie est elle-même une forme de force productive de nouvelle qualité.

1.3 Contradiction contemporaine : le développement des forces productives de nouvelle qualité provoque une « crise énergétique »

Les systèmes productifs contemporains sont profondément liés aux combustibles fossiles. Leur usage intensif est intégré dans presque tous les sous-systèmes de la société moderne : produits, culture, paysages spatiaux, institutions juridiques, etc. [21]. Au cours de la révolution industrielle, les combustibles fossiles sont apparus comme une « nouvelle énergie ». Grâce à l'avantage thermodynamique de leur très forte densité énergétique, ils ont rapidement détruit l'ordre social agricole dominé pendant des millénaires par la biomasse traditionnelle [22]. Dans le Manifeste du Parti communiste, Karl Marx et Friedrich Engels [23] observaient que la bourgeoisie avait créé, en un temps historiquement bref, des forces productives dépassant celles de toutes les générations antérieures réunies ; cette transformation reposait sur l'immense puissance matérielle fournie par les combustibles fossiles. Certains chercheurs considèrent même leur usage comme une condition fondamentale du mode de production capitaliste et parlent de « capitalisme fossile » [24]. Toutefois, les effets environnementaux de leur exploitation massive et sans contrôle — émissions de carbone et pollution spatiale — approchent désormais les limites de capacité des écosystèmes terrestres. Le développement bas carbone devient une tendance mondiale, tandis que le plafond d'expansion des

combustibles fossiles est pratiquement atteint et ne peut plus soutenir une croissance exponentielle de l'usage énergétique.

Parallèlement, les technologies nouvelles, au premier rang desquelles l'intelligence artificielle, accélèrent le développement des forces productives de nouvelle qualité. L'évolution des grands modèles d'IA repose sur une croissance exponentielle de la puissance de calcul et du traitement des données, ce qui entraîne à son tour une hausse exponentielle de la consommation énergétique [25]. Selon certaines projections, la capacité mondiale de calcul devrait encore augmenter de deux ordres de grandeur d'ici 2030, pour atteindre $5,6 \times 10^{22}$ opérations en virgule flottante par seconde et consommer entre 44 800 et 67 200 milliards de kWh d'électricité [26]. Cette trajectoire suscite une inquiétude croissante. Comme l'a déclaré Elon Musk, fondateur de Tesla, le développement rapide de l'intelligence artificielle est en train de créer une crise énergétique [27]. En janvier 2025, le modèle chinois DeepSeek, devenu un phénomène mondial, s'est rapidement diffusé dans de nombreux secteurs et a renforcé la formation de forces productives de nouvelle qualité, tout en relevant encore les prévisions de demande énergétique liée au calcul. Le conflit structurel entre une demande susceptible de croître exponentiellement et le plafond rigide de l'offre fossile devient donc toujours plus manifeste.

Face à cette contradiction, l'éolien et le solaire apparaissent, en théorie comme en pratique, parmi les principales solutions. Presque chaque parcelle de la planète reçoit quotidiennement un rayonnement solaire intense, et le potentiel renouvelable total de la surface terrestre dépasse très largement la demande actuelle et tout niveau futur raisonnablement envisageable. L'énergie solaire atteignant la Terre chaque année représente environ 10 000 fois la consommation actuelle de combustibles fossiles. L'éolien et le solaire sont considérés comme les moyens les plus prometteurs et les plus réalisables, dans un avenir prévisible, pour capter l'immense quantité d'énergie dispersée à la surface de la planète [28]. Leur développement entraînera en même temps une transformation profonde des modes d'utilisation de cette surface.

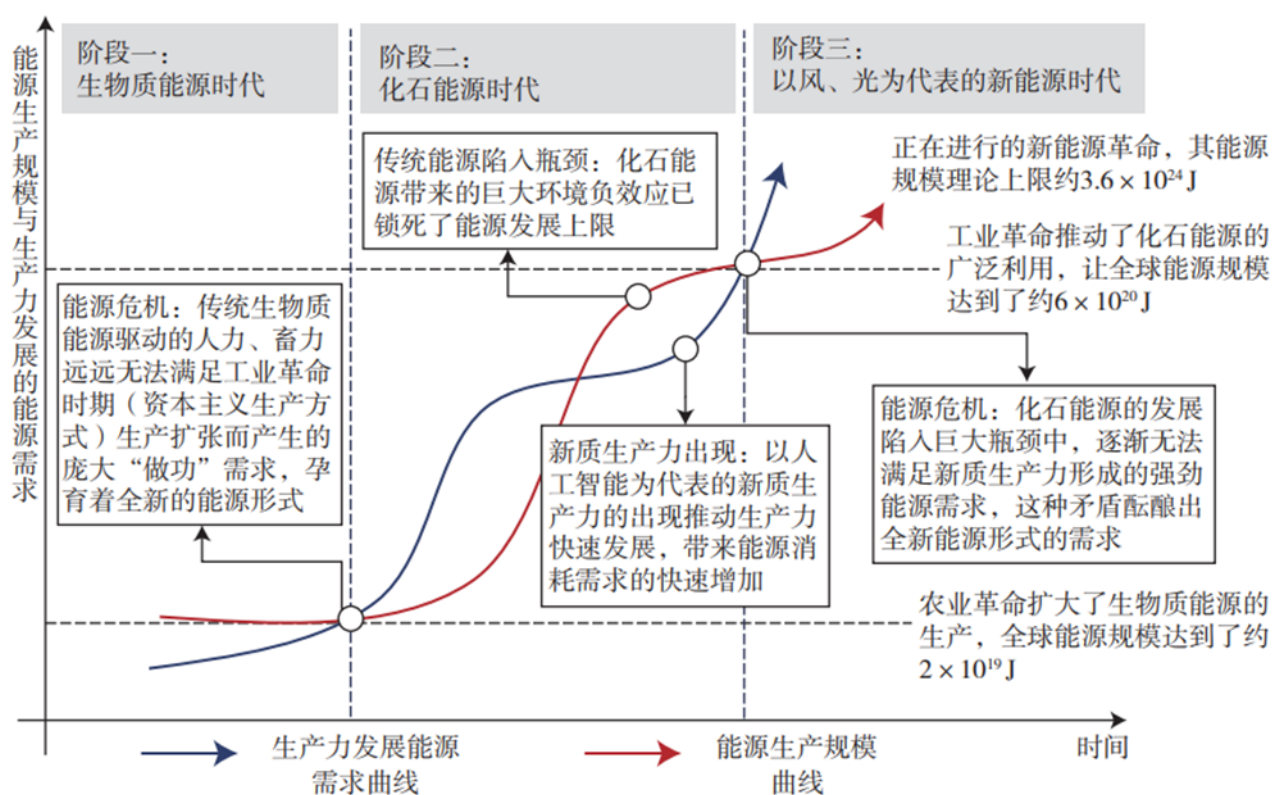


Figure 1. Représentation schématique de la relation dialectique entre le développement des « forces productives » et celui de l'« énergie »

2 « Énergies renouvelables » et « nouvelles » formes d'usage de la surface terrestre

2.1 Énergie et usage de la surface terrestre : la transition énergétique est aussi une transition des usages spatiaux

Au cours de la longue histoire de la civilisation humaine, diverses formes d'énergie se sont succédé : biomasse (aliments et bois de feu), combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) et énergies renouvelables contemporaines (photovoltaïque, solaire thermique, éolien). Chacune a produit une logique fondamentalement différente d'usage de la surface terrestre (tableau 1). Dans les sociétés agraires dominées par la biomasse, sa faible densité de puissance spatiale^⑤ signifiait que la production énergétique dépendait de la recherche de terres agricoles plus nombreuses et de meilleure qualité, afin que les plantes captent davantage d'énergie solaire par photosynthèse. Cette énergie permettait de soutenir un volume plus important de travail humain et animal pour satisfaire les besoins de production et de subsistance de l'État comme des individus [29]. La surface terrestre — le foncier — constituait donc la ressource centrale de la production énergétique et le principal étalon du pouvoir politique et de la richesse [30].

Tableau 1. Caractéristiques spatiales associées à trois grands systèmes énergétiques et à leurs modes de production [31]

Caractéristique	Énergie de biomasse	Énergie fossile	Énergies renouvelables
Période historique principale	Avant environ 1800	D'environ 1800 à aujourd'hui	À partir de la période actuelle
Catégorie de système	Système énergétique de surface	Système énergétique souterrain	Système énergétique de surface
Principales formes d'énergie	Aliments et bois de feu	Charbon, pétrole, gaz naturel, etc.	Énergie éolienne et solaire
Mécanisme de formation de l'énergie	Les végétaux de surface captent l'énergie solaire par photosynthèse	La biomasse ancienne est transformée par des processus géologiques et géochimiques pendant des dizaines de millions d'années	Les équipements éoliens et solaires captent directement ou indirectement l'énergie solaire disponible à la surface
Principales formes de force motrice	Force musculaire humaine et animale	Machines à vapeur, moteurs à combustion interne, etc.	Moteurs électriques et traitement de l'information
Densité de puissance spatiale des principaux vecteurs énergétiques (W/m²)	0,03–0,18	135–500	1–8
Consommation de ressources spatiales dans la production énergétique	Très élevée	Faible	Relativement élevée
Besoin spatial relatif pour produire une même quantité d'énergie	Grille 40 × 40	Grille 1 × 1	Grille 8 × 8
Logique d'expansion de la production énergétique	Étendre la surface utilisée afin de produire autant d'énergie que possible	Investir dans la technologie pour extraire plus efficacement l'énergie du sous-sol	Étendre la surface utilisée afin de capter et produire autant d'énergie que possible
Pression exercée sur l'usage de la surface terrestre	Forte	Faible	Relativement forte
Effets spatiaux	De vastes surfaces sont mobilisées pour l'énergie, ce qui limite fortement l'espace disponible pour d'autres fonctions	Seules de petites surfaces sont utilisées pour la production et le transport, laissant d'importantes réserves pour les autres activités humaines	De vastes surfaces sont affectées à la production énergétique, exerçant une forte pression sur les espaces nécessaires aux autres activités

Note : les besoins spatiaux illustratifs sont calculés à partir de densités de puissance représentatives de 0,08 W/m² pour la biomasse, 135 W/m² pour les combustibles fossiles et 6 W/m² pour les énergies renouvelables.

Avec l'entrée dans la société industrielle, la production énergétique s'est déplacée vers l'exploration de gisements souterrains plus vastes et de meilleure qualité et vers la construction de voies commerciales fiables permettant d'acheminer efficacement l'énergie jusqu'aux centres de consommation mondiaux — principalement les villes [32]. En raison de la forte densité de puissance spatiale des combustibles fossiles, la production énergétique a quitté la surface pour le sous-sol. De vastes espaces terrestres ont cessé d'être rigidement mobilisés pour produire de l'énergie, fournissant ainsi la base spatiale nécessaire à l'apparition de grandes villes et de régions urbaines continues [33]. Sans le bouleversement fondamental de l'usage de la surface terrestre provoqué par la transition fossile, les paysages contemporains aujourd'hui considérés comme ordinaires n'auraient pas pu apparaître.

Les villes et campagnes modernes peuvent ainsi être comprises comme des produits de la transition fossile engagée il y a plus de deux siècles [34]. L'essor de l'éolien et du solaire transforme maintenant à nouveau la surface terrestre en support central de la production énergétique et commence à mobiliser des ressources spatiales à grande échelle (figure 2). La transition énergétique ne concerne pas seulement la technologie, mais aussi « les structures sociales par lesquelles l'énergie est acquise et administrée », dont l'espace constitue un élément essentiel [35]. Elle n'est donc jamais une simple transition technique : elle représente une transformation large et profonde de la société humaine et, surtout, des modes d'utilisation de l'espace [36].

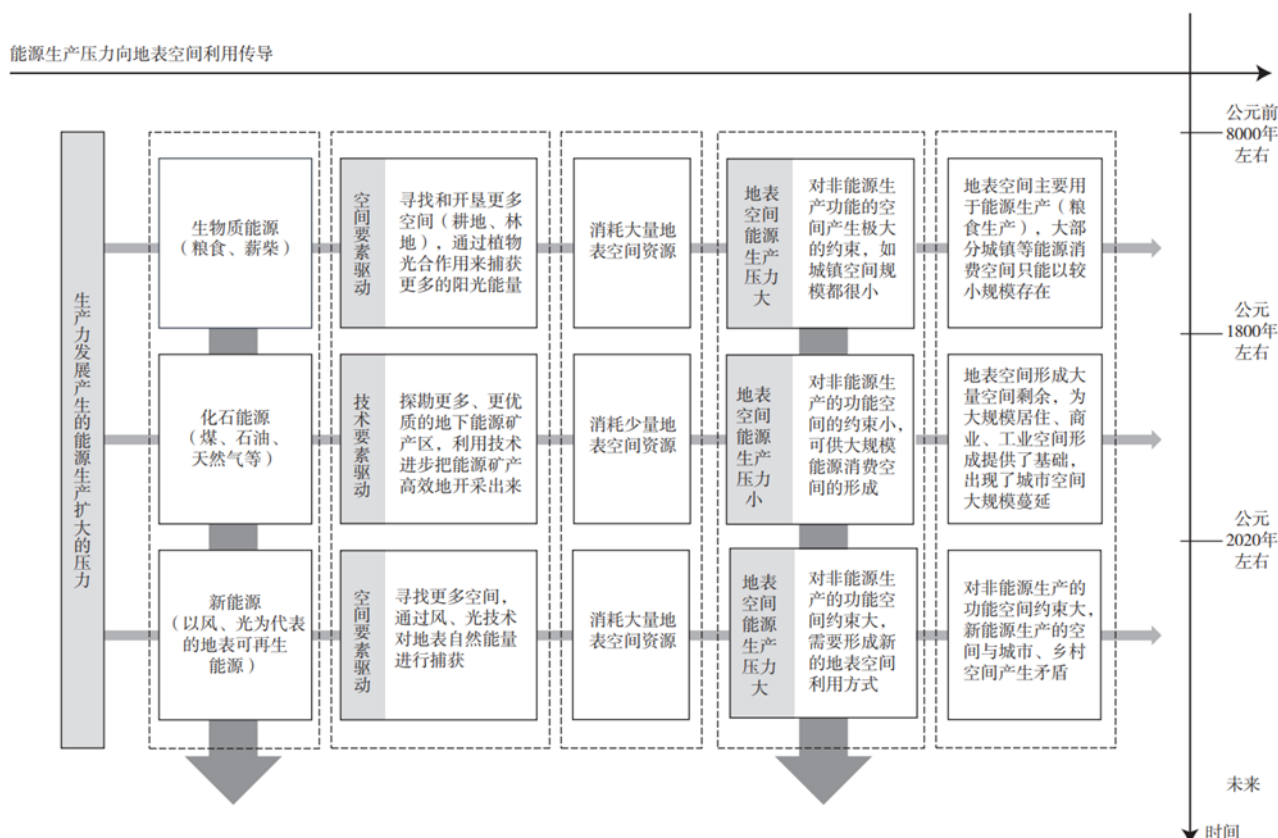


Figure 2. Relation entre transition énergétique et transformation de l'usage de la surface terrestre

2.2 Nouvelles exigences spatiales des énergies renouvelables : un mode de production consommant d'importantes ressources de surface

La diffusion de l'éolien et du solaire marque l'abandon progressif des combustibles fossiles extraits du sous-sol et le recours direct à l'énergie naturelle produite par le rayonnement solaire à la surface de la Terre. Contrairement à la distribution mondiale très inégale des ressources fossiles, le vent et le soleil sont largement distribués, facilement accessibles et presque universels. Le « pouvoir énergétique » historiquement fondé sur l'inégalité géographique des combustibles fossiles devrait donc s'affaiblir avec la généralisation des renouvelables, ouvrant théoriquement la voie à une géographie énergétique mondiale

plus équitable [37]. Sur le plan conceptuel, leur développement pourrait former un système d’approvisionnement décentralisé et distribué dans lequel les producteurs ne pourraient plus monopoliser le pouvoir de fournir l’énergie [38].

En même temps, l’éolien et le solaire présentent une densité de puissance spatiale relativement faible, généralement comprise entre 1 et 6 W/m², soit deux à trois ordres de grandeur de moins que les combustibles fossiles ordinaires. Produire une quantité identique d’énergie exige donc beaucoup plus de surface terrestre. Vaclav Smil [39] a montré par le calcul qu’une transition vers les renouvelables mobiliserait d’immenses portions du territoire national. Les paysages produits ne ressembleront pas à l’image poétique de quelques éoliennes ou panneaux photovoltaïques au bord d’un ruisseau ; il s’agira d’un vaste chantier industriel et spatial, diffusé dans les principaux espaces d’activité humaine à l’échelle mondiale. Une transition de grande ampleur nécessitera d’immenses surfaces, de grandes quantités de matériaux de construction, de travail et de capital, ainsi qu’une reconfiguration des relations socio-spatiales [40]. Des paysages énergétiques étendus apparaîtront en mer proche, dans les champs, les villes, les zones de Gobi, les déserts et les collines (figure 3). Ce phénomène est déjà largement observable en Chine, en Europe, aux États-Unis et dans de nombreux autres territoires.

Comparées aux combustibles fossiles, les énergies renouvelables sont donc nettement plus consommatrices de foncier. En théorie, cette évolution confère à une grande partie de la surface terrestre — jusque-là principalement considérée comme espace de consommation énergétique — le potentiel de devenir un espace de production énergétique [41].

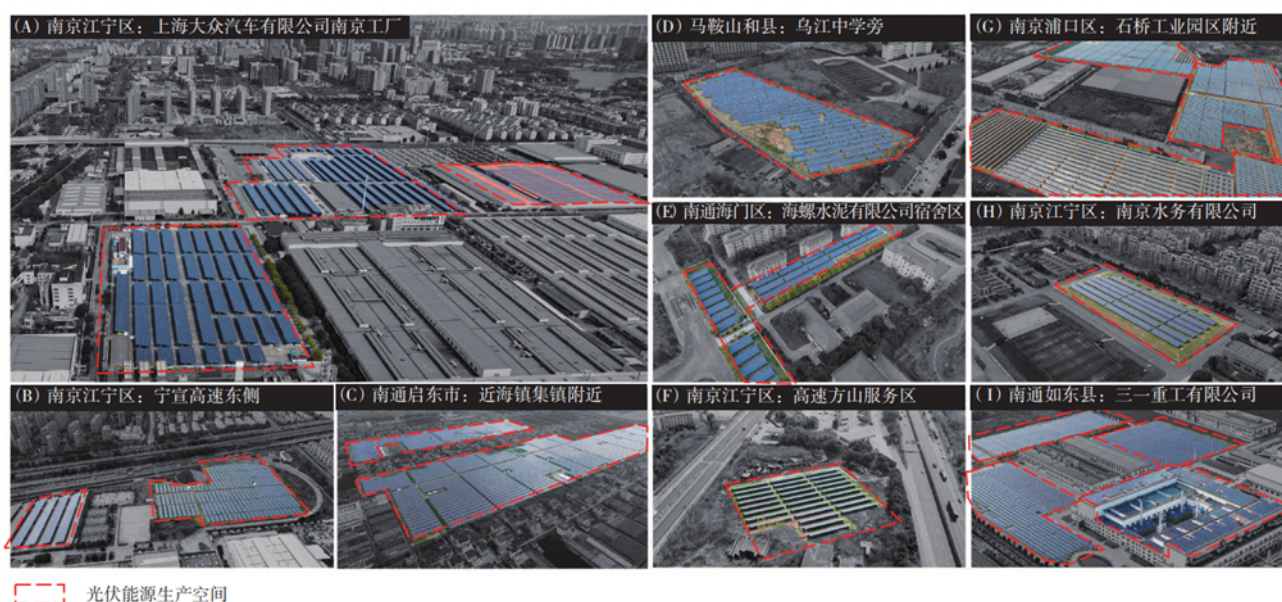


Figure 3. Cas typiques de production photovoltaïque « consommant d’importantes ressources spatiales »

2.3 Une nouvelle dimension du développement de la surface terrestre : la « production énergétique spatiale » remet en cause les modes établis d’utilisation des ressources

L’usage actuel de la surface terrestre constitue un système pratique complexe, organisé autour de l’agriculture, de l’habitat, de l’industrie, du commerce, des transports et de l’écologie, et porteur de multiples valeurs économiques, sociales et esthétiques. Ce système est alimenté par des ressources énergétiques formées sous terre au cours de dizaines de millions d’années de processus géologiques et géochimiques. Comme l’observe Gavin Bridge [42], les matières énergétiques sont extraites du sous-sol par des « trous » puis remontées à la surface sous forme de flux ; mines, pompes à pétrole et vannes à gaz constituent les portes entre deux mondes soumis à des régimes spatiaux et temporels radicalement différents. Le sous-sol est le monde d’une « production naturelle » échappant au contrôle humain, tandis que la surface est un monde produit par la société. Une fois l’énergie fossile extraite, la surface assure surtout le transport des « flux énergétiques ». Ces infrastructures sont généralement linéaires, de faible

emprise et flexibles dans leur tracé ; elles restent subordonnées aux valeurs économiques, sociales et écologiques de la surface [43]. Dans un système fossile, il suffit généralement de garantir la stabilité et la sécurité de ces corridors pour assurer un approvisionnement continu des villes et des campagnes.

La diffusion rapide de la production renouvelable introduit une dimension entièrement nouvelle du développement terrestre : la production énergétique spatiale. L'espace n'est plus seulement le décor des activités énergétiques ; il devient un facteur central qui participe directement à la production, et de vastes surfaces acquièrent un potentiel énergétique. Depuis la révolution industrielle, les disciplines de planification spatiale — urbanisme, planification rurale et planification de l'usage des sols — ont eu pour mission de coordonner les valeurs économiques, sociales, écologiques et autres dans le développement de la surface, notamment dans les villes et les campagnes, au bénéfice de la société. La production renouvelable permet désormais à des espaces auparavant difficiles à valoriser de devenir des sites énergétiques, mettant ainsi à l'épreuve les modes existants d'utilisation des ressources. L'ajout de la « production énergétique » comme nouvelle variable du système spatial créera de nouveaux conflits et de nouvelles exigences de coordination.

La production photovoltaïque en offre un exemple clair. Concrètement, elle ressemble à l'agriculture : toutes deux dépendent de l'exposition au soleil. Son exigence la plus directe consiste à capter et à occuper le rayonnement solaire reçu dans une certaine étendue spatiale. Or la lumière solaire est un élément naturel fondamental des environnements de vie et de production ; elle contribue à l'éclairage, à l'apport de lumière naturelle, à la désinfection et à la santé, à la photosynthèse et à de nombreuses autres pratiques spatiales. Selon le principe de conservation de l'énergie, lorsqu'une surface est utilisée pour convertir le rayonnement solaire en énergie commercialisable, les autres fonctions de ce rayonnement dans le même espace sont nécessairement affaiblies, voire supprimées, ce qui peut compromettre l'usage initial du site.

Bien que la transition renouvelable n'en soit encore qu'à ses débuts, les conflits entre production énergétique à la surface et usages existants sont déjà largement visibles : occupation de terres agricoles par des installations renouvelables [44], injustices spatiales liées à l'« accaparement vert » [45], conflits entre infrastructures énergétiques et paysages culturels [46], ou encore tensions entre implantation d'équipements renouvelables et intensification de l'usage des terrains industriels (figure 4). Ces signes précurseurs montrent que l'apparition de la production énergétique spatiale bouleverse déjà les conceptions et systèmes traditionnels de l'usage terrestre.

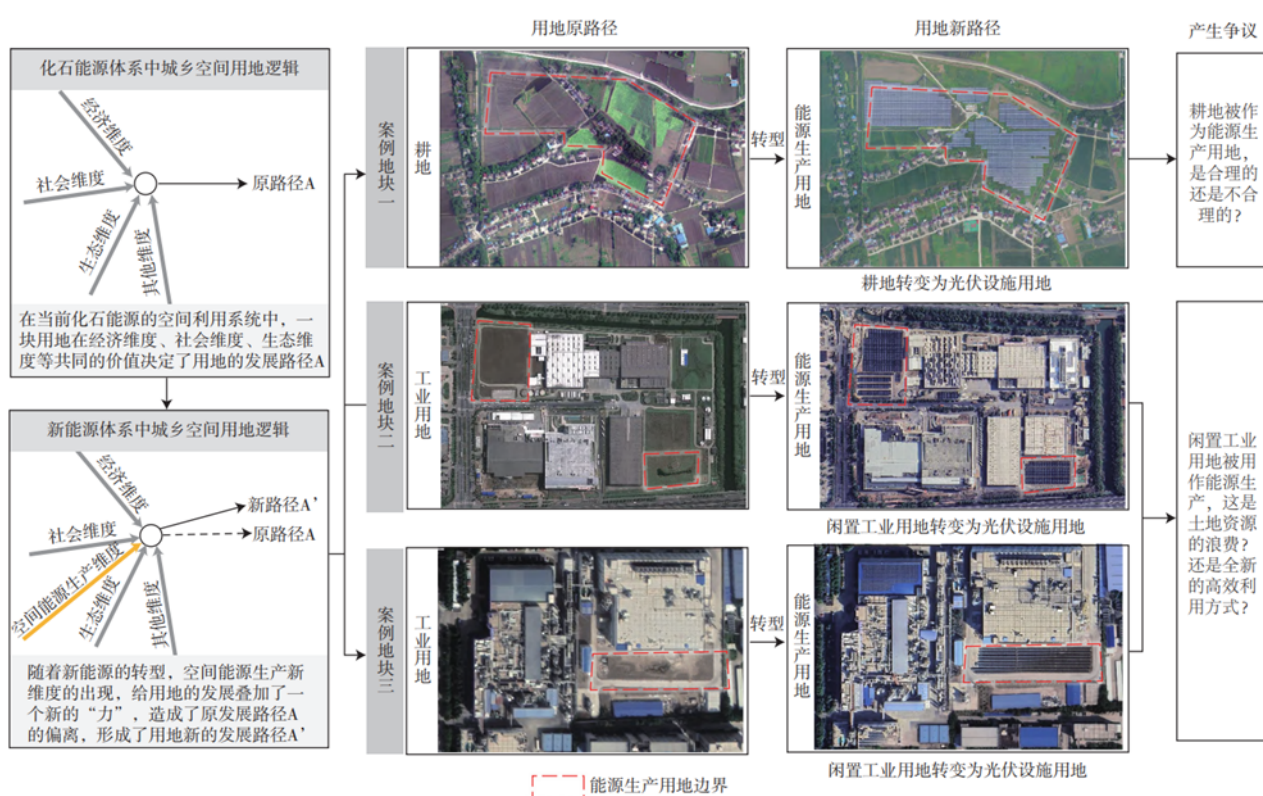


Figure 4. Représentation schématique et cas illustratifs de transformation des trajectoires d'usage du sol sous l'effet de la « production énergétique spatiale »

Note : (1) les terrains de production énergétique apparaissant sur les sites industriels correspondent à des installations photovoltaïques au sol, et non aux systèmes photovoltaïques en toiture, relativement moins controversés ; (2) le cas 1 se situe à Yangzhong, le cas 2 dans le parc industriel de Suzhou et le cas 3 dans la zone de développement économique et technologique de Nantong.

3 Rôle, limites et évolution de la planification spatiale territoriale dans le cadre « forces productives–énergie–espace »

3.1 Formation du cadre « forces productives–énergie–espace »

Avec le développement rapide des énergies renouvelables, les « forces productives » et l'« espace » se trouvent de plus en plus étroitement reliés par l'énergie. Le raisonnement précédent fait apparaître une logique concise. Premièrement, le développement des forces productives de nouvelle qualité exige un soutien énergétique accru ; il favorise l'apparition de sources plus diverses et de rendements de conversion plus élevés, ce qui accélère objectivement la production renouvelable. Deuxièmement, ces énergies reposent sur la capture de ressources dispersées à la surface de la Terre ; leur expansion dépend donc d'une offre plus importante de ressources spatiales et d'un usage plus efficace de l'espace, ce qui remet directement en cause les modes existants d'occupation du sol. Dans cette logique, l'offre et l'utilisation des ressources spatiales deviennent une base essentielle du développement des forces productives de nouvelle qualité. On peut résumer cette relation par le principe « l'espace est énergie, l'énergie est force productive », qui fonde le cadre analytique « forces productives–énergie–espace » (figure 5).

Dans ce cadre, l'espace constitue le fondement de l'énergie, et l'énergie celui des forces productives. La relation entre les trois n'est toutefois pas simplement linéaire. L'article ne défend ni un « déterminisme énergétique » ni son éventuelle extension en « déterminisme spatial ». Du point de vue du matérialisme historique, l'usage massif des combustibles fossiles n'a pas directement déterminé la forme technique précise de la machine à vapeur ou du moteur à combustion interne. De même, le développement massif des renouvelables ne déterminera pas directement les formes exactes de l'intelligence artificielle, de la robotique ou des interfaces cerveau-machine. Cependant, une énergie abondante ressemble au sol fertile d'une forêt tropicale : elle fournit les conditions dans lesquelles de nombreux « grands arbres » peuvent naître et croître.

L'expérience historique montre que toute force productive de nouvelle qualité est contingente et incertaine. Une planification et une gestion efficaces des ressources de surface peuvent néanmoins créer une base d'approvisionnement fiable et continuellement croissante, constituant un socle social stable pour leur développement. Si la Chine augmentait sa capacité de production énergétique d'un ordre de grandeur, elle offrirait un terrain particulièrement fertile à l'émergence de diverses forces productives nouvelles et disposerait d'un avantage stratégique majeur dans la concurrence internationale. La construction de ce socle dépend de la manière dont la société conçoit et utilise la surface terrestre, ce qui confère à la planification spatiale territoriale un rôle crucial.

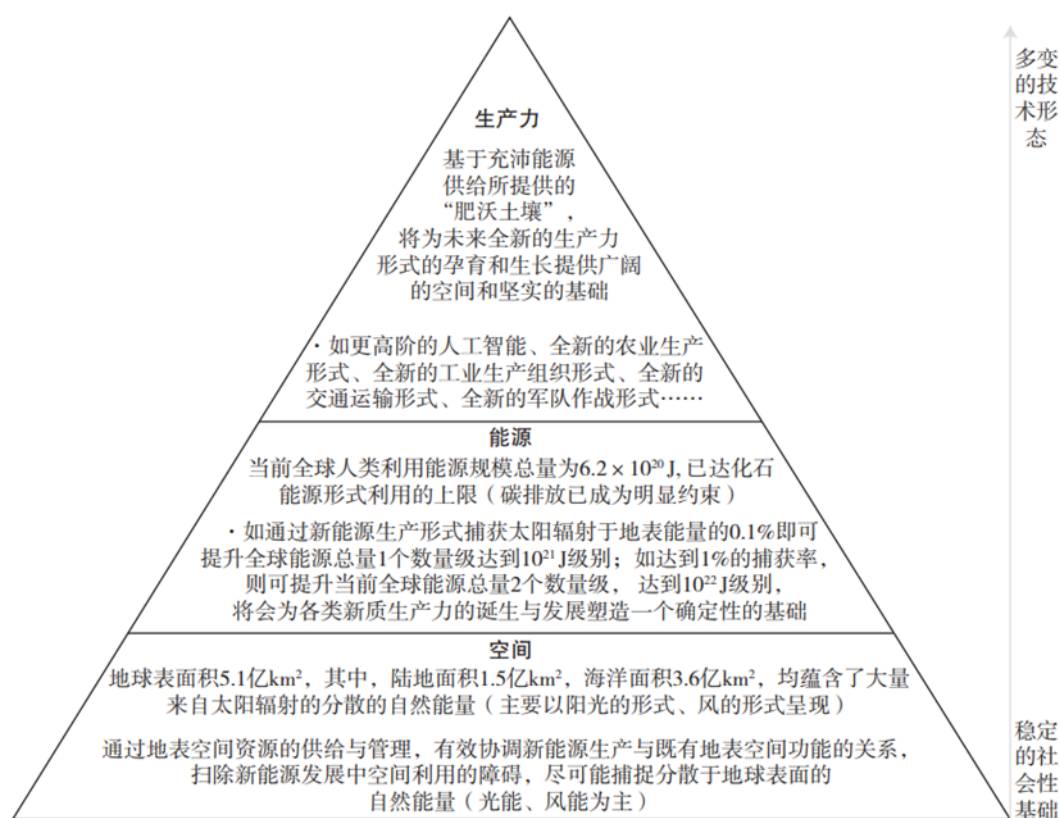


Figure 5. Représentation schématique du cadre « forces productives—énergie—espace » fondé sur les énergies renouvelables

3.2 La planification spatiale territoriale dans le cadre « forces productives—énergie—espace »

3.2.1 Fonction de la planification : gérer d’immenses actifs d’« énergie spatiale » par la gouvernance territoriale

La Chine a désormais mis en place, dans ses grandes lignes, un système de planification spatiale territoriale couvrant l’ensemble des niveaux administratifs et des catégories d’espace. En théorie, ce système fournit un cadre pratique pour planifier, coordonner et gérer l’ensemble du territoire national [47-48]. Selon le principe « l’espace est énergie, l’énergie est force productive », la planification spatiale territoriale assume la responsabilité de gérer les ressources énergétiques naturelles contenues dans les 9,6 millions de km^2 de surface terrestre chinoise et exerce donc une influence importante sur la base énergétique des forces productives de nouvelle qualité.

Une estimation préliminaire situe à environ $5,2 \times 10^{22}$ J par an⑥ la quantité de rayonnement solaire reçue sur le territoire chinois, soit plus de 300 fois la consommation énergétique totale du pays en 2022, estimée à $1,6 \times 10^{20}$ J. L’apparition des énergies renouvelables ajoute ainsi une dimension de production énergétique aux montagnes, eaux, forêts, terres agricoles, lacs, prairies, mers et villes administrés par la planification spatiale territoriale.

Dans la plupart des autres espaces fonctionnels gérés par la planification — résidentiels, industriels ou commerciaux, par exemple — l’espace sert de support à l’activité sans en constituer la substance, et l’intervention demeure donc largement indirecte. Dans la production renouvelable, en revanche, l’énergie provient de la surface elle-même : l’espace est une composante intrinsèque de l’activité productive. L’intervention de la planification est par conséquent plus directe et peut influencer de manière significative sur le rythme et la forme de la transition énergétique chinoise, puis sur le socle du développement des forces productives de nouvelle qualité.

3.2.2 Limite actuelle : les outils spatiaux formés à l'ère fossile ne répondent pas aux exigences des énergies renouvelables

La mise en place de la planification spatiale territoriale rend possible une gestion nationale des ressources renouvelables. Dans la pratique, certaines régions utilisent déjà ce système pour coordonner les conflits entre production énergétique et fonctions conventionnelles. Les autorités chinoises chargées des ressources naturelles ont notamment publié plusieurs séries de directives relatives à l'occupation de terres agricoles par les installations renouvelables [49]. Plus fondamentalement, ces tensions tiennent au fait que les anciens concepts et instruments de la planification actuelle ne permettent pas de comprendre ni de gouverner efficacement les phénomènes nouveaux.

Afin d'éviter les conflits avec les fonctions établies de la surface, le développement renouvelable s'est jusqu'à présent concentré sur le photovoltaïque en toiture, les installations photovoltaïques des déserts et des zones de Gobi, ainsi que l'éolien côtier ou offshore, en mobilisant des espaces traditionnellement considérés comme peu valorisables. Ces formes ont déjà produit des bénéfices importants, mais le champ des ressources exploitées reste limité et demeure éloigné d'une mise en valeur complète du potentiel énergétique réparti sur l'ensemble de la surface terrestre.

Au niveau des conceptions spatiales fondamentales, le cadre cognitif actuel de la planification spatiale territoriale reste enraciné dans le paradigme statique de la physique classique, qui réduit l'espace à un contenant linéaire tridimensionnel défini par la longueur, la largeur et la hauteur. Les instruments tels que la réglementation des usages ou les listes de projets fonctionnent essentiellement comme des mécanismes « autoriser–interdire » régissant l'occupation de l'espace tridimensionnel⁽⁷⁾. Or, dans la production renouvelable, l'espace lui-même fait partie du processus productif. La capture de l'énergie solaire dépend de surfaces planes bidimensionnelles définies par la longueur et la largeur [50], tandis que la capture de l'énergie éolienne dépend de l'espace fluide créé par le mouvement de l'air.

Compte tenu de ces différences, les instruments hérités du paradigme fossile ne permettent ni d'établir des évaluations pertinentes de la performance foncière de la production renouvelable, ni de guider efficacement l'allocation des facteurs spatiaux. Si les conceptions traditionnelles de l'espace demeurent inchangées, même d'immenses ressources énergétiques resteront difficiles à mobiliser et à transformer en puissance productive matérielle.

3.2.3 Orientation d'évolution : moderniser et créer des outils spatiaux adaptés au développement des énergies renouvelables

La planification doit revenir à la relation fondamentale entre production énergétique et espace et reconnaître, sur le plan épistémologique, les différences de conception spatiale associées aux systèmes renouvelables et fossiles. En se concentrant sur la capture de la lumière solaire et du mouvement de l'air, elle doit élaborer de nouvelles méthodes de connaissance, d'analyse et d'action capables de coordonner la production renouvelable avec les autres fonctions de la surface terrestre.

Premièrement, il convient d'établir une conception globale de l'énergie. Le fonctionnement normal des villes contemporaines dépend non seulement de l'approvisionnement fossile, mais aussi de l'action directe d'immenses quantités d'énergie naturelle sur l'éclairage, le chauffage, la désinfection et la santé, la ventilation et la photosynthèse. Selon la loi de conservation de l'énergie, convertir une énergie naturelle en énergie marchande affaiblit ou supprime nécessairement ses fonctions initiales. Cela est particulièrement important pour la lumière solaire : la planification doit distinguer les fonctions « indispensables » au fonctionnement urbain, celles qui sont « non indispensables » et celles qui correspondent à un « gaspillage », afin d'identifier les flux naturels susceptibles d'être transformés en production énergétique.

Deuxièmement, la planification doit développer des méthodes d'analyse articulant espace et énergie. Pour le solaire, il faut mettre en correspondance la projection des rayons lumineux et la surface terrestre et construire des modèles d'évaluation de l'échelle et de l'efficacité de l'usage énergétique du rayonnement.

Pour l'éolien, l'analyse doit porter sur les externalités spatiales, notamment le bruit, les perturbations des communautés animales et les résistances suscitées par les effets sur les paysages culturels.

Troisièmement, il convient de renforcer la gouvernance de l'espace tridimensionnel et de moderniser la boîte à outils de la planification. Les instruments conventionnels — coefficient d'occupation des sols, taux d'espaces verts, limites de hauteur ou densité bâtie — doivent être améliorés. En parallèle, de nouveaux concepts et outils propres aux systèmes renouvelables doivent être créés afin d'accroître l'efficacité de la production énergétique spatiale et de réduire les conflits avec les autres fonctions de la surface.

Quatrièmement, un système innovant de droits de propriété sur l'espace énergétique doit être établi. La production photovoltaïque capte l'énergie à travers une succession de surfaces bidimensionnelles. Les dispositifs actuels de propriété foncière et immobilière doivent donc être dépassés afin de créer des droits spatiaux spécifiquement adaptés à la production énergétique.

4 Conclusion et discussion

Les forces productives de nouvelle qualité constituent un instrument stratégique permettant à la Chine de prendre l'initiative dans la concurrence mondiale, d'accomplir une progression rapide de sa productivité nationale et de promouvoir un développement de haute qualité. La planification spatiale doit suivre l'évolution de l'époque en soutenant activement l'éolien et le solaire, en s'intégrant à la nouvelle révolution énergétique et en consolidant le socle énergétique requis par ces forces productives.

L'article intègre les forces productives, l'énergie et l'espace dans un même cadre analytique. Premièrement, il identifie les énergies renouvelables comme une condition fondamentale du développement des forces productives de nouvelle qualité. Historiquement, les transformations qualitatives de la productivité ont généralement été précédées ou accompagnées d'innovations énergétiques ; aujourd'hui, le plafond de l'offre fossile constitue une contrainte systémique à la poursuite du développement. Deuxièmement, une révolution énergétique est fondamentalement une révolution de l'usage de la surface terrestre. Le développement de l'éolien et du solaire rompt avec la logique spatiale des systèmes conventionnels et donne à une grande partie de la surface — jusque-là principalement comprise comme espace de consommation — le potentiel de devenir espace de production. Il en résulte une nouvelle forme d'usage, la « production énergétique spatiale », qui crée de nouvelles valeurs tout en remettant en cause les systèmes existants. La transition énergétique n'est donc pas seulement technologique : elle représente une transformation large et profonde de la société humaine et des modes fondamentaux d'usage de l'espace.

Enfin, l'article construit le cadre « forces productives—énergie—espace » et soutient qu'une planification et une gestion efficaces des ressources terrestres doivent créer une base énergétique fiable et croissante pour le développement des forces productives de nouvelle qualité. La planification spatiale territoriale devrait assumer une responsabilité majeure dans la gestion des immenses ressources d'énergie spatiale réparties sur l'ensemble du territoire. Pourtant, les concepts et instruments formés dans le système fossile ne permettent pas d'évaluer ni d'orienter correctement le développement des formes renouvelables. La planification doit donc revenir à la relation fondamentale entre énergie et espace et moderniser ses fondements conceptuels comme ses instruments pratiques : (1) établir une conception globale de l'énergie ; (2) développer des méthodes d'analyse reliant espace et énergie ; (3) renforcer la gouvernance tridimensionnelle et moderniser les outils de planification ; (4) innover dans les systèmes de droits spatiaux liés à la production énergétique.

L'utilisation planétaire des énergies renouvelables relevait autrefois largement de la science-fiction. Le développement rapide des technologies et la participation croissante de la société en font aujourd'hui une réalité, tandis que la transformation futuriste de l'usage de la surface terrestre est déjà engagée. L'expérience historique montre toutefois que les transitions énergétiques et spatiales ne s'accomplissent jamais instantanément : elles constituent de vastes processus historiques qui peuvent s'étendre sur plusieurs décennies, voire sur un siècle [51]. La Chine devrait donc mobiliser au plus tôt le cadre « forces

productives–énergie–espace » pour viser une augmentation d’un ordre de grandeur de sa capacité de production énergétique, créer de nouvelles conceptions et de nouveaux outils spatiaux, orienter la transformation de la planification spatiale territoriale et développer des pratiques adaptées aux énergies renouvelables.

Notes

- ① L’indice de Kardachev est calculé selon la formule $K = (\log_{10}P - 6) / 10$, où K désigne l’indice d’une civilisation et P la puissance qu’elle utilise. Les civilisations sont ainsi classées en types I, II et III. Une civilisation de type I maîtrise l’ensemble des énergies renouvelables disponibles sur sa planète — solaire, éolienne, hydraulique, etc. ; une civilisation de type II maîtrise une quantité d’énergie à l’échelle d’une étoile ; une civilisation de type III, à l’échelle d’une galaxie. Le niveau actuel de l’humanité est estimé à 0,73.
- ② Cette comparaison ne tient compte que de la quantité totale de travail et non de la qualité de l’énergie. Si cette dernière était intégrée, l’écart entre le niveau de vie d’un individu ordinaire aujourd’hui et celui d’un aristocrate de l’Antiquité serait encore plus important.
- ③ Au XIXe siècle, le charbon constituait une nouvelle énergie par rapport à la biomasse traditionnelle — aliments et bois de feu ; au XXe siècle, le pétrole constituait une nouvelle énergie par rapport au charbon.
- ④ TWh signifie térawattheure et correspond à 10^9 kWh.
- ⑤ La densité de puissance spatiale désigne la quantité d’énergie produite par unité de surface terrestre dans les activités de production, exprimée en W/m^2 . Une densité élevée signifie généralement qu’une quantité donnée d’énergie nécessite moins d’espace, tandis qu’une densité faible exige davantage de ressources spatiales.
- ⑥ L’énergie du rayonnement solaire reçue sur le territoire chinois est estimée selon la formule $E = S \times H$, où E représente l’énergie solaire annuelle totale, S la superficie nationale — 9,6 millions de km^2 — et H l’irradiation globale horizontale annuelle moyenne en Chine — $1\,493,4\text{ kWh}/m^2$. Cette estimation simplifiée n’est pas précise, mais elle indique l’ordre de grandeur de l’énergie spatiale contenue dans le territoire.
- ⑦ Bien que la réglementation des usages semble porter sur une surface bidimensionnelle, elle comprend en pratique des indicateurs de hauteur, tels que le coefficient d’occupation des sols et les limites de hauteur ; elle relève donc d’une gouvernance de l’espace tridimensionnel.

Références

- [1] WU Zhiqiang, YAN Juan, XU Haowen, et al. Dix questions clés annuelles pour le développement de la discipline de l’aménagement urbain et rural (2024–2025) [J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 8–11. [en chinois]
- [2] SHEN Qingji. Développement énergétique urbain durable en Chine : une perspective d’urbanisme [J]. Urban Planning Forum, 2005(6): 41–47. [en chinois]
- [3] HUBER M. T. Theorizing energy geographies [J]. Geography Compass, 2015, 9(6): 327–338.
- [4] BRIDGE G., BOUZAROVSKI S., BRADSHAW M., et al. Geographies of energy transition: space, place and the low-carbon economy [J]. Energy Policy, 2013, 53: 331–340.
- [5] YANG Yu, XIA Siyou, JIN Zhijun. Logique et perspectives de recherche de la recomposition géopolitique induite par la transition énergétique [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9): 2299–2315. [en chinois]
- [6] MORONI S., ANTONIUCCI V., BISELLO A. Energy sprawl, land taking and distributed generation: towards a multi-layered density [J]. Energy Policy, 2016, 98: 266–273.
- [7] ZHU D., SONG D., SHI J., et al. The effect of morphology on solar potential of high-density residential area: a case study of Shanghai [J]. Energies, 2020, 13(9): 2215.
- [8] HU M., SONG X., BAO Z., et al. Evaluation of the economic potential of photovoltaic power generation in road spaces [J]. Energies, 2022, 15(17): 6408.

- [9] ZHANG Bing, ZHU Yingying, LAN Chun, et al. Solutions fondées sur la nature : connaissance et méthodes de planification de la conservation des environnements urbains historiques face au changement climatique [J]. Urban Planning Forum, 2024(1): 18–28. [en chinois]
- [10] SUN Shiwen. Recherche fondamentale sur le système de mise en œuvre et de supervision de la planification spatiale territoriale [J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 12–17. [en chinois]
- [11] ZHANG Shangwu. Système technique d'élaboration de la planification spatiale territoriale : architecture générale et avancées clés [J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 45–50. [en chinois]
- [12] WU Zhiqiang, GUO Renzhong, ZHANG Bing, et al. Discussion académique sur la construction systématique du système national de planification spatiale [J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 1–11. [en chinois]
- [13] WANG Kai, ZHAO Yanjing, ZHANG Jingxiang, et al. Discussion académique sur les forces productives de nouvelle qualité et la planification urbaine et rurale [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 1–10. [en chinois]
- [14] BRIDGE G. Material worlds: natural resources, resource geography and the material economy [J]. Geography Compass, 2009, 3(3): 1217–1244.
- [15] KARDASHEV N. S. Transmission of information by extraterrestrial civilizations [J]. Soviet Astronomy, 1964, 8: 217.
- [16] SMIL V. Transitions énergétiques : données, histoire et avenir [M]. Trad. GAO Feng, JIANG Aixin, LI Hongda. Beijing: Science Press, 2018. [édition chinoise]
- [17] SMIL V. World history and energy [J]. Encyclopedia of Energy, 2004, 6: 558.
- [18] AGENCE XINHUA. Xi Jinping souligne la nécessité d'accélérer le développement des forces productives de nouvelle qualité et de promouvoir solidement un développement de haute qualité lors de la onzième séance d'étude collective du Bureau politique du Comité central du PCC [EB/OL]. (2024-02-10) [2024-09-28]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929446.htm. [en chinois]
- [19] CUI Shoujun, CAI Yu, JIANG Moqian. Grandes transformations technologiques et mutation de la géopolitique de l'énergie [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(11): 2585–2595. [en chinois]
- [20] RITCHIE H., ROSADO P., ROSER M. Energy Production and Consumption [EB/OL]. (2024-01) [2024-09-28]. <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>.
- [21] BRIDGE G., LE BILLON P. Oil [M]. Cambridge: Polity Press, 2012.
- [22] MCNEILL J. R. Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth Century [M]. New York: W. W. Norton, 2000.
- [23] MARX K., ENGELS F. Le Manifeste du Parti communiste [EB/OL]. (2019-11-21) [2024-09-28]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5037841. [édition chinoise en ligne]
- [24] HUBER M. T. Energizing historical materialism: fossil fuels, space and the capitalist mode of production [J]. Geoforum, 2009, 40(1): 105–115.
- [25] CALVERT B. AI already uses as much energy as a small country. It's only the beginning [EB/OL]. (2024-03-28) [2024-09-28]. <https://www.vox.com/climate/2024/3/28/24111721/climate-ai-tech-energy-demand-rising>.
- [26] SHI Dan, SHI Kehan. Le rôle des énergies renouvelables dans le développement des forces productives de nouvelle qualité [EB/OL]. (2024-06-05) [2024-09-28]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI0NDZMjA5NWw==&mid=2654909767&idx=1&sn=2177cb9ee8738ed358207bb36146eb28&chksm=f2a9e249c5de6b5f7a416492e3cc7c7785e055d580f1e675a3546fd6d92a73031c8eeb06835b&scene=27. [en chinois]
- [27] BLAIN L. Elon Musk: AI will run out of electricity and transformers in 2025 [EB/OL]. (2024-03-01) [2024-09-28]. <https://newatlas.com/technology/elon-musk-ai/>.

- [28] DE VRIES B. J. M., VAN VUUREN D. P., HOOGWIJK M. M. Renewable energy sources: their global potential for the first half of the 21st century at a global level—an integrated approach [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(4): 2590–2610.
- [29] WRIGLEY E. A. *Continuity, Chance and Change: The Character of the Industrial Revolution in England* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [30] SIEFERLE R. P. *The Subterranean Forest: Energy Systems and the Industrial Revolution* [M]. Cambridge, UK: White Horse Press, 2001.
- [31] VAN ZALK J., BEHRENS P. The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: a review and meta-analysis of power densities and their application in the US [J]. *Energy Policy*, 2018, 123: 83–91.
- [32] YANG Yu, XIA Siyou, QIAN Xiaoying. Recherche géopolitique sur la transition énergétique [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(8): 2050–2066. [en chinois]
- [33] NIKIFORUK A. *The Energy of Slaves: Oil and the New Servitude* [M]. Vancouver: Greystone Books, 2014.
- [34] RUTHERFORD J., COUTARD O. Urban energy transitions: places, processes and politics of socio-technical change [J]. *Urban Studies*, 2014, 51(7): 1353–1377.
- [35] PASQUALETTI M. J., BROWN M. A. Ancient discipline, modern concern: geographers in the field of energy and society [J]. *Energy Research & Social Science*, 2014, 1: 122–133.
- [36] COENEN L., TRUFFER B. Places and spaces of sustainability transitions: geographical contributions to an emerging research and policy field [J]. *European Planning Studies*, 2012, 20(3): 367–374.
- [37] YANG Yu, HE Ze. Géopolitique de l'énergie et pouvoir énergétique [J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(3): 524–540. [en chinois]
- [38] WEINRUB A. Expressions of Energy Democracy: Perspectives on an Emerging Movement [R/OL]. (2014-08) [2025-03-04]. <https://www.localcleanenergy.org/files/Expressions%20of%20Energy%20Democracy.pdf>.
- [39] SMIL V. *Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses* [M]. Boston: MIT Press, 2015.
- [40] HUBER M. T., MCCARTHY J. Beyond the subterranean energy regime? Fuel, land use and the production of space [J]. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2017, 42(4): 655–668.
- [41] CALVERT K. From 'energy geography' to 'energy geographies': perspectives on a fertile academic borderland [J]. *Progress in Human Geography*, 2016, 40(1): 105–125.
- [42] BRIDGE G. The Hole World: Scales and Spaces of Extraction [EB/OL]. (2015-09-01) [2024-09-28]. <https://scenariojournal.com/article/the-hole-world/>.
- [43] CALVERT K., SIMANDAN D. Energy, space, and society: a reassessment of the changing landscape of energy production, distribution, and use [J]. *Journal of Economics and Business Research*, 2010, 16(1): 13–37.
- [44] XIA Z., LI Y., GUO S., et al. Balancing photovoltaic development and cropland protection: assessing agrivoltaic potential in China [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2024, 50: 205–215.
- [45] HOLMES G. What is a land grab? Exploring green grabs, conservation, and private protected areas in southern Chile [J]. *Journal of Peasant Studies*, 2014, 41(4): 547–567.
- [46] COWELL R. Wind power, landscape and strategic spatial planning: the construction of 'acceptable locations' in Wales [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 222–232.
- [47] YANG Baojun, CHEN Peng, DONG Ke, et al. Construction d'un système de planification spatiale territoriale dans le contexte de la civilisation écologique [J]. *Urban Planning Forum*, 2019(4): 16–23. [en chinois]
- [48] ZHAO Min. Logique et stratégies opérationnelles de construction du système de planification spatiale territoriale [J]. *Urban Planning Forum*, 2019(4): 8–15. [en chinois]

- [49] BUREAU GÉNÉRAL DU MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, BUREAU GÉNÉRAL DE L'ADMINISTRATION NATIONALE DES FORÊTS ET DES PRAIRIES, DÉPARTEMENT GÉNÉRAL DE L'ADMINISTRATION NATIONALE DE L'ÉNERGIE. Avis relatif au soutien au développement de l'industrie photovoltaïque et à la normalisation de la gestion foncière [R/OL]. (2023-03-20) [2024-09-28]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-04/03/content_5749824.htm. [en chinois]
- [50] WANG Yizhe. Production énergétique spatiale : une nouvelle voie pour la transition bas carbone de l'espace urbain à l'ère des énergies renouvelables — à partir de l'intégration interactive entre production photovoltaïque et espace urbain [J]. *City Planning Review*, 2024, 48(4): 59–70. [en chinois]
- [51] GRUBLER A. Energy transitions research: insights and cautionary tales [J]. *Energy Policy*, 2012, 50: 8–16.
- Version révisée reçue : février 2025.

Traduction assistée par IA