

Evaluation du potentiel d'expansion durable de l'irrigation solaire à petite échelle à Ségou et Sikasso, Mali

Près de 80% de la population du Mali dépend de l'agriculture. La plupart de ces personnes sont de petits exploitants qui possèdent moins de 10 hectares (ha) de terres et pratiquent l'agriculture de subsistance (FAO 2017). En raison de leurs ressources limitées, les petits exploitants sont incapables d'investir dans des pratiques et des technologies agricoles, telles que l'application d'engrais et l'irrigation, qui augmenteraient leur production. Par conséquent, ces agriculteurs sont confrontés à un éventail de menaces pour leurs moyens de subsistance, notamment la pénurie d'eau, la variabilité climatique, les cycles répétés d'inondations et de sécheresses et la mauvaise fertilité des sols (Andrieu et al. 2017).

Alors que l'irrigation est limitée au coton, à la canne à sucre et au riz dans la zone de l'Office du Niger et le long du fleuve Niger dans le centre du Mali, la culture pluviale des céréales grossières est répandue dans le bassin du fleuve Niger, couvrant environ 5,8 millions ha ou 90% des terres arables du Mali (FAO 2017). Cependant, la quantité de céréales produite par les petits exploitants est insuffisante pour répondre à leurs besoins alimentaires, ce qui entraîne une insécurité alimentaire et une malnutrition, en particulier dans les districts de Sikasso, Ségou, Mopti, Koulikoro et Kayes.



Un parc de technologie solaire installé pour démontrer le potentiel des cultures dans le village de N'Golonianasso, au Mali (photo: Amadou Sidibé).

IWMI (2019) a montré que Ségou et Sikasso disposent de certaines des plus grandes zones adaptées à l'irrigation solaire. En outre, plus de 90% de la zone agricole dans ces districts est soumise à une culture pluviale et les taux de malnutrition sont élevés (Cooper et West 2017). Par conséquent, Ségou et Sikasso ont été sélectionnés pour étudier la disponibilité de l'eau pour les systèmes d'irrigation solaires à petite échelle (SPIS) pour une étude menée dans le cadre du projet de [laboratoire d'innovation pour l'irrigation à petite échelle \(Innovation Lab for Small-Scale Irrigation\) \(ILSSI\)](#).

Défis pour l'expansion de l'irrigation

Le projet ILSSI a identifié les défis liés à l'expansion de l'irrigation comme étant la découverte de solutions équitables, économiquement viables, écologiquement durables et évolutives. Les pratiques d'irrigation à petite échelle dirigées par des agriculteurs constituent des solutions rentables et évolutives de gestion de l'eau agricole qui ont prouvé leur capacité à améliorer la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des petits exploitants en Afrique subsaharienne (Lefore et al. 2019). Des initiatives récentes ont introduit des cadres pour l'identification des emplacements appropriés pour les SPIS dans le cadre des pratiques d'irrigation dirigées par les agriculteurs (Schmitter et al. 2018; Lefore et al. 2021).

Cependant, bien que les technologies de SPIS individuelles puissent consommer une petite quantité d'eau, collectivement, cela peut engendrer des prélèvements d'eau importants. Par conséquent, la durabilité des stratégies d'expansion agricole dépend de la disponibilité des ressources en eau pour l'utilisation pendant les saisons humides et sèches, après avoir pris en compte toutes les demandes existantes (y compris l'environnement).

L'étude décrite dans ce résumé combine les résultats de modélisation avec la [comptabilité de l'eau plus \(WA+\)](#) et la [cartographie de l'aptitude solaire](#) réalisées par IWMI (2019) avec d'autres jeux de données basés sur la modélisation hydrologique et la télédétection (Sutanudjaja et al. 2018; Li et al. 2019; MacDonald et al. 2021) pour comprendre la disponibilité des ressources en eaux de surface et en eaux souterraines et les limites d'expansion durable des SPIS au Mali (Figure 1).

Quelle est l'étendue de la zone appropriée pour les SPIS?

La zone appropriée pour les SPIS (en fonction de la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines peu profondes jusqu'à une profondeur de 7 mètres pour les pompes d'une capacité de 0,5-1 kWh) (IWMI 2019) a été analysée pour diverses

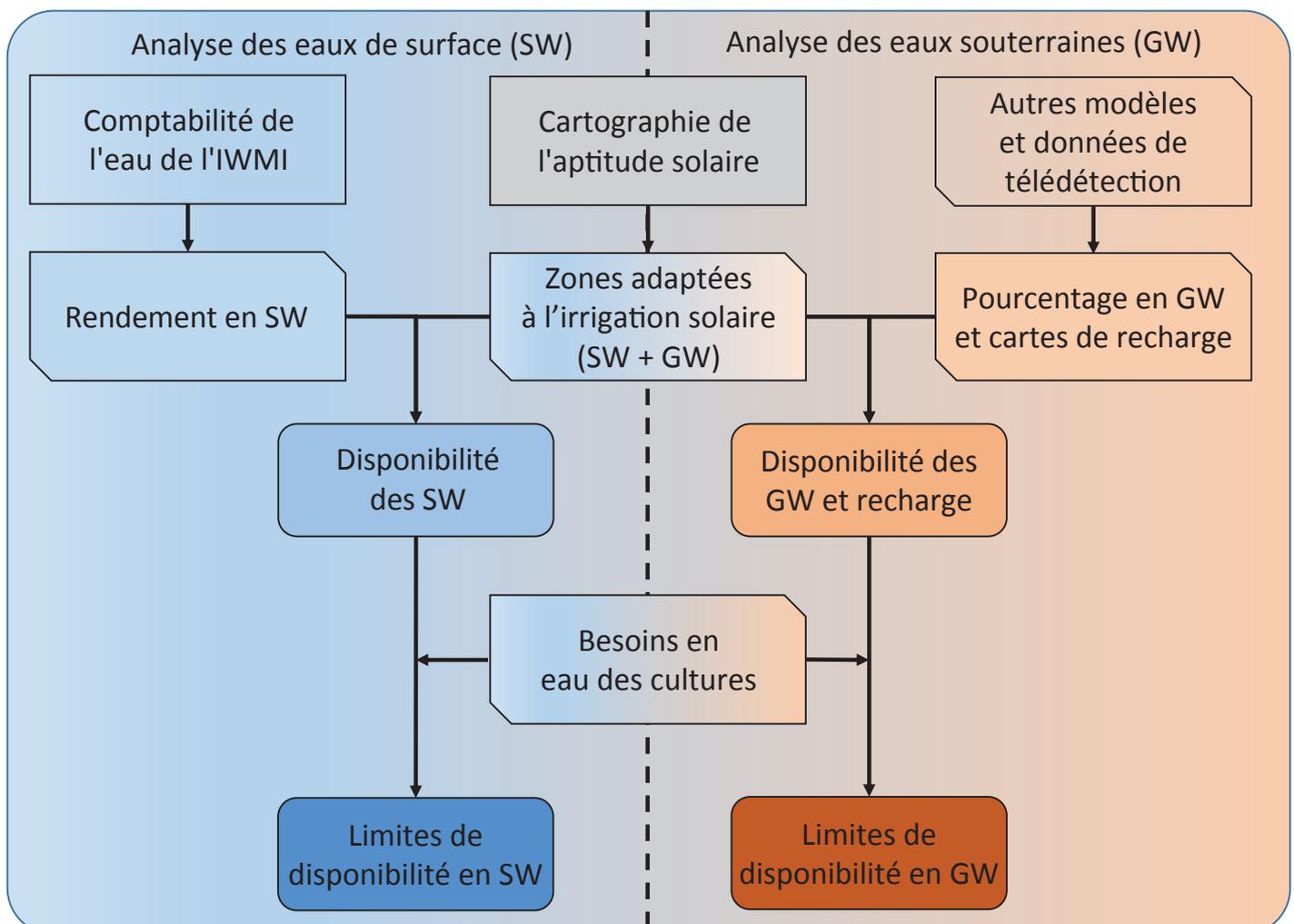


Figure 1. Représentation schématisée de l'approche visant à évaluer le potentiel d'expansion de l'irrigation solaire à petite échelle au Mali.

cercles (unités administratives au niveau du sous-district) à Ségou et Sikasso (Figure 2). Le cercle de Bougouni à Sikasso a la plus grande zone adaptée aux SPIS (195.500 ha). La surface totale identifiée comme appropriée pour les SPIS à Ségou et Sikasso est de 145.000 ha et 655.000 ha, respectivement.

Jusqu'à 33% des terres cultivées à Ségou et 43% à Sikasso sont adaptées aux SPIS. Les prairies existantes, les arbustes mixtes et les zones de faible végétation et aride (jusqu'à 67% à Ségou et 56% à Sikasso) sont également adaptées au SPIS.

Quelle quantité d'eau de surface est disponible pour soutenir les SPIS?

Le rendement de l'eau de surface, calculé comme la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration due aux précipitations ($P - ET_{pluie}$), a été obtenu à partir de l'approche

WA+. La Figure 3 illustre le rendement de l'eau de surface pour différents cercles à Ségou et Sikasso.

Les cercles de Ségou, Bla et San ont plus de rendement en eau de surface disponible pendant la saison des pluies que d'autres cercles (jusqu'à 800 mm), ce qui rend ces zones plus adaptées à l'expansion des SPIS. Inversement, les cercles de Niono et Tominian n'ont pas de rendement en eau de surface, ce qui rend ces zones inadaptées à l'expansion des SPIS. Cependant, Sikasso a relativement plus de rendement en eau de surface que Ségou pendant la saison humide. Les cercles de Yanfolila et Sikasso ont le rendement en eau de surface le plus élevé (jusqu'à 500-800 mm), ce qui rend ces zones plus adaptées à l'expansion des SPIS. D'autres cercles ont un rendement uniforme en eau de surface jusqu'à 500 mm pendant la saison humide. Contrairement à la disponibilité de l'eau de surface pendant la saison humide, Ségou et Sikasso n'ont aucun rendement en eau de surface (négatif) pendant la saison sèche.

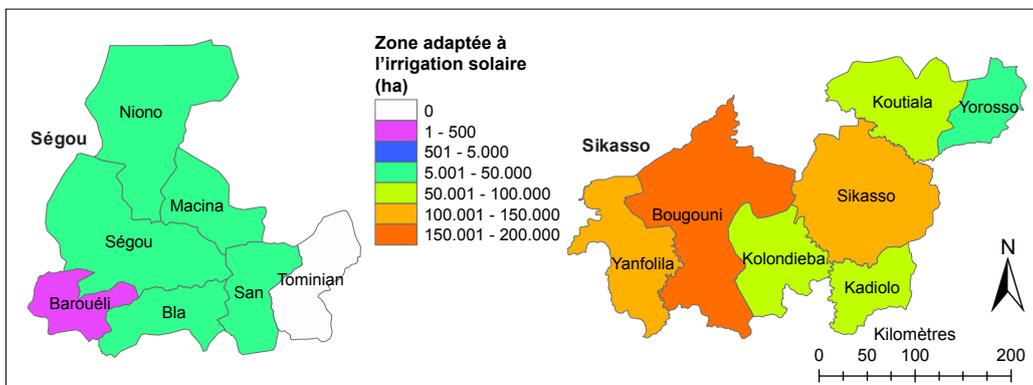


Figure 2. Zone (ha) identifiée comme adaptée à l'irrigation solaire à petite échelle pour les cercles à Ségou et Sikasso, Mali.

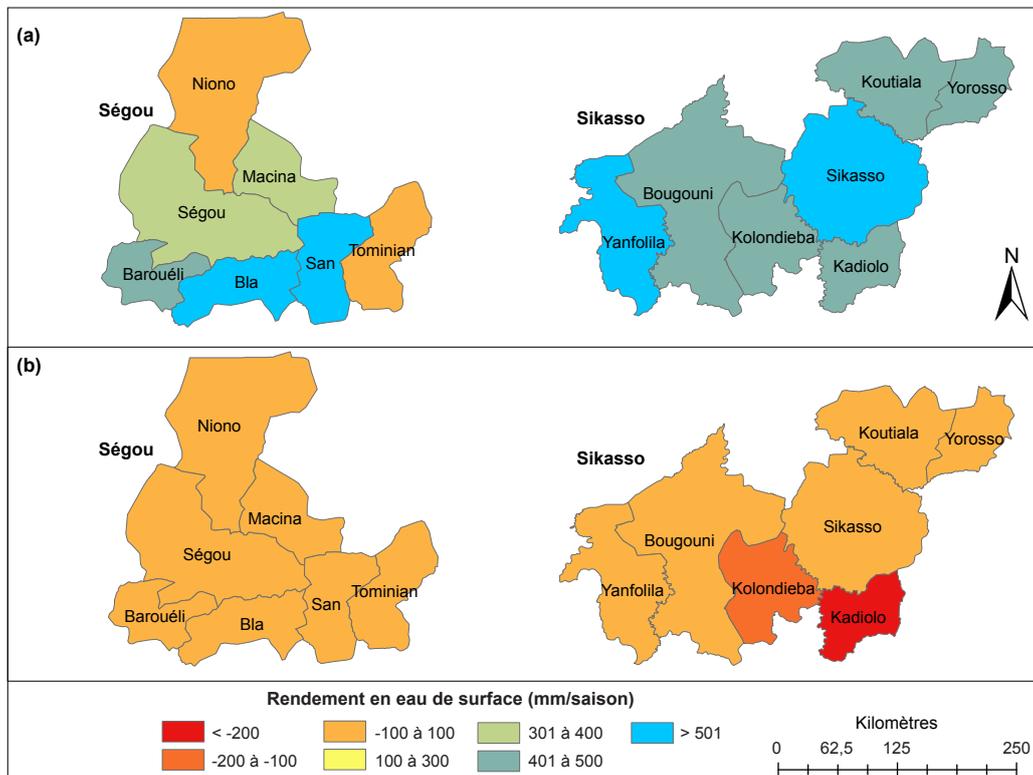


Figure 3. Rendement en eau de surface ($P - ET_{pluie}$) pour les cercles à Ségou et Sikasso, Mali pendant (a) la saison humide (Juin-Novembre) et (b) la saison sèche (Décembre-Mai).

Quelle quantité d'eau souterraine est disponible pour soutenir les SPIS?

Des cartes de percentiles d'eaux souterraines (Li et al. 2019) ont été utilisées pour comprendre la disponibilité des eaux souterraines. Chaque cercle a été regroupé dans les classes basse (0-40), moyenne (41-60), moyenne-haute (61-80) et

haute (81-100) de disponibilité des eaux souterraines en fonction des percentiles d'eau souterraine. La Figure 4(a) indique que tous les cercles de Ségou et les quatre cercles de Sikasso ont une disponibilité moyenne-élevée d'eaux souterraines et que trois cercles de Sikasso (Yanfolila, Kolondieba et Kadiolo) ont une disponibilité moyenne d'eaux souterraines.

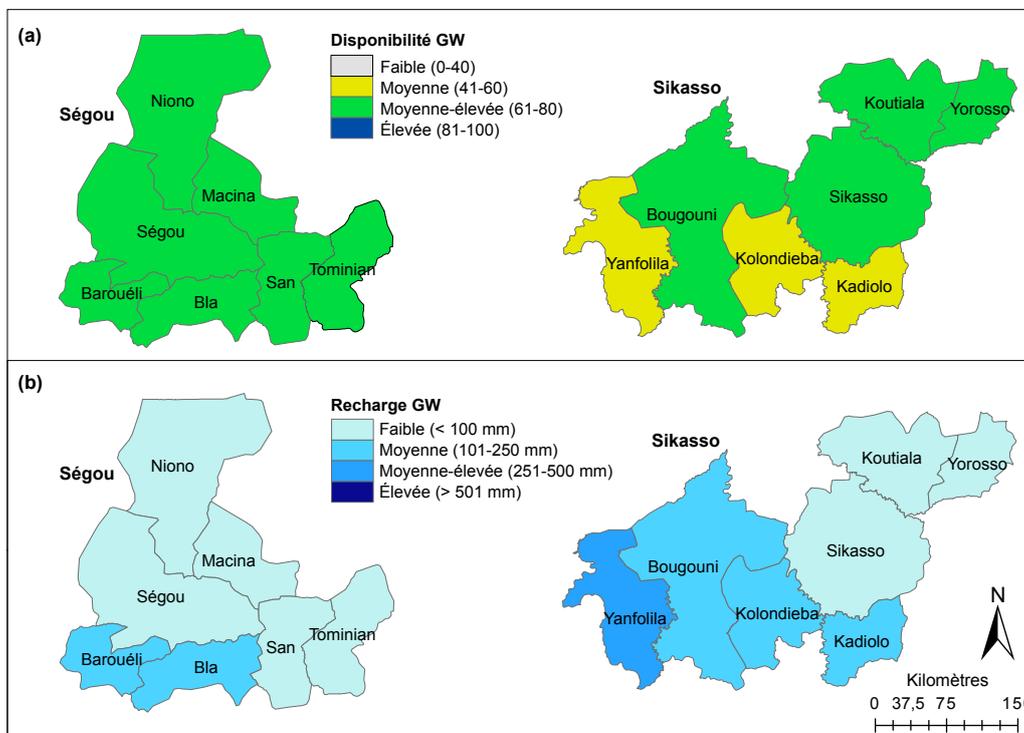


Figure 4. (a) Disponibilité des eaux souterraines (GW) et (b) recharge des eaux souterraines résumée pour les cercles à Ségou et Sikasso, Mali.

Les données de recharge des eaux souterraines obtenues à partir du modèle PCRaster GLOBal Water Balance (PCR-GLOBWB) (Sutanudjaja et al. 2018) et les données de recharge des eaux souterraines récemment publiées sur la base des observations sur terrain (MacDonald et al. 2021) ont été analysées pour comprendre les limites durables de l'irrigation des eaux souterraines. Chaque cercle a été regroupé en classes basse

(< 100 mm), moyenne (101-250 mm), moyenne-élevée (251-500 mm) et élevée (> 501) sur la base des estimations annuelles de recharge des eaux souterraines. La Figure 4(b) montre que certains cercles de Ségou (Barouéli et Bla) et Sikasso (Yanfolila, Bougouni, Kolondieba et Kadiolo) ont une recharge annuelle des eaux souterraines moyenne à moyenne élevée. Les autres cercles ont une faible recharge annuelle d'eaux souterraines.



L'irrigation goutte-à-goutte à énergie solaire est un moyen efficace d'irriguer les cultures dans les zones pauvres en eau d'Afrique (photo: David Brazier/IWMI).

Quelle zone de cultures peut être soutenue par les SPIS?

Les besoins en eau des cultures végétales couramment cultivées dans la région ont été utilisés pour comprendre la disponibilité et les limites durables de l'irrigation des eaux de surface et des eaux souterraines. Le Tableau 1 fournit une liste des cultures, la disponibilité de l'eau et la source d'eau pour les zones identifiées comme adaptées aux SPIS en fonction des périodes de culture et des besoins en eau des cultures obtenus à partir de recherches documentaires.

Pendant la saison humide, le rendement en eau de surface peut soutenir les cultures végétales ayant de faibles besoins en eau (~300-550 mm/saison) à Ségou et Sikasso. En outre, la plupart des cercles n'ont aucun rendement en eau de surface (négatif) pendant la saison sèche. Ainsi, les cultures ayant de faibles besoins en eau peuvent être cultivées pendant la saison sèche, à condition qu'il y ait des barrages de retenue, des étangs ou d'autres structures pouvant stocker les excédents d'eau de la saison humide (~250-300 mm) et que des eaux souterraines soient disponibles pour une irrigation supplémentaire.

Les données de disponibilité des eaux souterraines montrent que Ségou possède plus d'eaux souterraines que Sikasso. Cependant, les taux annuels de recharge des eaux souterraines sont plus élevés à Sikasso qu'à Ségou (Figure 4). Notre analyse indique que l'irrigation supplémentaire à partir des eaux souterraines est essentielle pour éviter une mauvaise récolte. En supposant que le rendement durable des eaux souterraines représente environ 50% de la recharge annuelle des eaux souterraines (Altchenko et Villholth 2015), les ressources en eaux souterraines sont disponibles pour fournir une irrigation supplémentaire pendant la saison humide et répondre à la plupart des besoins en eau des cultures pendant la saison sèche pour une zone d'environ 270.000 ha à Sikasso et environ 80.000 ha à Ségou. Etant donné que cette analyse utilise des données de recharge des eaux souterraines à l'échelle continentale à résolution grossière, des études supplémentaires sont nécessaires pour surveiller les niveaux d'eau souterraine et évaluer les changements dans la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines et la demande en eau des cultures, car cela permettra de comprendre pleinement le potentiel de l'irrigation des eaux souterraines.



Un agriculteur utilisant une pompe solaire pour irriguer ses cultures en Afrique (photo: David Brazier/IWMI).

Table 1. Liste des cultures qui peuvent être réalisées pendant les saisons humide (Juin-Novembre) et sèche (Décembre-Mai) à l'aide d'eau de surface (SW) ou d'eau souterraine (GW).

Culture	Période de croissance (jours)	Besoin en eau de culture (mm)	Disponibilité de l'eau			
			Ségou (saison humide)	Ségou (saison sèche)	Sikasso (saison humide)	Sikasso (saison sèche)
Tomates	135-180	400-800	SW*	GW**	SW*	GW**
Oignons	150-210	350-550	SW*	SW/GW*	SW*	GW**
Okra	70-90	350-500	SW*	SW/GW*	SW*	GW**
Aubergine	120-150	300-500	SW*	SW/GW*	SW*	GW**
Chou	120-140	350-550	SW*	SW/GW*	SW*	GW**
Carottes	100-150	450-600	SW*	GW**	SW*	GW**
Haricots	75-90	300-550	SW*	SW/GW*	SW*	GW**
Cassava	180-360	500-700	SW*	GW**	GW**	GW**
Patates douces	150-160	350-550	SW*	SW/GW*	SW*	GW**
Arachide	130-140	500-700	SW*	GW**	SW*	GW**

Remarques : *développement durable; **développement durable sur une zone limitée.

Résumé des principales conclusions

Les principales conclusions pour Ségou et Sikasso sont résumées dans la Figure 5.

(a) Ségou



Superficie adaptée aux systèmes d'irrigation solaires à petite échelle (SPIS)

La surface totale identifiée comme appropriée pour les SPIS à Ségou est de 145.000 ha.



Besoin en eau pour les SPIS

En supposant un besoin moyen en eau de culture de 350-550 mm/saison (pour les principales cultures végétales/céréales) et une efficacité d'irrigation de 60%, l'eau d'irrigation totale requise est d'environ 600-920 mm/saison.



Zone réalisable pour les SPIS

Sur la base de besoin en irrigation, nous estimons qu'il serait envisageable d'irriguer les cultures avec un besoin en eau faible à moyen.



Disponibilité en eau de surface

Un rendement en eau de surface jusqu'à 800 mm est possible pendant la saison humide. Les eaux de surface peuvent répondre à la plupart des besoins en eau des cultures pendant la saison humide (pour une culture avec un besoin en eau faible à moyen) sur 100% des terres identifiées pour l'irrigation solaire.



Disponibilité en eau souterraine

Toutes les zones identifiées comme adaptées à l'irrigation solaire ont une disponibilité moyenne (41-60) à moyenne-haute percentile (61-80) en eaux souterraines. L'irrigation avec les eaux souterraines est essentielle pour éviter une mauvaise récolte. À Ségou, les ressources en eaux souterraines peuvent prendre en charge des cultures couvrant une zone d'environ 80.000 ha.

(b) Sikasso



Superficie adaptée aux systèmes d'irrigation solaires à petite échelle (SPIS)

La surface totale identifiée comme appropriée pour les SPIS à Sikasso est de 655.000 ha.



Besoin en eau pour les SPIS

En supposant un besoin moyen en eau de culture de 350-550 mm/saison (pour les principales cultures végétales/céréales) et une efficacité d'irrigation de 60%, l'eau d'irrigation totale requise est d'environ 600-920 mm/saison.



Zone réalisable pour les SPIS

Sur la base de besoin en irrigation, nous estimons qu'il serait envisageable d'irriguer les cultures avec un besoin en eau faible à moyen.



Disponibilité en eau de surface

Un rendement en eau de surface jusqu'à 800 mm est possible pendant la saison humide. Les eaux de surface peuvent répondre à la plupart des besoins en eau des cultures pendant la saison humide (pour une culture avec un besoin en eau faible à moyen) sur ~80% des terres identifiées pour l'irrigation solaire.



Disponibilité en eau souterraine

Toutes les zones identifiées comme adaptées à l'irrigation solaire ont une disponibilité moyenne (41-60) à moyenne-haute percentile (61-80) en eaux souterraines. L'irrigation avec les eaux souterraines est essentielle pour éviter une mauvaise récolte. À Sikasso, les ressources en eaux souterraines peuvent prendre en charge des cultures couvrant une zone d'environ 270.000 ha.

Figure 5. Résumé des conclusions principales pour (a) Ségou, et (b) Sikasso, Mali.

Conclusions

Dans cette étude, les résultats l'approche WA+ ont été combinés avec des cartes d'aptitude solaire et d'autres ensembles de données sur les eaux souterraines pour comprendre la disponibilité des ressources en eaux de surface et en eaux souterraines et les limites d'expansion durable des SPIS dans les districts de Ségou et Sikasso au Mali. La surface totale identifiée comme appropriée pour les SPIS à Ségou et Sikasso est d'environ 145.000 ha et 655.000 ha, respectivement. Les résultats de l'étude montrent que le rendement en eau de surface jusqu'à 800 mm est disponible pendant la saison humide à Ségou et à Sikasso, indiquant une disponibilité en eau suffisante pour les cultures d'irrigation ayant de faibles besoins en eau. D'autre part, il n'y avait pratiquement aucun rendement en eau de surface pendant la saison sèche dans ces deux districts, ce qui suggère une disponibilité insuffisante en eau pour les cultures d'irrigation

pendant la saison sèche. Cependant, à condition qu'il y ait des barrages de retenue, des étangs ou d'autres structures qui peuvent stocker les excédents d'eau de la saison humide, le rendement en eau de surface de la saison humide peut couvrir dans une certaine mesure les cultures végétales de la saison sèche. Les résultats indiquent qu'une irrigation supplémentaire utilisant des eaux souterraines est essentielle pour éviter une mauvaise récolte. Compte tenu de la recharge maximale des eaux souterraines et des estimations de rendement durable, les ressources en eaux souterraines peuvent soutenir la demande en eau d'irrigation des cultures couvrant une zone d'environ 80.000 ha à Ségou et environ 270.000 ha à Sikasso. Cependant, tout investissement à grande échelle dans les SPIS dans les deux districts nécessiterait une vérification locale de la disponibilité et de l'utilisation actuelles de l'eau, ainsi que des directives sur l'irrigation pour aider les petits exploitants agricoles à tirer le meilleur parti de chaque goutte.



Irrigation solaire dans le champ d'un agriculteur dans le village de Sirakélé, district de Sikasso, Mali (photo: Amadou Sidibé).

Références

- Altchenko, Y.; Villholth, K.G. 2015. Mapping irrigation potential from renewable groundwater in Africa – a quantitative hydrological approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(2): 1055–1067. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1055-2015>
- Andrieu, N.; Sogoba, B.; Zougmoré, R.; Howland, F.; Samake, O.; Bonilla-Findji, O.; Lizarazo, M.; Nowak, A.; Dembele, C.; Corner-Dolloff, C. 2017. Prioritizing investments for climate-smart agriculture: Lessons learned from Mali. *Agricultural Systems* 154: 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.008>
- Cooper, M.W.; West, C.T. 2017. Unraveling the Sikasso paradox: Agricultural change and malnutrition in Sikasso, Mali. *Ecology of Food and Nutrition* 56(2): 101–123. <https://doi.org/10.1080/03670244.2016.1263947>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. *Country fact sheet on food and agriculture policy trends – Mali*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 6p. <http://www.fao.org/3/i7617e/i7617e.pdf>

IWMI (International Water Management Institute). 2019. *Suitability for farmer-led solar irrigation development in Mali*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE). 4p. <https://hdl.handle.net/10568/101594>

Lefore, N.; Giordano, M.; Ringler, C.; Barron, J. 2019. Sustainable and equitable growth in farmer-led irrigation in sub-Saharan Africa: What will it take? *Water Alternatives* 12(1): 156–168. <http://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol12/v12issue1/484-a12-1-10>

Lefore, N.; Closas, A.; Schmitter, P. 2021. Solar for all: A framework to deliver inclusive and environmentally sustainable solar irrigation for smallholder agriculture. *Energy Policy* 154: 112313. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112313>

Li, B.; Rodell, M.; Kumar, S.; Beaudoin, H.K.; Getirana, A.; Zaitchik, B.F.; de Goncalves, L.G.; Cossetin, C.; Bhanja, S.; Mukherjee, A.; Tian, S.; Tangdamrongsub, N.; Long, D.; Nanteza, J.; Lee, J.; Policelli, F.; Goni, I.B.; Daira, D.; Bila, M.; de Lannoy, G.; Mocko, D.; Steele-Dunne, S.C.; Save, H.; Bettadpur, S. 2019. Global GRACE data assimilation for groundwater and drought monitoring: Advances and challenges. *Water Resources Research* 55(9): 7564–7586. <https://doi.org/10.1029/2018WR024618>

MacDonald, A.M.; Lark, R.M.; Taylor, R.G.; Abiye, T.; Fallas, H.C.; Favreau, G.; Goni, I.B.; Kebede, S.; Scanlon, B.; Sorensen, J.P.R.; Tijani, M.; Upton, K.A.; West, C. 2021. Mapping groundwater recharge in Africa from ground observations and implications for water security. *Environmental Research Letters* 16(3): 034012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd661>

Schmitter, P.; Kibret, K.S.; Lefore, N.; Barron, J. 2018. Suitability mapping framework for solar photovoltaic pumps for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *Applied Geography* 94: 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.008>

Sutanudjaja, E.H.; van Beek, R.; Wanders, N.; Wada, Y.; Bosmans, J.H.C.; Drost, N.; van der Ent, R.J.; de Graaf, I.E.M.; Hoch, J.M.; de Jong, K.; Karssenbergh, D.; Lopez, P.L.; Peßenteiner, S.; Schmitz, O.; Straatsma, M.W.; Vannamettee, E.; Wisser, D.; Bierkens, M.F.P. 2018. PCR-GLOBWB 2: A 5 arcmin global hydrological and water resources model. *Geoscientific Model Development* 11(6): 2429–2453. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2429-2018>

Projet

Le projet [laboratoire d'innovation pour l'irrigation à petite échelle](#) (ILSSI) est financé par l'Agence des Etats-Unis pour le Développement International (USAID) dans le cadre de l'initiative Feed the Future. Le projet est dirigé par l'Institut Norman Borlaug pour l'agriculture internationale de l'Université A&M du Texas, aux Etats-Unis, en partenariat avec l'Institut International de Gestion de l'Eau (IWMI), l'Institut International de Recherche sur l'Élevage (ILRI), l'Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI), le Centre Mondial des Légumes (Worldveg) et les Expériences d'Insécurité des Eaux Domestiques – Réseau de Coordination de la Recherche (HWISE-RCN). IWMI dirige la composante sur la recherche à l'échelle du projet.

Remerciements

Ce résumé a été réalisé grâce au soutien fourni par le projet Feed the Future Innovation Lab for Small-Scale Irrigation (ILSSI), financé par l'Agence des États-Unis pour le Développement International (USAID) (Grant: AID-OAA-A-13-00055). Les opinions exprimées ici sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions de l'USAID. Cette recherche a été réalisée dans le cadre du programme de recherche CGIAR sur l'eau, les terres et les écosystèmes (WLE) et a été soutenue par des bailleurs de fonds contribuant au Fonds Fiduciaire CGIAR (<https://www.cgiar.org/funders/>).

Contacts

Naga Velpuri, Chercheur senior – Comptabilité de l'eau, IWMI (n.velpuri@cgiar.org)

Mansoor Leh, Chercheur – Hydrologie spatiale, IWMI (m.leh@cgiar.org)

Lisa-Maria Rebelo, Chercheuse principale – Observation de la Terre pour le développement durable, IWMI (l.rebelo@cgiar.org)

Petra Schmitter, Chercheuse principale – Gestion de l'eau agricole, IWMI (p.schmitter@cgiar.org)

Thai Thi Minh, Chercheuse senior – Vulgarisation de l'innovation, IWMI (t.minh@cgiar.org)


International Water
Management Institute



IWMI est un centre de
recherche du CGIAR

L'Institut International de Gestion de l'Eau (IWMI) est une organisation internationale de recherche pour le développement qui travaille avec les gouvernements, la société civile et le secteur privé pour résoudre les problèmes d'eau dans les pays en développement et élaborer des solutions à ces problèmes. Grâce à un partenariat, l'IWMI combine la recherche sur l'utilisation durable des ressources en eau et des terres, les services et produits de connaissance avec le renforcement des capacités, le dialogue et l'analyse des politiques pour soutenir la mise en œuvre de solutions de gestion de l'eau pour l'agriculture, les écosystèmes, le changement climatique et la croissance économique inclusive. Basée à Colombo, au Sri Lanka, l'IWMI est un centre de recherche du CGIAR et dirige le programme de recherche du CGIAR sur l'eau, la terre et les écosystèmes (WLE).

**International Water
Management Institute (IWMI)**

Siège

127 Sunil Mawatha, Pelawatta,
Battaramulla, Sri Lanka

Adresse postale:

P. O. Box 2075, Colombo, Sri Lanka

Téléphone: +94 11 2880000

Télécopie: +94 11 2786854

Courriel: iwmi@cgiar.org

www.iwmi.org