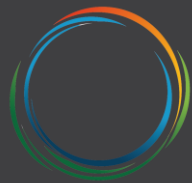


# Présentation des résultats du projet R&D 31

ANALYSE DES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES  
PHOTOVOLTAÏQUES POUR LES PARCS AU SOL



**encis**  
énergies vertes

*L'ingénierie technique au service de vos projets en EnR*



**encis**  
environnement

E-mail : [contact@encis-ev.com](mailto:contact@encis-ev.com)  
[www.encis-environnement.fr](http://www.encis-environnement.fr)

# SOMMAIRE

- Présentation du projet
- État de l'art
- Enquête sur les coûts
- Analyse du productible et de la rentabilité
- Limites et conclusion

# PRÉSENTATION DU PROJET

- Aide à la décision sur les différents choix de conception pour les centrales photovoltaïque au sol
  - Différentes technologies existantes
  - Taux d'occupation des sols
  - Productible (MWh/MWc)
  - Rentabilité (€/kWh)
- Différence entre la Haute-Garonne et la Haute-Vienne

# ÉTAT DE L'ART

# ÉTAT DE L'ART

- 2 types de modules : monofaciaux ou bifaciaux
- 2 choix possibles : structures fixes ou structures avec suivi solaire
  - Fixes : orientées vers le sud ou double orientation est-ouest ?
  - Suivi solaire : suivi à deux axes ou un axe ?



Source : NEXTracker

# ÉTAT DE L'ART

- Installations conventionnelles : fixes et orientées vers le sud
- Bifacialité : +5 à 10 % de production



Parc solaire de Grateyrolles  
(Source : ENCIS Environnement)

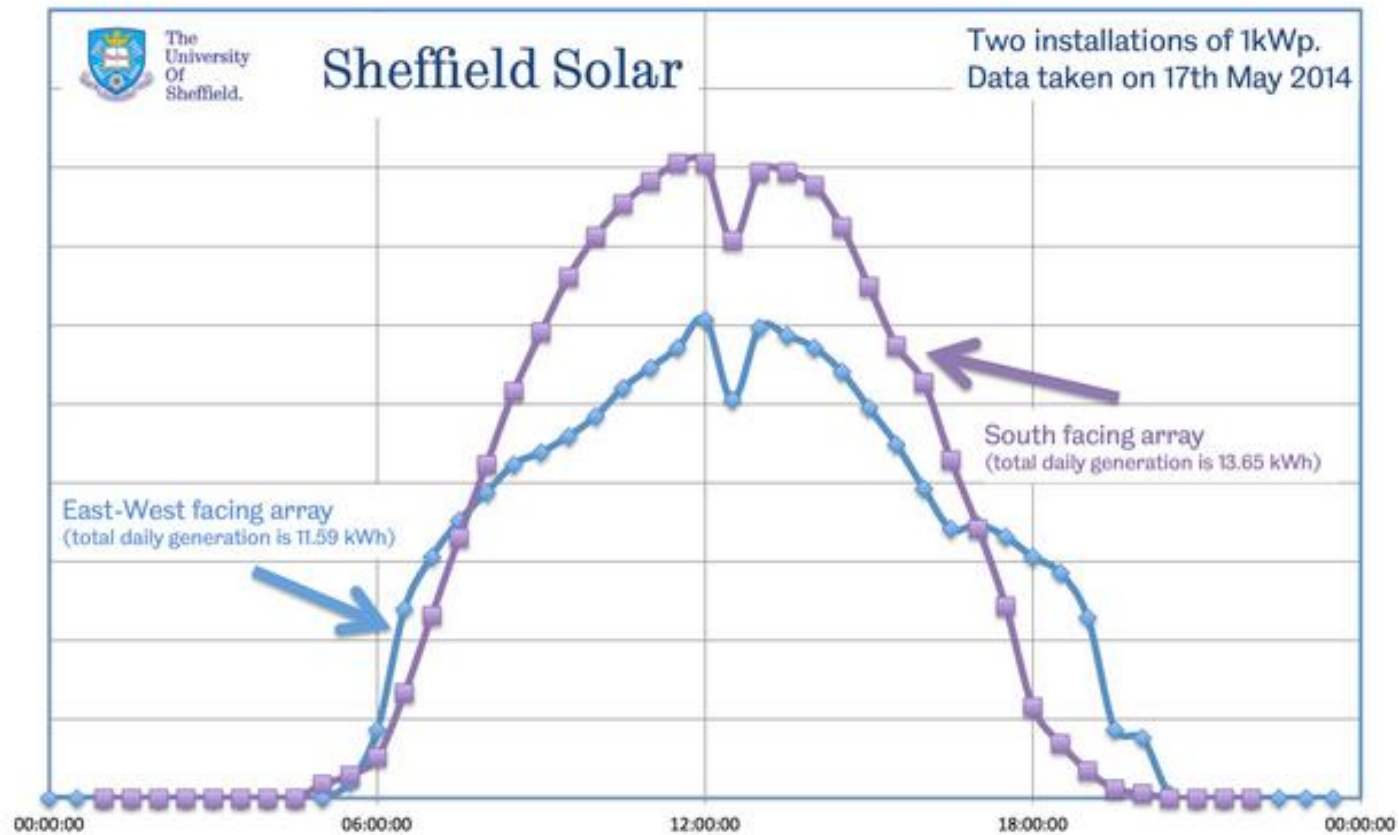
# ÉTAT DE L'ART

- Installation à double orientation est-ouest
  - Inclinaison plus faible : réduction des ombrages
  - Augmentation de la puissance installée par hectare
  - Coût réduit
  - Production mieux répartie sur la journée
  - Production globale plus faible



Parc solaire de Cestas (Source :  
NEOEN)

# ÉTAT DE L'ART



Production journalière d'une centrale conventionnelle et d'une centrale orientée est-ouest (Stocker, 2018)



# ÉTAT DE L'ART

- Installation verticale orientée est-ouest avec modules bifaciaux
  - Même constat que précédemment dû à l'orientation est-ouest
  - La verticalité implique des ombrages très importants
    - Minimisation de la puissance installée
    - Mais une emprise au sol inférieure à 1%
  - Adaptées aux régions :
    - Avec moins d'ensoleillement direct
    - Où le soleil est plus bas
- Productible nuancé : -30% à +10%
  - Irradiance direct ou indirect
  - Hauteur du soleil
  - albédo



(Source : Next2Sun)

# ÉTAT DE L'ART

- Système de suivi à deux axes : meilleur productible mais une mauvaise rentabilité



(Source : ENCIS Environnement)

# ÉTAT DE L'ART

- Système de suivi à un axe : **est-ouest** ou **nord-sud**
  - Augmentations du coût et de la production comparables (+5 à 10%)
  - Compatible avec des modules bifaciaux



(Source : EXOSun)

# ÉTUDE DES COÛTS

# COÛTS D'INVESTISSEMENT

	Coûts fournisseurs (€/kWc)	Coûts CRE* (€/kWc)
Modules monofaciaux français	300	
Modules monofaciaux étrangers	240	
Modules bifaciaux étrangers	250	
Structures fixes conventionnelles	178	110 - 130
Structures est-ouest	134	
Structures fixes verticales	203	
Structure de suivi à un axe	199	
Autres électriques	70	140 - 160
Raccordement		71 - 84
Ingénierie et développement		41
Autres		74

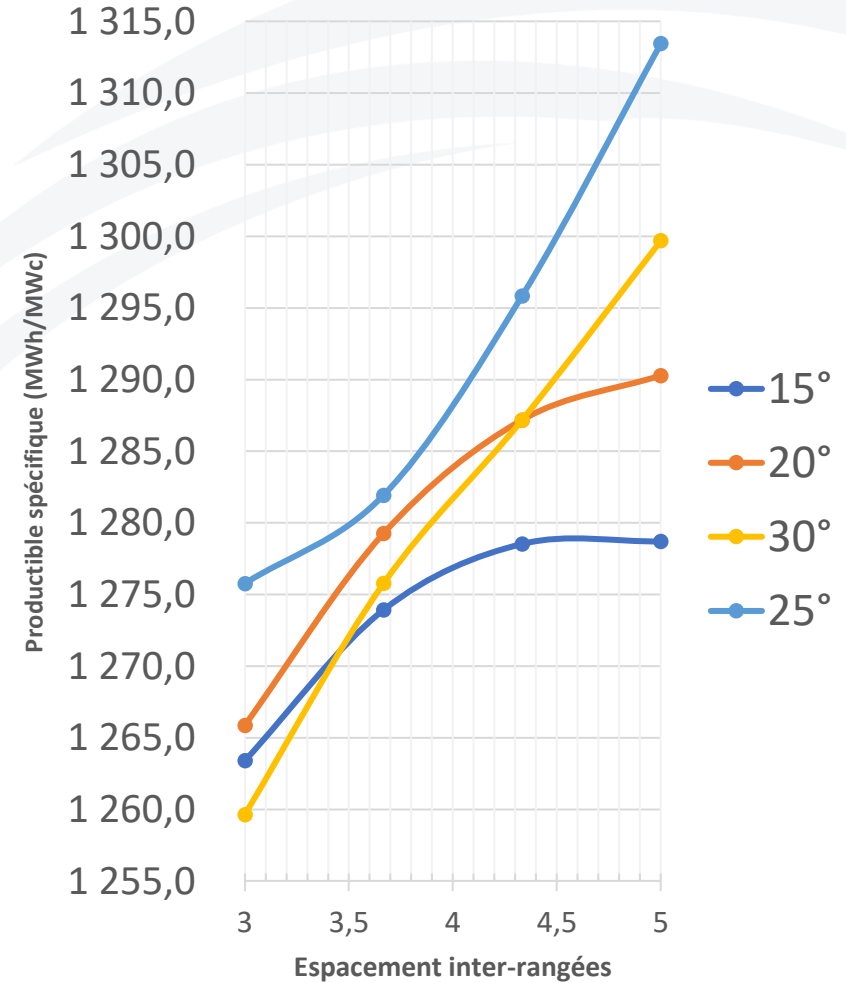
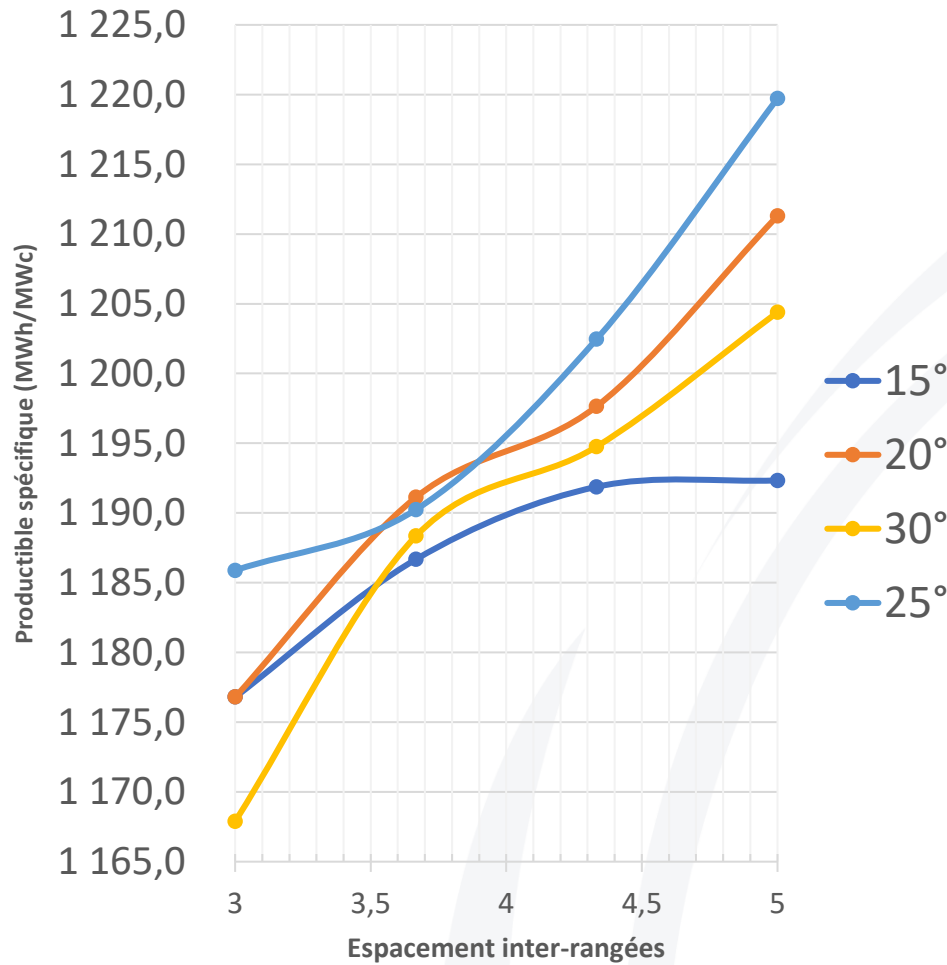
**TOTAL hors structures : 565 €/kWc**

\*Les coûts de la CRE sont pris en compte pour les structures et le matériel électrique pour pallier au manque de diversité des informations

# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

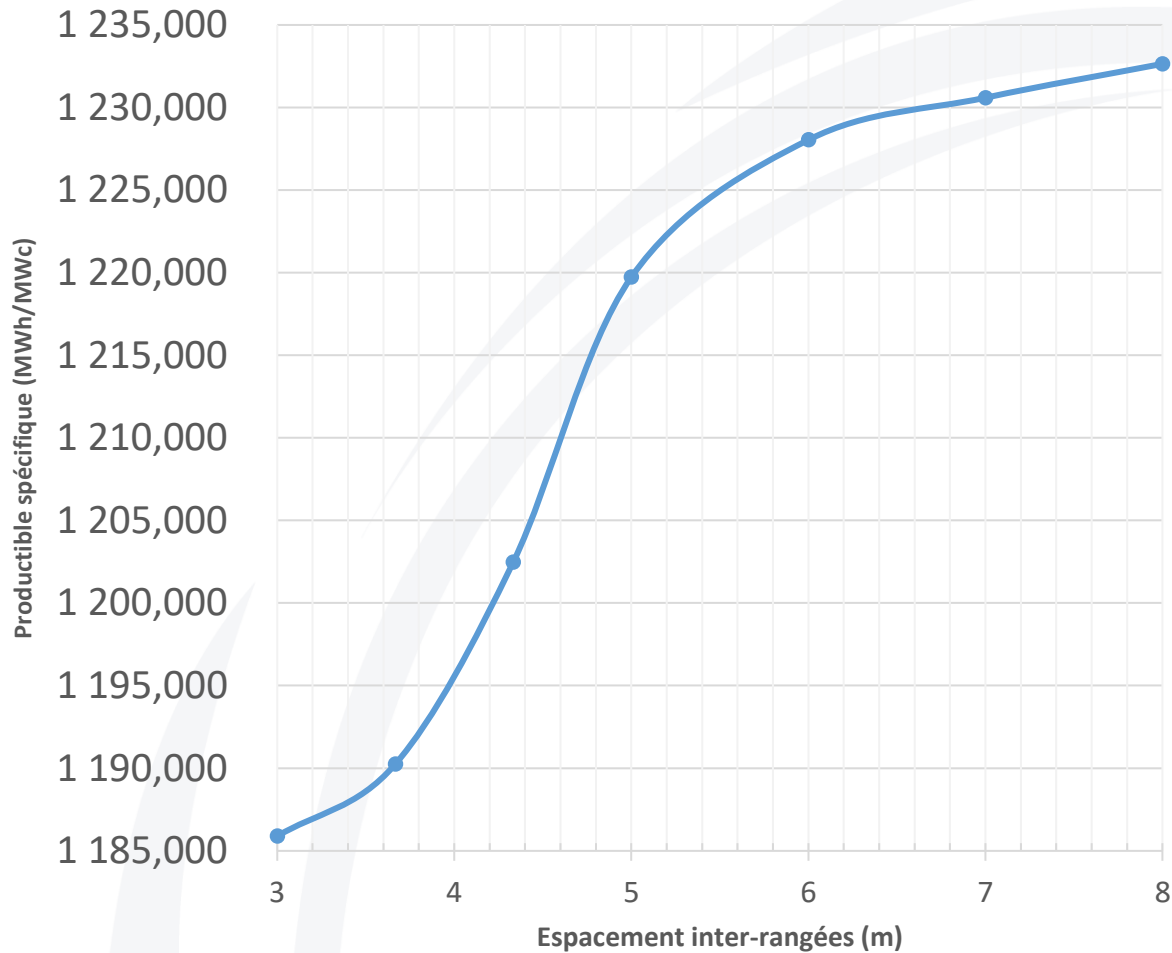
# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

## ■ Installation conventionnelle à Limoges et à Toulouse



# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation conventionnelle : effet des ombrages à 25°





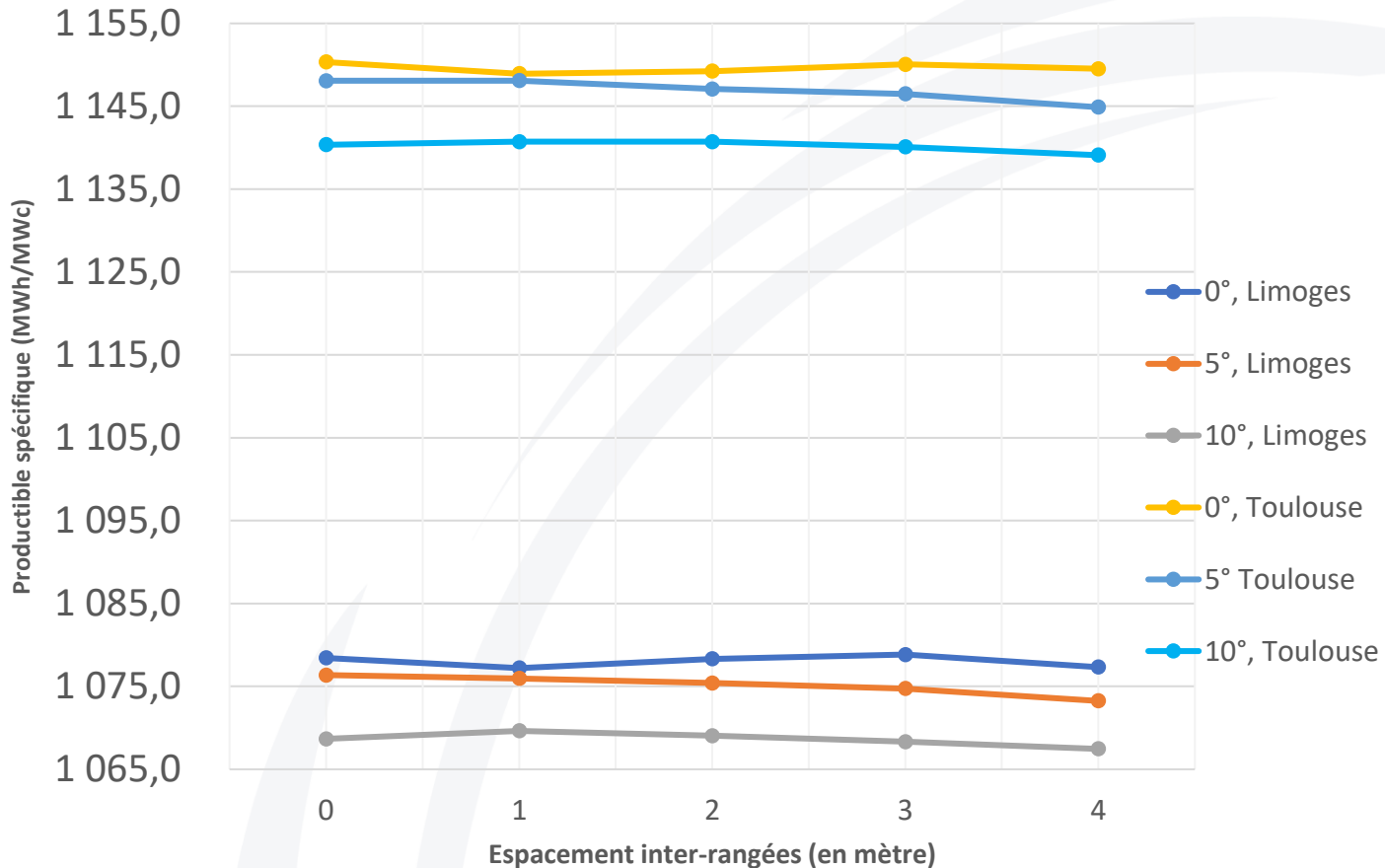
# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installations conventionnelles : 149 €/kWc pour les structures, en plus de l'investissement de base de 565 €/kWc
- Investissement partielle par kWh (en €/kWh) :

	Inclinaison :	15°	20°	25°	30°
	Inter-rangées				
Limoges	3 m	2,216	2,216	2,199	2,233
	3,67 m	2,197	2,189	2,191	2,194
	4,33m	2,188	2,177	2,168	2,182
	5m	2,187	2,153	2,138	2,165
	6m			2,123	
	7m			2,119	
	8m			2,115	
Toulouse	3 m	2,064	2,060	2,044	2,070
	3,67 m	2,047	2,038	2,034	2,044
	4,33 m	2,039	2,026	2,012	2,026
	5 m	2,039	2,021	1,985	2,006
	6 m			1,975	
	7 m			1,971	
	8 m			1,967	

# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installations est-ouest à Limoges et à Toulouse



# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation est-ouest à Limoges et à Toulouse :
  - Comparaison de la production avec celle d'une installation conventionnelle

Inclinaison	0°	5°	10°
Limoges	-9,4%	-9,7%	-10,2%
Toulouse	-10,3%	-10,5%	-11,1%

- Comparaison de l'occupation des sols :

	0°	5°	10°
Espacement 1 : 0m	97,4%	97,8%	98,9%
Espacement 2 : 1m	79,8%	88,1%	89,1%
Espacement 3 : 2m	67,7%	80,6%	81,4%
Espacement 4 : 3m	58,3%	74,6%	75,3%
Espacement 5 : 4m	52,5%	65,3%	69,7%

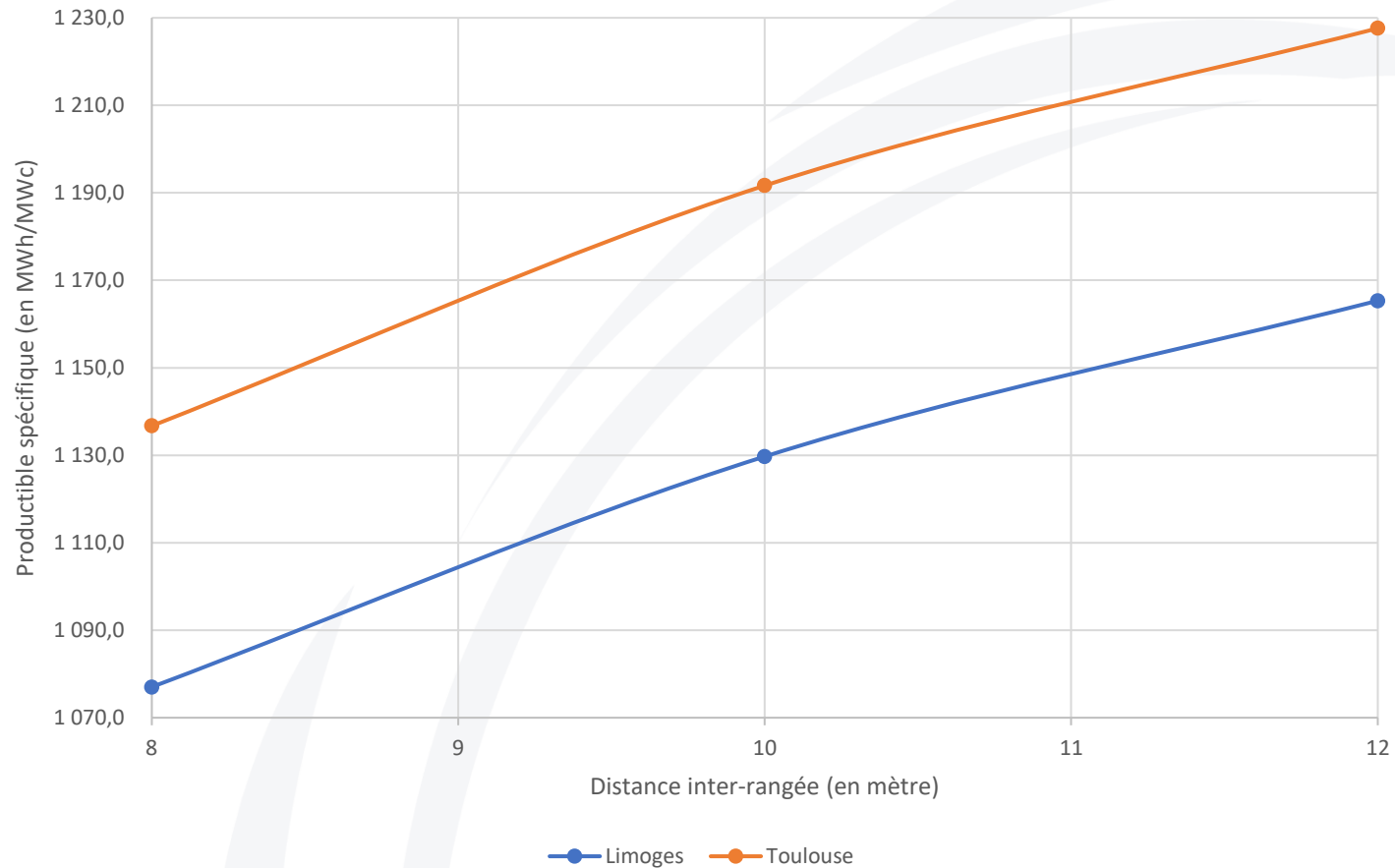
# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation **est-ouest** : 134 €/kWc pour les structures, en plus de l'investissement de base de 565 €/kWc
- Différence d'investissement par kWh :

Inclinaison	0°	5°	10°
Limoges	8,1 %	8,4 %	9,1 %
Toulouse	9,2 %	9,4 %	10,1 %

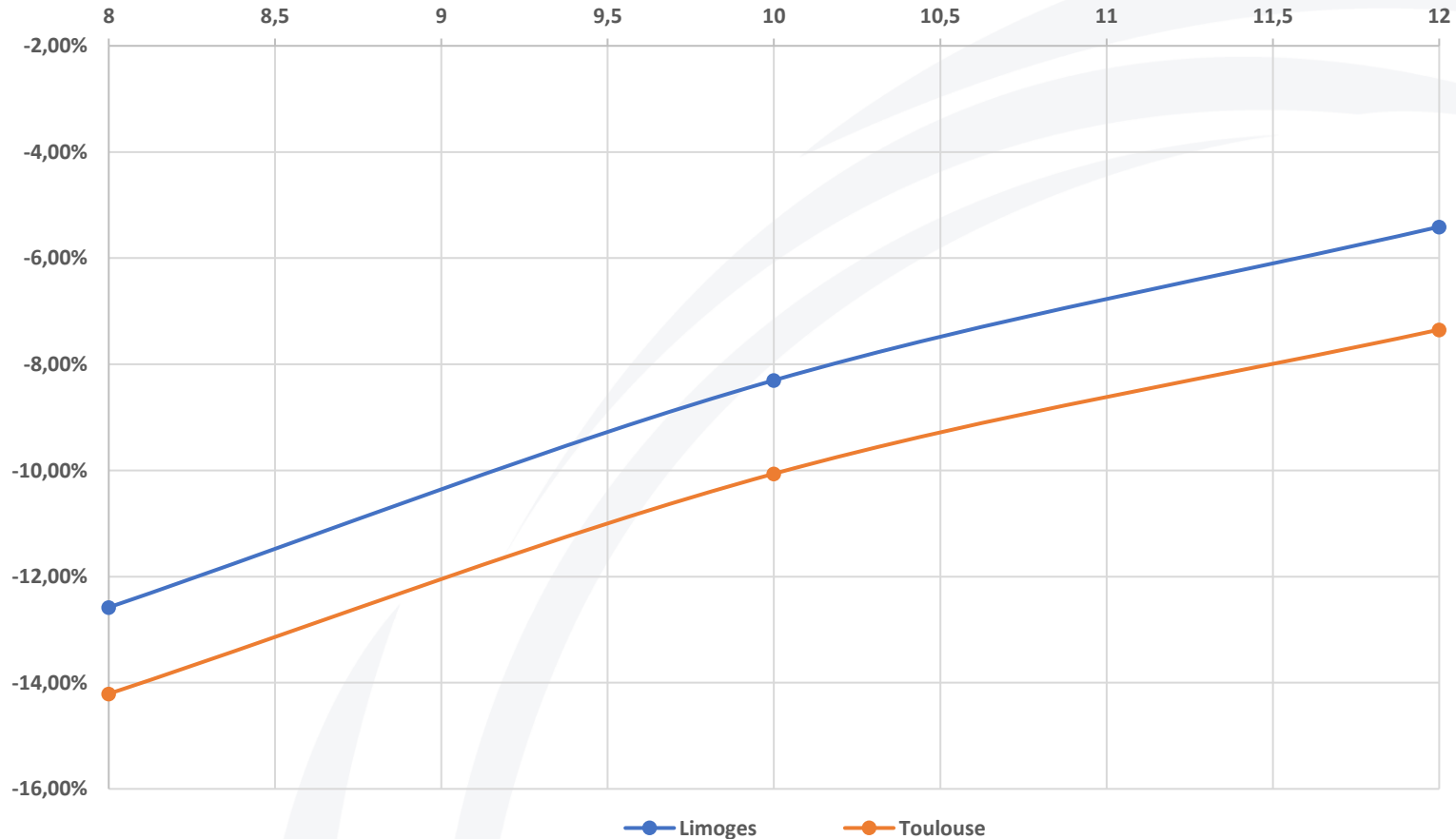
# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation verticale à Limoges et à Toulouse : productible



# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation verticale à Limoges et à Toulouse : comparaison du productible



- Productible plus faible et puissance installée plus faible

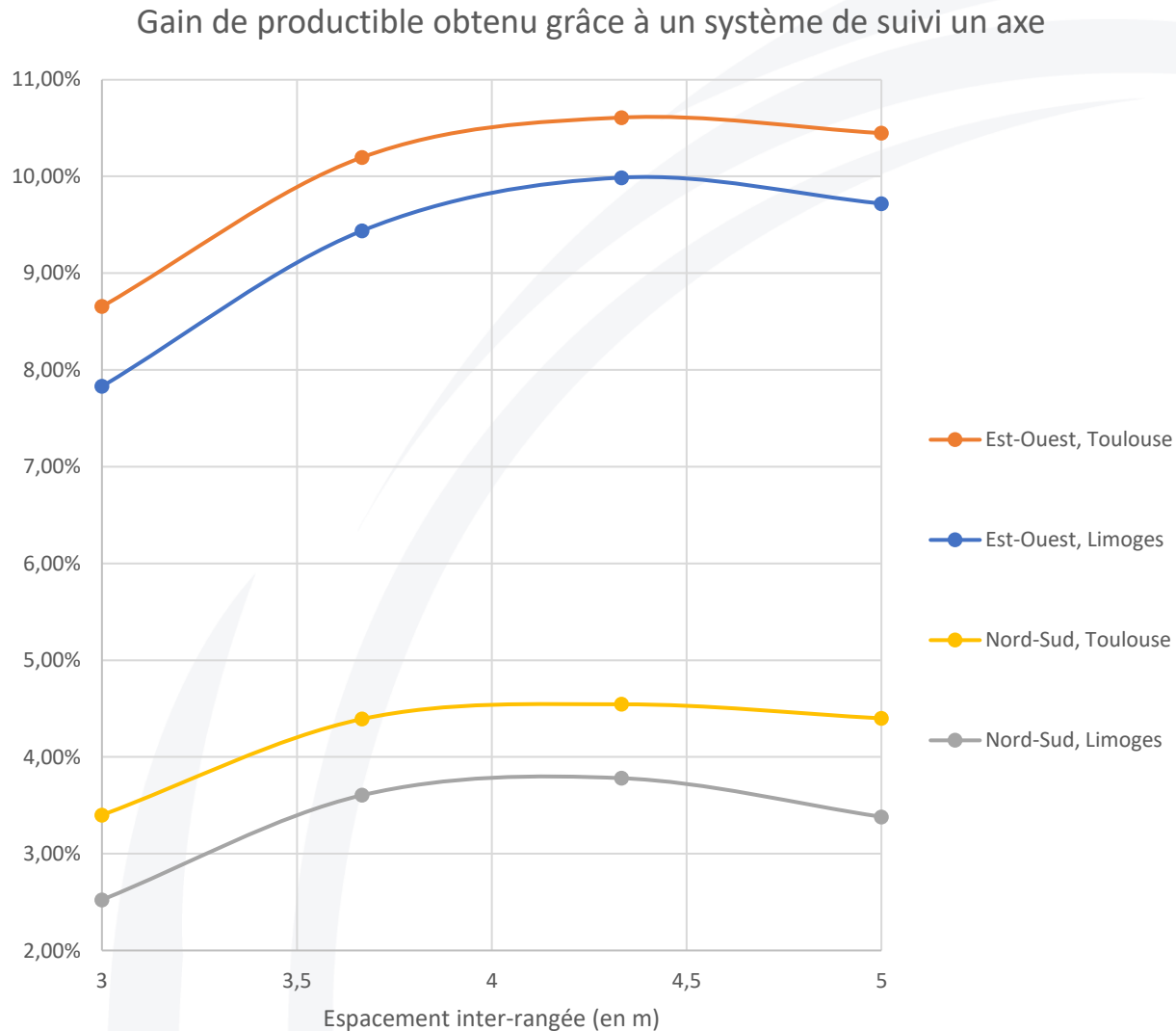
# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation verticale : 203 €/kWc pour les structures, en plus de l'investissement de base de 570 €/kWc (qui prend en compte des panneaux bifaciaux)
- Différence d'investissement par kWh :

Inter-rangées	Limoges	Toulouse
8 m	15,2 %	17,5 %
10 m	9,8 %	12,2 %
12 m	6,5 %	8,8 %

# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation avec tracker solaire à Limoges et à Toulouse : Comparaison du productible





# ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA RENTABILITÉ

- Installation verticale : 199 €/kWc pour les structures, en plus de l'investissement de base de 565 €/kWc
- Différence d'investissement par kWh :

	Inter-rangée	Suivi est-ouest	Suivi nord-sud
Limoges	3 m	1,3%	6,5%
	3,67 m	-0,3%	5,4%
	4,33 m	-0,7%	5,3%
	5 m	-0,4%	5,7%
Toulouse	3 m	0,5%	5,6%
	3,67 m	-0,9%	4,6%
	4,33 m	-1,2%	4,5%
	5 m	-1,1%	4,6%

# PERSPECTIVES ET CONCLUSION

# PERSPECTIVES ET CONCLUSION

- Des technologies prometteuses : modules bifaciaux ; suiveurs est-ouest
- Installations verticales plus nuancée mais à surveiller
- Installations est-ouest et suiveurs nord-sud moins rentables
- Une étude des coûts perfectibles :
  - Difficulté d'obtenir des informations auprès de certains acteurs du secteur
  - Prévisions compliquées dans la situation économique actuelle
  - Coût de maintenance à prendre en compte
- D'autres paramètres peuvent être à étudier