

Boden und Wasser

Büro für Hydrogeologie,
angewandte Geologie und Wasserwirtschaft

Diplom-Geologe

Robert Hurler

Untermauerbach
St.-Martin-Straße 11
D-86551 Aichach

Téléphone +49(0)8251 / 7224 et 819890
Télécopie +49(0)8251 / 51104

e-mail : bodenundwasser@t-online.de
www.BodenundWasser.de

Installations photovoltaïques **sur** **pieux en acier battus dans le sol**

Types de terrain et profondeurs de fiche

Installations photovoltaïques sur pieux en acier battus dans le sol

Présentation des principaux facteurs pour la détermination de la profondeur de fiche des fondations

Essai de battage ou sondage préliminaire/sondage foré ?

En raison de leur coût modéré, les pieux en acier battus dans le sol sont un type de fondation apprécié pour les installations photovoltaïques. De plus, ils s'adaptent aisément à des situations et des exigences diverses. Pour assurer la stabilité à long terme de l'installation, une bonne transmission vers le sol des forces exercées sur les structures porteuses de modules photovoltaïques est impérative.

Il convient de déterminer la profondeur de fiche nécessaire dès la planification des travaux. Cette détermination a souvent (eu) lieu au moyen d'essais de battage.

Ces essais consistent en général à battre un pieu dans le sol du terrain à analyser pour le soumettre immédiatement après à des forces horizontales et verticales, tout en mesurant la réaction (donc la déformation) de la partie du pieu dépassant du sol.

Dans la plupart des cas, un tel essai s'achève par l'extraction du pieu, accompagnée d'une mesure de la force nécessaire à cette fin.

Ce type d'analyse permet donc de déterminer les forces et les déformations auxquelles est exposé un pieu fraîchement battu. Il ne permet cependant pas de tirer des conclusions détaillées sur la stratigraphie, ni sur les propriétés mécaniques du sol à proprement parler.

Dans le cas souhaité, il s'avère que le pieu utilisé pour l'essai est capable, à l'instant de l'essai, d'absorber les forces auxquelles il serait soumis. On part ensuite du principe que ceci vaudra également pour l'ensemble des pieux après achèvement de l'installation.

Avantage :

L'expérience est conduite directement sur le terrain et montre que le pieu est capable de transmettre les forces nécessaires. La fiabilité de ces résultats est assez élevée.

Inconvénient :

La stratigraphie, l'ensemble des propriétés mécaniques du sol ainsi que les particularités du terrain d'un point de vue géotechnique ne sont pas analysées.

Les propriétés du sous-sol sous-jacent aux pieux mêmes demeurent inconnues, alors que ces couches sont également touchées par la transmission de forces.

Les essais de traction nécessitent le déploiement de moyens relativement complexes (une équipe de battage avec ses poids-lourds, une batteuse lourde sur chenilles et un chargeur sur roues sont nécessaires en plus du géologue ou géotechnicien avec son équipement d'essais et de mesures).

De plus, les mesures sont effectuées dans une situation qui ne se reproduira plus par la suite. Souvent, le chenal de battage formé lors de la mise en place du pieu ne s'est pas encore effondré, ce qui réduit considérablement le frottement latéral entre le pieu et le sol environnant. En outre, la surface du pieu neuf est encore très lisse ou présente des traces d'huile provenant de la production, ce qui accroît son glissement. Ceci contribue à fausser les valeurs obtenues.

Lors du sondage, l'objet exploré (en l'occurrence, le sol) est nécessairement modifié, ou plutôt perturbé. La perturbation causée par le battage d'un pieu est considérable, du moins dans un premier temps (par ex. compactage dans la zone avoisinant le pieu, tassement des grains, refoulement de certains éléments constituants du sol). Certaines de ces perturbations s'estompent au fil du temps ; ce délai ne peut cependant pas être respecté pour les essais d'extraction du pieu.

Pour obtenir des données suffisantes sur les deux premiers mètres de profondeur (c'est-à-dire sur les couches qui absorberont par la suite les forces transmises par l'installation photovoltaïque), il serait nécessaire de mesurer l'enfoncement atteint par un nombre donné de coups de batteuse, tout du moins au cours du processus de battage. En effet, ce n'est que durant l'enfoncement du pieu que le sous-sol est encore aussi peu perturbé que

possible. Ces mesures devraient être prises pendant la durée entière du battage.

Or, cette détermination n'a pas lieu lors de ces essais car elle est techniquement impossible avec l'équipement disponible.

Il faut toutefois noter que les défaillances de cette méthode conduisent à une erreur « sans risques » ultérieurs, c'est-à-dire que ces faiblesses contribuent à indiquer une capacité de charge inférieure à la valeur réellement atteinte après l'achèvement de l'installation. Cette méthode peut donc être appliquée dans divers cas de figure, même si les profondeurs de fiche ainsi calculées sont inutilement élevées.

De plus, tous les facteurs pouvant avoir un impact sur la stabilité géotechnique de l'installation dans son ensemble, et non seulement des pieux individuels, ne sont pas pris en compte.

Méthode alternative :

Le raisonnement général consiste à supposer que les paramètres à examiner et qui déterminent la capacité de charge des pieux battus sont donnés par la stratigraphie aléatoire du sol et la variabilité de la capacité d'absorption des forces de ces strates.

Il est donc judicieux d'explorer en priorité et avec précision la structure du sol sur les 2-4 m supérieurs. Grâce aux méthodes de calculs développées originellement pour le calcul de fondations pour murs antibruit, puis dérivées et adaptées aux besoins d'installations photovoltaïques, il est ensuite possible de déduire de manière fiable la profondeur de fiche nécessaire pour tout type de pieu en acier, tant que :

- - les propriétés du sol sont connues avec une précision suffisante,
- - les dimensions et le profil du pieu sont connus,
- - les forces et les couples exercés sur le pieu sont connus.

Les forces verticales transmises dans le sol par le frottement latéral du pieu sont ensuite contrôlées au moyen de calculs. Dans la plupart des cas, les profondeurs de fiche nécessaires pour absorber les forces et les couples horizontaux sont suffisantes pour les forces verticales subies. Dans certains cas relativement rares (sols meubles très légers), il

peut cependant être nécessaire d'accroître la profondeur de fiche pour garantir l'absorption des forces verticales.

La détermination des forces se fait par voie informatique, selon un procédé homologué conforme à la ZTVE Lsw 88/03, fondé sur les normes de charges de fondation (DIN/EN 1054).

Tant que la stratigraphie est bien connue, le calcul peut être effectué pour des pieux de toutes sortes et dimensions. Un changement du pieu prévu au cours de la planification du projet n'entraîne pas une nouvelle campagne d'essais, mais uniquement un nouveau calcul sur la base des données du nouveau pieu.

À ce jour, nous avons utilisé cette méthode pour mener des explorations sur plus de 200 sites de projets photovoltaïques, situés entre autres dans les pays suivants :

- - Allemagne,
- - Belgique,
- - Italie,
- - France,
- - Espagne, y compris les Îles Canaries,
- - Bulgarie,
- - République Tchèque,
- - Slovaquie,
- - Grèce,
- - Israël.

Dans tous les cas, une détermination fiable de la profondeur de fiche a pu être effectuée. Pour certains terrains, surtout au début de ce genre d'activité, la stabilité des pieux a ensuite été évaluée par la méthode classique d'extraction du pieu ; les résultats de nos calculs se sont avérés être sûrs dans tous les cas contrôlés.

Notre méthode a déjà été appliquée sur tous les types de roche meuble, et même sur des sols « originaux » comme des tourbières profondes et des cendres volcaniques légères.

L'exploration proprement dite est effectuée en règle générale à l'aide d'une sonde de battage légère (DPL ou DPM) qui se prête bien à l'analyse précise de la structure des premiers mètres sous la surface du sol. Les équipements plus lourds ne sont pas en mesure de fournir des données comparables, en particulier dans les couches les plus proches de la surface. L'analyse est toujours menée jusqu'à une profondeur nettement plus importante que la profondeur de fiche attendue afin de ne pas négliger d'éventuelles strates plus profondes pouvant avoir une influence sur la stabilité de l'installation. Une analyse du sol est de plus réalisée au moyen d'un relevé stratigraphique à la tige rainurée ou d'un sondage foré. Ceci permet également de prélever des échantillons du sol, si de tels échantillons sont nécessaires dans le cadre de l'analyse d'impact environnemental, par exemple.

Par ailleurs, cette méthode présente l'avantage d'employer des appareils pouvant être utilisés de manière très variée. Ceux-ci sont transportables dans leur totalité dans un véhicule tout-terrain ; ces essais ne nécessitent ni poids-lourd, ni pelle mécanique ou chargeur, ni engin lourd à chenille. Ainsi, le nombre d'appareils et de personnes nécessaires est réduit au strict minimum. L'accès est donc possible même dans des conditions difficiles (chemins de terre, haute végétation) et en présence d'inclinaisons pouvant dépasser 20°.

Dans des conditions très difficiles (par ex. lorsque le sol est extrêmement boueux ou gorgé d'eau), il est même possible de porter l'appareil à la main sur le dernier tronçon jusqu'au point d'analyse. L'approvisionnement en énergie se fait ensuite depuis le véhicule, au moyen d'un câble de 100 m de long.

Afin de pouvoir procéder à des essais de battage dans des pays lointains, nous disposons d'un équipement complet pouvant être transporté dans une soute d'avion. Ceci nous permet donc de transmettre dans un délai de 10 jours suivant la commande les profondeurs de fiches avec fiabilité, même dans ces conditions.

Outre le calcul des profondeurs de fiches, les facteurs suivants sont également analysés :

- le risque de corrosion,
- la sécurité à long terme contre les tassements,
- l'évaluation de la stabilité à long terme du champ photovoltaïque (par ex. contre les glissements de terrains étendus sur les pentes),

- les risques d'inondations,
- l'influence du gel du sol sur la fondation,
- l'interaction avec les nappes phréatiques,
- les risques de tremblement de terre.

Par ailleurs, nous donnons des indications sur la stabilisation de la surface du terrain (par ex. au moyen d'un développement ciblé de la végétation) ainsi que des informations concernant l'installation de structures bâties immobiles telles que des stations transformatrices.

Ces indications et informations sont indispensables à une exploitation sûre et durable des installations photovoltaïques (en général au moins 20 ans sont requis). Souvent, les analyses basées uniquement sur des essais d'extraction ne contiennent pas ces indications.

Dans ce contexte, il convient par exemple d'indiquer que dans de nombreuses régions d'Italie du sud et d'Espagne, les valeurs obtenues lors des essais de battage et d'extraction dans les sols sont très bonnes, mais les pentes sont elles très instables. Cette instabilité des pentes est souvent dissimulée par l'exploitation agricole et l'entretien du sol mais un géologue expérimenté peut la reconnaître avec certitude.

Ainsi, pour plusieurs champs dont la profondeur de fiche avait été correctement déterminée grâce à des essais mécaniques dans le sol mais pour lesquels la situation d'ensemble n'avait pas été analysée de manière concluante et suffisante, il nous a fallu, à la suite de la survenance de dommages importants provoqués par des glissements de pentes, expertiser les champs et trouver des solutions.

Les coûts liés à ces réparations peuvent fréquemment atteindre la valeur de l'installation entière, ce qui les prive de toute rentabilité.

Aichach, mai 2010

R. Hurler



Dipl.-Geol.

Véhicule de chantier dans un champ



Boden und Wasser Büro für Hydrogeologie, angewandte Geologie und Wasserwirtschaft

St. Martin-Straße 11 **D-86551 Aichach** Tel +49(0)8251 / 7224 Fax +49(0)8251 / 51104
bodenundwasser@t-online.de

Chantier dans les montagnes siciliennes, à gauche : chape de forage pour prélever des échantillons du sol



Conditions difficiles dans le sud de la France, dans les Alpes-de-Haute-Provence :

20 cm de neige fraîche, tempête de mistral, inclinaison de 20°



Terrain analysé dans le désert de du Néguev, Israël
(équipement spécial apporté par avion)



Le terrain à analyser n'était pas accessible avec notre véhicule !
(Villeneuve-de-Marsan, dans le sud-ouest de la France)



Photos des dommages subis par une installation dont la fondation a été prévue sur la base d'essais de battage et de traction. Le risque de glissement de terrain et de coulées de boue n'a pas été détecté.

Les pieux sont encore ancrés dans le sol mais la pente entière glisse !



Zone endommagée par une coulée de boue



Glissement de terrain dans le champ de la contre-pente



Ossature porteuse détruite et panneaux endommagés

Autres dommages : plaques de fondation pour les stations transformatrices, câbles souterrains, murs de soutènement, clôture

Les essais de traction réalisés sur le terrain avaient révélé une résistance du sol suffisante.

Boden und Wasser Büro für Hydrogeologie, angewandte Geologie und Wasserwirtschaft
St. Martin-Straße 11 **D-86551 Aichach** Tel +49(0)8251 / 7224 Fax +49(0)8251 / 51104
bodenundwasser@t-online.de

Cette carte montre une partie des sites que notre bureau d'étude a analysés depuis 2008 :

