



CAHIER DES CHARGES ETUDE PEDOLOGIQUE

Cadre : Projet de panneaux photovoltaïques au Sol.

1 Identification des parcelles concernées

- Fourniture des Numéro(s) de section(s) et parcelle(s) cadastrale(s) par l'entreprise demandeur
- Identification des ilots PAC (facultatif)
- Informations générales de la zone d'étude (localisation, géologie, historiques parcellaires si besoin, etc.)

2 Prospection de terrain

D'après Norme AFNOR NF X31-560

- Réalisation des sondages pédologiques (1 sondage / ha minimum) à la tarière à main Edelman (120cm - Ø7 cm, utilisée en général)
- Géolocalisation
- Critères pédologiques observés par horizons :
 - Profondeur et épaisseur
 - Couleur
 - Texture
 - Etat d'humidité
 - Présence de calcaire dans la terre fine (test HCl à froid dilué au 1/5)
 - Détermination/estimation de la quantité d'Eléments Grossiers (EG)
 - Nature
 - Taille (graviers, cailloux voire pierres)
 - Quantité
 - Traces d'hydromorphie et autres (décoloration/dégradation)
 - Matériaux géologiques (roche-mère, substrat, matériaux parentaux) : nature
- Nommage (Référentiel Pédologique 2008) du type de sol par sondage pédologique
- Minutes de terrain (facultatif)

La prospection pédologique est préconisée **en période où les sols sont réhumectés** : en général sous culture, entre octobre et mai ; la prospection est à éviter en conditions sèches. (D.Baize et al, 2011 ; Jolivet et al, 2006, 2018).

A l'instar des études pédologiques de Zones Humides, « *L'observation des traits d'hydromorphie peut être réalisée toute l'année mais la fin de l'hiver et le début du printemps sont les périodes idéales pour constater sur le terrain la réalité des excès d'eau* » (extrait de l'Arrêté du 1^{er} octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L.214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement).



3 Synthèse

3.1 Réalisation d'une carte des sols intra parcellaire (1/5000^{ème}) à partir de l'ensemble des observations de terrain et des informations recueillies dans l'étape 2.

3.2 Définition/Calcul (appliqué sur les sondages pédologiques) du **Potentiel Agronomique des sols « Grandes Cultures »** : à partir de la méthodologie élaborée par l'INRA de Châteauroux (Studer *et al*, 1977 ; Begon et Mori, 1978 ; Duclos *et al.*, 1980.), reprise et complétée par J.Moulin *et al.* (version 2, 2004, document interne CA36, sans publication) sur la base de données des sols dite « STUDER » (du nom de son initiateur).

La première version de *l'appréciation des aptitudes agricoles des sols* est consultable dans les notices des cartes des sols 1/50000^{ème} des départements du Sud de la région Centre Val de Loire (36, 18, 37, une partie du 41) ; par exemple pages 105 à 109, carte des sols de la Région centre 1/50000 - Vierzon (J. DUPONT et J.SERVANT, Chambre d'Agriculture du Cher F.D.G.E.D.A, 1985). Cette méthodologie est principalement applicable en Région Centre Val de Loire.

Le principe (Moulin *et al.*) fait appel à une méthode d'évaluation analytique simple et facilement applicable, qui cherche parmi les caractéristiques pédologiques celles qui s'opposent à la mise en valeur agricole, en procédant à l'inventaire et au classement des contraintes. Ces facteurs limitants peuvent être :

- des contraintes physiques (texture, structure, pierrosité, profondeur de sol, réserve en eau, hydromorphie, etc.),
- des contraintes chimiques (pH, matière organique, C/N, capacité d'échange, calcaire actif, etc.),
- des contraintes topographiques (pentes, orientation).

Les relations entre les conditions de production et les caractéristiques pédologiques relèvent de deux niveaux (Begon *et al.*, 1978) :

1) des conditions de développement de la plante :

- installation du végétal et germination : stabilité structurale de l'horizon de surface, texture (battance...), sensibilité à l'hydromorphie, capacité de réchauffement du sol,
- aération du milieu : sensibilité à l'hydromorphie, profondeur d'apparition et intensité du phénomène, comportement de l'horizon de surface,
- qualité du système racinaire : développement du profil et profondeur de sol, nature du matériau parental et du substrat, pierrosité, hydromorphie, etc.
- disponibilité en eau : réserve utile (texture, pierrosité, profondeur utilisable par les racines, remontée capillaire éventuelle...)
- assimilabilité des éléments nutritifs : capacité d'échange en bases, pH, etc.



2) des conditions de réalisation des techniques culturales :

- faisabilité des travaux, (jours disponibles) : sensibilité à l'hydromorphie et conditions d'humidité de l'horizon de surface,
- puissance de traction : texture, pente,
- obstacles à la mécanisation : pente, pierrosité...

La connaissance des variables édaphiques nécessaires à l'élaboration d'une carte d'aptitude doit être suffisamment fine pour couvrir un éventail suffisamment large de caractéristiques qui ne sont par ailleurs, précises qu'au niveau de la série. Ce n'est qu'à partir de ce degré de précision taxonomique qu'une carte des sols peut être traduite et transposée en carte d'aptitude.

Le principe de collecte des informations sur le terrain et l'échelle de réalisation de la prospection, retenu pour la carte des sols au 1/50 000, permettent cette analyse en termes de contraintes, puis d'aptitudes.

Une fois inventoriées, les contraintes sont classées suivant leur importance, en se basant sur le principe suivant :

- pour chacune des contraintes, il faut déterminer des valeurs seuils,
- pour l'ensemble des contraintes, il faut apprécier l'importance relative des unes par rapport aux autres, et procéder à une hiérarchisation de celles-ci.

L'analyse finale doit enfin conduire à la définition de classe d'aptitude, qui est déterminée par le nombre et le niveau d'expression des facteurs limitants, mais elle tient compte des possibilités qu'il y a de lever ces contraintes.

Une seule contrainte majeure peut suffire à classer un sol parmi les sols inaptes à toutes cultures, alors que l'addition de quelques contraintes mineures peut n'affecter que modérément l'aptitude d'un sol.

Les paramètres retenus sont : la texture de surface, la profondeur du profil exploitable par les racines, la pierrosité, l'hydromorphie, le réservoir utilisable en eau et le potentiel trophique (version 2, Moulin *et al*, 2004).

La pondération entre les différents facteurs reste sujette à des modifications et d'autres systèmes d'approche, du type catégorique par exemple, pourraient être expérimentés.

L'élaboration de cette ébauche de classement repose donc sur une méthode paramétrique, basée sur un système de notation d'un sol **sur 100 points** :

- plus la note est élevée, plus l'éventail des cultures possibles devient large dans un contexte climatique donné,
- plus la note devient basse, moins la vocation agricole est affirmée.



SYSTEME DE NOTATION

(version 2, Moulin et al., 2004) élaboré pour les sols de la région Centre Val de Loire sur la base des sols des départements 18, 36, 37 et 41

Six paramètres, issus de la carte des sols, sont pris en compte.

Les bases générales des calculs sont fondées sur la hiérarchie suivante :

Note maximale

- La texture de surface : 25 points
- L'hydromorphie : 20 points
- La profondeur exploitable par les racines : 15 points
- le réservoir utilisable : 15 points
- le potentiel trophique : 15 points
- La pierrosité (ou charge caillouteuse) 10 points

TOTAL 100 points

Le détail de l'appréciation et de la notation de chaque paramètre figure sur les tableaux (ci-après).

1) La texture de surface :

Du point de vue agricole, la granulométrie a une influence sur le travail du sol, le comportement à l'interface atmosphère-sol, la levée, l'implantation et l'enracinement des cultures, ainsi que sur la rétention des éléments minéraux et de l'eau ; c'est pourquoi le quart de la note totale maximale lui est affecté.

Dans le classement proposé, l'échelle des notes attribuées à ce paramètre intègre déjà partiellement le niveau des réserves potentielles en eau.

2) L'intensité de la stagnation de l'eau : l'hydromorphie.

Par son rôle dans la vie biologique du sol, dans la vie de la plante, et par son influence sur les possibilités de réalisation des travaux agricoles, ce critère prend une place prépondérante qui lui vaut de se voir affecter une note maximale représentant 1/5 de la note totale.

3) La profondeur exploitable par les racines.

C'est un critère important puisqu'il conditionne l'exploitation des réserves hydriques et minérales du profil. Les formations géologiques dures ou massives limitent l'enracinement : calcaire dur, banc de silex, de galets, et autres.

Dans les sols minéraux bruts ou les sols d'érosion par exemple, la profondeur maximale utilisable ne dépasse pas 20 cm.

Mais indépendamment de la présence d'un substrat massif et dur (obstacle physique à la pénétration des racines), certains profils, développés dans des matériaux meubles profonds, doivent être affectés d'une décote sur ce paramètre ; la possibilité effective d'enracinement y étant nettement inférieure à l'enracinement potentiel physique, diminuée en raison de propriétés tout à fait défavorables de certains horizons.

C'est le cas, en particulier, de tous les sols podzolisés, pour lesquels on considère que la profondeur exploitable par les racines de plantes annuelles ne dépasse pas 30 cm.



En revanche, sur assises calcaires l'altération où la fissuration des bancs de cailloux et la présence de joints ou de niveaux argileux permet assez souvent un enracinement supérieur à la profondeur d'apparition du substrat qui est notée sur la carte.

4) le niveau trophique (état calcique et organique du sol)

Il fallait privilégier l'horizon labouré dans lequel, et sur lequel, les interventions de l'agriculteur sont les plus fréquentes, et dont les propriétés physiques et chimiques sont primordiales. L'appréciation de ce paramètre et sa notation reposent sur la synthèse et la pondération des données d'un nombre élevé d'analyses de surface et sur l'expérience acquise en recensant les grandes unités de sols de la Région Centre. Elle est définie à travers le type de sols et de substrat (prenant en compte du pH et du taux de saturation de la CEC intrinsèque des sols). Un potentiel trophique est considéré comme fort pour des sols à pH basique (> à 7,5) et à saturation de la CEC, et à l'inverse, comme faible avec des sols acides à taux de saturation faible de la CEC (souvent corrélés).

5) le Réservoir Utilisable.

C'est la capacité maximale de rétention en eau du sol (ou Réservoir Utilisable Maximal), calculé sur 1 mètre de profondeur. Le degré de résistance à la sécheresse est déjà pris en compte par la texture, et la profondeur exploitable par les racines. Néanmoins, son intégration se justifie pour compenser certaines textures pénalisées, en particulier les argiles lourdes et certaines argiles sableuses.

Pour sa détermination, il est nécessaire d'utiliser le référentiel adéquat (validé en région Centre Val de Loire) définissant un RU par cm de sol en fonction d'une classe de texture : Bruand et al., *Étude et Gestion des Sols, Volume 11, 3, 2004 - pages 323 à 332* ; Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO ; Tableau 2, pF2,0 - pF4,2). Ce dernier étant plus précis que les coefficients dits de Jamagne (Service de Cartographie de l'Aisne), utilisés à l'origine

Remarque : il n'est ici pas question de la détermination de la RFU (Réserve Facilement Utilisable par les racines) mais bien du RU ou RUM sur 1mètre de profondeur. La profondeur exploitable par les racines étant déjà un facteur de contrainte pris en compte.

6) La charge en éléments grossiers.

Son incidence, à partir d'une pierrosité supérieure à 25 % du poids total de la terre dans le profil, a déjà été précomptée au niveau des réserves utiles ; elle réduit de fait, le volume de sol exploitable, mais constitue aussi un sérieux handicap pour le travail du sol (cf. usure du matériel ...) et la vitesse d'implantation du système racinaire. Les pierres calcaires sont moins pénalisées que les fragments siliceux.



TABLEAUX SYNTHETIQUES

TEXTURE DE SURFACE (sur 25 points) (triangle de texture de l'Aisne)

Texture	Points
textures autres (anthropiques, tourbes, Lithosols et Rankosols...)	0
S - SL - ALO(> 60%)	5
LS - LLS - AS - ALO	10
LL - LM - LMS - SA	15
LSA - A - AL	20
LA - LAS	25

CONTRIBUTION DE LA CHARGE CAILLOUTEUSE (Eléments Grossiers) (sur 10 points)

Type Eléments Grossiers	Points
0 à 25 % d'éléments grossiers	10
25 à 50 % d'éléments grossiers type EG calcaire (durs, tendres) et de grèze	5
Autres Cas (types et % d'EG)	0

CONTRIBUTION DE L'HYDROMORPHIE (sur 20 points)

Valeur	Points
Sain (pas de trace) ou hydromorphie de profondeur (traces à partir de 80 cm)	20
Traces d'hydromorphie entre 40 et 80 cm de profondeur	15
Traces d'hydromorphie dès la surface	8
Type de sols REDOXISOL	4
Type de sols REDUCTISOL TYPIQUE	2
Type de sols REDUCTISOL STAGNIQUE et autres	0

CONTRIBUTION DU RESERVOIR UTILISABLE (sur 15 points)

Valeur	Points
<= à 25 mm	1
26 à 50 mm	4
51 à 75 mm	6
76 à 100 mm	8
101 à 125 mm	10
125 à 150 mm	11
151 à 175 mm	13
>= 176	15

CONTRIBUTION DE LA PROFONDEUR D'ENRACINEMENT (sur 15 points)

1^{ère} Règle

Type de Sol	Points
REGOSOL, LITHOSOL, RANKOSOL, PEYROSOL	2
PODZOSOLS, BRUNISOL DYSTRIQUE acide	5
RENDOSOLS, RENDISOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS	5
REDUCTISOLS	7

2nde Règle

Plancher imperméable	Substrat	Profondeur substrat	Points
Continu	Roches métamorphiques (schistes, gneiss, etc.) et dérivés Roches magmatiques (ensembles des granites, diorites, etc.) Quartzite, Leptynite, migmatite ; Niveaux indurés divers ; Calcaires non fissurés, Formations gréseuses non calcaires	<= 40 cm	5
		40 - 80 cm	10
		> à 80 cm	15
	Matériaux d'altération du Lias et du Sénonien Formations lœssiques (Limos des Plateaux) Marnes et marnes à structures prismatiques Formation sédimentaire meubles, Silice pulvérulente Dépôts Alluviaux et colluviaux ; Formations à silex	<= 40 cm	5
		40 - 80 cm	10
		> à 80 cm	15
	Marnes à structures feuilletées ou verticales Craies, Calcaires lacustres et à alternance marneuses, Grès calcaires, Dépôts de terrasses, formations d'Ardentes, Grèves alluviales, Complexe de pentes, Formations sédimentaires détritiques, Formations à silex remaniés (Bajocien, Sénonien, Eocènes, etc.), à chailles, Poudingues de Nemours, Colluvionnement de silex, Formations à meulrières, Formations siliceuses à spongiaires, Matériaux organiques, Grèzes	<= 40 cm	5
		40 - 80 cm	10
		> à 80 cm	15
Discontinu	Roches métamorphiques (schistes, gneiss, etc.) et dérivés Roches magmatiques (ensembles des granites, diorites, etc.) Quartzite, Leptynite, migmatite ; Niveaux indurés divers ; Calcaires non fissurés, Formations gréseuses non calcaires	<= 40 cm	5
		40 - 80 cm	10
		> à 80 cm	15
	Matériaux d'altération du Lias et du Sénonien Formations lœssiques (Limos des Plateaux) Marnes et marnes à structures prismatiques Formation sédimentaire meubles, Silice pulvérulente Dépôts Alluviaux et colluviaux ; Formations à silex	<= 40 cm	8
		40 - 80 cm	12
		> à 80 cm	15
	Marnes à structures feuilletées ou verticales Craies, Calcaires lacustres et à alternance marneuses, Grès calcaires, Dépôts de terrasses, formations d'Ardentes, Grèves alluviales, Complexe de pentes, Formations sédimentaires détritiques, Formations à silex remaniés (Bajocien, Sénonien, Eocènes, etc.), à chailles, Poudingues de Nemours, Colluvionnement de silex, Formations à meulrières, Formations siliceuses à spongiaires, Matériaux organiques, Grèzes	<= 40 cm	8
		40 - 80 cm	12
		> à 80 cm	15
Absence	Roches métamorphiques (schistes, gneiss, etc.) et dérivés Roches magmatiques (ensembles des granites, diorites, etc.) Quartzite, Leptynite, migmatite ; Niveaux indurés divers ; Calcaires non fissurés, Formations gréseuses non calcaires	<= 40 cm	5
		40 - 80 cm	10
		> à 80 cm	15
	Matériaux d'altération du Lias et du Sénonien Formations lœssiques (Limos des Plateaux) Marnes et marnes à structures prismatiques Formation sédimentaire meubles, Silice pulvérulente Dépôts Alluviaux et colluviaux ; Formations à silex	N'importe quelle profondeur (< 40 à > 80 cm)	15
		<= 40 cm	10
	Marnes à structures feuilletées ou verticales Craies, Calcaires lacustres et à alternance marneuses, Grès calcaires, Dépôts de terrasses, formations d'Ardentes, Grèves alluviales, Complexe de pentes, Formations sédimentaires détritiques, Formations à silex remaniés (Bajocien, Sénonien, Eocènes, etc.), à chailles, Poudingues de Nemours, Colluvionnement de silex, Formations à meulrières, Formations siliceuses à spongiaires, Matériaux organiques, Grèzes	> 40	15



CONTRIBUTION DU POTENTIEL TROPHIQUE (sur 15 points)

1^{ère} Règle

Type de Sol	Points
PODZOSOLS, BRUNISOL DYSTRIQUE acide	0
REGOSOLS, LITHOSOLS, RANKOSOLS, PEYROSOLS	0

2^{nde} Règle

Type de Sol	Type de substrat	Points
LUVISOLS DEGRADES, PLANOSOLS, BRUNISOLS insaturés, ALOCRISOLS	Amphibolites, Calcaires et Marnes, Craies, Grès calcaires	6
	Autres Substrats	3
COLLUVIOSOLS insaturés, LUVISOLS, BRUNISOL verticale, PELOSOL, REDOXISOL, BRUNISOL rubéfié	Amphibolites, Calcaires et Marnes, Craies, Grès calcaires ET dépôts alluviaux et colluviaux	10
	Autres Substrats	6
FLUVIOSOLS insaturés, DOLOMITOSOLS, BRUNISOLS saturés, BRUNISOLS luviqes, NEOLUVISOLS, REDUCTISOLS	Amphibolites, Calcaires et Marnes, Craies, Grès calcaires ET dépôts alluviaux et colluviaux	13
	Autres Substrats	9
FLUVIOSOLS saturés, COLLUVIOSOLS saturés, RENDOSOLS, RENDISOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS	Amphibolites, Calcaires et Marnes, Craies, Grès calcaires ET dépôts alluviaux et colluviaux	15
	Autres Substrats	12

CLASSES DE SOLS ; HIERARCHIE DES FACTEURS LIMITANTS ET PERSPECTIVES DE MISE EN VALEUR.

La carte thématique des aptitudes agricoles ou du potentiel agronomique des sols n'est qu'une esquisse de représentation spatiale de la qualité des terres **pour les Grandes cultures**.

Huit classes ont été séparées en fonction de la note finale sur 100 points :

Classe 1 : 0 à 29 points
 Classe 2 : 30 à 39 points
 Classe 3 : 40 à 49 points
 Classe 4 : 50 à 59 points
 Classe 5 : 60 à 69 points
 Classe 6 : 70 à 79 points
 Classe 7 : 80 - 89 points
 Classe 8 : 90 - 100 points

	1 (médiocre)
	2 (très faible)
	3 (faible)
	4 (moyen)
	5 (satisfaisant)
	6 (bon)
	7 (très bon)
	8 (fort)

- **les sols à hautes potentialités (classes 7 et 8)** ; Convenant à la majorité des cultures : aucun facteur limitant drastique ne vient perturber la croissance des végétaux au niveau du sol. Cependant, le climat, la topographie ou éventuellement le système cultural, peuvent interdire telle ou telle culture.

- **les bons à assez bons sols agricoles (classes 5 et 6)** ; L'éventail des cultures peut être restreint par quelques facteurs limitants ; il est possible de lever certains d'entre eux (excès d'eau, réserves en eau insuffisantes), d'autres sont immuables (texture, profil assez superficiel ...).



- **les sols agricoles médiocres (classes 3 et 4)** ; Aux potentialités réduites ; les facteurs défavorables ont une action prépondérante, et les opérations d'amélioration pourront exiger des investissements coûteux, si toutefois elles sont réalisables techniquement.
- **les sols à faible ou très faible potentiel (classes 1 et 2)** ; Dans le contexte technico-économique actuel, la raison dicte d'y limiter les investissements.

CAS PARTICULIERS :

- Les sols de type HISTOSOLS (sols tourbeux) et ANTHROPOSOLS (dont la description pédologique est impossible) présentent des scorings indéterminés.
- Les sols de type REGOSOLS et LITHOSOLS/RANKOSOLS/PEYROSOLS présentent des scorings ne pouvant dépasser 20 points.

3.3 Réalisation de la carte du Potentiel Agronomique des sols par unité cartographique



4 Rapport

4

- Rappel des étapes 1 et 2
- Tableau synthétique par unité de sols, renseignements des paramètres et notes de potentiel agronomique
- Résultats cartographiques :
 - ✓ Carte de localisation des sondages et/ou profils pédologiques
 - ✓ Carte des sols
 - ✓ Carte de potentiel agronomique
- Conclusion avec le classement de potentiel agronomique par parcelle (cadastrale et/ou ilot PAC) et l'information du pourcentage surfacique de chaque classe ;
- Informations sur les différentes contraintes de sols et/ou observations :
 - Sol à pH très acide à acide < à 5,5
 - Sol dit « séchant » :
 - à faible RU
 - à profondeur moyenne (< à 50-60 cm) à superficiel et « caillouteux »
 - Sol non irrigué et/ou non irrigable
 - Sol « humide » : hydromorphie marquée dès l'horizon travaillé en zone non drainée ou fortement marquée sous le labour.
 - Sol à forte charge en EG usant les outils : EG > 20/30% de type silex, quartz et feldspath, etc...pour le 45
 - Sol superficiel (<25 cm) dans n'importe quelle texture sur roche mère empêchant un enracinement profond.

Remarques :

- Cette notation de potentiel agronomique (ou aptitude agronomique) des sols est calculée à partir des types de sols **intrinsèques (état naturel) et de leurs caractères**. Elle ne prend pas en compte les interventions humaines d'amélioration agronomique. En effet, l'irrigation, le drainage, les amendements calciques, apports de matières organiques (exemple : composts, etc.), pour ne citer qu'eux, améliorent les potentialités de cultures et de rendements.
- Cette notation n'est pas applicable à d'autres types de cultures (maraichage, vergers, par exemple), qui n'ont pas les mêmes besoins que les grandes cultures céréalières. La pondération sera différente de celle présentée ci-dessus, par exemple pour le maraichage, l'arboriculture, la viticulture, la trufficulture, etc.)