

Hamid Mahyou

# NOUVELLES APPROCHES DE SURVEILLANCE DES TERRES DE PARCOURS AU MAROC



المعهد الوطني للبحث الزراعي  
ⵎⴰⵔⴻⵏ ⵏ ⵔⵉⵔⵉ ⵏ ⵔⵉⵔⵉ ⵏ ⵔⵉⵔⵉ ⵏ ⵔⵉⵔⵉ  
Institut National de la Recherche Agronomique

# ***NOUVELLES APPROCHES DE SURVEILLANCE DES TERRES DE PARCOURS AU MAROC***

**Dr Hamid Mahyou**

Institut National de la Recherche Agronomique





# Préface

Les terres de parcours marocaines constituent une composante essentielle dans la stabilité de l'équilibre économique et social des zones pastorales. En raison de leurs superficies et le potentiel fourrager qu'elles procurent, ces terres offrent des moyens de subsistance à des milliers de personnes et protègent le pays d'une désertification rapide. En effet, les terres de parcours sont la ressource d'alimentation principale pour le bétail dans les zones pastorales.

Toutefois, les terres de parcours marocaines connaissent des changements importants liés au changement climatique, aux actions anthropiques et à divers enjeux socio-économiques. Les charges animales sur les terres de parcours tendent, en effet, à augmenter rapidement alors que les ressources pastorales se raréfient et la couverture végétale régresse continuellement. Cette situation a entraîné un impact négatif sur l'environnement et a augmenté les menaces de la désertification.

L'amélioration de la sécurité alimentaire et des moyens d'existence des populations de ces régions passent impérativement par l'adaptation au changement climatique, la lutte contre les effets néfastes de la désertification et par conséquent par la préservation de la biodiversité des terres de parcours.





La surveillance des terres de parcours peut participer activement à la réalisation de ces actions, en permettant le monitoring et le suivi efficace de la dynamique de ces espaces (changement climatique, désertification, sécheresse, etc.). Elle peut ainsi orienter les différents projets de développement des terres de parcours dans une perspective de gestion durable.

L'INRA a développé des approches et des outils permettant une surveillance efficace des terres de parcours. C'est le fruit de plusieurs années de recherche dans le domaine de la recherche pastorale orientée vers la surveillance des terres de parcours.

Le présent ouvrage intitulé « nouvelles approche de surveillance des terres de parcours » rédigé par Dr Hamid MAHYOU, chercheur à l'INRA, est une synthèse des résultats de plusieurs années de recherche et de travaux originaux menés par les chercheurs de l'INRA. Il présente les approches les plus appropriées pour la surveillance des terres de parcours et marque un tournant pour la recherche dans le domaine de la surveillance des terres de parcours au Maroc.

J'espère que cet ouvrage sera utile pour la mise en valeur des terres de parcours et la préservation de la biodiversité pastorale du Maroc et par extension, tous les terres de parcours de l'Afrique du Nord.

Dr Faouzi BEKKAOUI

Directeur de l'Institut National  
de la Recherche Agronomique

# Avant-propos

Au Maroc, les terres de parcours ont toujours constitué une composante déterminante dans la stabilité de l'équilibre économique et social du monde rural. L'étendue spatiale et le potentiel fourrager qu'elles offrent, permettent de réduire la pression sur les zones agricoles et forestières. Des terres de parcours qui regorgent d'une richesse biologique importante et déterminante dans l'équilibre environnemental.

Ces espaces connaissent toutefois une dégradation sévère due aux sécheresses successives, au surpâturage, au défrichement et à l'exploitation irrationnelle des espèces pastorales natives qu'elles abritent. Par conséquent, tous ces facteurs réunis favorisent une chute des revenus des éleveurs, une accentuation de l'exode rural, et un appauvrissement des populations locales.

Conscient de la grave conséquence qui peut résulter de cette tendance, l'Institut National de la Recherche Agronomique et en collaboration avec plusieurs partenaires, a entrepris de nombreuses activités de recherche sur les zones pastorales du Maroc visant à freiner ce processus de dégradation et à préconiser des modes de gestion durables des ressources pastorales, avec comme objectif stratégique la conservation des ressources naturelles, l'augmentation du revenu des éleveurs et par conséquent la réduction des disparités territoriales.



En se référant aux résultats de recherche menées au Maroc et ailleurs, la conception et la mise en place d'un système opérationnel de surveillance des terres de parcours est réalisable actuellement au Maroc. Il peut servir à définir une stratégie d'aménagement et de gestion des espaces pastoraux, et constituerait une aide précieuse à la lutte contre la désertification. Aussi, le progrès technologique dans le domaine de la télédétection spatiale, avec le lancement de nouvelles générations de satellites et la gratuité des images satellitaires offertes par de nombreux programmes internationaux, a ouvert de nouvelles perspectives pour une surveillance intelligente des terres de parcours.

Toutefois, la surveillance des terres de parcours nécessite des approches spécifiques intégrant plusieurs sources d'information telles que la géomatique, la climatologie et l'historique des données biophysiques. Un travail de longue haleine qui ne peut être soutenu que par une institution dotée d'une visibilité et qui dispose de moyens et d'équipes de recherche conscientes des enjeux pour la protection et la sauvegarde des ressources naturelles du pays.

Actuellement, l'INRA a développé des approches et des outils de suivi des terres de parcours, qui permettent d'identifier les régions affectées par les changements pour définir à temps la manière et les moyens d'intervention dans les meilleures conditions. C'est le fruit d'un investissement initié par l'INRA, au début des années 2000 dans le domaine de la recherche pastorale orienté vers la surveillance des terres de parcours. Les différents résultats de recherche obtenus sont jugés très utiles pour le Maroc et constitueront des outils de décision précieux pour une gestion durable de ces terres de parcours.

Le présent ouvrage présente la quintessence des résultats de plusieurs années de recherche et de travaux originaux menés par les chercheurs de l'INRA, en collaboration avec des scientifiques appartenant à des organismes partenaires nationaux et internationaux et des recommandations des gestionnaires des terres de parcours au Maroc. Par son approche intégrée pour la surveillance des terres de parcours ce recueil ouvre la voie vers de nouvelles perspectives prometteuses. Un nombre important de travaux met l'accent sur l'utilisation d'outils modernes de surveillance surtout les systèmes d'information géographiques, la

téledétection spatiale et la modélisation. Il présente aussi les techniques les plus appropriées pour la surveillance des terres de parcours sur le terrain et marque un tournant pour la recherche dans le domaine de la surveillance des terres de parcours au Maroc. Il montre en effet une nouvelle façon de mener la recherche sur les applications de la géomatique dans les zones pastorales. Ce document essaie de fournir aux scientifiques et aux gestionnaires, les informations nécessaires pour la surveillance des terres de parcours et un support utile pour leurs travaux. Cependant, le présent ouvrage ne reflète pas toute la richesse des résultats de recherche obtenus au Maroc.

L'ouvrage reflète également l'engagement de l'INRA, dans le transfert de ses connaissances et de son savoir-faire en matière de recherche dans le domaine pastoral. Il révèle l'incorporation des chercheurs, dans les travaux de terrain, mais aussi dans les sciences de l'information géographique et la télédétection spatiale.

J'espère que cet ouvrage sera utile pour une gestion durable des terres de parcours dans les écosystèmes pastoraux du Maroc. Je souhaite, également, que ce document servira de socle pour une approche intégrée pour la mise en œuvre d'un système de surveillance des terres de parcours.





# Remerciements

*Par cet ouvrage, j'aimerais rendre un grand hommage à feu Dr Mostafa BOUNEJ-MATE et au Dr Mohamed EL MOURID, Ex-chercheur et Ex-coordonateur Régional de l'Afrique du Nord à l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) respectivement, qui ont soutenu l'initiation de la recherche sur la surveillance des terres de parcours basée sur la géomatique au Centre Régional de la Recherche Agronomique Oujda - INRA, en 1998 dans le cadre d'un projet de recherche de l'INRA conduit en collaboration avec l'ICARDA et avec l'appui financier de la Direction du développement et de la coopération suisse (DDC - Suisse).*

*En 2001, la recherche sur l'inventaire et le suivi des terres de parcours reçoit l'appui du Pr Hamid NARJISSE, non seulement en sa qualité de Directeur de l'INRA mais également en tant que scientifique spécialiste du pastoralisme, convaincu de l'intérêt de développer ce domaine de recherche au Maroc. Ainsi le laboratoire de Géomatique appliquée aux ressources naturelles a vu le jour à l'INRA Oujda.*

*À la mémoire du Pr Mohamed BADRAOUI, Ex-Directeur de l'INRA, fervent défenseur et homme engagé pour rendre le CRRRA Oujda un centre d'excellence en matière d'inventaire, de suivi et de cartographie des terres de parcours.*

*La recherche dans le domaine de la surveillance des terres de parcours a été rendue possible grâce à la collaboration scientifique et technique d'institutions nationales et internationales particulièrement l'IAV Hassan II, l'université Mohamed Premier - Oujda, l'Université de Liège (Belgique), le Centre de Recherche Commun de la Commission Européenne (JRC, Italie), l'institut flamant pour la recherche technologique (VITO, Belgique).*

*Il convient ici de remercier le Pr Bernard TYCHON de l'Université de Liège et son équipe pour l'échange d'information et de données ainsi que la participation effective à nos divers travaux de recherche.*

*L'élaboration de la version finale de ce document a été réalisée grâce aux précieux commentaires et critiques de Dr Abdelmajid BECHCHARI et Dr Riad BALAGHI, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Je remercie toutes les personnes physiques et morales ayant contribué à la réalisation de cet ouvrage. Je remercie particulièrement Dr Faouzi BEKKAOUI, Directeur de l'INRA, Dr Imane THAMI ALAMI, Cheffe de la Division Scientifique et tous les collègues de sa Division et à tout le personnel de l'INRA pour leur esprit d'équipe et leur collaboration pour générer les bonnes conditions pour nos travaux de recherche.*

*Je suis également redevable à l'équipe de la Division de l'Information et de la Communication de l'INRA qui a participé à la réalisation de cet ouvrage.*

*Que tout un chacun, même pas cité dans cette dédicace, soit remercié et considère que ce travail est sien et le fruit de sa collaboration.*

# Table des matières

Liste des figures.....	12
Liste des tableaux.....	14
Introduction.....	17
<b>Chapitre 1 : Surveillance des terres de parcours au Maroc.....</b>	<b>21</b>
Importance des observations et mesures de terrain.....	24
Stratification de l'espace et échantillonnage des sites de suivi.....	25
Choix des sites de suivi des terres de parcours.....	27
Période de suivi des terres de parcours.....	28
Fréquence de suivi des terres de parcours.....	29
<b>Chapitre 2 : Paramètres et méthodes de collecte des données de terrain.....</b>	<b>31</b>
Composition floristique.....	33
Estimation de la densité.....	35
Estimation de la fréquence.....	36
Estimation de la phytomasse.....	37
Recouvrement aérien global et spécifique.....	39
<b>Chapitre 3 : La géomatique pour le suivi des terres de parcours au Maroc.....</b>	<b>41</b>
Système d'information géographique.....	43
Télédétection spatiale.....	44
Quelques notions de base de la télédétection spatiale.....	45
Rayonnement électromagnétique.....	46
Signature spectrale des objets.....	47
Caractérisation des systèmes satellitaires.....	48
Capteurs passifs et actifs.....	48
Résolution spatiale des satellites.....	49
Résolution spectrale des satellites.....	50
Résolution temporelle des satellites.....	51
Principaux satellites utiles pour la surveillance des terres de parcours.....	52





**Chapitre 4 : Particularités de la télédétection spatiale dans le suivi des terres de parcours marocaines..... 55**

- Défis et limites de la télédétection spatiale dans les terres de parcours marocaines..... 57
- Propriétés spectrales de la végétation des terres de parcours marocaines..... 59
- Les indices de végétation de surveillance des terres de parcours..... 62
  - Les indices de végétation simples ..... 62
  - Les indices de végétation prenant en compte l'influence des sols ..... 63
  - Les indices de végétation prenant en compte les effets de l'atmosphère ..... 64
  - Les indices de végétation prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère ..... 64

**Chapitre 5 : Caractérisation des terres de parcours marocaines basée sur la géomatique 67**

- Importance des terres de parcours au Maroc..... 69
- Topographie des écosystèmes pastoraux du Maroc..... 70
- Sols des écosystèmes pastoraux du Maroc ..... 73

**Chapitre 6 : Climat et changement climatique des écosystèmes pastoraux du Maroc 79**

- Zones climatiques..... 81
- Pluviométrie..... 82
- Température..... 84
- Amplitude thermique..... 85
- Changement climatique..... 86

**Chapitre 7 : Occupation des sols des écosystèmes pastoraux du Maroc..... 91**

- Occupation des sols des écosystèmes pastoraux du Maroc ..... 93
  - Plateaux de l'Oriental et de la Vallée de la Moulouya ..... 95
  - Zone Saharienne ..... 97
  - Zone Pré-Saharienne..... 98
  - Zone de l'Arganier..... 100
  - Haut Atlas Central et Oriental ..... 101
  - Plateaux et Plaines du Nord Atlasique ..... 103
  - Moyen Atlas ..... 104
  - Zone Rifaine et ses bordures ..... 106
  - Zone Mamora-Zaërs..... 107
  - Meseta Côtière..... 109
- Contribution des terres de parcours aux ressources fourragères au Maroc ..... 110



<b>Chapitre 8 : Surveillance de la dégradation basée sur la géomatique.....</b>	<b>113</b>
Méthode simple de suivi de la dynamique de la dégradation des terres de parcours.....	117
Exploitation des images satellitaires et des données existantes sur la zone d'étude (cartes, archives cartographiques, statistiques...)	117
Collecte des données sur le terrain et identification des indicateurs de dégradation des terres de parcours.....	118
Cartographie et suivi de la dégradation des terres de parcours.....	118
Système expert pour la surveillance de la dégradation des terres de parcours.....	122
Le système expert.....	123
Traitement et analyse des images satellites et des données auxiliaires.....	125
Identification des indicateurs de dégradation.....	126
Indice synthétique de l'état de dégradation.....	126
Cartographie de la dégradation des terres parcours.....	128
<b>Chapitre 9 : Prédiction de la sécheresse basée sur les indices climatiques et les indices de végétation.....</b>	<b>131</b>
Prédiction de la sécheresse basée les indicateurs climatiques.....	133
Prédiction de la sécheresse basée sur la pluviométrie.....	134
Prédiction de la sécheresse basée sur l'indice de précipitation standardisé.....	135
Prédiction de la sécheresse basée sur les indices de végétation.....	136
Prédiction de la sécheresse basée sur l'indice de végétation par différence normalisé (NDVI).....	137
Prédiction de la sécheresse basée sur l'indice des conditions de végétation (Vegetation Condition Index).....	140
Prédiction de la sécheresse basée sur l'Indice de santé de la végétation (Vegetation Health Index).....	141
<b>Chapitre 10 : Prédiction de la production fourragère basée sur les indices de végétation.....</b>	<b>145</b>
Estimation <i>in situ</i> de la phytomasse.....	148
Les indices de végétation.....	149
Prédiction de la phytomasse basée sur les indices de végétation à moyenne résolution spatiale.....	150
Indices de végétation issus des images SPOT-VGT, PROBA V et MODIS.....	150
Prédiction de la production basée sur les indices de végétation SPOT-VGT et MODIS.....	151
Prédiction de la production basée sur la transformation de variable.....	153
Prédiction de la phytomasse basée sur les indices de végétation à haute résolution spatiale.....	157
<b>Chapitre 11 : Système de veille des terres de parcours au Maroc.....</b>	<b>161</b>
La plateforme CGMS-Maroc.....	165
La plateforme Google Earth Engine.....	166
Conclusion.....	171
Bibliographie.....	175





## Liste des figures :

<b>Fig. 1 :</b> Photos montrant la surveillance des terres de parcours sur différentes conditions spatio-temporelles.....	<b>24</b>
<b>Fig. 2 :</b> Photos illustrant l'utilisation du GPS (a) et de l'ordinateur portable (b) pour la collecte des informations sur les terres de parcours marocaines.....	<b>25</b>
<b>Fig. 3 :</b> Exemple de stratification des terres de parcours des Hauts Plateaux de l'Oriental .....	<b>26</b>
<b>Fig. 4 :</b> Photos illustrant différents sites sélectionnés pour le suivi dans les terres de parcours marocaines.....	<b>27</b>
<b>Fig. 5 :</b> Différences saisonnières entre l'été de 2008 et le printemps de 2009 d'un parcours à armoise blanche ( <i>Artemisia herba alba</i> ).....	<b>29</b>
<b>Fig. 6 :</b> Photos d'un site à armoise blanche ( <i>Artemisia herba alba</i> ) pendant le printemps avec une fréquence de suivi de 3 à 5 ans dans les Hauts Plateaux de l'Oriental.....	<b>30</b>
<b>Fig. 7 :</b> Sites suivis dont la composition floristique est à dominance de <i>Peganum harmala</i> , à <i>Artemisia alba Alba</i> à <i>Atriplex Nummularia</i> et à <i>Stipa Tenacissima</i> .....	<b>34</b>
<b>Fig. 8 :</b> Photo montrant un quadrat de 4 m <sup>2</sup> avec 64 carrés utilisé pour estimer la densité dans un parcours des Hauts Plateaux de l'Oriental.....	<b>35</b>
<b>Fig. 9 :</b> Estimation de la densité et de la fréquence de la végétation dans un parcours réhabilité par <i>Atriplex nummularia</i> dans un quadrat de 25 m <sup>2</sup> .....	<b>37</b>
<b>Fig. 10 :</b> Estimation de la phytomasse de la végétation herbacée et exemples des unités de référence de <i>Stipa tenacissima</i> et <i>Artemisia herba alba</i> dans les sites suivis .....	<b>38</b>
<b>Fig. 11 :</b> Technique numérique d'estimation du recouvrement de la végétation des terres de parcours de l'alfa ( <i>Stipa tenacissima</i> ) à l'aide du logiciel assess2 et de l'armoise blanche ( <i>Artemisia herba alba</i> ) à l'aide du logiciel VegMeasure.....	<b>40</b>
<b>Fig. 12 :</b> SIG montrant plusieurs cartes thématiques, notamment la carte d'occupation du sol au nord du Maroc..	<b>44</b>
<b>Fig. 13 :</b> Schéma illustrant la répartition du rayonnement électromagnétique en différentes gammes de longueurs d'ondes.....	<b>46</b>
<b>Fig. 14 :</b> Signature spectrale de la végétation, de l'eau et du sol pour les longueurs d'onde allant du visible à l'infrarouge moyen.....	<b>47</b>
<b>Fig. 15 :</b> Schéma montrant le principe des capteurs actifs et passifs .....	<b>48</b>
<b>Fig. 16 :</b> Schéma montrant les différentes résolutions spatiales des images satellitaires pour une surface donnée	<b>49</b>
<b>Fig. 17 :</b> Comparaison entre les résolutions spectrales des satellites Aster, Landsat 8 et Sentinel-2 .....	<b>50</b>
<b>Fig. 18 :</b> Schéma illustrant l'acquisition d'une image satellite en fonction du temps de répétition (Résolution temporelle) pour un site donné.....	<b>51</b>
<b>Fig. 19 :</b> Photos montrant des terres de parcours à <i>Peganum harmala</i> avec un faible recouvrement et un parcours mis en défens à recouvrement élevé.....	<b>57</b>
<b>Fig. 20 :</b> Variabilité intra-espèce de l'Alfa ( <i>Stipa tenacissima</i> ) qui présente différents états des feuilles de touffe au cours de la même période et du même site dans les Hauts Plateaux de l'Oriental : touffe à feuilles vertes, et touffe à feuilles sèches.....	<b>58</b>
<b>Fig. 21 :</b> Signatures spectrales moyennes de quelques espèces de la végétation des parcours des Hauts Plateaux de l'Oriental.....	<b>60</b>
<b>Fig. 22 :</b> Photos illustrant les espèces végétales dont leurs signatures spectrales sont présentées dans la fig. 21.	<b>60</b>
<b>Fig. 23 :</b> Signatures spectrales moyennes de l'Alfa ( <i>Stipa tenacissima</i> ) avec une variabilité intra-espèce de la touffe d'Alfa qui présente différents états des feuilles de touffe au cours de la même période et du même site dans les Hauts Plateaux de l'Oriental .....	<b>61</b>
<b>Fig. 24 :</b> Vue d'ensemble des différents écosystèmes pastoraux du Maroc obtenue à partir des images satellites du capteur MODIS.....	<b>70</b>
<b>Fig. 25 :</b> Carte d'altitude des différents écosystèmes pastoraux du Maroc.....	<b>72</b>

<b>Fig. 26</b> : Carte des Sols des écosystèmes pastoraux du Maroc issue de l'Atlas des sols d'Afrique.....	<b>74</b>
<b>Fig. 27</b> : Importance (%) des principaux groupes de sols des écosystèmes pastoraux du Maroc.....	<b>74</b>
<b>Fig. 28</b> : Zonage climatique des écosystèmes pastoraux du Maroc.....	<b>82</b>
<b>Fig. 29</b> : Carte des précipitations annuelles moyennes des écosystèmes pastoraux du Maroc.....	<b>83</b>
<b>Fig. 30</b> : Cartes des températures minimales, moyennes et maximales des écosystèmes pastoraux du Maroc.....	<b>85</b>
<b>Fig. 31</b> : Carte montrant l'amplitude thermique calculée à partir de la différence entre la température la plus haute des mois les plus chauds et la température la plus basse des mois les plus froids des écosystèmes pastoraux du Maroc.....	<b>86</b>
<b>Fig. 32</b> : Changements projetés de la température moyenne et des précipitations moyennes à 1,5°C et 2°C de réchauffement climatique par rapport à la période pré-industrielle (1861-1880), et la différence entre 1,5°C et 2°C de réchauffement climatique.....	<b>88</b>
<b>Fig. 33</b> : Tendence de la production des terres de parcours entre 2000 et 2050 telle que modélisée par G-Range.....	<b>88</b>
<b>Fig. 34</b> : Liens et boucles de rétroaction entre le changement climatique, la désertification et la perte de biodiversité.....	<b>89</b>
<b>Fig. 35</b> : Carte d'occupation du sol et importance des catégories des terres des parcours au Maroc.....	<b>94</b>
<b>Fig. 36</b> : Occupation du sol des Plateaux de l'Oriental et de la Vallée de la Moulouya.....	<b>95</b>
<b>Fig. 37</b> : Photos des parcours steppiques des Hauts Plateaux de l'Oriental.....	<b>96</b>
<b>Fig. 38</b> : Occupation du sol de la zone Saharienne.....	<b>97</b>
<b>Fig. 39</b> : Photos des terres de parcours de la zone Saharienne.....	<b>98</b>
<b>Fig. 40</b> : Occupation du sol de la zone Pré-Saharienne.....	<b>99</b>
<b>Fig. 41</b> : Photos des terres de parcours de la zone Pré-Saharienne.....	<b>99</b>
<b>Fig. 42</b> : Occupation du sol de la zone de l'arganier.....	<b>100</b>
<b>Fig. 43</b> : Photos des terres de parcours de la zone de l'arganier.....	<b>101</b>
<b>Fig. 44</b> : Occupation du sol du Haut Atlas Central et Oriental.....	<b>102</b>
<b>Fig. 45</b> : Photos des terres de parcours du Haut Atlas Central et Oriental.....	<b>102</b>
<b>Fig. 46</b> : Occupation du sol des Plateaux et Plaines du Nord Atlasique.....	<b>103</b>
<b>Fig. 47</b> : Photos des terres de parcours des Plateaux et Plaines du Nord Atlasique.....	<b>104</b>
<b>Fig. 48</b> : Occupation du sol du Moyen Atlas.....	<b>105</b>
<b>Fig. 49</b> : Photos des terres de parcours du Moyen Atlas.....	<b>105</b>
<b>Fig. 50</b> : Occupation du sol de la zone Rifaine et ses bordures.....	<b>106</b>
<b>Fig. 51</b> : Photos des terres de parcours de la zone Rifaine et ses bordures.....	<b>107</b>
<b>Fig. 52</b> : Occupation du sol de la zone Mamora-Zaïers.....	<b>108</b>
<b>Fig. 53</b> : Photos des terres de parcours de la zone Mamora-Zaïers.....	<b>108</b>
<b>Fig. 54</b> : Occupation du sol de la Meseta Côtière.....	<b>109</b>
<b>Fig. 55</b> : Photos des terres de parcours de la Meseta Côtière.....	<b>109</b>
<b>Fig. 56</b> : Carte de localisation des différents systèmes d'élevage du Maroc.....	<b>111</b>
<b>Fig. 57</b> : Changement dans l'état des terres de parcours et point de renversement de la désertification.....	<b>116</b>
<b>Fig. 58</b> : Cartes d'occupation du sol de la Commune Rurale de Maâtarka durant 4 périodes (1970, 1988, 2004 et 2013).....	<b>119</b>
<b>Fig. 59</b> : Invasion des espèces indicatrices de dégradation ( <i>Peganum harmala</i> et <i>Noaea mucronata</i> ), des sols nus et des terres de cultures dans les terres de parcours étudiées de la Commune Rurale de Maâtarka.....	<b>121</b>





**Fig. 60** : Organigramme du système expert pour la cartographie de la dégradation des terres de parcours arides **124**

**Fig. 61** : Cartes d'occupation du sol et de dégradation des parcours des Hauts Plateaux de l'Oriental ..... **129**

**Fig. 62** : Photos montrant des steppes dégradées dans les Hauts Plateaux de l'Oriental ..... **130**

**Fig. 63** : Cumuls et anomalies pluviométriques de la période octobre à mars 2004-2005, 2008-2009 et 2018-2019 **135**

**Fig. 64** : Évolution temporelle de SPI-3 de la période 2002 à 2019 dans les terres de parcours du Maroc..... **137**

**Fig. 65** : Cartes des NDVI moyen de trois mois (janvier, février et mars) et leurs anomalies dans les espaces pastoraux marocains durant 2005, 2009 et 2019 ..... **139**

**Fig. 66** : Profils temporels des VCI mensuels moyens durant la période 2002 à 2020 dans les Hauts Plateaux de l'Oriental ..... **141**

**Fig. 67** : Cartes des VHI moyen durant les périodes 2004-2005, 2008-2009 et 2018-2019 dans les différents écosystèmes pastoraux du Maroc..... **143**

**Fig. 68** : Pâturage des terres de parcours marocaines par différentes espèces animales..... **147**

**Fig. 69** : Collecte des données sur la phytomasse dans des quadrats durant le mois d'avril 2009 et 2015 dans les Hauts Plateaux de l'Oriental ..... **149**

**Fig. 70** : Corrélation très significative entre NDVI des satellites SPOT-V et MODIS..... **151**

**Fig. 71** : Relation entre la phytomasse et les indices de végétation NDVI-MODIS, NDVI-SPOT, FCOVER, LAI et FAPAR ..... **152**

**Fig. 72** : Relation entre la racine carrée de la phytomasse et les indices de végétation (NDVI-MODIS, NDVI-SPOT, FCOVER, LAI et FAPAR)..... **155**

**Fig. 73** : Cartographie de la production totale (tonne par hectare) durant les mois d'avril des années 2005, 2009 et 2019, données produites par le modèle de régression de NDVI-MODIS ..... **156**

**Fig. 74** : Carte de la phytomasse totale (Tonne par hectare) durant l'année 2019, produite par le modèle de régression multiple ..... **160**

**Fig. 75** : Schéma du système de veille proposé pour les terres de parcours du Maroc ..... **164**

**Fig. 76** : Interface cartographique de CGMS-MAROC, avec analyse agrométéorologique sur la composante pastorale ..... **166**

**Fig. 77** : Interface de Google Earth Engine, avec analyse sur tout le Maroc (image MODIS) ..... **167**

## Liste des tableaux

**Tab. 1** : Caractéristiques des principaux capteurs et satellites utiles pour la surveillance des terres de parcours.... **53**

**Tab. 2** : Description de quelques indices de végétation utilisés dans la surveillance des terres de parcours..... **56**

**Tab. 3** : Pluviométrie annuelle moyenne, minimale et maximale des écosystèmes pastoraux du Maroc ..... **84**

**Tab. 4** : Critères d'évaluation des parcours et niveaux d'intensité de dégradation ..... **127**

**Tab. 5** : Les modèles statistiques d'estimation de la phytomasse et leurs précisions..... **154**

**Tab. 6** : Description des indices de végétation utilisés dans l'estimation de la production fourragère des terres de parcours..... **159**

# INTRODUCTION







# Introduction

Les zones arides et semi-arides couvrent plus que 40% de la surface totale des terres du globe. Dans ces vastes environnements, où le climat et le sol sont très défavorables à l'agriculture, les terres de parcours jouent un rôle fondamental du point de vue environnemental, agronomique et socio-économique. Du point de vue environnemental, les terres de parcours protègent le reste des terres de la désertification, par leur couverture végétale, et participent à lutter contre l'effet de serre occasionné par la séquestration du dioxyde de carbone. Elles constituent un habitat pour la faune sauvage et la flore et agissent en tant que lignes de partage pour de grands fleuves. Les terres de parcours abritent une flore riche, comprend des plantes médicinales et aromatiques, et constitue une banque de gènes *in situ* pour les plantes cultivées. Du point de vue agronomique, les parcours sont la ressource d'alimentation principale pour le bétail dans les systèmes d'élevage extensif, dans plusieurs régions du monde, notamment dans les pays en voie de développement. Économiquement, ils fournissent des produits et services essentiels, notamment le bois de feu aux populations locales et constituent des zones de prédilection pour l'écotourisme.

Au Maroc, la plupart des terres de parcours, ou de pâturages naturels, se trouvent dans des zones arides et semi-arides, où existe une végétation naturelle ou semi-naturelle composées de steppes, arbustes, et prairies utilisées essentiellement pour la production animale. Les espaces pastoraux marocains contribuent significativement à la sécurité alimentaire du pays, à travers leurs apports fourragers. Ils offrent des moyens de subsistance à des milliers de personnes et protègent le pays de la désertification. Dans ces terres de parcours se développe une végétation très diversifiée qui constitue un vrai patrimoine floristique. Elles sont caractérisées par une richesse floristique comptant plus de 4000 espèces et sous-





espèces et comprend des plantes médicinales et des germoplasmes pour les plantes cultivées. Malheureusement, ces terres connaissent une dégradation avancée et une disparition des meilleures espèces pastorales, en raison de l'action conjointe du changement climatique (sécheresses récurrentes) et des actions anthropiques irrationnelles (surpâturage, mises en culture à grande échelle, défrichement...). Les mutations récentes dans le mode de fonctionnement des sociétés pastorales (changement climatique et évolutions socio-économiques et politiques), ont eu pour conséquence l'abandon progressif des règles traditionnelles d'usage des parcours. Les systèmes d'élevage autrefois extensifs et basés sur l'exploitation collective et sur la mobilité des troupeaux sont devenus, actuellement, plus intensifs avec une tendance manifeste à la sédentarisation et l'individualisation de l'utilisation des terres de parcours. Ces transformations dans les modes d'utilisation de l'espace pastoral ont accéléré le processus de fragmentation et de dégradation de ces écosystèmes.

Au Maroc, les méthodes utilisées pour la réhabilitation et la restauration de ces terres de parcours incluent la plantation des arbustes, la mise en repos, le re-semis, la collecte des eaux pluviales, la scarification des sols pour casser la croûte et permettre le semis, la collecte des semences pastorales et leur multiplication et la gestion du pâturage. Elles reposent sur l'état des données actuelles et fragmentées des terres de parcours, et sans tenir compte des changements à long terme. Elles se heurtent donc à une insuffisance d'information précise sur la dynamique réelle des espaces pastoraux, pour anticiper les changements.

Une surveillance des terres de parcours est fondamentale pour fournir aux décideurs un outil opérationnel adapté au suivi spatio-temporel des ressources pastorales. Elle pourrait constituer une aide précieuse pour cibler les actions de gestion et de réhabilitation de ces terres de parcours.

Les méthodes conventionnelles de surveillance des terres de parcours ne sont plus adaptées à l'échelle spatiale des terres de parcours. Leurs temps de réponse sont peu compatibles avec la vitesse des changements et sont souvent longues à réaliser, compliquées à archiver et à diffuser, et leur mise à jour est une opération lourde et très coûteuse.

Le progrès technologique dans le domaine de la télédétection spatiale, avec le lancement de nouvelles générations de satellites et la gratuité des images satellitaires offerte par de nombreux programmes internationaux, ouvrent de nouvelles perspectives pour une gestion intelligente des terres de parcours au Maroc. La surveillance des terres de parcours nécessite donc une approche spécifique intégrant plusieurs sources d'informations telles que la géomatique, les données biophysiques de terrain et les données climatiques.

En effet, en se référant aux résultats de recherche au Maroc et ailleurs, la conception et la mise en place d'un système opérationnel de surveillance des terres de parcours peut servir à définir une stratégie d'aménagement et de gestion des espaces pastoraux. Un système rendu possible actuellement au Maroc et pourrait permettre de cibler les actions de gestion et de réhabilitation des terres de parcours et pourrait constituer une aide précieuse à la lutte contre la désertification des terres de parcours du pays.

Cet ouvrage relate les recherches en suivi des terres de parcours au Maroc, menées à l'Institut National de la Recherche Agronomique. Il a bénéficié des résultats de recherche de plusieurs années et des contributions de scientifiques et gestionnaires des terres de parcours.

Ce livre est une ressource documentaire qui va fournir aux scientifiques les informations nécessaires pour la surveillance des terres de parcours. Les gestionnaires des terres de parcours trouveront également cet ouvrage utile pour leur travail.

L'ouvrage traite des techniques de mesure sur le terrain et de détection à distance pour la surveillance des terres de parcours. Il se compose de 11 parties réparties dans les 11 chapitres ci-après.

Le **chapitre 1** décrit la notion de surveillance des terres de parcours au Maroc. Les principes et les concepts de base qui se rapportent au suivi des parcours et à la façon dont ils s'inscrivent dans la planification de la gestion et le processus décisionnel sur les terres de parcours.

Le **chapitre 2** décrit l'importance des mesures de terrain comme outils de surveillance des terres de parcours. Le choix des meilleurs paramètres à mesurer et des techniques de mesure pour atteindre les objectifs en fonction des ressources disponibles. Les paramètres et les méthodes recommandés sont indiqués, ainsi que les types de végétation auxquels ils s'appliquent. Les méthodes de collecte des données de terrain nécessaires sont largement référencées afin que l'utilisateur puisse commencer soit avec un objectif, un attribut, soit avec une méthode, et être dirigé vers les autres parties.

Le **chapitre 3** décrit la géomatique comme outil de surveillance des terres de parcours au Maroc. Elle fournit des informations utiles sur les méthodes de géomatique pour mieux répondre aux questions ou objectifs de suivi des terres de parcours. C'est la première étape des utilisateurs dans la sélection des protocoles de surveillance en fournissant des informations sur les nouvelles méthodes, les points forts et les limites dans le suivi des terres de parcours. Ces informations permettent de concentrer les recherches sur une gamme limitée de techniques. Il est essentiel de comprendre la conception des approches de surveillance, et d'interpréter les données obtenues comme base pour les décisions de gestion.



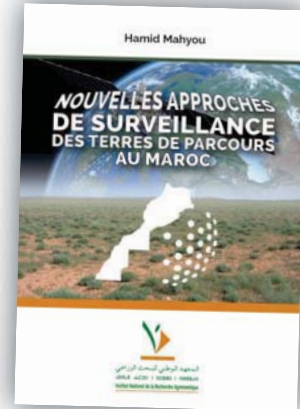
DIVISION DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION  
INRA ÉDITIONS 2022

Tél. : +212 53 777 98 06 - Fax : +212 53 777 98 07

Dépôt Légal : 2022MO3629  
ISBN : 978-9920-787-19-2

Cet ouvrage est la quintessence de plusieurs années de recherche et de travaux originaux en matière de surveillance des terres de parcours au Maroc. Il présente les méthodes de mesures de terrains les plus appropriées, les approches et outils modernes, particulièrement la télédétection spatiale, les systèmes d'information géographique et la modélisation, nécessaires pour la surveillance des terres de parcours.

Cet ouvrage s'adresse aux spécialistes, et particulièrement aux scientifiques, aux étudiants et aux gestionnaires chargés de la surveillance et la gestion des terres de parcours. Il est conçu pour servir de socle à une approche intégrée pour la mise en œuvre d'un système de surveillance des terres de parcours au Maroc.



A PROPOS  
DE L'AUTEUR

Dr **Hamid MAHYOU** est titulaire d'un Doctorat en sciences de l'Université de Liège en Belgique et d'un diplôme d'Ingénieur d'état en Agronomie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II au Maroc. Il est actuellement le Chef du Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Oujda.

Dr MaHYOU a une expérience de plus de 25 ans dans le domaine de la géomatique appliquée à l'agriculture en générale et aux terres de parcours en particulier. Il mène des activités de recherche sur le changement climatique, la prévision des sécheresses, le suivi de la désertification, et la prévision de la production des terres de parcours. Il est auteur et co-auteurs de nombreuses publications et communications scientifiques.



المعهد الوطني للبحث الزراعي  
 ٠٥٤١٠٨ | ٠٤٤٣٠ | ٠٥٥٣٣ | ٠٥١٣١٠٨  
 Institut National de la Recherche Agronomique

