

PROGRAMME D'ACTION POUR LA LUTTE CONTRE LA SECHERESSE ET LA DESERTIFICATION

Indications des zones vulnérables dans la région
de Puglia

Version originale de Luca Montanarella, Roberto Paracchini et Ezio Rusco

Version française de Sidonie Christophe



Regione PUGLIA
Settore Programmazione
Ufficio Informatico e Servizio Cartografico



**PROGRAMME D'ACTION POUR LA LUTTE CONTRE LA
SECHERESSE ET LA DESERTIFICATION**

Indications des zones vulnérables de la région de Puglia

AVERTISSEMENT

Ni la Commission Européenne, ni aucune personne agissant au nom de la Commission n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations ci-après.

Table des matières

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	4
LA CONTRIBUTION DE LA COMMISSION EUROPÉENNE POUR LA LUTTE CONTRE LA DÉSERTIFICATION DANS LES RÉGIONS MÉDITERRANÉENNE.....	4
LES INDICATEURS CLÉS DE LA DÉSERTIFICATION AU NIVEAU RÉGIONAL.....	5
<i>Qualité du sol</i>	6
<i>Qualité du climat</i>	9
<i>Qualité de la végétation</i>	18
<i>Qualité de l'exploitation et des facteurs humains</i>	20
DÉFINITION DES ZONES À RISQUE DE DÉSERTIFICATION (ESA)	23
RÉSULTATS OBTENUS AVEC L'APPLICATION INTÉGRALE DE LA MÉTHODOLOGIE MEDALUS ...	24
MODIFICATIONS APPORTÉES À LA MÉTHODOLOGIE MEDALUS	25
COMPARAISONS ENTRE LES DIFFÉRENTES MÉTHODOLOGIES ADOPTÉES	27
BIBLIOGRAPHIE	32

Objectifs de l'étude

L'objectif principal du travail présenté ici est l'identification des zones sensibles à la désertification dans la région de Puglia.

L'étude est étroitement liée à la délibération du Comité Interministériel pour la Programmation Economique du 21 Décembre 1999, s'intéressant au Programme National pour la lutte contre la sécheresse et la désertification (Délibération n.299/99).

La Délibération a déclaré comme première nécessité, « [...] l'adoption de mesures à long terme, de lutte contre la désertification, garantissant une protection intégrale des ressources en sol, en eau et en air et en même temps, permettant et favorisant un développement des activités socio-économiques compatibles avec la protection de l'environnement [...] ».

Le rassemblement des données et la réalisation d'une carte des zones majoritairement exposées à la désertification dans la région de Puglia proviennent de cette nécessité.

Ce travail est ensuite un support à la région de Puglia afin d'adopter des méthodologies standards valables pour la prévention et l'atténuation du phénomène de désertification dans les « zones vulnérables ».

Enfin, cette étude se veut être un point de départ pour la recherche des causes et des processus de désertification et un premier pas dans l'analyse des évolutions temporelle et spatiale du phénomène dans la région de Puglia.

La contribution de la Commission Européenne pour la lutte contre la désertification dans les régions méditerranéenne

Actuellement, il est amplement reconnu que la lutte contre la désertification est nécessaire, non seulement dans les régions considérées comme de vastes déserts, mais aussi dans la région méditerranéenne. Pour les Etats membres de l'Union Européenne se trouvant au bord de la Méditerranéenne, la dégradation des terrains est devenue un problème capital. Deux-tiers de l'Espagne, les régions de l'Algarve et de l'Alentejo au sud du Portugal, le Mezzogiorno en Italie, la majeure partie des grandes îles grecques et la Corse sont ainsi menacés d'un risque de désertification.

Ce problème économique, social et environnemental, étroitement lié au sol, à la couverture végétale et à l'utilisation des réserves en eau et à leur évolution, est une véritable menace non seulement pour la biodiversité, comprenant les habitats naturels, mais aussi pour la durabilité des systèmes de production nécessaires à l'homme.

La complexité du problème, due à son caractère multidisciplinaire, implique une planification appropriée, des actions concrètes et une approche administrative (gestionnaire) intégrée. La lutte contre la désertification sera un processus à long terme; il est cependant actuellement nécessaire d'avoir une action rapide et urgente.

Les programmes et l'activité de la Commission Européenne s'intéressent à l'identification du problème, à la compréhension des interactions et des causes, à la définition des mesures appropriées à adopter, et fournissent un soutien économique nécessaire pour aider les initiatives nationales et régionales.

La complexité des facteurs physiques et socio-économiques causant la dégradation des territoires du nord de la Méditerranée demande une recherche scientifique approfondie. Bien que la Commission Européenne soutient un programme de recherche relatif à la désertification et réalise des études dans cette partie de la Méditerranée, à travers le Centre de Recherche de Ispra, les activités de recherches sont devenues plus multidisciplinaires, en ce qui concerne l'approche du changement climatique, de la biodiversité et des conditions forestières.

Caractérisée par des conditions climatiques spécifiques, un écosystème particulier et sensible, et la présence de l'homme depuis très longtemps, la région méditerranéenne souffre ainsi progressivement de la dégradation et de la désertification, qui sont la conséquence d'une série de processus interdépendants. La Commission Européenne a donc décidé de délimiter une zone spécifique de recherche, à l'intérieur de son programme d'étude.

Le Quatrième Programme Cadre de Recherche (Environnement 91-94 et Environnement et Climat 94-98) a identifié la désertification de la Méditerranée comme une priorité. Environ 55 projets multidisciplinaires de recherche ont été entrepris de 1991 à 1998. Ces projets se sont intéressés à la compréhension globale de la genèse complexe et de l'évolution de la désertification. Des méthodologies ont ainsi été développées pour identifier les aires sensibles, mais aussi pour définir des indicateurs utiles afin de répondre aux problèmes posés aux échelles temporelle et spatiale, et finalement afin de proposer des concepts de surveillance et de gestion de ces aires.

Le Cinquième Programme Cadre (1998-2002) suit le développement de telles initiatives à l'intérieur du Programme de Développement Durable pour un Nouvel Environnement. Une action clé de ce programme s'intéresse au Changement Global, au Climat et à la Biodiversité. Un exemple de ce projet de recherche est le Projet MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use), qui adopte une approche multidisciplinaire pour l'étude du phénomène de désertification.

Lancé en 1991, le projet MEDALUS s'est développé en trois phases et s'est terminé en Juin 1999. Ce projet a combiné les différentes compétences européennes en matière de recherche sur le changement climatique, l'approvisionnement en eau, les processus dans les paysages semi-arides, la croissance de la végétation, les changements socio-économiques, etc, en reliant le tout par la modélisation mathématique en vue d'estimer la sensibilité de régions spécifiques par rapport aux causes de la désertification et de développer des systèmes pour les aider à les atténuer.

Dans le contexte du projet, l'attention est revenue principalement à l'environnement de la Méditerranée où la perte physique en sol, cause de l'érosion hydrique, et la perte conséquente en éléments nutritifs sont les problèmes dominants.

Le projet cherche à expliquer quels sont les indicateurs de désertification et à démontrer l'utilisation d'une méthodologie uniforme et d'un objectif scientifique basé sur une grande échelle, la région elle-même, où le risque de désertification est plus grand. Ces indicateurs régionaux devront être basés sur le matériel disponible, images satellites incluses, les données topographiques (cartes et MNT), les données climatiques et géologiques du terrain, et tous les systèmes d'exploitation des sols en ce qui concerne les impacts socio-économiques.

Les indicateurs clés de la désertification au niveau régional

La désertification est la conséquence d'une série de processus importants de dégradation du sol, et tout particulièrement dans les zones où l'eau est le facteur limitant principal du rendement du sol-même.

Au niveau régional, des indicateurs peuvent être utilisés pour l'estimation de la capacité du sol à résister au processus de dégradation ou bien pour l'évaluation de l'aptitude du sol à supporter des utilisations spécifiques.

De tels indicateurs peuvent être subdivisés en quatre catégories qui définissent la qualité du sol, la qualité du climat, la qualité de la végétation et la qualité de l'exploitation. Ces approches intègrent des paramètres qui peuvent être facilement trouvés dans les relations existantes sur le sol, sur la végétation et sur le climat.

Qualité du sol

Le sol est un facteur dominant des écosystèmes terrestres dans les zones semi-arides et sub-humides, particulièrement à travers son effet sur la production de biomasse.

La désertification se développe dans un terrain, quand le sol n'est pas capable d'offrir aux plantes une zone d'attachement et/ou un approvisionnement en eau et en nutriments.

Dans les zones semi-arides et sub-humides, le terrain devient irréversiblement désertique quand la profondeur en sol utile pour l'attachement n'est pas suffisante pour soutenir une couverture végétale minimale.

Les indicateurs de la qualité du sol peuvent être mesurés en relation avec la disponibilité en eau et avec la résistance à l'érosion. Ces qualités peuvent être évaluées en utilisant des propriétés simples du sol comme la profondeur, la texture, le drainage, la roche-mère, l'indice de pente et la pierrosité.

Les caractéristiques pédologiques des sols de la région de Puglia sont tirées de la légende de la *Carta delle Unità di paesaggio* à l'échelle 1:100.000, réalisée dans le cadre de la première phase du projet ACLA1 (Caractérisation agro-écologique de la région de Puglia en fonction de ses potentialités de production).

Selon ce qui est proposé par Medalus, les classes de texture des particules du sol inférieures à 2 mm, de la roche-mère non consolidée ou de la roche-mère à 1,5 m (si le sol s'est développé en profondeur), sont données en utilisant la classification USDA.

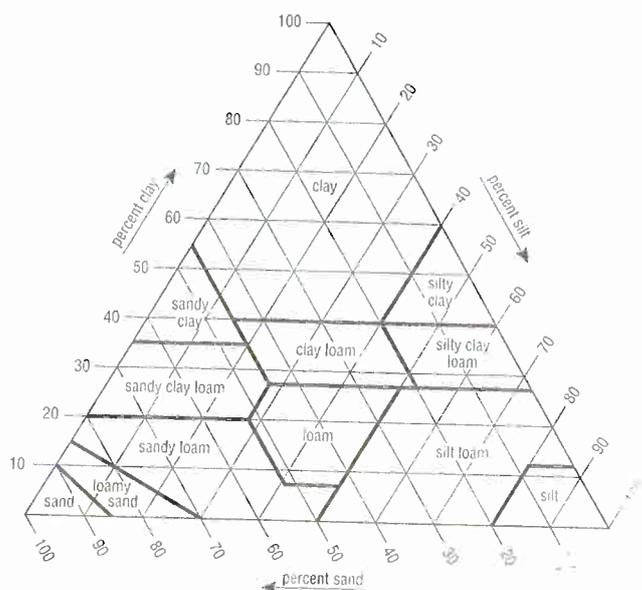


Figure 1. Classification des textures avec le triangle USDA (NdT : clay=argile, silt=limon, sand=sable)

Le tableau suivant présente les différents groupes textures :

Symbole	Description	Classe texturale
Y	Très argileuse	$\geq 60\%$ argile
C	Argileuse	$35\% \leq \text{argile} \leq 60\%$
L	Moyenne	$< 35\%$ argile et $< 15\%$ sable
S	Sableuse	$18\% \leq \text{argile} < 35\%$ et 15% sable ou $\leq 18\%$ argile et $15\% \leq \text{sable} < 65\%$
X	Extrêmement sableuse	$\leq 18\%$ argile et $> 65\%$ sable

Tableau 1. Classes texturales en accord avec la capacité de rétention en eau.

La roche-mère est définie en utilisant la carte géologique des zones d'étude. Les divers types de roche-mère sont regroupés dans les classes suivantes, en accord avec leur pétrologie et les compositions minéralogiques et sur la base de leur sensibilité à la désertification :

Classe principale	Groupe	Type
Roches plutoniques	Plutoniques acides	Granite, Granodiorite, Quarzodiorite, Riolite, Piroclastite.
	Plutoniques basiques	Gabbro, Basalte, Dolerite.
	Plutoniques ultrabasiqes	Péridotite, Pirossenite, Serpentinite, Roche riche en minéral de fer.

Classe principale	Groupe	Type
Roches métamorphiques	Métamorphiques acides	Quartzite, Gneiss, Ardoise, Fillade.
	Métamorphiques basiques	Schiste, Gneiss riche en ferromagnésiens, Marbre.
Roches sédimentaires	Sédimentaires clastiques	Conglomérat, Grès, Siltite, Mudstone, Argile, Calcaire, Marne.
Roches non consolidées		Dépôts fluviaux, lacustres, marins et colluviaux.

Tableau 2. Classes principales de roches-mère consolidée et non-consolidée.

La profondeur du sol est définie par les classes suivantes : très peu profonde (<15 cm), peu profonde (15-30 cm), modérément profonde (30-75 cm) et profonde (>75 cm).

L'indice de pente est décrit en utilisant la carte topographique à l'échelle appropriée. Les classes dominantes de pente suivantes ont été distinguées : <6 %, 6-18 %, 18-35 % et >35 %.

Les conditions de drainage sont définies par la profondeur de la présence d'hydromorphie, sous la forme de traces de fer ou de manganèse ou de couleurs grises, et par la profondeur de la nappe d'eau. Les classes suivantes de drainage ont été distinguées :

a) Sols très bien ou bien drainés. Ce sont des sols avec des traces de Fe ou de Mn ou de couleurs grises à une profondeur supérieure à 100 cm de la superficie. Le sol n'est pas assez humide près de la surface ou le sol ne reste pas humide pendant la période de croissance des végétaux. L'eau est rapidement évacuée du sol.

b) Sols de modérément drainés à quelques cas de drainage pauvre. Fe, Mn ou traces grises sont présentes dans le sol, à une profondeur comprise entre 30 et 100 cm de la surface. Le sol est assez humide près de la surface ou le sol reste humide durant la croissance primaire des végétaux. L'eau est évacuée lentement du sol.

c) Sols peu ou très peu drainés. Traces de Fe et Mn sont présentes dans les premiers 30 cm du sol et la couleur grise typique des conditions réductrices est présente. Une nappe aquifère permanente existe seulement à une profondeur supérieure à 75 cm. Dans quelques uns de ces sols, la nappe d'eau peut rejoindre la surface pendant la période humide de l'année. L'eau est évacuée du sol si lentement que les sols restent humides en surface pendant de longues périodes.

Les fragments de roche (> 6 mm) à la surface du sol sont définis, selon le pourcentage de couverture, en trois classes : >6 %, 20-60 % et < 20 %.

TEXTURE

Classe	Description	Texture	Indice
1	Bonne	Moyenne et sableuse	1
2	Modérée	argilo-sableuse, limoneuse et moyenne	1.2
3	Pauvre	Argileuse et argilo-limoneuse	1.6
4	Très pauvre	Très sableuse	2

PENTE

Classe	Description	%	Indice
1	Plat ; un peu ondulé	<6	1
2	Ondulé	6-18	1.2
3	Incliné	18-35	1.5
4	Très Incliné	>35	2

PIERROSITE

Classe	Description	% Pierrosité	Indice
1	Très pierreux	>60	1
2	Pierreux	60-20	1.3
3	Faiblement pierreux	<20	2

DRAINAGE

Classe	Description	Indice
1	Drainage bon	1
2	Drainage imparfait	1.2
3	Drainage insuffisant	2

ROCHE-MERE

Classe	Description	Roche-mère	Indice
1	Bonne	Schiste, Roche basique et ultrabasique, Conglomérat, Roches non consolidées	1.0
2	Modérée	Calcaire, Marbre, Granite, Riolite, Ignimbrite, Gneiss, Grès, Siltite	1.7
3	Pauvre	Marne, Roches pyroclastiques	2.0

PROFONDEUR

Classe	Description	Profondeur	Indice
1	Profond	>75	1
2	Modéré	75-30	2
3	Faible	30-15	3
4	Très faible	<15	4

QUALITE DU SOL

Classe	Description	Intervalle
1	Haute qualité	<1.13
2	Qualité modérée	Da 1.14 a 1.45
3	Basse qualité	>1.46

Tableau 3. Classes et indices des divers paramètres utilisés dans l'évaluation de la qualité des sols.

L'indice de qualité du sol (SQI) est ensuite calculé comme la moyenne géométrique de ses facteurs selon l'algorithme suivant (Belloti et al., 1997 ; Basso et al., 1998a ; Basso et al., 1998b ; Ferrara et al., 1998) :

$$\text{SQI} = (\text{Texture} * \text{Roche-mère} * \text{Pierrosité} * \text{Profondeur} * \text{Indice de pente} * \text{Drainage})^{1/6}$$

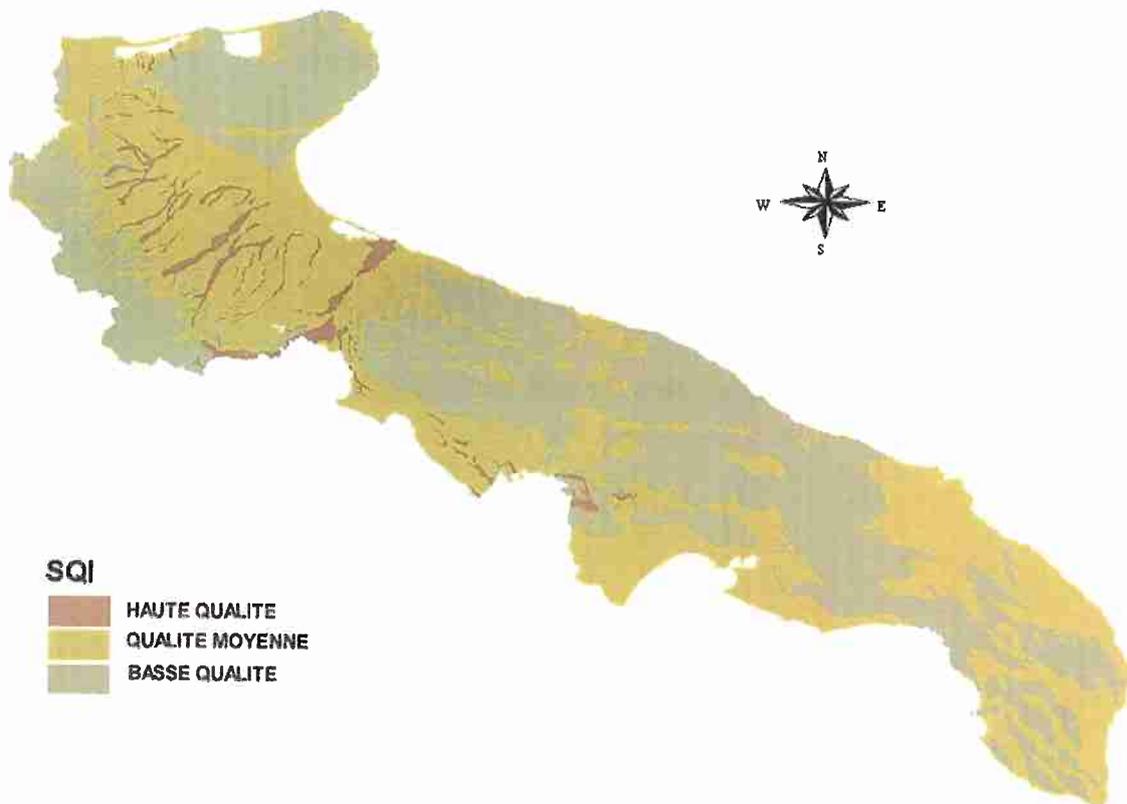


Figure 2. Carte de la qualité du sol dans la région Puglia, relative au risque de désertification.

Qualité du climat

La distribution irrégulière des précipitations pendant l'année, la fréquence des événements extrêmes et la nature irrégulière des saisons végétatives et de la pluie dans les zones semi-arides et arides de la Méditerranée sont les facteurs principaux qui contribuent à la dégradation du territoire.

Les conditions atmosphériques qui caractérisent un climat désertique sont celles qui créent un déficit important en eau, c'est-à-dire où l'évapotranspiration (ETP) est plus grande que les précipitations (P).

Ces conditions sont estimées par divers indices. Par exemple, l'indice bioclimatique FAO-UNESCO (1977) : P/ETP . Les aires sensibles à la désertification peuvent être subdivisée suivant ces catégories :

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| a) Zones arides | $0.03 < P/ETP < 0.20$ |
| b) Zones semi-arides | $0.20 < P/ETP < 0.50$ |
| c) Zones sub-humides | $0.50 < P/ETP < 0.75$ |

A l'égard des évolutions pédogénétiques et plus encore en ce qui concerne le développement végétal, un des facteurs limitants les plus importants est représenté par l'aridité qui se prolonge pendant une période plus ou moins longue de l'année. Pour évaluer le degré d'aridité, il est nécessaire de connaître non seulement la quantité des précipitations, mais aussi la température et l'importance de l'évapotranspiration, étant donné qu'une quantité de précipitation non déterminée n'est pas accompagnée de hautes températures dans ces conditions d'aridité.

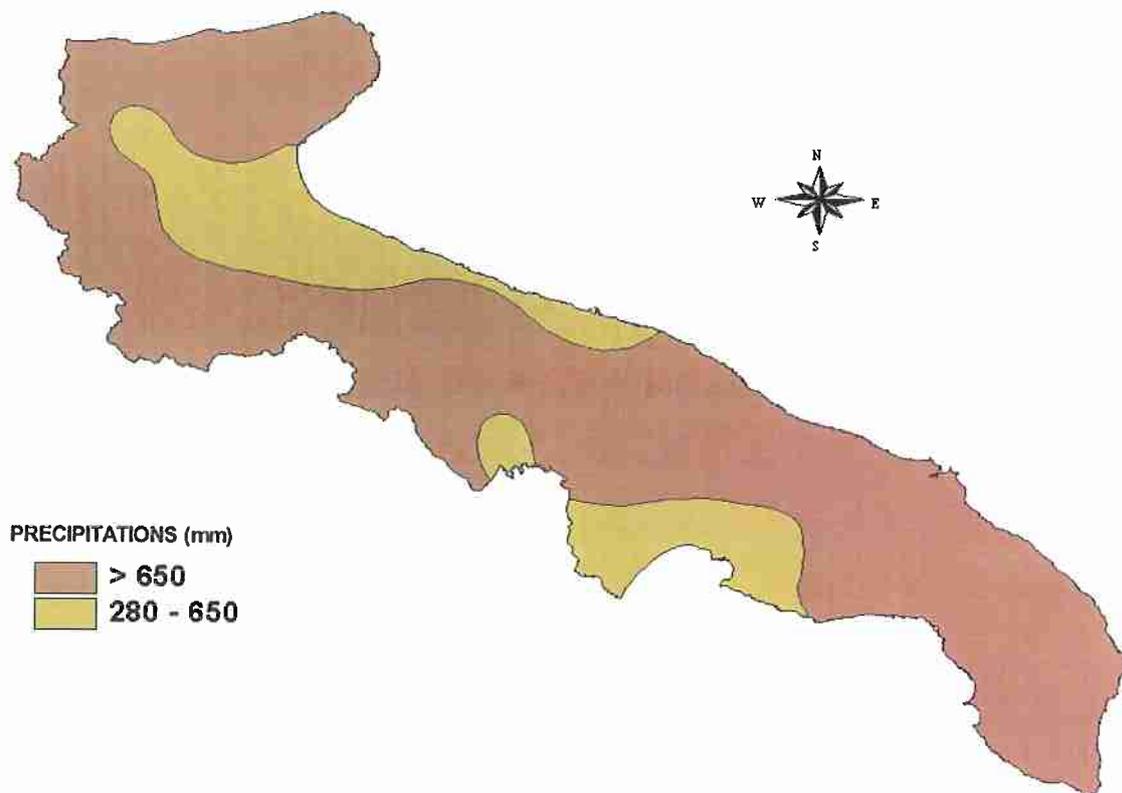


Figure 3. Distribution des précipitations dans la région de Puglia en tenant compte de la classification de Medalus (voir tableau 4).

Dans un premier essai, pour la région de Puglia, deux choix ont été faits entre les expressions les plus significatives de l'indice de l'aridité, c'est-à-dire celles de Lang et de De Martonne.

Le premier a mesuré la pluviosité annuelle moyenne avec la température et a défini le rapport « facteur de pluviométrie » :

$$F = P/T$$

Avec f = facteur de pluviométrie de Lang, P = valeur totale annuelle des précipitations (mm) et T = valeur de la température moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$).

Successivement De Martonne a proposé quelques expressions de l'indice d'aridité qui tendent à préciser ce qui n'est pas contenu dans le facteur de pluviométrie, surtout par rapport aux quantités spécifiques de la température et des précipitations, réduites chez Lang à un seul rapport réciproque, par lequel, des localités différentes par leurs valeurs de T et de P peuvent présenter le même facteur de pluviométrie.

Les formules de l'indice d'aridité ont été développés en relation soit avec une période annuelle (A) soit mensuelle (a), comme rapporté ci-dessous :

$$A = P/(T+10)$$

$$a = 12 p/(t+10)$$

(A , a = indices d'aridité ; P , p = précipitations ; T , t = température)

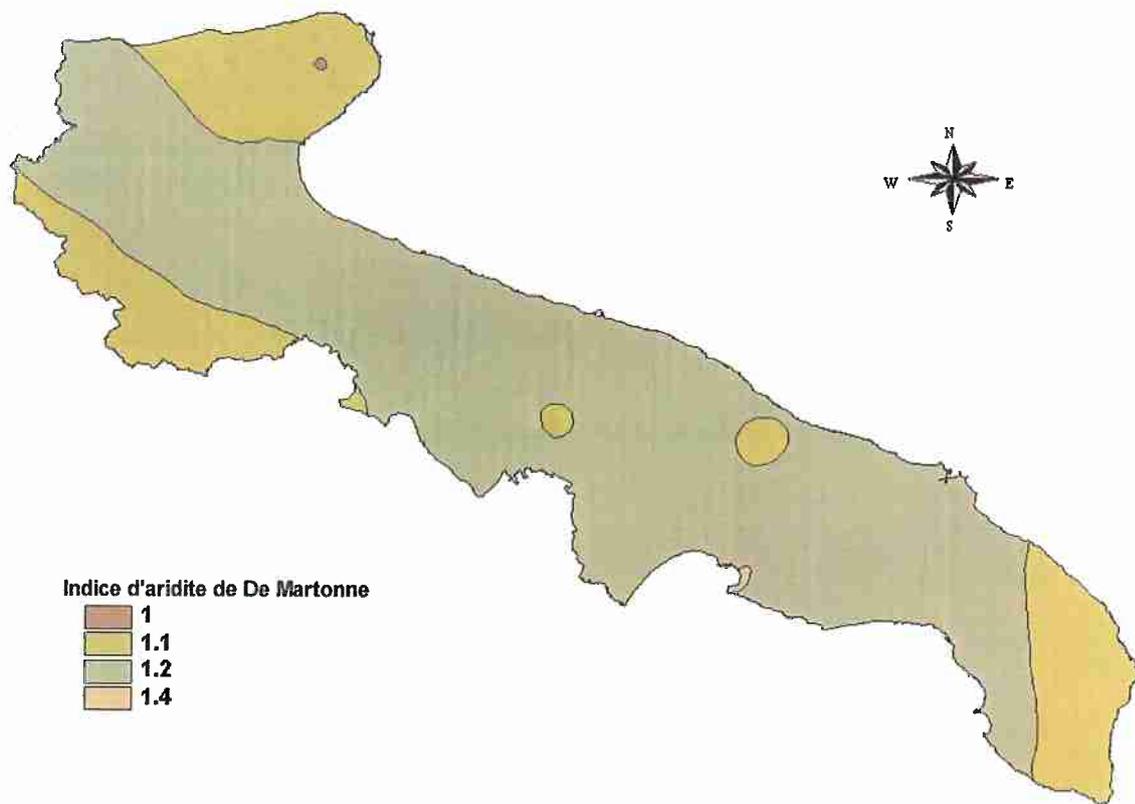


Figure 4. Carte des indices d'aridité calculés avec la formule de De Martonne. Les valeurs en légende sont ramenées à celles du tableau 4 où la classification du facteur « Aridité » est comparée l'indice de Bagnouls-Gaussen.

La carte obtenue, en considérant l'indice de De Martonne montre une différenciation spatiale insuffisante des valeurs (une vaste zone avec la valeur 1.2 est en effet reconnaissable et s'étend sur la quasi-totalité de la région Puglia) ; ceci entraîne un résultat trop générique et approximatif lors du calcul de la qualité du climat.

Un autre essai de régionalisation de la donnée climatique de l'aridité a été effectué, en spatialisant les valeurs de l'indice de Bagnouls-Gaussen des stations météorologiques de Puglia.

Le concept de l'indice de l'aridité bioclimatique de Bagnouls-Gaussen peut être utilisé pour déterminer l'indice d'aridité à partir de données météo facilement disponibles. L'indice (BGI) est défini ainsi :

$$BGI = \sum_i (2T_i - P_i) k$$

Où T_i est la température moyenne pour un i mois i en $^{\circ}C$, P_i est le total des précipitations pour i mois i en mm et k représente la proportion de mois durant lesquels $(2T_i - P_i) > 0$.



Figure 5. Carte des indices d'aridité calculés avec la formule de Bagnouls-Gaussien. Les valeurs de BGI des stations météorologiques font référence celles du tableau 4.

La spatialisation supérieure des données de la carte de la figure 3 entraîne un calcul plus détaillé de l'indice de la qualité climatique.

Les applications des indices d'aridité (facteur pluviométrique de Lang, De Martonne, Bagnouls-Gaussien) pour la définition du CQI n'ont pas fourni les données espérées. D'autres voies ont été tentées, visant à avoir une meilleure identification du CQI. A partir de la supposition que la mesure de l'aridité d'une station devrait être étroitement liée avec le déficit hydrique de la station même, les bilans hydriques pour les stations thermopluviométriques de Puglia, présentés dans la base de données CORINE Erosion, ont été calculés.

Les bilans hydriques ont été rédigés pour chaque station et pour différentes valeurs de AWC (Available Water Capacity). L'AWC est étroitement influencée par la topologie du sol et par les formules de calcul de ces paramètres, ou l'application des règles de pédotransfert, si elle est choisie pour l'assignation des valeurs standards de AWC.

Il est inutile de signaler que la définition et la spatialisation du paramètre AWC sera possible plus tard, ou quand les cartes pédologiques à l'échelle appropriée seront disponibles, avec des caractérisations bien définies des Unités Cartographiques pour la typologie du sol.

Les valeurs de AWC utilisées pour la rédaction des bilans hydriques sont : 200 mm, 100 mm, 75 mm, 50 mm, 25 mm. La méthode utilisée pour la définition du bilan hydrique est celle de Billaux qui calcule l'évapotranspiration (PE = potential evapotranspiration) sur la base de la formule de Thorntwaite-Mather.

L'application des autres modèles pour le calcul du bilan hydrique, comme le Newhall Method System a été abandonnée car les résultats fournis ne sont valables qu'uniquement pour l'AWC standard de 200 mm.

Le déficit hydrique calculé avec le bilan et le déficit réel, et non potentiel, est calculé sur la base de l'évaporation réelle (AE = actual evapotranspiration). Evidemment quand les précipitations (P = précipitation) sont supérieures à l'ETP, la AE coïncide avec l'ETP même.

La table relative aux résultats et un exemple du modèle adopté pour le bilan hydrique sont présentés dans les pages suivantes.

Stations	PD	D200	g200	D100	g100	D75	g75	D50	g50	D25	g25
BARI (Observatoire)	30	326	127	406	151	430	156	455	165	480	174
ALTAMURA	29	269	112	349	139	373	143	398	149	423	165
LOCOROTONDO	30	241	91	318	124	341	131	366	133	391	138
LECCE (Observatoire)	30	341	112	427	136	451	140	476	151	501	153
MONTELEONE	30	130	5	187	86	208	93	232	104	256	110
CRISPIANO	30	307	113	391	138	415	142	440	150	465	160
FOGGIA	27	370	139	432	160	456	161	481	168	506	173
CASTELLANA GROTTA	30	284	110	365	137	390	141	414	148	439	165
VIESTE	30	382	136	471	155	495	161	520	168	545	180
S.SEVERO	23	333	125	419	148	443	151	468	161	493	170
CERIGNOLA	29	360	135	434	157	459	158	484	163	509	171
ANDRIA	30	274	122	354	148	378	150	403	155	428	164
LATIANO	26	307	111	390	137	415	141	439	150	464	164
MANDURIA	24	318	112	402	136	427	140	452	147	477	162
RUVO DI PUGLIA	27	348	130	435	142	459	141	484	142	509	143
BRINDISI	29	336	124	421	149	446	154	471	164	496	173
OTRANTO	29	309	94	392	117	416	120	441	127	466	135
S. MARIA DI LEUCA	30	249	112	436	138	461	145	486	159	511	164
MONTE S. ANGELO	30	167	55	232	108	254	117	278	121	303	129
SPINAZZOLA	26	256	103	334	129	358	136	383	141	408	158
SERRACAPRIOLA	27	271	107	351	135	375	139	400	157	425	160

PD= période de référence en année

D200= déficit en mm pour AWC de 200 mm

g200= déficit en jours pour AWC de 200 mm

DONNEES CLIMATIQUES ET BILAN HYDRIQUE (Thornthwaite-Mather)

STATION DE RELEVÉ : **BARI (Observatoire)** CODE **3123**
 LATITUDE : **41,07** REF.
 RESERVE HYDRIQUE UTILE **200** QUOTA (m slm) **12**
 mm :
 COEFFICIENT D' ECOULEMENT: **0,5**

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANNEE
T	8,6	9,2	11,1	14,3	18,0	22,4	24,8	24,5	22,0	17,9	14,0	10,3	16,4
It	2,3	2,5	3,3	4,9	7,0	9,7	11,3	11,1	9,4	6,9	4,8	3,0	76,1
K	0,8	0,8	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	
P	58	49	46	35	28	20	9	22	44	64	75	76	526
PE	16	18	31	52	87	127	153	140	102	66	37	21	852
P-PE	42	31	15	-17	-59	-107	-144	-118	-58	-2	38	55	-326
AWL	0	0	0	-17	-76	-183	-327	-445	-503	-505	0	0	-505
ST	150	181	195	184	137	80	39	22	16	16	54	108	
CST	42	31	15	-12	-47	-57	-41	-17	-5	0	38	55	
AE	16	18	31	47	75	77	50	39	49	64	37	21	526
D				5	12	51	103	101	52	2			326
S	0	0	0								0	0	0
RO	0	0	0								0	0	
TMD	150	181	195	184	137	80	39	22	16	16	54	108	

Classification du Climat selon Thornthwaite

Indice d'aridité	la=	38	Type de climat	D - semiaride
Indice d'humidité	lh=	0		B'2 -Secondo mesotermico
Indice d'humidité globale	lm =	-38		#N/A
			b'4	conc.estiva efficienza termica: 49%

Classification du Climat selon Köppen

Groupe principal: **BS** Climat sec (steppe)
 Sous-groupe: **BSk** steppe de latitude moyenne

Zone fitoclimatique selon Pavari

Zonefitoclimatica: **Lauretum**
 Sous-zone: **a) sous-zone chaude**
 Type: **Avec sécheresse estivale**

Indice climatique

Facteur de pluviométrie de Lang: **32** Regions arides : terre salse
 Indice d'aridité de De Martonne: **20** climat semi-aride; écoulement hydrique définitivement endoreico
 Indice di Emberger: **97,21**

Classification des régimes de température et de l'humidité selon la Soil Taxonomy (USDA)

Régime de l'humidité (Billaux): **Xeric**
 Régime de température: **Thermic**

Les données du déficit hydrique en mm et en jours, pour lesquels la section de contrôle¹, définie dans Soil Taxonomy, devient complètement sèche, ont été élaborées pour pouvoir les insérer à l'intérieur des équations de définition du Climate Quality Index (CQI). Pour obtenir un tel résultat, les conditions suivantes ont été respectées :

- « classer » les données en 6 classes comme l'indice de Bagnouls-Gausson fourni par la méthodologie officielle du projet Medalus.
- maintenir les invariances et les poids assignés à chaque classe de l'indice de Bagnouls-Gausson.

Un autre problème se présente lors du choix de l'unité de mesure de l'expression de la donnée de déficit hydrique. On peut utiliser les mm ou bien les jours. Si on choisit les jours comme unité de mesure du déficit hydrique, il faut assigner une meilleure définition aux classes et aux poids.

La table suivante fournit la subdivision en classes de déficit hydrique exprimé en jours.

Classe	Jours de déficit hydrique	Valeur attribuée
1	95-105	1
2	106-120	1.1
3	121-135	1.2
4	136-150	1.4
5	151-165	1.8
6	161-175	2

Les données ainsi définies ont été spatialisées. On est ensuite passé des données spatialisées au calcul du CQI. Des essais de calculs du CQI ont été effectués pour toutes les classes de déficit hydrique exprimé en jours (200, 100, 75, 50, 25 mm ; voir figure 8).

Comme on pouvait le supposer, en utilisant les classes extrêmes de AWC et les déficits hydriques déduits (en jours) pour le calcul du CQI, on obtient des résultats, en terme de ESA, une fois la donnée CQI insérée avec les autres paramètres, excessivement déséquilibrés dans un sens (zone critique) ou dans un autre (zone non concernée par la désertification).

En conséquence de ces considérations, les ESA ont été définis en utilisant un CQI qui prend en compte le paramètre « aridité », en utilisant les données de déficit hydrique exprimées en jours, déduits du calcul du bilan hydrique, avec des AWC de 100 et 75 mm.

La figure suivante indique la définition des ESA à l'aide de différents CQI définis pour des AWC de 200-100-75-50-25 mm.

¹ La section de contrôle, comme définie dans Soil Taxonomy, a sa limite supérieure indiquée comme "la limite inférieure atteinte par le front d'humidité provoqué par des précipitations de 25mm en 24 heures" ; la limite inférieure est « la limite plus profonde atteinte par le front d'humidité provoqué par des précipitations de 75 mm en 48 heures ».



Figure 6. Carte de l'indice d'aridité obtenu en considérant le bilan hydrique calculé avec une valeur de AWC de 100 mm.

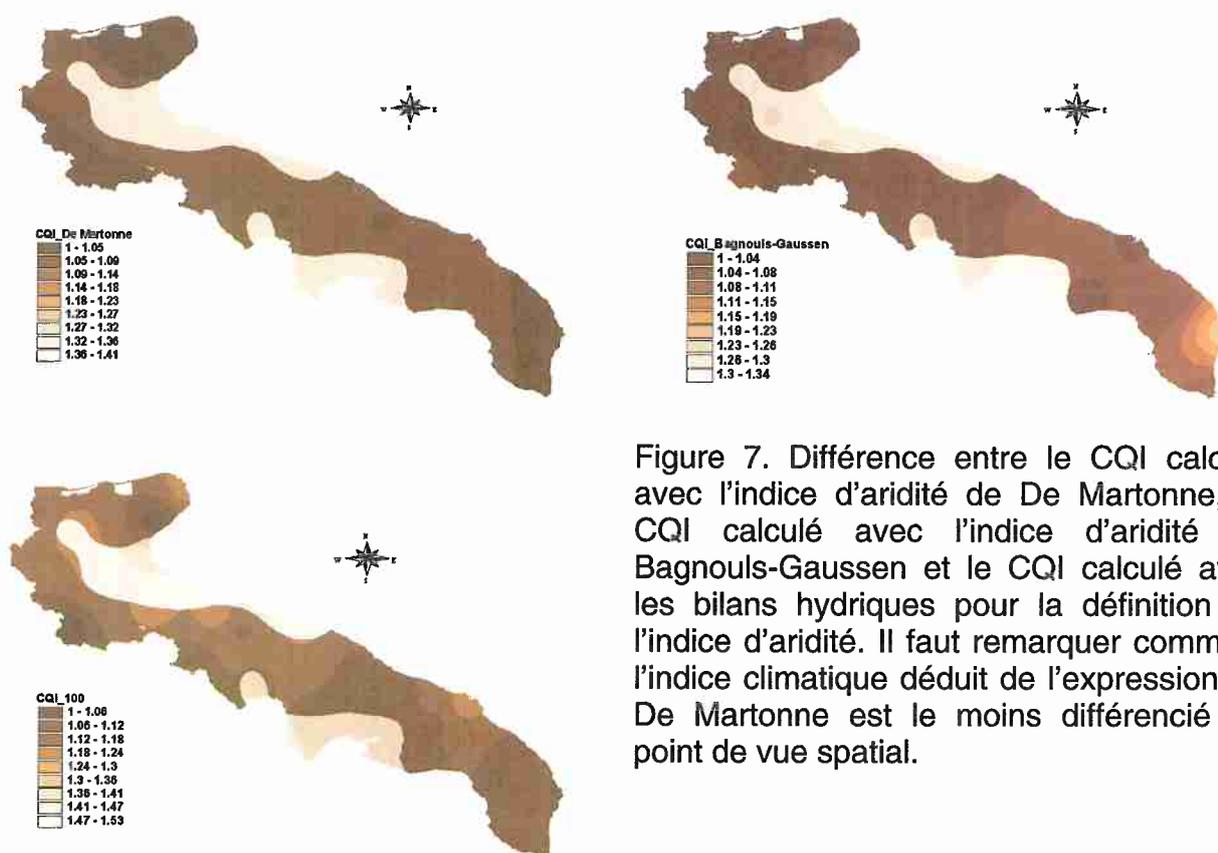


Figure 7. Différence entre le CQI calculé avec l'indice d'aridité de De Martonne, le CQI calculé avec l'indice d'aridité de Bagnouls-Gausson et le CQI calculé avec les bilans hydriques pour la définition de l'indice d'aridité. Il faut remarquer comment l'indice climatique déduit de l'expression de De Martonne est le moins différencié du point de vue spatial.

L'aspect de la pente est considéré comme un facteur important pour les processus de dégradation du terrain. Il interagit avec le microclimat selon l'angle et la durée avec lesquels les rayons du soleil touchent la surface du sol.

Dans les régions méditerranéennes, les pentes exposées au sud et l'ouest sont plus réchauffées et ont un taux d'évaporation plus élevé et une capacité de rétention d'eau plus basse, par rapport aux pentes exposées au nord et à l'est. Par conséquent, la couverture végétale est plus tardive dans les pentes méridionales et occidentales et le taux d'érosion est plus important par rapport aux pentes septentrionales et orientales.

En conséquence, les pentes exposées au sud seulement ont une couverture végétale inférieure à celle des pentes exposées au nord (Poesen et al., 1998) et le degré d'érosion est donc plus important.

Dans le projet Medalus, deux valeurs ont été assignées l'aspect de la pente (valeur 1 pour les pentes exposées NW et NE et valeur 2 pour les pentes exposées SW et SE). Il faut considérer que ces deux valeurs sont relatives l'île grecque de Lesbos qui a une surface de 60 par 70 km.

Pour la région de Puglia, une simplification a été appliquée, c'est-à-dire que la valeur 1 a été assignée à tout le territoire, en tenant compte des différences de surface et de conditions climatiques entre Puglia et Lesbos.

Puglia, en général, est caractérisée par un climat typiquement méditerranéen avec des hivers doux et des étés chauds, longs et pour une grande partie de la région, secs. Les caractéristiques côtières, grâce à l'action atténuante des mers Adriatique et Ionienne, présente en outre un climat plus typiquement maritime, avec des amplitudes thermiques saisonnières moins marquées. L'arrière-pays, ou le Tavoliere et le promontoire du Gargano, présente au contraire des caractéristiques purement continentales, avec des variations saisonnières de température importantes. Les précipitations sont plutôt faibles sur toute la région, concentrées sur les mois d'hiver et, un peu sur tout le territoire, caractérisées par un régime extrêmement variable.

Le calcul de l'indice climatique (CQI) est effectué en combinant trois attributs (pluviosité, aridité, et indice de pente, ce dernier ayant la valeur 1) dans l'algorithme écrit ci-dessous. L'indice de qualité est ensuite rangé dans trois classes, comme on peut le voir dans le tableau 4.

$$\text{CQI} = (\text{Pluviosité} * \text{Aridité} * \text{Indice})^{1/3}$$

PLUVIOSITE

Classe	Pluviosité (mm)	Indice
1	>650	1
2	650-280	2
3	<280	4

ARIDITE

Classe	Intervalle de BGI	Indice
1	<50	1
2	50-75	1.1
3	75-100	1.2
4	100-125	1.4
5	125-150	1.8
6	>150	2

QUALITE DU CLIMAT

Indice de qualité climatique	Description	Intervalle
1	Haute qualité	<1.15
2	Qualité modérée	Da 1.15 a 1.81
3	Basse qualité	>1.81

Tableau 4. Classes d'indices pour l'estimation de la qualité climatique.

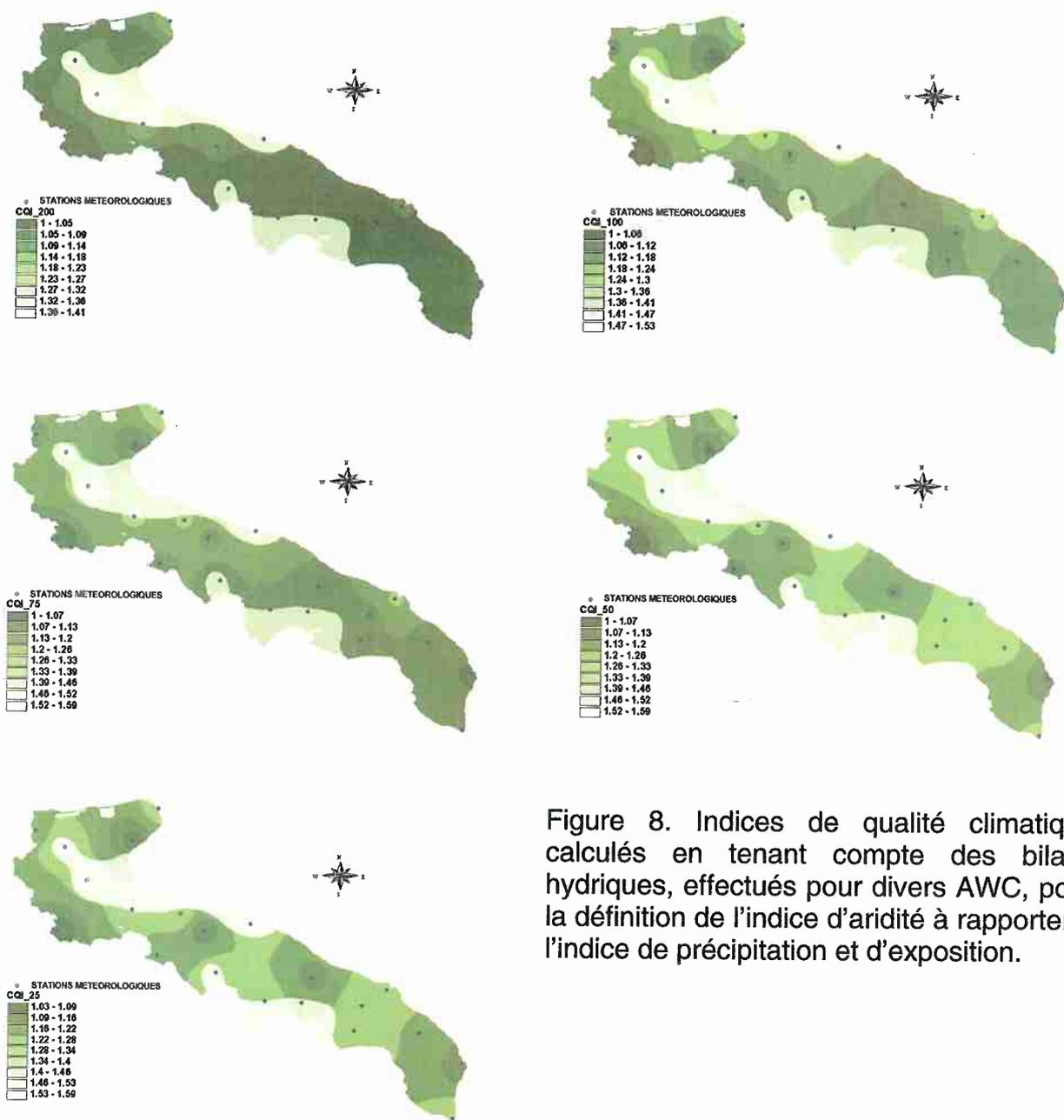


Figure 8. Indices de qualité climatique calculés en tenant compte des bilans hydriques, effectués pour divers AWC, pour la définition de l'indice d'aridité à rapporter à l'indice de précipitation et d'exposition.

Qualité de la végétation

La composante biotique dominante sur un territoire en matière de désertification est la couverture végétale de ce territoire. La couverture végétale est décisive pour le contrôle du phénomène de run-off et peut être rapidement altérée le long des aires collinaires de la Méditerranée selon les conditions climatiques et la période de l'année. Dans les zones où les précipitations annuelles sont inférieures à 300 mm et où le taux d'évapotranspiration est élevé, les réserves en eau pour la plante sont extrêmement

réduites ; de plus, le sol reste relativement nu favorisant le flux d'eau sur le terrain lors d'un événement pluvieux.

Des indicateurs clés de la désertification en rapport avec la végétation agricole ou naturelle existante peuvent être considérés :

- a) Le risque d'incendie et la capacité de régénération
- b) La protection contre l'érosion offerte par le sol
- c) La résistance à la sécheresse
- d) Le pourcentage de couverture végétale.

Selon ce qui est proposé dans Medalus, les types dominants de végétation dans la région Méditerranéenne ont été regroupés en quatre catégories selon le risque d'incendie.

Quatre autres catégories ont été utilisées pour classer la végétation selon la protection du sol contre l'érosion. Cinq catégories, par ailleurs, sont utilisées pour la classer selon la résistance à la sécheresse. Finalement, trois classes de végétation ont été distinguées.

RISQUE D'INCENDIE

Classe	Description	Type de végétation	Indice
1	Bas	Terrains nus, récoltes agricoles pérennes, récoltes agricoles annuelles (maïs, tabac, tournesol)	1
2	Modéré	Récoltes agricoles annuelles (céréales, prairies), chênes, mixte méditerranéen, Maquis/forêts permanentes	1.3
3	Haut	Maquis méditerranéen	1.6
4	Très haut	Forêts de pins	2

PROTECTION CONTRE L'EROSION

Classe	Description	Type de végétation	Indice
1	Très haute	Maquis méditerranéen mixte/Forêts permanentes	1
2	Haute	Maquis méditerranéen, forêts de pins, prairies permanentes, récoltes pérennes permanentes	1.3
3	Modérée	Forêts de mélèzes	1.6
4	Basse	Récoltes agricoles pérennes (amandiers, fruitiers)	1.8
5	Très basse	Récoltes agricoles annuelles (céréales), prairies annuelles, vignes	2

RESISTANCE A LA SECHERESSE

Classe	Description	Type de végétation	Indice
1	Très haute	Maquis méditerranéen mixte, forêts permanentes, maquis méditerranéen	1
2	Haute	Conifère, mélèzes, oliviers	1.2
3	Modérée	Arboriculture (vignes, amandiers, fruitiers)	1.4
4	Basse	Prairies pérennes	1.7
5	Très basse	Récoltes agricoles annuelles, prairies annuelles	2

COUVERTURE VEGETALE

Classe	Description	Couverture %	Indice
1	Haute	>40	1
2	Basse	40-10	1.8
3	Très basse	<10	2

QUALITE DE LA VEGETATION

VQI	Description	Intervalle
1	Haute qualité	<1.13
2	Qualité modérée	1.13-1.38
3	Basse qualité	>1.38

Tableau 5. Classes des indices des paramètres utilisés pour l'estimation de la qualité de la végétation.

L'indice de la qualité de la végétation (VQI) a été calculé comme une moyenne géométrique des caractéristiques végétales citées ci-dessus avec la sensibilité à la désertification en utilisant un algorithme particulier. Ensuite, l'indice VQI a été classé en trois catégories définissant la qualité de la végétation par rapport à la désertification.

$$\text{VQI} = (\text{Risque d'incendie} * \text{Protection contre l'érosion} * \text{Résistance à la sécheresse} * \text{Couverture végétale})^{1/4}$$

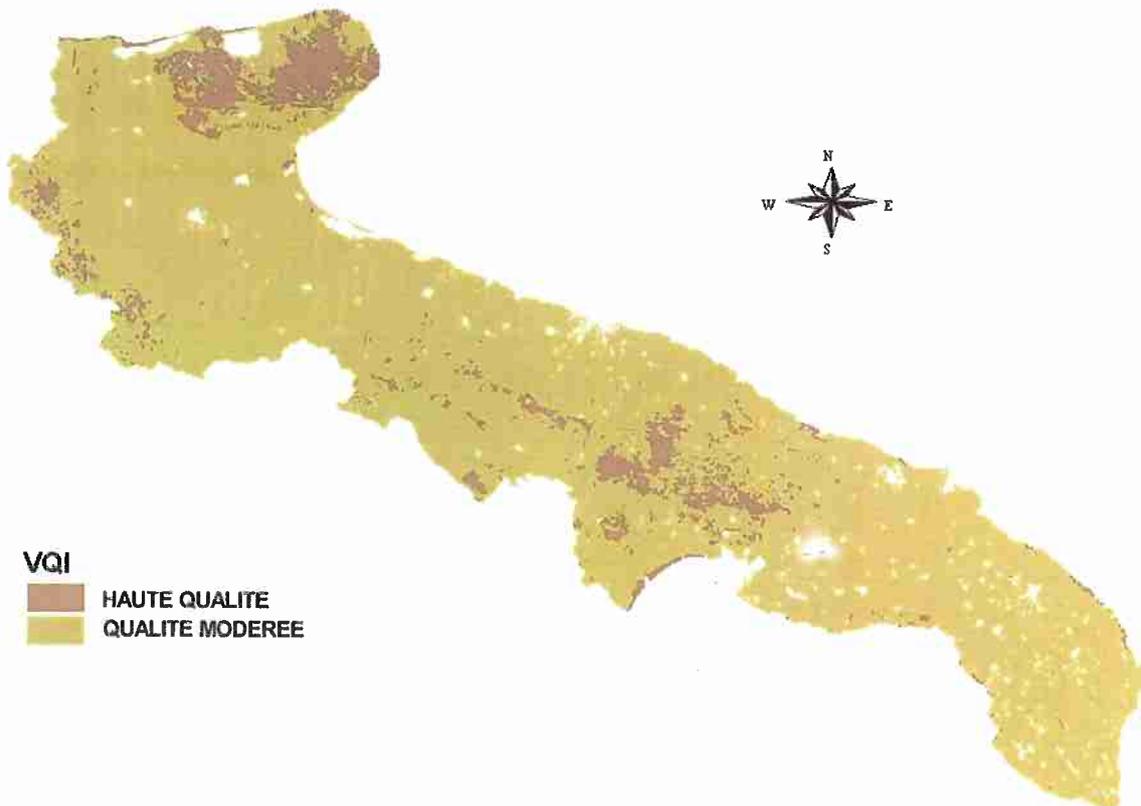


Figure 9. Carte de la qualité de la végétation pour Puglia, relative au risque de désertification.

Qualité de l'exploitation et des facteurs humains

La définition des zones régionales à risque de désertification demande soit des indicateurs clés relatifs à l'environnement physique soit des indicateurs du « stress » induit par l'homme.

Une partie du terrain, sans s'intéresser à son ampleur, est caractérisée par une utilisation particulière. Cette utilisation est associée à un type d'exploitation, dû principalement au climat, changeant sous l'influence des facteurs environnementaux, sociaux, économiques, technologiques et politiques.

Selon le type particulier d'exploitation, les ressources du territoire sont sujettes un certain degré de stress. Cependant, l'existence de politiques environnementales dans certaines zones tempèrent les impacts d'un certain type d'utilisation du sol par rapport des zones où de telles politiques n'existent pas. L'utilisation du sol peut être classée sur la base de divers critères qui portent sur la hiérarchisation des types d'usages. Le numéro des critères employés est dû au niveau de détail ainsi désiré comme la disponibilité des données :

Le principal critère de classification est basé sur le but primaire d'utilisation du sol. De ce critère sont tirés les types de *land use* suivants :

- a) les terrains agricoles ;
- b) les pâturages ;
- c) les zones naturelles (forêts).

Intensité de l'utilisation du sol

Pour chacun des types d'utilisation du sol cités ci-dessus, une estimation de l'intensité d'usage a été estimée.

a) Les terrains agricoles.

L'intensité d'utilisation d'un sol pour les terrains agricoles est estimée en caractérisant la fréquence d'irrigation, le degré de mécanisation, l'existence de terrasses, l'usage de fertilisants et de produits chimiques, la rotation culturale, etc.

De cette façon, trois niveaux d'intensité d'usage du sol ont été ainsi distingués :

- *Intensité d'utilisation du sol basse* (LLUI). Zones d'agriculture extensive où des plantes locales sont cultivées, aucune application de fertilisants ou de pesticides n'est faite, les récoltes dépendent principalement de la fertilité des sols et des conditions environnementales. La mécanisation est limitée. En cas de récolte saisonnière, une récolte est cultivée par année ou bien le terrain reste au repos.

- *Intensité d'utilisation du sol moyenne* (MLUI). Zones où les variétés cultivées sont meilleures, les fertilisants appliqués faibles, et le contrôle des maladies inadéquat. La mécanisation est réduite à quelques travaux importants comme l'ensemencement, l'application de fertilisants, etc.

- *Intensité d'utilisation du sol élevée* (HLUI). Zones d'agriculture intensive où sont cultivées des variétés améliorées. L'application de fertilisants et le contrôle des maladies sont adéquats. Les cultures sont fortement mécanisées.

b) Les pâturages.

L'intensité d'utilisation du sol des pâtures est définie en estimant le taux d'approvisionnement durable (des animaux par hectare) et en le comparant avec le nombre actuel d'animaux sur le pâturage.

A cause du manque d'information à ce sujet, pour la région de Puglia une valeur moyenne été assignée à l'intensité d'utilisation (indice=1.5) selon ce qui est donné dans le tableau 6.

c) Les zones naturelles (forêts)

Une distinction majeure peut être faite entre les forêts naturelles et les forêts exploitées. Dans le cas de forêts naturelles, la qualité de l'exploitation sera considérée plus tard, par définition. Dans le cas des forêts exploitées, l'intensité d'utilisation est déterminée par la demande du produit forestier. La demande est cependant un paramètre difficile à déterminer. Une approche en est l'estimation de la production durable d'une forêt et sa comparaison avec sa production actuelle (rapport production actuelle/production durable).

Politique

Une attention particulière est portée aux politiques de protection du territoire comme la politique de soutien aux terrasses, la politique en faveur de l'agriculture extensive, la politique de protection côtière, etc. Naturellement leur efficacité dépend du degré avec lequel elles sont respectées. L'information sur les politiques existantes et leur intégration doit ensuite être récoltée.

En ce qui concerne la région de Puglia, les sites de « Natura 2000 » ont été considérés, c'est-à-dire les zones de grande importance naturalistique présentes sur une bonne partie du territoire régionale.

Trois classes, présentées dans le tableau suivant, ont été définies par rapport aux politiques de protection environnementales.

RECOLTES

Classe	Description	Indice
1	Intensité d'utilisation du sol basse (LLUI)	1
2	Intensité d'utilisation du sol moyenne (MLUI)	1.5
3	Intensité d'utilisation du sol haute (HLUI)	2

PATURAGE

Classe	Description	Taux de stockage	Indice
1	Bas	ASR<SSR	1
2	Modéré	ASR=SSR to 1.5*SSR	1.5
3	Haut	ASR>1.5*SSR	2

ZONES NATURELLES

Classe	Description	Caractéristique d'exploitation	Indice
1	Bas	A/S = 0	1
2	Modéré	A/S < 1	1.2
3	Haut	A/S = 1 ou supérieur	2

POLITIQUE

Classe	Description	Degré de respect de la politique	Indice
1	Bas	Complet: >75% de la zone est sous "protection"	1
2	Modéré	Partiel: 75-25% de la zone est sous "protection"	1.5
3	Haut	Incomplet: <25% de la zone est sous "protection"	2

QUALITE D'EXPLOITATION

Classe	Description	Intervalle
1	Haut	De 1 à 1.25
2	Modéré	De 1.26 à 1.50
3	Bas	> 1.50

Tableau 6. Classes d'indices des paramètres utilisées pour l'estimation de la qualité de l'exploitation du territoire.

L'indice de la qualité de l'exploitation (MQI) a été estimé comme une moyenne géométrique de l'intensité d'utilisation du sol et d'application de la politique environnementale, en utilisant l'algorithme suivant :

$$MQI = (\text{Intensité d'utilisation du sol} * \text{Politique})^{1/2}$$

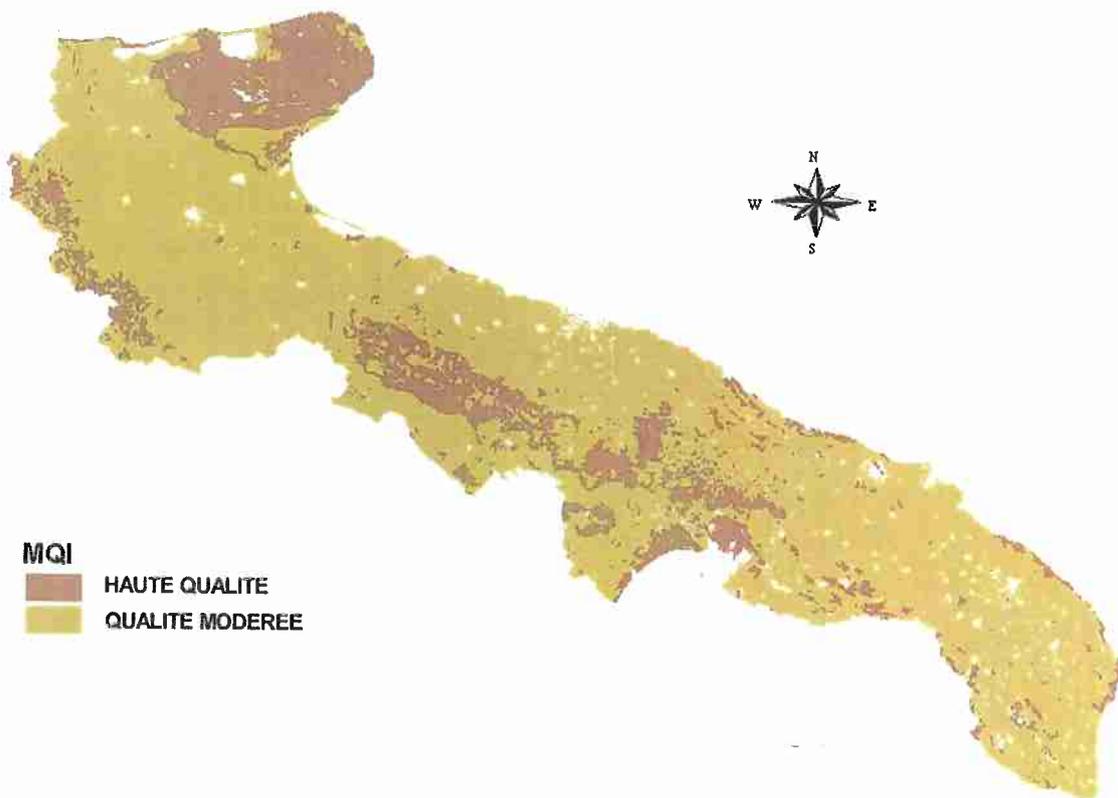


Figure 10. Carte de la qualité de l'exploitation pour Puglia, relative au risque de désertification.

Définition des zones à risque de désertification (ESA)

La phase finale de la définition des différents types de zones à risque de désertification comprend la réunion des caractéristiques environnementales (qualité du sol, qualité du climat, qualité de la végétation et qualité de l'exploitation).

Les quatre indices de qualité cités ci-dessus sont reliés entre eux par l'indice ESAI suivant l'expression suivante :

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

L'intervalle pour l'indice ESAI contient trois sous-classes comme on peut le lire dans le tableau 7. Chaque type de ESA est défini sur la base d'une sous-classification (en trois points) qui va de la valeur 3 (haute sensibilité) la valeur 1 (basse sensibilité).

Type	Sous-type	Intervalle de l'ESAI
Critique	C3	>1.53
Critique	C2	1.53-1.42
Critique	C1	1.41-1.38
Fragile	F3	1.37-1.33
Fragile	F2	1.32-1.27
Fragile	F1	1.26-1.23
Potentielle	P	1.22-1.17
Non affectée	N	<1.17

Tableau 7. Types des aires à risque de désertification et intervalles relatifs des indices.

Les trois types principaux de ESA sont définis par le degré de dégradation du sol.

Les zones dites « Critiques » sont des zones dégradées à cause d'un mauvais usage du terrain qui représente une menace pour les aires environnantes. Ceci concerne les zones très érodées et sujettes à un écoulement et une perte importants en eau et en éléments.

Les zones « Fragiles » sont les zones où un quelconque changement dans l'équilibre des activités naturelles ou humaines peut entraîner l'augmentation du risque de désertification. Dans ces zones, le changement climatique de longue durée (comme celui causé par l'effet de serre) peut entraîner une réduction du potentiel biologique à cause de la sécheresse, avec en conséquence la perte de la couverture végétale et l'augmentation du risque d'érosion. Un autre facteur négatif comme le changement de l'utilisation du sol (par exemple un déplacement vers une culture céréalière sur un sol fragile) peut produire une augmentation immédiate de l'écoulement et de l'érosion superficielle.

Les zones dites « Potentielles » sont aussi sous le risque de désertification et nécessitent une planification soignée pour rester en dessous du risque des zones fragiles. Dans ces zones, une utilisation particulière du sol, réalisée avec des critères d'exploitation incorrects, peut entraîner la création de problèmes d'érosion et d'écoulement superficiel (y compris celui des pesticides ou fertilisants vers les vallées).

Enfin, les zones « Non affectées » sont les aires stables, non sujettes au risque de désertification. Ces aires sont plates, avec des sols bien drainés et une texture grossière ou plus fine et sont sujettes à des conditions humides indépendamment de leur couverture végétale.

Résultats obtenus avec l'application intégrale de la méthodologie Medalus

L'application de la méthodologie déduite du projet Medalus, pour les zones de Puglia, a donné des résultats qui ne semblent pas répondre à la réalité du territoire enquêté. En fait l'intérieur de la région de Puglia présente des zones à fort risque de désertification. Si ceci peut correspondre à la réalité pour quelques portions du territoire régional, caractérisées par un indice de basse qualité (climat, sol, végétation et exploitation), les résultats sont erronés pour les autres. Les zones pour lesquelles le doute est plus élevé sont celles du promontoire du Gargano où, ainsi que dans les zones de la Foresta Umbra, avec la présence de hêtres, le risque de désertification est ramené au degré des zones « critiques ». Ce sont des restitutions nécessaires qui modifient un peu la méthodologie originale. Une description des modifications apportées à la méthodologie Medalus est expliquée par la suite.

Modifications apportées à la méthodologie Medalus

Malgré une meilleure définition du CQI, obtenue dans le paragraphe « Qualité du climat », l'identification des ESA montre encore un territoire régional pratiquement entièrement sous la menace de la désertification (voir Figure 11). D'autres voies ont été explorées et une analyse attentive a été faite sur les paramètres, soit des indices simples de qualité, soit sur la façon de définir les ESA. Un premier raisonnement a été réalisé sur l'indice de qualité du sol. Il a été constaté, comme dans l'équation de définition du SQI, que tous les termes semblent étroitement liés au sol et que seule la pente est au contraire liée en majorité à la situation de la station. Insérer le paramètre « pente » dans l'équation du SQI peut entraîner des résultats erronés pour cet indice, en introduisant un facteur de multiplication non étroitement lié au sol. A partir de cette considération et de la définition même de la « désertification » de la Convention sur la Désertification (United Nations Conference on Environment and Development – UNCED) qui déclare que « la désertification est la dégradation de la terre, en environnement aride, semi-aride et sub-humide, déduite de nombreux facteurs, comprenant les variations climatiques et les activités humaines », les actions reportées dans la page suivante ont été effectuées.

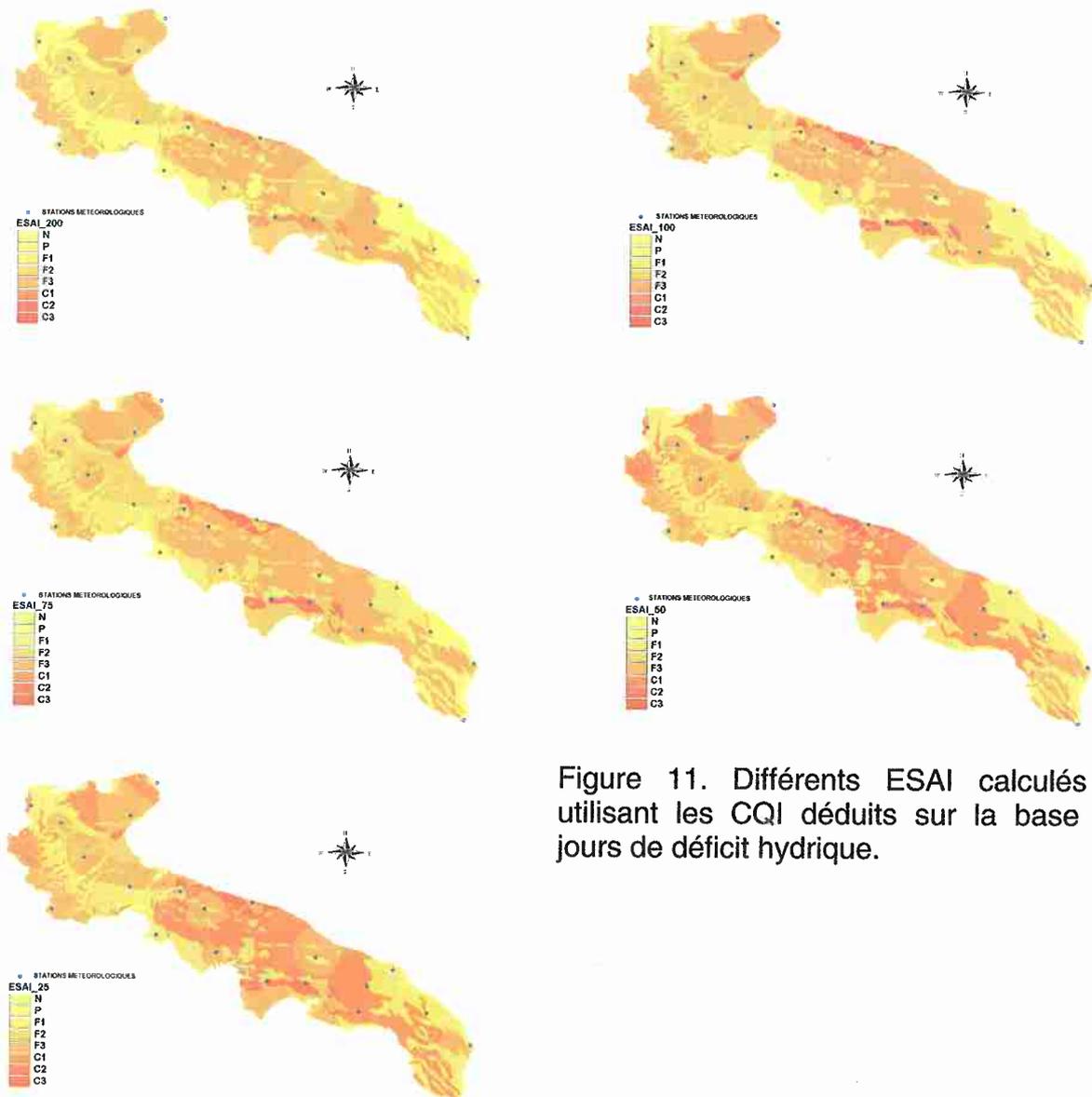
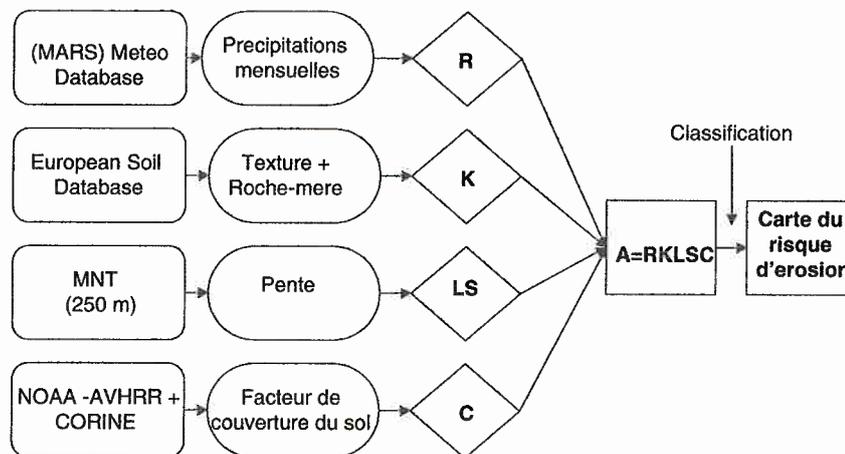


Figure 11. Différents ESAI calculés en utilisant les CQI déduits sur la base des jours de déficit hydrique.

- 1) Le paramètre « pente » a été éliminé de l'équation de définition du SQI.
- 2) Un indice de qualité, étroitement lié au paramètre érosion, a été ajouté. D'après la définition de la désertification qui parle très clairement du phénomène de « dégradation », on peut affirmer que les processus érosifs acquièrent une importance particulière. Le projet Medalus n'a pas un vrai et propre indice directement lié à l'érosion. Cependant quelques uns des paramètres qui influencent l'érosion sont comparables au niveau de SQI, en ce qui concerne la pente comme vu précédemment, ou de VQI, en ce qui concerne la protection contre l'érosion.

En utilisant la Carte du risque d'érosion en Italie réalisée par la Commission Européenne, des essais ont été pratiqués pour vérifier les résultats pouvant être obtenus en considérant l'érosion comme un indice indépendant. La carte du risque d'érosion a été définie avec l'équation USLE (Universal Soil Loss Equation) qui prend en considération les facteurs reportés dans le diagramme des flux suivants :



Le facteur relatif la pente a été éliminé de l'équation de définition du SQI : la nouvelle équation est donc la suivante :

$$SQI = (\text{Texture} * \text{Roche-Mère} * \text{Pierrosité} * \text{Profondeur} * \text{Drainage})^{1/5}$$

Le risque d'érosion a été ajouté en le considérant comme un indice de qualité. La classification du risque d'érosion pour la définition de l'indice de qualité s'est faite sur la base présentée dans le tableau suivant :

Classe	Description	Risque d'érosion (t/ha/année)	Indice
1	Très bas	0-1	1
2	Bas	1-3	1.1
3	Modérément bas	3-5	1.2
4	Modéré	5-10	1.4
5	Modérément haut	10-20	1.6
6	Haut	20-40	1.8
7	Très haut	>40	2

La nouvelle équation pour le calcul de l'indice des zones environnementales sensibles devient :

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI * EQI)^{1/5}$$

Comparaisons entre les différentes méthodologies adoptées

Les résultats obtenus pour l'identification des zones environnementales sensibles (ESA) sont très différents suivant la méthodologie adoptée. Par principe, l'installation méthodologique de base a été tirée du projet Medalus mais quelques changements ont ensuite été réalisés. Les résultats graphiques de cette élaboration sont reportés dans la figure suivante.

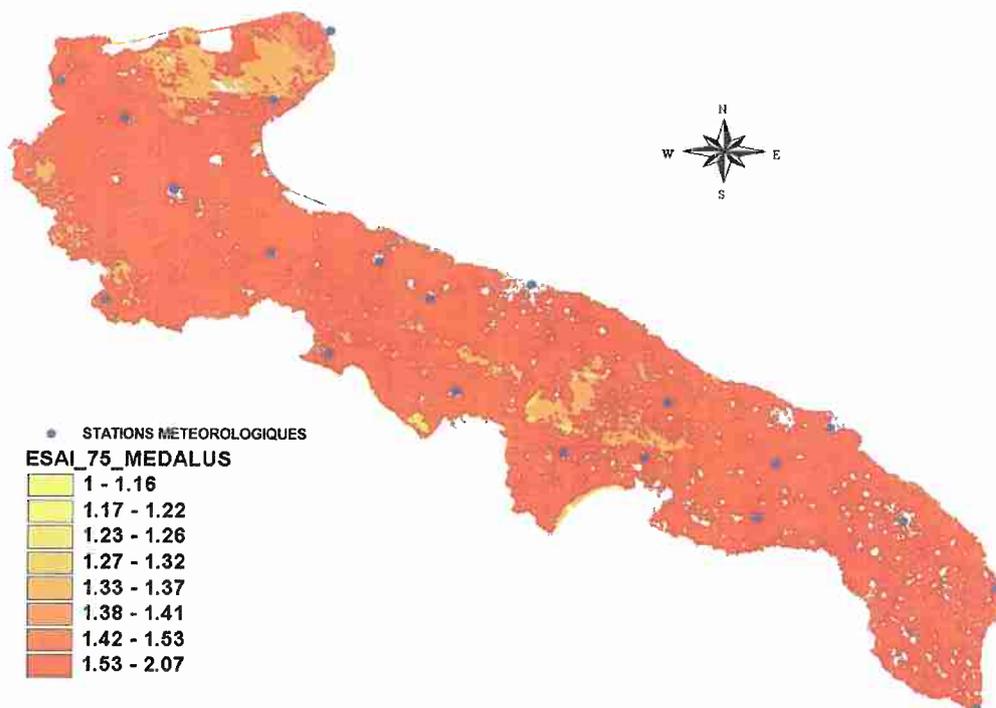


Figure 12. Résultat de l'élaboration avec la méthodologie Medalus modifiée pour ce qui concerne le CQI (bilan hydrique pour chaque station et spatialisation de la donnée du déficit).

Comme on peut aisément l'observer sur la figure 12, pratiquement tout le territoire régional appartient aux zones critiques et fragiles (voir tableau 7). Une telle situation, comme vu précédemment, n'est pas comparable à la réalité (ceci s'observe particulièrement pour le Promontoire du Gargano).

D'après une analyse attentive de l'équation de la définition des ESA, les paramètres qui influencent le plus un tel type de résultat sont VQI et MQI. Ceci est en relation avec les regroupements importants de l'utilisation du sol et de la végétation réalisés pour la définition du VQI et avec la difficulté d'avoir des données sûres et raisonnables pour MQI.

A partir de ces suppositions, le choix a été fait de donner à ces deux paramètres la valeur 1.

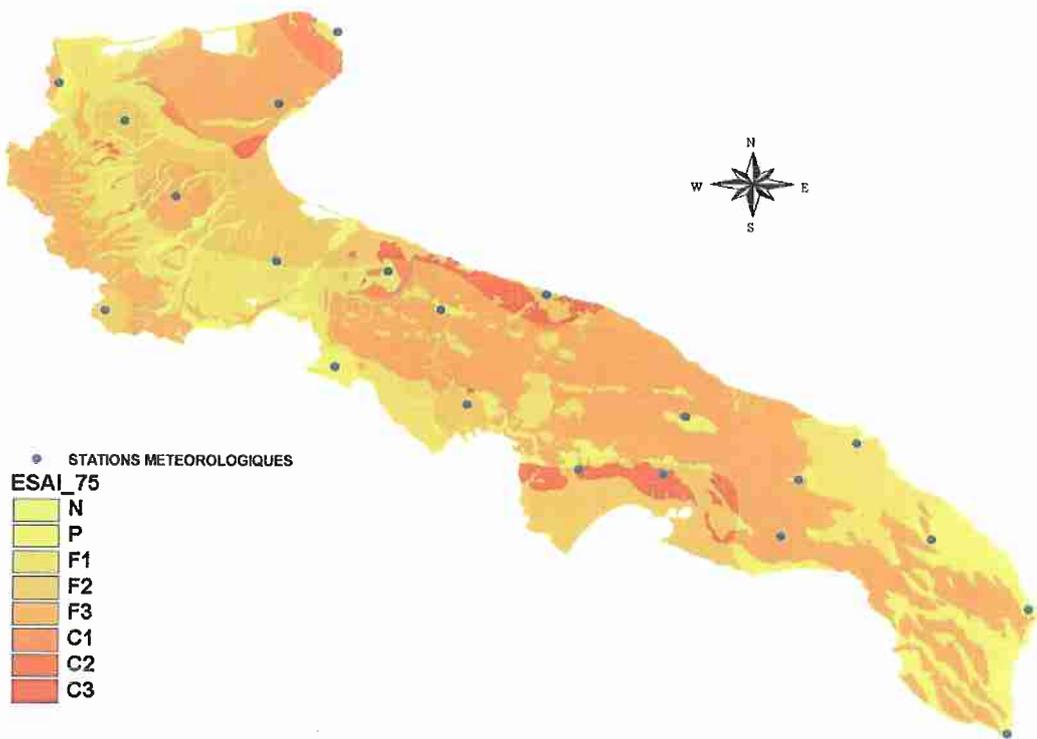


Figure 13. Définition des ESA avec VQI et MQI égaux à 1.

On constate, avec cette nouvelle élaboration, comment la définition des ESA acquière une importance majeure correspondant à la réalité et chaque délimitation semble répondre à la réalité territoriale.

Les zones « critiques » appartiennent au talus de l'arc ionien Tarantino et aux zones appartenant au plaines basses des Murge de Bari. Cependant, quelques doutes demeurent encore sur l'importante présence des zones « fragiles » même dans les zones, surtout d'un point de vue climatique, où on n'avait pas supposé un tel type de résultat.

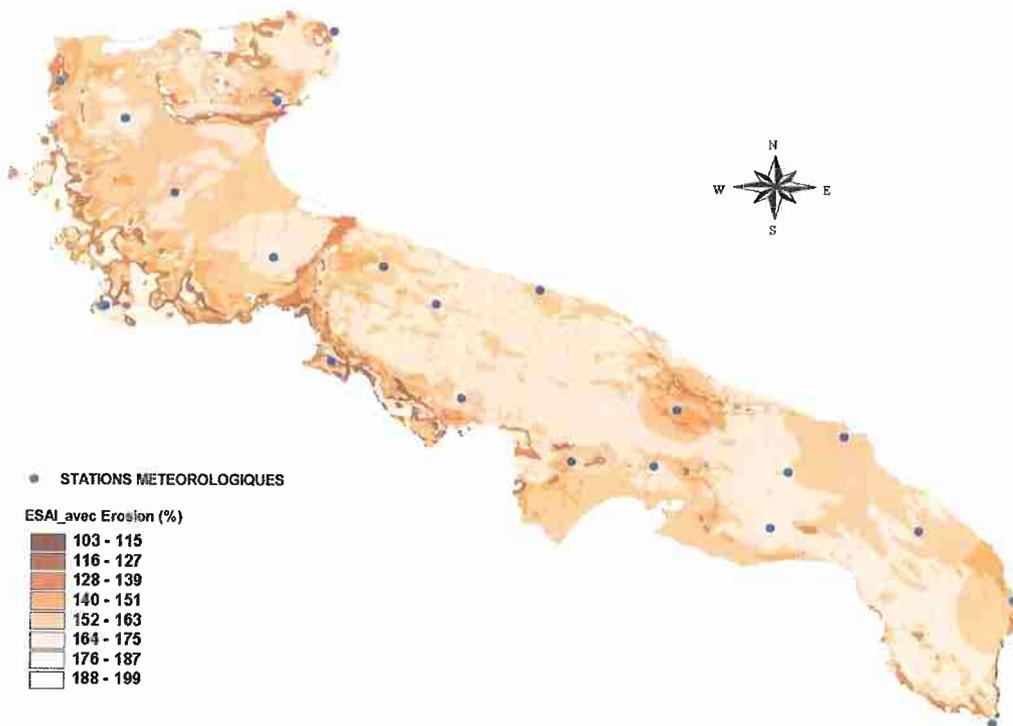


Figure 14. Méthodologie Medalus modifiée avec l'ajout de l'indice de qualité sur l'érosion et avec VQI et MQI égaux à 1.

La dernière élaboration réalisée a été effectuée en considérant l'équation pour la définition des ESA modifiée comme suit :

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI * EQI)^{1/5}$$

Ce type d'élaboration paraît être plus proche de la réalité du territoire analysé. Pour obtenir une première validation des résultats obtenus, des contrôles ont été effectués entre les ESA, ainsi tracés, et les images satellites Landsat 5 TM.

Afin d'avoir un paramètre de référence, les images de la période estivale ont été sélectionnées. En outre un RGB avec les bandes 4-5-3 a été fait, permettant ainsi d'évaluer le contenu hydrique du sol.

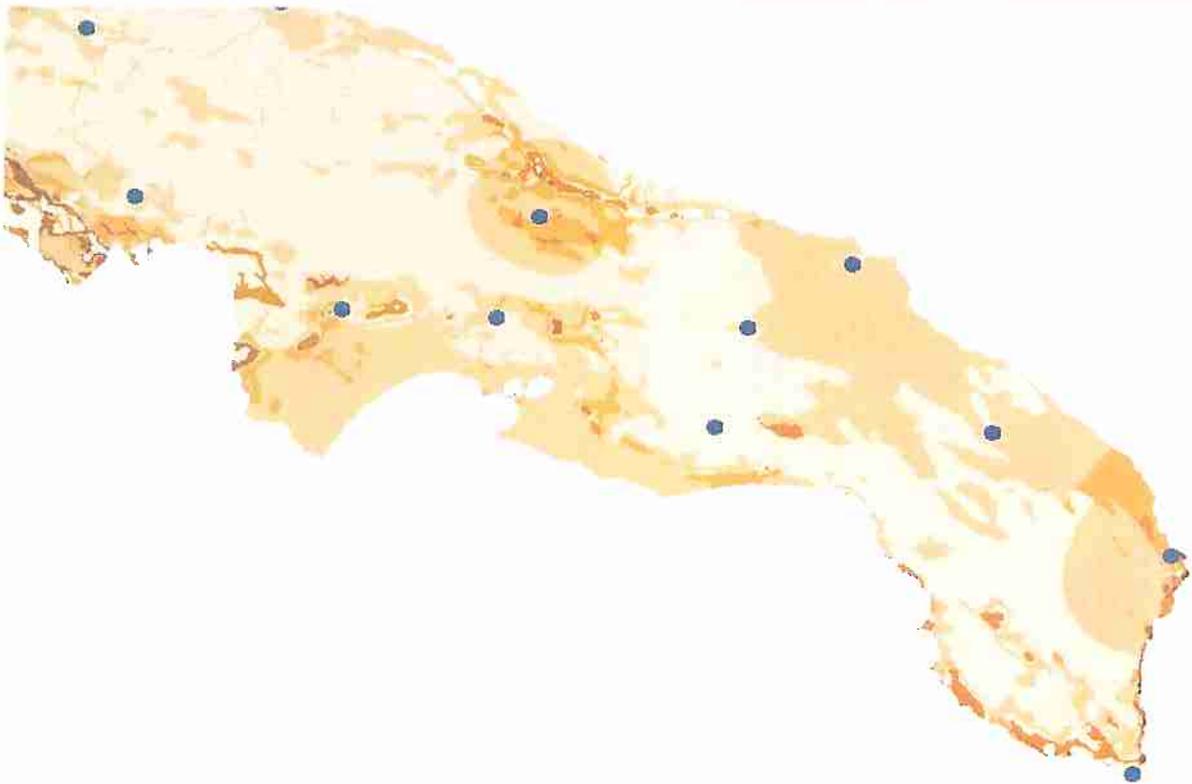


Figure 15 a. Image Landsat 5 TM (RGB 4-5-3)

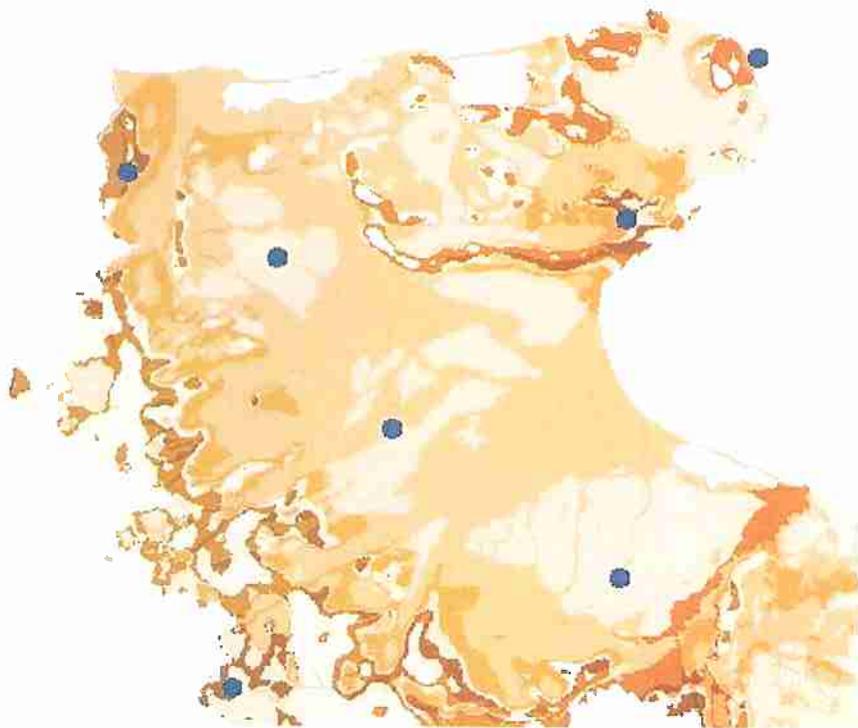
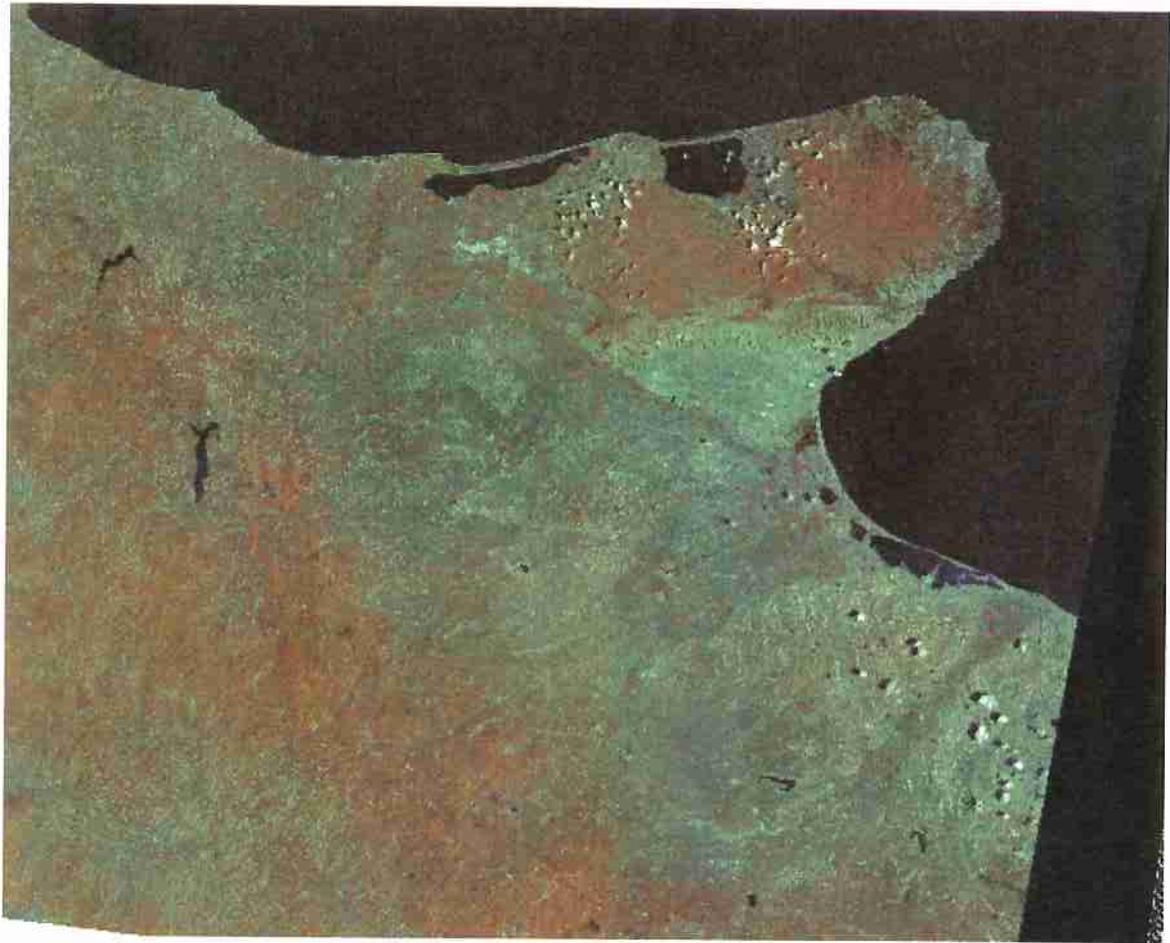


Figure 15 b. Image Landsat 5 TM (RGB 4-5-3)

Bibliographie

- Aru A., Baldaccini P., 1979 - *Comprensorio irriguo destra Ofanto - Studio pedologico*. Consorzio di bonifica della fossa premurgiana - Bari.
- Aru A., Baldaccini P., Fierotti G., 1979. *Studi pedologici per scopi irrigui in tre aree campione della Puglia*. Cassa per le opere straordinarie di pubblico interesse nell'Italia Meridionale (Cassa per il Mezzogiorno), Progetto Speciale n. 14, Roma.
- Aru A., Baldaccini P., Mancini F., 1981 - *I suoli irrigabili del Salento* -
- Aru A., Baldaccini P., Mancini F., 1982. *Studi dei suoli dell'agro brindisino e delle loro attitudini all'irrigazione*. Cassa per il Mezzogiorno.
- Bartelli L.J., 1977. *Natural landscape systems*. Seminario "Carta pedologica", Bologna.
- Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V., 1988. *Carta geologica dell'Appennino Meridionale. Scala 1:250.000*. Università di Napoli, CNR, 74° Congresso della Società Geologica Italiana, Sorrento 13-17 settembre 1988.
- C. Bini, O. Ferretti, E. Ghiara, R. Gragnani - *Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia dei suoli. Suoli della Regione Puglia*.
- Carnicelli S., Ferrari G.A., Magaldi D., 1989. *Les accumulations carbonatées de type "calcrete" dans les sols et formations superficielles d'Italie méridionale*. Bari.
- Carrante V., Della Gatta L., Perniola M., Lopez G., 1957. *I terreni agrari della provincia di Taranto*. Supplemento agli "Annali della sperimentazione agraria", Stazione Agraria Sperimentale di Bari.
- Christian C.S., Stewart G.A., 1974. *Methodology of integrated surveys*. Conference on principles and methods of integrated aerial studies of natural resources for potential development. Tolouse 21-25 September 1974, Ed. UNESCO.
- Ciaranfi N., Pieri P., Ricchetti G., 1988. *Carta geologica delle Murge e del Salento. Scala 1:250.000*. Mem. Soc. Geol. It., 42.
- Costantini E.A.C., Tellini G., 1990. *Studio pedologico di alcune aree sperimentali del nord, centro e sud Italia*. Progetto coordinato del Ministero Agricoltura e Foreste "Ordinamenti culturali". Bari.
- De Dominicis A., 1919. *La crosta pugliese e la sua origine. Indagini di chimica pedologica in terra di Bari. Nota I*. Pubblicazioni della Stazione Agraria Sperimentale in Bari per lo studio dell'Agricoltura, Anno 1, n. 2. Bari.
- De Dominicis A., 1920. *La crosta pugliese e la sua origine. Indagini di chimica pedologica. Nota II*. Pubblicazioni della Stazione Agraria Sperimentale in Bari per lo studio dell'Agricoltura, Volume 1, n. 3. Bari.
- Della Gatta L., Lopez G., 1958 - *I terreni agrari di alcune zone pedecollinari della provincia di Foggia*.
- Della Gatta L., Lopez G., 1968. *Caratteri agronomici del comprensorio irriguo di sinistra Ofanto*. Stazione Agraria Sperimentale, Bari.
- Della Gatta L., Lopez G., Perniola M., 1968. *Caratteri agronomici del comprensorio irriguo del Fortore*. Istituto Sperimentale Agronomico, Bari.
- European Commission, Soil Erosion Risk Assessment in Italy, 1999, EUR 19022 EN.
- European Commission, The Medalus Project Mediterranean desertification and land use. Manual of key indicators and mapping environmentally sensitive areas to desertification. EUR 18882
- Fao-Unesco, FAO's activities in combatting desertification, S1770/E.
- FAO-Unesco, Fao conservation Guide, Role of forestry in combating desertification, 1993

- FAO-Unesco, 1988. *Soil map of the world: Revised Legend*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Ferrari G.A., Magaldi D. - *Land suitability evaluation for Mediterranean Regions*.
- Geotecneco S.p.a., 1974. *Regione Puglia - Indagine sull'ambiente fisico*.
- Giordano A., 1982 *Rilevamento e cartografia dei suoli*. In: Enciclopedia delle Scienze De Agostini, vol VII, pp 126-135, Istituto Geografico De Agostini, Novara.
- Lippi Boncampi C., 1958 - *Rilevamento geo-pedologico del Gargano*.
- Lopez G., 1968 - *Breve relazione riguardante i dati analitici di terreno dei comprensori irrigui di Lauro e Caldoli*. Stazione Agraria Sperimentale, Bari.
- Lopez G., 1968 - *Caratteri agronomici del comprensorio irriguo del Fortore*. Istituto Sperimentale Agronomico, Bari.
- Lopez G., 1968 - *Caratteri agronomici del comprensorio irriguo di sinistra Ofanto*. Stazione Agraria Sperimentale, Bari.
- Lopez G., 1971 - *Analisi chimiche e fisiche sui suoli dei comprensori irrigui "La Martella" e "Capo d'Acqua-S.Francesco"*. Stazione Agraria Sperimentale, Bari.
- Lopez G., 1971 - *Studio agro-pedologico dei suoli irrigabili con le acque dell'invaso di Monte Cotugno sul fiume Sinni*. Stazione Agraria Sperimentale, Bari.
- Lopez G., 1971. *Studio dei terreni agrari della provincia di Brindisi*. Istituto Sperimentale Agronomico, Bari.
- Lopez G., 1979 - *Studio dei terreni agrari della provincia di Lecce*. Ente per lo sviluppo dell'irrigazione e della trasformazione fondiaria in Puglia e Lucania, Bari.
- Lopez G., 1991 - *Indagine pedologica dei suoli dello schema Basento-Bradano, Distretti M-B (agri di Minervino Spinazzola)*. Istituto Sperimentale Agronomico, Bari.
- Lopez G., inedito. *Descrizione profili dell'area Minervino-Altamura*
- Lopez G. - *Limitazioni d'uso dei suoli pugliesi e loro gravità (secondo profili desunti dalla cartografia)*.
- Lopez G. - *Schema di legenda per i suoli della Regione Puglia (scala 1:50.000)*.
- Lopez G. - *Classificazione zonale dei terreni del Gargano (FG), desunta dallo studio Lippi-Boncampi - Profili tipo*.
- Magaldi D., 1983. *Calcareous crust (caliche) genesis in some Mollisols and Alfisols from southern Italy: a micromorphological approach*. Berkhamsted.
- Mancini F., Aru A., 1976 - Arco ionico tarantino. Lotto 2°, sublotto B, Studio pedologico.
- Mancini F., 1986. *Utilizzazione delle risorse idriche nel litorale adriatico barese per la valorizzazione del comprensorio - Studio pedologico*. Consorzio di Bonifica Apulo Lucano.
- Minieri V., 1955. *Il significato paleoclimatico e l'età della "crosta calcarea" nell'area del foglio 175 (Cerignola)*. Napoli.
- Pantanelli E., 1939. *Le terre del tavoliere di Puglia*. In: Ministero Agricoltura e Foreste, Fondazione per la sperimentazione agraria. Annali della sperimentazione agraria, Vol. XXXVI. Roma.
- Pantanelli E., Bocassini U., Brandonisio V., 1937. *Studio chimico-agrario dei terreni della provincia di Bari*. Stazione agraria sperimentale di Bari. In: Ministero Agricoltura e Foreste, Fondazione per la sperimentazione agraria. Annali della sperimentazione agraria, Vol. XXII. Roma.

Palumbo L., Poli G., Spedicato M., 1987. *Quadri territoriali, equilibri sociali e mercato nella Puglia del Settecento*. A cura di G. Poli. Regione Puglia, Assessorato alla Cultura e P.I. - Università di Bari, Istituto di Scienze Storico-politiche. Congedo Editore, Galatina (Lecce).

Poli G., 1990. *Territorio e contadini nella Puglia moderna. Paesaggio agrario e strategie produttive tra XVI e XVIII secolo*. Congedo Editore, Galatina (Lecce).

Principi P., 1952. *I terreni agrari delle Puglie*. Italia Agricola, 1952, 3. Roma.

Sanesi G., 1986. *Progetto AGRON-Puglia - Vol 2, Rapporto pedologico e profili*. CIHEAM, Valenzano.

Soil Survey Staff, 1980. *Tassonomia del suolo*. Ediz. italiana a cura di C. Giovagnotti. Edagricole, Bologna.

Soil Survey Staff, 1994. *Keys to Soil Taxonomy*. U.S.D.A. Soil Conservation Service, Sixth Edition,

Testini C., 1986, *Progetto AGRON-Puglia - Vol 1, Rapporto chimico-agrario*. CIHEAM, Valenzano.

United Nations Conference on Environment and Development -UNCED :

Vlora A. K., 1972. *Gli squilibri territoriali nel costituendo comprensorio del Nord Barese*. Estratto dagli Annali della Facoltà di Magistero dell'Università degli Studi di Bari, vol. XI.