

III. PEDOLOGIA

1. Fattori di formazione dei suoli

Il fattore più importante nella formazione dei suoli è il clima (cap. V). Le differenziazioni della flora (cap. VI) coincidono infatti con le diverse grandi zone climatiche, in quanto le formazioni vegetali non possono svilupparsi che in funzione delle proprietà fisiche e chimiche dei vari tipi di suoli. Altri fattori importanti sono rappresentati dall'orografia e dall'idrografia (cap. I) e dalla geologia (cap. II). Molti argomenti essendo stati trattati nei rispettivi capitoli, a premessa di questa descrizione pedologica ci limiteremo ad alcuni richiami¹.

Dal punto di vista orografico il Sahel si configura in 3 principali modelli:

- a. Il *modello dunare* che occupa vaste estensioni specie a nord dell'isoietta dei 500 mm. Come si è visto si tratta spesso di erg fossili oggi fissati da una pseudo-steppa o addirittura da una savana secca arbustiva. I rilievi sono molto variabili e i dislivelli fra dune e interdune possono andare da qualche metro a una ventina di metri.
- b. Il *modello suborizzontale* che è proprio dei grandi bacini alluvionali: delta del Senegal, delta centrale interno del Niger, bacini a valle del Chari e del Logone di accesso al lago Ciad; o dei bacini antichi ora fossili o percorsi da acque stagionali: 'dallol' del Niger, Bahr-el-Ghazal del Ciad e simili. In tutte queste zone il rilievo è relativamente piatto, facendo emergere solo le pianure inondabili (argillose) e colline sabbiose ('Toguérés' del Mali) che figurano isolate o in blocchi o catene sovrastanti la pianura per qualche metro. I fiumi sono in genere a debolissima pendenza e si ramificano in complessi sistemi di defluenti; le alluvioni quaternarie che trasportano formano cordoni di argini e thalweg ma con dislivelli minimi dell'ordine di pochi metri. Vi sono pianure che restano inondate per molti mesi all'anno.

¹ B. Dabin, R. Fauck, J. Pias dell'ORSTOM, in FAO/UNESCO/WMO Technical Report on a Study of the Agroclimatology of the Semiarid Area south of the Sahara in West Africa (1967).

- c. Il *modello dei massicci* costituito da alture o colline di affioramento di rocce basiche sormontate da croste antiche e che possono dominare la pianura circostante di qualche centinaio di metri, oppure da vere catene montuose con singole quote che possono avvicinarsi ai 2000 m (Gourma in Mali, Ouaddai nel Ciad, Darfur e Nuba in Sudan, sistema montuoso dell'Eritrea in Etiopia). Attorno all'affioramento roccioso gli spalti iniziano con una zona di arena poco spessa in leggero pendio e più o meno scavata in vallette, oltre la quale si osservano alluvioni argillo-sabbiose che vanno a collegarsi con le zone alluvionali.

Questi sono i modelli. Ma in tutta l'area immediatamente a sud del Sahara un certo numero di fatti geomorfologici e pedologici non possono spiegarsi se non in base all'azione di climi antichi e di un'idrografia antica. Tali modificazioni climatiche, oggetto di studio della geologia (cap. II), della paleontologia e dell'archeologia, si situano essenzialmente nel Terziario e nel Quaternario. Mano mano infatti che i climi sono evoluti verso una maggiore aridità, le formazioni antiche si sono conservate e taluni loro aspetti, come per es. l'indurimento delle croste, si sono accentuati. Allorché invece i climi sono evoluti verso una maggiore umidità, le formazioni antiche sono scomparse sotto l'azione degli agenti climatici o sono servite come rocce-madri a una nuova pedogenesi. Ma è forse utile soffermarsi un poco su ambedue i periodi geologici menzionati.

Formazioni del Terziario (60-1 m.a.). L'ipotesi più diffusa è quella di un clima tropicale umido che avrebbe dominato tutte le regioni a sud del Sahara a partire dalla fine del Cretaceo (130-60 m.a.) e che avrebbe provocato una pronunciata evoluzione ferralitica dei suoli, di cui i segni più importanti sono costituiti dai materiali rimaneggiati del Continentale Terminale di età Miopliocene (28-1 m.a.) che contengono tutti gli elementi ferralitici ricoprenti gran parte delle regioni sudanesi a sud del Sahel; tuttavia in queste medesime regioni anche altre formazioni rocciose, come graniti, scisti e arenarie, hanno subito fenomeni di ferralitizzazione negli stessi periodi.

Le ricerche geomorfologiche hanno dimostrato che numerose alture o altipiani ricoperti da spesse croste ferralitiche o ferruginose si trovano a quote corrispondenti; si sono prodotte numerose superfici di livellamento di età differenti, nelle quali le quote più elevate presentano le formazioni ferralitiche più evolute. Nella formazione delle croste un ruolo importante lo ha avuto anche l'azione delle falde freatiche antiche, alla quale seguì la formazione delle vallate e un intenso processo di erosione. Si possono del resto osservare suoli rossi profondi che hanno conservato fino a oggi un carattere leggermente ferralitico dovuto all'evoluzione antica. Questi paleosuoli possono incontrarsi ai margini sud del Sahel fino all'isoietta dei 600 mm, mentre le croste sono visibili in tutto il Sahel fino ai 300 mm e anche più a nord. I campi di ghiaie leggere provenienti da erosioni anteriori servono attualmente da roccia-madre a numerosi suoli di grande importanza agricola; falde di ghiaie sono presenti anche nelle terrazze alluvionali antiche (Niger); e infine vi è l'importante constatazione che i livelli di croste antiche funzionano come fonti di idrossidi, e per lisciviazione obliqua vanno ad arricchire in ferro i suoli vicini, accelerando però al tempo stesso la formazione di nuove croste.

Formazioni del Quaternario (1.000.000 - 12.000 anni). Alla fine del Terziario e durante tutto il Quaternario le regioni a sud del Sahara hanno subito mutamenti climatici di grande rilievo in un collegamento probabile con le glaciazioni in Europa (900-40 m.a.). Si è avuto un avvicendamento di 4 fasi pluviali e 4 aride, le prime in concomitanza con le glaciazioni (in Africa Kageriano, Kamasiano, Kanjeriano, Gambliano), che hanno provocato riprese più o meno violente dell'erosione accompagnate da depositi o trasferimenti di sedimenti provenienti sia da massicci che da suoli antichi. Come si è visto, in Senegal, Mali, Niger grandi sistemi idrografici antichi hanno fatto luogo a vallate fossili; in Mali e in Ciad si sono avuti vastissimi laghi; in particolare, in Mali si è creato il delta interno del Niger, mentre in Ciad un cordone sabbioso di oltre 1000 km segna ancora le rive di un enorme lago che arrivava a quota 320 m (l'attuale lago Ciad è a quota 283). In tutta la parte nord di questi paesi le serie di depositi alluvionali creatisi nel corso dei periodi umidi hanno subito, durante le fasi aride, intensi rimaneggiamenti eolici che hanno dato luogo alla formazione di grandissimi sistemi dunari. E inversamente, il dominio dei suoli ferruginosi tropicali poco lisciviati è risalito fino alla base dell'Ennedi e del Tibesti nell'alto Sahara. Del resto queste osservazioni paleopedologiche vengono a concordare perfettamente con dati storici secondo i quali nel Neolitico il Sahara era verde, mentre i primi inizi di un inaridimento si notano intorno al 3500 a.C. e le condizioni attuali si creano nel corso del millennio che termina col X secolo.

Quanto ai *materiali originari dei suoli attuali*, essi rientrano nelle grandi categorie seguenti (procedendo da N a S):

- a. *Le sabbie e le dune* presenti praticamente in tutta l'estensione del Sahel, ma particolarmente importanti ai limiti della zona sahariana in Mauritania, nella parte nord del delta interno del Niger in Mali, a N-E e E del lago Ciad, nella parte nord del Darfur e del Kordofan in Sudan.
- b. *Le formazioni del Quaternario indifferenziato* all'interno dell'ansa del Niger e in gran parte del bacino ciadiano: queste alluvioni non superano i 5-6 m nella zona dell'Ufficio del Niger in Mali e possono raggiungere i 20 m nella parte settentrionale del delta interno (zona di Ména); sono molto eterogenee dal lato granulometrico, passando da strutture molto sabbiose a depositi molto argillosi con tutte le formule intermedie.
- c. *Le formazioni del Continentale Terminale* (Miopliocene, 28-1 m a.) a W e S-W dell'ansa del Niger, nel Senegal, nel Burkina Fasso, nel Ciad meridionale: hanno un carattere relativamente omogeneo; si tratta di materiali di ruscellamento formati da una immensa falda di copertura e che hanno subito una forte alterazione ferralitica; variazioni climatiche ed abbassamenti dei livelli della base hanno permesso lo sviluppo di vari livelli di croste e in certi casi di semplici carapaci.
- d. *Le formazioni della piattaforma cristallina* ai limiti sud del Mali, in Burkina Fasso, in tutta la parte orientale del Ciad, che sono componenti dello scudo precambriano: sono formazioni di origine plutonica (graniti calco-alcalini, granitogneiss, granitodioriti, ciarnockite), metamorfica (scisti, anfiboliti, quarziti, micascisti) e vulcanica (dolerite).

2. I suoli del Sahel: generalità

L'interferenza di tutti questi fattori ha determinato la formazione di suoli di varia natura che saranno qui considerati essenzialmente sotto l'aspetto delle loro caratteristiche fisiche, e principalmente la struttura, da cui dipendono le caratteristiche idriche e idrodinamiche. Quanto alle loro proprietà chimiche generali, esse saranno citate in relazione alla loro utilità in agricoltura.

Il profilo di questi suoli è di tipo AC o A(B)C o ABC, a seconda della maggiore o minore individualizzazione degli orizzonti:

- A - orizzonti umiferi e orizzonti lisciviati
- B - orizzonti di accumulazione
- C - materiali originari.

I suoli saheliani appartengono alle seguenti classi:

- a. *Suoli minerali grossolani*, non frequenti, che si incontrano specie nella parte meridionale del Sahel, fra le isoiete dei 500 e dei 600 mm (ma che vanno fino ai 900 mm).
- b. *Suoli poco evoluti di erosione* e poco differenziati, che ricoprono vaste estensioni a tutte le latitudini, perché vanno dai 200 ai 1200 mm.
- c. *Suoli isoumici (subaridi)*, di cui i *bruni* sono caratteristici della steppa arbustica e spinosa, mentre i *bruno-rossi* sono reperibili sugli erg antichi e recenti (vanno all'incirca dai 200 ai 500 mm).
- d. *Suoli a sesquiossidi*, nella loro sottoclasse dei *ferruginosi tropicali* non o poco lisciviati, aventi caratteristiche comuni coi bruno-rossi di cui sopra, e che si incontrano su terreni sabbiosi in tutto il Sahel (250-800 mm), in associazione con gli isoumici subaridi, e nella parte meridionale anche come unità separate (500-900 mm).
- e. *Vertisuoli*, figuranti nelle zone alluvionali, fluviali e lacustri.
- f. *Suoli idromorfi*, che sono tipici di certe zone alluvionali.
- g. *Suoli alomorfi*, non degradati (salini) e degradati, anch'essi caratteristici di alcune aree alluvionali².

3. Suoli minerali grossolani

I suoli minerali grossolani di apporto o di ablazione dei deserti sono propri delle regioni sahariane. Nel Sahel abbiamo unicamente suoli minerali grossolani di erosione. Hanno un profilo (A)C, in cui l'orizzonte A, appena abbozzato, è costituito da roccia poco o nulla disgregata; comprendono rocce inalterate dure (lithosuoli) come rocce tenere penetrabili da radici (regosuoli). La loro molto scarsa evoluzione pedologica è dovuta alla continua eliminazione, da parte dell'acqua di ruscellamento, dei prodotti di alterazione della roccia-madre, dilavaggio in genere collegato con forti

² « Atlas International de l'Ouest Africain », Unités Pédologiques, a cura di R. Boulet, R. Fauck, B. Kaloga, J. C. Leprun, J. Riquier, J. Vieillefon. (Vedi carte a colori in Appendice tavv. XI-XII).

pendenze di provenienza; tuttavia in molti casi opera anche la resistenza all'alterazione nella roccia-madre medesima (quarziti, arenarie ferruginose molto consolidate, croste non recenti). Questi suoli possono trovarsi: a) su rocce diverse, b) su croste.

Circa i suoli su rocce diverse va rilevato che gli affioramenti rocciosi non ricoprono mai grandi estensioni, salvo nelle zone a forte rilievo. Di questi suoli se ne trovano in Mauritania, nel Hodh, dalla parte di Nema, intorno a Bogué sul fiume, associati a suoli poco evoluti di erosione; e in Mali, nell'altopiano Dogon e in una zona a N di Menaka oltre il Niger. I suoli minerali grossolani di erosione su croste non recenti ricoprono invece grandi estensioni in tutta la fascia climatica dei 500-900 mm, quindi figurano solo nella parte meridionale del Sahel perché gli affioramenti diminuiscono in numero ed estensione mano a mano che si procede verso nord; dove sono importanti possono presentarsi come tavole orizzontali su lunghi tratti, dei veri altipiani, o sotto forma di collinette di 10-30 m, o come gradoni a vari livelli su pendii, o possono essere disgregati in blocchi. Da segnalare i lithosuoli del Capoverde in Senegal (zone di Thiès e di Put), associati a suoli bruni eutrofici su calcari e a suoli ferruginosi tropicali poco lisciviati su sabbia.

I lithosuoli ricoprono grandi estensioni saheliiane solo nel Ciad orientale, dove prevalgono in tutta la regione montagnosa di Biltine e del Ouaddai a E di Abéché, e sono presenti nei rilievi del Darfur e dei monti Nuba nel Sudan e nel Sahel etio-pico dell'Eritrea.

Il valore agricolo di questi suoli è quasi nullo, principalmente a causa del loro insignificante spessore (qualche centimetro di detriti rocciosi e di ghiaietta misti a poca terra fina), perché per il resto le loro proprietà chimiche sono spesso abbastanza buone, particolarmente su rocce basiche e con buon tenore di fosforo. Sull'altopiano roccioso di Bandiagara nel Mali i Dogon coltivano di questi suoli in piccoli rettangoli di pochi metri quadri portandovi la terra in ceste da chilometri di distanza.

4. Suoli poco evoluti di erosione (e poco differenziati)

Hanno un profilo AC, in cui l'orizzonte A, di spessore limitato e povero di materia organica, presenta un grado di alterazione dei minerali appena più avanzato dell'orizzonte C. I suoli poco evoluti di erosione possono essere: a) di origine climatica (di apporto, subdesertici); b) di origine non climatica (di erosione in situ); ma non è sempre facile distinguere le due sottoclassi.

I primi, poco studiati, si sviluppano su rocce diverse sedimentarie o residuali mobili (suoli di reg, o regosuoli indifferenziati), come nel Mali in tutta l'area che va dalla frontiera verticale mauritana al centro di Niafouké nel delta interno del Niger; oppure su materiali sabbiosi eolici associati a suoli bruno-rossi non differenziati (Niger) o a suoli poco evoluti salini di apporto (Niger, Ciad).

I suoli poco evoluti di erosione (regosuoli differenziati) ricoprono invece grandissime estensioni perché sono presenti fra le isoiete dei 200 e dei 1200 mm, ossia dal 18°N agli 11°N. Il gruppo meglio rappresentato è quello su materiali ghiaiosi, dove la morfologia denota una tendenza evolutiva verso la facies dei ferruginosi tropicali. Nel Sahel si trovano associati a lithosuoli e a suoli ferruginosi tropicali non

lisciviati, come in Mali sull'altopiano di Bandiagara e nella zona a E di Douentza (Gourma), e nel Burkina Fasso (parte N); oppure a ferruginosi tropicali poco lisciviati su sabbie eoliche e a isoumici bruno-rossi, come in Niger nella regione a S dell'Air. Non mancano tuttavia esempi su materiale sassoso di arenarie argillose del Continente Terminale e di quarziti (in Senegal nella regione di Matam sul fiume; in Niger presso Maradi). Vi sono anche esempi di suoli poco evoluti di apporto del sottogruppo degli idromorfi, associati però a vertisuoli e a ferruginosi tropicali poco lisciviati su sabbie (in Mauritania la vasta regione a oriente di Aleg nel N e di Kaedi nel S).

Il valore agricolo di questi suoli è compromesso da fattori fisici: profondità insufficiente su materiali ghiaiosi, sassosi e arenacei, riserve idriche limitate (specie nelle sabbie eoliche del Niger, del Ciad e del Sudan); e da fattori chimici: povertà dei materiali originari, in sostanza sabbie e ghiaie ferruginose. Sono quindi messi a coltura solo in certe condizioni topografiche, come aree di depressione accumulanti volumi d'acqua superiori alla pluviometria e assenza di sale; e geografiche, come i limiti sud delle unità settentrionali di tali suoli (Niger, Burkina Fasso). Se consideriamo l'insieme dei suoli minerali grezzi (par. 3) e dei poco evoluti (par. 4) si può dire che ricoprono all'incirca 1/5 del Sahel senegalese, 1/2 del mauritano, 1/5 del maliiano, 1/4 del voltaico, 1/6 del nigerino, 1/6 del ciadiano.

5. Suoli isoumici (subaridi)

Fra i suoli isoumici solo la sottoclasse dei subaridi figura nell'Africa a sud del Sahara. Si tratta di suoli a profilo AC oppure A(B)C. Hanno un tenore relativamente alto di materia organica, e se non arriva al livello delle altre sottoclassi di suoli isoumici, ciò dipende solo dalla coincidenza della stagione calda con quella delle piogge, che favorisce la mineralizzazione dei detriti vegetali; la liberazione assai pronunciata di ferro spiega il loro colore tendente al rosso. Essi si distinguono morfologicamente e per le loro proprietà in due grandi gruppi: a) suoli *bruni*; b) suoli *bruno-rossi*, questi ultimi aventi caratteri comuni coi suoli ferruginosi tropicali poco lisciviati.

5.1. Suoli subaridi bruni

Hanno queste caratteristiche: lo spessore relativamente limitato del profilo (m 1-1,50); colorazione assai scura in tinte brune o bruno-rossastre; tenore piuttosto basso di materia organica (1%); complesso assorbente uniforme e ben saturato con frequente presenza di calcare in qualità variabile (CaCO_3) alla base del profilo; frazione argillosa composta in gran parte di montmorillonite o miche idratate; pronunciata presenza di ferro. Le condizioni climatiche e l'ambiente saturo sono probabilmente i principali fattori di polimerizzazione dell'humus (alta proporzione di acidi umici grigi).

Questi suoli sono tipici della steppa saheliana cespugliosa e arbustiva spinosa a Graminacee e si ripartiscono in 3 gruppi.

5.1.1. SUOLI SUBARIDI BRUNI MODALI

Su materiali sedimentari sabbiosi con vegetazione di steppa arbustiva o scarsamente arborata. Contengono in media il 90% di sabbia con tassi di limo assai costanti; la loro struttura è nuciforme a coesione debole e poco variabile nel profilo; il tenore di materia organica è sovente inferiore allo 0,5%. Un esempio lo abbiamo in Senegal nella parte orientale del Ferlo, dove si trovano associati a ferruginosi tropicali poco lisciviati a facies poco differenziate o modale su sabbie eoliche. Un'analisi compiuta in Ciad ha dato ³:

Profondità in cm	0-20	40-60	110-113
Argilla %	1	4	6
Limo %	2	2	1
Sabbia fina %	34	36	34
Sabbia grossa %	63	58	58
Materia organica %	0,1	—	—

5.1.2. SUOLI SUBARIDI BRUNI EUTROFICI A CARATTERE VERTICO

Sono tipicamente saheliani perché il loro limite meridionale si situa ai 15°N nel Senegal e ai 14°N nel resto del Sahel segnando esattamente il confine fra la steppa secca saheliana e la savana secca sahelo-sudanese. La loro principale caratteristica è la scarsità di sabbia grossa e la grande ricchezza di sabbia fina che ha un ruolo analogo a quello del limo; in profondità vi è spesso un orizzonte sabbioso. Altre caratteristiche: profilo non molto alto, omogeneo per non oltre 1 m e con solo una leggera differenziazione dell'orizzonte umifero; proporzione media di argilla del 20-30% con leggero aumento in profondità; tenore di materia organica dell'1%; struttura variabile da poliedrica a prismatica in superficie con fessure di riduzione, mentre in profondità poliedrica, prismatica e cubica in proporzioni variabili con qualche faccia liscia (sono in sostanza un elemento di transizione ai vertisuoli coi quali del resto hanno in comuni i siti topografici); cattiva aggregazione ed elevata dispersione, il che ne assicura la compattezza; scarsa permeabilità ma omogenea su tutto il profilo (acqua utile del 10% circa); resistenza alla stagnazione idrica media o mediocre; areazione e drenaggio buoni in clima abbastanza secco. In sostanza appaiono come una facies saheliana dei suoli bruni eutrofici dove il clima interviene a limitare sia il profilo che l'orizzonte umifero. Esempio di analisi (Kouara, regione di Birni-N'Konni, Niger — limite sud del Sahel):

Profondità in cm	0-15	20-60
Argilla %	30	35
Limo %	13	14
Sabbia fina %	53	47
Sabbia grossa %	4	2
Materia organica %	1,4	—
pF 3 — % del volume (H ₂ O utile)	21,4	21,2
pF 4,2 — % del volume	12,4	12,7
Porosità %	56	57
Porosità utile %	44	44
Capacità per l'aria %	35	36
Permeabilità cm/h	1,6	1,3
Stabilità strutturale	50	53

³ Agronomi dell'ORSTOM citati a p. 100 n. 2 (autori anche delle analisi che seguono).

Questi suoli sono presenti in Niger, sul medio corso dell'Azaouagh che muta poi il nome in Bosso, su alluvioni argillose, associati a suoli subaridi bruni su sabbie; sono presenti in Mauritania, nelle zone di Aleg, Kaedi e Selibabi, su materiali argillosi derivati da marne; figurano anche in Senegal, nella zona di Matam lungo il fiume. La loro qualità subarida dipende da tre fattori: l'erosione frena la differenziazione dell'orizzonte di superficie; l'apporto di materia organica è alla misura della scarsa vegetazione; l'alterazione è resa difficile dalla limitata percolazione, dalla forte evaporazione e dalla ridotta pluviometria.

5.1.3. SUOLI SUBARIDI BRUNI DEBOLMENTE SALINI O ALCALINI

Si sviluppano su rocce-madri ricche di elementi alcalini (graniti leucocratici, rocce alcaline, certe alluvioni). La presenza di una proporzione importante di sodio e talora di magnesio, raramente di sali solubili, conferisce loro qualità particolari: instabilità strutturale elevata, grande compattezza, scarsa permeabilità. Di questi suoli se ne trovano nel Sahel, associati a poco evoluti di erosione a facies Solonetz su materiali argillo-sabbiosi, e a ferruginosi tropicali poco lisciviati su sabbie eoliche: vedasi in Mali, nel versante SE del Gourma; in Niger nella zona a N di Tillabéry.

I suoli isoumici subaridi, se presi nel loro insieme, si può dire che ricoprono all'incirca 1/3 del Sahel senegalese, 1/4 del mauritano e del maliano, 1/5 del voltaico, quasi 1/2 del nigerino, 2/3 del ciadiano. Poiché la loro fertilità chimica è spesso elevata, il loro valore agricolo non è limitato che dalle difficili condizioni climatiche: debole pluviometria, inferiore ai 550 mm, e breve stagione piovosa. Se si eccettuano le strutture più sabbiose, la loro messa in coltura in seccagno richiede opportune tecniche di aridocoltura.

5.2. *Suoli subaridi bruno-rossi (e suoli ferruginosi tropicali lisciviati su sabbie eoliche)*

Queste due categorie di suoli, sebbene appartenenti a classi differenti, meritano una introduzione unica in quanto la natura sabbiosa del materiale originario conferisce loro molteplici caratteri comuni: debole differenziazione degli orizzonti del profilo con transizioni molto progressive; porosità e permeabilità più grandi che nei suoli più pesanti; proprietà fisico-chimiche molto vicine. Inoltre l'esistenza di sistemi dunari di età differente che non hanno subito le stesse influenze paleoclimatiche determina molti stadi di evoluzione pedologica che sono indipendenti dalle variazioni climatiche attuali e interessano sia i suoli subaridi bruno-rossi che i suoli ferruginosi tropicali poco lisciviati.

Sembra che i diversi stadi di formazione dei sistemi sabbiosi eolici antichi possa riassumersi nel modo seguente:

- Un periodo estremamente arido nel corso del quale si forma l'erg antico i cui limiti oscillano fra i 13°30'N e i 12°40'N; non se ne conosce l'età ma è possibile che sia superiore ai 40.000 anni.
- Un periodo umido.
- Un periodo arido meno accentuato del precedente nel corso del quale si forma l'erg recente a estensione più discontinua e meno meridionale di quella dell'erg

antico; corrisponde alle dune dell'Ogoliano (20.000-14.000 a.) del Senegal e della Mauritania.

- Un periodo umido.
- Un inaridimento progressivo con fluttuazioni di lieve ampiezza.

Questa successione di fasi climatiche spiega bene le differenze geomorfologiche e pedologiche osservate nell'erg antico come nel recente. L'antico, molto spianato, è formato da suoli evolutisi principalmente durante il primo periodo umido: sono ben differenziati, con profilo ABC, l'orizzonte B presentando un massimo di colore e di struttura ma con tessitura poco accentuata. L'erg recente invece, più giovane, è formato da suoli poco differenziati il cui profilo mostra deboli variazioni di colore e di porosità; sono di struttura massiccia, poco coerente e hanno un tenore basso di elementi fini. Abbiamo così due facies abbastanza distinte: la *poco differenziata*, su erg recente, di suoli fragili, chimicamente poveri, a basse riserve idriche, la cui vocazione è soprattutto pastorale; e la facies *modale*, su erg antico, di suoli le cui proprietà fisico-chimiche permettono una coltura senza rischi, compatibilmente con le condizioni climatiche.

Le variazioni pedologiche latitudinali prodotte dalla pluviometria attuale sono molto minori di quelle ereditate dai paleoclimi più umidi. Esse concernono principalmente i caratteri degli orizzonti di superficie che sono più sottili e più colorati nel nord del Sahel (suoli bruno-rossi subaridi), più spessi e piuttosto scoloriti nel sud (suoli ferruginosi tropicali poco lisciviati). Il limite fra i primi e i secondi è molto oscillante e varia fra le due isoiete dei 450 e dei 550 mm di pluviometria media annuale.

Queste due categorie di suoli su sabbie eoliche formano una banda quasi continua attraverso le regioni saheliane e sahelo-sudanesi. Si trovano spesso in associazione con suoli poco evoluti di erosione (par. 4), con suoli poco evoluti di apporto alluvionale (unico esempio: valle dell'Ader Doutchi in Niger), con suoli idromorfi e/o alomorfi (valli fossili del Niger/paese, bordi orientali del delta interno del Niger/ fiume, bacino del lago Ciad).

Dopo queste premesse sull'intimo legame fra queste due categorie di suoli possiamo ora riprendere la trattazione dei suoli subaridi bruno-rossi (i ferruginosi tropicali saranno trattati al par. 6 seguente).

I suoli subaridi bruno-rossi si trovano nella medesima zona climatica dei suoli bruni (par. 5.1.), ossia fra le isoiete dei 200 e 500 mm. Fanno parte dello stesso gruppo ma gli orizzonti umiferi sono meno spessi, hanno una materia organica più rapidamente mineralizzata che in profondità lascia apparire una colorazione dovuta all'individualizzazione degli ossidi di ferro. D'altra parte l'altezza del profilo è generalmente maggiore che nei suoli bruni perché può arrivare ai 2 m. Si osservano due orizzonti distinti: a) un orizzonte A di almeno 50 cm, di colore bruno-grigio, di tessitura generalmente sabbiosa e limosa, con struttura sovente male sviluppata e instabile; b) un orizzonte nettamente distinto che può essere di oltre 100 cm, di colore ocra rossa, con struttura a tendenza poliedrica smussata (nuciforme) e talora leggermente indurita. I colloidi contengono, accanto alla montmorillonite, una certa dose di caolinite. La materia organica è spesso più scarsa che nei suoli bruni sabbiosi.

Le altre caratteristiche fra i due tipi sono le medesime e identica è la vegetazione sovrastante pseudo-stepposa. Un'analisi compiuta in Ciad ha dato:

Profondità in cm	0-20	40-60	100-120	200-220
Argilla %	3	7	8	3
Limo %	1	2	1	1
Sabbia fina %	42	39	38	42
Sabbia grossa %	53	51	52	54
Materia organica %	0,2	—	—	—

I suoli subaridi bruno-rossi a facies poco differenziata si trovano su sabbie eoliche in Mauritania (zona di Rosso alla foce del Senegal, regione del Brakna), in Mali (Gourma occidentale) e in Niger (versante orientale); associati a ferruginosi tropicali poco lisciviati modali su sabbie eoliche, e a Solonetz su granito, in Mali (piccola estensione nel Gourma orientale); associati a idromorfi e alomorfi nel Niger orientale. I bruno-rossi a facies modale su sabbie eoliche si trovano in Mali (Gourma settentrionale) e in Niger (regioni di N-E); associati a poco evoluti di erosione su materiali ghiaiosi, e a idromorfi a pseudo-gley (Fe_2O_3 non ossidato), in Mali (Gourma, regioni di Nioro del Sahel e di Nara, zona a S di Menaka a oriente); associati a ferruginosi tropicali lisciviati e a regosuoli su arenarie argillose, in Mali (zona a S di Menaka a oriente), e in Niger (regione di Tahoua); associati a bruno-rossi poco differenziati su sabbie eoliche e a bruni in Senegal (zona di St. Louis sulla costa atlantica e nella parte sud del Ferlo).

Come si è detto, i suoli bruno-rossi hanno una vocazione pastorale a causa della insufficiente pluviometria e sono localizzati nella parte superiore del Sahel su una fascia dell'ampiezza di 200-400 km. Debole è il tenore di materia organica, spesso inferiore allo 0,5% e con un rapporto Carbonio/Azoto fra 8 e 10 (anche 12); pure bassi i tenori di azoto (0,2-0,5 per mille), come del resto i tenori di basi scambiabili le cui somme superano raramente i 2-3 meq per mille; e infine parimenti debole il tenore di P_2O_5 (0,1-0,3 per mille). La fertilità di questi suoli sabbiosi è dunque mediocre e un'erosione eolica si manifesta frequentemente quando sono messi a coltura. Vengono in genere coltivati a miglio e arachidi con rese identiche a quelle dei suoli 'Dior' (par. 6.1.).

6. Suoli ferruginosi tropicali poco lisciviati (classe dei suoli a Sesquiossidi)

Nel loro insieme i suoli ferruginosi tropicali si situano fra le isoiete dei 500 e dei 1200 mm, corrispondenti alle zone sahelo-sudanese, sudanese e sudano-guineana. Il regime delle precipitazioni provoca variazioni forti e repentine del profilo idrico nel corso dell'anno, con eccessi di umidità nella stagione piovosa fino a fenomeni di riduzione, specie nei casi di superfici piane di grandi altipiani e penepiani; nella stagione secca invece vi è deficit idrico col predominio di fenomeni di ossidazione. Queste variazioni brutali di umidità favoriscono la lisciviazione dell'argilla, come pure variazioni nel potenziale di ossido-riduzione provocando la ridistribuzione dei sesquiossidi. Questi suoli hanno una tendenza pronunciata all'individualizzazione del ferro e del manganese; il fenomeno è legato all'evoluzione e alla decomposi-

zione rapida della materia organica e all'accumulazione dell'argilla nell'orizzonte B, il che a sua volta favorisce fenomeni di temporanea idromorfia.

I suoli ferruginosi tropicali si differenziano in base al grado di lisciviazione dei colloidi minerali: abbiamo così i suoli *lisciviati* che possiedono un orizzonte di accumulazione dell'argilla in profondità, e i suoli ferruginosi tropicali *non o poco lisciviati* ove non vi è praticamente alcuna migrazione di argilla. Nel Sahel figurano solo questi ultimi.

Essi hanno come limite sud l'isoieta degli 800-900 mm. Ecco le loro caratteristiche: profilo di tipo ABC, assai profondo, in genere di 2 m; orizzonte A, di circa 40 cm, sabbioso e scarsamente strutturato; orizzonte B, più spesso, sabbioso e sabbio-argilloso, sovente indurito allo stato secco; verso i m 1,50-2 si passa all'orizzonte C costituito dal materiale originario, generalmente della sabbia; debole il tenore di materia organica totale (0,35% in superficie, 0,20% all'orizzonte B); tasso di umidificazione relativamente elevato (50% in superficie) e ripartizione delle frazioni umide diversa da quella dei suoli isoumici subaridi. I suoli ferruginosi tropicali non lisciviati hanno 2 sottogruppi: a) suoli beige (facies modale); b) suoli oca (facies poco differenziata).

6.1. Suoli 'beige' o 'Dior'

'Dior' è il vernacolo senegalese per i più tipici fra questi suoli che hanno le seguenti caratteristiche: profilo di m 1,50 in media; orizzonte A inferiore ai cm 20, grigiastro, leggermente umifero, di tessitura sabbiosa; orizzonte B più spesso, leggermente rossastro per l'accumulazione diffusa di ferro, di tessitura sabbiosa, pochissimo argillosa, di struttura poco sviluppata; passaggio progressivo all'orizzonte C dei materiali originari, ossia a sabbie quarzitiche di origine complessa; l'orizzonte di superficie ha meno del 5% di argilla e limo, mentre in profondità i tenori restano sempre inferiori al 10%. Molto importanti sono le caratteristiche idriche: la capacità di ritenzione dell'acqua è del 6% in superficie e del 10% in profondità, corrispondente a un pF di 2-2,5; il punto di avvizzimento è molto basso, dell'1,5% in superficie e del 4% in profondità, il che fa sì che le quantità di acqua utili sono considerevoli e non vi è praticamente ritenzione di acqua non utilizzabile, come è il caso dei suoli argillosi, elemento molto importante nei paesi aridi. La permeabilità è elevata nel suolo secco e diminuisce di molto in quello umido; il suolo assorbe bene l'acqua delle prime piogge, dopo di che questa non si infila che lentamente, per cui sotto forti precipitazioni può prodursi erosione o stagnazione; vi è un disseccamento immediato degli orizzonti di superficie, mentre quelli di profondità possono rimanere leggermente umidi per molto tempo. Sono suoli molto sensibili all'erosione eolica e sono poveri di elementi chimici, ma la presenza dei colloidi umici spiega la loro relativa fertilità. Esempio di analisi compiuta in Niger:

Profondità in cm	0-10	40-50
Argilla %	4	10
Limo %	2	2
Sabbia fina %	63	53
Sabbia grossa %	32	37
Materia organica %	0,24	—

pF 3 % del volume (la capacità del campo che corrisponde a pF 2,2 è più elevata, 8-10 %)	3,2	5,4
pF 4,2 del volume	2,0	4,0
Porosità %	37	36
Porosità utile %	35	32
Capacità per l'aria	34	31
Permeabilità suolo saturo in cm/h	1,2	1,0

6.2. Suoli ocra

Formano un sottogruppo meno omogeneo dei 'beige' sabbiosi. Sono riconoscibili soprattutto per il loro colore di ocra rossa più o meno scura fin dalla superficie, che è tanto più accentuato quanto maggiore è la quantità di argilla. Altre caratteristiche: tessitura sabbio-argillosa piuttosto pulvirulenta in superficie ma con aumento rapido del tenore di argilla in profondità e della compattezza; proporzione di argilla in superficie da un minimo del 6-7% a un massimo del 25-30%, con medie più alte in profondità ma non superiori al 30%; debole tenore di limo; alto tenore di sabbia fina; presenza o meno in profondità di ghiaie ferruginose, che vengono in superficie in caso di erosione; basso tenore di materia organica e azoto, ma tuttavia di 2-3 volte superiore a quello dei 'beige'; tenori medi e abbastanza buoni di basi scambiabili e di potassio; rispetto ai 'beige' pH più acido; fosforo totale piuttosto elevato ma sotto forma poco assimilabile (fosfato di ferro); porosità superiore a quella dei 'beige' a causa del tenore di argilla come pure dell'umidità equivalente e del punto di avvizzimento; tenore di acqua utilizzabile a pF 3 di 2-3 volte più elevato che nei 'beige' e maggiore capacità del campo (pF 2,2-2,5); permeabilità del suolo saturo troppo bassa, dello stesso ordine che nei 'beige'; struttura mediocre. Esempio di analisi compiuta in Niger:

Profondità in cm	0-20	40-50
Argilla %	2	27
Limo %	7	8
Sabbia fina %	51	48
Sabbia grossa %	21	16
Materia organica %	0,7	—
pF 3, % in volume	16	20
pF 4,2, % in volume	11	14
Porosità %	40	48
Permeabilità cm/h	0,8	1,5

6.3. Localizzazione

I suoli ferruginosi tropicali non o poco lisciviati ricoprono nel Sahel considerevoli estensioni. In particolare nel Senegal sono presenti in buona parte delle regioni di Thiès e di Diourbel, associati a ferruginosi a facies poco differenziata; e in parte della regione del Fiume verso NE, associati a poco evoluti di erosione su materiali ghiaiosi. In Mali sono presenti nell'angolo NW del paese in due vaste zone a S di Nara, e poi a W del delta interno del Niger, a S e a E di Mopti, a S e a E della falesia di Bandiagara. In Burkina Fasso ve ne sono nella regione di Dori, con facies poco differenziata. In Niger ricoprono quasi tutte le regioni di Maradi, Zinder e Niamey, associati a poco evoluti di erosione su ghiaie; una vasta zona a S

di Tahoua, associati a poco evoluti di erosione, a lithosuoli su arenarie ferruginose, a poco evoluti di apporto su alluvioni; sono poi presenti nei 'oued' o 'dallol', associati a idromorfi a gley (FeO non ridotto) salini e non salini, e con facies idromorfa su materiali sabbiosi nella zona del Kamadougou a W del lago Ciad. In Ciad figurano solo nei dintorni del lago Fitri e poi a E e SE di Abéché. Mancano in Mauritania.

Si tratta perlopiù di 'beige' (chiamati 'Séno' nel Mali). Dal punto di vista agricolo i ferruginosi tropicali non lisciviati poco differenziati sono generalmente riservati alla pastorizia (eccetto che in Senegal). Quelli della facies modale sono invece coltivabili con sufficiente pluviometria limitatamente però alle colture adattabili ai suoli leggeri: miglio, niébé, arachide. La loro fertilità è influenzata dalla natura petrografica del supporto dell'erg e dallo spessore del mantello sabbioso: è massima negli strati sabbiosi spessi su rocce basiche, mentre è in genere limitata quando lo strato sabbioso riposa su croste o rocce sedimentarie arenacee o quando è troppo spesso. Sono comunque particolarmente adatti alla coltura dell'arachide per la loro tessitura sabbiosa che permette il recupero dei gusci, e anche perché l'arachide vive in parte dell'azoto atmosferico fissato dai nodi (la rotazione è in genere col miglio). In coltura tradizionale le rese possono essere di 500-600 kg/ha, in coltura migliorata di 1000 e fino a oltre 1500 kg/ha, l'unico fattore limitativo essendo rappresentato dalla pluviometria.

Quanto ai suoli ocra, essi sono particolarmente adatti alla coltura del sorgo; in irrigazione e con adeguata concimazione possono produrre cotone e, nelle valli alluvionali, riso. Tanto per la cronaca, vi è una presenza inconsueta anche di ferruginosi tropicali lisciviati a concrezioni, in associazione con idromorfi a pseudo-gley e a lithosuoli su arenarie: ciò in Mali (NW e NE di Ségou, E di Mopti) e in Niger (S di Tahoua), ma si tratta di piccole estensioni.

7. Vertisuoli

Le loro due principali caratteristiche sono: a) una tessitura sempre argillosa con tenore spesso elevato; b) la prevalenza di argilla di tipo montmorillonitico ($\text{Al}_3(\text{OH})_2 \cdot \text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), ossia argille gonfianti, soggette a espansioni e contrazioni in dipendenza delle fasi climatiche che provocano movimenti interni.

Questi movimenti interni si traducono come regola generale negli effetti seguenti: a) profilo di tipo A(B)C o A(B) più o meno omogeneizzato o irregolarmente differenziato; b) fessurazione molto accentuata; c) apparizione, almeno alla base del profilo, di facce di slittamento oblique, patinate o striate; d) molto debole macroporosità. Meno frequentemente in queste regioni possono manifestarsi, a seguito dei movimenti interni, fenomeni di cedimento, con l'eventuale formazione di dedali di canali o depressioni, o l'apparizione in superficie di un microrilievo a 'gilgai'.

I vertisuoli comprendono 2 sottoclassi, distinte in base al pedoclima dei loro suoli: a) *vertisuoli topomorfi o idromorfi* formati in aree piane o in depressioni a drenaggio esterno nullo; b) *vertisuoli lithomorfi* a drenaggio esterno possibile e suf-

ficiente per essere bonificati, aventi una idrografia di stagnazione di origine petrografica.

Ciascuna delle due sottoclassi può ulteriormente distinguersi in 2 gruppi a seconda della struttura dell'orizzonte superiore: a) *gruppo grumerulare*; b) *gruppo non grumerulare* (più adatto alle colture). E infine ciascun gruppo comprende 4 sottogruppi: a) modale; b) a caratteri vertici mediamente accentuati; c) a larghe concrezioni di idromorfia; d) a carattere salino.

Nel Sahel figurano solo i vertisuoli della sottoclasse dei topomorfi o idromorfi (mancano i lithomorfi).

I vertisuoli sono generalmente associati a rocce-madri basiche (eccetto che in Burkina Fasso). A seconda del complesso di alterazione dell'argilla (montmorillonite) si differenziano dal punto di vista fisico-chimico in 3 tipi: a) suoli con forti processi di espansione e contrazione; b) suoli bruni eutrofici nei quali tale processo è relativamente ridotto; c) suoli alomorfi e a facies Solonetz. Caratteristiche del profilo: profondità limitata, da m 0,50 a 1,50; colore scuro in tutta la sua estensione, dovuto al predominio di acidi umici grigi molto stabili; la struttura può essere compatta fino all'orizzonte superficiale e assumere fessure prismatiche a seguito della contrazione per asciugamento; ma può anche essere in superficie grumerulare o poliedrica, dando luogo a un orizzonte superficiale di 10-30 cm abbastanza mobile. Altre caratteristiche: tenore di materia organica nelle regioni aride dell'1% (2-3% in quelle umide); pH uguale o superiore a 7; rapporto $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ generalmente superiore a 3; elevata saturazione del complesso assorbente; capacità di scambio di basi variante da 30 a 60 meq. Esempio di analisi compiuta nelle alluvioni del delta interno del Niger.

Profondità in cm	0-25	25-50	50-75
Argilla %	48	50	54
Limo %	14	12	14
Sabbia fina %	23	21	17
Sabbia grossa %	10	11	8
Materia organica	1,0	0,6	0,6
pF 3 % in volume	30	31	32
Porosità %	58	62	65
Permeabilità in cm/h	4,0	0,4	0,4

Nel delta interno del Niger in Mali questi vertisuoli tipici delle regioni aride sono noti come 'Moursi' e rappresentano circa il 10% della superficie totale del delta che è di km 325×90 . Occupano le piccole depressioni e hanno un micro-rilievo 'gilgai'; sono di colore scuro per oltre 1 m e mostrano larghe fessure di contrazione; la struttura è poliedrica in superficie su circa 10 cm e molto compatta in profondità; in superficie molti sono i noduli calcarei.

Di questi vertisuoli se ne incontrano in tutte le zone dove i materiali originari sono ricchi di calcio e magnesio, e permettono lo sviluppo di un suolo in condizioni di cattivo drenaggio interno o esterno:

- Topomorfi grumerulari modali su alluvioni argillose: area a cavallo della frontiera fra Mauritania e Mali, a W di Niafouké, associati a non grumerulari e a idromorfi su materiali sabbiosi;

- Topomorfi non grumerulari modali su alluvioni argillose: in Mali nella zona a N di Ségou, associati a subaridi bruni e a ferruginosi poco lisciviati modali;
- Topomorfi non grumerulari alcalinizzati su alluvioni argillose: vasta area del Niger a W del lago Ciad (bacini del Kadzel e del Kamadougou), associati a idromorfi su materiali sabbiosi, a ferruginosi poco lisciviati su materiali sabbiosi e ad alo-morfi;
- Topomorfi di vari tipi su alluvioni argillose: in Ciad fra N'Djamena e il lago, più a E nel bacino inferiore del Bahr-el-Ghazal, in tutta una vasta zona a SW, S e SE di Ati.

Sono nel complesso suoli fertili. Quanto ai fattori chimici va rilevata la grande ricchezza minerale, quindi l'alto potenziale di fertilità chimica naturale, che tuttavia può essere limitato da carenze di azoto, fosforo e potassio e/o da uno squilibrio in Ca/Mg; la ricchezza minerale può essere migliorata con arature profonde (in genere i materiali argillosi sottoposti contengono solo esigue quantità di Na^+ scambiabile). Circa i fattori fisici, la struttura è molto spesso l'elemento limitativo della fertilità: il gruppo dei grumerulari permette un'aratura facile per cui l'elemento limitativo non può essere rappresentato che da una cattiva stabilità strutturale e/o da una stagnazione di origine topografica (vertisuoli idromorfi); per il gruppo dei non grumerulari tutto dipende dalla finezza della struttura, altrimenti l'aratura è difficile (troppo sforzo di trazione a secco, elevata adesività in condizioni umide), per cui si imporrebbe la meccanizzazione delle colture ancora oggi inattuabile per ragioni tecnologico-culturali. Circa infine il regime idrico, si può notare che l'acqua ha un doppio effetto in relazione alla fertilità di questi suoli: a) il più sovente per il suo eccesso (stagnazione di origine topografica); b) a volte per la sua mancanza: è il caso di zone aride come il N del Burkina Fasso, l'angolo SE della Mauritania sulla frontiera maliana o la regione del Damergou nel Niger orientale (ove abbiamo l'unico esempio di vertisuoli lithomorfi sotto forma di suoli alcalinizzati su argille gessifere associati a regosuoli).

Per quanto riguarda il problema dell'alcalinizzazione, va notato che essa aggrava il problema idrico rendendo questi suoli quasi totalmente impermeabili e con cattiva stabilità strutturale: è il caso delle alluvioni fluvio-lacustri del Kadzel e del Kamadougou nel Niger orientale che non sono in coltura.

8. Suoli idromorfi

Questa classe riunisce tutti i suoli la cui evoluzione è essenzialmente caratterizzata dagli effetti di un eccesso di acqua di stagnazione in profondità, dovuto alla risalita di una falda, o in superficie, dovuto a inondazione temporanea, semi-permanente o permanente. La distribuzione dei suoli idromorfi è poco influenzata dalla lithologia e dalla climatologia, come è invece il caso delle altre classi di suoli. Qui sono le condizioni topografiche legate alla geomorfologia che in base alle possibilità alluvionali determinano la loro distribuzione agendo sulle possibilità di drenaggio. La natura delle rocce-madri, tramite la loro permeabilità, e le con-

dizioni pluviometriche, non intervengono che nel dosaggio degli effetti dell'idromorfia. In sostanza i suoli più organici sono situati di preferenza nelle regioni più piovose e con rocce-madri argillose, oppure sul mare dove rappresentano allora una transizione fra suoli poco evoluti e suoli salini, ma si tratta di unità minime. I suoli mediamente organici invece si presentano in unità più estese e sono generalmente legati agli assi alluvionali.

I suoli idromorfi sono divisi in 3 sottoclassi definite in funzione dell'intensità e della durata della stagnazione idrica, che si riflette sui tenori e i tipi di materia organica: a) *organici o torbosi* costantemente ingorgati e ricchissimi di materia organica (non ve ne sono nel Sahel); b) *mediamente organici*; c) *minerali a gley o pseudo-gley*.

8.1. *Suoli idromorfi mediamente organici (umici a gley)*

Si tratta di suoli il cui tenore di materia organica supera persino il 10%. Formano un gruppo unico, quello dei suoli umici a gley (FeO ridotto con alone blu). Sono sede di una idromorfia totale ma a volte temporanea, senza una evoluzione molto spinta della materia organica e del materiale sottostante, e presentano un orizzonte a gley in profondità (sono in sostanza suoli con humus di tipo anmoor acido con C/N poco differenziato di 15, complesso desaturato); hanno una tessitura variabile spesso limosa o limo-argillosa; l'orizzonte profondo è argilloso nella proporzione del 50-70% con a volte un tenore di limo del 15-20%; oltre che di materia organica sono ricchi di azoto; il pH è neutro o leggermente alcalino, ricchissimo di basi, generalmente P_2O_5 . A seconda delle caratteristiche climatiche e chimiche della loro sede di formazione, si distinguono in *suoli umici a gley salini*, *suoli umici a gley con anmoor acido*, e *suoli umici a gley con anmoor calcico* (questi ultimi mostrano nel profilo noduli di incrostazione o croste calcaree raccolte in macchie o a diversi livelli).

Se ne trovano in Senegal sulla costa atlantica (nelle Niayes) all'interno di unità di suoli poco evoluti di apporto modali su sabbie eoliche; se ne trovano pure sulle rive del lago Ciad, nei polders creati dall'uomo; si tratta nei due casi di depressioni interdunari inondate dalle piogge e dalla risalita di acque di falda o lacustri. Sono fra i terreni più ricchi dell'Africa: sul lago Ciad producono 3 colture irrigue all'anno, una di frumento e due di mais.

8.2. *Suoli idromorfi minerali a gley (o poco umiferi)*

Sono caratteristici soprattutto a causa della loro policromia dovuta all'idromorfia e che riflette i limiti di certi elementi presenti nel profilo, come ferro e manganese. Rispetto ai precedenti sono meno ricchi di materia organica, che è inferiore all'8%, ma sono spesso più evoluti. A seconda delle manifestazioni di questa idromorfia si distinguono nei 2 gruppi sotto indicati.

8.2.1. SUOLI A GLEY

Il profilo, di limitata profondità, è soggetto a stagnazione idrica prolungata e sede di fenomeni di riduzione senza fasi successive di aerazione, quindi di riossidazione,

per cui prevale e domina l'ossido ferroso (FeO) accompagnato da tinte bluastre o verdastre; estremamente varia la tessitura che può essere sabbiosa, sabbio-argillosa, argillo-sabbiosa, argillosa, argillo-limosa, limo-argillosa; la struttura è sovente non fine. A seconda della posizione dell'orizzonte di gley e dei caratteri secondari dovuti alla lisciviazione o all'alomorfia, si possono distinguere 4 sottogruppi: a) gley di superficie o di insieme; b) gley di profondità; c) gley salina; d) gley lisciviata.

Nel Sahel sono presenti unicamente suoli a gley di profondità: sono localizzati nei 'oued' meridionali del Niger come il Tarka, il Goulbin Kaba, il Goulbin Maradi, associati a ferruginosi poco lisciviati su sabbie, e poi in una zona bene a oriente di Zinder, associati a suoli salini su materiali vari. Sono frequentemente incolti, data la difficoltà per i coltivatori tradizionali di assicurare il drenaggio e controllare l'irrigazione; tuttavia, in determinate condizioni di tessitura e di posizione geografica, possono essere produttivi, principalmente in riso, ma anche in miglio pluviale e di deflusso delle acque.

8.2.2. SUOLI A PSEUDO-GLEY

Il profilo subisce una stagnazione idrica periodica per cui il processo di riossidazione prende il passo su quello di riduzione con prevalenza di ossido ferrico (Fe_2O_3), il che produce colorazioni più vive e può portare alla formazione di concrezioni di ferro o di manganese, eventualmente alla inclusione nel complesso di orizzonti di carapace o di crosta. Si distinguono quindi: a) suoli a macchie o concrezioni; b) suoli a carapaci o croste.

I suoli a pseudo-gley sono molto più rappresentati che i precedenti perché generalmente occupano i letti dei grandi assi fluviali. Lungo tutta la valle del fiume Senegal ne esistono in unità allo stato puro (facies modale), mentre in altri casi sono associati a idromorfi minerali a gley di profondità e a vertisuoli. Nel Mali ricoprono praticamente tutto il delta interno del Niger, nella metà di NE, associati a poco evoluti di apporto, nella metà di SW associati a vertisuoli; sono presenti anche in lunghi tratti del fiume sia a monte che a valle del delta (compreso l'affluente Bani). In Niger se ne trovano a SE del lago Ciad, associati a poco evoluti e a salini. In Ciad sono rappresentati a NE di N'Djamena, nei dintorni del lago Fitri e in piccole unità nella parte orientale del paese.

9. Suoli alomorfi

Sono così chiamati (dal greco 'halos' = sale) i suoli la cui evoluzione è dominata: a) sia dalla presenza di sali solubili, il cui elevato tenore provoca importanti modificazioni nella composizione della vegetazione (tenore salino esprimendosi in una conduttività dell'estratto di pasta saturata del suolo superiore a 4 millimho/cm a 25°); b) sia dalla ricchezza del loro complesso assorbente in ioni (Na, K e anche Mg), capace di provocare la dispersione dell'argilla, in pratica la sua distruzione (e che si esprime mediante il rapporto $(\text{Na} + \text{K})/\text{T}$ superiore al 15%).

Nel primo caso si avranno tenori elevati di sali solubili, cioè clorati, solfati, carbonati di sodio, potassio e magnesio; e quando la conduttività sarà almeno uguale

a 4 millimho/cm a 25° avremo i *suoli alomorfi non degradati o salini*. Nel secondo caso invece, a causa dei cationi salini adsorbiti e quando il rapporto Na/capacità di scambio raggiungerà il 12%, avremo i *suoli alomorfi a struttura degradata*, che si dividono in 3 gruppi: a) a alcali non lisciviati, b) a alcali lisciviati, c) a alcali a argilla degradata.

9.1. *Suoli non degradati o salini*

Sono caratterizzati unicamente dalla loro salinità, quale che sia l'origine del materiale sul quale si sono formati che è molto varia: depositi marini litorali in zona tropicale o arida, depositi lacustri in zona arida, o l'azione di una falda salata o di irrigazione con acque mineralizzate (azione antropica). Il tenore di materia organica è alto, del 2-3%; quello di azoto è dell'1-1,5 per mille. La reazione è fortemente alcalina quando i sali sono in prevalenza CO_3Na_2 , neutra o acida nel caso di NaCl. Suoli salini a incrostazioni sono presenti nelle depressioni delle rive e degli isolotti del bacino N del lago Ciad, associati a bruno-rossi subaridi; sono presenti in tutto il delta del fiume Senegal, fra St. Louis e Rosso, associati a idromorfi a pseudo-gley.

L'alto tenore salino è incompatibile con qualsiasi coltura per quanto tollerante, mentre il dissalamento della falda salata prossima alla superficie è molto difficile e comporta gravi rischi tecnico-economici.

9.2. *Suoli a struttura degradata e ad alcali non lisciviati*

Il profilo non mostra differenziazioni di tessitura diverse da quelle dei materiali costituenti; il complesso assorbente è ricco di ioni alcalini e/o magnesio. Il tenore di sali solubili invece può essere molto variabile: se è forte si esprime con una struttura particolarmente fine nell'orizzonte superficiale (suoli molto salini ad alcali), mentre se è debole la struttura è massiccia già in superficie (suoli poco salini ad alcali). Come nel caso precedente questi suoli non sono dominanti che in luoghi poco distanti dal mare, a sedimentazione marina o fluvio-marina, ove gli apporti di acqua dolce fluviale o la presenza di una falda dolce nei terreni vicini permettono una lisciviazione più o meno pronunciata dei sali solubili: è il caso del delta del Senegal dove tali suoli si trovano associati a idromorfi salini e idromorfi a pseudo-gley; ma ve ne sono anche nel Niger e in molte e vaste zone del Ciad centrale e orientale.

In clima saheliano non sono generalmente coltivabili per la loro cattiva struttura e l'impermeabilità, ma ci sono coltivatori tradizionali che malgrado tutto li utilizzano costruendo intorno alle parcelle delle dighe che consentono all'acqua piovana di infiltrarsi; sono piantati a sorgo con trapianto al momento del deflusso delle acque.

9.3. *Suoli a struttura degradata e ad alcali lisciviati*

La dispersione dell'argilla, causata da ioni alcalini adsorbiti, si prolunga per migrazione in profondità nell'orizzonte B, che può così assumere una struttura caratteristica a colonnette oppure rimanere a struttura massiccia o prismatica, e ciò fa

luogo a due sottogruppi: a) *Solonetz con struttura a colonnette*, b) *Solonetz con struttura prismatica o massiccia*. Nel Sahel abbiamo solo il primo.

I Solonetz con struttura a colonnette nell'orizzonte B si sviluppano su materiale da sabbio-argilloso ad argilloso derivato da graniti in senso lato e da rocce diverse della piattaforma precambriana. Ve ne sono nel Sahel burkinabé in qualche unità pura ma soprattutto in associazione (subaridi bruni a carattere vertico su materiali argillo-sabbiosi; ferruginosi poco lisciviati su sabbie eoliche; poco evoluti su materiale ghiaioso; ferruginosi poco lisciviati e poco evoluti su materiale ghiaioso). Ve ne sono egualmente nel Ciad a S del lago, associati a vertisuoli topomorfi e a idromorfi a gley, nella parte orientale del paese e lungo gli argini dei diversi corsi d'acqua. Sono totalmente inutilizzabili eccetto che per un modesto interesse pastorale.


10. Altri suoli


Nel Sahel non figurano suoli ferralitici. Di suoli a mull tropicali, sottoclasse dei bruni eutrofici a carattere vertico, vi è un solo esempio, in un punto a SE della regione del Gourma in Mali, dove sono in associazione con poco evoluti ghiaiosi e lithosuoli.


Considerato che nella precedente trattazione siamo entrati abbastanza nel dettaglio sia per le qualità fisico-chimiche dei vari tipi di suoli che per la loro rispettiva distribuzione geografica e topografica, riteniamo utile riportare qui di seguito delle cartine riassuntive per paese con i suoli espressi solo per grandi categorie essenzialmente dal punto di vista del loro potenziale agricolo. Ciò permetterà al lettore di avere un'idea generale della pedologia anche delle zone sahariana e sudanese a nord e a sud del Sahel.


LEGENDA DETTAGLIATA DELLA CARTA DELLA POTENZIALITÀ DEI TERRENI


(dalla carta pedologica ORSTOM al 1/5.000.000 dell'Atlante Internazionale dell'Africa occidentale - O.U.A.).


- 


Terreni minerali grezzi e poco evoluti, *desertici e subdesertici*. Possibilità agricole debolissime solo con irrigazione dei terreni subdesertici, ma generalmente a costi elevatissimi (agricoltura d'oasi).
- 


Terreni alomorfi di vario tipo (*salati e sodici*). Valore agricolo nullo senza notevoli investimenti.
- 

Terreni poco evoluti d'apporto. Utilizzabili in agricoltura con l'apporto d'acqua e di materiali organici (per tanto a costi elevati).
- 

Terreni di erosione, minerali grezzi (placche) e terreno poco evoluti. Pascoli estensivi; con, quando le precipitazioni lo consentono, colture nelle valli e sui terreni ghiaiosi al bordo delle placche (dal 2-3 al 5% della superficie).
- 

Terreni isoumici-subaridi. Scarse possibilità di coltivazione in relazione con la scarsità di precipitazioni. Possibilità di colture varie subordinate all'irrigazione e alla concimazione.
- 

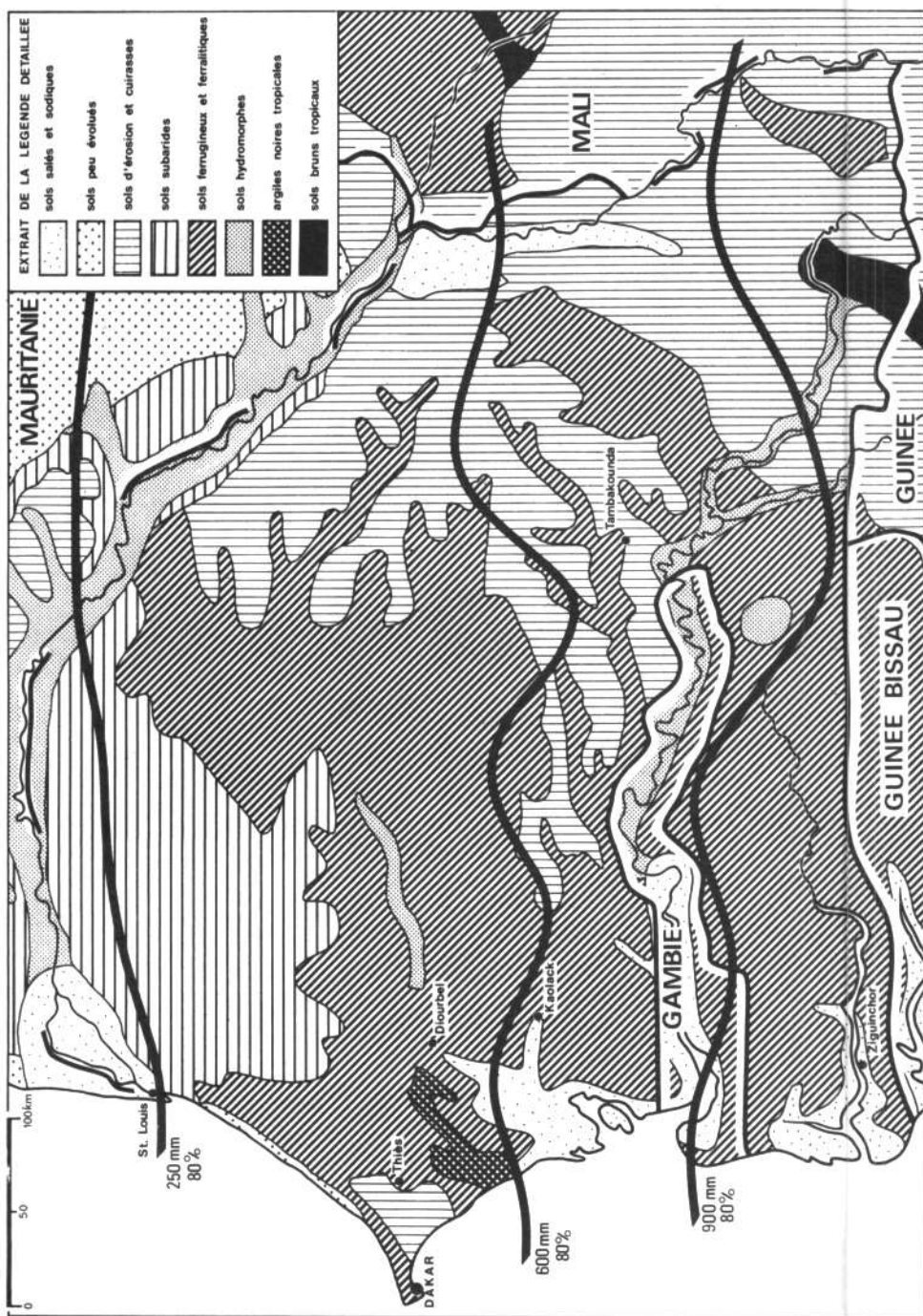
Terreni ferruginosi e terreni ferrallitici (+ terreni idromorfi nel sottosuolo - 5-8% circa della superficie). Terreni compatti e mobili di contenuto chimico variabile. Fattore limitante prevalente per l'agricoltura: la *suddivisione delle piogge*. Altrimenti buona resa per colture varie (miglio, arachidi, cotone ad esempio) con l'apporto di fosfati e di concime organico e con ripari all'erosione.
- 

Terreni idromorfi. Contenuto chimico vario. Saturi d'acqua in modo continuo o stagionale, in superficie o in profondità; da qui la necessità di drenaggi per la loro valorizzazione. In questo caso, possibilità di colture variate e interessante potenzialità per la coltura del riso.
- 

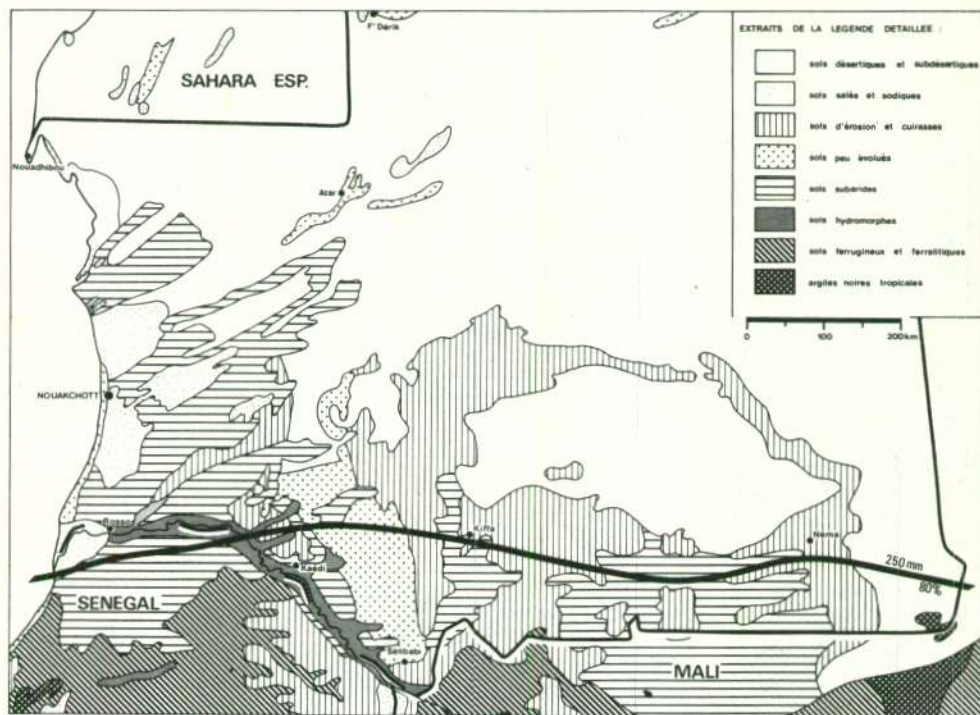
Argille nere tropicali (vertisols). Terreni ricchi dal punto di vista chimico, ma pesanti e bisognosi d'acqua. Di difficile lavorazione con i metodi tradizionali. Buona resa per colture varie (miglio, sorgo, cotone, canna da zucchero, frutta ecc.) con lavoro meccanico o irrigazioni complementari.
- 

Terreni scuri tropicali. I più ricchi dal punto di vista chimico della zona del Sahel; mobili ma non troppo profondi: sottoposti molto all'erosione. Colture varie - terre adatte al cotone, ad esempio.

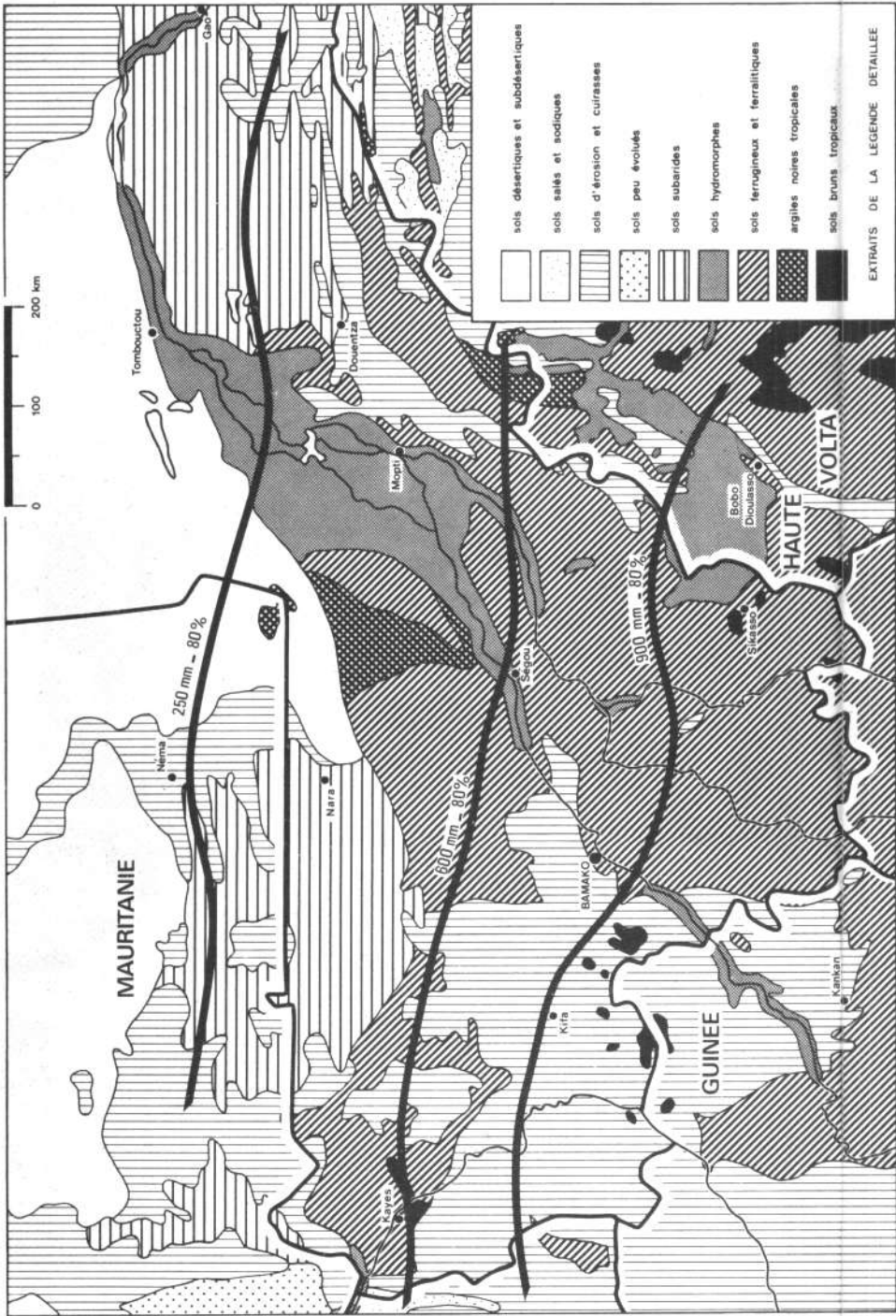
Questa legenda è stata stabilita con il contributo dei pedologi dell'ORSTOM e degli agronomi del Ministero della Cooperazione (Francese).



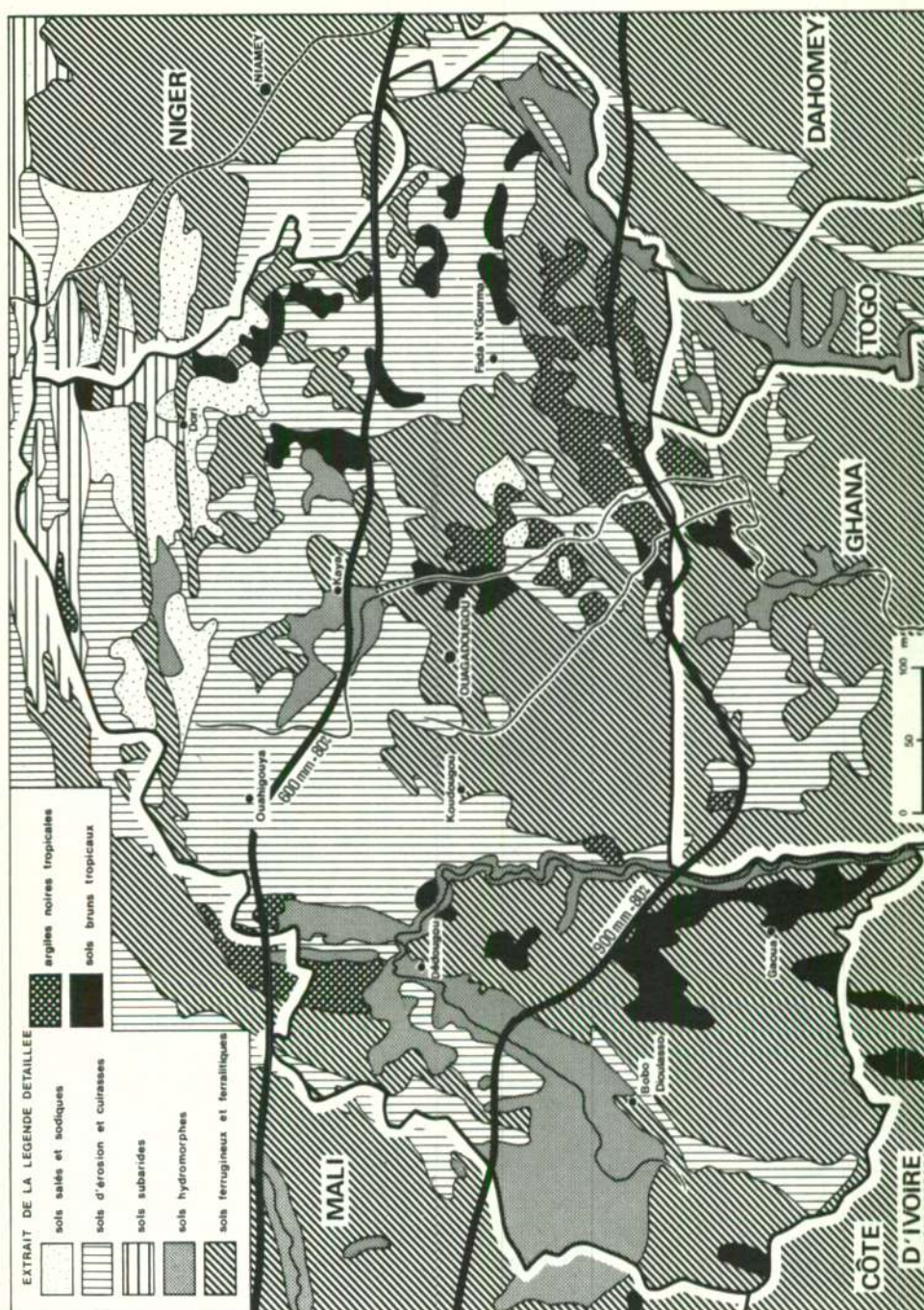
Senegal (Ministero della Cooperazione Francese, 1976).



Mauritania (Ministero della Cooperazione Francese, 1976).



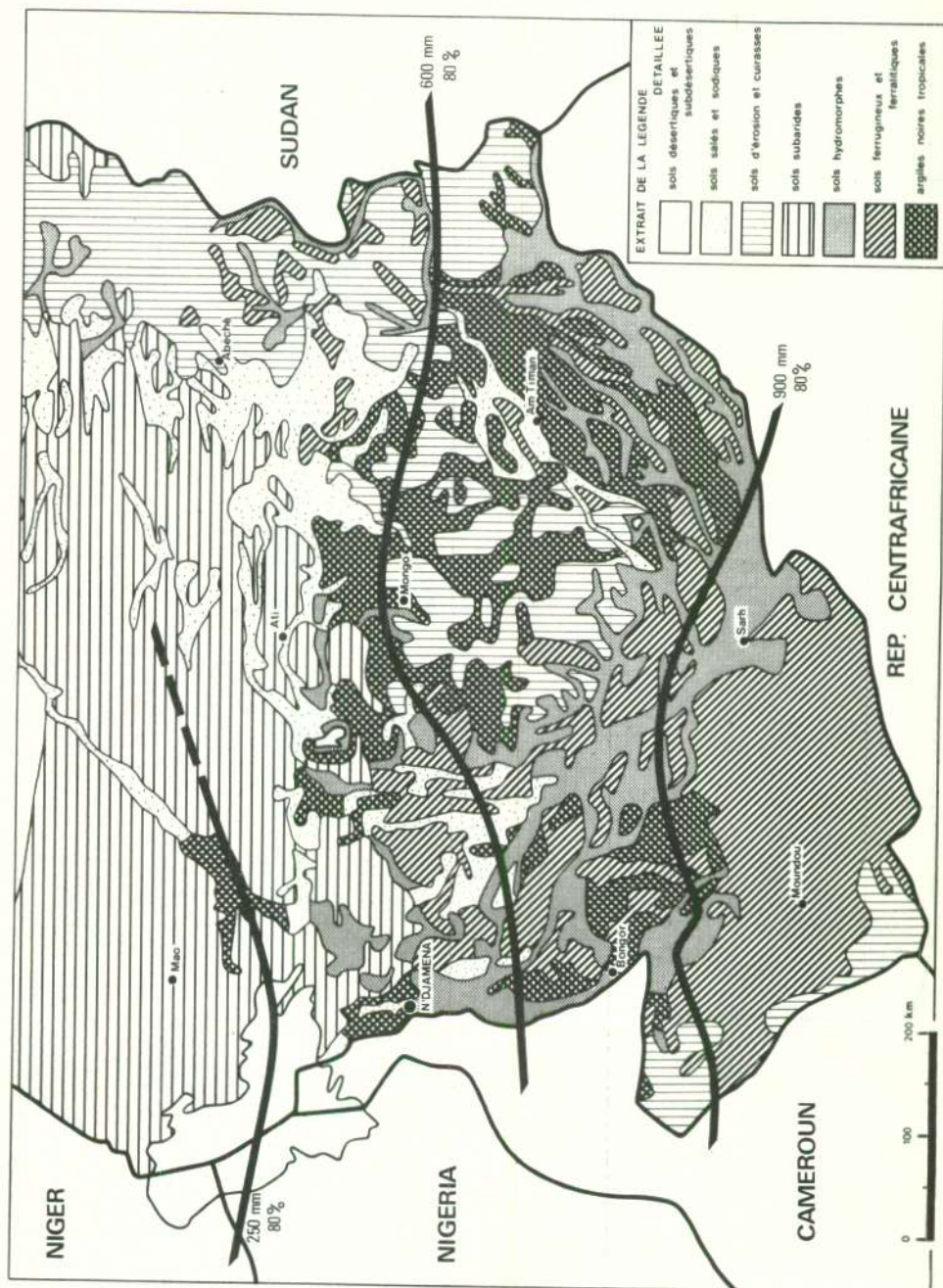
Mali (Ministero della Cooperazione Francese, 1976).



Burkina Faso (Ministero della Cooperazione Francese, 1976).



Niger (Ministero della Cooperazione Francese, 1976).



Ciad (Ministero della Cooperazione Francese, 1976).