

Ce chapitre présente les contextes géographique, géologique et pédologique de la région de Coquimbo, Chili. Les objectifs et l'organisation de l'étude seront décrits à la fin du chapitre.

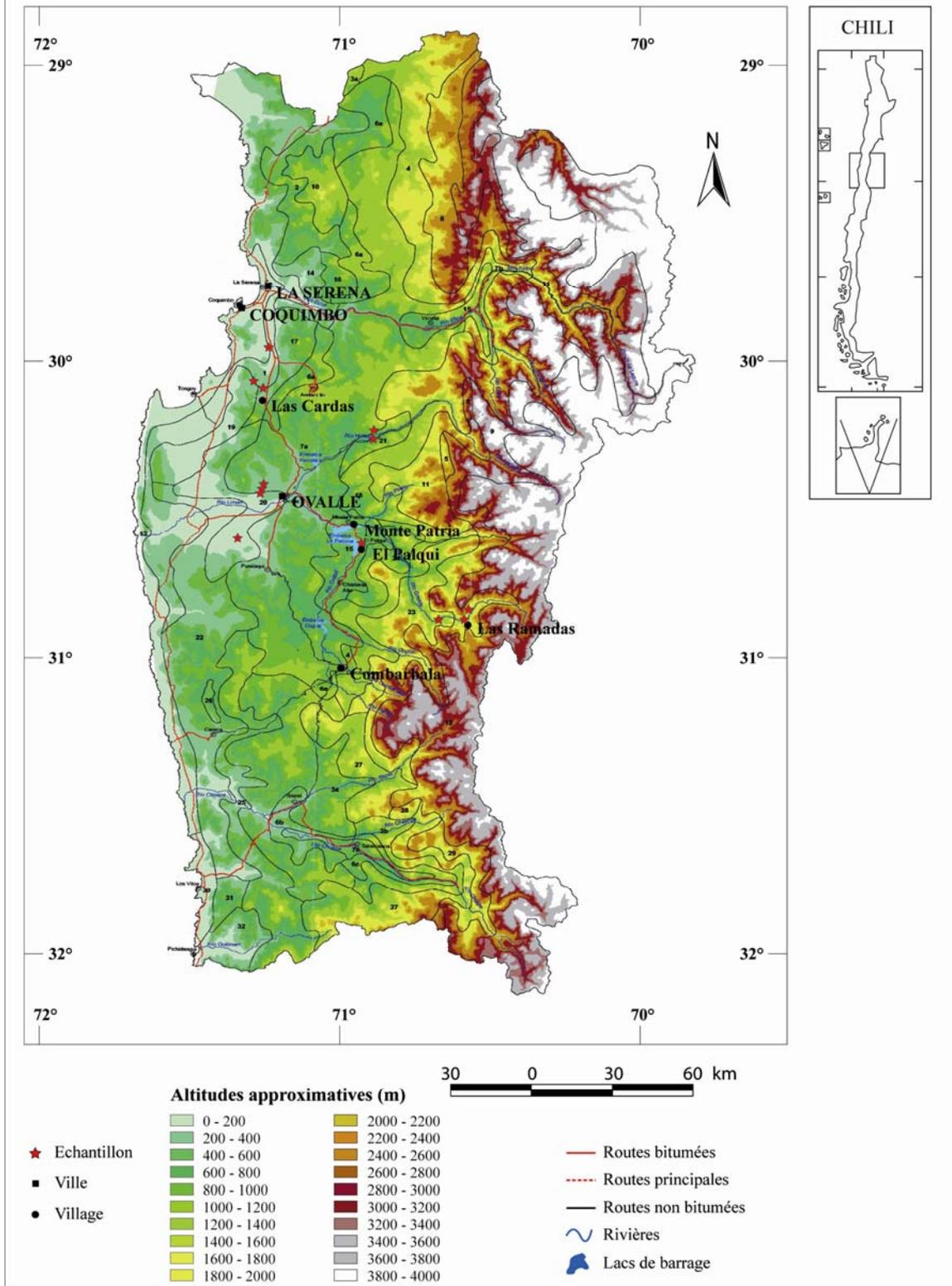
I. Contexte géographique

Le Chili est situé à l'extrême sud-ouest de l'Amérique du Sud et s'étend entre 17°35' S ; 69°28'W et 55°58' S ; 67°16' W. Il est bordé à l'ouest par l'Océan Pacifique et à l'est par la Cordillère des Andes. La région de Coquimbo (29°00' S ; 32°10'W) est une région aride située dans la zone nord du Chili, au sud du grand désert d'Atacama (Pouget *et al.*, 1996). Sa surface est de 40462 km² et correspond à 5,3% de la surface totale du pays (Sánchez et Morales, 1998). En termes de biodiversité, cette région appartient aux 25 régions les plus riches au monde. La végétation est composée de 1478 espèces natives et 244 espèces introduites. Les espèces dominantes sont les herbacées pérennes (44,7%), les arbustes (27,2%) et les herbacées annuelles et biennuelles (23%) (Squeo *et al.*, 2001). Du point de vue agricole cette région détient le pourcentage le plus élevé de surface irriguée par rapport à la surface totale potentiellement irrigable (INE 2007).

Sur l'ensemble du territoire chilien, les grandes structures géomorphologiques se succédant d'ouest en est sont : la frange littorale, la Cordillère de la Côte, une vallée longitudinale et la Cordillère des Andes (Paskoff, 1993). La région de Coquimbo constitue une rupture par rapport à la configuration générale du relief du Chili. En effet, d'ouest en est, quatre grands ensembles géomorphologiques sont identifiés (Figure 1.1) : la frange littorale, les grandes vallées fluviales, la moyenne-montagne et la Cordillère des Andes.

A

CARTE TOPOGRAPHIQUE de la REGION de COQUIMBO



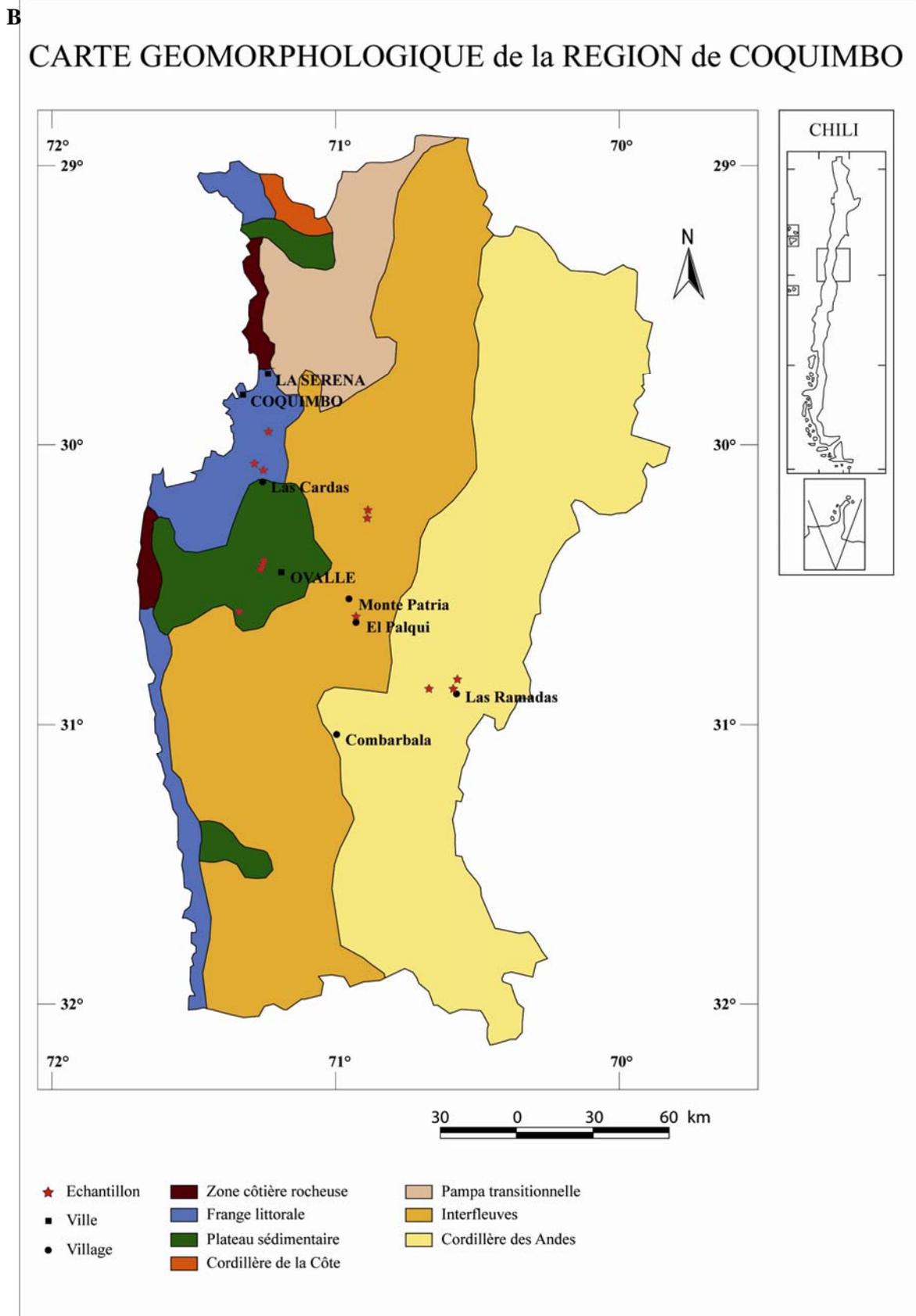


Figure 1.1. Région de Coquimbo a) carte topographique et b) carte géomorphologique.

I.1. La frange littorale

La frange littorale est exposée aux vents, à une certaine fraîcheur et à une barrière de brume générant selon le relief, une grande variété de paysages (Figure 1.2). Les côtes sont très accidentées dans la zone nord présentant des falaises, la zone centrale se caractérise par de grandes terrasses sédimentaires (baies de Coquimbo, de Tongoy), tandis que dans la zone sud apparaissent des dunes et des terrasses érodées, moins étendues (Novoa et López, 2001)

Les zones centrale et sud offrent des pâturages de printemps. De plus, la côte a été le lieu principal d'aménagements expérimentaux ayant pour objectif la reconstitution de couvertures végétales de façon à maintenir la capacité pastorale (plantations d'*Atriplex numularia* Lindl. et *Atriplex repanda* Phil.) (D'Andrea, 1997).

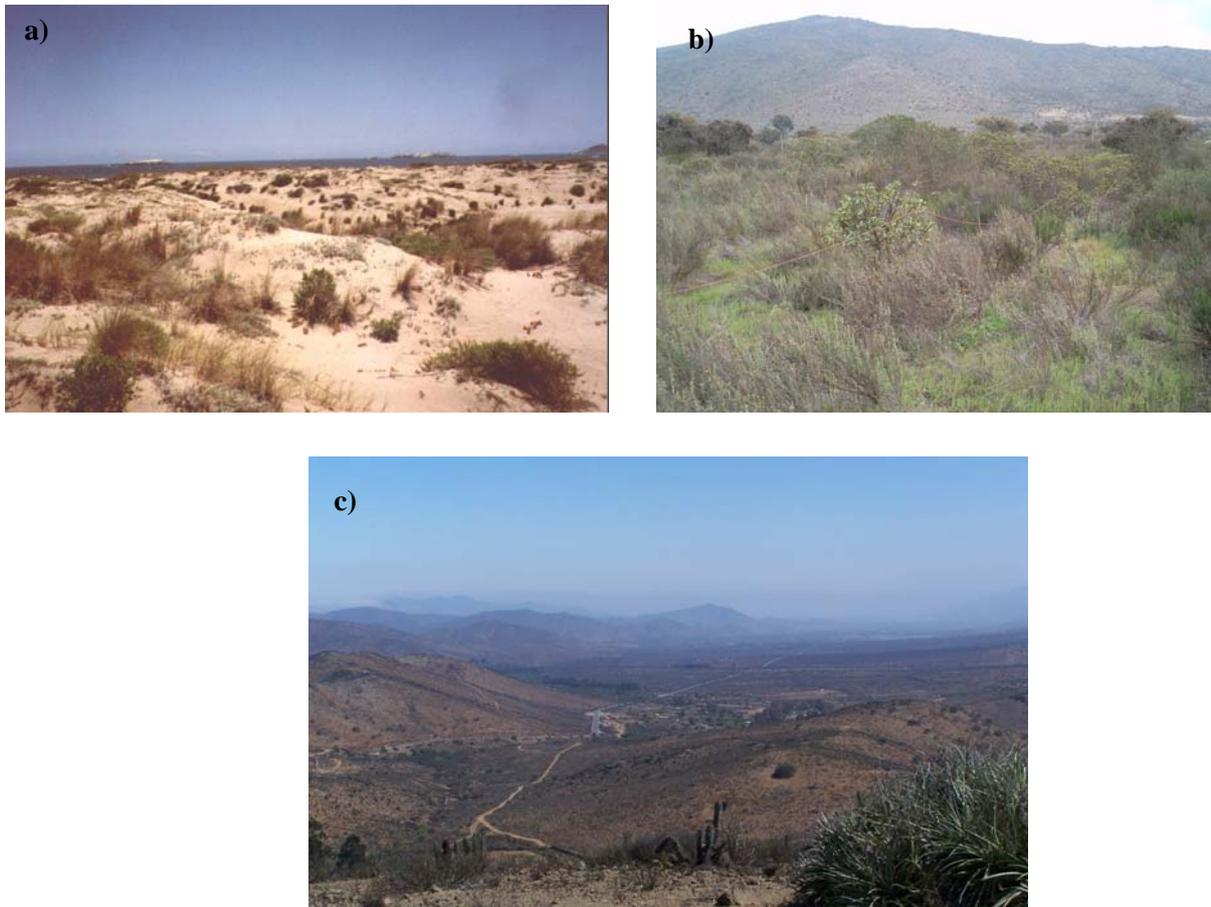


Figure 1.2. Photos illustrant des zones de la frange littorale a) Los Vilos, b) Las Cardas et c) Las Cardas.

I.2. Les vallées fluviales

Les trois grandes vallées fluviales ouvertes aux influences marines sont des steppes exposées à un climat tempéré (température moyenne annuelle supérieure à 10°C), plus humide dans la Vallée du Choapa (Figure 1.3). Ces vallées bénéficient d'un ensoleillement croissant vers l'est de la région. Elles présentent un système de terrasses alluviales qui a généré une mosaïque de sols dont la fertilité naturelle demeure médiocre (Paskoff, 1993). Néanmoins, cette zone constitue l'essentiel de l'espace irrigué et par conséquent la majeure partie de la surface cultivable régionale (D'Andrea, 1997). L'eau de l'irrigation provient de la haute montagne, avec la particularité dans le cas de la vallée du Limarí d'être régulée par un système de barrages (d'une capacité de 1 000 millions de m³) depuis 1953 (González *et al.*, 2001). L'acheminement de l'eau se fait grâce à un réseau de canaux complexe qui, associé à la topographie et au climat, fait des vallées le centre de la production agricole. Cependant l'agriculture est limitée par la forte variabilité des débits, liée à l'irrégularité interannuelle des précipitations (Álvarez, 2005).



Figure 1.3. Photos illustrant des zones de vallées fluviales a) Flor del Norte et b) Talhuén.

I.3. La moyenne montagne ou interfleuves

Cette dénomination désigne tout le massif, entre les Andes et la frange littorale, découpé par l'érosion fluviale et dont les reliefs ont une altitude ne dépassant pas 3000 m (Figure 1.4). Il s'en détache les trois grands systèmes hydrographiques de la région (du nord au sud, les fleuves Elqui, Limari et Choapa) qui forment quatre zones d'inter-fleuves. Le territoire situé au nord du fleuve Elqui est le plus aride, avec des précipitations annuelles se situant entre 20 et 120 mm. La limite de l'Elqui marque la fin des climats désertiques et le début de la steppe, mais l'on ne trouve pas dans l'interfleuve Elqui – Limarí d'eau superficielle permanente. Plus au sud, l'interfleuve Limarí – Choapa présente des précipitations supérieures à 200 mm au sud de Combarbalá. La végétation est de même nature qu'au nord mais se densifie. Ainsi l'espino (*Acacia caven* (Molina) Molina) devient dominant. Des cours d'eau permanents avec de faibles débits peuvent permettre l'irrigation. Au sud du Choapa enfin, les disponibilités en eau sont meilleures, de nouvelles essences apparaissent, et l'irrigation à partir des rivières est plus fréquente (Paskoff, 1993).

Globalement, les sols de la moyenne montagne sont très faiblement voir pas exploitables. Isolement, manque d'eau et topographie accidentée sont les principales causes. Le régime thermique assurant une absence de gelées 9 mois de l'année, autorise néanmoins très localement l'activité agricole. Malgré un déficit hydrique particulièrement sévère, une agriculture pluviale dite de « *secano* » est pratiquée. La principale utilisation de ces terres est finalement l'élevage, majoritairement caprin.

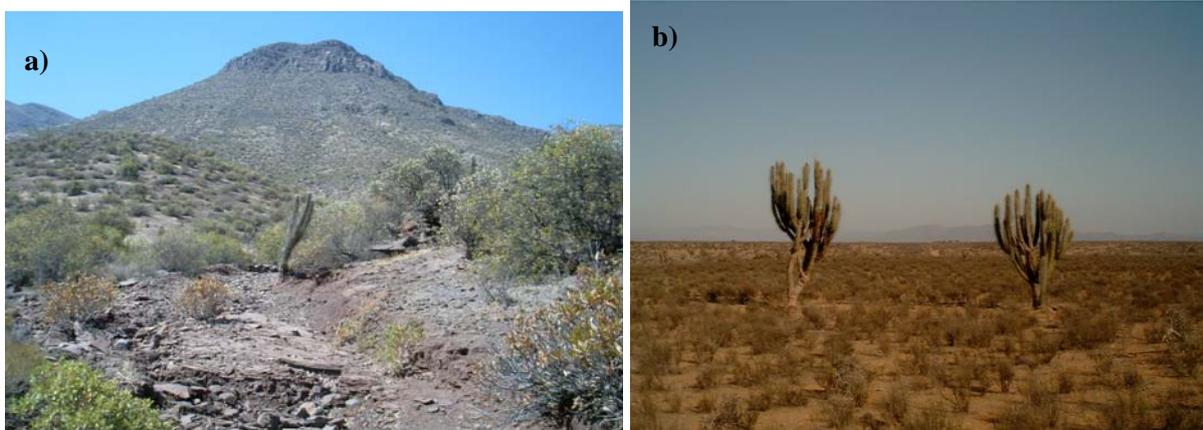


Figure 1.4. Photos illustrant a) une zone de moyenne montagne (San Pedro de Pichasca) et b) une zone d'interfleuve (Barraza).

I.4. La haute cordillère

Elle compose la partie est de la région et correspondant à la partie andine. Elle se subdivise en trois sous-unités du nord au sud: la Cordillère d'Elqui, la Cordillère du Limarí, et la Cordillère du Choapa (Figure 1.5). Du nord au sud, les altitudes des montagnes diminuent. La Cordillère de l'Elqui compte de nombreux sommets de plus de 4000 m sur la frontière argentine, tandis qu'ils se font plus rares dans le Limarí, et exceptionnels dans le Choapa. Parallèlement, les pentes se font moins abruptes, et les vallées plus nombreuses (Paskoff, 1993). L'altitude de la Cordillère d'Elqui en fait la principale zone où s'exerce un climat de toundra et s'accumule la neige. La steppe andine, composée de prairies xérophytes, apparaît en-dessous de 4000 m. Dans la Cordillère du Limarí la neige fond plus vite, les précipitations augmentent, et une steppe arbustive andine croît jusqu'à 3500 m. Celle-ci est plus fréquente sur les versants de la Cordillère du Choapa, qui connaît à ses altitudes maximales un climat de steppe froide de montagne. Il faut tenir compte en termes de ressources agro-pastorales du jeu des microclimats, qui dans une zone globalement difficile, peuvent générer des aires plus propices à l'installation humaine.

Quelques vallées (entre 1000 et 2000 m) disposant de sols peu productifs mais d'un bon ensoleillement sont néanmoins cultivées. La principale richesse de ces montagnes réside dans la couverture herbacée apparaissant sur certains versants et qui constitue un pâturage de qualité variable comme les « *veranadas* », qui sont des estives dont la superficie régionale est estimée entre 100 000 et 150 000 ha dans les Provinces du Limarí et du Choapa. Les transhumants utilisaient aussi les pâturages argentins.

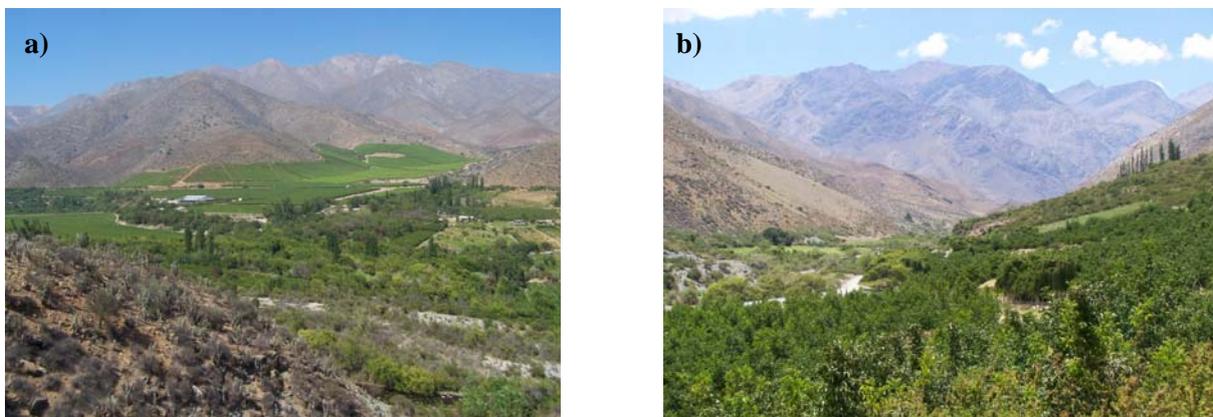


Figure 1.5. Photos illustrant des zones de la haute cordillère a) Tulahuén oriente et b) Las Ramadas.

II. Le cadre géologique

Les parties nord et centrale du pays peuvent être divisées en trois zones du nord au sud :

La zone côtière correspondant à la Cordillère de la Côte. Elle est principalement composée de roches ignées Paléozoïques et Mésozoïques. Dans la partie sud du Chili cette zone est constituée de turbidites mésozoïques.

La deuxième zone, dite de la dépression centrale, correspond à la vallée longitudinale décrite dans le paragraphe précédent. Celle-ci est occupée par des sédiments datés du Mésozoïque au Quaternaire, au sud de Santiago elle constitue la principale zone agricole. Dans le sud du pays, cette dépression disparaît. Elle est remplacée par une zone de transition entre les turbidites côtières et les Andes formées de roches ignées calco-alcalines d'âge Méso-Cénozoïque. Ces roches ignées appartiennent au batholite de granite patagonien, qui est l'un des plus longs au monde (Pankhurst et Hervé, 2007).

La troisième zone correspond à la Cordillère des Andes qui résulte d'une subduction vers l'est de la plaque de Nazca (plaque Antarctique au sud du Chili) sous la plaque Sud-Américaine. L'uplift de la chaîne a débuté au Miocène et continue aujourd'hui, pour preuve l'activité sismique. Cet uplift s'accompagne d'un raccourcissement crustal principalement accommodé par des chevauchements vers l'est.

D'après la carte géologique (Figure 1.6), on retrouve les trois zones géologiques dans la région de Coquimbo avec des roches ignées pour la Cordillères des Andes et la Côte, ainsi qu'un remplissage sédimentaire pour la dépression centrale. Il est à noter que l'ensemble des sites d'échantillonnage, présentés et décrits dans le Chapitre II, se situent au niveau des dépôts sédimentaires (Pankhurst et Hervé, 2007).

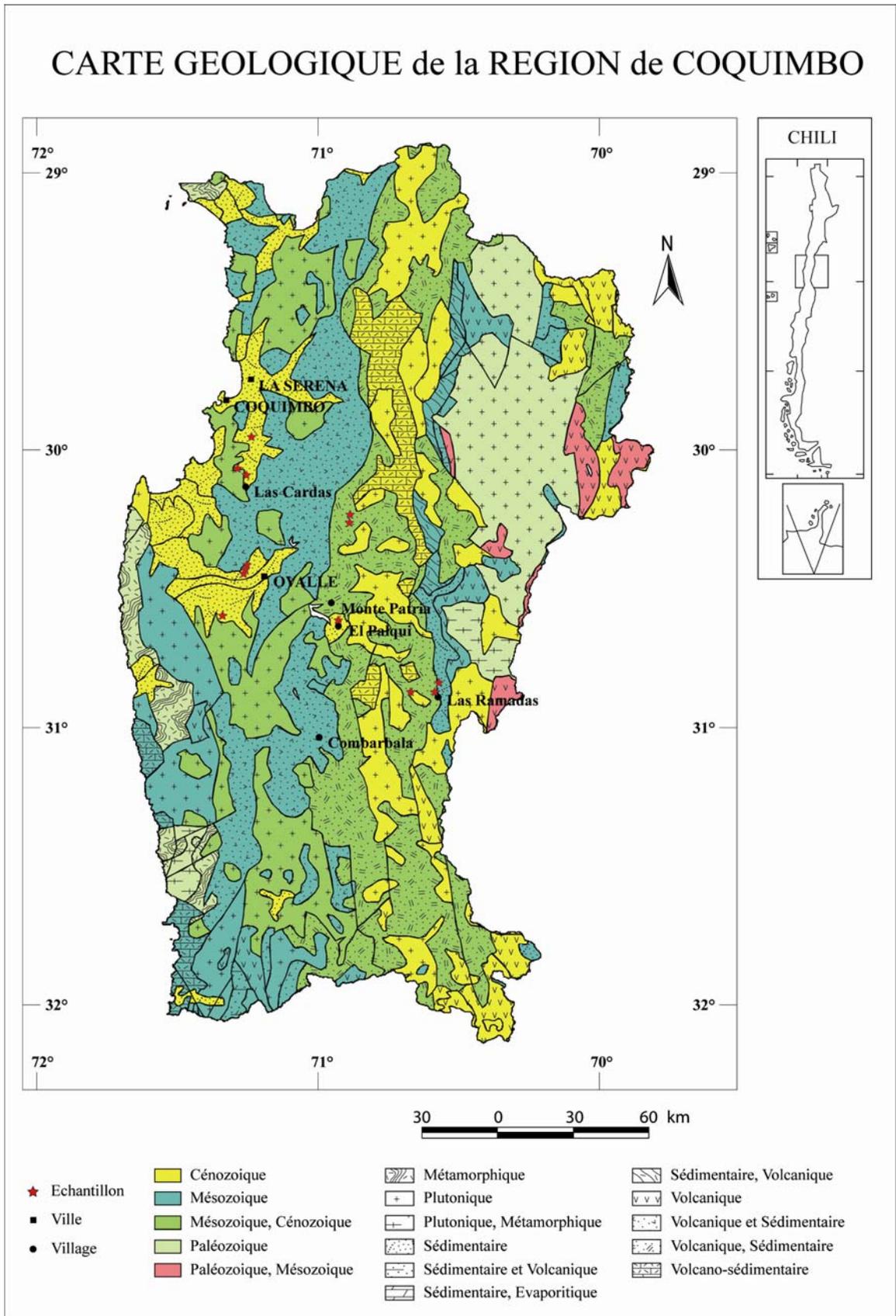


Figure 1.6. Carte géologique de la région de Coquimbo.

III. Les sols

Du nord au sud, le Chili présente quatre grandes zones : les sols des régions désertiques (18°-29° S), les sols des régions arides et semi-arides (29°-33° S), les sols de la région centrale (33°-38° S), les sols de la région centre-sud (38°-43° S) et les sols de la région sud (Luzio, 1994). La distribution des sols dans ces régions s'organise ensuite selon un axe ouest-est. La classification taxonomique des sols du Chili a été faite selon les critères du Département d'Agriculture des Etats-Unis (Soil Survey Staff, 1999). Dans le but de mieux repérer le lecteur, nous avons incluse la référence taxonomique selon les critères du World Reference Base (IUSS Working Group WRB, 2006) dans les cas où l'équivalence entre les deux classifications était possible. La carte des sols régionale est présentée à la fin du point III.6.

III.1. Les régions désertiques

Dans les régions désertiques, on distingue trois grandes zones avec leurs sols respectifs : les sols de la Cordillère de la Côte, de vallées fluviales et les sols d'altitude. Dans le tableau suivant vous pourrez trouver l'équivalence entre les termes des classifications selon les critères du Département d'Agriculture des Etats-Unis (Soil Taxonomy ; Soil Survey Staff, 1999) et World Reference Base (IUSS Working Group WRB, 2006) ainsi que les références bibliographiques associées.

Tableau 1.1. Classification des sols des régions désertiques.

Zones	Soil Survey Staff	Références	WRB	Références
Cordillère de la Côte	Entisols	- Luzio, 1986 - Alcayaga et Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992	Arenosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Torriorthents	- Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005		
Vallées fluviales	Aridisols, Aquicambids	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Arenosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Haplocambids	- Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005		
Altitude	Entisols, Cryaquents, Cryorthents	- Luzio, 1986 - Alcayaga et Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Regosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Inceptisols Cryaquepts	- Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Gleysols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006

Les sols de la Cordillère de la Côte sont très variables du point de vue de leur composition granulométrique, couleur et profondeur, avec une forte influence colluvial du fait de leur pente (Luzio, 1986; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994; Soil Survey Staff, 1999; Selvaradjou *et al.*, 2005).

Les sols des vallées fluviales sont peu développés et présentent des taux de salinité très élevés en raison de l'existence de sels solubles dans les sédiments du Pléistocène (Aquicambids). Au niveau des salars (dépôts salins) on trouve une croûte superficielle extrêmement dure, non soluble, sans réaction à l'HCl, et qui peut atteindre jusqu'à 60 cm d'épaisseur. Le pH varie entre 8,6 et 9,8. Dans les vallées qui traversent d'ouest en est cette région, même si elles occupent une surface très limitée, se développe une agriculture très intensive basée sur la culture d'oliviers, de vignes ainsi que de certains fruits tropicaux tels la mangue et les fruits de la passion (Luzio, 1986; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994; Soil Survey Staff, 1999; Selvaradjou *et al.*, 2005).

Les sols d'altitude correspondent aux sols au dessus de 1500 m, en incluant les piedmonts de la Cordillère et l'Altiplano. Sur ce dernier, la caractéristique dominante est le régime thermique des sols avec un très faible développement organique (Cryorthents). Pour les sols dérivés de matériaux volcaniques, ils sont peu évolués et classifiés comme Cryorthents. Dans les secteurs les plus élevés on trouve des tourbières sur des sols avec d'importantes concentrations salines ($150 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (Cryaquents, Cryaquepts) (Luzio, 1986;

Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994; Soil Survey Staff, 1999; Selvaradjou *et al.*, 2005).

III.2. Les régions arides et semi-arides

Dans les régions arides à semi-arides, on distingue trois grandes zones avec leurs sols respectifs: les sols des régions côtières, les sols des vallées et le sol des zones intérieures. La classification taxonomiques de ces sols selon les critères du Soil Survey Staff et le Word Reference Base et leurs références bibliographiques sont présentées dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2. Classification des sols des régions arides et semi-arides.

Zones	Soil Survey Staff	Références	WRB	Références
Régions côtières	Entisols			
	Torriorthents			
	Torripsamments	- Luzio, 1986		
	Aridisols	- Luzio et Alcayaga, 1992	Arenosols	- Roca-Pascual et Pazos, 2001
	Pelargids	- Soil Survey Staff, 1999	Regosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002
	Natrargids	- Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Solonetz	- IUSS Working Group WRB, 2006
	Petrocambids	- Aburto <i>et al.</i> , 2008	Durisols	
	Haplocambids Haplodurids			
Vallées	Entisols	- Luzio, 1986		
	Torriorthents	- Alcayaga et Luzio, 1986		
		- Luzio et Alcayaga, 1992	Arenosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002
	Aridisols,	- Luzio, 1994	Calcisols	- IUSS Working Group WRB, 2006
	Haplocalcids Haplocambids	- Soil Survey Staff, 1999 - Oyarzún et Álvarez, 2001		
Zones intérieures	Entisols,	- Luzio, 1986		
	Cryochrepts	- Luzio et Alcayaga, 1992	Regosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002
	Cryorthents	- Luzio, 1994	Arenosols	- IUSS Working Group WRB, 2006
		- Soil Survey Staff, 1999		
	Aridisols Haplocambids			

Les sols des régions côtières sont de nature très variée. Ils se sont développés soit sur des terrasses alluviales soit sur un batholite. Les sols des terrasses basses se développent sur des dunes stabilisées. Ils sont profonds, avec une granulométrie sableuses et une capacité de rétention d'eau assez limitée (Torripsamments). Les sols des terrasses hautes sont plus développés et présentent des horizons argiliques (Paleargids) et des horizons natriques (Natrargids). Les sols dérivés du batholite sont moins développés.

Les sols développés récemment se trouvent sur des falaises à forte pente entre les affleurements (Torriorthents). Les sols de fond de vallées et qui développent un horizon cambique sont plus profonds (jusqu'à 1 m) (Petrocambids) (Luzio, 1986; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994; Soil Survey Staff, 1999; Aburto *et al.*, 2008).

Les sols sur la zone des vallées en particulier sont peu abondants. Se sont des sols assez évolués pour avoir un horizon cambique sur des sédiments alluviaux récents, avec des granulométries plutôt fines (Torriorthents, Haplocambids, Haplocalcids) (Luzio, 1986; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994; Oyarzún et Álvarez, 2001 ; Soil Survey Staff, 1999).

Les sols des zones intérieures (Entisols, Cryorthents, Cryochrepts) : ils sont situés sur des zones très accidentées, avec des pentes qui varient de 20 à 60% et avec une profondeur moyenne de 70 cm sur une roche fortement météorisée. Ils développent un horizon cambique mis en évidence par une augmentation des argiles en profondeur (Haplocambids) (Luzio, 1986; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994 ; Soil Survey Staff, 1999).

III.3. La région centrale

Les sols de la région centrale sont compris entre la vallée de l'Aconcagua au nord jusqu'à la ville de Collipulli au sud. Ils sont dominés par un régime d'humidité xérique, et se répartissent selon trois zones (tableau 1.3):

Tableau 1.3. Classification des sols de la région centrale.

Zones	Soil Survey Staff	Références	WRB	Références
Secteur côtier	Inceptisols Ustepts	- Luzio, 1986 - Alcayaga et Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Gleysols	- Casanova, Luzio, and Maldonado, 2007 - Deckers <i>et al.</i> , 2002
	Alfisols Haplustalfs	- Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Lixisols	- IUSS Working Group WRB, 2006
Vallées	Alfisols Palexeralfs	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992	Lixisols	- Casanova, Luzio, and Maldonado, 2007
	Mollisols Xerolls	- Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Phaeozem	- IUSS Working Group WRB, 2006
	Inceptisols Ustepts		Gleysols	
Piedmont des Andes	Entisols, Cryorthents	- Luzio, 1986 - Alcayaga et Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Regosols	- Casanova, Luzio, and Maldonado, 2007 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Inceptisols Cryepts	- Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Gleysols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Andisols			

Les sols du secteur côtier qui sont situés sur des plateformes sédimentaires et sur la Cordillère de la Côte. Ce sont des sols profonds d'une granulométrie très variable avec soit des horizons B d'illuviation (Inceptisols de type Ustepts), soit la présence d'un horizon induré dans les 100 premiers cm (Alfisols de type Haplustalfs) (Luzio, 1986 ; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994 ; Soil Survey Staff, 1999 ; Selvaradjou *et al.*, 2005).

Les sols des vallées sont situés sur des terrasses récentes et anciennes, (dépression intermédiaire). Ils sont d'origine alluvio-colluviale, de granulométrie moyenne (limoneux, sablo-argilo-limoneux), de profondeur moyenne (100 à 150 cm) présentant des teneurs en carbone organique faibles ($<40\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Alfisols, Palexeralfs ; Mollisols, Xerolls). On rencontre localement des sols possédant un horizon argileux d'illuviation, les Inceptisols Ustepts (Luzio, 1986 ; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994; Soil Survey Staff, 1999 ; Selvaradjou *et al.*, 2005).

Les sols du Piedmont des Andes qui sont situés entre 800 et 3500 m d'altitude. Ce sont des sols soumis à une érosion intense du fait principalement de la pente avec la présence de nombreux affleurements de la roche sous-jacente (Entisols de type Cryorthents ; Inceptisols de type Cryepts). Entre 800 et 3500 m d'altitude, la situation change et les sols développés sur des matériaux d'origine volcanique sont plus développés, plus profonds avec la présence d'un

horizon cambique (Andisols) (Luzio, 1986 ; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994 ; Soil Survey Staff, 1999 ; Selvaradjou et al., 2005).

III.4. Les sols de la région centre-sud

Ils se divisent en trois catégories : les sols de la Cordillère de la Côte, de la Dépression Intermédiaire et les sols de la Cordillère et Précordillère (tableau 1.4).

Tableau 1.4. Classification des sols de la région centre – sud.

Zones	Soil Survey Staff	Références	WRB	Références
Cordillère de la Côte	Alfisols Paleudalfs Hapludalfs	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Luvisols	- Salazar, Casanova, Luzio, 2005 - Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
Dépression Intermédiaire	Andisols Hapludands Placaquands Ultisols Haplohumults	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Andosols Acrisols	- Salazar, Casanova, Luzio, 2005 - IUSS Working Group WRB, 2006
Cordillère et Précordillère	Entisols	- Luzio, 1986 - Alcayaga et Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Regosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006

Les sols de la Cordillère de la Côte se sont développés sur deux unités physiographiques : les terrasses et la Cordillère de Nahuelbuta. Dans la première situation, les sols sont profonds, de texture moyenne (limoneux à sablo-argilo-limoneux) et bien drainés. Quand le relief est peu accidenté les sols sont des Alfisols, Paleudalfs. Dans la deuxième situation, le relief est abrupt, avec des horizons argiliques bien développés, d'origine métamorphique (Alfisols, Hapludalfs).

Les sols de la dépression intermédiaire sont d'origine volcanique (cendres volcaniques), profonds, de texture moyenne (limoneux à sablo-argilo-limoneux), avec des teneurs importantes en matière organique, une excellente fertilité et une bonne capacité de

rétenction en eau. D'après Luzio (1986), Luzio et Alcayaga (1992), Luzio (1994), Soil Survey Staff (1999), Selvaradjou *et al.*, (2005), ce sont des Andisols Hapludands équivalent Andosols (Salazar, Casanova, et Luzio, 2005 ; IUSS Working Group WRB, 2006) et des Ultisols Haplohumults, équivalent Acrisols (Salazar, Casanova, et Luzio, 2005 ; IUSS Working Group WRB, 2006). Dans les fonds de vallées, on trouve des sols mal drainés, moins épais, avec d'importantes teneurs en matière organique et la présence d'un horizon induré ferreux imperméable (*fierillo*). On les appelle « *ñadis* » et ils sont classifiés d'après Luzio (1986), Luzio et Alcayaga (1992), Luzio (1994), Soil Survey Staff (1999), Selvaradjou *et al.*, (2005) comme des Andisols, Placaquands (Andosols).

Les sols de la Cordillère et de la Prêcordillère : ils se développent sur un relief très abrupt à partir de matériaux volcaniques avec une granulométrie très variée. Les sols développés à partir de tephres sont plutôt fins avec un horizon superficiel riche en matière organique. Ils sont classifiés comme des Entisols (Regosols). Des phénomènes de podzolisation sont présents (Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994 ; Soil Survey Staff, 1999 ; Selvaradjou *et al.*, 2005).

III.5. Les sols de la région sud

Ils sont peu étudiés et cela principalement en raison des difficultés d'accès et des conditions climatiques assez extrêmes. Dans les secteurs escarpés de Chiloé continental et de la province d'Aysén, on rencontre des sols d'origine volcanique bien évolués (*trumaos*), avec cependant encore une prédominance du matériau parental (verres volcaniques). Ces sols sont pour la plupart classés comme étant des Andisols Hapludands et Udivitrands (Andosols) (tableau 1.5). Le développement de Spodosols a été aussi répertorié dans la région de Magallanes. Enfin, les sols de l'Antarctique présentent un développement de profil très limité avec la présence d'un permafrost à moins de 1 m et de très faibles teneurs en matière organique (Álvarez, 1993 ; Luzio, 1994). D'après Luzio (1986), Luzio et Alcayaga (1992), Luzio (1994) et Soil Survey Staff (1999) ce sont des Inceptisols (Gleysols).

Tableau 1.5. Classification des sols de la région sud.

Zones	Soil Survey Staff	Références	WRB	Références
Province d'Aysén	Andisols Hapludands Udivitrands	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999	Andosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Spodosols	- Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005		
Antarctique	Inceptisols	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Álvarez, 1993 - Luzio, 1994 - Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Gleysols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006

III.6. Les sols de la région de Coquimbo

Les sols de la région de Coquimbo appartiennent aux sols dits des régions arides et semi-arides décrit dans les paragraphes précédents (Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994).

Les sols appartenant à la région côtière (frange littorale) se distribuent du nord au sud tout au long de la région (Figure 1.7) et sont soit des Entisols (Torriorthents - Arenosols), soit

des Aridisols (Peleargids, Natrargids – Solonetz et Petrocambids) (Luzio,1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994 ; Soil Survey Staff, 1999 ; et Aburto *et al.*, 2008).

Du nord au sud, les sols dits des vallées, correspondent à des sols localisés dans les vallées fluviales et les interfleuves de la moyenne montagne. Ils sont d'origines alluvionnaires et colluvionnaires et se distribuent de manière irrégulière. Dans le nord de la région on trouve des Petrocambids, des Torriorthents et Torripsamments (Regosols), qui évoluent vers des Haplocambids, Haplodurids (Durisols), Peleargids et Natrargids (Solonetz) vers le sud de la région (tableau 1.6).

Les sols dits des zones intérieures (haute cordillère du point de vue géomorphologique) ont une distribution assez homogène tout au long de la cordillère. Concentré dans l'extrême nord de la région, on trouve des Cryorthents (Regosols) (tableau 1.6). Vers le sud, du fait du relief plus accidenté et d'un gradient croissant de température et de précipitations (Figures 1.8a et b, 1.9) on retrouve des Cryepts (Luzio, 1986 ; Alcayaga et Luzio, 1986 ; Luzio et Alcayaga, 1992 ; Luzio, 1994 ; Soil Survey Staff, 1999 ; Selvaradjou *et al.*, 2005).

Tableau 1.6. Classification des sols de la région de Coquimbo.

Zones	Soil Survey Staff	Références	WRB	Références
Frange littorale	Entisols Torriorthents	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Arenosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Aridisols Pelargids Natrargids Petrocambids	- Soil Survey Staff, 1999 - Aburto <i>et al.</i> , 2008	Solonetz	
Vallées	Entisols Torriorthents Torripsamments	- Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Regosols	- Salazar, Casanova, Luzio, 2005 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Aridisols Haplocambids Haplodurids	- Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Durisols	
Zones intérieures	Entisols Cryorthents	- Luzio, 1986 - Alcayaga et Luzio, 1986 - Luzio et Alcayaga, 1992 - Luzio, 1994	Regosols	- Deckers <i>et al.</i> , 2002 - IUSS Working Group WRB, 2006
	Inceptisols Cryepts	- Soil Survey Staff, 1999 - Selvaradjou <i>et al.</i> , 2005	Gleysols	

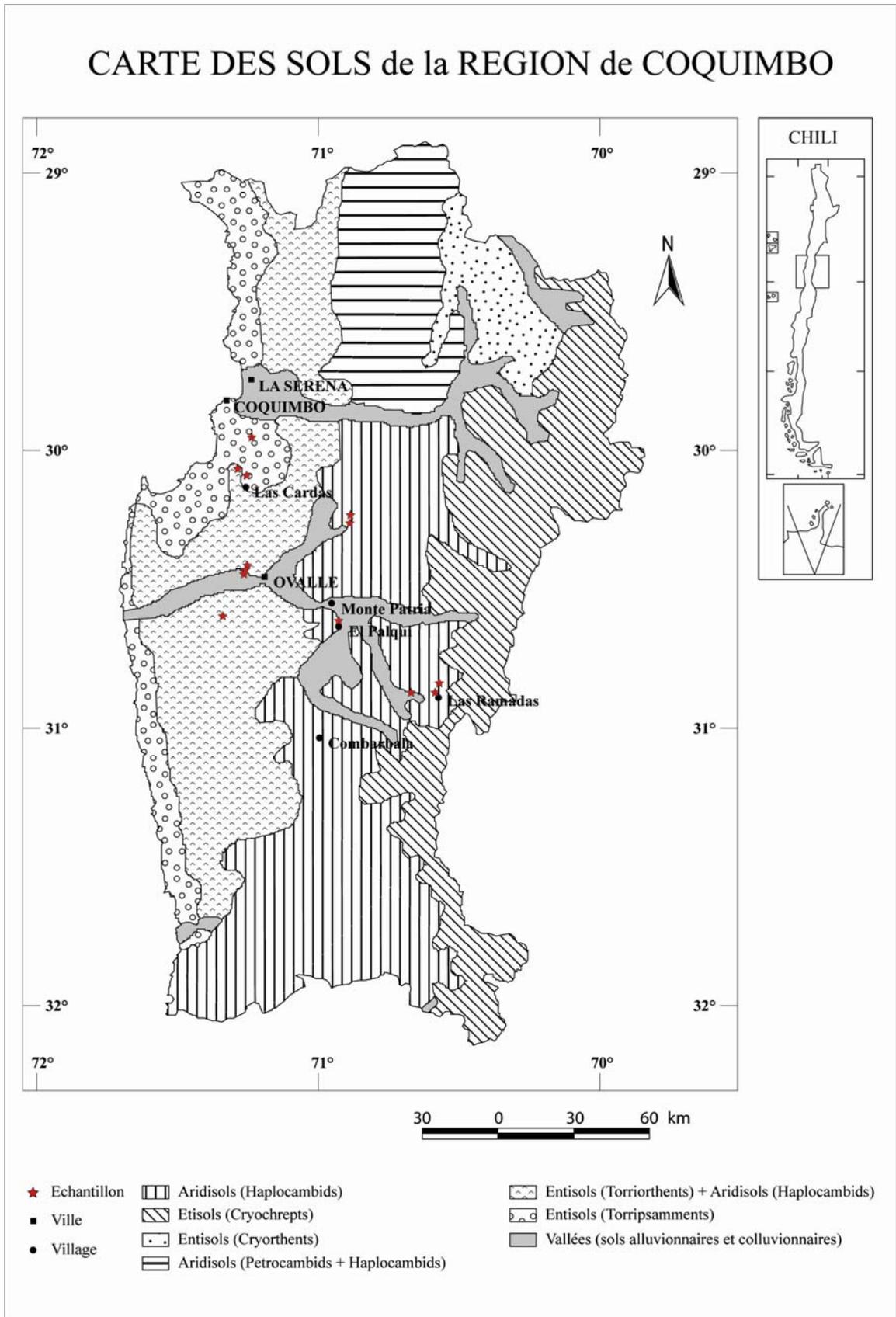


Figure 1.7. Carte des sols de la région de Coquimbo (extrait 1 : 1 000 000).

IV. Le climat

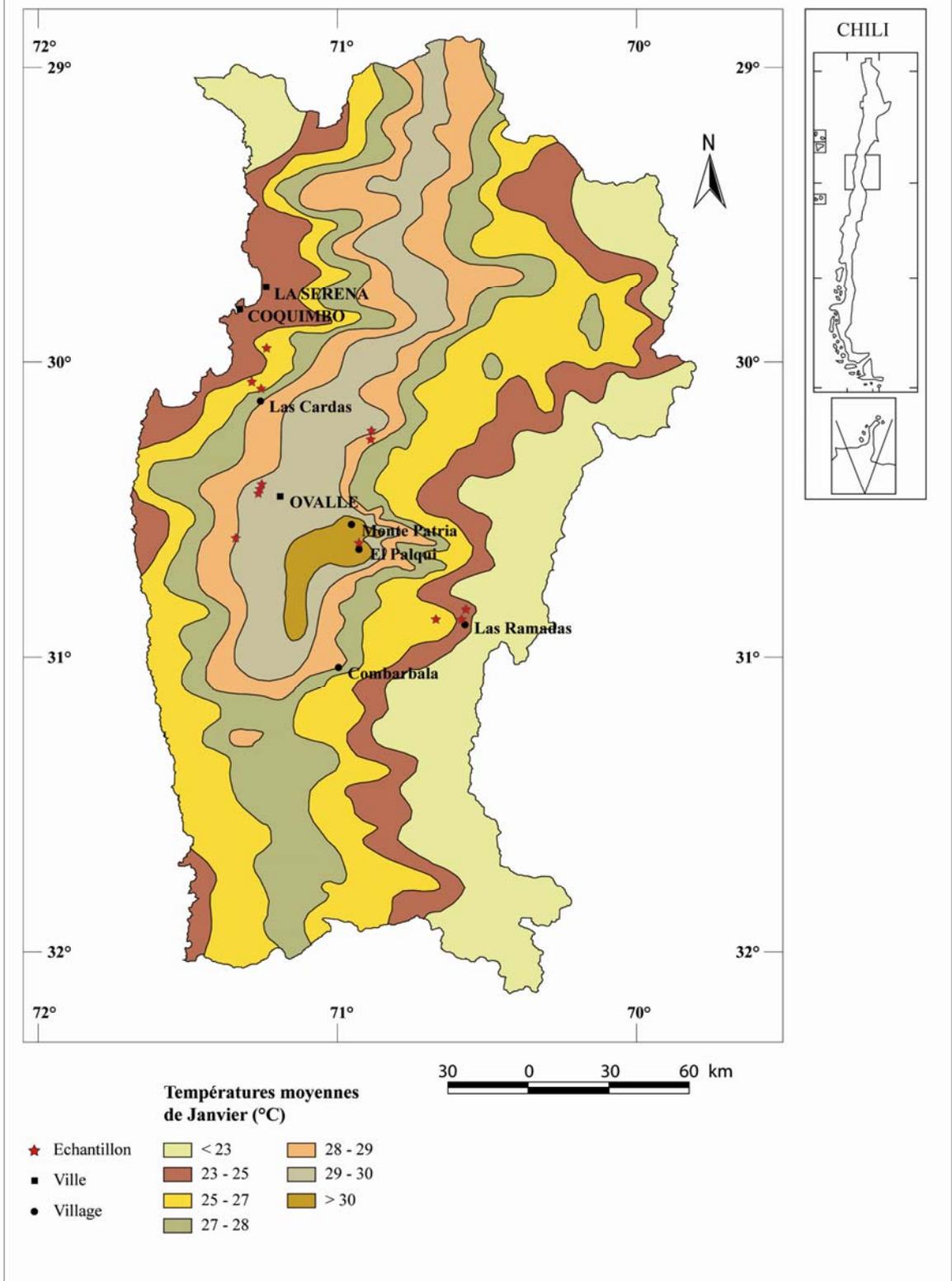
Le climat de la région de Coquimbo est le résultat de l'interaction de trois facteurs : les hautes pressions subtropicales, en particulier l'anticyclone du Pacifique sud-oriental, la présence du courant froid de Humboldt dans l'océan Pacifique et le relief longitudinal de la cordillère côtière, de la Cordillère des Andes et des zones interfleuves, qui rendent difficiles le déplacement des masses d'air et qui donnent son caractère aride au climat local (Romero, 1985; Novoa et Villaseca, 1989).

Les vallées transversales reliant la haute montagne à l'océan, le désert le plus aride du monde au nord ($2 \text{ mm}\cdot\text{an}^{-1}$ de précipitations) et le début de la zone méditerranéenne à pluies hivernales régulières au sud, font de la région de Coquimbo une aire de transition au système climatique très complexe, défini comme semi-aride par les climatologues. La région bénéficie d'un ciel limpide (descente d'air sec et pur de la haute atmosphère) et enregistre un maximum de radiations solaires dans les zones non soumises aux brouillards côtiers (IGM, 1988). La cause fondamentale de ce climat est l'anticyclone du Pacifique qui bloque les dépressions frontales durant l'hiver austral. Le déplacement de l'anticyclone à l'ouest ou au nord, est à l'origine des précipitations.

Les radiations maximales produisent un phénomène d'inversion thermique sur un grand espace intérieur où la température ne baisse pas avec l'altitude. Ainsi, entre 400 et 1200 m la température de l'air est supérieure à ce qu'elle devrait être (de 3°C en hiver à 6°C en été), créant des conditions très favorables pour l'agriculture. Les températures sont assez homogènes tout au long de l'année sur la côte, tandis que l'amplitude thermique est importante à l'intérieur de la région. Les moyennes du mois le plus chaud atteignent $20,6^{\circ}\text{C}$ à Coquimbo, $28,5^{\circ}\text{C}$ à Ovalle et 31°C à Combarbalá, tandis que les moyennes du mois le plus froid sont respectivement de $9,2^{\circ}\text{C}$; $6,3^{\circ}\text{C}$ et $3,5^{\circ}\text{C}$ (IGM, 1988) (Figures 1.8a et 1.8b).

A

CARTE des TEMPERATURES de la REGION de COQUIMBO



B

CARTE des TEMPERATURES de la REGION de COQUIMBO

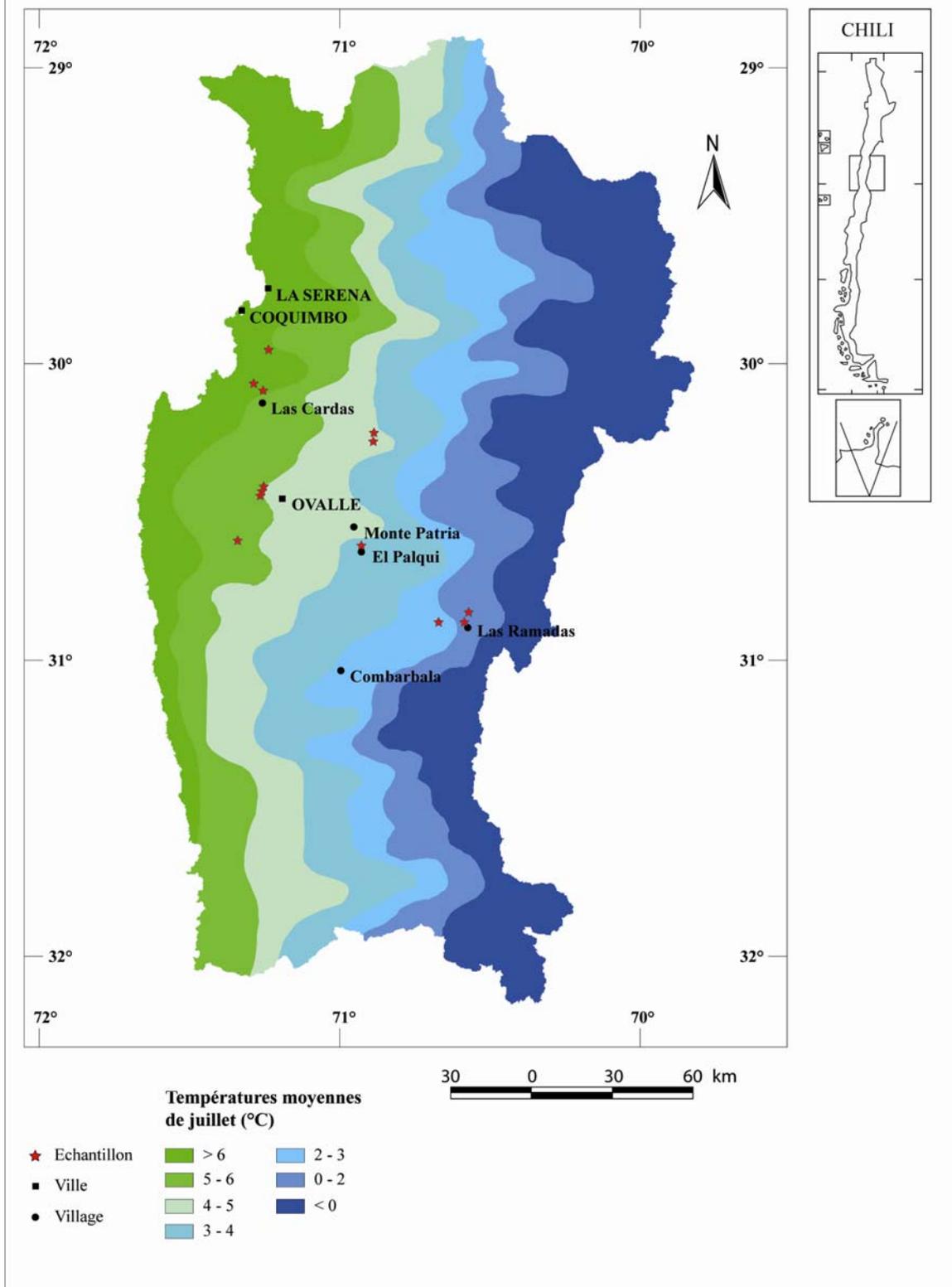


Figure 1.8. Carte des températures moyennes au mois de a) janvier et b) juillet de la région de Coquimbo.

Il existe un gradient d'humidité croissant orienté nord-sud. S'ajoute un gradient ouest-est dû à l'influence andine. La présence du courant froid de Humboldt produit un cycle journalier et saisonnier de brouillards côtiers pénétrant jusqu'aux reliefs des interfleuves et atténuant ainsi les conditions d'aridité sur la frange littorale. Les pluies sont rares et concentrées : 81% des précipitations ont lieu entre les mois de mai et août. Il y a en moyenne 18,7 jours de pluie par an à La Serena, 10,8 jours à Ovalle, et 17,3 jours à Illapel. Les pluies sont faibles sur la côte (à La Serena 47% des précipitations sont inférieures à 1 mm) et plus intenses à l'intérieur (54% des précipitations sont comprises entre 1 mm et 10 mm à Ovalle, 52% à Illapel). Le niveau moyen annuel de précipitations était de 195 mm sur la décennie 1971 – 1980 pour toute la région, de 72 mm à La Serena, et de 103 mm à Ovalle (González *et al.*, 2001). La Figure 1.9 montre la distribution des précipitations dans la région.

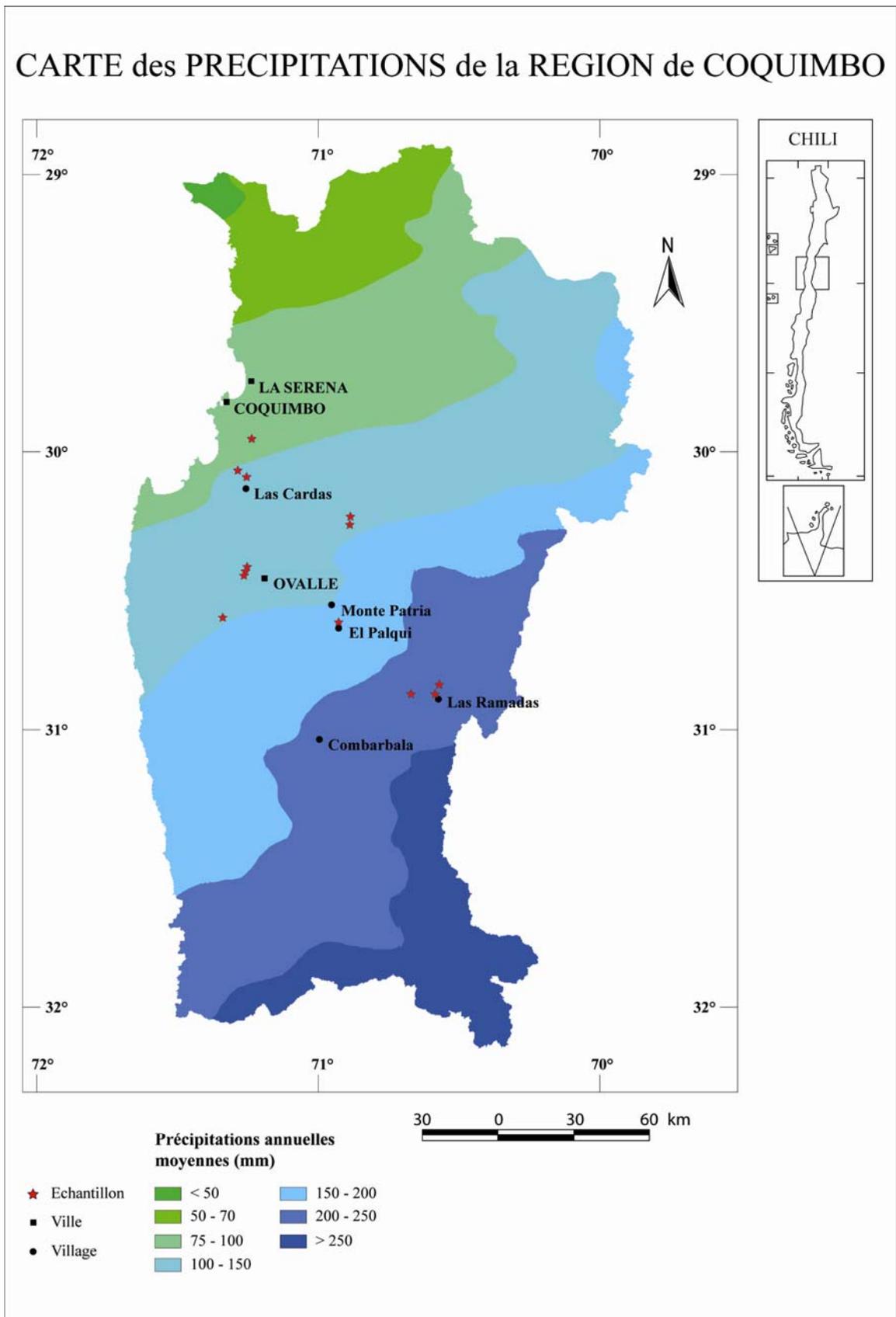


Figure 1.9. Carte des précipitations annuelles de la région de Coquimbo.

La région de Coquimbo est soumise à une grande variabilité interannuelle des précipitations, et par conséquent à celles de la durée des périodes de sécheresse. Les années de sécheresse (une année de sécheresse correspond à des précipitations de 30 à 60 mm, d'extrême sécheresse à moins de 30 mm) se succèdent parfois dans des conditions alarmantes, comme entre 1968 et 1970, et à une époque plus récente, entre 1993 et 1996. Cette dernière période a été qualifiée de sécheresse la plus grave du siècle. Mais la sécheresse ne se manifeste pas sur tout le territoire de la même façon. Elle affecte les vallées d'Elqui et du Limarí avec plus d'intensité (IGM, 1988).

Les cours d'eau sont alimentés essentiellement par les accumulations de neige et de glace dans les hautes vallées de la cordillère. De la topographie et de la température dépend le rythme de l'écoulement. Celui-ci est en décalage avec les saisons puisque les débits maximaux sont enregistrés en été. Mais sur plusieurs années et pour le même mois, les débits peuvent varier fortement. Ainsi, à l'incertitude des précipitations, s'ajoute celle des écoulements. De surcroît, les risques d'inondation des vallées sont importants, particulièrement à cause des pluies concentrées : pendant la période comprise entre les années 1900 et 1981, 522 inondations ont été enregistrées (IGM, 1988).

V. Objectif et organisation de l'étude

Dans un premier temps, nous présenterons les sites qui ont été sélectionnés pour l'étude (Chapitre II.). Ensuite, nous décrirons le mode d'échantillonnage et les méthodes utilisées (Chapitre III). Une description complète des protocoles suivis sur le terrain et en laboratoire sera réalisée. Une partie importante sera réservée à la description des méthodes d'analyse quantitative et qualitative de la matière organique (pyrolyse Rock-Eval), sur lesquelles reposent de nombreuses conclusions de ce travail de recherche.

Cette présentation nous conduira à rassembler l'ensemble des données dans les chapitres suivants. Le Chapitre IV correspondant à la présentation des résultats pédologiques obtenus pour chaque site d'étude et à la comparaison avec les données issues de la littérature. Il nous permettra de discuter et de comprendre le comportement des données dans un milieu aride de la partie nord du Chili.

La présentation et la discussion des résultats des analyses quantitatives et qualitatives de la matière organique des sites échantillonnés seront abordées dans le Chapitre V. Les conclusions de ce chapitre nous amèneront à établir les hypothèses autour du phénomène de la dégradation de la matière organique dans ces milieux.

Finalement, un Chapitre VI avec les modèles décrivant le comportement des stocks du carbone organique en fonction de la profondeur et de l'usage, permettra de bâtir un modèle théorique d'évolution des stocks en fonction de l'activité anthropique et des durées d'interventions sur la région, défini *a priori* par la communauté scientifique comme fragile.