



Eaux Tortes

Rapport final



Suivi documentaire

Version du 2023.05.12

Coordination et rédaction :

<p>LAURENCE MARQUAND OFFICE NATIONAL DES FORETS</p>	<p>Cheffe de projet eau et environnement – Bureau d'études Alpes Provence – Agence étude Midi Méditerranée</p> <p>☎ 06 71 28 62 40</p> <p>✉ laurence.marquand@onf.fr</p>
--	--

En collaboration avec :

<p>LAURENCE MARQUAND OFFICE NATIONAL DES FORETS</p>	<p>Chef de projet eau et environnement – Bureau d'études Provence – Alpes du Sud – Agence étude Midi Méditerranée</p>
<p>SIMON IPOUTCHA OFFICE NATIONAL DES FORETS</p>	<p>Responsable des bureaux d'études Provence et Alpes du Sud – Agence étude Midi Méditerranée</p>
<p>LAURE POURTIER OFFICE NATIONAL DES FORETS</p>	<p>Chargée d'études environnement – Bureau d'études Alpes du Sud – Agence étude Midi Méditerranée</p>
<p>LAURENCE FOUCAULT ODEPP</p>	<p>Botaniste</p>
<p>FREDERIC GUITER IMBE</p>	<p>Enseignant chercheur</p>
<p>JEAN PAUL LAURENT IGE</p>	<p>IR-CNRS à l'IGE</p>
<p>VINCENT ROUSSET GEXPLÔRE</p>	<p>Géophysicien</p>

Relecture et approbation

<p>SIMON IPOUTCHA OFFICE NATIONAL DES FORETS</p>	<p>Responsable Responsable du Bureau d'étude Provence Alpes – Agence étude Midi Méditerranée</p> <p> 06.08.93.24.83</p> <p> simon.ipoutcha@onf.fr</p>
---	--

Table des Matières

I. Contexte et préambule.....	9
II. Présentation du projet	11
II.1. Objet de l'étude : Zone Humide des Eaux Tortes.....	11
II.1.1. Localisation des Eaux Tortes	11
II.1.2. Les outils territoriaux et périmètres de protection	11
II.2. Enjeux et problématique « eau et biodiversité ».....	14
II.2.1. À l'échelle de la zone humide	15
II.2.2. A l'échelle du territoire du Bassin-Versant	15
II.2.3. Cadre de l'étude.....	17
II.2.4. Principes et objectifs.....	18
II.3. Partenaires et gouvernance du projet	20
III. Description générale du site.....	22
III.1. Conditions abiotiques.....	23
III.1.1. Situation topographique	23
III.1.2. Données climatiques.....	24
III.1.3. Géologie	26
III.1.4. Hydrographie et hydrologie	26
III.2. Les usages.....	26
III.3. Historique du site	26
IV. Volet méthodologique	28
IV.1. Préambule.....	28
IV.2. Les outils et méthodes d'analyse de la genèse des Eaux Tortes (Passé)	29
IV.2.1. Analyse tomographique.....	29
IV.2.1.1. Moyens et matériels utilisés.....	29
IV.2.1.1.a Détection par conductimètre DUALEM 21S / EM38-MK 2	29
IV.2.1.1.b Valeurs usuelles de la résistivité/conductivité des matériaux.....	31
IV.2.1.1.c Datation au Carbone 14	32
IV.2.2. Analyse palynologique	32
IV.2.2.1. Principe général de la méthode	32
IV.2.2.1. Prospections et prélèvements.....	34
IV.2.2.2. Extraction du matériel sporo-pollinique	36
IV.2.2.3. Observations en microscopie et déterminations taxonomiques	36

IV.2.2.4. Exploitation des données - Établissement du diagramme pollinique.....	38
IV.3. Outils et méthodes d'analyse de l'état actuel des eaux tortes (présent).....	40
IV.3.1. Préambule.....	40
IV.3.2. Analyse des Modèles Numériques de Terrains.....	40
IV.3.2.1.a Principe d'analyse.....	40
IV.3.2.1.b Traitements des données.....	42
IV.3.3. Analyse de l'alimentation de la zone humide.....	42
IV.3.3.1. Mesures physico-chimiques de surface.....	42
IV.3.3.2. Analyse pluviométrique.....	43
IV.3.3.4. Analyse piézométrique.....	45
IV.3.3.4.a Mise en place des sondes.....	45
IV.3.3.4.b Choix des sondes.....	46
IV.3.3.5. Campagne de terrain.....	47
IV.3.4. Analyse phytosociologique.....	49
IV.5. Outils et méthodes d'analyses des fonctionnalités et du devenir des Eaux Tortes.....	50
IV.5.1. Évaluation des fonctionnalités.....	50
IV.5.1.1. Grand principe de fonctionnement.....	50
IV.5.1.2. Principe de la méthode MNHN - Évaluation des fonctionnalités des zones humides	51
IV.5.1.3. Fonctionnalités prises en compte.....	52
IV.5.1.3.a Fonction hydrologique.....	52
I.1.1.1.a.i Recharge des nappes et soutien à l'étiage.....	52
I.1.1.1.a.ii Ralentissement des écoulements.....	52
I.1.1.1.a.iv Rétentions des sédiments.....	53
I.1.1.1.a.v Contrôle des risques de crues et d'inondations.....	53
IV.5.1.3.b Fonction écologique.....	53
I.1.1.1.a.vi Support des habitats.....	53
I.1.1.1.a.vii Connexion des corridors écologiques.....	53
IV.5.1.3.c Fonction biochimique.....	53
I.1.1.1.a.viii Dénitrification des nitrates.....	53
I.1.1.1.a.ix Assimilation de l'azote.....	54
I.1.1.1.a.x Adsorption, précipitation du phosphore Assimilation végétales des ortho phosphates.....	54
I.1.1.1.a.xi Séquestration du carbone.....	54
IV.5.1.4. Indicateurs retenus.....	56
IV.5.2. Évolution et devenir de la nappe.....	60
IV.6. Limites Méthodologiques.....	60
V. Résultat - Analyse du fonctionnement des eaux tortes.....	62

V.1. Analyse de la génèse des eaux tortes (Passé).....	62
V.1.1. Données tomographiques	62
V.1.1.1. Rappel méthodologique	62
V.1.1.2. Résistivité inversée à 0.3 m de profondeur.....	62
V.1.1.3. Résistivité inversée à 0.5 m de profondeur.....	64
V.1.1.4. Résistivité inversée à 0.75 m de profondeur.....	66
V.1.1.1. Résistivité inversée à 1.00 m de profondeur.....	68
V.1.1.2. Résistivité inversée à 1.50 m de profondeur.....	70
V.1.1.3. Résistivité inversée à 2.00 m de profondeur.....	72
V.1.1.4. Résistivité inversée à 2.50 m de profondeur.....	74
V.1.1.5. Résistivité inversée à 3.00 m de profondeur.....	76
V.1.1.6. Synthèse des données tomographiques	78
V.1.2. Données palynologiques.....	79
V.1.2.1. Description des profils pédologiques prélevés	79
V.1.2.2. Principaux résultats	81
V.1.2.2.a Observation générale.....	81
V.1.2.2.c Sur la valeur patrimoniale et l'âge de la tourbière.....	83
V.1.3. Synthèse des observations : l'histoire du site (Passé)	84
V.2. Fonctionnement actuel des eaux tortes (Présent).....	85
V.2.1. Analyse du réseau hydrographique de surface	85
V.2.2. Alimentation des eaux tortes.....	88
V.2.2.1. Analyse physico-chimique des eaux.....	88
V.2.2.2. Alimentation glaciaire résiduelle.....	89
V.2.2.3. Alimentation pluviométrique	95
V.2.2.3.b Synthèse des données SAFRAN.....	97
V.2.2.3.c Confrontation avec les observations sur site	101
V.2.2.3.d Synthèse des données climatiques et pluviométriques.....	104
V.2.2.4. Données piézométriques.....	105
V.2.2.4.a Données générales.....	105
V.2.2.4.b Fonctionnement général.....	107
V.2.3. Analyse de la qualité des eaux.....	112
V.2.4. État des lieux de la végétation.....	112
V.2.4.1. Les habitats naturels.....	112
V.2.4.1.a Communautés amphibiennes pérennes des eaux oligotrophes pauvres en calcaires	112
V.2.4.1.b Bas marais et magnocariçaies	115
V.2.4.1.c Pelouses et prairies	117
V.2.4.2. Flore.....	118

V.2.4.2.a Le cortège floristique rencontré	118
V.2.4.2.b Les espèces patrimoniales rencontrées.....	118
V.2.4.3. Synthèse habitats et espèces	118
V.2.5. Synthèse de l'état actuel (Présent).....	121
V.3. L'avenir de la zone humide des eaux tortes ? (Futur).....	122
V.3.1. Méthode du MNHN : méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides	122
V.3.1.1. Description du site et de son environnement.....	122
V.3.1.1.a Délimitation de la zone humide	123
V.3.1.1.b Le système fluvial associé	123
V.3.1.1.a La zone contributive ou bassin-versant	125
V.3.1.1.b La zone tampon.....	125
V.3.1.1.c Le paysage	127
V.3.1.2. Fonctions et sous-fonctions prises en compte.....	128
V.3.1.2.a Fonctionnalité hydrologique	128
V.3.1.2.b Fonctionnalités biochimiques	129
V.3.1.2.c Fonctionnalités écologiques.....	130
V.3.1.3. Synthèse de la méthode MNHN.....	130
V.3.3. Identification des menaces et enjeux inhérents à la zone humide	131
V.3.3.1. Évolution de la nappe.....	131
V.3.3.2. Évolution des milieux naturels	133
V.3.3.3. Fréquentation touristique	134
V.3.3.4. Synthèse de l'avenir des Eaux Tortes (Futur).....	134
V.3.5. Préconisations de gestion.....	136
V.3.5.1.a Mesures de suivi.....	136
V.3.5.1.b Mesures d'approfondissement des connaissances	136
V.3.5.1.c Mesures de sensibilisation	136
VI. Conclusions et perspectives.....	137

Table des Illustrations

Figure 1 – Localisation des Eaux Tortes dans la Vallée du Laverq.....	10
Figure 2 - Carte de la localisation de la zone humide des Eaux Tortes (à droite) ; Vallée du Laverq et ses reliefs (extrait de l'Atlas des paysages- p.278).....	11
Figure 3 - Localisation des Eaux Tortes dans les bassins versants de l'Ubaye et de la Durance.....	12
Figure 4 - Photographie de la Vallée du Laverq (ONF, 2016)	13

Figure 5 - Photographie de la zone humide des eaux Tortes (ONF, Printemps 2016)	14
Figure 6 - Tableau de l'état écologique et chimique de la masse d'eau des Eaux Tortes (Gesteau, 2016)	16
Figure 7 - Fonctionnement général d'une zone humide (extrait du guide d'évaluation des fonctions des zones humides, 2016).....	17
Figure 8 - Synthèse des différentes analyses à réaliser dans le cadre de l'étude du fonctionnement du complexe Glacier - Zone Humide - Cours d'Eau	19
Figure 9 - Gouvernance du projet d'étude du fonctionnement des Eaux Tortes	21
Tableau 1 - Nomenclature de la typologie des Zones humides du SDAGE	22
Figure 10 - Profil en long du bassin versant	23
Figure 11 - Profil en long du site des Eaux Tortes	23
Figure 12 : Tableau du comparatif des paramètres climatiques entre la station météorologique de Barcelonnette et le site des Eaux Tortes (ENS, 2012)	24
Figure 13 Diagramme ombrothermique de Barcelonnette (ENS, 2012).....	24
Figure 14 – Les outils et méthodes mises en œuvre	28
Figure 15 - Schéma de principe du DUALEM.....	29
Figure 16 - Appareil de mesure DUALEM 21S et système d'acquisition des données.....	30
Figure 17 - Appareillage de mesure EM38 MK2 et système d'acquisition.....	30
Figure 18 - Illustration du principe de la mesure électromagnétique.....	31
Figure 19 - Valeurs usuelles de résistivité et de conductivité	32
Figure 21 - Fonctionnement schématique de la tourbière en tant qu'archives paléo-environnementales. La fossilisation de la pluie pollinique au cours du temps permet par la suite de reconstituer l'évolution de la végétation passée grâce à la palynologie	33
Figure 38 - Localisation des 6 carottages effectués sur le site. Les zones en rose, prospectées et carottées n'ont pas permis d'obtenir des prélèvements satisfaisants	35
Figure 22 - schéma simplifié montrant le protocole d'extraction du matériel sporo-pollinique	36
Figure 23 - principe de construction d'un diagramme pollinique	38
Figure 24 - Géo-traitement hydrologiques utilisés pour la définition des zones de dépression et le calcul des écoulements théoriques de surfaces.....	42
Figure 25 - Pluviomètre - logiciel Hoboware	44
Figure 26 - Installation du pluviomètre sur site (LM 2017)	44
Figure 27 - Sondes Rugged Troll 100	46
Figure 28 - Schéma du fonctionnement d'une sonde piézométriques – installation des tubes piézométriques sur site	47
Figure 29 - prospection phytosociologique (LM 2017)	49
Tableau 2 - Fonctions remplies par les différents types de zones humides (d'après le guide technique interagences des zones humides et de la ressource en eau - fonctions des zones humide).....	50
Tableau 3 - Tableau des fonctions et sous fonctions prises en compte dans l'étude (d'après la méthode d'évaluation des zones humides du MNHN ; 2016)	51
Tableau 4 - Exemple de tableau de notation de l'indicateur couvert végétal 1	56

Tableau 5 - Tableau des indicateurs calculés de la méthode du MNHN - suivi des fonctionnalités des zones humides.....	57
Figure 30 - Carte de résistivité calculée à 0,3 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	63
Figure 31 - Carte de résistivité calculée à 0,5 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	65
Figure 32 - Carte de résistivité calculée à 0,75 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	67
Figure 33 - Carte de résistivité calculée à 1,00 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	69
Figure 34 - Carte de résistivité calculée à 1,50 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	71
Figure 35 - Carte de résistivité calculée à 2,00 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	73
Figure 36 - Carte de résistivité calculée à 2,50 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	75
Figure 37 - Carte de résistivité calculée à 2,50 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation	77
Figure 39 - photographie du profil n° 4 et lithologie sommaire.....	79
Figure 40 - Diagramme pollinique simplifié des Eaux Tortes	81
Figure 41 - Diagramme pollinique des herbacées simplifié des Eaux Tortes	83
Figure 42 : Chenal principal à l'exutoire su site.....	84
Tableau 6 – Tableau de synthèse des relevés conductimétriques de la première campagne d'automne 2016.....	88
Figure 43 - Classification des eaux en fonction de leur conductivité (RODIER, 2009)	89
Figure 44 - Glacier de la Blanche - photographie du 4 aout 1905 sur plaque de verre, numérisée par les Archives Départementales des Alpes de Haute Provence	90
Figure 45 - Evolution du glacier de la Blanche de 1948 à 2018 (sources : Géoportail remonter le temps)	92
Figure 46 - Historique des observations du glacier de la blanche.....	93
Figure 47 - Cartographie des glaciers rocheux présents à l'amont de la zone humide des eaux tortes (RTM 2012)	94
Figure 48 - Valeurs moyennes journalières sur 2005-2017 (trait plein) et intervalle entre minima et maxima (zone grisée) pour la température (haut), les précipitations (milieu) et la hauteur de neige (bas). Données du point SAFRAN le plus proche des Eaux Tortes.	98
Tableau 7 - Valeurs moyennes mensuelles et écart-types (entre parenthèses) pour la période 2005-2017.....	98
Figure 49 - Valeurs moyennes mensuelles sur 2005-2017 (histogramme) et écarts types correspondants (trait continu) pour la température TM (haut), les précipitations RR (milieu) et la hauteur de neige HNEIG (bas). Données du point SAFRAN le plus proche des Eaux To	99
Tableau 8 - Valeurs moyennes saisonnières et écart-types (entre parenthèses) pour la période 2005-2017.....	99

Figure 50 - Valeurs moyennes saisonnières sur 2005-2017 (histogramme) et écarts types correspondants (trait continu) pour la température TM (haut), les précipitations RR (milieu) et la hauteur de neige HNEIG (bas). Données du point SAFRAN le plus proche des Eaux.....	100
Tableau 9 - Valeurs moyennes annuelles 2005-2017 et écarts-types correspondants	100
Tableau 10 - Valeurs moyennes annuelles et écarts à la moyenne 2005-2017. En gras : années extrêmes.....	100
Figure 51 - Ecart à la moyenne 2005-2017 des valeurs moyennes annuelles de la température TM (haut), des précipitations RR (milieu) et de la hauteur de neige HNEIG (bas). Données du point SA-FRAN le plus proche des Eaux Tortes.....	101
Figure 52 - Données pluviométriques de terrain disponibles (pluviomètre à auget ONF)	102
Figure 53 - Comparaison entre la pluie mesurée sur le pluviomètre des Eaux Tortes (Pluvio ET) depuis son installation par l'ONF le 21 juillet 2017, les signaux mesurés sur 3 stations Météo-France voisines sur la même période et la réanalyse SAFRAN au point le plu	102
Figure 54 - Comparaison entre les cumuls de précipitations mesurés sur la période 2005-2017 par 5 stations Météo-France proches des Eaux Tortes et la réanalyse SAFRAN au point le plus proche du site. Fichier « RR_ET 2005-2017.xlsx »	103
Figure 55 - Altitude des nappes - Courbes piézométriques enregistrées	108
Figure 56 - Courbes des températures des eaux de la nappe.....	109
Figure 57 - Courbe piézométrique du P2	110
Figure 58 - Courbe piézométrique du P4	110
Figure 59 - Courbe piézométrique du P11	111
Figure 60 - Courbe piézométrique du P9	111
Figure 61 - Herbiers enracinés flottants à Rubanier à feuilles étroites (<i>Sparganium angustifolium</i>), en arrière-groupement amphibie pionnier des sols hydromorphes acidiphiles, dominé par la Linaigrette de Scheuchzer (<i>Eriophorum scheuchzeri</i>) formant des nappes clairsemées et en ceinture, touradons à Laïche noire (<i>Carex nigra</i>).....	113
Figure 62 - Herbiers à <i>Callitriche palustris</i>	113
Figure 63 - Mare asséchée gagnée par la formation à <i>Alopecurus aequalis</i> ; en arrière-plan gros touradons à <i>Carex nigra</i>	114
Figure 64 - Groupement amphibie pionnier des sols hydromorphes acidiphiles, dominé par la Linaigrette de Scheuchzer (<i>Eriophorum scheuchzeri</i>) formant des nappes clairsemées et touradons à Laïche noire (<i>Carex nigra</i>).....	115
Figure 65 - Bas-marais acidiphile à Laïche noire (<i>Carex nigra</i>) et Laïche blanchâtre (<i>Carex canescens</i>)	116
Figure 66 - Touradons à Laïche noire (<i>Carex nigra</i>) en arrière-plan et touradons exondés gagnés par les espèces de prairies humides riche en Trolle d'Europe (<i>Trollius europaeus</i>)	118
Figure 67 - Cartographie fine des habitats présents sur le site des Eaux Tortes (Foucaut 2017)	120
Figure 68 : Cartographie des habitats et résistivité inversée à 2.5 m de profondeur.....	121
Figure 69 - Zones prises en compte pour évaluer les fonctions d'une zone humide (MNHN, 2016) .	122
Tableau 11 - Type d'habitat EUNIS de niveau 1 présents au sein du paysage	127
Figure 70 : Caractérisation de la fonctionnalité hydrologique.....	128
Figure 71 : Caractérisation de la fonctionnalité biogéochimique	129

Figure 72 : Caractérisation de la fonctionnalité écologique	130
Figure 73 : Tendances d'évolution de la nappe en m NGF sur les piézomètres P2 et P3 (à gauche, boîte à moustache par année).....	131
Figure 74 : Tendances d'évolution de la nappe pour les piézomètres P4, P5, P6 et P8	132
Figure 75 : Tendances d'évolution de la nappe pour le piézomètre P11.....	133
Figure 76 - Développement successif des groupements en fonction de la profondeur de la nappe et de l'assèchement progressif de la nappe : herbiers à <i>Callitriche palustris</i> puis herbiers à <i>Sparganium angustifolium</i> puis groupement amphibie à <i>Eriophorum scheuchzeri</i> et touradons à <i>Carex nigra</i> . La plage vaseuse quelques jours après son assèchement sera gagnée par <i>Alopecurus aequalis</i>	134
Figure 77 - Laîche à deux étamines ou Laîche à tiges arrondies (<i>Carex diandra</i> Schrank).....	134

I. CONTEXTE ET PREAMBULE

Créé en 1966, l'Office National des Forêts, Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial, est le gestionnaire d'environ 10 Millions d'hectares de forêts sur l'ensemble du territoire français. Ses missions s'orientent autour de trois axes, à savoir la production de bois, l'accueil du public, et la protection de l'environnement.

Dans le cadre de la gestion durable de ses forêts, l'ONF agit pour la prise en compte des ressources en eau présentes sur son domaine. Ces milieux aquatiques, comme les mares forestières, les forêts alluviales ou les zones humides, constituent des milieux d'une richesse écologique et patrimoniale importante. De ce fait, l'ONF, acteur majeur du territoire, s'engage à la prise en compte de l'ensemble de ses écosystèmes dans sa gestion afin de mieux les préserver et protéger.

C'est le cas notamment de la zone humide des Eaux Tortes qui se situe sur le territoire de la forêt domaniale du Laverq et dont l'ONF est en charge. La conservation de ce site, caractéristique des zones humides de bas fond en tête de bassin versant, dépend du glacier de la Blanche, situé sous la tête de l'Estrop, et du torrent de la Blanche. A ce jour, le fonctionnement et les interrelations entre ces différentes masses d'eau ne sont pas suffisamment connus pour déterminer précisément les actions de gestion à mener.

Les Eaux Tortes constituent un espace emblématique de la dynamique fonctionnelle des milieux sud-alpins dans un contexte d'évolution climatique.

L'objectif à long terme est la réalisation d'un plan de gestion qui permettra la conservation d'une zone humide fonctionnelle sur le site des Eaux Tortes avec des habitats représentatifs. La connaissance cet écotone constitue donc un préalable à la définition précise des modes de gestion du site.

Gestion qui pourra s'inscrire dans le temps grâce aux nombreux outils encadrant ce site. Citons notamment la Réserve Biologique (ONF), l'ENS (CD), N2000 et le site inscrit.



Figure 1 – Localisation des Eaux Tortes dans la Vallée du Laverq

Pour atteindre cet objectif, l'ONF a constitué une équipe projet regroupant ses différents services compétents (techniciens territoriaux, bureau d'études, RTM) et des partenaires techniques (Université de Grenoble, l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale).

Ont aussi été associés à la gouvernance du projet des partenaires institutionnels et des acteurs territoriaux : Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, Conseil Départemental des Alpes de Haute Provence, Commune de Méolans-Revel, association de protection de la Vallée du Laverq présidée par M. Lucien TRON.

Les enjeux et le caractère emblématique du complexe des Eaux Tortes en font un site représentatif des principes énoncés par la loi biodiversité d'août 2016 : solidarité et continuité écologique pour un aménagement durable du territoire, prise en compte de la dynamique fonctionnelle des milieux.

Cette action de connaissance et préservation de la biodiversité en lien avec la ressource en eau s'inscrit donc dans l'extension du champ de compétence des Agences de l'eau tout en répondant aux objectifs du SDAGE 2016-2021 du bassin Rhône-Méditerranée.

Le présent rapport constitue le rendu du projet conduit de 2016 à 2023.

Il se constitue :

- **D'un rappel du contexte de l'étude**
- **Des méthodologies et outils mis en œuvre pour réaliser l'étude**
- **D'une analyse historique du site des Eaux Tortes**
- **D'une analyse de l'état actuel du site des Eaux Tortes**

- De l'analyse des évolutions possibles du site dans le futur et des préconisations pour suivre et protéger les Eaux Tortes.

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1. OBJET DE L'ETUDE : ZONE HUMIDE DES EAUX TORTES

II.1.1. LOCALISATION DES EAUX TORTES

La zone humide des Eaux Tortes se situe dans la vallée du Laverq en Ubaye dans le département des Alpes de Haute-Provence (04), sur la commune de Méolans-Revel. Elle se situe entre le glacier de la Blanche, sous la tête de l'Estrop, et le torrent de la Blanche, qui rejoint le Grand Riou de la Blanche avant de confluer avec l'Ubaye.



Figure 2 - Carte de la localisation de la zone humide des Eaux Tortes (à droite) ; Vallée du Laverq et ses reliefs (extrait de l'Atlas des paysages- p.278)

II.1.2. LES OUTILS TERRITORIAUX ET PERIMETRES DE PROTECTION

Les Eaux Tortes appartiennent à la masse d'eau n° FRDR302 de l'Ubaye, la Bachelard et le grand Riou de la Blanche (Source : eaufrance.fr). Elles font partie du bassin versant de l'Ubaye qui est un sous bassin versant du bassin versant de la Haute Durance et du grand bassin versant de la Durance.

Cette masse d'eau est intégrée dans le SDAGE Rhône-Méditerranée. A ce jour, les SAGE de l'Ubaye ou de la Durance ne sont pas encore initiés, mais leur émergence est souhaitée, c'est-à-dire préconisée

par le SDAGE. L'Ubaye et ses affluents sont gérés par le Syndicat Mixte de l'Ubaye et de l'Ubayette, qui est la structure porteuse d'un contrat de rivière présent sur l'Ubaye.

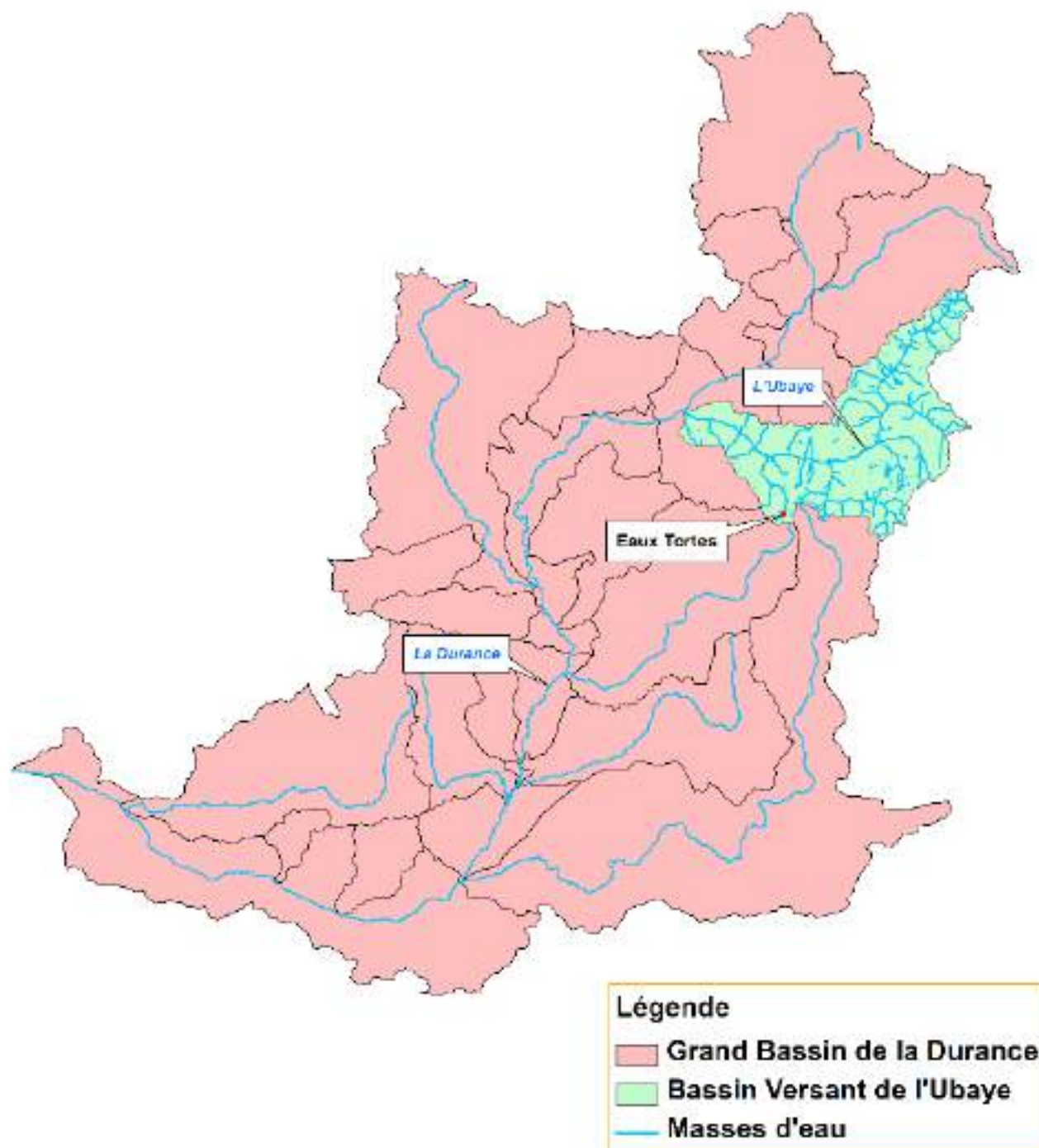


Figure 3 - Localisation des Eaux Tortes dans les bassins versants de l'Ubaye et de la Durance

En plus de ces outils territoriaux, la zone humide des Eaux Tortes est incluse dans les périmètres de protection réglementaire et contractuelle suivants :

- La réserve biologique mixte du Laverq (partie intégrale) ;
- Le site inscrit de « La Vallée du Laverq » ;
- L'Espace Naturel Sensible (ENS) des Eaux Tortes géré par le Conseil Départemental des Alpes de Haute Provence ;
- Le site Natura 2000 « FR9301529 – Dormillouse – Laverq ».

La zone humide figure également aux inventaires patrimoniaux suivants :

- La ZNIEFF de type I « Vallon de la Blanche de Laverq – Grande et petite Séolane – roche bénite » (code 04115131).
- La ZNIEFF de type II « Massif de la montagne de la Blanche – vallon de la Blanche de Laverq – tête de l'Estrop – montagne de l'Ubac – haute vallée de la Bléone » (code 04115100).



Figure 4 - Photographie de la Vallée du Laverq (ONF, 2016)

II.2. ENJEUX ET PROBLEMATIQUE « EAU ET BIODIVERSITE »

Les Eaux Tortes forment une zone humide de tête de bassin de versant. Elles appartiennent au sous bassin de l'Ubaye qui fait lui-même partie du bassin versant de la haute Durance.

De par sa localisation en amont des bassins versants, ce type de zone humide soulève des enjeux particuliers. Ces zones assurent la régulation des flux hydriques et hydrogéologiques, notamment par la régulation des débits d'étiages, de l'amont du bassin jusqu'à son aval qui est ainsi tributaire des modifications de ces milieux (*Barnaud, 2009*). Elles jouent également un rôle dans la qualité des eaux grâce à leur pouvoir épurateur (fonctions biogéochimiques). Enfin, les zones humides en tête de bassin versant assurent également une fonction écologique en servant d'habitat aux espèces floristiques et faunistiques caractéristiques de ces milieux (*ONEMA, 2015*).

Les têtes de bassin versant, dont font partie les Eaux Tortes, constituent des écotones fragiles et très vulnérables aux nombreuses altérations liées aux activités humaines et aux évolutions climatiques (*ONEMA, 2015*). Elles représentent donc un enjeu crucial en termes de préservation de la qualité et quantité des ressources en eau. **La reconquête du bon état écologique des masses d'eau ne peut pas se faire sans la protection et la restauration des têtes de bassin versant.**



Figure 5 - Photographie de la zone humide des eaux Tortes (ONF, Printemps 2016)

II.2.1. À L'ECHELLE DE LA ZONE HUMIDE

La zone humide des Eaux Tortes constitue un véritable réservoir biologique en tête de bassin versant, en témoigne l'importance des périmètres de protection réglementaire et contractuelle. Historiquement, de nombreux acteurs territoriaux ont identifié l'importance de ce site. Ils ont cherché à le préserver et à le mettre en valeur notamment par la mise en place d'un premier plan de gestion. Par ailleurs, sa richesse et son caractère exceptionnel ont fait sa renommée, ce qui fait des Eaux Tortes une zone touristique assez fréquentée et un espace emblématique des paysages sud-alpins.

Son caractère exceptionnel repose cependant sur des équilibres fragiles qui sont remis en cause par deux principales pressions mises en évidence dans l'état des lieux :

- les changements environnementaux et climatiques ;
- la fréquentation touristique des lieux.

En effet, le glacier de la Blanche semble progressivement reculer depuis une trentaine d'années (*Beaulieu et Jorda, 1977*). Ce phénomène risque aujourd'hui de s'accroître du fait du changement climatique. Un réchauffement aurait en effet inévitablement un impact sur l'approvisionnement, le régime hydrique et sur tout le fonctionnement hydrologique et écologique de la zone humide. De plus, la géographie particulière du site, en limite méridionale de l'aire d'observation de ces types d'habitats naturels, rend les Eaux Tortes particulièrement vulnérables à ce type d'évolutions climatiques.

En parallèle de cela, on constate aujourd'hui la présence de nombreux cheminements annexes qui ont été créés par le piétinement en périphérie et au travers de la zone du fait du bas niveau des eaux en été. Ces zones de tassement induites par le passage fréquent des randonneurs hors sentier fragilisent d'autant plus le milieu que cette fréquentation semble en augmentation.

II.2.2. A L'ECHELLE DU TERRITOIRE DU BASSIN-VERSANT

La masse d'eau des Eaux Tortes est inscrite dans différents outils d'aménagement du territoire. Elle est comprise dans la Trame Verte et Bleue (TVB) du Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE). La trame bleue est la composante aquatique de la TVB : elle prend en compte les cours d'eau ou canaux classés mais également les zones humides dont la préservation ou la remise en bon état contribue à la réalisation des objectifs de qualité et de quantité des eaux que fixent les SDAGE. **La zone humide des Eaux Tortes est inscrite dans la trame en tant que réservoir biologique dont l'objectif de gestion est la préservation optimale.**

La masse d'eau de la zone humide étudiée est décrite comme étant dans un bon état écologique (Figure 6)

MASSES D'EAU			ÉTAT ÉCOLOGIQUE					ÉTAT CHIMIQUE					
RC	NOM	STATUT	2009			OBL. BE ①	MOTIFS DU REPORT ②		2009			MOTIFS DU REPORT ②	
			ÉTAT ①	NC ②	NR/NOE ③		CAUSES	PARAMÈTRES	ÉTAT ①	NC ②	BE ③	CAUSES	PARAMÈTRES
FRDR002	L'Ubaye, la Bachelard et le Grand Roux de la Blanche	MEN	BE	3		2015			BE	3	2015		

Figure 6 - Tableau de l'état écologique et chimique de la masse d'eau des Eaux Tortes (Gesteau, 2016)

La pression des activités humaines sur le site reste faible. Excepté la fréquentation touristique, le site des Eaux Tortes ne semble pas être sujet à la détérioration de la qualité chimique de ses eaux à cause d'activités humaines, qui est qualifiée de masse d'eau en « très bon état ». L'enjeu principal demeure donc sur la qualité écologique des Eaux Tortes.

L'étude de cette zone humide, qui a pour principal objectif l'analyse de son fonctionnement et l'amélioration des connaissances existantes du site, s'inscrit totalement dans la logique de préservation et de protection voulue par le SDAGE et le SRCE. La préservation des Eaux Tortes est d'autant plus importante qu'il s'agit d'une zone humide en tête de bassin versant, très vulnérable aux pressions extérieures. La disparition progressive du glacier rocheux, et par conséquent, l'épuisement des ressources en eau de la zone sont susceptibles d'impacter l'aval de la vallée par la modification possible de la quantité et qualité de l'Ubaye.

II.2.3. CADRE DE L'ETUDE

Les caractéristiques des zones humides en tête de bassin dépendent de nombreux facteurs extérieurs comme la géologie, le climat, le pendage, ou la végétation (Figure 7). Antérieurement à cette étude, le fonctionnement de l'hydrosystème des Eaux Tortes était encore méconnu. Si le glacier de la Blanche avait déjà fait l'objet d'étude par le passé (*Beaulieu et Jorda, 1977*), le complexe « Glacier - Zone humide – Cours d'eau » n'avait pas été suffisamment étudié pour définir et mettre en œuvre des actions précises en vue de sa préservation et valorisation. Il était de ce fait difficile de déterminer précisément quels seraient les effets du changement climatique sur la dynamique fonctionnelle des Eaux Tortes.

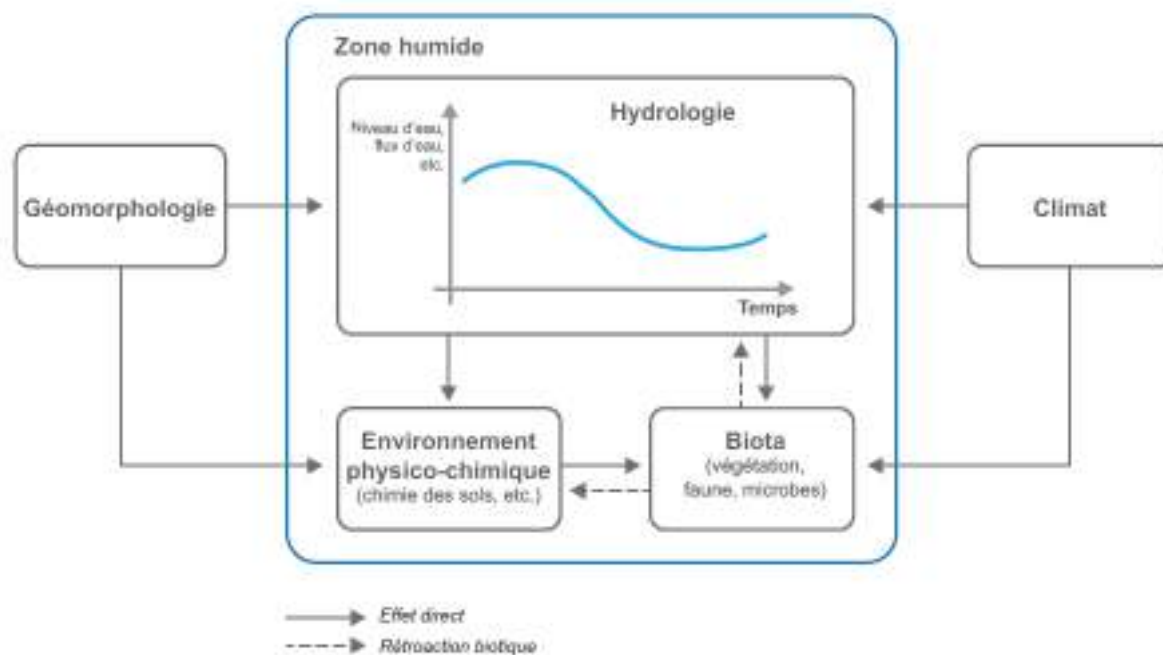


Figure 7 - Fonctionnement général d'une zone humide (extrait du guide d'évaluation des fonctions des zones humides, 2016)

Il semblait donc nécessaire d'améliorer dans un premier temps les connaissances sur l'écosystème et la biodiversité présente, ainsi que sur le fonctionnement même de la zone humide (espace de bon fonctionnement, source et origine des eaux, etc.) par la réalisation d'une **étude sur le fonctionnement du Complexe Glacier – Zone humide – Cours d'eau**.

Dans le cadre de l'initiative à la biodiversité de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, l'étude des Eaux Tortes s'inscrit dans l'axe 2 sur **l'amélioration des connaissances de la biodiversité, sa mutualisation et sa valorisation en lien avec les espèces indicatrices de la dynamique fonctionnelle, la fonctionnalité écologique et les activités humaines présente au sein du milieu**.

II.2.4. PRINCIPES ET OBJECTIFS

Cette étude vise tout d'abord à améliorer la connaissance sur la biodiversité et sur le fonctionnement hydrologique et hydrique de la zone humide des Eaux Tortes. L'objectif sur le long terme est ainsi d'aboutir à la préservation et valorisation du site, au travers de la mise en place d'une politique de gestion concertée.

Cette étude vise ainsi à approfondir et améliorer :

- La compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème ;
- La détermination de l'espace de bon fonctionnement ;
- L'identification et le suivi des espèces bioindicatrices de la dynamique fonctionnelle des milieux ;
- L'identification des effets du changement climatique.

Le projet intègre ainsi une étude physique, une étude climatique et hydrologique ainsi qu'une étude botanique de la zone humide des Eaux Tortes, ceci dans le but de comprendre le fonctionnement de l'hydroécosystème et d'identifier plus précisément les menaces et enjeux inhérents à la zone humide.

L'évaluation des fonctionnalités de la zone humide des Eaux Tortes a été réalisée selon la méthode nationale du MNHN (2016) et a servi de base pour une projection sur l'évolution future de la zone.

Cette étude permet ainsi de :

- Réaliser un état initial des fonctionnalités propres à la zone humide des Eaux Tortes ;
- Anticiper et définir l'état souhaitable et envisageable de la zone humide des Eaux Tortes dans un contexte de changement climatique ;
- Envisager des orientations de gestion allant dans le sens de la préservation de l'écosystème.

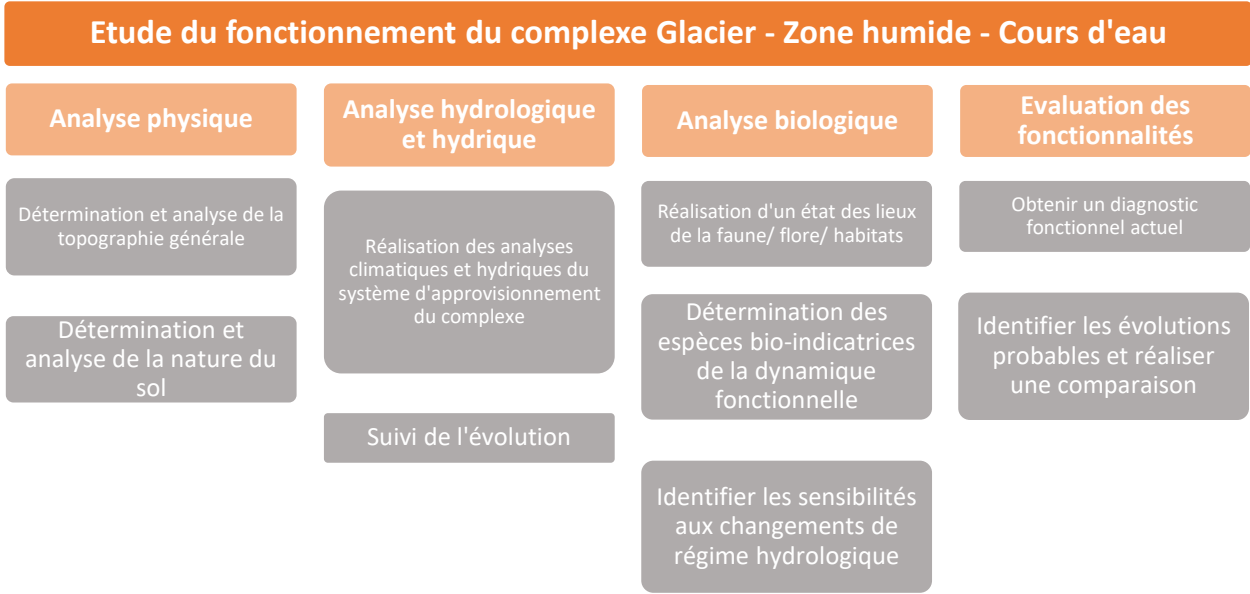


Figure 8 - Synthèse des différentes analyses à réaliser dans le cadre de l'étude du fonctionnement du complexe Glacier - Zone Humide - Cours d'Eau

II.3. PARTENAIRES ET GOUVERNANCE DU PROJET

L'étude du fonctionnement de la zone humide des Eaux Tortes et avant tout un projet qui vise à s'inscrire dans une logique de territoire en partenariat avec l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion des Eaux Tortes. Une équipe-projet technique et pluridisciplinaire a ainsi été mise en place par l'ONF.

L'université de Grenoble

Le Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE, Unité Mixte de Recherche de l'Université Grenoble-Alpes, du CNRS et de l'Institut de Recherche pour le Développement) participe à ce projet. Il a ainsi apporté ses compétences en matière d'instrumentation (hydrométrie, pluviométrie, météorologie) et de climatologie en zone de montagne.



L'IMBE

L'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE) oriente ses recherches selon six axes, dont deux axes qui pourraient s'inscrire dans le cadre du projet d'étude : La paléoécologie et l'origine et l'évolution de la biodiversité. L'IMBE a apporté ses compétences pour la réalisation d'une étude de palynologie de la zone humide.



L'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, est pleinement impliquée dans la gestion des zones humides et la connaissance de la ressource en eau. L'aide financière de l'initiative à la biodiversité à hauteur de 80% a ainsi permis de financer le projet d'étude de la zone humide des Eaux Tortes.



Conseil départemental des Alpes de Hautes Provence

Ayant retenu le site des Eaux Tortes dans son réseau des Espaces Naturels Sensibles, le Conseil Départemental des Alpes de Haute Provence a été associé au projet.



Pour assurer la gouvernance du projet, une instance de pilotage a été mise en place sous la forme d'un COFIL (Comité de Pilotage). Ce comité regroupait l'ONF qui porte le projet, et l'ensemble des partenaires impliqués dans le projet d'études. Le COFIL a pu se réunir annuellement afin de rendre compte des avancées et de discuter de la suite de la programmation.

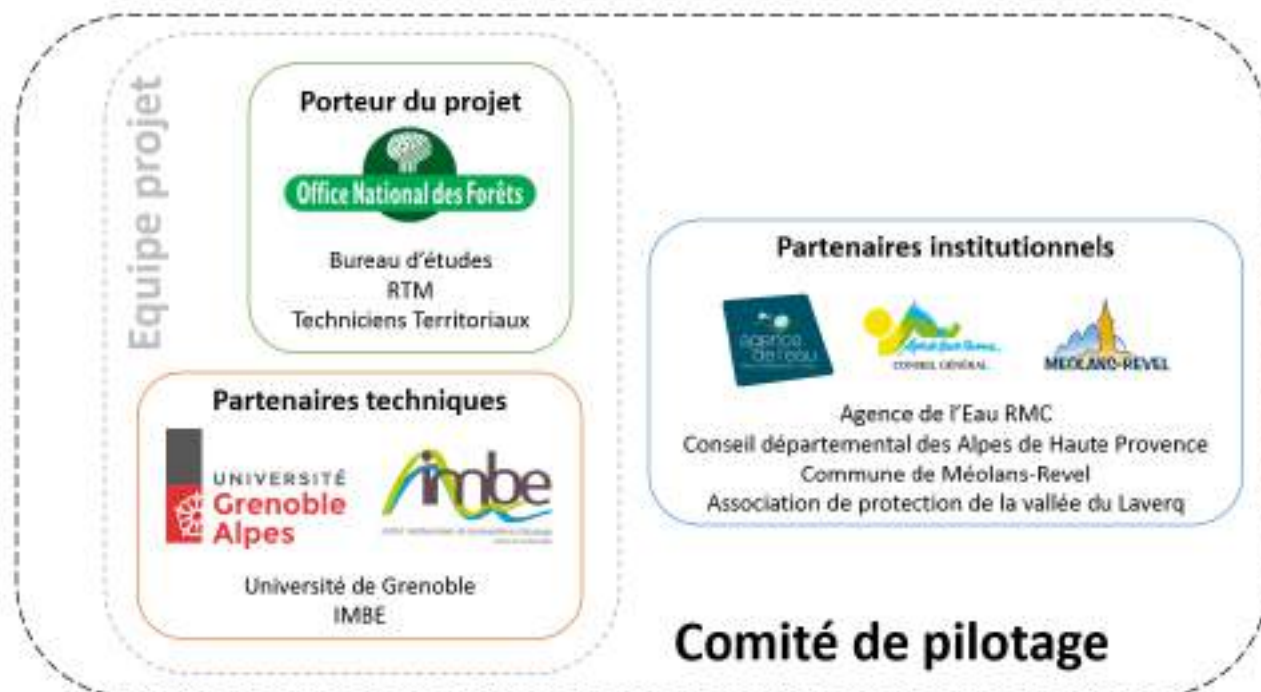


Figure 9 - Gouvernance du projet d'étude du fonctionnement des Eaux Tortes

III. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU SITE

Selon la nomenclature de la typologie du SDAGE, la zone humide des Eaux Tortes correspond à une zone humide de bas-fond en tête de bassin-versant de **type 7 : Zones humides de montagnes, collines et plateaux**

Tableau 1 - Nomenclature de la typologie des Zones humides du SDAGE

Typologie SDAGE		Typologie SAGE (sous-type)
Eaux marines		
1	Grands estuaires	Herbier
		Récif
2	Baies et estuaires moyens et plats	Vasière
		Pré-salé
		Arrière-dune
3	Marais et lagunes côtiers	Lagune
		Marais salant
4	Marais saumâtres aménagés	Bassin aquacole
Eaux courantes		
5	Zones humides des cours d'eau et bordures boisées	Ripisylve
		Forêt alluviale
6	Plaines humides mixtes liées au cours d'eau	Palustre (roselière, cariçaie à végétation submergée)
Eaux stagnantes		
7	Zones humides de montagnes, collines et plateaux	Marais d'altitude (source, combe à neige)
		Tourbière
		Zone humide de bas-fond en tête de bassin-versant
		Zone humide boisée
8	Région d'étangs	Herbacée (roselière, prairie inondable)
		Palustre (roselière, cariçaie)
9	Petits plans d'eau et bordures de plan d'eau	Végétation submergée
		Lande humide
		Plaine tourbeuse
10	Marais et landes humides de plaines et plateaux	Petit lac
		Mare
		Tourbière
		Pré-salé continental
		Rizière
11	Marais aménagés dans un but agricole	Prairie amendée
		Peupleraie
		Réservoir-barrage
12	Zones humides artificielles	Carrière en eau
		Lagunage

III.1. CONDITIONS ABIOTIQUES

III.1.1. SITUATION TOPOGRAPHIQUE

La zone humide des Eaux Tortes se situe entre 2 249 m et 2 252 m d'altitude. Le relief est bien marqué sur l'ensemble du profil en long, avec un replat avec une pente très faible marquant le site des Eaux Tortes.

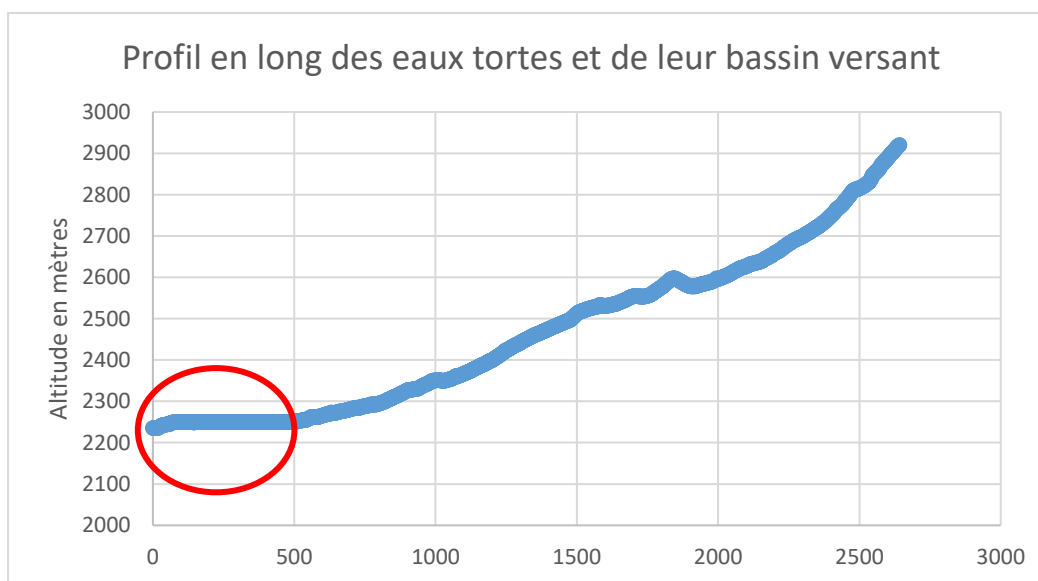


Figure 10 - Profil en long du bassin versant

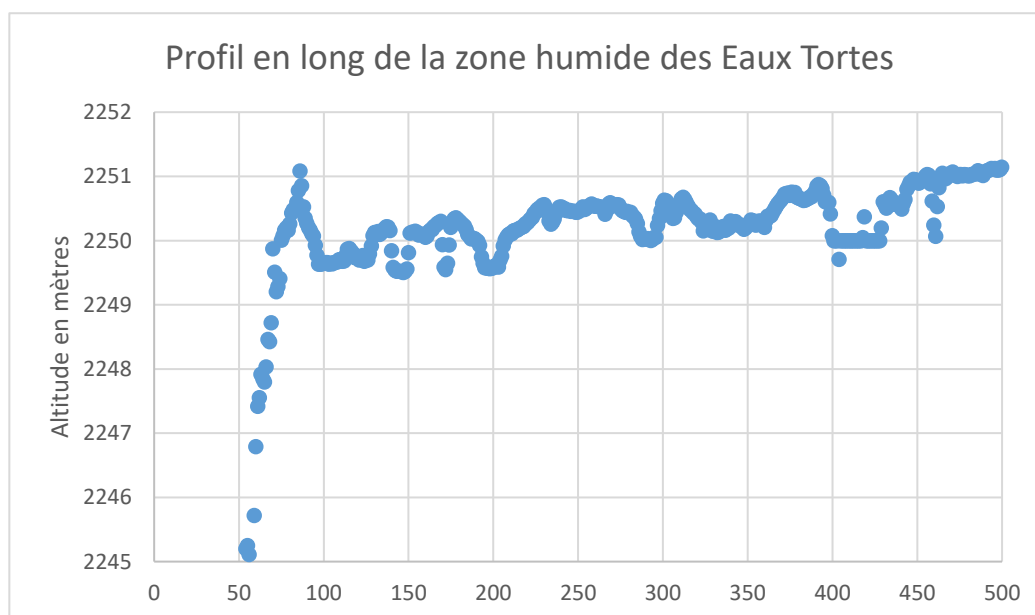


Figure 11 - Profil en long du site des Eaux Tortes

III.1.2. DONNEES CLIMATIQUES

Sur la zone d'étude, le climat est de type montagnard à influence méditerranéenne.

La station de référence la plus proche est située à 1 140 m d'altitude sur la commune de Barcelonnette, soit à 15 km des Eaux Tortes. Les données de cette station ont été adaptées aux Eaux Tortes en considérant que la température diminue de 0.6°C et que les précipitations augmentent de 10 mm par 100 m de dénivelé supplémentaire.

Paramètres climatiques	Poste de Barcelonnette	Les Eaux Tortes
Altitude	1140 m	2250 m
Température moyenne annuelle	7,6° C	1° C
Hauteur moyenne annuelle des précipitations	690 mm	1800/2000 mm
Nombre moyen de jours de pluie	100	Beaucoup plus
Nombre moyen de jours de neige	18	Idem
Moyenne annuelle du nombre de jours de	180	Idem

Figure 12 : Tableau du comparatif des paramètres climatiques entre la station météorologique de Barcelonnette et le site des Eaux Tortes (ENS, 2012)

La pluviosité y est assez faible, cependant la neige arrive assez tôt dans la saison et reste relativement longtemps.

Les hauts sommets forment un cirque autour des Eaux Tortes, rendant le site plus froid et humide que le reste du vallon. Les perturbations sont stoppées par les sommets sur l'axe sud-nord, augmentant les précipitations de part et d'autre des crêtes.

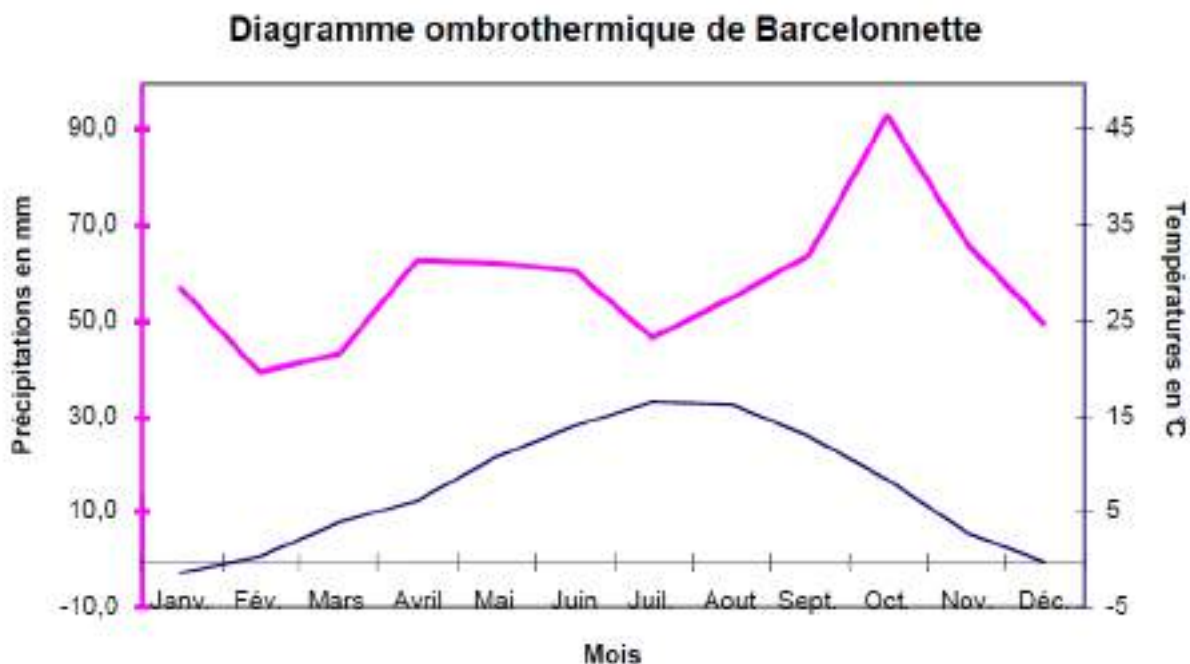


Figure 13 Diagramme ombrothermique de Barcelonnette (ENS, 2012)

Le maximum de précipitation est observé à l'automne courant octobre et le minimum en hiver au mois de février. Malgré tout, les précipitations restent relativement bien réparties sur l'année. La neige accumulée durant l'hiver peut se maintenir jusqu'au mois de mai.

III.1.3. GEOLOGIE

La zone humide des Eaux Tortes est un ancien lac recouvert de sédiments, dont le substratum est constitué de Grès d'Annot. Son bassin versant est composé de bancs de grés en forte pente, plus ou moins recouvert d'éboulis actifs ou stabilisés. Ces roches feldspathique plutôt grossiers et faiblement acides redirigent l'eau vers le replat des Eaux Tortes.

Ces reliefs résultent de l'activité de l'ancien glacier de la Blanche, au cours de l'époque de Würm (115.000-15.000 B.P.). Ce dernier s'étendait alors des crêtes sud jusqu'au grand glacier de l'Ubaye, qu'il rejoignait 15 km plus bas.

Le vallon du Laverq fut creusé en auge glacière par l'action érosive du glacier de la Blanche, mettant en évidence quelques replats. Le marécage des eaux torte résulte quant à lui de la sédimentation d'un lac, formé derrière un verrou glacière suite au dernier retrait du glacier de la Blanche.

III.1.4. HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE

Les Eaux Tortes alimentent directement les sources de la Blanche du Laverq et influencent son régime hydrique en stockant l'eau de la fonte des neiges au printemps et en la restituant en été à la période d'étiage.

Le bassin versant d'alimentation des Eaux Tortes se distingue par le rôle joué par les glaciers rocheux de la Blanche qui contribuent à l'alimentation de la zone humide.

On notera que des mesures de Ph et IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) ont été réalisés entre 1995 et 1996 par la MRE (Maison Régional de l'Eau). A la confluence des torrents, la note de 13 était obtenue soulignant la très bonne qualité des cours d'eau.

III.2. LES USAGES

L'Ubaye est un pôle important de tourisme de montagne d'été et d'hiver.

Si le ski de randonnée y est pratiqué du début d'hiver jusqu'au printemps, le site est aussi très attractif en été, en particulier du 15 juillet au 15 août, prisé par grand nombre de randonneur du fait de l'histoire de l'Abbaye, la beauté des paysages et des sentiers balisés. Le plus attractif est le circuit « eaux Tortes » qui permet de faire un tour de 5 heures avec un livret explicatif qui est vendu

Les Eaux Tortes se situent dans un contexte rural de montagne dont le pastoralisme est une activité historique qui n'est plus pratiquée sur le site. Le site est actuellement traversé une seule fois par le troupeau lorsqu'il rejoint son quartier d'août au-delà du col de Vautreuil.

III.3. HISTORIQUE DU SITE

Il n'est pas connu d'usage historique du site. La trace la plus proche de l'homme est la cabane pastorale de la Séléta et son parc de nuit en pierre.

IV. VOLET METHODOLOGIQUE

IV.1. PREAMBULE

De par leur configuration, leur aspect et leur localisation, la zone humide des eaux tortes a fait l'objet de différentes observations (glaciologues, ingénieurs des eaux et forêts, etc.) au cours des cent dernières années.

Une première phase bibliographique a permis de faire ressortir les observations d'époque. Ainsi, plusieurs hypothèses de fonctionnement et de mise en place de la zone humide avaient été formulées.

D'après le Plan de Gestion de l'Espace Naturel Sensible de la zone humide des Eaux Tortes, l'hypothèse suivante a été retenue :

*« Lors de son dernier retrait, **un petit lac s'est formé derrière un "verrou" glaciaire. Il a, en se sédimentant, donné le marécage des Eaux Tortes. Les moraines produites ont laissé des placages sur les flancs des montagnes.** »*

Ainsi, avant les eaux tortes telles qu'elles existent à ce jour, la zone humide serait la résultante d'un ancien lac glaciaire se comblant progressivement.

L'objectif de cette étude est la détermination du fonctionnement passé et actuel des Eaux Tortes afin d'anticiper son évolution future possible.

Pour ce faire, cette présente étude s'est attachée à analyser les éléments disponibles permettant de mieux comprendre la création et la mise en place de cette zone humide.

Mieux comprendre son passé et sa création permettront de mieux identifier les changements possibles de la zone humide dans le cadre du changement climatique.

Le schéma ci-dessous présente ainsi les différentes analyses et outils utilisés pour comprendre l'évolution temporelle de la zone humide des Eaux Tortes :

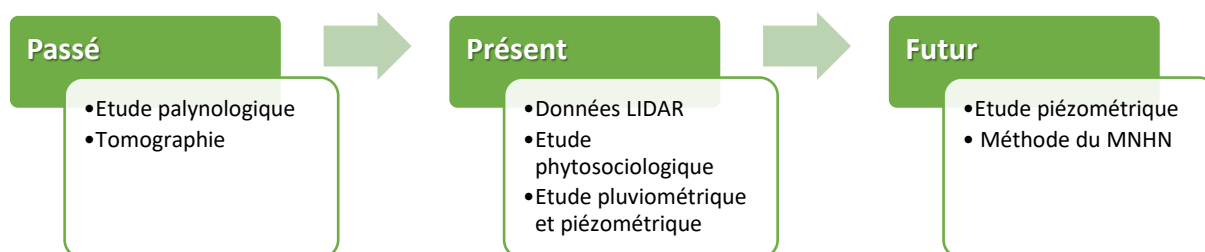


Figure 14 – Les outils et méthodes mises en œuvre

IV.2. LES OUTILS ET METHODES D'ANALYSE DE LA GENESE DES EAUX TORTES (PASSE)

IV.2.1. ANALYSE TOMOGRAPHIQUE

L'objectif de cette analyse est de déterminer la nature des sols de la zone humide des Eaux Tortes afin d'affirmer ou infirmer la présence d'un ancien lac glaciaire à l'origine.

La société GexplOre est intervenue pour réaliser des mesures géophysiques afin d'appréhender la nature des sols présents dans la zone des Eaux tortes.

L'ensemble des données géophysique a été inversé afin de générer un modèle géophysique/géologique permettant de mieux comprendre la relation spatiale entre les différentes unités.

IV.2.1.1. Moyens et matériels utilisés

Dans le cadre de cette étude, la société GexplOre a mis en œuvre la méthode électromagnétique, en utilisant deux appareils. Le premier appareil de la marque DUALEM, du type 21S. Cet appareil permet de réaliser des mesures à quatre profondeurs (0,5m, 1m, 1,6m et 3,20m), en un seul passage. Le second appareil de la marque GEONCIS LTD, de type EM38- MK 2, offre des mesures de subsurface (37,5 et 75 cm). L'utilisation de ces deux instruments combinés permet l'acquisitions de données à 6 profondeurs distinctes (0,375 m, 0,5m, 0,75m, 1m, 1,6m et 3,2m).

Du fait de la taille des surfaces à investiguer, les mesures réalisées par la société GexplOre ont été effectuées à la main. Le géoréférencement a été effectué par DGPS avec une précisions X et Y d'environ 50cm et une altitude reportée sur le Lidar. Les mesures ont été enregistrées selon un espacement d'environ 10m suivant un circuit tortueux évitant les obstacles naturels.

Ces moyens matériels sont présentés ci-dessous.

IV.2.1.1.a Détection par conductimètre DUALEM 21S / EM38-MK 2

L'instrument utilisé est équipé d'une bobine émettrice (T) et de 6 bobines réceptrices (H1, H2, H4, P1, P2, P4). Trois de ces bobines réceptrices sont horizontales et coplanaires (HCP) et les trois autres sont perpendiculaires (PRP) par rapport à la bobine émettrice. Elles sont respectivement espacées de 2 et 4 m par rapport à cette dernière.



Figure 15 - Schéma de principe du DUALEM

La bobine émettrice ou spire primaire (SP) parcourue par un courant alternatif électrique de fréquence f produit un champ magnétique alternatif primaire (HP) de même fréquence qui induit de faibles courants dans le sol (courants de Foucault). Ces courants produisent à leur tour un champ secondaire (HS) proportionnel à la conductivité du sol. Ce champ est capté par la bobine réceptrice ou spire

secondaire (SS). La conductivité globale apparente mesurée est proportionnelle à HS et HP selon la formule suivante :

$$\sigma_a = 2 (H_s/H_p)/nfm_0S^2$$

Avec :

σ_a : conductivité apparente (milliSiemens/mètre)

m_0 : perméabilité électromagnétique du milieu

n : facteur dépendant des caractéristiques de l'appareil

S : distance entre l'émetteur et le récepteur

f : fréquence de l'émetteur (pour le DUALEM 21s, $f = 9$ KHz, pour l'EM38 : 14,5 KHz)



Figure 16 - Appareil de mesure DUALEM 21S et système d'acquisition des données



Figure 17 - Appareillage de mesure EM38 MK2 et système d'acquisition.

Par construction, les paramètres définis dans la formule ci-dessus sont constants ou présentent des variations négligeables pour le DUALEM 21s.

Cet appareil permet donc de réaliser la lecture directe de la conductivité d'une tranche de terrain donnée, exprimée en milliSiemens/mètre, et ainsi d'en déduire immédiatement la résistivité en ohm.mètre. L'appareil permet également de lire la susceptibilité magnétique (ou inphase) en ppt (parts per thousand). Du fait de la dérive de l'instrument dans le temps, la précision de lecture est de $\pm 0,2$ mS/m.

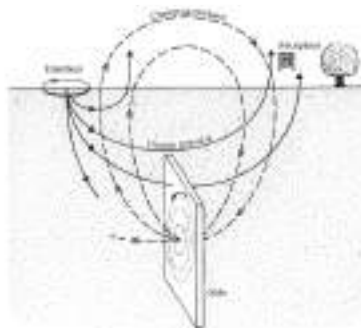


Figure 18 - Illustration du principe de la mesure électromagnétique

La configuration de l'appareil DUALEM 21S lui permet de réaliser conjointement des points de mesures à 0.5, 1.0, 1.6 et 3.2 m de profondeur, et celle de l'EM 38 MK2, lui permet de réaliser des mesures à 0,75m et 1,50m (mode vertical) ou à 0,375m et 0,75m (mode horizontal). Les courants induits en sous-sol n'affectent les terrains qu'à proximité immédiate de l'appareil (quelques mètres), le champ secondaire mesuré correspond à la réponse de ce faisceau de courants induits. Par principe on admet donc que la mesure réalisée en un point donné correspond à la conductivité du sous-sol en ce point.

IV.2.1.1.b Valeurs usuelles de la résistivité/conductivité des matériaux

Toute variation de résistivité du sol est liée à sa nature géologique et/ou à son état mécanique (altération, fracturation).

Ainsi des argiles ou des remblais argileux seront caractérisés par des valeurs de résistivité faibles, de l'ordre de quelques dizaines d'ohm.m. Les grès, les calcaires ou les marnes massifs seront caractérisés par des résistivités de plusieurs centaines d'ohm.m. Les roches comme les granites ou les basaltes peuvent quant à elles avoir des résistivités de plusieurs milliers d'ohm.m.

	Valeurs usuelles de la résistivité des matériaux (en ohm.m)	Valeurs usuelles de la conductivité des matériaux (en mS/m)
Eau douce	20 à 80	15 à 50
Eau de mer	0,18 à 0,24	5555 à 4166
Limons	20 à 100	50 à 10
Argiles, vases	0,5 à 100	2000 à 10
Marnes	5 à 100	200 à 10
Grès, calcaires marneux	30 à 300	33 à 3,3
Calcaires	300 à 5000	3,33 à 0,2
Marnes jurassiques	30	33,3
Grès	500 à 5000	2 à 0,2
Sables secs	200 à 5000	5 à 0,2
Sables humides	50 à 200	20 à 5
Sables argileux	50 à 500	20 à 2
Sables et graviers	100 à 10000	10 à 0,1
Sables et graviers humides	30 à 500	33,3 à 2
Schistes	50 à 500	20 à 2
Granites	2000 à 15000	0,5 à 0,05
Basaltes	800 à 10000	1,25 à 0,1

Figure 19 - Valeurs usuelles de résistivité et de conductivité

IV.2.1.1.c Datation au Carbone 14

En complément des analyses de tomographiques, des datations de 2 échantillons ont permis d'évaluer l'âge des Eaux Tortes.

IV.2.2. ANALYSE PALYNOLOGIQUE

L'objectif de cette analyse est de caractériser les écosystèmes passés et de dater la mise en place de la zone humide des Eaux Tortes.

IV.2.2.1. Principe général de la méthode

L'identification taxonomique des pollens et leur comptage a permis de reconstituer l'histoire des communautés végétales depuis la mise en place de la zone humide.

Selon les espèces rencontrées, on obtient une bonne image de la végétation locale mais aussi régionale (figure ci-dessous).

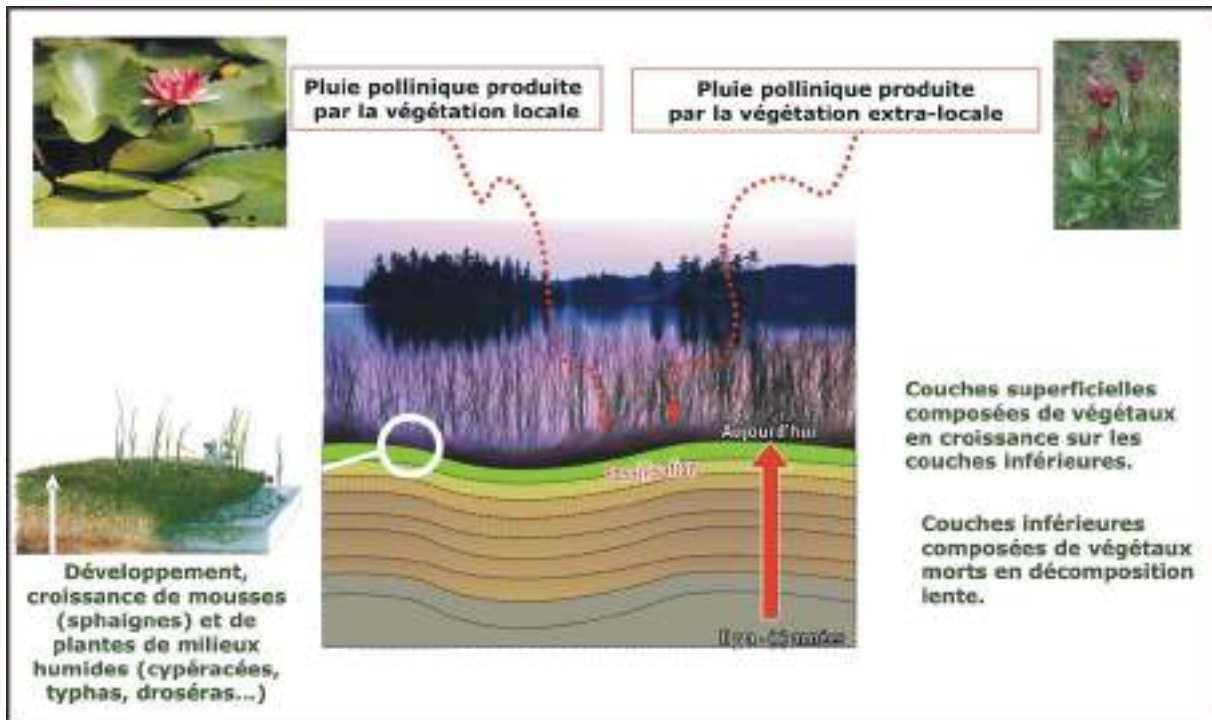


Figure 20 - Fonctionnement schématique de la tourbière en tant qu'archives paléo-environnementales. La fossilisation de la pluie pollinique au cours du temps permet par la suite de reconstituer l'évolution de la végétation passée grâce à la palynologie

IV.2.2.1. Prospections et prélèvements

La mission s'est déroulée sur deux journées complètes (avec bivouac) à deux personnes (Frédéric Guiter et Lenka Brousset, de l'IMBE).

Il faut signaler qu'à l'automne 2019, le site des Eaux Tortes était particulièrement asséché, sans doute en raison d'un été peu pluvieux. Ces conditions ont rendu plus difficiles que prévu les prélèvements.

L'ensemble de la surface du site a été arpenté afin d'évaluer dans un premier temps, les zones les plus propices aux prélèvements. Ceux-ci se font de manière manuelle au moyen d'un carottier "dit russe". Cette méthode sûre, permet d'assurer une bonne qualité de prélèvement, sans pollution lors de la remontée du carottier, la seule limite étant l'impossibilité de traverser des dépôts argilo-sableux trop épais.

Les zones de pelouses acidiphiles (au nord et sud-ouest du marais) sont impropres aux prélèvements : aucune tourbe sous-jacente n'a été mise en évidence lors des pré-sondages. Les ceintures lacustres n'ont livré que des dépôts incomplets (sans doute en raison de la saturation en eau du sédiment fin, non retenu dans le carottier).

Après une rapide prospection, il s'est avéré que les zones de bas-marais étaient les seules à permettre tout prélèvement. La carte ci-après montre les zones prospectées sans succès (impossibilité d'enfoncer le carottier, dépôts peu épais, zones en rose clair).

Sur les deux journées de campagne, 6 prélèvements carottés ont été effectués, ainsi qu'un échantillon de "surface" au niveau d'un touradon. Ce dernier sera utilisé pour établir la signature pollinique de la végétation actuelle. En effet, dans les zones de haute altitude (au-dessus de 2000 m d'altitude environ dans les Alpes), le caractère ouvert des paysages prédispose les marais/tourbières à capter la pluie pollinique à la fois locale et de basse vallée. Le prélèvement du touradon a pour but d'évaluer cette proportion.

Le tableau ci-dessous liste les prélèvements effectués par carottages.

Nom-échantillon	Profondeur atteinte (cm)	Côtes exploitables (cm)
Carotte 1	100	44-100
Carotte 1 bis	98	3-98
Carotte 2	46	0-46
Carotte 2 bis	46	0-46
Carotte 3	91	7-91
Carotte 4	93	4-93

Sur les 6 profils prélevés, seul le n° 1 a atteint la profondeur de 1 m, mais la partie superficielle (les 44 premiers cm) de la séquence, trop fibreuse n'a pu être prélevée.



Figure 21 - Localisation des 6 carottages effectués sur le site. Les zones en rose, prospectées et carottées n'ont pas permis d'obtenir des prélèvements satisfaisants

IV.2.2.2. Extraction du matériel sporo-pollinique

Les grains de pollen et de spores fossiles sont emprisonnés dans la gangue sédimentaire. Il est donc nécessaire d'éliminer au mieux tout élément non pollinique (minéraux, fibres, matières organiques amorphes) afin de ne conserver que les pollens et les spores contenus dans chaque échantillon.

Cette élimination a lieu en laboratoire selon un protocole décomposé en plusieurs étapes rigoureuses, notamment des attaques physico-chimiques répétées et des centrifugations successives. Cette méthode requiert beaucoup de temps pour obtenir de bons résultats. « Tout ce qui n'est pas pollinique » est détruit. Une fois l'extraction achevée, les résidus obtenus sont montés entre lames et lamelles pour l'observation au microscope.

IV.2.2.3. Observations en microscopie et déterminations taxonomiques

L'observation et la détermination des grains s'effectuent au microscope à objectif 500 mm en immersion d'huile. La reconnaissance des grains est facilitée par la consultation d'atlas photographiques et de lames microscopiques de référence (disponibles pour chaque espèce végétale d'Europe).

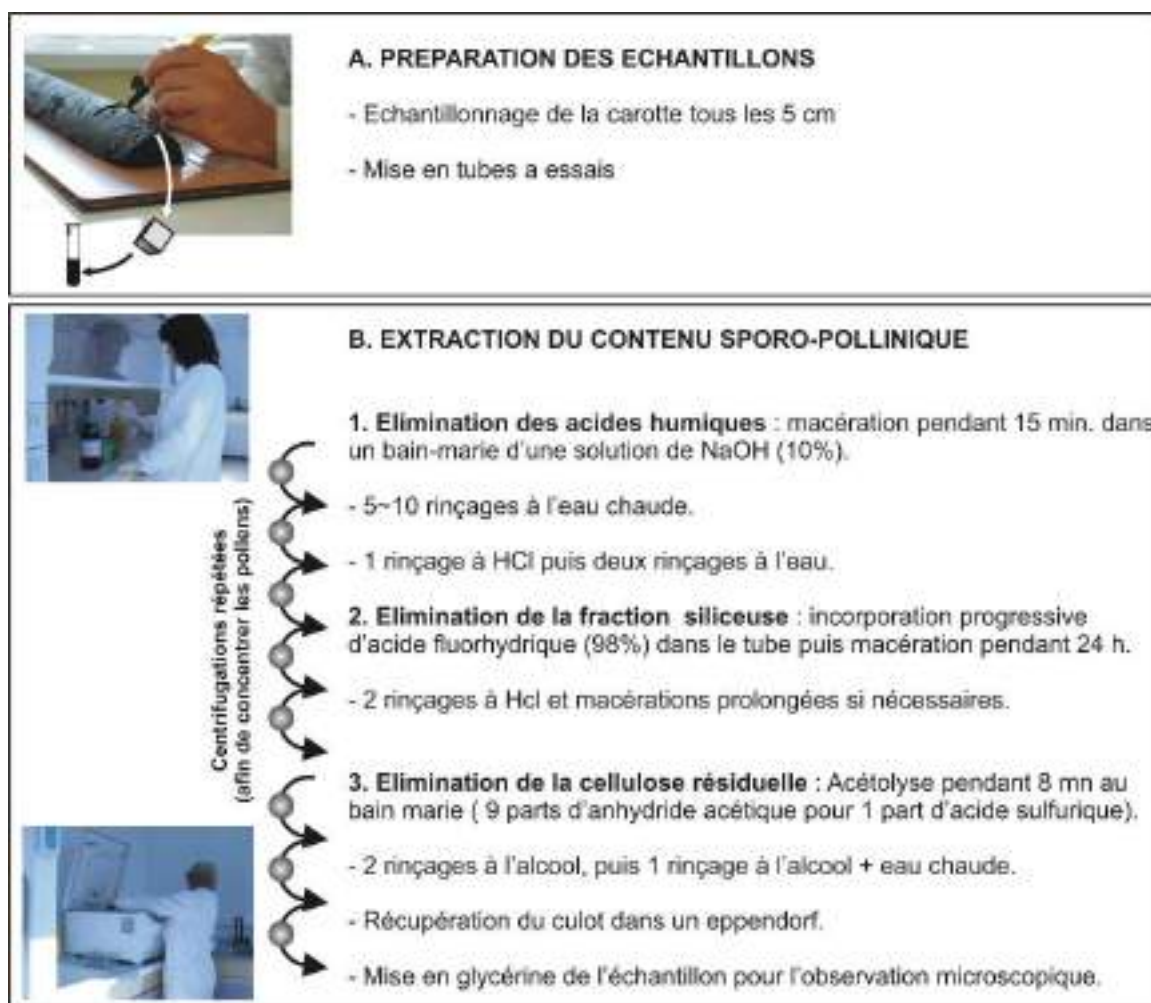


Figure 22 - schéma simplifié montrant le protocole d'extraction du matériel sporo-pollinique

IV.2.2.4. Exploitation des données - Établissement du diagramme pollinique

Après comptages et identifications des grains de pollen, les résultats sont convertis en pourcentages par rapport à la somme pollinique totale observée par échantillon. Ainsi, l'ensemble des pourcentages des différents taxons observés par niveau constitue un spectre pollinique.

Chaque spectre pollinique est ensuite représenté graphiquement dans l'ordre stratigraphique (selon la profondeur) au sein d'un diagramme pollinique. Il s'agit d'une représentation synthétique de l'évolution des pourcentages polliniques exprimés sous forme de courbes en fonction de la profondeur.

Cette classification permet de visualiser rapidement l'importance du couvert forestier par rapport au tapis herbacé (pelouses, prairies). Le rapport entre le total des pollens arbres et le total des pollens d'herbacées (PA/PNA : Pollen Arboréen/Pollen Non Arboréen) est également représenté dans le diagramme (voir plus loin). Ce ratio facilite également l'interprétation paléoécologique, permettant d'évaluer l'ouverture (diminution du couvert d'arbres) ou la fermeture (densification des forêts) des écosystèmes au cours du temps. Le travail d'interprétation du palynologue consiste à traduire ces fluctuations en termes de dynamique et changements des communautés végétales passées : en effet, on ne peut pas directement évaluer la nature ni même quantifier le couvert végétal avec les pourcentages polliniques.

Enfin, il est nécessaire d'obtenir des âges pour l'histoire de la végétation reconstruite : certains marqueurs polliniques typiques permettent de dater les niveaux (tels que le noyer ou le châtaignier, indicateurs de la colonisation romaine vers 2500 ans B.P.¹) mais il s'agit de datations relatives. On peut également proposer des âges par comparaison avec des enregistrements polliniques de référence et datés par 14C.

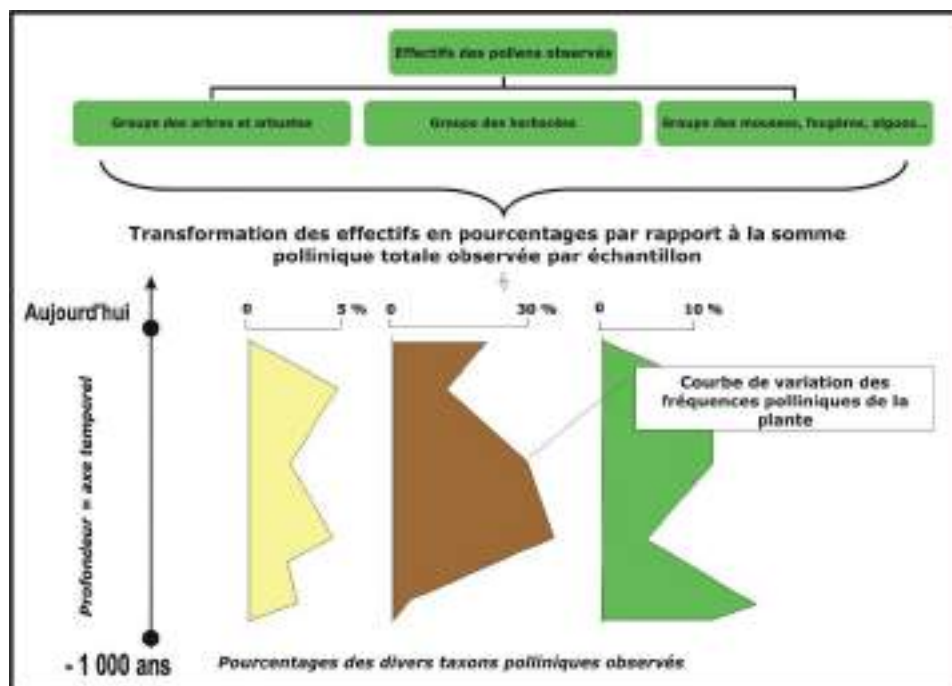


Figure 23 - principe de construction d'un diagramme pollinique

¹ B.P. : Before Present (avant 1950, normes établies pour les datations par radiocarbone)

Le recours aux datations par radiocarbone (^{14}C) est donc important pour caler la chronologie de la séquence. Les résultats des 2 datations ^{14}C sur le profil étudié sont présentées plus loin.

IV.3. OUTILS ET METHODES D'ANALYSE DE L'ETAT ACTUEL DES EAUX TORTES (PRESENT)

IV.3.1. PREAMBULE

Les Eaux Tortes sont une zone humide de tête de bassin versant et de montagne. Comme beaucoup de zone humide de tête de bassin versant, sa délimitation exacte n'était pas connu lors du lancement de l'étude.

Par ailleurs, ce type de zone humide se caractérise par des spécificités climatiques (neige une large part de l'année, fortes amplitudes climatiques) qui imposent des dynamiques végétaives lentes, par des topographies spécifiques (replat dans le cas des Eaux Tortes) et des sols pauvres.

De part sa typologie, ce type de zone humide reste sous l'influence des eaux pluviales pour son alimentation mais également, dans le cas des Eaux Tortes, de l'alimentation par les eaux du glacier rocheux.

Ainsi, l'analyse de la contribution des eaux pluviales et du glacier dans l'alimentation des Eaux Tortes a pour finalité :

- La délimitation fine de la zone humide
- La précision de l'alimentation de la zone humide ;
- La caractérisation des échanges système glaciaire et périglaciaire zones humides – cours d'eau.

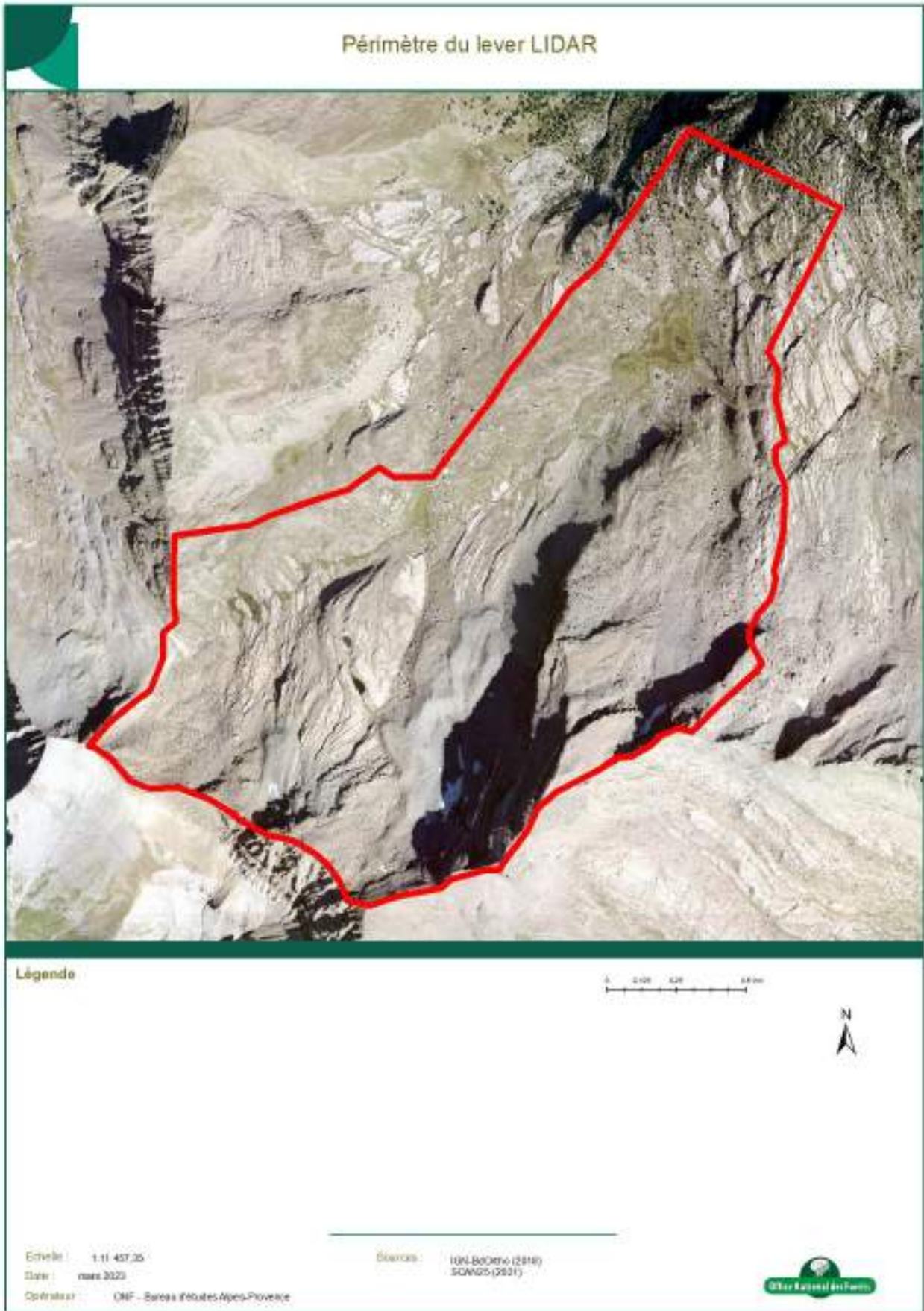
IV.3.2. ANALYSE DES MODELES NUMERIQUES DE TERRAINS

IV.3.2.1.a Principe d'analyse

L'analyse de ce type de données a pour objectif :

- La mise en évidence des zones de dépression présentant potentiellement un gradient hydrique plus élevé que le reste de la zone d'étude ;
- La réalisation de la cartographie du réseau hydrographique comprenant les écoulements surfaciques théoriques.

Une campagne de relevés LIDAR a été réalisée en 2016 sur une surface d'environ 1 150 m² (données avec une précision altimétrique de 10 cm, cf. carte page suivante).



IV.3.2.1.b Traitements des données

Dans un premier temps, les limites des zones de dépression ont été extraites à partir de ces données micro-topographiques LIDAR qui ont été normalisées par rapport à l'altitude du réseau hydrographique. Les limites externes et internes des zones de dépression ont alors pu être automatiquement identifiées.

Dans un second temps, il a été possible de définir et d'extraire le réseau hydrographique surfacique théoriques par l'utilisation d'outils de géo-traitement hydrologiques :



Figure 24 - Géo-traitement hydrologiques utilisés pour la définition des zones de dépression et le calcul des écoulements théoriques de surfaces

Ces traitements ont permis d'aboutir à la cartographie des écoulements surfaciques théoriques et de découper la zone par secteurs d'alimentation. Cette cartographie a par la suite aidé quant au choix de la localisation des sondes piézométriques.

IV.3.3. ANALYSE DE L'ALIMENTATION DE LA ZONE HUMIDE

IV.3.3.1. Mesures physico-chimiques de surface

L'objectif de cette analyse est de récupérer des informations supplémentaires quant à l'origine des eaux transitant à travers la zone humide.

Il est possible d'apprécier la qualité des eaux ainsi que leurs origines sur la base de mesures de paramètres physico-chimiques (IBGE, 2015). Ainsi, les chenaux et mares identifiés par l'analyse des données LIDAR ont été parcourus sur le terrain et ont fait l'objet de prises de mesures.

Les paramètres relevés permettent notamment de déterminer leur provenance (eaux pluviales, eau ayant transité dans la roche, etc.).

Les paramètres suivants ont été retenus pour l'étude :

- **La température (°C)** : la température est un paramètre essentiel pour la qualité de l'eau. Elle joue un rôle important quant à la solubilité des sels et gaz comme l'oxygène (plus la température augmente et plus le taux d'oxygène dissous diminue), à la vitesse des réactions chimiques et biogéochimiques ;
- **La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)** : il s'agit de la capacité de l'eau à conduire le courant électrique grâce à la concentration en sels minéraux présents.

NB : La température de l'eau influe de façon importante sur la valeur de la conductivité mesurée en augmentant la mobilité des ions en solution. Le coefficient d'influence de la température est de l'ordre de 2% / °C. La sonde de mesure est équipée d'une fonction compensation de température. Cette mesure a été étalonné suivant une température de 25 °C.

IV.3.3.2. Analyse pluviométrique

L'objectif de cette analyse est de procéder à un inventaire des données météorologiques disponibles dans ce secteur géographique afin de réaliser une étude climatologique du site des Eaux Tortes. Ce travail a été complété par l'installation d'un appareil de mesure de terrain est de récupérer les données pluviométriques directement sur site et d'étudier les réactions de la nappe souterraine des eaux tortes pour mieux comprendre son fonctionnement.

Le premier facteur d'influence susceptible d'alimenter la nappe et d'entraîner des variations de niveau d'eau est la pluviométrie locale.

Pour ce faire, une étude climatologique préliminaire a été réalisée par l'Université de Grenoble et l'Institut des Géosciences de l'Environnement en 2018.

L'analyse climatologique s'est vue complétée par la mise en place sur le site d'un dispositif de mesure (pluviomètre à augets basculants).

Le choix de l'appareil de mesure s'est posé sur le modèle Peet-Bros disponible sur le site de Météo-shopping. Il s'agit d'un pluviomètre avec système à double auget. Il est équipé d'un cône de 20 cm de diamètre et d'un système d'augets basculants, à chaque basculement des augets le pluviomètre comptabilise 0,25 mm de pluie et envoie une impulsion en signal de sortie.

Le pluviomètre s'est vu complété par un support de fixation, d'un abri anti-radiations, d'un enregistreur de température et d'évènements Hobo.

Le logiciel d'exploitation permettant la récupération des données et leur traitement est le logiciel Hoboware.

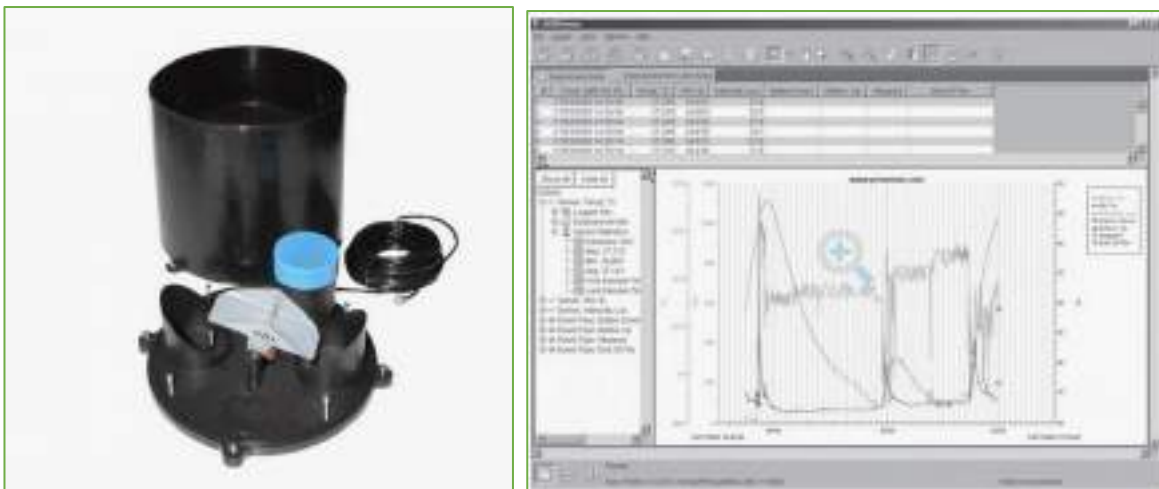


Figure 25 - Pluviomètre - logiciel Hoboware



Figure 26 - Installation du pluviomètre sur site (LM 2017)

Hoboware (disponible en versions Windows ou Mac) est un logiciel de gestion d'enregistreurs, de visualisation graphique et d'analyse de données.

Ce logiciel supporte tous les enregistreurs Hobo de série U, Hobo Station Météo, Hobo Micro Station et Hobo FlexSmart, et incorpore de nouvelles fonctions telles que la conversion des unités de données à l'unité du capteur, et la possibilité de sauvegarder les graphiques modifiés pour qu'ils puissent être rappelés et réemployés. En complément, HOBOWare dispose d'une fonction assistant post-traitement évolutive qui permet de calculer de nouvelles séries de données : degré-jour de croissance, concentration H₂O (g/Kg), compensation et barométrique.

IV.3.3.4. Analyse piézométrique

Cette analyse a pour objectif une meilleure compréhension du fonctionnement actuel des eaux tortes en étudiant les réactions de la nappe suivant la saisonnalité et les données climatiques disponibles.

L'étude de la dynamique et de l'alimentation d'une zone humide constitue un des indicateurs fondamentaux pour appréhender le fonctionnement hydrologique de celle-ci. (MNHN, 2016).

Les variations de niveau de la nappe peuvent être mesurées par l'étude de son niveau piézométrique : le niveau piézométrique correspond à la pression exercée par la nappe (eau libre présente dans le sol) en un point donné.

Afin de mesurer la hauteur de la nappe et de traduire sa dynamique, des piézomètres ont été installés sur les secteurs les plus pertinents identifiés lors de la réalisation de la cartographie des écoulements et selon les prescriptions RhoMeo de l'AERMC.

IV.3.3.4.a Mise en place des sondes

Les piézomètres installés sont composés de tube PVC crépiné de 51 cm de diamètre dans lesquelles une sonde piézométrique est insérée. Le crépinage des tubes a pour objectif de limiter l'infiltration des matières en suspension risquant de fausser la prise de mesures.

L'installation des tubes piézomètres s'est faite par forage (opération similaire aux forages pédologiques) à l'aide d'une tarière manuelle EDELMAN de 7 cm de diamètre.

La profondeur des tubes s'est faite selon les traces d'hydromorphie permanente du sol et varie donc d'un piézomètre à l'autre.

Les tubes piézométriques ont été installés de manière à dépasser légèrement du sol afin de faciliter leur repérage par la suite.

La zone d'étude n'étant pas clôturée, des cadenas sur les bouchons de fermeture des tubes.

Dans chaque tube, se trouve une sonde piézométrique de type Rugged Troll. Ces sondes ont été paramétrées de manière à mesurer la variation du niveau de la nappe par rapport à la sonde. La prise de mesure se fait sur un pas de temps horaire.

⇔ **Le principe général consiste à mesurer la pression absolue en profondeur, correspondant à la somme de la pression atmosphérique et de la pression due à la colonne d'eau, pour la convertir en hauteur. Pour cela, il est donc nécessaire de compenser la pression absolue par la pression atmosphérique enregistrée en surface et ainsi isoler la pression uniquement liée au poids de la colonne d'eau. De ce fait, un baromètre a également été installé sur la zone d'étude.**

IV.3.3.4.b Choix des sondes

Le choix s'est porté sur les sondes RUGGED TROLL 100 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Le corps de sonde est en titane, lui conférant une longévité importante et une absence de contaminant chimique par oxydation. Le capteur de pression (valeur absolue) est en céramique, offrant une très faible dérive dans la précision de la mesure. La batterie est au lithium, pour une durée de vie de 10 ans. La mémoire est de grande capacité (120 000 valeurs par paramètre) et permet d'espacer les campagnes de collecte des instruments.

Dans le cas d'un intervalle de mesure horaire, la capacité de la mémoire correspond à 5000 jours.

Ces sondes sont de petites tailles et s'installent parfaitement dans un tube en PVC. Les sondes RUGGED TROLL 100 sont des sondes non ventilées et mesurent la pression absolue sans correction instantanée avec la pression atmosphérique

En termes de précision, ces sondes sont annoncées avec une valeur de $\pm 0,1$ % de la pleine échelle (max. 9 m).

Pour ce qui est de la résolution, on atteint des valeurs de $\pm 0,01$ % de la pleine échelle.

La correction sur la pression atmosphérique est réalisée par le biais de la sonde Rugged Baro Troll lors du déchargement des données. Cette sonde a été installée dans un puits sec sur le bassin du PINATA (altitude comprise entre 1600-1900 m).



Figure 27 - Sondes Rugged Troll 100

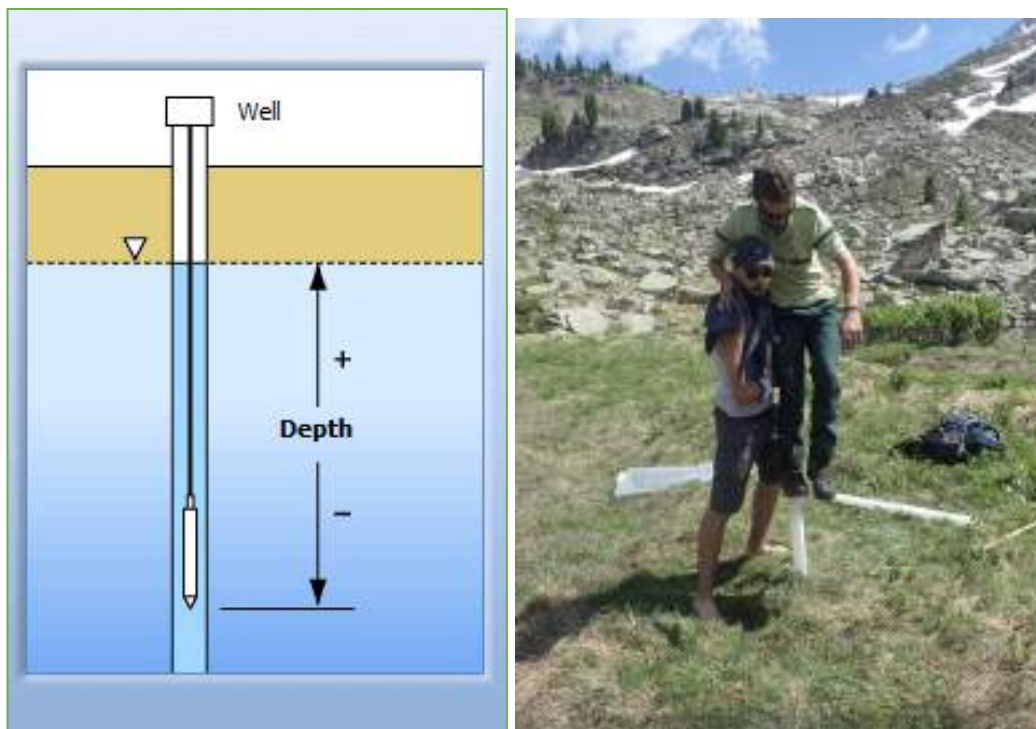


Figure 28 - Schéma du fonctionnement d'une sonde piézométriques – installation des tubes piézométriques sur site

IV.3.3.5. Campagne de terrain

En complément des suivis piézométriques et des analyses LIDAR, plusieurs prospections terrain ont été réalisées. Les différents secteurs hydrographiques ont ainsi été parcourus dans leur ensemble.

Date	Objectifs	Observateurs
Novembre 2016	Recensement du réseau hydrographique de surface Prise de mesures (conductivité, température, pH, etc.)	Laurence MARQUAND Simon IPOUTCHA
Juin 2017	Pose 1 des piézomètres, appareils photo, pluviomètre Inventaires phytosociologiques	Laurence MARQUAND Michel PEYRON Lucien TRON Thierry REA Flavien ALFERO Laurence FOUCAULT Mélissa VEGARA
Septembre 2017	Modification/ajustement des appareils de mesures	Laurence MARQUAND Michel PEYRON
Juin 2018	Relevés des appareils de mesures	Laurence MARQUAND Michel PEYRON
Septembre 2019	Relevés des appareils de mesures	Laurence MARQUAND Michel PEYRON
Septembre 2020	Relevés des appareils de mesures Prise des mesures de tomographie	Laurence MARQUAND Michel PEYRON
Mai 2022	Relevés des appareils de mesures et retraits des appareils de mesures	Laurence MARQUAND Marion MOING

IV.3.4. ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE

L'étude des habitats et de la flore a pour double objectif :

- De réaliser un état des lieux de la végétation s'appuyant sur la réalisation de relevés floristiques et sur une cartographie des habitats ;
- Dans la mesure du possible, d'identifier les sensibilités aux changements de régime hydrologique.

Un inventaire phytosociologique a été réalisé le 27 juillet 2017 par l'Observatoire de l'Environnement et des Politiques de Protection. Cet inventaire s'est réalisé sur le transect piézométrique longitudinal (rive droite) afin de mettre en relation les données issues des différentes analyses.



Figure 29 - prospection phytosociologique (LM 2017)

IV.5. OUTILS ET METHODES D'ANALYSES DES FONCTIONNALITES ET DU DEVENIR DES EAUX TORTES

Caractériser les fonctionnalités d'une zone humide renseigne sur l'état actuel d'u site mais permet également d'identifier quelles menaces ou pression pourrait dans le futur venir remettre en question les fonctionnalités assurées par la zone humide. A ce titre, il a été décidé de présenter ce travail dans le présent paragraphe.

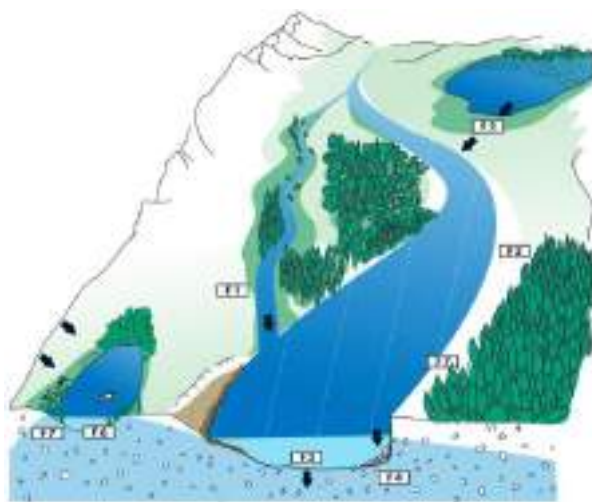
IV.5.1. ÉVALUATION DES FONCTIONNALITES

IV.5.1.1. Grand principe de fonctionnement

Les zones humides remplissent des grandes fonctions selon un degré variable. Le schéma ci-dessous présente les principales fonctions remplies par grands types de zones humides (Tableau 2). Les Eaux Tortes peuvent être raccrochées aux zones humides d'altitude (ZH7) qui exercent plusieurs fonctions fortes.

Tableau 2 - Fonctions remplies par les différents types de zones humides (d'après le guide technique interagences des zones humides et de la ressource en eau - fonctions des zones humide)

ZH1	Vasières et prés salés
ZH2	Lagunes et marais saumâtres
ZH3	lits mineurs
ZH4	Forêts alluviales et ripisylves
ZH5	Marais fluviaux, prairies humides
ZH6	Annexes fluviales
ZH7	Zones humides d' altitude
ZH8	Zones humides de plaine et marais
ZH9	Étangs, mares, bordures de lac
ZH10	Plan d' eau artificiel



F1	Expansion des crues
F2	Régulation des débits d'étiages
F3	Recharge des nappes
F4	Recharge du débit solide des cours d'eau
F5	Régulation des nutriments
F6	Rétention des toxiques et micropolluants
F7	Interception des matières en suspension
F8	Patrimoine naturel

	Fonctions fortes
	Fonctions moyennes - Faibles
	Aucune fonction

Afin de mieux appréhender les fonctionnalités de la zone humide des Eaux Tortes, la méthode MNHN a été mise en œuvre à l'échelle du site.

IV.5.1.2. Principe de la méthode MNHN - Évaluation des fonctionnalités des zones humides

Cette étude s'est basée sur la définition des fonctions des zones humides du guide de la méthode nationale d'évaluation des zones humides (Gayet & al ; 2016). Une mise à jour de la méthode est actuellement en projet mais encore non disponible à ce jour.

⇔ Sont définies par la méthode MNHN comme fonctions toutes « actions ayant lieu naturellement dans les zones humides, résultantes d'interactions entre la structure de l'écosystème et les processus physiques, chimiques et biologiques » (Smith & al ; 1995).

Trois grandes fonctions sont prises en compte dans cette étude :

- Fonctions hydrologiques
- Fonctions biogéochimiques ;
- Fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces.

Chacune de ces fonctions peut être découpée en sous-fonction. Le tableau ci-dessous présente les différentes fonctionnalités prises en compte dans cette étude :

Tableau 3 - Tableau des fonctions et sous fonctions prises en compte dans l'étude (d'après la méthode d'évaluation des zones humides du MNHN ; 2016)

Fonctions hydrologiques				
Recharge des nappes	Ralentissement des écoulements/ ruissèlements	Rétention des sédiments	Soutien à l'étiage	Contrôle des risques de crues et d'inondation
Infiltration des eaux de surface dans le sol (flux liquides souterrains)	Ralentissement des écoulements d'eau en surface (flux liquides)	Captage des sédiments qui transitent avec le ruissèlement et la rétention des particules solides présentes dans la ZH (flux solides érosifs ou particuliers)	Capacité d'une ZH à restituer les eaux souterraines retenues dans le sous-sol vers le lit mineur du cours d'eau en période de basses-eaux	Rôle tampon des zones humides
Fonctions biogéochimiques				
Dénitrification des nitrates	Assimilation végétale de l'azote	Adsorption, précipitation du phosphore	Assimilation végétale des ortho phosphates	Séquestration du carbone
Transformation des nitrates (NO ₃ -) en azote gazeux dans l'atmosphère (N ₂ O, NO, N ₂) par dénitrification	Capacité de la végétation à assimiler l'azote et à le retenir temporairement.	Processus de rétention du phosphore par le biais de mécanismes d'adsorption et de précipitation dans le sol	Capacité de la végétation à assimiler les orthophosphates et à les retenir temporairement.	Séquestration du carbone dans les végétaux et dans les sols.
Fonctions Écologique (Accomplissement du cycle biologique des espèces)				
Support des habitats		Connexion des habitats		
Composition et structure des habitats pour décrire leur capacité à accueillir des espèces autochtones afin qu'elles y accomplissent tout ou partie de leur cycle biologique		Connectivité (inverse de l'isolement) des habitats pour décrire les possibilités de déplacement des espèces autochtones.		

IV.5.1.3. Fonctionnalités prises en compte

IV.5.1.3.a Fonction hydrologique

La fonction hydrologique est découpée en quatre sous-fonctions à savoir :

- La recharge de la nappe ;
- Le ralentissement des écoulements et ruissèlements ;
- La rétention des sédiments ;
- Le contrôle des risques et des inondations.

1.1.1.1.a.i Recharge des nappes et soutien à l'étiage

La fonction de recharge des eaux de la nappe est présente lorsque des écoulements traversent la zone humide de la surface vers le substrat minéral présent en profondeur. Les flux souterrains permettent alors la décharge et la recharge des eaux souterraines suivant le sens d'écoulement.

Pour les zones de plaines alluviales, la recharge de la nappe par le cours d'eau se fait principalement en période de crue. Le phénomène de recharge de la nappe est généralement plus marqué par l'infiltration des eaux pluviales que par le cours d'eau directement (Y. BRESSON, 2006).

Pour évaluer cette sous-fonction, la capacité de l'eau de surface à s'infiltrer dans le sol de la zone humide est prise en compte.

La fonction de décharge de la nappe (ou soutien d'étiage) n'a pas été évaluée du fait de la complexité à évaluer des indicateurs pertinents.

1.1.1.1.a.ii Ralentissement des écoulements

D'après la méthode MNHN, les ruissellements sont évalués par la capacité de la zone humide à réduire la vitesse de transit. Plusieurs facteurs peuvent ainsi impacter la vitesse des écoulements, à savoir :

- Le mode d'occupation du sol en amont de la zone humide ;
- La complexité topographique du site ;
- Les systèmes de drainages existants ;
- Le ravinement ;
- Les caractéristiques de l'exutoire de la zone d'étude ;
- La connexion de la zone humide avec le glacier et le cours d'eau.

Pour évaluer le ralentissement des ruissellements dans la zone humide, les caractéristiques des systèmes de drainage en surface ont été prises en compte. En complément, la rugosité du couvert végétal, l'incision du lit mineur, la sinuosité du cours d'eau et la proximité de la zone humide au lit mineur sont également prises en compte.

1.1.1.1.a.iv Rétentions des sédiments

L'évaluation de la sous-fonction de rétention des sédiments passe par la détermination de la capacité de la zone humide étudiée à capter les sédiments qui y transitent au travers des écoulements de surfaces et de sa capacité à retenir les sédiments déjà présents.

1.1.1.1.a.v Contrôle des risques de crues et d'inondations

De par son type (zone humide en tête de bassin de versant), les Eaux Tortes ne sont pas concernées par cette sous-fonction. Elle n'a donc pas été prise en compte.

IV.5.1.3.b Fonction écologique

1.1.1.1.a.vi Support des habitats

Les paramètres sélectionnés pour évaluer la sous-fonction de support des habitats à l'intérieur de la zone humide sont :

- Les espèces présentes ;
- La richesse des habitats,
- L'équitabilité relative des habitats,
- La fragmentation des habitats (densité de lisières),
- L'artificialisation des habitats et la part relative de la zone humide occupée par des espèces végétales associées à des invasions biologiques en période de croissance végétative.

NB : La fragmentation des habitats a plusieurs effets sur la biodiversité et peut impacter favorablement ou défavorablement les fonctions biologiques des zones humides. Une fragmentation des milieux permet d'apporter une certaine hétérogénéité des habitats (mosaïque de milieux, etc.). Toutefois, si cette dernière est trop forte, un risque important existe de déconnexions des habitats entre eux et d'isolement des populations. La biodiversité intraspécifique peut alors être impactée.

1.1.1.1.a.vii Connexion des corridors écologiques

Les paramètres pris en compte dans le paysage de la zone humide pour évaluer la sous-fonction de connexion des habitats sont essentiellement les corridors. Ainsi, les indicateurs suivants ont été retenus :

- Corridors boisés ;
- Corridors aquatiques permanents et temporaires ;
- Rareté des infrastructures de transports

IV.5.1.3.c Fonction biochimique

1.1.1.1.a.viii Dénitrification des nitrates

L'azote nitrique peut être réduit sous l'action de bactéries dénitrifiantes qui restituent l'azote sous forme gazeuse. Ce dernier aboutit à l'élimination définitive de l'azote du milieu par dénitrification.

La dénitrification des nitrates est évaluée au travers d'une description des apports azotés qui peuvent avoir lieu et en décrivant le mode d'occupation du sol en amont et le mode d'occupation du sol dans la zone tampon de la zone humide.

Les paramètres pris en compte pour évaluer cette sous-fonction sont :

- Le couvert végétal ;
- La rugosité du couvert végétal ;
- La texture du sol ;
- L'hydromorphie, la matière organique dans le sol ;
- Les caractéristiques des systèmes de drainage et le ravinement.

1.1.1.1.a.ix Assimilation de l'azote

L'assimilation végétale de l'azote est évaluée au travers d'une description des apports azotés qui peuvent avoir lieu en décrivant le mode d'occupation du sol en amont et le mode d'occupation du sol dans la zone tampon de la zone humide ainsi que la prise en compte des itinéraires techniques des parcelles agricoles.

Les paramètres pris en compte pour évaluer cette sous-fonction sont :

- Le couvert végétal et ses modalités de gestion ;
- La matière organique dans le sol ;
- Les caractéristiques des systèmes de drainage (en surface et souterrains) ;
- Le ravinement vu son effet direct sur la vitesse des écoulements qui influence indirectement l'assimilation végétale de l'azote ;
- La rugosité du couvert végétal.

1.1.1.1.a.x Adsorption, précipitation du phosphore Assimilation végétales des ortho phosphates

L'assimilation végétale des orthophosphates est complexe à évaluer. Cette sous-fonction est évaluée au travers d'une description des apports phosphorés qui peuvent avoir lieu en décrivant le mode d'occupation du sol en amont et le mode d'occupation du sol dans la zone tampon de la zone humide.

Les paramètres pris en compte pour évaluer cette sous-fonction sont :

- Le couvert végétal et ses modalités de gestion,
- Les caractéristiques des systèmes de drainage et le ravinement.
- La rugosité du couvert végétal.

Le pH du sol n'est pas pris en compte car non mesuré.

1.1.1.1.a.xi Séquestration du carbone

Les paramètres pris en compte pour évaluer la séquestration du carbone dans la zone humide sont :

- L'hydromorphie ;
- L'épaisseur des types d'horizons histiques dans le sol ;
- Le couvert végétal.

Les conditions thermiques ne sont pas prises en compte dans l'évaluation.

IV.5.1.4. Indicateurs retenus

Le tableau ci-après présente l'ensemble des indicateurs proposés par la méthode du MNHN et calculés pour la zone humide des Eaux Tortes.

Chaque indicateur présente une échelle de notation permettant de définir son état. Ces échelles vont de 0 à 1 : 1 correspondant à un indicateur très favorable aux sous-fonctions qu'il renseigne.

Les calculs de ces indicateurs se sont basés sur le tableur disponible via la méthode du MNHN². Certains indicateurs n'ont pas pu être calculés.

Tableau 4 - Exemple de tableau de notation de l'indicateur couvert végétal 1

Couvert végétal 1				
[0.1 - 0.2]] 0.2 - 0.4]] 0.4 - 0.6]] 0.6 - 0.8]] 0.8 - 1]
Très peu favorable à l'assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates				Très favorable à l'assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates

Couvert principalement clairsemé ou muscinal

Couvert principalement herbacé avec export de biomasse et/ou arbustif et/ou arboré

² Tableau disponible ici : <http://www.zones-humides.org/guide-de-la-m%C3%A9thode-nationale-d%C3%A9valuation-des-fonctions-des-zones-humides>

Tableau 5 - Tableau des indicateurs calculés de la méthode du MNHN - suivi des fonctionnalités des zones humides

Zone d'application	Hydrologique					Biochimique					Ecologique		Indicateur	Description de l'indicateur	Remarques - Limites	Échelle de notation				
	Recharge des nappes	Ralentissement des écoulements	Rétention des sédiments	Soutien à l'étiage	Contrôle des risques de crues et d'inondation	Dénitrification des nitrates	Assimilation végétale de l'azote	Adsorption, précipitation du phosphore	Assimilation végétale des ortho phosphates	Séquestration du carbone	Support des habitats	Connexion des habitats								
Zone contributive			x			x	x	x	x				Surfaces cultivées	Indicateurs relatifs aux activités anthropiques à l'origine d'apports de sédiments et de nutriments	Indicateurs peu pertinents pour les zones humides en tête de bassin de versant	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
						x	x	x	x			Surfaces enherbées	0-0.2			0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
			x			x	x	x	x			Surfaces construites	0-0.2			0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
			x			x	x	x	x			Grandes infrastructures de transports 1	0-0.2			0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
Paysage											x	Richesse des grands habitats	Habitats EUNIS de niveau 1		0.125-0.375	0.375-0.5	0.5-0.625	0.625-0.75	0.75-1	
										x		Equipartition des grands habitats	Distribution relative des habitats dans le paysage		0-0.3	0.3-0.43	0.43-0.57	0.57-0.7	0.7-1	
											x	Corridors boisés	Eléments de connectivité, habitats potentiels, zones d'interactions biotiques et abiotiques		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
											x	Corridors aquatiques permanents et temporaires		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1		
												x	Grandes infrastructures de transports 2	Densité de grandes infrastructures de transport dans le paysage.	Indicateurs peu pertinents pour les zones humides en tête de bassin de versant	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
Zone tampon				x		x	x	x	x			Dévégétalisation de la zone tampon	Part relative de la zone tampon du site sans un couvert végétal permanent		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
Système hydrologique		x	x									Sinuosité du cours d'eau	Sinuosité du cours d'eau associé à la zone humide	Indicateurs calculés par rapport aux chenaux et non au cours d'eau de la blanche à l'aval de la zone humide	0-0.525	0.525-0.6	0.6-0.65	0.65-0.7	0.7-1	
		x	x									Proximité du lit mineur	Distance entre le lit mineur du cours d'eau et le centre de la zone humide		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
	x	x	x									Incision du lit	Hauteur maximale du niveau à pleins bords du cours d'eau		0.1-0.28	0.28-0.46	0.46-0.64	0.64-0.82	0.82-1	
Zone humide			x			x	x	x	x			Végétalisation du site	Part relative du site occupée par un couvert végétal permanent.		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
							x					Couvert végétal 1	Part relative de chaque type couvert végétal dans le site modulée selon la capacité vraisemblable à assimiler et stocker l'azote et les orthophosphates		0.1-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	
										x		Couvert végétal 2	Part relative de chaque type couvert végétal dans le site modulée selon la capacité vraisemblable à séquestrer le carbone.		0.1-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	

Zone d'application	Hydrologique					Biochimique					Ecologique		Indicateur	Description de l'indicateur	Remarques - Limites	Échelle de notation				
	Recharge des nappes	Ralentissement des écoulements	Rétention des sédiments	Soutien à l'étiage	Contrôle des risques de crues et d'inondation	Dénitrification des nitrates	Assimilation végétale de l'azote	Adsorption, précipitation du phosphore	Assimilation végétale des ortho phosphates	Séquestration du carbone	Support des habitats	Connexion des habitats								
		x	x			x	x						Rugosité du couvert végétal	Part relative de chaque type couvert végétal dans le site modulée selon la rugosité opposée aux écoulements en surface		0.23-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.8	0.8-1
	x	x	x			x	x	x	x				Rareté des rigoles/fossés/fossés profonds	Densité de rigoles/fossés/fossés profonds dans la zone humide et dans sa zone tampon.		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
			x			x	x	x	x				Végétalisation des fossés et fossés profonds	Proportion du linéaire de fossés et de fossés profonds confondus dans le site et dans sa zone tampon avec un couvert végétal permanent à la fois sur les berges et sur le fond	Indicateurs peu pertinents pour les zones humides en tête de bassin de versant	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
	x					x	x	x	x				Rareté des drains souterrains	Proportion du site et de sa zone tampon avec un système de drainage souterrain		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
			x			x	x	x	x				Rareté du ravinement	Part relative du site sans ravines dévégétalisées		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
			x			x	x	x	x				Végétalisation des berges	Proportion de berges de cours d'eau dans le site sans couvert végétal permanent	Indicateur calculé par rapport aux chenaux	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
									x				Acidité du sol 1	Proximité de la valeur moyenne de pH dans le sol du site à des conditions optimales de pH pour l'assimilation végétale des orthophosphates	Non calculé	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
							x						Acidité du sol 2	Proximité de la valeur moyenne de pH dans le sol du site à des conditions optimales de pH pour l'adsorption et la précipitation du phosphore.	Non calculé	0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
			x			x	x			x			Matière organique incorporée en surface	Épaisseur moyenne de l'épisolum humifère dans le site		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
						x	x			x			Matière organique enfouie	Épaisseur moyenne de l'horizon Ab dans le site		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
										x			Tourbe enfouie	Épaisseur moyenne des horizons histiques en surface modulée selon leur degré d'humification		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
										x			Tourbe en surface	Épaisseur moyenne des horizons histiques enfouis modulée selon leur degré d'humification		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
			x										Texture en surface 1	Épaisseur des classes de texture du sol dans les 30 premiers cm en surface de chaque sondage pédologique modulée selon la sensibilité à l'érosion		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
						x							Texture en surface 2	Épaisseur des classes de texture du sol dans les 30 premiers cm en surface de chaque sondage		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1

Zone d'application	Hydrologique					Biochimique					Ecologique		Indicateur	Description de l'indicateur	Remarques - Limites	Échelle de notation					
	Recharge des nappes	Ralentissement des écoulements	Rétention des sédiments	Soutien à l'étiage	Contrôle des risques de crues et d'inondation	Dénitrification des nitrates	Assimilation végétale de l'azote	Adsorption, précipitation du phosphore	Assimilation végétale des ortho phosphates	Séquestration du carbone	Support des habitats	Connexion des habitats									
														pédologique modulée selon les effets sur la dénitrification des nitrates							
						x								Texture en profondeur			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
										x				Hydromorphie			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
											x			Richesse des grands habitats			0.2	0.4	0.6	0.8	1
											x			Equipartition des grands d'habitats			0.17	0.33	0.49	0.67	0.83-1
											x			Richesse des habitats			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
											x			Equipartition des habitats			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
												x		Proximité des habitats			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
												x		Similarité avec le paysage			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
												x		Rareté des lisières			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
												x		Rareté de l'artificialisation de l'habitat			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1
												x		Rareté des invasions biologiques végétales			0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1

IV.5.2. ÉVOLUTION ET DEVENIR DE LA NAPPE

L'analyse de la tendance d'évolution de la nappe au cours des 5 années précédentes est extrapolée pour prévoir l'évolution future de la nappe (Boîte à outils RHOMEO). En pratique, il s'agit de construire la droite de régression linéaire des niveaux médians de la nappe de l'année n-5 à l'année n. La pente de la droite indique la tendance et l'importance de l'évolution.

En complément de cette tendance, une « boîte à moustache » représentant la distribution des valeurs de la nappe, pour chaque année hydrologique considérée, apporte des éléments de compréhension de l'évolution du fonctionnement.

L'ensemble des données horaires enregistrées pour l'année hydrologique est utilisé pour le calcul des valeurs statistiques descriptives de la distribution des niveaux de la nappe : médiane, 1er et 3ème quartile, minimum et maximum. Ces valeurs sont utilisées pour construire une boîte à moustache qui constitue la représentation graphique de l'indicateur.

Les calculs sont effectués sur les valeurs du 1^{er} septembre de l'année n-1 au 31 août de l'année n, période qui correspond à l'année hydrologique pour le bassin Rhône-Méditerranée.

IV.6. LIMITES METHODOLOGIQUES

Des difficultés inhérentes au site.

Le site des Eaux Tortes reste très difficile d'accès ce qui a posé de nombreuses difficultés d'instrumentation. S'ajoutent des conditions climatiques difficiles qui ont engendrées des erreurs sur des mesures (hauteurs de neige ensevelissant les appareils), la casse du pluviomètre, et des batteries se déchargeant très rapidement.

Ceci étant, malgré l'isolement, il est à déplorer des dégradations (vol de sonde, piézomètre enlevé, ...).

Le suivi pluviométrique n'a donc pas pu être réalisé et le suivi nivologique non plus. Plus largement, réaliser un bilan hydrique précis comme cela était initialement escompté s'est avéré illusoire.

Les limites de la méthode MNHN d'évaluation des fonctionnalités des zones humides

La méthode du MNHN utilisée a été élaborée initialement pour évaluer la perte des fonctions et définir les mesures de compensation nécessaires dans le cadre de projet portant atteintes aux zones humides. Cette méthode n'évalue pas les fonctions effectives mais les fonctions probablement réalisées.

Elle ne remplace pas une évaluation approfondie avec une instrumentation poussée qui peut alors saisir la variabilité du fonctionnement des écosystèmes et notamment le fait que la réalisation d'une fonction peut se faire en interdépendance avec d'autres fonctions (ex : analyse chimique des eaux pour évaluer les quantités d'azote, etc.).

Cette méthode permet toutefois de donner un ordre de grandeur de l'importance des différents indicateurs sélectionnés. Ces indicateurs ont dû toutefois être complétés avec les observations et les connaissances du terrain.

Par ailleurs, la méthode MNHN montre des limites pour des zones humides de tête de bassin versant comme les Eaux Tortes. Un exemple sont les indicateurs liés aux activités humaines qui sont inapplicables sur le site.

Les indicateurs non pertinents par rapport aux types de zones humides présents sur site non pas été retenus et calculés.

V. RESULTAT - ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DES EAUX TORTES

V.1. ANALYSE DE LA GENESE DES EAUX TORTES (PASSE)

Pour rappel, l'hypothèse de départ admise est l'existence d'un ancien lac glaciaire se comblant progressivement pour laisser la place à la zone humide des Eaux Tortes d'aujourd'hui.

V.1.1. DONNEES TOMOGRAPHIQUES

Cf. Annexe 1 hors pagination.

V.1.1.1. Rappel méthodologique

Synthétiquement, la résistivité permet de caractériser la capacité d'un sol à accueillir une nappe. En effet des valeurs faibles caractérisent des terrains tourbeux.

V.1.1.2. Résistivité inversée à 0.3 m de profondeur

Cette carte montre des mesures assez contrastées, avec :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des valeurs de résistivité élevées (207 à 540 ohm.m), correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers.
- A l'intérieur de grand ensemble résistif au nord de la zone, une aire, au Nord, montre des valeurs plus faibles (52 à 180 ohm.m), pouvant correspondre à une petite zone plus riche en tourbe/vase humide.
- La moitié centrale de la zone investiguée, avec des valeurs de résistivité plus faibles (90 à 200 ohm.m), peut correspondre aux zones les plus humides et donc les plus riches en tourbe/vase. Une zone située à l'Est de cette aire, montre des valeurs de résistivité plus élevées (200 à 260 ohm.m), pouvant correspondre à une zone plus riche en blocs/éboulis et rochers.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité plus élevées (230 à 325 ohm.m), pouvant correspondre à nouveau à des terrains plus riches en dépôts d'éboulis, graviers, blocs et rochers.
- Une petite aire située à l'extrême Sud de la zone investiguée, montre des valeurs de résistivité plus faibles (130 à 160 ohm.m), pouvant à nouveau correspondre à des zones humides, plus riches en tourbe/vase.

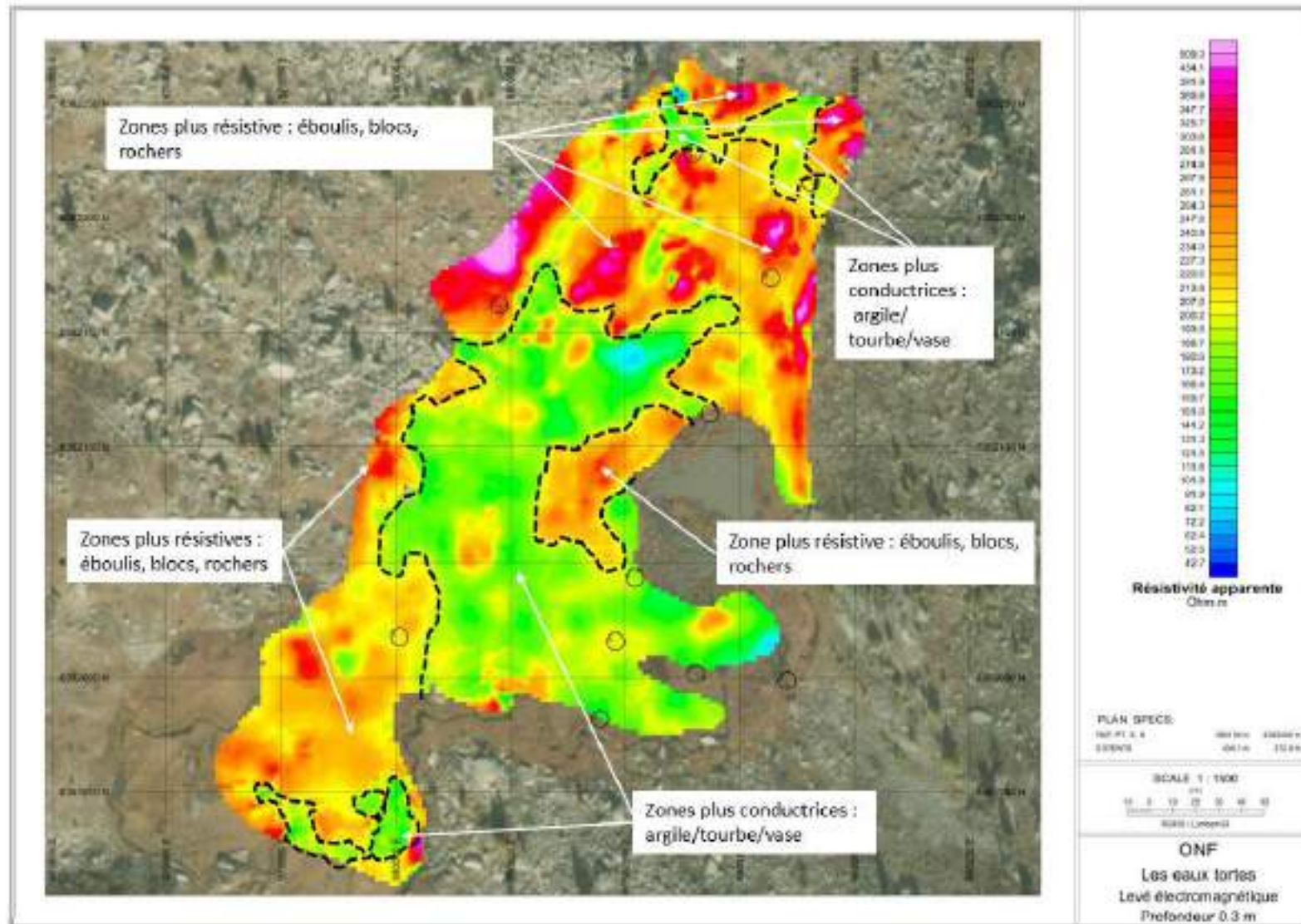


Figure 30 - Carte de résistivité calculée à 0,3 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.3. Résistivité inversée à 0.5 m de profondeur

Globalement la carte réalisée à cette profondeur diffère peu de la précédente. Néanmoins, dans certaines zones les mesures peuvent varier légèrement, avec :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des valeurs de résistivité qui restent élevées (207 à 540 ohm.m), correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. La petite zone, située au Nord, montrant des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 150 ohm.m) a vu sa surface se réduire et se diviser en deux. Cette géométrie pourrait indiquer la présence de blocs au sein de dépôts tourbeux/vaseux.
- La moitié centrale de la zone investiguée, garde des valeurs de résistivité plus faibles (90 à 200 ohm.m), peut correspondre aux zones les plus humides et donc les plus riches en tourbe/vase. La zone résistive située à l'Est montre la même gamme de valeurs (200 à 280 ohm.m) que dans la tranche précédente.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui diminuent par rapport à la tranche précédente, mais qui restent élevées (200 à 280 ohm.m), pouvant correspondre à nouveau à des terrains plus riches en dépôts d'éboulis, graviers, blocs et rochers.
- Une petite aire située à l'extrême Sud de la zone investiguée, plus réduite que dans la tranche précédente, montre des valeurs de résistivité plus faibles (120 à 160 ohm.m), pouvant à nouveau correspondre à des zones humides, plus riches en tourbe/vase.

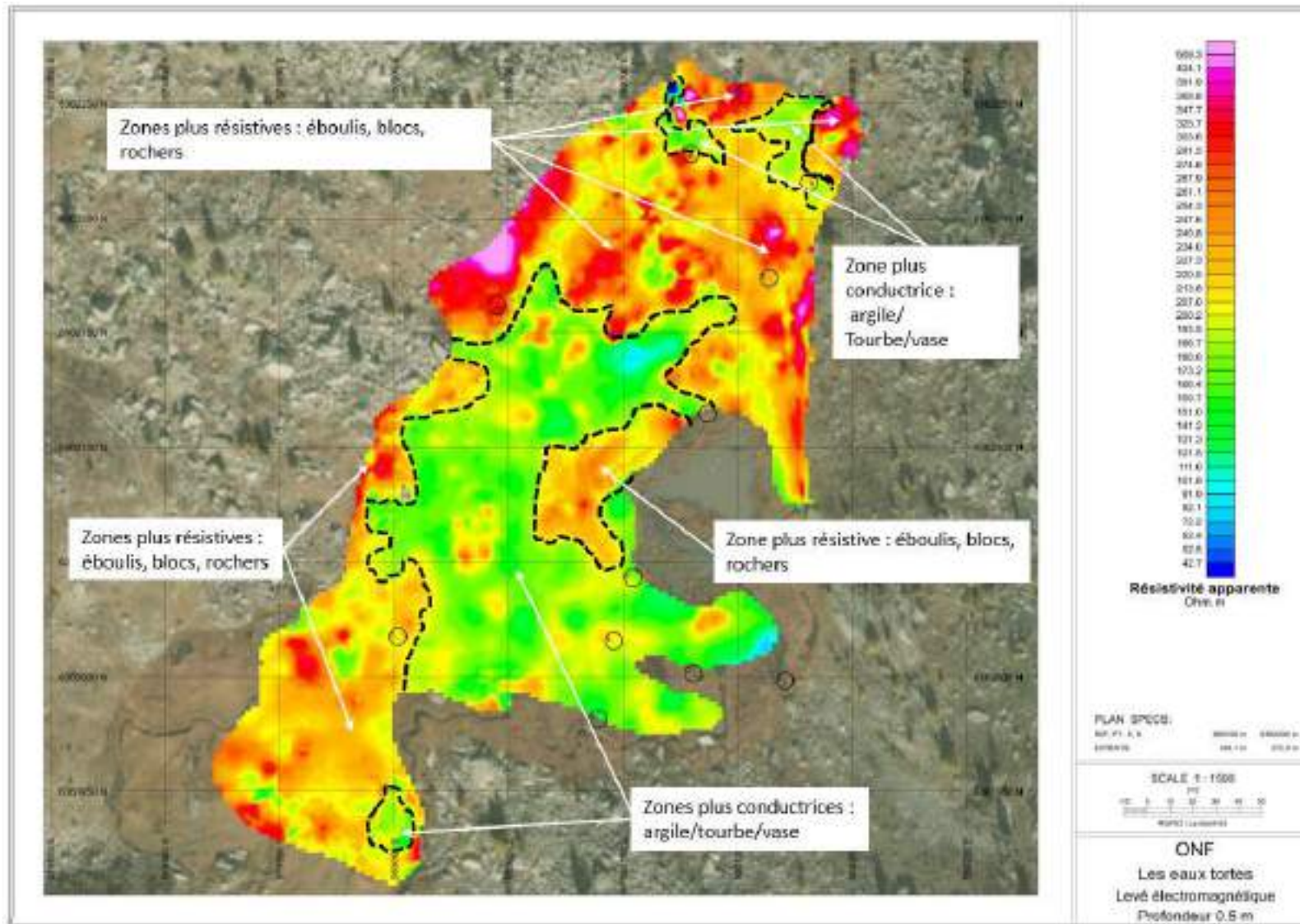


Figure 31 - Carte de résistivité calculée à 0,5 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.4. Résistivité inversée à 0.75 m de profondeur

Globalement la carte réalisée à cette profondeur diffère peu de la précédente. Néanmoins, dans certaines zones les mesures peuvent varier légèrement, avec :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des valeurs de résistivité qui diminuent légèrement, mais restent élevées (200 à 500 ohm.m), correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. La petite zone, située au Nord, montrant des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 150 ohm.m) a une surface équivalente à celle de la couche sus-jacente et est toujours divisée en deux. Cette géométrie pourrait indiquer la présence de blocs au sein de dépôts tourbeux/vaseux.
- La moitié centrale de la zone investiguée, garde des valeurs de résistivité un peu plus faibles (70 à 200 ohm.m), peut correspondre aux zones les plus humides et donc les plus riches en tourbe/vase. La zone résistive située à l'Est diminue en surface et en amplitude (215 à 280 ohm.m) par rapport à la tranche précédente.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui diminuent légèrement par rapport à la tranche précédente, mais qui restent élevées (200 à 280 ohm.m) et qui s'étendent un peu en surface, pouvant correspondre à nouveau à des terrains plus riches en dépôts d'éboulis, graviers, blocs et rochers.
- Plusieurs petites aires, situées à l'extrême Sud de la zone investiguée, plus nombreuses que dans la tranche précédente, montrent des valeurs de résistivité équivalentes (120 à 160 ohm.m), pouvant à nouveau correspondre à des zones humides, plus riches en tourbe/vase.

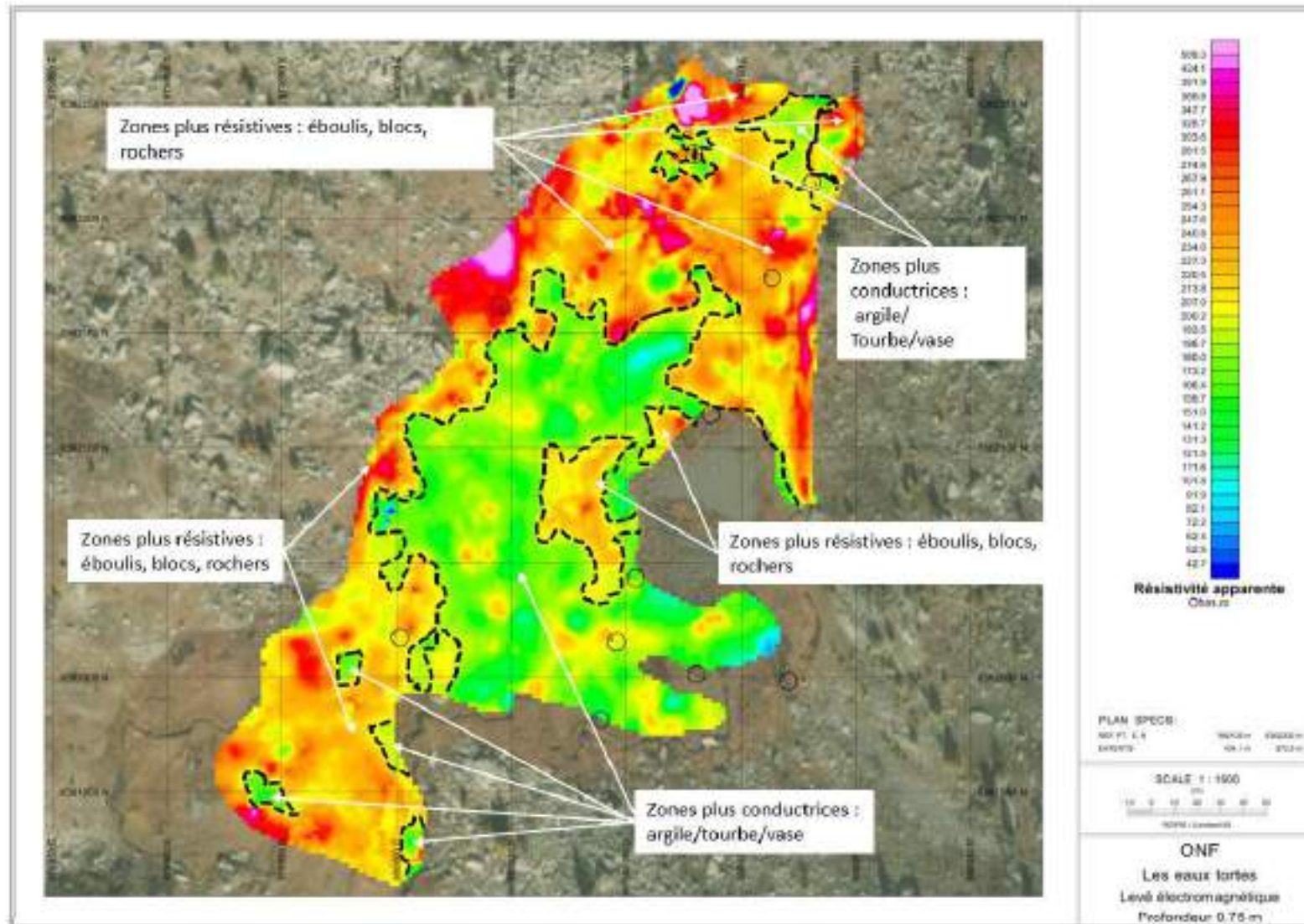


Figure 32 - Carte de résistivité calculée à 0,75 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.1. Résistivité inversée à 1.00 m de profondeur

Globalement la carte réalisée à cette profondeur montre une baisse globale des valeurs de résistivité :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des valeurs de résistivité qui diminuent légèrement, mais restent élevées (200 à 500 ohm.m), correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. Des aires, plus nombreuses, disséminées dans cette zone Nord, montrent des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 160 ohm.m). Ces aires pourraient correspondre à des zones plus argileuses/tourbeuses/vaseuses, au sein d'un ensemble constitué d'éboulis de blocs et de rochers.
- La moitié centrale de la zone investiguée, garde des valeurs de résistivité un peu plus faibles (70 à 200 ohm.m), qui peuvent correspondre à des zones plus riches en argile/tourbe/vase. La zone résistive située à l'Est est réduite à de simples « pointements » de faible amplitude avec des valeurs plus faibles que dans la tranche précédente (210 à 220 ohm.m) par rapport à la tranche précédente.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui diminuent également par rapport à la tranche précédente, mais qui restent élevées (200 à 290 ohm.m) et qui diminuent en termes de surface, pouvant correspondre à nouveau à des terrains plus riches en dépôts d'éboulis, graviers, blocs et rochers.
- Plusieurs petites aires, situées à l'extrême Sud de la zone investiguée, plus nombreuses que dans des tranches précédentes (0.3 et 0.5 m notamment), montrent des valeurs de résistivité équivalentes (120 à 160 ohm.m), pouvant à nouveau correspondre à des zones humides, plus riches en tourbe/vase.

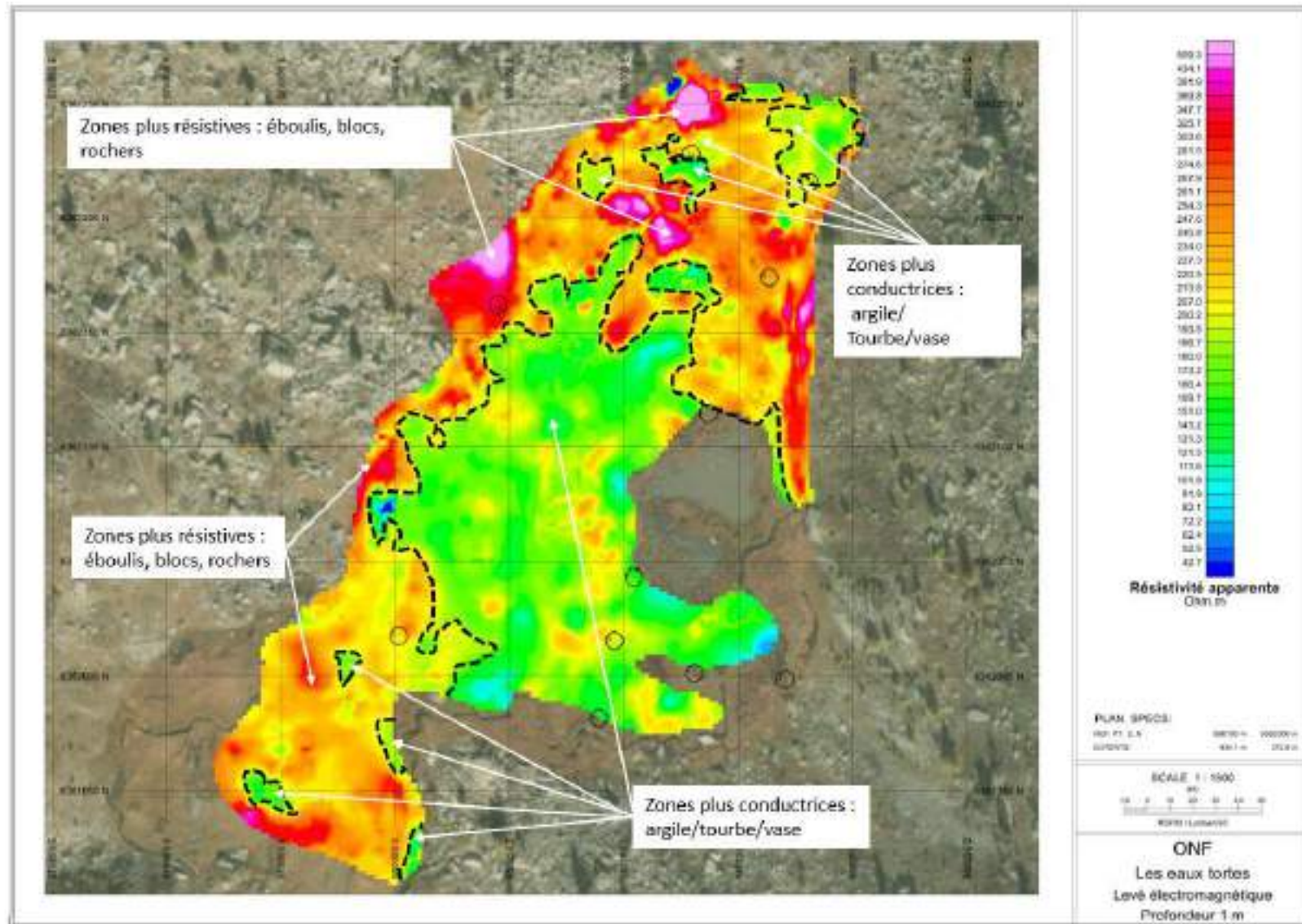


Figure 33 - Carte de résistivité calculée à 1,00 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.2. Résistivité inversée à 1.50 m de profondeur

Globalement la carte réalisée à cette profondeur montre à nouveau une baisse globale des valeurs de résistivité :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des valeurs de résistivité qui diminuent légèrement, mais restent élevées (200 à 500 ohm.m), mais de manière plus discontinue que dans les tranches précédentes, correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. Des aires, plus nombreuses, disséminées dans cette zone Nord, montrent des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 160 ohm.m), pouvant correspondre à des zones plus argileuses/tourbeuses/vaseuses, au sein d'un ensemble constitué d'éboulis de blocs et de rochers.
- La moitié centrale de la zone investiguée, montre des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 180 ohm.m), qui peuvent correspondre à des zones plus riches en argile/tourbe/vase. La zone résistive située à l'Est a complètement disparu par rapport à la tranche précédente, indiquant sans doute que les éléments plus résistifs visibles dans les couches sus-jacentes correspondaient à des blocs/rochers épars.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui continuent globalement de diminuer par rapport à la tranche précédente (200 à 280 ohm.m), et atteignant ponctuellement 380 ohm.m. Cette aire demeure sans doute majoritairement constituée de dépôts d'éboulis, de blocs et rochers, mais dans une matrice plus argileuse.
- Plusieurs petites aires, situées à l'extrême Sud de la zone investiguée, plus étendues que dans la tranche précédente, puisqu'allant jusqu'à faire jonction avec la zone centrale plus conductrice, montrent des valeurs de résistivité équivalentes (120 à 160 ohm.m) par rapport à la tranche précédente et correspondant sans doute à des zones plus riches en tourbe/vase/argile.

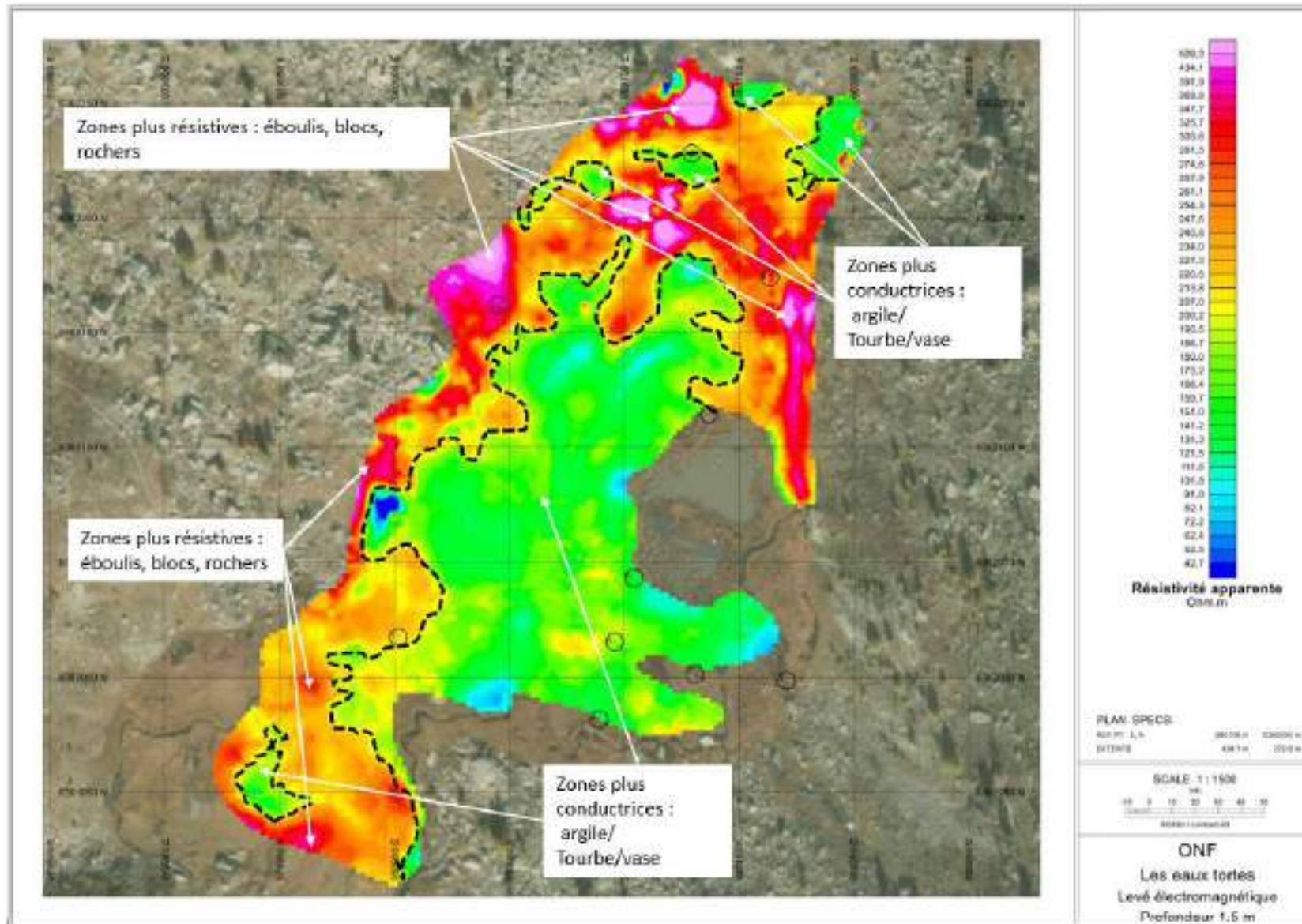


Figure 34 - Carte de résistivité calculée à 1,50 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.3. Résistivité inversée à 2.00 m de profondeur

Globalement la carte réalisée à cette profondeur montre, en général, à nouveau une baisse globale des valeurs de résistivité :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des valeurs de résistivité qui augmentent (200 à 550 ohm.m), mais la surface avec ces fortes valeurs de résistivité diminue, correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. Des aires, plus nombreuses, disséminées dans cette zone Nord, montrent des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 160 ohm.m), pouvant correspondre à des zones plus argileuses/tourbeuses/vaseuses, au sein d'un ensemble constitué d'éboulis de blocs et de rochers.
- La moitié centrale de la zone investiguée, montre des valeurs de résistivité plus faibles (40 à 180 ohm.m), et une extension plus grande que dans la couche précédente, qui peuvent correspondre à des zones plus riches en argile/tourbe/vase.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui augmentent (250 à 500 ohm.m), mais dont l'extension diminue par rapport à la tranche précédente. Cette aire demeure sans doute majoritairement constituée de dépôts d'éboulis, de blocs et rochers.
- Une aire, située à l'extrême Sud de la zone investiguée, plus étendue que dans la tranche précédente, montre des valeurs de résistivité équivalentes (140 à 160 ohm.m) par rapport à la tranche précédente et correspond sans doute à des zones plus riches en tourbe/vase/argile.

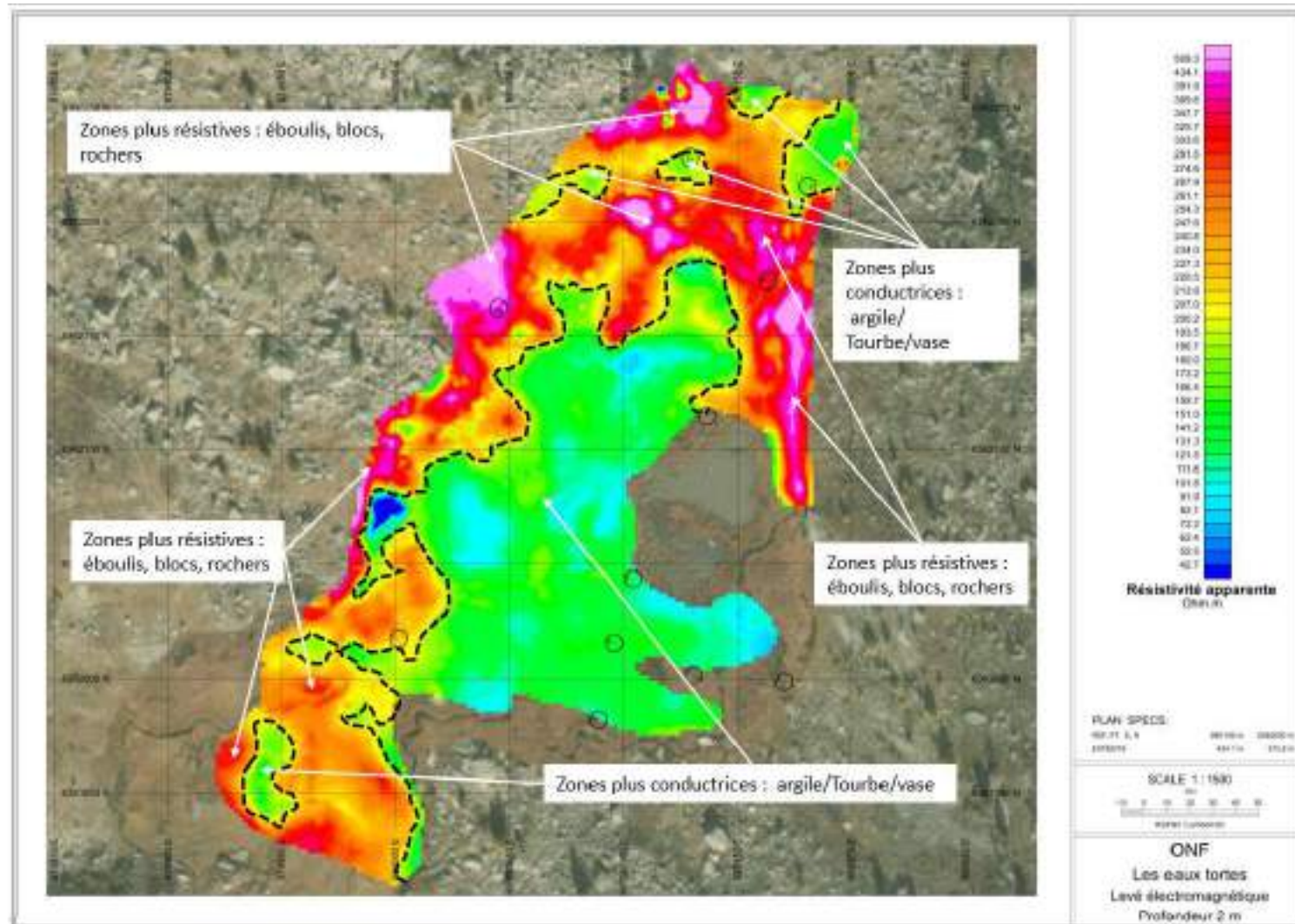


Figure 35 - Carte de résistivité calculée à 2,00 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.4. Résistivité inversée à 2.50 m de profondeur

Globalement la carte réalisée à cette profondeur montre une légère augmentation des valeurs de résistivité :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des mesures de résistivité qui montrent les mêmes valeurs (200 à 550 ohm.m), mais avec une extension de la surface de ces fortes valeurs de résistivité, correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. Les aires de plus faible résistivité voient leur surface diminuer, mais leurs valeurs restent identiques à celles de la tranche sus-jacente (40 à 160 ohm.m), et correspondent sans doute à des zones plus argileuses/tourbeuses/vaseuses, au sein d'un ensemble constitué d'éboulis de blocs et de rochers.
- La moitié centrale de la zone investiguée, montre des valeurs de résistivité identiques à la couche précédente (40 à 180 ohm.m), et une extension un peu plus faible, qui peuvent correspondre à des zones plus riches en argile/tourbe/vase.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui augmentent (250 à 500 ohm.m), mais dont l'extension diminue par rapport à la tranche précédente. Cette aire demeure sans doute majoritairement constituée de dépôts d'éboulis, de blocs et rochers.
- Une aire, située à l'extrême Sud de la zone investiguée, moins étendue que dans la tranche précédente, montre des valeurs de résistivité équivalentes (140 à 160 ohm.m) par rapport à la tranche précédente et correspond sans doute à des zones plus riches en tourbe/vase/argile.

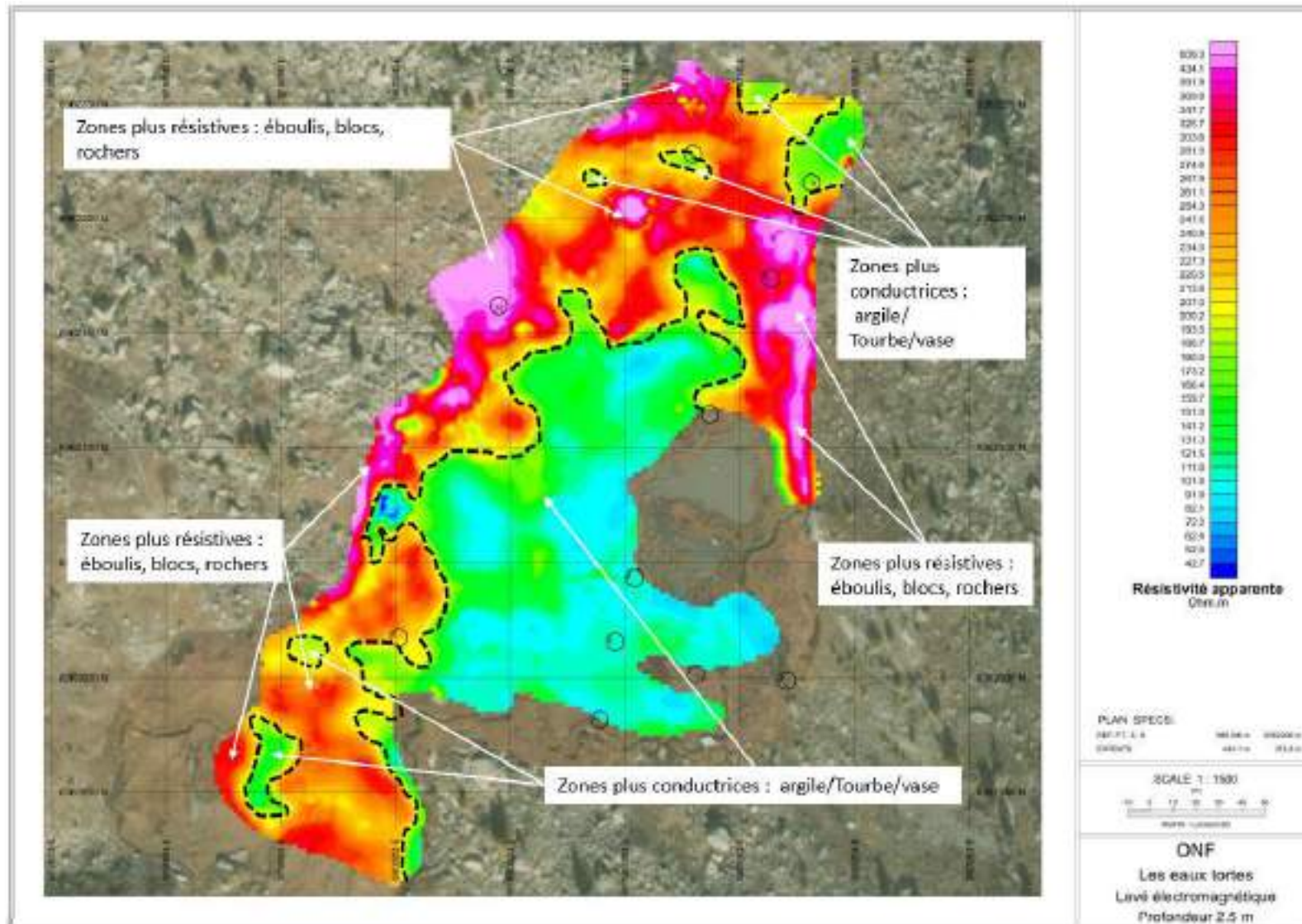


Figure 36 - Carte de résistivité calculée à 2,50 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.5. Résistivité inversée à 3.00 m de profondeur

La carte réalisée à cette profondeur montre des mesures plus contrastées :

- Dans le quart Nord de la zone investiguée, des mesures de résistivité qui montrent les mêmes valeurs (200 à 550 ohm.m), mais avec une diminution de l'extension de la surface de ces fortes valeurs de résistivité, correspondant à des zones plus riches en éboulis, graviers, blocs et rochers. Les aires de plus faible résistivité voient leur surface légèrement augmenter, mais leurs valeurs restent identiques à celles de la tranche sus-jacente (40 à 160 ohm.m), et correspondent sans doute à des zones plus argileuses/tourbeuses/vaseuses, au sein d'un ensemble constitué d'éboulis de blocs et de rochers.
- La moitié centrale de la zone investiguée, montre des valeurs de résistivité identiques à la couche précédente (40 à 180 ohm.m), et une extension des faibles valeurs plus importante, qui peuvent correspondre à des zones plus riches en argile/tourbe/vase.
- Le quart Sud, avec une bande remontant à l'Ouest, montre des valeurs de résistivité qui augmentent (250 à 500 ohm.m), avec une extension qui augmente légèrement par rapport à la tranche précédente. Cette aire demeure sans doute majoritairement constituée de dépôts d'éboulis, de blocs et rochers.
- Une aire, située à l'extrême Sud de la zone investiguée, moins étendue que dans la tranche précédente, montre des valeurs de résistivité équivalentes (140 à 160 ohm.m) par rapport à la tranche précédente et correspond sans doute à des zones plus riches en tourbe/vase/argile.

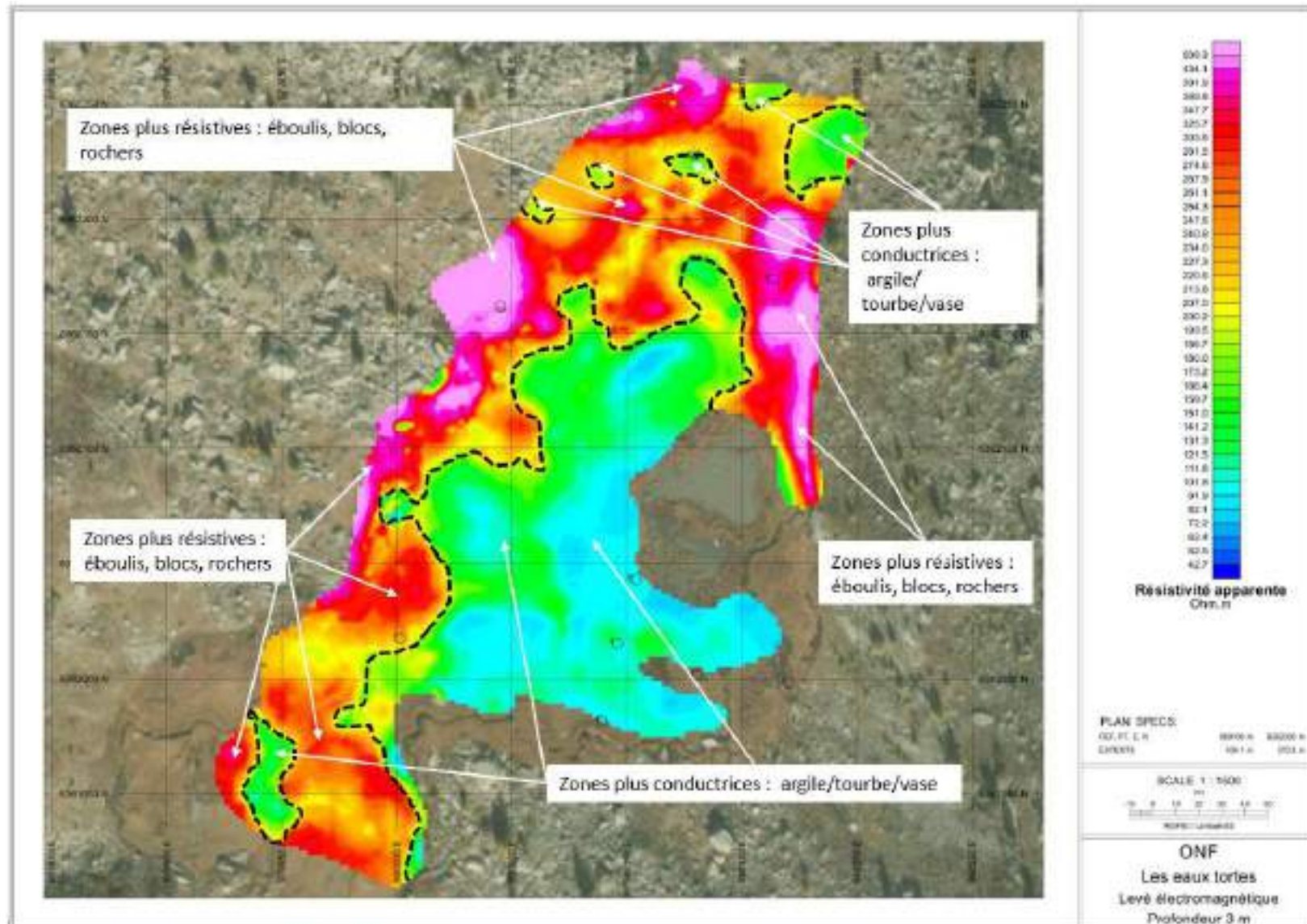


Figure 37 - Carte de résistivité calculée à 2,50 m de profondeur issue de l'inversion des données électromagnétiques avec interprétation

V.1.1.6. Synthèse des données tomographiques

Synthétiquement, à faible profondeur on observe une résistivité plus forte sur le secteur nord et sud (éboulis, blocs rocheux, ...) alors que les secteurs centraux sont plus conductifs (zones de mares).

La surface tourbeuse est donc contrainte topographiquement et cela est aussi vrai en profondeur puisque ces constats s'accroissent à 2.5 m de profondeur ce qui tend a priori à infirmer l'hypothèse d'un lac d'origine glaciaire (absence de secteurs tourbeux en profondeur qui appuierait l'hypothèse d'un lac glaciaire s'étant comblé).

V.1.2. DONNEES PALYNOLOGIQUES

Cf. ANNEXE 2 hors pagination.

V.1.2.1. Description des profils pédologiques prélevés

D'une manière générale, la partie superficielle des profils est dominée par le système racinaire de la végétation (souvent les *Carex*), constituant un maillage fibreux, peu dense, difficile à traverser et ne restant pas dans le corps du carottier. Ainsi les profils n° 1, 2 et 2 bis sont incomplets.

Puis la matrice fibreuse disparaît dans une vase organique fine, sans doute liée à l'affleurement de la nappe.

Seuls les profils n°3 et 4 ont livré de la tourbe sous ces dépôts.

La figure suivante est une photographie du profil n°4, le plus complet et le plus prometteur pour une analyse approfondie.

On peut brièvement résumer la lithologie comme suit :

- De la base à – 60 cm, on observe une alternance irrégulière de dépôts, qui pourraient être "lacustres" et de dépôts tourbeux. On observe notamment quelques lits de vase fin très organiques intercalées dans la tourbe.
- De – 60 cm à – 23 cm, les dépôts sont dominés par des faciès vaseux fins et gorgés d'eau, pouvant témoigner de plans d'eau temporaire, ou résultant de la dégradation de la végétation hygrophile poussant sur la zone humide, les derniers cm étant représentés par les racines de cette dernière.

D'une manière générale, la nature très organique et saturée en eau des dépôts est une bonne garantie de la préservation des fossiles, tout particulièrement dans les carottes n° 3 et 4 (lithologies similaires).

En première analyse préliminaire, **on peut affirmer que le site semble avoir toujours fonctionné comme une zone humide en mosaïques, composées d'îlots tourbeux et de zones d'eau libre, fluctuant selon les conditions climatiques.**

Le site n'a **jamais été un lac**, contrairement à d'autres zones humides alpines (et notamment en Ubaye). On peut penser que les méandres du réseau hydrographique qui traversent la zone ont joué un rôle prépondérant dans le bilan hydrologique, et que la topographie environnante n'a pas permis la mise en place d'un lac

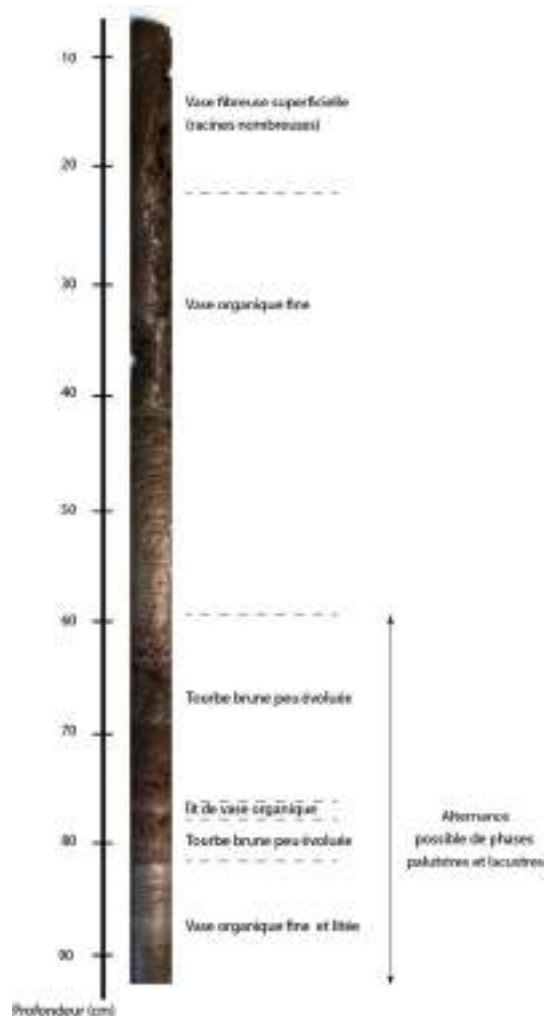


Figure 38 - photographie du profil n° 4 et lithologie sommaire

profond. Les données polliniques (voir plus loin) corroborent ce point.

Eaux Tortes, indique sans ambiguïté que **la zone humide n'a pas plus de 2000 ans d'existence**. Les datations radiocarbone préciseront ce point.

V.1.2.2.c Sur la valeur patrimoniale et l'âge de la tourbière

Les espèces d'herbacées observées sous la forme fossile, sont classiques des pelouses alpines, ne montrant aucune particularité botanique du site. On y trouve des Caryophyllacées, mais également un cortège rudéro-anthropique typique des zones de pâturage (présence de *Plantago* notamment et *Urtica*).

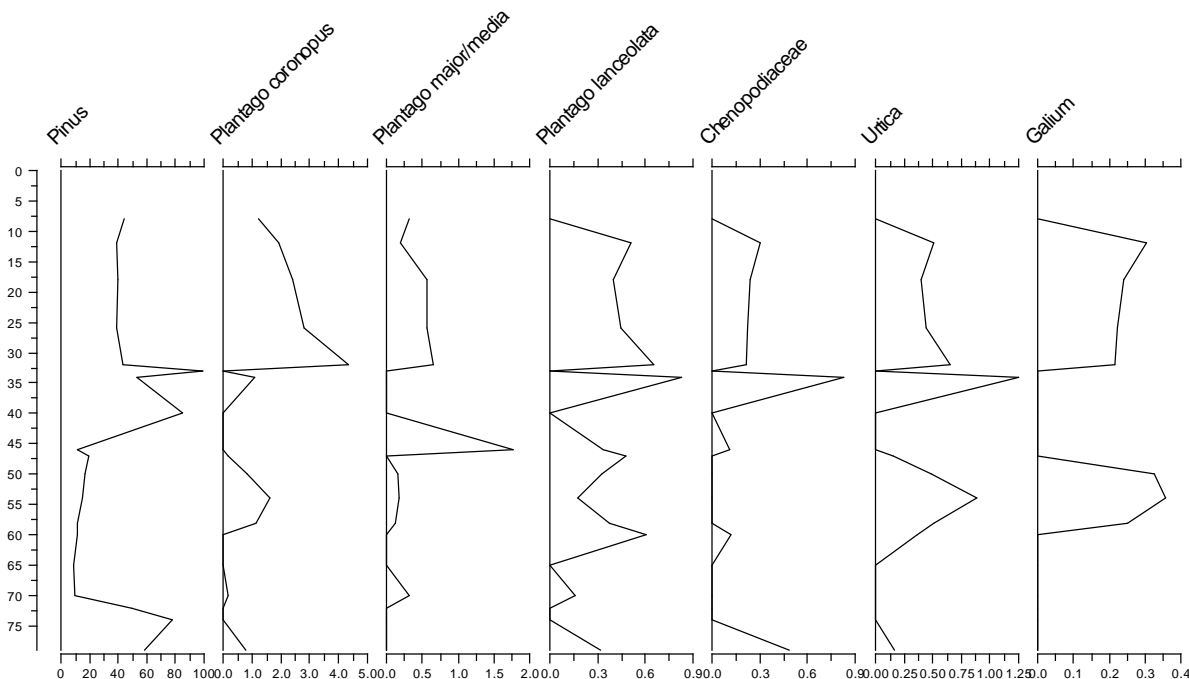


Figure 40 - Diagramme pollinique des herbacées simplifié des Eaux Tortes

Cependant, compte tenu des faibles taux observés, il ne semble pas possible d'affirmer que le site ait été soumis, par le passé, à du pastoralisme excessif.

En revanche, la surabondance passée des Cypéracées (dans la première moitié de l'enregistrement), plaide clairement en faveur d'une zone humide en meilleur état écologique qu'aujourd'hui. Cela pourrait également expliquer que les niveaux les plus superficiels (à partir de -40 cm) aient été peu riches en pollen (échantillons très difficiles à analyser).

L'image de la végétation, reflétée par le pollen est très comparable à la végétation actuelle. Il est donc fortement probable que la mise en place des Eaux Tortes soit très récente.

Cette hypothèse a été confirmée par des datations au carbone 14 (Cf. ANNEXE 3 hors pagination) qui proposent un âge de 100 ans pour le site. Sur des périodes aussi récentes, la marge d'erreur reste importante mais cela confirme l'extrême jeunesse.

V.1.3. SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS : L'HISTOIRE DU SITE (PASSE)

Les analyses tomologiques, palynologiques et datations au carbone 14 ont totalement infirmé l'hypothèse d'un ancien lac glaciaire à l'origine des Eaux Tortes.

Le site est en fait très jeune (de l'ordre d'une centaine d'années) ce qui interroge quant à l'histoire géologique ayant conduit à sa formation (éboulements ? Verrou géologique ? ...).

Son fonctionnement écologique semble assez stable à en juger par la comparaison des données palynologiques et relevés phytosociologiques qui sont relativement similaires, malgré une diminution de l'abondance de Cypéracées pouvant indiquer une dégradation de l'état écologique.

En cela, le site des Eaux Tortes ne peut pas constituer une archive paléo-écologique intéressante.

Figure 41 : Chenal principal à l'exutoire du site.



V.2. FONCTIONNEMENT ACTUEL DES EAUX TORTES (PRESENT)

V.2.1. ANALYSE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE SURFACE

Le réseau hydrographique théorique a été déterminé par le traitement MNT des données LIDAR. Cette méthode a permis d'identifier l'ensemble des écoulements théoriques de la zone contributive des Eaux Tortes.

La zone humide des Eaux Tortes se compose de trois chenaux principaux :

- Un chenal en rive droite qui correspond au cours d'eau de la Blanche du Laverq de 700 mètres de linéaire environ ;
- Un chenal central d'environ 550 mètres de linéaire composé sur sa partie amont de plusieurs petits chenaux, et qui rejoint plus en aval le chenal de rive droite ;
- Un chenal en rive gauche d'environ 350 mètres de linéaire.

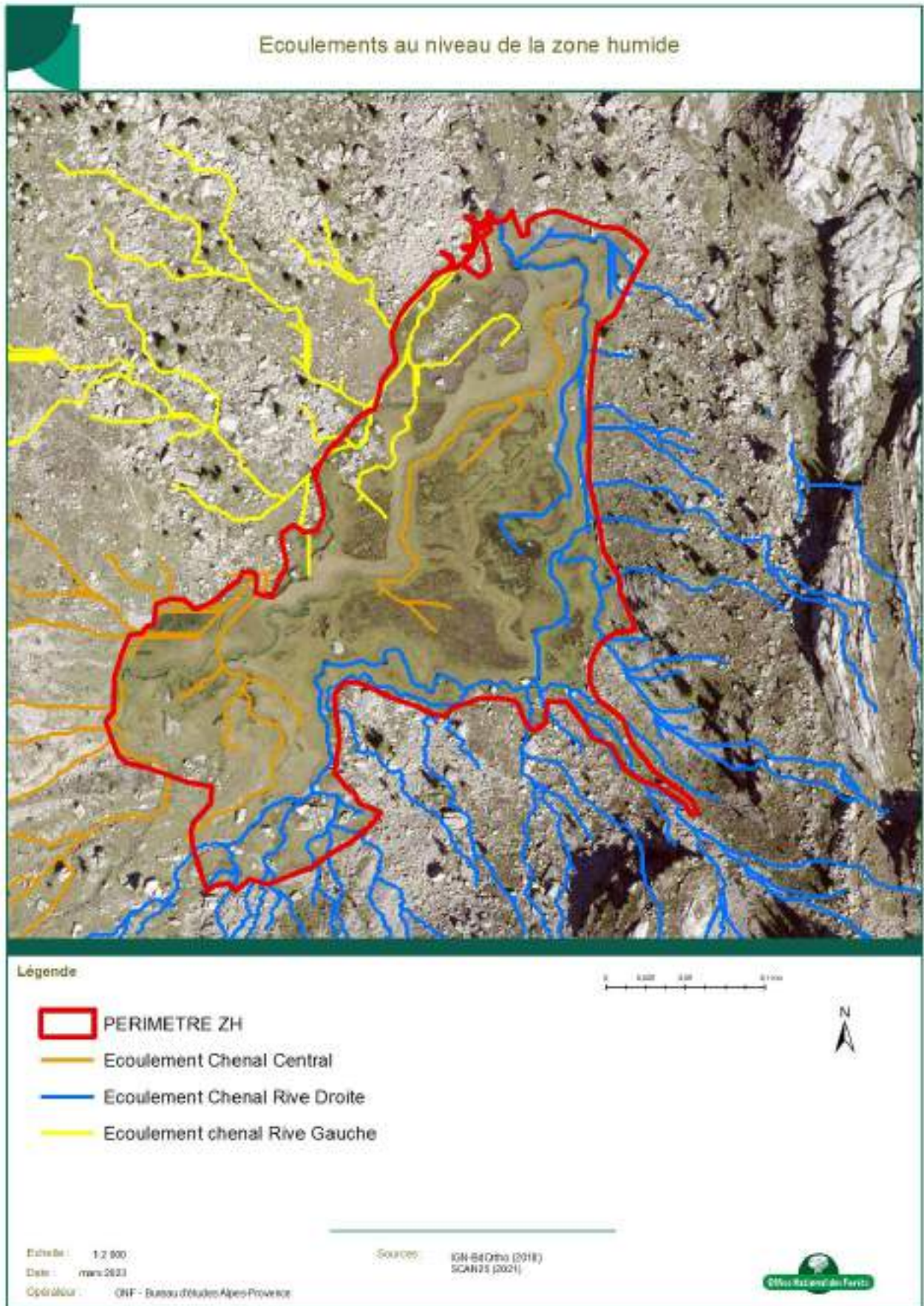
L'analyse du MNT a permis de distinguer les flux alimentant chacun des trois chenaux principaux identifiés précédemment. Le réseau hydrographique théorique du chenal rive gauche présente le linéaire le plus petit avec 2.8 km de long contre 71 km pour le chenal central et 42 km pour le chenal en rive droite.

Le reste de la zone humide est occupé par des mares permanentes et temporaires selon la saison. En fonction du niveau des eaux, la majorité de ces mares semble être liée aux chenaux qui jouxtent chacune d'entre elles. Seules quelques petites mares semblent être autonomes et indépendantes des chenaux.

La cartographie suivante présente le réseau hydrographique théorique des Eaux Tortes selon les données obtenues par LIDAR. À noter que la comparaison des données théoriques obtenues par la technologie LIDAR et d'autres données cartographiques (données des cours d'eau et relevés terrain) ont montré une incohérence quant à la connexion réelle de la partie supérieure du torrent de la Blanche du Laverq avec le chenal rive droite de la zone humide.

Cf. Cartes pages suivantes.





V.2.2. ALIMENTATION DES EAUX TORTES

V.2.2.1. Analyse physico-chimique des eaux

Une campagne de relevés conductimétriques réalisée en automne 2016 a permis d'obtenir un premier aperçu de la provenance et de l'alimentation des eaux. Au total, une quarantaine de mesures a pu être relevée. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats obtenus et présente les moyennes des températures et des conductivités mesurées avec pour référence de pression atmosphérique une température de 25°C (les écarts de valeur pour chaque paramètre étant faibles).

Tableau 6 – Tableau de synthèse des relevés conductimétriques de la première campagne d'automne 2016

Masses d'eau	Localisation	Moy T°C	Moy $\mu\text{S}/\text{cm}$
Chenal	Rive droite	2.4	324
	Central	4.6	256
	Rive gauche	4.1	277
Mare	Rive droite	4.8	173
	central	4.1	87
	Rive gauche	4.9	86
	Indépendante	4.7	50

Il est ressorti de cette campagne de conductimétrie plusieurs éléments permettant d'émettre certaines hypothèses sur le fonctionnement et l'alimentation en eau de la zone humide.

Le chenal le plus froid et présentant la conductivité la plus élevée est le chenal situé en rive droite. Sa température moyenne au moment des relevés s'élevait à 2.4°C contre presque le double pour le chenal central et le chenal en rive gauche, avec respectivement 4.6°C et 4.1°C. Les mesures de conductivités sont également les plus élevées pour le chenal rive droite avec une conductivité moyenne de 324 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (T°C réf = 25°C). La conductivité des deux autres chenaux est moins élevée et s'élève à 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le central et 277 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour celui en rive gauche (T°C réf = 25°C).

Lors de cette campagne conductimétrique, le niveau d'eau était bas (période d'étiage) et les mares étaient donc essentiellement des eaux stagnantes déconnectées des chenaux ou à sec. De ce fait, les températures moyennes de ces points d'eau sont supérieures à celles des chenaux : respectivement, les mares de rive droite, centrales et de rive gauche avaient pour température moyenne 4.8°C, 4.1°C, et 4.9°C.

Les conductivités des mares mesurées sont beaucoup plus faibles que les chenaux, à l'exception de deux mares situées en rive droite avec des conductivités s'élevant à 243 et 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En observant leur localisation et en comparant ces valeurs à celles de référence de la classification des eaux (Rodier, 2009), il semblerait que les eaux de ces deux mares proviennent d'un mélange d'eau issu des précipitations et des eaux du chenal rive droite. Les conductivités des autres mares sont comprises en moyenne entre 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 87 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Selon la classification des eaux, on s'aperçoit qu'il s'agit principalement d'eau de pluie.

Classification des eaux	$\mu\text{S/cm}$
Eau déminéralisée	0.05
Eau de pluie	10-80
Eau peu minéralisée	80-100
Eau moyennement minéralisée	300-500
Eau saline	1000-3000
Eau de mer	> 3000

Figure 42 - Classification des eaux en fonction de leur conductivité (RODIER, 2009)

Toujours selon cette classification, les eaux des chenaux sont quant à elles moyennement minéralisées. Cela suppose qu'elles aient transité un certain temps à travers les éboulis calcaires et siliceux présents en amont de la zone contributive.

V.2.2.2. Alimentation glaciaire résiduelle

Le glacier de La Blanche est un glacio-névé (ASSIER, Alain-1996). Il s'agit du glacier le plus méridional de France. Situé sous la tête de l'Estrop, il a été daté du Petit Age glaciaire (1350-1850). De sa surface de 16 ha à la fin de cette période, il n'en restait plus qu'un quart en 1996. Ses caractéristiques étaient alors :

- 220 m de long pour 200 m de large,
- 28° d'inclinaison en exposition nord,
- De 2640 à 2780 m d'altitude.

"L'absence de rimage et de crevasse traduit l'immobilité du glacier résiduel" (A.Assier)

Il devient actuellement un "glacier noir", se recouvrant progressivement de débris rocheux depuis la fin de son activité. Malgré le microclimat froid et arrosé de fond de vallon, l'ombre protectrice de la Tête de l'Estrop, et son réceptacle rocheux bien incurvé, sa pérennité reste précaire.

Le plan de gestion de l'ENS des Eaux Tortes précise que sa fonte, sans doute inéluctable, est essentiellement due à la hausse des températures, au déficit en précipitations hivernales et au climat estival chaud et sec de la vallée de l'Ubaye.

Le glacier de La Blanche a laissé, en se retirant, une moraine frontale bien visible, d'une hauteur de 30 m, et des moraines latérales, instables

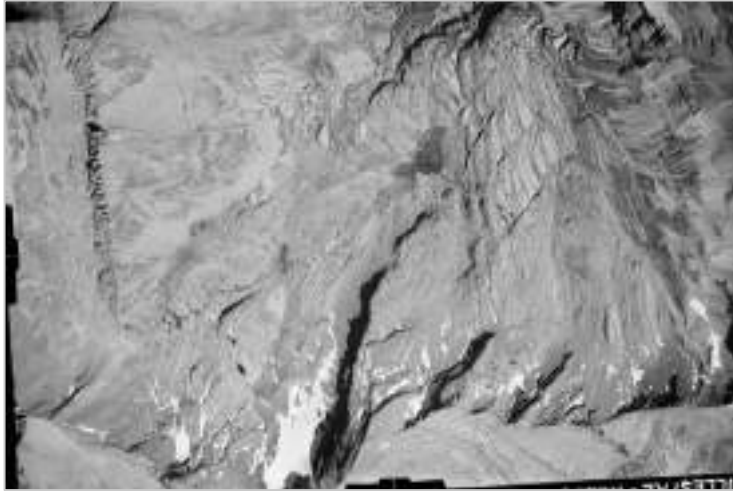
Définition :

Un glacier rocheux, par opposition au glacier blanc ou noir, est de l'eau sous forme de glace dans une matrice rocheuse. Concrètement, cela peut donc prendre la forme d'éboulis dont les interstices sont constitués de glace.

Le glacier blanc est quant à lui constitué quasi exclusivement de glace alors que le glacier noir est un glacier constitué de glace dont la surface est recouverte de rochers



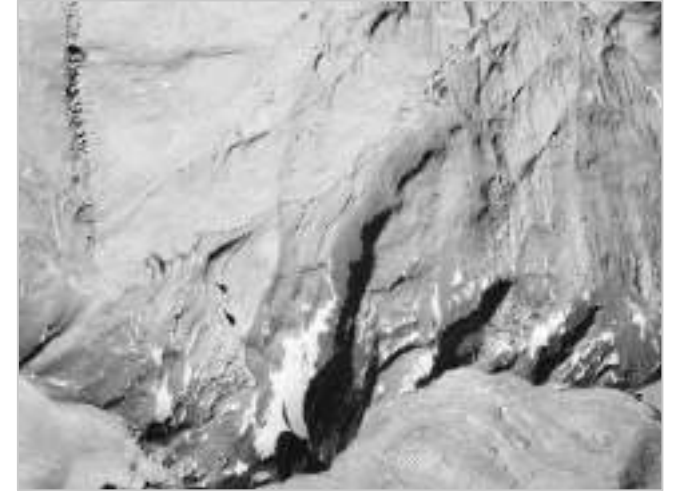
Figure 43 - Glacier de la Blanche - photographie du 4 août 1905 sur plaque de verre, numérisée par les Archives Départementales des Alpes de Haute Provence



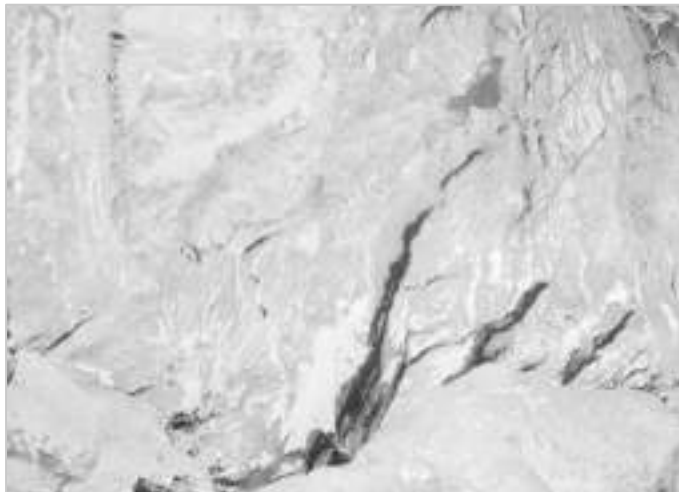
Eaux Tortes - 15 aout 1948



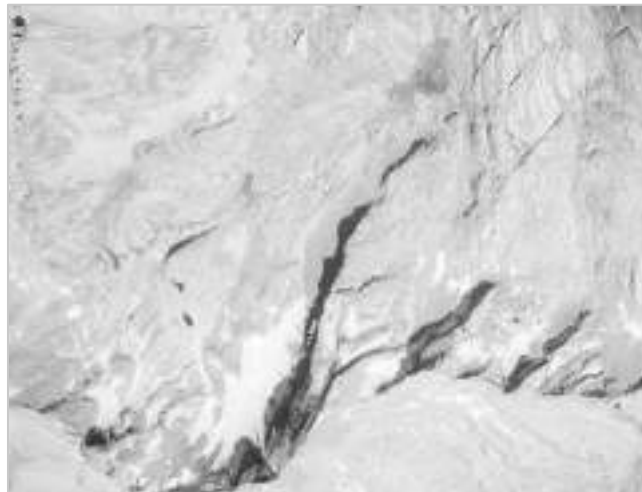
Eaux Tortes - 31 juillet 1956



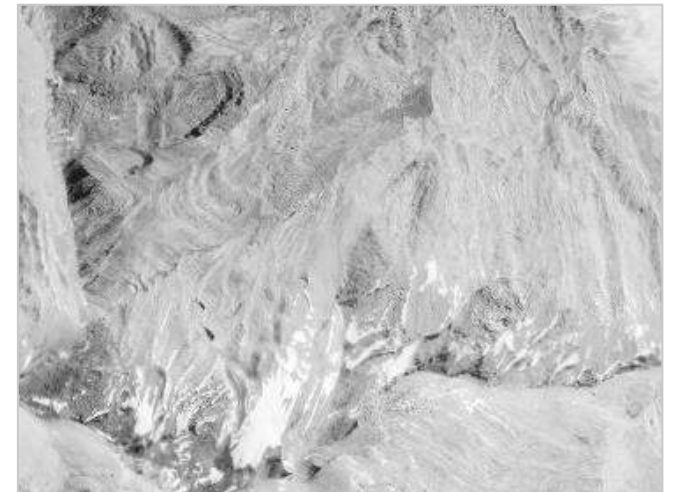
Eaux Tortes - 22 aout 1960



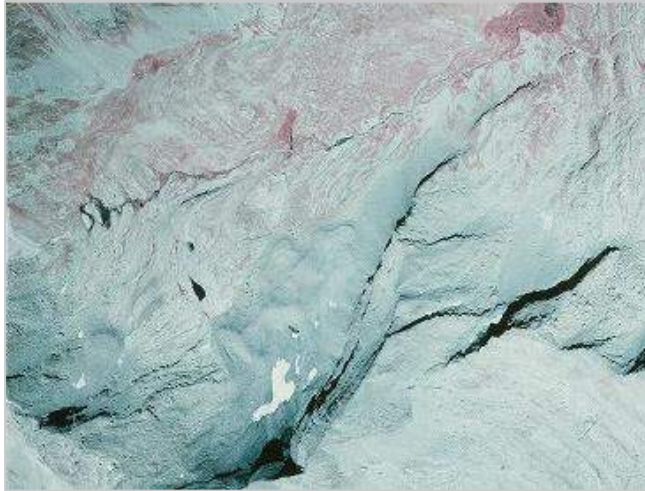
Eaux Tortes - 10 aout 1971



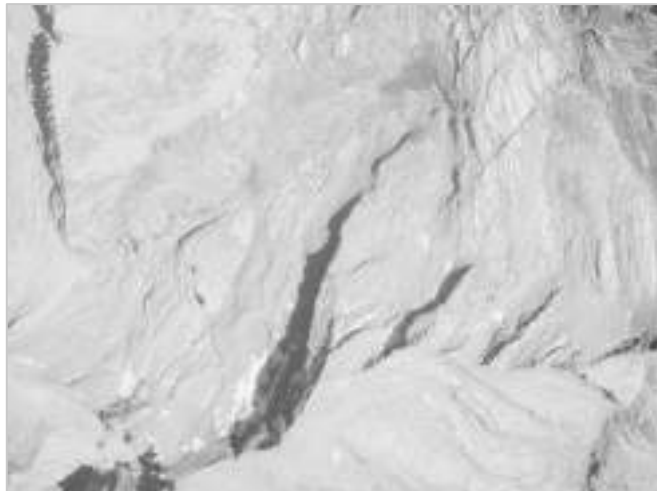
Eaux Tortes - 30 aout 1978



Eaux Tortes - 28 juillet 1988



Eaux Tortes - 26 aout 1994



Eaux Tortes - 17 juillet 2000



Eaux Tortes - 22 juillet 2004



Eaux Tortes - 2012



Eaux Tortes - 2015



Eaux Tortes - 2018

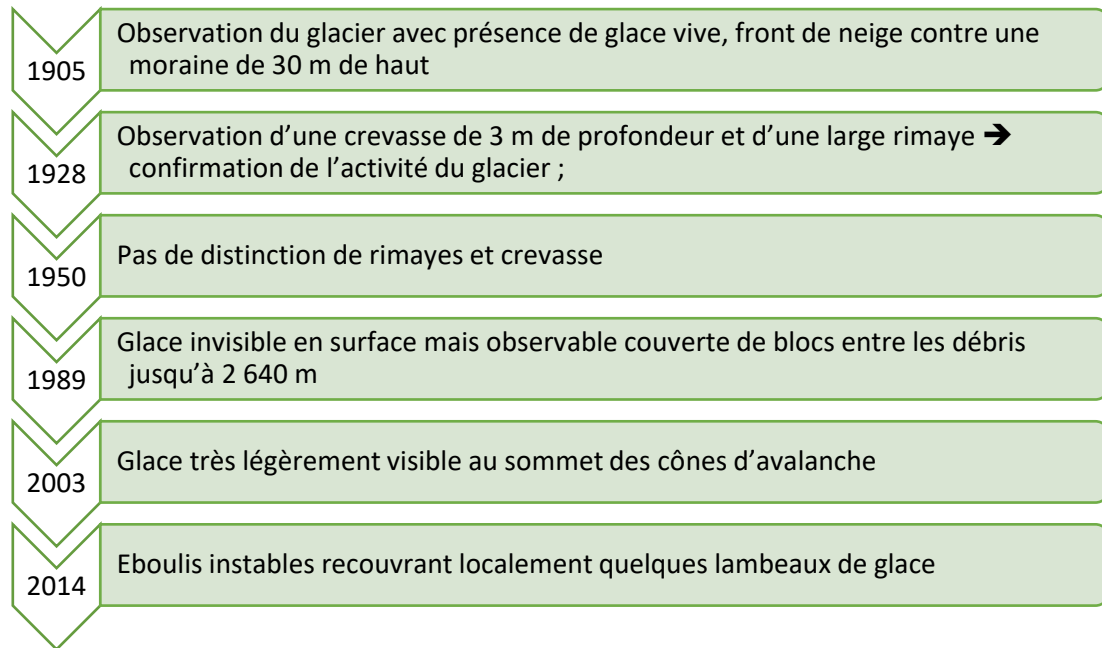


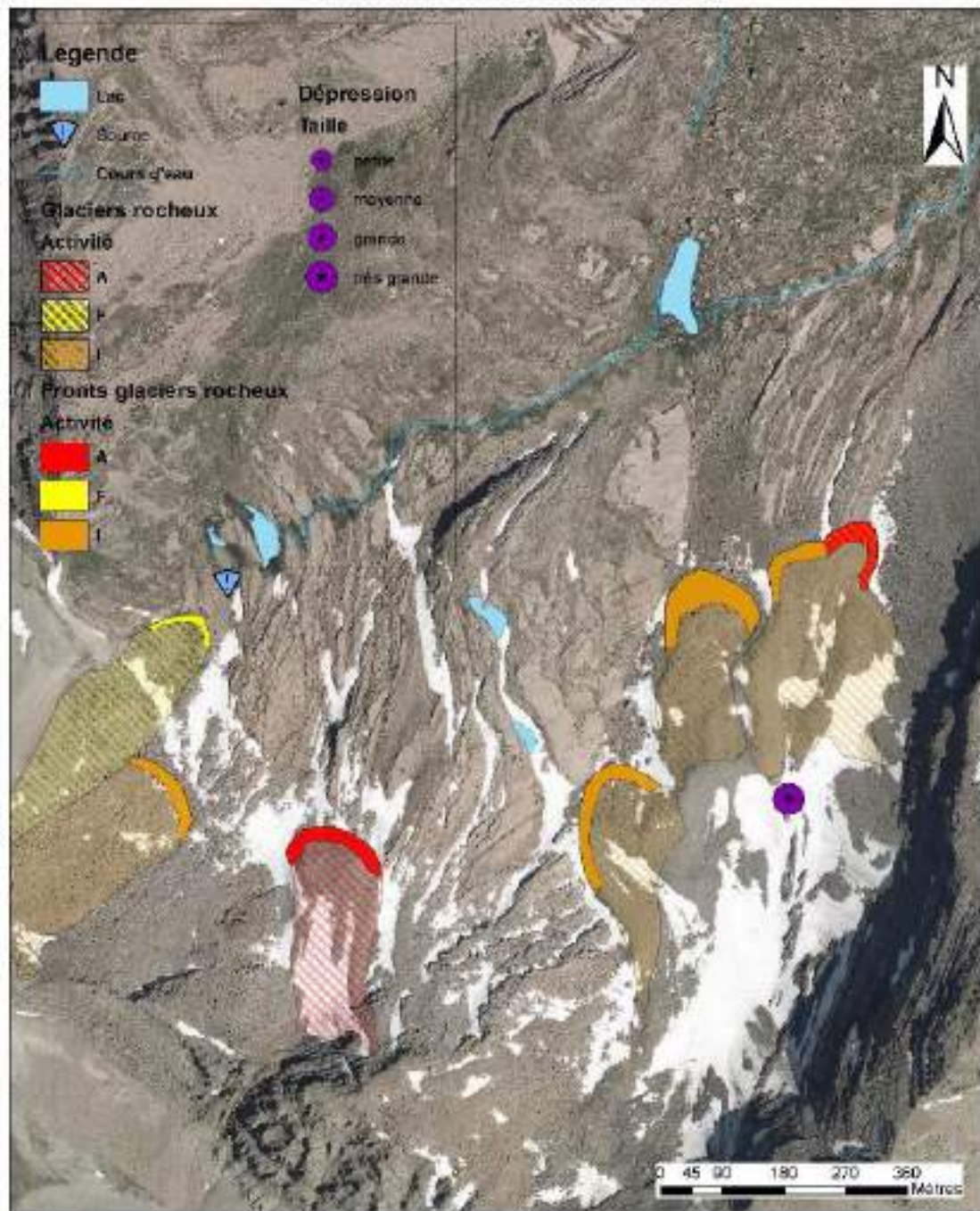
Figure 45 - Historique des observations du glacier de la blanche

Une étude réalisée en 2012 par le service RTM (Restauration des Terrains en Montagne) a toutefois mis en évidence la présence de trois fronts de glaciers rocheux dont un qui semblerait être encore actif, les autres étant classés comme inactifs.

Pour mémoire, un glacier rocheux, par opposition au glacier blanc ou au glacier noir, est un éboulis englacé (pergélisols) où la glace occupe les interstices entre les blocs.

La présence du front de glacier rocheux encore actif permet de supposer un apport périglaciaire résiduel en eaux à la zone humide des eaux tortes.

Cartographie des glaciers rocheux des Alpes de Haute-Provence (exemple des glaciers rocheux de la Blanche, commune de Méolans-Revel).



Source : RIGUIDEL A. (RTM 04)
Date : 2012

Données : Orthophotographies IGN 2008

Figure 46 - Cartographie des glaciers rocheux présents à l'amont de la zone humide des eaux tortes (RTM 2012)

La campagne de relevés de températures et conductimétriques de 2016 avait mis en évidence des températures comprises entre 0°C et 2°C côté rive droite ainsi qu'une charge ionique de l'eau plus importante (350 $\mu\text{S}/\text{cm}$). D'autre part, de nouveaux relevés conductimétriques réalisés en juillet 2017 démontraient plus en amont de la zone humide la présence d'une résurgence sortant à une

température de 1.9°C. Ces éléments tendent à supposer une alimentation de la rive droite en partie périglaciaire.

Ces éléments tendent vers une alimentation résiduelle d'origine périglaciaire ou glaciaire encore actuelle :

- Présence d'une résurgence à l'amont présentant des températures <2°C (en dehors de la période de fonte des neiges) ;
- Dépôts de farines glaciaires au niveau de cette résurgence. La farine glaciaire étant un indicateur d'une alimentation glaciaire ou périglaciaire, il est possible d'émettre l'hypothèse selon laquelle le système glaciaire ou périglaciaire de la Blanche alimente encore en partie les Eaux Tortes

⇔ **On suppose donc la présence à l'état résiduel de glace en profondeur contribuant à l'alimentation des Eaux Tortes**

À ce jour, il est toutefois impossible de quantifier précisément l'apport périglaciaire de la zone.

V.2.2.3. Alimentation pluviométrique

Une étude climatologique de la zone humide des eaux tortes a été réalisée en 2017 par l'IMBE. Cette étude a permis d'aboutir à une caractérisation climatique du site des Eaux Tortes.

Cf. ANNEXE 4 hors pagination.

Trois variables ont été prises en compte :

- La température moyenne de l'air à l'échelle de la journée ;
- Le cumul quotidien de précipitations liquide et solide ;
- La hauteur de neige maximale quotidienne.

Les données SAFRAN³ ont été utilisées comme base pour une première analyse de la climatologie des Eaux Tortes. En effet, une station SAFRAN (coordonnées : 9320hm E 19290hm N en Lambert II étendu) se situe très proche des Eaux Tortes, à 2.5 km du site d'étude. Bien que la station soit à une altitude de l'ordre de 2800m, très sensiblement supérieure à celle des Eaux Tortes, les données étudiées sur la période 2005-2017 de la station représentent de manière réaliste ce qui se passe sur le site.

L'analyse des données SAFRAN a permis d'obtenir :

- La valeur moyenne sur la période 2005-2017 pour chaque jour de l'année et l'écart-type correspondant ;
- La valeur moyenne et l'écart-type pour chaque mois de l'année ;
- La valeur moyenne et l'écart-type pour chaque saison¹³ ;
- La valeur moyenne annuelle et son évolution en fonction des années ;

³ Météo-France produit en continu des réanalyses météo dites « SAFRAN » à l'échelle de la France. Il s'agit d'une combinaison de sorties de modèles de circulation atmosphérique générale désagrégées sur des zones homogènes et d'observations au sol sur les stations présentes dans ces zones. Pour une description de SAFRAN, voir, par exemple : <http://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/165>.

- Les extrema sur ces différents pas de temps : jour, mois, saison, année.

V.2.2.3.b Synthèse des données SAFRAN

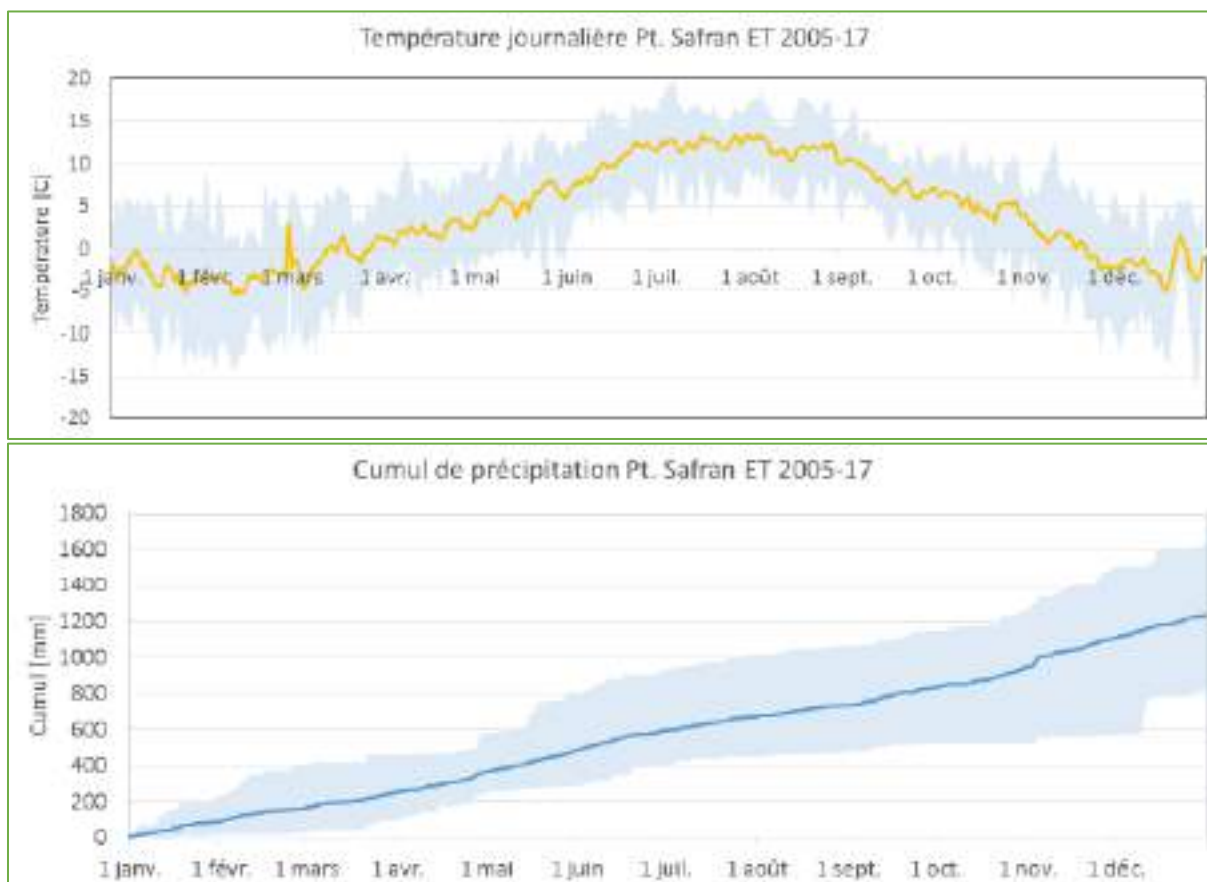
Telle qu'elle se dessine à l'issue de cette première étude statistique sur la période 2005-2017, la climatologie du site des Eaux Tortes apparaît comme plutôt typique d'une zone de montagne des Alpes du sud à une telle altitude (2250m) :

- Température moyenne annuelle clairement fraîche (3.9°C en moyenne, 2.4° en 2010, 5° en 2015) mais été bien marqué ;
- Cumul annuel moyen de précipitations peu élevé (1230mm) pour cette altitude avec des précipitations bien réparties dans l'année (pics au printemps et en automne, baisse l'été) et une forte variabilité interannuelle (jusqu'à 30%) ;
- Très grande variabilité interannuelle de l'enneigement (hauteurs de neige maximale comprises entre un peu plus de 50 cm et plus de 2m selon les années) avec toutefois une constante de 7 mois de neige dans l'année.

Par contre, on n'observe pas vraiment de tendances marquées sur la période considérée qui est de toute façon trop courte pour cela : en toute rigueur, il faudrait au moins regarder 30 ans de données pour établir des « normales¹⁴ » mais il n'est pas certain que la simulation SAFRAN soit aussi réaliste pour les Eaux Tortes avant 2005 et il n'existe pas non plus de stations proches à des altitudes similaires avec un historique suffisant.

Les figures suivantes illustrent les caractéristiques météorologiques de la zone.

Valeurs moyennes journalières - données SAFRAN



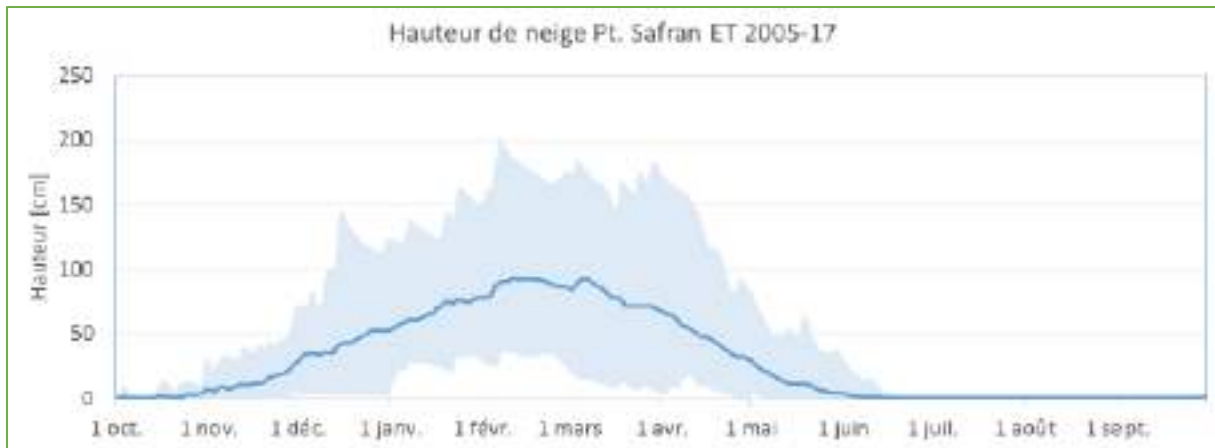
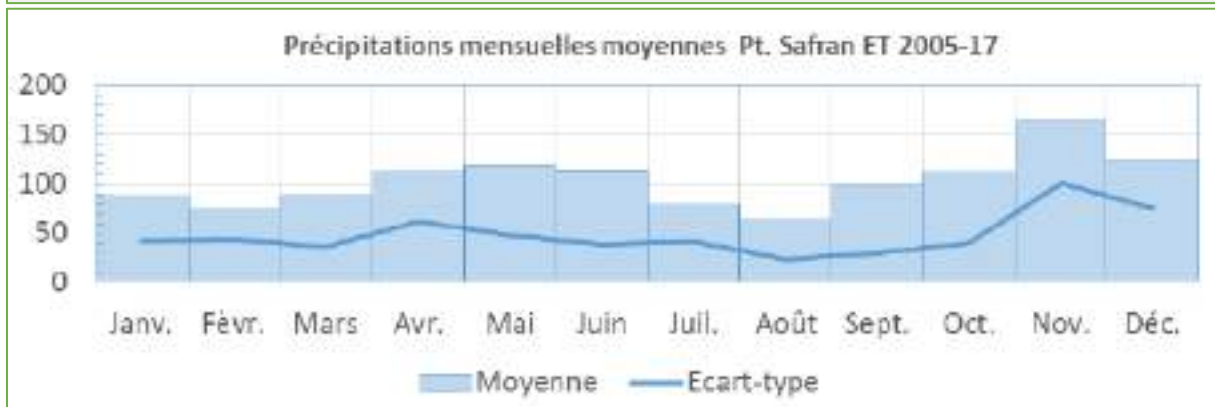
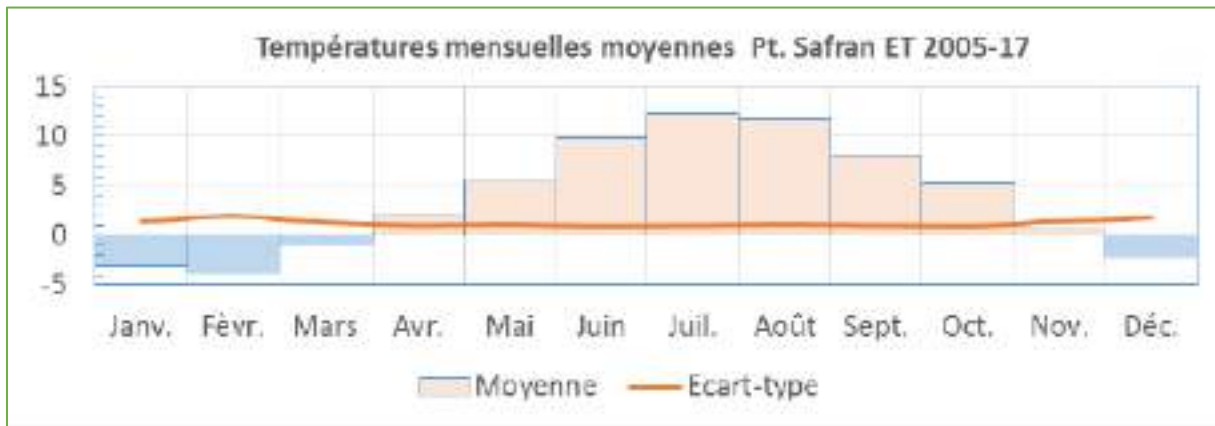


Figure 47 - Valeurs moyennes journalières sur 2005-2017 (trait plein) et intervalle entre minima et maxima (zone grisée) pour la température (haut), les précipitations (milieu) et la hauteur de neige (bas). Données du point SAFRAN le plus proche des Eaux Tortes.

Valeurs moyennes mensuelles – Données SAFRAN

Tableau 7 - Valeurs moyennes mensuelles et écart-types (entre parenthèses) pour la période 2005-2017

Variable	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
TM	-3,0	-3,6	-0,9	2,1	5,6	9,9	12,3	11,8	8,2	5,3	0,6	-2,1
[°C]	(1,4)	(2,0)	(1,2)	(1,0)	(1,2)	(0,9)	(1,1)	(1,1)	(1,0)	(0,9)	(1,4)	(1,5)
RR	87	74	88	112	119	114	77	63	98	111	164	123
[mm]	(43)	(44)	(35)	(62)	(47)	(38)	(41)	(23)	(29)	(40)	(101)	(74)
HNEIG	66	88	80	48	13	1	0	0	0	1	12	41
[cm]	(29)	(35)	(38)	(30)	(12)	(1)	(0)	(0)	(0)	(1)	(9)	(19)



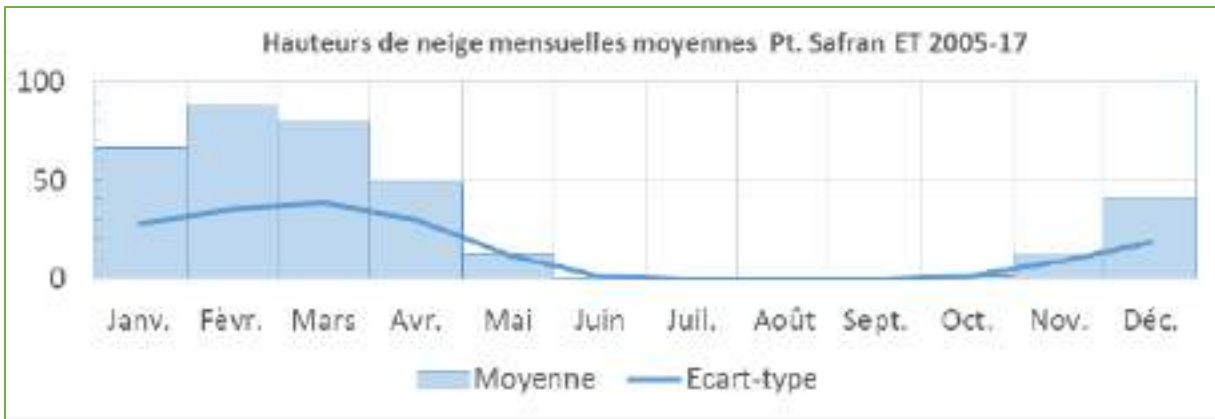
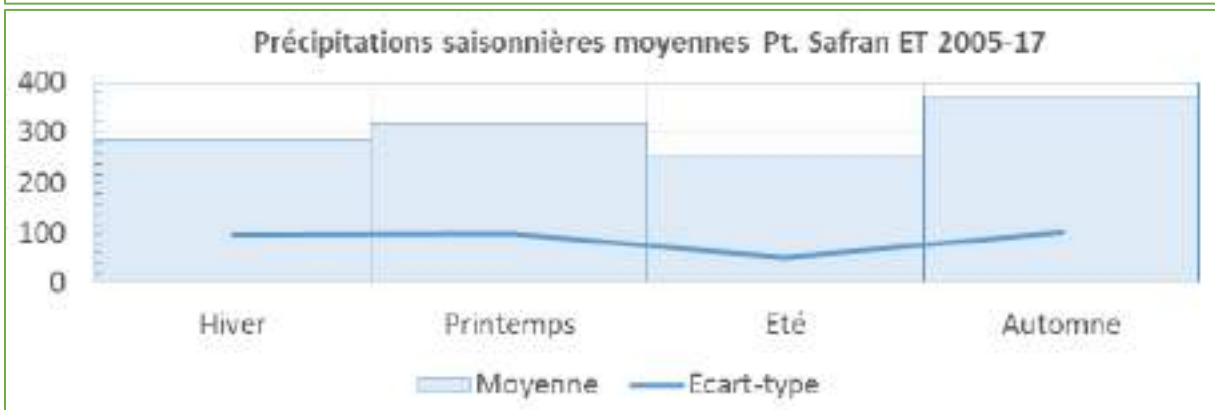
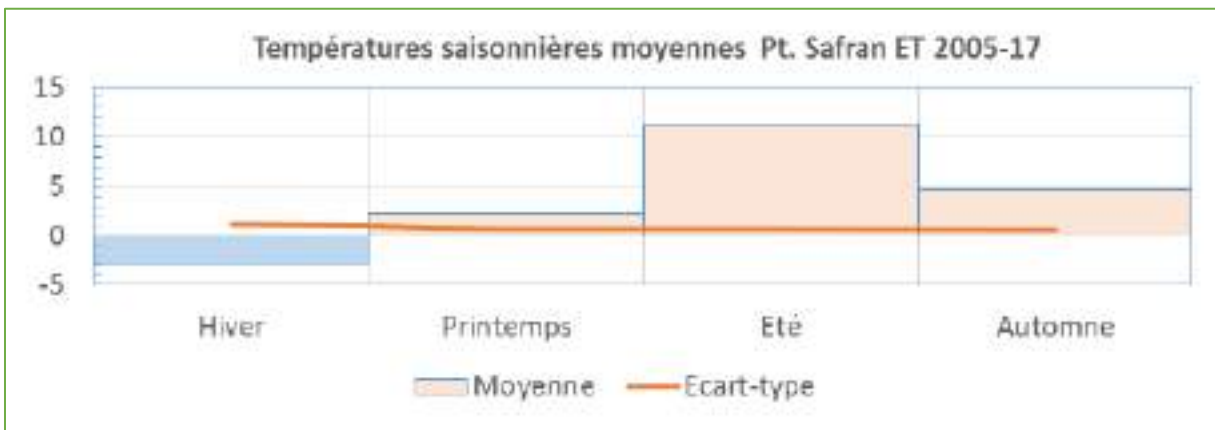


Figure 48 - Valeurs moyennes mensuelles sur 2005-2017 (histogramme) et écarts types correspondants (trait continu) pour la température TM (haut), les précipitations RR (milieu) et la hauteur de neige HNEIG (bas). Données du point SAFRAN le plus proche des Eaux To

Valeurs moyennes saisonnières – Données SAFRAN

Tableau 8 - Valeurs moyennes saisonnières et écart-types (entre parenthèses) pour la période 2005-2017

Variable	Hiver	Printemps	Eté	Automne
TM	-2.8	2.2	11.3	4.7
[°C]	(1.3)	(0.7)	(0.7)	(0.6)
RR	285	318	255	373
[mm]	(97)	(100)	(51)	(101)
HNEIG	68	46	0	5
[cm]	(24)	(24)	(0)	(3)



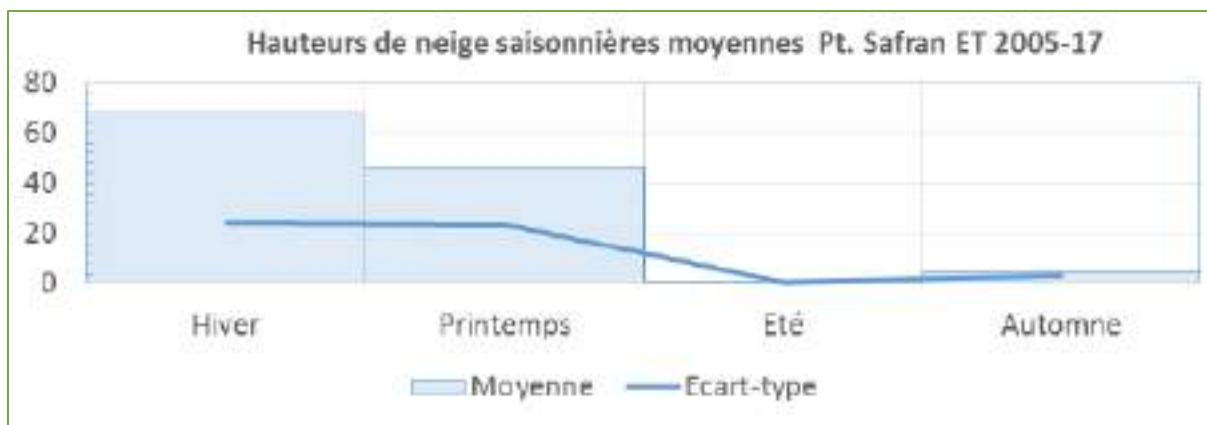


Figure 49 - Valeurs moyennes saisonnières sur 2005-2017 (histogramme) et écarts types correspondants (trait continu) pour la température TM (haut), les précipitations RR (milieu) et la hauteur de neige HNEIG (bas). Données du point SAFRAN le plus proche des Eaux

Variations intra-annuelles

Tableau 9 - Valeurs moyennes annuelles 2005-2017 et écarts-types correspondants

	Moyenne	Ecart Type
Température :	3.9°C	±0.7°C
Précipitations :	1231mm	±260mm
Hauteur neige :	29cm	±16cm

Tableau 10 - Valeurs moyennes annuelles et écarts à la moyenne 2005-2017. En gras : années extrêmes.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TM [°C] :	3.1	3.9	4.2	3.5	3.8	2.4	4.3	4.1	3.3	4.1	5.0	4.2	4.6
Ecart :	-0.8	-0.0	+0.4	-0.4	-0.1	-1.4	+0.4	+0.2	-0.6	+0.2	+1.1	+0.3	+0.7
RR [mm] :	976	1207	868	1632	1290	1381	1124	1305	1499	1526	984	1383	821
Ecart :	-255	-23	-369	+402	+59	+151	-106	+75	+269	+296	-246	+152	-410
HNEIG [cm] :	13	23	13	23	61	44	31	16	51	42	24	17	19
Ecart :	-16	-6	-16	-6	+32	+15	+2	-15	+22	+13	-5	-12	-10
HMax [cm] :	60	108	53	98	204	145	93	71	183	180	97	93	88



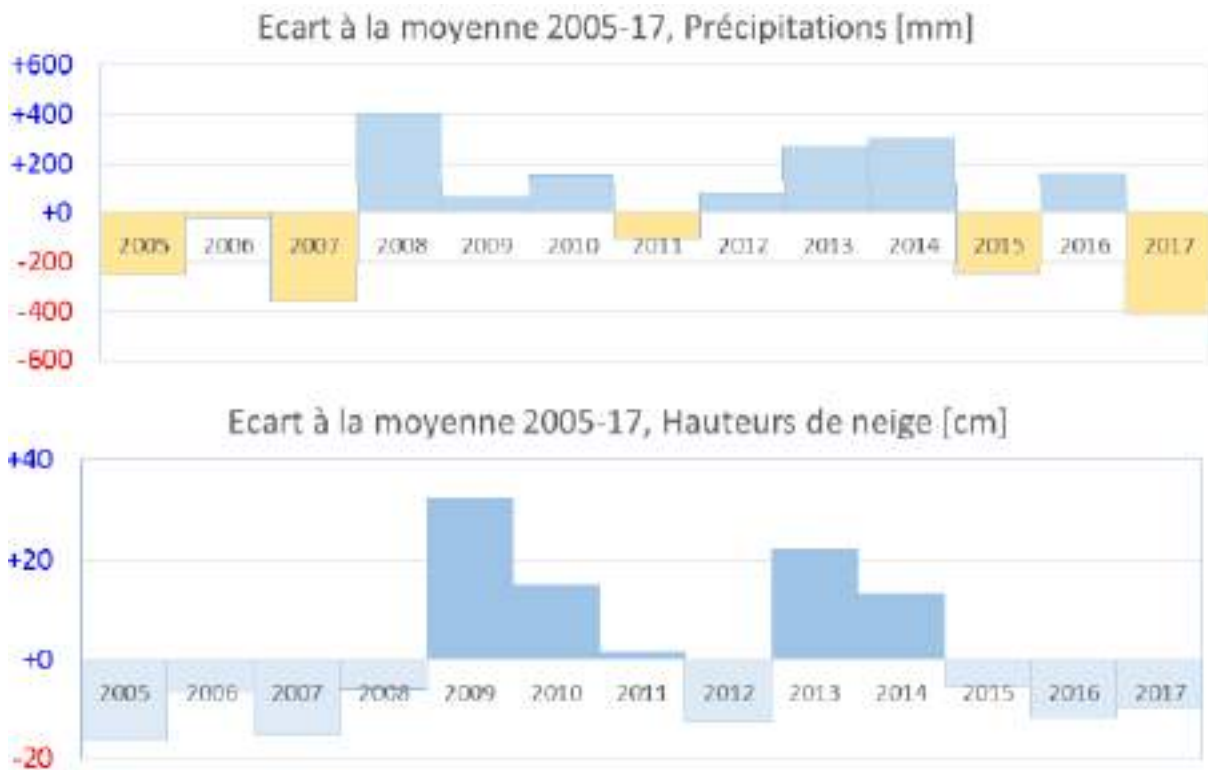


Figure 50 - Ecart à la moyenne 2005-2017 des valeurs moyennes annuelles de la température TM (haut), des précipitations RR (milieu) et de la hauteur de neige HNEIG (bas). Données du point SA-FRAN le plus proche des Eaux Tortes.

V.2.2.3.c Confrontation avec les observations sur site

Pour rappel, le 21 juillet 2017, un pluviomètre à auget basculant avec enregistreur (qui enregistre aussi la température de l'air) a été installé sur le site des Eaux Tortes. Il a été relevé une première fois le 13 octobre 2017 afin de vérifier sa fonctionnalité.

Un deuxième relevé a eu lieu en juin 2018 mais qui a malheureusement révélé un arrêt des prises de données en novembre 2017 suite au recouvrement du pluviomètre par la neige. Ce dernier n'a pas supporté les conditions climatiques hivernales et le support du pluviomètre a fini par ployer sous le poids de la neige rendant les données suivantes inexploitable. Malgré plusieurs tentatives, la réparation du pluviomètre n'a pas été possible.

Il s'agit donc du seul jeu de données météo de terrain dont nous disposons.

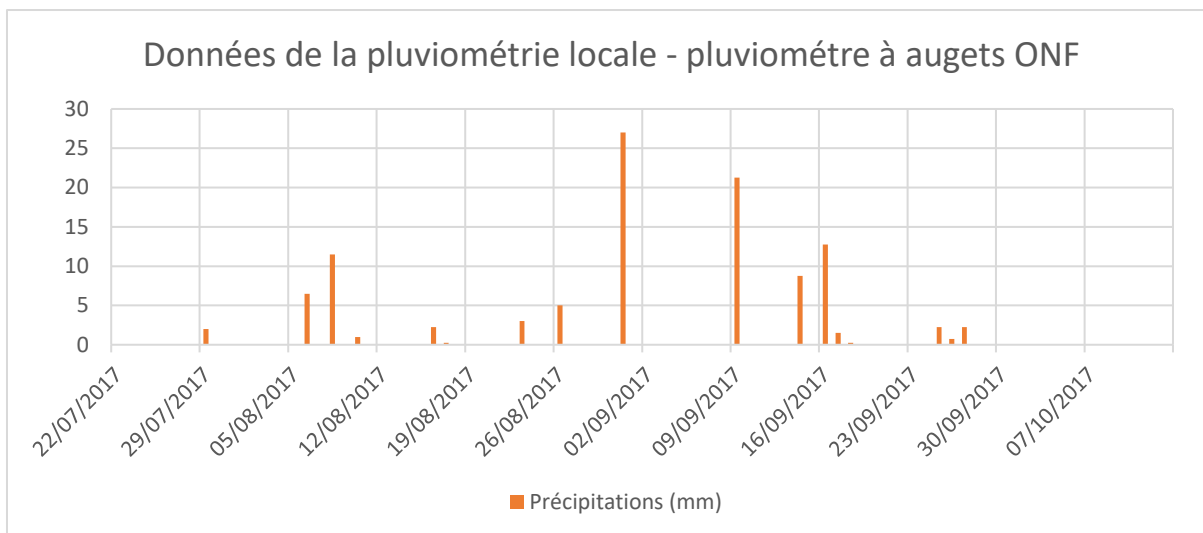


Figure 51 - Données pluviométriques de terrain disponibles (pluviomètre à auget ONF)

Nous avons comparé les cumuls de pluie ainsi obtenus aux mesures de 3 stations Météo-France environnantes ainsi qu'à la réanalyse SAFRAN.

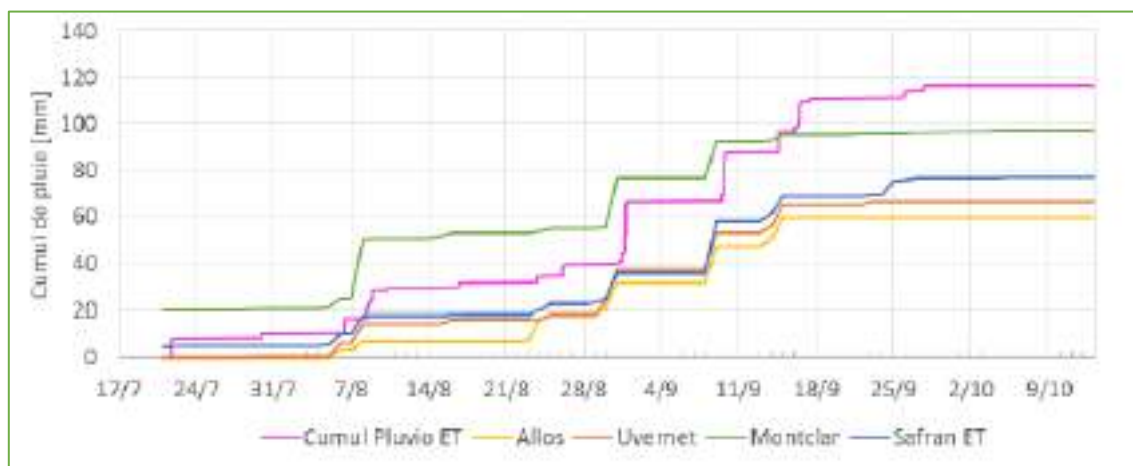


Figure 52 - Comparaison entre la pluie mesurée sur le pluviomètre des Eaux Tortes (Pluvio ET) depuis son installation par l'ONF le 21 juillet 2017, les signaux mesurés sur 3 stations Météo-France voisines sur la même période et la réanalyse SAFRAN au point le plu

On observe sur cette figure Figure 52 un bon synchronisme entre les différents signaux mesurés et simulés mais aussi une dispersion certaine entre les 5 valeurs finales du cumul qui sont échelonnées entre 60 et 120mm. Ceci n'est pas étonnant si l'on considère qu'une mesure de pluie est beaucoup plus « locale » qu'une mesure de température de l'air, par exemple et que, par conséquent, on peut avoir des différences significatives entre des pluviomètres proches ce que l'on observe aussi sur la Figure 13 ci-dessous tracée sur une période beaucoup plus longue.

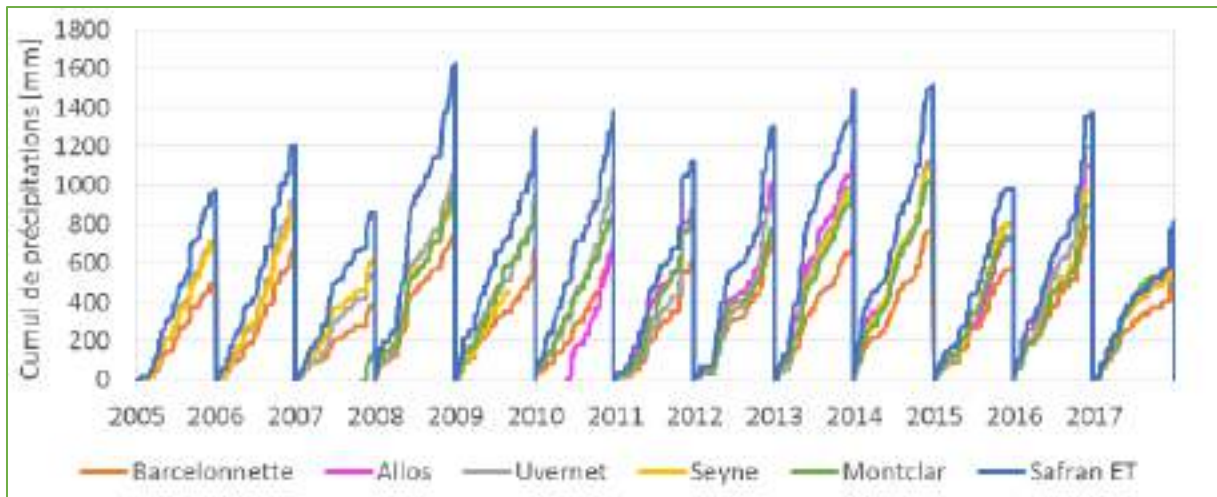


Figure 53 - Comparaison entre les cumuls de précipitations mesurés sur la période 2005-2017 par 5 stations Météo-France proches des Eaux Tortes et la réanalyse SAFRAN au point le plus proche du site. Fichier « RR_ET 2005-2017.xlsx »

Globalement, sur ces deux figuresFigure 52Figure 53, on n'observe pas plus de différences entre la mesure sur le terrain et la réanalyse qu'entre les mesures de différentes stations entre elles. Il importera d'évaluer sur une période plus longue quelle(s) est(sont) le – ou les – station(s) dont les mesures sont le plus en accord avec le pluviomètre des Eaux Tortes et/ou la réanalyse SAFRAN.

V.2.2.3.d Synthèse des données climatiques et pluviométriques

Tout d'abord, l'étude climatique aura permis d'identifier dans un rayon de 25 km autour des Eaux Tortes un certain nombre de stations du réseau Météo-France dont les données pourront être utiles à la compréhension de la climatologie de ce site. Il s'agit, par exemple, des stations Radome d'Allos ou de Montclar pour la pluviométrie ou de la station Nivôse de Restefond pour la nivologie.

Ensuite, on a pu tirer parti de la disponibilité d'une réanalyse SAFRAN sur un point très proche du site des Eaux Tortes pour esquisser une première analyse climatologique de ce site. On a donc maintenant une idée des valeurs journalières, mensuelles, saisonnières et annuelles des principaux paramètres climatiques d'intérêt (température de l'air, précipitations, hauteurs de neige) que l'on peut s'attendre à observer sur le site et de leur variabilité interannuelle.

Globalement, le climat des Eaux Tortes apparaît a priori comme typique de celui d'une zone de montagne des Alpes du Sud (climat méditerranéen modifié par l'altitude et la continentalité) se traduisant par des températures fraîches (3.9°C en moyenne sur l'année, plus de 11° en été) compte-tenu de l'altitude, une pluviométrie (1230 mm en moyenne par an) qui reste modérée (toujours compte-tenu de l'altitude) et une grande variabilité annuelle de la couverture neigeuse.

V.2.2.4. Données piézométriques

V.2.2.4.a Données générales

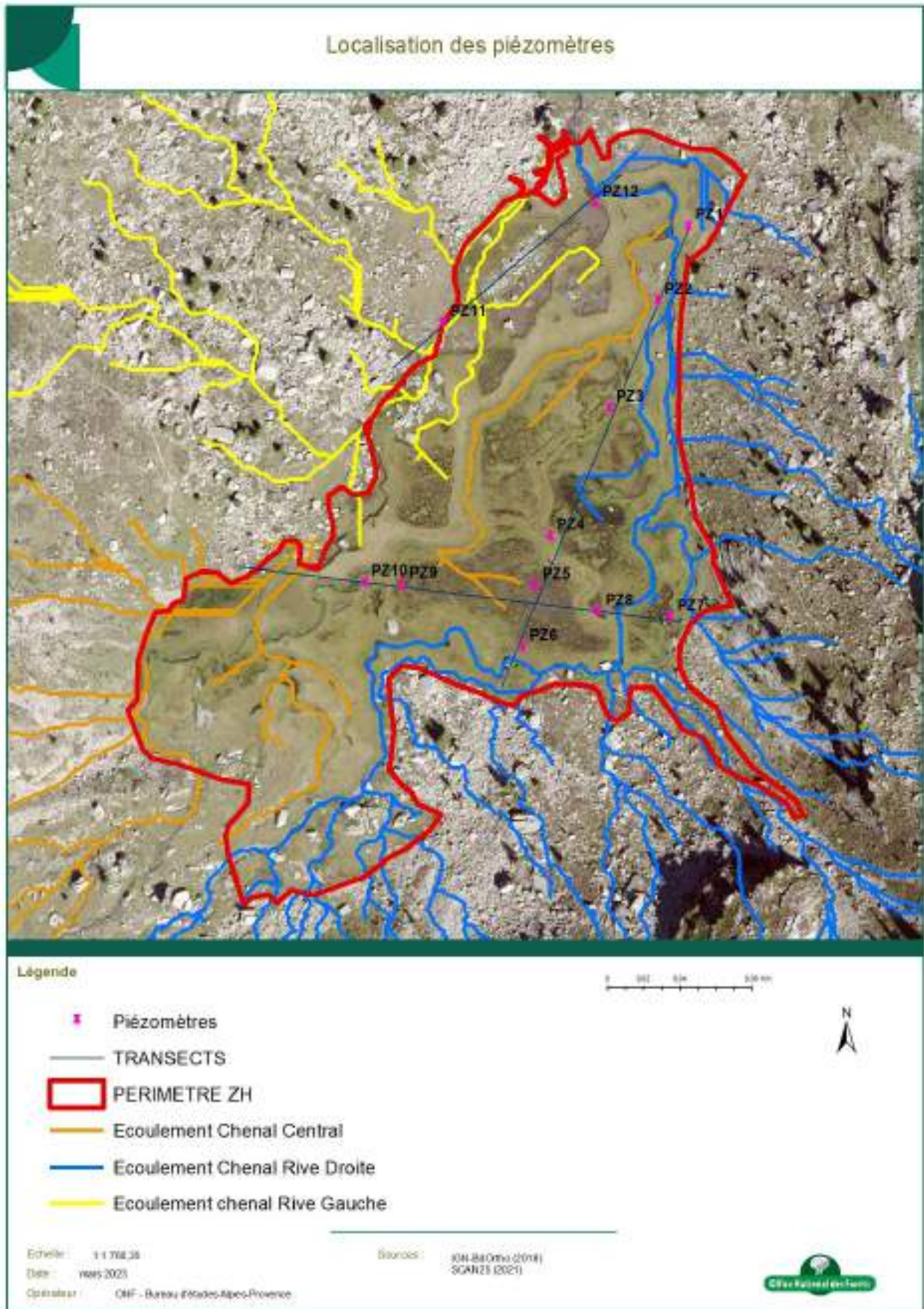
Au total 12 sondes ont été installées suivant trois transects le long des chenaux principaux (Cf. carte page suivante).

Les enregistrements ont été réalisés du 21 juillet 2017 au 30 mai 2022.

On notera que :

- Seules 9 sondes ont été fonctionnelles
- La période de juillet 2017 à mai 2018 n'a pas été prise en compte en raison d'un dysfonctionnement technique dont l'origine reste indéterminée en haute eaux (Sonde n°1).
- 2 piézomètres ont dû être déplacés car enlisés par la vase (mais données exploitables)
- 1 piézomètre a été volé
- 1 piézomètre sortie du tube en octobre 2021 (n°8) par suite d'un acte de vandalisme.
- 12 sondes installées suivant 3 transects suivant les 3 chenaux principaux

Pour rappel et d'après la méthode de la boîte à outils RhoMeo, les problèmes d'enregistrement des sondes correspondent à des plages de données (arrêt des piles, submersion prolongée...). Or l'absence de longues plages de données ne permet pas de calculer les indicateurs d'évolution des variations de la nappe notamment. En pratique, pour valider une série de données, il ne doit pas manquer plus de 10 % du nombre de valeurs possible dans l'année (soit plus de 328 valeurs journalières). C'est le cas des 8 sondes restantes qui ont donc pu être analysées.



V.2.2.4.b Fonctionnement général

Les courbes piézométriques présentées dans les pages suivantes montrent un fonctionnement cyclique de la nappe avec :

- 2 périodes de diminutions des niveaux d'eau :
 - De décembre à avril → gel/neige
 - De juillet à septembre → diminution estivale des précipitations

- 2 périodes d'augmentation des niveaux :
 - D'avril à juillet → fonte des neiges et précipitations
 - De septembre à décembre → précipitations plus importantes

Tous les piézomètres montrent des réactivités homogènes mais dans des proportions moins marquées en ce qui concerne le réseau de mares.

Par ailleurs, les températures observées en rive gauche sont légèrement supérieures confirmant le réseau théorique de surface obtenu via traitement du MNT (Modèle Numérique de Terrain).

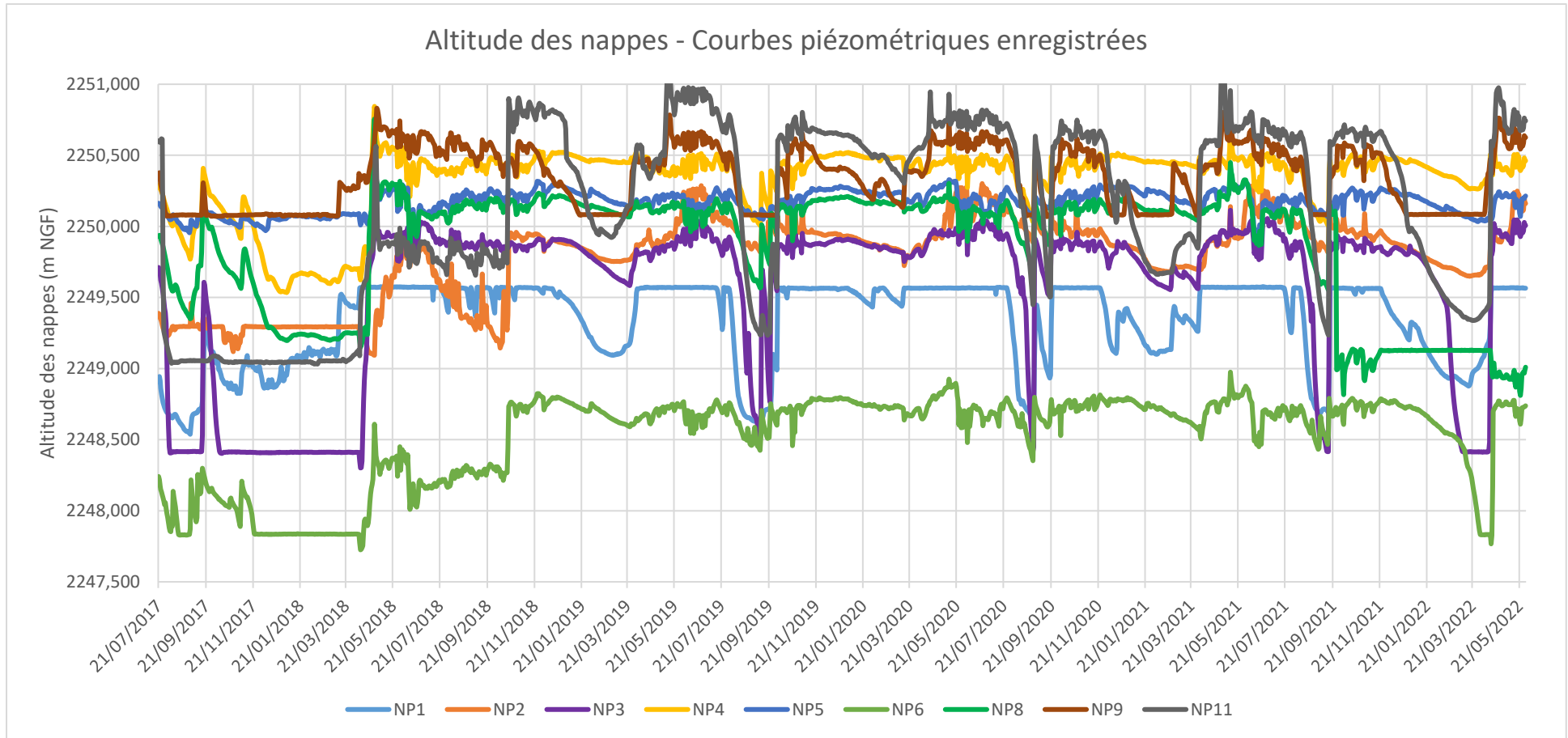


Figure 54 - Altitude des nappes - Courbes piézométriques enregistrées

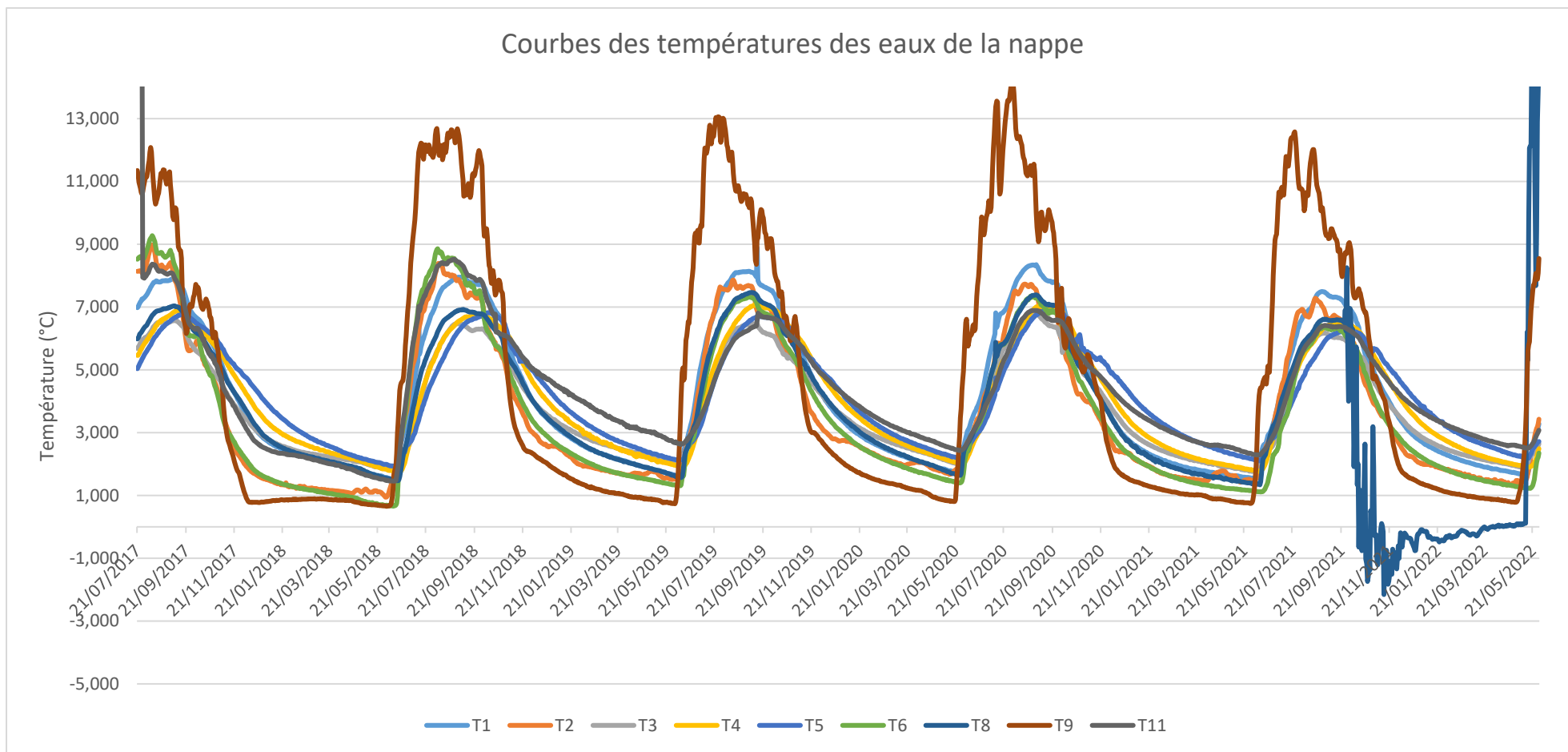


Figure 55 - Courbes des températures des eaux de la nappe

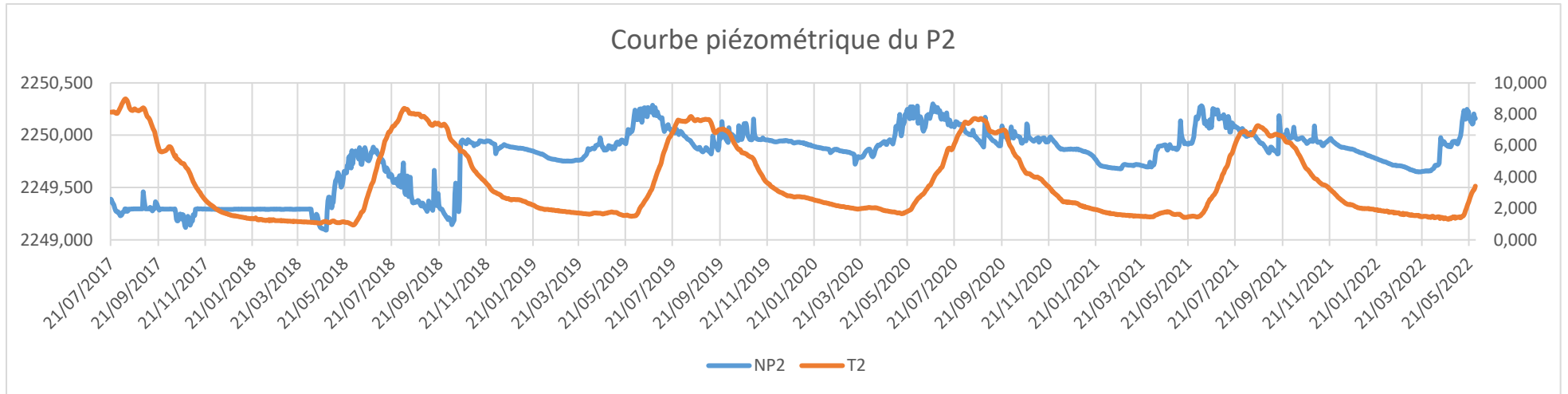


Figure 56 - Courbe piézométrique du P2

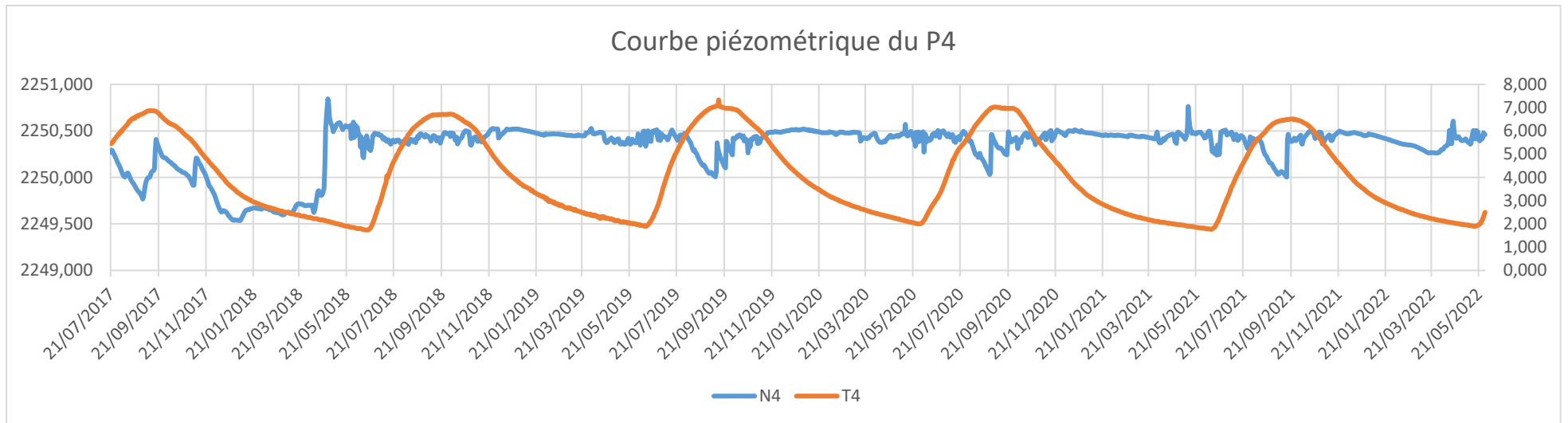


Figure 57 - Courbe piézométrique du P4

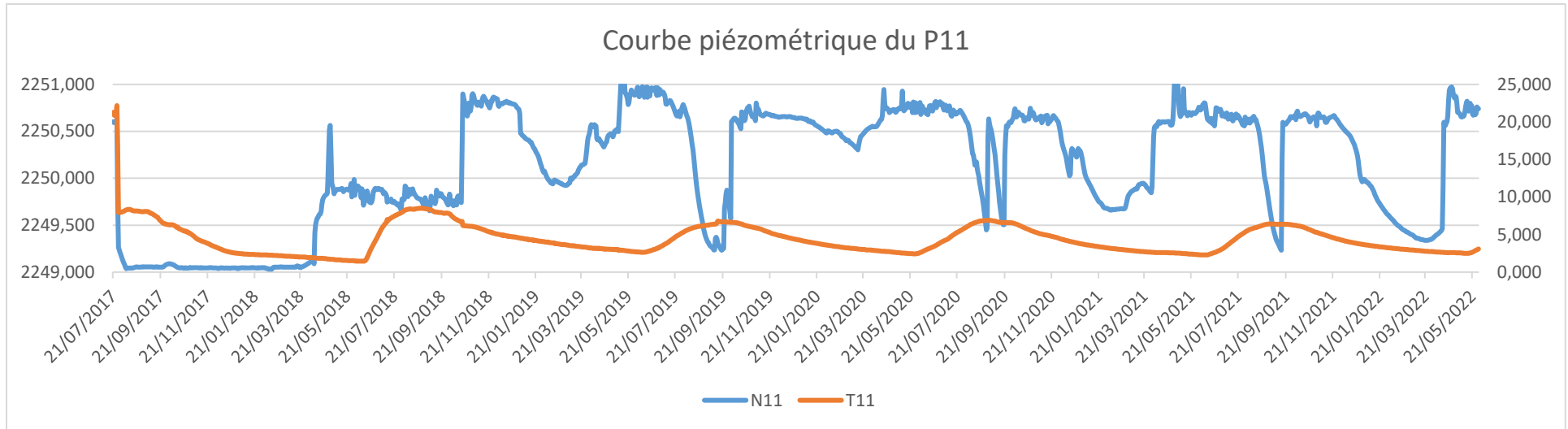


Figure 58 - Courbe piézométrique du P11

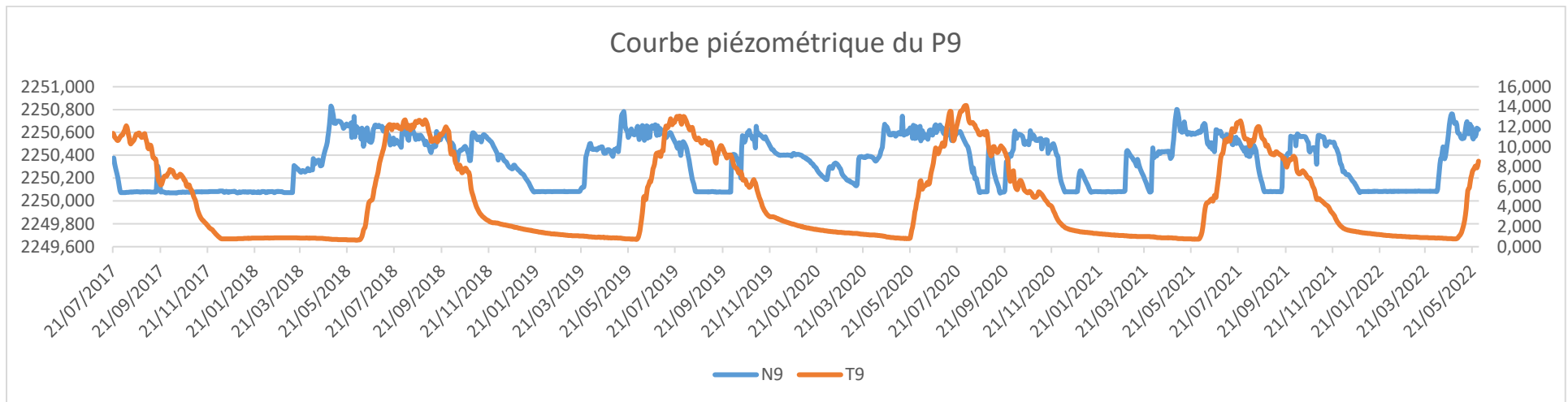


Figure 59 - Courbe piézométrique du P9

V.2.3. ANALYSE DE LA QUALITE DES EAUX

Pour vérifier la qualité des eaux et notamment les éventuelles pollutions aux micro plastique une analyse d'eau a été réalisée.

Cf. ANNEXE 6 hors pagination.

Aucune pollution de micro plastique n'est a déplorée puisque tous le paramètres restent sous les seuils de détection.

V.2.4. ÉTAT DES LIEUX DE LA VEGETATION

V.2.4.1. Les habitats naturels

La prospection de la zone humide a conduit à l'identification de huit habitats. Cf. ANNEXE 5 hors pagination.

V.2.4.1.a Communautés amphibies pérennes des eaux oligotrophes pauvres en calcaires

- **3130-1 Eaux stagnantes à végétation vivace oligotrophique à mésotrophique montagnarde à subalpine des régions alpines, des *Littoreletea uniflorae***

Habitat d'intérêt communautaire

Code Corine : 22.11 Plan d'eau libre oligotrophe à oligo-mésotrophe des lacs, lacs-mares et mares alpins et subalpins & Code Corine 22.3114 Herbiers lacustres enracinés flottants à Rubanier à feuilles étroites (*Sparganium angustifolium*) des petits lacs et lacs-mares à assèchement estival partiel.

Alliance et association : *Littorellion uniflorae* Koch 1926 ; *Callitriche palustris* - *Sparganietum angustifolii* Br.-Bl. 1919

Enraciné dans des fonds vaseux fins à organiques, ce type d'herbier colonise des eaux calmes et stagnantes oligotrophes à oligo-mésotrophes et constitue surtout en pleine période de végétation de longs et étroits rubans foliaires très caractéristiques, qui flottent en surface des mares. Totalement immergés en début de végétation, ces herbiers sont surtout constitués et dominés par *Sparganium angustifolium*, sont accompagnés de *Callitriche palustris*. Ils sont temporairement exondés voire plus ou moins complètement asséchés en fin d'été et inondés sous une faible profondeur d'eau le reste de l'année. En raison du climat frais de montagne limitant l'évapotranspiration, la période estivale d'émersion peut être assez longue (parfois plus d'un mois), dès lors que le substrat reste suffisamment humide notamment grâce aux pluies orageuses d'été.

Au niveau des berges peu profondes et au sein de la mare, on note la colonisation par *Carex nigra* qui forme des touradons amorçant le passage vers la magnocariçaie palustre d'atterrissement.

Espèces diagnostiques : *Callitriche palustris*, *Sparganium angustifolium*



Figure 60 - Herbiers enracinés flottants à Rubanier à feuilles étroites (*Sparganium angustifolium*), en arrière-groupement amphibie pionnier des sols hydromorphes acidiphiles, dominé par la Linaigrette de Scheuchzer (*Eriophorum scheuchzeri*) formant des nappes clairsemées et en ceinture, touradons à Laïche noire (*Carex nigra*).



Figure 61 - Herbiers à *Callitriche palustris*

- **3130 Nano-herbier vivace pionnier amphibie des grèves sablo-graveleuses et caillouteuses à Cresson d'Islande (*Rorippa islandica*) des lacs-mares temporairement exondés des étages montagnard et subalpin**

Habitat d'intérêt communautaire

Code Corine : 22.312 Groupements montagnards à alpin à *Rorippa islandica*

Alliance : *Littorellion uniflorae* Koch 1926 ; pas d'association identifiée

Petit herbier vivace prostré, plaqué au substrat, mesurant quelques centimètres de haut, généralement très clairsemé, caractérisé et dominé par le Cresson d'Islande (*Rorippa islandica*). Le cortège floristique associé se réduit à la présence d'individus disséminés d'espèces aptes à supporter des conditions hydrologiques très fluctuantes. Cette formation démarre son cycle de végétation en conditions immergées après la fonte des neiges. Elle se présente alors sous l'aspect d'un herbier clairsemé recouvert d'une nappe d'eau d'une dizaine de cm. Elle fructifie ensuite rapidement dès les premiers assèchs du début d'été. Légèrement plus tard, une végétation pionnière amphibie se

développe dominée par le Vulpin fauve (*Alopecurus aequalis*), associé parfois au Pâturin couché (*Poa supina*) et à la Véronique couchée (*Veronica serpyllifolia* subsp. *humifusa*).

Espèces diagnostiques : *Alopecurus aequalis*, *Poa supina*, *Rorippa islandica*, *Veronica serpyllifolia* subsp. *humifusa*.



Figure 62 - Mare asséchée gagnée par la formation à *Alopecurus aequalis* ; en arrière-plan gros touradons à *Carex nigra*

- **3260-4 Herbier aquatique et amphibie, enraciné et flottant des eaux oligo-mésotrophes à Renoncule déracinée (*Ranunculus trichophyllus* subsp. *eradicatus*) de mares et lacs-mares subalpins à alpins**

Natura 2000 : Habitat non spécifiquement décrit dans les Cahiers d'habitats, assimilable cependant aux communautés des cours d'eau faiblement rhéophiles oligo-mésotrophes à eutrophes du *Ranunculion aquatilis* décrites dans la fiche 3260-4.

Code Corine : 22.432 Groupements des bords de mares et lacs susceptibles de s'assécher durant l'été & 22.31 formations amphibies du *Littorelletalia uniflorae*

Alliance : *Ranunculion aquatilis*

Cet habitat est constitué par des herbiers aquatiques immergés et semi-flottants en nappe, au moins en début de période de végétation. Assez clairs à relativement denses, hauts de plusieurs dizaines de centimètres, ces herbiers sont caractérisés exclusivement par *Ranunculus trichophyllus* subsp. *eradicatus*. Faiblement enracinée sur les fonds lacustres, cette espèce développe un tapis végétatif souvent dense de feuilles fines immergées, affleurant à la surface lors de la baisse estivale du niveau d'eau. L'appareil végétatif assez fin et frêle, voire filiforme, peut atteindre plus d'un mètre de long et permet une adaptation importante aux fluctuations du niveau d'eau. La floraison se produit au milieu de l'été en surface juste au-dessus de l'eau (quelques centimètres). Si l'assèchement du plan d'eau se poursuit, ce type d'herbier peut se trouver alors totalement exondé et constitue un tapis disposé à plat sur la vase lacustre.

Espèces diagnostiques : *Ranunculus trichophyllus* subsp. *eradicatus*.

V.2.4.1.b Bas marais et magnocariçaies

- **Code Corine : 54.41 : Bas-marais acidiphile alpin pionnier des bords de mares et gouilles à Linaigrette de Scheuchzer (*Eriophorum scheuchzeri*)**

Alliance et association : *Eriophorion scheuchzeri* Hadac 1939 ; *Eriophoretum scheuchzeri* Rübél 1912

Il s'agit d'un groupement amphibie pionnier des sols hydromorphes acidiphiles, dominé par *Eriophorum scheuchzeri* formant des nappes clairsemées, monospécifique en conditions pionnières subaquatiques, accompagné de cypéracées lorsque la communauté est plus mature. Elle est développée au sein de quelques mares.



Figure 63 - Groupement amphibie pionnier des sols hydromorphes acidiphiles, dominé par la Linaigrette de Scheuchzer (*Eriophorum scheuchzeri*) formant des nappes clairsemées et touradons à Laïche noire (*Carex nigra*).

- **Code Corine : 54.42 ; Bas-marais acidiphile montagnard à subalpin à Laïche noire (*Carex nigra*) et/ou Laïche blanchâtre (*Carex canescens*)**

Alliance et association : Caricion fuscae Koch 1926 ; Caricetum curto - echinatae Vlieger 1937

Groupement des bas-marais acidophiles des étages montagnard supérieur et subalpin des dépressions et ceintures lacustres, sur substrat tourbeux à paratourbeux engorgé une grande partie de l'année.

Espèces diagnostiques : *Bartisia alpina*, *Carex canescens*, *Carex diandra*, *Carex nigra*, *Eriophorum polystachion*, *Potentilla erecta*, *Trichophorum cespitosum*, *Nardus stricta*, *Luzula sudetica*

Statut Non communautaire

- Variante à *Carex diandra*

Statut Non communautaire



Figure 64 - Bas-marais acidiphile à Laïche noire (*Carex nigra*) et Laïche blanchâtre (*Carex canescens*)

- **Code Corine (53.21) Magnocariçaiies à Laïches (*Carex nigra*) formant des touradons et des ceintures lacustres**

Alliance : Caricion fuscae

Il s'agit de peuplement de *Carex nigra* formant de grands touradons en bordure des mares, dans les mares et en bordure des ruisseaux. La hauteur de la nappe montre une fluctuation relativement importante, le sol à la base des touradons restant engorgé.

Il existe 2 modes de variations notables de *Carex nigra* en France :

- les plantes alticoles plus ou moins naines, souvent longuement rhizomateuses

- les plantes en touradons répandues dans l'Est, les Alpes, le Massif central... constituent en fait un écotype de *C. nigra* lié à des conditions stationnelles défavorables (*in* Flora Gallica)

A la base des touradons poussent des espèces hygrophiles et se développent, au fur et à mesure de l'exondation provoquée par le dépôt des feuilles des espèces mésohygrophiles qui, à terme, conduisent aux prairies humides décrites ci-dessous.

Statut Non communautaire

V.2.4.1.c Pelouses et prairies

- **Code Corine (37.3) Pelouse mésohygrophile acidiphile subalpine piétinée à Nard raide (*Nardus stricta*) et Laïche noire (*Carex nigra*)**

Unité intermédiaire entre le Nardion strictae et le Caricion fuscae, acidiphile, mésohygrophile, qui occupent les replats et dépressions humides dans les zones topographiquement supérieures par rapport aux bas-marais.

Le groupement est constitué par des espèces de bas-marais acide tolérant un léger assèchement (*Carex foetida*, *Carex nigra*, *Cerastium cerastoides*, *Trichophorum cespitosum*, *Veronica alpina*...) et espèces des pelouses subalpines acides (*Anthoxanthum alpinum*, *Carex sempervirens*, *Geum montanum*, *Hieracium lactucella*, *Leontodon autumnalis*, *Leontodon hispidus*, *Luzula sudetica*, *Poa alpina*, *Polygonum viviparum*, *Potentilla erecta* ...)

Non communautaire

- **Code Corine 37.21 Prairies humides des sols paratourbeux à Trolle**

Calthion palustris

Statut non communautaire

Il s'agit de prairies mésohygrophiles des sols paratourbeux acidiclives à acidiphiles, qui dérivent de magnocariçaies atterries ou qui colonisent les parties les moins mouillées des dépressions occupées par des bas-marais. Elles sont dominées par le Trolle d'Europe notamment.

Elles sont présentes dans les pentes faibles au niveau de suintements, à l'étage montagnard.

Espèces diagnostiques : *Aconitum lycoctonum*, *Gentiana lutea*, *Geranium sylvaticum*, *Imperatoria ostruthium*, *Rumex acetosa*, *Schedonorus arundinaceus*, *Taraxacum section Palustria*, *Trollius europaeus* ...



Figure 65 - Touradons à Laïche noire (*Carex nigra*) en arrière-plan et touradons exondés gagnés par les espèces de prairies humides riche en Trolle d'Europe (*Trollius europaeus*)

V.2.4.2. Flore

V.2.4.2.a Le cortège floristique rencontré

Le cortège floristique rencontré au niveau des espèces aquatiques et semi-aquatiques est caractérisé par des espèces pouvant subir une exondation estivale marquée.

Concernant les espèces de bas-marais et magnocariçaies, le cortège floristique rassemble des espèces adaptées à un niveau de nappe à fluctuation marquée comme *Eriophorum scheuchzeri* ou *Carex nigra* en touradons.

Les autres espèces végétales sont des espèces liées à des sols engorgés à humides.

V.2.4.2.b Les espèces patrimoniales rencontrées

On rencontre au sein de la zone humide deux espèces patrimoniales

- La Laïche blanchâtre (*Carex canescens* L.), connue seulement de 4 stations dans les Alpes-de-Haute-Provence. C'est une espèce mésohygrophile à hygrophile, acidophile, qui se plaît au sein des berges détrempées et sur les bords spongieux des ruisseaux des terrains cristallins.
- La Laïche à deux étamines ou Laïche à tiges arrondies (*Carex diandra* Schrank) connue seulement de 2 stations dans les Alpes-de-Haute-Provence, protégée au niveau régional. Cette dernière espèce mésocryophile, hygrophile, neutrophile à acidophile, caractérise en général les marais de transition ou tremblants, zones situées à l'interface entre milieux terrestres et aquatiques

V.2.4.3. Synthèse habitats et espèces

Les habitats et espèces floristiques inventoriés sur le site, quoique riches, ne sont pas des exceptions à l'échelle nationale ou même à l'échelle européenne. En revanche, le site se révèle particulièrement intéressant car il se situe en limite méridionale de l'aire d'observation de ces types d'habitats naturels. En outre, au vu de leur position biogéographique, ils sont donc particulièrement vulnérables aux évolutions climatiques.

Le diagnostic concernant les habitats et espèces inventoriés sur le site ne révèle pas la présence des habitats caractéristiques de tourbières de transition ou tremblantes. On note en effet l'absence de :

- Marais de transition des tremblants acidiphiles à Laîche renflée (*Carex rostrata*) avec tapis de Sphaignes
- Marais de transition des tremblants tourbeux basophiles à Laîche à épis velus (*Carex lasiocarpa*)
- Marais de transition basophile montagnard à subalpin à Scirpe linaigrette (*Trichophorum alpinum*)
- Végétation pionnière des gouilles sur tourbe alcaline à Laîche des bourbiers (*Carex limosa*)

Dans les mares et dépressions et le long des réseaux hydriques, les groupements impliqués sont liés à la présence d'une nappe fluctuante en fonction de la saison.

On y rencontre trois types d'herbiers à assèchement estival partiel.

Au sein des mares se développe un bas-marais amphibie pionnier dominé par *Eriophorum scheuchzeri* formant des nappes clairsemées.

En arrière de ces groupements aquatiques et semi-aquatiques, se développent des magnocariçaies à *Carex nigra* liées à la nappe fluctuante. Au fur et à mesure de leur exondation liée au dépôt des feuilles et racines sèches, le niveau s'élève et s'assèche et ce groupement évolue vers des prairies mésohygrophiles

Les bas-marais à *Carex nigra* implantés sur des sols engorgés réalisent quant à eux le contact entre les bas-marais à *Eriophorum scheuchzeri* et les pelouses chionophiles du Nardion strictae, et plus localement du *Salicion herbaceae*.

Concernant la flore, les espèces caractéristiques des tourbières de transition sont absentes à l'exception de *Carex diandra* dont la présence sur le site est relativement rare. Cette dernière espèce est souvent associée à des marais de transition faiblement détrempés.

En conséquence, nous nous trouvons en présence d'une zone humide dont les caractéristiques écologiques principales sont régies par la fluctuation de la nappe et son assèchement partiel au cours de l'été. Les habitats implantés sont tous caractéristiques de ce facteur écologique prépondérant.

A l'inverse, l'absence d'une nappe affleurante explique l'absence de véritables groupements associés aux marais de transition.

En bordure des ruisselets, où l'eau s'écoule en permanence, s'expriment des formations en touradons pouvant subir des variations de niveau hydrique et des bas-marais à sols engorgés quand les touradons sont absents et que les sols sont peu exondés.

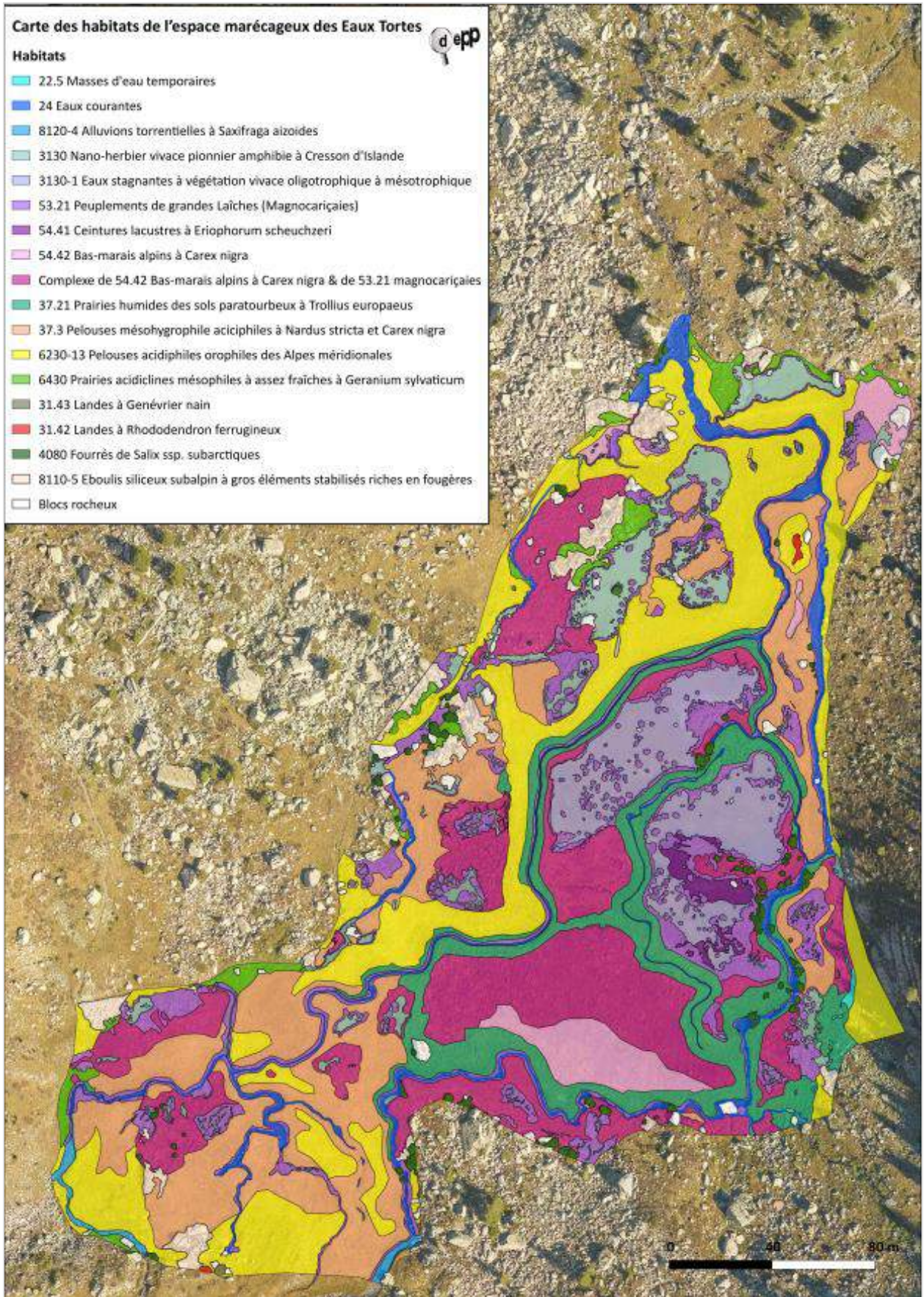


Figure 66 - Cartographie fine des habitats présents sur le site des Eaux Tortes (Foucaut 2017)

V.2.5. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT ACTUEL (PRESENT)

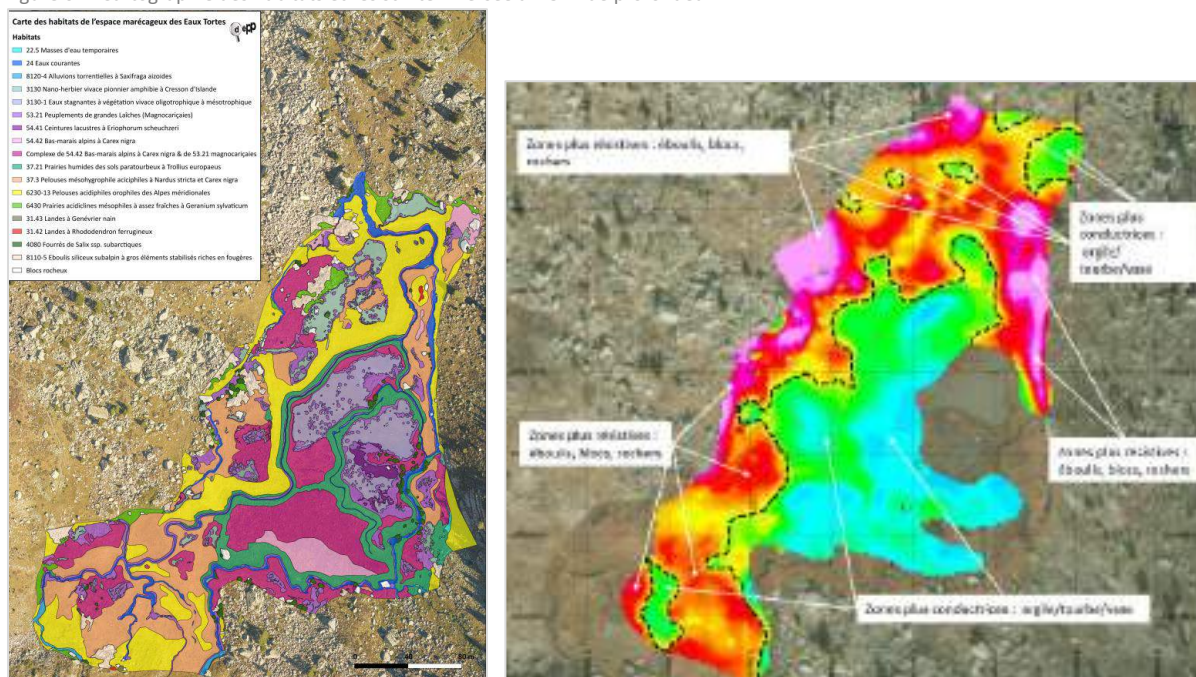
L'ensemble des approches menées pour qualifier l'état des Eaux Tortes converge et permet d'affirmer que les Eaux Tortes sont une zone humide contrainte (tomographie) avec une végétation caractéristique d'habitats présentant des gradients d'humidité variables et donc une diversité intéressante (Figure 67).

Par ailleurs les relevés phytosociologiques se recoupent avec les analyses palynologiques et on retrouve un cortège d'espèces similaires attestant d'une relative stabilité de l'écologie du site dans le temps.

Les analyses de l'alimentation montrent que la zone humide connaît actuellement des fluctuations sensibles de la nappe avec une dépendance aux eaux pluviales marquée et un rôle plus faible de l'alimentation glaciaire.

Cela interroge sur l'avenir des Eaux Tortes en cas de diminution des apports estivaux d'origine périglaciaire.

Figure 67 : Cartographie des habitats et résistivité inversée à 2.5 m de profondeur.



V.3. L'AVENIR DE LA ZONE HUMIDE DES EAUX TORTES ? (FUTUR)

V.3.1. METHODE DU MNHN : METHODE NATIONALE D'ÉVALUATION DES FONCTIONS DES ZONES HUMIDES

Fondamentalement, l'application de la méthode MNHN renseigne sur les fonctionnalités actuelles des Eaux Tortes. Cependant, face au changement climatique, ces fonctions peuvent être menacées dans le futur. Aussi il a été pris le parti de les caractériser dans le présent paragraphe.

V.3.1.1. Description du site et de son environnement

L'intensité des fonctions est dépendante des caractéristiques physiques, chimiques, et biologiques du milieu, de l'emplacement géographique de la zone humide dans son bassin versant, du paysage et de l'occupation des sols à proximité ainsi que du type de système hydro-géomorphologique.

Pour prendre en compte ces différentes caractéristiques, l'évaluation des fonctionnalités de la zone humide a nécessité le découpage de son environnement en plusieurs unités spatiales, à savoir :

- Le périmètre direct du site de la zone humide ;
- La zone contributive ou bassin-versant ;
- La zone tampon ;
- Le paysage environnant.

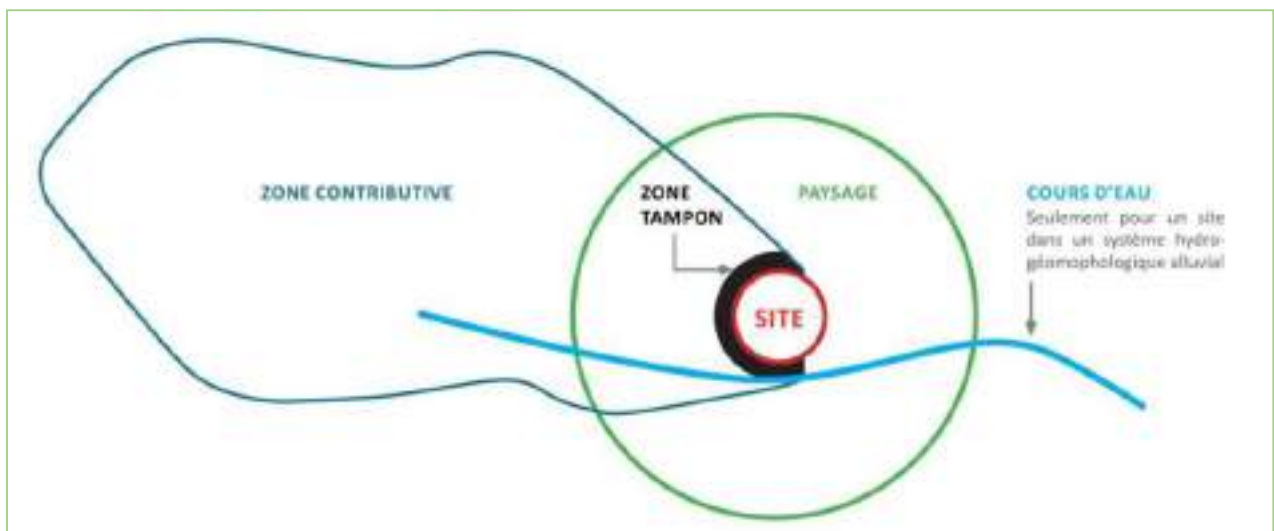


Figure 68 - Zones prises en compte pour évaluer les fonctions d'une zone humide (MNHN, 2016)

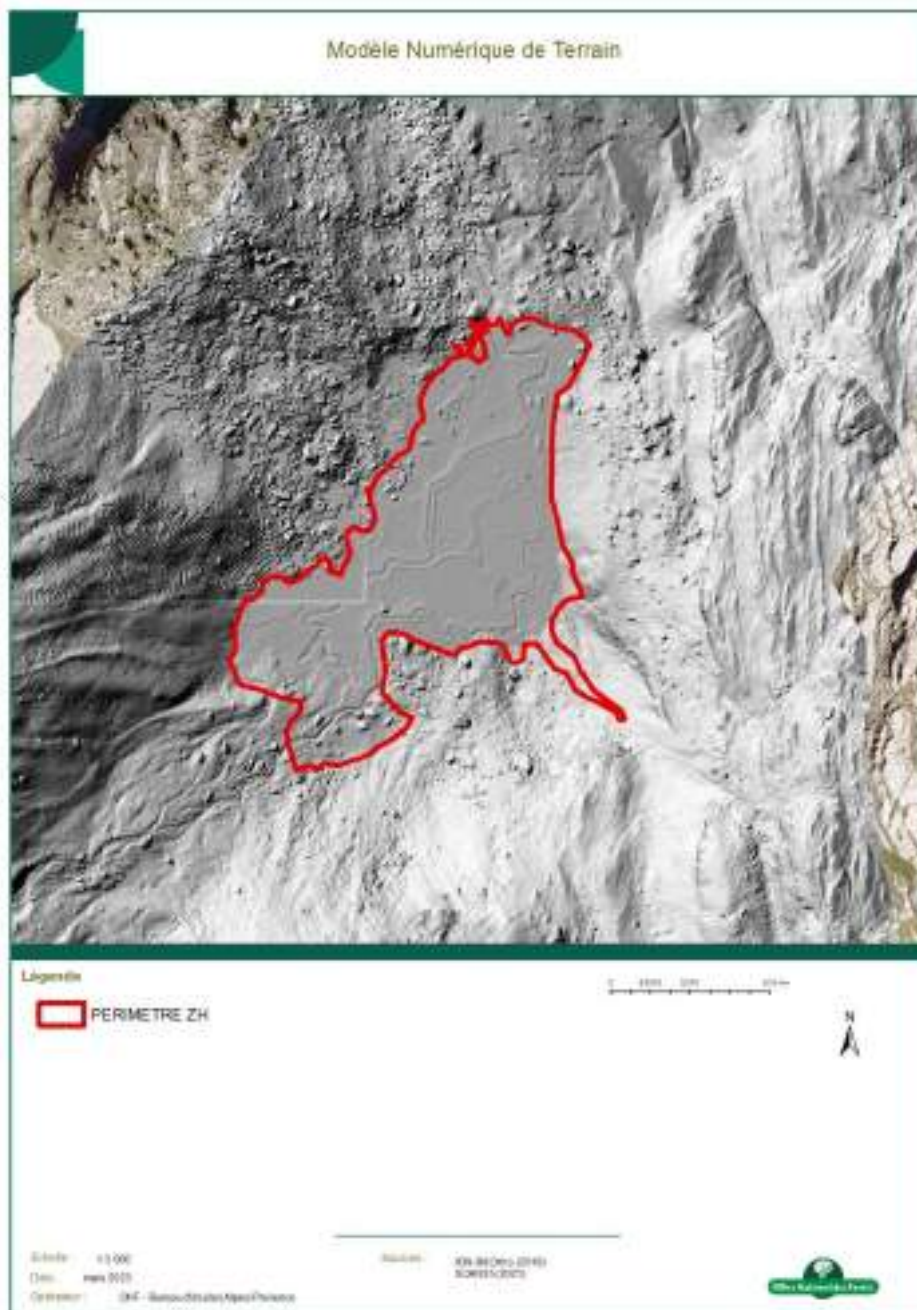
⇔ L'ensemble de ces unités spatiales et leurs délimitations a été déterminé selon le guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides du MNHN

V.3.1.1.a Délimitation de la zone humide

Le périmètre de la zone humide retenue couvre une surface de 7 ha.

L'occupation du sol par les habitats au sein de la zone d'étude est basée sur la cartographie réalisée dans le cadre de cette étude et appuyée par des inventaires phytosociologiques.

À noter que les habitats EUNIS de type C (Eaux libres) ne sont pas pris en compte dans cette méthodologie. Ces habitats sont pris en compte dans les indicateurs en tant que système fluvial associé.



V.3.1.1.b Le système fluvial associé

La zone d'étude est traversée par un enchevêtrement de chenaux bien visibles sur le MNT (Cf. Paragraphe IV.3.2).

V.3.1.1.a La zone contributive ou bassin-versant

La zone contributive, ou bassin-versant, correspond à la convergence des flux hydro-sédimentaires, biogéochimiques et biologiques vers la zone étudiée (flux hydrologiques superficiels et souterrains).

Conformément au guide de la méthode du MNHN, la zone contributive de la zone d'étude a été définie grâce à la technologie LIDAR et l'analyse du MNT sous le système d'information géographique (SIG) Arcgis.

La superficie de la zone contributive retenue s'élève à environ 322 ha.

Les surfaces cultivées, construites et les surfaces d'infrastructures sont absentes de la zone contributive.

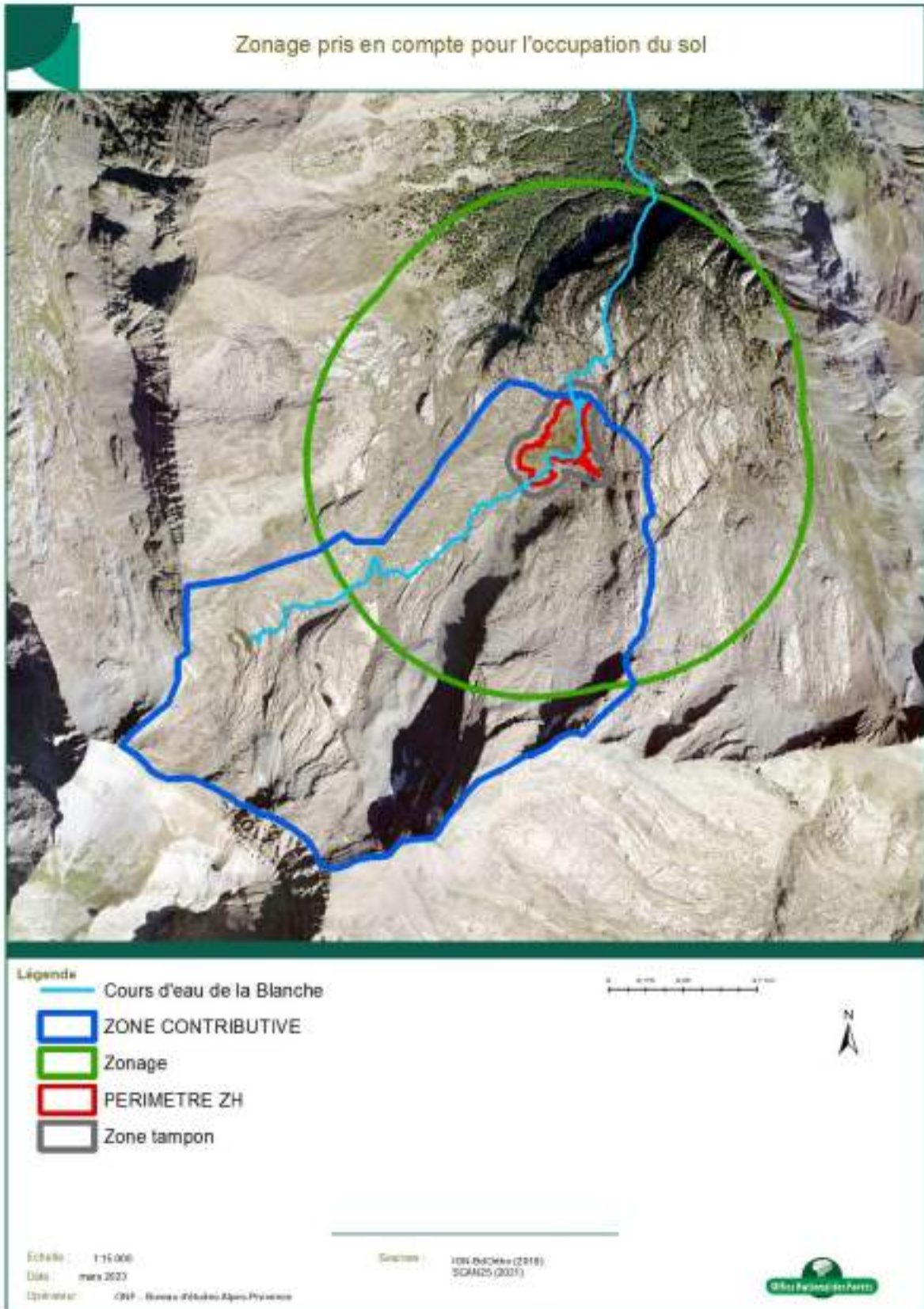
Cf. Carte page suivante.

V.3.1.1.b La zone tampon

La zone tampon correspond à un secteur à une distance de 50 m autour de la zone d'étude et peut jouer le rôle de filtre entre la zone contributive et la zone humide étudiée.

Dans le cas de cette étude, la zone tampon couvre une surface de 7.57 ha. 100% de cette surface sont occupés par un couvert végétal permanent.

Cf. Carte page suivante.



V.3.1.1.c Le paysage

Il existe plusieurs composantes possibles à prendre en compte pour définir la notion de « paysage ». Dans cette étude, la définition retenue est celle du guide MNHN qui propose une définition synthétique regroupant les différentes composantes d'un paysage. En plus de l'aspect visuel, un paysage comprend « les flux d'individus qui ont lieu entre le site et l'extérieur, avec une influence potentiellement importante sur la fonction d'accomplissement du cycle biologique des espèces ». Cette définition intègre donc la notion d'écologie du paysage, c'est-à-dire l'ensemble des interactions dans les écosystèmes.











Le périmètre du paysage de la zone humide des Eaux Tortes a donc été déterminé en prenant en compte l'aspect visuel et écologique du paysage.

La partie aval de la zone humide n'étant que peu visible du fait de la topographie, seuls les habitats situés dans un rayon de 500 mètres à l'aval ont été considérés afin d'intégrer les flux d'espèces possibles de cette zone. Pour la partie amont de la zone humide qui est beaucoup plus visible, un rayon plus large a été retenu (environ 1 200 mètres) pour l'aspect visuel du paysage (voir zonage sur la carte précédente).

La superficie du paysage est d'environ 361 ha.

Les habitats inclus dans le périmètre du paysage ont pu être identifiés selon la nomenclature CORINE Biotope et EUNIS. Les habitats EUNIS sont reconnus au niveau européen et cette nomenclature a donc été retenue par le guide du MNHN. La proportion du paysage occupée par les différents habitats EUNIS niveau 1 a pu être déterminée par cartographie. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 - Type d'habitat EUNIS de niveau 1 présents au sein du paysage

Code EUNIS Niveau 1			Proportion du paysage occupée	
	A	Habitats marins	0	%
	B	Habitats côtiers	0	%
	C	Eaux de surface continentales	0.2	%
	D	Tourbières hautes et bas-marais	1.9	%
	E	Prairies et terrains dominés par des espèces non graminoides, des mousses ou des lichens	15.1	%
	F	Landes, fourrés et toundras	0.1	%
	G	Bois, forêts et autres habitats boisés	4.6	%
	H	Habitats continentaux sans végétation ou à végétation clairsemée	82.5	%
	I	Habitats agricoles, horticoles et domestiques régulièrement ou récemment cultivés	0	%
	J	Zones bâties, sites industriels et autres habitats artificiels	0	%
			100.0	%

A noter que l'objectif de ce tableau n'est pas de recenser précisément l'occupation du sol sur SIG mais d'estimer la proportion de chaque habitat EUNIS niveau 1 pour le calcul des indicateurs de fonctionnalité écologique.

Aucun aménagement ou infrastructure n'est présent dans le paysage

Cf. Carte page précédente.

V.3.1.2. Fonctions et sous-fonctions prises en compte

V.3.1.2.a Fonctionnalité hydrologique

La fonction hydrologique est découpée en quatre sous-fonctions à savoir :

- La recharge de la nappe ;
- Le ralentissement des écoulements et ruissèlements ;
- La rétention des sédiments ;
- Le contrôle des risques et des inondations.

Vue la typologie des Eaux Tortes, la sous-fonction « risque et inondations » n’a pas été retenue. Le tableau ci-après résume en colonne de droite les valeurs des indicateurs.

Fonction hydrologique		
Recharge des nappes, ralentissement des écoulements, rétention des sédiments		
Zone contributive	Surfaces construites	0
	Surfaces enherbées	1
	Surfaces cultivées	0
Paysage	Rareté des petites infrastructures	1
	Rareté des grandes infrastructures	1
Cours d'eau	Sinuosité du cours d'eau	-
	Proximité du cours d'eau	-
Site	Végétalisation du site	0.85
	Dévégétalisation de la zone tampon	0
	Rugosité du couvert végétal	-
	Rareté des rigoles	1
	Rareté des fossés	1
	Artificialisation des habitats	1
	Matière organique en surface	0.9
Texture en surface	0.9	

Figure 69 : Caractérisation de la fonctionnalité hydrologique

V.3.1.2.b Fonctionnalités biochimiques

Cette fonctionnalité recoupe les sous-fonctions de :

- Dénitrification des nitrates
- Assimilation de l'azote
- Adsorption et précipitation du phosphore
- Séquestration du carbone

Fonction biogéochimique		
Adsorption, précipitation du phosphore et Assimilation végétales des ortho phosphates, Assimilation végétale de l'azote, Dénitrification des nitrates		
Zone contributive et Paysage	Surfaces cultivées	0
	Surfaces enherbées	1
	Surfaces construites	1
	Rareté des petites infrastructures	1
	Rareté des grandes infrastructures	1
	Dévégétalisation de la zone tampon	0
Site	Végétalisation du site	0.85
	Couvert végétal 1	0.55
	Rugosité du couvert végétal	-
	Rareté des rigoles	1
	Rareté des fossés	1
	Végétalisation des fossés/drains/adous	0
	Rareté du ravinement	1
	Matière organique en surface	0.9
	Texture en surface 2	0.9
Texture en profondeur	0.8	

Figure 70 : Caractérisation de la fonctionnalité biogéochimique

V.3.1.2.c Fonctionnalités écologiques

Les sous-fonctions retenues pour caractériser cette fonctionnalité sont :

- La sous fonction « support des habitats »
- La connectivité des corridors écologiques

Fonction écologique		
Support des habitats		
Paysage	Richesse des grands habitats	1
	Corridors boisés	-
	Corridors aquatiques permanents	0.81
	Corridors aquatiques temporaires	0.92
	Rareté des grandes infrastructures de transport	1
	Rareté des petites infrastructures de transport	1
Site	Richesse des habitats	1
	Equipartition des grands habitats	0.71
	Rareté des lisières	1
	Rareté de l'artificialisation des habitats	0.9
	Rareté des invasions biologiques	1

Figure 71 : Caractérisation de la fonctionnalité écologique

V.3.1.3. Synthèse de la méthode MNHN

L'application de la méthode MNHN conduit à des indicateurs en très bon état pour l'ensemble des sous-fonctions.

On notera cependant que certains indicateurs ont été jugés non pertinents au regard des spécificités des Eaux Tortes et en conséquence n'ont pas été calculés. Il s'agit de :

- Occupation zone tampon (couvert végétal permanent)
- Corridor boisé
- Indicateurs relatifs au cours d'eau (de par la configuration des Eaux Tortes)
- Infrastructures

Par ailleurs, utiliser cette méthode dans le temps pour suivre l'évolution de l'état des fonctionnalités n'apparaît pas pertinent puisque l'ensemble des indicateurs sont en très bon état sans que des pressions ou menaces immédiates puissent remettre en cause un des indicateurs.

V.3.3. IDENTIFICATION DES MENACES ET ENJEUX INHERENTS A LA ZONE HUMIDE

V.3.3.1. Évolution de la nappe

Pour mémoire, les paragraphes précédents ont mis en exergue que la zone humide des Eaux Tortes est, contrairement aux hypothèses initiales, un milieu très jeune et qui n'est pas d'origine lacustre.

Par ailleurs, ces milieux restent dépendants de l'alimentation en eau qu'elle soit météoritiques et/ou provenant du système glaciaire et périglaciaire.

Aussi, les milieux restent très sensibles aux effets du changement climatique.

Pour caractériser les tendances de l'alimentation en eau de la zone humide, il a été appliqué la méthode RhoMeo sur l'ensemble du jeu de données collecté (années hydrologiques (sept - août) : 2018-2019 ; 2019-2020 ; 2020-2021 ; 2021-2022.) afin de déterminer les valeurs statistiques de la distribution de niveaux de la nappe et construire des indicateurs des tendances d'évolution (régressions linéaires des niveaux médians afin de caractériser des tendances).

Les résultats sont reproduits ci-après.

Figure 72 : Tendances d'évolution de la nappe en m NGF sur les piézomètres P2 et P3 (à gauche, boîte à moustache par année)

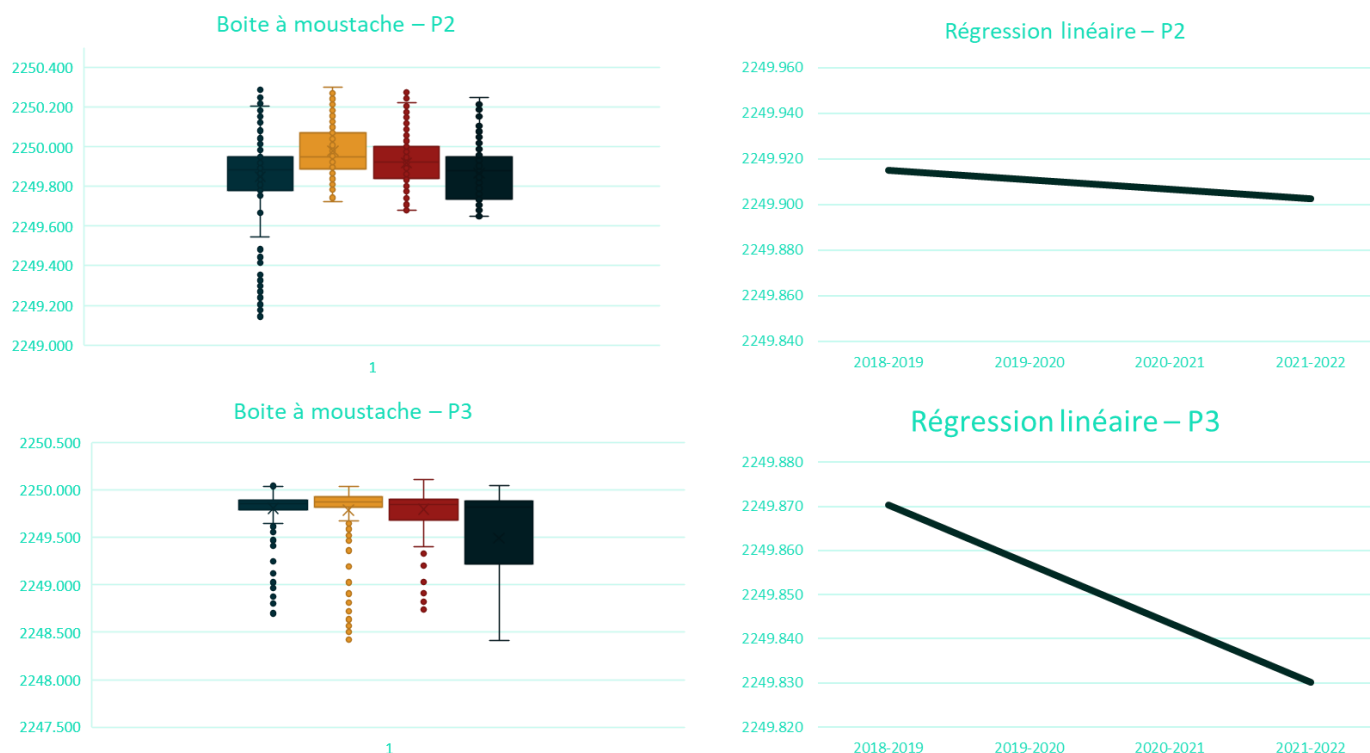
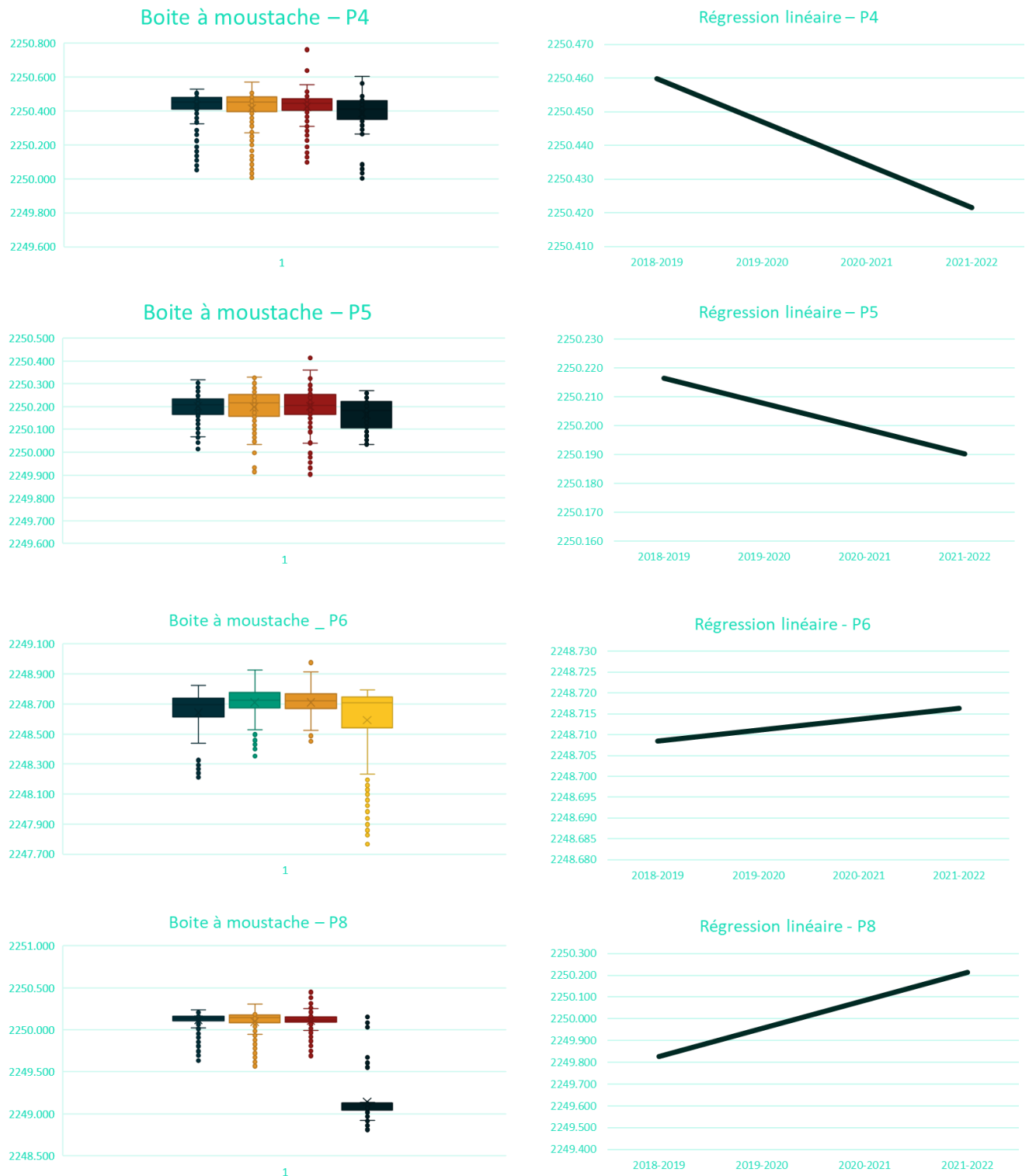


Figure 73 : Tendances d'évolution de la nappe pour les piézomètres P4, P5, P6 et P8



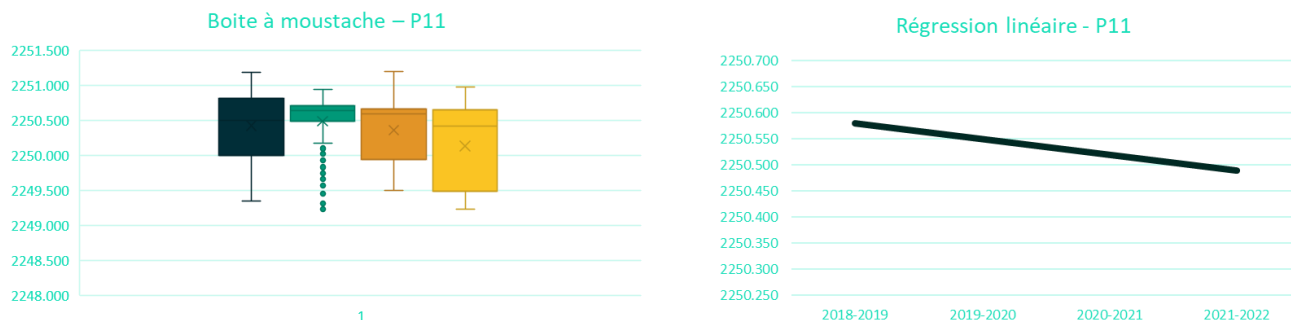


Figure 74 : Tendances d'évolution de la nappe pour le piézomètre P11

Ces analyses avec régressions linéaires montrent une tendance à la baisse qu'il faut relativiser puisque :

- L'analyse n'a pu être réalisée que sur 4 ans là où la méthode en propose 5.
- Certaines données n'ont pas pu être exploitées (Niveau d'eau sous les sondes en 2022, pertes de données, ...)
- 2 piézomètres montrent une tendance à la hausse

Quoique les effets du changement climatiques soient incertains quant à la pluviométrie (Intensité possiblement plus forte avec des effet estivaux plus marqués ?), l'augmentation des températures et de l'évapotranspiration sont des menaces directes pour le glacier. A termes, on peut donc craindre une modification de l'alimentation des Eaux Tortes avec une disparition du glacier et de son alimentation et donc une dépendance plus forte aux eaux pluviales.

V.3.3.2. Évolution des milieux naturels

Les habitats en présence ont la capacité d'accueillir des espèces aquatiques, semi-aquatiques et terrestres susceptibles de subir des exondations plus ou moins prolongées. La diversité des mares par exemple et leur assèchement décalé au cours de la saison (entre l'aval de la zone d'étude et l'amont) permet aux groupements de se succéder, aux espèces de se succéder dans le temps, et constitue un élément favorable à l'augmentation de la biodiversité.



Figure 75 - Développement successif des groupements en fonction de la profondeur de la nappe et de l'assèchement progressif de la nappe : herbiers à *Callitriche palustris* puis herbiers à *Sparganium angustifolium* puis groupement amphibie à *Eriophorum scheuchzeri* et touradons à *Carex nigra*. La plage vaseuse quelques jours après son assèchement sera gagnée par *Alopecurus aequalis*

Une espèce toutefois risque de disparaître ou voir ses populations se réduire. Il s'agit de *Carex diandra* qui est lié normalement à des habitats à nappe d'eau stagnante permanente. Si certaines bordures à ruisselets à nappe d'eau circulante peuvent permettre son accueil, ils ne constituent pas un habitat optimal.



Figure 76 - Laïche à deux étamines ou Laïche à tiges arrondies (*Carex diandra* Schrank)

V.3.3.3. Fréquentation touristique

Au-delà des menaces inhérentes au changement climatique et à la pérennité des alimentations des Eaux Tortes, le site subit une pression inhérente à la fréquentation.

La fréquentation sur site est évidemment à relativiser et ne peut être comparé à des sites comme Allos mais la sensibilité des milieux est telle que le piétinement impacte directement la zone humide (sentes, pique-nique dans la zone humide, ...)

Aussi, il est important de prendre en compte cette pression dans les préconisations de gestion qui seront mises en œuvre pour préserver le site.

V.3.3.4. Synthèse de l'avenir des Eaux Tortes (Futur)

Les Eaux Tortes constitue un site témoin du devenir de certaines zones humides, tourbières d'altitude dans un contexte de changement climatique. Comme tous les milieux fragiles, la fréquentation est une pression sur le site à prendre en compte au titre de la gestion.

V.3.5. PRECONISATIONS DE GESTION

Les premières analyses du fonctionnement actuel des Eaux Tortes montrent une tendance à la baisse des niveaux de la nappe. Cette première analyse ne prenant en compte que 4 ans, il est prématuré d'en conclure une tendance réelle et durable.

Aussi, il semble pertinent de suivre les piézomètres dans le temps afin d'affirmer ou infirmer la tendance observée ici. Cela est à corrélérer à des relevés phytosociologiques pour caractériser l'évolution des habitats à moyen long termes.

Dans le cadre des inventaires botaniques, le suivi de *Carex diandra* est un bon indicateur de par sa dépendance à la permanence de la nappe.

Ce suivi devrait être corrélé à des données météo et en particulier aux données SAFRAN pour prendre en compte les précipitations.

Pour affiner encore les niveaux de compréhension des menaces pesant sur le site, une étude plus poussée des glaciers rocheux permettrait d'en comprendre l'évolution en lien avec l'alimentation des Eaux Tortes car l'alimentation périglaciaire semble déjà avoir un rôle secondaire qui devrait s'amenuiser encore avec le changement climatique.

Enfin, la fréquentation constituant une menace pour le site il est primordial d'intégrer des préconisations de sensibilisation du public aux enjeux inhérents aux Eaux Tortes.

V.3.5.1.a Mesures de suivi

- ❖ Poursuite des suivis piézométriques avec relevés annuels et analyses (2 sondes piézométriques) ;
- ❖ Dans la mesure du possible, corrélation des données piézométriques avec les données SAFRAN de Météo-France ;
- ❖ Réalisation d'inventaires phytosociologiques en lien pour le caractère intégrateur de l'évolution du milieu et de son alimentation hydrique, avec les données piézométriques et météorologiques.
- ❖ Suivi des populations de *Carex diandra* en lien avec leur dépendance à des nappes d'eau permanentes

V.3.5.1.b Mesures d'approfondissement des connaissances

- ❖ Estimation des réserves de glace encore présentes au niveau du système glaciaire
- ❖ Suivi des débits du Grand Riou de la Blanche à mettre en corrélation avec la météorologie et piézométrie

V.3.5.1.c Mesures de sensibilisation

- ❖ Panneaux explicatifs sur site et maraudages pour sensibiliser le public aux enjeux du site, voire mettre en place des balisages et mises en défens renforcés.

Une partie de ces propositions de gestion peuvent s'intégrer pleinement dans la gestion conservatoire au titre de la réserve biologique du Laverq (gestion ONF) qui, même si elle concerne une entité géographique beaucoup plus grande et donc des enjeux élargis, comprend la zone humide des Eaux Tortes.

De même, l'Espace Naturel Sensible ou N2000 peuvent avoir vocation à porter une part des actions dans le cadre des politiques portées par le Département ou N2000.

Cependant, on notera que les suivis SAFRAN et le suivi du glacier font appels à des compétences externes qui ne peuvent être assumées par l'ONF.

VI. CONCLUSIONS ET PROSPECTIVES

Les analyses palynologiques et datations au carbone 14 ont permis d'infirmer l'hypothèse d'un ancien lac glaciaire à l'origine des Eaux Tortes. En fait, les Eaux Tortes sont un site relativement jeune d'origine inconnue.

Actuellement, les Eaux Tortes sont un site contraint (Cf. étude tomographique) qui a manifestement connu une certaine stabilité (Comparaison des données phytosociologiques et palynologiques) avec une diversité d'habitat intéressante caractéristique de fluctuations marquées de la nappe.

Ces résultats ainsi que les suivis piézométriques montrent que les Eaux Tortes dépendent principalement des eaux pluviales et de moins en moins des apports périglaciaires.

Une hypothèse serait que le système péri glaciaire est déjà très impacté par le changement climatique ce qui augmente la dépendance des Eaux Tortes aux eaux pluviales.

Or, les suivis piézométriques montrent une tendance à la baisse des niveaux des nappes. Une baisse des apports périglaciaires doublée d'une baisse des eaux pluviales conduisant à un fort risque d'assèchement et de modification des Eaux Tortes. Le suivi piézométrique est cependant sur un laps de temps trop court pour être conclusif et doit donc être poursuivi dans le temps.

Ces préconisations peuvent s'inscrire dans les outils existants sur le territoire, notamment au travers de la politique départementale des Espace Naturels Sensibles, l'animation du site NATURA 2000 ou dans le cadre de la mise en œuvre du plan de gestion de la Réserve Biologique du Laverq en cours de rédaction.



Office National des Forêts

Bureau d'études Provence
Alpes du Sud