



juin 2003

---

## **GISEMENT EOLIEN & ENVIRONNEMENT**

### **en REGION AUVERGNE**

Rapport Lot 2

---

#### **Résumé :**

Ce document présente les résultats des deux premières phases du projet « Cartographie du potentiel éolien de la région Auvergne » qui a pour cadre une convention entre la délégation régionale de l'ADEME et la société ARIA Technologies.

Ce projet consiste en l'étude du potentiel éolien de la région Auvergne avec la prise en compte des valeurs liées à l'environnement et aux servitudes techniques.

Le présent rapport présente la méthodologie de la première étape ainsi que les résultats acquis à l'issue des travaux de modélisation à l'échelle régionale d'une part, la base de données des contraintes techniques et des valeurs environnementales et les résultats de hiérarchisation des sites préférentiels pour l'implantation de fermes éoliennes.

## Sommaire

---

### Avant-Propos

### Résumé

### Introduction

<b>1. Première étape : Réalisation de l'Atlas Eolien Régional .....</b>	<b>5</b>
1.1. Méthodologie d'évaluation du gisement éolien.....	5
1.2. Données d'entrée pour l'évaluation du gisement éolien .....	7
1.2.1 Topographie.....	7
1.2.2 Occupation du sol .....	11
1.2.3 Météorologie.....	13
1.3. Analyse météorologique .....	14
1.4. Calcul du gisement éolien.....	18
1.5. Rappels et précautions d'usages .....	22
<b>2. Seconde étape : Création de la base de données liées aux contraintes techniques et valeurs environnementales .....</b>	<b>1</b>
2.1. La grille de contraintes.....	1
2.2. Recensement des contraintes techniques et valeurs environnementales.....	2
2.3. Données acquises.....	3
2.3.1.....	4
2.3.1 Patrimoine naturel.....	4
2.3.2 Données « Paysage et Sites ».....	5
2.3.3 Contraintes techniques et servitudes.....	6
<b>3. Troisième Etape: Hiérarchisation des contraintes.....</b>	<b>1</b>
3.1. Zonage régional des contraintes .....	1
3.1.1 Données Site et Paysage .....	1
3.1.2 Patrimoine Naturel .....	1
3.2. Influence sur le développement de l'éolien en Auvergne.....	1

### Conclusion

### Annexe 1 : Cartes départementales

### Annexe 2 : Analyse météorologique des stations

### Annexe 3 : Modèle météorologique Minerve

### Annexe 4 : Références

## Index des Figures

Figure 1 : Cartographie 2D (aplats colorés) de la topographie (en mètres) .....	8
Figure 2 : Représentation de la boîte de calcul d'ARIA Wind avec superposition en perspective de la topographie (aplats colorés) en mètres.....	10
Figure 3 : Exemple de la cartographie d'occupation du sol sur le département du Puy de Dôme. ....	11
Figure 4 : Cartographie de la variable de hauteur de rugosité du domaine d'étude (aplat coloré).....	12
Figure 5 : Emplacement des stations Météo France pour la région Auvergne et les régions limitrophes...	13
Figure 6 : Roses générales des vents des stations Météo France pour la région Auvergne et les régions limitrophes .....	17
Figure 7 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur la région Auvergne pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.....	19
Figure 8 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur la région Auvergne pour une hauteur par rapport au sol de 80 mètres.....	20
Figure 9 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur la région Auvergne pour une hauteur par rapport au sol de 100 mètres.....	21
Figure 10 : Cartographie du patrimoine naturel sur la région Auvergne .....	4
Figure 11 : Cartographie des données site et paysage sur la région Auvergne .....	5
Figure 12 : Cartographie des servitudes et des contraintes techniques sur la région Auvergne.....	6
<u>Figure 13</u> : Valeurs paysagères et gisement éolien.....	3
<u>Figure 14</u> : Valeurs naturelles et gisement éolien.....	4
<u>Figure 15</u> : Valeurs territoriales et gisement éolien.....	5
<u>Figure 16</u> : Valeurs environnementales et gisement éolien .....	6
Figure 17 : Valeurs paysagères et zones potentielles d'implantation.....	2
Figure 18 : Valeurs naturelles et zones potentielles d'implantation.....	3
Figure 19 : Valeurs territoriales et zones potentielles d'implantation.....	4
Figure 20 : Valeurs environnementales et zones potentielles d'implantation.....	5
Figure 21 : Valeurs environnementales des zones potentielles d'implantation.....	6
Figure 22 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département de l'Allier pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.....	2
Figure 23 : Cartographie des valeurs environnementales sur le département de l'Allier.....	3
Figure 24 : Cartographie des données site et paysage sur le département de l'Allier .....	4
Figure 25 : Cartographie des contraintes techniques sur le département de l'Allier.....	5
Figure 26 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département de la Haute-Loire pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.....	1
Figure 27 : Cartographie du patrimoine naturel sur le département de la Haute Loire .....	2
Figure 28 : Cartographie des données site et paysage sur le département de la Haute-Loire .....	3
Figure 29 : Cartographie des contraintes techniques sur le département de la Haute Loire .....	4
Figure 30 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département du Cantal pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.....	1
Figure 31 : Cartographie du patrimoine naturel sur le département du Cantal.....	2
Figure 32 : Cartographie des données site et paysage sur le département du Cantal.....	3
Figure 33 : Cartographie des contraintes techniques sur le département du Cantal.....	4
Figure 34 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département du Puy de Dôme pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.....	1
Figure 35 : Cartographie des valeurs environnementales sur le département du Puy de Dôme .....	2
Figure 36 : Cartographie des données site et paysage sur le département du Puy de Dôme.....	3
Figure 37 : Cartographie des contraintes techniques sur le département du Puy de Dôme .....	4
Figure 38 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Lurcy-Lewis.....	6

Figure 39 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Montluçon.....	7
Figure 40 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Clermont-Ferrand.....	8
Figure 41 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station d'Issoire.....	9
Figure 42 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station d'Aurillac.....	10
Figure 43 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Mauriac.....	11
Figure 44 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Chaspuzac.....	12
Figure 45 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Monistrol sur Loire.....	13

## Avant-Propos

---

La société ARIA Technologies, qui assume la direction du présent projet, est spécialisée dans le conseil, l'étude et la réalisation de logiciels concernant l'environnement atmosphérique et la qualité de l'air.

Les partenaires d'ARIA Technologies dans le cadre de ce projet sont les organismes suivants :

- l'association Avel Pen Ar Bed
- le Laboratoire de Météorologie Physiques de Clermont-Ferrand
- la société ABIES

L'équipe responsable des travaux à réaliser est pluridisciplinaire : Ingénieurs informaticiens, Ingénieurs en mécanique des fluides, Techniciens et Spécialistes en applications éoliennes et en études d'impact.

Plus précisément, chaque partie de ce projet fera appel à différents métiers correspondants à la finalité de chacune : aspect modélisation et aspect environnement.

Le projet est placé sous la responsabilité de Monsieur Renaud CHEVALLAZ-PERRIER de la société ARIA Technologies, qui assume la rédaction du présent rapport.

### **Renaud CHEVALLAZ-PERRIER**

#### **ARIA Technologies**

17, Route de la Reine

92517 Boulogne Billancourt Cedex - FRANCE

<http://www.aria.fr>

<mailto:rchevallaz@aria.fr>

Tel : + 33 (0)1 55 19 97 46

Fax : + 33 (0)1 55 19 99 62

Ce projet a pour intitulé : « Etude du potentiel de l'éolien sur la région Auvergne ». Il est placé sous la responsabilité au sein du comité de pilotage des personnes suivantes :

- M. Le Quilleuc (ADEME Auvergne)
- M. Raymond (DIREN Auvergne)

## Résumé

---

Ce document présente la méthodologie mise en place pour la réalisation du projet «Cartographie du potentiel éolien de la Région Auvergne» qui a pour cadre une convention entre l'ADEME et la société ARIA Technologies. Le comité de pilotage du présent projet est constitué par :

- L'antenne régionale de l'ADEME
- La DIREN Auvergne

Ce projet consiste en la réalisation de l'atlas éolien de la Région Auvergne avec la prise en compte des valeurs liées à l'environnement et aux servitudes techniques.

Le projet d'étude se découpe en deux étapes :

- Première étape : Évaluation du gisement éolien sur l'ensemble de la région comprenant les 4 départements et réalisation d'une base cartographique,
- Seconde étape : Réalisation d'une base de données des valeurs environnementales et des servitudes techniques,
- Troisième étape : Hiérarchisation des valeurs environnementales et des servitudes techniques et croisement avec le gisement éolien.

Le présent rapport présente la synthèse de l'étude.

## Introduction

---

En 1996, à la suite de ses voisins européens, la France s'est lancée dans l'aventure éolienne par le biais du programme EOLE 2005. Objectif : 250 à 500 MW de puissance installée en 2005. Cet objectif a fortement évolué ces dernières années avec des avancées en terme de politique d'aménagement du territoire : Libéralisation du marché de l'électricité, obligation faite à EDF de racheter l'énergie d'origine éolienne à un tarif incitatif et évolutif suivant le potentiel du site...

C'est dans ce contexte à la fois très dynamique et mouvant que la question éolienne a commencé à intéresser les sociétés compétentes. Parmi elles, la société ARIA Technologies s'est vue confier diverses missions au niveau de la modélisation et de l'estimation de la ressource éolienne sur le territoire Français.

Les objectifs français sont maintenant de 10 000 Mwatts pour 2010, ce qui suppose une croissance très importante du secteur éolien mais aussi un bon suivi de tous les projets à venir par tous les organes de l'état.

La DIREN Auvergne et l'antenne régionale de l'ADEME ont souhaité définir le gisement éolien sur la région ainsi que les contraintes ou servitudes environnementales et techniques liées à l'exploitation de ce gisement. Ce projet a été confié à la société ARIA Technologies et comporte les étapes suivantes :

- Première étape : Évaluation du gisement éolien sur l'ensemble de la région comprenant les 4 départements et réalisation d'une base cartographique,
- Seconde étape : Réalisation d'une base de données des valeurs environnementales et des servitudes techniques,
- Troisième étape : Hiérarchisation des valeurs environnementales et des servitudes techniques et croisement avec le gisement éolien.

ARIA Technologies a répondu à cette consultation en s'appuyant sur son expérience acquise dans le domaine de l'éolien :

- ARIA Technologies est une société spécialisée dans l'étude de l'environnement atmosphérique et a déjà effectué des estimations du gisement éolien sur différents sites avec le logiciel ARIA WIND,
- ARIA Technologies s'appuie sur le savoir-faire du département des Etudes et Recherches d'Electricité De France : Contrats de partenariats exclusifs pour la commercialisation des codes de calculs EDF et réalisation d'études à partir de ces mêmes codes,
- ARIA Technologies s'appuie sur un outil innovant : ARIA WIND, développé en partenariat avec l'ADEME qui a financé une partie de l'industrialisation de l'outil,
- ARIA Technologies a réalisé l'ensemble des simulations permettant d'évaluer le gisement éolien sur l'ensemble de la région et au niveau des sites sélectionnés à l'aide du logiciel ARIA WIND et suivant la méthodologie décrite dans le présent document.





# 1. Première étape : Réalisation de l'Atlas Eolien Régional

## 1.1. Méthodologie d'évaluation du gisement éolien

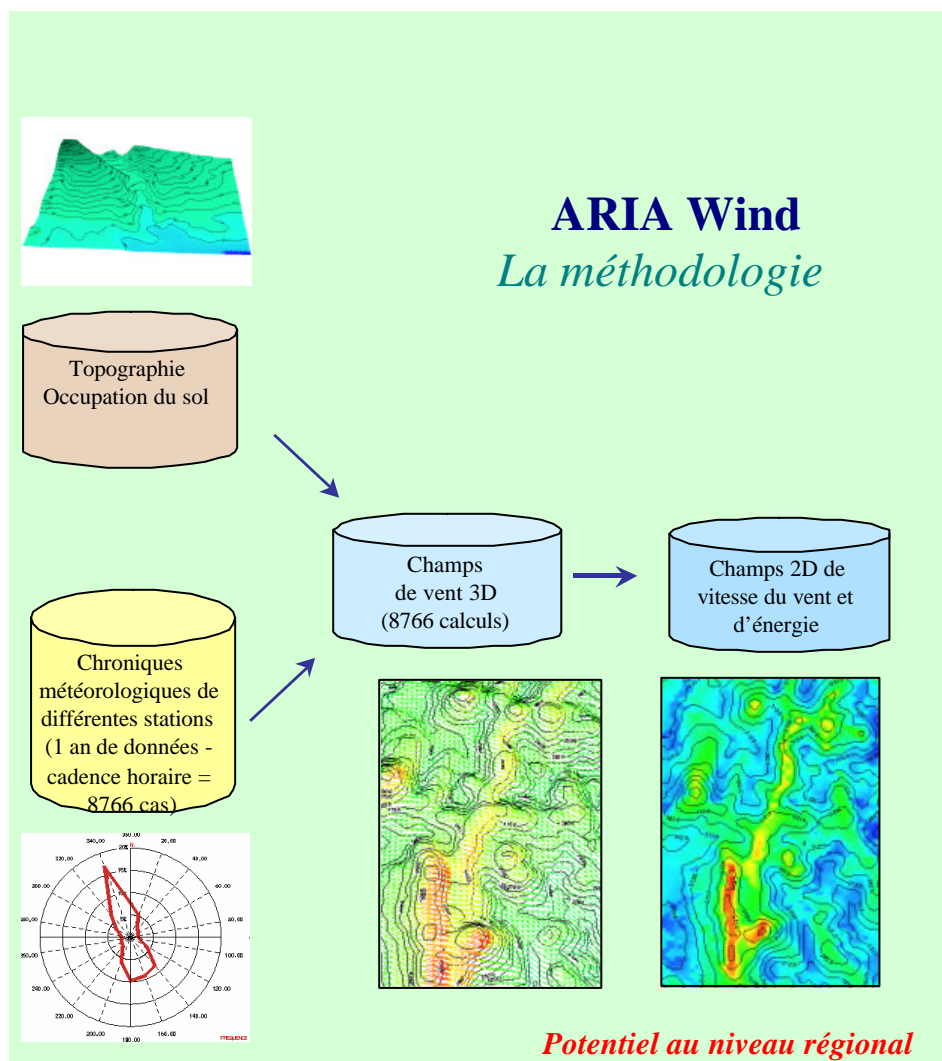
ARIA Technologies a évalué le gisement éolien au niveau de l'ensemble de la région Auvergne suivant une méthodologie bien établie.

L'outil ARIA WIND consiste en l'application d'un modèle météorologique (MINERVE développé par EDF) à la problématique éolienne :

- prise en compte de longues séquences météorologiques,
- caractéristiques de production des turbines.

ARIA WIND s'appuie sur la réalisation d'un grand nombre de simulations 3D de l'écoulement dans le domaine d'étude défini. Pour une année complète (avec une cadence horaire), cela représente au total 8766 calculs. Puis, à partir des résultats calculés précédemment, ARIA WIND fournit une cartographie de la vitesse du vent et de la production en recalculant la production des éoliennes en n'importe quel point du domaine.

Le schéma ci-après décrit la méthodologie générale du logiciel ARIA Wind, tel qu'il a été mis en œuvre pour la Région Auvergne.





## 1.2. Données d'entrée pour l'évaluation du gisement éolien

Dans le cas de l'estimation du gisement éolien d'une région ou d'un site, la première donnée à considérer est le régime climatologique. D'une manière ou d'une autre, il est nécessaire de connaître le régime de vent local. Il est fourni au modèle sous la forme de mesures, effectuées spécifiquement ou disponibles via des stations fixes (Météo France par exemple). Ce sont des mesures dites de surface (à une altitude fixe, en un point), ou des profils verticaux (mesures par sodar).

En second lieu, selon le type de modèle, les caractéristiques du terrain qui ont une influence sur l'écoulement d'air sont prises en compte : topographie, rugosité...

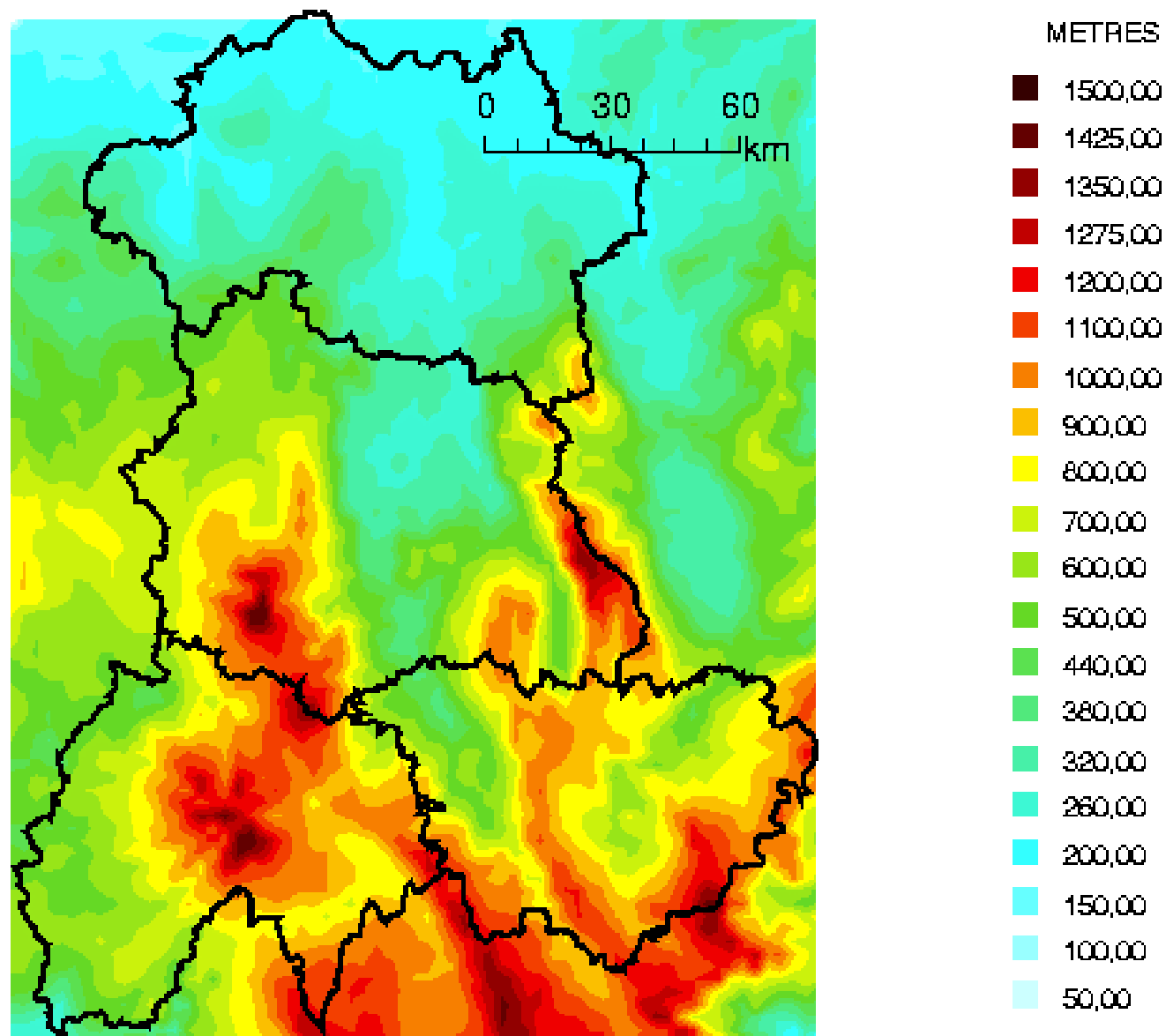
### 1.2.1 Topographie

Afin de prendre en compte de manière précise les effets de la topographie sur l'écoulement, un modèle numérique de terrain (M.N.T.) a été utilisé. La précision du M.N.T. est différente suivant la précision recherchée. Pour l'approche à cette échelle dont l'objectif est de fournir une cartographie du gisement éolien sur l'ensemble de la région, un M.N.T. au pas horizontal de 1 kilomètre a été utilisé.

Un modèle numérique de terrain à une précision de 1 kilomètre a donc été utilisé pour réaliser le MNT qui a servi à l'estimation du gisement éolien sur la région Auvergne. Les caractéristiques de ce MNT sont les suivantes :

- Etendue du domaine : 194 kilomètres par 246 kilomètres.:
- Coordonnées du point Sud-Ouest (Lambert II étendu) :
  - ✓ X = 577 km
  - ✓ Y = 1956 km
- Coordonnées du point Nord-Est (Lambert II étendu):
  - ✓ X = 770 km
  - ✓ Y = 2202 km
- Résolution :  $\Delta x = \Delta y = 1$  km

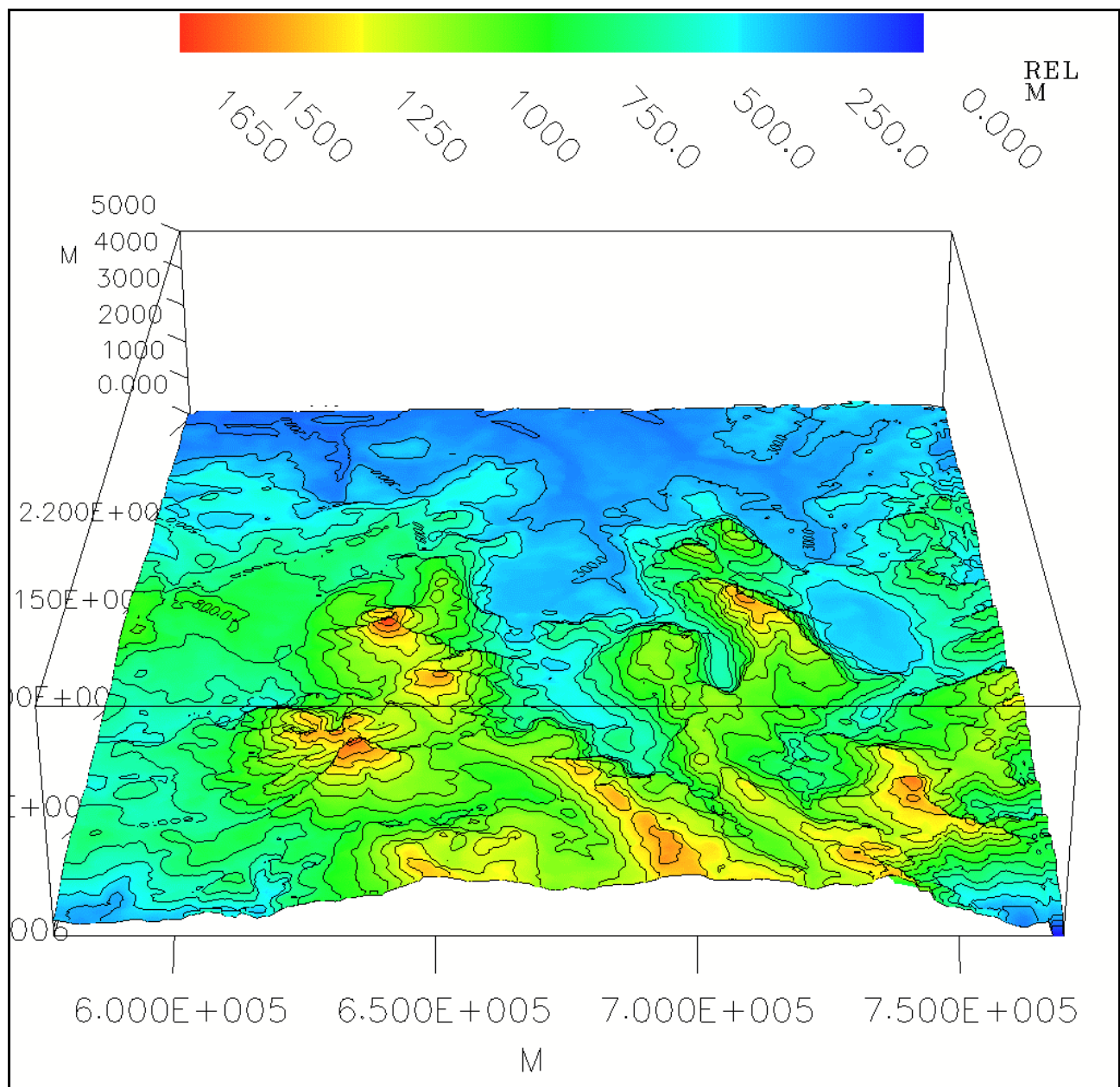
Le relief de la région Auvergne est très marqué comme le montre les figures suivantes.



*Figure 1 : Cartographie 2D (aplats colorés) de la topographie (en mètres)*



A partir de la définition de l'étendue du domaine d'étude, il a été possible de définir l'étendue de la « boîte de calcul » sur laquelle ont été menés les calculs d'écoulements atmosphériques (cf. Figure 2).



*Figure 2 : Représentation de la boîte de calcul d'ARIA Wind avec superposition en perspective de la topographie (aplats colorés) en mètres*

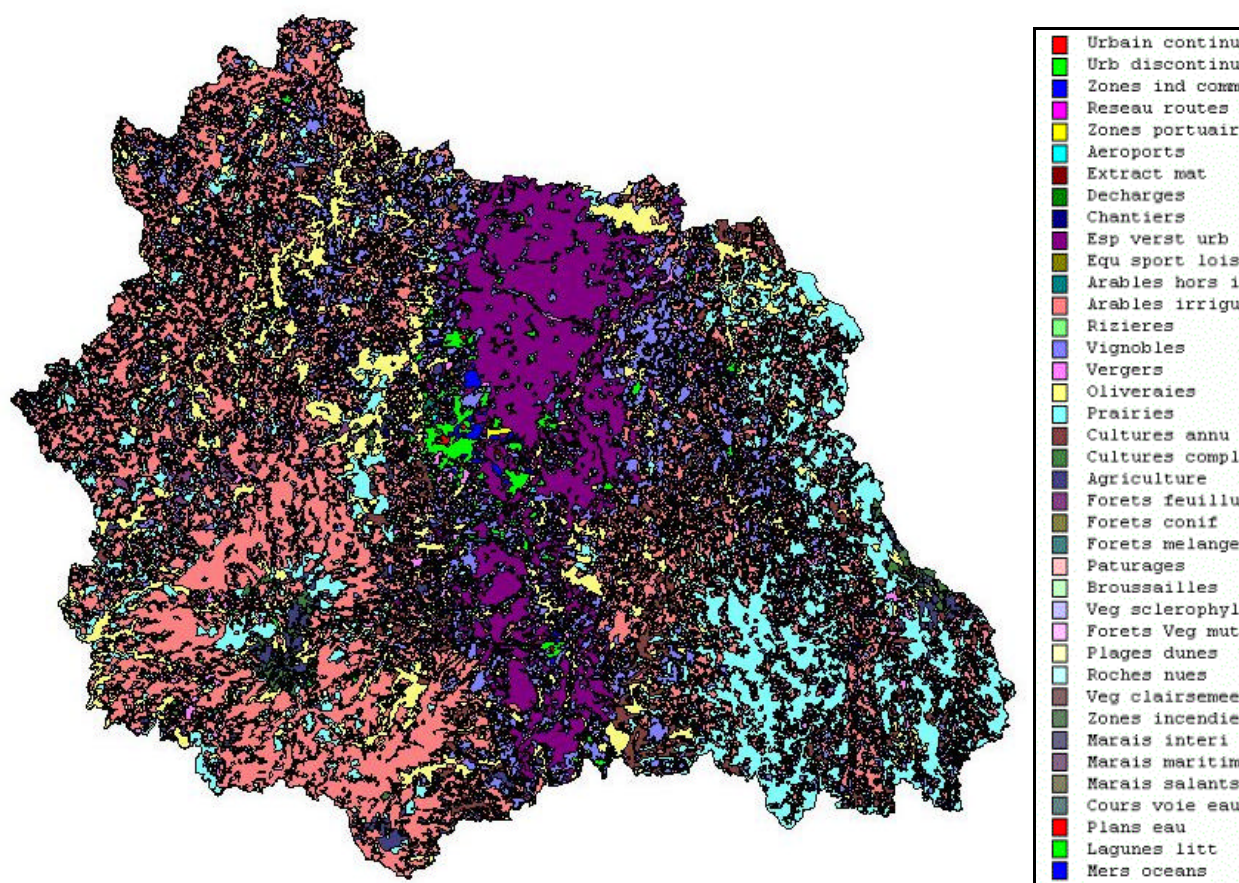
### 1.2.2 Occupation du sol

Les caractéristiques du sol (bâti, forêt, champs...) influencent l'écoulement. Le paramètre traduisant ces caractéristiques et intervenant dans la modélisation de l'écoulement est la hauteur de rugosité.

Cette variable est directement reliée au type d'occupations des sols en chaque point de notre domaine d'étude, en l'occurrence la région Auvergne. Elle consiste en un potentiel de frein du vent en couche de surface : Le vent sera plus freiné au niveau du sol par une forêt que par une prairie.

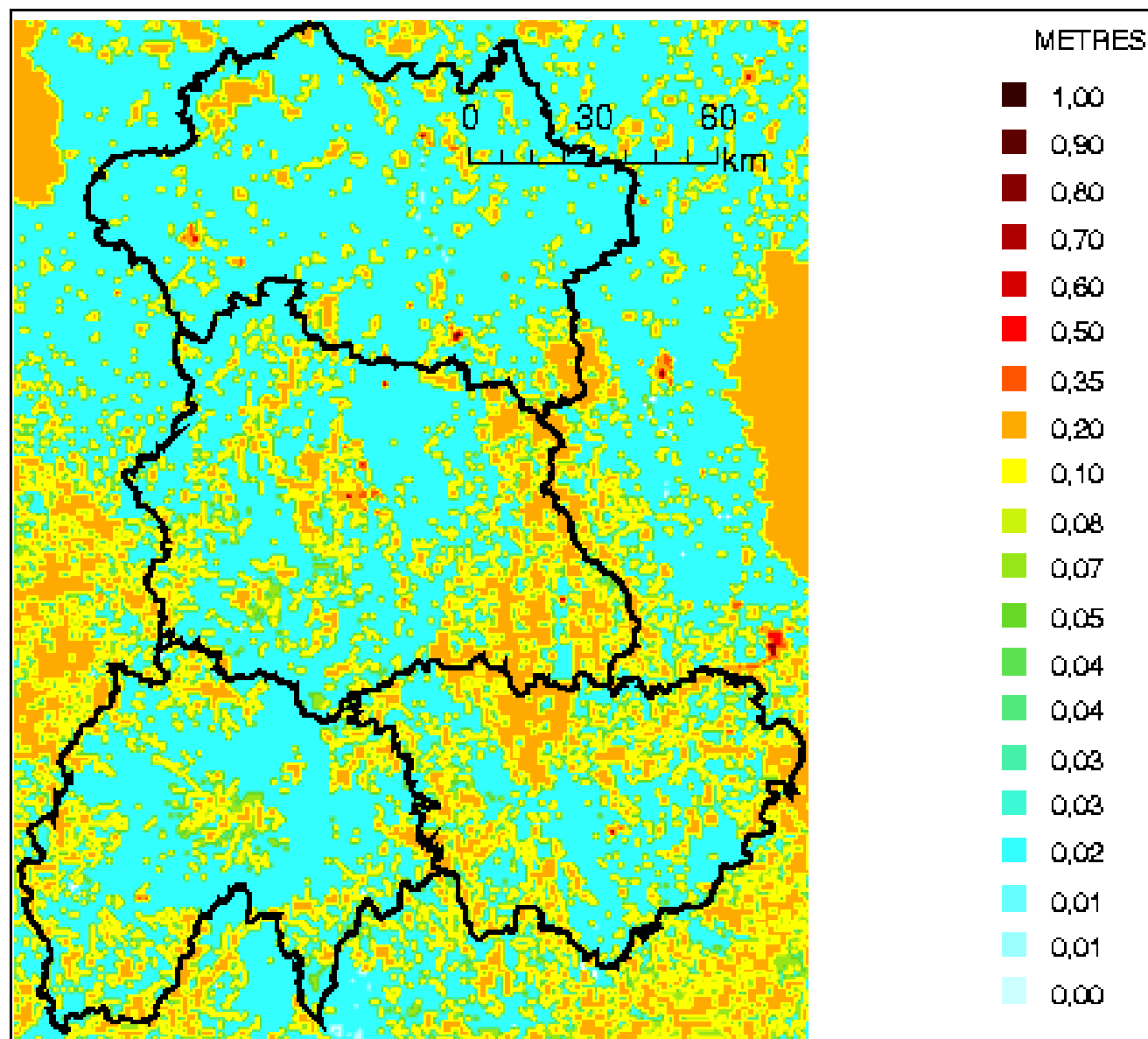
Les différents types d'occupation du sol ont été identifiés et une valeur équivalente de hauteur de rugosité leur a été attribuée.

La Figure 3 donne une représentation de la répartition des différentes classes d'occupation du sol sur un département.



*Figure 3 : Exemple de la cartographie d'occupation du sol sur le département du Puy de Dôme.*

Dans le cadre de notre étude, nous avons traité le fichier d'occupation du sol et nous avons créé le fichier de hauteur de rugosité correspondant (cf. Figure 4)



*Figure 4 : Cartographie de la variable de hauteur de rugosité du domaine d'étude (aplat coloré)*

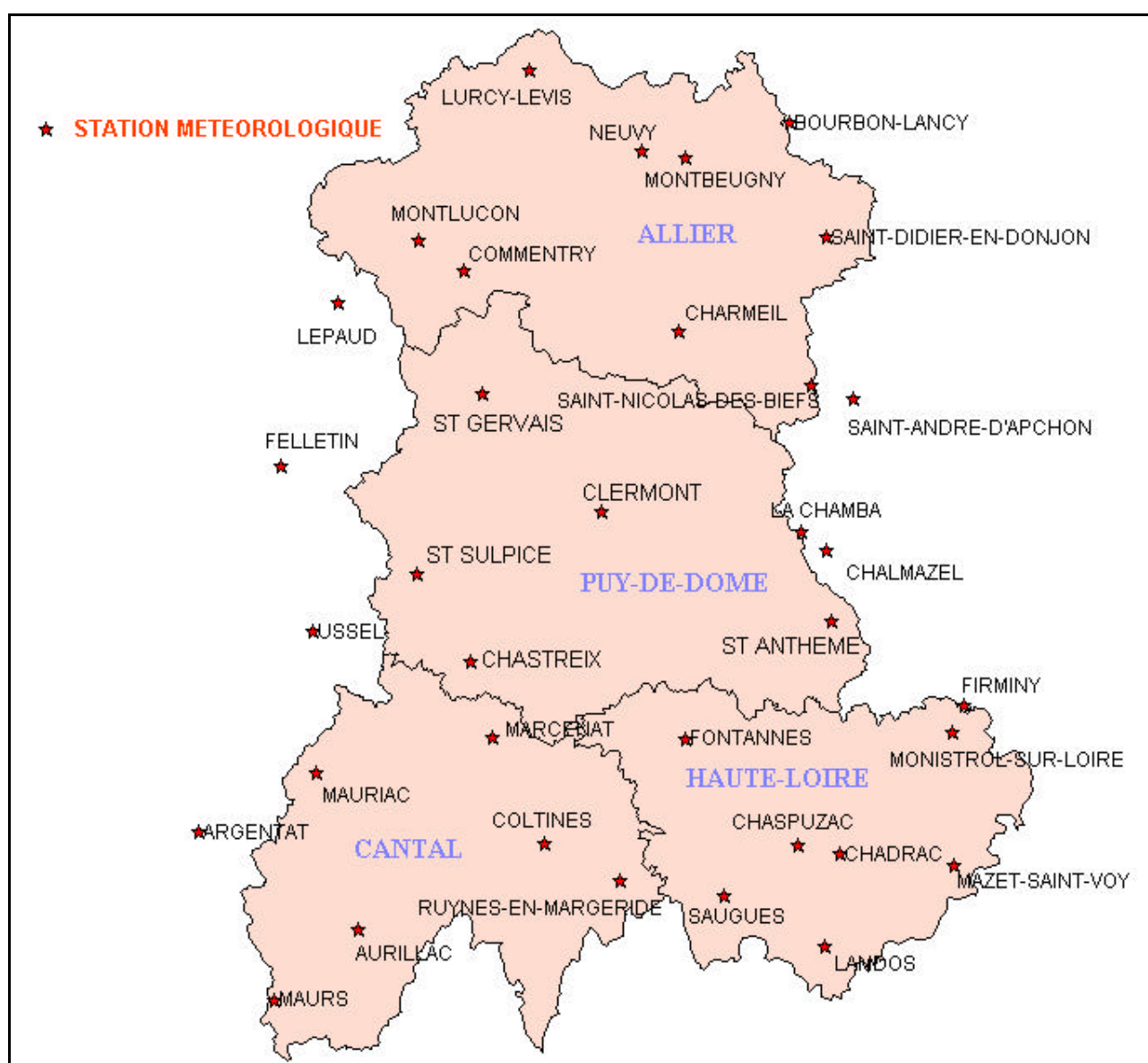


### 1.2.3 Météorologie

ARIA Technologies a acquis les données disponibles auprès de Météo France.

La méthodologie que nous mettons en œuvre pour le calcul du gisement éolien a été fondée sur l'étude de la météorologie sur une année avec une cadence horaire.

A prime abord Météo France dispose d'une bonne couverture d'observations dans la région Auvergne. La figure suivante montre la position des différentes stations de mesure Météo France dans la région (cf. Figure 5).



*Figure 5 : Emplacement des stations Météo France pour la région Auvergne et les régions limitrophes*

### 1.3. Analyse météorologique

Les données météorologiques analysées proviennent de stations horaires Météo France. Les stations sols sont au nombre de 27 ( Figure 5).

Les données de vent moyen sont disponibles et fiables pour la période couvrant la période du 1er Janvier 2001 au 31 Décembre 2001 inclus.

Toutes les stations donnent le module et la direction du vent moyen intégré sur 10 minutes, avec un pas horaire et à une hauteur de 10 mètres. Le vent moyen est calculé par intégration des mesures sur les 10 minutes précédant l'heure.

Le *Tableau 1* récapitule toutes les informations concernant l'emplacement et la nature des mesures fournies par les stations du domaine d'étude.

COMMUNE	Département	Coordonnées Lambert II		Altitude	Classement
		X (km)	Y (km)	Z(m)	
SAINT-GERVAIS-D'AUVERGNE	63	636,9	2114,8	705	2
SAINT-SULPICE	63	620,4	2072,2	851	3
AMBERT	63	709,8	2058,5	555	2
CLERMONT-FERRAND	63	663,8	2088	329	1
SAINT-ANTHEME	63	719,9	2063,9	1260	3
ISSOIRE	63	672,3	2060	372	1
AURILLAC	15	606,6	1988,6	639	1
MAURIAC	15	596,4	2025,4	674	4
MAURS	15	586,3	1971,9	480	3
COLTINES	15	651,6	2008,8	979	/
MARCENAT	15	638,9	2033,7	1075	3
MONISTROL-SUR-LOIRE	43	748,7	2036,9	777	3
SAUGUES	43	695	1996,9	945	3
CHASPUZAC	43	712,3	2009,2	833	3
LANDOS	43	719,2	1985,5	1148	3
MAZET-SAINT-VOY	43	750,1	2005,4	1130	3
CHADRAC	43	722,7	2007,4	714	/
CHARMEIL	03	682,2	2130,2	249	4
COMMENTRY	03	631,5	2143,9	370	/
LURCY-LEVIS	03	646,6	2191,2	225	1
MONTBEUGNY	03	683	2171,2	270	3
MONTLUCON	03	620,6	2150,9	207	3
NEUVY	03	672,8	2172,6	250	/
SAINT-DIDIER-EN-DONJON	03	716,5	2152,9	293	/
LA CHAMBA	42	711,9	2083,2	1265	/
NAUSSAC	48	718,1	1973	960	/
USSEL	19	595,7	2058,6	665	/

*Tableau 1 : descriptif des stations Météo France*

Toutes les stations Météo France n'ont pas été utilisées dans le cadre de l'étude au vu de leur piètre qualité de mesures. Le Tableau 1 donne une information sur la classification en terme de qualité des stations Météo France :

- Bonne qualité : indice égal à 1
- Mauvaise qualité : indice égal à 5 (■)
- Information manquante en terme de classification (/) : ces stations ont fait l'objet d'une demande auprès de Météo France pour l'estimation de leur qualité de mesures.

Les critères de qualification des stations Météo France sont présentés dans un rapport interne de Météo France et ils sont basés sur la caractérisation de l'environnement immédiat du point de mesures (obstacles, rugosité...). Les incertitudes de mesures sont liés à chaque classe : Classification de 1 à 5, Incertitude de 5 à 40 %, voire plus.

Les stations ayant un indice supérieur à 3 sont enlevées de la base de données et ne sont pas utilisées pour l'estimation du gisement éolien.

Une mise en forme, ainsi qu'une vérification rigoureuse des données a été effectuée afin de valider les données utilisées :

1. Vérification de la validité des mesures par rapport à des gammes de valeurs adaptées au paramètre traité,
2. Elimination des mesures aberrantes,
3. Contrôle des chronologies,
4. Invalidations des valeurs manquantes,
5. Stockage dans une base de données.

Le Tableau 2 présente un bilan des données traitées pour la période du 01/01/2001 au 31/12/2001, soit 8760 échéances au total.

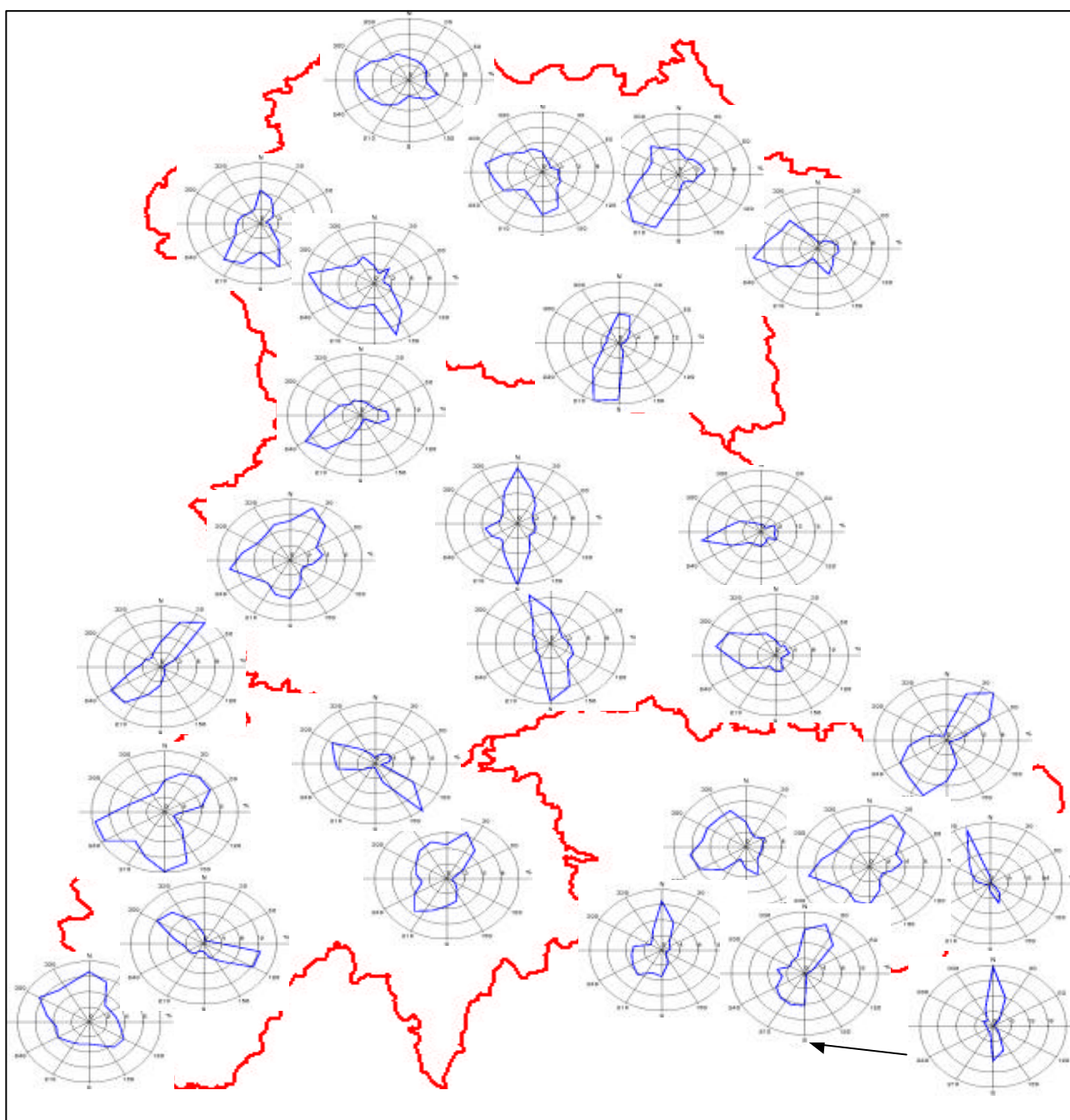
COMMUNE	Dépt	Échéances Valides	Échéance Invalides	% des données invalides
SAINT-GERVAIS-D'AUVERGNE	63	8750	10	0,01
SAINT-SULPICE	63	1622	7136	81,5
AMBERT	63	8690	70	0,80
CLERMONT-FERRAND	63	8753	7	<0,1
SAINT-ANTHEME	63	8759	1	<0,1
ISSOIRE	63	8758	2	<0,1
AURILLAC	15	8735	25	0,3
MAURIAC	15	8737	23	0,3
MAURS	15	8631	129	1,5
COLTINES	15	8636	124	1,4
MARCENAT	15	8422	338	3,9
MONISTROL-SUR-LOIRE	43	8520	240	2,8
SAUGUES	43	8666	94	1,07
CHASPUZAC	43	8757	3	<0,1
LANDOS	43	8757	3	<0,1
MAZET-SAINT-VOY	43	8733	27	0,3
CHADRAC	43	8125	635	7,3
CHARMEIL	03	8757	3	<0,1
COMMENTRY	03	8716	44	0,50
LURCY-LEVIS	03	8755	5	<0,1
MONTBEUGNY	03	8727	33	0,4
MONTLUCON	03	8705	55	0,6
NEUVY	03	8711	49	0,56
SAINT-DIDIER-EN-DONJON	03	7414	1346	15,4
LA CHAMBA	42	8503	257	2,9
NAUSSAC	48	8538	222	2,53
USSEL	19	8718	42	0,48

*Tableau 2 : Bilan du traitement des données météorologiques horaires pour la période du 01/01/2001 au 31/12/2001*

Le pourcentage de données invalides correspond à des pannes d'appareillage ou à des mesures aberrantes. Ces mesures sont exclues de la base de données, et n'ont donc pas été utilisées pour l'estimation du gisement éolien.

A partir de la base de données nous avons réalisé des analyses statistiques des données météorologiques sur l'ensemble des stations Météo France. La Figure 6 présente les résultats de distribution annuelle : la rose des vents générale.

Ces roses des vents indiquent la distribution et la fréquence d'occurrence de la direction d'où vient le vent. Les intersections de la courbe avec les cercles de fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents en fonction d'où vient le vent. L'Annexe 1 reprend en détail ces analyses statistiques pour toutes les stations.



*Figure 6 : Roses générales des vents des stations Météo France pour la région Auvergne et les régions limitrophes*

#### **1.4. Calcul du gisement éolien**

ARIA Technologies a réalisé l'estimation du gisement éolien à l'aide du logiciel ARIA Wind pour le domaine d'étude en prenant en compte les différentes mesures météorologiques disponibles et retenues à l'issue de l'analyse météorologique (cf. paragraphe précédent).

Le code de calcul Minerve est décrit dans l'Annexe 2

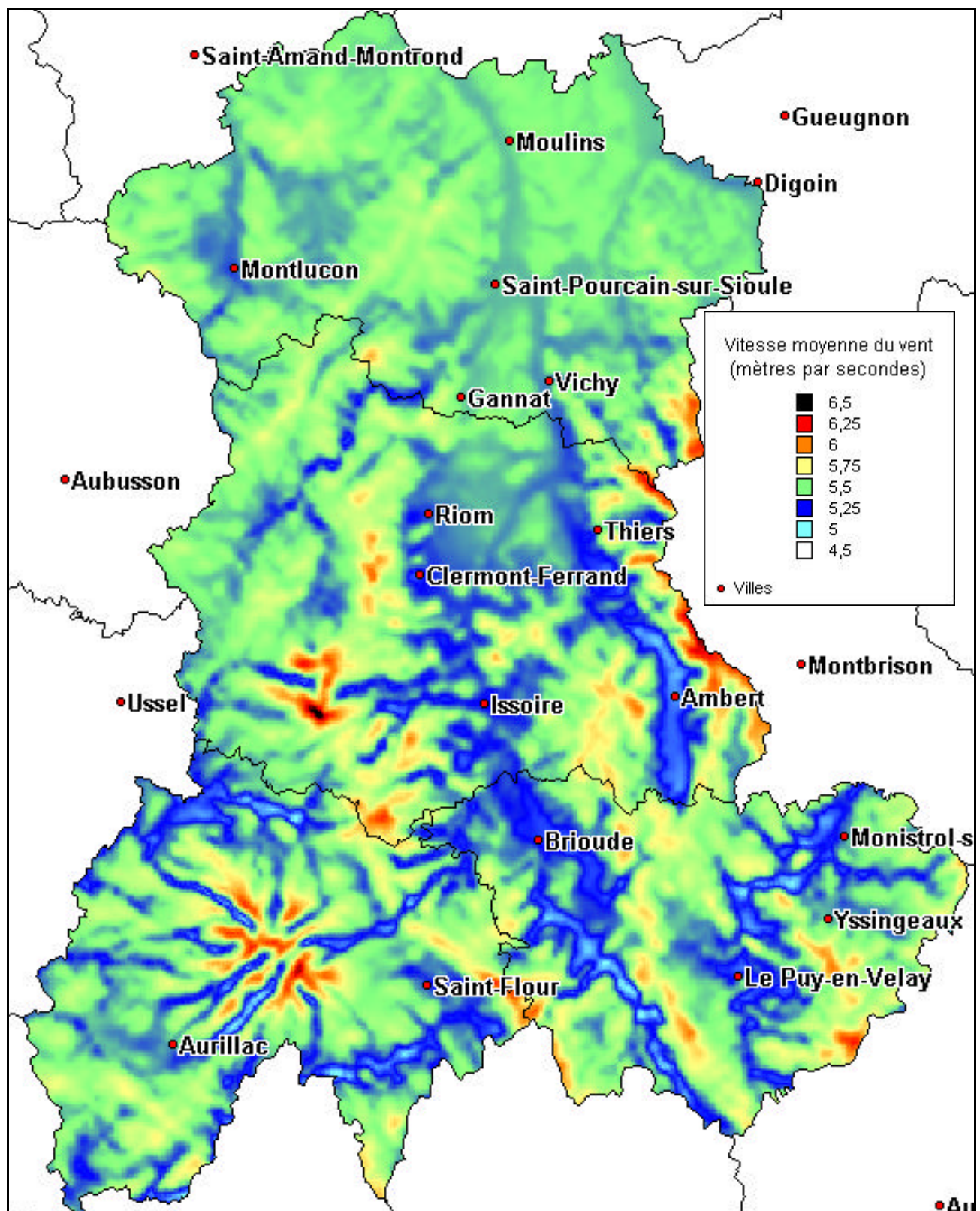
L'antenne régionale de l'ADEME dispose de la base complète des résultats sous forme de base de données cartographiques qui peuvent être résumés par :

- Cartographie de la vitesse moyenne du vent pour différentes hauteurs prédéfinies (40m, 60m et 80m),
- Cartographie de la densité d'énergie pour différentes hauteurs prédéfinies (40m, 60m et 80m),

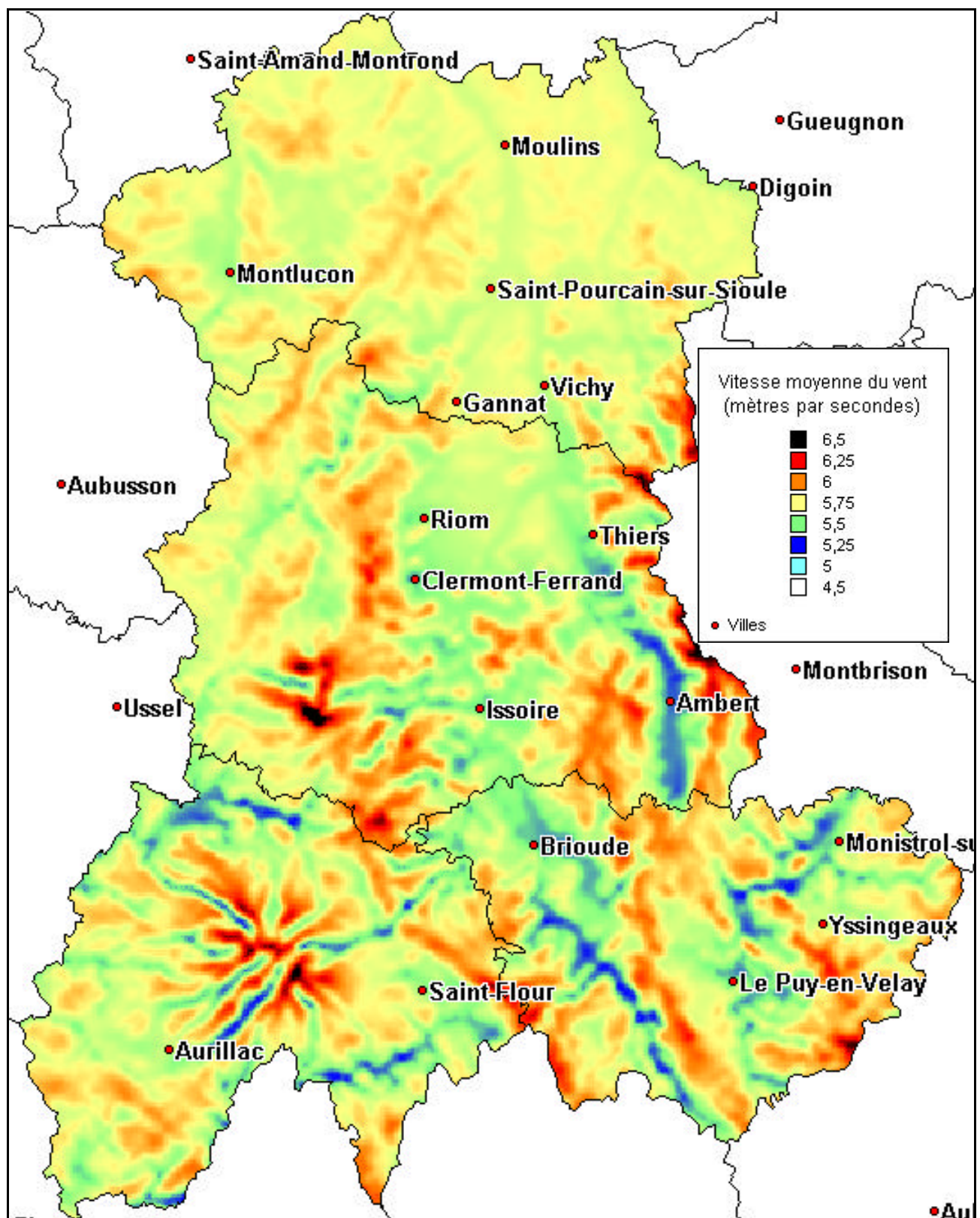
Nous présentons, dans la suite, les résultats pour l'ensemble de la région puis indépendamment pour les quatre départements. Nous avons défini, en accord avec le comité de pilotage, les sorties de référence comme suit :

- Variable : Vitesse moyenne du vent
- Niveau : 60 mètres au dessus du sol.



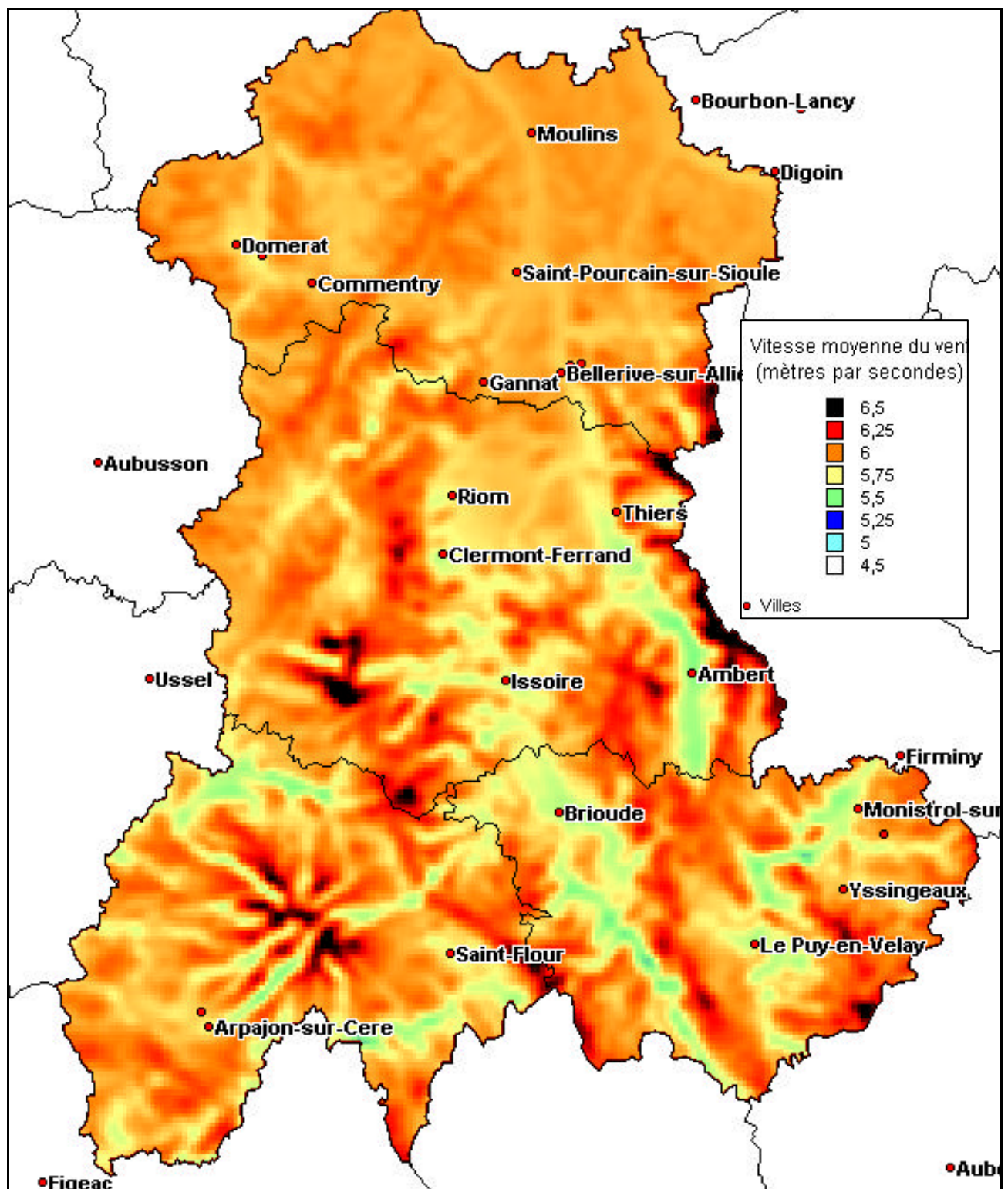


*Figure 7 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur la région Auvergne pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres*



*Figure 8 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur la région Auvergne pour une hauteur par rapport au sol de 80 mètres*





*Figure 9 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur la région Auvergne pour une hauteur par rapport au sol de 100 mètres*

## 1.5. Rappels et précautions d'usages

Ce paragraphe présente l'ensemble des précautions à prendre à la lecture du présent rapport et pour l'utilisation des résultats de l'étude à l'échelle régionale.

### - Rappels d'incertitudes par rapport aux résultats de modélisation

Ce projet centré sur l'estimation du gisement éolien sur la région Auvergne doit aider/piloter le développement de l'éolien en région Auvergne. Il ne pourrait être en aucun cas considéré comme un document essentiel à la réalisation d'un projet en particulier. De par l'échelle de modélisation considérée (échelle de la région) et de par la variété des scénarios économiques de chaque projet, le promoteur de projet ne peut à la seule lecture de ce document décider de la viabilité d'un projet ou non. La bonne méthodologie est de s'aider de cet atlas pour référencer des zones intéressantes et de mener par la suite des études complètes à des échelles spatiales appropriées.

Les incertitudes liées à la réalisation de cet atlas régional sont multiples :

#### ➤ Incertitudes sur les données d'entrée :

- Les données météorologiques : les données Météo France mesurent le vent à une hauteur par rapport au sol de 10 mètres alors qu'une turbine d'aérogénérateur se situe plutôt à 60-80 mètres de haut. Ces données, mêmes filtrées, peuvent présenter des incertitudes assez importantes sur la mesure en tant que telle mais aussi sur la représentativité spatiale de la mesure,
- Les données de relief (IGN): Ces données sont de très bonne qualité et l'incertitude liée à l'utilisation de ces données peut être considérée comme minime,
- Les données de relief (CORINE LAND COVER) : Ces données sont de bonne qualité mais leur utilisation amène des incertitudes non négligeables suivant le type de paramétrisation choisie (directement liée à l'incertitude de modélisation).

#### ➤ Incertitudes sur la modélisation :

- Incertitude sur les paramètres de modélisation : Les choix effectués dans le cadre de l'estimation régionale du gisement éolien concernant la taille de la maille de calcul impacte directement sur l'incertitude des résultats. Dans le cadre de cette étude une maille de 1 kilomètre a été choisie, ce qui amène une précision de l'ordre de 1 kilomètre sur toute la région aussi bien pour les données de topographie, de relief...De par l'expérience d'ARIA Technologies, ce type de paramétrisation peut amener à une sous-estimation du gisement éolien sur les zones à forte variation de topographie,
- Incertitude sur le modèle utilisé : Le modèle ARIA Wind utilisé dans le cadre de ce projet a été validé sur un certain nombre de sites.

## **2. Seconde étape : Création de la base de données liées aux contraintes techniques et valeurs environnementales**

Dans le cadre de la détermination du gisement éolien régional, il est important de croiser l'information « vent » avec les données liées aux contraintes techniques et valeurs environnementales :

- environnement,
- implantation par rapport aux habitations voisines,
- raccordement au réseau par le biais d'EDF,
- localisation par rapport aux routes,
- position par rapport aux servitudes d'utilité publique (aérodrome, canalisation d'hydrocarbures, émetteur hertzien, lignes électriques haute tension).

Pour mener cette phase, la DIREN Auvergne a fourni à ARIA Technologies l'ensemble des éléments cartographiques (SIG) dont elle disposait et qui ont été utiles dans le cadre de cette étude.

Pour réaliser cette analyse, nous nous sommes appuyés sur le cahier des charges correspondant au programme EOLE 2005.

### **2.1. La grille de contraintes**

Sur le territoire français, les outils de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire et d'urbanisme ainsi que les interlocuteurs concernés sont très nombreux.

Un recensement exhaustif de ces dispositions et intervenants, spécifiques à la région Auvergne, aux différents départements, aux communes concernées, a été nécessaire avant tout repérage. En effet, il est fondamental d'entreprendre les visites de sites et les rencontres des acteurs locaux, à travers une grille de contraintes foncières et réglementaires adaptée.

## 2.2. Recensement des contraintes techniques et valeurs environnementales

Nous établissons ici la liste exhaustive de toutes les informations nécessaires à notre étude. Une certaine quantité de ces informations n'est pas disponible à l'échelle de la région Auvergne et n'a pas été utilisée dans le cadre de notre étude.

Il est important, toutefois, d'établir cette liste qui servira par la suite à définir l'ensemble des informations nécessaires à la bonne mise en place d'une ferme éolienne en région Auvergne.

### Les Outils d'Aménagement et d'Urbanisme

Désignation	Interlocuteur(s)
Classement dans le POS de la Commune	Mairie, Agence de l'Urbanisme
Définition de la classe du POS	Mairie, Agence de l'Urbanisme
Dates de dernière et de prochaine mise à jour du POS	Mairie, Agence de l'Urbanisme
Classement dans l'éventuel schéma d'Aménagement Régional (ou projet de SAR) : <ul style="list-style-type: none"> <li>Espace remarquable</li> <li>Espace agricole</li> <li>Espace réservé à l'urbanisation</li> </ul>	région Auvergne

### Les Outils de Protection de l'Environnement

Désignation	Interlocuteur(s)
Classement dans l'inventaire ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique)	DIREN, Mairie, Agence de l'Urbanisme
Classement dans l'inventaire ZPPAUP (Zone de Protection du Patrimoine Architectural Urbain et des Paysages)	DIREN, Mairie
Position du Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres : <ul style="list-style-type: none"> <li>Acquisition du Conservatoire</li> <li>Projet d'acquisition du Conservatoire</li> </ul>	Conservatoire, Agence de l'Urbanisme
Classement « Sites et Paysages » : <ul style="list-style-type: none"> <li>Site Naturel inscrit</li> <li>Site Naturel classé</li> </ul>	DIREN, DDE, Agence de l'Urbanisme
Classement « Protection de la nature » : <ul style="list-style-type: none"> <li>Arrêté de Biotope</li> <li>Réserve ornithologique</li> <li>Réserve biologique</li> <li>Réserve domaniale</li> <li>Réserve forestière</li> </ul>	DIREN, DDE, Agence de l'Urbanisme
Classement en Espace Naturel Sensible	Département, DIREN
Classement de l'ONF : <ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt domaniale</li> <li>Forêt départementale-domaniale</li> <li>Forêt départementale</li> </ul>	ONF

Directives Européennes : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Directive Oiseaux</i> : doit donner lieux en France à la création de ZPS (Zone de Protection Spéciale) dans lesquelles doivent être inclus les ZICO actuelles (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux)</li> <li>• <i>Directive Habitat Faune Flore</i> : doit donner lieux en France à la création de ZSC (Zone Spéciale de Conservation)</li> </ul>	DIREN, DDE
Localisation du Parc Naturel Régional	PNR, Agence de l'Urbanisme
Classement en Réserve de Chasse	Agence de l'Urbanisme, Association de Chasseurs

### Servitudes publiques

Désignation	Interlocuteur(s)
Servitudes aéronautiques	Aviation civile + annexes du POS
Servitudes radioélectriques	Aviation civile + annexes du POS
Propagation Hertzienne (VHF, UHF...)	Gendarmerie, Armée,...+ annexes du POS
Liaisons France Télécom et TDF	France Télécom + annexes du POS
Autres servitudes : Passage de canalisations souterraines...	Annexes du POS

## 2.3. Données acquises

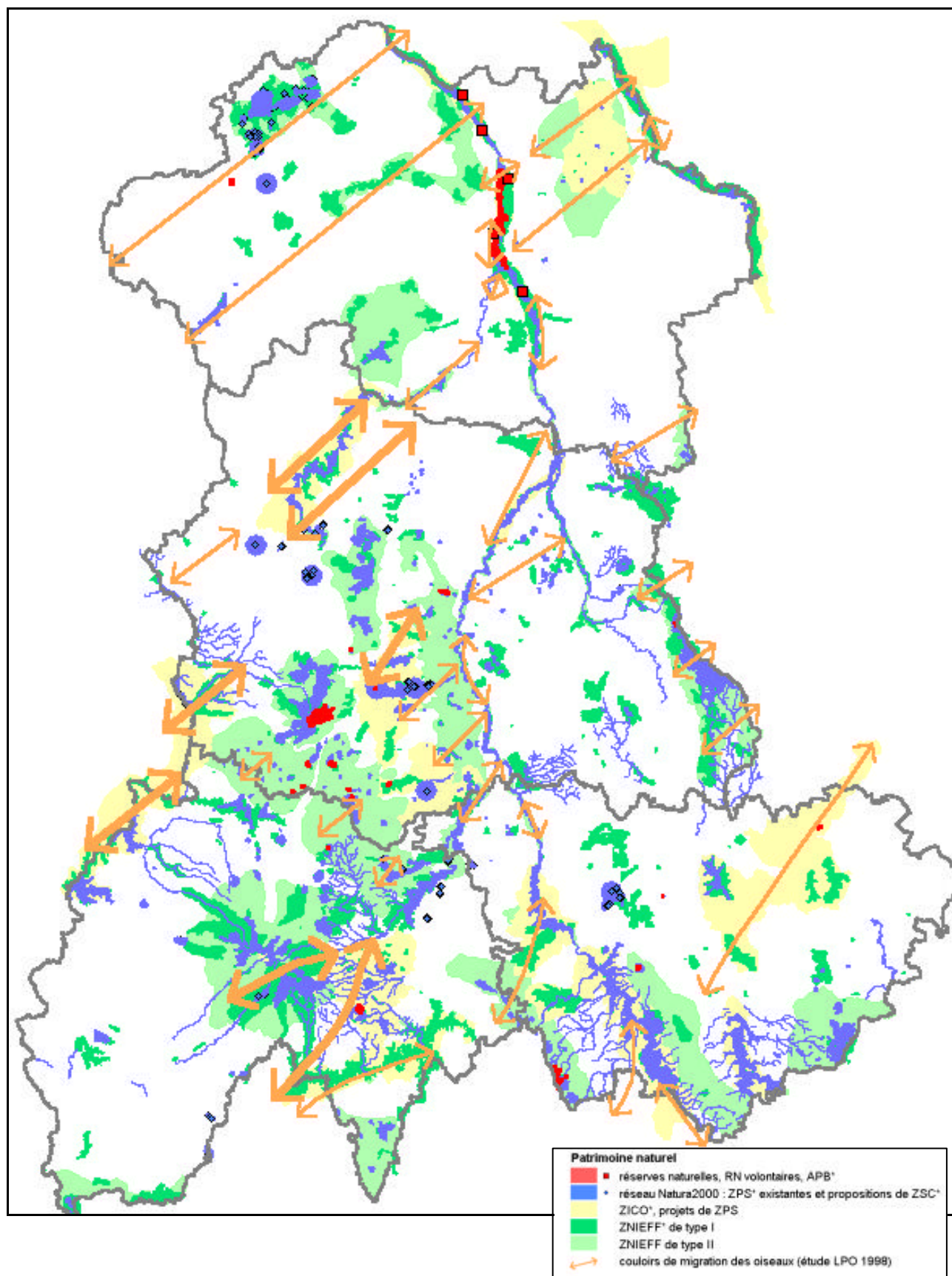
A l'issue d'une phase de recherche et de récupération des données liées aux servitudes techniques et aux valeurs environnementales, nous avons créé une base de données cartographiques comprenant les données suivantes :

- Contraintes environnementales : ZNIEFF 1 et 2, ZICO, sites classés, monuments historiques, parcs naturels régionaux, zones urbaines, Natura 2000. Ces données sont extraites de la base de données de la DIREN Auvergne.
- Contraintes techniques : réseau du transport et de distribution de l'électricité (42kV, 63 kV, 90kV, 150 kV, 225 kV, 400kV), aérodromes, constructions élevées, sites et enceintes militaires, réseau routier...

Les figures suivantes représentent un exemple de visualisation graphique de ces données. Nous avons classé les représentations graphiques en deux thèmes distincts :

- Données « Nature » englobant toutes les valeurs environnementales : 1 carte régionale et 4 cartes départementales
- Données « Paysage et Sites » englobant toutes les données sites: 1 carte régionale et 4 cartes départementales
- Contraintes techniques : 1 carte régionale et 4 cartes départementales

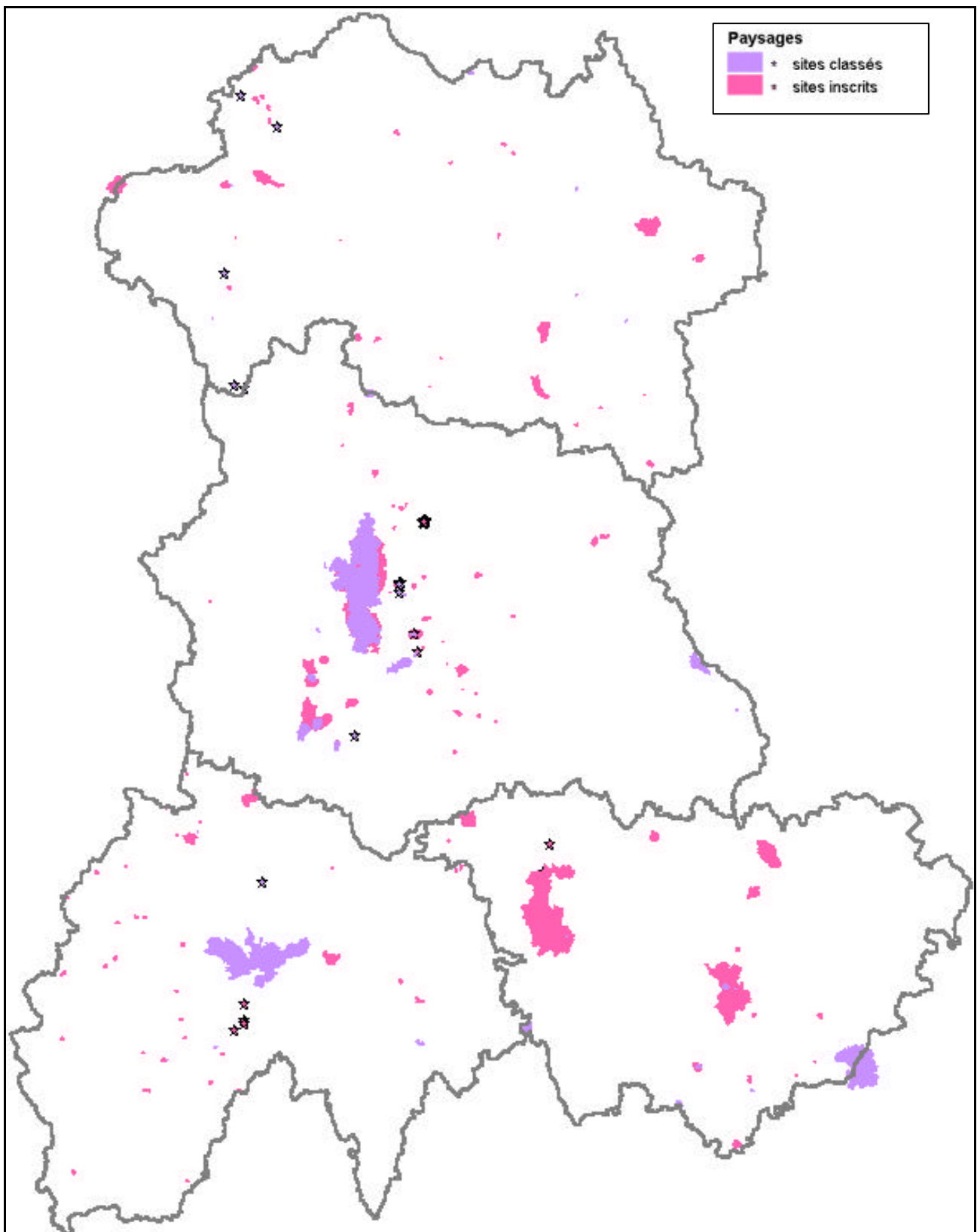
### 2.3.1 Patrimoine naturel



*Figure 10 : Cartographie du patrimoine naturel sur la région Auvergne*



### 2.3.2 Données « Paysage et Sites »



*Figure 11 : Cartographie des données site et paysage sur la région Auvergne*

### 2.3.3 Contraintes techniques et servitudes

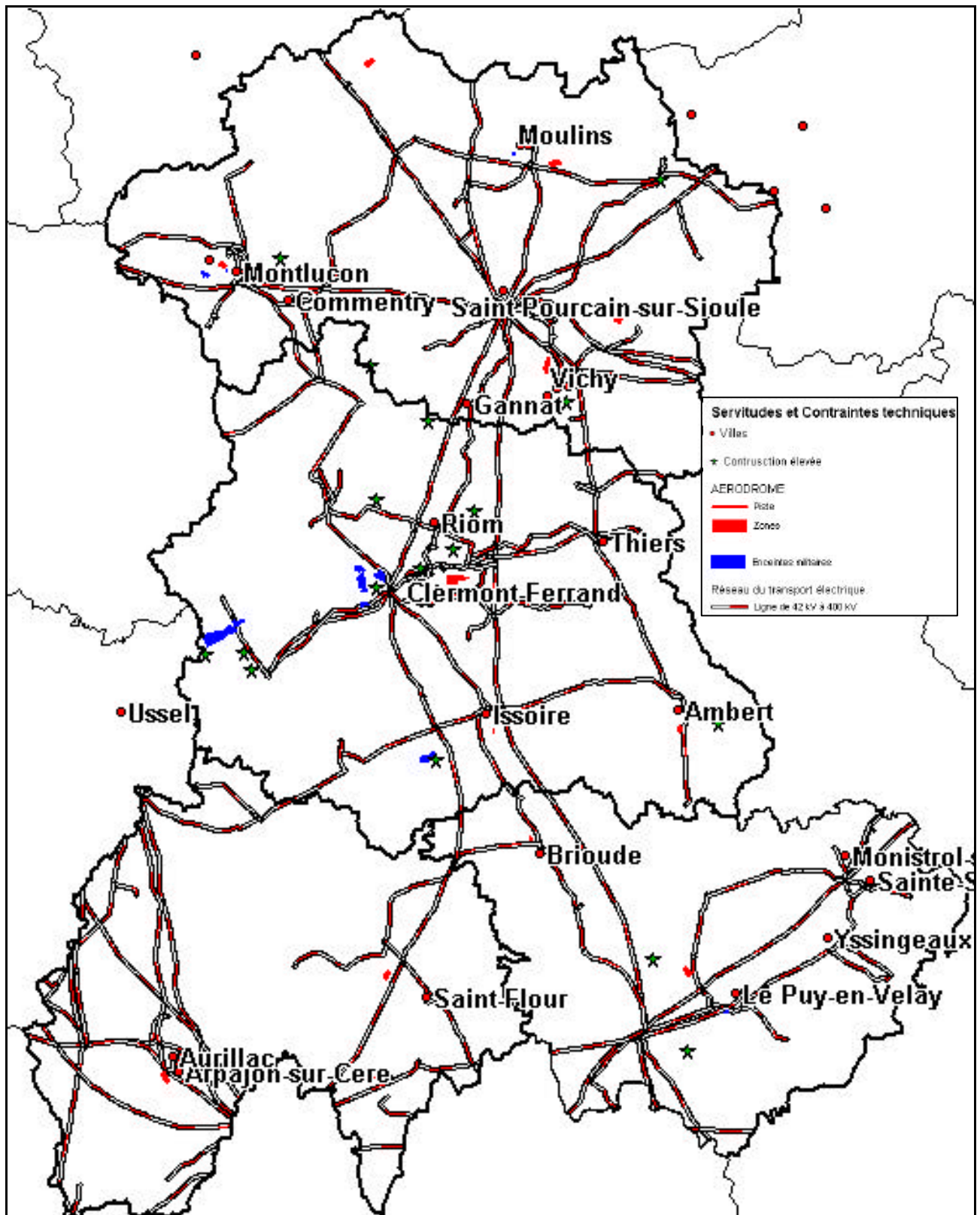


Figure 12 : Cartographie des servitudes et des contraintes techniques sur la région Auvergne



### 3. Troisième Etape: Hiérarchisation des contraintes

#### 3.1. Zonage régional des contraintes

Il a été décidé, en concertation avec la DIREN Auvergne, de classer les données de valeurs environnementales selon trois thèmes : Nature, Paysage et Territoire.

Au sein de chacun de ces thèmes, les différentes contraintes ont été pondérées comme ci-dessous :

##### 3.1.1 Données Site et Paysage

	AUVERGNE
Sites inscrits	Absolue
Sites classés	Absolue
Zones "emblématiques"	Forte
Zones sensibles paysagères	Préconisations
Monuments historiques et abords	*
Parcs Naturels Régionaux	Forte
Forêts Publics	Forte

\* Avis conforme de l'ABF

##### 3.1.2 Patrimoine Naturel

	AUVERGNE
Arrêté de biotope	Absolue
Réserve naturelle	Absolue
Natura 2000 (Zone de Protection Spéciale, Zone Spéciale de Conservation),	Forte
Couloirs Migratoires	Forte
ZNIEFF	Moyen
ZICO	Moyen

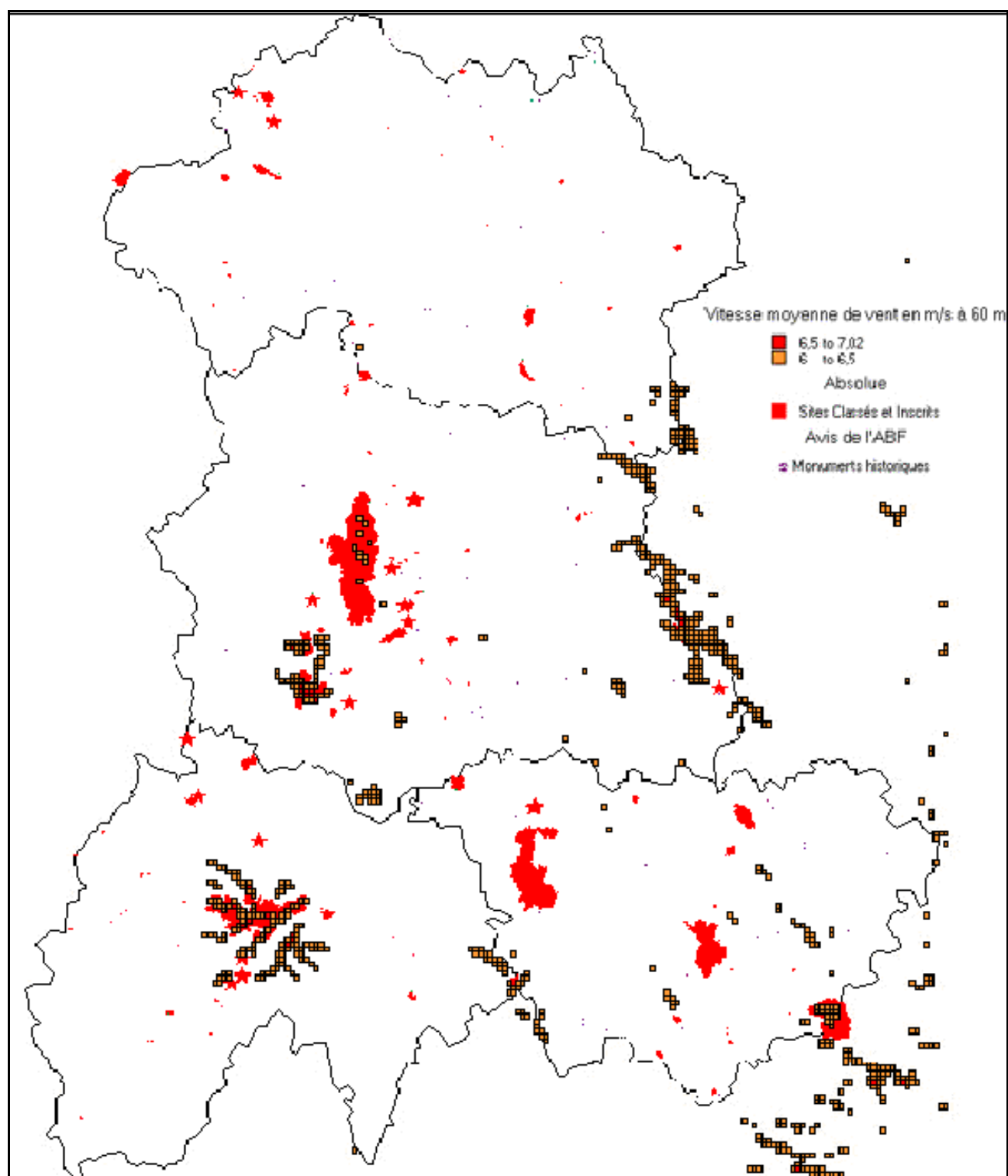
Cette classification des contraintes a été cartographiée pour chacun de ces deux thèmes.

#### 3.2. Influence sur le développement de l'éolien en Auvergne

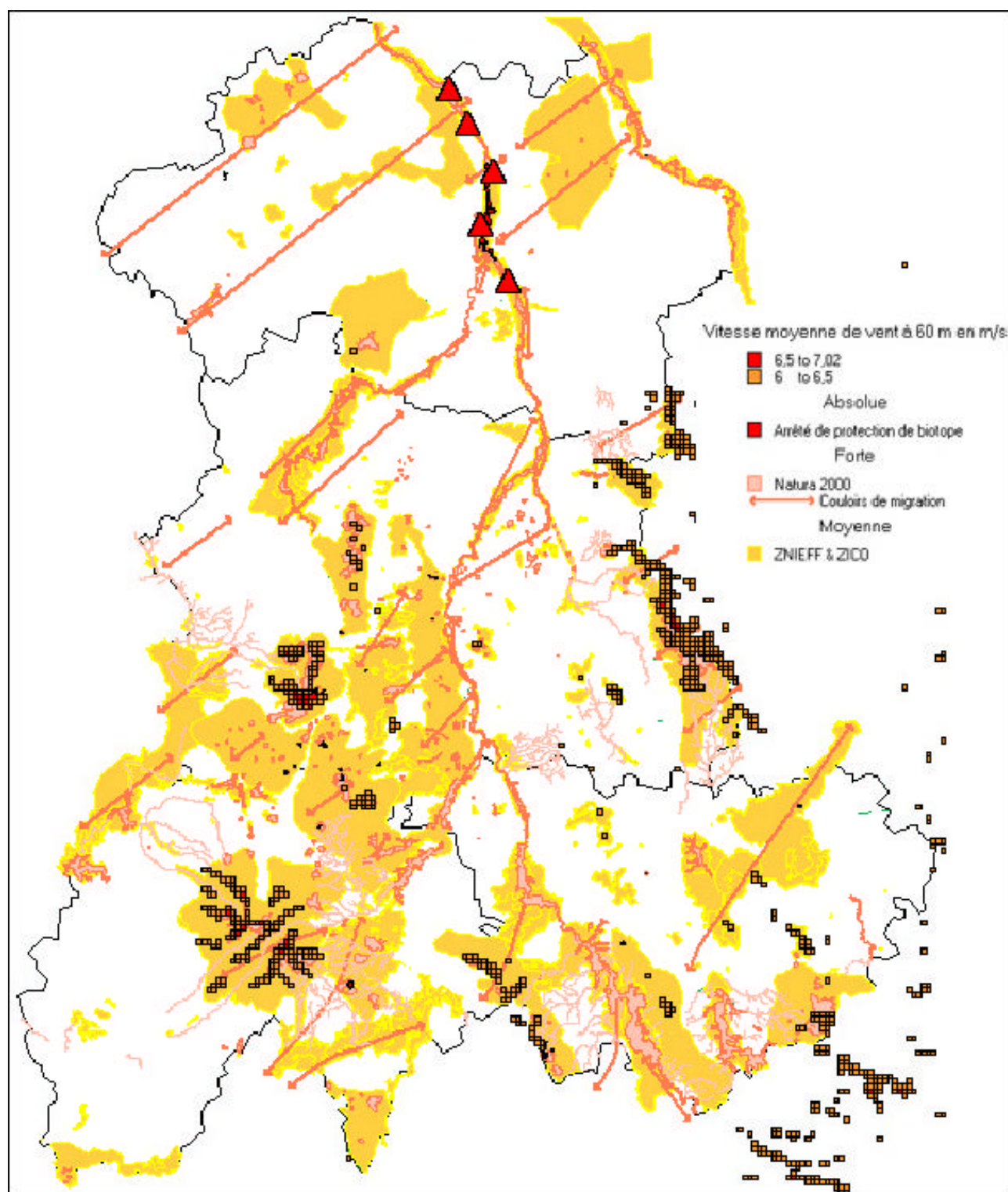
La comparaison du zonage des valeurs liées aux sites, paysagères, naturelles avec la cartographie du gisement éolien fait apparaître une forte corrélation entre les zones les plus ventées et les zones à forte valeur environnementale.

L'influence du relief sur le gisement éolien est à l'origine de ce constat.

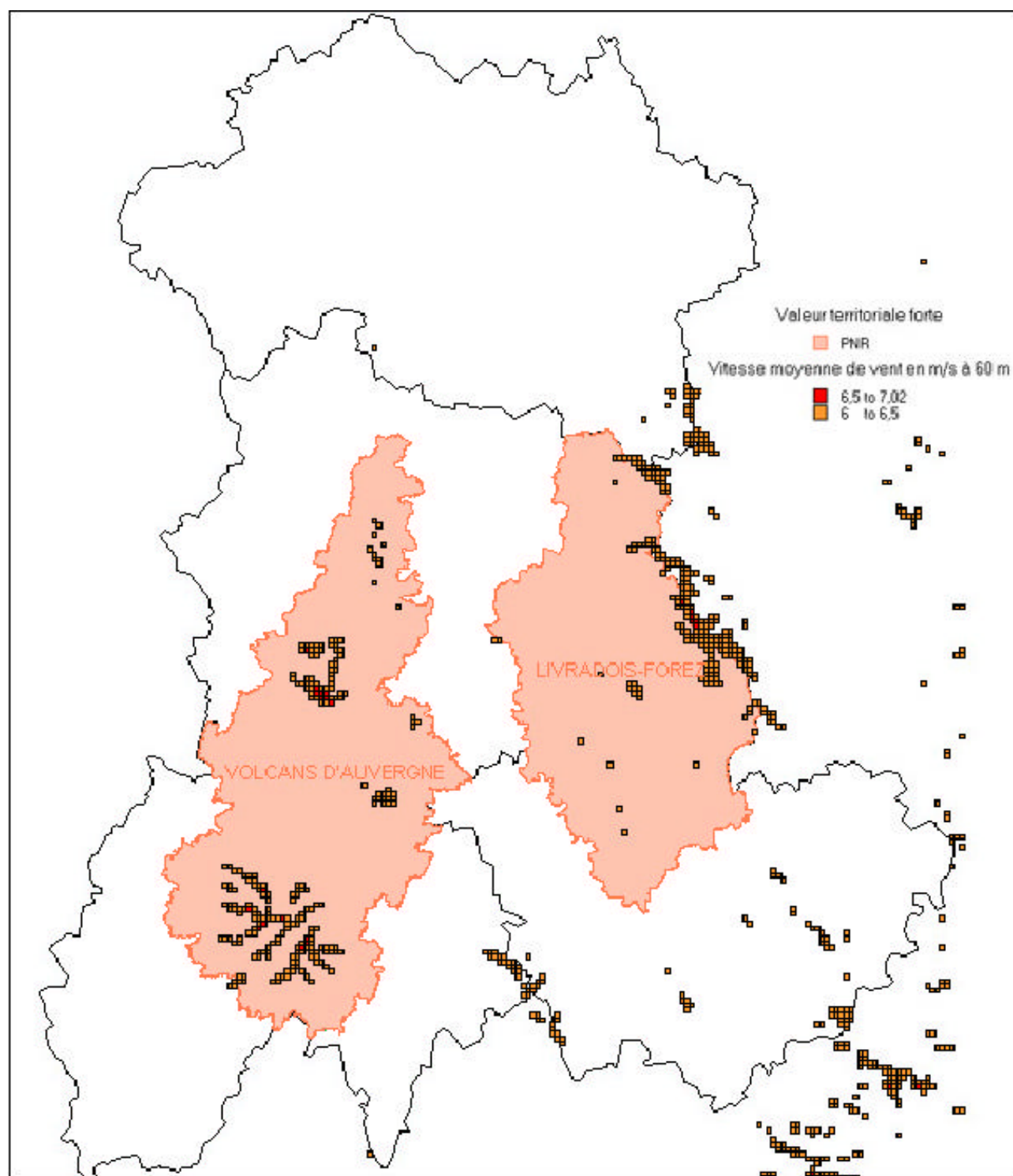
**Les cartes ci-après représentent chacun des trois thèmes environnementaux sur lesquels ont été superposés la couche du gisement éolien supérieur ou égal à 6 m/s.**



*Figure 13 : Valeurs paysagères et gisement éolien*

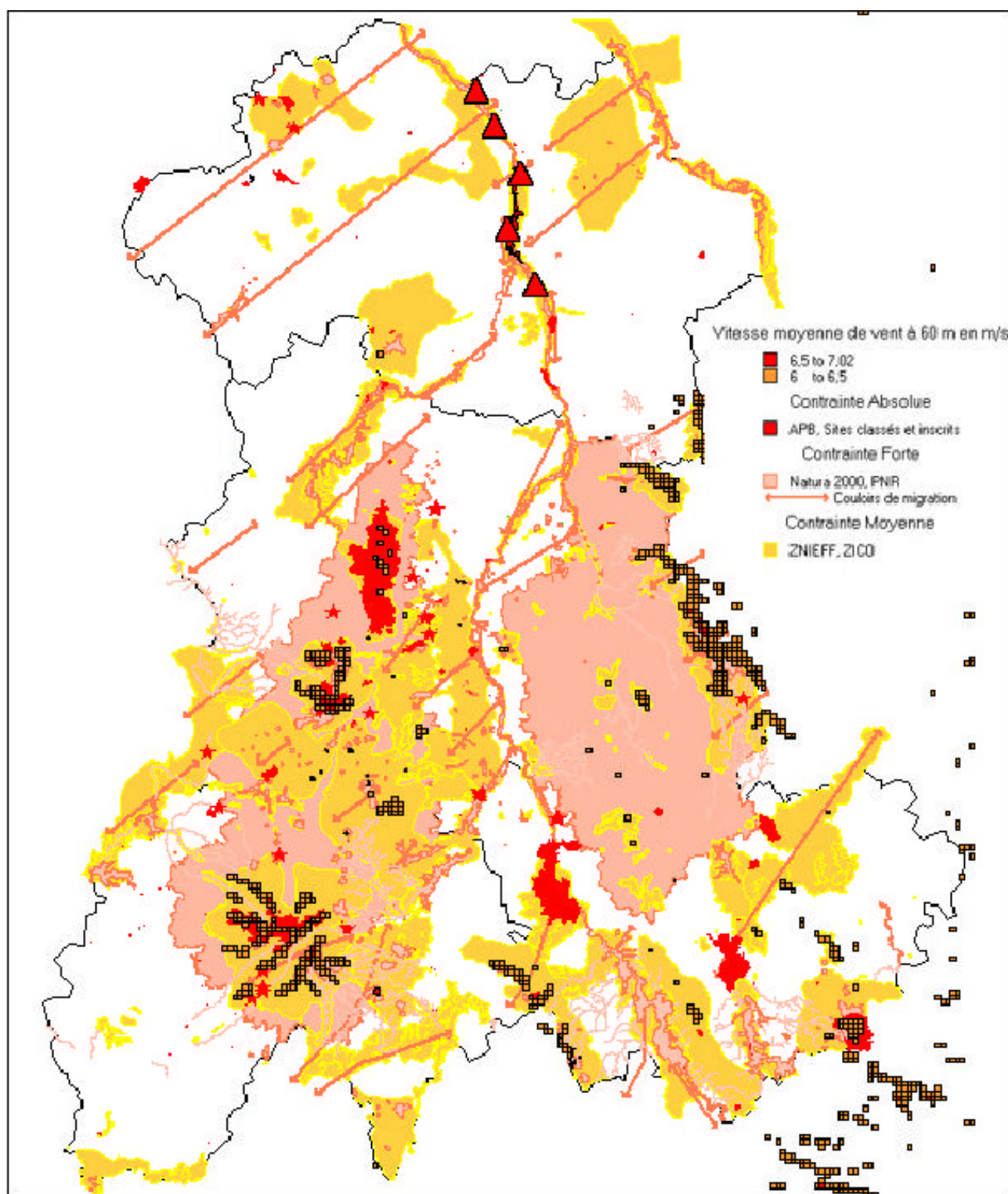


*Figure 14 : Valeurs naturelles et gisement éolien*



*Figure 15 : Valeurs territoriales et gisement éolien*

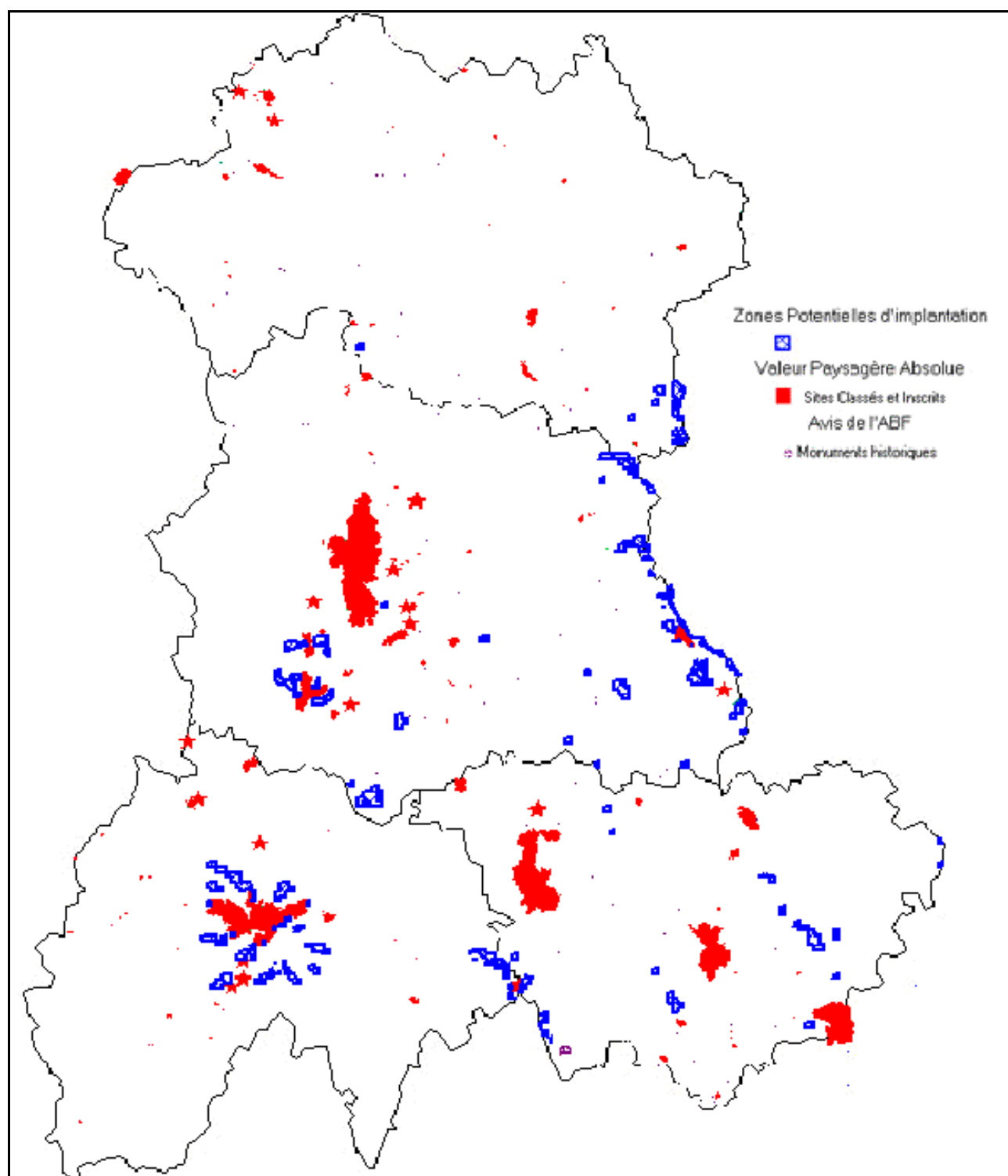




*Figure 16 : Valeurs environnementales et gisement éolien*

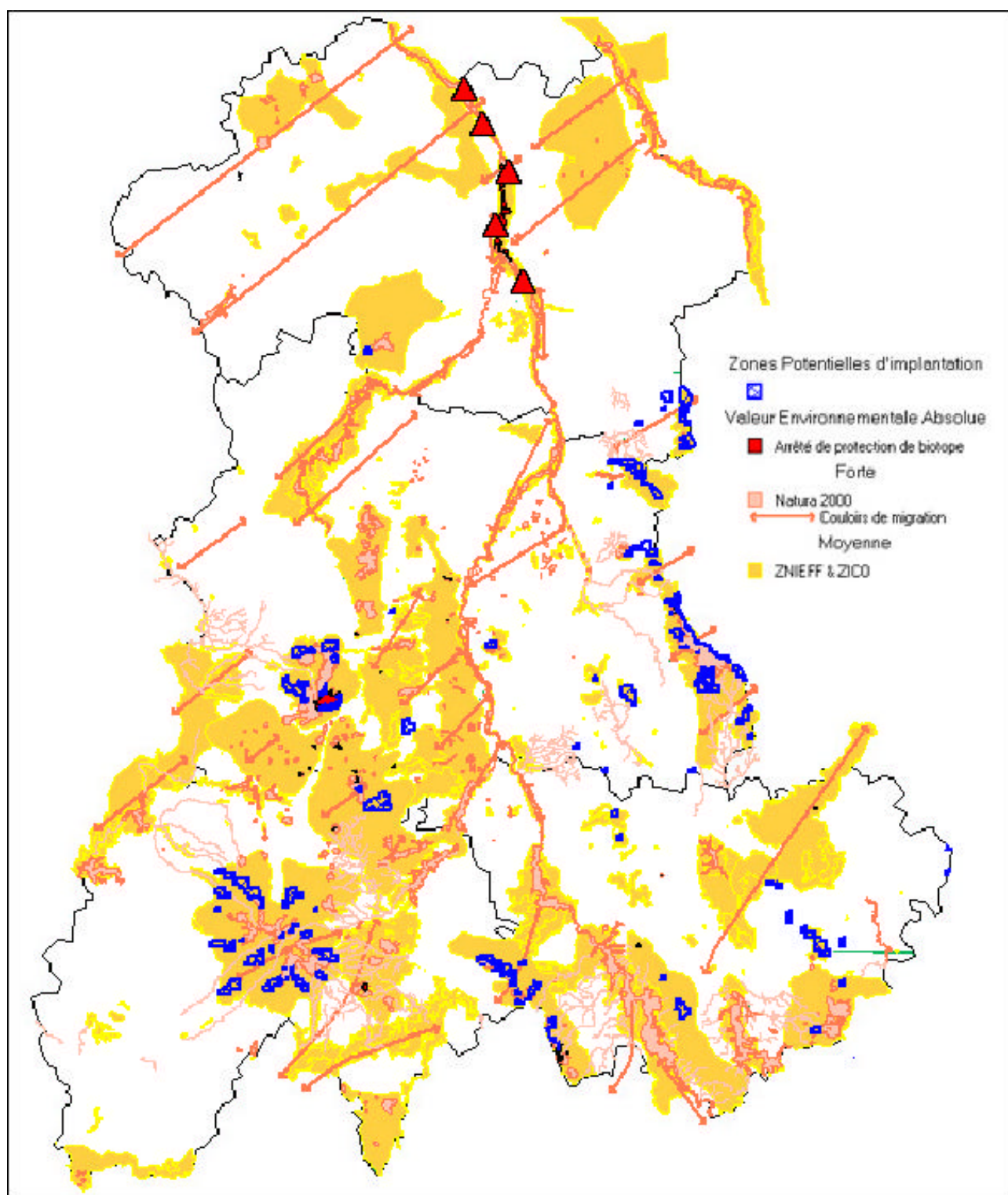
**Les cartes suivantes font apparaître les zones potentielles d'implantation d'éoliennes.**

**Ces zones représentent le gisement éolien régional supérieur ou égal à 6 m/s, duquel ont été retranchées les zones à valeur environnementale absolue (sites classés, sites inscrits, arrêtés de protection de biotope, réserves naturelles) ainsi que les sites Natura 2000.**

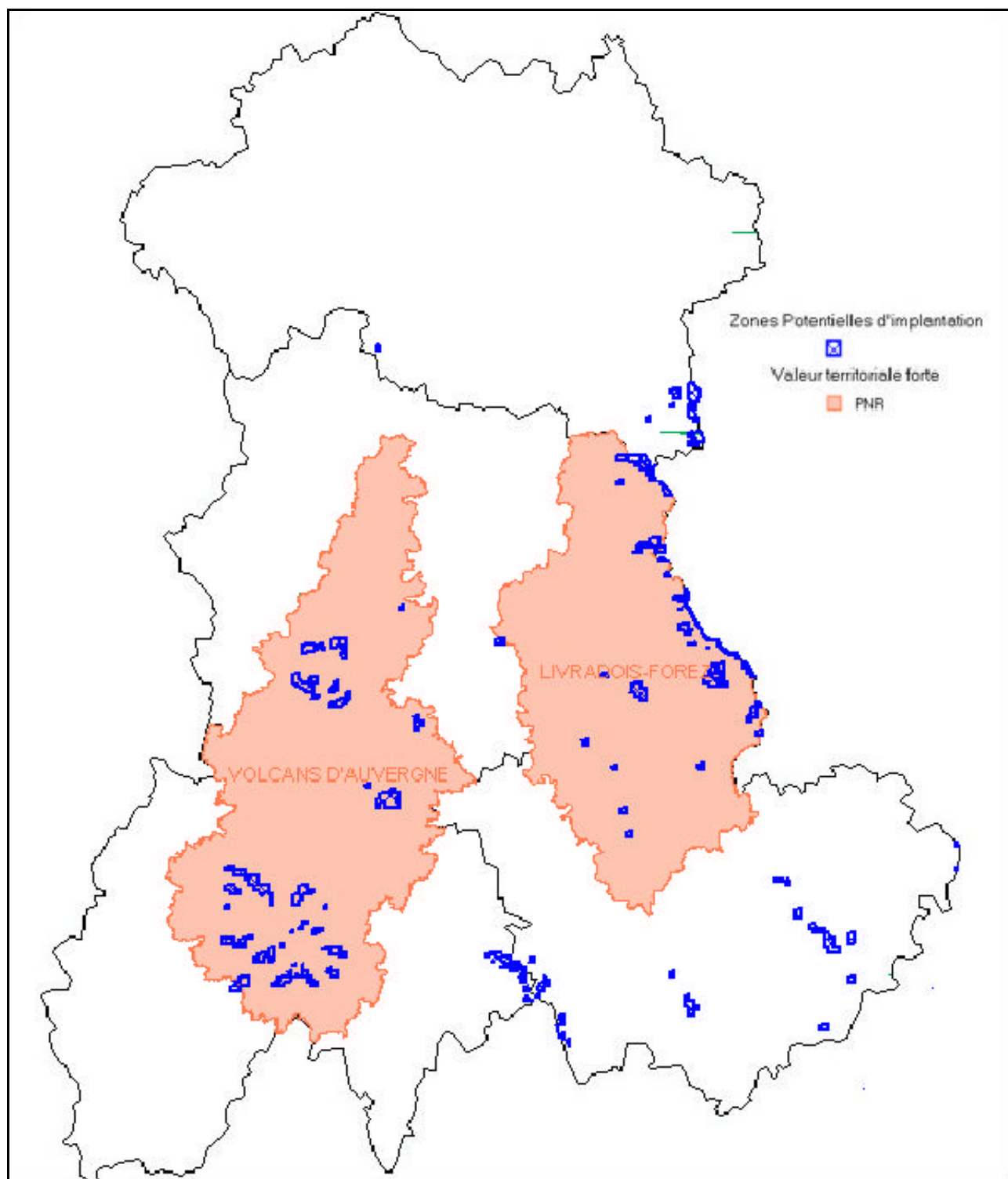


*Figure 17 : Valeurs paysagères et zones potentielles d'implantation*

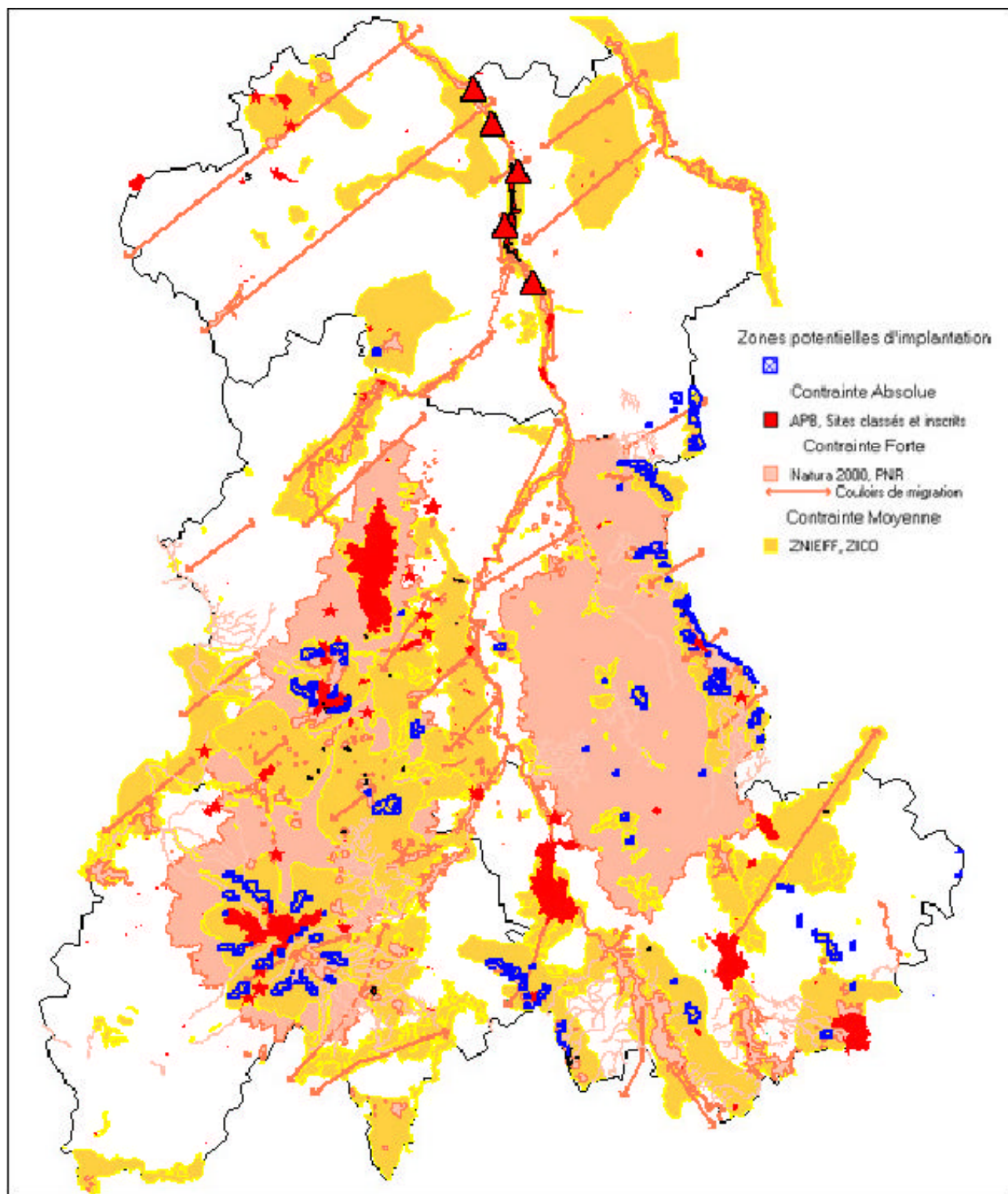




*Figure 18: Valeurs naturelles et zones potentielles d'implantation*



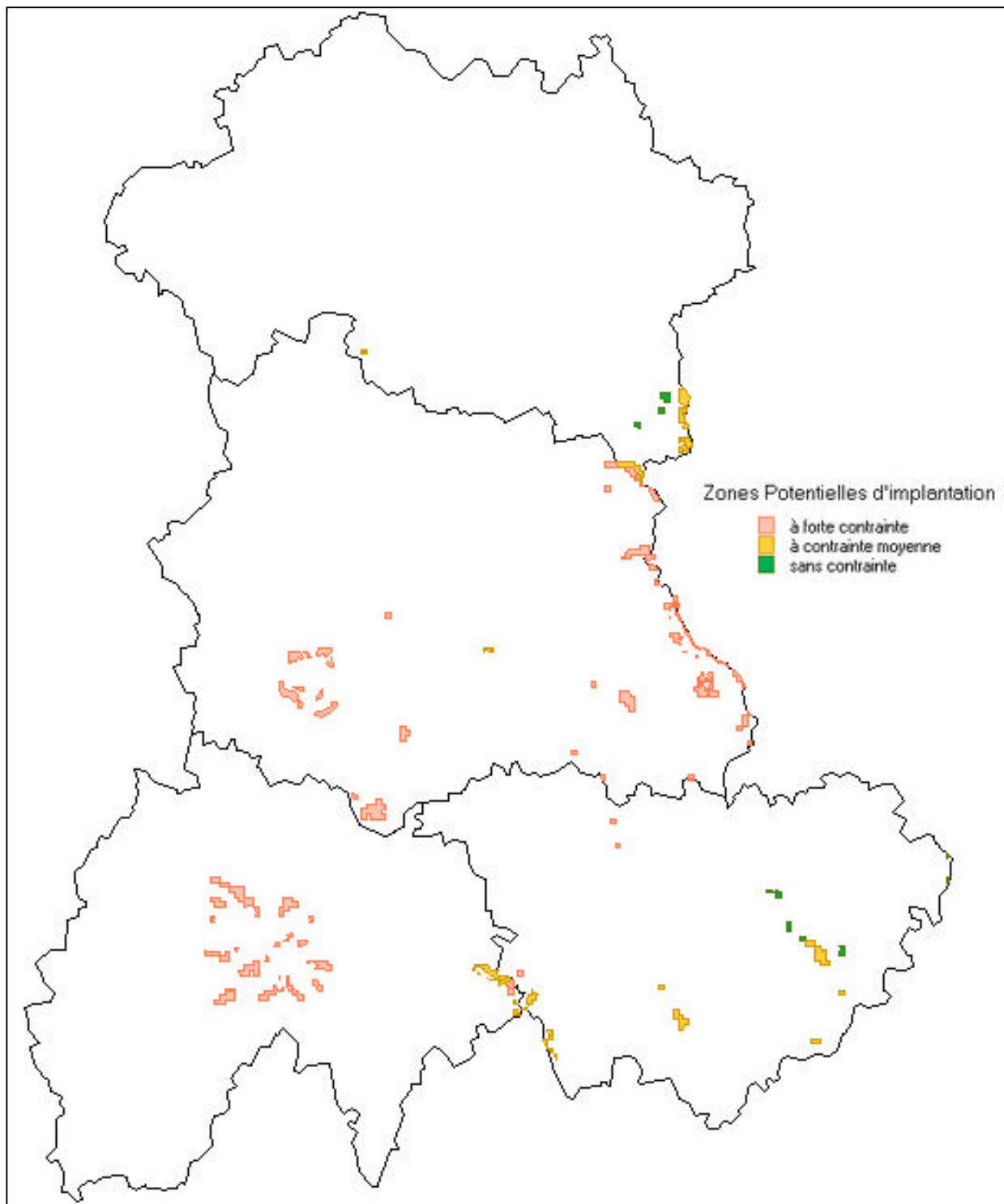
*Figure 19 : Valeurs territoriales et zones potentielles d'implantation*



*Figure 20 : Valeurs environnementales et zones potentielles d'implantation*

Si les zones décrites dans les cartes précédentes comme potentiellement favorables à l'accueil d'éoliennes, elles n'en demeurent pas moins situées pour la plupart sur des zones à forte ou moyenne valeurs environnementales, compte tenu de leur concentration sur les reliefs de la région.

La carte suivante présente ces zones potentielles d'implantation selon leur valeur environnementale respective.



*Figure 21 : Valeurs environnementales des zones potentielles d'implantation*



---

## Conclusions

---

Ce document a présenté la phase 2 du projet « Cartographie du gisement éolien de la région Auvergne qui a pour cadre une convention entre la région Auvergne et la société ARIA Technologies.

Ce projet a consisté en la réalisation de l'atlas éolien de la région Auvergne avec la prise en compte des contraintes liées à l'environnement et aux servitudes techniques d'autre part.

Le présent rapport a présenté la méthodologie de l'étape de modélisation ainsi que les résultats acquis à l'issue des travaux de modélisation à l'échelle régionale d'une part, et la base de données des contraintes techniques et des valeurs environnementales.

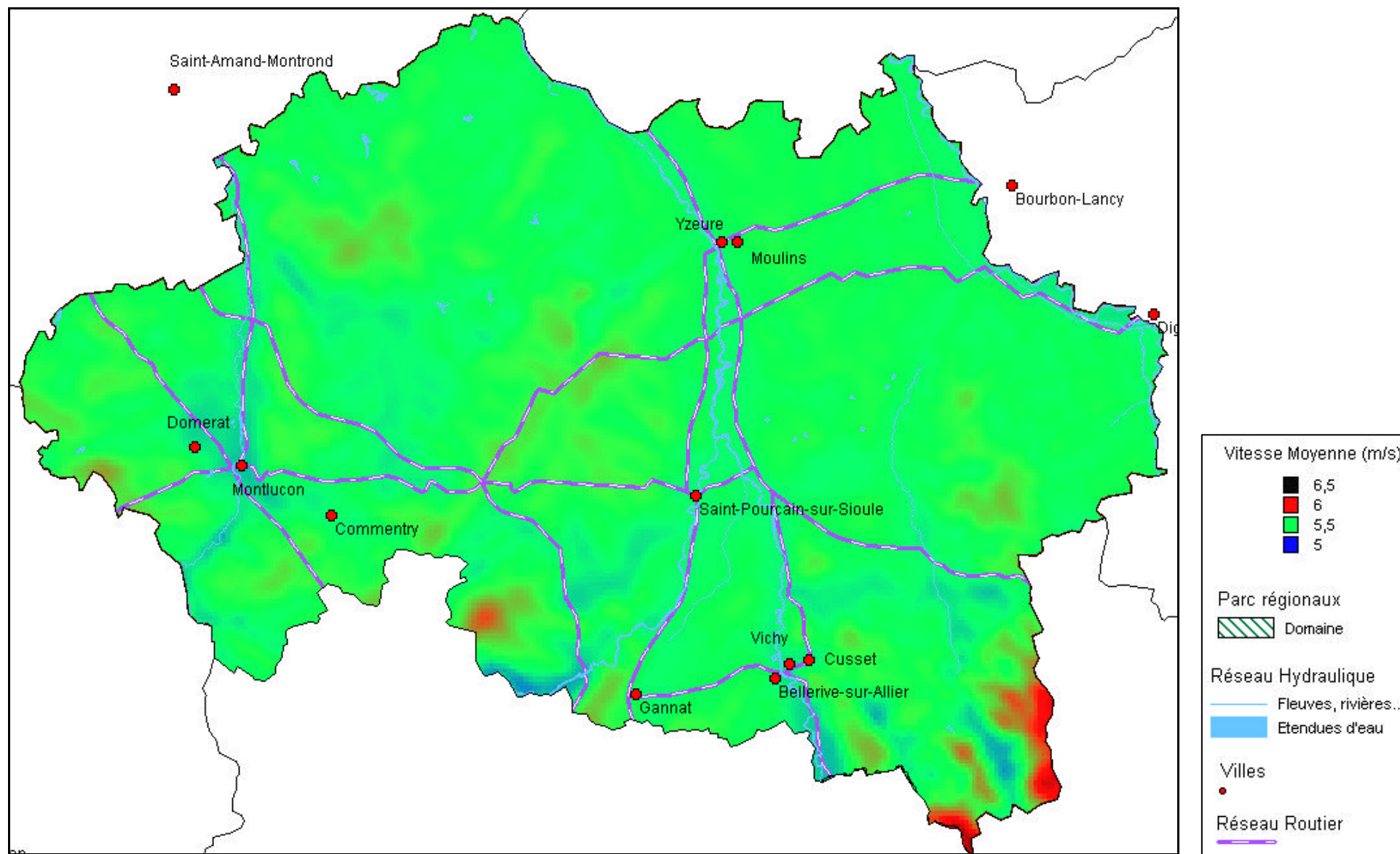
Le présent rapport a présenté la méthodologie de sélection des sites préférentiels à l'installation de fermes éoliennes

L'étape finale du projet consistera en la réalisation d'études d'impact paysager sur plusieurs sites.

---

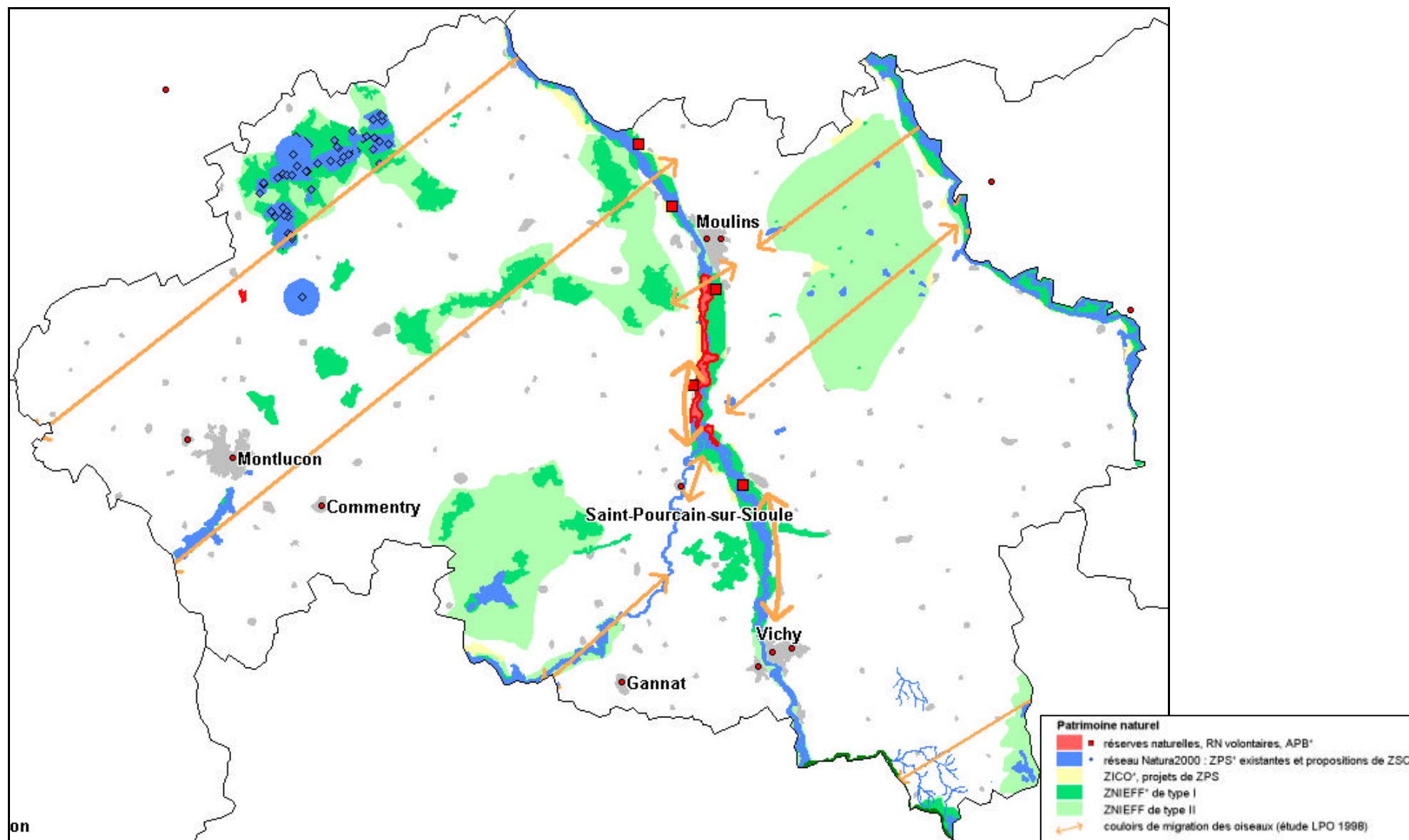
## **ANNEXE 1 : Cartes Départementales**

---

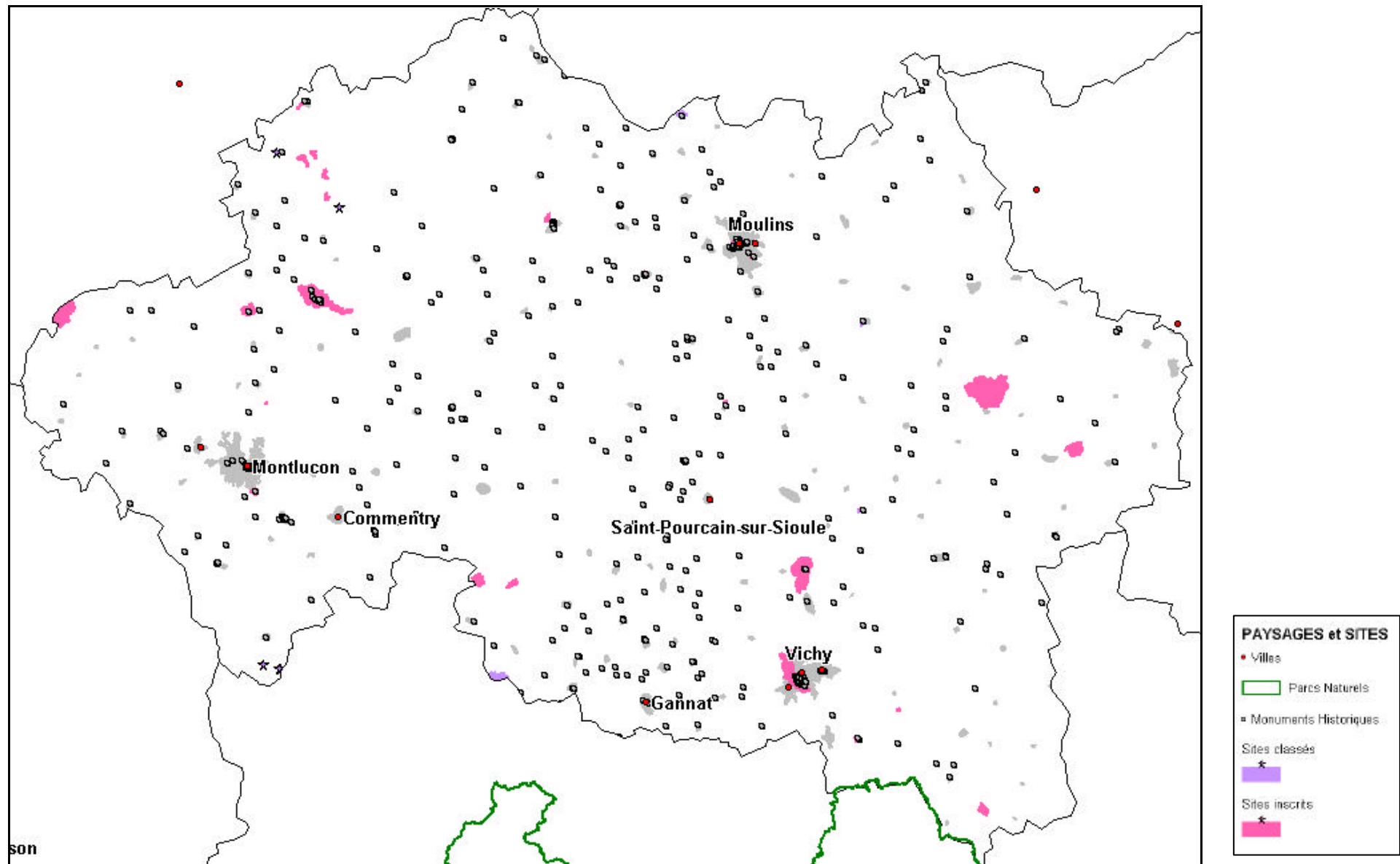


*Figure 22 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département de l'Allier pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.*

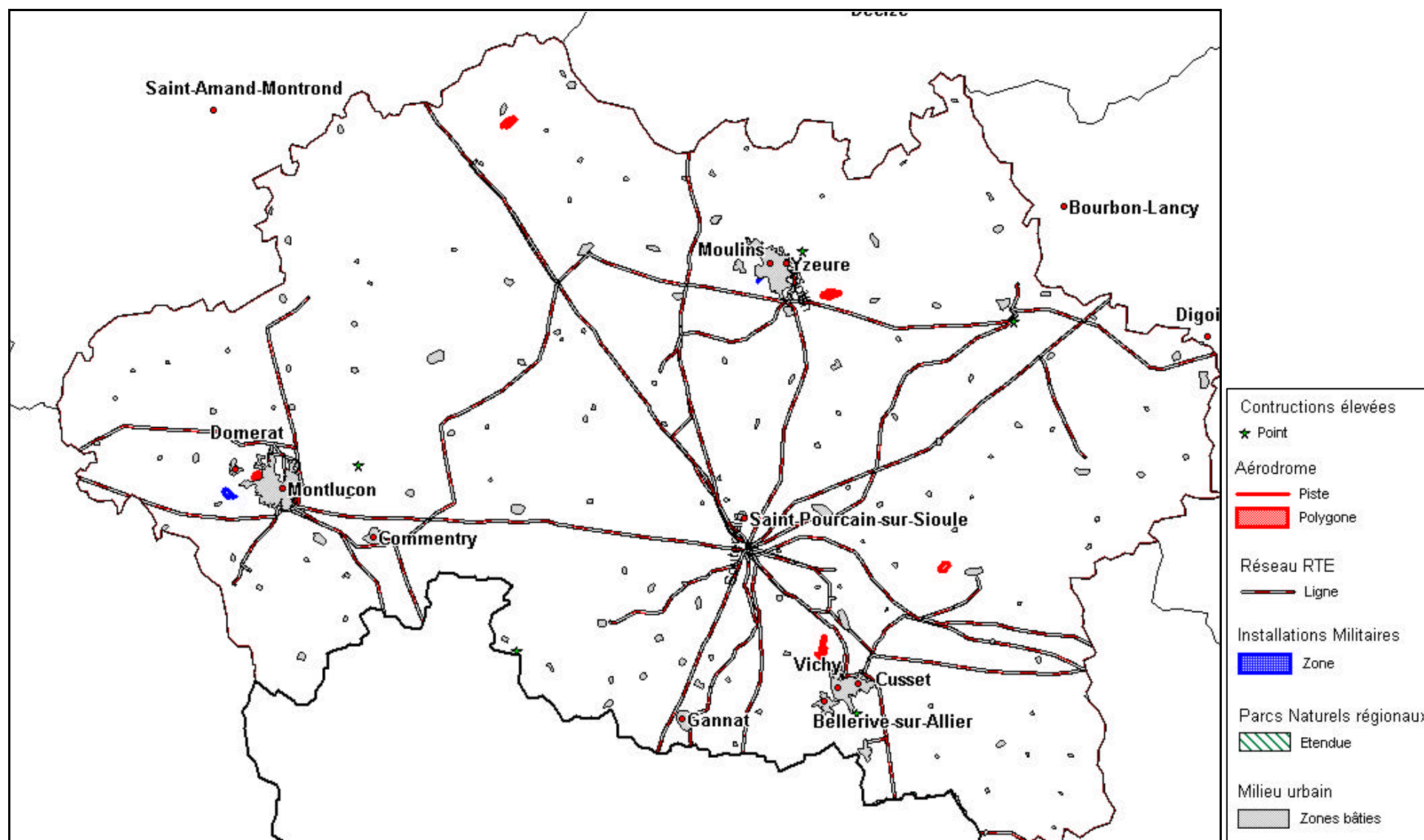




*Figure 23 : Cartographie des valeurs environnementales sur le département de l'Allier*

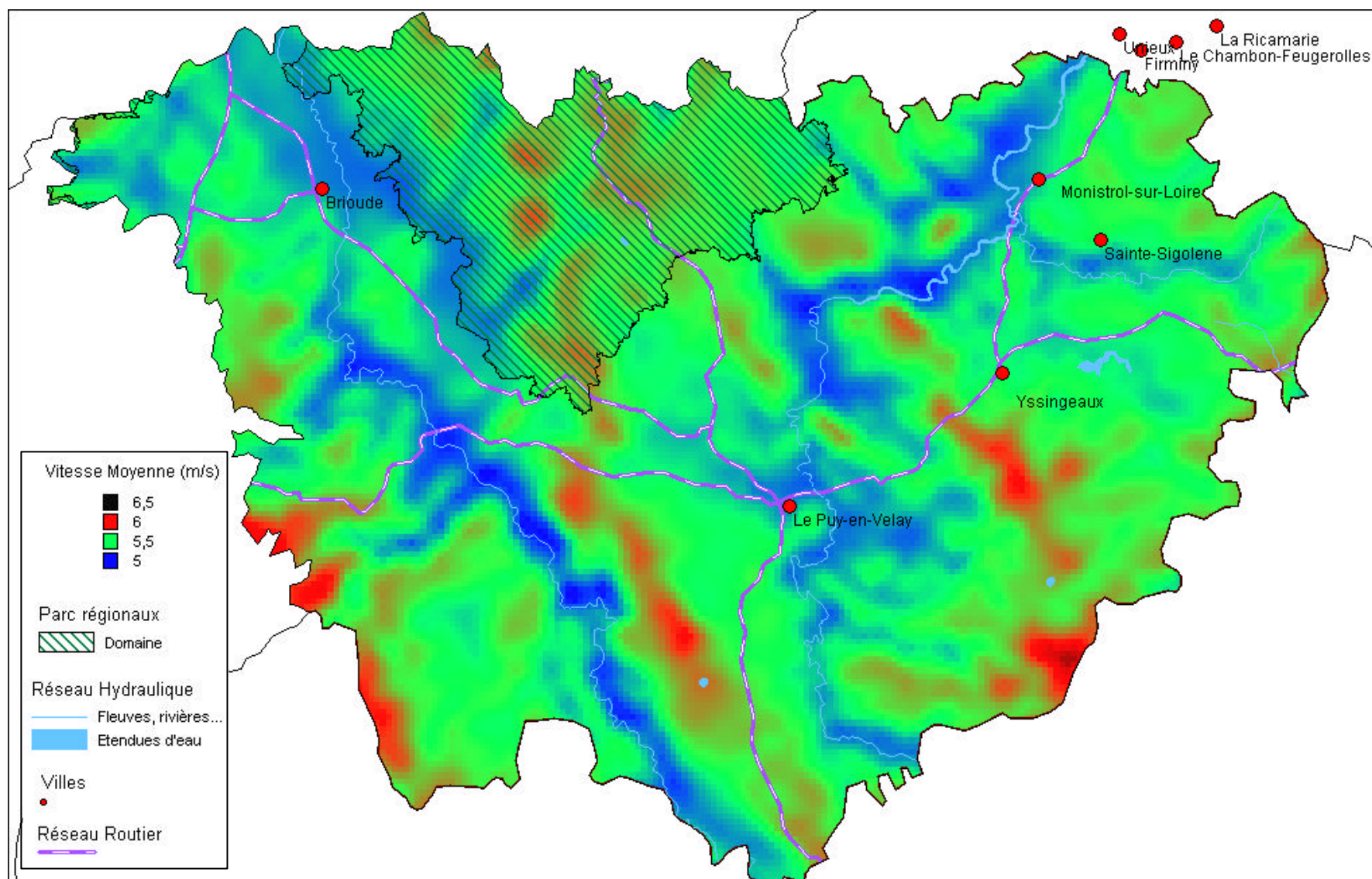


*Figure 24 : Cartographie des données site et paysage sur le département de l'Allier*

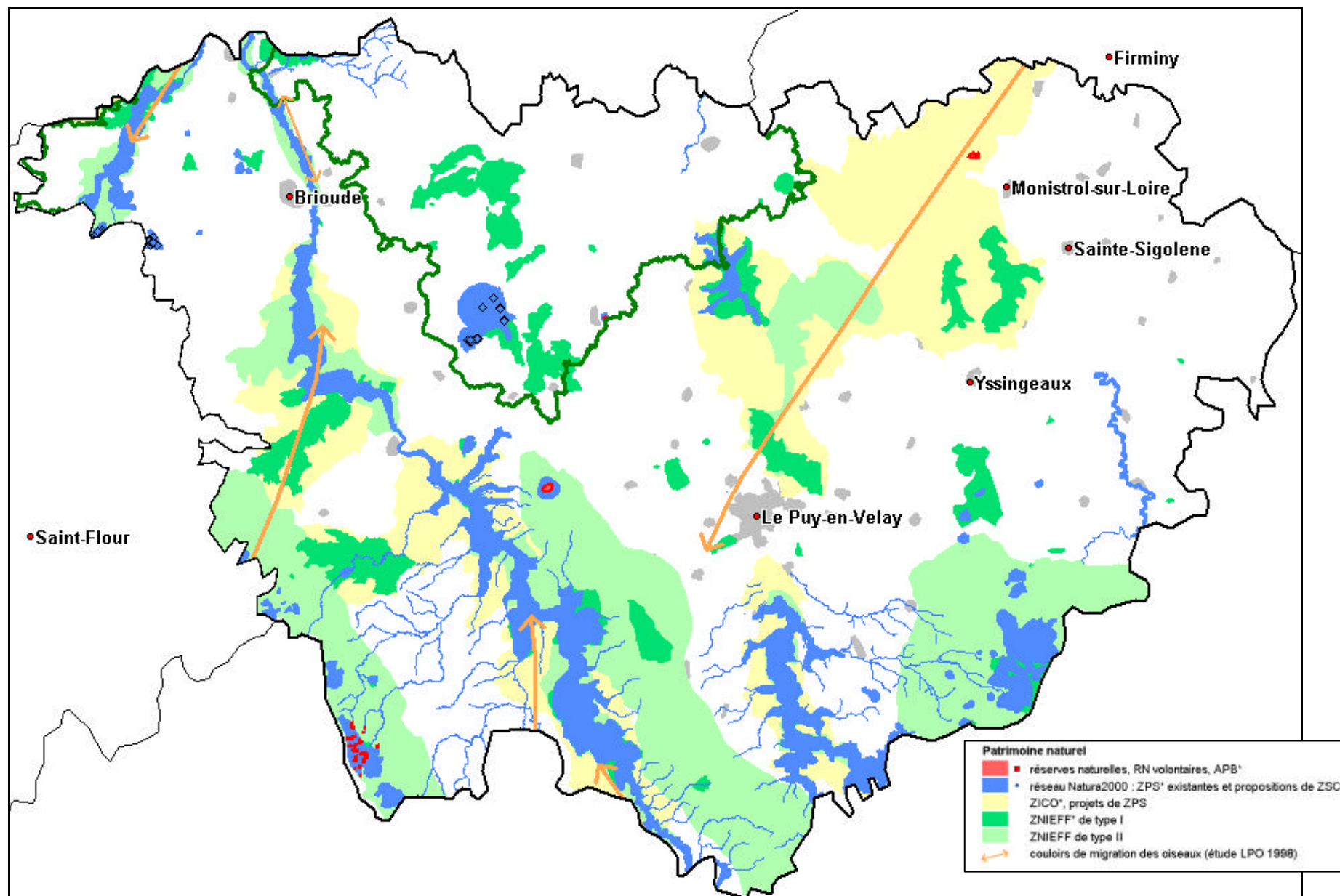


*Figure 25 : Cartographie des contraintes techniques sur le département de l'Allier*

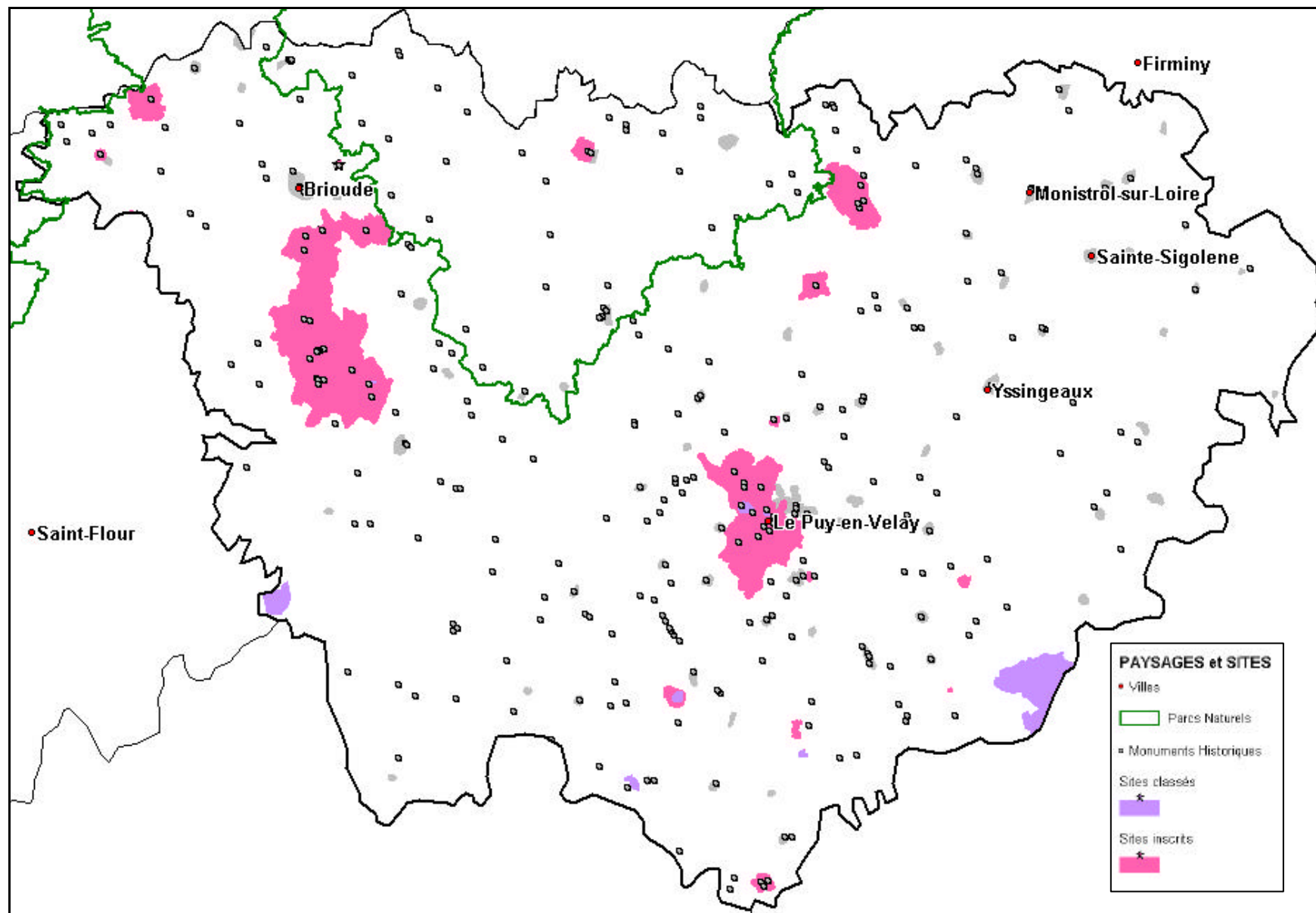




*Figure 26 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département de la Haute-Loire pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.*

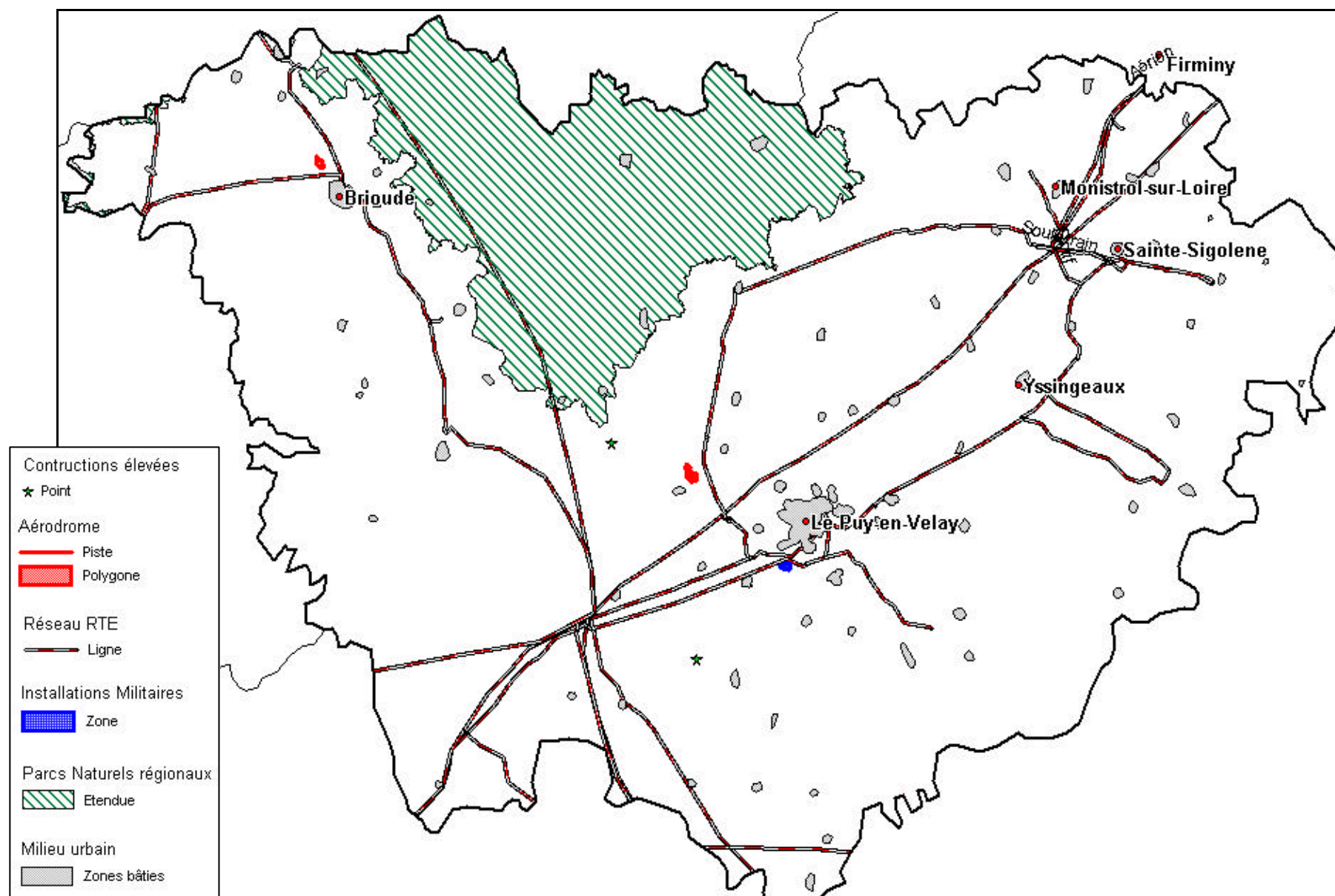


*Figure 27 : Cartographie du patrimoine naturel sur le département de la Haute Loire*



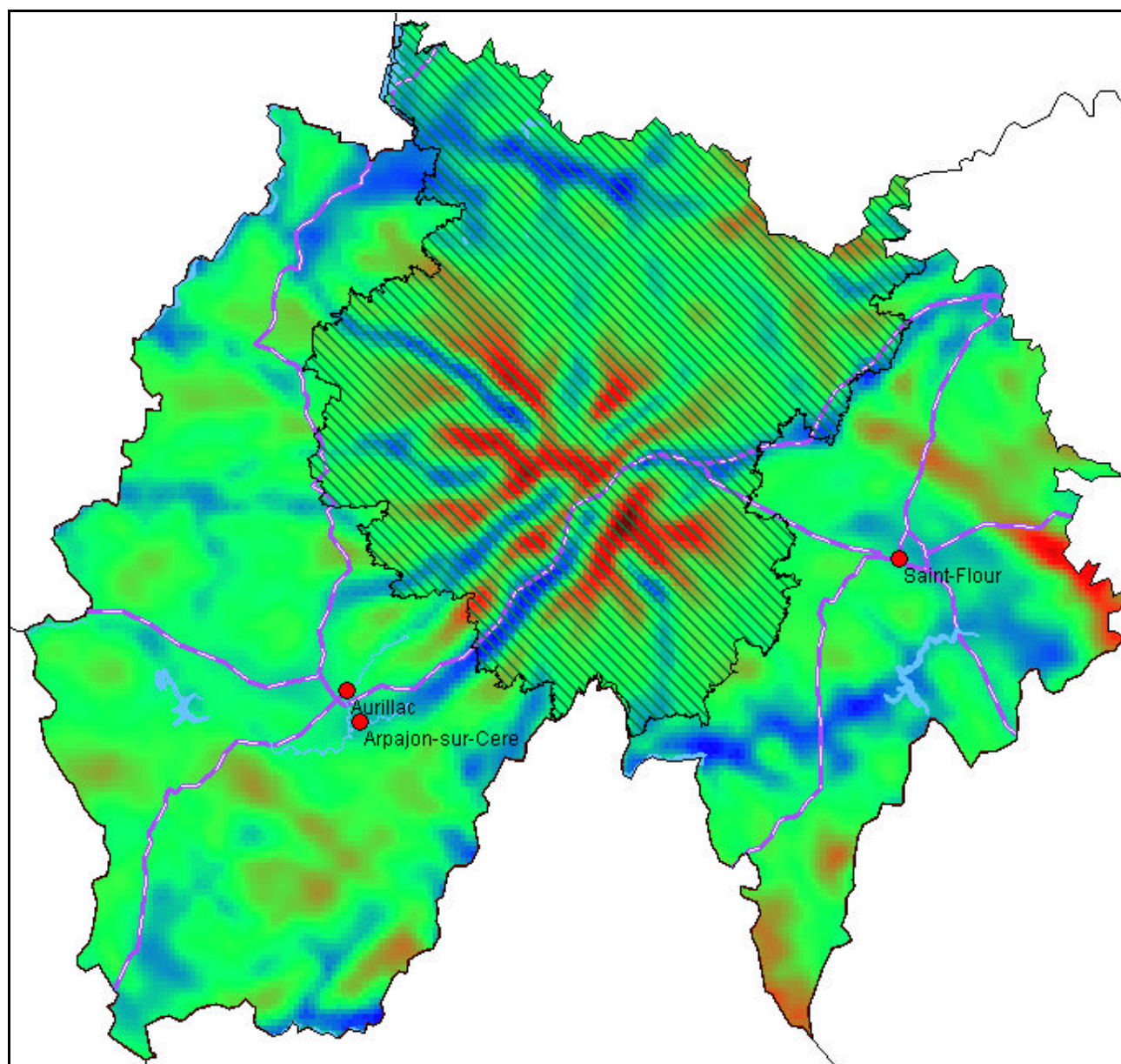
*Figure 28 : Cartographie des données site et paysage sur le département de la Haute-Loire*





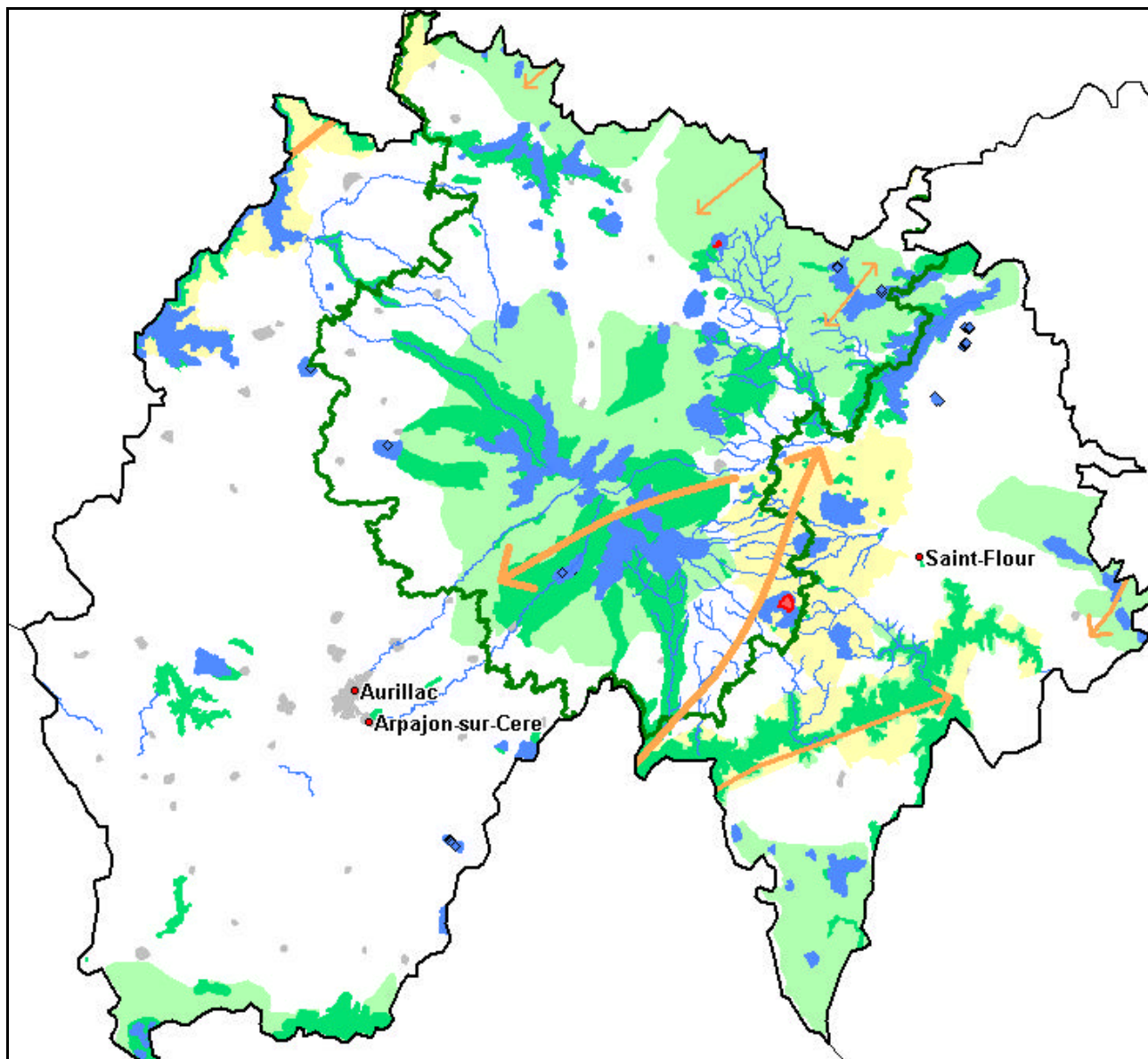
*Figure 29 : Cartographie des contraintes techniques sur le département de la Haute Loire*



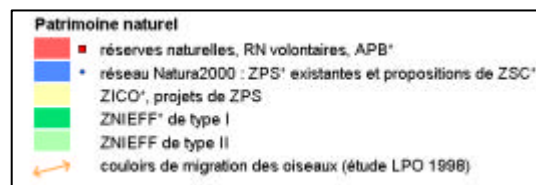


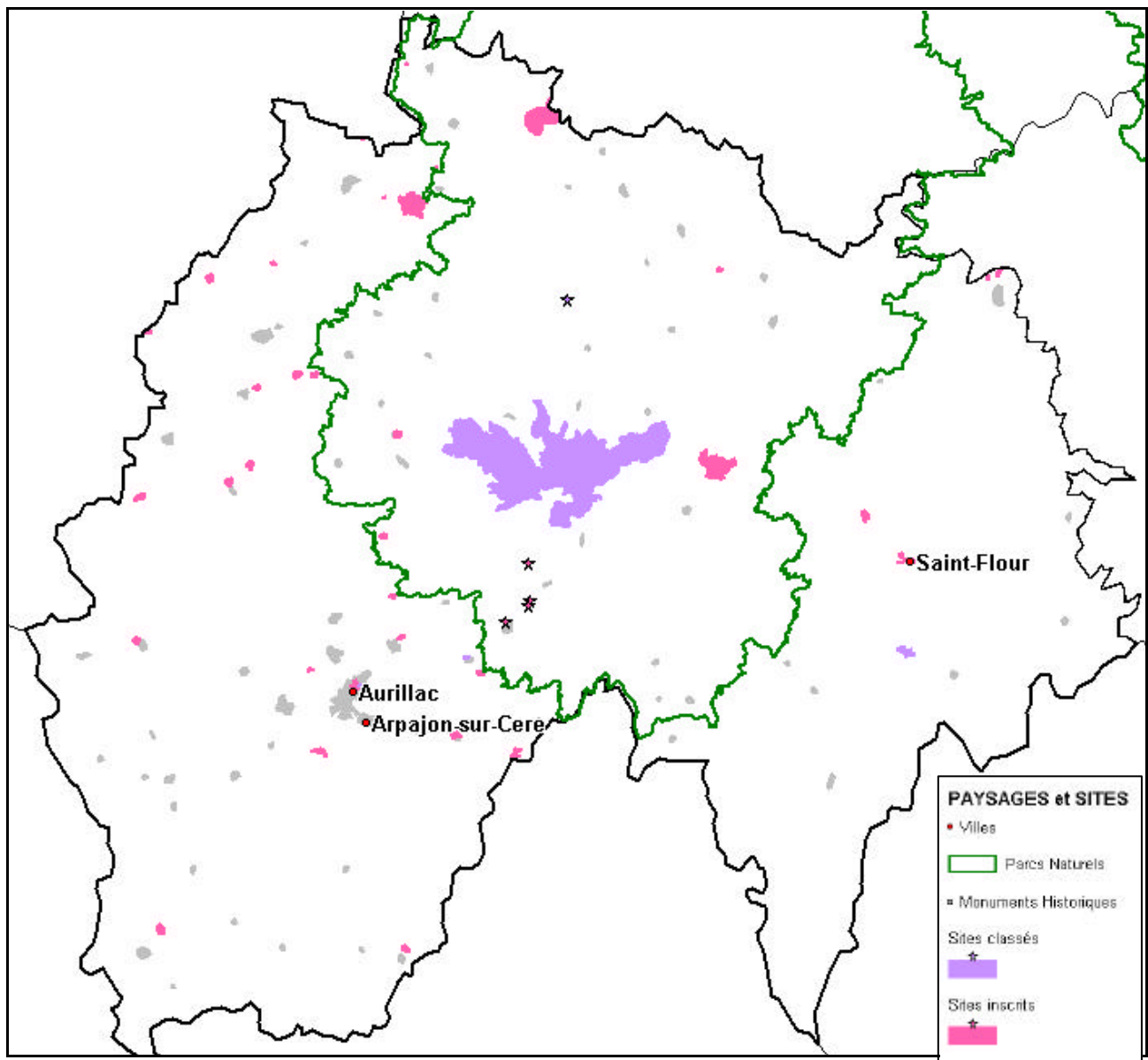
*Figure 30 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département du Cantal pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.*





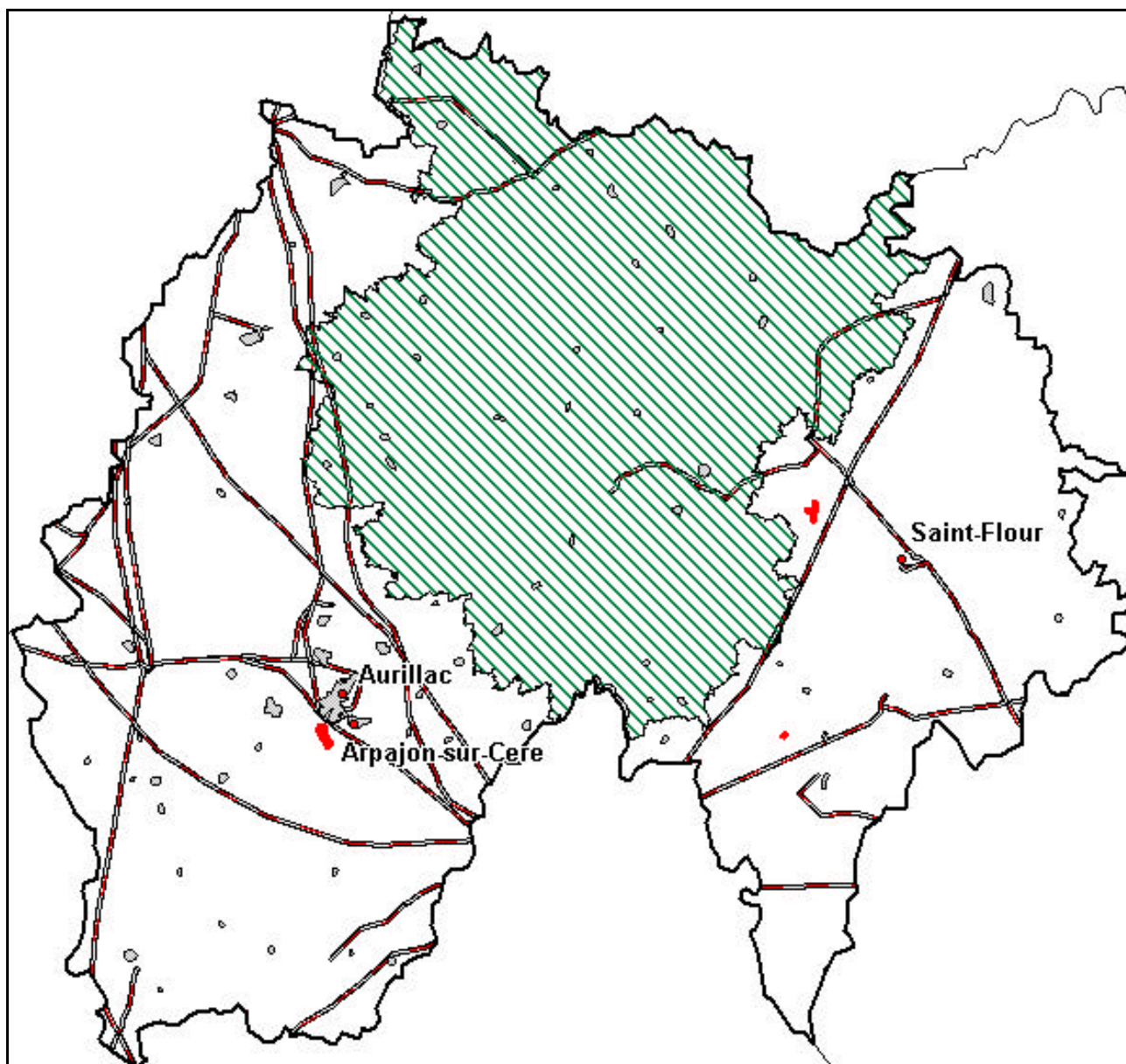
*Figure 31 : Cartographie du patrimoine naturel sur le département du Cantal*





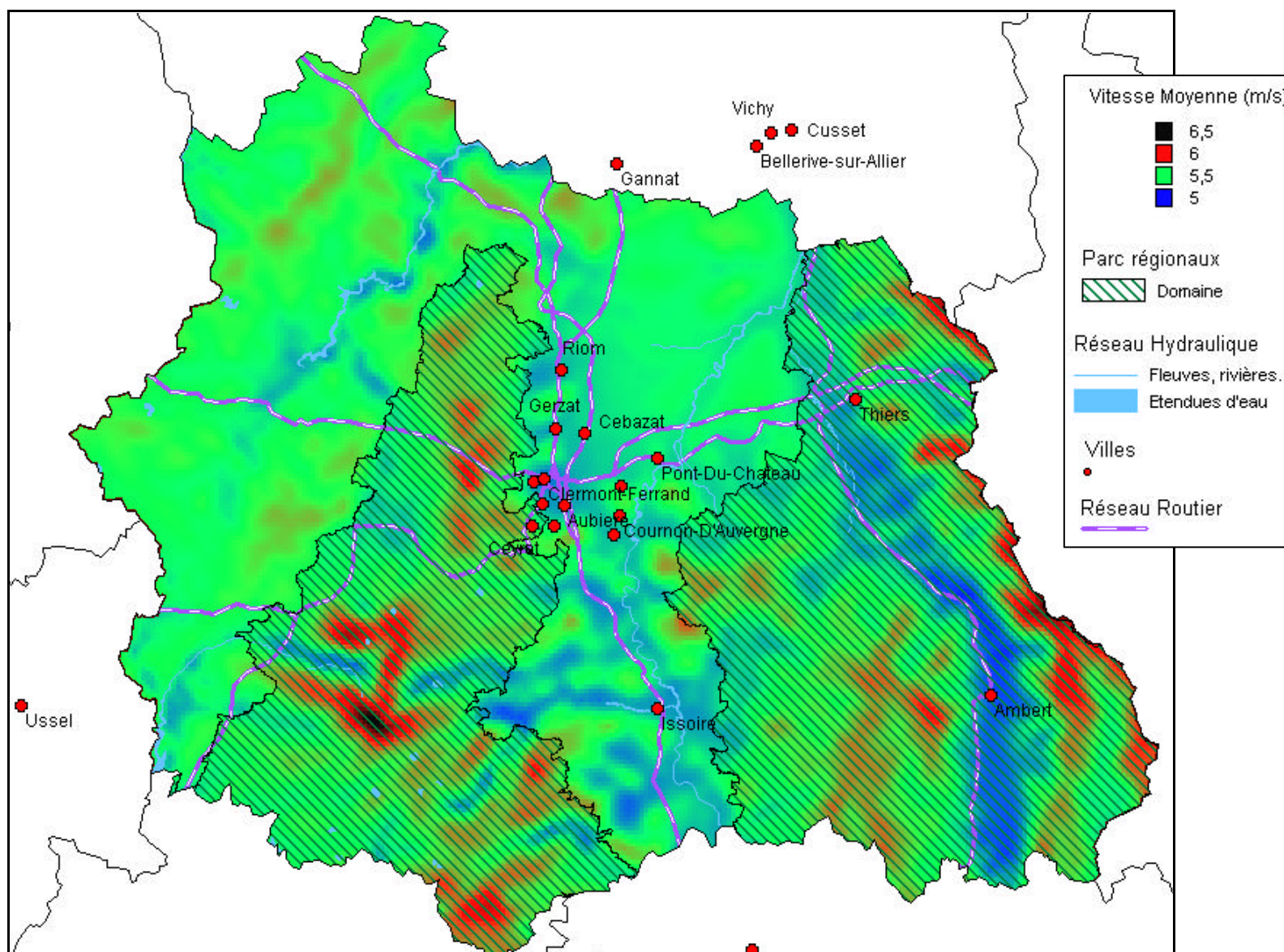
*Figure 32 : Cartographie des données site et paysage sur le département du Cantal*





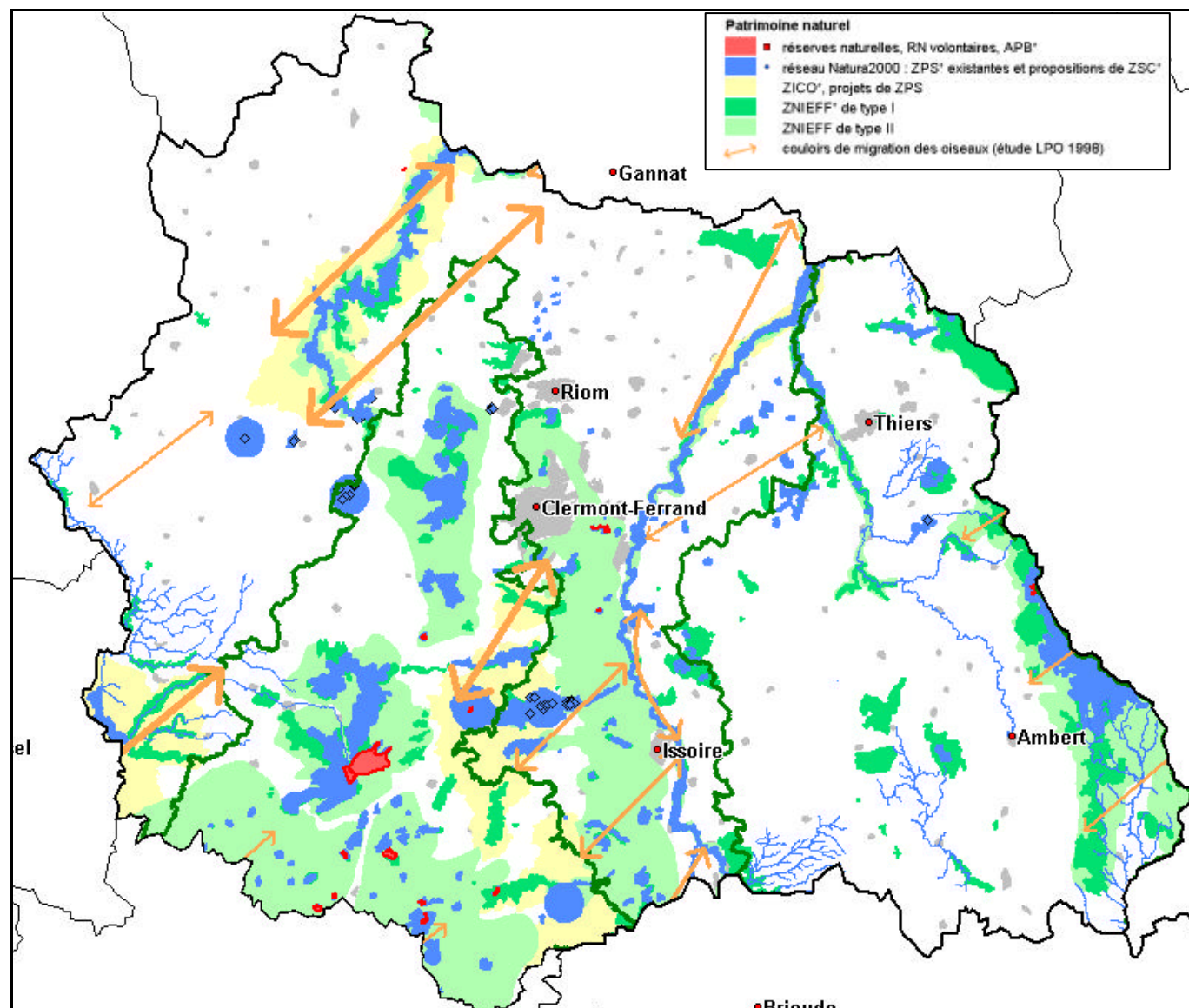
*Figure 33 : Cartographie des contraintes techniques sur le département du Cantal*



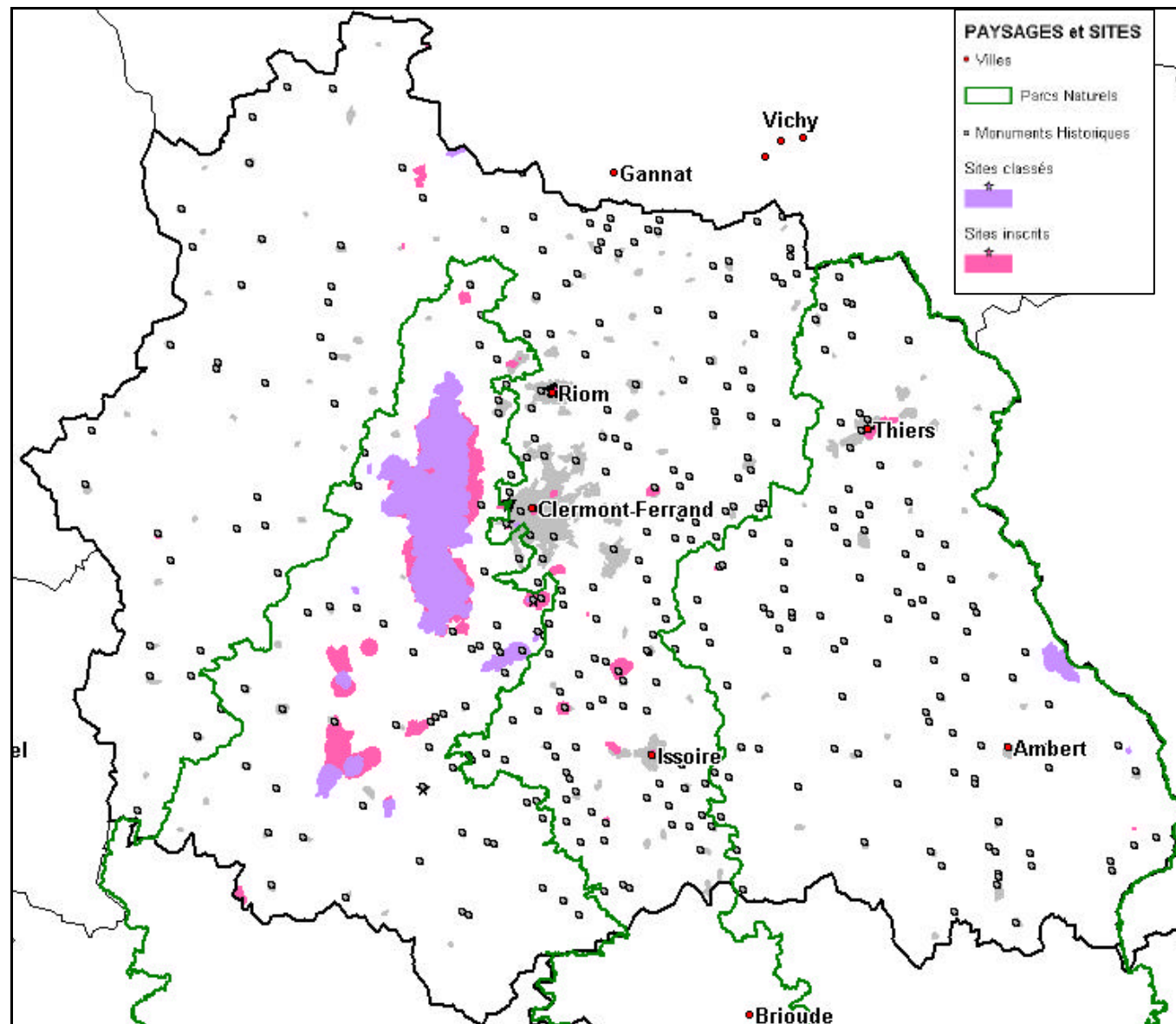


*Figure 34 : Cartographie (aplats colorés) de la vitesse moyenne du vent (m/s) sur le département du Puy de Dôme pour une hauteur par rapport au sol de 60 mètres.*



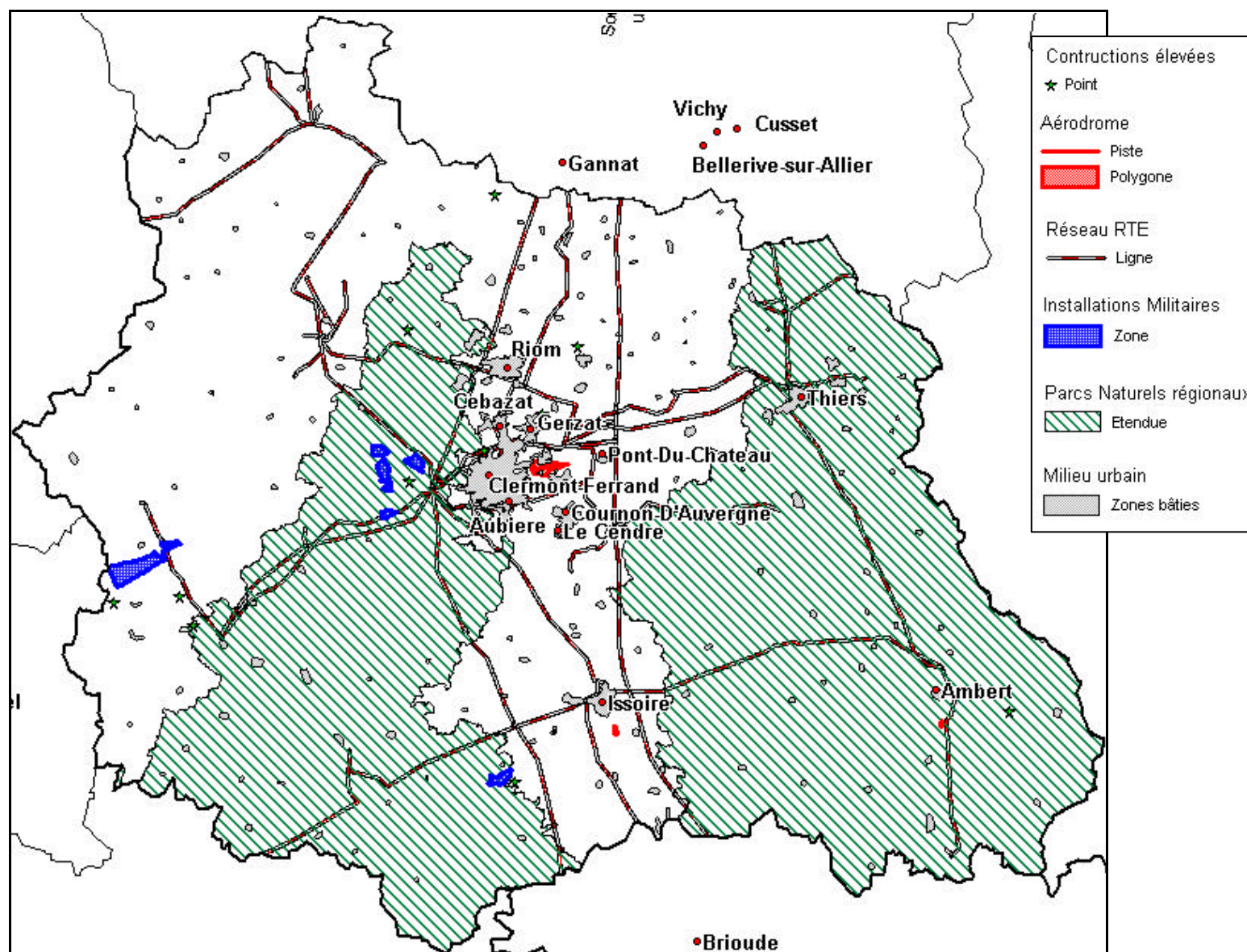


*Figure 35 : Cartographie des valeurs environnementales sur le département du Puy de Dôme*



*Figure 36 : Cartographie des données site et paysage sur le département du Puy de Dôme*





*Figure 37 : Cartographie des contraintes techniques sur le département du Puy de Dôme*

---

## **ANNEXE 2 : Analyse météorologique des stations**

---

Nous ne présentons que les résultats de distribution annuelle : la rose des vents générale.

Cette rose des vents indique la distribution et la fréquence d'occurrence de la direction d'où vient le vent. (Les intersections de la courbe avec les cercles de fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents en fonction d'où vient le vent)

.

### Station de Lurcy-Lewis (03)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents montre qu'il n'y a pas de direction dominante marquée. Nous pouvons toutefois dégager une direction privilégiée du vent :

- **Vents d'Ouest :**

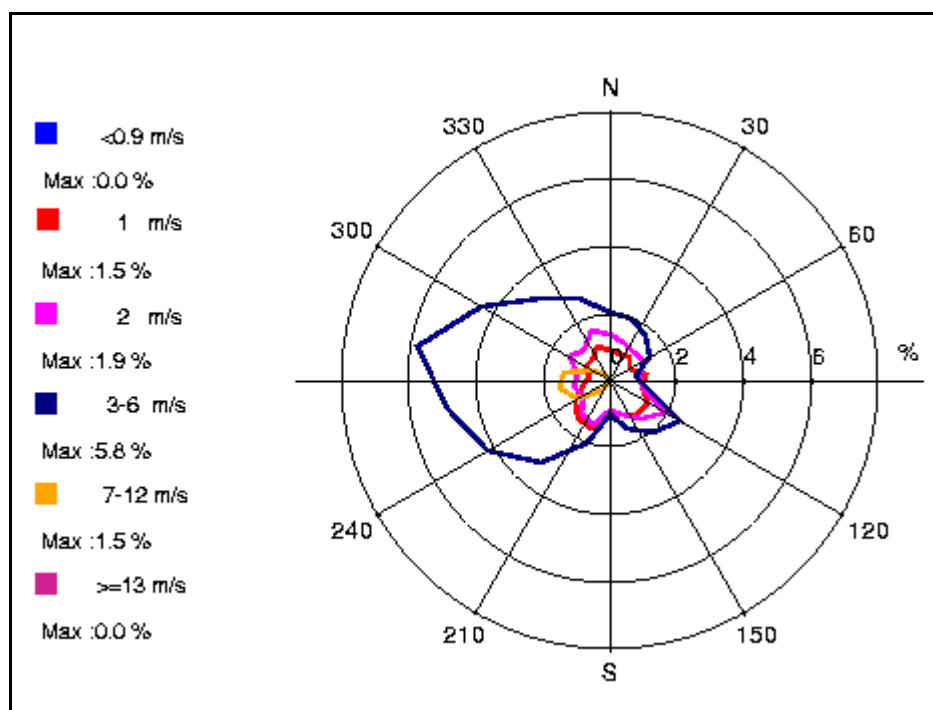
Les vents de direction 240° à 300° représentent 31,6% des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 4,2 m/s (~15,2 km/h).

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 2,9 m/s (soit 10,5 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 0,8% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

Figure 38 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 et 6 m/s (46% des occurrences). Ces vents proviennent pour 42% de l'Ouest Nord-Est,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) n'ont pas été mesurés.



*Figure 38* : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Lurcy-Lewis.

### Station de Montluçon (03)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents présente une direction dominante du vent :

- **Vents du Sud:**

Les vents de direction 160° à 220° représentent 32,4 % des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 2,6 m/s (~9,4 km/h).

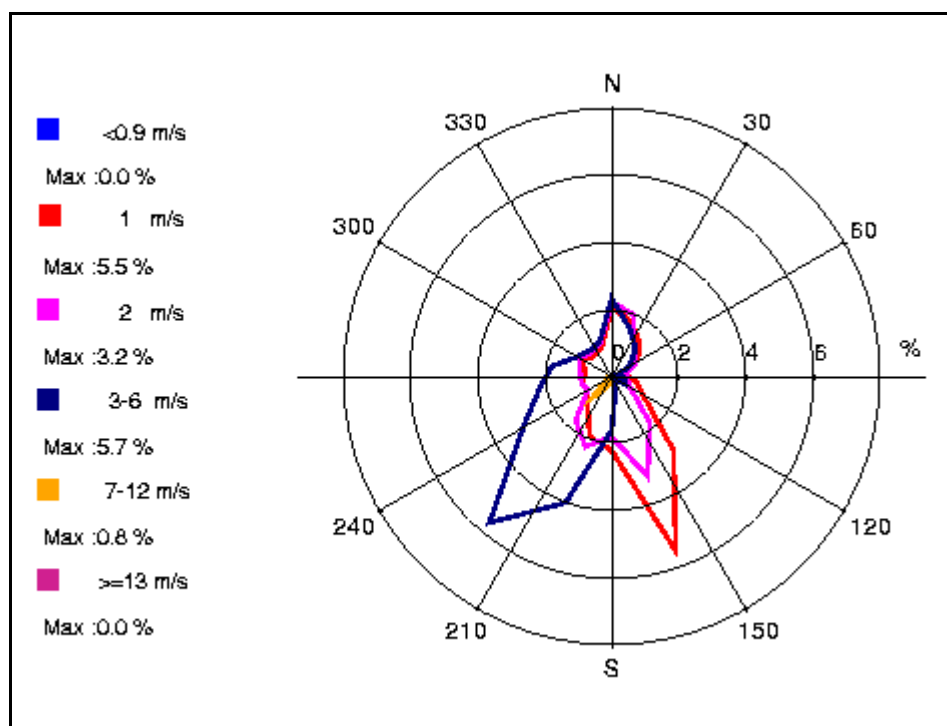
Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 1,9 m/s (soit 6,8 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 19,3% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

(1)

Figure 39 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse égale à 1 et 2 m/s (50,7% des occurrences) et comprise entre 3 et 6 m/s (28,5% des occurrences). Ces vents proviennent du Sud majoritairement,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) ne sont pas observés sur cette période.



*Figure 39* : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Montluçon.

### Station de Clermont Ferrand (63)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents présente deux directions dominantes :

- **Vents du Sud:**

Les vents de direction 160° à 200° représentent 24,6 % des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 4,5 m/s (~16,3 km/h).

- **Vents du Nord :**

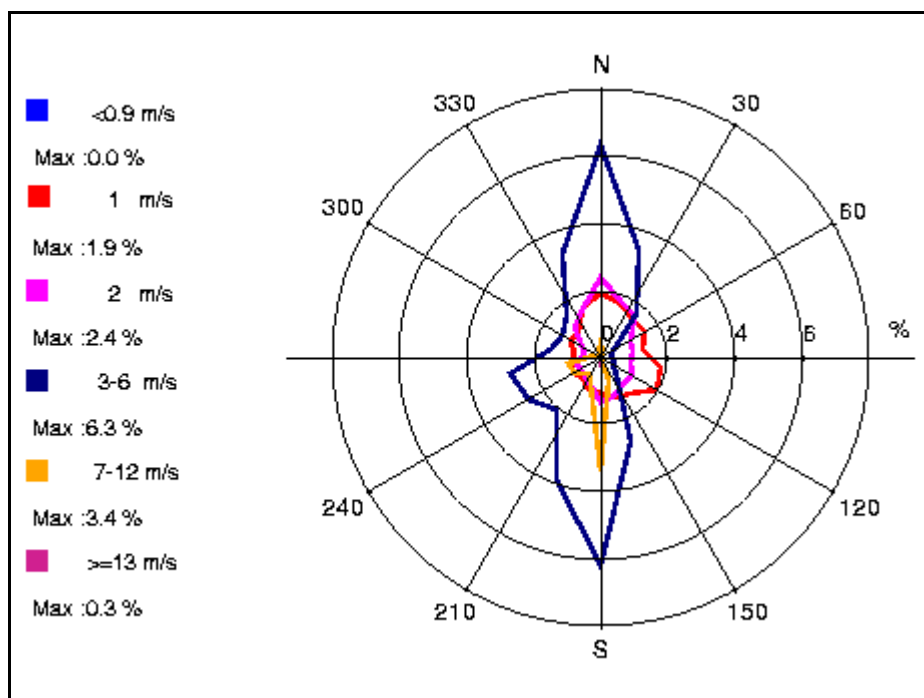
Les vents de direction 340° à 20° représentent 24,6% des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 3 m/s (~10,8 km/h).

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 3,1 m/s (soit 11,2 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 0,6% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

Figure 40 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse égale à 1 m/s à 2 m/s (43,7% des occurrences) et comprise entre 3 et 6 m/s (41,1% des occurrences). Ces vents proviennent du Sud et du Nord pour les vents compris entre 3 et 6 m/s,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) représente 0,4% des données et proviennent majoritairement du Sud.



*Figure 40* : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Clermont-Ferrand

### Station d'Issoire (63)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents présente deux directions dominantes du vent :

- **Vents du Sud:**

Les vents de direction 160° à 180° représentent 20,3 % des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 3,9 m/s (~14 km/h).

- **Vents du Nord :**

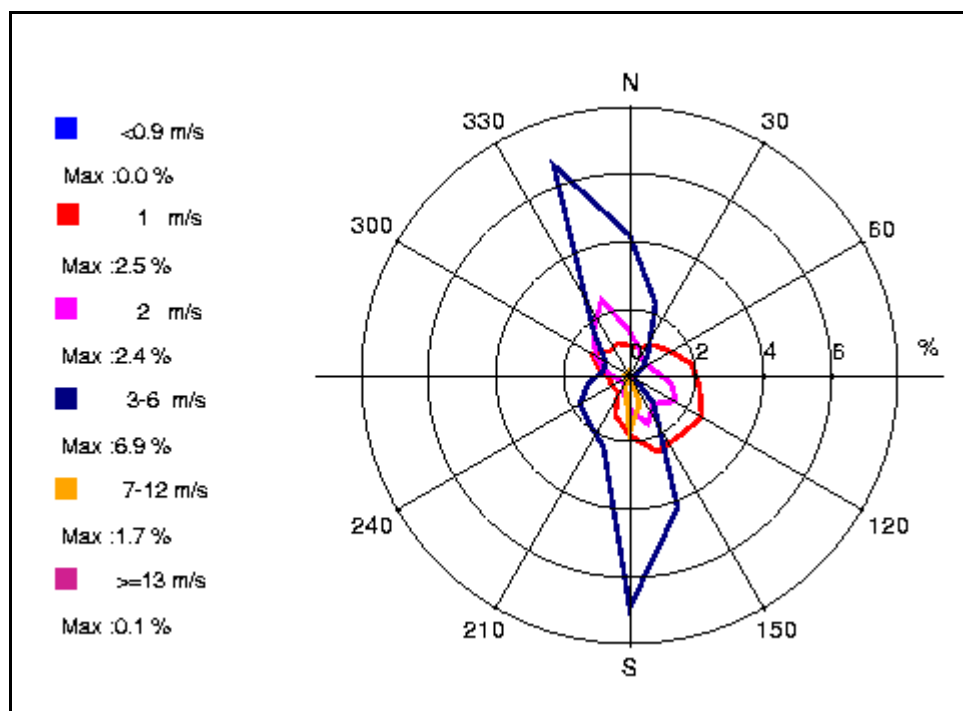
Les vents de direction 340° à 0° (360°) représentent 16,9% des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 3,3 m/s (~11,9 km/h).

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 2,5 m/s (soit 9 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 15,9% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

Figure 41 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse égale à 1 m/s à 2 m/s (42,8% des occurrences) et comprise entre 3 et 6 m/s (37,5%). Ces vents proviennent majoritairement du Sud et du Nord pour les vents compris entre 3 et 6 m/s,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) représente 0,1% des données et proviennent majoritairement du Sud.



*Figure 41* : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station d'Issoire.

### Station d'Aurillac (15)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents présente deux directions dominantes du vent :

- **Vents de l'Est**

Les vents de direction 100° à 120° représentent 25,1 % des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 2,6 m/s (~9,4 km/h).

- **Vents du Nord-Ouest :**

Les vents de direction 300° à 320° représentent 22,5% des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 3,3 m/s (~11,9 km/h).

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 2,8 m/s (soit 10,1 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 0,6% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

Figure 42 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 et 6 m/s (47,4% des occurrences). Ces vents proviennent majoritairement de l'Est et du Nord-Ouest pour les vents compris entre 3 et 6 m/s,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) représente 0,1%.

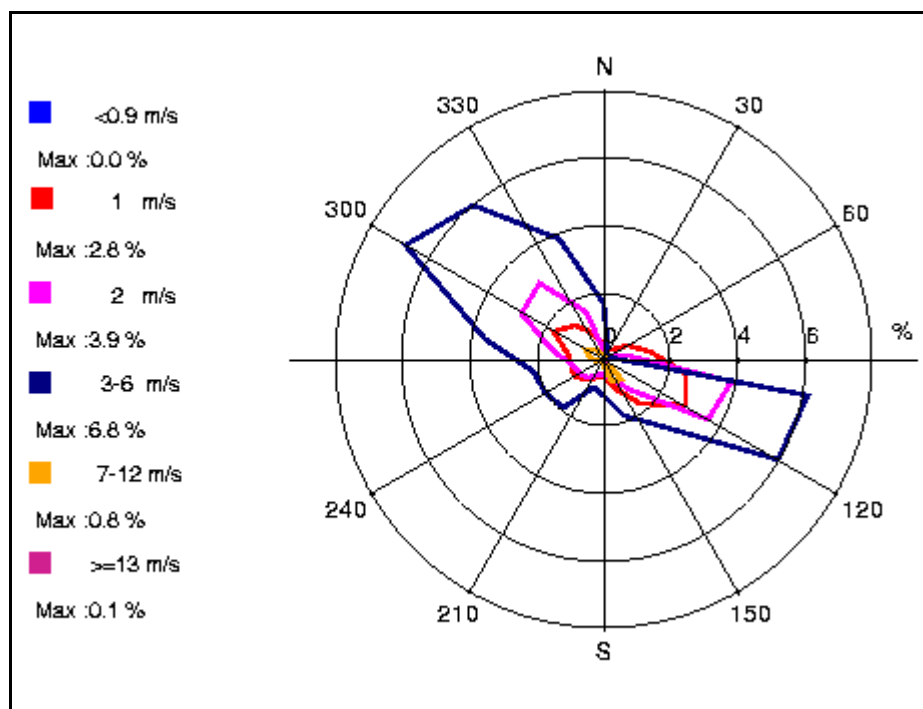


Figure 42 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station d'Aurillac.



### **Station de Mauriac (15)**

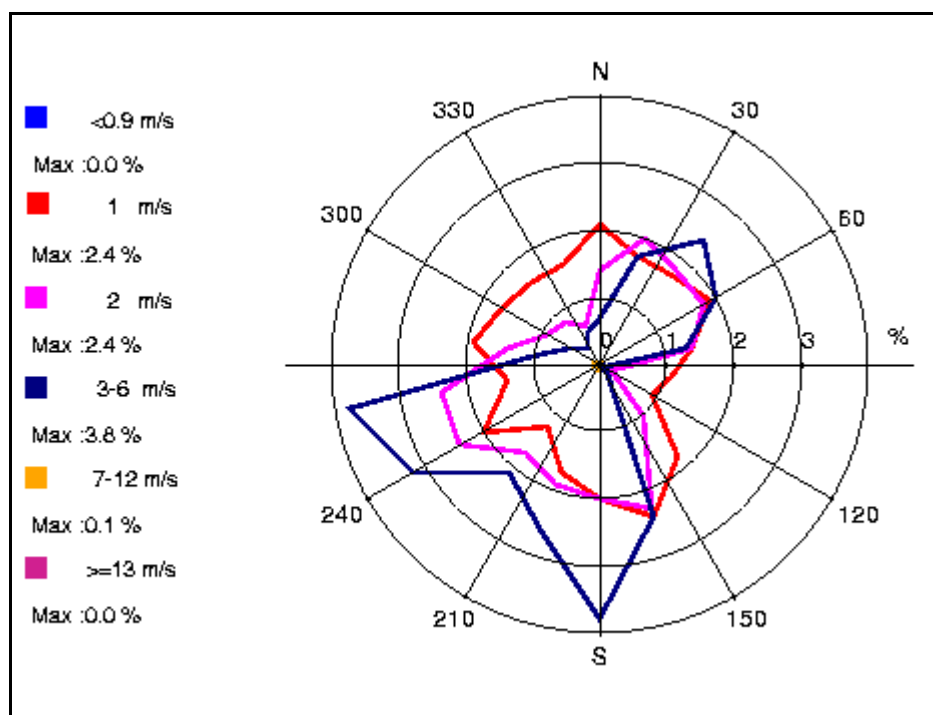
Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents montre qu'il n'y a pas de direction dominante marquée.

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 1,9 m/s (soit 6,9 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 14,6% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

La Figure 43 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse égale à 1 m/s (30,1% des occurrences). Ces vents proviennent pour 42% de l'Ouest Nord-Est,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) n'ont pas été mesurés.



*Figure 43 :* Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Mauriac

### Station de Chaspusac (43)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents montre qu'il n'y a pas de direction dominante marquée. Nous pouvons toutefois dégager une direction privilégiée du vent.

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 2,8 m/s (soit 10,1 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 0,85% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

La Figure 44 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse égale à 1 m/s et 2 m/s (47,2%). Ces vents proviennent majoritairement du Sud-Ouest,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) représentent 0,2% des données et proviennent du Sud.

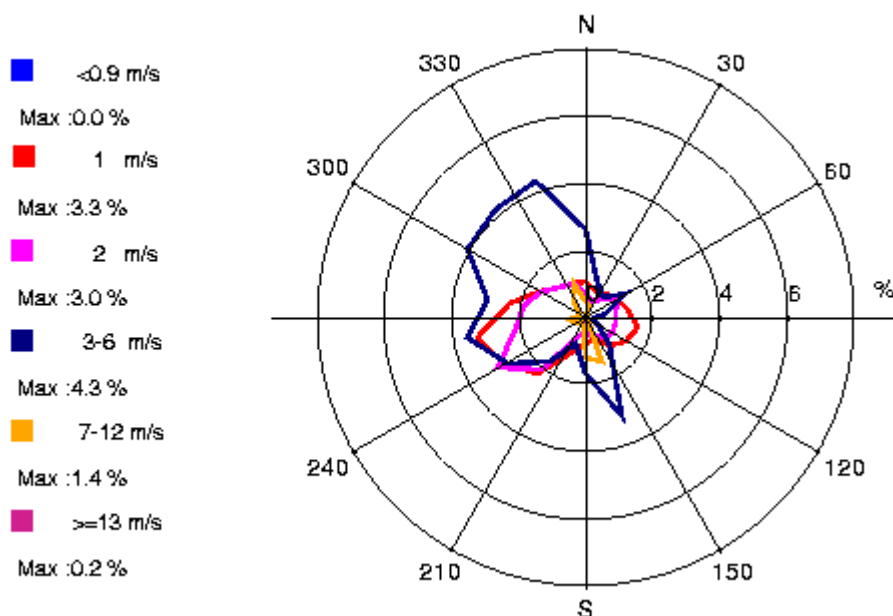


Figure 44 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Chaspuzac.

### Station de Monistrol sur Loire (43)

Sur l'ensemble des données valides durant la période d'étude, la rose des vents présente deux directions dominantes du vent:

- **Vents du Sud-Ouest:**

Les vents de direction 200° à 240° représentent 30,1 % des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 4,6 m/s (~16,6 km/h).

On retrouve également dans une proportion équivalente les vents d'Ouest :

- **Vents du Nord-Est:**

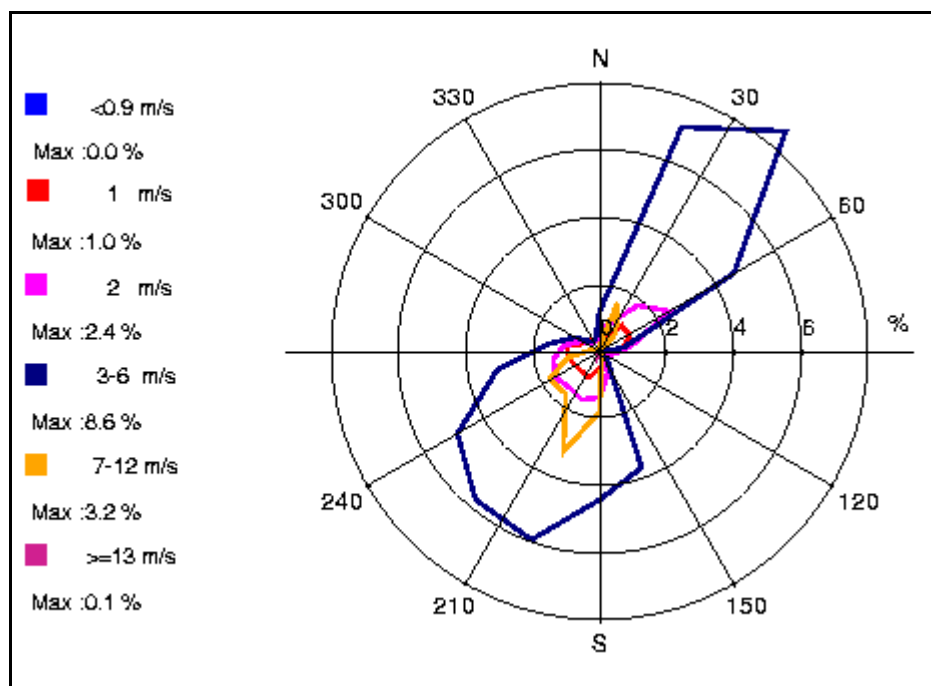
Les vents de direction 20° à 60° représentent 29,9% des observations. Ils ont une vitesse de vent moyenne de 3,8 m/s (~13,7 km/h).

Sur l'ensemble des directions, le vent a une vitesse moyenne de 3,7 m/s (soit 13,3 km/h).

Les vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) représentent 0,6% des observations valides. Ils ne sont pas caractérisés par des directions privilégiées.

La Figure 45 présente la rose des vents générale par classes de vitesse. On constate que :

- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 et 6 m/s (53,9%). Ces vents proviennent majoritairement du Sud-Ouest et du Nord-Est pour les vents compris entre 3 et 6 m/s,
- Les vents faibles (de vitesse inférieure à 1 m/s) n'ont pas de direction privilégiée,
- Les vents forts (de vitesse supérieure à 13 m/s) représente 0,2% des données et proviennent de la direction Nord-Est.



*Figure 45 : Rose des vents générale par classes de vitesse de la station de Monistrol sur Loire*

---

## **ANNEXE 3 : Modèle météorologique Minerve**

---

## 1. Le domaine

Le domaine horizontal est un rectangle ( $L_x$ ,  $L_y$ ) dans le système de projection plane choisi (ex.: Lambert, UTM). Les dimensions  $L_x$  et  $L_y$  varient de 5 à 500 km.

Le domaine vertical est défini par les masses d'air comprises entre la topographie (définie par un MNT) et une altitude de contrôle  $H$ , typiquement de l'ordre de 1500 à 2500 m, qui doit être plus élevée si le domaine comprend une topographie importante (domaines montagneux).

## 2. Le maillage

Le maillage horizontal définit un réseau X-Y régulier ou irrégulier, dont le pas peut varier de 100 mètres à plusieurs kilomètres. Le maillage horizontal coïncide exactement avec les données du MNT, contenant la matrice des altitudes  $Z_{Gij} = Z_G(X_i, Y_j)$ , où  $Z_G$  est l'altitude de contrôle de chaque maille.

Le maillage vertical est défini par deux choix :

1. Définition d'une coordonnée verticale transformée  $S$  permettant de suivre le terrain :

$$S = (Z - Z_G) / (H - Z_G)$$

où :  $Z$  = altitude / mer de chaque point du maillage.

On a  $S=0$  au sol et  $S=1$  à l'altitude  $H$  par définition.

2. Définition d'un vecteur  $S_k$  contenant les valeurs de la coordonnée verticale  $S$  pour chaque niveau vertical de maillage, de sorte que les niveaux sont plus rapprochés près du sol ( $S=0$ ) qu'en altitude ( $S=1$ ).

## 3. Variables

Les variables 3D principales traitées par MINERVE sont toujours les trois composantes du vecteur vent moyen  $V(u,v,w)$  dans un système cartésien classique, et de manière optionnelle la température ( $T$ ) et la diffusivité turbulente suivant la verticale ( $K_z$ ).

Les variables 3D auxiliaires sont un champ de potentiel de Lagrange intermédiaire ( $P$ ) calculé pour assurer la conservation de la masse (divergence nulle) et un facteur de transmissivité verticale ( $\alpha$ ) lié à la stabilité, et dépendant éventuellement de la température et de la vitesse du vent.

## 4. Données d'entrée

Les données d'entrée du modèle d'écoulement MINERVE sont :

- Modèle numérique de terrain (MNT),
- Paramètre de rugosité  $Z_0$  sur le même maillage horizontal (facultatif),
- Masque terre - mer (le cas échéant),
- Toutes les données météorologiques disponibles (Vent, Température).

Les données météorologiques fournies en entrée peuvent être des données de mesures éparses, des données de prévisions, des valeurs arbitraires (simulations à caractère académique). Il n'est pas obligatoire que les données météorologiques soient situées à l'intérieur du domaine géographique traité, défini par le MNT.

## 5. Méthodes de calcul

MINERVE comporte deux étapes de calcul distinctes :

1. **Interpolation** des données existantes pour fournir une première ébauche des champs de vent et de température recherchés.

2. **Ajustement** itératif, par une méthode variationnelle, de la solution, destiné à créer un champ de vitesses à divergence nulle, en prenant en compte les contraintes imposées par la stabilité atmosphérique.

## 6. Description des sortie

Le champ de vent 3D obtenu à l'issue de l'étape d'ajustement :

- 1 - Respecte les valeurs fournies en entrée au voisinage des points de données,
- 2 - Satisfait l'équation de continuité sous sa forme incompressible (divergence nulle),
- 3 - Restitue l'influence de la stabilité atmosphérique sur les déviations du vent,
- 4 - Comporte un champ de vitesse verticale cohérent avec la topographie.

En partant des champs de vent et de températures calculés par MINERVE, il est possible (mais facultatif) de calculer le champ de diffusivité verticale ( $K_z$ ), à l'aide du modèle de turbulence de LOUIS (ECMWF), afin d'alimenter un modèle de simulation de la dispersion. Cette option est facultative pour éviter un double calcul dans le cas où c'est le modèle de dispersion lui-même qui a la responsabilité du calcul de ces coefficients.

## 7. Références

MINERVE appartient à la famille des modèles d'analyse objective à divergence nulle. Développé à partir de 1980 par Electricité de France (EDF), il a été appliqué à l'étude des sites nucléaires français, et validé par EDF à l'occasion de campagnes météorologiques intensives, comportant une couverture météorologique à petite échelle rarement atteinte : jusqu'à 15 stations sol et 3 radars acoustiques vent (SODARS). On peut citer entre autres les expériences EDF de CREYS-MALVILLE 1983, CHOOZ 1986, VALLEE DU RHONE 1989 et la Campagne Européenne FOS 1983. Actuellement dans sa Version 4.0, il est distribué et maintenu depuis 1990 par ARIA Technologies.

Les principales références applicatives commerciales de MINERVE (études ou systèmes) sont les suivantes :

- BORDEAUX - Etude pour le compte de l'ADEME et EDF (1996-1997)
- ROUEN-LE HAVRE Réseau AIR NORMAND
- Regione Campania (NAPLES-ITALIE) Réseau de surveillance de la qualité de l'air
- Regione ABRUZZO (ATRI-ITALIE) Réseau de surveillance de la qualité de l'air
- ENEL Centre de Recherches (MILAN-ITALIE)
- CISE Centre d'études (SEGRATE-ITALIE)
- RHONE-POULENC SA (LYON-FRANCE)
- Institut Paul SCHERRER (VILLIGEN-CH)
- Institut Josef STEFAN (Slovénie)
- IBERDROLA SA (Madrid- Espagne)
- Defence Nuclear Agency (Washington - USA)
- HANFORD Nuclear Center (Seattle - USA)
- CNRS Service d'aéronomie et LMD (Paris - France)
- FOS-BERRE 1995 - Etude pour le compte de DRIRE-PACA (Marseille - France)

Pour un article scientifique de validation relativement récent sur le code MINERVE, on pourra consulter :  
"Boundary-layer flow over analytical two-dimensional hills : a systematic comparison of different models with wind-tunnel data"

S. FINARDI & als.

*Boundary Layer Meteorology* 63 : 259-291, 1993



## **8. Temps de calcul**

La caractéristique essentielle du code MINERVE est sa rapidité. A notre connaissance, c'est le seul type de code météorologique 3D applicable en temps réel sur un ordinateur de performances modestes (il existe une version PC fonctionnant en temps réel). La production de plusieurs centaines de simulations du champ de vent et de température sur un site dans le cadre d'études statistiques d'impact est donc possible en 24H CPU sur une station de travail de puissance moyenne.

---

## **ANNEXE 4 : Références**

---

## - **Ouvrages de référence**

Les ouvrages suivants sont à consulter en préambule à tout montage d'un projet de ferme éolienne. Les méthodologies décrites dans ces documents peuvent éclairer le promoteur de projet et lui éviter un certain nombre d'erreurs.

« Des éoliennes dans votre environnement ? »

ADEME – CLER

*6 fiches de liaison* : Impact Sonore – Paysage – Milieu Naturel – Sécurité – Sécurité – Aspects économiques – Contexte économique

« Manuel préliminaire de l'étude d'impact des parcs éoliens »

ADEME – Novembre 2000

« Charte départementale des éoliennes du Finistère » Mai 2002

Préfecture du Finistère