

# Délimitation des Aires d'Alimentation des Captages prioritaires du bassin Adour Garonne



AGENCE DE L'EAU  
**ADOUR-GARONNE**  
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

## METHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE INTRINSEQUE DES CAPTAGES D'EAU SUPERFICIELLE

Le 5 mars 2010

D. DOUAY (CALLIGEE) / E. LARDIEG (ANTEA)



# Sommaire

1. PRINCIPE DE LA METHODOLOGIE ELABOREE .....	4
2. METHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE.....	6
3. DETERMINATION DE LA VULNERABILITE INTRINSEQUE .....	7
3.1. Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource.....	7
3.1.1. Facteurs en relation avec l'accessibilité du milieu aquatique « D » .....	7
3.1.2. Facteurs en relation avec le fonctionnement hydrique du sol et le sous-sol « K ».....	7
3.1.3. Facteur en relation avec la physiographie du bassin-versant « P ».....	11
3.1.4. Facteur avec l'intensité des précipitations : l'érosivité des pluies « R ».....	13
3.1.5. Carte de vulnérabilité de la ressource aquatique.....	14
3.2. Détermination de la vulnérabilité intrinsèque du captage.....	15
3.2.1. Facteur en relation avec la distance du captage « Dc » .....	15
3.2.2. Facteur en relation avec la superficie de l'AAC « S » .....	16
3.2.3. Carte de vulnérabilité du captage « Vc » .....	16
3.2.4. Carte de vulnérabilité du captage « Vc (S) » .....	17
4. PERSPECTIVE D'EVOLUTION .....	17
5. BIBLIOGRAPHIE .....	27

## Liste Tableaux

Tableau 1 : Classes des distances « D » .....	7
Tableau 2 : Classes des « IDPR » .....	8
Tableau 3 : Classes des indices de battance « IB » .....	8
Tableau 4 : Classes d'Occupation du Sol « Os » .....	9
Tableau 5 : Classes des indices de vulnérabilité du critère « K » .....	10
Tableau 6 : Classes des intensités de pente « Pi » .....	11
Tableau 7 : Classes des courbures de pente « Pc » .....	12
Tableau 8 : Classes des indices de vulnérabilité du critère « P » .....	13
Tableau 9 : Classes des indices d'érosivité des pluies « R » .....	13
Tableau 10 : Classes des indices de vulnérabilité de la ressource « Vr » .....	14
Tableau 11 : Classes des distances au captage « Dc » .....	16
Tableau 12 : Classes des distances au captage « S » .....	16
Tableau 13 : Classes des indices de vulnérabilité du captage « Vc » .....	17
Tableau 14 : Classes des indices de vulnérabilité du captage « Vc (S) » .....	17

## Liste Figures

Figure 1 : Paramètres pris en compte dans la méthodologie .....	18
Figure 2 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre d'indice de développement et de persistance des réseaux "IDPR" .....	19
Figure 3 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre d'Indice de Battance « IB » .....	20
Figure 4 : Cartographie de la vulnérabilité suivant le paramètre d'occupation du sol "Os" ....	21
Figure 5 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre sol « K » .....	22
Figure 6 : Carte de vulnérabilité suivant les paramètres des pentes « P » .....	23
Figure 7 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre d'érosivité des pluies « R » .....	24
Figure 8 : Carte de vulnérabilité de la ressource « Vr » .....	25
Figure 9 : Carte de vulnérabilité du captage « Vc » .....	26

---

## 1. PRINCIPE DE LA METHODOLOGIE ELABOREE

---

Contrairement aux captages d'eaux souterraines, il n'existe pas, à notre connaissance, de méthodologie pour déterminer et cartographier la vulnérabilité intrinsèque des captages d'eaux superficielles aux pollutions diffuses.

Certaines réflexions relatives à notre problématique ont été élaborées dans le cadre d'études antérieures mais aucune ne correspond exactement à notre objectif :

- Certaines concernent la délimitation des périmètres de protection des captages superficiels et approchent la problématique vis-à-vis d'une pollution accidentelle et non vis-à-vis d'une pollution diffuse,
- Certaines concernent la vulnérabilité des eaux superficielles mais à l'échelle régionale ou à l'échelle d'un bassin versant, sans prendre en compte une prise d'eau en particulier,
- D'autres concernent la problématique de la vulnérabilité des eaux souterraines, dont celle en milieu karstique, dont l'approche conceptuelle présente des similitudes avec celles des eaux superficielles.

La méthodologie proposée ici est une méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque d'un captage d'eau superficielle basée sur plusieurs critères qui sont ensuite pondérés.

Dans ce cadre, nous nous sommes inspirés des approches ou méthodes suivantes :

- la méthode qui a été développée dans le cadre du SAGE Estuaire de la Loire (Géo-Hyd – Diagnostic SAGE Estuaire de la Loire, 2005),
- la méthode PaPRIKa utilisée en milieu karstique,
- les éléments méthodologiques pour un diagnostic régional et suivi de la contamination des eaux liée à l'utilisation des produits phytosanitaires, élaborés par le CORPEN,
- l'étude de la cartographie du potentiel de contamination des eaux par les produits phytosanitaires pour la région Lorraine, réalisée par le GRAPPE Lorraine.

L'objectif est de proposer un outil informatique simple et réaliste compte tenu des délais impartis, de l'objectif de l'étude et des données disponibles.

De la même manière que pour la détermination de la vulnérabilité de captage pour les eaux souterraines, le principe retenu est le calcul de la vulnérabilité comme la somme pondérée de plusieurs paramètres classifiés (source rapport du BRGM RP-55874-FR).

$$V_g = \sum_{j=1}^{j=n} (W_j \times R_j)$$

Avec  $V_g$  : indice de vulnérabilité global d'une unité cartographique

$W_j$  : facteur de pondération du paramètre  $j$

$R_j$  : classe du critère  $j$

$n$  : nombre de critères pris en compte

L'une des préoccupations majeures dans l'élaboration de la méthodologie est de pouvoir **limiter le nombre de critères** pris en compte dans l'équation précédente. Ceci répond à un souci à la fois de conceptualiser la méthodologie et donc de garder un regard critique sur l'approche mais également de pouvoir jouer de manière simple sur la sensibilité du modèle.

Les critères retenus dans la méthodologie sont :

- l'accessibilité du milieu aquatique : distance hydraulique de chaque point au cours d'eau le plus proche de son bassin topographique « D »,
- le fonctionnement hydrologique du sol et du sous-sol « K ». Ce paramètre sera fonction de l'indice de battance du sol « IB », de l'indice de persistance du réseau « IDPR », et de l'occupation du sol « Os »,
- la physiographie du bassin versant « P ». Ce paramètre sera fonction de l'intensité des pentes « Pi » et des courbures des pentes « Pc »,
- l'érosivité de la pluie « R », facteur influençant l'érosion hydrique,
- la distance du captage de chaque point du réseau hydrographique « Dc ».

Ces critères sont des éléments descriptifs physiques, déterminables pour chaque bassin versant.

L'une des hypothèses retenues pour l'élaboration de la méthodologie est le fait qu'à partir du moment où le fonctionnement hydrique du sol caractérisant la partition entre les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement est pris en compte à travers le paramètre « K », les aspects géologiques, pédologiques et hydrogéologiques ne sont pas à nouveau pris en compte par un critère distinct. Ceci « sous-entend » que la pollution potentielle apportée par les eaux souterraines est considérée comme négligeable par rapport à celle véhiculée par les eaux superficielles et notamment les eaux de ruissellement. Nous sommes tout à fait conscients que ceci peut être discutable, notamment en période d'étiage, ou dans certains contextes géologiques, l'apport des eaux souterraines peut constituer la majorité du débit du cours d'eau.

---

## 2. METHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE

---

La méthode de cartographie est mise en œuvre selon 5 étapes principales :

- Cartographie de chaque critère à l'échelle adaptée à la dimension du bassin versant (1/10 000 à 1/50 000). Chaque critère est subdivisé en 5 classes matérialisées par un indice compris entre 0 et 4. Cette étape de cartographie est réalisée à l'aide d'un logiciel de système d'information géographique (SIG) permettant la transformation du format vectoriel en format raster, à partir de données disponibles sous forme de cartes, d'observations et d'acquisition de données de terrain.
- Discrétisation des cartes. La taille de la maille est généralement de 25x25 m.
- Calcul des indices de vulnérabilité en chaque maille. L'indice de classe de chaque critère est multiplié par le facteur de pondération du critère considéré. Les valeurs obtenues pour chaque critère sont additionnées pour chaque maille afin d'obtenir les indices de vulnérabilité. Il s'agit donc d'une superposition des différentes cartes afin d'obtenir une carte de finale de répartition de l'indice de vulnérabilité du captage « Vc ». A noter que des paramètres surclassant ou déclassant les critères peuvent être intégrés suivant l'état de connaissance du bassin versant.
- Etape de reclassification. Les valeurs calculées des indices sont ensuite subdivisées en 5 classes équidistantes traduisant la vulnérabilité relative du milieu.
- Etape de vérification. Confrontation des cartes de vulnérabilité avec les données de terrain (données ponctuelles brutes avant interpolation) et les cartes de chaque critère indexé afin de vérifier qu'il n'y ait pas d'incohérence flagrante.

Un exemple de cartographie est présenté sur les [figures 2 à 9](#).

## 3. DETERMINATION DE LA VULNERABILITE INTRINSEQUE

### 3.1. Détermination de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource

#### 3.1.1. Facteurs en relation avec l'accessibilité du milieu aquatique « D »

La contamination des eaux de surface par les polluants est dépendante de la distance entre les sources de pollution et le milieu récepteur (Orhon, 1993). En effet, plus la source de pollution est éloignée du milieu récepteur, plus elle aura de chance d'être dégradée, adsorbée ou absorbée. Ainsi, les zones proches des cours d'eau sont plus vulnérables que les zones éloignées.

Les distances hydrauliques de chaque point de l'espace au cours d'eau (permanent ou temporaire) le plus proche du bassin topographique sont déterminées à partir du MNT et de la banque de données BD Carthage.

Ainsi 5 classes de **distance « D »** sont définies pour la proximité aux cours d'eau (tableau 1 et figure 7) :

**Tableau 1 : Classes des distances « D »**

Classes	Valeurs indice	Vulnérabilité
4	0 – 50 m	Très élevée
3	50 -100 m	Elevée
2	100 - 200 m	Modérée
1	200 - 500 m	Faible
0	> 500 m	Très faible

#### 3.1.2. Facteurs en relation avec le fonctionnement hydrique du sol et le sous-sol « K »

Ces facteurs caractérisent la partition entre les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement.

La perméabilité du sol et du substratum joue un rôle sur la part des eaux précipitées qui participe au ruissellement mais également sur les temps de transit jusqu'au réseau hydrographique. Ainsi, plus le sol est imperméable, plus le ruissellement et le lessivage seront importants, avec des temps de transit courts. Plus un sol est perméable, plus la part alimentant le réseau superficiel est faible (si infiltration dans une nappe qui n'est pas drainée par le réseau superficiel) et plus les vitesses de transit sont faibles. Le sol joue alors un rôle de tampon, augmentant les phénomènes de dilution.

##### ➤ L'indice de développement et de persistance des réseaux « IDPR »

Le paramètre de perméabilité engendré par la géologie est mis en évidence par l'**IDPR (indice de développement et persistance des réseaux)**, développé par le BRGM. L'IDPR compare et présente les différences entre un réseau théorique établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (indice de développement ID), au réseau naturel mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène (de persistance des réseaux PR). Il résulte, pour tout point de l'espace étudié, du rapport entre la distance au plus proche cours d'eau réel et la distance au plus proche cours d'eau calculé (à partir du réseau de thalweg théorique). Le réseau de thalweg théorique est défini à partir du MNT. Le réseau hydrologique naturel est défini par la banque de donnée BD CARTHAGE (IGN). Par conséquent, l'IDPR permet de rendre compte de façon indirecte de la capacité intrinsèque des formations géologiques présentes en surface ou sub-surface à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de pluie.

Cinq classes ont été ainsi définies à partir des valeurs d'IDPR (tableau 2 et figure 1).

**Tableau 2 : Classes des « IDPR »**

Classe	Valeurs indice		Vulnérabilité
4	> 2000	Zones humides	Très élevée
3	1500 - 2000	Ruissellement majoritaire	Elevée
2	1000 -1500	Infiltration et ruissellement	Modérée
1	< 1000	Infiltration majoritaire	Faible
0			Très faible

➤ L'indice de battance « IB »

Le paramètre de perméabilité engendré par le paramètre pédologique est mis en évidence par l'**indice de battance « IB »**. La battance correspond à la destruction de la structure des sols limoneux pauvres en humus, sous l'effet de la pluie, puis formation lorsque le sol sèche, d'une croûte s'opposant notamment à l'infiltration de l'eau.

$$IB = (1.5LF+0.75LG)/(A+5MO)$$

Avec : LF : limons fins, LG : Limons grossiers, A : argiles, MO : Matières Organiques

L'IB est déterminé :

- sur la base de la synthèse nationale des analyses de terre réalisées par l'INRA,
- sur la base de cartes pédologiques (INRA, Chambres d'Agricultures) et de cartes géologiques (BRGM),
- sur la réalisation de prélèvements et d'analyses d'IB.

5 classes sont établies suivant l'indice de battance « IB » (tableau 3 et figure 2) :

**Tableau 3 : Classes des indices de battance « IB »**

Classe	Valeurs indice		Vulnérabilité
4	> 1.3	Zone de non sol	Très élevée
3	1,2- 1,3		Elevée
2	1,1 – 1,2		Modérée
1	1 – 1,1		Faible
0	< 1		Très faible

➤ Occupation du sol « Os »

L'occupation du sol joue un rôle prépondérant dans le ruissellement des eaux, dans la retenue des matières en suspensions ainsi que dans l'absorption des polluants. Ainsi, une terre boisée aura tendance à retenir les eaux et les polluants et à augmenter l'infiltration, une terre nue ou imperméabilisée aura tendance à faire augmenter le ruissellement et l'érosion.

Le paramètre « Os » est déterminé sur la base de la banque de données cartographiques CORINE LAND COVER 2006, précisée pour les petits bassins versants par la banque de données BD ORTHO (photos aériennes) ainsi que par des visualisations des zones. Sur les petits bassins versants, les linéaires de haies pourront entre autre être comptabilisés.

Ainsi, 5 classes d'Occupation du Sol « Os » sont déterminées (tableau 4 et figure 3).

Tableau 4 : Classes d'Occupation du Sol « Os »

Classe Os	Code et libellé CLC 06	Terrain	Vulnérabilité
4	111 Tissu urbain continu		Très élevée
	121 Zones industrielles et commerciales		
	122 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés		
	123 Zones portuaires		
	124 Aéroports		
	131 Extraction de matériaux		
	332 Roches nues		
3	112 Tissu urbain discontinu		Elevée
	132 Décharges		
	133 Chantiers		
	212 Périmètres irrigués en permanence		
	221 Vignobles		
	223 Oliveraies		
	323 Végétation sclérophylle		
2	142 Equipements sportifs et de loisirs	Surfaces agricoles ou prairies avec une densité de haies <50 m.l. /ha	Modérée
	211 Terres arables hors périmètres d'irrigation		
	241 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes		
	242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes		
1	141 Espaces verts urbains	Prairies ou bocages avec une densité de haies >50 m.l. /ha	Faible
	213 Rizières		
	222 Vergers et petits fruits		
	231 Prairies		
	243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants		
	244 Territoires agro-forestiers		
	321 Pelouses et pâturages naturels		
	333 Végétation clairsemée		
334 Zones incendiées			
0	311 Forêts de feuillus		Très faible
	312 Forêts de conifères		
	313 Forêts mélangées		
	322 Landes et broussailles		
	324 Forêt et végétation arbustive en mutation		
	331 Plages, dunes et sable		
	335 Glaciers et neiges éternelles		
	411 Marais intérieurs		
	412 Tourbières		
	421 Marais maritimes		
	422 Marais salants		
	423 Zones intertidales		
	511 Cours et voies d'eau		
	512 Plans d'eau		
521 Lagunes littorales			
522 Estuaires			
523 Mers et océans			

A noter que le drainage agricole a un fort impact sur l'entraînement des particules épandues jusqu'au cours d'eau. Cependant, il est très difficile d'avoir un recensement exhaustif des parcelles drainées sur les territoires étudiés. Ce critère n'est donc pas intégré dans la cartographie de vulnérabilité. Par contre, ce critère sera pris en compte dans la phase de détermination des pressions agricoles.

➤ Détermination du paramètre K

Le principe retenu pour la prise en compte du fonctionnement hydrique du sol et du sous-sol est de se baser principalement sur l'indice IDPR, qui, dans sa détermination, prend lui-même en compte la géologie et la pédologie, et d'en effectuer, de manière simplifiée, une « actualisation » en le pondérant par l'indice de battance et le coefficient de ruissellement.

En effet le premier critère (IDPR) fait état d'un indice historique du milieu (le réseau hydrographique résulte d'interactions complexes s'inscrivant dans des échelles de temps très longues), alors que les deux autres critères (IB et Cr) caractérisent le milieu à un moment donné récent.

En conclusion, le critère « K » est fonction de l' « IDPR », l'indice de battance « IB » et du coefficient de ruissellement « Cr ».

$$K = a \text{ IDPR} + b \text{ IB} + c \text{ Cr}$$

Où a, b et c sont des facteurs de pondération :

$$a+b+c = 1$$

Avec : K : index du critère du fonctionnement hydrique du sol et du sous sol

IDPR : classe de l'indice de développement et persistance des réseaux

IB : classe de l'indice de battance

Cr : classe du coefficient de ruissellement

5 classes sont ensuite calculées à partir des valeurs de « K ». La valeur finale de vulnérabilité varie donc de 0 (vulnérabilité minimale) et 4 (vulnérabilité maximale).

Ces classes sont imposées pour être équidistantes et permettre ainsi une comparaison entre les différents sites (tableau 5 et figure 4).

**Tableau 5 : Classes des indices de vulnérabilité du critère « K »**

Classe	Valeurs indice K	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

### 3.1.3. Facteur en relation avec la physiographie du bassin-versant « P »

Les facteurs pris en compte dans le ruissellement sont l'intensité des pentes « Pi » et la forme (courbure) des pentes « Pc ».

➤ L'intensité des pentes « Pi »

L'**intensité des pentes « Pi »** joue un rôle sur la vitesse des écoulements superficiels. Une forte pente favorise les écoulements de surface et l'érosion alors qu'une pente plus douce favorise l'infiltration et la sédimentation.

Les classes retenues pour l'intensité des pentes « Pi » sont récapitulées dans le tableau 6. La définition de ces classes a été basée d'après un tableau de modèle d'évaluation de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique (Lavoie et Nolin, 1997).

**Tableau 6 : Classes des intensités de pente « Pi »**

Classe	Valeurs indice Pi	Vulnérabilité
4	> 10°	Très élevée
3	7 - 10°	Elevée
2	3 - 7°	Modérée
1	1,5 - 3°	Faible
0	< 1,5°	Très faible

Un exemple de cartographie de l'intensité pentes est présenté sur la figure 5.

➤ La courbure des pentes « Pc »

La **courbure des pentes « Pc »** joue également un rôle dans les mouvements et concentrations des flux d'eau.

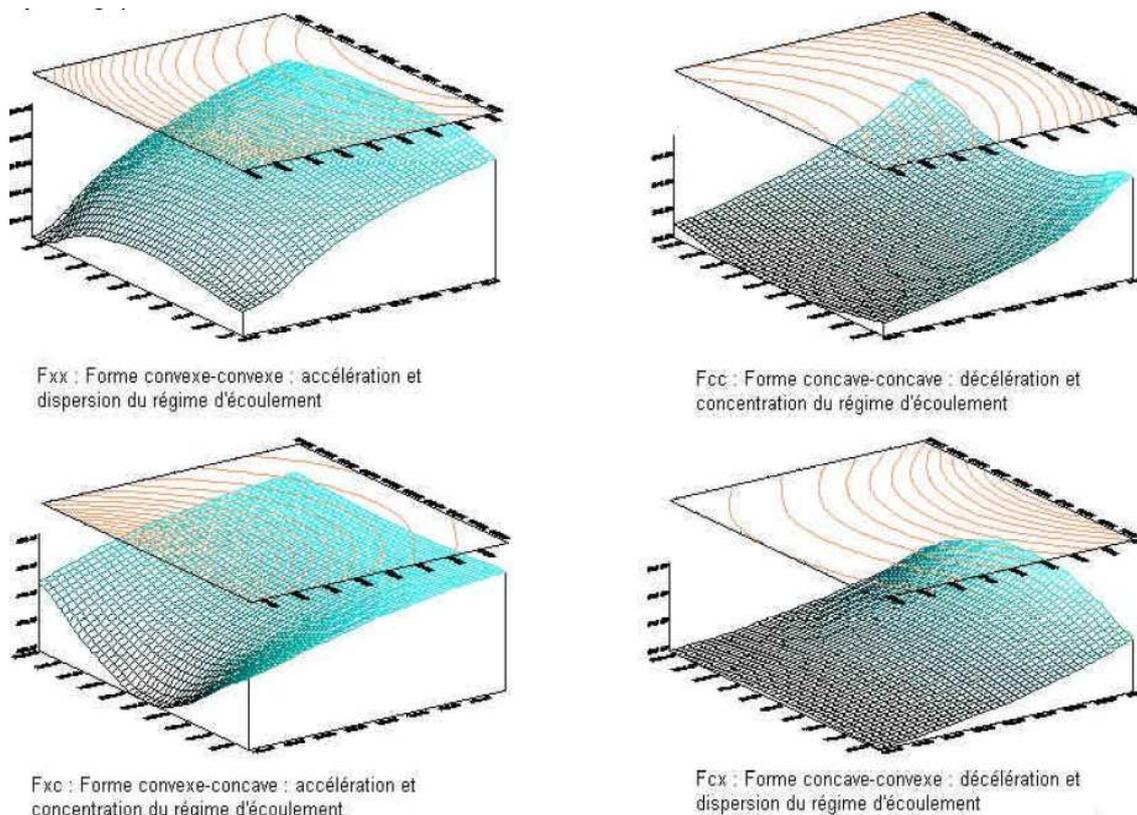
La courbure verticale (convexité verticale ou « profile curvature ») représente la concavité et la convexité de la pente dans le sens de la plus grande pente. Une pente à courbure convexe (courbure négative) est caractéristique d'une accélération du flux alors qu'une décélération s'observe dans une pente à courbure concave (courbure positive).

La courbure horizontale (convexité horizontale ou « plain curvature ») donne les caractéristiques de convergence ou divergence des flux dans la direction parallèle aux lignes de niveaux. Une courbure horizontale convexe (courbure négative) est caractéristique d'une dispersion du flux tandis qu'une courbure horizontale concave (courbure positive) concentre le flux.

La dérivation de second ordre du plan altimétrique et leurs effets sur les écoulements superficiels ont été décrits par Depraetere [1989] et sont depuis, couramment utilisés dans des modélisations hydrologiques.

Les intensités et formes des pentes sont calculées à partir du MNT au pas de 25 ou 50 m suivant la superficie du bassin versant étudié.

Un exemple de cartographie de la courbure des pentes est présenté sur la figure 5.



**Différentes formes de pente (Géo-Hyd, 2005)**

Les classes retenues pour la courbure des pentes « C » sont récapitulées dans le tableau suivant :

**Tableau 7 : Classes des courbures de pente « Pc »**

Classe		Courbure verticale		
		Convexe	Linéaire	Concave
Courbure horizontale	Concave	0	1	2
	Linéaire	1	2	3
	Convexe	2	3	4

➤ Le paramètre pente « P »

En conclusion le critère en relation avec la pente « P » est fonction de l'intensité de la pente « Ip » et de la courbure de la pente « Cp »

$$P = d P_i + e P_c$$

Où d et e sont des facteurs de pondération :

$$d+e = 1$$

Avec : P : critère de physiographie du bassin versant

Pi : classe de l'intensité de la pente

Pc : classe de la courbure de la pente

5 classes sont ensuite calculées à partir des valeurs de « P ». La valeur finale de vulnérabilité varie donc de 0 (vulnérabilité minimale) et 4 (vulnérabilité maximale), figure 5.

Ces classes sont imposées pour être équidistantes et permettre ainsi une comparaison entre les différents sites.

**Tableau 8 : Classes des indices de vulnérabilité du critère « P »**

Classe	Valeurs indice P	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

### 3.1.4. Facteur avec l'intensité des précipitations : l'érosivité des pluies « R »

Les précipitations ne jouent pas le même rôle sur l'entraînement des particules polluantes suivant l'intensité des précipitations, la durée et l'époque. Ainsi, par exemple, même dans un secteur de pluviométrie annuelle faible, un orage d'été, après une période d'épandage d'azote ou de produits phytosanitaires, entraînera un lessivage des sols et une pollution du milieu aquatique alors qu'une pluie continue sur une longue période engendrera une dilution des substances polluantes. Ainsi, plus que le volume précipité, le facteur important est l'érosivité des pluies, influençant l'érosion hydrique, qui a pour conséquence l'entraînement des molécules polluantes jusque dans les cours d'eau.

D'après la méthode de RUSLE (travaux de Wischmeier et Smith-1965), l'érosivité des pluies R intègre dans son calcul l'intensité de la pluie, l'énergie délivrée durant l'épisode pluvieux et le volume d'eau mobilisable pour le ruissellement. Il est donc nécessaire de connaître la pluie totale et les intensités maximales sur 30 minutes des épisodes pluvieux sur une période de 30 ans. Ce second paramètre est rarement disponible. Renard et Freimund (1994) proposent une formule simplifiée intégrant uniquement la hauteur de pluie annuelle moyenne (en mm) P, facilement obtenue auprès de Météo France.

Formule de Renard et Freimund :  $R = 0,04830 P^{1.610}$

Avec : R : paramètre d'érosivité

P : précipitation annuelle (mm)

Les données de R calculées sur l'ensemble des stations météorologiques situées sur et autour du bassin versant étudié sont interpolées suivant les 5 classes suivantes (tableau 9 et figure 6) :

**Tableau 9 : Classes des indices d'érosivité des pluies « R »**

Classe	Erosivité R		Vulnérabilité
4	>5000	Forte érosivité	Très élevée
3	4000 à 5000		Elevée
2	3000 à 4000		Modérée
1	2000 à 3000		Faible
0	0 à 2000	Faible érosivité	Très faible

### 3.1.5. Carte de vulnérabilité de la ressource aquatique

Une carte de vulnérabilité intrinsèque du milieu aquatique peut être dressée à partir des critères « D », « K », « P » et « R », précédemment définis en y appliquant des facteurs de pondération (figure 7) :

$$Vr = f D + g K + h P + i R$$

Où f, g et h sont des facteurs de pondération :

$$f+g+h+i = 1$$

Avec : Vr : indice de vulnérabilité de la ressource

D : classe en relation avec l'accessibilité aux cours d'eau

K : classe en relation avec le fonctionnement hydrique du sol et du sous sol

P : classe en relation avec les pentes

R : classe d'érosivité des pluies

Cinq classes sont ensuite calculées à partir des valeurs de « Vr ». La valeur finale de vulnérabilité varie donc de 0 (vulnérabilité minimale) et 4 (vulnérabilité maximale).

Ces classes sont imposées pour être équidistantes et permettre ainsi une comparaison entre les différents sites.

**Tableau 10 : Classes des indices de vulnérabilité de la ressource « Vr »**

Classe	Valeurs indice	Vulnérabilité
4	3,2 – 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

## 3.2. Détermination de la vulnérabilité intrinsèque du captage

La vulnérabilité du captage en eau superficielle dépend à la fois de la vulnérabilité intrinsèque de la ressource définie précédemment par l'indice « Vr » ainsi que des phénomènes de dilution et de dégradation qui se produisent lors du cheminement dans le réseau hydrographique jusqu'au point de captage.

### 3.2.1. Facteur en relation avec la distance du captage « Dc »

De manière générale, les paramètres entrant dans les phénomènes d'autoépuration sont :

- la qualité de la ripisylve, la présence de zones humides, de tourbières, l'importance du périphyton, les régimes d'écoulement, la nature du substrat et les paramètres physicochimiques de l'eau (pH, température, Oxygène dissous) qui peuvent entraîner une diminution des teneurs en matières carbonées, azote, phosphore. Ces paramètres sont difficiles à recenser sur l'ensemble des linaires des cours d'eau, notamment pour les grands bassins versants, et difficilement intégrables dans la méthodologie de cartographie. Néanmoins, ces paramètres peuvent être relevés lors d'une visite de terrain, pouvant ainsi aider à diagnostiquer une des causes de la présence de fortes concentrations de ces polluants dans les eaux.
- la photolyse, l'hydrolyse, la décarboxylation, l'isomérisation, les réactions enzymatiques, ainsi que les phénomènes d'adsorption par les argiles, absorption par les végétaux qui sont les principaux mécanismes qui entraînent la dégradation des molécules de produits phytosanitaires. Ces phénomènes varient suivant les molécules et sont très complexes à quantifier.
- les infrastructures hydrauliques et linéaires tels que les seuils, les barrages jouent un rôle sur les temps de parcours et donc sur les phénomènes de sédimentation, dénitrification... Ceux-ci n'ont pas été pris en compte du fait de la difficulté à quantifier ces phénomènes qui dépendent aussi du type de polluant.

Dans cette méthodologie, il a été admis par simplification que plus la source de pollution est éloignée du point de captage, plus la pollution a de chance d'être diluée par des apports d'eau non polluée, dégradée, adsorbée... et par conséquent, plus la concentration de ce polluant a de chance de diminuer.

Un critère de distance hydraulique du captage « Dc » a ainsi été introduit pour définir la vulnérabilité du captage par rapport à la vulnérabilité du milieu aquatique en prenant en compte ces phénomènes de dégradation, dilution... Dans ce cadre, il aurait été possible également de prendre en compte le paramètre de temps de parcours mais ce paramètre oblige à prendre en compte les vitesses de transit qui d'une part, sont difficiles à estimer (absence de traçages...) et d'autre part varient énormément suivant les conditions hydrologiques.

Il est important de noter que ces distances ne sont qu'arbitraires car elles varient suivant l'ensemble des paramètres d'autoépuration précédemment cités et suivant les types de polluant.

Ainsi, une pollution carbonée disparaît généralement en 40 h maximum. En considérant une vitesse de 0,30 m/s, la distance d'autoépuration est de l'ordre de 40 km. La dénitrification varie suivant les saisons. Ainsi, il est estimé suivant certains auteurs une dénitrification sur 6 km en été à 300 km en hiver. Concernant les phosphates, les abattements varient de 6%/km pour les rivières en milieu cristallins à 82%/km pour les cours d'eau en milieu calcaire, soit une autoépuration totale théorique entre 1,2 km et 17 km.

Cinq classes de **distance du captage « Dc »** ont été établies (tableau 11, exemple en figure 8).

**Tableau 11 : Classes des distances au captage « Dc »**

Classe	Distance du captage		Vulnérabilité
4	0 – 5 km	Faible dégradation	Très élevée
3	5 – 10 km		Elevée
2	10 – 20 km		Modérée
1	20 – 100 km		Faible
0	> 100 km	Forte dégradation	Très faible

Pour les molécules de produits phytosanitaires, il existe peu d'études de dégradation dans les cours d'eau. En première approche, le temps de rémanence de la molécule peut être déterminée par la DT50 (temps de demi-vie, c'est-à-dire le nombre de jours nécessaire pour que la moitié du produit soit dégradé). La DT50 dépend de la molécule elle-même et des conditions extérieures (température...). Elle peut ainsi varier de quelques dizaines de jours à plusieurs années. Il paraît alors difficile dans le cadre de cette méthodologie, basée sur la vulnérabilité intrinsèque, de définir des distances au captage pour lesquelles l'application de produit phytosanitaire n'aura plus d'influence sur le captage.

### 3.2.2. Facteur en relation avec la superficie de l'AAC « S »

Nous avons vu que les distances de dégradation des polluants varient suivant le type de molécule et les conditions naturelles. Afin de palier à ce problème de distance, il est proposé de raisonner en terme de dilution en remplaçant le paramètre « Dc » par un paramètre « S ». Ce paramètre « S » correspond à la superficie drainée en fonction de la distance hydraulique depuis le captage. Il est exprimé en pourcentage de la superficie totale du BAC.

Cinq classes de pourcentage de superficie « S » ont été établies (tableau 12). La classe 4, la plus vulnérable, correspond aux 10% de la superficie du BAC les plus proches du captage. La dilution y est par conséquent faible. La classe 0, la moins vulnérable, correspond aux 25% de la superficie du BAC les plus éloignées du captage. Les dilutions y sont par conséquent plus importantes entre cette zone et le captage.

**Tableau 12 : Classes des distances au captage « S »**

Classe	Superficie du BAC depuis le captage		Vulnérabilité
4	0 – 10%	Faible dilution	Très élevée
3	10 – 25%		Elevée
2	25 – 50%		Modérée
1	50 – 75%		Faible
0	75 – 100%	Forte dilution	Très faible

### 3.2.3. Carte de vulnérabilité du captage « Vc »

La carte de vulnérabilité du captage « Vc », prend en compte la vulnérabilité de la ressource « Vr » et la distance hydraulique du captage « Dc »

$$Vc = j Vr + k Dc$$

$$j + k = 1$$

Avec : Vc : indice de vulnérabilité du captage

Vr : classe de vulnérabilité de la ressource

Dc : classe de la distance du captage

5 classes sont ensuite calculées à partir des valeurs de « Vc ». La valeur finale de vulnérabilité varie donc de 0 (vulnérabilité minimale) et 4 (vulnérabilité maximale) (figure 8)

Ces classes sont imposées pour être équidistantes et permettre ainsi une comparaison entre les différents sites.

**Tableau 13 : Classes des indices de vulnérabilité du captage « Vc »**

Classe	Valeur Vc	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

### 3.2.4. Carte de vulnérabilité du captage « Vc (S) »

La carte de vulnérabilité du captage « Vc (S) », prend en compte la vulnérabilité de la ressource « Vr » et la superficie du BAC « S »

$$Vc(S) = l Vr + m S$$

$$l + m = 1$$

Avec : Vc (S) : indice de vulnérabilité du captage

Vr : classe de vulnérabilité de la ressource

S : classe de superficie du BAC

5 classes sont ensuite calculées à partir des valeurs de « Vc ». La valeur finale de vulnérabilité varie donc de 0 (vulnérabilité minimale) et 4 (vulnérabilité maximale).

Ces classes sont imposées pour être équidistantes et permettre ainsi une comparaison entre les différents sites.

**Tableau 14 : Classes des indices de vulnérabilité du captage « Vc (S) »**

Classe	Valeur Vc(S)	Vulnérabilité
4	3,2 - 4	Très élevée
3	2,4 – 3,19	Elevée
2	1,6 – 2,39	Modérée
1	0,8 – 1,59	Faible
0	0 - 0,79	Très faible

## 4. PERSPECTIVE D'EVOLUTION

Il est important de noter que la méthodologie présentée reste à ce stade d'étude « théorique ».

Les plages d'indice des différents critères permettant de définir les classes, ainsi que les indices de pondération, ne sont pour l'instant présentées qu'à titre d'information.

Il est nécessaire, afin de pouvoir les valider, d'effectuer des tests sur les secteurs d'étude pour estimer la sensibilité du modèle et son adaptation aux différents contextes (géographiques, géomorphologiques et géologiques), ainsi qu'à leurs superficies.

Ces plages sont encore actuellement en cours de test.

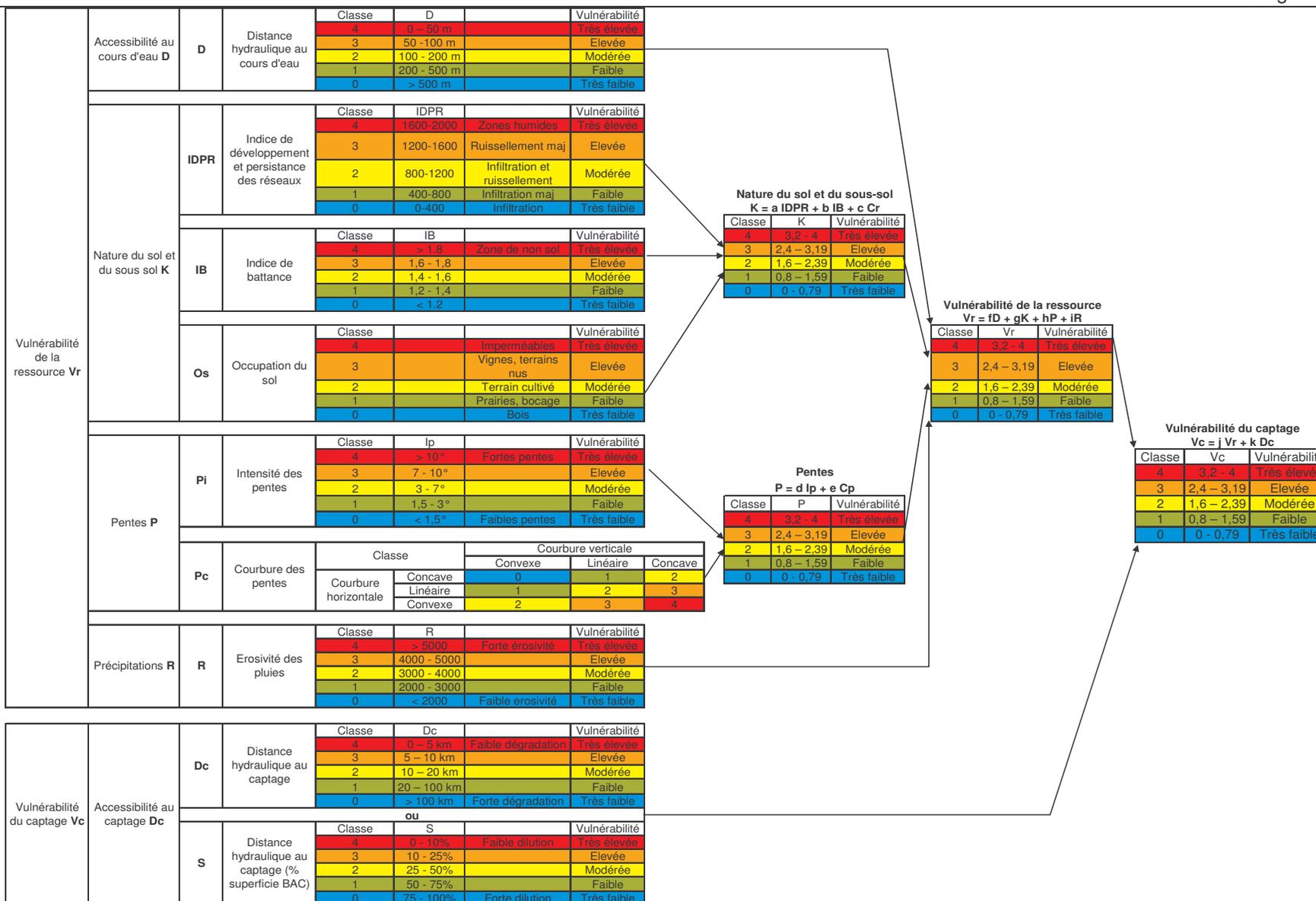
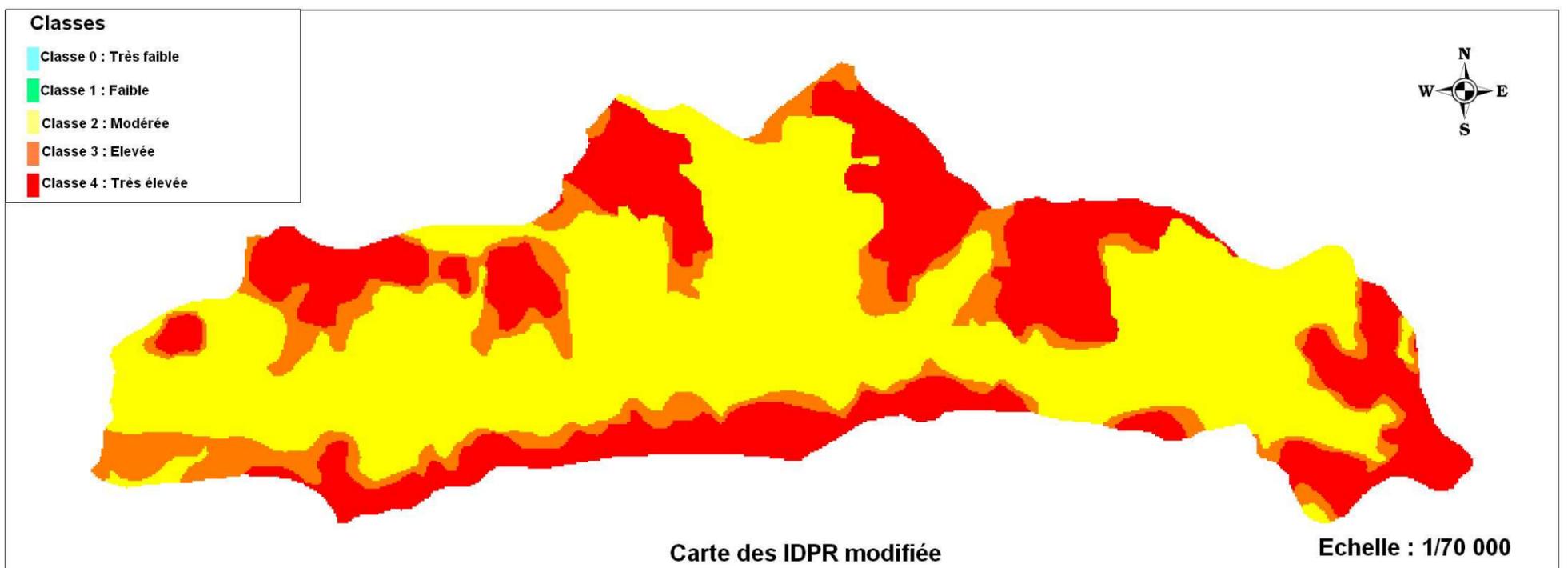
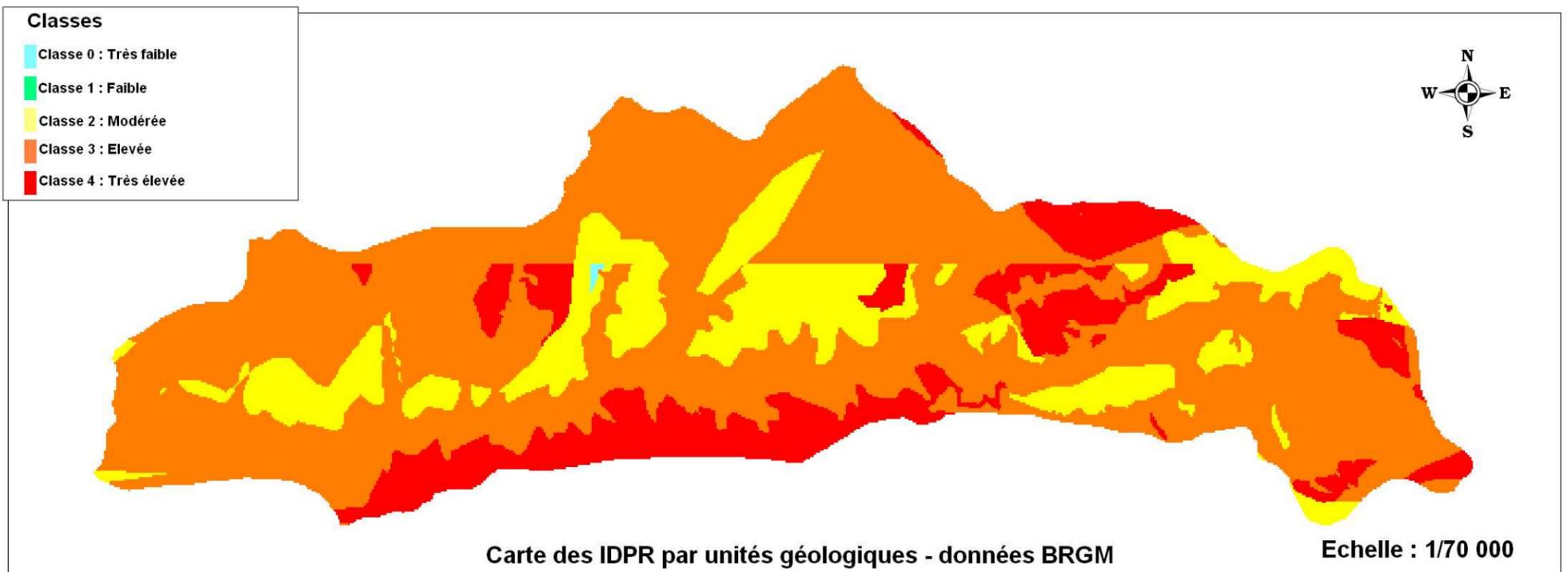
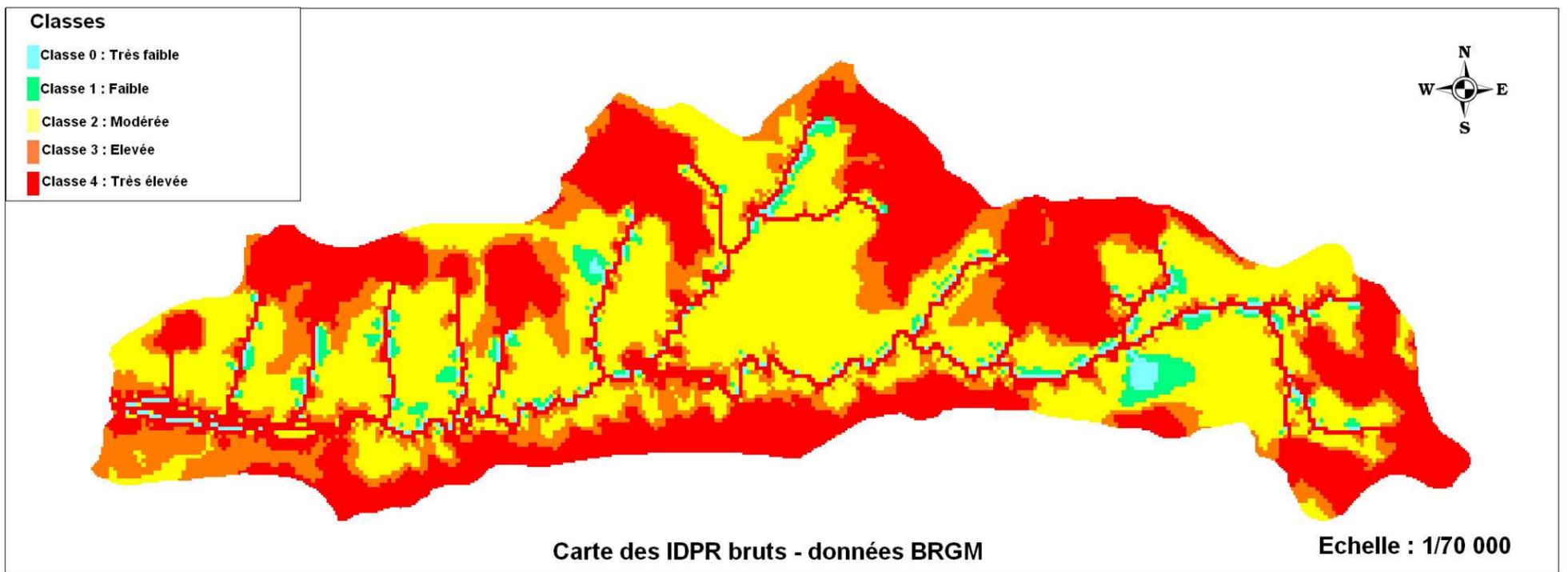
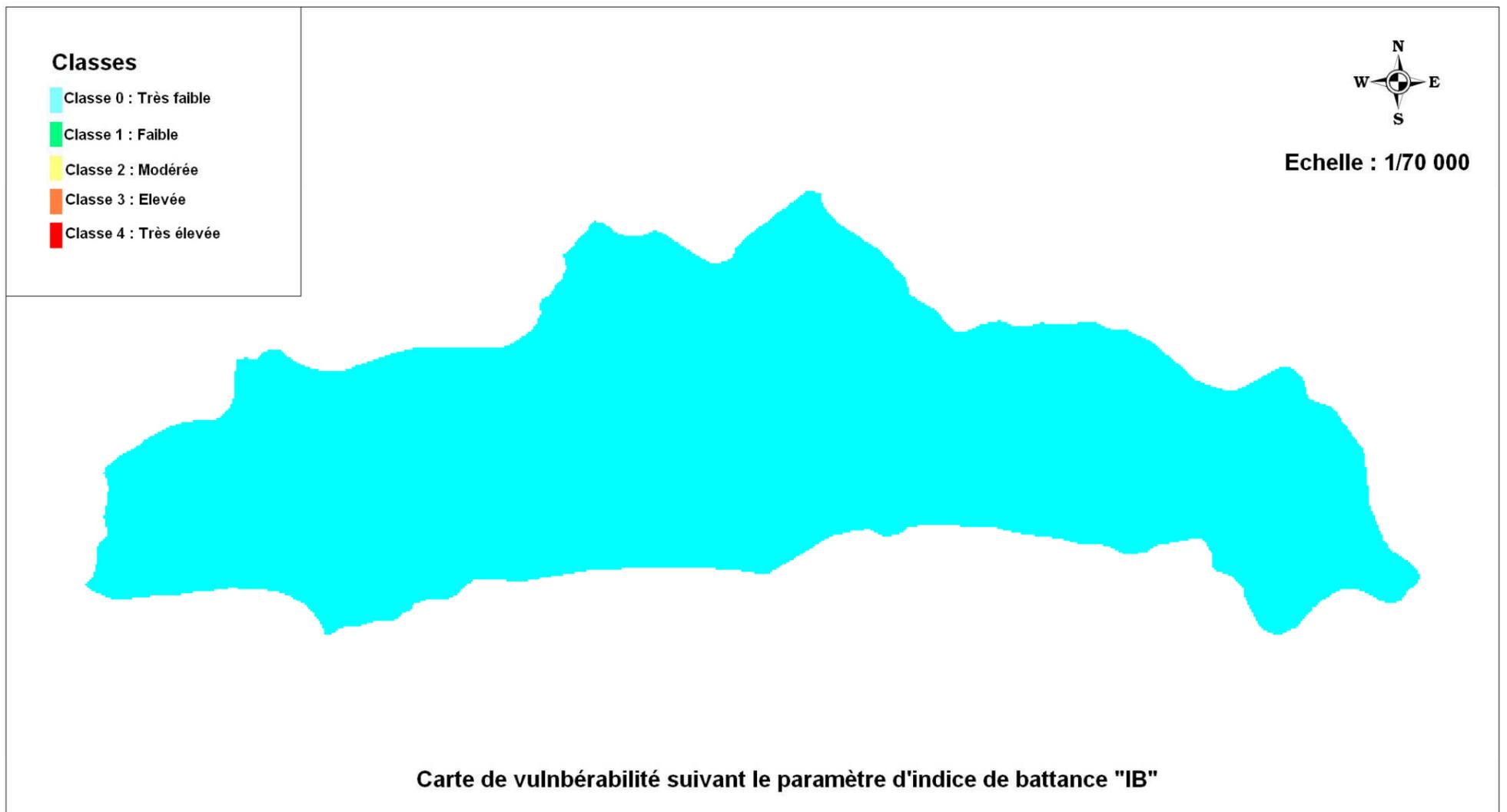
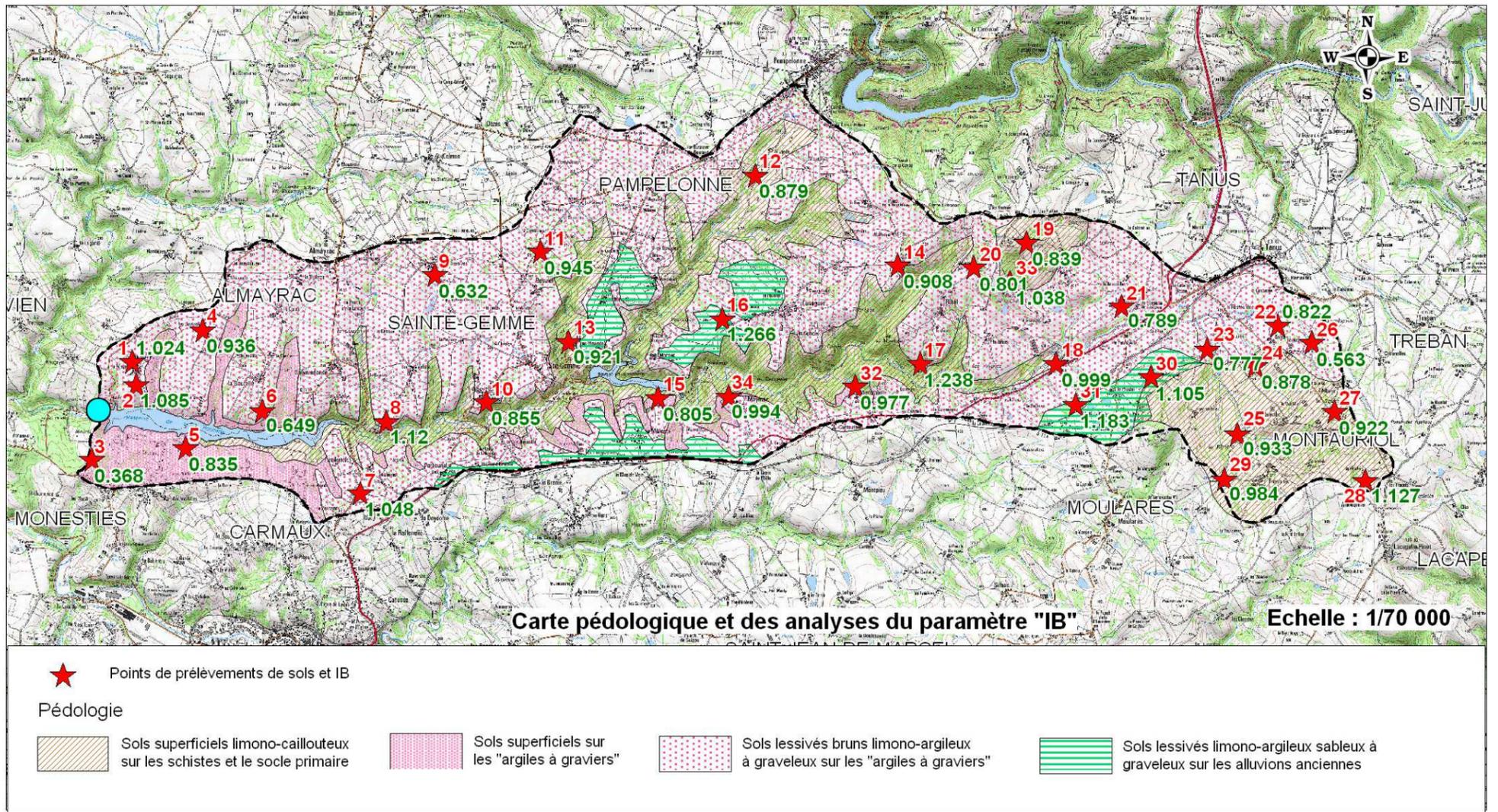


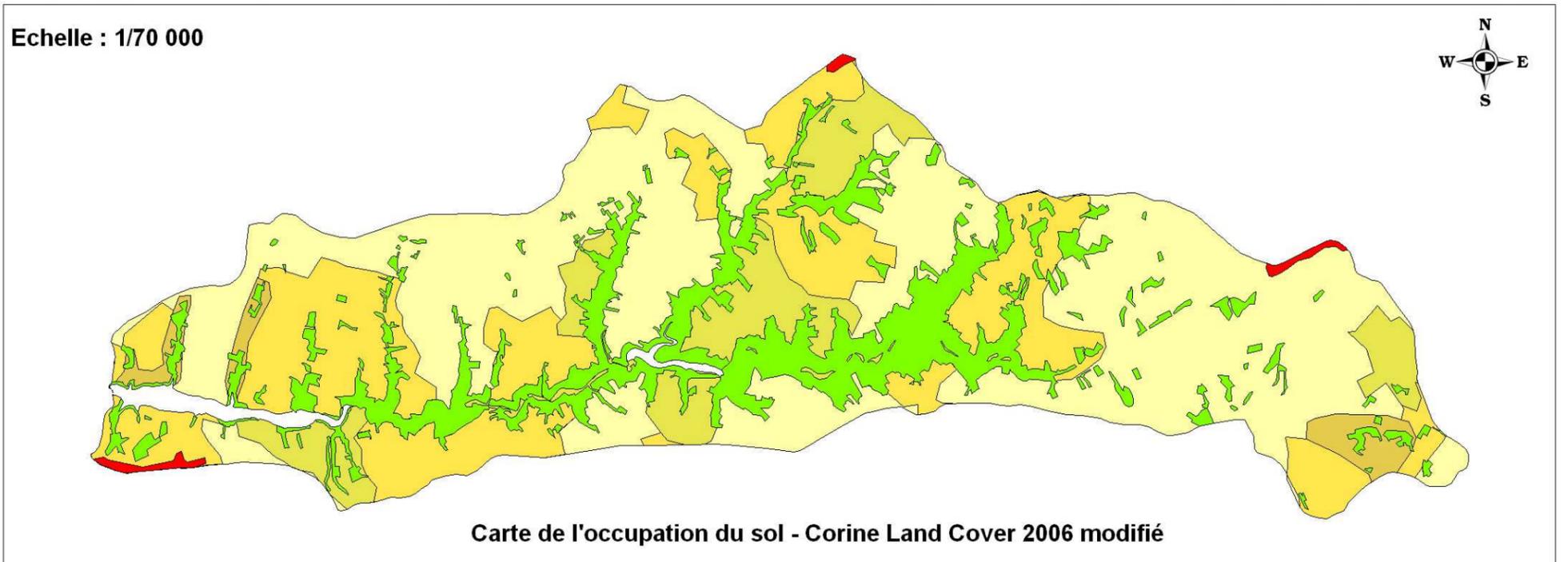
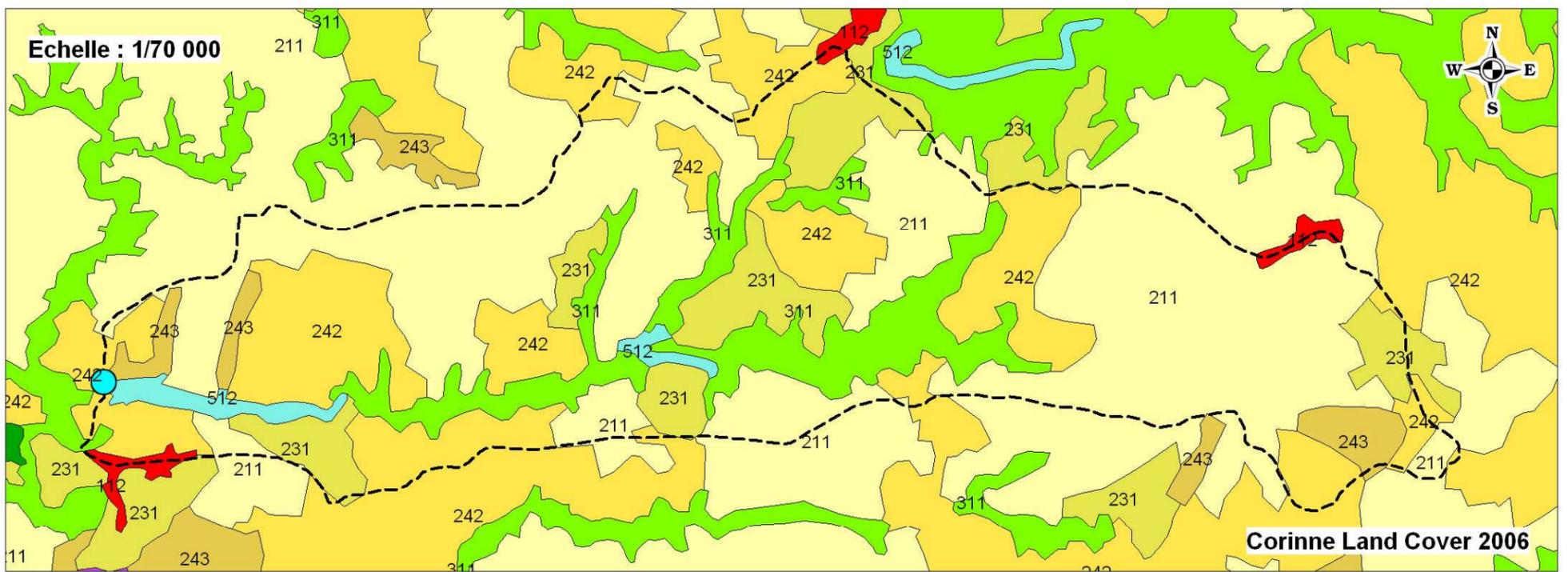
Figure 1 : Paramètres pris en compte dans la méthodologie



**Figure 2 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre d'indice de développement et de persistance des réseaux "IDPR"**



**Figure 3 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre Indice de Battance "IB"**



Corine Land Cover

- |   |   |   |                          |
|---|---|---|--------------------------|
| 111 Tissu urbain continu                | 211 Terres arables hors périmètres d'irrigation                               | 313 Forêts mélangées                          | 412 Tourbières           |
| 112 Tissu urbain discontinu             | 212 Périmètres irrigués en permanence   | 321 Pelouses et pâturages naturels            | 421 Marais maritimes     |
| 121 Zones industrielles et commerciales | 213 Rizières  | 322 Landes et broussailles                    | 422 Marais salants       |
| 122 Réseaux routier et ferroviaire      | 221 Vignobles   | 323 Végétation sclérophylle                   | 423 Zones intertidales   |
| 123 Zones portuaires                    | 222 Vergers et petits fruits  | 324 Forêt et végétation arbustive en mutation | 511 Cours et voies d'eau |
| 124 Aéroports                           | 223 Olivieraies   | 331 Plages, dunes et sable                    | 512 Plans d'eau          |
| 131 Extraction de matériaux             | 231 Prairies  | 332 Roches nues                               | 521 Lagunes littorales   |
| 132 Décharges                           | 242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes                              | 333 Végétation clairsemée                     | 522 Estuaires            |
| 133 Chantiers                           | 243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels | 334 Zones incendiées                          | 523 Mers et océans       |
| 141 Espaces verts urbains               | 311 Forêts de feuillus  | 335 Glaciers et neiges éternelles             |                          |
| 142 Equipements sportifs et de loisirs  | 312 Forêts de conifères   | 411 Marais intérieurs                         |                          |

Classes

- Classe 0 : Très faible
- Classe 1 : Faible
- Classe 2 : Modérée
- Classe 3 : Elevée
- Classe 4 : Très élevée

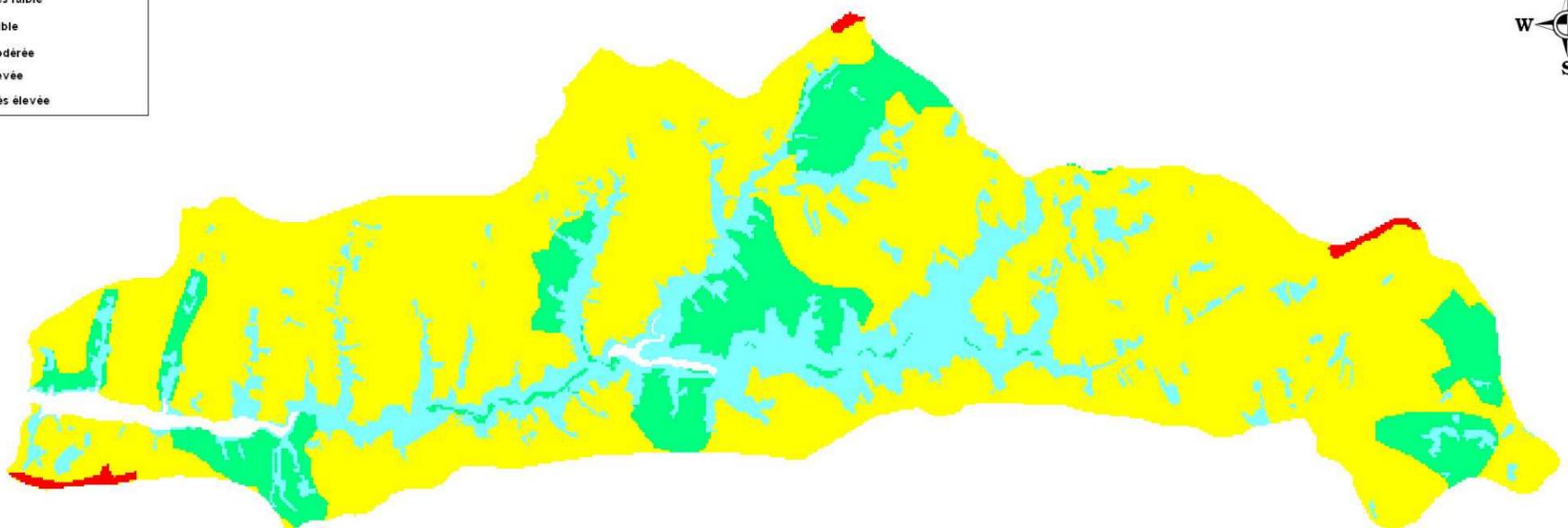
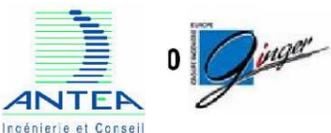


Figure 4 : Cartographie de la vulnérabilité suivant le paramètre d'occupation du sol "Os"

Barrage de La Roucarié - 09324X0046/HY  
Commune de Trévien (81)

CAIIGEE



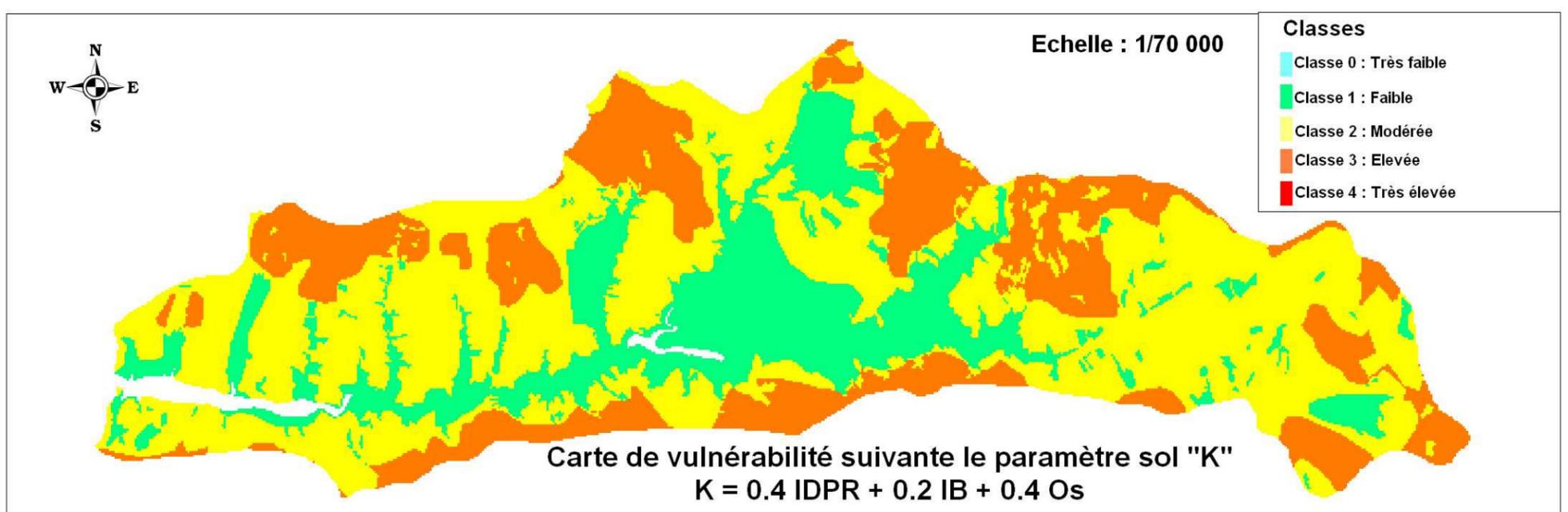
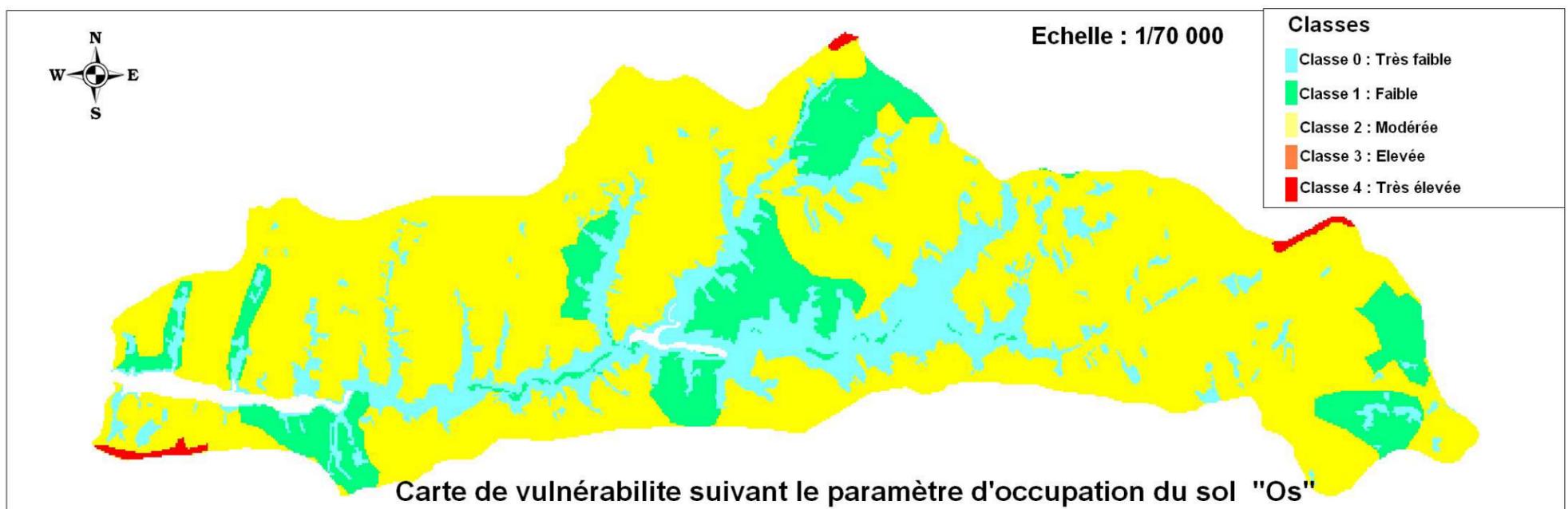
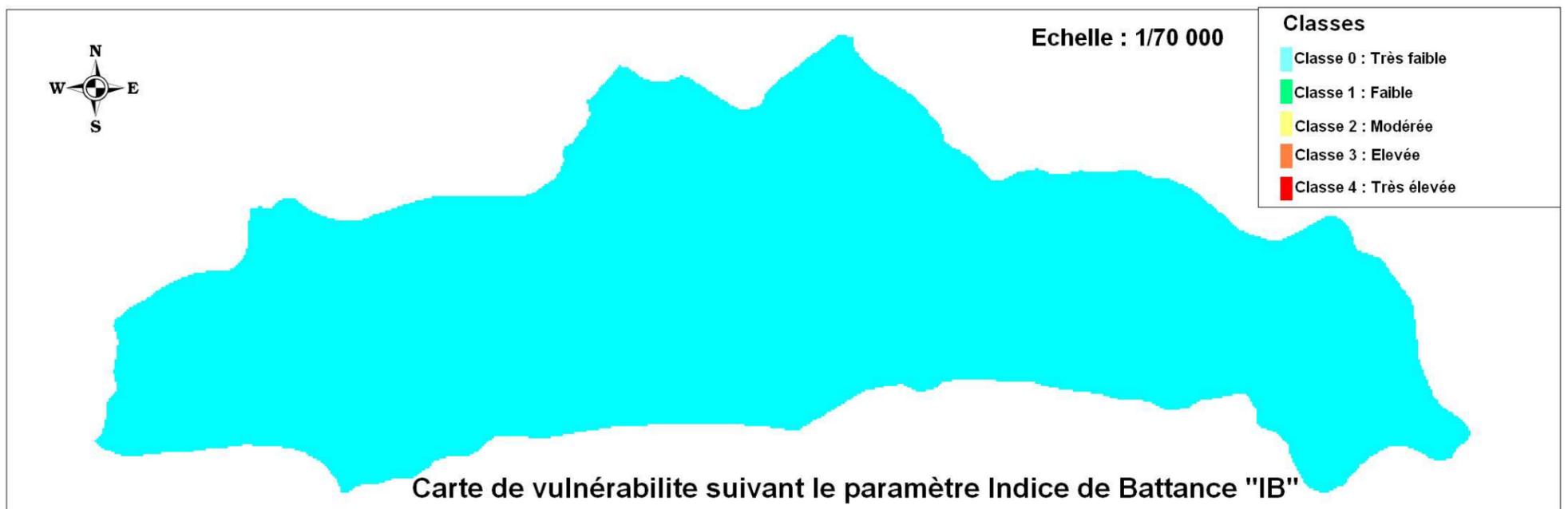
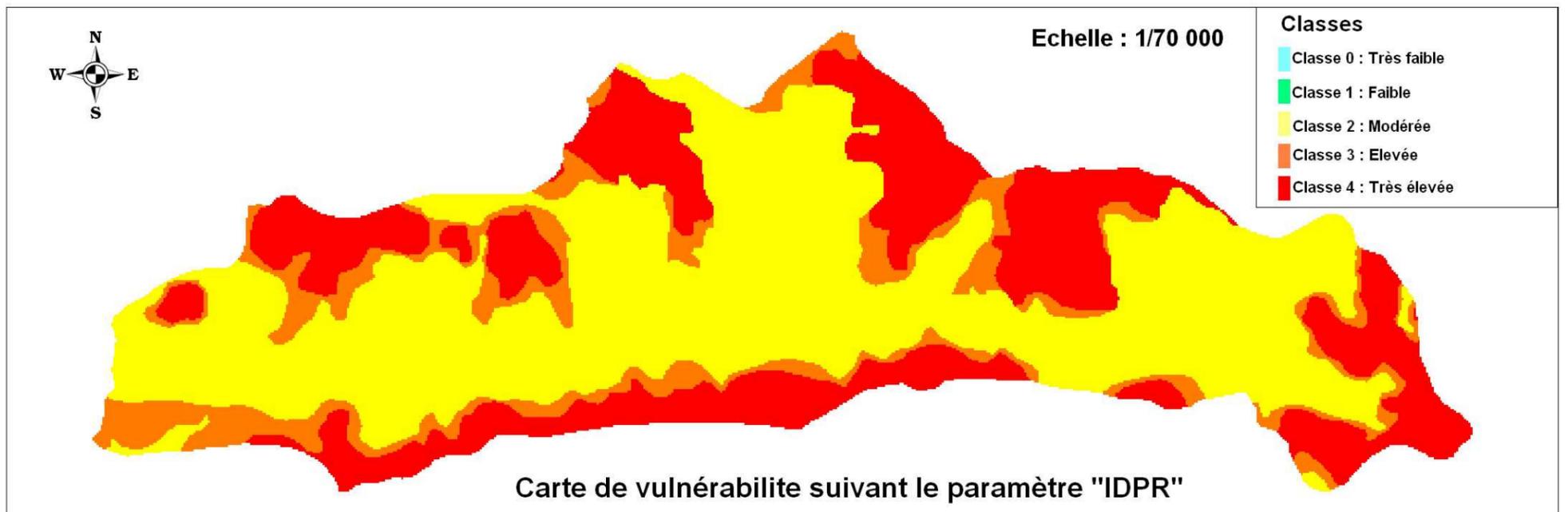
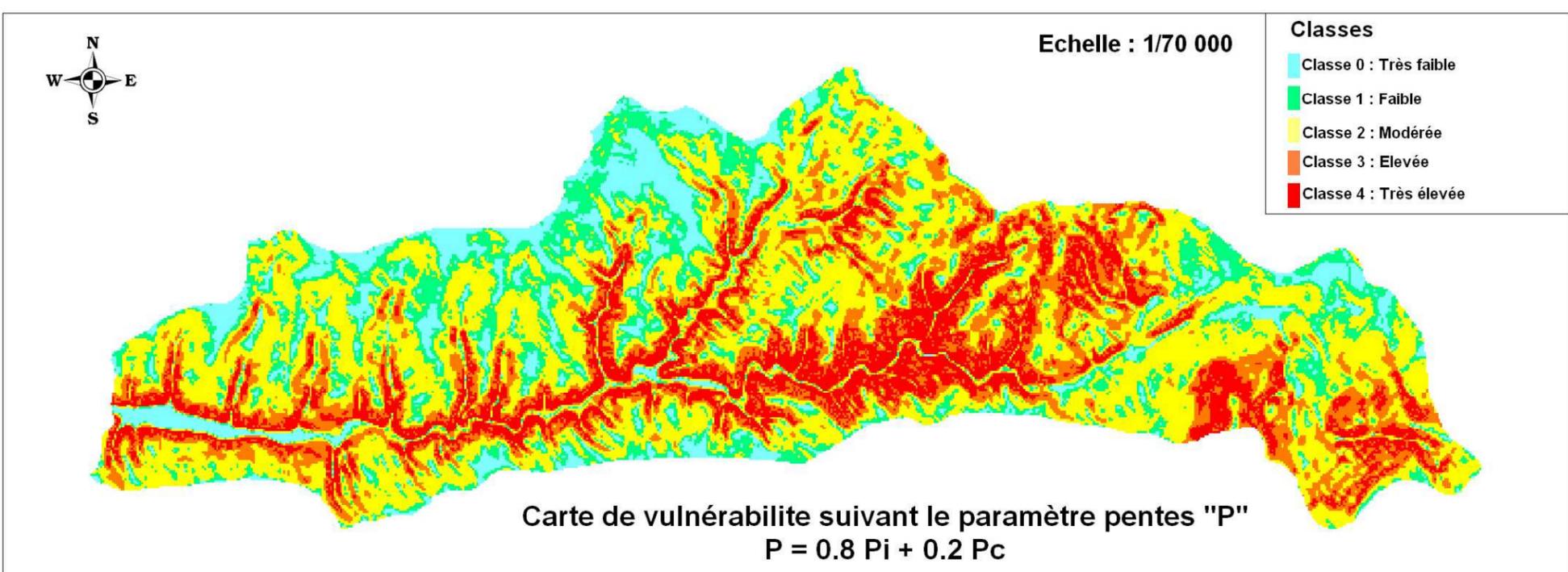
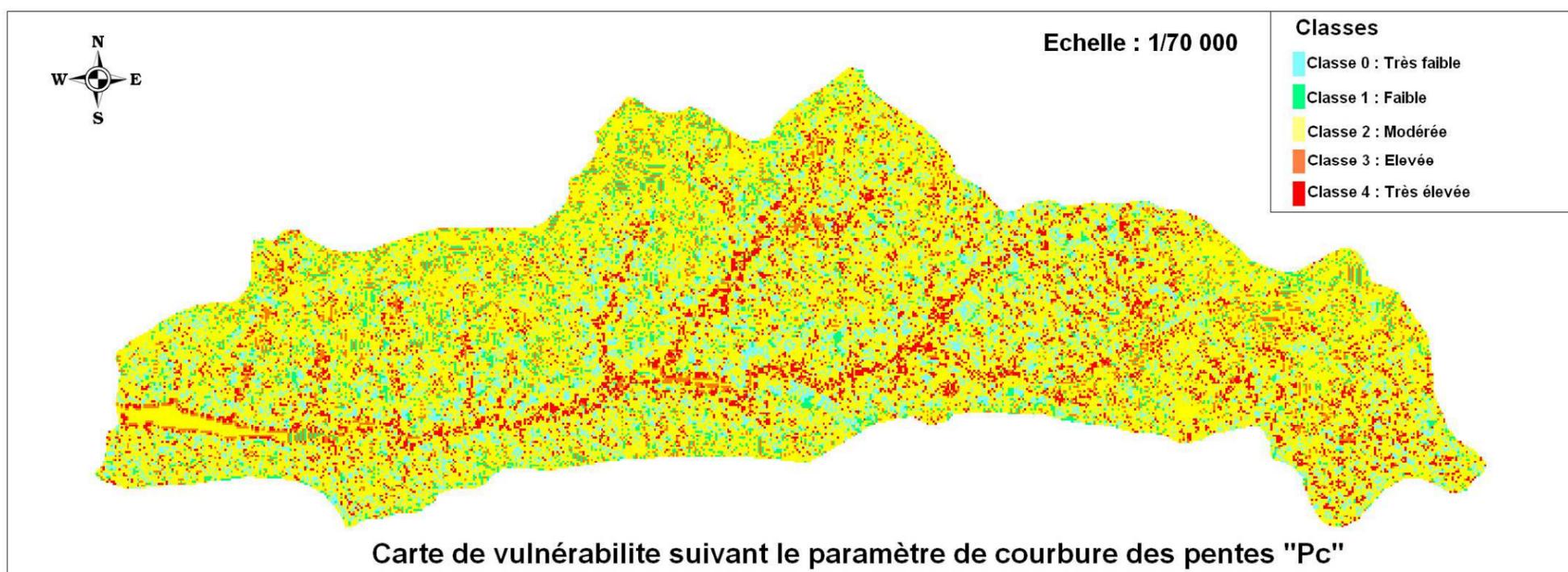
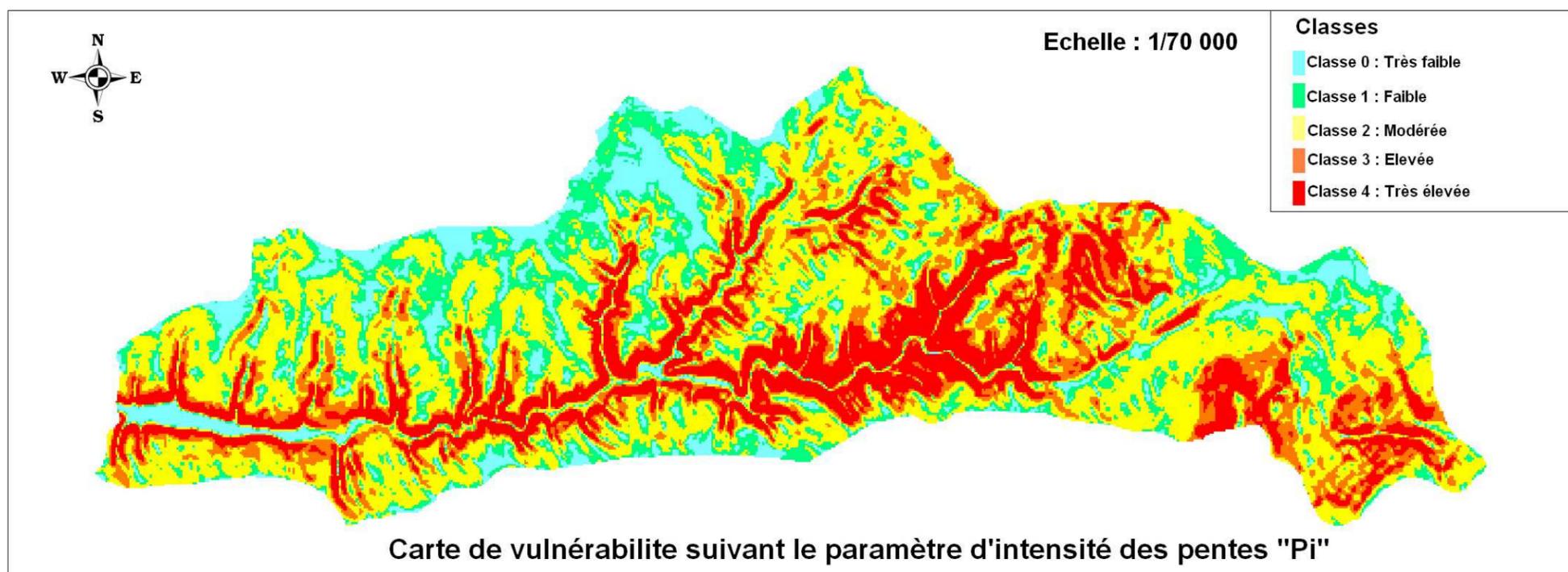
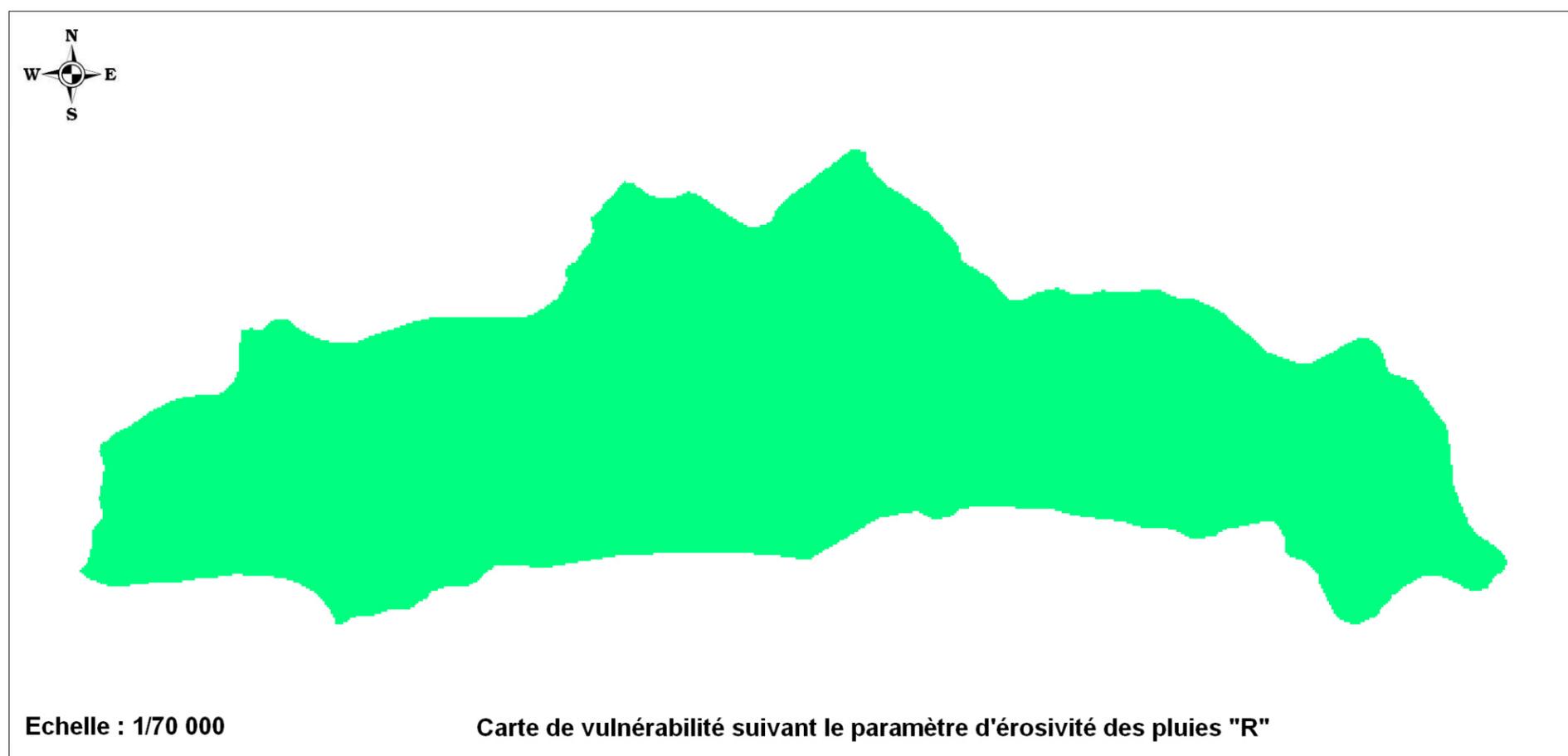
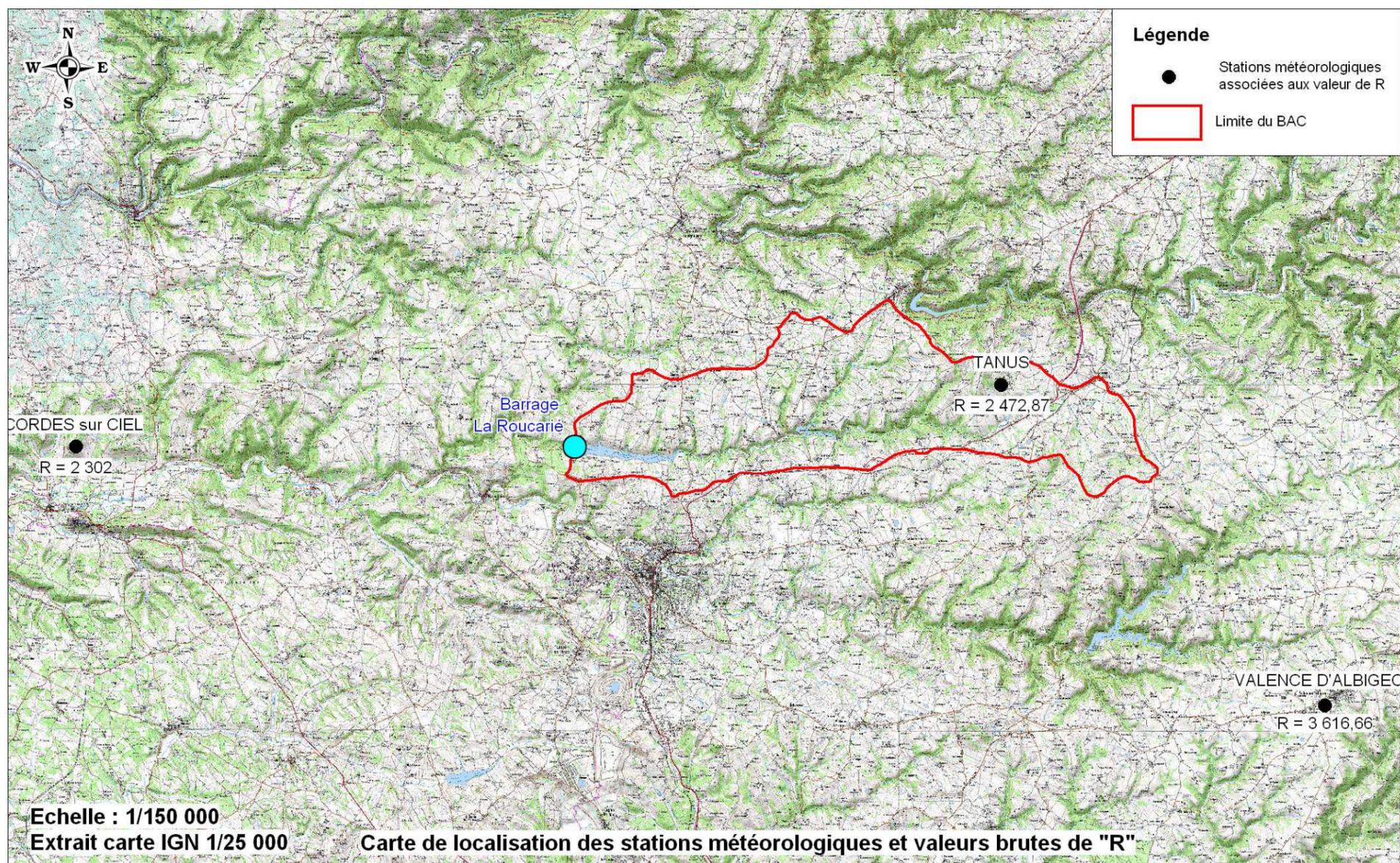


Figure 5 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre sol "K"

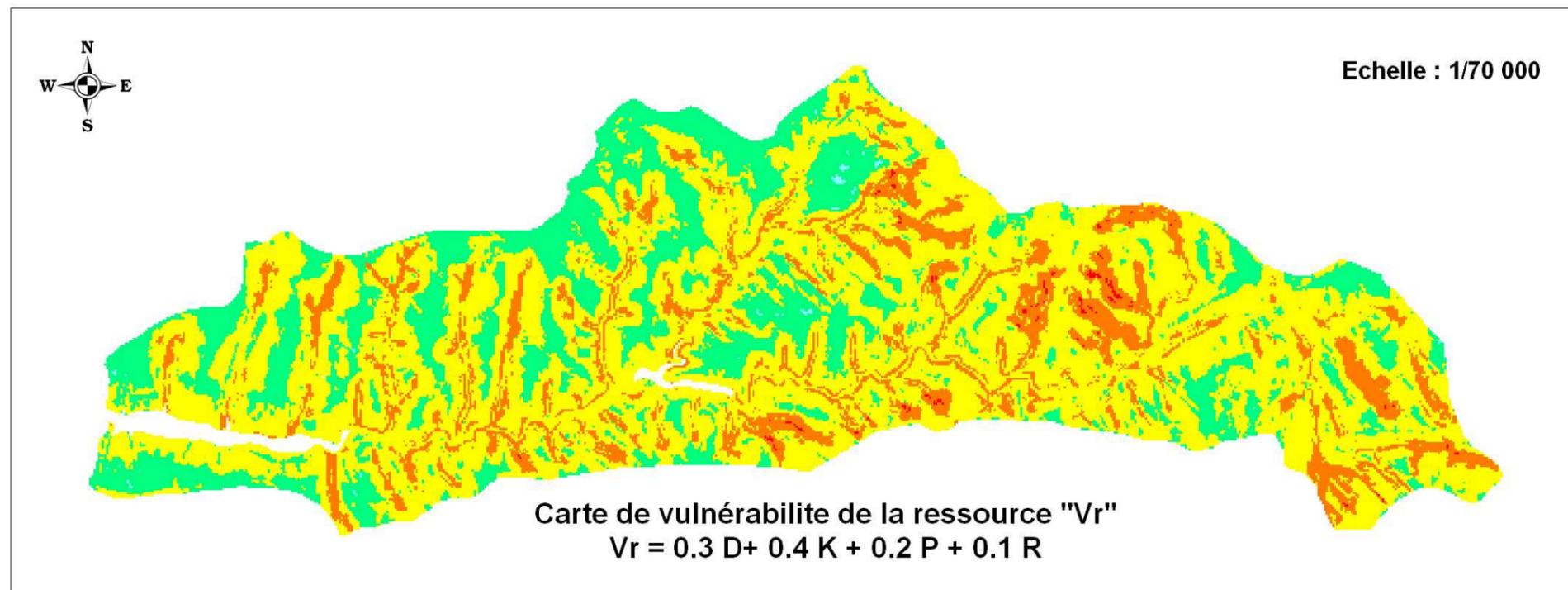
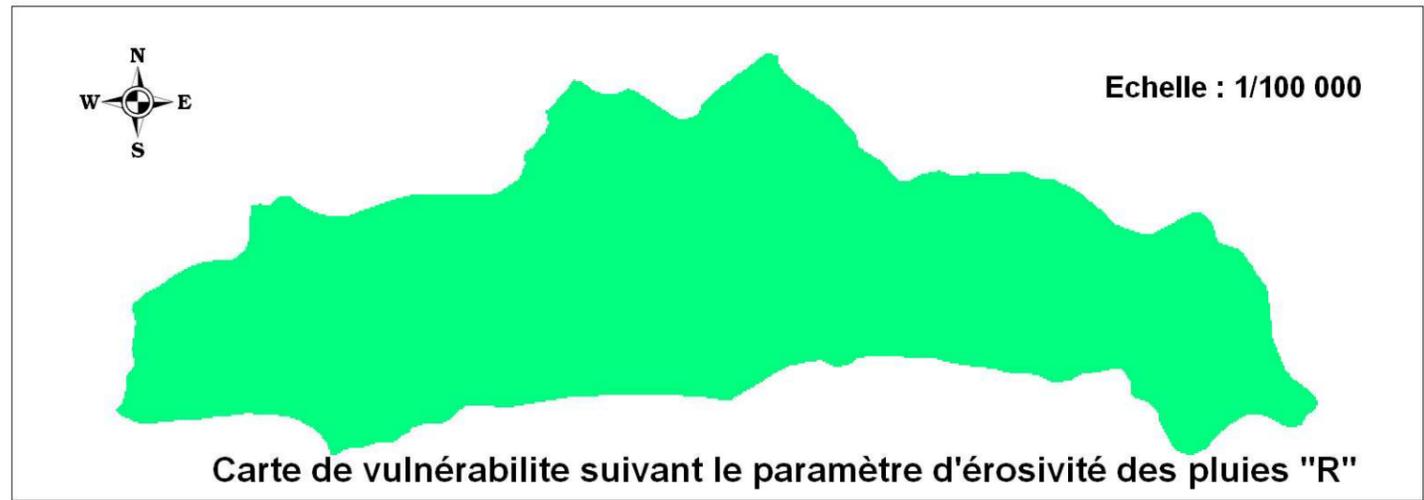
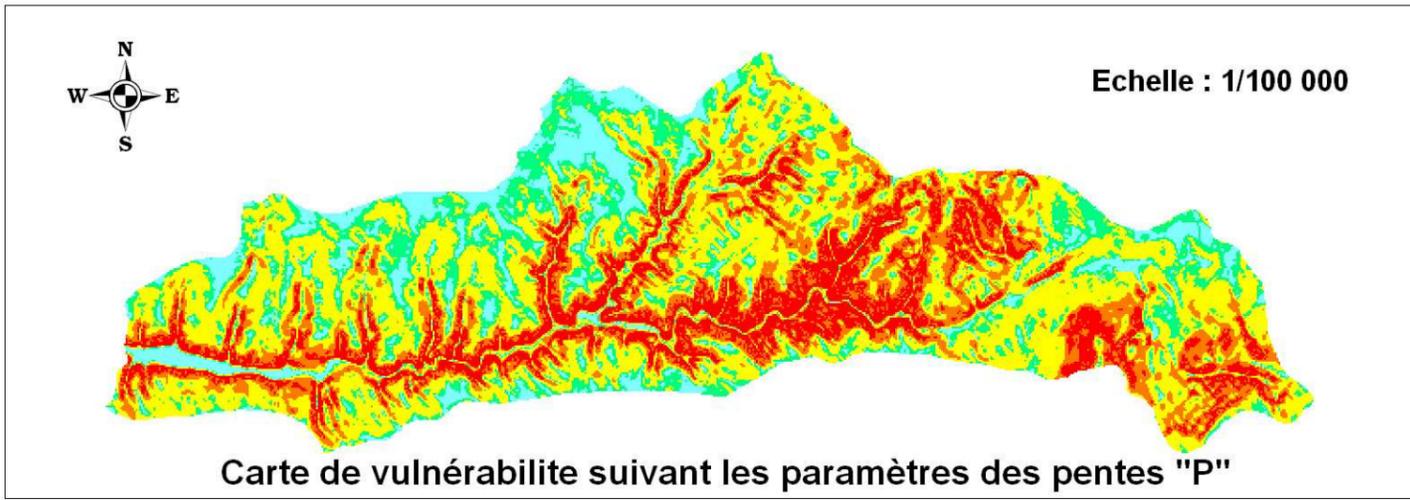
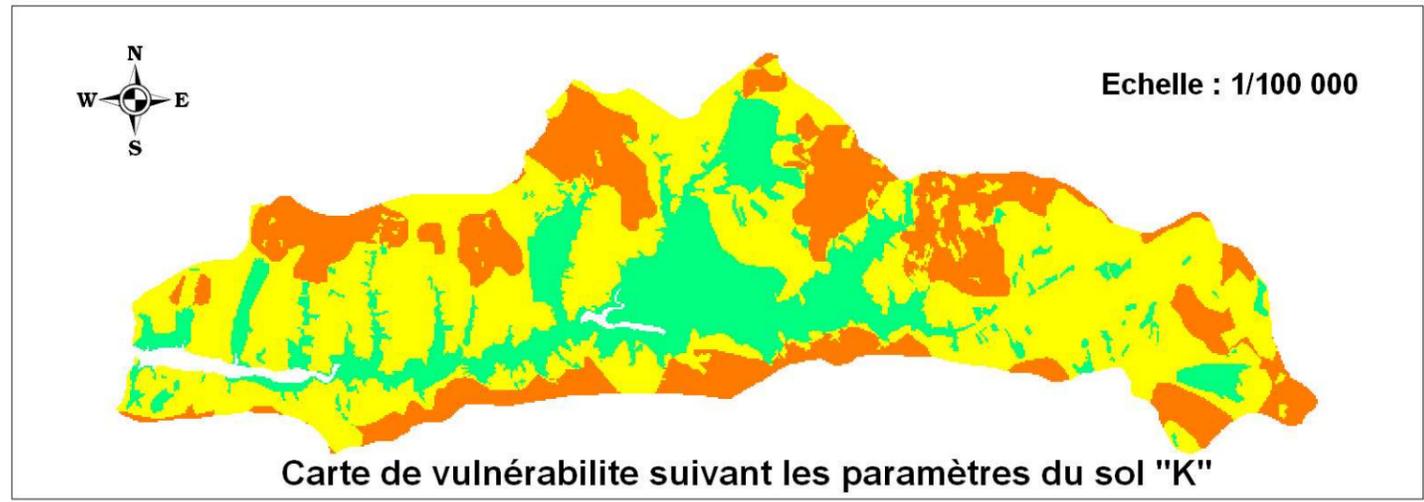
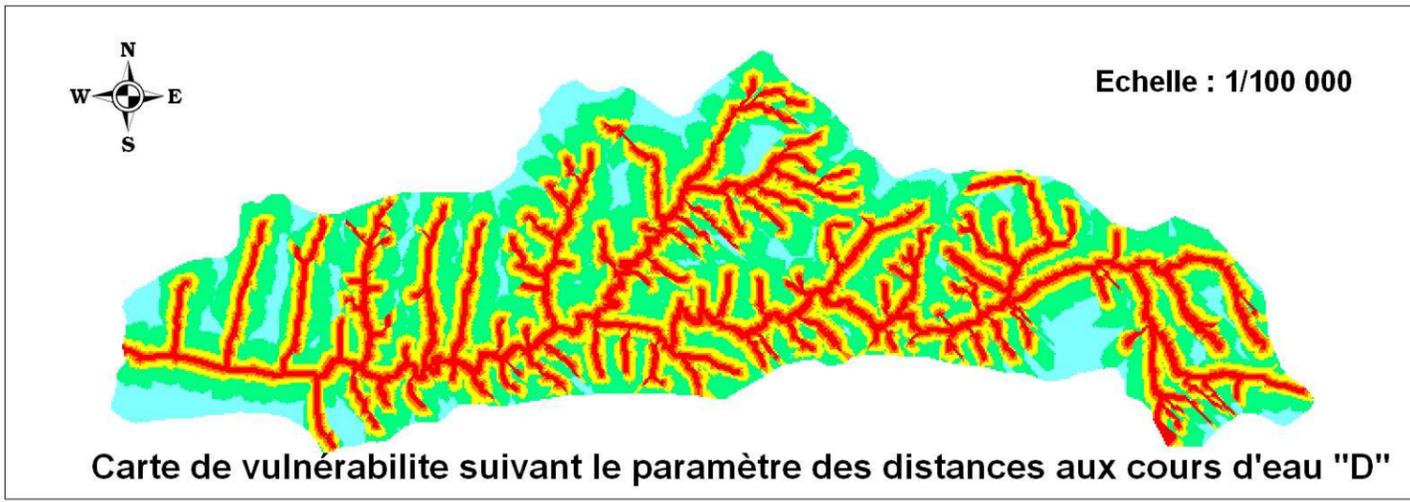
Barrage de la Roucarié - 0932-4X-0046/HY  
 Commune de Trévien (81)



**Figure 6 : Cartes de vulnérabilité suivant le paramètre pentes "P"**



**Figure 7 : Carte de vulnérabilité suivant le paramètre d'érosivité des pluies "R"**

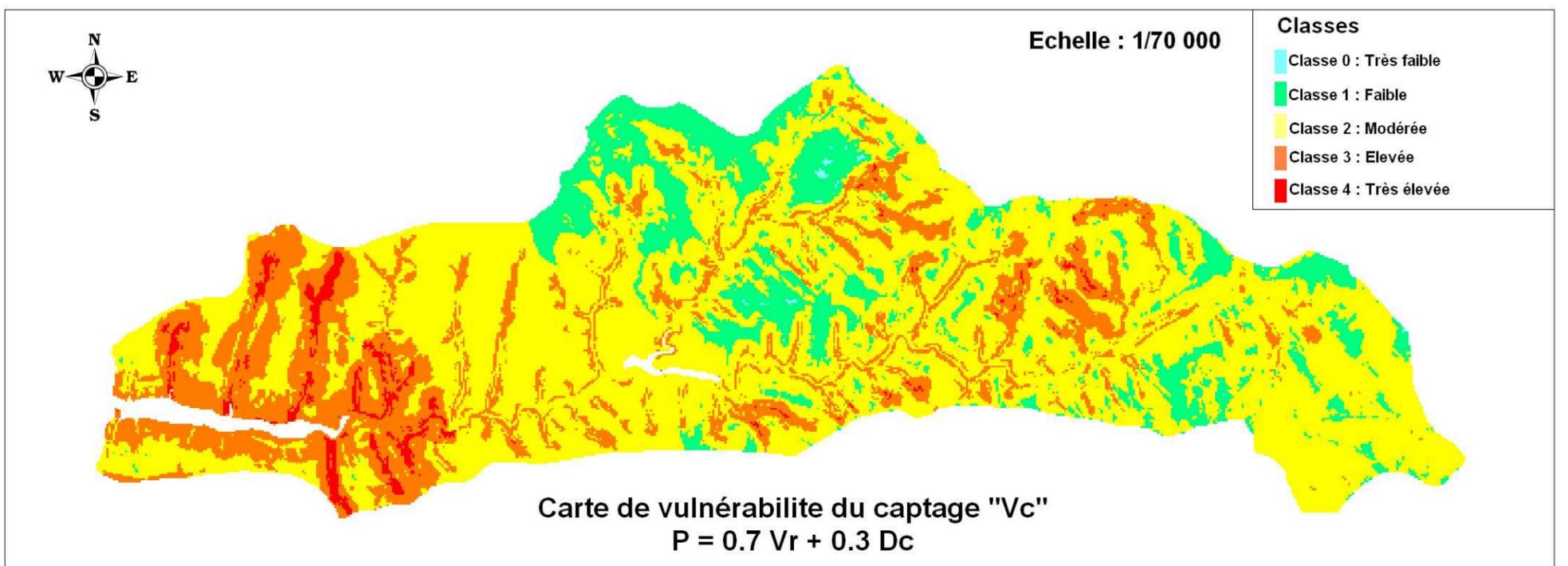
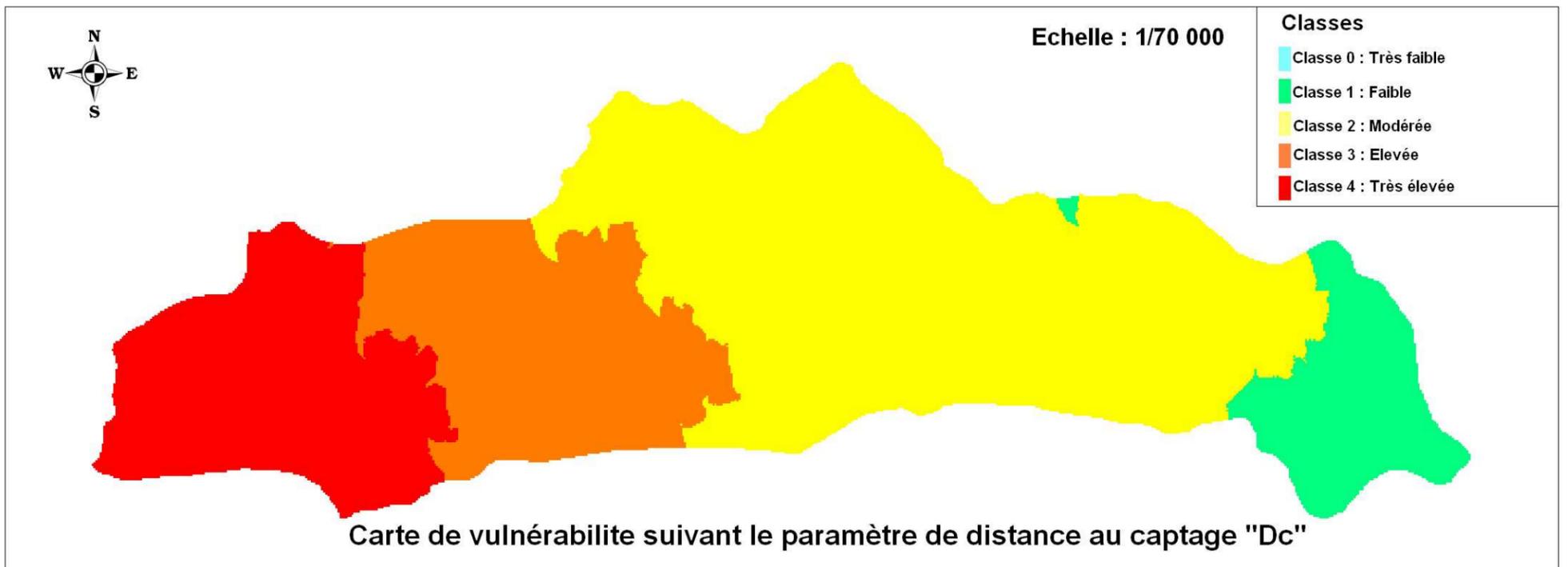
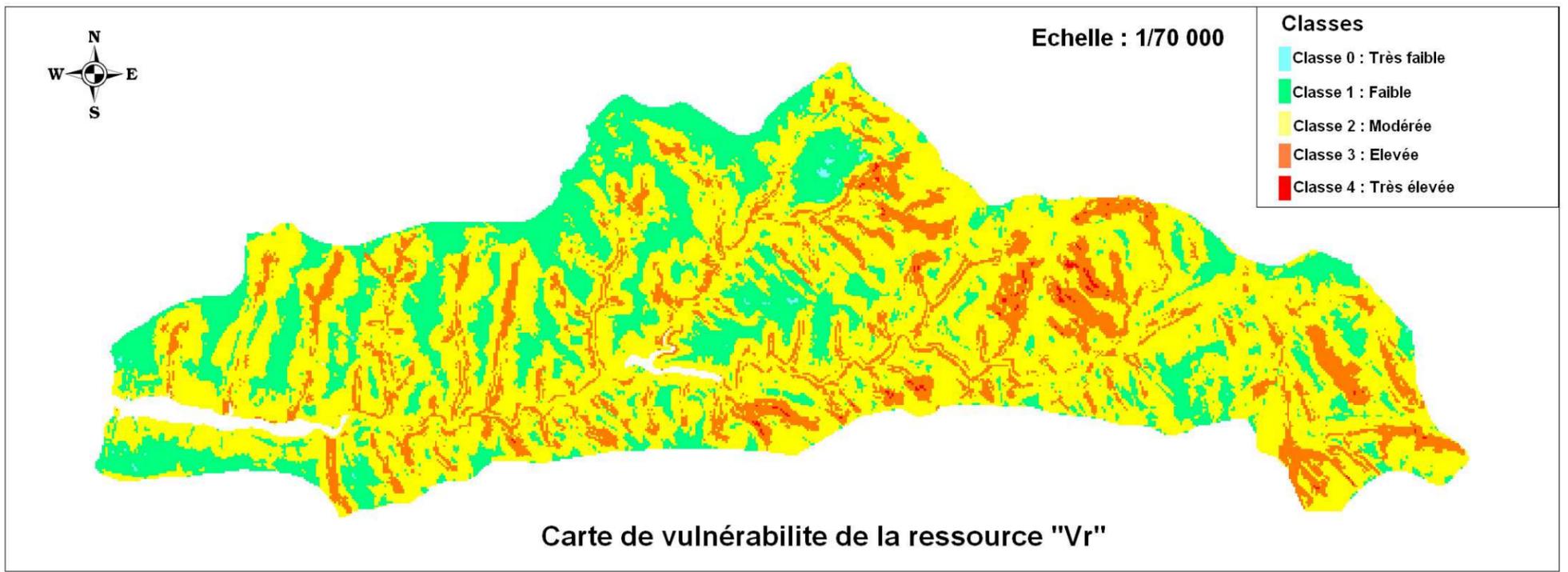


**Classes**

Classe 0 : Très faible
Classe 1 : Faible
Classe 2 : Modérée
Classe 3 : Elevée
Classe 4 : Très élevée

**Figure 8 : Carte de vulnérabilité de la ressource "Vr"**

**Barrage de la Roucarié - 09324X0046/HY  
 Commune de Trévien (81)**



**Figure 9 : Carte de vulnérabilité du captage "Vc"**

## 5. BIBLIOGRAPHIE

---

Aquascop (2003) – Mise en œuvre de la DCE, identification des pressions et des impacts, guide méthodologique, version 4.1, annexes – 140 p

AUROUSSEAU P. (ENSAR), GASCUEL-ODOUX C. (INRA) SQUIVANT H. (ENSAR) (1998) – Eléments pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides – Etude et gestion des Sols, 5, 3, pages 143 à 156

AUROUSSEAU P., GASCUEL-ODOUX C., SQUIVIDANT H. (1998) – Eléments pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides – Etude et Gestion des Sols, 5, 3, 1998 – p 143 à 156

BELAMIE R. et Al, (CORPEN, groupe « diagnostic »), 1996 – Qualité des eaux et produits phytosanitaires, Proposition pour une démarche de diagnostic – 113 p

BENOIT P. (INRA) (2007) – Sols et pollution des eaux par les pesticides – Diaporama de présentation – Sols et pesticides – Journées Connaissances des Sols Poitou-Charentes 2007

BLANCHOU H., CHEVREUIL M. – Etude du comportement de produits phytosanitaires à l'échelle d'un bassin versant de l'Orgeval : mise en évidence de la rétention au cours du transfert en zone boisée – 8 p

CANN C. (1994) – Les facteurs du transfert de nitrates vers l'eau et leurs modes d'action – Journal européen d'Hydrologie, tome 25, fasc. 2, 1994, p 153 à 167

DIAMANTINO C., HENRIQUES M.J., OLIVEIRA O., FERREIRA J.P.L. (2005) – Methodologies for pollution risk assessment of water resources systems – The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimaraes, Portugal, July 11-14 2005 – 12 p

DORFLIGER N. et Al. (2009) – Note sur les principes et sur la définition des critères utilisés dans la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques – méthode PaPRIKa et sur la définition des critères additionnels pour obtenir des cartes servant à la définition des périmètres de protection – 19 p

Géo-Hyd (2005) – Diagnostic SAGE Estuaire de la Loire, Annexe Technique sur les méthodologies d'estimation de la vulnérabilité des sous bassins versants au risque de ruissellement – 13 p

GRILL J.J, BERTRAND J. et Al (CORPEN groupe zones tampons) (2007) – Les fonctions environnementales des zones tampons, première édition – 26 p

GRIMALDI C., BAUDRY J., GASCUEL C. (2009) – Fonctions – Territ'Eau – Agro-Transfert Bretagne – version du 09/11/2009

HARUM T. SACCON P., CALASAN N., RUCH C; (2004) – Water Ressources, vulnerability assessment and quality of water in Cachoeira Catchment – ECOMAN Newsletter, N°3 , June 2004 – p 4

HOFFMANN F. TARRISSE A. (2000) – Influences climatiques et pression anthropique sur l'hydrologie des bassins karstiques des vallées de la Dordogne et du Lot : aide à l'aménagement et à la gestion de la qualité des ressources en eau – Trav. Lab. Géol. Phys. Appl., Bordeaux, fév 2000, n°18, p 63 à 97

INTERREG SUDOE – Développement d'une méthode d'évaluation des risques de dégradation de la qualité des eaux dans les bassins versants agricoles au cours des crues transposables aux bassins versants de SUDOE – Agua Flash – présentation

ISL, CALLIGEE (2007) – Zonage de la vulnérabilité des masses d'eau de la région Picardie à la pollution des eaux par les produits phytosanitaires. Méthode de caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque et actuelle des masses d'eaux superficielles et souterraines de la région Picardie – DRAF Picardie, GREPP Picardie, DIREN Picardie – 25 p

JOULIN A. (DRAF/SRPV Lorraine), ROYER J. (DRAF/SRPV Lorraine), CHALONS A. (FREDON Lorraine) (2006) - GRAPPE Lorraine– Cartographie du potentiel de contamination des eaux par les produits phytosanitaires pour la région Lorraine – 64 p

JOULIN A. et Al (CORPEN Groupe PHYTOPRAT-SIG) (2003) – Eléments méthodologiques pour un diagnostic régional et un suivi de la contamination des eaux liée à l'utilisation des produits phytosanitaires, utilisation des outils de traitement de l'information géographique : SIG – 84 p

KAO C. (2008) – Une hydrologie des versants à nappes superficielles drainées : approches multi-processus et multi-échelles – mémoire de thèse – Université Pierre et Marie Curie, Cemagref – 168 p

MADIER S. (2007) – De la mesure à la modélisation de transferts de produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant : quantification des incertitudes et définition de stratégies d'échantillonnage – mémoire de Thèse – Agro Paris Tech – 580 p

MADRIGAL-MONARREZ Ismael (2004) – Rétention de pesticides dans les sols des dispositifs tampon, enherbés et boisés, rôle des matières organiques – mémoire de thèse – INAP-G, INRA – 244 p

MARDHEL V. PINSON S. avec la collaboration de KOCH-MATHIAN J-Y. (2008) – Analyse de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines autour des sites BASOL du bassin Adour-Garonne – BRGM/RP-56593-FR. – 87 p, 2 ann., 19 fig

MORSCHER J., FOX D. (2004) – Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort lauragais – M@ppemonde 76 (2004.4) <http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.html>

SCHOEN R, RICARD J. CODVELLE A. (2001) – Cartographie de l'aléa de pollution des eaux superficielles et souterraines par les substances phytosanitaires en Région Midi-Pyrénées, Vulnérabilité des eaux souterraines – Rapport BRGM/RP-51337-FR – DIREN – 32 p

SCHOEN R, RICARD J. CODVELLE A. (2001) – Unités de Gestion de la qualité des eaux continentales en région Midi-Pyrénées – Rapport BRGM/RP-51337-FR – DIREN – 32 p

SCHOEN R. (BRGM), LONGUEVAL C. (CRAMP), DORRACHE H, RICARD J. CODVELLE A. (DIREN), GILLE A. (DRAF), MONROZIES L. VILLEMAMIN F. RENAULT E. (FREDEC) – Localisation des zones à risque vis-à-vis du transfert des substances phytosanitaires vers les eaux superficielles et souterraines en Midi-Pyrénées, Méthodologie de travail – 34 p

THIOLLET-SCHOLTUS M. (2004) – Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole – mémoire de thèse – INPL – 206 p

TORTRAT F. (2005) – Modélisation orientée décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles – mémoire de thèse – Agrocampus Rennes – 219 p

VERNOUX J.F. WUILLEUMIER A., DORFLIGER N. (2007) – Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 75 p, 14 illustrations

WISCHMEIER, SMITH (USLE) (1978) – le modèle empirique de perte en terre – résumé – archive des documents de la FAO – <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0f.htm>

ZAHAR Y., LABORDE J.P. (2001) – Génération stochastique d'averses et de leur index d'érosivité pour la simulation de la dynamique érosive en Tunisie centrale – Journal des sciences Hydrologiques, 46(2) avril 2001, p 243 à 253