



Etablissement National d'Enseignement  
Supérieur Agronomique de Dijon



Observatoire Régional de  
l'Environnement en Bourgogne

# Le bocage bourguignon :

**Validation de l'Indice Bocage**

**Faisabilité de l'utilisation de photos aériennes**

**orthonormées lues sous SIG en vue du calcul de l'IB**

7 Novembre 2003-18 Février 2004  
Initiation à une démarche de projet  
Responsable ENESAD: Ph. ROYER  
Responsable OREB : Ch. MANCHERON

Célia BEQUAIN  
Cyrille DIDIER  
Cyril LABORDE  
Vincent LEHALLIER  
Mathieu WULLENS  
ITA FI 2A Promotion 2002-2005

# SOMMAIRE

<b>I Rappels sur le bocage bourguignon</b>	
<b>et la mise en place d'un Indice Bocage</b>	<b>3</b>
1) Travaux antérieurs	
2) Evolution du bocage bourguignon depuis 50 ans	5
3) Problématique : formulation des objectifs de l'étude	10
<b>II Evaluation de l'Indice Bocage par une approche de terrain</b>	<b>11</b>
1) Problématique	
2) Rappel concernant la construction de l'Indice Bocage (IB)	
3) Méthode	21
4) Résultats	49
5) Conclusion	53
<b>III Expertise de l'utilisation des photos aériennes orthonormées</b>	
<b>pour le calcul de l'Indice Bocage</b>	<b>54</b>
1) Problématique	
2) Méthode	55
3) Résultats	57
4) Conclusion	59
<b>IV Réactualisation de l'Indice Bocage bourguignon</b>	<b>61</b>
1) Problématique	
2) Méthode	
3) Résultats	
4) Conclusion	65
<b>Conclusion générale</b>	<b>66</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>68</b>

## Quelques définitions

L'Institut de Développement Forestier (1995) définit la **haie** comme un " ensemble linéaire d'arbres ou d'arbrisseaux libres ou taillés, hauts ou bas, servant de clôture ou d'abris. "

L'Inventaire Forestier National précise que la **haie** est une " lignée boisée d'une largeur en cime inférieure à 15m et d'une longueur au moins égale à 25m, comportant 3 arbres recensables d'essences forestières avec une densité moyenne d'au moins un arbre recensable tous les 10m. "

« Le **bocage** n'a jamais été un ensemble d'arbres dispersés sans suite et sans soin au petit bonheur. Il s'agit d'un aménagement concerté et voulu d'un territoire destiné à la production agricole, quelles que soient les raisons qui ont contribué à son édification (écologiques ou non). Le **bocage** est une manière d'aménager l'espace de façon à ce que chaque parcelle soit entourée de haies vives. Il est constitué par l'ensemble de ses parcelles réunies en maillage et fonctionne comme un système intégré de facteurs multiples s'influçant les uns les autres. Le bocage est une sorte d'organisme. Il n'existe pas à partir de quelques haies éparpillées, mais seulement à parti d'un réseau régulier et sans accroc. Le bocage est une sorte de filets avec des mailles. Les mailles disloquées, il n'y a plus le filet » (Terrason, 1983).

Dans le milieu rural, le **bocage** est une manière d'organiser l'espace. Son intérêt réside notamment dans sa multifonctionnalité qui s'exprime suivant les rôles que l'agriculteur et d'autres personnes souhaitent lui voir attribuer pour répondre à leurs besoins (Conseil Régional de Bourgogne, 2002).

Le **bocage** est un paysage caractérisé par un réseau de structures linéaires de végétaux ligneux, que ce soit des haies, des rideaux de brise-vent ou des haies spontanées issues de l'absence d'entretien des clôtures (Baudry et Jouin, 2003).

# **I. Rappels sur le bocage bourguignon et la mise en place d'un Indice Bocage**

L'Observatoire Régional de l'Environnement en Bourgogne (OREB) conduit, depuis 1999, un travail d'observation des bocages en Bourgogne. Cette démarche a pour objectif de mettre à disposition des acteurs et usagers concernés par le bocage, des données sur les évolutions spatiales et qualitatives des réseaux bocagers et ce, sur une période d'environ 50 ans.

Si le bocage était perçu comme une contrainte au développement agricole dans le contexte du productivisme d'après guerre, aujourd'hui, les régions bocagères se trouvent investies de nouvelles missions : notamment la préservation de la qualité des paysages (Cornu et Delouée, 2001 ; OREB, 1998).

Ceci explique le paradoxe observé sur l'évolution du bocage français : près de 15000 Km de haies sont détruits par an en même temps que 3000 Km sont replantés (Conseil Régional de Bourgogne, 2002).

Si la haie (cf. Quelques définitions page 2) représente un élément linéaire à base d'arbustes et d'arbres, dont les fonctions dans l'espace agricole sont multiples (cf. Quelques fonctions de la haie page 6), le bocage quant à lui (cf. Quelques définitions page 2) est un niveau supérieur d'organisation de l'ensemble des haies, doté de propriétés bien différentes de la seule addition de celles des haies (cf. Quelques fonctions du bocage, page 7). Ainsi malgré l'étroite filiation entre haies et bocages, la qualité fonctionnelle d'un bocage est bien loin du simple calcul d'un linéaire de haies.

## **1) Travaux antérieurs**

Le dispositif d'observation des évolutions des bocages développés par l'OREB avec le concours de l'ENESAD en 2000 et l'Université de Bourgogne en 2001 repose sur 35 sites représentatifs de différents types de bocages rencontrés en Bourgogne.

	Linéaire de haies pour 100 ha	IB
1950	9808	2138
1996	6517	1016

Tableau 1: Linéaire de haies et Indice Bocage en fonction du temps.

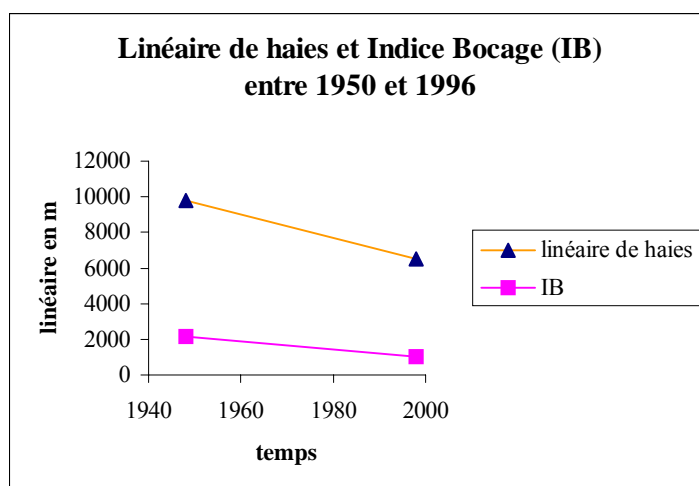


Figure 1 : Evolution du linéaire de haies et de l'Indice Bocage en fonction du temps.

**Remarque :** les droites tracées entre les deux points ne signifient pas que les évolutions des deux paramètres sont directement proportionnelles au temps.

Chaque site étudié correspond à un échantillon de 100 ha d'espace agricole par commune (34 communes dont une commune avec deux sites).

Le bocage est étudié à partir de photos aériennes les plus anciennes ( $\approx 1950$ ) et les plus récentes ( $\approx 1996$ ). Parfois un point intermédiaire a été étudié ( $\approx 1970$ ).

La lecture des photos aériennes (sans vision stéréoscopique) permet de mesurer plusieurs paramètres constitutifs du bocage : le linéaire de haie, la stratification, les types de connexions entre elles. L'intégration de tous ces paramètres descriptifs des haies a donné lieu à l'élaboration d'un Indice Bocage (IB), qui permet d'avoir une vision dynamique de la qualité écologique des bocages en Bourgogne sur une période de 50 ans (Barrau *et al.*, 2000).

## **2) Evolution du bocage bourguignon depuis 50 ans**

Nous avons réalisé une synthèse des résultats portant sur l'évolution du linéaire et de l'Indice Bocage (Tab. 1) (OREB, déc. 2001). Les tendances d'évolution du bocage se présentent sous forme de droites joignant deux points espacés d'environ 50 ans (Fig. 1).

Nous remarquons que le linéaire de haies diminue de 33,6% alors que sur la même période, l'Indice Bocage est divisé par deux (-52,5 %).

**Ceci démontre l'amplitude des phénomènes «dégradation du bocage bourguignon» en un demi-siècle, à travers la quantité de haies (linéaire) et la «qualité des haies» (stratification et connexions). En effet, même si le linéaire est encore relativement important, les qualités biologique, écologique et fonctionnelle du bocage chutent considérablement.**

### Quelques fonctions de la haie

(Constant *et al.*, 1976 ; Michaut, 1998 ; Notteghem, 1986 et 1987 ; OREB, 2000 ; Pointereau et Bazile, 1995 ; Soltner, 1995)

- Entretien la diversité biologique : les haies accueillent de nombreuses espèces végétales et animales qui y trouvent abri et nourriture ;
- Favorise l'infiltration de l'eau dans les sols : ralentissement des ruissellements et donc régulation des écoulements lors de pluies de faible ou moyenne intensité ;
- Réduit la contamination des eaux et l'érosion en freinant la circulation de l'eau ;
- Protège le bétail du vent, du soleil et de la pluie (dans le cadre des haies hautes) : les animaux dépensent moins d'énergie et valorisent mieux leur ration alimentaire ; la haie favorise un bon état sanitaire du bétail et un ralentissement de la propagation des bactéries et maladies ;
- Régule les populations des espèces nuisibles aux cultures : rôle de réservoir d'auxiliaires pour l'agriculture ;
- Augmente le rendement des cultures et fourrages (par régulation climatique);
- Produit du bois de chauffage : les espaces boisés non forestiers fournissent en France de 10 à 20% du bois de chauffage ;
- Joue un rôle économique en plus des fonctions agronomiques et écologiques à travers le tourisme, par la fonction paysagère.

## Quelques fonctions des bocages

- Améliore le cadre de vie à travers le paysage (Soltner, 1995)
- Contribue à la diversité fonctionnelle par l'émergence d'un effet réseau à travers plusieurs caractéristiques :
  - effet intersection. Les intersections de haies sont des sites qui présentent souvent une richesse spécifique supérieure à celle trouvée dans les haies (Lack, 1988),
  - effet corridor. Les structures linéaires (haies, bords de route, cours d'eau) peuvent être utilisées comme des couloirs de déplacement préférentiels par certains animaux (= des traits d'union entre les milieux boisés),
  - effet barrière. Certaines populations sont affectées dans leur déplacement par une haie,
  - effet tampon. Le bocage, en hébergeant certaines espèces prédatrices, contribue à la stabilisation de certaines espèces prédatrices contribuant à la stabilisation de certaines populations proies (micromammifères) (Baudry et Jouin, 2003).





*Figure 2 : Haies basses*



*Figure 3 : Haie haute en continuité avec une haie basse*



*Figure 4 : Haie arborescente discontinue*



*Figure 5 : Haie arborescente continue accompagnée  
d'une haie basse*

### 3) Problématique : formulation des objectifs de l'étude

Le calcul de l'Indice Bocage a été construit à partir de l'analyse de photos aériennes noir et blanc (non orthonormées) et concerne 35 sites de Bourgogne. L'utilisation de ce support photographique a permis l'étude diachronique du bocage sur une période d'environ 50 années. A l'issue de la publication des résultats par l'OREB (OREB, déc. 2001), des questions émanant d'un groupe de travail régional ont émergé, portant notamment sur une évaluation de l'Indice Bocage (= le premier objectif du travail) et sur la faisabilité de l'utilisation de photographies aériennes orthonormées et numérisées permettant une analyse directe du bocage avec un Système d'Information Géographique (= le deuxième objectif du travail).

*In fine*, nous serons à même de proposer la périodicité d'actualisation du dispositif d'observation en utilisant la méthode qui est la plus performante (temps ? coût ? précision ?...).

#### Signification de la stratification

- Les haies basses (1 à 2 m) rendent compte d'un entretien constant fait par les agriculteurs chaque année, voire tous les deux ans (Chambaud, 2001).
- Les haies hautes témoignent d'un développement spontané d'une haie ou de l'arrêt de l'entretien d'une haie basse (sur la photo aérienne elles apparaîtront plus épaisses que les haies basses).
- Les haies arborescentes comportent des arbres de haute-tige appartenant aux essences forestières (frêne, chênes, châtaignier). La diminution du linéaire de haies arborescentes montre que les arbres exploités n'ont pas été remplacés par recrutement de jeunes arbres ou par plantation. Ainsi globalement la valeur biologique de la haie s'en trouve diminuée.

## II. Evaluation de l'Indice Bocage (IB) par une approche de terrain

### 1) Problématique

L'Indice Bocage obtenu par l'étude de photos aériennes classiques est comparé à celui calculé par une mission (approche) de terrain sur des sites identiques.

Les mêmes paramètres de caractérisation des haies et de leur réseau sont utilisés dans les deux méthodes (photos et terrain) pour faciliter une comparaison.

Si nous ne remettons pas en cause la manière dont est construit l'IB, nous montrerons cependant que certains descripteurs restent empiriques. Ces derniers demanderaient une confirmation expérimentale fort complexe et difficile.

### 2) Rappels concernant la construction de l'Indice Bocage (IB)

L'Indice Bocage intègre deux paramètres décrivant la structure des haies :

- longueur,
- stratification (voir ci-contre sa signification),

et un paramètre caractérisant la manière dont les haies sont reliées entre elles (notion de connexion) pour former un éventuel réseau (réseau bocager).

La stratification comporte plusieurs modèles de base :

- la haie basse =  $H_B$  (Fig. 2),
- la haie haute =  $H_H$  (Fig. 3),
- la haie avec arbres :
  - $H_{A.1-4} \Rightarrow$  1 à 4 arbres pour 100 m (Fig. 4),
  - $H_{A.5+} \Rightarrow$  5 arbres et plus pour 100 m (Fig. 5).

*Remarque : Les arbres isolés n'ont pas été comptabilisés.*



*Figure 6 : Connexions en « cul de sac »*



*Figure 7 : Connexion en L*



*Figure 8 : Connexion en T*



*Figure 9 : Connexion en X*

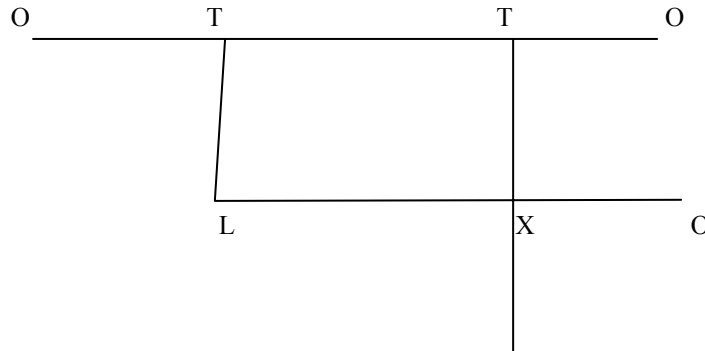
### **Signification des connexions**

Les intersections sont des points clefs de l'organisation des réseaux bocagers. Elles assurent la continuité des flux biologiques entre les haies et ont souvent des caractéristiques environnementales particulières. La richesse spécifique en plantes, invertébrés ou oiseaux est souvent plus importante dans les réseaux aux connexions complexes que le long des haies (CONSTANT *et al.*, 1976 ; LACK, 1988). L'effet « intersection » est attribué à des conditions microclimatiques particulières et à des échanges plus importants avec les éléments voisins que dans les autres parties du réseau (FORMAN, 1995).

En utilisant la photo aérienne, peuvent être perçues, en dehors des modèles de bases ( $H_B$ ,  $H_H$ ,  $H_{A.1-4}$ ,  $H_{A.5+}$ ), les combinaisons suivantes quant à la stratification des haies :

- $H_B + H_{A.1-4}$  (ou  $H_{A.5+}$ ),
- $H_H + H_{A.1-4}$  (ou  $H_{A.5+}$ ).

Les types de connexions entre haies sont les suivantes (voir ci-contre leur signification) :



- Connexion 0 = « cul de sac » (Fig. 6),
- [Connexion Hc = changement de stratification sur un même linéaire de haie donné à titre indicatif, sans utilisation ultérieure (Fig. 3)],
- Connexion en L (Fig. 7),
- Connexion en T (Fig. 8),
- Connexion en X (Fig. 9).

**Remarque :** « Lorsqu'une haie se termine dans un bois ou un bosquet, nous ne considérons pas cela comme une non – connexion et nous le représentons par un cercle transparent » (OREB, déc. 2001). Nous reviendrons plus loin sur ce point important.

La formule de l'IB est la suivante : 
$$IB = \frac{\text{Volume de végétation} \times \text{Maillage}}{\text{Linéaire total}}$$

**Le volume de végétation** est la somme du volume des  $H_B$ , des  $H_H$  et des  $H_A$ .

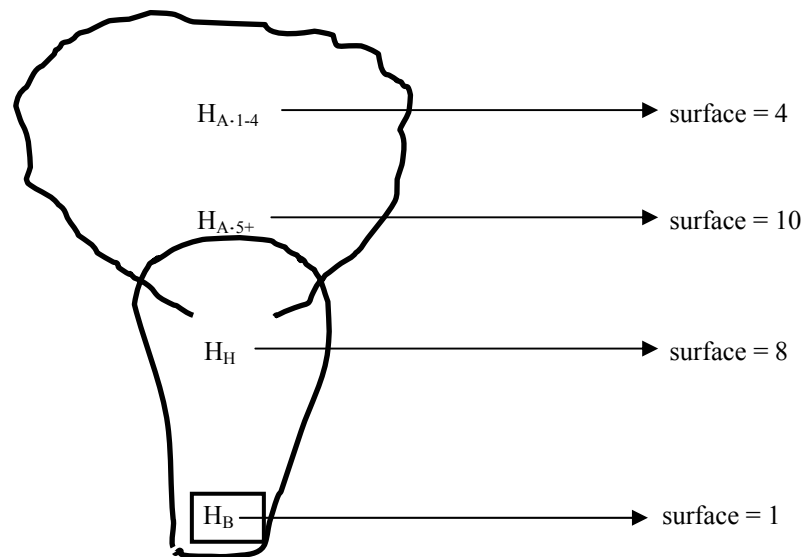


**Remarque :**

Même si les surfaces attribuables à chaque strate restent « arbitraires », il n'en demeure pas moins que la proportionnalité entre les surfaces mises à jour lors d'une coupe transversale virtuelle doit être respectée. Si une haie basse taillée a une section de  $1\text{m}^2$ , une haie haute présente-t-elle une section 8 fois supérieure ? De même, une strate arborescente continue avec une section de  $10\text{m}^2$  est-t-elle bien appréciée ?

Il serait intéressant de travailler sur ce point précis.

La coupe transversale d'une haie comportant toutes les strates possibles propose des surfaces arbitraires attribuables à chaque strate (Fig. 10 et remarque ci-contre).



*Fig. 10 : Coupe transversale d'une haie à triple stratification : proposition des surfaces attribuables à chaque strate.*

D'où le volume de végétation = (linéaire  $H_B \times 1$ ) + (linéaire  $H_H \times 8$ ) + (linéaire  $H_{A.1-4} \times 4$ ) + (linéaire  $H_{A.5+} \times 10$ ).

**La connexion** (appelé aussi « indice maillage ») résulte de la somme de toutes les connexions détectées sur le site d'étude en attribuant pour chaque type de connexion un coefficient de valeur écologique :

- Connexion 0 = « cul de sac » = 1,
- Connexion en L = 3,
- Connexion en T = 5,
- Connexion en X = 7.

*Remarque : Les coefficients attribués à chaque type de connexions sont d'autant plus élevés que les connexions sont complexes. Mais ces coefficients restent tout à fait empiriques.*



**Le linéaire total** correspond au linéaire du réseau bocager en faisant abstraction de la stratification. C'est la raison pour laquelle le linéaire total est inférieur à la somme des linéaires  $H_B + H_H + H_{A1,4} + H_{A5+}$ .

**D'où un Indice bocage :**

Volume de végétation = [(Lin.  $H_B \times 1$ ) + (Lin.  $H_H \times 8$ ) + (Lin.  $H_{A.1-4} \times 4$ ) + (Lin.  $H_{A.5+} \times 10$ )]

Maillage = [(Nb. O  $\times 1$ ) + (Nb. L  $\times 3$ ) + (Nb. T  $\times 5$ ) + (Nb. X  $\times 7$ )]

$$I. B. = \frac{\text{Maillage} \times \text{Volume de végétation}}{\text{Linéaire total}}$$

*Remarque : la division par le linéaire total permet de donner moins de poids au linéaire pris en compte dans le volume de végétation.*

# DISPOSITIF D'OBSERVATION DES BOCAGES ET PAYSAGES EN BOURGOGNE

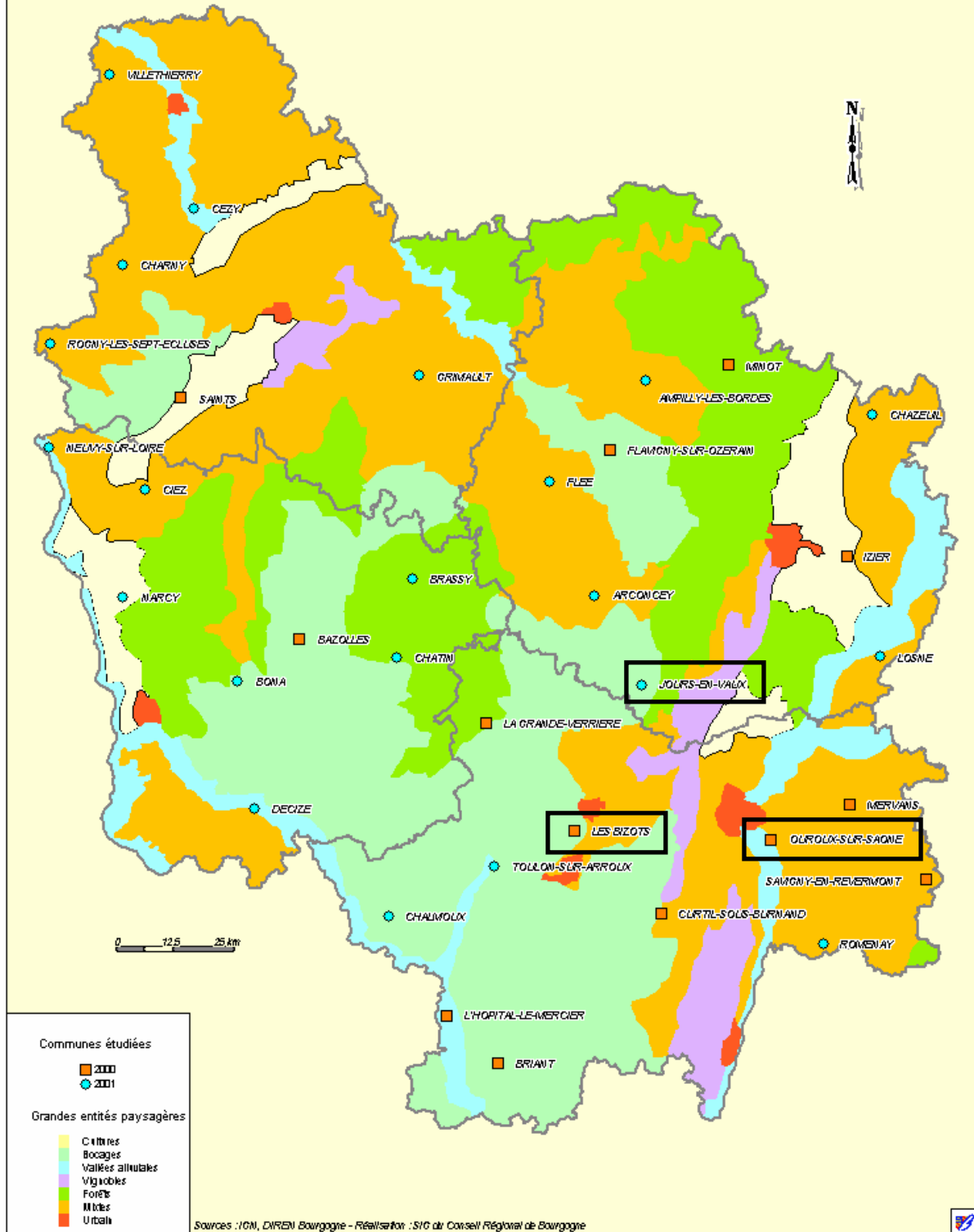


Figure. 11 : Les 35 sites d'étude du bocage en Bourgogne : en encadré, les 3 sites étudiés

### 3) Méthode

- Le choix des sites

Le nombre de journées entières prévues pour ce travail étant de trois, nous avons choisi trois communes d'étude. Ces trois sites ont été choisis sur les critères suivants :

- proximité de Dijon,
- Indice Bocage élevé.

Les 3 communes sont positionnées sur la Fig. 11.

En Côte-d'Or : \*Jours-en-Vaux dans le Sud Arnétois. Photographie étudiée : cliché 2274 édité lors de la mission FD2171 de 1997 et provenant de la DDAF de Côte-d'Or.

En Saône-et-Loire : \*Ouroux-sur-Saône dans le Val de Saône. Photographie étudiée : Cliché 142-144 édité lors de la mission F3025-026 de 1994 et Provenant de l'ENESAD (M. Maigrot).

\*Les Bizots dans le Charolais. Photographie étudiée : cliché 2502, 2503 édité lors de la mission FD21-71 de 1997 et provenant de la DDE de Saône-et-Loire.

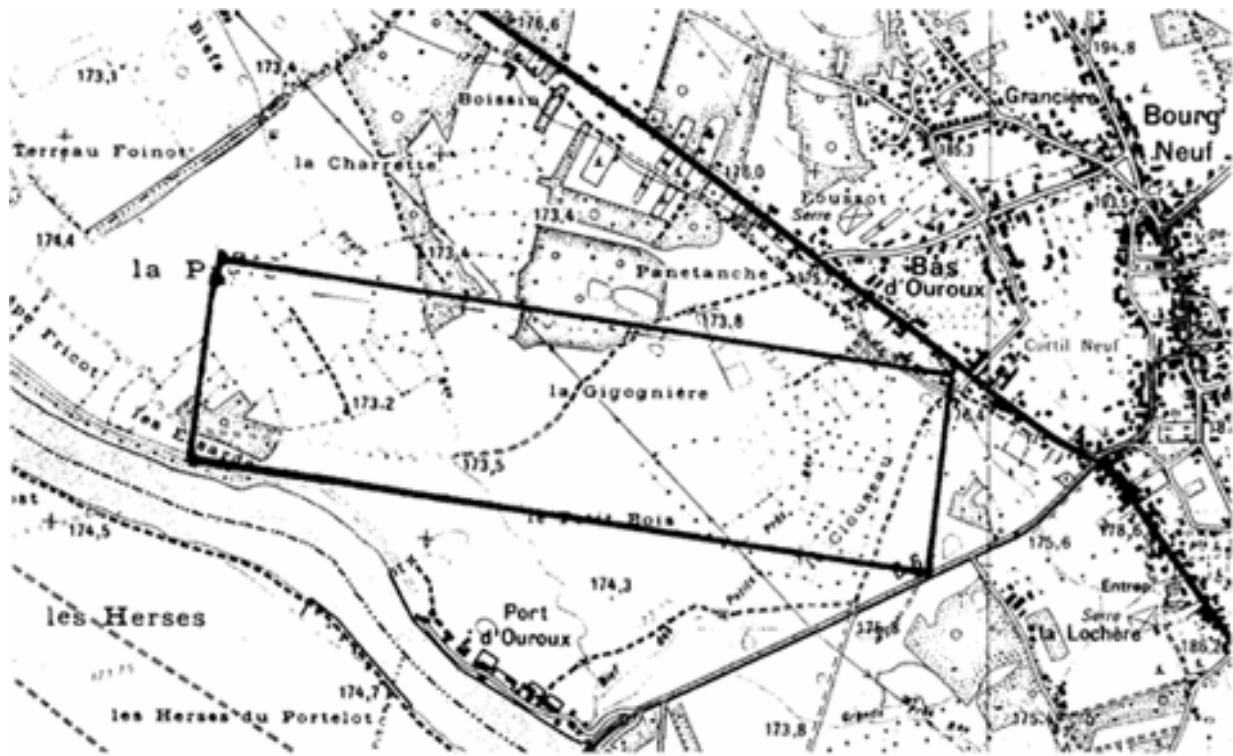


Figure 12 : Extrait de la carte IGN du site d'Ouroux-sur-Saône avec le rectangle d'étude

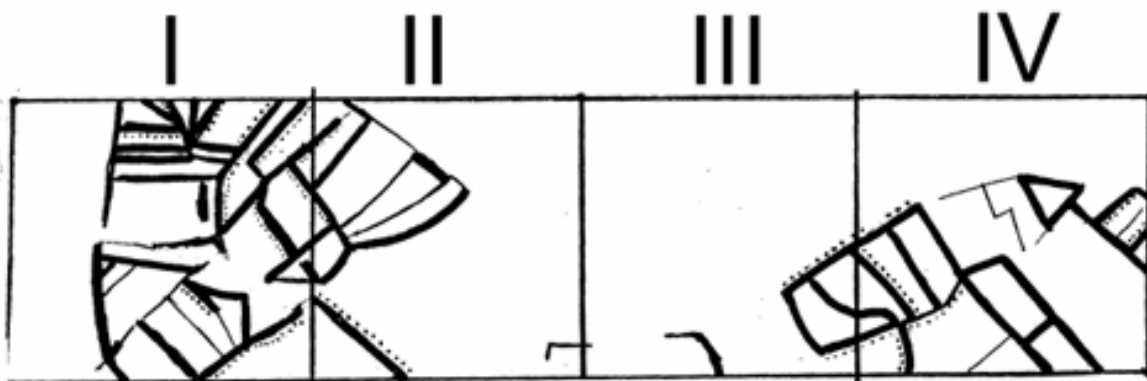


Figure 13 : Schéma du report sur papier des haies observées sur les photos aériennes  
(taille réelle : 5 cm par 20 cm)

- Les informations de départ

**Pour chaque site étudié, nous disposons des documents suivants :**

- une photocopie de la carte IGN au 25 000<sup>ème</sup> sur laquelle une portion de territoire de 2000 m x 500 m a été tracée. Ce rectangle de 100 ha constitue la zone d'étude du bocage pour une commune donnée (figure 12),
- un schéma de 5 cm x 20 cm, représentant le report des haies (linéaires et structures) vues sur les photographies aériennes (non orthonormées) (figure 13),
- un tableau récapitulatif présentant le linéaire de haies selon la structure, le linéaire d'arbres et les connexions (tableau 2),
- le rapport de travail : Les bocages en Bourgogne, volume 2, Présentation et résultats du dispositif d'observation des évolutions des bocages en Bourgogne, OREB, décembre 2001, 95 pages.

Linéaires d'arbres (en m)

	TOTAL
Linéaire de moins de 5 arbres / 100 m	0
Linéaire de 5 arbres et plus / 100 m	2317
TOTAL	2317

Linéaires de haies (en m)

	TOTAL
Longueur haies hautes	7309
Longueur haies basses	1466
TOTAL	8775

Connexions

	TOTAL
+	6
⊥	48
∨	20
—	13
TOTAL	87

*Tableau 2 : Tableau des linéaires de haies et des connexions*



N° Haie	longueur (m)	Stratification								barrière	haie discontinue	Connexions					Observations		
		H <sub>B</sub>				H <sub>H</sub>						H <sub>A 1,4</sub>	H <sub>A 5+</sub>	H <sub>c</sub>	0	L		T	X
		H <sub>B</sub>	H <sub>B</sub> H <sub>A1,4</sub>	H <sub>B</sub> H <sub>A5+</sub>	H <sub>H</sub>	H <sub>H</sub> H <sub>A1,4</sub>	H <sub>H</sub> H <sub>A5+</sub>												
1	65	1										2							
2	207						1								2				
3	51			1											2				

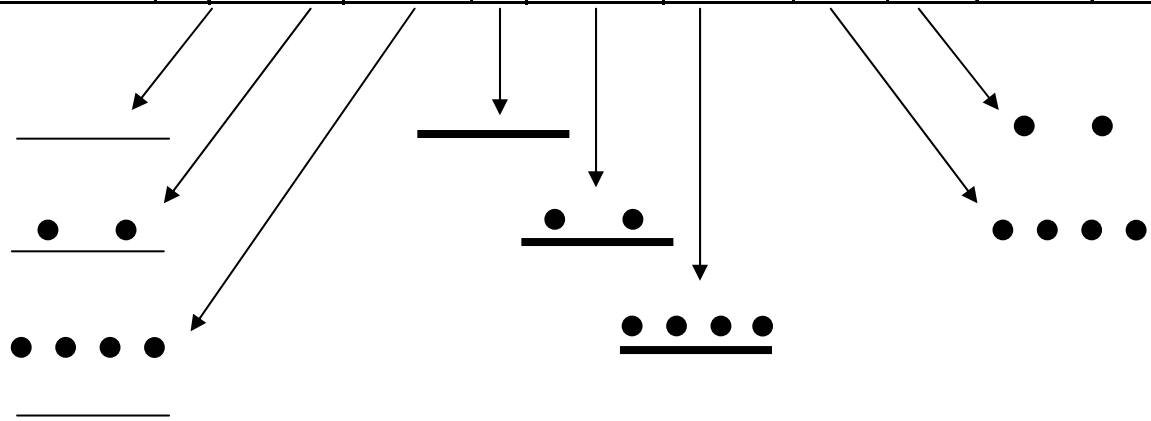


Figure 14 : Fiche de terrain et représentation schématique de la stratification des haies

- Travail préparatoire de bureau

### **Elaboration d'une fiche de terrain** (Fig. 14).

Cette fiche rassemble les éléments nécessaires au calcul de l'IB :

- numéro de la haie (voir plus loin la numérotation des haies),
- longueur de la haie en mètres,
- stratification de la haie :
  - $H_B$  : haie basse,
  - $H_H$  : haie haute,
  - $H_A$  : haie arborescente : 2 modèles suivant le nombre d'arbres pour 100 m
    - $H_{A1,4}$  : de 1 à 4 arbres / 100 m,
    - $H_{A5+}$  : 5 arbres ou plus / 100 m,
- type de connexions :
  - $H_c$  : haie continue mais présentant un changement de stratification,
  - 0 («cul de sac»),
  - en L,
  - en T,
  - en X,
- nouveaux éléments à prendre en compte (non vus sur photo aérienne) :
  - haie discontinue (ouvertures dans la haie),
  - haie en formation (colonne « Observations » sur la figure 14),
  - présence d'une porte dans la haie (barrière).

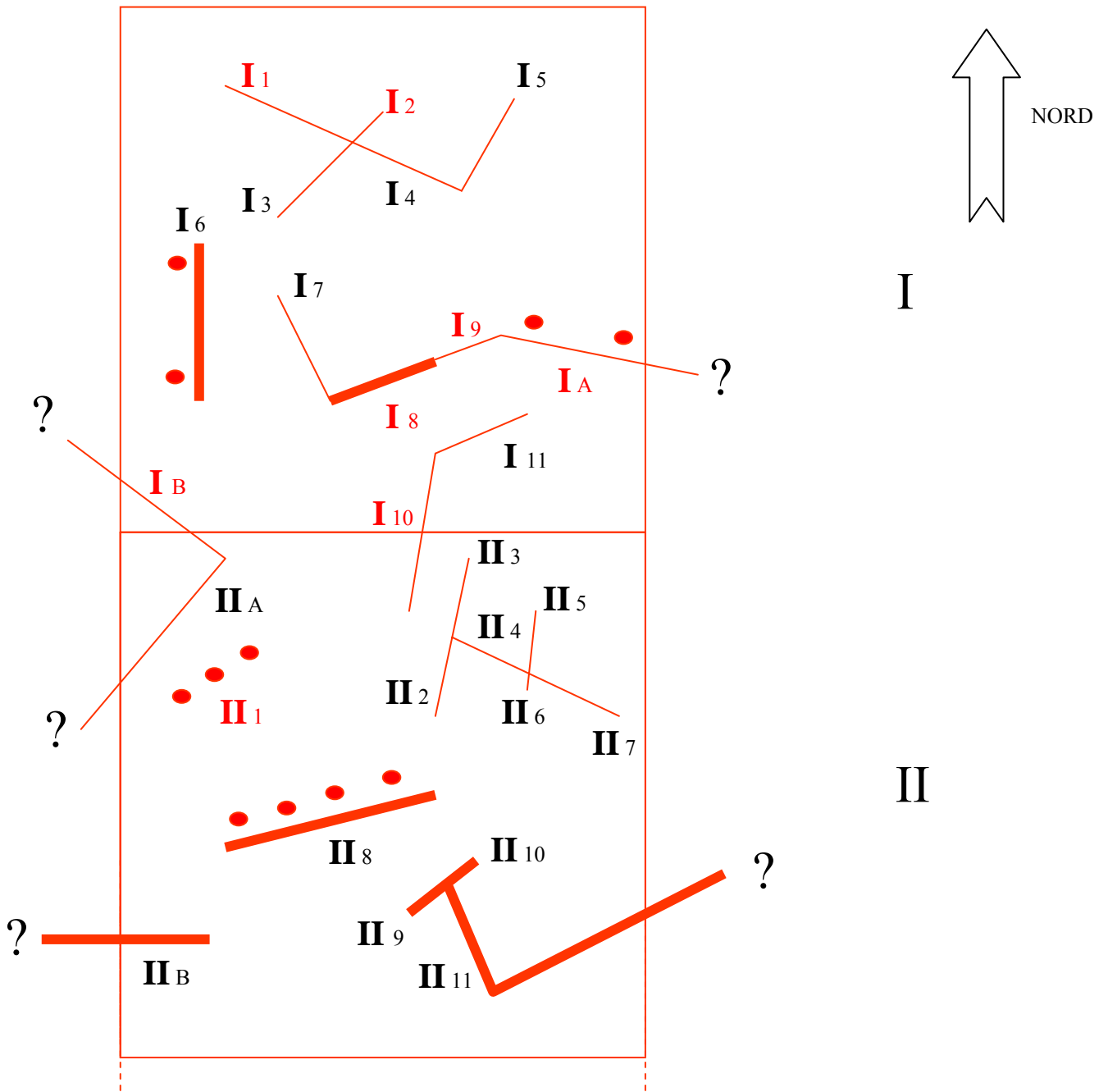


Figure 15 : Visualisation de la numérotation des haies sur un schéma de haies réalisé à partir des photos aériennes non orthonormées.

? = haies sortantes

- Le principe de numérotation des haies

Grâce aux schémas de haies réalisés à partir des photos aériennes non orthonormées, nous avons numéroté les haies selon le principe suivant :

- les 4 carrés sont numérotés de I à IV du haut en bas de la carte ; par exemple la figure 15 présente les deux premiers carrés du rectangle d'étude: I et II,
- les haies entièrement incluses dans les carrés sont numérotées par carré ; par exemple :
  - pour le carré I : **I 1** , **I 2**...,
  - pour le carré II : **II 1**...,
- les haies sortant du rectangle sont repérées par des lettres ; par exemple pour le carré I : **I A**, **I B**...,
- les haies à cheval sur deux carrés sont prises en compte dans la numérotation du carré du haut ; par exemple la haie **I 10** débute dans le carré I et se finit dans le carré II : elle est donc prise en compte dans le carré I.

Pour plus de justesse dans les mesures du linéaire, les haies sont individualisées :

- à chaque changement de type de haie (de stratification) ; par exemple : **I 8** et **I 9**,
- à chaque connexion, par exemple : **I 1** et **I 2**,
- à chaque changement d'angle notable et à chaque discontinuité ; par exemple pour le changement d'angle entre les haies **I 9** et **I A**.

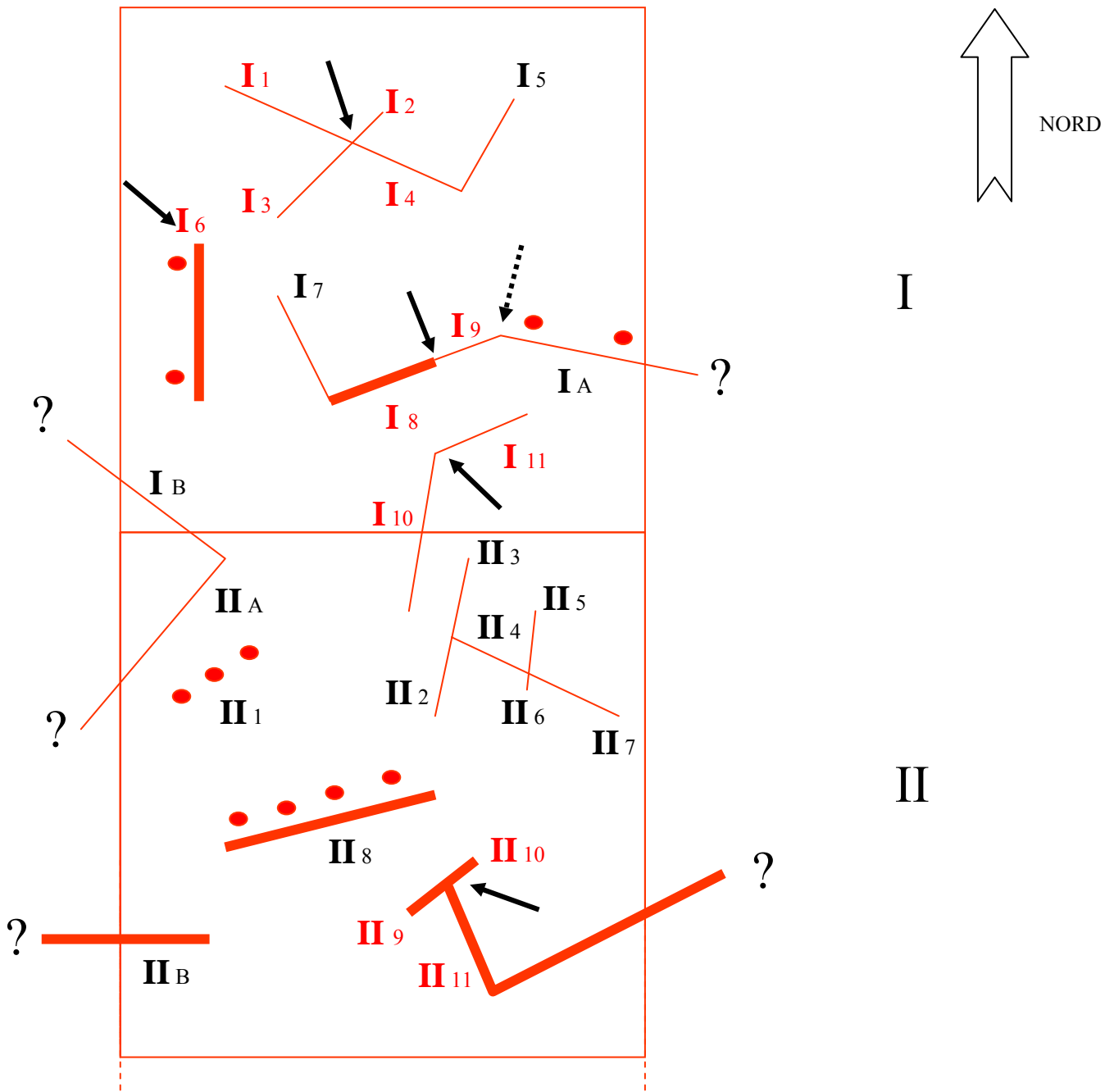


Figure 16 : Visualisation des connexions sur le schéma de haies réalisé à partir des photos aériennes non orthonormées.

? = haies sortantes

- Les connexions

Les connexions sont définies de la façon suivante (Fig. 16) :

- la connexion 0 : l'extrémité de la haie est en cul de sac ; par exemple la haie **I 6**,
- la connexion Hc notifie la continuité entre deux haies de stratifications différentes sans angle notable ; par exemple la connexion entre les haies **I 8** et **I 9**,
- la connexion L correspond à un changement « notable » de la direction de la haie ; par exemple entre les haies **I 10** et **I 11** ; ce type de connexion n'est pas valable pour les haies **I 9** et **I A** ; l'angle à prendre en compte doit être inférieur à  $120^\circ$ ,
- la connexion T correspond à la jonction entre 3 haies ; par exemple entre les haies **II 9**, **II 10** et **II 11**,
- la connexion X correspond à la jonction entre 4 haies ; par exemple entre les haies **I 1**, **I 2**, **I 3** et **I 4**.

**Remarque** : les connexions en T ou en X ne prennent pas en compte les angles entre les haies.



Figures 17, 18 et 19 : Utilisation (de haut en bas) du télémètre, du topofil et de la boussole

- Les activités de terrain

Ce travail a été décomposé en plusieurs étapes :

- se placer sur le terrain pour repérer les haies de la carte,
- se séparer en 2 trinômes pour réaliser les observations de 2 carrés consécutifs (donc 4 carrés en tout),
- relever les informations suivantes :
  - les longueurs des haies,
  - la stratification,
  - les connexions,
  - le tracé des modifications observables concernant les connexions, les discontinuités, les modifications du linéaire et de la stratification.

Nous nous sommes servis du matériel suivant :

- mesureur à fil perdu (TOPOFIL) (Fig. 18),
- télémètre laser (Fig. 17),
- mètre ruban de 60m,
- boussole (Fig. 19).



- Problèmes rencontrés sur le terrain

Une des premières difficultés à résoudre a été celle de se positionner à Jours-en-Vaux et à Ouroux-sur-Saône à cause de la faible visibilité liée au brouillard.

La présence de nombreuses barrières à l'angle des parcelles nous a fait hésiter dans la détermination du type de connexion (cf. remarque page 35).

Le relief a-t-il été un avantage ou un désavantage ?

- Le relief du site de Jours-en-Vaux et, dans une moindre mesure, celui des Bizots, facilitent la vision du réseau de haies et permettent ainsi un repérage plus aisé.
- Mais les fortes ruptures de pentes relevées sur le terrain ont été parfois interprétées comme des haies lors de la lecture des photos aériennes classiques.

### **Problèmes spécifiques à Ouroux-sur-Saône :**

Quand nous sommes arrivés sur le terrain (au niveau du carré IV), la difficulté a été de se positionner car les données cartographiques de 9 ans d'âge ne correspondaient plus du tout à la réalité de terrain.

Le site est sans aucun relief, d'où encore une fois la difficulté à se positionner.

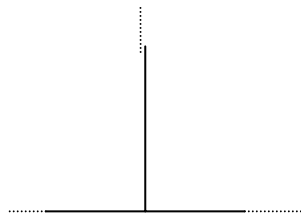
Après la création d'une digue de protection des crues de la Saône, le paysage local s'est beaucoup transformé :

- dans le carré IV, la déprise agricole a transformé des herbages bocagers en une « préforêt »,
- dans le carré I, (autre carré avec initialement beaucoup de haies), nous notons une forte déformation en termes de linéaire et de forme des haies, ainsi que de nombreuses haies arasées suite à la transformation des prairies en terres labourées,
- les nombreuses modifications dues à un recul de la surface agricole par notamment la création d'une gravière nous ont obligés à éliminer l'étude des carrés III et IV (Fig. 20, 21 et 22).

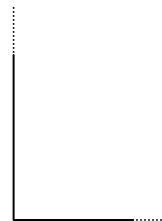
**Pour ces différentes raisons, nous avons décidé d'abandonner l'étude de ce site, pour l'évaluation de l'Indice Bocage. En revanche, le site d'Ouroux-sur-Saône sera utilisé dans la conclusion de ce travail, à savoir les propositions de réactualisation des données du bocage bourguignon.**

Remarque :

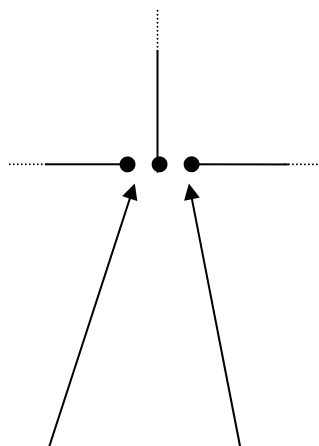
A l'échelle de la photo aérienne, les connexions visibles étaient par exemple :



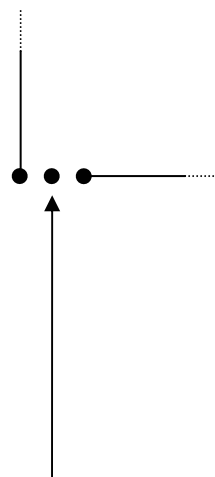
ou



Or sur le terrain, nous avons vu ceci :



2 barrières de 3 à 4 m.  
La connexion en T de la photo aérienne se transforme alors sur le terrain en 3 connexions en cul de sac.



Barrière de 3 à 4 m.  
Une connexion en L se transforme en 2 connexions en cul de sac.

Ainsi d'excellentes connexions de type T, L, voire X mais rares, d'indices respectifs 5, 3 et 7 vues sur photos aériennes, peuvent être des connexions « cul de sac » sur le terrain. Mais comme dans ce cas, tous les culs de sac sont comptabilisés, la connexion en T de valeur 5 prend la valeur 3 ; de même la connexion en L de valeur 3 prend la valeur 2 et le X de valeur 7 prend la valeur 4.

Ainsi la différence entre l'indice « cul de sac » de valeur 1 et les indices L, T et X ( de valeurs 3, 5, 7) ne serait pas assez importante.



*Figure 20 : Ouverture d'une carrière sur le site d'Ouroux-sur-Saône*



*Figure 21 : Bassin de gravière*



*Figure 22 : Vue de haies arrachées*

- Le préalable à toute évaluation de l'IB

Il faut s'assurer qu'il n'y ait pas d'erreur dans le calcul de l'IB fait par les étudiants de l'ENESAD ou de l'Université.

Ainsi, nous reprenons les dessins des haies pour les trois sites et nous recalculons l'IB à partir des dessins de haies (et non à partir de la source photographique).

	Jours-en-Vaux	Ouroux-sur-Saône	Les Bizots
IB : étudiants précédents	1785	3358	1047
IB : nos valeurs	1721	3186	1009
différences	-3,6%	-5,1%	-3,6%

*Tableau 3 : IB initiaux et recalculés pour chacun des 3 sites d'étude*

Pour les 3 sites retenus, nous recalculons des valeurs de l'IB très approchantes (Tab. 3), mais qui sont inférieures de 3,6 à 5,1 % à celles précédemment trouvées.

Faut-il y voir les conséquences :

- de la déformation du photocopieur,
- de la plus ou moins grande précision dans la mesure des segments de haies au double décimètre,
- de la mauvaise interprétation des dessins, surtout pour la symbolique des strates.

**En définitive, nous considérons qu'il y a une bonne concordance entre les valeurs des IB initiaux et celles que nous avons recalculées. Cependant, nous n'avons pas validé le travail d'amont : interprétation des photos aériennes et report du linéaire sur papier.**



- Les principes de comparaison

### Le problème posé par les haies dites « sortantes »

Sur la photo aérienne, le tracé du rectangle de mesure montre que ce dernier « coupe » des haies qui peuvent cependant être mesurées ; elles seront qualifiées de « sortantes ». En revanche, sur le terrain, aucun repère ne matérialise le rectangle de mesure. Nous ne savons pas jusqu'où mesurer une haie sortante. Pour cette raison, nous ne prendrons pas en compte ces haies sortantes.

La comparaison est possible entre les données issues des photos aériennes (non orthonormées) et celles de terrain en adoptant la procédure suivante :

- « effacer » les haies « sortantes » du rectangle de mesure,
- ne prendre que les haies communes vues sur la photo aérienne et sur le terrain. Il faut donc ne pas tenir compte des nouvelles haies inventoriées sur le terrain ainsi que des haies vues sur la photographie et non retrouvées sur le terrain. Cette sélection des haies pour comparaison retire donc l'évolution du linéaire durant le temps qui s'est écoulé de la prise de vue des photos aériennes à la mission de terrain. Par ailleurs, les erreurs d'interprétation de la photo aérienne concernant des haies « oubliées » ou des haies injustement rajoutées (talus, muret...) sont aussi mises de côté.

La comparaison entre les deux IB porte sur cinq paramètres :

- la déformation du linéaire liée à la photo aérienne,
- l'imprécision des mesures du linéaire de haies après report des données des photos aériennes sur le dessin,
- les erreurs d'interprétation de la stratification sur photos aériennes,
- les connexions mal interprétées sur les photos aériennes,
- et le cas échéant, l'évolution de la stratification au cours du temps.

- Illustration des étapes nécessaires pour la comparaison.

Les figures 23, 24, 25, 26 et 27 rendent compte des étapes successives permettant *in fine* une comparaison acceptable entre les deux méthodes d'inventaire du bocage : photos aériennes non orthonormées et mission de terrain.

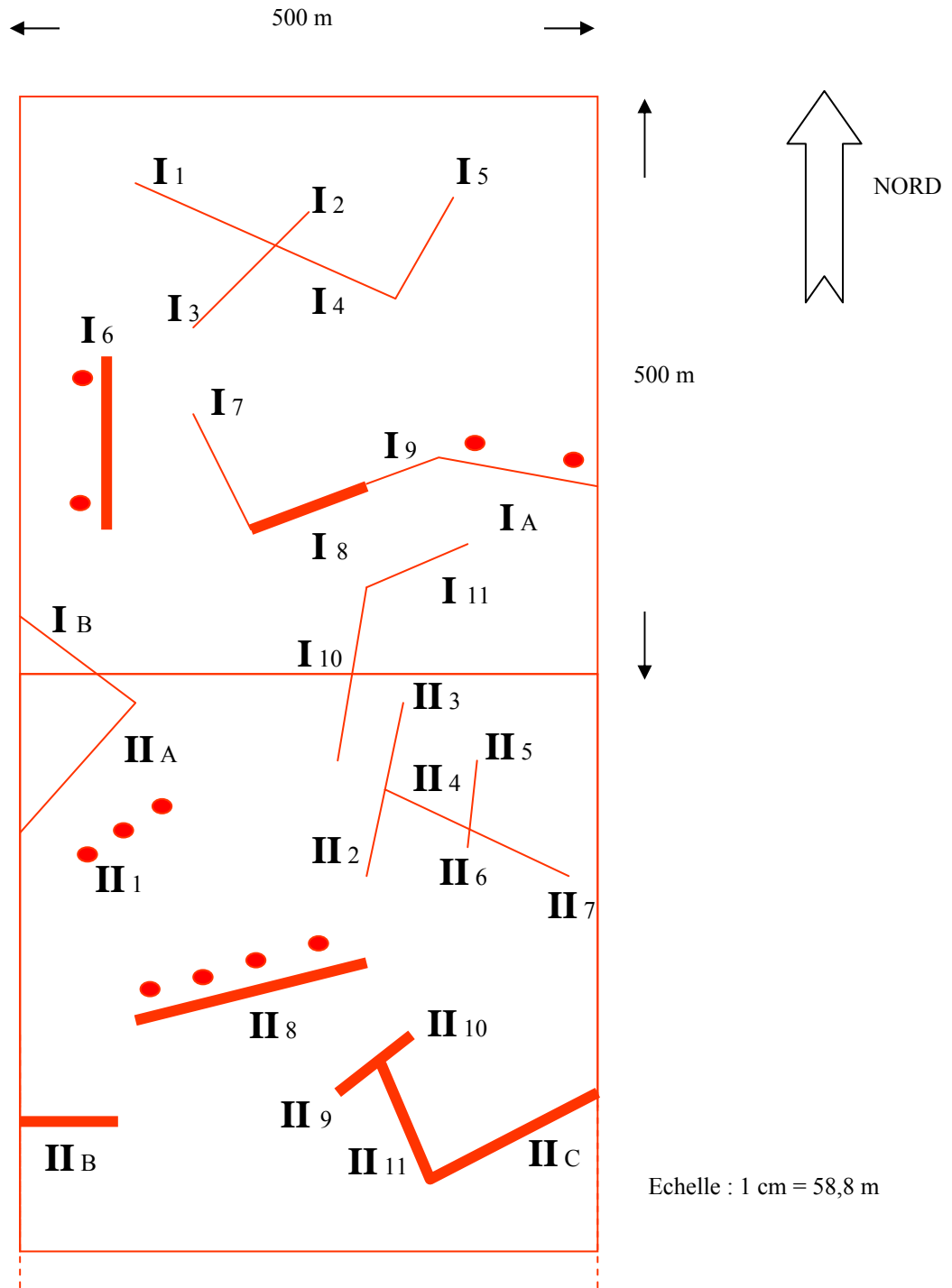


Figure 23 : Dessin de bocage établi à partir de photographies aériennes non orthonormées avec prise en compte des haies sortant de la zone d'étude.

Tableaux 4 et 5 : Calcul de l'IB de la figure 23

		longueurs haies (m)
stratification	H <sub>B</sub>	1604
	H <sub>B</sub> H <sub>A1,4</sub>	136
	H <sub>B</sub> H <sub>A5+</sub>	0
	H <sub>H</sub>	556
	H <sub>H</sub> H <sub>A1,4</sub>	148
	H <sub>H</sub> H <sub>A5+</sub>	207
	H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>A5+</sub>	95
	linéaire total	

		coeff.	nb.	coeff. X nb.
connexions	0	1	21	21
	L	3	5	15
	T	5	2	10
	X	7	2	14
	total			60

$$\boxed{IB = 288}$$

A titre indicatif, en gardant le même linéaire total de haies et les mêmes connexions,

- si toutes les haies étaient basses, l'IB serait de 60,
- si toutes les haies étaient basses et arborescentes (A 1-4), l'IB serait de 300,
- si toutes les haies étaient basses et arborescentes (A 5+), l'IB serait de 660,
- si toutes les haies étaient hautes, l'IB serait de 480,
- si toutes les haies étaient hautes et arborescentes (A 1-4), l'IB serait de 720,
- si toutes les haies étaient hautes et arborescentes (A 5+), l'IB serait de 1080.

**Tout ceci montre que la nature de la stratification influence beaucoup la valeur de l'IB.**



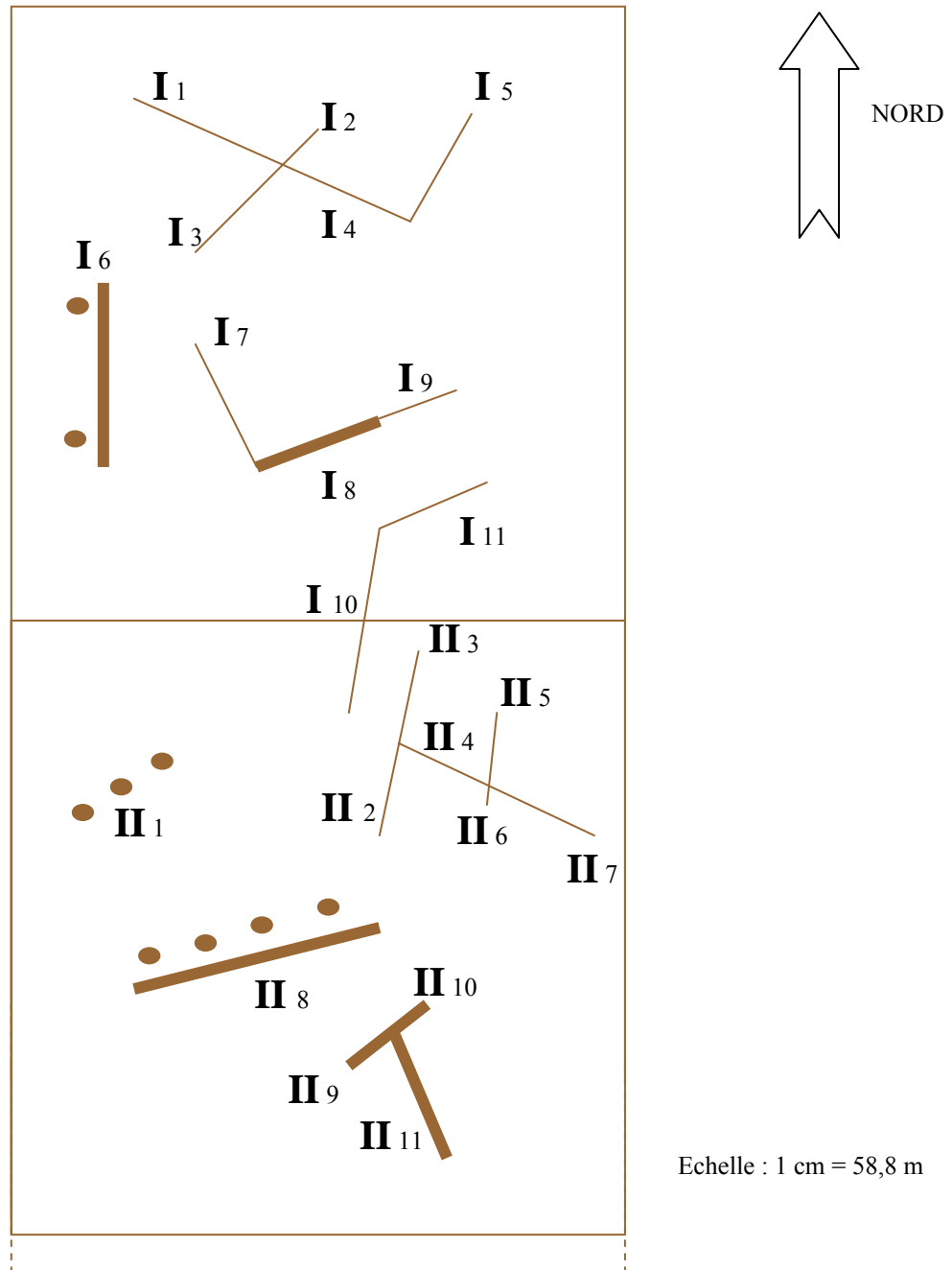


Figure 24: Dessin de bocage établi à partir des photographies aériennes non orthonormées en éliminant les haies sortant de la zone d'étude.

Tableaux 6 et 7 : Calcul de l'IB de la figure 24

		longueurs haies (m)
stratification	H <sub>B</sub>	1331
	H <sub>B</sub> H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>B</sub> H <sub>A5+</sub>	0
	H <sub>H</sub>	302
	H <sub>H</sub> H <sub>A1,4</sub>	148
	H <sub>H</sub> H <sub>A5+</sub>	207
	H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>A5+</sub>	95
linéaire total		2083

		coeff.	nb.	coeff. X nb.
connexions	0	1	20	20
	L	3	4	12
	T	5	2	10
	X	7	2	14
total				56

$$\boxed{IB = 274}$$

**Remarque méthodologique :**

Si nous « éliminons » les haies sortantes, nous gardons toutefois les connexions entre ces haies et le réseau bocager pris en compte.

Comparaison de l'IB entre les figures 23 et 24 :

$$(IB \text{ figure 23}) - (IB \text{ figure 24}) = 288 - 274 = 14$$

Il est étonnant de voir l'IB diminuer de seulement 14 points lorsque les haies sortantes sont éliminées.

Ceci est la conséquence de la formule du calcul de l'IB où le « volume » de haies est fonction notamment du linéaire total. Le ratio entre le volume de haies et le linéaire total reste ainsi relativement constant si nous supprimons une partie du linéaire total.

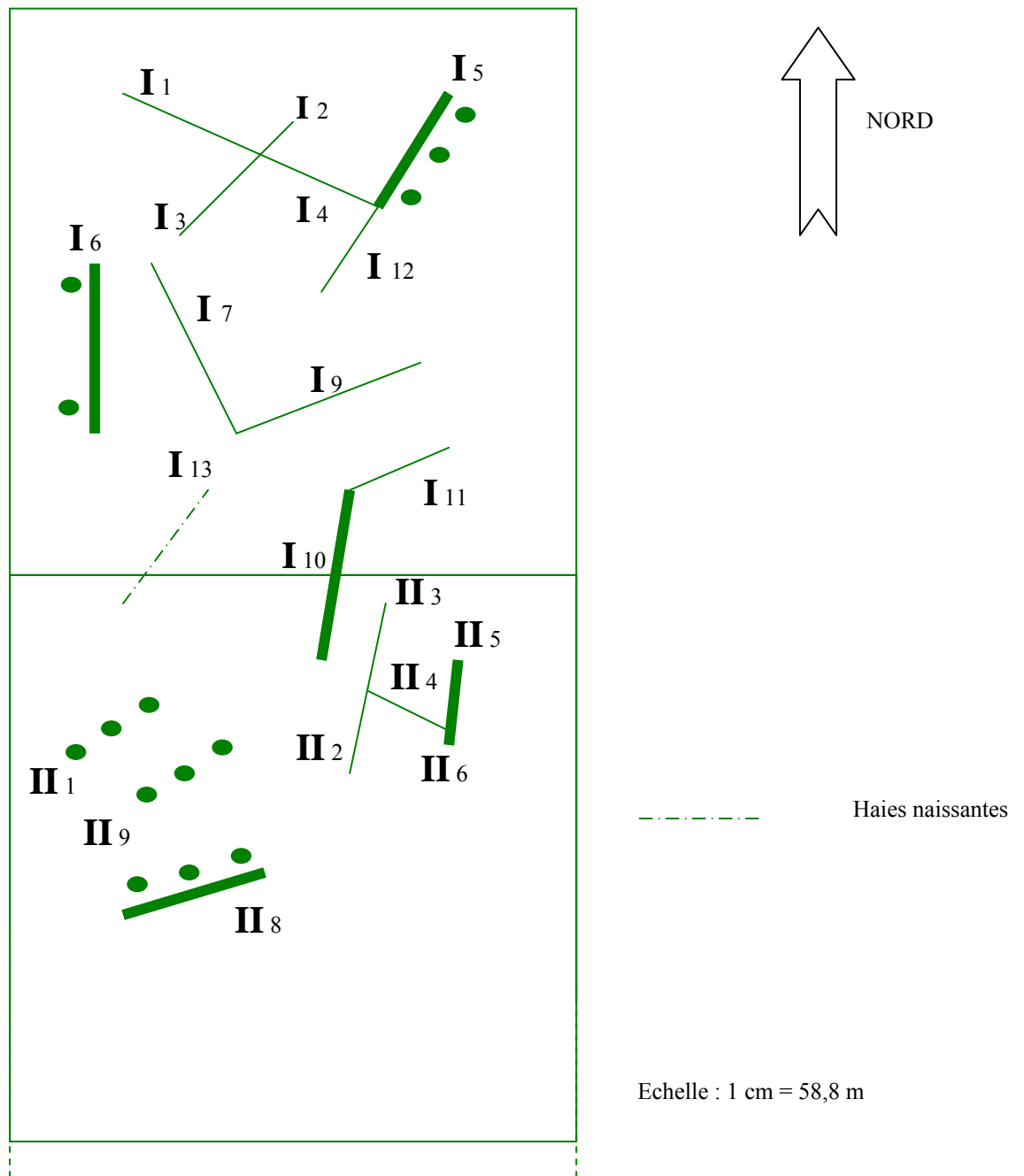


Figure 25 : Dessin de bocage à partir de la mission terrain (sans haies sortantes).

Tableaux 8 et 9 : Calcul de l'IB de la figure 25

		longueurs haies (m)
stratification	H <sub>B</sub>	1166
	H <sub>B</sub> H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>B</sub> H <sub>A5+</sub>	0
	H <sub>H</sub>	231
	H <sub>H</sub> H <sub>A1,4</sub>	154
	H <sub>H</sub> H <sub>A5+</sub>	249
	H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>A5+</sub>	189
	linéaire total	1989

		coeff.	nb.	coeff. X nb.
connexions	0	1	20	20
	L	3	2	6
	T	5	2	10
	X	7	2	14
	total			50

$$IB = 282$$

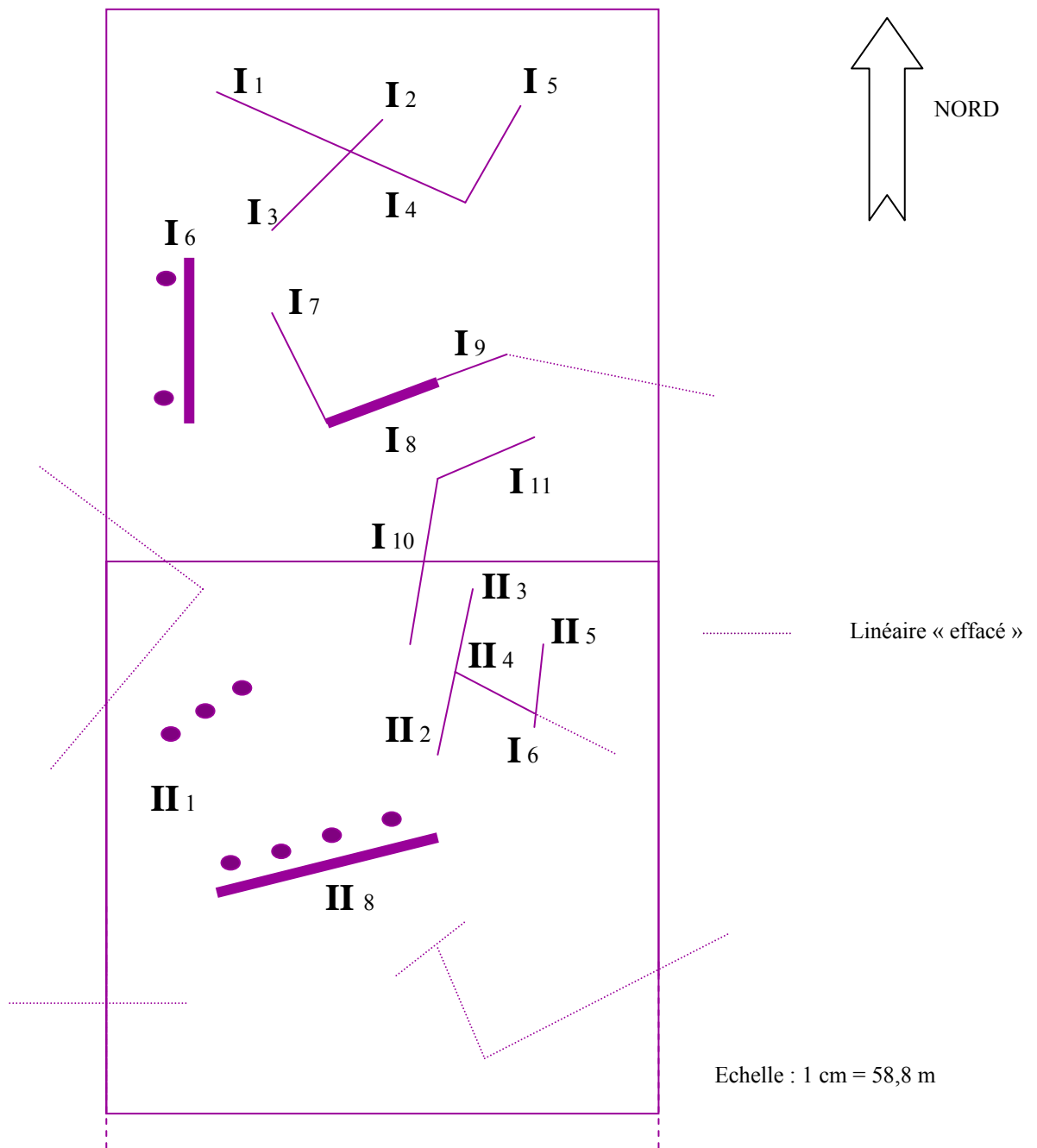


Figure 26: Dessin de bocage établi à partir des haies communes entre les photographies et le terrain en conservant les longueurs et stratifications observées sur les photos.

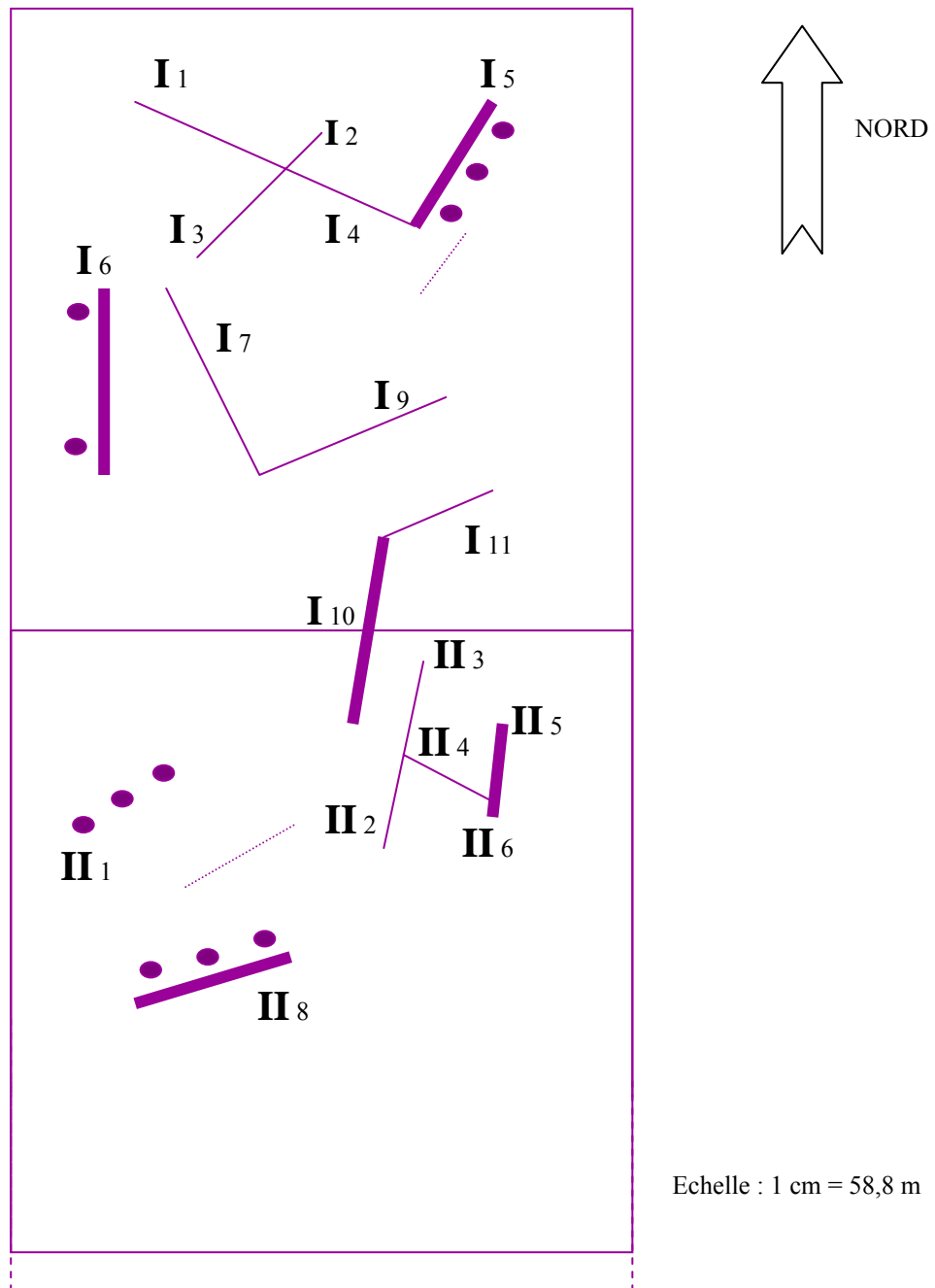
La figure 26 dérive de la figure 23 : les haies sortantes ont été effacées ainsi que les haies non retrouvées sur la mission de terrain. Les connexions sont celles repérées sur les photos.

Tableaux 10 et 11 : Calcul de l'IB de la figure 26

		longueurs haies (m)
stratification	H <sub>B</sub>	1219
	H <sub>B</sub> H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>B</sub> H <sub>A5+</sub>	0
	H <sub>H</sub>	107
	H <sub>H</sub> H <sub>A1,4</sub>	148
	H <sub>H</sub> H <sub>A5+</sub>	201
	H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>A5+</sub>	95
linéaire total		1770

		coeff.	nb.	coeff. X nb.
connexions	0	1	17	17
	L	3	3	9
	T	5	1	5
	X	7	2	14
total				45

$$IB = 214$$



*Figure 27 : Dessin de bocage établi à partir des haies communes entre les photographies et le terrain en prenant en compte les longueurs et stratifications observées sur le terrain.*

La figure 27 dérive de la figure 25. Les connexions sont celles repérées sur le terrain.

Tableaux 12 et 13 : Calcul de l'IB de la figure 27

		longueurs haies (m)
stratification	H <sub>B</sub>	1053
	H <sub>B</sub> H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>B</sub> H <sub>A5+</sub>	0
	H <sub>H</sub>	231
	H <sub>H</sub> H <sub>A1,4</sub>	148
	H <sub>H</sub> H <sub>A5+</sub>	249
	H <sub>A1,4</sub>	0
	H <sub>A5+</sub>	95
	linéaire total	

		coeff.	nb.	coeff. X nb.
connexions	0	1	17	17
	L	3	2	6
	T	5	1	5
	X	7	2	14
	total			42

$$IB = 239$$

**En définitive, la comparaison s'effectue entre les figures 26 et 27.**





## 4) Résultats

- Quelques premières réflexions, à l'issue de la campagne de terrain

→ Nous avons constaté des différences sur la longueur des haies dues à la déformation apportée par les photos aériennes, surtout sur leurs marges.

→ Nous avons eu aussi des différences d'interprétation entre haies (largeur < 15 m) et bosquet (largeur > 15 m). Sur le terrain, nous avons inventorié des « haies larges » qui ont été non comptabilisées sur photos aériennes car interprétées en tant que bosquets (et inversement).

→ Les erreurs de report de haies de la photo vers le schéma ont été détectées (oubli, erreur de dessin).

→ De plus nous avons noté que l'interprétation de la stratification était différente selon l'étudiant, ce qui laisse imaginer une certaine erreur d'interprétation, d'un observateur à un autre (subjectivité).

Les différences entre photos aériennes et terrain s'expliquent aussi par :

→ la différence de stratification entre carte et terrain par évolution naturelle,

→ les haies dont un côté est entretenu, l'autre non,

→ les haies discontinues dans la stratification,

→ les fausses interprétations des ruptures de pente, prises pour des haies,

→ les haies naissantes, vues uniquement sur le terrain,

→ les haies finissant dans les bosquets (connexion 0), alors qu'une connexion « bosquet » aurait sans doute un fort intérêt biologique,

→ l'indice choisi pour les haies arborescentes (de 1 à 4 et plus de 5 arbres tous les 100m) n'était pas forcément un bon choix, car un arbre isolé (et même deux) dans une haie donne alors un fort poids dans le calcul de l'IB.

Tableau 14 : Résultats pour Jours-en-Vaux.

	Terrain	% différence	Photos
lin H <sub>B</sub>	4177	-3%	4303
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 1,4	134	42%	78
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 5+	421	50%	210
lin H <sub>B</sub> total	4732	3%	4591
lin H <sub>H</sub>	1699	-13%	1927
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 1,4	257	-	0
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 5+	1189	20%	957
lin H <sub>H</sub> total	3145	8%	2884
lin H <sub>A</sub> 5+	57	-	0
O	70	-9%	76
L	38	-3%	39
T	22	9%	20
X	1	-	0
Volume	48122	18%	39643
Maillage	301	3%	293
Lin total	7934	6%	7475
IB	1826	15%	1554

Le « sens » du % de différence prend les données photos comme référence.

- Interprétation des résultats consignés dans les tableaux 14 et 15

Globalement la différence sur le linéaire total est faible (entre 6 et 9 % en faveur du terrain). Cela s'explique par le fait que nous comparons uniquement les haies identifiées à la fois sur le terrain et sur les photos et que la déformation liée à la nature des photos n'est pas trop importante. Nous constatons néanmoins, selon la position du rectangle d'étude sur la photo, que la déformation est plus ou moins forte (jusqu'à 14 % sur un carré à Jours-en-Vaux). En effet, tous les objets s'éloignant du centre de la photo aérienne sont minorés en taille.

Inversement les valeurs des linéaires de haies en fonction de la stratification peuvent varier fortement. Au vu des résultats similaires sur le linéaire total, nous comprenons bien que cet écart s'explique par une inversion entre les strates, une partie du linéaire de haies hautes se retrouvant par exemple dans celui des haies basses. Cette inversion est particulièrement flagrante aux Bizots où nous décelons une augmentation de 12 % du linéaire de haies basses et une diminution de 13 % sur le linéaire de haies hautes. Ce constat peut s'expliquer par l'évolution de la stratification entre les photos et l'étude sur le terrain mais aussi par des erreurs possibles d'interprétation des photos.

De ce fait, si nous comparons les linéaires totaux de haies hautes ou de haies basses, nous trouvons des différences peu marquées surtout à Jours-en-Vaux.

Au niveau du linéaire de la strate arborescente nous trouvons toujours des erreurs importantes. Cette observation est particulièrement vraie pour les strates arborescentes discontinues (moins de 5 arbres sur 100 m) avec systématiquement plus de 40% de différence qui ne peut pas être attribuée à l'évolution entre la prise des photos des sites et l'étude sur le terrain. Il est probable que ces oublis lors de l'observation des photos soient caractéristiques de la méthode d'interprétation (difficulté d'observation).

En tout cas, ces différences au niveau de la stratification sont les principales sources de divergences entre les photos et l'étude de terrain. Ainsi nous trouvons toujours un volume de végétation (selon sa formule définie dans l'Indice Bocage) supérieur sur le terrain (de 18 à 20%).

Tableau 15 : Résultats pour les Bizots.

	Terrain	% différence	Photos
lin H <sub>B</sub>	4482	-14%	5103
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 1,4	3820	42%	2220
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 5+	626	28%	572
lin H <sub>B</sub> total	8928	12%	7895
lin H <sub>H</sub>	402	-120%	886
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 1,4	443	81%	82
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 5+	135	0%	135
lin H <sub>H</sub> total	980	-13%	1104
O	15	27%	11
L	28	18%	23
T	25	-16%	29
X	0	-	1
Volume	41430	20%	32998
Maillage	224	-4%	232
Lin total	9908	9%	8999
IB	937	9%	851

Le « sens » du % de différence prend les données photos comme référence.

Concernant le maillage, les écarts sont globalement faibles (de 3 à 4 %).

Le seul constat flagrant concerne les connexions 0 qui apparaissent à l'échelle du terrain alors qu'en observant les photos aucune discontinuité n'est visible. Le problème des barrières reste néanmoins à soulever car il explique une grande partie de la différence au niveau du maillage notamment sur le site des Bizots, certaines connexions complexes de la photo ayant été comptées sur le terrain en connexions 0, puisque étant interrompues par une barrière.

Au final, la différence entre les deux Indices Bocages est de l'ordre de 9 à 15 % toujours en faveur de l'observation de terrain, en gardant bien à l'esprit que la méthode de comparaison choisie gomme certaines mauvaises interprétations des photos mais pas la différence liée à l'évolution « naturelle » de la stratification. Le seul gros problème rencontré concerne la qualité de la prise en compte de la strate arborescente sur photos. Or le volume de la végétation est le facteur qui compte le plus dans la détermination de l'Indice Bocage.

## **5) Conclusion**

**A l'issue de l'analyse de ces résultats, eu égard à la diminution de 52% de l'IB en 50 ans, nous pouvons donc raisonnablement valider l'Indice Bocage obtenu par l'analyse des photos aériennes, même si la méthode génère jusqu'à 15% d'imprécision.**

### **III. Expertise de l'utilisation des photos aériennes orthoformées pour le calcul de l'Indice Bocage**

#### **1) Problématique**

Nous venons de démontrer que l'utilisation de photos aériennes (en noir et blanc, non orthoformées) permet d'avoir une bonne idée du bocage sur un site de 100 ha. Cependant, il faut pouvoir accepter une imprécision d'une amplitude de 15 % dans l'IB. Cette imprécision est en grande partie liée à la mauvaise interprétation de la stratification (notamment celle de la strate arborescente). Par ailleurs, il faut aussi souligner les difficultés de transcription des informations de la photo aérienne non orthoformée sur une carte IGN (orthoformée). Cette opération est coûteuse en temps. Il serait intéressant d'expertiser l'utilisation de photos aériennes orthoformées et en couleur depuis que l'IGN peut fournir ces photos aériennes sous forme numérique, en sachant toutefois qu'un Système d'Information Géographique serait peut être d'un grand secours pour l'analyse du bocage.

Cette expertise pourrait répondre à plusieurs interrogations concernant :

- la précision des mesures de linéaires de haies,
- la précision dans la détermination de la stratification,
- la précision dans l'appréciation de la nature des connexions,
- la rapidité de l'exécution du travail (en ayant maîtrisé l'outil SIG),
- le coût (achat des photos),
- la périodicité dans la mise à jour des photos aériennes orthoformées, qui pourrait influencer sur la périodicité de la réactualisation des IB.

## 2) Méthode

Sous le Système d'Information Géographique Arcgis 8.1, nous avons ouvert une des neuf photos orthonormées (dalles éditées par l'IGN de 1km par 1km) de la commune de Jours-en-Vaux, en Côte-d'Or, où nous avons précédemment réalisé un travail de terrain, avec mesure de la longueur de haies, notation de la stratification et détermination des connexions sur une zone bien délimitée à l'intérieur d'un rectangle virtuel de 2000m par 500m.

Nous avons imposé les coordonnées de la photo sous Arcgis en choisissant :

→ « Lambert 2 »,

→ « France 2 ».

Puis en rajoutant en 8 couches différentes les 8 autres dalles IGN, elles se sont automatiquement callées grâce au système de coordonnées Lambert 2.

Ensuite nous avons ajouté une couche graphique sur laquelle nous avons pointé les angles du rectangle (format points) en repérant les points sur le rectangle d'étude dessinés lors des travaux précédents.

Enfin nous avons tracé le rectangle (format polygone) en reliant les points par des droites bien visibles, en jaune par exemple et en réglant la transparence du polygone à 100%.

Il y a là une imprécision car en traçant ainsi le rectangle, nous ne prenons pas en compte la déformation initiale, liée au report du rectangle de la carte IGN orthonormée sur la photo aérienne classique (non orthonormée).

Enfin, en jouant sur le zoom et en utilisant la règle de Arcgis, nous avons mesuré les longueurs des haies et repéré la stratification en notant les résultats sur un autre ordinateur, sous Excel.

Au fur et à mesure du travail, il faut bien penser à surligner les haies déjà mesurées par des traits bien visibles (en jaune par exemple) sur la couche graphique.

Ce travail effectué, il faut ouvrir la couche graphique seule pour y dénombrer les connexions. Ensuite nous avons recalculé les linéaires sur chaque type de stratification, les nombres de connexions et l'IB que l'on a regroupé sous le nom « Ph. ortho ». (Tab. 16)



Tableau 16 : Données bocage de Jours-en-Vaux, terrain et photos aériennes orthonormées

	Ph.ortho	Terrain	Erreur
lin H <sub>B</sub>	4767	4678	-2%
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 1,4	0	134	-
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 5+	0	464	-
lin H <sub>B</sub> total	4767	5276	10%
lin H <sub>H</sub>	1231	1852,5	34%
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 1,4	637	257	-148%
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 5+	1810	1498	-21%
lin H <sub>H</sub> total	3678	3607,5	-2%
lin H <sub>A</sub> 5+	205	161	-27%
O	78	104	25%
L	44	44	0%
T	30	29	-3%
X	0	1	-
Volume	56889	56930	<1%
Maillage	360	385	6%
Lin total	8445	9127	7%
IB	2425	2402	-1%

L'erreur est calculée en prenant la photo orthonormée comme la référence.

### 3) Résultats

Pour l'étude du site de Jours en Vaux, le travail, tout compris, a pris un peu plus de trois heures, ce qui représente un gain de temps énorme par rapport à la journée de terrain, et le temps nécessaire à l'analyse des résultats.

- Interprétation des résultats (Tab. 16)

Nous remarquons tout d'abord de forts pourcentages d'erreurs sur les valeurs concernant les haies arborescentes ( $H_{A1,4}$  et  $H_{A5+}$ ), en particulier quand elles sont associées à un autre type de haies (basses et hautes).

En effet sur la photo aérienne, il est très difficile d'observer la stratification inférieure cachée par la strate arborescente plus ou moins continue.

Cependant, en ce qui concerne les linéaires totaux de haies basses et hautes, nous trouvons de faibles erreurs. Ceci indique que l'erreur est plutôt liée à l'interprétation du type de la stratification plutôt qu'à l'évaluation du linéaire.

En effet, l'erreur sur le linéaire total n'est pas trop forte, puisqu'elle est de 7%. De plus par rapport à celle trouvée entre la photo aérienne classique et le terrain, cette erreur prend en compte toutes les haies, et non juste celles qui sont communes aux deux supports. Notre valeur d'erreur est donc particulièrement bonne, et surtout plus représentative que précédemment.

Enfin, celle-ci peut s'expliquer par les difficultés d'observation de la photo aérienne, sur laquelle une rupture de pente, ou bien certaines bandes enherbées peuvent être prises pour des haies, et inversement.

En ce qui concerne les connexions, nous avons 25% d'erreur pour les culs de sac (connexion 0) et ceci se comprend par une vision sur le terrain où toutes les discontinuités peuvent être notées. L'observation rapide de la photo aérienne ne permet pas de toujours déceler ces discontinuités, sauf parfois en zoomant régulièrement, ce qui représente un travail conséquent. L'erreur globale de maillage est de 6%, ce qui est très correct.

Enfin, les erreurs d'interprétation se compensent puisque nous trouvons une erreur de stratification inférieure à 1% et une différence entre les IB terrain et photos ortho-normée de 1%.

- Limites de la méthode

Même si la photo aérienne est orthonormée, l'imprécision persiste quant à la détection de discontinuités dans les haies peu visibles.

Les haies parallèles aux rayons du soleil n'ont pas d'ombre. Ainsi la stratification est plus difficile à appréhender.

Pour savoir quelles haies sortent ou ne sortent pas, nous avons des difficultés puisque notre rectangle ne correspond plus tout à fait aux schémas réalisés lors des travaux précédents.

Enfin, il est difficile de savoir où s'arrête une haie et où commence un bosquet.

- Conseils à venir

→ Prendre les coordonnées du rectangle sur la carte IGN et les reporter sur le SIG pour tracer la zone de travail, c'est-à-dire ne plus utiliser les données qui proviennent de supports déformés (photos, transparents...);

→ Zoomer régulièrement sous SIG pour observer les connexions;

→ Avoir un œil exercé (si possible toujours le même observateur) et qui maîtrise les bases du SIG;

→ Faire un patron à partir de la couche graphique du SIG où sont tracées les haies et la zone d'étude. Il serait idéal d'y représenter les différents types de haies, voire les types de connexions;

→ Si ce travail est prometteur, il faut réaliser des bases de données, qui seraient simples à réactualiser site par site, où seraient répertoriées les haies, avec leurs caractéristiques propres.

## 4) Conclusion

Tableau 17 : Comparaison dans l'utilisation des deux types de photos aériennes

	Photos aériennes normales en noir et blanc	Photos aériennes orthoformées et en couleur
Ressemblances	Difficultés d'apprécier la strate arborescente et les strates sous-jacentes. Pas de visibilité des connexions 0. Actualisation tous les 5 ans.	
Différences +	Economique. Par site : 11,6 € par photo noir et blanc. (36 € par photo couleur).	La couleur Pas de déformation Facilité de zoom sur ordinateur Support numérique Possibilité de travaux divers (dessins, mesures automatiques donc rapidité d'analyse...)
Différences -	La déformation	Le prix (jusqu'à 189 € par site)

Même si la photo aérienne orthoformée est chère, (il est nécessaire d'acheter au plus 7 dalles IGN pour chaque site, couvrant 7 Km<sup>2</sup>, au prix de 27 € par dalle), elle permet de se débarrasser des problèmes liés à la déformation. Par une utilisation directe sous SIG, elle contribue également à une rapidité d'analyse et à une meilleure qualité des observations, de part la couleur et aux possibilités très importantes de zoom (Tab. 17).

Pour l'étude du site de Jours-en-Vaux, le travail, tout compris avec 2 observateurs, a pris un peu plus de trois heures, ce qui représente un gain de temps énorme par rapport à la journée de terrain, et au temps nécessaire à l'analyse des résultats.

Tableau 18 : Données pour le site de Jours-en-Vaux

	terrain	évolution	photos
lin H <sub>B</sub>	4678	4%	4493
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 1,4	134	42%	78
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 5+	464	55%	210
lin H <sub>B</sub> total	5276	9%	4781
lin H <sub>H</sub>	1852	-15%	2138
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 1,4	257	-	0
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 5+	1498	36%	957
lin H <sub>H</sub> total	3608	14%	3095
lin H <sub>A</sub> 5+	161	-	0
O	104	19%	84
L	44	7%	41
T	29	28%	21
X	1	-	0
Volume	56930	27%	41521
Maillage	344	9%	312
Lin total	9127	14%	7863
IB	2146	23%	1648

Remarque : le pourcentage d'évolution prend les valeurs photos aériennes comme référence.

## IV Réactualisation de l'Indice Bocage bourguignon

### 1) Problématique

En validant l'Indice Bocage obtenu par les photos aériennes, sa comparaison avec l'Indice Bocage obtenu sur le terrain nous permet de mesurer l'évolution de cet indice durant le temps écoulé entre la prise de la photo et l'étude sur le terrain. Pour rappel, les photos des Bizots et de Jours-en-Vaux datent de 1997 alors que celles d'Ouroux-sur-Saône datent de 1994. Les périodes d'évolution dont il sera question sont donc respectivement de 6 ans et 9 ans.

### 2) Méthode

La comparaison s'effectue entre les données des photos aériennes classiques dont les haies sortantes ont été retirées (revoir la figure 24) et les données terrain dont les haies sortantes ont été aussi retirées (revoir la figure 25).

### 3) Résultats

Pour Jours-en-Vaux, nous constatons une augmentation de 23 % de l'Indice Bocage (Tab. 18).

Cette augmentation se retrouve sur tous les facteurs qui déterminent la valeur de l'indice.

Le linéaire total augmente de 14 % et c'est surtout le linéaire de haies hautes total qui contribue à cette augmentation.

De ce fait nous en déduisons, en considérant la période de six ans, que de nombreuses haies basses sont devenues hautes en l'absence d'entretien, ce qui a pour conséquence d'augmenter fortement le volume de végétation. De plus, de nouvelles haies basses sont apparues dans l'intervalle, ce qui explique en partie l'évolution du linéaire. En effet, nous constatons une augmentation de près de 10 % du linéaire de haies basses.

Nous retrouvons une évolution importante d'environ + 36 % sur les arbres associés à des haies hautes. Ceci ne peut être expliqué par la seule évolution de cette strate. Ce constat conjugué à celui de la forte augmentation de haies hautes peut aussi s'expliquer par l'interprétation défectueuse des photos aériennes générant des oublis. La période écoulée entre les photos et l'expertise terrain ne peut expliquer l'apparition de haies hautes et encore moins de strates arborescentes.

Tableau 19 : Données pour le site d'Ouroux-sur-Saône

	Terrain	évolution	Photos
lin H <sub>B</sub>	453	-126%	1025
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 1,4	0	-	0
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 5+	327	59%	132
lin H <sub>B</sub> total	780	-33 %	1158
lin H <sub>H</sub>	93	-3666%	3502
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 1,4	25	100%	0
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 5+	1081	-5%	1138
lin H <sub>H</sub> total	1199	-74 %	4640
lin H <sub>A</sub> 1,4	33	-	0
lin H <sub>A</sub> 5+	52	-	0
O	6	-117%	13
L	7	-57%	11
T	6	-433%	32
X	0	-	26
Volume	25204	-102%	50978
Maillage	57	-581%	388
Lin total	2064	-181%	5798
IB	696	-390%	3412

Concernant le maillage, l'apparition de nouvelles haies fait logiquement augmenter le nombre de connexions. La qualité de ces connexions tend même à s'améliorer puisque les connexions en T augmentent de 28 % alors que les connexions O augmentent seulement de 19 % dans le même temps.

Au final, nous sommes ici en présence d'un site où l'entretien des haies est très faible, ce qui entraîne l'apparition de nouvelles haies et la transformation de haies basses en haies hautes. La conséquence est une augmentation de l'Indice Bocage.

**Pour Ouroux-sur-Saône**, nous constatons une très forte diminution de l'Indice Bocage de l'ordre de -390% (Tab. 19).

Le linéaire diminue de plus de la moitié, les haies hautes disparaissent au 3/4 et la qualité des connexions restantes diminue aussi fortement. Cela s'explique (nous l'avons constaté sur le terrain) par le creusement d'une gravière par l'abandon total d'une zone de prairies, par la conversion de quelques prairies en terres labourables et par l'arasement du réseau de haies existant pour agrandir les prés.

Ce site en pleine mutation, voit donc son indice bocage chuter de près de 400 % alors qu'il était le seul à connaître une augmentation de cet indice entre les années 80 et 90.

**Pour le site des Bizots**, nous observons une augmentation de 5 % de l'Indice Bocage sur les six années écoulées (Tab. 20). Cet écart est même inférieur à celui obtenu par la comparaison des photos aériennes et du terrain avec les haies communes



Tableau 20 : Données pour le site des Bizots

	Terrain	évolution	Photos
lin H <sub>B</sub>	4629	-15%	5340
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 1,4	3928	38%	2445
lin H <sub>B</sub> H <sub>A</sub> 5+	626	9%	571
lin H <sub>B</sub> total	9183	9%	8357
lin H <sub>H</sub>	438	-102%	886
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 1,4	286	1%	283
lin H <sub>H</sub> H <sub>A</sub> 5+	162	17%	135
lin H <sub>H</sub> total	886	-47%	1304
lin H <sub>A</sub> 5+	99		0
O	19	26%	14
L	32	25%	24
T	26	-19%	31
X	0	-	1
Volume	41997	12%	36760
Maillage	245	-1%	248
Lin total	10325	6%	9660
IB	997	5%	944

Le linéaire de haies basses augmente et comme il est conjugué à la diminution du linéaire de haies hautes, il conduit au resserrement de l'écart qui pouvait exister sur la stratification.

L'écart sur le linéaire se resserrant, parallèlement, celui sur le maillage se resserre aussi. Pourtant la valeur du maillage reste inférieure malgré l'augmentation du nombre de connexions. La qualité des connexions tend effectivement à diminuer car ce sont les connexions en O et en L qui augmentent alors que les connexions en T diminuent.

Ainsi, tous les facteurs contribuant à l'Indice Bocage présentent des écarts faibles et au final, l'Indice Bocage reste sensiblement le même.

Aux Bizots, nous sommes en présence d'un site à forte gestion conservatoire, ce qui explique que la valeur de l'Indice Bocage se soit maintenu.

#### **4) Conclusion**

**Il est donc évident pour les trois sites étudiés que c'est le contexte socio-économique qui conditionne l'évolution du bocage. Ainsi, la diversité de ce contexte déclinée aux échelles locales, entraîne des évolutions du bocage très différentes. Nous avons eu néanmoins à faire à des cas opposés à l'extrême avec les sites des Bizots et d'Ouroux-sur-Saône, ce qui nous permet d'appréhender plus facilement la fourchette des évolutions possibles malgré le nombre limité de sites étudiés.**

**En conclusion, l'étude de l'évolution des trois sites expertisés nous permet en considérant la marge d'imprécision de l'Indice Bocage et l'ampleur de l'évolution de cet indice en Bourgogne depuis 50 ans, de proposer une périodicité de 10 ans pour l'actualisation de l'indice. En effet, cette période nous apparaît suffisante pour détecter des évolutions significatives du bocage et nécessaire pour tenir compte d'évènements à l'origine de réorganisation plus forte du paysage comme c'est le cas pour le site d'Ouroux. Mais, compte tenu que l'édition de nouvelles photos orthonormées se fera sur un rythme de 5 années, la réactualisation pourrait se faire tous les 5 ans si un évènement majeur dans la politique agricole intervenait.**

## CONCLUSION GENERALE

Entre 1999 et 2001, un Indice Bocage a été calculé sur 35 sites répartis en Bourgogne dans le but d'évaluer l'évolution du bocage depuis un demi-siècle. Cet indice obtenu à partir de l'analyse de photos aériennes classiques sert d'outil d'aide à la décision puisqu'il rend compte de l'importance du bocage en Bourgogne et de son évolution, et de ce fait, permet d'appréhender plus facilement les enjeux sociaux et environnementaux s'y rattachant, aidant ainsi à la mise en place de politiques d'aménagement.

Si les utilisations de cet indice sont clairement définies, il reste à tester sa validité par une approche de terrain. Pour se faire, nous avons vérifié la concordance entre les informations fournies par les photos et celles apportées par le terrain. Le retour au terrain apparaît comme la méthode d'expertise la plus fiable, mais elle demande un travail considérable dont la grande précision est inadaptée à l'approche de l'échelle régionale. C'est pourquoi cette expertise n'a été réalisée que sur 3 sites choisis sur les critères d'un IB élevé et de la proximité de la ville de Dijon. Cette étude a permis de mettre en exergue les limites des photos aériennes :

- la stratification est difficile à déterminer notamment en raison des arbres cachant les strates sous jacentes,
- les déformations du linéaire sont importantes,
- les connexions peuvent être mal interprétées comparativement à leur appréciation *in situ*, où des discontinuités de quelques mètres coupent l'effet corridor et annulent le microclimat normalement présent à ces endroits.

Malgré ces constats, nous avons vérifié une faible différence entre l'indice calculé à partir des photos aériennes et celui trouvé par l'analyse de terrain (de 9 à 15 %) à mettre en regard avec une diminution de 52,5 % de l'I.B. en 50 ans.

Aujourd'hui est disponible un outil d'une plus grande précision qui est la photo aérienne orthonormée numérisée et en couleur. Les paramètres requis pour le calcul de l'IB sont déterminés d'une manière plus précise grâce au Système d'Information Géographique : la mesure du linéaire total et la vision des connexions sont meilleures mais les arbres continuent à poser des problèmes d'appréciation quant à la détermination de la nature de la stratification. Il faut cependant noter que le coût de ces photos est nettement plus élevé.

Au final, nous trouvons avec cette méthode, une différence de 1 % entre les IB, à savoir celui de l'analyse de la photo orthonormée (mission 2002) et celui de l'analyse de terrain (nov. 2003).

Une diminution globale en Bourgogne de l'IB de plus de la moitié en 50 ans témoigne des bouleversements du monde agricole consécutifs aux diverses politiques qui se sont succédées. Mais sur un pas de temps plus court, sur les 3 sites étudiés, deux d'entre eux : les Bizots et Jours-en-Vaux n'ont connu qu'une faible évolution de leur IB lors de ces six dernières années. Leur système agricole dominant, l'élevage, a contribué au maintien et à l'entretien des haies. En revanche, le site de Ouroux-sur-Saône a subi les conséquences d'aménagements fluviaux entraînant une déprise agricole et de nouvelles formes dans l'utilisation de l'espace. L'IB a donc chuté en raison d'un événement exceptionnel. Ainsi, l'étude de ces évolutions nous permet de préciser la périodicité de la réactualisation des données bocage. Les photos aériennes orthonormées étant réactualisées tous les 5 ans, une périodicité d'étude du bocage de 10 ans nous semble donc la plus adéquate tout en sachant qu'il faut prendre garde aux changements majeurs de politique agricole qui pourraient ainsi mener à des mutations de l'utilisation de l'espace rural. Le cas échéant, il faudrait ramener cette périodicité à 5 ans.

A ce stade d'avancement des travaux sur les bocages bourguignons, il serait intéressant de soumettre ces réflexions et propositions inscrites dans ce document à Jacques Baudry (INRA-SAD Armorique) qui fait autorité en matière de bocage (Baudry et Jouin, 2003).

## BIBLIOGRAPHIE

- ▶ BARRAU, S., GUILLET, A., LECUS, C., MARY, E. et MONTEIL, F., 2000. *Mise en place d'un dispositif de suivi de l'évolution des bocages en Bourgogne*. Synthèse de rapport technique, OREB, 24p.
- ▶ BAUDRY, J. et JOUIN, A, coord., 2003. *De la haie aux bocages – Organisation, dynamique et gestion*. INRA éditions, 435p.
- ▶ CHAMBAUD, F., 2001. *Guide pour un entretien diversifié des haies sur l'exploitation agricole*. Cellule d'Application en Ecologie. Université de Bourgogne, 10 p.
- ▶ Conseil Régional de Bourgogne, 2002. *Terroirs et bocages*. 27 p.
- ▶ CONSTANT, P., EYBERT, M.C. et MAHEO, R., 1976. *Avifaune reproductrice du bocage de l'ouest*. In CNRS, INRA, ENSA et Université de Rennes. Ed. *Les bocages : histoire, écologie, économie*, 327-331.
- ▶ CORNU, J. et DELOUVEE, C.H., 2001. *Des arbres et des haies : paysages à penser...paysages à panser*. CAUE de la Nièvre, 21p.
- ▶ FORMAN, R.T.T., 1995. *Land mosaic. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, 632p.
- ▶ IDF, 1995. *Les talus du bocage – Institut pour le Développement Forestier – Paris*, 56 p.
- ▶ LACK, P.C., 1988. *Hedge intersections and breeding bird distribution in farmland*. Bird Study, 35 : 133-136.
- ▶ MICHAULT, R., 1998. *La haie dans le département de l'Yonne : première approche*. Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes. Rapport de stage pour la maîtrise des Sciences et Techniques d'Aménagement., ? p.

- ▶ NOTTEGHEM, P., 1986. *Incidences aux niveaux socio-économique et écologique du nouveau contexte agricole et énergétique sur la gestion du bocage*. Ecomusée de la Communauté Le Creusot Montceau-les-Mines. Ministère de l'Environnement. SRETIE, ? p.
  
- ▶ NOTTEGHEM, P., 1987. *Incidences de la structure d'un bocage sur l'avifaune au cours d'un cycle annuel (Autunois – Charolais)*. Rev. Ecol. Terre Vie, suppl. 4 : 97-105.
  
- ▶ OREB, 1998. *L'environnement en Bourgogne : les enjeux*. 127 p.
  
- ▶ OREB, 2000. *Les bocages en Bourgogne – Dossier Repères n°20*, pp.5-9.
  
- ▶ OREB, décembre 2001. *Les bocages en Bourgogne. Présentation et résultats du dispositif d'observation des évolutions des bocages en Bourgogne*. Rapport technique vol.2, 94 p.
  
- ▶ POINTEREAU, P. et BAZILE, D., 1995. *Arbres des champs. Haies, alignements, prés vergers ou l'art du bocage*. Solagro, 139 p.
  
- ▶ SOLTNER, D., 1995. *L'arbre et la haie, pour la production agricole, pour l'équilibre écologique et le cadre de vie rural*. Collection : Sciences et Techniques Agricoles. 10<sup>ème</sup> Edition, 208 p.
  
- ▶ TERRASSON, F., 1983. *A l'orée de la forêt : le bocage*. In « Forêts et protection de la nature ». Editions France Nature Environnement, 5 p.