



Application de la sylviculture irrégulière aux peuplements feuillus  
jugés inaptes au jardinage et prédiction du rendement par la  
modélisation

Rapport d'étape

Deuxième Année

(2006-2007)

Préparé par

**Frédéric Doyon, ing. f., Ph.D.**

**Philippe Nolet, biol., M.Sc.**

Remis au

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Direction régionale de l'Outaouais (07)

Août 2007

## Tables des matières

Tables des matières .....	i
Liste des Figures .....	ii
Liste des Tableaux .....	iii
Liste des Annexes .....	iii
Mise en contexte du projet global.....	iv
Travaux réalisés en 2006-2007.....	viii
Résumé .....	viii
Remerciements.....	xi
Chapitre 1 Distribution des types structuraux selon le stocking et la composition, avant et après jardinage.....	1
Introduction .....	1
Méthodologie .....	1
Base de données .....	1
Analyses .....	2
Résultats.....	4
Effet du stocking sur la répartition des structures .....	4
Effet de l'état sur la répartition des structures.....	4
Chapitre 2 Relations entre la structure diamétrale et la structure en hauteur des peuplements de feuillus de l'Outaouais .....	5
Introduction .....	5
Méthodologie .....	5
Résultats.....	6
Discussion.....	9
Chapitre 3 Mise en place d'un dispositif de grandes parcelles-échantillons et analyse de l'effet de la superficie sur la structure en diamètre .....	11
Introduction .....	11
Méthodologie .....	12

Sélection des paysages .....	12
Mesures dans les parcelles-échantillons.....	14
Analyses .....	15
Résultats.....	16
Discussion.....	17
Taille des PÉ pour l'expression de la structure diamétrale .....	17
Structure diamétrale à l'échelle de ¼ ha .....	18
Chapitre 4 Évaluation de la performance de <i>Cohorte</i> .....	20
Introduction .....	20
Résumé du rapport sur l'évaluation de Cohorte .....	21
Littérature citée .....	22

## Liste des Figures

Figure 1. Représentation schématique des types de structure en hauteur décrits selon le nombre de tiges en chaque classe de hauteur (Dominant :D; Co-dominant :C; Intermédiaire :I; Opprimé :O) par PEP. Le nombre à droite du graphique présente la proportion respective sur l'ensemble des PEPs utilisées. ....	7
Figure 2. Tableau de correspondance entre la typologie structurale en diamètre et celle en hauteur, tous types compositionnels confondus. ....	8
Figure 3. Tableau de correspondance entre la typologie structurale en diamètre et celle en hauteur pour les types compositionnels à dominance d'érable à sucre (ErsBop, ErsHeg, Ers, Ers=Boj, ErsErr, ErsChr, Ers>Boj). ....	9
Figure 4. Répartition géographique des paysages forestiers (0 à 10) à l'intérieur et en périphérie de l'UAF 07251 pour lesquelles des données LiDAR ont été acquises. ....	14
Figure 5. Schéma de localisation des 5 parcelles de 11.28 m de rayon simulées dans la parcelle de ¼ ha. ....	16

## Liste des Tableaux

- Tableau 1. Nombres de parcelles-échantillons utilisées par groupe compositionnel, par classe de surface terrière, avant et après coupe.....2
- Tableau 2. Description des 11 paysages forestiers pour lesquels une acquisition de données LiDAR haute résolution à retours multiples a été effectuée. .... 13

## Liste des Annexes

- Annexe 1. Cartographie de la densité en parcelles échantillons dans des diagrammes de triangle des structures en fonction du type compositionnel, de la surface terrière et de l'état (avant ou après coupe)..... 27
- Annexe 2. Règle d'attribution des types structuraux en hauteur. .... 35
- Annexe 3. Cartographie des arbres dans les 33 parcelles de ¼ ha. Les couleurs représentent des espèces différentes. .... 38
- Annexe 4. Structure diamétrale évaluée dans les grandes parcelles échantillons de 0.25 ha et dans 5 parcelles échantillons de 0.04 ha simulés à l'intérieur de la grande parcelle échantillon. .... 73

## Mise en contexte du projet global

Le jardinage est un traitement approprié pour une majeure partie de la forêt feuillue et dans certaines conditions forestières en forêt mixte au Québec puisqu'elles sont dominées par des essences tolérantes (telles *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, *Abies balsamea*) et mi-tolérantes à l'ombre (telles *Betula alleghaniensis*, *Quercus rubra*, *Picea glauca*) qui peuvent s'établir sous couvert en cohortes d'âge différents, générant ainsi une structure pluri-étagée apte à être jardinée (Schütz 1997). En nature, cette structure se maintient sur de longues périodes grâce à un régime de perturbations dominé par des micro-trouées occasionnées par la mortalité sporadiques d'individus dans le couvert forestier (Doyon et Sougavinski 2002). Dans le nord-est de l'Amérique du Nord, le jardinage est depuis longtemps prescrit lorsqu'il répond aux conditions de composition, de structure et de production (Arbogast 1957, O'Hara 2002) compte tenu des avantages qu'il procure pour le maintien des valeurs environnementales, sociales et économiques (Hornbeck et Leak 1992). Au Québec, lorsqu'appliqué de façon appropriée et dans les peuplements adéquats (Majcen et al. 1990), le jardinage donne dans rendements intéressants (Majcen 1994). Par exemple, Bédard et Majcen (2003) obtiennent des accroissements nets en surface terrière dix ans après traitement de  $0.35 \pm 0.04 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{an}$  pour des érablières à bouleau jaune, permettant de retrouver la surface terrière initiale sur des rotations de 20 ans.

Cependant, l'application du jardinage ne peut être généralisée à l'ensemble de la forêt feuillue. En effet, avant même que le jardinage ne commence au Québec, plusieurs peuplements constituaient déjà le legs appauvri d'un passé d'écrémage réalisé lors de vieilles coupes à diamètre limite. Sabbagh *et al.* (2002) démontrent qu'un nombre important de peuplements des strates feuillues et mixtes de l'Outaouais comporterait une récolte insuffisante pour être jardinés malgré un potentiel d'éducation intéressant. De plus, les résultats de l'étude des effets réels du jardinage en forêt publique montrent que les rendements après jardinage en forêt publique sont bien en-deça de ceux attendus (accroissement annuel net entre 0.1 et 0.2  $\text{m}^2/\text{ha}/\text{an}$ ) dans bien des cas dû à une mortalité accrue et au fait que la forêt résiduelle n'a souvent plus les caractéristiques requises (structure, vigueur et qualité) pour demeurer jardinable (MRNQ 2002a). À cette problématique s'ajoute celle du dépérissement de l'érable à sucre (Duchesne et al. 2002, Duchesne et al. 2005) et de l'envahissement par le hêtre des érablières (Doyon et Gravel 2003, Duchesne et al. 2005). L'application du jardinage dans la sapinière à bouleau jaune pose aussi souvent des difficultés puisque les structures irrégulières sont souvent

abondantes dans ces écosystèmes de par le régime de perturbations semi-catastrophiques générant des bouquets par cohortes (Fortin et al. 2003, Doyon et Lafleur 2004).

Face à ces constats, Blanchette et al. (2004) établirent une procédure de diagnostic pour distinguer les forêts aptes au jardinage. Cette notion de apte au jardinage a été précisée par Lessard et al. (2005). Cette clarification des conditions pour jardiner un peuplement soulève par le même fait la question du traitement auquel on devrait avoir recours pour toutes les situations qui ne rencontrent pas ces conditions. Que ce soit pour des raisons sylvicoles (irrégularisation de la structure, recrutement désiré insuffisant) ou des raisons économiques (capital bois d'œuvre trop appauvri, croissance trop faible), de nouveaux traitements doivent être développés afin de combler le vide sylvicole qui existe entre les systèmes sylvicoles menant à la coupe finale et ceux menant au jardinage.

Il existe dans la littérature en sylviculture un courant nouveau en Europe (**Continuous Cover Forestry** dans les pays anglo-saxons, **sylviculture irrégulière** dans les pays francophones) qui propose des approches de conduite de peuplement en structure irrégulière qui maintiennent un couvert permanent (Schütz 2002, Mason et al. 1999, Pommerening et Murphy 2004). La sylviculture irrégulière offre l'avantage de répondre à des objectifs simultanés de récolte, de régénération et d'éducation sans devoir s'ajuster nécessairement aux conditions classiques d'application du jardinage. Celles-ci sont basées sur les connaissances des processus écologiques des écosystèmes et des paysages de la forêt. Un large programme de recherche et d'essais expérimentaux est actuellement en application en Franche-Comté (France) (Van Damme 1999, LIFE 2004). Plusieurs outils de diagnostic et de gestion y ont été développés.

Plus près de chez nous, aux Etats-Unis, le sylviculteur peut utiliser une gamme plus étendue de traitements sylvicoles (Hornbeck et Leak 1992), incluant la coupe progressive irrégulière, la coupe à diamètre limite, le Two-Cut System (Sims 1992), la coupe d'amélioration (Erickson et al. 1990) et la coupe à maturité financière (Smith 1978). Ces méthodes alternatives de coupes peuvent souvent s'avérer économiquement plus profitables, dépendant de la structure et de la distribution de la qualité des tiges (Kaya et Buongiorno 1989). Il existe plusieurs comparaisons du jardinage avec la coupe à diamètre limite au point de vue de la qualité des tiges, de la croissance, et de la qualité du bois (Miller et Smith 1991, Erickson et al. 1990, Erickson et Reed 1992, Niese et al. 1995, Strong et al. 1995, Wiemann et al. 2004) qui démontrent les avantages et désavantages de chacun selon les conditions d'application. Ce projet veut tirer profit de cette expertise mondiale en matière

de sylviculture irrégulière pour définir des coupes partielles alternatives au jardinage au Québec.

L'application de nouveaux traitements sylvicoles pose toujours la difficulté d'en définir le rendement et la durabilité. Cet aspect est particulièrement vrai pour les systèmes sylvicoles à couvert permanent impliquant des coupes partielles (Peng 2000). Le défi réside dans la régularisation du régime de coupes partielles tout en perpétuant une structure de distribution durable (Adams et Ek 1974), quelle soit exponentielle négative ou « rotated sigmoid » (Leak 1996) puisqu'il existe une infinité de structures balancées et durables (Keyfitz 1968). L'utilisation de modèles de simulation de croissance des peuplements offre l'avantage de permettre l'exploration de plusieurs scénarios et d'en évaluer les effets sans avoir à les expérimenter sur des peuplements (Buongiorno et Michie 1980). La majorité des modèles de croissance pouvant simuler la croissance des peuplements inéquiennes sont des modèles à l'arbre individuel non-spatialement explicite (FIBER, NE-TWIGS, OAKSIM, SILVAH, Yield-MS, JABOWA, STEM) (Ernst et Stout 1991, Peng 2000). La croissance et la mortalité des tiges sont calculées pour chaque tige d'une liste en fonction des conditions de cette tige dans le peuplement et du site. Certains incluent un module de recrutement, d'autres pas. Cependant, aucun n'inclut un module d'évolution de la qualité. Or, la gestion de la qualité en forêts feuillues et mixtes est primordiale. Pour pallier à ce manque, Doyon et al. (2005) ont développé un modèle, COHORTE, incluant un module d'évolution de la qualité. Cette dernière caractéristique permet d'évaluer différents régimes de martelage de coupe partielle sur le développement du peuplement en tenant compte de la qualité des tiges.

Le modèle SORTIE quant à lui est un modèle de simulation spatialement explicite, par arbres individuels, permettant d'évaluer l'effet de coupes forestières impliquant différents patrons de récolte et de rétention des tiges, en tenant compte de l'emplacement des chemins de débardage, dans des peuplements de composition et de structure diamétrale variées, et selon différentes périodes de rotation. SORTIE est constitué de quatre principaux modules, chacun visant respectivement à prédire : 1) la lumière; 2) la régénération en fonction des lits de germination et des semenciers; 3) la croissance radiale en fonction de la lumière (juvéniles) et de la compétition des voisins (arbres adultes); 4) la mortalité en fonction de la croissance radiale (juvénile) et en fonction d'un seuil de DHP associé au début de la sénescence (arbres adultes). Depuis sa première version, SORTIE a subi plusieurs modifications. Une somme considérable de travail a notamment été investie en Colombie-Britannique pour adapter le modèle pour lui permettre de simuler l'effet d'interventions

sylvicoles. Pour ce faire, un modèle de récolte a été ajouté au modèle permettant à l'utilisateur de définir de façon très flexible les paramètres des interventions sylvicoles à simuler. Une publication récente a démontré l'utilité du modèle pour explorer les implications différents scénarios de sylviculture irrégulière dans plusieurs types forestiers (Coates *et al.* 2003). Récemment, les efforts de recherche et développement reliés au modèle se sont concentrés à améliorer le module d'accroissement des tiges de façon à ce que la croissance radiale soit fonction du dhp, de la distance et de l'espèce des arbres voisins, permettant ainsi de capturer de façon précise la réponse des tiges suite à une coupe (Canham *et al.* 2006).

### Objectifs

Ce projet vise à ***proposer pour les forêts feuillues et mixtes non jardinables des coupes partielles alternatives de sylviculture irrégulière, décrire les conditions d'application de celles-ci pour les différentes régions de la forêt feuillue, et évaluer le rendement par voie de modélisation.*** Plus spécifiquement les objectifs de ce projet sont : (1) de développer une typologie des peuplements irréguliers pour le domaine de l'érablière, (2) de recenser les méthodes de sylviculture irrégulière ayant été expérimentées ailleurs dans le monde, (3) de vérifier l'applicabilité de ces méthodes pour chacun des types de peuplement irrégulier identifié à l'étape (1), (4) d'en vérifier le rendement et la durabilité par voie de modélisation, (5) d'en essayer leur application sur le terrain, (6) d'en évaluer les coûts et la productivité opérationnelle.

## Travaux réalisés en 2006-2007

### Résumé

Le présent document se veut un rapport d'étape qui dresse la liste des tâches accomplies durant cette dernière année du projet et qui présente les résultats des travaux réalisés. Ainsi, durant l'année 2006-2007, 2 travaux spécifiques ont été réalisés uniquement à l'aide des fonds de ce projet et 2 autres ont été complétés en combinaison avec d'autres fonds de recherche.

Le premier travail consistait à distinguer la structure des peuplements traités par rapport au peuplement non-traités et cela selon la composition et le stocking. Pour ce faire, une analyse graphique utilisant le triangle des structures en combinaison avec les données des parcelles échantillons de l'Outaouais a permis de mettre en évidence des différences très importantes de structures selon le stocking et la composition. Il est aussi surprenant d'observer que l'augmentation de la surface terrière a généralement pour effet de réduire la variabilité en structure alors qu'une plus grande biomasse devrait générer plus de possibilités en structure. Ce résultat suggère que le développement de l'écosystème s'effectue selon une certaine contrainte de convergence structurale. De plus on observe que les peuplements traités sont souvent moins inéquiennes que les peuplements non-traités. Ce dernier résultat est intéressant car il suggère que le jardinage tel qu'appliqué dans l'Outaouais, plutôt que de redresser la structure des peuplements afin de les rendre plus aptes au jardinage, tel qu'identifier dans les objectifs de la prescription de ce traitement, n'a fait, en définitive, que les en éloigner.

Le deuxième travail visait à vérifier la relation entre la structure diamétrale et la structure en hauteur des peuplements. Pour ce faire, nous avons comparé dans près de 400 placettes-échantillons permanentes la structure en hauteur tel que décrite par les classes de hauteur des tiges (Dominant; Co-dominant; Intermédiaire; Opprimé) avec la structure diamétrale. Les résultats montrent que les structures de hauteur sont fortement dominées par celles où les co-dominants composent, parfois en association avec les intermédiaires, parfois avec les dominants, parfois seuls, la majorité des tiges des PEPs. Les structures multi-étagées avec plus de 2 cohortes sont très rares et celles présentant une structure s'apparentant à une courbe de Liocourt ne représentent que 6.5% des PEPs. L'analyse croisée des types structuraux en hauteur et en diamètre montre qu'il ne semble pas y avoir de relations fortes entre les deux typologies. Ces résultats montrent que non seulement les structures dites

inéquiennes en diamètre sont rares mais que cela semble encore plus vrai en ce qui a trait à la hauteur. En effet, les tiges d'un peuplement inéquienne en diamètre peuvent occuper pratiquement le même étage. Or l'inverse n'est pas vrai. Nos données suggèrent que ce résultat seraient dû à plusieurs tiges de petit diamètre mais de grande hauteur (ratio hauteur/diamètre élevé) présentant un passé de croissance lente. Nous croyons que ces tiges possèdent un potentiel de croissance faible et conséquemment ne devrait pas être retenues comme tiges d'avenir dans la considération du capital forestier en croissance. Or, cette considération ne fait pas partie de l'évaluation des tiges servant à établir la prescription de martelage lors du jardinage.

La troisième partie du travail effectué a consisté à mettre en place sur le terrain 33 grandes parcelles échantillons de  $\frac{1}{4}$  ha qui représentent les différents types structuraux en hauteur et à mesurer et positionner géographiquement tous les arbres. Grâce à ce dispositif, il a été possible d'évaluer dans quelle mesure la caractérisation de la structure est sensible à la taille des parcelles en comparant les structures évaluée à l'aide de parcelles 11.28 m de rayon ( $\frac{1}{25}$  ha) avec des parcelles de 28.21 m de rayon ( $\frac{1}{4}$  ha). Les résultats de cette analyse suggèrent que les parcelles échantillons de faibles superficies telles que celles utilisées pour l'inventaire forestier sont inappropriées pour la caractérisation de la structure diamétrale. En effet, selon le positionnement d'une telle parcelle à l'intérieur de la grande parcelle échantillon de  $\frac{1}{4}$  ha, la structure varie grandement. Nous proposons donc que les inventaires forestiers en forêt feuillue utilisent des parcelles échantillons d'une superficie s'y approchant. On observe aussi que le passage à une parcelle échantillon de taille plus grande présente des structures diamétrales plus équilibrées entre les classes de diamètre, se rapprochant plus d'une structure inéquienne classique qu'avec les petites parcelles échantillons. Toutefois, à l'échelle de  $\frac{1}{4}$  ha, plusieurs parcelles échantillons présentent des structures irrégulières avec déficits ou bien des surplus en tiges, surtout celles provenant de paysage aménagé par jardinage récemment. Dans les forêts non-aménagées, on observe plutôt une structure présentant une représentation plus importante des moyens et gros fûts. Cette dernière structure est caractéristique des forêts anciennes et permet de donner une nouvelle balise écologique pour la gestion écosystémique et la restauration de conditions de forêts anciennes dans les îlots de vieillissements.

Finalement, une partie des fonds de ce projet a servi à compléter ceux du Bureau du Forestier en Chef à notre disposition pour l'évaluation de *Cohorte*, un modèle de croissance par arbre individuel indépendant de la distance qui a été développé par l'IQAFF (Doyon et al. 2005). Comme l'utilisation de *Cohorte* pour l'évaluation des rendements est essentielle dans

le cadre de ce projet Volet I, une partie des fonds nécessaires à l'évaluation de *Cohorte* a été prise à même ce projet.

## Remerciements

Nous voulons remercier tout particulièrement Pascal Rochon et Srdjan Ostojic pour leur travail assidu lors de la préparation et l'analyse des données. Les travaux de terrain ont été coordonnés par Vincent McCullough, Julie Poirier et Régis Pouliot et réalisés par ceux-ci, aidés de Pascal Rochon et Stephen Yamasaki. Nous tenons à remercier Chris Hopkinson (Chercheur au Applied Geomatics Research Group, Centre of Geographic Sciences, NSCC Annapolis Valley Campus) pour sa collaboration dans l'acquisition des données LiDAR. Ce projet est financé par le Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu Forestier, Volet I (Acquisition de connaissances/recherche) du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec.

# Chapitre 1 Distribution des types structuraux selon le stocking et la composition, avant et après jardinage

## Introduction

Les travaux de l'an dernier ont permis de mettre en évidence l'importance de structures irrégulières dans le paysage des forêts feuillues de l'Outaouais (Doyon et Nolet 2006). En se servant du triangle des structures (TdS) (LIFE 2004), Doyon et Nolet (2006) ont identifiés 21 types structuraux. Selon la classification des structures de LIFE (2004), les structures mono-cohorte, bi-cohorte et inéquienne représentent respectivement 41.7%, 56.4% et 12.6% de l'ensemble des parcelles échantillons (PÉ)s. Cependant, cette distribution n'est pas homogène selon la composition des peuplements. En effet, à l'analyse croisée des grands types structuraux et des grands types compositionnels, on remarque que les structures mono-cohortes sont plus abondantes dans les grands types compositionnels Fi et FiErs, que les structures bi-cohortes sont plus abondants dans le Chr\_Fpt et les Ft(Heg) et la structure inéquienne est à peu près absente des Fi mais à peu près présente équitablement dans les autres grands types compositionnels.

De cette analyse, plusieurs questions se posent. En autres, nous sommes particulièrement intéressés à comprendre comment cette distribution des types structuraux varie selon stocking et la composition conjointement. De plus, comme notre jeu de données est composé de parcelles-échantillons avant et après traitement de jardinage, nous voulons comparer ce portrait selon l'état avant ou après coupe.

Objectif : Comprendre comment la distribution des structures des peuplements varie selon le stocking des peuplements tout en comparant les peuplements traités avec ceux non-traités par le jardinage, et cela pour chacun des grands groupes compositionnels.

## Méthodologie

### *Base de données*

Nous avons utilisée la même base de données que celle utilisée dans Doyon et Nolet (2006), constituée d'un ensemble des parcelles-échantillons (PÉs) provenant de trois types d'inventaire forestier. Une sélection a permis de retenir 10 951 PÉs (voir Doyon et Nolet 2006 pour la méthodologie de sélection). Ces PÉs ont alors été classées dans un des 7

types compositionnels identifiés dans Doyon et Nolet (2006) (Tableau 1), et selon 3 classes de surface terrière totale de la PÉ (8 à 17 m<sup>2</sup>/ha, 17.1-23 m<sup>2</sup>/ha et 23.1 m<sup>2</sup>/ha +), tout en prenant soins de distinguer les PÉs avant coupe de celles après coupe de jardinage. Dans le cas des PÉs provenant du 3<sup>ème</sup> décennal, les PÉs issues de peuplements jardinés avant 1991 étaient considérées avant coupe. Nous croyons en effet que 15 ans de croissance suffisent pour ramener le peuplement à une structure distincte de celle observée après coupe. On observe une répartition assez équilibrée du nombre de parcelles par classes de surface terrière et par état (avant et après coupe de jardinage) dans presque tous les types compositionnels (Tableau 1). On remarque que plus de 500 PÉs ont été exclues de cette analyse puisque l'information sur leur état (avant ou après coupe) était incertaine.

Tableau 1. Nombres de parcelles-échantillons utilisées par groupe compositionnel, par classe de surface terrière, avant et après coupe.

Type compositionnel	État	Classe de surface terrière m <sup>2</sup> /ha			Total
		8.0-17.0	17.1-23.0	23.1 +	
Boj	APC	141	70	24	235
	AVC	72	72	81	225
	Sous-Total	213	142	105	460
Bop	APC	27	22	9	58
	AVC	37	28	19	84
	Sous-Total	64	50	28	142
Chr	APC	178	169	65	412
	AVC	21	55	75	151
	Sous-Total	199	224	140	563
Er	APC	1395	1151	324	2870
	AVC	238	690	1077	2005
	Sous-Total	1633	1841	1401	4875
ErFpt	APC	701	583	232	1516
	AVC	119	274	457	850
	Sous-Total	820	857	689	2366
FiEr	APC	48	72	33	153
	AVC	31	48	62	141
	Sous-Total	79	120	95	294
Heg	APC	546	533	161	1240
	AVC	63	166	298	527
	Sous-Total	609	699	459	1767
Total		3617	3933	2917	10467

### Analyses

Nous avons par la suite réparti les PÉs dans un triangle des structures (LIFE 2004) pour chacune des combinaisons (42) de types compositionnels (7), classes de surface terrière (3)

et d'état avant et après coupe (2). Afin de mieux représenter graphiquement la répartition des structures pour chaque combinaison, nous avons procédé à une segmentation du TdS en générant des isolignes. Chacune de ces isolignes distingue dans le TdS des zones avec des concentrations en PÉs plus ou moins grandes possédant une structure similaire. Elles permettent donc, en un seul coup d'œil, de bien identifier 1) les structures les plus abondantes dans le TdS ainsi que 2) la variabilité en structure pour chaque combinaison.

## Résultats

### *Effet du stocking sur la répartition des structures*

On observe en général une tendance au déplacement du centroïde du bas vers le haut avec l'augmentation du stocking du peuplement (Annexe 1). Il est intéressant d'observer pour les compositions de feuillus durs tolérants (Boj, Er, ErFpt, Heg) qu'à de faible surface terrière (8-17 m<sup>2</sup>/ha), il est fréquent de voir 2 centroïdes, soit un dans la zone inéquienne, et un autre dans la zone des Perches/Moyens fûts. On observe aussi, qu'avec l'augmentation de la surface terrière la variabilité dans les structures s'amointrit.

### *Effet de l'état sur la répartition des structures*

Le centroïde est généralement abaissé par l'effet de la coupe, surtout pour les stockings moyen et fort (exemples : Heg, Er, Boj). Ceci suggère que les grosses tiges sont toujours prélevées en proportion plus importante lors de la coupe (Annexe 1). Le resserrement de la variabilité structurale observé pour les PÉS avant coupe ne se matérialise pas pour les PÉS après coupe.

## Discussion

L'augmentation de la surface terrière s'accompagne généralement d'une plus grande représentativité des grosses tiges dans le peuplement. Cependant, cet effet est diminué, voir éliminé après coupe à cause la sélection biaisée vers les grosses tiges lors du prélèvement. Il est aussi surprenant d'observer que l'augmentation de la surface terrière a généralement pour effet de réduire la variabilité en structure alors qu'une plus grande biomasse devrait générer plus de possibilités en structure. Ce résultat suggère que le développement de l'écosystème s'effectue selon une certaine contrainte de convergence structurale.

De plus on observe que les peuplements traités sont souvent moins inéquiennes que les peuplements non-traités. Ce dernier résultat est intéressant car il suggère que le jardinage tel qu'appliqué dans l'Outaouais, plutôt que de redresser la structure des peuplements afin de les rendre plus aptes au jardinage, tel qu'identifier dans les objectifs de la prescription de ce traitement, n'a fait, en définitive, que les en éloigner.

## Chapitre 2 Relations entre la structure diamétrale et la structure en hauteur des peuplements de feuillus de l'Outaouais

### Introduction

En forêt feuillue au Québec et dans plusieurs juridictions, on décrit souvent la structure diamétrale des peuplements en comptabilisant le nombre de tiges par classe de diamètre. Souvent, on établit le type de structure (équienne, inéquienne ou irrégulière) d'un peuplement en fonction de cette structure diamétrale. Or, la relation diamètre-âge dans les peuplements feuillus est généralement faible, le diamètre étant davantage lié à l'historique de croissance de la tige qu'à son âge. Cette distinction est importante en sylviculture, car la capacité des arbres à réagir à l'ouverture du couvert (après coupe de jardinage par exemple) dépend probablement autant de son âge que de son diamètre. Il est par ailleurs reconnu dans la littérature que la hauteur des tiges est davantage liée à leur âge que ne l'est le diamètre. Ces informations laissent suggérer qu'une appréciation de la structure du peuplement à partir du diamètre seulement pourrait amener le sylviculteur à prononcer un diagnostic erroné quant au dynamisme futur du peuplement selon les traitements qu'il s'y propose d'effectuer. Il est donc important, dans un premier temps de s'interroger sur la relation entre la structure diamétrale et en hauteur de nos peuplements. Dans la présente étude, nous avons profité du fait que dans les placettes-échantillons permanentes (PEP)s du MRNF, la hauteur relative des tiges les unes par rapport aux autres est prise pour chacune des tiges, permettant une comparaison entre la structure diamétrale et la structure en hauteur.

Objectifs : Décrire les types de structure en hauteur les plus fréquentes dans l'UAF 05172 ;  
Vérifier l'adéquation entre ces types de structures en hauteur et les types de structures diamétrales décrites par Doyon et Nolet (2006).

### Méthodologie

Afin de décrire les types de structure en hauteur de l'UAF 05172, nous avons utilisé la dernière remesure de 395 PEPs. Certaines de ces PEPs étaient à l'extérieur des limites administratives de l'U AF 05172, mais elles ont été considérées représentatives des

conditions éco-forestières de cette dernière (Forget et al. 2007). Afin d'identifier les types de structure en hauteur du territoire, nous avons suivi les 4 étapes suivantes.

1. Pour chaque PEP, un graphique représentant le nombre de tiges par classe de hauteur (Dominant, D; Co-dominant, C; Intermédiaire, I; Opprimé, O) a été construit.
2. Nous avons par la suite procédé à une analyse visuelle des structures afin d'identifier les différents types rencontrés et leurs caractères distinctifs.
3. Les critères distinctifs ont par la suite été traduits en règles mathématiques afin de distinguer les types de structures de façon objective.
4. À partir des règles mathématiques, un type de structure a été attribué à chacune des PEPs.

On a aussi attribué à chacune des PEPs les types de structures diamétrale et compositionnelle en fonction des règles mathématiques décrites par Doyon et al (2006). Nous obtenons ainsi, pour chacune des PEPs, les types de structure en hauteur, diamétrale par grand type compositionnel. Par la suite, une analyse croisée a permis d'identifier les correspondances entre ces deux typologies structurales.

### Résultats

Un total de 16 types de structures ont été identifiées (Figure 1). Les règles mathématiques qui permettent de les distinguer sont présentées à l'Annexe 1. Les structures sont d'abord distinguées en fonction du nombre de classes dominantes (1 à 4), puis en fonction de l'importance des classes les unes par rapport aux autres. Il est d'abord intéressant de noter que les types de structures que nous appelons ici décroissantes (à l'image de la courbe de Liocourt pour la structure diamétrale, soit les types 2-2A, 3-2, 3-6, 4-2 et 4-4 ) ne représentent que 6.5 % des PEPs. Les structures avec une classe ou 2 classes dominantes (1, 2-1, 2-2) sont les plus fréquentes et représentent 46 % des PEPs. Avec plus de 28% des PEPs, le type de structure en hauteur le plus important est celui où les co-dominants composent la majorité de la PEP (type 1). En deuxième importance, avec plus de 18% des PEPs, on trouve le type 2-2, où la majeure partie de tiges sont des co-dominants et des intermédiaires.

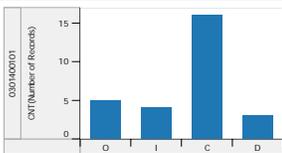
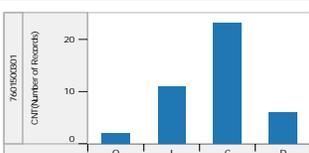
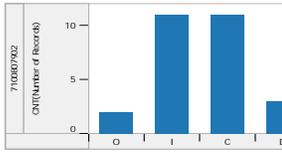
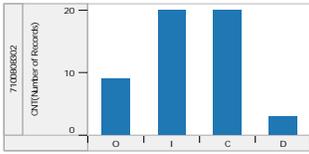
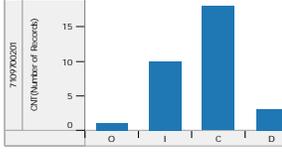
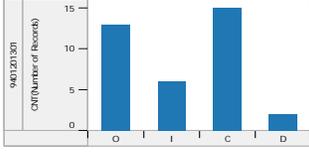
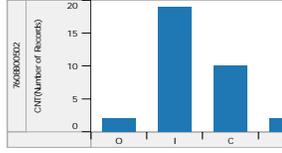
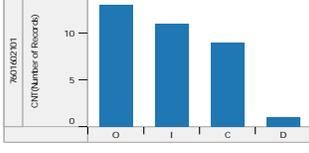
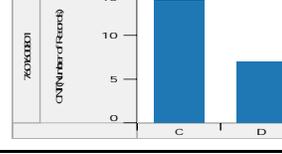
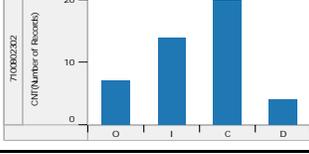
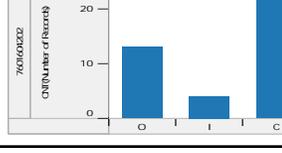
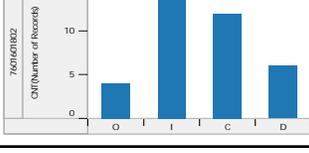
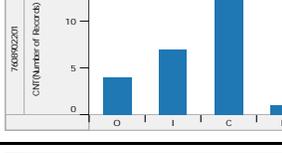
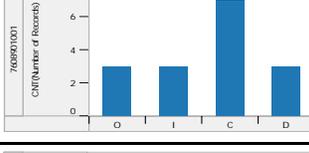
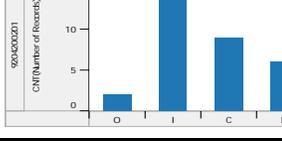
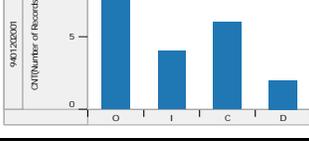
No	Exemple	Proportion	No	Exemple	Proportion
1		28.10%	3_3		5.06%
2_1		6.33%	3_4		6.08%
2_2		18.23%	3_5		3.54%
2_2A		3.29%	3_6		0.51%
2_3		2.28%	4_1		7.34%
2_4		3.80%	4_2		1.77%
3_1		7.85%	4_3		2.78%
3_2		1.52%	4_4		1.52%

Figure 1. Représentation schématique des types de structure en hauteur décrits selon le nombre de tiges en chaque classe de hauteur (Dominant :D; Co-dominant :C; Intermédiaire :I; Opprimé :O) par PEP. Le nombre à droite du graphique présente la proportion respective sur l'ensemble des PEPs utilisées.

Le tableau de contingence entre les types structuraux en hauteur et en diamètre montre qu'il ne semble pas y avoir de relations fortes entre les deux typologies (Figure 2), tous types compositionnels confondus. Ce constat entre les deux typologies est maintenu même quand on limite l'analyse aux types de composition dominés par l'érable à sucre (Figure 3).

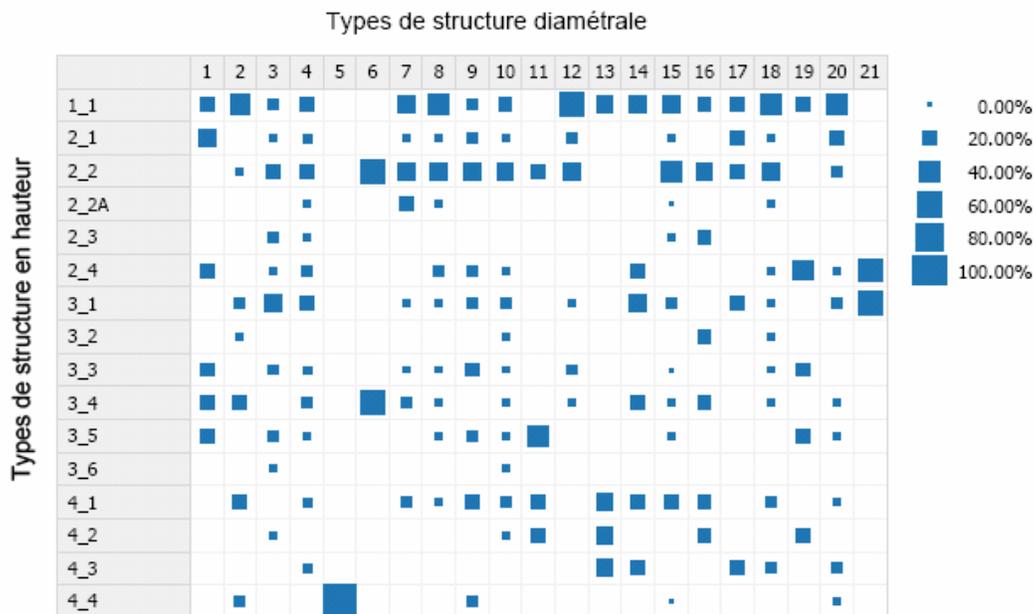


Figure 2. Tableau de correspondance entre la typologie structurale en diamètre et celle en hauteur, tous types compositionnels confondus.

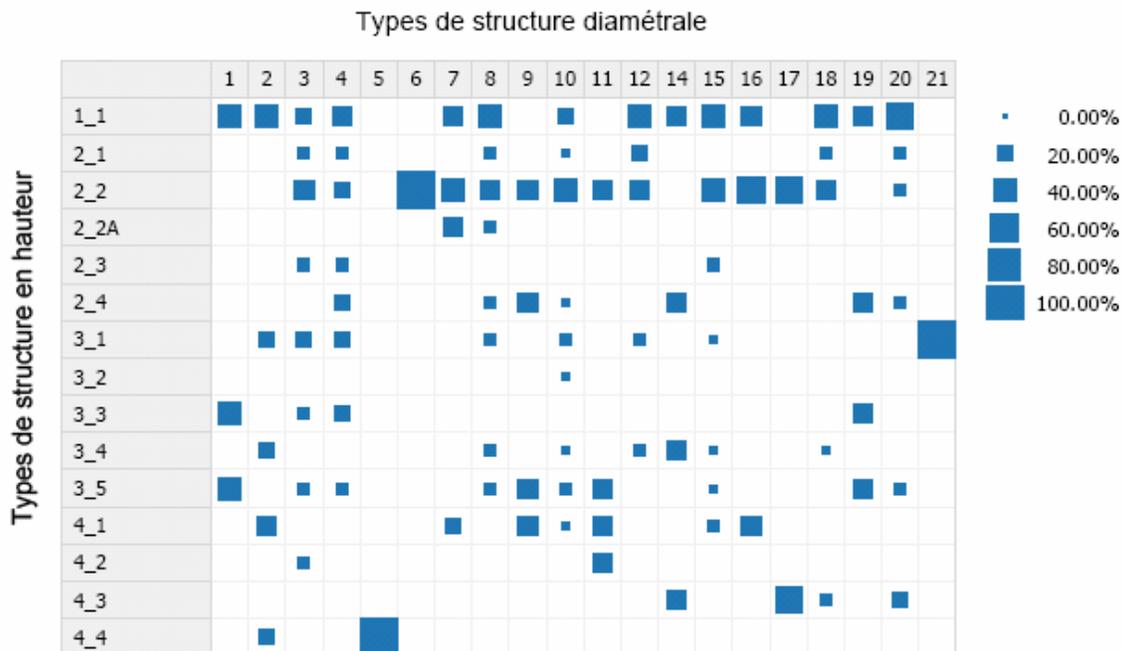


Figure 3. Tableau de correspondance entre la typologie structurale en diamètre et celle en hauteur pour les types compositionnels à dominance d'érable à sucre (ErsBop, ErsHeg, Ers, Ers=Boj, ErsErr, ErsChr, Ers>Boj).

Ainsi, si on regarde le type structural en diamètre 19 qui s'approche le plus d'une structure inéquienne classique, on s'aperçoit que les parcelles de ce type structural en diamètre se répartissent presque équitablement en 4 types structuraux en hauteur, soit 1\_1, 2\_4, 3\_3, et 3\_5. Or, ceux-ci sont loin de présenter des structures en hauteur décroissantes.

### Discussion

Au Québec, on prend généralement pour acquis que la forêt feuillue est dominée par des peuplements inéquiennes. Cette croyance est généralement basée sur le nombre de tiges/classe de diamètre compilé à partir d'un regroupement de parcelles. La présente analyse vient supporter les résultats de Doyon et Nolet (2006) à l'effet que la structure des forêts feuillues de l'Outaouais ne correspond pas à l'image que l'on s'en fait généralement. En effet, pour un paysage dominé par des forêts inéquiennes, on se serait attendu à ce que les types à structures décroissantes (e.g. type 3-2) soient les plus abondants sur le territoire.

La présente analyse soulève des questions à plusieurs égards. En effet, les types dominants de structure en hauteur montrent des peuplements avec des tiges occupant pratiquement le même étage. Ces arbres de hauteur semblable peuvent par contre présenter des classes de diamètre variées. Pour que cela se puisse, il faut donc que beaucoup de tiges de diamètre inférieur (perches), à prime à bord perçues comme des tiges d'avenir, soient en fait du même âge que celles de plus grand diamètre. Cela laisse suggérer que ces tiges ont été longtemps en croissance lente due soit à une position sociale désavantageuse et/ou une génétique inférieure. Peu importe la raison, ces tiges, souvent avec un ratio hauteur/diamètre élevé, sont probablement tributaire d'un legs architectural limitant fortement le potentiel de croissance, même une fois dégagées. Or, cette considération ne fait pas partie de l'évaluation des tiges servant à établir la prescription de martelage lors du jardinage.

Les peuplements sont aujourd'hui traités par coupe de jardinage sans tenir compte de leur structure en hauteur. On observe dans d'autres écoles de pensée en sylviculture des approches basées plutôt sur la structure verticale. Ainsi, Schütz (1990) écrit dans son livre : « Par structure, nous entendons la façon dont les arbres se distribuent dans l'espace verticale ... ». Cette inadéquation entre la structure verticale de nos forêts et le traitement sylvicole appliqué peut expliquer en partie les résultats décevants des effets réels. En effet, si ces tiges de faible potentiel de croissance sont alors considérées comme des tiges d'avenir, on observe alors un accroissement des survivants réduit et une mortalité accrue. Nous aurions ainsi avantage à incorporer une description de la structure en hauteur des peuplements lors des inventaires d'intervention (Nolet et al sous-pressé; Forget et al en préparation).

Enfin, la présente analyse présente la même faiblesse que celle de Doyon et al (2006), soit que la superficie plutôt limitée des PEPs pour une analyse de la structure des forêts feuillues. Les deux prochains chapitres visent justement à questionner la notion d'échelle dans l'analyse de la structure des peuplements.

## Chapitre 3 Mise en place d'un dispositif de grandes parcelles-échantillons et analyse de l'effet de la superficie sur la structure en diamètre

### Introduction

Les résultats de la première année de recherche sur la structure diamétrale des peuplements de feuillus et celle de cette année sur la structure en hauteur ont toutes deux démontré que l'expression de la structure d'un peuplement est très sensible à la superficie à partir de laquelle celle-ci est évaluée. En effet, il est très fréquent d'observer au sein d'un même hectare de forêt des structures fortement différentes dans des superficies équivalentes à celles utilisées pour effectuer les inventaires forestiers. Si tel est le cas, ceci expliquerait la grande diversité de structures observées dans les PÉs et la faible représentation de structure inéquienne.

C'est état de fait pose un problème important pour le diagnostic à être effectué par le sylviculteur lors de l'établissement de la prescription ou bien lors d'échanges avec ses pairs dans l'exercice de sa pratique. La question alors se pose : À quelle échelle la structure d'un peuplement doit-elle être présentée pour exprimer une information pertinente à la prise de décision par le sylviculteur ?

Afin d'approcher le problème de l'échelle dans l'expression de la structure des peuplements, nous avons élaboré un projet conjointement financé par ce projet, par un autre projet faisant appel aux technologies de télédétection au laser (technologie LiDAR) financé conjointement par le Conseil de la Recherche en Sciences Naturelles et Génie et des partenaires industriels (Zaremba et al. 2005) et par la Fondation Canadienne pour l'Innovation (Missaoui et al. 2004). Dans Zaremba et al. 2005, nous avons démontré qu'il est possible, avec les technologies de télédétection à haute résolution (imagerie satellitaire IKONOS, Quickbird et senseur téléporté LiDAR) de cartographier une forêt à l'arbre près et ainsi pouvoir en évaluer la composition et le volume (Gadhalla et Doyon en préparation).

Cependant, ces outils n'ont pas permis de faire une description de la structure interne du peuplement. Depuis lors, la technologie LiDAR a continué à se développer, proposant des senseurs plus puissants permettant l'acquisition de retours intermédiaires entre les retours du sol et ceux du sommet de la frondaison. Avec une densité suffisantes (2-3 retours par

m<sup>2</sup>) ces retours intermédiaires permettent de décrire la structure verticale interne du peuplement.

Nous avons donc élaboré un projet de recherche visant à faire l'usage de données LiDAR à retours multiples pour la caractérisation de la structure des peuplements de forêt feuillus. Un tel jeu de données permettrait alors de questionner en profondeur la distribution spatiale des structures dans un paysage et les questions d'échelles s'y rapportant.

Comme il faut des données terrain pour calibrer le modèle prédictif des structures basé sur les données LiDAR, nous avons profité de ce projet pour procéder à un inventaire de peuplements présentant les structures de hauteur identifiées au chapitre 2 de ce document. De plus, nous avons utilisées des PÉs de grandes superficies pour pouvoir évaluer la question de la sensibilité de l'expression de la structure diamétrale à la superficie dans laquelle celle-ci est évaluée.

Objectifs : Sélectionner des paysages forestiers présentant des historiques d'aménagement différents;  
Développer un protocole de prise de données LiDAR sur ces paysages qui permette de caractériser la structure verticale interne des peuplements.  
Identifier, à l'intérieur de ces paysages, des section de peuplement présentant des structures en hauteur diverses, caractéristiques des types de structure en hauteur identifiées dans le chapitre précédent;  
Échantillonner tous les arbres dans de grandes parcelles-échantillons;  
Comparer les structures évaluées à partir de superficies équivalentes à une parcelles du réseau d'inventaire du MRNFQ (1/25 ha) avec la structure évaluée sur une superficie de ¼ ha.

## Méthodologie

### *Sélection des paysages*

Onze paysages forestiers des 1 km<sup>2</sup> ont été sélectionnés dans le territoire et en périphérie de l'UAF 07251 pour effectuer cette analyse. Ces paysages forestiers différaient grandement de par leur historique d'aménagement forestier (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En effet, on trouve des paysages ayant fait l'objet de coupes partielles récentes, de coupes partielles anciennes (incluant des coupes à diamètre limite), et d'autres paysages forestiers qui ont été préservés d'activités forestières.

Tableau 2. Description des 11 paysages forestiers pour lesquels une acquisition de données LiDAR haute résolution à retours multiples a été effectuée.

Numéro de paysage	Nom	Aménagement forestier	Aménagement forestier
0	Pourvoirie Lauzon	Réserve Écologique Lac la Blanche	Aucun
1	Lac Rowan	EFE	Aucun
2	Patsy	Réserve Écologique Lac la Blanche	Aucun
3	Lac de l'Argile	UAF 07251	CJ récentes
4	Lac en Croissant	UAF 07251	CP anciennes
5	Rivière du Sourd	UAF 07251	CJ récentes
6	Lac Clair	UAF 07251	CP anciennes
7	Lac du Cerf sud	UAF 06402	CJ récentes
8	Lac du Cerf nord	UAF 06402	CJ récentes
9	Parc de la Gatineau	Parc de la Gatineau	Aucun
10	Forêt Gatineau	Forêt Gatineau	Aucun

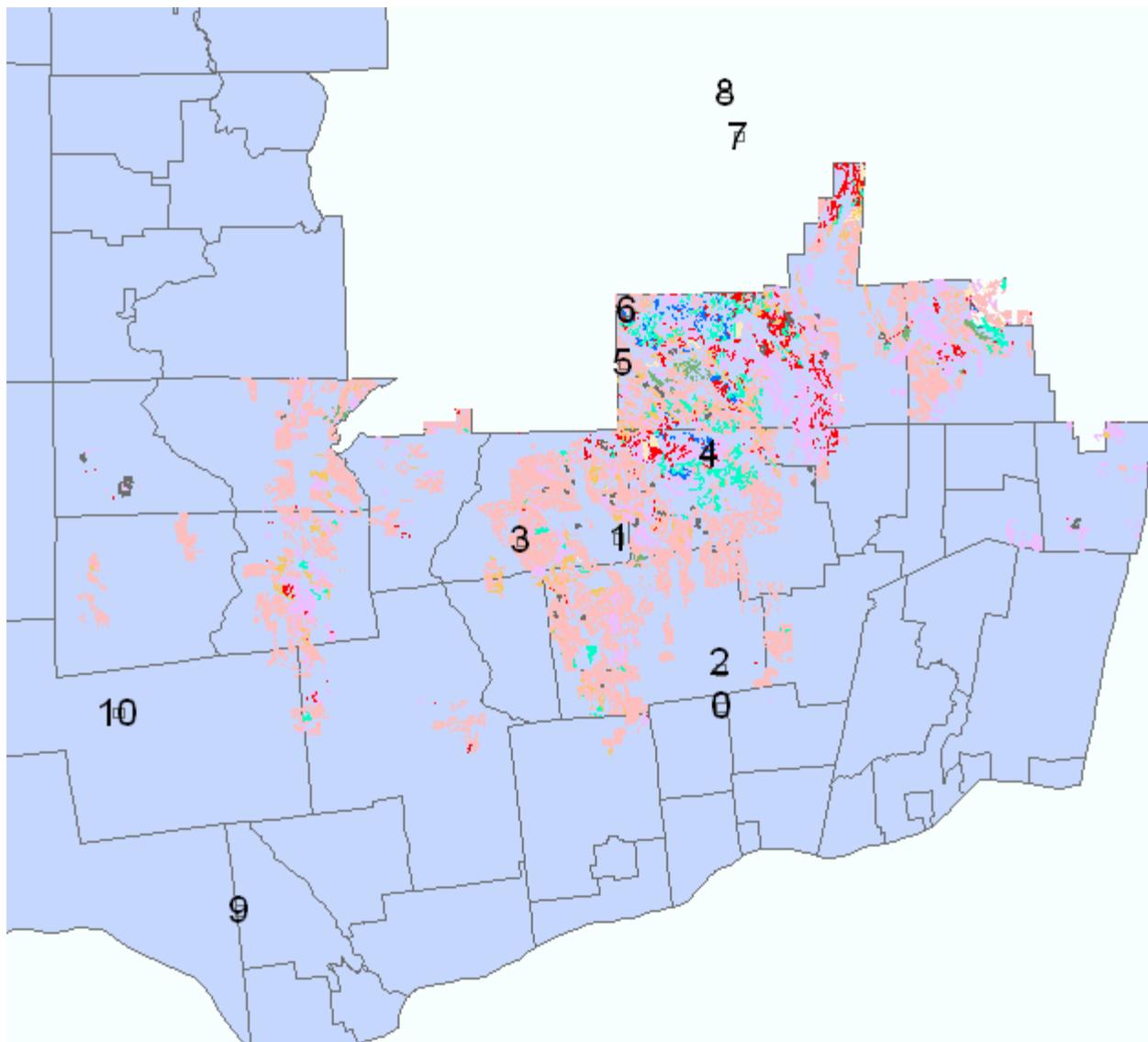


Figure 4. Répartition géographique des paysages forestiers (0 à 10) à l'intérieur et en périphérie de l'UAF 07251 pour lesquelles des données LiDAR ont été acquises.

#### *Mesures dans les parcelles-échantillons*

Dans chacun des ces paysages forestiers, 3 parcelles de  $\frac{1}{4}$  ha (28.21 m de rayon) ont été localisées dans des peuplements présentant des structures en hauteur diverses, caractéristiques des types de structure en hauteur identifié au Chapitre 2 de ce document. Ces peuplements devaient être à dominance de feuillus tolérants (>50%) et être représentatifs de l'historique d'aménagement du paysage dans lequel ils se trouvaient. La position centrale des parcelles était localisée à l'aide d'un récepteur de positionnement géographique par satellite (Thalès Promak III) permettant une précision sub-métrique.

Pour tous les arbres (DHP  $\geq$  9.1 cm) des parcelles, l'espèce était notée et le DHP étaient mesurés à l'aide d'un compas forestier (précision mm). Tous les arbres étaient spatialement localisés à l'aide d'un hypsomètre/mesureur de distance (Haglof Vertex 3 Rangefinder /Hypsometer) pour mesurer la distance de l'arbre au centre de la parcelle et une boussole pour en avoir l'angle. Des données sur la couronne de l'arbre étaient aussi prises (forme, taille, position par rapport à la position d'ancrage de la tige, orientation lorsque décentrée).

### *Analyses*

Le positionnement relatif au centre de la PÉ de tous les arbres a été calculé en utilisant la distance et l'angle mesurés. La position relative a alors été traduite en position géographique absolue en utilisant la position géographique du centre de la parcelle et introduite dans un GIS. Cette dernière étape servira ultérieurement à « caler » géographiquement ensemble les données terrain des arbres avec les données LiDAR pour l'analyse du modèle de détection des structures.

Une cartographie des arbres dans les PÉs de ¼ ha a été réalisée en simulant pour chaque arbre une couronne autour du point d'ancrage de la tige de la taille mesurée.

Nous avons par la suite calculé la structure diamétrale calculée sur la superficie entière de la PÉ de ¼ ha en présentant le nombre de tiges par classes de diamètre (9.1-19.9 cm, 20.0-29.9 cm, 30.0-39.9 cm, 40.0-49.9 cm, 50.0-59.9 cm, 60.0 cm +). Nous avons par la suite simulé 5 PÉs de 11.28 m de rayon à l'intérieur de la PÉ de ¼ ha selon le schéma présenté à la Figure 5.

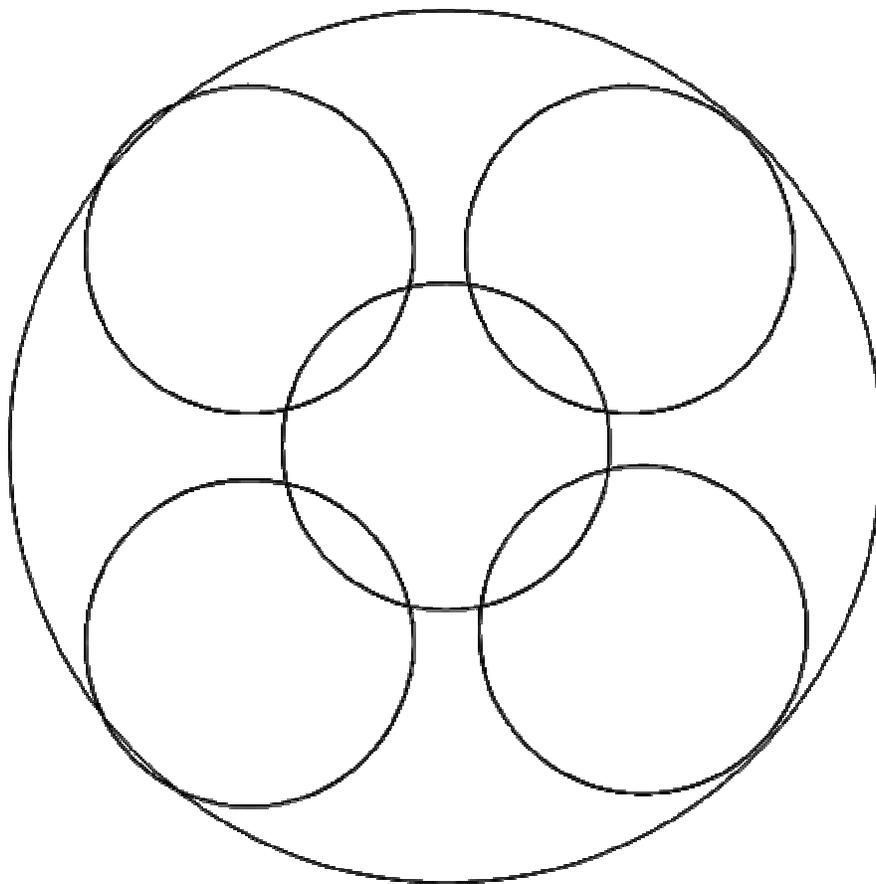


Figure 5. Schéma de localisation des 5 parcelles de 11.28 m de rayon simulées dans la parcelle de  $\frac{1}{4}$  ha.

Nous avons par la suite calculé la moyenne, l'écart-type, le minimum et le maximum du nombre de tiges par classe de diamètre pour chaque PÉ de 11.28 m de rayon afin de le comparer avec celui de la PÉ de  $\frac{1}{4}$  ha.

### Résultats

Les grandes PÉs sont presque toutes dominées par l'érable à sucre (Annexe 3). On observe que la distribution des tailles des arbres n'est pas homogène à l'intérieur des grandes parcelles, supportant notre hypothèse de la sensibilité des structures à la superficie d'échantillonnage. Dans les paysages aménagés, les arbres des grandes PÉs ont une distribution spatiale plus agrégée ; on y observe des trouées et des regroupements en alternance.

L'analyse des structures diamétrales confirme que celles-ci sont très sensibles à la superficie sur laquelle elles sont évaluées. En effet, il existe une très grande variabilité dans

l'expression des structures diamétrales à l'échelle d'une parcelle de 0.04 ha (Annexe 4). De plus, dans plusieurs cas, cette variabilité est tellement grande que pratiquement toutes les types structuraux pourrait y être associées (voir par exemple, Paysage 6-PÉ 3). Bien que la moyenne des 5 PÉ de 0.04 ha s'apparente le plus souvent à la valeur obtenue dans la grande PÉ de ¼ ha, il arrive parfois que celle-ci diffère significativement, malgré de les 5 petites parcelles couvrent 80% toute ensemble de la superficie de la grande PÉ.

Quoique à l'échelle de ¼ hectare, les peuplements aient tendance à exprimer une structure diamétrale plus proche d'une structure inéquienne, il demeure que plusieurs PÉ s'en éloignent carrément. Parmi celles-là, il est surprenant de constater une majorité des grandes PÉs provenant des paysages non-aménagés qui s'éloignent fortement de la courbe de Liocourt (à l'exception du paysage 10), avec une surreprésentation en très grosses, grosses et moyennes tiges. À l'inverse, les grandes PÉs provenant de CP anciennes possèdent actuellement une structure s'y apparentant beaucoup plus. En ce qui concerne les CJ récentes, on y observe souvent des structures très variables, plutôt irrégulière présentant des déficits ou des surreprésentations en petit fûts (20-30 cm) et en perches (10-20 cm).

## Discussion

### *Taille des PÉ pour l'expression de la structure diamétrale*

Les résultats obtenus suggèrent que la superficie telle qu'utilisée pour évaluer la structure des peuplements est inadéquate. En effet, on observe en forêt feuillue, à l'échelle de 0.04 ha, une variabilité très forte en structure diamétrale pouvant fausser fortement le portrait du peuplement. Cette échelle de 0.04 ha, quoique peut-être appropriée pour la forêt boréale, semble avoir été transférée sans questionnement à la forêt feuillue. Or, en forêt feuillue, les phénomènes spatiaux s'expriment à une échelle plus grande compte tenu de la taille des cimes qui peuvent atteindre facilement des rayons de 10 m. Comme, les arbres ont en effet structurant sur leur voisinage (par exemple, un grand arbre limite la probabilité d'avoir d'autres arbres de grandes tailles à proximité), l'utilisation de PÉ de petites superficie exprime donc l'influence de ce voisinage dans la structure diamétrale. En agrandissant la superficie de la parcelle, plus d'arbres et plus de conditions de voisinage sont ainsi échantillonnées, représentant la récurrence de celles-ci plutôt que les conditions locales qui en découlent. Conséquemment, une PÉ de faible superficie sera insuffisante pour capturer une certaine forme de récurrence dans la distribution spatiale des tiges. Ce manque d'ajustement entre le grain spatial de la récurrence de la structure diamétrale et la superficie

d'échantillonnage accentue le manque de précision observé dans les inventaires forestiers, causant des problèmes sérieux à l'aménagiste qui doit composer avec cette variabilité lors de sa planification forestière.

De plus, il est très clair que la réflexion sylvicole pour la pose du diagnostic s'effectue à une échelle beaucoup plus grande que celle d'une PÉ de 0.04 ha. En forêt feuillue, un sylviculteur aura habituellement tendance pour « se faire l'œil » sur le peuplement à considérer une superficie bien supérieure aux conditions locales où il se trouve (0.04 ha par exemple). Il y aura donc aussi pour le sylviculteur une inadéquation entre sa perception des conditions du peuplements et le diagnostic obtenu à partir de l'analyse de PÉ de 0.04 ha.

Bien que nous n'ayons pas fait d'analyse à d'autres superficies d'échantillonnage, nous croyons que l'échelle de ¼ ha semblerait plus appropriée pour décrire la structure diamétrale des forêts feuillues. L'observation des cartographies des grandes PÉs nous montre que cette échelle semble capturer, pour la majorité des PÉs échantillonnées, le grain de récurrence de la structure diamétrale. Le fait que la moyenne des 5 PÉs de 0.04 ha soit très près de la valeur obtenue dans la PÉ de ¼ ha supporte cette idée. Nous proposons donc que les inventaires forestiers en forêt feuillue utilisent une superficie s'y approchant. Une analyse de productivité sommaire montrent que plus d'information utile peut être cueillie et une plus grande superficie échantillonnée en utilisant des PÉ de grandes superficies.

Néanmoins d'autres reste à faire pour confirmer notre proposition. Nous comptons donc sur l'inventaire de très grandes placettes (10 ha), tel qu'initié par un nouveau projet de monitoring des écosystèmes forestiers du réseau des constituantes de l'Université du Québec, pour faire cette analyse.

#### *Structure diamétrale à l'échelle de ¼ ha*

Le fait que les structures diamétrales ont tendance à exprimer une structure diamétrale plus proche d'une structure inéquienne à l'échelle de ¼ ha qu'à l'échelle de 0.04 n'est pas surprenant compte tenu de ce qui a été discuté précédemment. Néanmoins, ces structures ne sont pas les plus fréquentes. De plus, elles ne sont pas l'apanage des vieux écosystèmes forestiers en forêt feuillue puisque pour les forêts non-aménagées, on observe plutôt une structure présentant une représentation plus importante des moyens et gros fûts. Cette dernière structure est caractéristique des forêts anciennes et permet de donner une nouvelle balise écologique pour la gestion écosystémique et la restauration de conditions de forêts anciennes dans les îlots de vieillissements.

L'analyse de la structure diamétrale des grandes parcelles démontre que les structures irrégulières bi-cohortes demeurent importantes à cette échelle. En effet, on observe dans les paysages venant d'être aménagés par coupe de jardinage un débalancement de la structure diamétrale générant par la suite une structure bi-cohorte. Ce résultat supporte l'hypothèse énoncée dans le chapitre 1 que le jardinage, au lieu de redresser la structure pour la rendre plus apte au jardinage aurait eu plutôt tendance à la débalancer.

On observe les structures les plus proches de celles inéquiennes dans les vieilles coupes partielles. Plusieurs de celles-ci sont en fait des coupes à diamètre limite (CDL). Ce résultat est plutôt intrigant puisqu'une des critiques qui est faite à la CDL est le risque de débalancer la structure à long terme par rapport à une distribution exponentielle négative classique. Nos résultats suggèrent une forte résilience structurale des érablières au traitement de CDL.

## Chapitre 4 Évaluation de la performance de *Cohorte*

### Introduction

*Cohorte* est un modèle de croissance par arbre individuel indépendant de la distance qui a été développé par l'IQAFF (Doyon et al. 2005) et a été utilisé à maintes reprises pour évaluer les rendements de coupes partielles, tant à l'échelle du peuplement pour la définition de prescriptions sylvicoles dans le cadre de plan annuel d'intervention forestière (Doyon 2006), que dans le cadre de calcul de la possibilité forestière (Forget et al. 2006, Forget et Doyon 2007, Doyon 2007). Cependant, malgré la vraisemblance des résultats obtenus et les vérifications internes effectuées sur le modèle, aucune évaluation formelle n'avait été réalisée sur *Cohorte*. Ainsi, avec le support du Bureau du Forestier en Chef, un projet d'évaluation a été mis sur pied afin de quantifier l'erreur de prédiction.

Le travail réalisé a visé à évaluer la performance des prédictions du modèle de simulation *Cohorte* pour les calibrations ayant été effectuées pour deux Unités d'Aménagement Forestier (UAF), une dans les Laurentides (UAF 06451) et une en Outaouais (UAF 07251). Plus spécifiquement, nous avons évalué l'erreur et le biais des différentes composantes du rendement, soit l'accroissement net, le recrutement, la mortalité, et la croissance des survivants. Pour ce faire, les sorties de simulation de *Cohorte* ont été comparées aux données empiriques récoltées par le réseau provincial des placettes-échantillons permanentes du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec.

Cette recherche a été partiellement financée par le Bureau du Forestier en Chef dans le cadre du projet-pilote de calcul de la possibilité forestière à l'aide de Patchworks et du modèle *Cohorte*. Comme l'utilisation de *Cohorte* pour l'évaluation des rendements est essentielle dans le cadre de ce projet Volet I, une partie des fonds nécessaires à l'évaluation de *Cohorte* a été prise à même ce projet.

Nous présentons ici dans le document le résumé du travail effectué et joignons à ce rapport celui sur l'évaluation de *Cohorte*.

Résumé du rapport sur l'évaluation de Cohorte

*Évaluation du modèle de simulation Cohorte : une analyse de la performance en forêt feuillue inéquienne du sud-ouest du Québec.*

Frédéric Doyon, Robin Duchesneau et Philippe Nolet

Institut Québécois d'aménagement de la Forêt Feuillue

Cette étude a permis d'évaluer le modèle *Cohorte*, un modèle de croissance des peuplements par arbre individuel indépendant de la distance développé pour évaluer les rendements en volume et en qualité dans les peuplements de feuillus sous régime de coupes partielles. L'évaluation s'est portée sur 2 calibrations du modèle effectuées dans le cadre de projets pilotes de calcul de la possibilité forestière (Unité d'Aménagement Forestier 07251 et 06451). Pour cette évaluation, nous avons comparé l'accroissement annuel net, le recrutement, la mortalité et l'accroissement des survivants observés dans les placettes échantillons permanentes (PEP) du réseau québécois avec ceux prédits par *Cohorte*. Pour chacune des deux calibrations, un jeu de données était constitué à partir de PEPs provenant d'érablières non perturbés, situées dans les mêmes sous-régions écologiques et sur des sites pour lesquels une calibration de *Cohorte* existait. De ce jeu de données « complet », un jeu de données « balisé » était extrait afin d'évaluer la part de l'erreur attribuable aux valeurs extrêmes de croissance des peuplements pour une échelle de un (1) hectare. Pour les analyses, l'erreur moyenne quadratique de prédiction totale, systématique et non-systématique, le biais et le l'indice de conformité de Willmott ont été calculés et des diagrammes de dispersion de points ont été générés mettant en relation l'erreur en fonction de la valeur observée et de la surface terrière initiale. Les résultats de cette évaluation montrent que *Cohorte* se comporte de façon prédictive, qu'il n'est pas biaisé pour la prédiction de l'accroissement annuel net et que l'erreur sur l'accroissement annuel net n'est pas en relation avec le stocking initial du peuplement. On observe aussi que l'erreur est grandement réduite lorsqu'on utilise le jeu de données « balisé ». L'erreur observée la plus importante dans le modèle provient d'une erreur systématique sur la mortalité, ce qui suggère qu'un ajustement de la calibration sur la mortalité pourrait en améliorer la précision. Sur la base de ces résultats, nous croyons que *Cohorte* est un outil prédictif valable pour l'évaluation des rendements à mettre dans le calcul de la possibilité forestière.

## Littérature citée

- Adams, D. M. et A. R. Ek. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Canadian Journal of Forest Research* 4:274-287.
- Arbogast, C. Jr. 1957. Marking guides for northern hardwoods under the selection system. USDA For. Serv. Lake States For. Exp. Stn., Paper 56, 20p.
- Bédard, S. et Z. Majcen. 2003. Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods. *Forestry Chronicle* 79:898-905.
- Blanchette, M., R. Gagnon, A. Gingras, J. Gossellin, G. Lesage, Guy Lessard, C. Picard et D. Pin. 2004. Une démarche pour déterminer les caractéristiques des forêts aptes au jardinage. Comité sur les forêts aptes au jardinage. Rapport présenté au Comité permanent sur le Manuel d'Aménagement Forestier. 17p.
- Buongiorno, J. et B. R. Michie. 1980. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science* 4:609-625.
- Canham, C. D., M. J. Papaik, M. Uriarte, W. H. McWilliams, J. C. Jenkins, and M. J. Twery. 2006. Neighborhood Analyses of Canopy Tree Competition along Environmental Gradients in New England Forests. *Ecological Applications*.
- Doyon, F. et D. Gravel. 2003. L'envahissement par le hêtre dans les érablières de l'Outaouais: phénomène fantôme ou glissement de balancier? Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique, 20p.
- Doyon, F et B. Lafleur. 2004. Caractérisation de la structure et du dynamisme des peuplements mixtes à bouleau jaune: pour une sylviculture irrégulière proche de la nature. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique, 57 p. + 3 annexes.
- Doyon, F. et S. Sougavinski. 2002. Caractérisation du régime des perturbations naturelles de la forêt feuillue du Nord-Est de l'Amérique du Nord. Rapport de l'IQAFF. Synthèse remise à la Direction de l'environnement, Ministère des ressources naturelles. 116 p.
- Doyon, F., P. Nolet et P. Sabbagh. 2003. Pour un retour du sylviculteur: la sylviculture par objectifs. *Aubelle* 143: 12-15.
- Duchesne, L., Ouimet, R. et Houle, D. 2002. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. *J. Environ.Qual.*, 31: 1676-1683.
- Duchesne, L., Ouimet, R., Moore, J.-D. et Paquin, R. (Sous presse). Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* 208:223-236.
- Erickson, M. D., D. D. Reed et G. D. Mroz. 1990. Stand development and economic analysis of alternative cutting methods in northern hardwoods: 32-years results. *Northern journal of Applied Forestry* 7:153-158.
- Erickson, M. D. et D. D. Reed. 1992. Silvicultural influence on heartwood discoloration in sugar maple. *Northern journal of Applied Forestry* 9:27-29.

- Ernst, R. L. et S. L. Stout. 1991. Computerized algorithms for partial cuts. *Pages 132-147 in Proceeding of the 8th Central Hardwood Forest Conference.*
- Fortin, M., J. Bégin et L. Bélanger. 2003. Évolution de la structure diamétrale et de la composition des peuplements mixtes de sapin baumier et d'épinette rouge de la forêt primitive après une coupe à diamètre limite sur l'Aire d'observation de la rivière Ouareau. *Journal Canadien de la Recherche Forestière* 33: 691-704.
- Hornbeck, J.W. et W. B. Leak. 1992. Ecology and management of northern hardwood forests in New England. USDA For. Serv. Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-159. 43 p.
- Kaya, I. et J. Buongiorno. A harvesting guide for uneven-aged northern hardwood stands. *Northern Journal of Applied Forestry* 6:9-14.
- Keyfitz, N. 1968. Introduction to mathematics of population. Addison-Weasley, Reading, MA. 450 p.
- Leak, W. B. 1996. Long-term structural change in uneven-aged northern hardwoods. *Forest science* 42(2):161-165.
- Lessard, G., G. Van der Kelen, P. Gauthier, F. Guillemette, M. Fortin, E. Morin, D. Blouin et H. Lapierre, 2005. *Détermination des paramètres des forêts aptes au régime du jardinage (phase I)*. Rapport 2005-04, Centre collégial de transfert de technologie en foresterie, Sainte-Foy, 156 p.
- LIFE. 2004. Développement d'une gestion durable des futaies irrégulières feuillues en Franche-Comté. CD-ROM. Office Nationale des Forêts, France.
- Majcen, Z. 1994. Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec. *Rev. For. Fr.* XLVI: 375-384.
- Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier. 1990. Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide Technique. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources (Forêts), Direction de la Recherche Forestière et du développement. Service de la recherche appliquée. Mémoire n° 96. 96 p.
- Mason, B, G. Kerr et J. Simpson. 1999. What is Continuous Cover Forestry? Forestry Commission, Information Note, October 1999.
- Mathews, J. D. 1989. Silvicultural systems. Oxford Science Publications. Oxford University Press, Oxford, UK. 284 p.
- Miller, G. W. et H. C. Smith. 1991. Comparing partial cutting practices in Central Appalachian hardwoods. *Pages 105-119 in Proceeding of the 8th Central Hardwood Forest Conference.*
- MRNQ 2002a. Effets réels en forêt feuillue. Document interne du MRNQ.
- MRNQ 2002b. Plan d'action pour l'amélioration de l'aménagement des forêts feuillues du domaine de l'État. Communiqué de presse du MRN du Québec, 11 décembre 2002.
- Nolet P. et P. Sabbagh. 2001. Un guide sylvicole pour les forêts feuillues de l'Outaouais: AS, l'Aide sylviculteur. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique. 35 p.

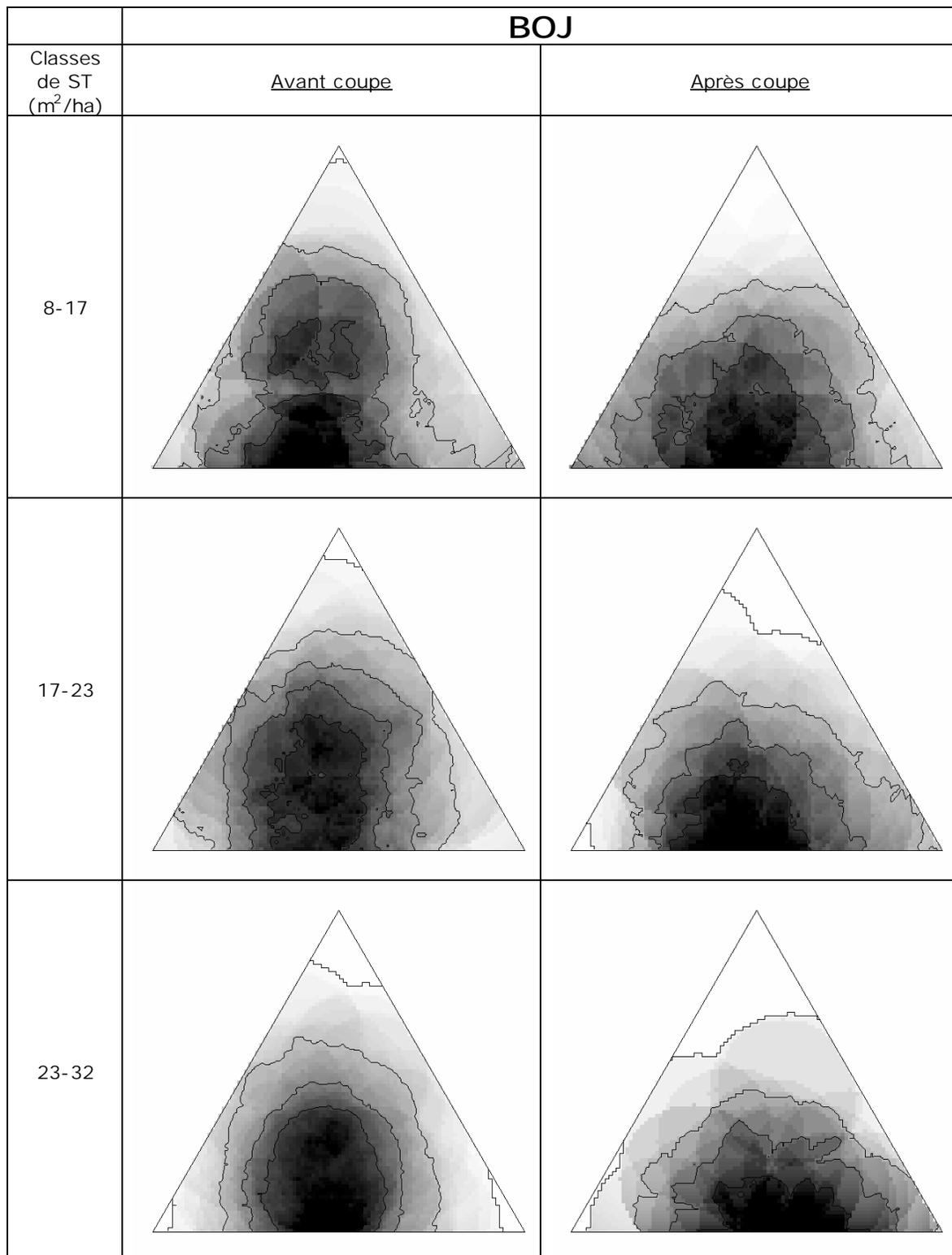
- Niese, J. N., T. F. Strong et G. G. Erdmann. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. II. Economic evaluation. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1180-1188.
- Nolet, P., Doyon, F. et P. Sabbagh. 2005. La sylviculture par objectifs. Guide pratique. Association forestière des Cantons de l'Est, éd., Sherbrooke, Canada. ISBN 2-9807894-2-9. 28p.
- Nolet, P., M. Riopel, R. Marois, A. Stinson, D. Burgess, A. Gingras, D. Bouillon, R. Pouliot et F. Doyon. (En cours). Essais expérimentaux de la sylviculture-par-objectifs applicables aux peuplements de feuillus de l'Ouest du Québec et l'Est de l'Ontario. Simulation des traitements à l'aide de COHORTE. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique.
- O'Hara, K. L. 2002. The historical development of uneven-aged silviculture in north America. *Forestry* 75(4):339-346.
- Pacala, S. W.; Canham, C. D. et Silander, J. A. Jr. Forest models defined by field measurements: I. The design of a northeastern forest simulator. *Can. J. For. Res.* 1993; 23:1980-1988.
- Peng, C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132:259-279.
- Pommerening, A. et S.T. Murphy. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry* 77(1):27-44.
- Sabbagh, P., P. Nolet, F. Doyon, J-F. Talbot. 2002. Classification et caractérisation des forêts dégradées de l'Outaouais. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Rapport technique. 112 p.
- Schütz, J. P. 1990. Sylviculture 1: Principes d'éducation des forêts. Les Presses Universitaires Romandes, Lauzanne. 243 p.
- Schütz, J. P. 1997. Sylviculture 2: La Gestion des forêts irrégulières et mélangées. Les Presses Universitaires Romandes, Lauzanne. 178 p.
- Schütz, J. P. 2002. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forestry* 75(4):329-337.
- Sims, D. H. 1992. The two-aged stand. A management alternative. USDA For. Serv. Cooperative Forestry. Technology Update. Southern region. Management Bulletin R8-MB 61. 2 p.
- Smith, H. C. 1978. An evaluation of four uneven-age cutting practices in Central Appalachian hardwoods. *Southern Journal of Applied Forestry* 6:193-200.
- SPSS inc., 1999. SPSS for windows, Release 10.0.5.
- Strong, T. F., J. N. Niese et G. G. Erdmann. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. I. Tree quality. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1173-1179.
- Van Damme, M. 1999. Typologie des peuplements feuillus irréguliers de Franche-Comté. Document scientifique de la Société Forestière de Franche-Comté.

Wiemann, M. C., T. M. Schuler et J. E. Baumgras. 2004. Effects of uneven-aged and diameter-limit management on West Virginia tree and wood quality. USDA For. Serv. Forest Products Laboratory, Reaserch Paper FPL-RP-621. Madison, WI. 16 p.

# Annexes

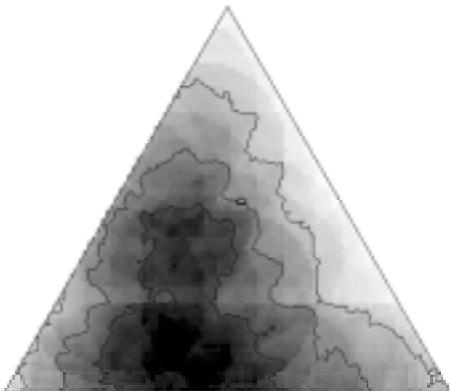
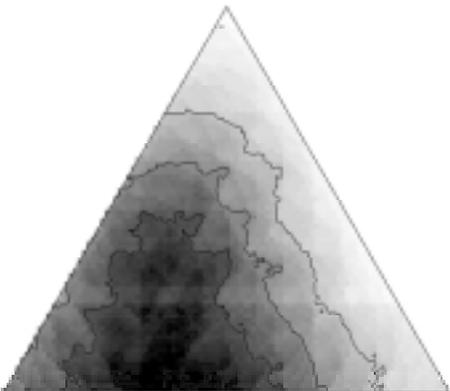
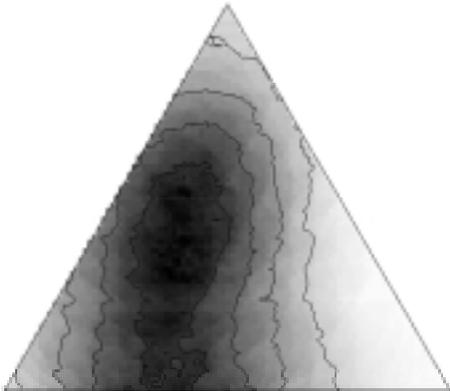
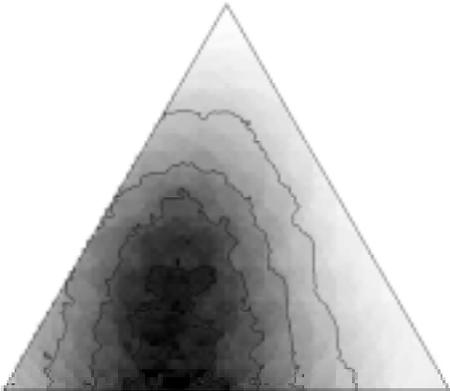
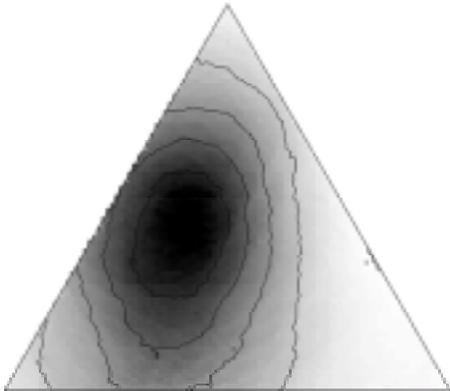
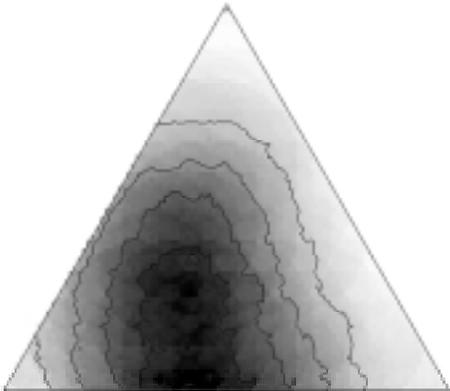
Annexe 1. Cartographie de la densité en parcelles échantillons dans des diagrammes de triangle des structures en fonction du type compositionnel, de la surface terrière et de l'état (avant ou après coupe).

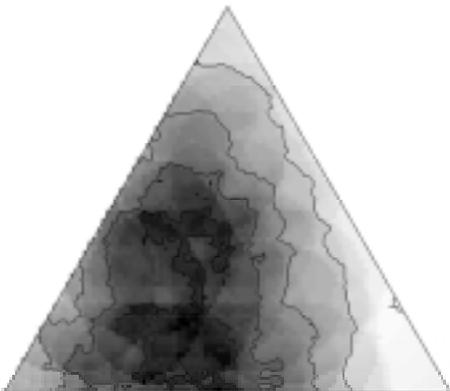
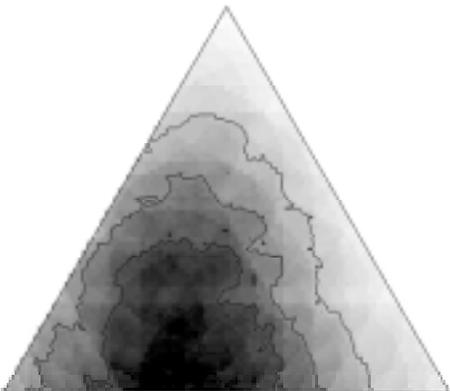
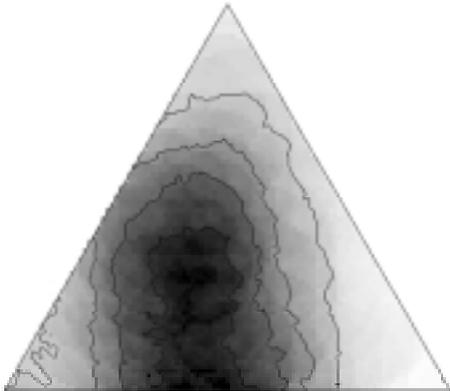
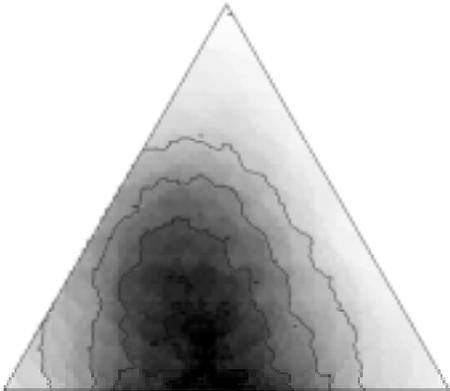
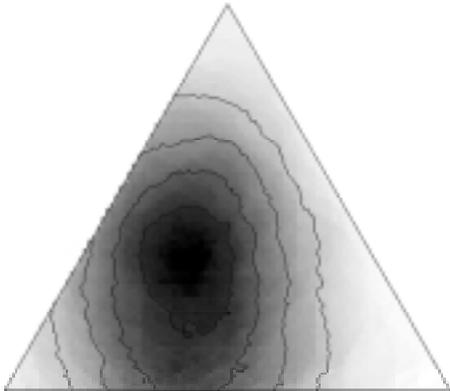
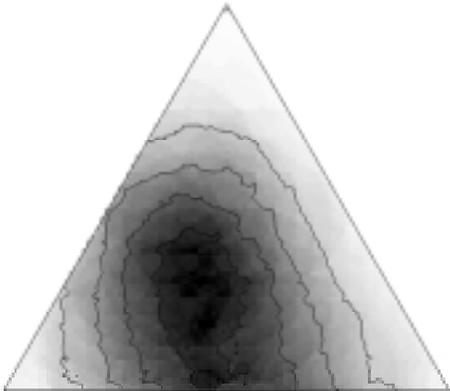
Dans le triangle des structures, on a 100% de perches est en bas à droite, 100% de moyen fûts en bas à gauche et 100% de gros fûts en haut au centre (voir Doyon et Nolet 2006 pour les détails)



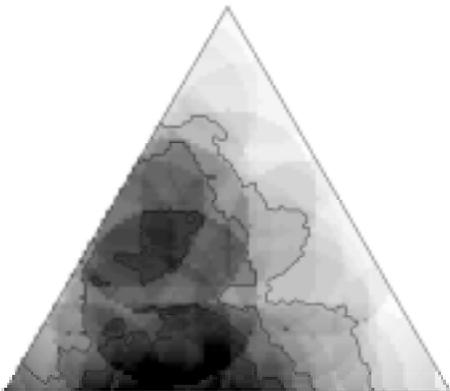
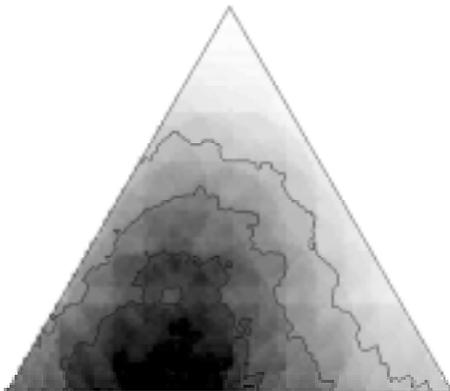
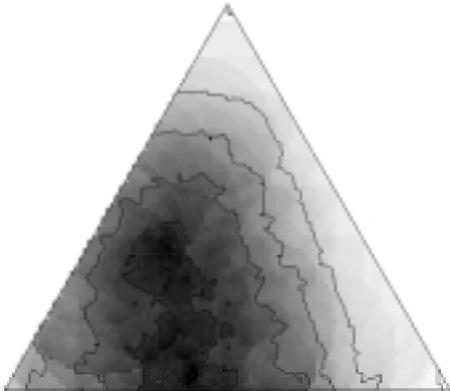
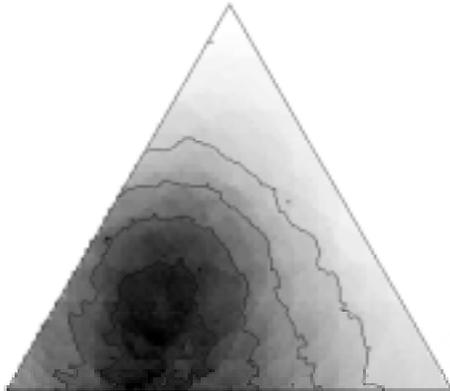
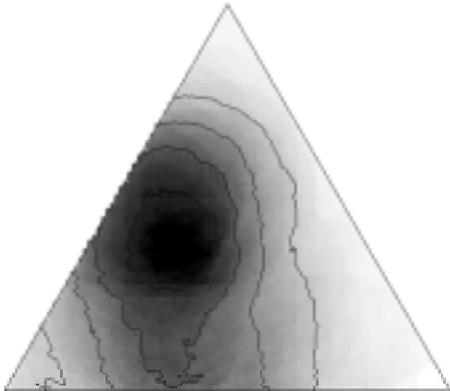
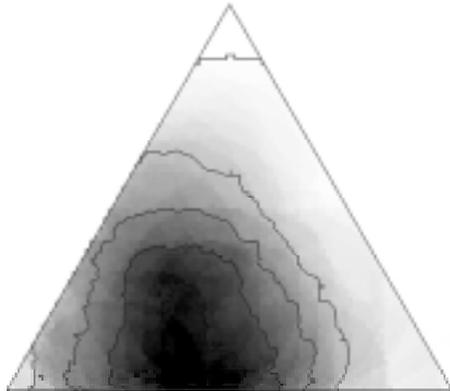
		<b>BOP</b>	
Classe de st (m <sup>2</sup> /ha)	<u>Avant coupe</u>	<u>Après coupe</u>	
8-17			
17-23			
23-32			

		CHR	
Classe de st (m <sup>2</sup> /ha)	<u>Avant coupe</u>	<u>Après coupe</u>	
8-17			
17-23			
23-32			

	ER	
Classe de st (m <sup>2</sup> /ha)	<u>Avant coupe</u>	<u>Après coupe</u>
8-17		
17-23		
23-32		

		ERFPT	
Classe de st (m <sup>2</sup> /ha)	<u>Avant coupe</u>	<u>Après coupe</u>	
8-17			
17-23			
23-32			

		<b>FIER</b>	
Classe de st (m <sup>2</sup> /ha)	<u>Avant coupe</u>	<u>Après coupe</u>	
8-17			
17-23			
23-32			

		<b>HEG</b>	
Classe de st (m <sup>2</sup> /ha)	<u>Avant coupe</u>	<u>Après coupe</u>	
8-17			
17-23			
23-32			

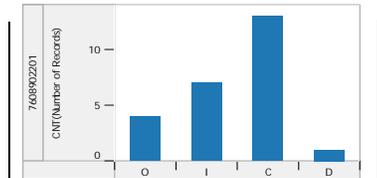
## Annexe 2. Règle d'attribution des types structuraux en hauteur.

Nombre de classes dominantes		Règles	Représentation graphique
1	Une classe dominante	Une classe est au moins trois fois plus abondante que la classe la plus abondante parmi les trois autres	
2	deux classes dominantes	Chacune des deux classes les plus abondantes est au moins trois fois plus abondante que la classe plus grande parmi les deux autres	
2_1		La différence de fréquence entre les deux classes les plus fréquentes est d'au plus 20 %	
2_2		La différence de fréquence entre les deux classes les plus fréquentes est d'au moins 20 %; ces classes sont I et C. Structure croissante	
2_2A		La différence de fréquence entre les deux classes les plus fréquentes est d'au moins 20 %; ces classes sont I et C. Structure décroissante	
2_3		La différence de fréquence entre les deux classes les plus fréquentes est d'au moins 20 %; ces classes sont C et D	
2_4		La différence de fréquence entre les deux classes les plus fréquentes est d'au moins 20 %; ces classes sont O et C	

3 trois classes dominantes  
Chacune des trois classes les plus fréquentes est au moins trois fois plus fréquente que la quatrième classe

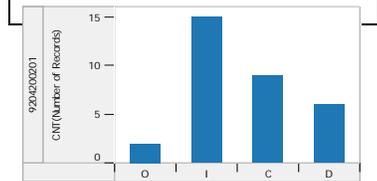
3\_1

Ces classes sont O, I et C; O est minimalement 20% moins fréquente que la classe I; I est minimalement 20% moins fréquente que la classe C



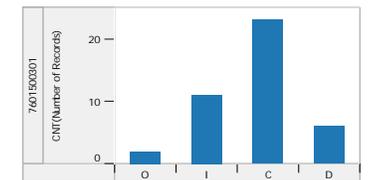
3\_2

Ces classes sont I, C, D; D est minimalement 20% moins fréquente que la classe C; C est minimalement 20% moins fréquente que la classe I



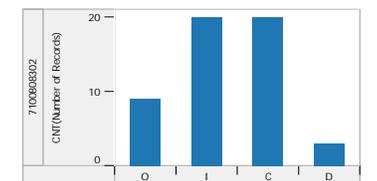
3\_3

La classe du centre (I ou C) est au moins 20% plus fréquente que les autres classes considérées



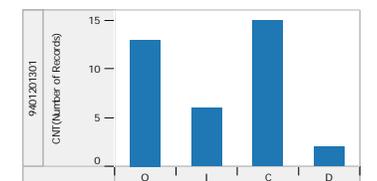
3\_4

La différence de fréquence entre les trois classes est d'au plus 20% ou deux classes adjacentes ont une différence de fréquence d'au plus 20%



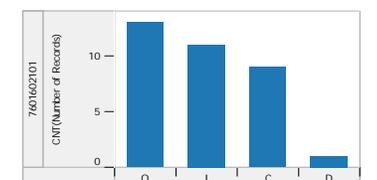
3\_5

La classe du centre (I ou C) est au minimalement 20% moins fréquente que les autres classes considérées



3\_6

Ces classes sont O, I, C; O est minimalement 20% moins fréquente que la classe I; I est minimalement 20% moins fréquente que la classe C

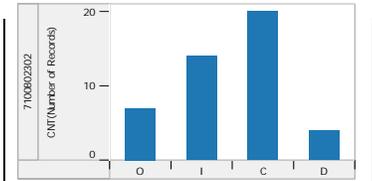


4 quatre classes dominantes

Aucune classe n'est plus de trois fois moins fréquente que les autres classes

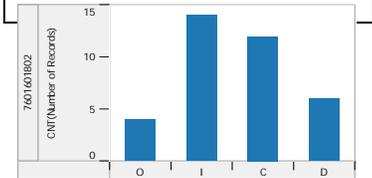
4\_1

La classe O est minimalment 20% moins fréquente que la classe I; les classes I et D sont au moins 20% moins fréquentes que la classe C



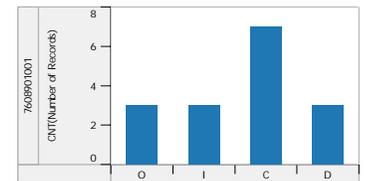
4\_2

Les classes O et C sont minimalment 20 % moins fréquentes que la classe I; la classe D est minimalment 20% moins fréquente que la classe C



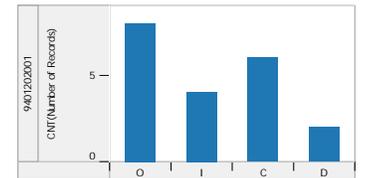
4\_3

La classe C est au moins 40% plus fréquente que les autres classes



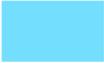
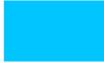
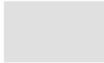
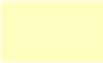
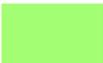
4\_4

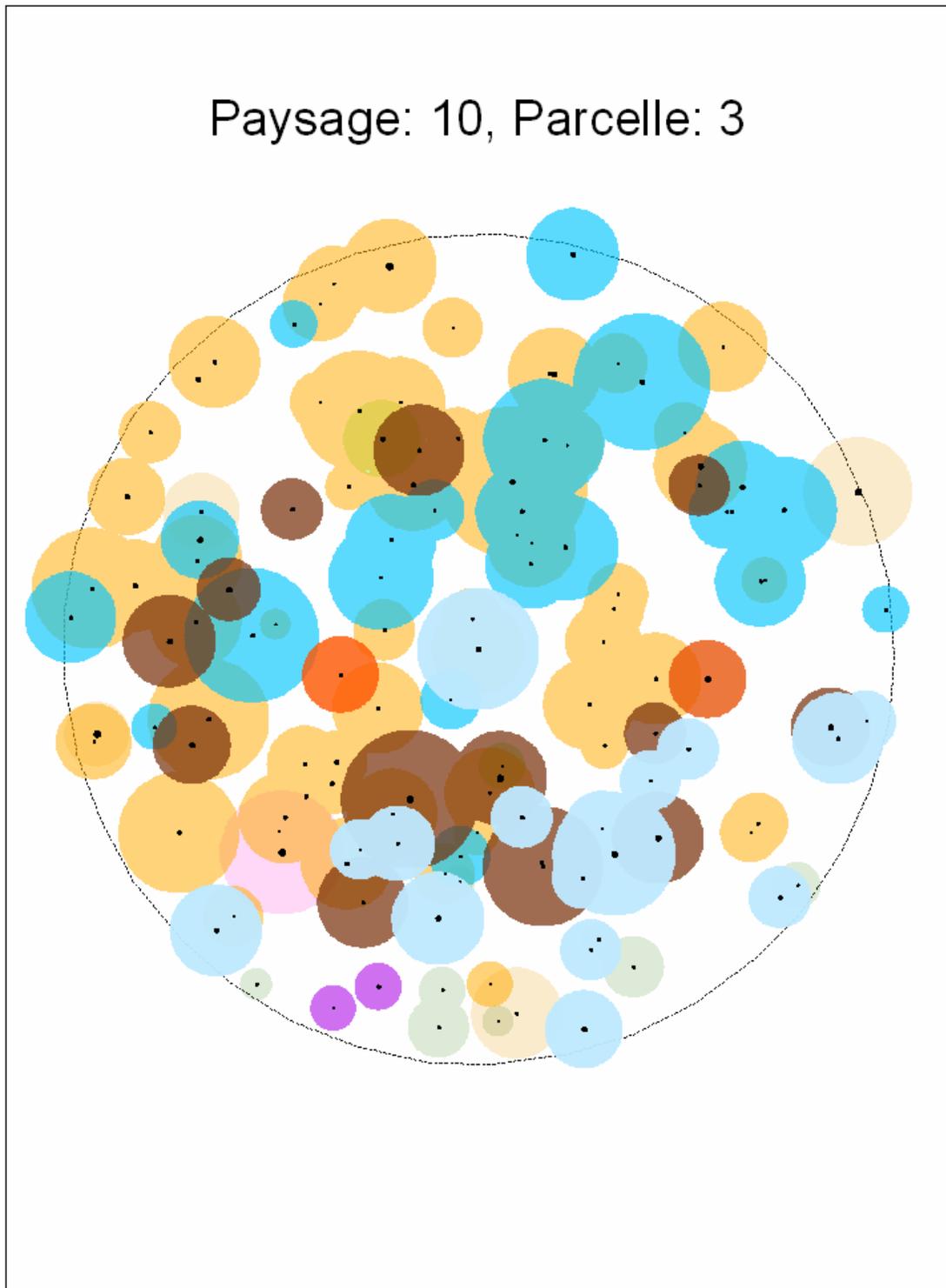
La classe O est la plus fréquente et la classe D, la moins fréquente

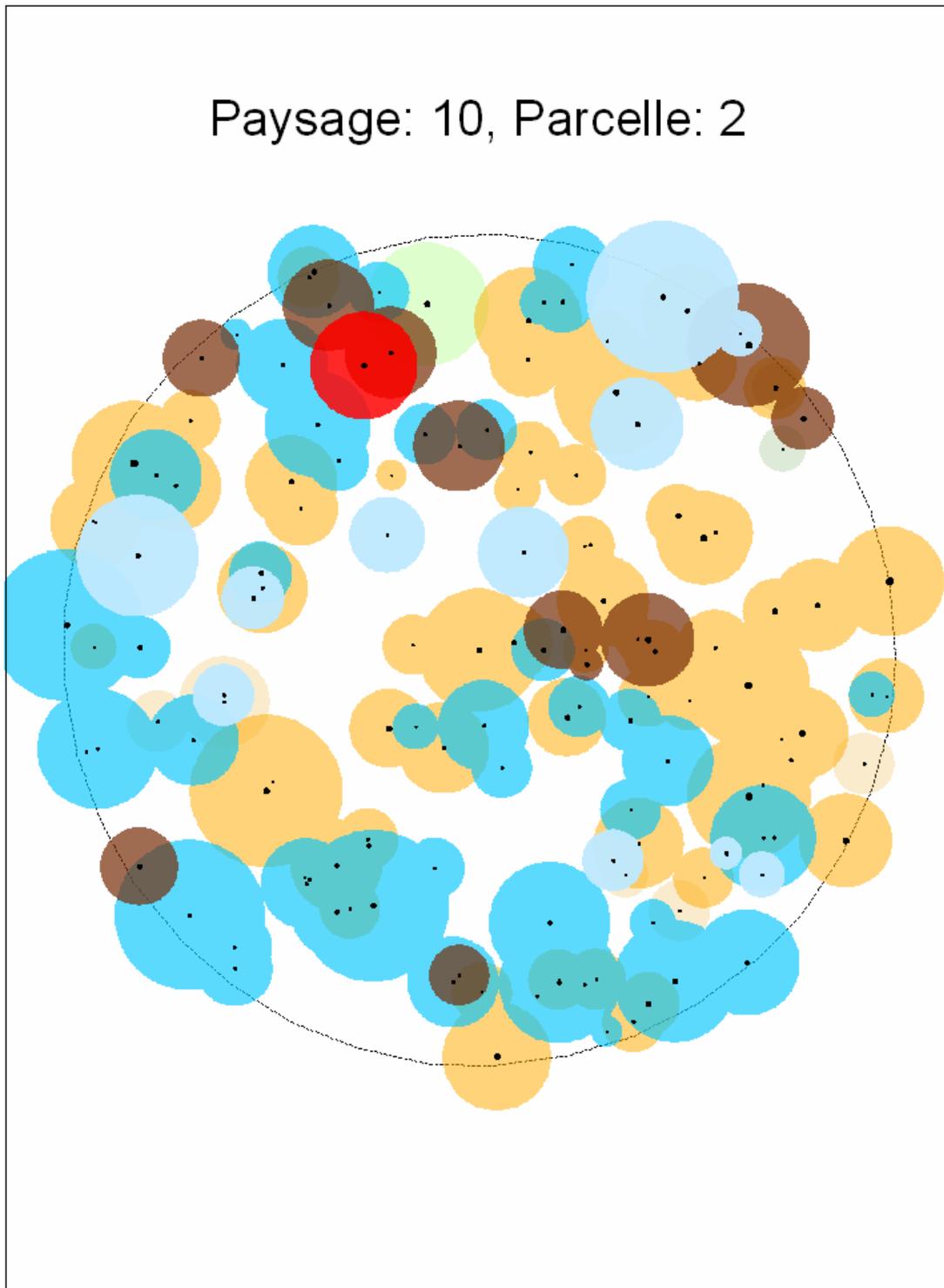


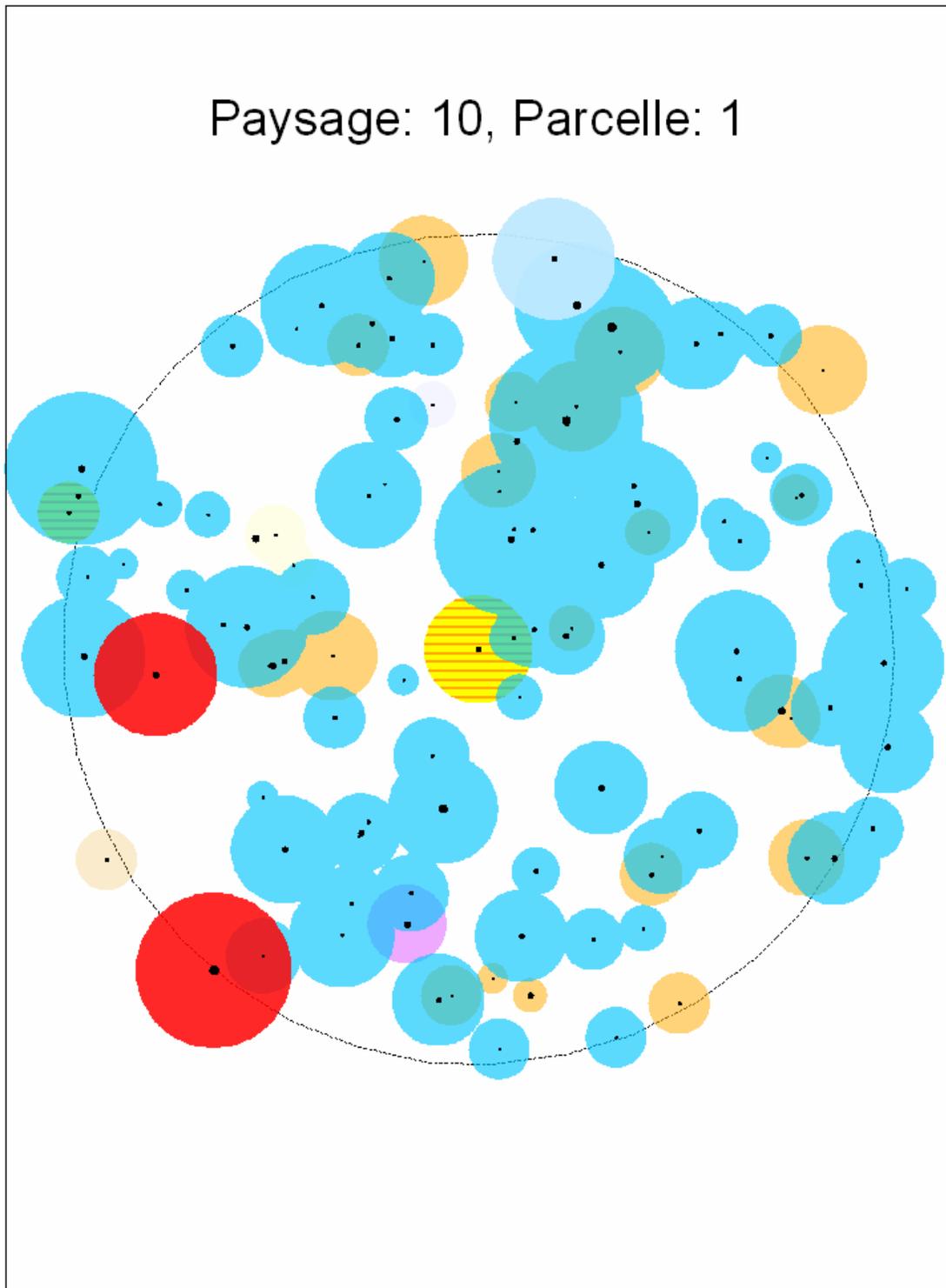
Annexe 3. Cartographie des arbres dans les 33 parcelles de ¼ ha. Les couleurs représentent des espèces différentes.

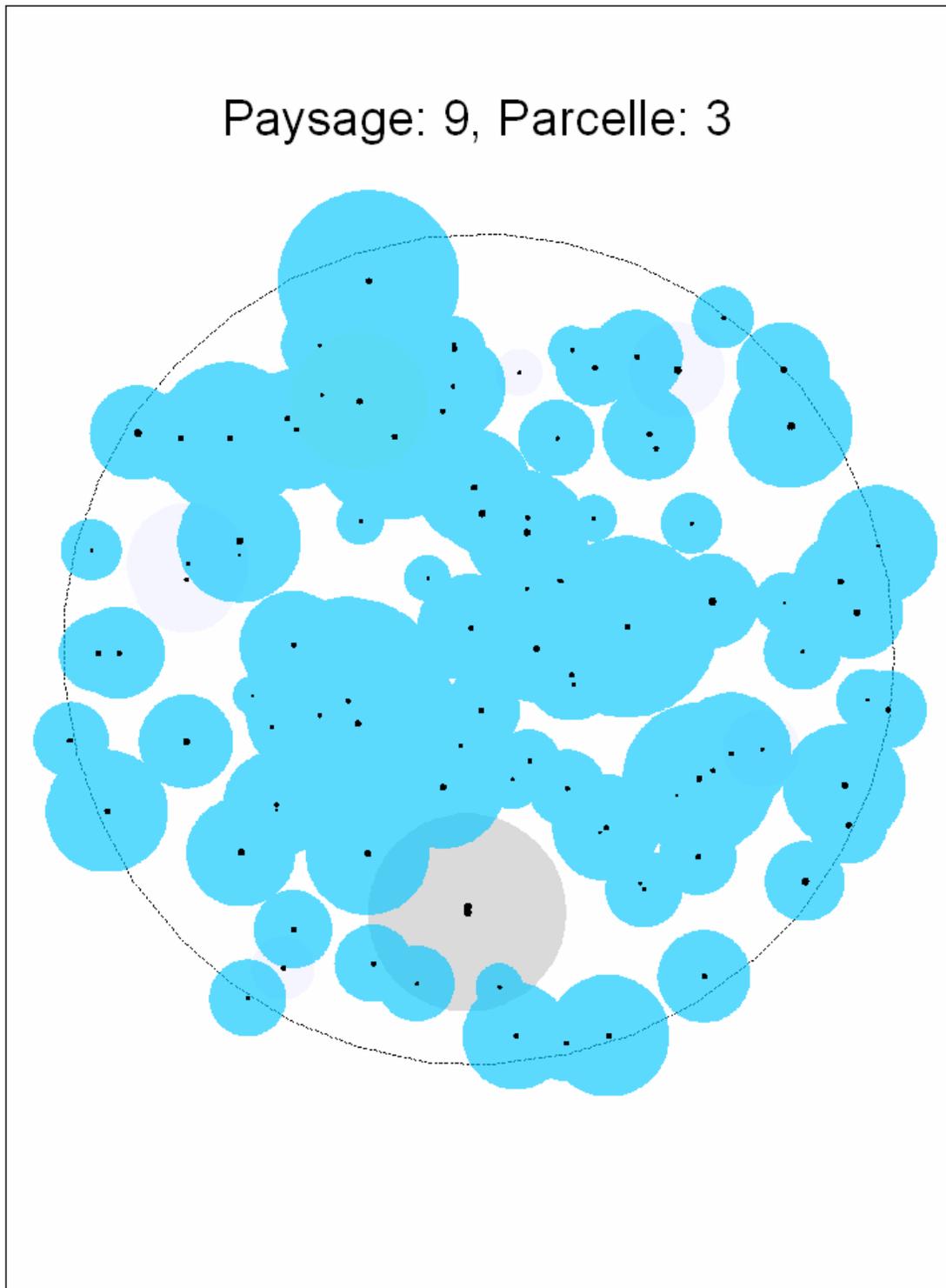
## liste des essences

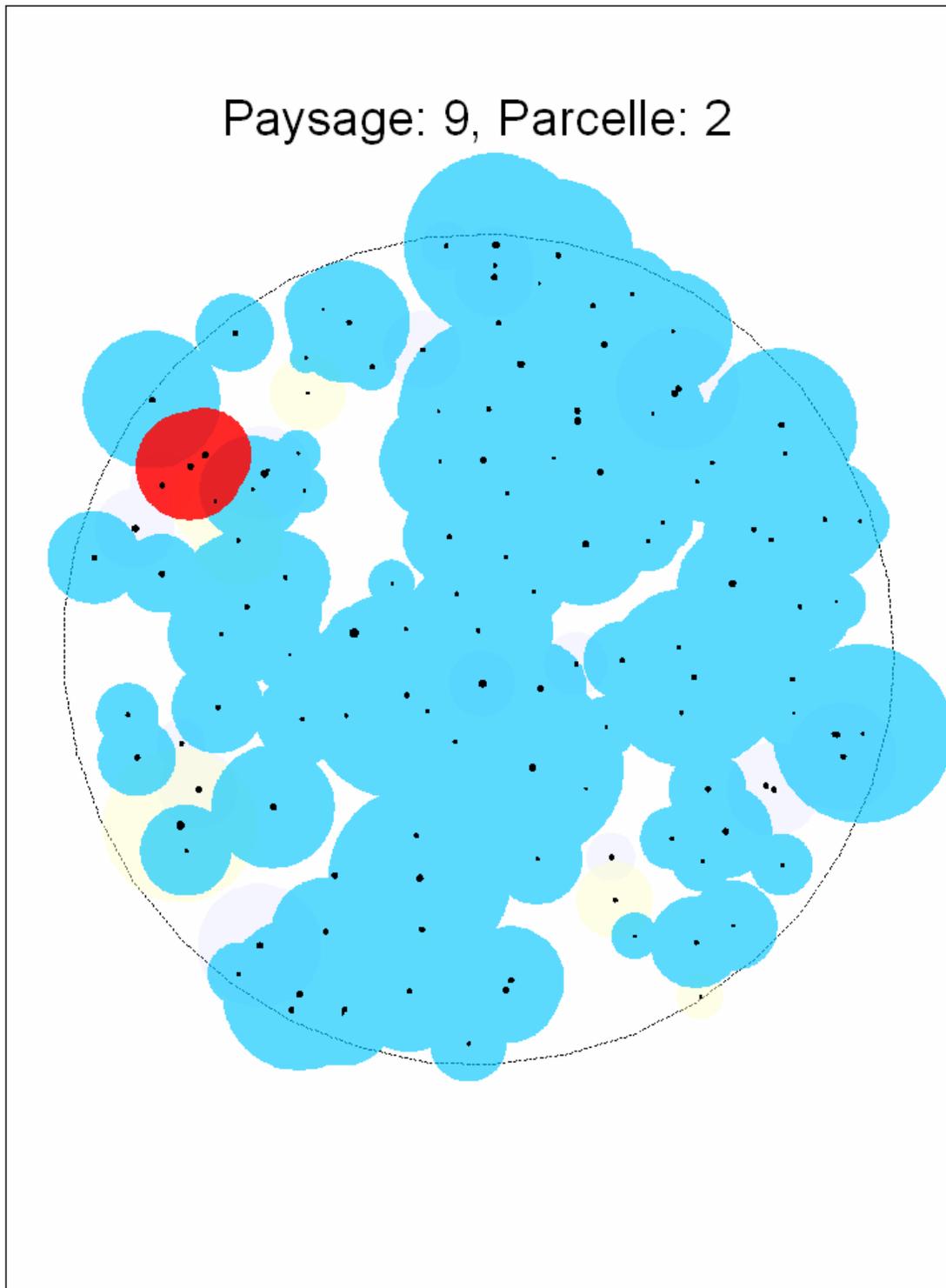
 BOJ	 ERP	 NOC	 PRP
 BOP	 ERR	 ORA	 PRU
 CET	 ERS	 OSV	 SAB
 CHR	 FRA	 PEG	 THO
 EPB	 FRN	 PET	 TIL
 EPR	 HEG	 PIB	 null

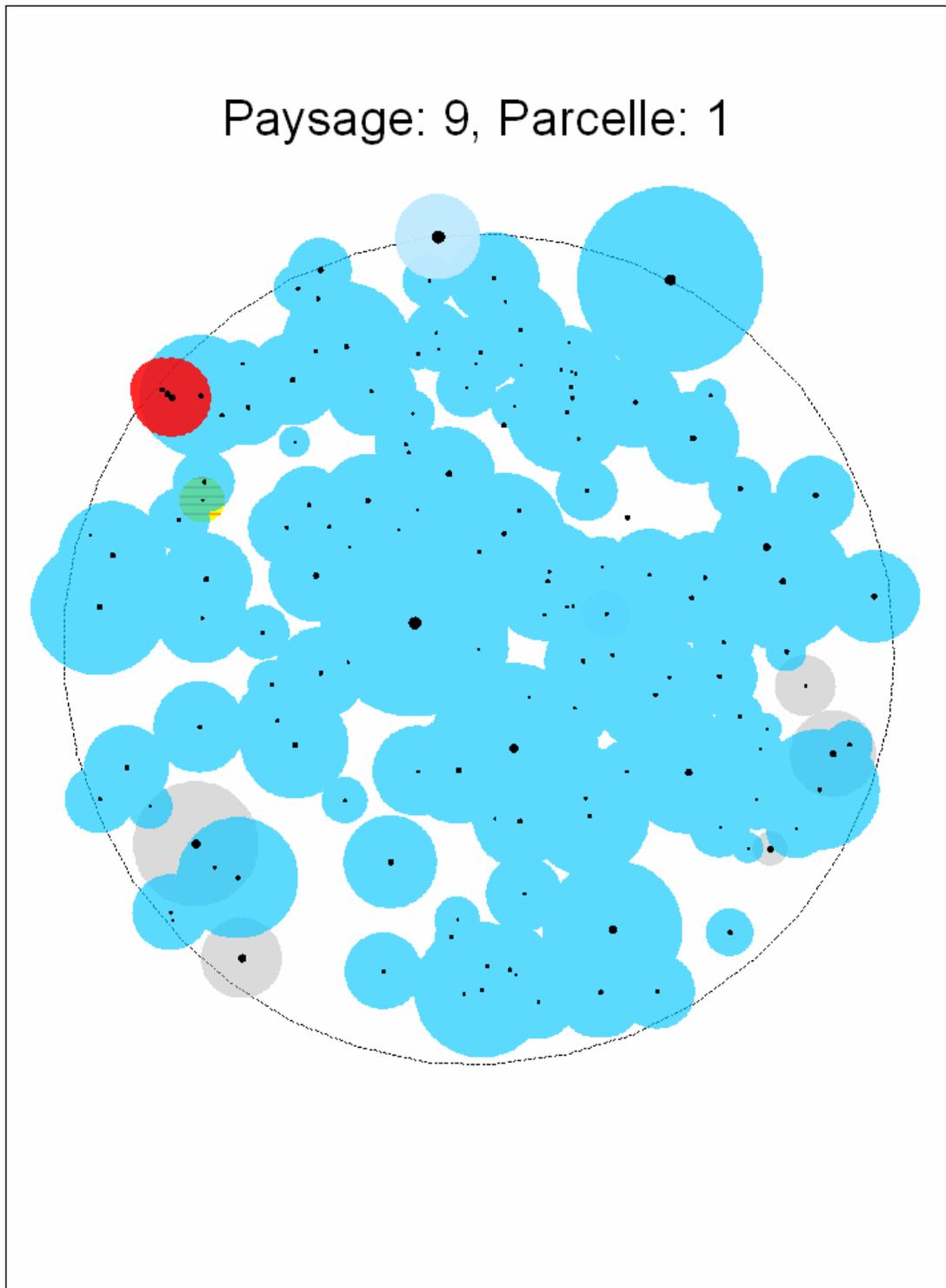


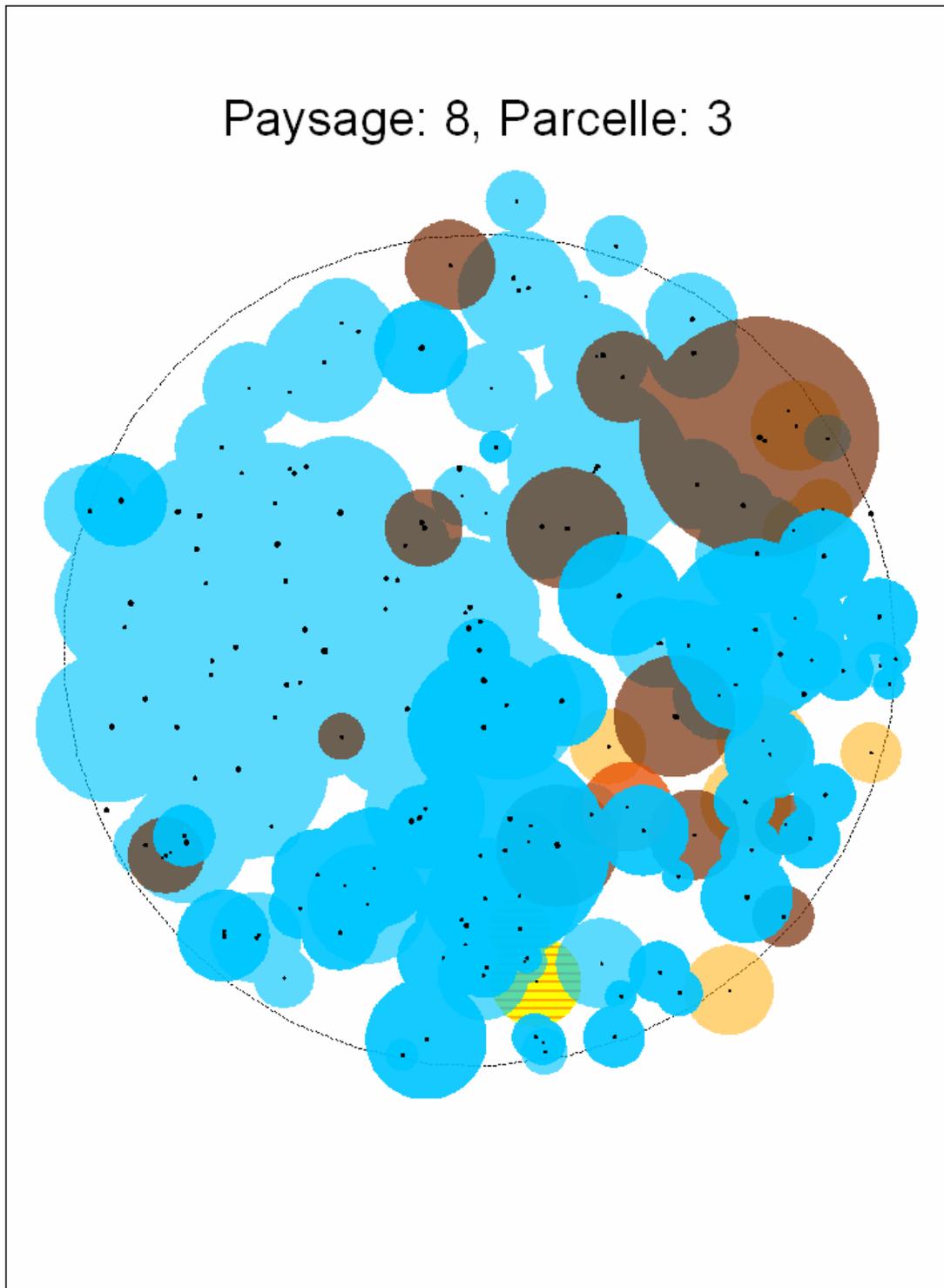


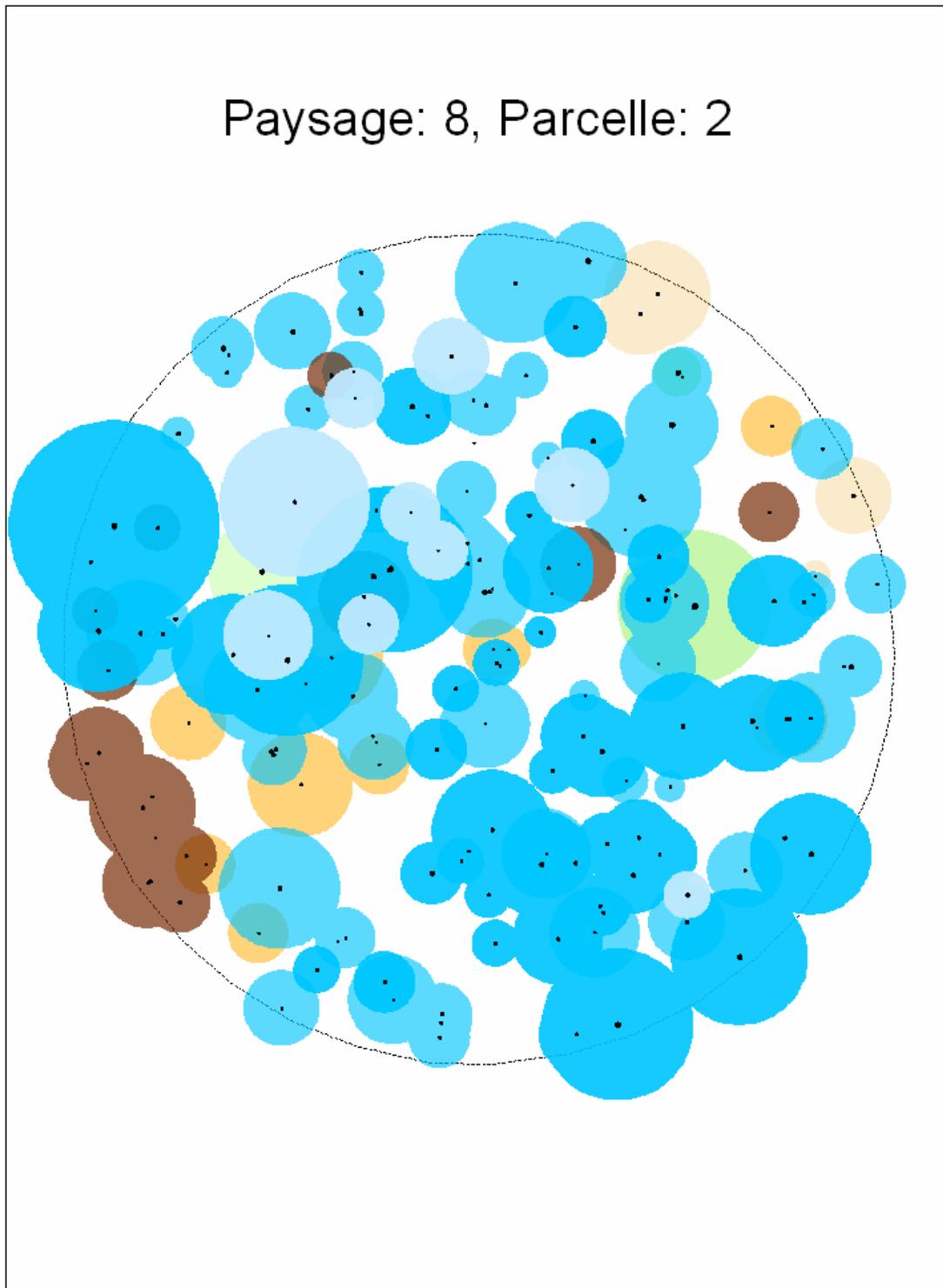


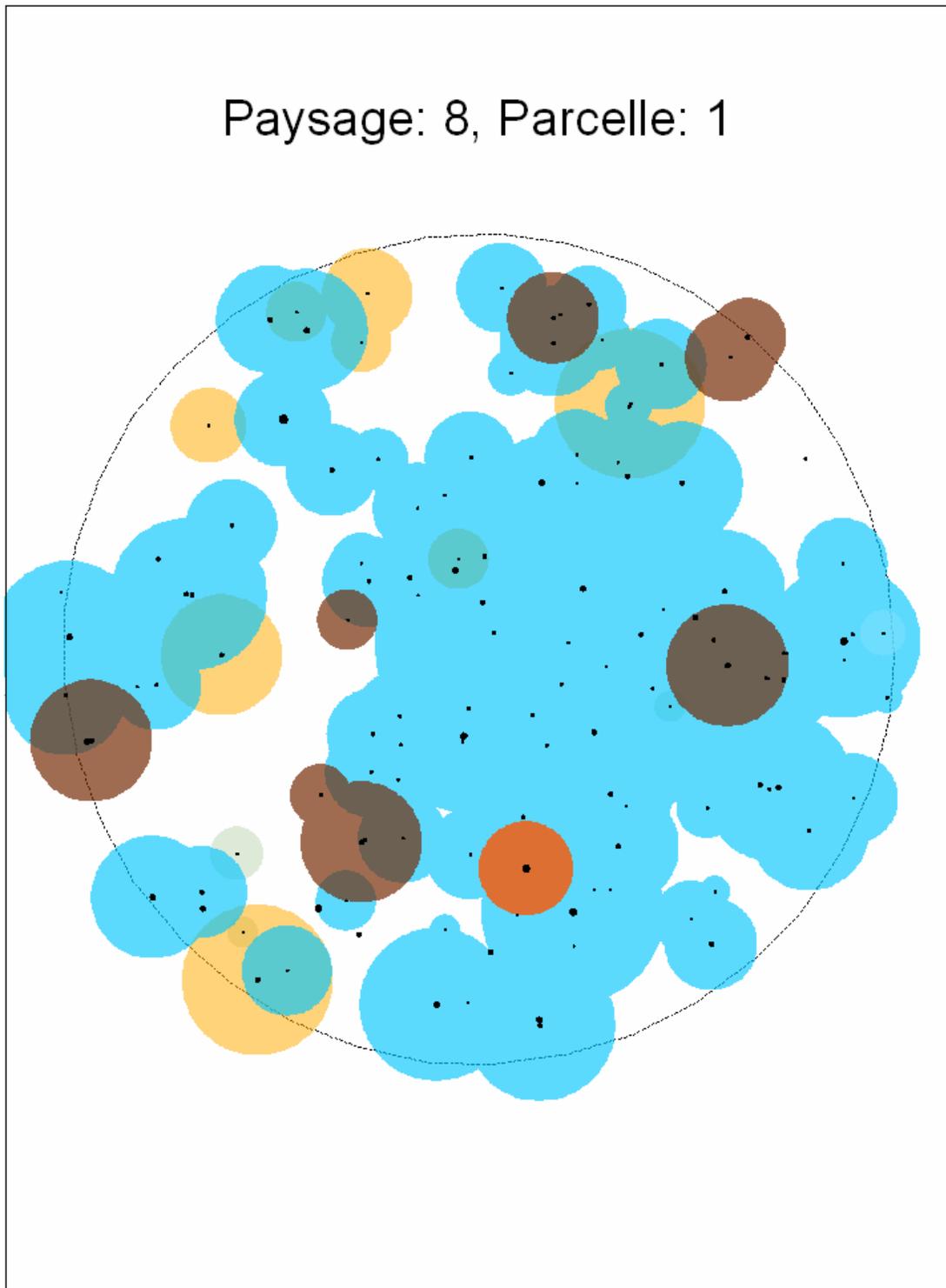




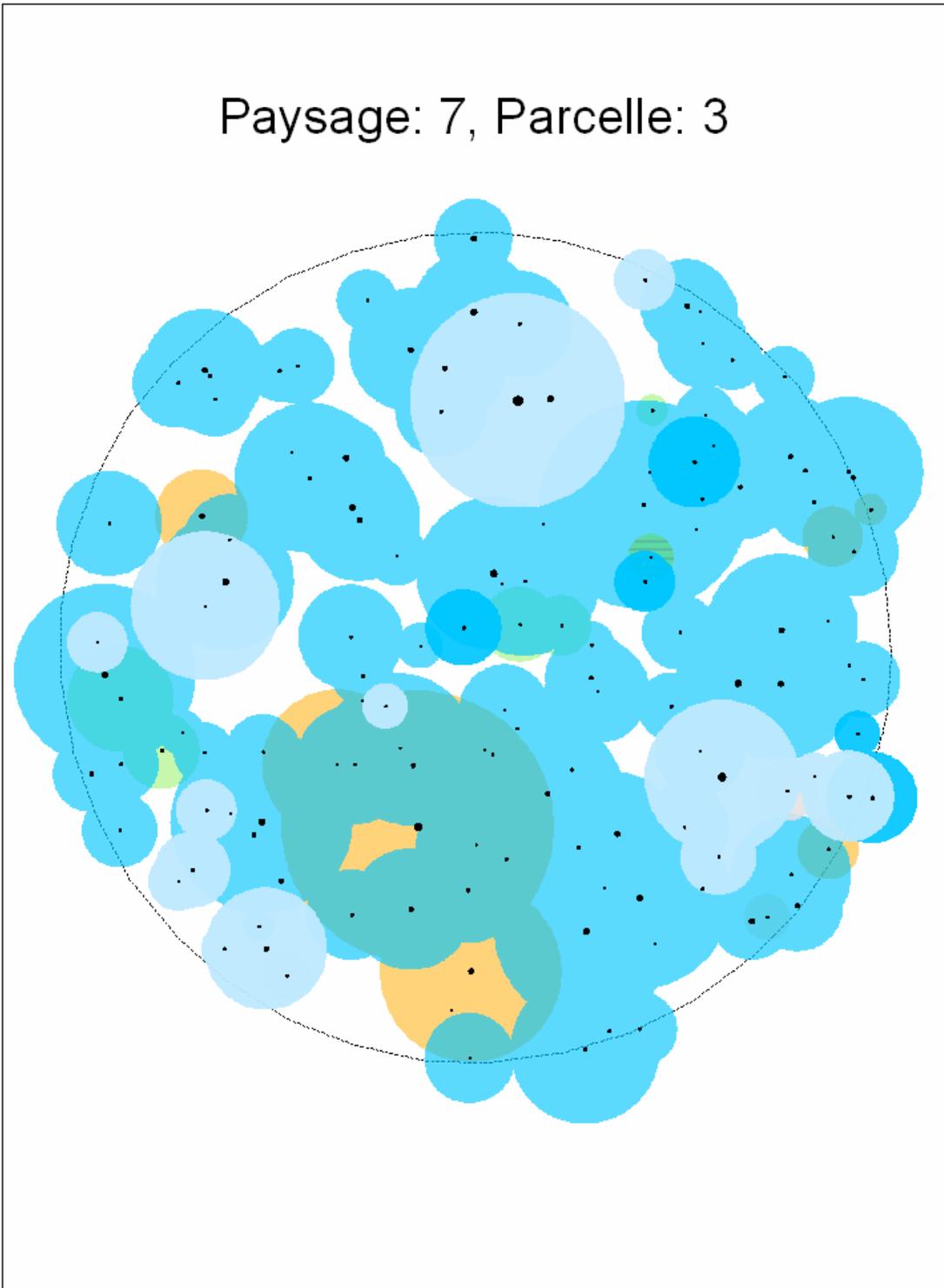




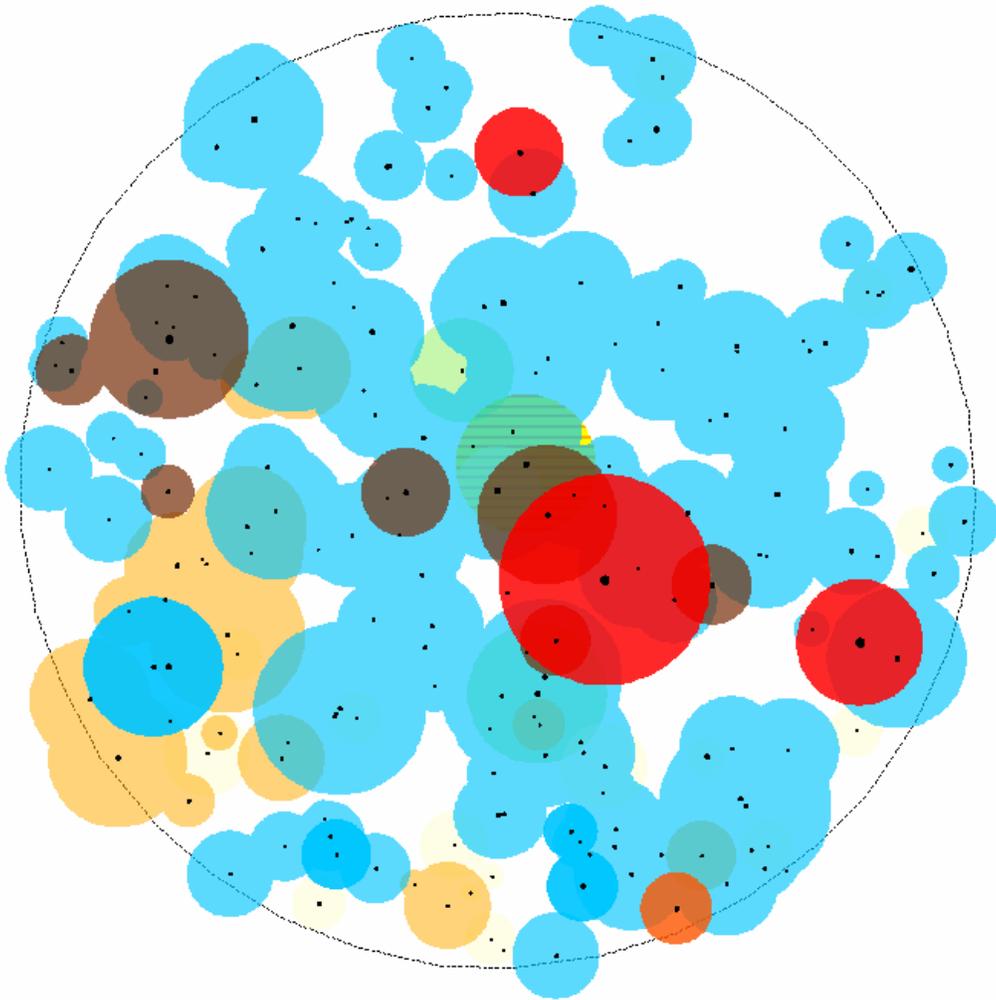


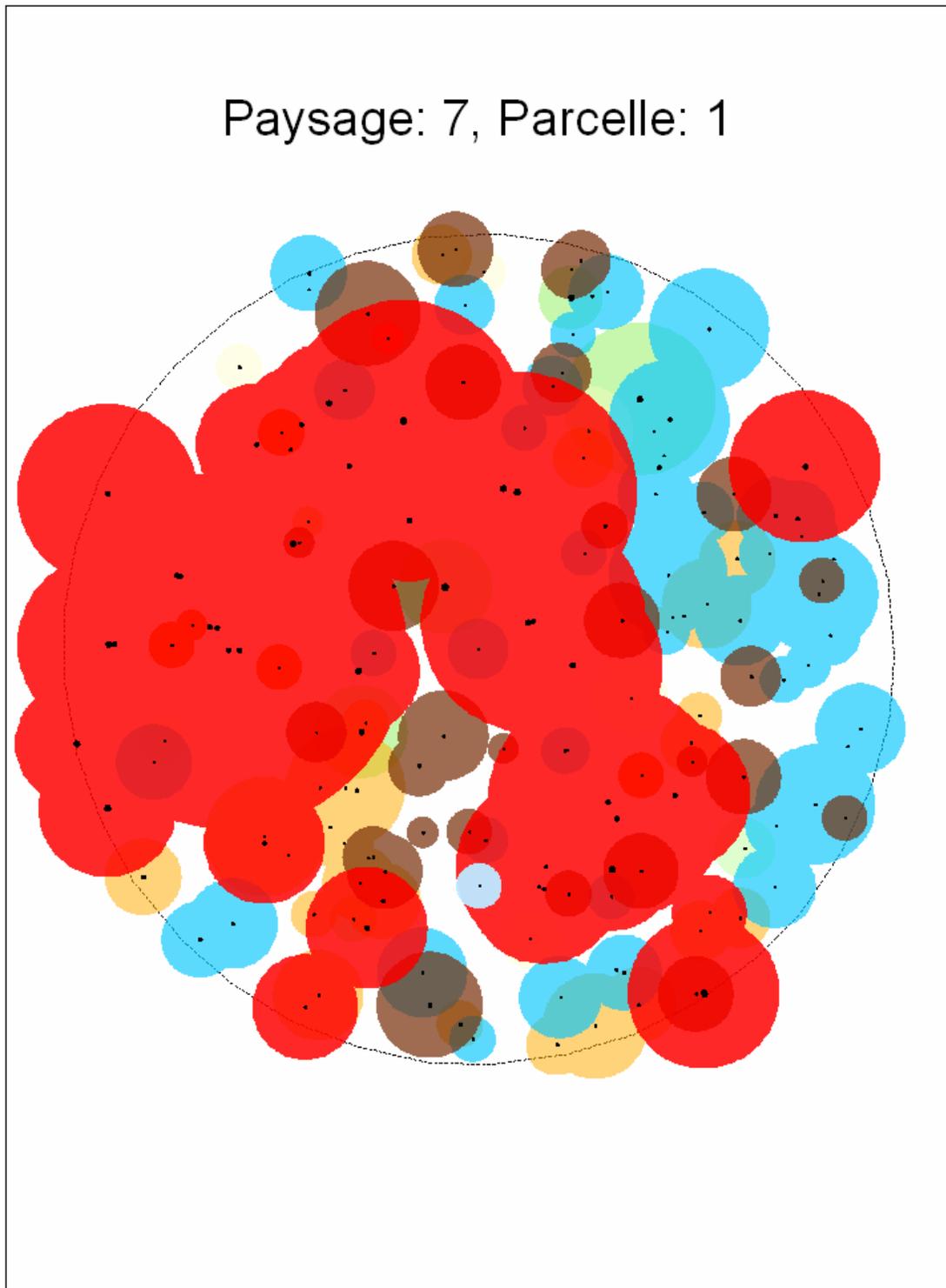


# Paysage: 7, Parcelle: 3

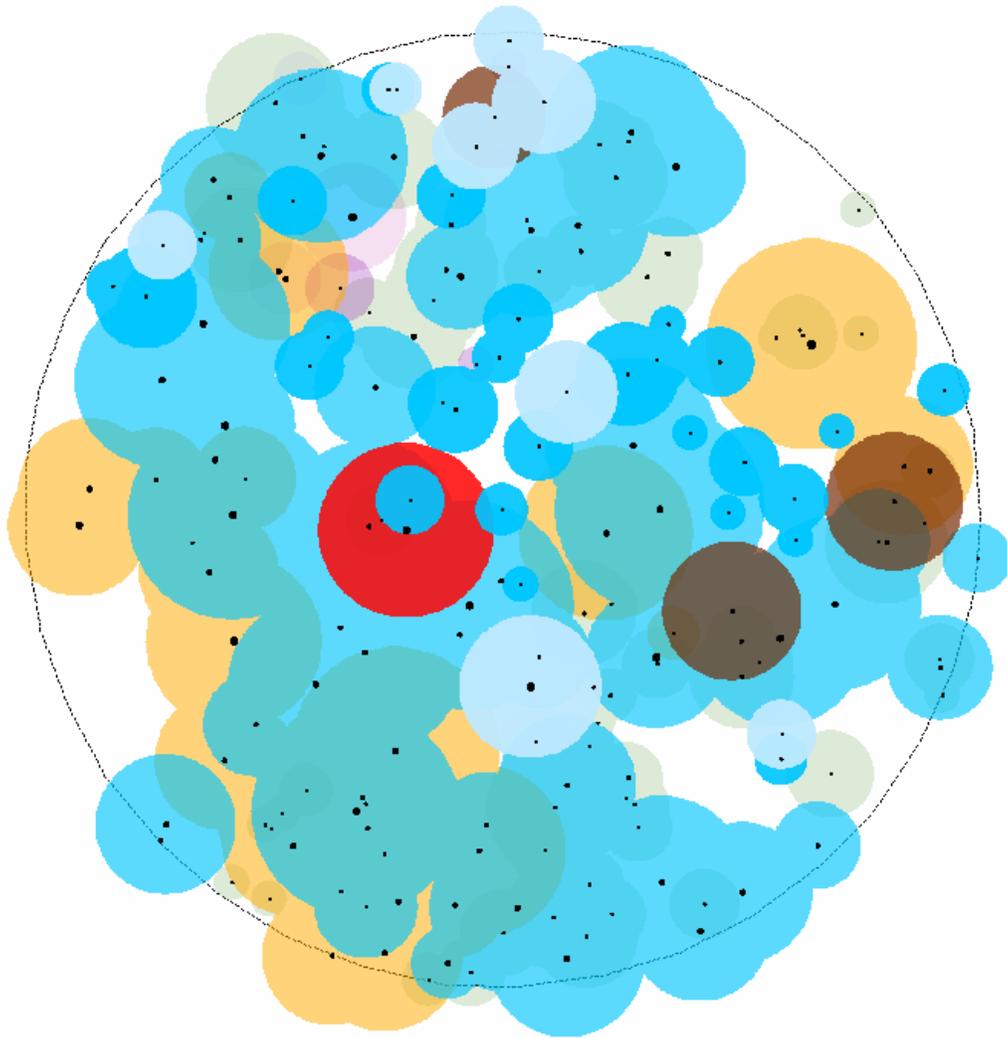


## Paysage: 7, Parcelle: 2

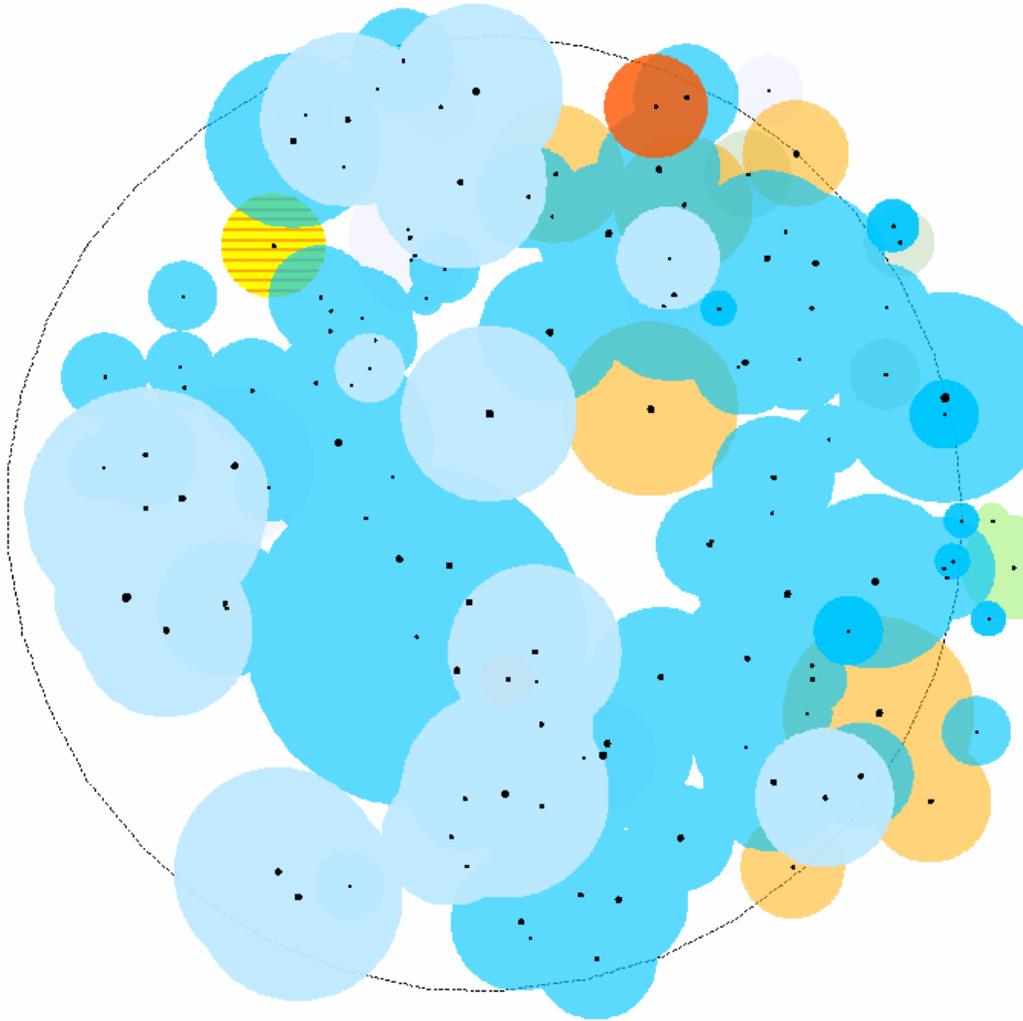


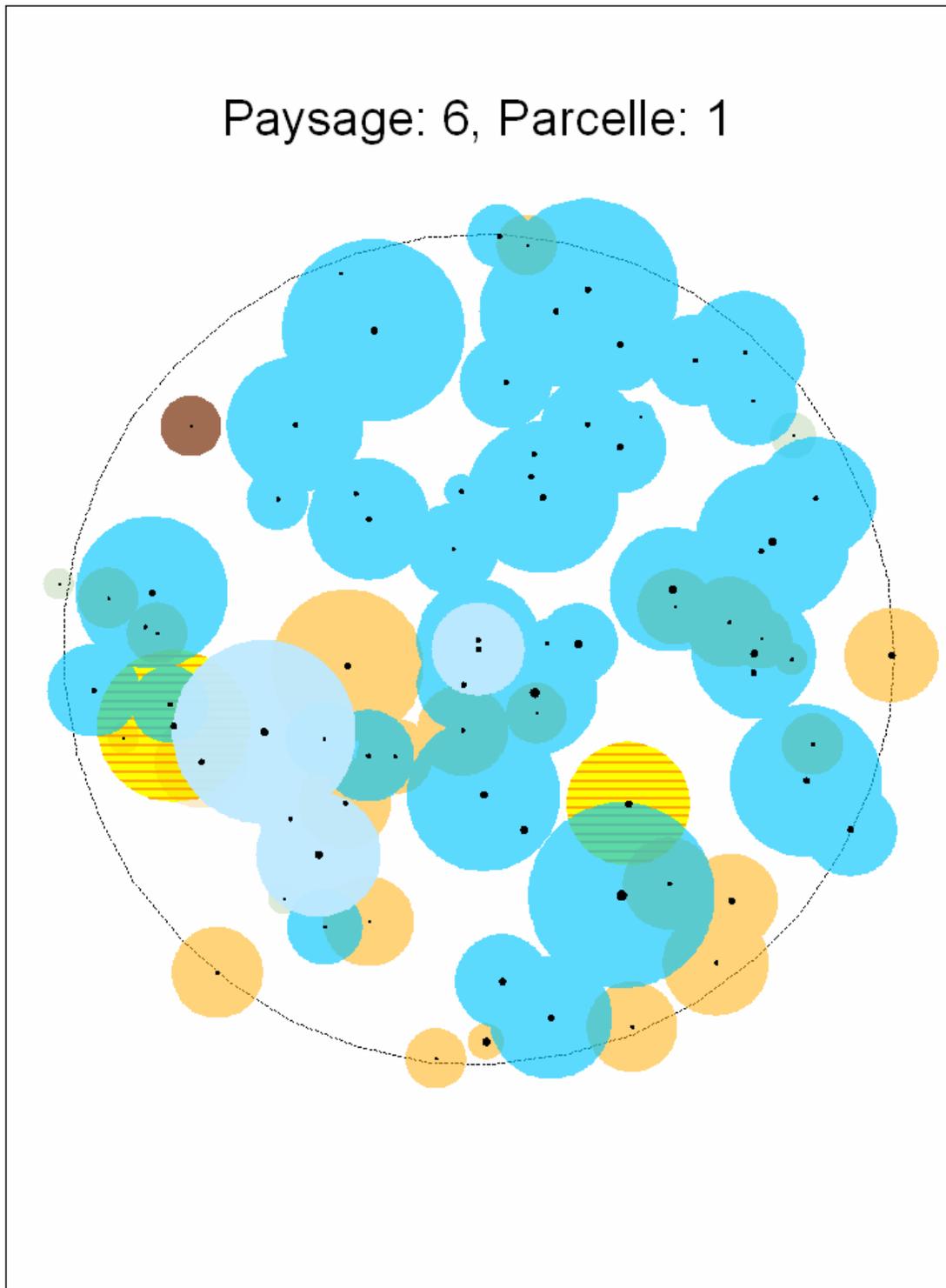


Paysage: 6, Parcelle: 3

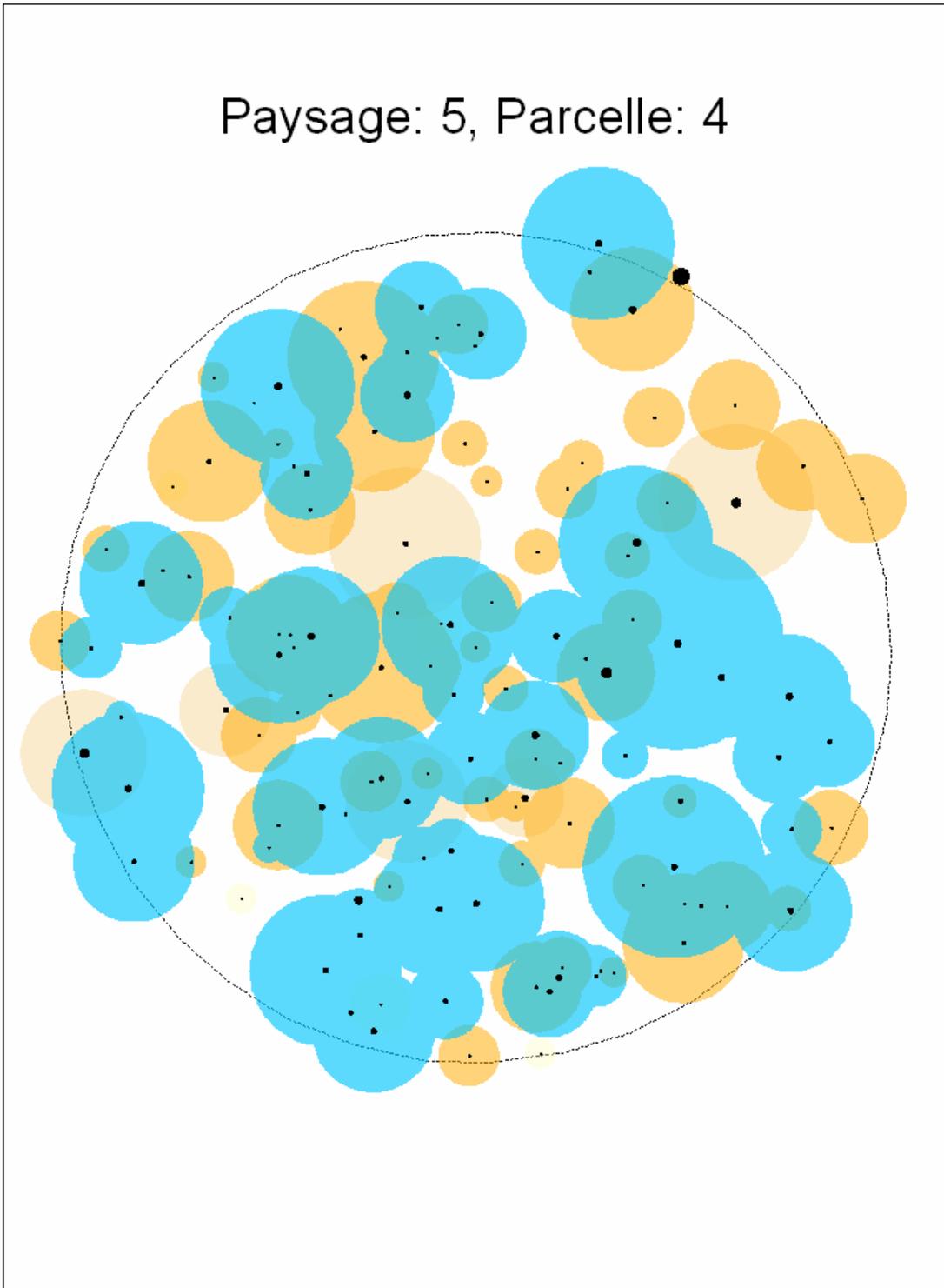


Paysage: 6, Parcelle: 2

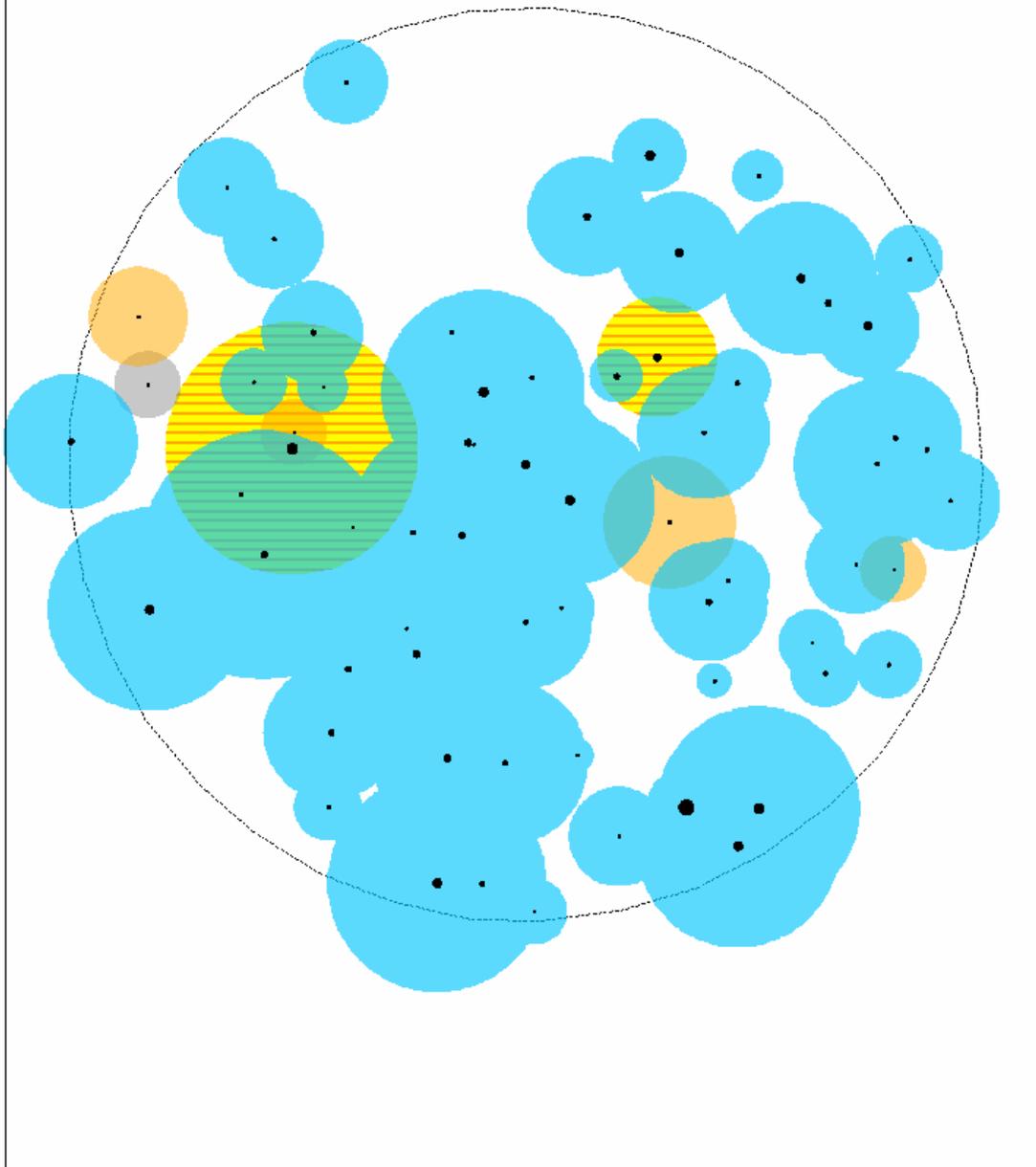


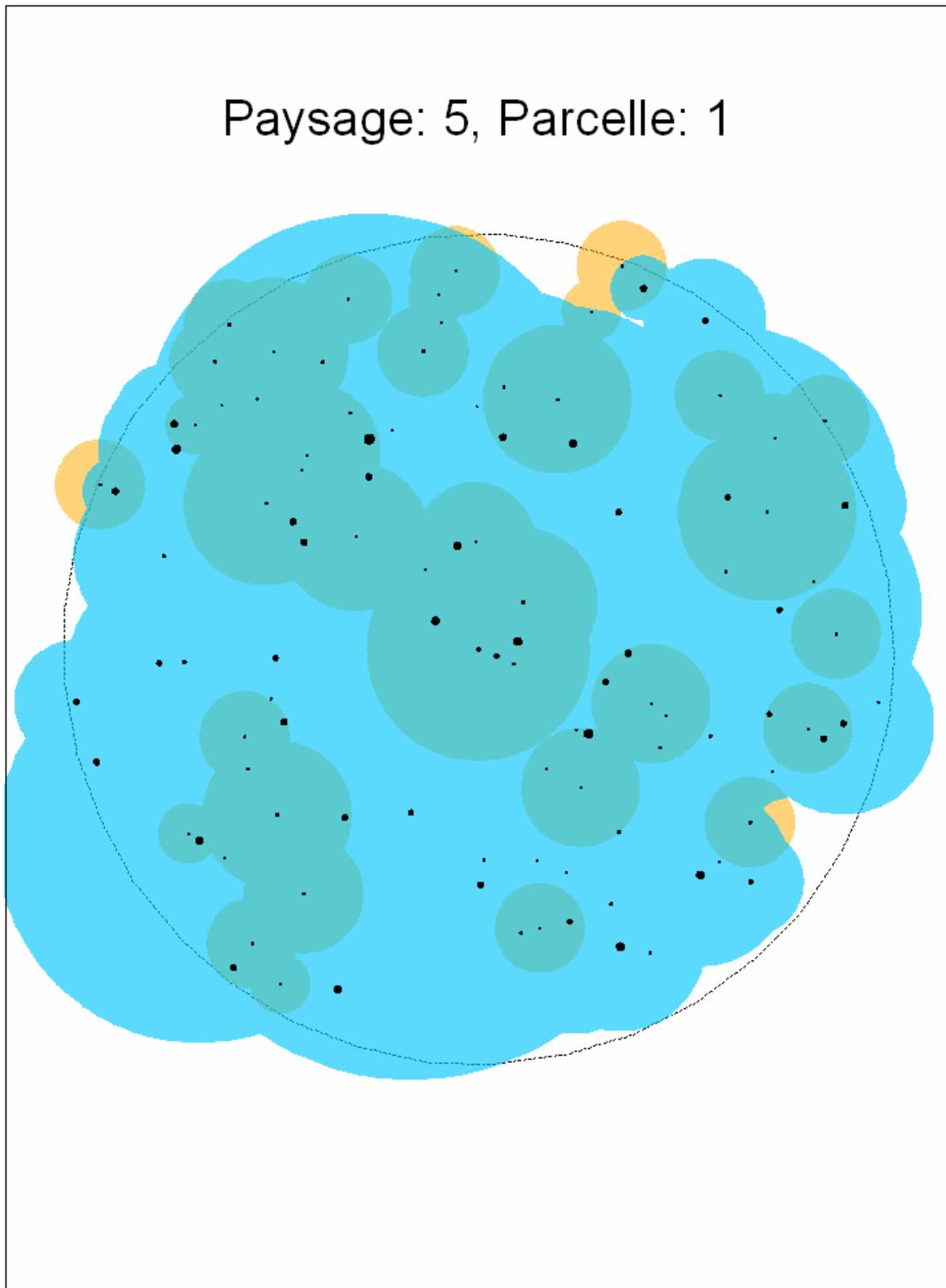


Paysage: 5, Parcelle: 4

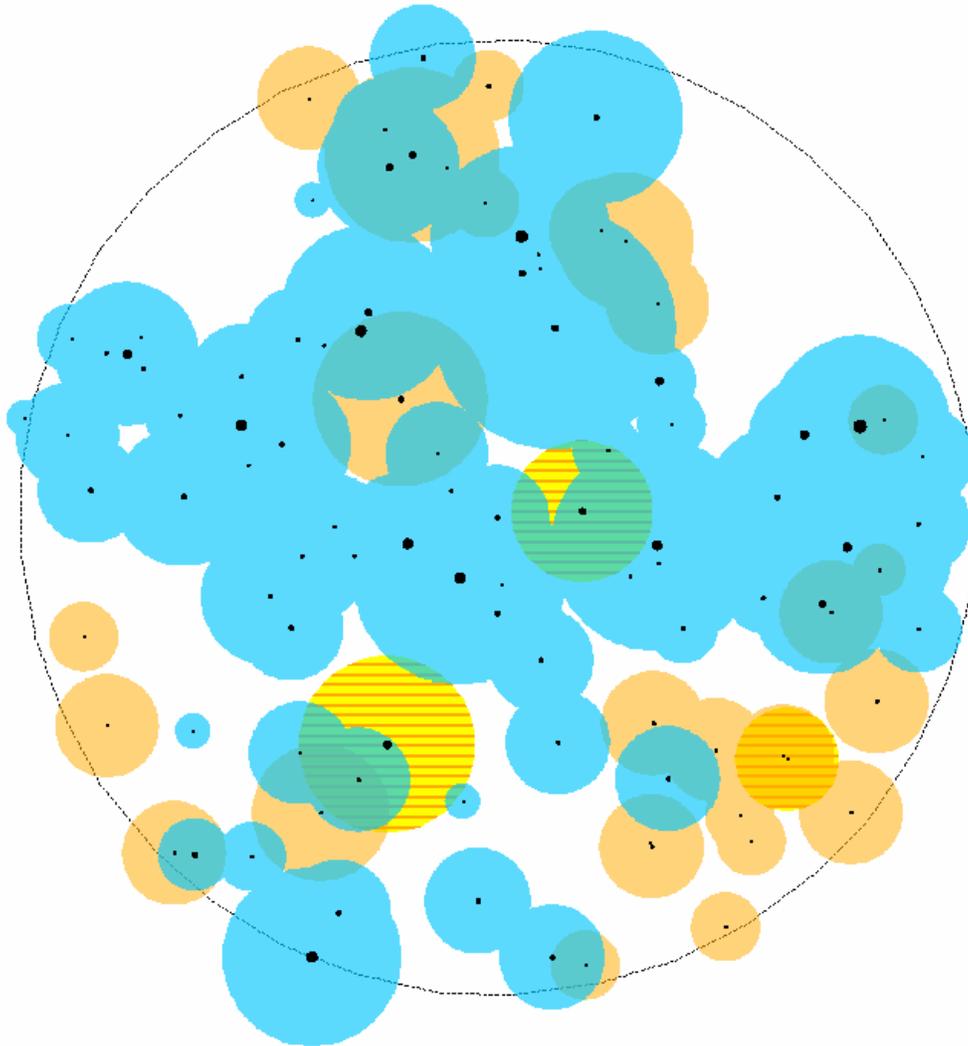


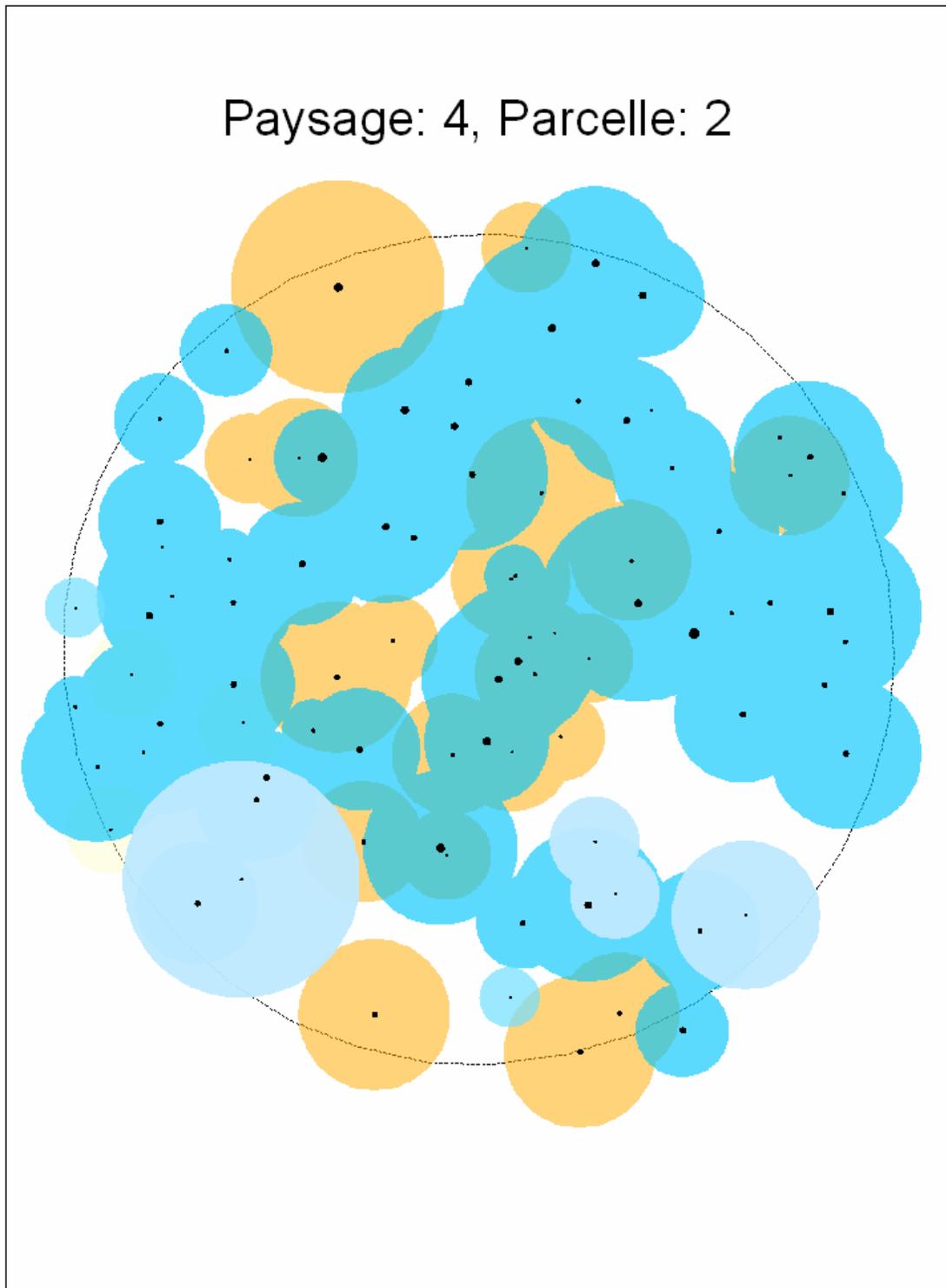
Paysage: 5, Parcelle: 2



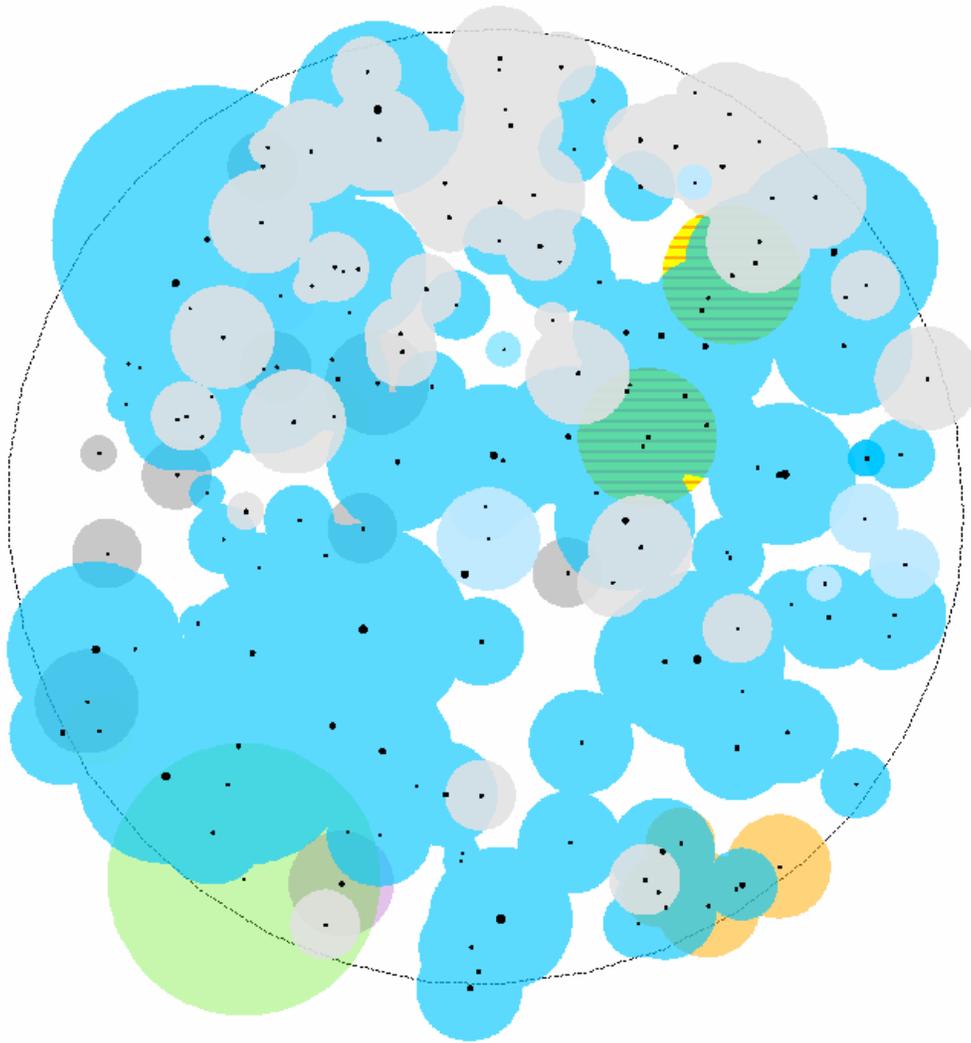


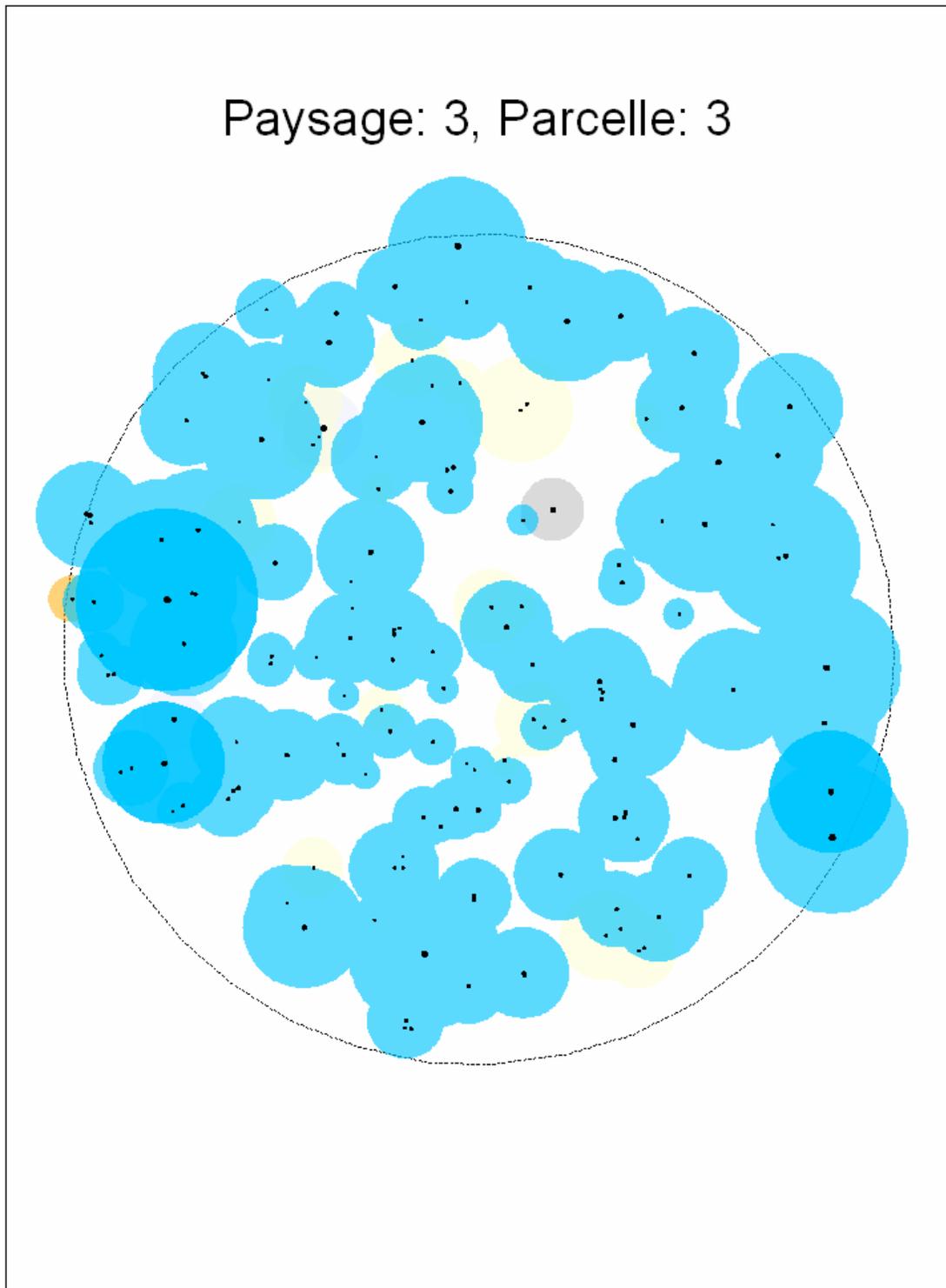
## Paysage: 4, Parcelle: 3

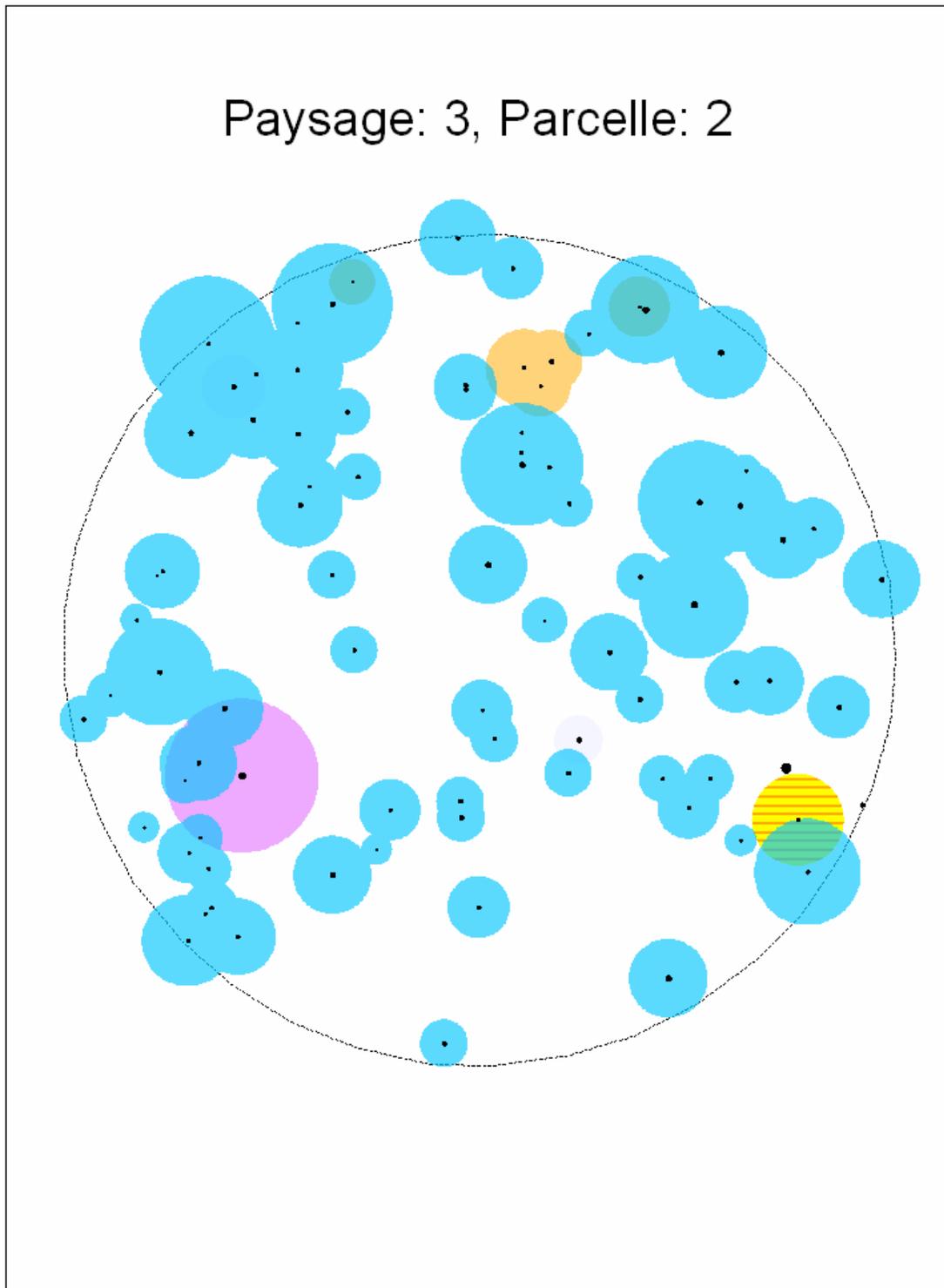


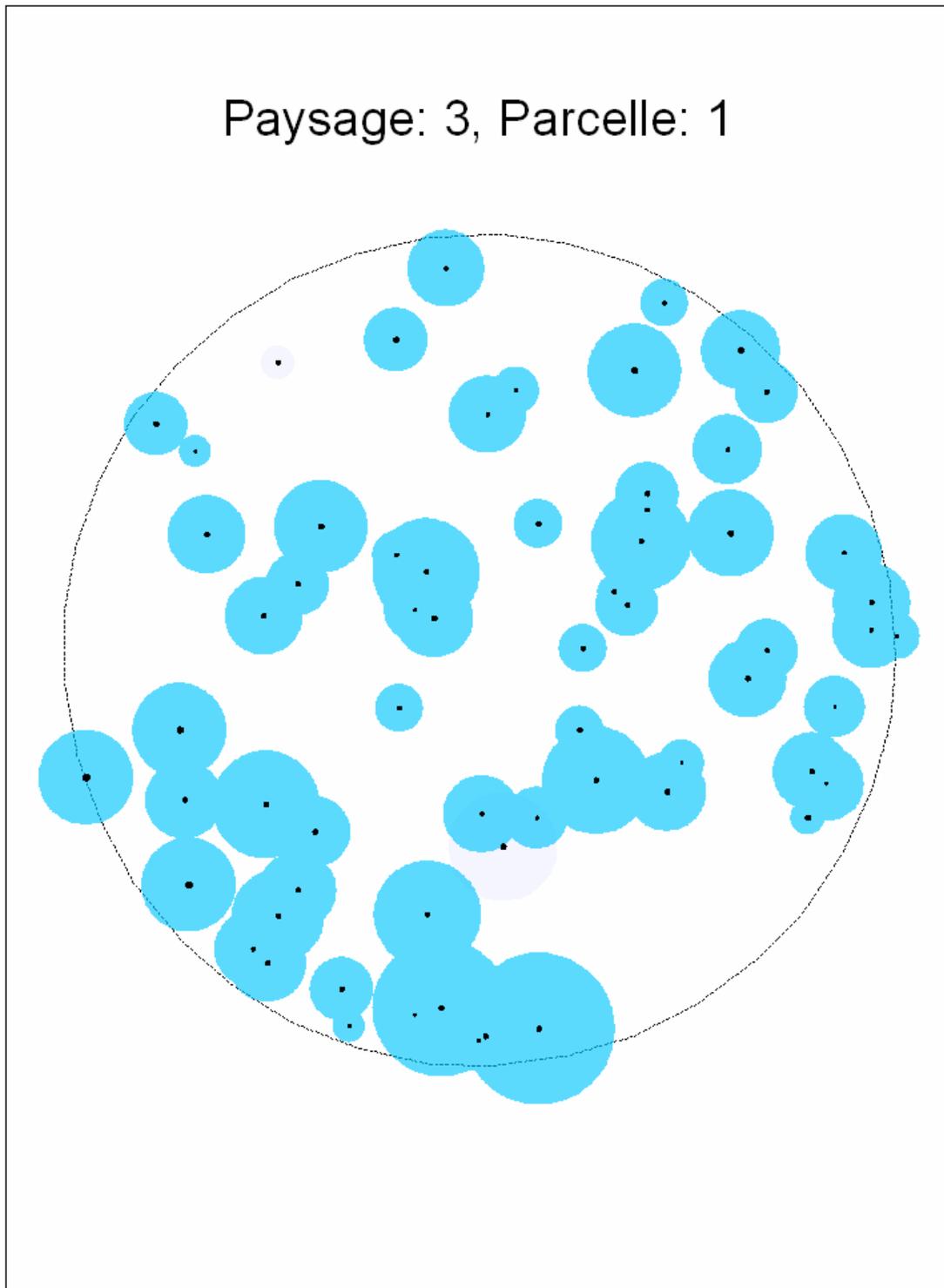


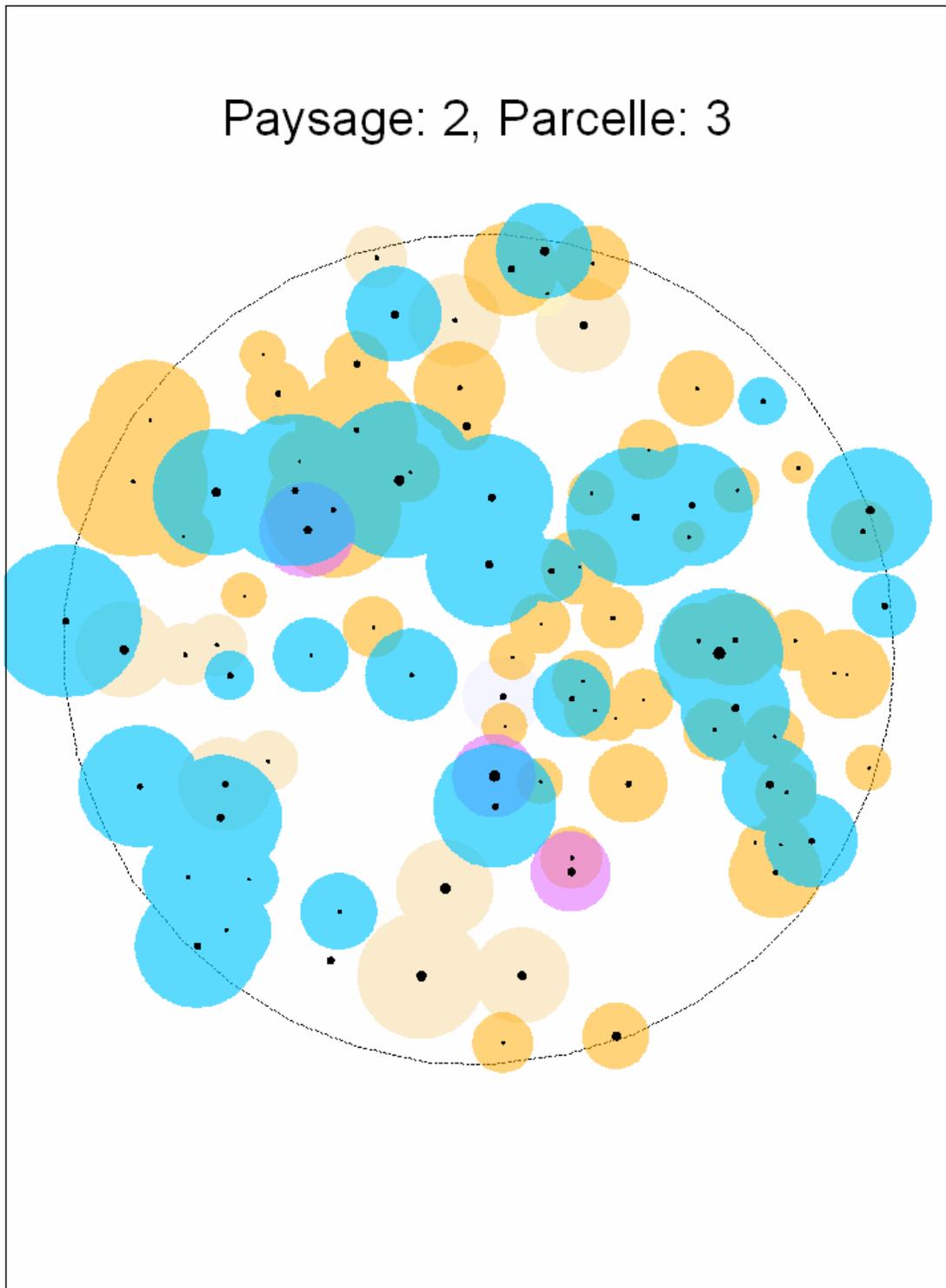
## Paysage: 4, Parcelle: 1

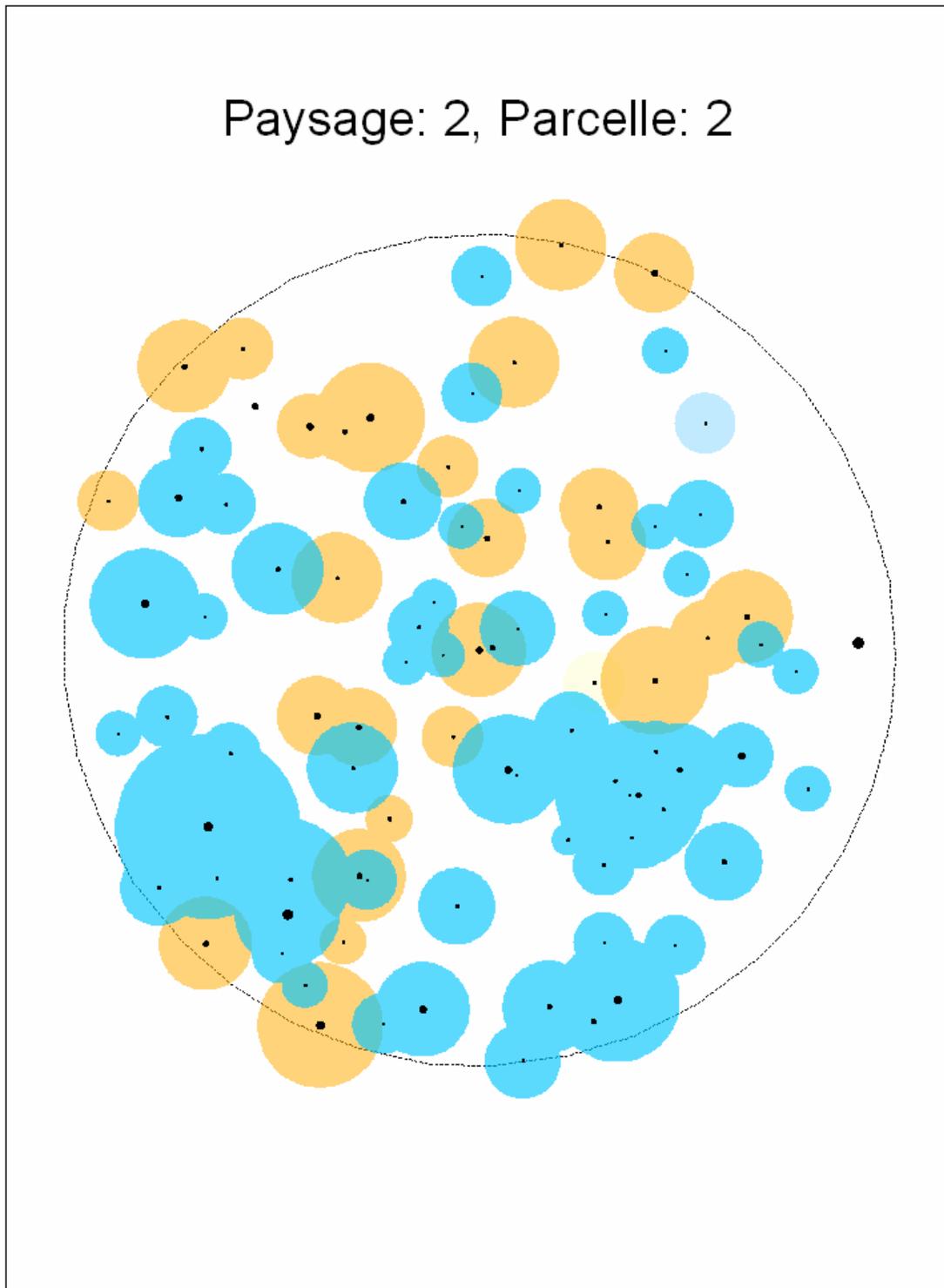


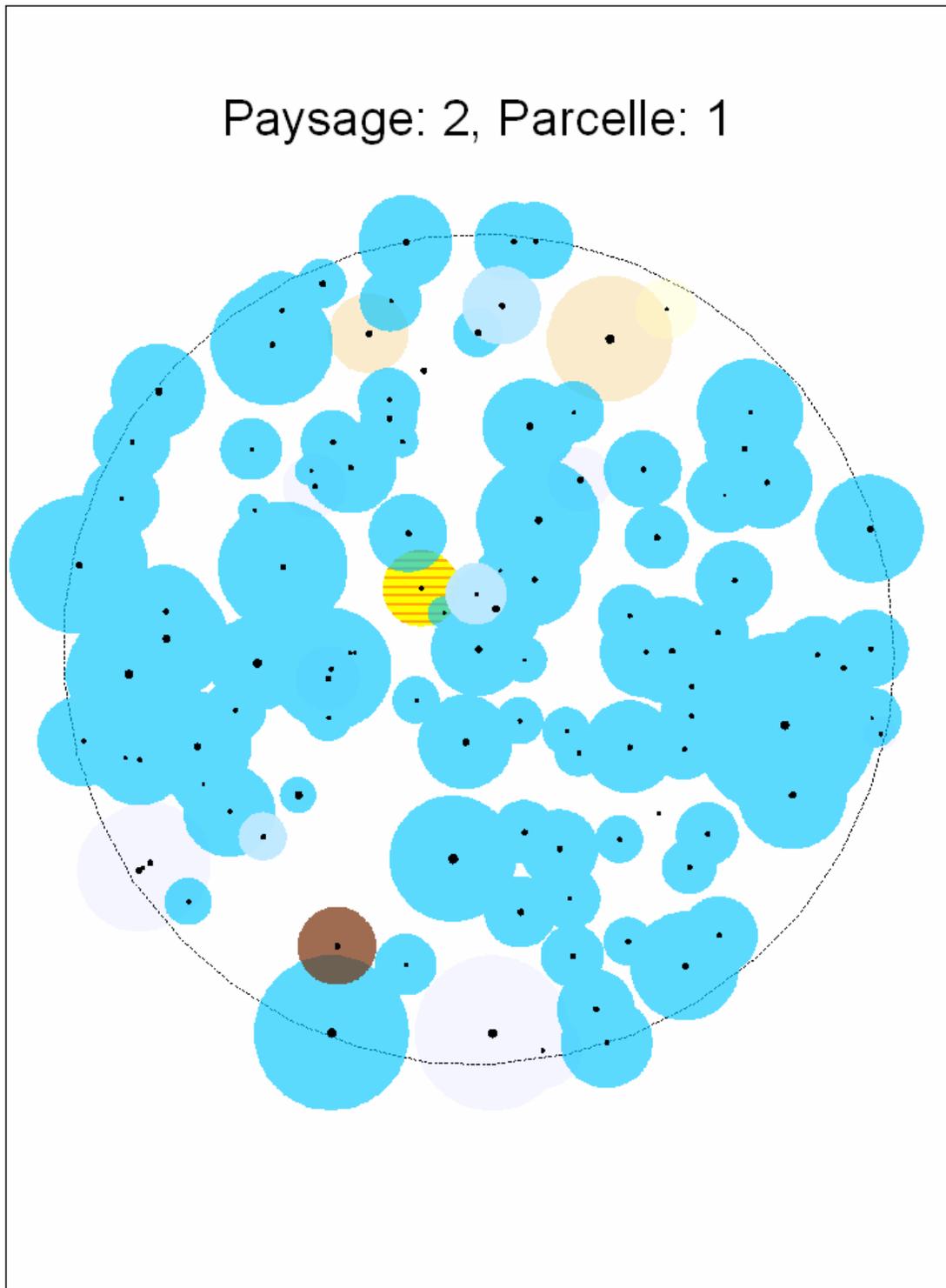


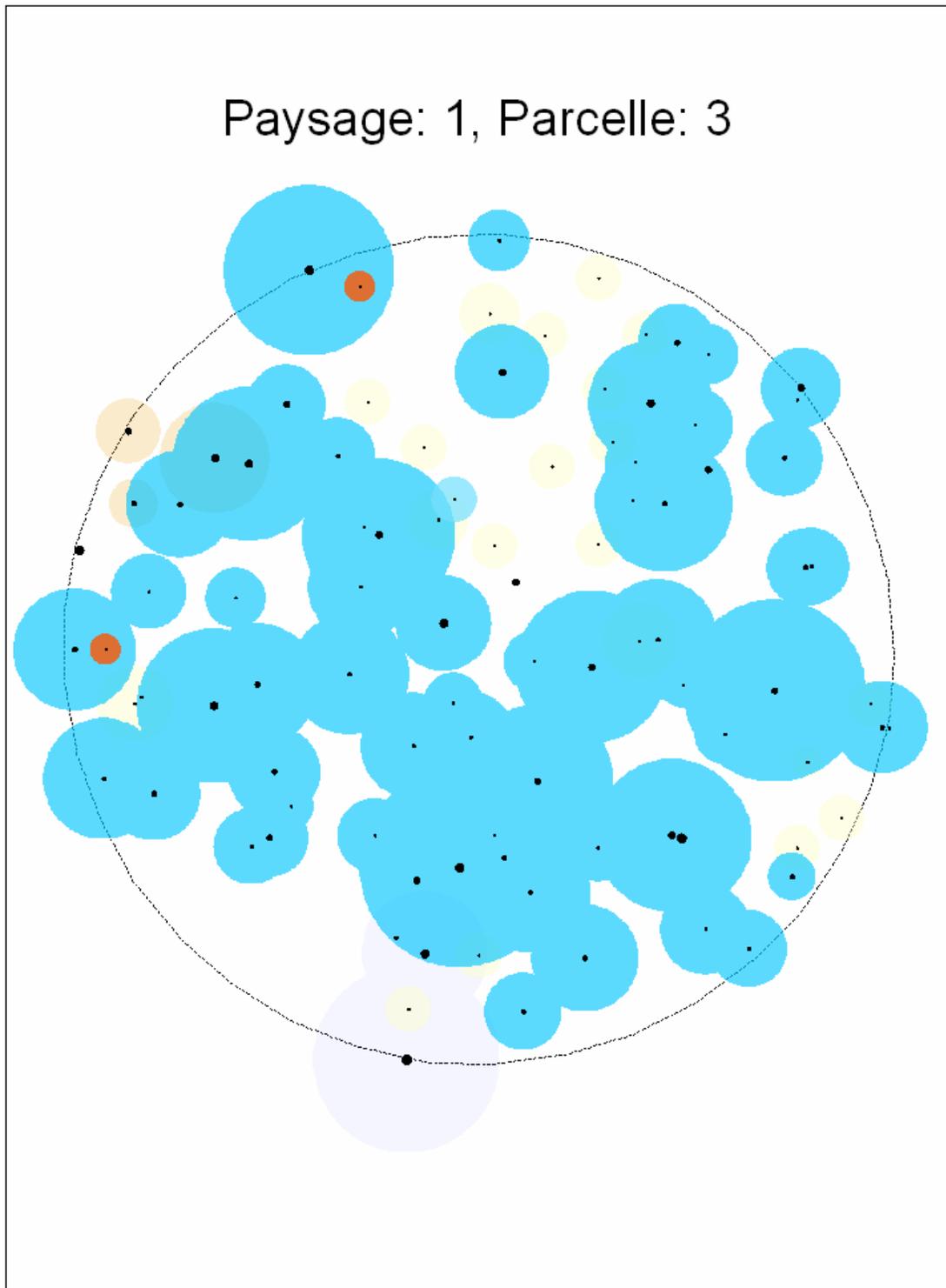


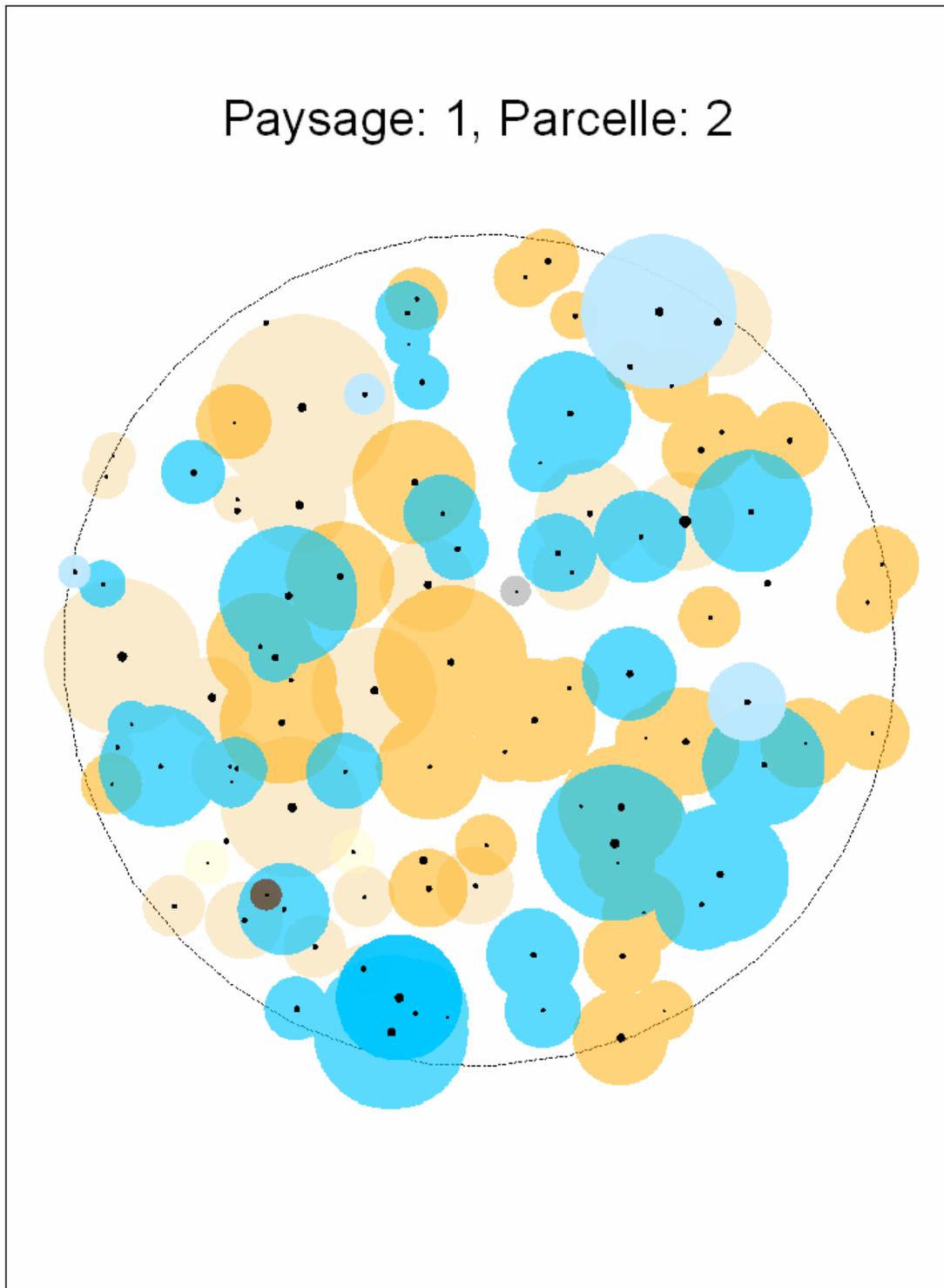




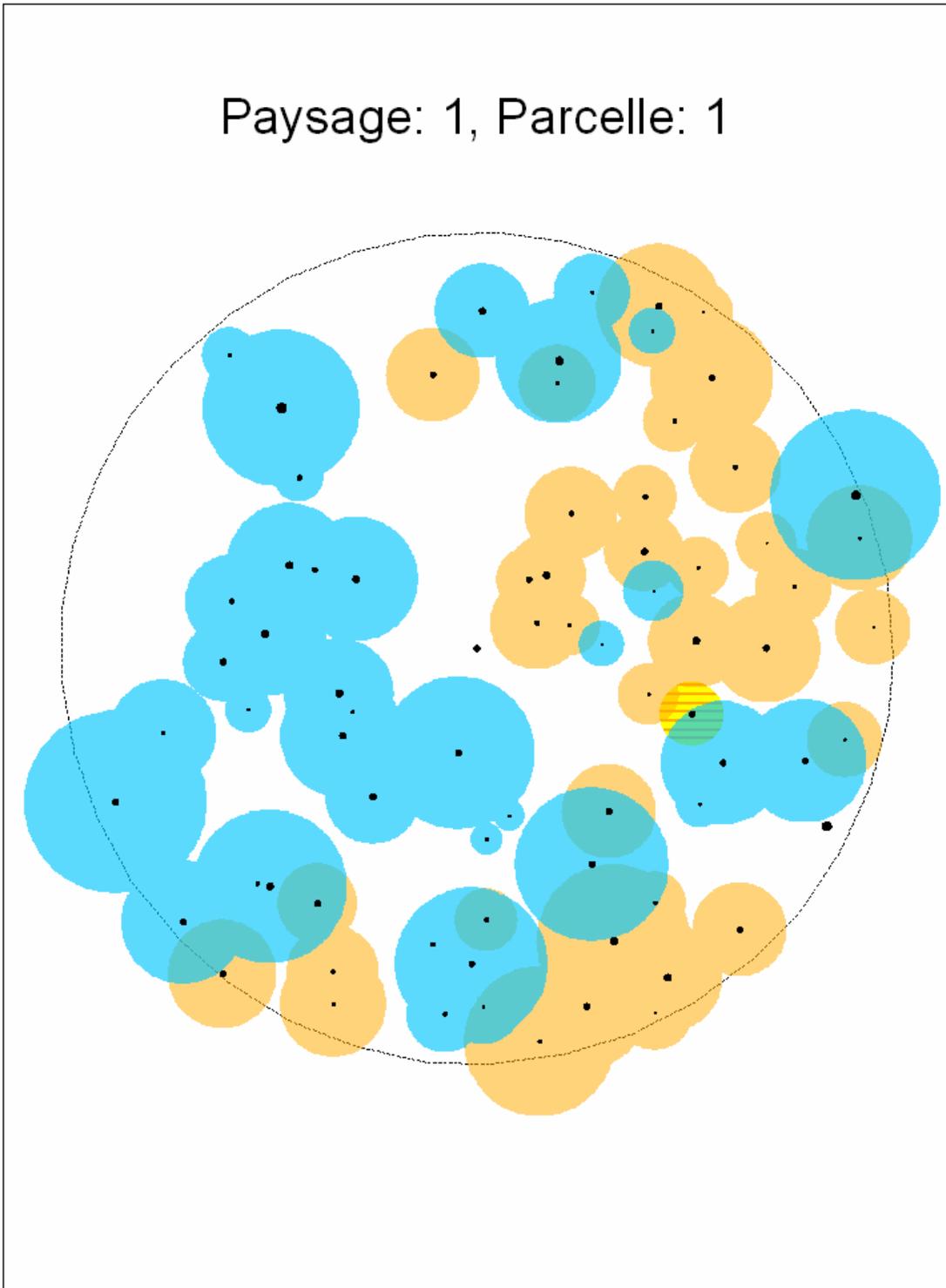


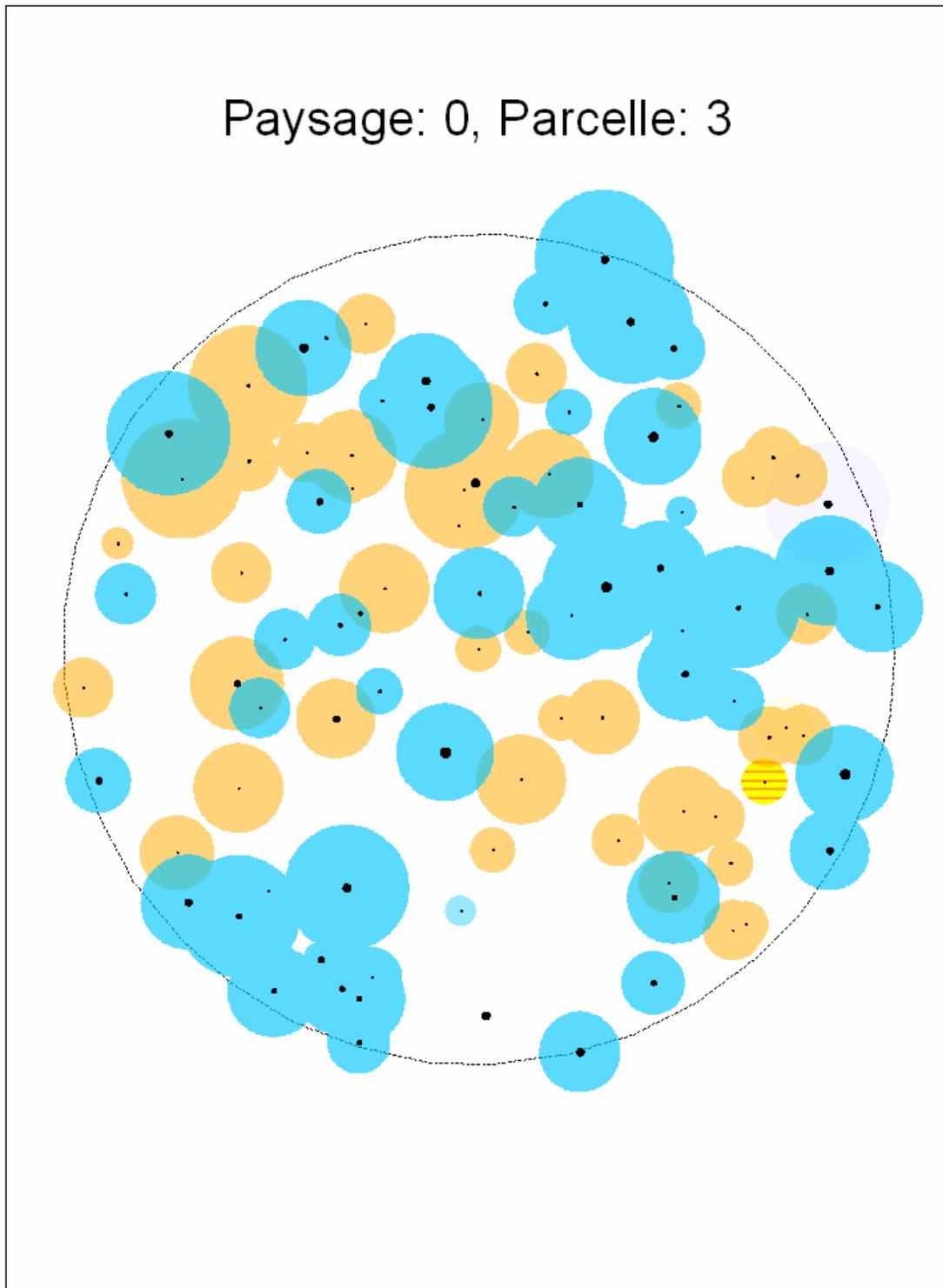




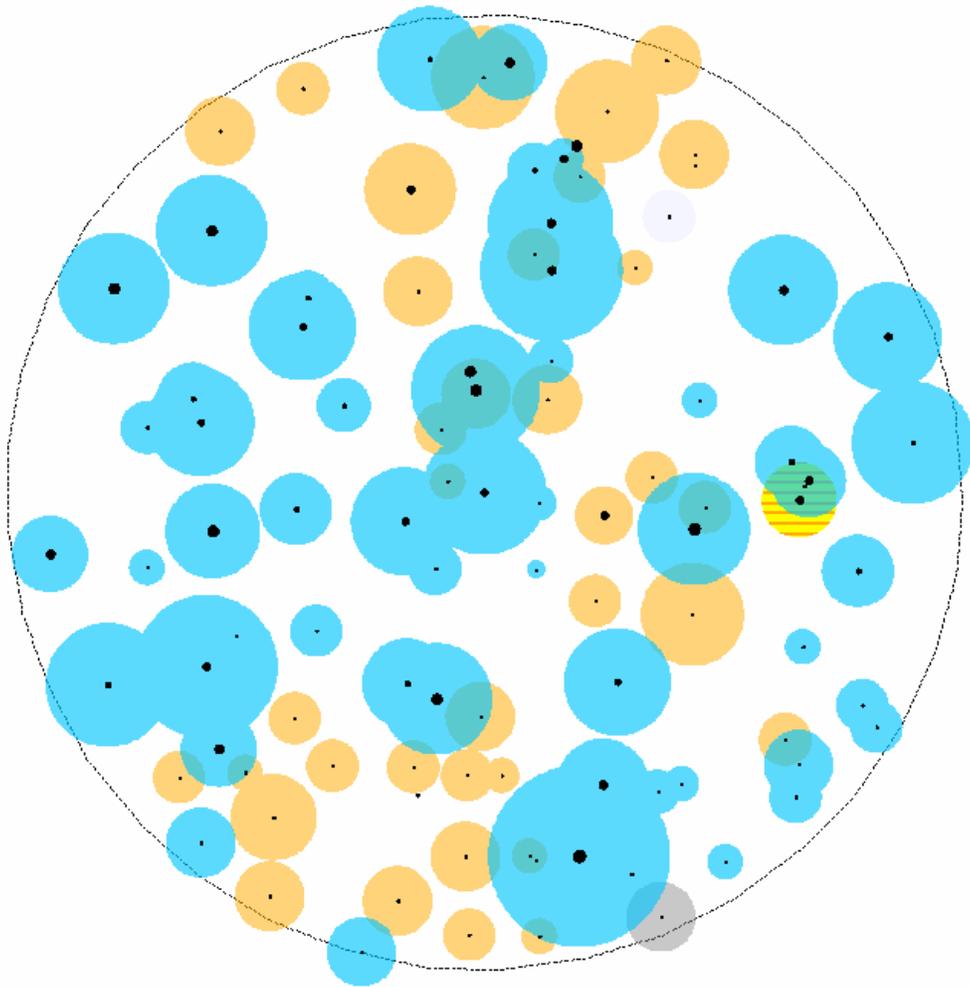


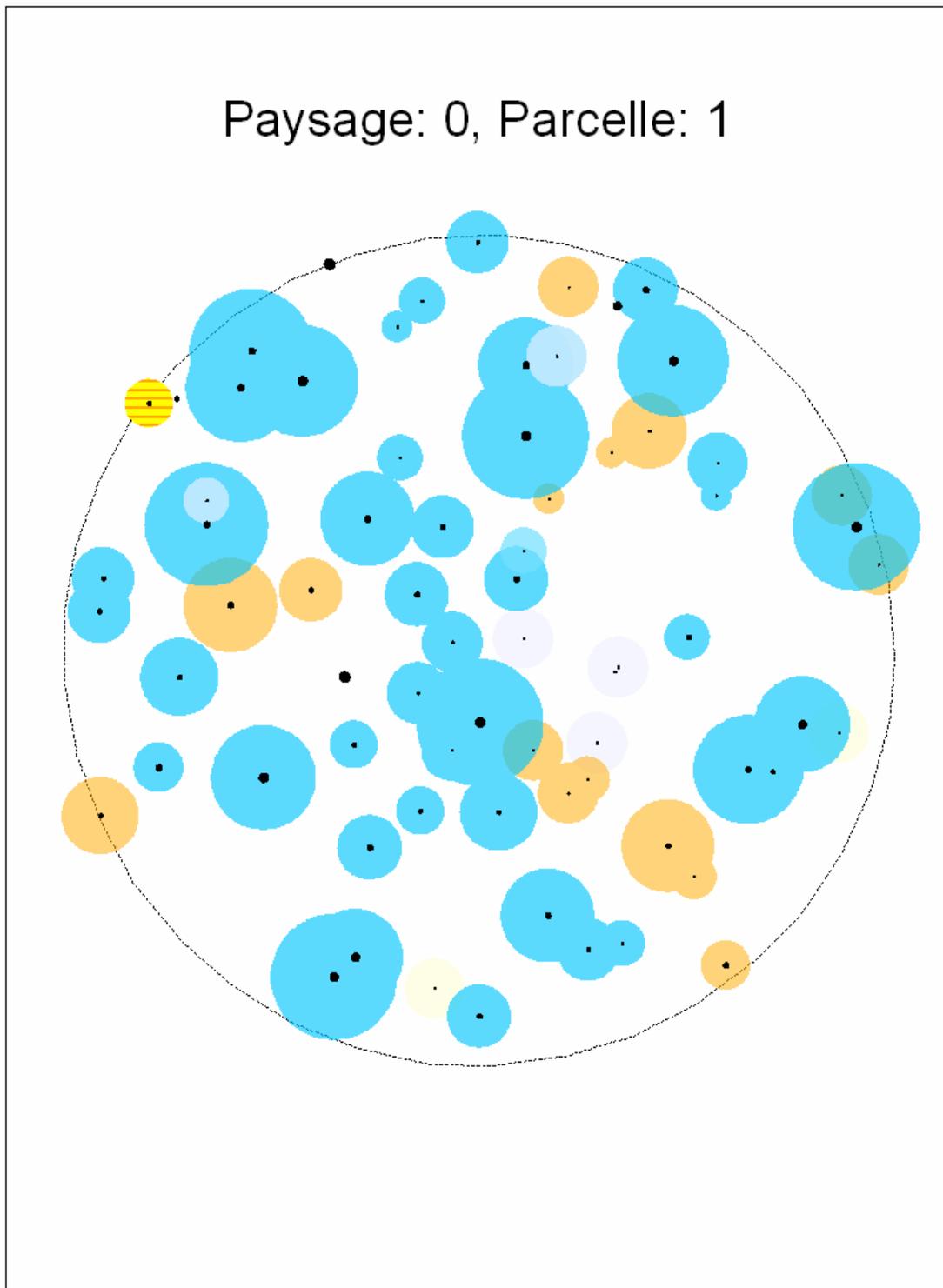
# Paysage: 1, Parcelle: 1





Paysage: 0, Parcelle: 2





Annexe 4. Structure diamétrale évaluée dans les grandes parcelles échantillons de 0.25 ha et dans 5 parcelles échantillons de 0.04 ha simulés à l'intérieur de la grande parcelle échantillon.

Le bâtonnet exprime le nombre de tiges observées dans la grande parcelle échantillon. Le point exprime la moyenne du nombre de tiges observées dans les 5 petites parcelles échantillons. La barre d'erreur pourpre exprime l'écart type alors que la barre d'erreur bleu ciel exprime la fourchette min/max du nombre de tiges observées dans les 5 petites parcelles échantillons.

