

Surveillance des arbres urbains : guide des ressources



Résumé

Les lignes directrices proposées dans le document *Surveillance des arbres urbains : guide des ressources* (ci-après dénommé le Guide des ressources) ont été élaborées et peaufinées au fil des ans pour répondre au besoin de protocoles normalisés de surveillance des arbres urbains. Le Guide des ressources fournit des conseils détaillés aux aménagistes de forêts urbaines et aux chercheurs qui souhaitent concevoir et mettre en œuvre un projet de surveillance des arbres. Le présent Guide des ressources est un document d'accompagnement du document intitulé *Surveillance des arbres urbains : guide de terrain*. Cependant, le Guide des ressources peut également être utilisé séparément. Le Guide des ressources est divisé en trois parties. Dans la première partie, nous abordons (1) les différents objectifs des projets de surveillance et la manière d'adapter la collecte de données à ces objectifs, (2) l'élaboration de ces normes de surveillance des arbres urbains, (3) les types de projets de surveillance et (4) les liens avec d'autres protocoles de collecte de données sur les arbres urbains. Nous donnons des indications concernant les méthodes d'enregistrement de l'emplacement des arbres, le développement d'identificateurs d'arbres, l'organisation de feuilles de calcul et de bases de données, le choix de systèmes de collecte de données, le renforcement de partenariats entre la recherche et la pratique, la formation des équipes et la gestion du travail sur le terrain. Puis, dans la deuxième partie, nous présentons cinq ensembles de données de surveillance : l'ensemble de données minimales, l'ensemble de données sur les arbres, l'ensemble de données sur les sites, l'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres et l'ensemble de données sur les communautés. Nous dressons la liste des objectifs de l'étude qui pourraient être atteints avec chaque ensemble de données et nous décrivons les variables pertinentes. Nous fournissons également des orientations sur les variables qui conviennent le mieux aux équipes débutantes et avancées. Enfin, dans la troisième partie, nous présentons des annexes contenant des ressources supplémentaires consacrées à la conception et la mise en œuvre de projets de surveillance des arbres.

Photo de couverture

Des figuiers de l'Inde (*Ficus microcarpa*) qui bordent les rues de Santa Monica, en Californie. Photo de Natalie S. van Doorn, Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis.

Publication en français

La traduction de cette publication vers le français a été rendue possible et financée par le Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, gouvernement du Canada.

L'utilisation de noms commerciaux ou d'entreprises dans la présente publication est faite à titre informatif et n'implique aucune approbation de quelque produit ou service que ce soit de la part du département de l'Agriculture des États-Unis.

Manuscrit en anglais reçu pour publication en novembre 2019

Publié par :
SERVICE DES FORÊTS DU USDA
800 BUCHANAN STREET
ALBANY, CA 94710

Décembre 2025

Visitez notre page d'accueil à : <https://research.fs.usda.gov/psw> (en anglais seulement)

Auteurs

NATALIE S. van DOORN est chercheuse en écologie urbaine à la Station de recherche du Sud-Ouest du Pacifique, Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, 800 Buchanan Street, Albany, CA 94710.

LARA A. ROMAN est une chercheuse en écologie au Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, Station de recherche du Nord, Station expérimentale de Philadelphie, 100 N 20th Street, Suite 205, Philadelphie, PA 19103.

E. GREGORY McPHERSON est forestier spécialiste en recherche (à la retraite) et PAULA J. PEPER est écologiste urbaine (à la retraite) au Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, Station de recherche du Sud-Ouest du Pacifique, 1731 Research Park Drive, Davis, CA 95616.

BRYANT C. SCHARENBRUCH est professeur adjoint en sciences du sol à l'Université du Wisconsin-Stevens Point, College of Natural Resources, 800 Reserve Street, Stevens Point, WI 54481, et chercheur associé à l'Arboretum Morton, 4100 Illinois Route 53, Lisle, IL 60532.

JASON G. HENNING est forestier spécialiste en recherche à l'Institut Davey, une division de la Davey Tree Expert Company, et agent contractuel du Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, Station expérimentale de Philadelphie, 100 N 20th Street, Suite 205, Philadelphie, PA 19103.

JOHAN P.A. ÖSTBERG est chercheur à l'Université suédoise des sciences agricoles à Alnarp, département d'architecture paysagère, de planification et de gestion, Box 66, 23053, Alnarp, Suède.

LEE S. MUELLER est spécialiste en foresterie au Davey Resource Group, Inc., 1500 North Mantua, Kent, OH 44240, et ancien directeur du programme Urban Forest Project pour Friends of Grand Rapids Parks à Grand Rapids, au Michigan.

ANDREW K. KOESER est professeur adjoint à l'Université de Floride, Gulf Coast Research and Education Center, 14625 County Road 672, Wimauma, FL 33598.

JOHN R. MILLS est forestier spécialiste en recherche (à la retraite) au Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, Station de recherche du Nord du Pacifique, 620 SW Main, Suite 400, Portland, OR 97205.

RICHARD A. HALLETT est chercheur en écologie au Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, Station de recherche du Nord, Station expérimentale urbaine de la ville de New York, 431 Walter Reed Road, Bayside, NY 11359.

JOHN E. SANDERS est spécialiste en recherche et JOHN J. BATTLES est professeur à l'Université de Californie, département des sciences de l'environnement, de la politique et de la gestion, Berkeley, 130 Mulford Hall, Berkeley, CA 94720.

DEBORAH J. BOYER est gestionnaire de projet chez Azavea, 990 Spring Garden Street, cinquième étage, Philadelphia, PA 19123.

JASON P. FRISTENSKY est gestionnaire de projet au Berger Partnership P.S., 1721 8th Avenue N, Seattle, WA 98109, et anciennement assistant de recherche au Service des forêts du département de l'Agriculture des États-Unis, Station expérimentale de Philadelphie, 100 N 20th Street, Suite 205, Philadelphia, PA 19103.

SARAH K. MINCEY est directrice adjointe à l'Université de l'Indiana-Bloomington, Integrated Program in the Environment, Multidisciplinary Science Building II 134, 702 N Walnut Grove Avenue, Bloomington, IN 47405.

JESS VOGT est professeure adjointe à l'Université DePaul, Sciences et études de l'environnement, 1 E Jackson Boulevard, Chicago, IL 60604.

Table des matières

Partie I : Stratégies générales de surveillance des arbres urbains	1
1. Introduction	2
1.1. Pourquoi surveiller les arbres urbains?	2
1.2. Types de projets de surveillance	7
1.3. Faire le lien entre les objectifs de surveillance et les méthodes de terrain	8
1.4. Contexte	10
2. Préparation	19
2.1. Planifier à l'avance la collecte, la gestion et l'analyse des données 19	
2.2. Qu'est-ce qu'un arbre?	28
2.3. Choisir la méthode de détermination de l'emplacement appropriée 32	
2.4. Type de site et utilisation des terres	43
2.5. Considérations relatives aux bases de données longitudinales	46
3. Gestion du travail sur le terrain	57
3.1. Conseils pour la formation des équipes de terrain	57
3.2. Conseils pour la gestion et le soutien des équipes de terrain .	61
3.3. Suggestions d'équipements de terrain	66
4. Conclusion	69
 Partie II : Ensembles de données pour la surveillance des arbres urbains.	 70
5. Cadre des ensembles de données	71
6. Ensemble minimal de données	73
6.1. Renseignements de base sur l'enregistrement	74
6.2. Localisation et site	75
6.3. Données sur les arbres	75
6.4. Information sur l'état de mortalité	76
6.5. Information sur la vigueur de la cime	78
6.6. Information sur le diamètre du tronc	79
7. Ensemble de données sur les arbres	82
7.1. Mesures de la taille des arbres	83
7.2. État et entretien des arbres	84
7.3. Images	87
7.4. Information sur le dépérissement des rameaux fins	87

8. Ensemble de données sur les sites	89
8.1. Routes	89
8.2. Bâtiments.	91
8.3. Aménagement paysager en surface dure	91
8.4. Conflits en hauteur.	91
8.5. Sol	92
9. Ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres	93
9.1. Renseignements sur le programme.	94
9.2. Renseignements sur l'intendance des arbres	94
9.3. Actions d'intendance	95
10. Ensemble de données sur les communautés.	96
10.1. Données nationales hautement prioritaires.	97
10.2. Données locales	98
10.3. Enquêtes et entrevues communautaires	98
11. Remerciements.	99
Partie III : Documentation de soutien	100
Ouvrages cités	101
Annexe 1 : Exemples de types de sites et d'utilisations des terres . . .	115
Annexe 2 : Ressources pour l'identification des espèces	118
Sites Web et applications	118
Livres	119
Annexe 3 : Autres protocoles	121
Annexe 4 : Programmes de formation et activités pour les équipes de terrain	123
Programme n° 1 : Programme de formation sur le terrain d'une journée complète (7 heures) pour les stagiaires ou les scientifiques citoyens	123
Programme n° 2 : Programme de formation courte (2,5 heures) pour les stagiaires ou les scientifiques citoyens.	124
Glossaire	128

Avant-propos

Nous avons rédigé le document *Surveillance des arbres urbains : guide des ressources* (ci-après, Guide des ressources) afin de soutenir les gestionnaires, les chercheurs et les étudiants en foresterie et en écologie urbaines dans leurs projets de surveillance des arbres sur le terrain. Nous avons tous participé à de nombreux projets de surveillance des arbres menés aussi bien dans des zones urbaines que rurales, pour répondre à des besoins de recherche et de gestion, avec des équipes de terrain composées de bénévoles, d'étudiants, de stagiaires et de professionnels. Le Guide des ressources présente les pratiques exemplaires que nous avons acquises au cours de nos années de travail sur le terrain et de gestion des données associées. Nos expériences, qui ont inspiré les nombreuses suggestions que l'on trouve dans le Guide des ressources, sont brièvement décrites ci-dessous.

Natalie S. van Doorn a supervisé des équipes de terrain et géré la collecte de données pour des parcelles forestières permanentes en milieu rural dans le cadre du programme de recherche écologique à long terme de la National Science Foundation à la forêt expérimentale de Hubbard Brook, dans le New Hampshire, pendant 12 ans, et travaille depuis 5 ans sur des données à long terme sur les arbres urbains. John J. Battles, John E. Sanders et Richard A. Hallett ont également travaillé avec des parcelles forestières permanentes en milieu rural dans des forêts expérimentales à Hubbard Brook et ailleurs, pendant respectivement 34, 10 et 21 ans. Depuis 13 ans, Lara A. Roman recueille des données et supervise des équipes de terrain consacrées à la surveillance des arbres de cour et de rue dans le nord de la Californie et à Philadelphie, en Pennsylvanie, et a formé des scientifiques citoyens. E. Gregory McPherson et Paula J. Peper participent depuis plus de 20 ans à la collecte, à la gestion et à l'analyse d'inventaires d'arbres de rue à travers les États-Unis. Bryant C. Scharenbroch s'est penché pendant 9 ans sur les sols urbains et les inventaires d'arbres à Chicago (Illinois), et ailleurs. Jason G. Henning a enseigné la mesure forestière et collecté des données forestières rurales pendant 12 ans. Il a également travaillé pendant 6 ans sur des données forestières urbaines liées aux outils i-Tree à travers les États-Unis. Johan P.A. Östberg réalise des inventaires de forêts urbaines sur le terrain depuis 11 ans et a développé des normes d'inventaire d'arbres urbains pour la Suède. Lee S. Mueller a recruté, géré et soutenu des bénévoles pour des projets d'inventaire et d'évaluation des arbres à Détroit et Grand Rapids (Michigan), pendant 7 ans. Deborah J. Boyer travaille depuis 7 ans avec des logiciels d'inventaire des forêts urbaines pour des organisations municipales, à but non lucratif et nationales. Andrew K. Koeser a supervisé des inventaires d'arbres et des évaluations après des ouragans en Floride pendant 7 ans, en utilisant les données collectées pour évaluer les efforts de gestion passés et orienter les pratiques exemplaires. Jess Vogt et Sarah K. Mincey ont supervisé la collecte de données sur les arbres de rue à Indianapolis (Indiana) et dans d'autres villes pendant 8 ans, et ont développé des protocoles pour la surveillance des arbres récemment plantés. Jess Vogt a également enseigné les méthodes d'inventaire pendant 4 ans. Jason P. Fristensky a travaillé comme membre d'une équipe de terrain et gestionnaire de base de données pour des inventaires d'arbres urbains pendant un an et est architecte paysagiste depuis 6 ans.

Nous espérons sincèrement que le Guide des ressources ainsi que son complément, *Surveillance des arbres urbains : guide de terrain*, vous seront utiles lors de la mise en œuvre de projets de surveillance d'arbres urbains. Ces documents contiennent le type de renseignements dont nous aurions bénéficié au moment d'entreprendre nos études de terrain à long terme sur les arbres urbains. Bien que les expériences et les exemples présentés dans ce Guide des ressources proviennent principalement des États-Unis, les stratégies et les suggestions que nous proposons sont largement applicables à la surveillance des arbres urbains partout dans le monde.

Partie I : Stratégies générales de surveillance des arbres urbains

1. Introduction

Le document *Surveillance des arbres urbains : guide des ressources* (ci-après Guide des ressources) est complémentaire au document *Surveillance des arbres urbains : guide de terrain* (ci-après Guide de terrain) [Roman et al. 2020]. En effet, alors que le Guide de terrain fournit des protocoles détaillés pour un ensemble de variables et peut être utilisé par des professionnels, des chercheurs, des stagiaires et des bénévoles sur le terrain, le Guide des ressources fournit quant à lui des conseils détaillés aux aménagistes de forêts urbaines et aux chercheurs qui souhaitent concevoir et mettre en œuvre un projet de **surveillance**. Dans le Guide des ressources, nous abordons les différents objectifs des projets de surveillance et la manière d'adapter les méthodes de collecte de données à ces objectifs, le contexte de l'élaboration de ces lignes directrices pour la surveillance des arbres urbains, les types de projets de surveillance, les liens avec d'autres protocoles de collecte de données sur les arbres urbains, des conseils pour la formation des équipes et la gestion du travail sur le terrain, des conseils pour la sélection des méthodes de détermination de l'emplacement des arbres et des identifiants d'arbres, ainsi que des explications détaillées sur les ensembles de données de surveillance.

Surveillance des arbres urbains : guide des ressources se consacre aux arbres situés le long des rues et sur les pelouses.

Notons que bien que le terme **forêt urbaine** est généralement utilisé aux États-Unis pour désigner tous les arbres présents dans les villes et les zones urbanisées, qu'ils soient publics ou privés, y compris les arbres de rue, de cour et de parc (Konijnendijk et al. 2006, Nowak et al. 2010, Piana et Troxel 2014), notre Guide de terrain et notre Guide des ressources s'intéressent aux arbres situés le long des rues et dans les pelouses (y compris les pelouses résidentielles, les pelouses des parcs et autres espaces paysagers). Nous n'abordons pas les arbres se trouvant dans les zones boisées ou naturelles des parcs urbains, car leur suivi nécessite une approche différente. Pour en savoir plus sur les méthodes d'inventaire et de surveillance des systèmes forestiers ruraux, voir Avery et Burkhart (2001), Brassel et Lischke (2001), Husch et al. (2002), Van Laar et Akca (2007), et West (2009). Il est important de reconnaître que les arbres occupant différentes parties de l'écosystème urbain sont soumis à des conditions environnementales et une dynamique de population variées, ce qui peut nécessiter des approches différentes en matière d'inventaire et de suivi.

Les termes en **gras** dans le présent document sont définis dans le glossaire (page 128).

1.1. Pourquoi surveiller les arbres urbains?

La surveillance est un aspect essentiel de l'aménagement durable des forêts urbaines. Comme le suggèrent Clark et al. (1997), l'évaluation de la durabilité des ressources forestières urbaines implique une « collecte régulière des données sur la forêt urbaine ». Il ne s'agit pas simplement d'un inventaire statique « instantané ». Un inventaire unique peut permettre de comprendre la structure, les fonctions et les services écosystémiques à un moment donné – comme la répartition des tailles d'arbres, la composition des espèces et les bénéfices environnementaux associés – mais dans le paysage urbain en constante évolution, ces données deviennent rapidement obsolètes.

Les études de surveillance décrivent l'évolution dans le temps.

En effet, reconnaissant la valeur des données de terrain à long terme, de nombreux arboristes municipaux, des organisations non gouvernementales d'écologisation urbaine et des états sont déjà engagés dans une surveillance continue (Roman et al. 2013). En outre, de nombreux articles de recherche sur la surveillance de la **mortalité** des arbres urbains (et inversement, leur survie), sur leur croissance et sur leur santé ont été publiés ces dernières années, témoignant de l'intérêt croissant des chercheurs pour le sujet (p. ex., Breger et al. 2019; Hallett et al. 2018; Hilbert et al. 2019; Ko et al. 2015a, 2015b; Koeser et al. 2014; Lima et al. 2013; Martin et al. 2016; Roman et al. 2014a, 2014b; Roman et al. 2015; Vogt et al. 2015a; van Doorn and McPherson 2018; Widney et al. 2016). Alors qu'un inventaire unique peut décrire la structure et les schémas spatiaux d'une forêt urbaine, seules les données de surveillance peuvent décrire les changements dans le temps.

Les données longitudinales consistent en des observations répétées sur les mêmes arbres individuels.

Dans le présent rapport, nous mettons l'accent sur la **surveillance sur le terrain à long terme**, bien qu'il existe certainement d'autres formes de surveillance pertinentes pour les forêts urbaines (Leff 2016), notamment l'utilisation de l'imagerie aérienne, du LiDAR et de la télédétection pour détecter les changements au niveau du couvert arboré. L'on pourrait également évaluer les changements survenus au fil du temps dans les communautés humaines et les institutions qui gèrent les arbres. Cependant, ce rapport se concentre précisément sur la surveillance sur le terrain des arbres urbains pour produire des **données longitudinales** : des observations répétées des mêmes arbres individuels. Les études longitudinales sont essentielles pour la recherche sur la **démographie des arbres**, c'est-à-dire l'étude de la dynamique des populations, notamment pour analyser l'évolution de la mortalité, de la croissance et de la santé des arbres au fil du temps. Si ces études sont relativement nouvelles dans le domaine de la foresterie urbaine, les études de surveillance longitudinale sont quant à elles plus répandues dans les forêts rurales (Roman et al. 2016). Les études sur la démographie des arbres dans les forêts rurales peuvent inclure l'analyse de la mortalité, de la croissance, du **recrutement** et de la régénération dans les parcelles ou les peuplements. De même, les études sur la démographie des arbres de cour ou de rue peuvent inclure l'analyse de la mortalité (y compris l'abattage), de la croissance et de la plantation des arbres (avec une certaine régénération naturelle possible en fonction des conditions du site). Les normes de surveillance des arbres urbains présentées dans le Guide de terrain et les conseils fournis dans le Guide des ressources permettent de mener des études longitudinales structurées. Nos normes de surveillance des arbres urbains s'appliquent aux arbres dont les cycles de population sont contrôlés par l'humain (Roman et al. 2016). Bien que plusieurs dizaines de programmes de foresterie urbaine aux États-Unis s'intéressent déjà à la surveillance des arbres (Roman et al. 2013), les méthodes varient considérablement. Il est donc important de coordonner les efforts pour recueillir les données de surveillance dans de nombreuses villes (pour des exemples de projets de surveillance coordonnés entre les villes, voir McPherson et al. 2016, Widney et al. 2016). En raison de la diversité des méthodes, les gestionnaires et les chercheurs ont du mal à comparer les données entre les villes et les programmes. Ces comparaisons entre les villes et au sein de celles-ci, à partir de données normalisées, sont importantes pour mettre en lumière les taux de mortalité et de croissance typiques des différentes régions et espèces et pour faciliter les études sur les facteurs qui influencent ces résultats.

Les objectifs doivent être définis au début du projet de surveillance.

La surveillance des arbres urbains sur le terrain peut servir plusieurs objectifs de gestion et de recherche, qu'il s'agisse d'études interurbaines ou intraurbaines. Toutefois, aucun projet ne peut atteindre tous ces objectifs, d'où l'importance de définir les objectifs visés dès le départ. Vous trouverez ci-dessous quelques objectifs possibles (énumérés sans ordre particulier).

Les résultats en matière de performance des arbres peuvent inclure la croissance, la survie, la santé et les services écosystémiques associés.

- **Évaluer la performance des programmes de plantation.** Le suivi des arbres plantés dans le cadre d'un programme particulier peut fournir des renseignements sur les performances des arbres, tels que la croissance, la survie, la santé et les services écosystémiques associés. De nombreuses municipalités et organisations à but non lucratif qui effectuent la surveillance des arbres utilisent les résultats de performance des arbres comme indicateur du succès du programme. À titre d'exemple, le service des parcs et loisirs de la ville de New York (New York, NY) a recueilli des données sur la survie des arbres de rue en fonction de facteurs sociaux et écologiques (Lu et al. 2010). Des chercheurs collaborant avec la Sacramento Tree Foundation et le Sacramento Municipal Utility District, à Sacramento (Californie), ont observé la survie et la croissance des arbres d'ombrage résidentiels afin de déterminer dans quelle mesure les projections initiales d'économie d'énergie correspondaient aux performances réelles observées (Ko et al. 2015a, 2015b; Roman et al. 2014a). À San Francisco, en Californie, des chercheurs ont collaboré avec l'organisation à but non lucratif Friends of the Urban Forest pour surveiller la croissance et la vigueur d'arbres ornementaux couramment plantés (Martin et al. 2016).
- **Comprendre les facteurs écologiques et sociaux qui prédisent la mortalité, la croissance et la santé des arbres.** Les études qui examinent les facteurs pouvant être associés à la mortalité, à la croissance et à la santé des arbres peuvent approfondir notre compréhension scientifique et pratique de l'évolution des systèmes arboricoles urbains au fil du temps. Les recherches qui intègrent une surveillance à long terme peuvent également faire ressortir des pistes d'amélioration des programmes et aider à repérer les arbres présentant un risque plus élevé de dépérissement. Par exemple, les études susmentionnées sur les arbres d'ombrage résidentiels à Sacramento ont démontré que la mortalité des arbres était liée à l'instabilité des propriétaires (c.-à-d. aux saisies, aux ventes de maisons et aux propriétés occupées par des locataires), laquelle était à son tour liée aux mauvaises pratiques d'entretien des résidents (Ko et al. 2015a, Roman et al. 2014a). Il est donc nécessaire de promouvoir l'entretien des arbres résidentiels sur le long terme, même lorsque les propriétaires et les locataires changent. Des études sur les arbres de rue ont également révélé l'importance de l'entretien, en particulier des régimes d'arrosage, sur la survie des arbres (Breger et al. 2019; Koeser et al. 2014; Mincey et Vogt 2014; Vogt et al. 2015a). Par ailleurs, certaines études de surveillance des arbres urbains ont montré que la mortalité et la santé diffèrent selon les espèces ou les groupes d'espèces, en fonction de facteurs écologiques, tels que la tolérance à la sécheresse, les microclimats urbains et les inondations côtières (Hallett et al. 2018, Ko et al. 2015a, Koeser et al. 2014, Martin et al. 2016, Roman et al. 2014a.). Dans le même ordre d'idées, les évaluations qualitatives des programmes de plantation d'arbres de rue dont les performances sont exceptionnellement élevées ou faibles (p. ex., un taux de survie après la plantation très élevée ou très faible) peuvent faire ressortir des éléments essentiels à la survie de l'arbre (Breger et al. 2019, Roman et al. 2015, Yang et McBride 2003). Les études fondées sur des inventaires répétés de parcelles peuvent également servir à cerner les facteurs liés à la mortalité, à la croissance et à la santé des arbres urbains. Ces études par parcelles ont également permis d'évaluer les changements de la structure des forêts urbaines et des services écosystémiques au fil du temps, ainsi que l'impact des phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex., Lawrence et al. 2012, Lima et al. 2013, Nowak et al. 2013b, Staudhammer et al. 2011). Il est à noter que certaines des études fondées sur des parcelles couvrent de nombreuses **utilisations des terres** et de nombreux **types de sites** au sein de la forêt urbaine, notamment des peuplements boisés dans les parcs, des arbres résidentiels et les arbres de rue.

Pour évaluer la pertinence du recours à des bénévoles pour la surveillance des arbres urbains, il importe de prendre en compte les besoins en matière de qualité des données et la formation des équipes de terrain.

Il est donc essentiel de générer davantage de données sur la mortalité, la croissance et l'allométrie des arbres afin d'améliorer la précision des projections de populations et des modèles de services écosystémiques.

- **Mobilisation des communautés locales.** La foresterie urbaine peut impliquer les communautés locales par le biais de la **science citoyenne** (Roman et al. 2017, 2018a). En effet, la science citoyenne engage le public dans la recherche écologique et la gestion des ressources naturelles (Dickinson et al. 2010, 2012; Tulloch et al. 2013), en faisant généralement appel à des bénévoles pour la collecte des données sur le terrain (Silvertown 2009). Par exemple, certaines organisations à but non lucratif recrutent des bénévoles pour suivre l'évolution des arbres récemment plantés, notamment Friends of the Urban Forest (San Francisco, Californie), Canopy (Palo Alto, Californie) et la Pennsylvania Horticultural Society (Philadelphie, Pennsylvanie). Lorsque les bénévoles observent des problèmes liés à l'entretien des arbres, ces données peuvent être utilisées pour informer les résidents sur l'état des arbres et fournir des recommandations pour en améliorer la gestion. Par ailleurs, des bénévoles ont participé à des inventaires d'arbres de rue à l'échelle municipale, notamment à Portland (Oregon) et à New York (New York) [Crown et al. 2018, Silva et al. 2013, St. John 2011]. Bon nombre de ces programmes de science citoyenne fonctionnent comme des campagnes ponctuelles sur le terrain, où des bénévoles sortent à des dates précises, parfois dans le cadre de « soirées de cartographie ». Cette approche contraste avec les **méthodes de collecte participative** de données sur les arbres urbains, où un grand nombre de bénévoles soumettent des données à leur convenance, selon moment et lieu. Bien que la science citoyenne soit utilisée dans ces divers contextes de foresterie urbaine, la qualité des données peut poser problème. Plusieurs études récentes ont évalué la qualité des données fournies par les bénévoles dans le cadre d'inventaires d'arbres de rue, notamment Roman et al. (2017, 2018 b), Bancks et al. (2018), Hallett et Hallett (2018), et Hamilton et al. (2018). En effet, ces études suggèrent que les responsables de projet devraient prendre en compte les besoins en matière de qualité des données, la formation des équipes de terrain et la pertinence de faire appel à des bénévoles. Pour certaines variables et certaines utilisations des données, la qualité des données générées par les bénévoles peut être jugée adéquate (voir les sections 1.3, 1.4.3 et 2.1.9 pour en savoir plus sur la qualité des données et la participation des bénévoles).
- **Gestion des cycles de taille et des risques liés aux arbres.** Cet aspect est particulièrement important pour les arbres de rue, qui nécessitent des inspections fréquentes pour orienter la taille et le retrait des arbres vieillissants et dangereux (Harris et al. 2004, Pokorny 2003). Des inventaires répétés des arbres de rue peuvent être intégrés au cycle régulier d'inspection et de taille du forestier municipal. Par exemple, un arboriste municipal pourrait inspecter chaque année un cinquième des arbres de rue de la ville et mettre à jour l'inventaire tous les ans avec les données sur la mortalité des arbres et les nouvelles plantations, de manière à compléter le cycle d'inspection et d'inventaire en cinq ans. Ce type de cycle systématique d'inventaire ou d'inspection permet de garder des dossiers à jour pour une gestion proactive et permet d'analyser la mortalité et les risques liés aux arbres (Hauer et Peterson 2016, Roman et al. 2013).
- **Production de données empiriques pour les modèles de projection des populations d'arbres et des services écosystémiques.** Il est reconnu que le manque de données complètes sur la mortalité des arbres constitue une source majeure d'incertitude dans les modèles qui projettent les populations de forêts urbaines dans le futur afin d'estimer les services écosystémiques (McPherson 2014, McPherson et al. 2008, Morani et al. 2011, Roman et al. 2016). Les services écosystémiques projetés sont également influencés par les variations de la croissance des arbres (Ko et al. 2015b, Widney et al. 2016), mais il existe très peu de données empiriques sur la **croissance des arbres** en milieu urbain (Roman et al. 2015). L'**allométrie** des arbres urbains, c'est-à-dire les relations entre les

différentes dimensions des arbres (p. ex., les équations permettant d'estimer la hauteur, les dimensions de la cime et la biomasse à partir de la taille du tronc), est un autre élément essentiel des services écosystémiques et des modèles de projection des populations (Blood et al. 2016, McHale et al. 2009, McPherson et al. 2016, Troxel et al. 2013). Il est important de générer davantage de données sur la mortalité, la croissance et l'allométrie des arbres, et ce, pour l'ensemble des villes, des programmes, des espèces et des conditions de site, afin d'améliorer la précision des modèles.

- **Détection des menaces émergentes liées aux ravageurs et aux maladies.** La surveillance des ravageurs et des maladies des arbres en milieu urbain peut fournir des alertes précieuses sur les menaces qui pèsent tant sur les forêts urbaines que naturelles. Des méthodes de terrain conçues pour la détection des ravageurs et la surveillance de la santé des arbres ont été mises au point par le Service des forêts des États-Unis et l'initiative Healthy Trees, Healthy Cities de The Nature Conservancy. Un module du logiciel **i-Tree** permet également d'enregistrer des données de détection des ravageurs (Service des forêts du USDA 2017c). Ces outils sont similaires aux systèmes de détection des ravageurs dans les forêts rurales (Bargeron et Moorhead 2007), et ce type de surveillance peut être orientée vers des professionnels ou des citoyens scientifiques.
- **Évaluation des résultats des plantations expérimentales.** Les plantations expérimentales d'arbres peuvent être servir à évaluer les performances de nouvelles espèces, de nouveaux cultivars, ou les réactions à des conditions climatiques changeantes. Par exemple, des essais sur le terrain avec l'amélanchier (*Amelanchier* spp.), le pommier (*Malus* spp.) et le poirier (*Pyrus calleryana*) ont révélé des taux de croissance, des conditions et des aptitudes au site variables selon les cultivars (Gerhold 2007a, 2007b, 2008). D'autres études ont expérimenté la plantation d'espèces qui n'avaient jamais été testées dans une zone climatique particulière (McPherson et Albers 2014). L'une de ces expériences, le projet sur les arbres résistants au climat (Climate-ready Trees) (McPherson et al. 2018), consiste à planter des espèces jugées capables de s'adapter aux conditions futures prévues dans les zones climatiques de Californie. Pour déterminer le succès ou l'échec d'espèces ou de cultivars nouveaux dans une ville ou une région, il est important de suivre leur mortalité, leur croissance et leur santé sur plusieurs années, voire plusieurs décennies.

1.1.1. Brève note sur les termes « mortalité » et « survie »

Nous définissons la mortalité des arbres urbains comme étant la combinaison des arbres observés morts et de ceux qui ont été enlevés.

La mortalité étant souvent l'un des principaux résultats des études de surveillance des arbres urbains, nous donnons ici une brève explication des termes « mortalité » et « survie ». Nous définissons la mortalité des arbres urbains comme la combinaison des arbres observés comme morts et de ceux qui ont été enlevés. Les observations de la mortalité peuvent être exprimées sous forme de **taux de mortalité annuel**, soit la proportion d'arbres qui meurent (ou sont enlevés) au cours d'une année donnée. Le **taux de survie annuel** est l'inverse de la mortalité, soit la proportion d'arbres qui survivent au cours d'une année donnée (survie annuelle = 1 - mortalité annuelle). Lors du suivi des arbres d'un projet de plantation, la **survie** correspond à la proportion d'arbres encore vivants depuis la plantation jusqu'à un moment donné (p. ex., survie jusqu'à 10 ans après la plantation). Ces termes s'appuient tous sur des définitions standards issues de la démographie et de la biologie des populations.

1.2. Types de projets de surveillance

La surveillance des cohortes de plantation permet de suivre les arbres plantés dans le cadre d'un même programme ou d'une même initiative.

L'inventaire multiâges permet de suivre les arbres de tous âges dans une zone géographique donnée.

La capacité de survie, un terme souvent utilisé par les professionnels de la foresterie urbaine, n'a pas de définition standard. Voir Roman et al. (2016) pour plus de renseignements sur la manière de calculer la mortalité annuelle, la survie annuelle et la survie, ainsi que sur d'autres applications des concepts démographiques aux forêts urbaines.

Deux principaux types de projets de surveillance des arbres urbains sur le terrain sont traités dans le Guide de terrain et le Guide des ressources : (1) la surveillance des cohortes de plantation d'arbres d'âge relativement homogène et (2) la surveillance d'inventaire inéquiennne.

- **Surveillance des cohortes de plantation d'âge relativement homogène** (ci-après dénommé « surveillance des cohortes de plantation »). Une **cohorte de plantation** est un groupe d'arbres plantés à peu près au moment (p. ex., durant une même saison de plantation ou une même année civile). La surveillance des cohortes vise généralement à suivre les arbres plantés dans le cadre d'un même programme ou d'une même initiative. Dans le cas d'une étude de cohorte, le nombre total d'arbres plantés au départ diminue avec le temps, à mesure que les arbres meurent ou sont enlevés. Si des **arbres de remplacement** sont plantés, ces nouvelles cohortes peuvent également être surveillées.
- **Surveillance d'inventaires inéquiennes**. La surveillance des arbres dans une zone géographique donnée (p. ex., une ville, un quartier), sans égard à qui les a plantés ni à quel moment, correspond à une nouvelle mesure de l'inventaire. Les inventaires peuvent couvrir plusieurs classes d'âge en raison des différentes campagnes de plantation, de l'intensité variable des perturbations (p. ex., les tempêtes passées) et des régimes de gestion. La surveillance d'inventaires inéquiennes pourrait cibler des types d'occupation du sol ou de sites spécifiques (p. ex., cours résidentielles, arbres de rue, parcs de quartier). Ce type de projet permet à la fois d'ajouter des arbres à l'inventaire (par la plantation ou la régénération naturelle) et d'en retirer (par mort sur place ou enlèvement par l'humain). Le nombre total d'arbres surveillés peut donc augmenter ou diminuer au fil du temps. Les nouveaux arbres qui s'ajoutent à l'inventaire (par plantation ou régénération) peuvent être analysés comme un recrutement. Les variations de la taille totale de la population peuvent être exprimées par le **taux de croissance de la population** (à ne pas confondre avec le taux de croissance des arbres). Les arbres de remplacement peuvent également être surveillés afin de comprendre la dynamique de la population d'arbres. L'évolution de la composition et de la diversité des espèces peut également être analysée dans le cadre de projets de surveillance d'inventaires inéquiennes.

Chacun des deux types de surveillance décrits précédemment peut être subdivisé en fonction de la proportion d'arbres suivis dans le projet ou dans la zone géographique concernée. Dans un recensement, tous les arbres du projet de plantation ou de la zone géographique sont inventoriés, alors que, dans un échantillonnage, seule une sélection d'arbres est mesurée. Par exemple, un inventaire répété des arbres de rue couvrant toutes les rues d'une ville donnée constituerait un projet de surveillance d'inventaires inéquiennes correspondant à un recensement à l'échelle de la ville. En revanche, un inventaire répété des arbres de rue qui ne concerne que certains pâtés de maisons serait un exemple de projet de surveillance d'inventaire inéquienne par échantillonnage.

Les nouvelles mesures des arbres devraient être reliées au premier enregistrement de cet arbre ou de cet emplacement d'arbre dans la base de données.

L'unité organisationnelle de base de la base de données longitudinale peut être le site de plantation ou l'arbre.

Pour la surveillance des cohortes de plantation comme pour la surveillance d'inventaires inéquiennes, il est possible d'analyser les taux de mortalité, de croissance et de remplacement des arbres, ainsi que les changements liés à leur santé. Cependant, il est essentiel que toutes les nouvelles mesures prises sur les arbres soient liées à l'enregistrement initial de cet arbre ou de son site de plantation dans la base de données. Il s'agit là de l'essence même d'une structure de base de données longitudinale, qui permet de suivre des arbres individuels dans le temps (voir la section 2.5 sur les considérations relatives aux bases de données longitudinales). S'il n'est pas possible de relier la nouvelle mesure ou la perte d'un même arbre dans le temps, il sera alors impossible d'analyser les données relatives à la mortalité, à la croissance ou à la santé des arbres individuels ni de résumer les résultats pour l'ensemble des arbres étudiés. Pour certains projets visant à résumer les niveaux de **densité** (c.-à-d., la proportion d'espace de croissance occupé par des arbres) et les besoins de plantation au fil du temps, le site de plantation (et non l'arbre) devrait être l'unité organisationnelle de base de la base de données longitudinale. Lorsque ce sont les sites de plantation d'arbres (y compris les sites potentiels) qui constituent l'unité centrale d'intérêt d'un projet de surveillance, les sites vacants font partie de l'inventaire et peuvent accueillir différents arbres au fil des ans, bien que leur emplacement géographique reste le même. Le suivi des sites de plantation est particulièrement pertinent pour la planification et la gestion des arbres de rue (van Doorn et McPherson 2018, voir également la section 2.1.14). Voir la section 2.5.3 pour des exemples de structures de base de données impliquant le suivi des sites et des arbres de remplacement.

1.3. Faire le lien entre les objectifs de surveillance et les méthodes de terrain

Chacun des objectifs énumérés ci-dessus est associé à des besoins en matière de données, et il est essentiel d'établir un lien entre les objectifs de surveillance et les stratégies de collecte de données. Le fait d'omettre d'établir, dès le départ, des objectifs de surveillance clairs, les variables à collecter pour atteindre ces objectifs, ainsi que les plans d'analyse des données, peut conduire à un scénario de surveillance environnementale « riche en données, mais pauvre en renseignements » (Ward et al. 1986) dans lequel les analystes se retrouvent « submergés par un fleuve de détails écologiques » (Lindenmayer et Likens 2010a). Cela peut parfois découler d'objectifs mal formulés, entraînant une surcharge de variables sans utilisation claire pour chaque donnée collectée.

À titre d'exemple illustrant un bon lien entre les objectifs et les méthodes, considérons les deux types de projets de surveillance (section 1.2) : la surveillance des cohortes de plantation et la surveillance des inventaires inéquiennes. La surveillance des arbres d'une cohorte de plantation permet d'évaluer les performances d'un programme de plantation. Par exemple, un programme de plantation de quartier peut chercher à comprendre les pertes survenues pendant la **phase d'établissement** (les premières années après la plantation [Richards, 1979]) et à déterminer les modifications potentielles du programme pour améliorer la survie et la vigueur des arbres. Le programme peut également vouloir comprendre l'impact de l'entretien des arbres et des conditions du site sur leur survie. Ce type de surveillance des arbres récemment plantés devrait inclure la collecte de données sur la mortalité, la vigueur et l'entretien (p. ex., vérifier si les recommandations de soins des arbres, telles que l'irrigation, le paillage, le tuteurage et la taille, sont respectées). Le programme peut également choisir

Les objectifs de surveillance doivent être liés à des stratégies de collecte de données.

d'enregistrer les caractéristiques du site pour chaque arbre. Si des bénévoles ou des stagiaires peu expérimentés collectent les données, seules quelques variables sélectionnées pour les caractéristiques du site et les observations sur l'entretien des arbres sont appropriées.

D'autres données sur la croissance et la santé des arbres pourraient également être pertinentes pour le projet, en fonction des objectifs du programme et des compétences ou de la formation de l'équipe de terrain. Le suivi des cohortes de plantation peut également servir à évaluer la croissance et la vigueur des plantations expérimentales de nouvelles espèces ou de nouveaux cultivars, ou encore d'espèces couramment plantées, dans des conditions de site variées. De tels projets peuvent aussi viser à évaluer la tolérance des espèces aux changements climatiques ou leur résistance aux ravageurs. Pour étendre les objectifs de surveillance au-delà des résultats liés à la mortalité, il est nécessaire de collecter des variables supplémentaires concernant les arbres et les sites (voir l'ensemble de données sur les arbres, section 7, et l'ensemble de données sur le site, section 8).

Prenons ensuite la surveillance d'inventaires inéquiennes. Tout comme un recensement permet de suivre l'évolution de la population, un inventaire des arbres de la ville permet de décrire les tendances de la forêt urbaine au fil du temps. Un recensement répété ou la réalisation d'un nouvel inventaire peut permettre de déterminer si les nouvelles plantations compensent les pertes liées à la mort et au retrait. Par exemple, une municipalité peut chercher à évaluer dans quelle mesure une grande campagne de plantation d'arbres dans les rues influe sur la taille globale de la population d'arbres et sur la répartition des classes de taille, en tenant compte de la mortalité des arbres observée dans la ville (en d'autres termes, il s'agit de déterminer si le rythme de plantation suffit à compenser les pertes). La municipalité souhaite également recenser les arbres qui doivent être élagués ou abattus pour assurer la sécurité publique et la protection des infrastructures. Elle devrait aussi procéder à un inventaire répété de tous les arbres de rue, qu'ils soient existants ou nouvellement plantés, en visitant éventuellement une fraction des arbres chaque année selon un cycle d'inspection. L'analyse et les conclusions portant sur les taux de mortalité et de plantation deviendraient possibles après le deuxième recensement (p. ex., un recensement initial, suivi d'un deuxième recensement quelques années plus pour mesurer à nouveau les mêmes arbres). Un recensement répété peut également servir à détecter les ravageurs et les maladies ou à suivre l'impact des événements météorologiques extrêmes sur la croissance, la santé et la mortalité des arbres. Les objectifs de surveillance peuvent rendre nécessaire l'ajout de variables supplémentaires (p. ex., indiquer si un arbre est un arbre de remplacement) ou modifier la façon dont une variable est analysée (p. ex., un rejet de souche peut être considéré comme un nouvel arbre) [voir les sections 2.1.15, 2.1.16, 2.1.17]. Quels que soient les objectifs spécifiques du projet, ceux-ci doivent orienter les méthodes de collecte et les plans d'analyse des données.

Les objectifs du projet
doivent être liés aux
méthodes de collecte des
données et aux plans
d'analyse et les orienter.

Les différents objectifs de surveillance et les utilisations prévues des données influencent les exigences en matière de qualité des données, ce qui a des répercussions sur le niveau de compétence requis des équipes de terrain. Par exemple, les évaluations de l'état du bois, des risques liés aux arbres et des besoins en élagage devraient être effectuées par des arboristes professionnels et non pas par des bénévoles, en raison de la faible qualité des données obtenues pour ces

variables dans les inventaires scientifiques réalisés par des citoyens (Bloniarz et Ryan 1996, Cozad 2005, Roman et al. 2017). Il peut également y avoir des préoccupations juridiques pour les aménagistes des forêts urbaines municipales, les obligeant à faire appel à des arboristes certifiés pour les évaluations relatives à l'entretien et aux risques associés aux arbres. Toutefois, les données collectées par les bénévoles peuvent convenir à d'autres objectifs de gestion. Les bénévoles en foresterie urbaine sont généralement capables d'identifier correctement le genre des arbres, en particulier pour les genres les plus communs (Bancks et al. 2018, Bloniarz et Ryan 1996, Hallett et Hallett 2018, Hamilton et al. 2018, Roman et al. 2017). Si une identification plus précise au niveau de l'espèce est nécessaire, il convient de faire appel à des équipes de terrain professionnelles possédant d'excellentes compétences en matière d'identification.

Lorsqu'il s'agit de mesurer le **diamètre à hauteur de poitrine** (DHP), les bénévoles atteignent généralement une précision d'environ 1 pouce (2,54 cm), ce qui est acceptable pour les arboriculteurs municipaux dans le cadre de la description des classes de taille ou pour les contrats d'abattage, mais qui peut être insuffisant pour des études scientifiques sur la croissance des arbres (Roman et al. 2017). Les données collectées par les chercheurs et les professionnels ne sont pas infaillibles, mais peuvent être plus cohérentes que les données collectées par les bénévoles (Bloniarz et Ryan 1996, Crall et al. 2011). Que la surveillance des arbres soit effectuée par des chercheurs, des professionnels, des stagiaires ou des bénévoles, l'examen de l'étendue et des sources d'erreur permet d'établir les pratiques exemplaires en matière de formation des équipes, de travail sur le terrain et de gestion des données (Bancks et al. 2018; Hallett et Hallett 2018; Hamilton et al. 2018; Roman et al. 2017, 2018 b; van Doorn 2014). La section 3 présente des conseils pour la formation et la gestion des équipes sur le terrain qui peuvent contribuer à la qualité des données et à une gestion efficace de celles-ci.

Un aménagiste de forêts urbaines qui mène des projets de surveillance des arbres a offert le conseil suivant aux praticiens et chercheurs souhaitant mettre en place des programmes de surveillance :

Vous devez savoir à quoi servira l'information. Si vous prenez le temps de le faire, quel est le but? Vos réponses permettront de déterminer les données à collecter. Sachez qui fera le travail, et assurez-vous que cette personne ait le temps et l'expérience nécessaires pour bien le faire.

(Roman et al. 2013)

1.4. Contexte

1.4.1. Élaboration des normes de surveillance

Le Guide des ressources a été élaboré par le groupe de travail sur la croissance et la longévité des arbres urbains (Urban Tree Growth and Longevity ou UTGL) avec la collaboration de chercheurs en foresterie urbaine affiliés au Service des forêts du USDA. Le groupe de travail sur l'UTGL, fondé en 2010, fait partie de l'Academy of Arboriculture Research and Education de la Société internationale d'arboriculture (Campbell et al. 2016, Scharenbroch et al. 2014). Sa mission est de favoriser la communication entre les chercheurs et les professionnels, d'enrichir les échanges scientifiques et d'améliorer la qualité, la productivité et la rapidité de la recherche sur la mortalité, la croissance et la longévité des arbres par la collaboration. Cette communauté de pratique regroupe actuellement près des membres, notamment des scientifiques, des professionnels de la foresterie urbaine et des étudiants.

Le besoin de protocoles de surveillance des arbres urbains et de collecte de données normalisées a été souligné lors du premier symposium de l'UTGL au Morton Arboretum (Lisle, IL) en 2011. Dans le cadre de cet événement, les participants ont pris part à une table ronde sur les priorités en matière de recherche. Parmi les principales priorités mentionnées, plusieurs concernaient des protocoles de surveillance sur le terrain à la fois normalisés et exhaustifs, qui permettraient le partage des données et la collaboration (Leibowitz 2012). Ces protocoles recherchés pourraient permettre de détecter les changements au fil du temps et entre les villes, tout en offrant la flexibilité nécessaire aux différents utilisateurs. Ce besoin a été confirmé par une enquête nationale menée auprès de 32 organisations locales de foresterie urbaine déjà engagées dans des activités de suivi des arbres urbains. En effet, le personnel de ces organisations a été interrogé sur les objectifs, les défis, les méthodes et les utilisations de leurs programmes de surveillance. Ces renseignements ont directement contribué à l'élaboration de nouveaux protocoles.

Plutôt que de « réinventer la roue » et que chacun développe leur propre protocole de surveillance, les répondants ont exprimé leur intérêt pour l'adoption d'un protocole éprouvé (Roman et al. 2013), ce qui permettrait de libérer des ressources déjà limitées pour d'autres tâches et de comparer les programmes entre eux.

Interrogés sur leurs recommandations concernant de nouveaux protocoles normalisés, les participants à l'enquête ont suggéré que le processus soit inclusif et implique les praticiens, et que les protocoles soient simples à utiliser, plutôt que « compliqués et académiques » (Roman et al. 2013). Ils ont également recommandé que les protocoles soient adaptables aux différentes capacités et aux différents besoins des organisations et ont indiqué qu'elles bénéficieraient d'un accompagnement par des chercheurs ou d'autres organisations. Comme l'ont exprimé deux participants :

Il serait utile que les protocoles normalisés soient élaborés en tenant compte des conceptions ou capacités variées des programmes des différents répondants et que de l'information soit fournie sur la pertinence ou l'adéquation des protocoles proposés à diversité de programmes.

Notre petite organisation n'a pas la capacité de faire cette recherche elle-même et de rechercher et d'examiner d'autres programmes. En fournissant des renseignements sur ce que font les autres programmes, en suggérant des protocoles et en donnant des conseils, les chercheurs pourraient nous aider à améliorer notre travail. (Roman 2013)

Les résultats de cette étude démontrent le besoin crucial et le fort appui en faveur d'une norme de surveillance. Le Guide de terrain et le Guide des ressources répondent à ce besoin en fournissant des orientations et des méthodes de terrain pour la collecte de données à long terme.

De 2013 à 2014, un groupe consultatif composé de plusieurs dizaines de professionnels de la foresterie urbaine, de chercheurs et d'étudiants a participé régulièrement à des conférences téléphoniques et des webinaires pour peaufiner les protocoles, avec l'aide du groupe de travail de l'UTGL. Cette approche reposait sur une approche ascendante, les protocoles répondant aux besoins exprimés par les aménagistes locaux de forêts urbaines, et des aménagistes de forêts urbaines ont été impliqués tout au long du processus. Les dirigeants de

l'UTGL ont mis l'accent sur une approche axée sur le coapprentissage entre la recherche et la pratique (Campbell et al. 2016).

Les suggestions des répondants à l'enquête (Roman et al. 2013) ont permis d'établir un ensemble de principes directeurs pour l'élaboration de protocoles répondant aux besoins de la plupart des utilisateurs :

- **Miser sur la simplicité.** Les protocoles doivent être simples, accessibles aux praticiens et aux aménagistes, et pertinents pour les organisations qui font appel à des stagiaires et à des bénévoles pour la collecte de données.
- **Assurer la flexibilité et l'adaptabilité pour une diversité d'utilisateurs.** Les professionnels de la foresterie urbaine collectent des données de surveillance à des fins diverses; les protocoles doivent donc s'adapter à différents besoins de gestion.
- **Impliquer les praticiens.** Pour s'assurer que les protocoles seront pertinents pour les arboristes locaux, les municipalités, les organisations à but non lucratif et les autres utilisateurs, le processus d'élaboration des protocoles doit faire appel à la participation fréquente des praticiens.
- **Répondre aux questions de recherche clés.** Il doit être possible de montrer clairement comment les données générées par ce réseau de suivi peuvent répondre à des questions de recherche essentielles sur la mortalité, la croissance, la vigueur et la longévité des arbres urbains.
- **Soutenir les objectifs de gestion.** Les données collectées devraient être utiles aux praticiens locaux pour la gestion de leurs ressources forestières urbaines.

Avec l'aide des nombreux contributeurs de l'équipe d'élaboration des protocoles de l'UTGL (voir section 11) et des nombreux auteurs du Guide de terrain et du Guide des ressources, nous avons puisé dans les connaissances des chercheurs et des professionnels qui ont des années d'expérience dans la conception et la réalisation d'études longitudinales, tant en milieu rural qu'urbain (voir Avant-propos). Cela a permis de respecter le principe directeur d'implication des praticiens. Nous avons gardé les protocoles simples, mais flexibles en établissant un ensemble minimal de données (voir tableau 1 et section 6) [c.-à-d. le plus petit ensemble de variables jugé nécessaire pour une collecte de données longitudinales sur les arbres urbains] et quatre ensembles de données supplémentaires (voir sections 7, 8, 9, 10). Les ensembles de données supplémentaires regroupent des variables qui pourraient être pertinentes pour une collecte de données nécessitant plus de temps et de compétences. Le présent Guide des ressources vise à répondre aux questions de recherche et aux objectifs de gestion, en proposant notamment une discussion sur les objectifs pouvant être atteints par la surveillance sur le terrain (section 1.1) et en présentant des exemples de la manière dont ces objectifs sont liés aux plans de collecte de données (section 1.4.3).

L'ensemble minimal de données est le plus petit ensemble de variables jugé nécessaire pour obtenir des données longitudinales sur les arbres urbains.

1.4.2. Liens avec d'autres protocoles d'inventaire des arbres urbains

Les méthodes de terrain décrites ici et dans le Guide de terrain s'inspirent de méthodes existantes, notamment **i-Tree Eco**, **i-Tree Streets**, et le programme **Urban Forest Inventory and Analysis (UFIA) [inventaire et analyse forestiers en milieu urbain]** du Service forestier du USDA. La suite logicielle **i-Tree** est un ensemble d'outils gratuits qui permettent d'évaluer les avantages offerts par les arbres et les forêts en milieu urbain. Dans cette suite, les outils **i-Tree Streets** et **i-Tree Eco** comprennent la collecte de données sur le terrain

Tableau 1—Résumé des variables incluses dans l'ensemble minimal de données pour la surveillance des arbres urbains

Variable	Description
Identification de l'équipe de terrain	Information sur la (les) personne(s) qui a (ont) collecté les données de terrain sur cet arbre
Niveau d'expérience de l'équipe de terrain	Niveau d'expérience du membre le plus expérimenté de l'équipe de terrain
Date d'observation	Année, mois et jour de la collecte des données sur le terrain
Identifiant de l'arbre	Identifiant unique qui reste lié à l'arbre lors des surveillances ultérieures
Emplacement	Renseignements sur la position géographique de l'arbre dans le paysage; plusieurs protocoles sont disponibles
Photo de l'arbre	Une photographie prise pour inclure l'arbre entier dans le contexte de son emplacement immédiat et qui montre les objets d'infrastructure construits à proximité
Type de site	Une description de l'emplacement immédiat de l'arbre
Utilisation des terres	Une description de la façon dont la propriété autour ou adjacente à l'arbre est utilisée par les hommes
Espèces	L'espèce d'arbre faisant l'objet d'une surveillance
Statut de mortalité	Une donnée indiquant si l'arbre est vivant, mort sur pied, enlevé ou dans un autre état.
Rejets de souche	Excroissances à la base du tronc ou dans les racines (à noter uniquement pour les arbres morts sur pied et les souches)
Vigueur de la cime	Une évaluation globale de la santé de la cime qui reflète la proportion de la cime présentant des problèmes de feuillage et des pertes majeures de branches
Diamètre du tronc	Diamètre du tronc de l'arbre mesuré à 1,37 m (4,5 pieds) ou à 30,5 cm (1 pied), en fonction de la forme de l'arbre, avec de nombreuses règles spéciales
Hauteur du diamètre du tronc	Hauteur exacte à laquelle le diamètre du tronc a été mesuré
Notes pour révision par le superviseur	Problèmes qui ne peuvent pas être résolus sur le terrain; l'ajout d'une note signale l'arbre pour une révision par le superviseur du projet

^a Pour le tableau original, voir le tableau 1 dans le Guide de terrain.

sur des arbres individuels. i-Tree Streets est conçu pour évaluer un inventaire complet d'arbres de rue ou un échantillon. i-Tree Eco quant à lui, peut servir à évaluer des inventaires complets ou des échantillons par placettes dans l'ensemble du paysage urbain, quels que soient les usages du sol et les types de sites. Les deux outils permettent de quantifier la structure des populations d'arbres et modélisent les services écosystémiques fournis par les arbres (i-Tree 2017a, McPherson et al. 2005, Nowak et al. 2008).

L'UFIA est l'expansion en milieu urbain (Cumming et al. 2007, Nowak et al. 2016a, USDA FS 2020) du programme continu d'inventaire et de surveillance des forêts des États-Unis, mandaté par le Congrès et exécuté par le Service des forêts du USDA par le biais d'un système national de parcelles, appelé Forest Inventory and Analysis (FIA). Le système FIA traditionnel n'incluait pas la plupart des paysages urbains, à l'exception des zones situées dans les villes, les villages et les banlieues qui correspondaient à la définition de **terres forestières** du FIA, à savoir des zones d'au moins 0,4 ha (1 acre), 36,6 m (120 pieds) de large, couvertes à 10 % par des arbres, et avec un sous-étage non perturbé (Cumming et al. 2007, 2008; Oswalt et al. 2014). Cela signifie que certains parcs

urbains et fragments de forêt avec une couverture arborée dense sont inclus dans le système de parcelles FIA traditionnel, mais que celui-ci n'inclut pas les arbres isolés le long des rues, dans les parcs de stationnement ou dans les pelouses. Le programme UFIA fusionne les méthodes du programme FIA traditionnel et de l'outil i-Tree Eco. Austin, au Texas, a été la première ville à disposer de données complètes de l'UFIA (Nowak et al. 2016a), et plusieurs autres États ont servi de précurseurs à l'UFIA (Cumming et al. 2008). Le programme UFIA s'étend à 100 villes à travers les États-Unis (USDA FS 2020). Il convient de noter que les parcelles du FIA et de l'UFIA sont généralement observées selon un système de panneau rotatif (p. ex., toutes les parcelles sont visitées sur une période de 7 ans, à raison d'un septième chaque année, puis en répétant l'opération), tandis que toutes les parcelles d'i-Tree Eco d'une ville donnée sont généralement étudiées sur 1 ou 2 ans (bien que certaines villes et États puissent suivre des stratégies différentes pour i-Tree Eco et l'UFIA).

Les parcelles qui n'ont pas été référencées de manière permanente ne peuvent pas être retrouvées de manière fiable.

Parmi ces trois protocoles d'inventaire (i-Tree Streets, i-Tree Eco et UFIA), seul l'UFIA est spécifiquement conçu pour mesurer à nouveau les mêmes placettes et recueillir des données longitudinales sur des arbres individuels. i-Tree Streets ne fournit pas de protocoles pour la collecte de données longitudinales. Bien que les parcelles collectées avec i-Tree Eco aient parfois été mesurées à nouveau (p. ex., Lawrence et al. 2012, Nowak et al. 2004), l'outil a été conçu pour produire des estimations globales de la population et des services écosystémiques à un moment donné, et non pour surveiller les évolutions de la population des arbres au fil du temps. Les parcelles d'i-Tree Eco qui n'ont pas été référencées de manière permanente (c.-à-d. en enregistrant soigneusement les données relatives au centre de la parcelle) ne peuvent pas être retrouvées de manière fiable par les futures équipes de terrain. Par exemple, les parcelles collectées à Philadelphie (Pennsylvanie) en 1996 n'ont pas été référencées de manière permanente. Lorsqu'i-Tree Eco a été répété dans cette ville en 2012, il a fallu créer de nouvelles placettes (Nowak et al. 2016 b). Les différents seuils de taille qui définissaient les arbres à inclure dans chaque inventaire, de même que les différents lieux d'échantillonnage entre les données de 1996 et celles 2012, ont empêché une analyse rigoureuse des changements au niveau des arbres individuels au fil du temps. D'autres analyses de parcelles d'i-Tree Eco référencées de manière permanente et enregistrées au cours de deux années différentes ou plus ont permis de signaler des indicateurs de changement, tels que les taux de mortalité et de croissance, ainsi que des changements dans la composition des espèces (Lawrence et al. 2012; Nowak et al. 2004, 2013b). L'annexe 3 décrit d'autres protocoles d'inventaire et de surveillance des arbres urbains.

Des données longitudinales sont nécessaires pour analyser la démographie des arbres urbains.

Comme mentionné précédemment, des données longitudinales sont nécessaires pour l'analyse de la démographie des arbres urbains, comme l'évolution dans le temps de la mortalité, de la croissance et de la santé. Bien que le programme UFIA comblera cette lacune en matière de données à long terme au cours des prochaines années, avec des données normalisées recueillies dans les zones urbaines des États-Unis, il s'agit d'un protocole très intensif qui exige que les équipes de terrain soient certifiées dans les méthodes, avec des données exhaustives sur les arbres et les parcelles (i-Tree 2017a). En outre, les résultats de l'UFIA seront également plus pertinents à l'échelle de la région et de l'État, alors que les forestiers urbains ont souvent besoin de données liées à des initiatives de plantation ou à des programmes de gestion précis (p. ex.,

des données sur les arbres plantés par une organisation à but non lucratif ou une campagne de plantation municipale; des données sur les parcs de quartier et les centres de loisirs gérés par une municipalité). Les chercheurs et les professionnels en foresterie urbaine peuvent également vouloir se concentrer sur une composante particulière de la forêt urbaine d'une ville, comme les arbres de rue, de cour ou de stationnement, en raison de leurs structures de gouvernance, de leurs opérations programmatiques et de leurs caractéristiques biophysiques distinctes (Celestian et Martin 2005, Mincey et al. 2013, Nguyen et al. 2017). Dans ces cas, les parcelles réparties de manière aléatoire dans toute une ville ou une région métropolitaine, comme celles de l'UFIA ou d'i-Tree Eco, sont peu susceptibles de représenter adéquatement la population d'intérêt (p. ex., les arbres de rue, les arbres de cour), car l'échantillon pourrait être dominé par des arbres situés dans des zones naturelles. En effet, les arbres des zones naturelles peuvent représenter une part importante de la forêt urbaine. Par exemple, dans les parcelles d'i-Tree Eco de Philadelphie, en Pennsylvanie, les arbres dans les parcs constituaient plus d'un tiers des arbres inventoriés, alors que les parcs ne couvraient qu'environ 9 % de la superficie de la ville (Nowak et al. 2016b). Bien que les parcs et les zones naturelles soient des éléments essentiels de la forêt urbaine dans son ensemble (Pregitzer et al. 2018), si les gestionnaires souhaitent obtenir des données qui reflètent d'autres volets de leur programme ou de leur mission, il convient d'adopter des stratégies d'échantillonnage différentes. Des méthodes normalisées et des conseils pratiques sont donc nécessaires pour les gestionnaires et les chercheurs qui souhaitent se lancer dans leur propre projet de surveillance des arbres urbains.

En ce qui concerne les données sur les arbres urbains déjà collectées par les praticiens locaux, les forestiers municipaux et le personnel des organismes à but non lucratif gèrent leurs inventaires et leurs programmes de surveillance à diverses fins, telles que la gestion des actifs et des risques liés aux arbres, l'évaluation des performances du programme de plantation, l'évaluation de la diversité des espèces et de la répartition des classes de taille, et la mobilisation du public (Bond 2013, Harris et al. 2004, McPherson et Kotow 2013, Roman et al. 2013, Sjöman et al. 2012). Ces données d'inventaire axées sur la gestion ne sont pas nécessairement collectées de manière à permettre l'analyse des taux démographiques d'évolution. Par exemple, si le diamètre du tronc est enregistré au pouce près (2,54 cm) et que la hauteur exacte à laquelle le diamètre a été pris n'est pas notée (ce qui est fréquent dans de nombreux inventaires d'arbres municipaux), les données ne sont pas suffisamment précises pour permettre l'analyse de la croissance du DHP de l'arbre (c.-à-d., la croissance radiale du tronc), même si les données enregistrées sont certainement utiles aux arboristes municipaux pour gérer les cycles d'inspection des arbres et les ordres de travail de coupe. Le suivi de l'emplacement des arbres constitue également un défi. En effet, dans les inventaires d'arbres municipaux classiques, l'emplacement a souvent été enregistré d'une manière qui empêche les équipes de terrain de retrouver tous les arbres à partir des données recueillies plusieurs années auparavant. Par exemple, les inventaires municipaux d'arbres ou les registres de plantation peuvent ne faire mention que d'une adresse pour indiquer l'emplacement, alors qu'il peut y avoir plus d'un arbre à cette adresse. Les équipes de terrain peuvent ne pas savoir si un arbre « manquant » a été enlevé depuis l'inventaire précédent ou s'il n'a tout simplement pas été trouvé en raison de renseignements insuffisants sur l'emplacement. La mise à jour de certaines méthodes d'enregistrement des inventaires d'arbres de rue, telles que la méthode

par adresse et code de site (voir le Guide de terrain, section 2.4.1), peut s'avérer fastidieuse à chaque nouvelle année de collecte de données, notamment lorsque des arbres sont ajoutés ou enlevés, ce qui perturbe l'ordre des codes de site (voir la section 2.3 pour une analyse des avantages et des inconvénients des différentes méthodes de détermination de l'emplacement pour la surveillance). En outre, les problèmes de précision et de qualité des données posent des enjeux différents pour les données longitudinales comparativement aux inventaires statiques.. Dans la section 6, nous expliquons plus en détail la raison pour laquelle des variables particulières sont enregistrées de manière précise pour les projets de surveillance. Les praticiens des forêts urbaines qui souhaitent évaluer la mortalité, la croissance et la santé des arbres devront peut-être modifier leurs protocoles de collecte de données afin d'analyser les changements au fil du temps.

Le Guide de terrain et le Guide des ressources posent les bases d'études à long terme de la mortalité, de la croissance et de la santé des arbres, menées par des praticiens.

Notre Guide de terrain et notre Guide des ressources constituent une base pour études à long terme de la mortalité, de la croissance et de la santé des arbres, menées par des praticiens. Dans le Guide de terrain, nous mettons l'accent sur des explications simples et accessibles pour les bénévoles et les stagiaires, sur des renseignements précis sur l'emplacement dans diverses circonstances et sur des mesures cohérentes de la taille des arbres afin de faciliter les analyses de la croissance. De plus, sachant qu'il existe un large éventail de besoins des utilisateurs et de ressources pour la surveillance, et que la surveillance à long terme n'est pas nécessairement intégrée dans la conception de la plupart des inventaires d'arbres urbains, ce Guide des ressources propose des conseils et des stratégies pour la planifier et la gérer la collecte de données à long terme. Les études sur l'évolution des forêts urbaines dans le temps, basées sur des données de terrain, sont relativement récentes dans la littérature sur la foresterie urbaine, ce qui signifie que les questions de procédure liées à la collecte et à la gestion de données longitudinales ne sont prises en compte que depuis peu.

1.4.3. Exemples d'utilisation du Guide de terrain

Les méthodes de terrain décrites dans le Guide de terrain ont déjà été utilisées et adaptées par des chercheurs et des professionnels de la foresterie urbaine. Nous présentons ici quelques exemples pour illustrer concrètement le fonctionnement de ces normes sur le terrain.

- **Surveillance des arbres des cours résidentielles.** Des chercheurs de l'Université Clark, avec la collaboration du Massachusetts Department of Conservation and Recreation, ont supervisé des stagiaires de premier cycle qui surveillaient les arbres plantés par l'État dans des cours résidentielles dans le cadre d'un projet de reboisement après le retrait d'arbres en raison de la quarantaine liée au longicorne asiatique (*Anoplophora glabripennis*) [Bird 2014, Elmes et al. 2018, Hostetler et al. 2013]. Ce projet de suivi d'une cohorte de plantation visait à évaluer les facteurs liés à la mortalité des jeunes arbres, en mettant un accent particulier sur les facteurs socioéconomiques et les caractéristiques de l'environnement bâti. Le projet a utilisé l'ensemble minimal de données et a relié l'emplacement des arbres aux variables socioéconomiques du quartier, en plus des caractéristiques des arbres et des sites, afin d'analyser les résultats en matière de mortalité. Des étudiants chercheurs ont mené des entrevues avec les participants à l'étude afin d'évaluer les motivations résidentielles pour la plantation d'arbres, les perceptions de la perte d'arbres liée au longicorne asiatique et les retombées de la nouvelle initiative de plantation (Goldman 2017).
- **Contrôles de la survie des arbres d'ombrage.** Le programme Energy-Saving

Trees de la Arbor Day Foundation distribue gratuitement des arbres d'ombrage aux résidences privées à travers les États-Unis en partenariat avec les districts de services publics (Arbor Day Foundation 2018). Pour évaluer le taux de survie, le personnel de la Arbor Day Foundation a collaboré avec le Service des forêts du Texas pour contrôler les arbres donnés dans la région de Houston. Le travail sur le terrain a été effectué par des forestiers professionnels. Ce projet de surveillance des cohortes de plantation visait à fournir des renseignements sommaires sur la mortalité et la croissance des arbres, et à déterminer dans quelle mesure les participants entretenaient les arbres de leur cour. En plus de l'ensemble de données minimales, les équipes de terrain ont collecté des données sur les pratiques d'entretien résidentiel, en s'inspirant des méthodes des protocoles Planted Tree Re-Inventory Protocols élaborés par des chercheurs de l'Université de l'Indiana à Bloomington (Vogt et Fischer 2014).

- **Science citoyenne pour la surveillance des arbres de rue.** Le programme Tree Checkers de la Pennsylvania Horticultural Society a fait appel à des bénévoles pour la surveillance des arbres récemment plantés dans les rues de Philadelphie (Roman et al. 2018 b). Ces bénévoles étaient déjà impliqués dans la gestion des arbres par l'entremise du programme de plantation Tree Tenders. Les objectifs de surveillance étaient d'établir les taux de mortalité des arbres plantés en tant qu'indicateur de la performance du programme, tout en impliquant les communautés locales dans la gestion continue des arbres. Le personnel de TreeCheckers a mis à jour ses méthodes en se basant sur les normes du Guide de terrain. Un projet similaire de science citoyenne a été élaboré par le Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources dans le but de suivre la survie des jeunes arbres de rue dans les projets de plantation d'arbres qu'il finance à travers l'État. Un essai pilote a été réalisé à Harrisburg, en Pennsylvanie (Pennsylvania Urban and Community Forestry Council 2018). En plus de l'ensemble minimal de données, ces deux projets ont recueilli des données sur les pratiques d'entretien, en s'appuyant sur des actions de gestion recommandées dans le cadre de ces programmes de plantation. Comme dans l'exemple de la Arbor Day Foundation, le personnel du programme de plantation en Pennsylvanie souhaitait vérifier dans quelle mesure les participants au programme suivaient les consignes d'entretien. Les Tree Checkers ont également combiné la collecte de données à des actions d'entretien de routine ainsi qu'à l'envoi de « bulletins » aux résidents, accompagnés de rappels concernant l'intendance. Toutes ces tâches ont été effectuées par des bénévoles.
- **Essai pilote sur la qualité des données obtenues par les bénévoles.** Pour évaluer l'ébauche du Guide de terrain, en particulier son application potentielle à des équipes de terrain peu formées, une étude a été menée sur la qualité des données obtenues par les bénévoles dans les inventaires d'arbres urbains (Roman et al. 2017). Ce projet a impliqué des scientifiques citoyens dans quatre villes : Lombard (Illinois), Grand Rapids (Michigan), Philadelphie (Pennsylvanie) et Malmö (Suède). Les résultats ont montré que la qualité des données obtenues par les bénévoles serait appropriée pour certaines utilisations des inventaires et de la surveillance des arbres, mais pas pour d'autres. Les résultats ont également indiqué les variables pour lesquelles la qualité des données était particulièrement faible (p. ex., la transparence de la cime et l'état du bois) et qui devraient être supprimées des protocoles, ainsi que les défis particuliers posés par d'autres variables, telles que le DHP pour les arbres multitruncs.
- **Parcelles pour la surveillance de la santé des arbres de rue.** Pour la surveillance à long terme de la santé des arbres urbains, des parcelles d'arbres de rue ont été établies à New York et à Philadelphie, chaque parcelle comprenant plusieurs segments de pâtés de maisons adjacents. Le projet visait à comprendre les changements à long terme dans les populations, la composition et la santé

des arbres de rue, y compris la vigueur des cimes. Ce projet est le fruit d'une collaboration entre la Station de recherche du Nord du Service des forêts du USDA et l'initiative Healthy Trees, Healthy Cities de The Nature Conservancy. Le projet a été mis en place pour permettre un nouvel inventaire des parcelles échantillonnées. Jusqu'à présent, seules les données de référence ont été collectées. En plus de l'ensemble minimal de données, les stagiaires ont collecté des données sur la santé du feuillage. Des scientifiques du Service des forêts et le personnel du programme de The Nature Conservancy ont supervisé de près les stagiaires.

- **Inventaire et surveillance des arbres publics à Hawaï.** Le programme Citizen Forester a été créé par la State of Hawai'i Division of Forestry and Wildlife dans le but d'impliquer les collectivités dans leur forêt urbaine et d'atteindre un objectif stratégique clé du Plan d'action forestier d'Hawaï, à savoir l'élaboration d'un inventaire des arbres urbains. L'objectif de cet inventaire est de faciliter la gestion, notamment l'entretien et le remplacement des arbres, ainsi que la planification en cas de catastrophe. Des bénévoles communautaires sont formés à la collecte de données sur les arbres et travaillent avec un chef d'équipe, tandis qu'un arboriste certifié assure le contrôle de la qualité des données. Les arbres cartographiés le long des rues et dans les parcs publics sont affichés grâce à un outil cartographique en ligne (<https://pg-cloud.com/hawaii/>) [en anglais seulement] indiquant les espèces et leur DHP. Les développeurs du programme ont tiré parti de la conception modulaire du Guide de terrain en collectant une partie de l'ensemble minimal de données, tout en incluant des variables relatives à l'entretien et à l'état afin de répondre à leurs objectifs.
- **Projet d'arbres résistants au climat.** L'objectif de l'étude sur les arbres résistants au climat est d'évaluer la tolérance des espèces d'arbres sous-utilisées aux facteurs de stress associés aux changements climatiques, en particulier la sécheresse, en suivant leur mortalité, leur croissance et leur santé (McPherson et al. 2018). L'étude se déroule dans trois régions climatiques de Californie (Inland Valleys, Inland Empire et Southern California Coast) et devrait durer 20 ans. Les espèces d'arbres testées ont été choisies pour leur résistance apparente à des facteurs de stress, tels que la chaleur, la sécheresse, les vents forts, la salinité et les ravageurs, ainsi que pour leur aptitude à s'adapter aux environnements urbains en ce qui concerne les risques potentiels pour les personnes et les infrastructures. Dans le cadre de ce projet de surveillance des cohortes de plantation, des répliques d'espèces d'arbres ont été plantées dans des sites de référence sur des stations expérimentales universitaires ainsi que dans des parcs urbains, ce qui permettra des comparaisons directes de la croissance et de la survie dans un certain nombre de conditions de site. En plus de l'ensemble minimal de données, des aspects des ensembles de données sur la gestion des arbres, des sites et des jeunes arbres ont été incorporés dans le protocole de surveillance. Les arbres sont suivis chaque année pour leur état de mortalité, leur croissance (DHP, hauteur totale, largeur de la cime) et leur aptitude à devenir des arbres urbains (caractéristiques arboricoles/structurelles, problèmes de santé, présence de ravageurs et de maladies, besoins d'entretien).
- **Cours de premier cycle sur la foresterie urbaine.** Dans le cadre d'un cours sur la foresterie urbaine dispensé à l'Université de Californie à Davis, les enseignants utilisent des éléments du Guide de terrain pour enseigner les méthodes d'inventaire et de surveillance. Les objectifs d'apprentissage comprennent l'utilisation d'équipements standards, la formulation de questions et leur résolution à l'aide de données, ainsi que l'obtention de données précises et reproductibles pour évaluer les changements au fil du temps. Le matériel présenté dans le Guide de terrain a été adapté à un travail de groupe étudiant consistant à réaliser un inventaire d'arbres et une évaluation de site, les étudiants utilisant ensuite ces données pour rédiger un rapport scientifique (M.L. Cadenasso, pers. comm.).

2. Préparation

2.1. Planifier à l'avance la collecte, la gestion et l'analyse des données

La mise en place et la poursuite de projets de surveillance des arbres urbains nécessitent une planification préalable.

La mise en place et la poursuite de projets de surveillance des arbres urbains nécessitent une planification préalable. Pour toute initiative de surveillance écologique, il est essentiel de définir clairement les objectifs du projet, les protocoles de collecte et de gestion des données, ainsi que les analyses prévues (Lindenmayer et Likens 2010a). Ci-dessous se trouvent les 18 étapes clés que toute personne lançant un projet de surveillance des arbres urbains devrait entreprendre avant de commencer la formation et la collecte de données.

2.1.1. Définir des objectifs clairs et réalisables pour votre projet de surveillance des arbres urbains

Ces objectifs détermineront les variables à collecter et aideront à décider si votre projet doit s'étendre au-delà de l'ensemble minimal de données. Voir la section 1.2 pour les objectifs potentiels de la surveillance des arbres urbains et la section 1.3 pour des exemples de liens entre les objectifs et les méthodes.

2.1.2. Finaliser la liste des variables à collecter sur le terrain

Cette liste est établie en fonction des objectifs du projet, du niveau de compétence de l'équipe de terrain et des ressources disponibles (p. ex., les fonds pour l'équipement spécialisé et les équipes de terrain professionnelles). Les projets faisant appel à des scientifiques citoyens pourraient devoir adapter leurs objectifs pour se concentrer sur les données que des bénévoles ayant peu d'expérience préalable peuvent collecter correctement (Bancks et al. 2018; Hallett et Hallett 2018; Hamilton et al. 2018; Roman et al. 2017, 2018 b). Les projets faisant appel à des arboristes certifiés par l'International Society of Arboriculture ou à des chercheurs spécialisés peuvent permettre d'enregistrer un plus grand nombre de variables. Toutefois, il ne faut pas supposer que ces données collectées par des experts sont infaillibles ni toujours cohérentes entre les différents observateurs (Bloniarz et Ryan 1996, Koeser et Smiley 2017, Roman et al. 2017, Westfall et Woodall 2007), ou que chaque expert maîtrise toutes les méthodes de terrain nécessaires. Chaque variable collectée doit avoir une utilité claire en lien avec les objectifs du projet et aux plans d'analyse des données (section 1.3). La collecte d'un ensemble exhaustif de variables (une « liste de course ») peut s'avérer contre-productive dans la mesure où une telle approche détourne l'attention (et les ressources) des variables les plus importantes pour les analyses prévues (Lindenmayer et Likens 2010a).

La collecte d'un ensemble exhaustif de variables (la « liste de course ») peut s'avérer contre-productive.

2.1.3. Déterminer la meilleure méthode pour enregistrer l'emplacement des arbres dans votre étude

Ce guide fournit des conseils sur les méthodes de localisation des arbres dans différents types de sites, y compris les avantages et les inconvénients de chacune (section 2.3), ainsi que des protocoles détaillés pour certaines de ces méthodes dans le Guide de terrain (section 2.4). La meilleure méthode de localisation dépendra des types de sites, des compétences de l'équipe de terrain

et de l'équipement de collecte de données disponible (notamment papier ou outils numériques). Nous recommandons l'utilisation de plusieurs méthodes complémentaires pour enregistrer les emplacements, y compris des photos de chaque arbre lorsque cela est possible, afin de pouvoir les retrouver facilement dans les années à venir.

2.1.4. Planifier l'échantillonnage de vos arbres

Bien que certains projets puissent échantillonner tous les arbres d'une cohorte de plantation ou effectuer un recensement complet de tous les arbres d'une zone géographique, cela n'est pas toujours faisable d'un point de vue logistique. Par conséquent, pour de nombreux projets de surveillance, il faudra sélectionner un échantillon. Par exemple, un projet de surveillance pourrait utiliser un sous-échantillon aléatoire ou stratifié de tous les arbres plantés dans le cadre d'une initiative donnée sur une période de plusieurs années. La surveillance pourrait également être liée à un inventaire complet des arbres de rue ou à un plan visant à refaire l'inventaire des arbres dans les années à venir, éventuellement en fonction des cycles d'entretien/d'inspection, ou de segments de rue choisis au hasard. Selon les objectifs du projet, le plan d'échantillonnage pourrait aussi prendre en considération les espèces ciblées, les types fonctionnels d'espèces, les zones géographiques (p. ex., les codes postaux, les districts de planification) ou les caractéristiques de quartier. Le plan d'échantillonnage et la taille de l'échantillon influencent également les possibilités d'analyse statistique du projet. Pour les arboristes municipaux et les gestionnaires de programmes à but non lucratif, nous recommandons de consulter des chercheurs ou des étudiants diplômés des universités et du Service des forêts pour obtenir des conseils sur les stratégies d'échantillonnage statistique pour votre projet précis.

2.1.5. Estimer le temps nécessaire à la collecte des données et au transport

D'après l'essai pilote de l'ensemble minimal de données, l'enregistrement de cette petite série de variables prend environ 3 minutes par arbre (Roman et al. 2017). L'enregistrement d'informations supplémentaires sur les caractéristiques du site prend environ 5 minutes (Scharenbroch et al. 2017). Ces estimations ne tiennent pas compte des temps de déplacement, qui peuvent varier fortement selon la répartition géographique des arbres à observer. À titre d'exemple, alors que la surveillance de centaines d'arbres de rue dans un seul quartier nécessite peu de temps de déplacement et peut être réalisée en quelques semaines, la surveillance de centaines d'arbres ou de parcelles en cours privées réparties dans une grande ville ou une région métropolitaine allongera le temps de déplacement et prendra probablement plusieurs mois. Pour les études portant sur les arbres de cours résidentielles et d'autres propriétés privées, la communication avec les résidents ou les gestionnaires de propriété pour obtenir l'accès à leur terrain peut allonger considérablement le temps de travail sur le terrain. Certaines villes peuvent aussi poser des défis comme le trafic aux heures de pointe et à la difficulté de trouver des places de stationnement. Il reviendra donc au superviseur de projet de choisir les stratégies les plus productives en ce qui concerne le calendrier du travail sur le terrain (p. ex., commencer avant les heures de pointe) et le mode de transport (p. ex., voiture, bicyclette, transports en commun).

2.1.6. Décidez de la définition du terme « arbre » dans le cadre de votre projet de surveillance

Il n'existe pas de définition largement acceptée du terme « arbre » en botanique ou en foresterie (Gschwanter et al. 2009, Lund 1999). Voir la section 2.2 pour les définitions possibles du terme « arbre » dans le contexte de la surveillance des arbres urbains. Choisissez la définition de l'arbre pour le projet de surveillance en question et expliquez-la à vos équipes sur le terrain. Une confusion à ce sujet peut entraîner des erreurs importantes dans la surveillance, car les équipes peuvent ne pas savoir clairement quelles plantes sont « incluses » ou « exclues » de l'étude (Roman et al. 2014 b, 2017). Il peut en résulter des problèmes de quantification des taux de mortalité et des changements nets dans le nombre total d'arbres (c.-à-d. les taux de croissance de la population). De même, les forestiers urbains peuvent s'intéresser précisément aux « arbres de rue » ou aux « arbres publics », mais l'utilisation de ces termes peut varier d'une municipalité à l'autre et même au sein d'une même municipalité. C'est pourquoi il est important que les superviseurs de projet les définissent clairement et simplement (voir section 2.2).

2.1.7. Choisir le système de collecte de données

Les systèmes optimaux de collecte de données varient en fonction de l'objectif et des besoins de chaque projet. En effet, bien que de nombreux forestiers urbains aient adopté des systèmes de collecte de données mobiles, le papier peut être préférable dans certains cas, par exemple, lors d'un inventaire scientifique citoyen avec des bénévoles ne possédant ni téléphone intelligent ni tablette. En outre, bien qu'il existe de nombreux logiciels pour les inventaires d'arbres urbains, ceux-ci ne sont généralement pas conçus pour la collecte de données longitudinales (Boyer et al. 2016). Pour obtenir plus de renseignements sur les avantages et les inconvénients de la collecte de données sur papier par rapport à celle sur support mobile, ainsi que sur les logiciels, voir la section 2.6.

2.1.8. Déterminer le type de projet de surveillance

Comme mentionné précédemment, le Guide de terrain et le Guide des ressources (voir section 1.2) traitent de deux types généraux de projets de surveillance, à savoir la surveillance des cohortes de plantation et la surveillance d'inventaire inéquienne/inéquienne. Il convient de garder à l'esprit le type d'étude choisi lors de la comparaison avec d'autres études de surveillance. Par exemple, dans un projet de surveillance des cohortes de plantation d'arbres de rue, les taux de mortalité et de croissance doivent être comparés à ceux d'autres études similaires, idéalement menées sur une période équivalente après la plantation. De même, un inventaire répété de parcelles d'i-Tree Eco échantillonnées doit être comparé en priorité à d'autres études d'inventaires répétés fondés sur des parcelles.

2.1.9. S'assurer que les données de référence sont complètes et de haute qualité

Les données de référence constituent le premier ensemble de données sur les arbres pertinent pour le projet de surveillance, soit le point de départ pour les comparaisons futures. Des données de base de qualité sont essentielles pour assurer la poursuite de la collecte de données. Dans le cadre d'un projet de surveillance des cohortes de plantation, les données de référence correspondent aux données recueillies au moment de la plantation (Vogt et al. 2015 b). Ces données doivent inclure la date de plantation, idéalement une date précise plutôt qu'une année ou une saison (p. ex., printemps 2017). Dans le cas d'une

Les enregistrements de référence constituent le premier ensemble de données sur les arbres pertinentes pour le projet de surveillance.

surveillance d'inventaire inéquienne, les données de référence correspondent au premier inventaire réalisé. La date de plantation n'est pas strictement nécessaire pour la surveillance d'inventaire inéquienne, mais, si elle est disponible, elle peut tout de même être utile, ou à défaut l'âge de l'arbre. L'âge des arbres peut être obtenu à partir des registres municipaux des arbres, d'entrevues avec des forestiers urbains ou des propriétaires, et de carottes d'arbres. Les programmes qui souhaitent suivre les cycles de population peuvent également vouloir enregistrer la date de retrait des arbres. Pour tout projet de surveillance, si les données de référence n'ont pas été collectées au départ dans une optique de surveillance, il convient de consacrer beaucoup de temps à l'inspection de ces données afin de s'assurer qu'elles peuvent être utilisées dans le cadre de la surveillance. Par exemple, si les données de localisation se limitaient à des adresses, les équipes pourraient avoir du mal à déterminer l'emplacement des arbres individuels sur le terrain (voir la section 2.3 pour une analyse des avantages et des inconvénients des différentes méthodes de détermination de l'emplacement). Les organisations devront peut-être adapter leur approche aux données de référence pour permettre une surveillance efficace. Si les données de référence sur l'emplacement des arbres, les espèces ou d'autres variables sont incomplètes ou inexactes, les superviseurs de projet et les équipes sur le terrain devront les corriger. Des données trop erronées pourraient s'avérer inutilisables pour la surveillance. Il est important de comprendre la qualité des données de chaque variable dans les données de référence et de s'assurer que les observations sur cette qualité correspondent aux exigences du projet de surveillance, y compris les seuils d'acceptabilité définis pour chaque variable (voir section 2.1.13).

2.1.10. Déterminer si les équipes de terrain utiliseront le système métrique ou le système impérial, et le niveau de précision des mesures

Notez les unités de mesure utilisées.

Veillez à la cohérence et notez toujours sur la fiche de données ou dans le système mobile de collecte de données quelles unités sont utilisées. Les mêmes unités doivent être utilisées par toutes les équipes, sur tous les équipements et tout au long des différentes années de surveillance. Bien que les unités métriques (p. ex., mètres et centimètres) soient la norme dans la recherche scientifique, les gestionnaires de forêts urbaines aux États-Unis utilisent généralement les unités du système impérial (p. ex., pieds et pouces), et un projet de surveillance particulier peut nécessiter l'utilisation d'unités précises en raison de l'équipement disponible. De même, il faut décider si la circonférence du tronc ou le DHP sera mesuré. Bien que l'enregistrement du diamètre du tronc soit la norme en matière de recherche en écologie forestière, certains forestiers municipaux et membres du personnel d'organisations à but non lucratif préfèrent enregistrer la circonférence à hauteur de poitrine en raison de l'équipement disponible. Il est fortement recommandé d'enregistrer le diamètre du tronc. Toutefois, si seule la circonférence est notée, cela doit être précisé afin de permettre une conversion ultérieure. En outre, les superviseurs de projet devront décider du niveau de précision des mesures nécessaires. Lors de l'enregistrement du DHP, il est recommandé d'enregistrer au millimètre ou au dixième de pouce près. Cependant, certains professionnels de la foresterie urbaine ne disposent que d'équipements permettant de mesurer au demi-pouce ou au quart de pouce près. Ce type d'équipement ne permet pas d'analyser les taux de croissance des arbres individuels, mais peut néanmoins être utilisé pour regrouper les arbres en catégories de classe de taille. Si vous utilisez les unités du système impérial, il est recommandé des instruments gradués en dixièmes d'unité, car ils sont plus faciles à enregistrer que les autres (p. ex., rubans à mesurer en dixièmes de pouce plutôt qu'en quarts ou huitièmes de pouce ; perches de mesure

La hauteur jusqu'au point de mesure du DHP doit toujours être enregistrée pour chaque arbre.

en dixièmes de pied plutôt qu'en pieds et pouces). Le Guide de terrain indique également que la hauteur jusqu'au point de mesure du DHP doit toujours être enregistrée pour chaque arbre. En effet, (a) bien que la norme aux États-Unis soit de 4,5 pi (1,37 m), différentes hauteurs par défaut peuvent être utilisées aux États-Unis et dans le monde (Brokaw et Thompson 2000), et (b) le DHP peut être enregistré à différentes hauteurs selon la forme de l'arbre, comme les arbres à plusieurs tiges avec des ramifications basses (voir la section 6.6 pour plus de renseignements sur les défis de la mesure du DHP en milieu urbain). Quelles que soient les unités choisies, la décision doit être consignée dans un dictionnaire de données ou dans les **métadonnées** accompagnant les données brutes de terrain.

2.1.11. Déterminer le niveau de précision pour l'identification des espèces et les codes des espèces

Pour les projets d'inventaire inéquienne, les équipes devront identifier les espèces d'arbres sur le terrain, tandis que, pour les projets de surveillance des cohortes de plantation, les équipes devront confirmer les espèces à partir des données recueillies à la plantation. Certaines espèces sont difficiles à identifier avec précision, même pour l'œil le plus averti. Les genres urbains courants qui sont difficiles à identifier au niveau de l'espèce comprennent les pommiers (*Malus* spp., code MALUS), les cerisiers et pruniers ornementaux (*Prunus* spp., code PRUNU), et les aubépines (*Crataegus* spp., code CRATA). Ceux-ci doivent être inscrits au niveau du genre uniquement, à moins qu'il n'existe des documents clairs indiquant l'espèce, l'hybride ou le cultivar qui a été planté. Pour les interfaces mobiles avec un menu déroulant d'espèces d'arbres, il devrait donc y avoir une option pour l'identification du genre uniquement (p. ex., MALUS, PRUNU, et CRATA). Par ailleurs, les équipes de terrain moins expérimentées peuvent éprouver des difficultés avec certains genres, rendant parfois nécessaire une identification au niveau du genre, sauf si les objectifs de l'étude ne requièrent pas un tel niveau de précision. Par exemple, si les équipes sont convaincues qu'un arbre est un érable, mais ne sont pas sûres de l'espèce, elles peuvent n'enregistrer que le genre (*Acer* spp., code ACER). Il est également judicieux de prévoir une option « inconnu » pour l'identification du genre et de l'espèce, afin de permettre aux équipes de noter les cas où elles ne sont pas certaines. Une autre option consiste à ajouter des catégories telles que « latifolié inconnu » et « conifère inconnu ». L'identification de l'espèce ou du genre, combinée à des données sur la taille de l'arbre, peut suffire à faire des déductions sur la biomasse de l'arbre et les services écosystémiques (McPherson et al. 2016). Pour la surveillance des cohortes de plantation, les données recueillies à la plantation peuvent inclure l'espèce et même le cultivar, de sorte que ce niveau de détail pourrait être inclus dans l'analyse. En outre, les projets devront utiliser systématiquement les noms d'espèces ou de genres (et les noms de cultivars, le cas échéant). Lors de l'utilisation des codes d'espèces, nous recommandons les codes du programme UFIA (i-Tree 2017a), voir la section 2.8 du Guide de terrain.

2.1.12. Déterminer comment l'équipe fera des recherches sur les espèces inconnues et les identifiera

L'identification des d'arbres urbains peut s'avérer difficile, car il existe de nombreuses espèces indigènes et exotiques. Les stratégies, guides ou outils à utiliser pour identifier les espèces inconnues dépendront du protocole défini par le superviseur concernant les données à enregistrer et la documentation à noter pour le superviseur. Les options pour identifier les espèces inconnues incluent l'utilisation de guides de terrain sur place, le prélèvement d'échantillons de

feuilles en vue d'une analyse plus approfondie au bureau, la prise de photos détaillées à envoyer à des experts, ainsi que le recours à des applications mobiles d'identification des espèces par les feuilles (voir l'annexe 2 pour une liste de ressources). Étant donné que l'utilisation des guides d'identification demande une expertise variable, une formation peut être nécessaire. Les superviseurs pourraient préparer un guide personnalisé pour leur projet, avec des espèces d'arbres courantes dans leur ville ou dans leur région. Si des photos sont prises à des fins d'identification, elles devraient inclure des les feuilles, les fruits, les noix ou les fleurs, l'écorce et le profil de l'arbre entier. Ces photos doivent porter l'identifiant de l'arbre. Si l'on utilise des fiches de données papier, une feuille de papier vierge ou un mini tableau blanc est pratique pour afficher l'identifiant de l'arbre en arrière-plan. De plus, des renseignements sur les conditions environnementales dans lesquelles l'arbre pousse (p. ex., humide ou sec), sur son emplacement dans le paysage et sur le fait qu'il semble avoir été planté ou avoir poussé naturellement peuvent contribuer à l'identification de l'espèce. Si l'arbre échantillon est suffisamment présent et si c'est permis, les équipes de terrain peuvent prélever des échantillons physiques de feuilles; elles auront alors besoin de sacs en papier et d'un marqueur permanent pour enregistrer l'identifiant de l'arbre.

2.1.13. Fixez des seuils d'acceptabilité pour chaque variable

Les besoins de précision et d'exactitude de chaque variable varient selon les projets, comme évoqué précédemment en ce qui concerne l'identification des espèces (section 2.1.11). Comme l'indique Loshin (2011), dans un article sur la qualité des données pour les entreprises, « [le] seuil d'acceptabilité est le point à partir duquel le non-respect mesuré des attentes de l'utilisateur peut avoir un impact matériel sur l'entreprise ». En foresterie urbaine, les seuils d'acceptabilité dépendent des utilisations prévues des données, que ce soit pour la gestion ou la recherche. Définir les niveaux acceptables d'incohérence ou d'erreur pour chaque variable permet d'orienter l'évaluation des équipes de terrain lors de la formation ou des **vérifications de la qualité** (voir les sections 3.1.2 et 3.2). À titre d'exemple, Roman et al. (2017) ont suggéré que les mesures de DHP effectuées par des bénévoles qui se situent à $\pm 2,54$ cm (± 1 pouce) des mesures d'experts sont acceptables pour la plupart des applications de gestion, tandis qu'un seuil de tolérance du DHP de $\pm 0,254$ cm ($\pm 0,1$ pouce) est approprié pour la plupart des recherches scientifiques. L'UFIA fixe notamment des normes de qualité des données pour le genre, l'espèce, le DHP et de nombreuses autres variables (USDA FS 2016). Les programmes FIA et UFIA font référence à la répétabilité des mesures, qui prend en compte la plage acceptable de différences entre les mesures (c.-à-d. la tolérance) et la proportion acceptable de différences à l'intérieur de cette tolérance (c.-à-d. les objectifs de qualité des mesures [OQM]). Le seuil de tolérance doit être respecté pour une partie des observations pour atteindre l'objectif de qualité des données. Une évaluation du respect des OQM pour les débris ligneux grossiers et fins (qui servent de combustible aux incendies de forêt) a été décrite dans Westfall et Woodall (2007) et a révélé que de nombreuses variables n'ont pas atteint les niveaux de répétabilité souhaités. Kitahara et al. (2009) ont aussi décrit la cohérence entre les équipes de terrain et les équipes de contrôle pour l'inventaire forestier national japonais, et une fois encore, de nombreuses variables n'ont pas atteint les seuils des OQM fixés pour les données du FIA. Il est donc important de noter que même les équipes certifiées professionnellement ne produisent pas de données parfaites. Les seuils d'acceptabilité d'un projet donné doivent tenir compte à la fois des besoins en matière de qualité des données pour les analyses prévues et de l'aspect pratique de la reproductibilité entre les équipes.

Les seuils d'acceptabilité doivent tenir compte à la fois des besoins en matière de qualité des données et de la reproductibilité entre les équipes.

2.1.14. Décider s'il faut faire le suivi des sites de plantation, des arbres ou des deux

Certains projets de surveillance se concentrent sur la mortalité, la croissance et la santé d'un groupe d'arbres, sans tenir compte des plantations de remplacement lorsque des arbres sont enlevés. D'autres projets peuvent s'intéresser à des sites de plantation, tels que les découpes de trottoirs (également connues dans certaines régions sous le nom de « trous de plantation »), qui peuvent comporter une succession d'arbres au fil des ans, mais dont l'emplacement géographique reste constant, avec un seul arbre au maximum par site. Ce site est suivi dans le temps et surveillé même lorsque le trou ne comporte pas d'arbre. Le suivi des sites d'arbres de rue est utile pour la planification et la gestion (p. ex., les niveaux de stockage, les besoins de plantation) et pourrait s'appliquer aux projets de surveillance d'inventaire inéquienne, en particulier pour la surveillance des remplacements (voir section 2.1.15). Des renseignements supplémentaires (p. ex., conflit avec les services publics aériens, caractéristiques du sol) peuvent être collectés sur le site, que l'arbre soit présent ou non, afin d'orienter les activités de gestion. La décision de suivre les sites, les arbres, ou les deux influence la structure de la base de données longitudinale d'un projet de surveillance et l'attribution des **clés primaires** et des **clés uniques** (voir section 2.5.1).

2.1.15. Décidez de la manière de gérer les arbres de remplacement

Les arbres de remplacement, définis ici comme des arbres plantés exactement au même endroit que les arbres enlevés, peuvent être pertinents pour la gestion des arbres de rue, où les emplacements possibles des arbres sont relativement fixes. Les contrats municipaux de plantation d'arbres de rue peuvent inclure une obligation de remplacement, les entrepreneurs étant alors chargés de remplacer les arbres morts dans les quelques années qui suivent la plantation. De même, les programmes à but non lucratif qui font le suivi des arbres de rue qu'ils plantent peuvent utiliser les données de surveillance pour générer des demandes de remplacement. Indiquer qu'un arbre est un remplacement peut être utile dans le cadre d'études de surveillance des cohortes de plantation (si l'on souhaite faire le suivi des arbres de remplacement, et pas seulement de la cohorte de plantation initiale). Le suivi des remplacements dans le cadre de projets de surveillance de cohortes de plantation ou d'inventaires inéquiennes peut également aider les gestionnaires à reconnaître que certains sites perdent continuellement des arbres et pourraient donc être déclarés inadéquats pour la plantation. Les chercheurs peuvent également s'intéresser aux taux de remplacement, qui peuvent révéler des tendances en matière de densité de plantation et de préférences de sélection des espèces, ainsi qu'éclairer les projections de populations d'arbres (van Doorn et McPherson, 2018).

Les arbres de remplacement sont des arbres plantés exactement au même endroit que les arbres enlevés.

2.1.16. Décider de la manière de traiter les « arbres zombies »

Selon les critères de l'état de mortalité présentés dans le Guide de terrain (voir Guide de terrain section 2.9), CFS Science and Technology (S&T) Publications Handbook. En pratique, il est assez facile de confirmer les deux premiers critères pour les petits arbres, mais il est beaucoup plus difficile de confirmer l'absence de tissus verts, en particulier sur les grands arbres. Comme il est possible que des arbres récemment défoliés disposent encore de ressources pour produire de nouvelles feuilles et survivre, les incohérences dans l'état de mortalité ne peuvent pas être complètement éliminées. C'est ainsi qu'apparaît la question des

« arbres zombies », que nous définissons comme des arbres morts sur pied lors d'une visite sur le terrain (p. ex., au moment 0), mais vivants lors de la visite suivante (p. ex., au moment 1). Si de tels arbres sont observés au moment 1, une solution possible pour la base de données consiste à créer une colonne d'état de mortalité corrigé pour le moment 0 et à changer la désignation de l'arbre comme « vivant ». En d'autres termes, un arbre que l'on croyait mort sur pied au moment 0 serait corrigé pour être « vivant », pour refléter les informations obtenues au moment 1. Un problème similaire, mais distinct, se pose lorsqu'un arbre est planté (ou se régénère naturellement), mais est ensuite enlevé avant de pouvoir être ajouté au projet de surveillance; autrement dit, un arbre qui a été planté mais retiré si rapidement que l'équipe de terrain ne l'a jamais observé. On parle alors de « mortalités fantômes » (Sheil 1995, van Mantgem et Stephenson 2005). Certaines études spécifient le taux de mortalité fantôme et le rapportent comme faisant partie du taux d'erreur (van Doorn et al. 2011). Les cas d'« arbres zombies » et de « mortalités fantômes » sont rares dans l'ensemble, mais ils peuvent affecter le calcul des taux de mortalité. Les superviseurs de projet doivent donc prévoir à l'avance la manière de gérer ces situations.

2.1.17 Déterminer l'usage prévu de la variable des rejets de souche

L'utilisation prévue de la variable rejet de souche (voir la section 2.10 du Guide de terrain) peut varier selon les objectifs du projet. La surveillance des **rejets de souche** peut, par exemple, modifier la façon dont les gestionnaires choisissent de coder l'état de mortalité (voir le Guide de terrain, section 2.10). À des fins de gestion, les arbres morts au niveau de la tige principale doivent généralement être enlevés, en particulier les grands arbres morts qui pourraient causer des dommages aux personnes ou aux infrastructures, indépendamment de la présence ou non de rejets de souche. Dans le Guide de terrain, la définition des catégories de mortalité reflète cette compréhension dans le contexte réel : un arbre est considéré comme « mort » lorsque son tronc principal l'est. Toutefois, s'il présente encore des rejets de souche vivants, il est classé parmi les arbres morts sur pied. Pourtant, techniquement, si des rejets de souche sont présents sur un arbre, cet organisme n'est pas totalement mort. Un « nouvel » arbre peut même émerger des rejets. Par exemple, nous avons vu des cas d'arbres récemment plantés, morts au niveau de la tige principale, mais avec des rejets de souche, laissés à eux-mêmes (c.-à-d. non enlevés) dans des cours résidentielles, des rues négligées ou des placettes expérimentales, et qui repoussent pour devenir des arbres entiers. Ces arbres peuvent développer de grands couverts, mais pas nécessairement des formes attrayantes. La figure 1 montre un exemple de rejet se transformant en arbre entier dans le cadre d'une étude de surveillance des plantations expérimentales d'arbres résistants au climat (McPherson et al. 2018). Bien que l'arbre soit toujours le même organisme vivant, selon notre méthode d'enregistrement d'état de mortalité (voir le Guide de terrain, section 2.9), la tige émergeant du rejet de souche serait enregistrée comme un nouvel arbre ou un arbre de remplacement. Si l'on considère les études axées sur la croissance du DHP, il serait utile d'enregistrer le rejet de souche émergeant comme un nouvel arbre, car il n'est pas logique de comparer directement les diamètres de l'ancienne tige principale morte et de la nouvelle tige poussant à partir d'un rejet. Toutefois, un chercheur



Figure 1—*Parkinsonia* x « *Desert Museum* » planté à l'Université de Californie, Davis, est un exemple de rejet de souche qui a repoussé en une nouvelle tige principale. En 2015, le *Parkinsonia* x « *Desert Museum* » (A, arbre au premier plan) était vivant et la tige principale était intacte. L'arbre a été enregistré avec un état de mortalité « vivant ». En 2016, la tige principale s'est cassée (B) et un petit rejet a poussé. L'arbre a été enregistré comme une souche, avec la présence d'un rejet de souche. En 2018, le rejet avait grandi (C) et avait développé de nombreuses feuilles et fleurs, devenant ainsi la nouvelle tige principale. Ce rejet a reçu un nouvel identifiant d'arbre et a été enregistré comme vivant en 2018, avec une note indiquant son origine en tant que rejet ainsi que l'identifiant de l'arbre d'origine. Le fait de noter ces détails permet d'exclure plus facilement cette situation en fonction de l'analyse effectuée. La variable des notes pour révision par le superviseur dans l'ensemble minimal de données a été conçue pour gérer ce type de situation inhabituelle (voir le Guide de terrain, section 2.13).

Le fait de pouvoir identifier les cas étranges, mais rares permet de prendre des décisions plus éclairées dans le cadre des études de surveillance.

souhaitant définir la mortalité au sens strict, c'est-à-dire que l'arbre doit être « complètement mort », considérerait un arbre avec rejet de souche comme vivant rejets de souche. Dans ce cas, l'analyste devra recoder l'état de mortalité pour refléter l'utilisation différente de la variable de rejet de souche de souche. Les défis posés par les rejets de souche dans l'interprétation des résultats de mortalité sont relativement rares dans la surveillance des arbres urbains, mais ces cas inhabituels peuvent perturber les équipes de terrain et les analystes. Nous soulevons donc ce sujet pour encourager les superviseurs de projet à examiner attentivement la façon dont les rejets de souche sur des arbres autrement morts seront traités. Le fait de pouvoir identifier ces cas rares mais particuliers permet de prendre des décisions plus éclairées dans le cadre des études de surveillance.

2.1.18. Concevoir une feuille de calcul ou une base de données pour l'organisation des données de surveillance

Une feuille de calcul ou une base de données bien conçue est essentielle pour organiser les données collectées et permettre leur analyse. Il est important de planifier l'organisation des données avant le début de la collecte. Broman et Woo (2018) ont proposé des lignes directrices générales pour l'organisation des données dans les feuilles de calcul, et bon nombre de leurs recommandations sont probablement déjà bien connues des forestiers urbains ayant travaillé avec des inventaires d'arbres. Leurs lignes directrices sont les suivantes : être cohérent (en particulier en ce qui concerne les conventions de dénomination des variables, les codes pour les variables catégorielles et les dates), utiliser un code pour indiquer les valeurs manquantes (plutôt que de laisser les cellules vides) et créer un dictionnaire de données (également appelé métadonnées). La conception d'une feuille de calcul ou d'une base de données implique également la création de clés primaires et uniques (voir section 2.5.1). D'autres considérations s'appliquent aux projets de surveillance qui produisent des données longitudinales. Il est notamment important de décider de la présentation des données tabulaires : format long ou format large (voir section 2.5.2). Pour les ensembles de données particulièrement importants ou complexes, il est conseillé de créer un ensemble de données de base stocké dans un répertoire géré par une ou quelques personnes sélectionnées afin de minimiser les risques de contamination. Pour effectuer des analyses, les données souhaitées peuvent être extraites du dépôt dans un fichier de travail. Toute erreur détectée dans le fichier de travail doit être portée à l'attention de la (des) personne(s) responsable(s) de la maintenance de la copie originale afin de résoudre les éventuels problèmes.

2.2. Qu'est-ce qu'un arbre?

Le mot « arbre » n'a pas de définition botanique standard (Gschwantner et al. 2009, Lund 1999). Bien que le terme désigne généralement des plantes ligneuses présentant une croissance secondaire (c.-à-d. dont le tronc s'épaissit chaque année en poussant vers l'extérieur) et une couronne distincte, il existe diverses façons de définir ce qu'est un « arbre » ou de déterminer quels « arbres » doivent être surveillés dans le cadre d'une étude. Par exemple, les palmiers ne sont pas considérés comme des « arbres » selon les définitions typiques de la foresterie, mais ils sont gérés comme des arbres dans de nombreuses forêts urbaines. Il convient de noter que l'inclusion des palmiers nécessiterait également des modifications dans l'enregistrement des données de croissance et de vigueur, car les méthodes adaptées aux arbres feuillus et aux conifères ne s'appliquent pas aux palmiers (Blair et al. 2019). À titre d'exemple, les études de surveillance des palmiers visant à caractériser la croissance doivent prendre en compte la croissance de la hauteur totale, car la croissance du DHP et la croissance de la largeur du couvert ne sont pas pertinentes d'un point de vue biologique.

Ne pas définir le terme « arbre » pour un projet peut entraîner des incohérences dans les données de terrain.

D'autres définitions du terme « arbre » tiennent compte du nombre de tiges, les arbres étant généralement considérés comme des plantes possédant une tige principale, ainsi que de la hauteur à maturité, les arbres étant plus grands que les arbustes. Les arbustes se distinguent souvent des arbres par leurs troncs multiples et leur hauteur plus courte, mais il n'existe pas nécessairement de limite de hauteur stricte. En foresterie urbaine, certains végétaux qui seraient considérés comme des « arbustes » en raison de leur mode de croissance (c.-à-d. avec plusieurs « troncs ») peuvent être taillés en forme d'« arbres », ce qui ajoute à

la confusion. On peut citer à titre d'exemple l'amélanchier (*Amelanchier* spp.), le lilas des Indes (*Lagerstroemia* spp.) et la dague espagnole (*Yucca* spp.). Les différences dans les types de plantes incluses dans les projets de surveillance des forêts urbaines peuvent compliquer les comparaisons entre les villes et les programmes. De plus, omettre de définir ce qu'est un « arbre » dans un projet peut entraîner des incohérences dans les données de terrain.

Une façon de définir le terme « arbre » dans le cadre d'un inventaire ou d'un projet de surveillance est de fixer une taille minimale en hauteur et en DHP, de manière à exclure à la fois les arbustes et les jeunes arbres, comme cela se fait couramment en foresterie rurale. Les inventaires par parcelle et les études de recensement répétées ont suivi ce modèle. Par exemple, dans les forêts rurales, le programme FIA enregistre traditionnellement les arbres dont le DHP est d'au moins 12,7 cm (5 pouces), avec l'ajout récent de jeunes arbres jusqu'à 2,54 cm (1 pouce) dans les microparcelles (McRoberts et al. 2005). Une approche similaire a été adoptée dans le protocole d'i-Tree Eco pour les parcelles forestières urbaines, qui prévoit l'enregistrement de toutes les tiges ligneuses ayant un DHP d'au moins 2,54 cm (1 pouce) [i-Tree 2017a].

Cependant, l'approche consistant à utiliser des seuils de taille pour définir ce qui est considéré comme un arbre peut également devenir problématique, conduisant à ce que des espèces communément considérées comme des « arbustes » soient déclarées comme les « arbres » les plus courants dans les forêts urbaines. Par exemple, une étude i-Tree Eco à Philadelphie (Pennsylvanie) a révélé que le plus commun des arbres était le lindera (*Lindera benzoin*), généralement considéré comme un arbuste (Nowak et al. 2016b). Une observation similaire a été faite à Chicago (Illinois), où le nerprun cathartique (*Rhamnus cathartica*) était l'arbre le plus répandu (Nowak et al. 2013a). En outre, l'utilisation d'une limite de 2,54 cm (1 pouce) dans les forêts urbaines a exclu certains petits arbres récemment plantés qui sont très importants pour les gestionnaires et les chercheurs qui étudient la phase d'établissement. Inversement, ces petits arbres peuvent être jugés moins pertinents par certains, car ils ne sont pas encore assez grands pour offrir des avantages environnementaux considérables. L'avantage de ce seuil de 2,54 cm (1 pouce) est qu'il est relativement simple à comprendre et à mettre en œuvre par les équipes de terrain. Les nouvelles mesures des parcelles d'i-Tree Eco ont appliqué avec succès le seuil de 2,54 cm (1 pouce) pour évaluer les changements au fil du temps lorsque les parcelles étaient référencées de manière permanente (p. ex., Lawrence et al. 2012, Nowak et al. 2004).

Pour éviter que des plantes considérées comme des « arbustes » ne soient enregistrées comme des « arbres », une stratégie consiste à limiter la collecte de données à une liste d'espèces prédéterminée, composée d'espèces généralement considérées par les chercheurs et les gestionnaires comme des « arbres ». Selon cette approche, les équipes de terrain recevraient une liste d'espèces admissibles à l'étude. Cette stratégie peut également favoriser la formation et la productivité des équipes de terrain, puisque leurs tâches d'identification se limitent à un groupe prédéterminé d'espèces. Le programme UFIA utilise cette stratégie en plus de l'établissement d'un seuil de DHP. Les listes d'espèces de l'UFIA pour les différentes régions des États-Unis sont disponibles dans le Guide de terrain de l'UFIA (i-Tree 2017a). Les équipes peuvent également recevoir une liste d'espèces qui ne sont pas considérées comme des « arbres » et devraient être exclues dans le cadre de l'étude en question. Par exemple, on pourrait demander

aux équipes d'enregistrer les arbres d'au moins 2,54 cm (1 pouce) de DHP, mais d'exclure certaines espèces arbustives (p. ex., exclure le laurier benzoin à Philadelphie (Pennsylvanie) et le nerprun cathartique à Chicago (Illinois).

La surveillance des arbres des rues peut également être source de confusion. En effet, ce que les gestionnaires définissent comme un « arbre de rue » peut varier d'une ville à l'autre et même au sein d'une même ville. À titre d'exemple, les arbres de rue pourraient être limités aux arbres situés dans les espaces de trottoir dotés d'une découpe ou d'une bande de plantation. Ces espaces peuvent constituer le type d'arbre de rue dominant dans les réseaux routiers dotés de trottoirs. Dans d'autres rues et routes dépourvues de trottoirs, des arbres peuvent être plantés dans les cours avant et être considérés comme des arbres de rue en raison de leur emplacement dans l'emprise publique.

Même lorsqu'il y a un trottoir, un arbre situé du côté du bâtiment peut être considéré comme un arbre de propriété privée ou comme un arbre de rue municipal public, en fonction du contexte local. Une étude de recensement répété des arbres de rue à Oakland (Californie) a relevé ce défi en adoptant une définition très restrictive des arbres de rue : seuls les arbres situés entre le trottoir et le bord du trottoir ont été inclus (Roman et al. 2014b). Pourtant, cette définition très restrictive de l'arbre de rue n'est envisageable que lorsque toutes les rues sont dotées de trottoirs.

Pour une étude de surveillance d'inventaire inéquienne des arbres de rue, les gestionnaires de projet devront déterminer (1) si le terme « arbre » repose sur un seuil minimal de DHP, d'une liste d'espèces prédéterminée ou des deux, et (2) si le terme « arbre de rue » est défini par l'emprise publique ou par sa relation avec les trottoirs et les terre-pleins centraux. Pour la surveillance des cohortes de plantation des arbres de rue, la définition du terme « arbre » peut être beaucoup plus simple : l'ensemble des arbres plantés dans le cadre d'un programme donné. Les espèces admissibles seraient déterminées en fonction des espèces figurant dans les registres de plantation. Ces projets n'ont pas besoin d'un seuil minimal de taille pour inclure un arbre dans l'étude, car les arbres considérés sont tous des arbres issus du programme de plantation, quelle que soit leur taille actuelle.

Quel que soit le choix retenu, il est important de choisir une définition du terme « arbre » et de s'y tenir tout au long de l'étude de surveillance. L'absence d'une définition claire et cohérente peut entraîner une interprétation erronée des changements au fil du temps en raison des divergences sur les plantes incluses ou exclues de l'étude. Cela peut conduire à des dénombrements différents par les équipes de terrain (Roman et al. 2017), ou amener les analystes à modifier les données de référence afin d'harmoniser la définition du terme « arbre » (Roman et al. 2014b). Cette situation complique l'interprétation des variations de la taille totale de la population et peut introduire des erreurs dans les calculs de mortalité, de croissance et d'état de santé. Le tableau 2 présente des définitions possibles du terme « arbre » pour différents types de projets de surveillance.

Tableau 2—Définitions de l'arbre pour différents types de projets de surveillance

Type de projet de surveillance	Nom abrégé pour la définition de l'arbre	Description
Surveillance des cohortes de plantation	Arbre planté dans le cadre d'un programme précis	L'arbre est défini par son inclusion dans la liste de plantation du programme. Seuls les arbres plantés dans le cadre de ce programme font l'objet d'une surveillance, et tous sont considérés comme des arbres à inclure dans l'étude, indépendamment de leur taille ou de leur mode de croissance (p. ex., même les espèces souvent considérées comme des arbustes, comme le lilas des Indes [<i>Laegerstroemia</i> spp.]).
Inventaire inéquienne (général)	DHP minimum 2,54 cm (1 pouce)	Les arbres sont définis comme des plantes ligneuses dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) est d'au moins 1 pouce (2,54 cm). Cette méthode, basée sur l'outil i-Tree Eco et l'UFIA du Service des forêts du USDA, présente l'avantage d'être facile à appliquer sur le terrain pour les personnes responsables de la collecte des données. Toutefois, elle peut exclure certains petits arbres récemment plantés tout en incluant des espèces habituellement considérées comme des arbustes.
	Liste des espèces prédéfinie	Les arbres sont définis par une liste d'espèces à inclure ou à exclure. Les espèces non pertinentes sont explicitement écartées de la définition d'« arbre » pour l'étude. Par exemple, un inventaire répété pourrait exclure les plantes à port arbustif (p. ex., les touffes de bambou, le laurier benzoin, le nerprun, le troène).
Inventaire inéquienne (arbres de rue)	Les arbres se trouvant entre le trottoir et la rue, et sur les terre-pleins	La surveillance est limitée aux types de sites, tels que les découpes de trottoir et les bandes de plantation, situés entre le trottoir et la rue, ainsi qu'aux arbres plantés dans les terre-pleins. Il s'agit d'une définition très restrictive de l'arbre de rue, car elle exclut les arbres de trottoir situés juste à côté des bâtiments, mais inclut les arbres de trottoir situés juste à côté de la bordure du trottoir. Cette définition peut être appliquée de manière plus cohérente par les équipes de terrain au cours de nombreuses années de surveillance.
	Arbres sur les trottoirs et les terre-pleins	La surveillance est limitée aux types de sites suivants (section 2.4) : découpe de trottoir, bande de plantation sur le trottoir et terre-plein. (Les arbres sur les pelouses ne sont pas inclus, même s'ils se trouvent dans l'emprise.) Cette définition est particulièrement pertinente dans les villes où les arbres de rue sont principalement gérés comme les arbres de l'espace des trottoirs. Il peut y avoir une certaine confusion au sein des équipes quant à l'enregistrement des arbres situés dans l'espace du trottoir, mais adjacents aux bâtiments (et non à la rue). Selon cette définition, ces arbres seraient enregistrés, alors que, selon la définition de la ligne précédente, ces arbres ne seraient pas enregistrés.
	Arbres à l'intérieur de l'emprise	La surveillance repose sur une distance fixe à partir du centre de la route, du bord du trottoir ou de la chaussée (c.-à-d. l'emprise), telle que définie par la municipalité locale. Tous les arbres situés à l'intérieur de cet espace sont inclus dans la surveillance, que l'utilisation des terres soit privée ou publique, ou que le type de site soit une cour avant ou un trottoir. Cette définition est la plus pertinente pour les forestiers municipaux, mais elle peut être difficile à appliquer sur le terrain, car les équipes ne savent pas toujours quelle est la distance entre l'emprise et le centre de la route pour chaque rue. Cette définition est également la plus pertinente pour les villes et les banlieues sans trottoirs, où les arbres des cours avant situés près de la route sont souvent considérés comme des arbres de rue.

^a Les superviseurs de projet peuvent devoir combiner des définitions, par exemple en utilisant à la fois une liste d'espèces et un seuil de taille, ou encore une définition d'arbre de rue combinée à un seuil de taille.

2.3. Choisir la méthode de détermination de l'emplacement appropriée

L'utilisation de plusieurs méthodes complémentaires d'enregistrement de l'emplacement permettra de trouver les arbres de manière fiable.

L'information de localisation sert à retrouver de façon fiable les mêmes arbres au fil du temps et à associer les données de terrain sur les arbres à d'autres ensembles de données géospatiales. La localisation géographique est une donnée essentielle pour le suivi. Sans emplacement précis, un arbre ne peut pas être retrouvé pour être remesuré, et ses données ne peuvent pas être reliées aux observations passées et futures. Ci-dessous se trouvent des lignes directrices sur les méthodes de localisation appropriées selon différents types de sites. Il est recommandé de choisir au moins deux méthodes de localisation complémentaires. Ainsi, en cas de problème avec l'une des méthodes, l'autre peut servir comme solution de rechange pour aider les équipes futures à repérer l'arbre. Par exemple, une équipe peut localiser un arbre de rue à l'aide de l'adresse et du code du site et noter des coordonnées de latitude et de longitude très précises à l'aide d'un récepteur GPS (système de positionnement global). Dans la mesure du possible et en fonction des capacités du programme, il est recommandé d'utiliser des étiquettes d'identification, de plans de site à l'échelle ou de dispositifs GPS de haute précision (c.-à-d. avec une précision inférieure au mètre). Il est aussi fortement conseillé de photographier chaque arbre, de préférence avec des éléments semi-permanents de l'environnement bâti en arrière-plan (p. ex., des bâtiments, des panneaux de signalisation, d'autres infrastructures bâties), afin de fournir des indices visuels permettant aux futures équipes de terrain de repérer l'arbre (voir la section 2.5 du Guide de terrain). Notez que, dans le Guide de terrain, nous abordons en détail trois protocoles de localisation des arbres. D'autres méthodes, ainsi que les avantages et les inconvénients de chacune, sont présentées ici dans le Guide des ressources (tableau 4 et le reste de la section 2.3).

La détermination de l'emplacement des arbres à l'aide de coordonnées GPS sur le terrain présente des lacunes, en particulier lorsque l'on utilise un équipement conventionnel.

Bien que la production des coordonnées de latitude et de longitude de chaque arbre puisse sembler idéale pour cartographier les arbres urbains, il ne faut pas uniquement se fier à ces coordonnées. Lorsque les coordonnées sont générées par le géocodage des adresses municipales, elles tombent généralement au centre d'une parcelle (c.-à-d. pas à l'endroit où se trouve réellement l'arbre). Lorsqu'on utilise un GPS sur le terrain, les relevés peuvent présenter une marge d'erreur de plusieurs mètres avec un équipement conventionnel, bien que certains dispositifs puissent offrir une précision inférieure au mètre après traitement. D'autres problèmes liés à la génération de coordonnées cartographiques à l'aide d'appareils GPS sont abordés ci-dessous. Chaque méthode de localisation a ses propres forces et faiblesses, et c'est au superviseur du projet de déterminer lesquelles (deux ou plus) conviennent le mieux.

Il convient de noter que nous ne donnons pas ici de lignes directrices détaillées pour l'enregistrement des emplacements dans le cadre d'inventaires par parcelle. Les parcelles constituent un cas particulier, et les centres de parcelles générés aléatoirement peuvent souvent être difficiles à repérer. Pour les localiser de manière fiable, plusieurs méthodes peuvent être utilisées : objets de référence, distance et direction de tous les arbres à partir du centre de la parcelle, descriptions écrites pour s'y rendre, photos montrant une personne se tenant au centre de la parcelle et photos prises depuis le centre de la parcelle en direction de chacun des points cardinaux (voir le tableau 3 et la section 2.3.9 sur les objets de référence). L'idéal est de marquer les centres et les limites de parcelles de façon permanente (p. ex., avec des drapeaux et des piquets), mais cela peut s'avérer difficile dans les environnements urbains en raison du grand nombre

Tableau 3—Méthodes de détermination de l'emplacement des arbres urbains et types de sites concernés pour chaque méthode

Méthode de localisation	Définition	Types de sites concernés
Adresse et code de site	L'adresse correspond au numéro civique et au nom de rue de la propriété sur laquelle se trouve l'arbre, ou de la propriété adjacente à l'arbre. Le code de site est un code d'identification associé à cette adresse. Cette méthode est le plus souvent utilisée pour les arbres de rue. Par exemple, D pour devant l'adresse, C pour le côté du bâtiment, TP pour le terre-plein. Voir la section 2.4.1 du Guide de terrain pour plus de détails sur les protocoles relatifs à l'adresse et au code du site pour les arbres de rue.	Découpe de trottoir, bande de plantation sur le trottoir, terre-plein, cour avant, cour arrière
Distance par rapport au bord du pâté de maisons	Pour les arbres de rue, cette méthode consiste à mesurer en ligne droite la distance entre le bord du trottoir à une intersection et le bord du trottoir à l'intersection suivante à l'aide d'un télémètre, d'un ruban de paysagiste, d'un ruban d'arpenteur ou d'une roue de mesure. Voir la section 2.4.2 du Guide de terrain pour les protocoles de cette méthode.	Découpe de trottoir, bande de plantation sur le trottoir, terre-plein
Numérisation des emplacements sur des images satellites	Une image satellite imprimée ou numérique de la zone d'étude est marquée sur le terrain pour indiquer l'emplacement de l'arbre étudié. L'emplacement est converti en format numérique à l'aide d'un programme informatique. Voir la section 2.4.3 du Guide de terrain pour les protocoles de cette méthode.	Tous les types de site
Étiquette d'identification	Étiquette d'identification comportant un code ou un numéro, généralement apposée sur les jeunes arbres à l'aide d'attaches en plastique ou des clous dans les grands arbres.	Tous les types de site, mais particulièrement utiles dans les zones naturelles
Coordonnées du système mondial de localisation (GPS)	Coordonnées de l'emplacement de l'arbre (p. ex., latitude et longitude). Assurez-vous de noter la précision moyenne indiquée par l'unité GPS (p. ex., ± 3 m, ± 10 m, etc.), les unités, le système de coordonnées et le datum	Tous les types de sites
Plan de site paysager	Un plan du site dessiné à l'échelle illustrant les arbres et autres points de repère utiles dans le paysage. Les plans de site paysagers sont généralement dessinés par un arboriste professionnel ou un architecte paysagiste, mais il existe des outils en ligne et des livres pour aider les participants moins expérimentés à réaliser des plans paysagers (Ellis 2015).	Tous types de sites, mais particulièrement utiles pour les cours et les parcs aménagés
Rue de l'arbre, rue de départ et rue d'arrivée	Un système permettant de noter le segment de rue précis où se trouve un arbre, particulièrement adapté aux inventaires d'arbres de rue dans un réseau de rues en grille. La « rue de l'arbre » (<i>On</i>) est la rue sur laquelle l'arbre se trouve réellement, la rue « de départ » (<i>From</i>) est celle qui suit l'ordre décroissant des numéros d'adresse, et la rue « d'arrivée » (<i>To</i>) est la première rue rencontrée en suivant l'ordre croissant des numéros d'adresse. Le côté de la rue peut également être enregistré (p. ex., numéros d'adresse pairs ou impairs, côté nord ou sud du pâté de maisons). Voir la section 2.4.1 du Guide de terrain pour des détails et des exemples.	Découpe de trottoir, bande de plantation sur le trottoir, terre-plein, cours avant
Photos	Cette méthode consiste à prendre une photo de l'arbre entier avec un arrière-plan suffisant pour fournir un contexte de l'emplacement, tel qu'un élément d'infrastructure identifiable (p. ex., une maison, un lampadaire, une borne d'incendie, un coin de rue). De nouvelles photos doivent être prises à chaque visite sur le terrain afin de relever les changements dans le paysage et d'aider les équipes futures à repérer l'arbre.	Tous les types de sites
Objets de référence	Distance et orientation par rapport à des éléments du paysage qui ne sont pas susceptibles de changer pendant plusieurs décennies. Par exemple, un objet de référence pour un arbre de cour pourrait être l'angle nord-ouest de l'extérieur de la maison. Les équipes de terrain mesurent alors la distance et l'orientation au compas entre l'arbre et cet angle de la maison. Cette méthode est basée sur les protocoles développés pour les inventaires par parcelle tels que i-Tree Eco. Pour les protocoles détaillés, voir i-Tree (2017a).	Cours; parcs aménagés

de propriétaires privés et du risque que le public modifie les repères. Pour plus de renseignements sur les méthodes de localisation par parcelle, voir van Doorn (2014) et i-Tree (2017a).

2.3.1. Méthode par adresse et code de site

Les adresses de propriété et les codes de site sont généralement utilisés pour les arbres de rue (voir la section 2.4.1 du Guide de terrain) et il est important de les utiliser ensemble, car le code de site est lié à l’adresse. Par exemple, l’adresse 100, Main Street, pourrait avoir des arbres aux codes de site 1D et 2D (pour indiquer deux arbres devant la propriété), puis pour l’adresse 102, Main Street, la numérotation des codes de site commencerait à nouveau avec 1D. Lorsque plusieurs arbres sont attribués à une même adresse, l’utilisation d’une seule adresse peut entraîner des difficultés pour distinguer les arbres individuels les uns des autres. L’enregistrement d’un code de site permet d’éviter toute ambiguïté en identifiant la position relative de l’arbre sur la propriété. Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont présentés dans le tableau 4.

En fonction des objectifs du projet, l’enregistrement de l’adresse uniquement (sans le code du site) peut toujours être utile pour des raisons autres que la localisation de l’arbre sur le terrain. Les adresses peuvent permettre de relier les renseignements sur les arbres aux données relatives à la parcelle ou aux données socioéconomiques du bureau de recensement des États-Unis, ou permettre l’envoi d’un courrier au résident pour l’informer sur l’arbre en question au moyen d’enquêtes qualitatives. Dans ce cas, l’adresse ne doit pas être considérée comme une méthode de localisation de l’arbre, mais peut être utilisée comme un élément d’information supplémentaire pour la recherche ou la gestion.

Tableau 4—Avantages et inconvénients de la méthode par adresse et code de site

Avantage	Inconvénient
Facile à collecter sur le terrain pour établir les données de référence.	Fournit des renseignements de localisation peu précis en vue d’une surveillance future.
Ne nécessite pas d’équipement supplémentaire.	Il peut y avoir une ambiguïté si des arbres sont enlevés ou ajoutés au fil du temps.
Conforme aux méthodes d’inventaire des arbres de rue utilisées dans de nombreuses villes.	En cas de démolition ou de réaménagement d’un bâtiment, les adresses et les codes de site peuvent devenir obsolètes. Les limites des propriétés et les numéros d’adresse peuvent parfois être difficiles à discerner sur le terrain.

2.3.2. Méthode de mesure de la distance depuis le bord du pâté de maisons

La méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâté de maisons est utilisée pour les arbres de rue et fonctionne mieux sur les réseaux de rues en grille avec des routes droites. Dans cette méthode, la distance est mesurée le long de la bordure d’une rue jusqu’à chaque arbre (voir la section 2.4.2 du Guide de terrain). En plus des mesures de distance, les équipes de terrain doivent noter les intersections de rues des points de départ et d’arrivée et le côté de la rue

qu'elles mesurent par rapport à l'axe central de la route (droite ou gauche). Cette information est similaire à la méthode de la rue de l'arbre, rue de départ et rue d'arrivée (*On, From, To*) [Tableau 4]. La méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pôté de maisons est plus efficace lorsqu'on utilise une roue de mesure, mais elle peut aussi être réalisée à l'aide d'un long ruban à mesurer. Les télémètres numériques pourraient également être utilisés si l'environnement de la rue ne comporte pas beaucoup d'obstacles (p. ex., la circulation des piétons). Une manière efficace de gérer le flux de travail serait d'enregistrer d'abord toutes les distances entre les arbres, puis de revenir enregistrer d'autres renseignements, tels que l'espèce et l'âge.

La méthode de la distance depuis le bord du pôté de maisons a été développée par TreeKIT (Silva et al. 2013) et largement utilisée dans la ville de New York, où les distances entre les arbres peuvent être traduites en positions cartographiques à l'aide d'un logiciel personnalisé spécialement développé pour le recensement par science citoyenne des arbres de rue de la ville (Crown et al. 2018). La méthode y a également été adaptée pour permettre des mesures sur des rues courbes, des culs-de-sac et d'autres rues non tracées en grille.

La méthode de mesure de la distance depuis le bord du pôté de maisons prend plus de temps à mettre en place que la méthode par adresse et code de site, mais elle fournit des renseignements détaillés sur l'emplacement pour aider les futures équipes de terrain à trouver le même arbre sans les ambiguïtés de la méthode de l'adresse et du code de site (tableau 5).

Avec la méthode de mesure de la distance depuis le bord du pôté de maisons, toutes les mesures d'arbres sont prises par rapport à un point de départ imaginaire qui correspond au bord projeté du trottoir. Les mesures de distance pour chaque arbre sur ce côté du pôté de maisons sont prises par rapport à ce point de départ (p. ex., arbre à 6,1 m [20 pieds] du bord projeté, deuxième arbre à 12,2 m [40 pieds]). Toutefois, Silva et al. (2013) ont initialement mis en place la méthode de mesure des intervalles entre les arbres. Dans leur méthode originale,

Tableau 5—Avantages et inconvénients de la méthode de la distance au bord du pôté de maisons

Avantage	Inconvénient
Fournit des renseignements sur l'emplacement très précis en vue d'une surveillance future.	La mise en place prend du temps, notamment la première année (données de référence).
En utilisant une roue de mesure ou un télémètre, il est très facile de mesurer de longues distances.	En cas d'utilisation d'un ruban du transect, cette méthode est inefficace pour les longs pôtés de maisons, car il faut parfois enrouler le ruban métrique du transect et le disposer à nouveau. Si vous utilisez un télémètre, des piétons ou d'autres obstacles risquent d'interférer avec les mesures.
Il est facile d'ajouter de nouveaux arbres, car les mesures des arbres sont indépendantes les unes des autres.	Si une erreur est commise au début dans la disposition du ruban métrique du transect, cette erreur se répercutera sur toutes les mesures.
	La conversion des distances en coordonnées cartographiques nécessite un logiciel personnalisé ou des efforts manuels fastidieux.
	Peut être difficile à appliquer dans des systèmes de rues non tracées en grille (p. ex., routes courbes, cul-de-sac) ou pour les systèmes en grille avec des côtés de pôté de maisons extrêmement longs.
	Nécessite un équipement dont certaines organisations ne disposent pas forcément.

la première mesure est effectuée en enregistrant la distance entre le point de départ et le point central du premier arbre. La mesure affichée sur la roue de mesure est alors « remise à zéro » et la deuxième mesure est prise en mesurant la distance du point central du premier arbre au point central du deuxième arbre. Cette procédure est répétée pour chaque arbre suivant sur le pâte de maisons. La dernière mesure est prise entre le point central du dernier arbre et le point final (c.-à-d. le bord projeté du trottoir des rues perpendiculaires). Le problème de cette approche, pour les futures nouvelles mesures, est que l'ajout de nouveaux arbres dans l'inventaire modifiera les distances antérieures entre les arbres. C'est pourquoi nous recommandons l'utilisation de la méthode de la distance au bord du pâte de maisons, dans laquelle les distances sont enregistrées jusqu'au point central de chaque arbre sans « remise à zéro » de la mesure. Toutefois, si les mesures de distance sont prises avec soin, il devrait être facile de passer d'une approche à l'autre.

2.3.3. Méthode de numérisation des emplacements sur imagerie satellite

La méthode de numérisation des emplacements sur imagerie satellite consiste en l'utilisation d'une image satellite imprimée de la zone d'étude sur le terrain. Ces images présentent les contours des cimes d'arbres vus du dessus, ainsi que des rues et des bâtiments voisins. En utilisant ces éléments comme références, l'emplacement de l'arbre étudié est marqué sur l'image à l'aide d'un stylo ou d'un marqueur. Ensuite, l'emplacement est converti en format numérique sur un ordinateur à l'aide de logiciels tels que ArcGIS, Google Maps ou Google Earth. Une méthode plus directe et à la fine pointe consiste à apporter sur le terrain un appareil mobile équipé d'une application spatiale (p. ex., ESRI Collector ou My Maps de Google) et qui permet de marquer des points sur l'image satellite tout en restant sur le terrain. Cela permet de réduire le temps de traitement des données au bureau.

L'utilisation d'images satellites fonctionne bien dans de nombreux cas pour les arbres de rue et les pelouses, mais peut s'avérer difficile dans les zones naturelles boisées et sur les pelouses et trottoirs densément plantés où les couverts se chevauchent. Lorsque les données de localisation initiales étaient basées sur l'adresse et le code de site, il était possible de préparer une estimation approximative de l'emplacement de l'arbre afin de procéder à de nouvelles mesures ultérieurement. Des outils en ligne, tels que des convertisseurs d'adresses en latitude et longitude, permettent de tracer l'emplacement approximatif d'une propriété sur une image satellite. Sur le terrain, l'équipe pouvait déterminer plus précisément l'emplacement de l'arbre en fonction de la position réelle du couvert. Notez qu'il est également préférable d'utiliser des images satellites relativement récentes (si possible au cours des 1 ou 2 dernières années), et que la construction, les tempêtes et d'autres événements peuvent modifier radicalement l'apparence de l'image du paysage.

Pour la méthode faisant appel à la haute technologie consistant à apporter sur le terrain un appareil mobile équipé d'un récepteur GPS, reportez-vous à la section « Coordonnées GPS » ci-dessous (section 2.3.5) pour connaître les pièges liés à l'utilisation des récepteurs GPS. Les avantages et les inconvénients de la méthode de numérisation des emplacements sur des images satellites sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6—Avantages et inconvénients de la méthode par numérisation des emplacements sur des images satellites

Avantage	Inconvénient
Il existe des images satellites en libre accès qui rendent cette méthode potentiellement peu coûteuse.	Dans le cas de la méthode sur papier sans utilisation de la technologie, la préparation de copies d'images satellites à emporter sur le terrain et le traitement ultérieur des données prennent beaucoup de temps.
La précision du système mondial de localisation (GPS) sur les appareils mobiles varie, mais si les équipes utilisent des appareils haut de gamme, cette méthode peut fournir des renseignements de position très précis pour la surveillance future et réduire le temps de traitement.	La méthode faisant appel à la technologie pourrait nécessiter l'acquisition d'appareils mobiles et de logiciels propriétaires dont le coût pourrait être prohibitif.
Permet de créer une carte des positions des arbres utile pour l'analyse, l'affichage et les nouvelles mesures.	Nécessite des connaissances techniques pour le traitement des données après le marquage des arbres sur le terrain sur des images satellites. L'utilisation d'appareils mobiles dotés d'un GPS présente des limites qui entraînent une faible précision de la position, en particulier dans les « canyons urbains » entre les bâtiments et sous un couvert végétal épais et dense. Nécessite des images satellites relativement récentes (1 à 2 ans); les images peuvent être obsolètes si le paysage a changé radicalement en raison de travaux de construction ou de tempêtes.

2.3.4. Méthode par étiquette d'identification

Dans les parcelles forestières rurales, les arbres sont souvent étiquetés avec des numéros ou des codes d'identification uniques qui permettent aux équipes de terrain de vérifier l'identité des arbres individuels (van Doorn 2014). Ces étiquettes sont souvent clouées sur le tronc des arbres adultes. L'étiquette peut afficher l'identifiant d'enregistrement de l'arbre. Bien que les étiquettes d'identification soient beaucoup plus rarement utilisées en foresterie urbaine, elles ont été intégrées dans quelques projets, y compris une étude sur des programmes ayant affiché des taux de survie élevés au cours des premières années après la plantation (Roman et al. 2015). Dans ces cas, les étiquettes étaient fixées de manière relâchée autour d'une branche d'arbre. L'entretien des étiquettes d'identification lors d'enquêtes répétées consiste à s'assurer que l'arbre ne pousse pas sur l'étiquette, que l'étiquette ne serre pas le tronc et que l'identifiant est toujours lisible (p. ex., qu'il n'est pas décoloré par le soleil). Les équipes doivent être en mesure de repérer un arbre donné en utilisant d'autres méthodes de localisation, même si l'étiquette a été enlevée ou endommagée. Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont présentés dans le tableau 7.

2.3.5. Méthode par coordonnées GPS

La précision de repérage d'un récepteur GPS peut varier considérablement, allant d'un niveau trop approximatif pour distinguer deux arbres, à une précision suffisamment nette pour identifier individuellement des arbres plantés côte à côte. Les systèmes de positionnement mondial différentiel (DGPS) offrent une meilleure précision, passant d'environ 15 m (49,2 pieds) pour le GPS ordinaire à environ 10 cm (3,9 pouces) dans les meilleurs cas. Tous les appareils ne sont

Tableau 7—Avantages et inconvénients de la méthode par l'étiquette d'identification

Avantage	Inconvénient
Élimine toute ambiguïté concernant l'arbre enregistré.	Nécessite un équipement supplémentaire.
Fonctionne bien pour les arbres situés dans des zones naturelles où l'interaction avec le public (et le risque de vandalisme) est faible.	Les étiquettes peuvent être vandalisées ou endommagées, enlevées ou perdues.
Ce système peut fonctionner pour les arbres dans les parcs et le long des rues, à condition que les étiquettes soient périodiquement ajustées au fur et à mesure de la croissance des arbres.	Nécessite des mesures d'entretien périodiques pour empêcher l'arbre de recouvrir l'étiquette en se développant et pour éviter que l'étiquette ne serre l'arbre. Les étiquettes clouées sur les troncs ne sont généralement pas une option viable pour les grands arbres urbains qui pourraient devoir être enlevés et déchiquetés un jour (les étiquettes en aluminium sont sans danger pour les tronçonneuses). Mais les étiquettes autour des branches peuvent s'avérer utiles pour les petits arbres récemment plantés.

pas compatibles avec le DGPS, et ceux qui le sont sont généralement plus coûteux, ce qui peut poser un obstacle pour les programmes à petit budget. Les superviseurs doivent donc évaluer les compromis entre la précision et le coût pour atteindre les objectifs de leur programme. Quel que soit le type d'appareil utilisé, la précision des relevés (affichée en $\pm$ mètres ou pieds) doit être enregistrée, de même que les coordonnées GPS. Les appareils dépendent d'un champ de vision dégagé vers les satellites, ce qui peut poser un problème dans les environnements dits de « canyon urbain », caractérisés par des difficultés à localiser les satellites sous de grands couverts denses ou dans les zones urbaines où les signaux peuvent se réfléchir sur les immeubles de grande taille. Les zones urbaines avec des bâtiments hauts, comme Manhattan à New York, présentent souvent des limitations de précision (Silva et al. 2013). Toutefois, dans les zones urbaines où les bâtiments sont plus courts, le problème du « canyon urbain » ne se pose pas. Les avantages et les inconvénients de la méthode par coordonnées GPS sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8—Avantages et inconvénients de la méthode par coordonnées GPS (système mondial de localisation)

Avantage	Inconvénient
Les appareils à haute résolution offrent une précision de repérage inférieure au mètre.	Nécessite un équipement supplémentaire et un équipement particulièrement coûteux pour une précision inférieure au mètre.
Peut être utilisé pour produire des cartes pour l'analyse géospatiale et la visualisation des sites.	Tous les appareils n'offrent pas le même niveau de précision. La réception d'un signal dans une zone urbaine peut s'avérer difficile, en particulier dans les « canyons urbains » et sous un couvert végétal épais et dense, ce qui entraîne une faible précision de la position.

2.3.6. Méthode par carte du site paysager

Les cartes de site sont particulièrement utiles pour les parcs de quartier, les jardins et les cours résidentielles. Dans ces paysages, il peut être difficile de distinguer les arbres dans de vastes zones de pelouse, et les données de plantation ou d’inventaire qui ne mentionnent l’emplacement qu’en termes généraux (p. ex., « 10 arbres sur le côté sud du bâtiment ») ne permettent pas aux futures équipes sur le terrain de repérer les arbres individuels. Les cartes de sites paysagers peuvent être réalisées selon deux styles différents : à l’échelle et non à l’échelle. Des cartes de sites à l’échelle ont été utilisées dans des études de cas qui ont montré un taux de survie élevé (Roman et al. 2016). Ces cartes, combinées à l’utilisation d’étiquettes d’identification des arbres, ont permis aux chercheurs de retrouver facilement des arbres individuels au cours de nombreuses années de travail sur le terrain. Cependant, la création de ces cartes nécessite beaucoup de temps, et celles-ci sont donc rares. Dans le cadre de projets de parcs, de campus ou de rues de grande envergure, les villes ou les organisations à but non lucratif peuvent mandater des architectes paysagistes ou des arboristes pour élaborer des cartes à l’échelle destinées à la surveillance ou aux cycles d’entretien/d’inspection. Si les cartes à l’échelle ne sont pas disponibles, les cartes non à l’échelle peuvent toujours être très utiles. Par exemple, des cartes de site non à l’échelle montrant où les arbres ont été plantés par rapport à d’autres éléments bâtis ont permis aux équipes de terrain de trouver les arbres de la cour plantés dans le cadre d’un programme d’arbres d’ombrage à Sacramento, en Californie (Roman et al. 2014a). Toutefois, dans cette étude, il n’y avait qu’un à trois arbres du programme par maison, et des indices visuels (p. ex., des piquets et des attaches de pépinière distinctifs du programme) ont permis de confirmer que les équipes se trouvaient bel et bien devant le bon arbre. Des cartes à l’échelle auraient permis d’éviter certaines confusions, mais les cartes non à l’échelle ont été suffisantes pour la plupart des propriétés. Les avantages et les inconvénients de la méthode du plan du site sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9—Avantages et inconvénients de la méthode par carte de site

Avantage	Inconvénient
Les cartes de site fournissent des renseignements très précis sur l’emplacement pour la surveillance future.	Les cartes de site à l’échelle sont laborieuses et nécessitent des connaissances et des compétences particulières.
Limite l’ambiguïté si des arbres sont enlevés ou ajoutés au fil du temps.	Les cartes de site à l’échelle prennent du temps et sont coûteuses.
Peut nécessiter du matériel de terrain supplémentaire et des logiciels pour les cartes à l’échelle.	Les cartes non à l’échelle peuvent omettre des éléments importants si elles sont mal faites.

2.3.7. Méthode de la rue de l’arbre, de la rue de départ et de la rue d’arrivée

Les renseignements sur la rue de l’arbre, la rue de départ et la rue d’arrivée (« on, from, to ») permettent de regrouper les enregistrements des arbres au niveau du pâté de maisons, ce qui peut être utile à la fois pour la gestion et la logistique des équipes de terrain. La rue de l’arbre correspond à la rue sur laquelle l’arbre se trouve réellement (qui peut être différente de celle de l’adresse de la parcelle).

La rue « de départ » correspond à la rue la plus proche de l’adresse avec le numéro le plus bas, tandis que la rue « d’arrivée » est la première rue qui croise cette section en suivant l’ordre croissant des adresses. Connaître les rues de l’arbre, de départ et d’arrivée peut aider les équipes à retourner plus rapidement sur le site et permet aux superviseurs de planifier efficacement l’itinéraire d’échantillonnage pour la journée. Cette méthode peut compléter la méthode de l’adresse et du code de site (voir la section 2.4.1 du Guide de terrain) et est une composante obligatoire de la méthode de la distance au bord du pâté de maisons. Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10—Avantages et inconvénients de la méthode de la rue de l’arbre, rue de départ et rue d’arrivée

Avantage	Inconvénient
Facile à collecter sur le terrain.	Il ne s’agit pas d’une méthode autonome. Cette méthode doit être utilisée en conjonction avec les codes de site (voir section 2.3.1) ou les mesures de la distance par rapport au bord de pâté de maisons (voir section 2.3.2).
Ne nécessite pas d’équipement supplémentaire.	
S’aligne sur la méthode d’inventaire des arbres de rue utilisée dans de nombreuses villes.	
Permet de planifier efficacement les itinéraires quotidiens de collecte de données.	

2.3.8. Les photos comme méthode de détermination de l’emplacement

Nous encourageons vivement tous les projets de surveillance à inclure une photo de chaque arbre dans la mesure du possible, de préférence en montrant l’arbre entier avec un environnement bâti reconnaissable ou d’autres éléments de référence permanents en arrière-plan, tels qu’une maison ou un poteau électrique (voir la section 2.5 du Guide de terrain). Cela permet aux équipes de terrain d’utiliser des indices visuels dans le paysage pour s’assurer qu’elles se retrouvent devant le même arbre que lors des enquêtes précédentes. De nouvelles photos doivent être prises à chaque visite afin d’enregistrer les changements de l’arbre et de l’environnement bâti. Une photo peut servir de support essentiel aux autres méthodes de localisation décrites précédemment et peut aider à résoudre les ambiguïtés dans d’autres enregistrements. Si les photos se sont avérées extrêmement utiles pour repérer les arbres dans les parties les plus construites de la forêt urbaine, comme le long des rues et dans les cours résidentielles, les photos d’arbres individuels peuvent ne pas être pertinentes dans les zones naturelles (toutefois, les photos du centre de la parcelle peuvent être plus appropriées). En plus d’aider à relocaliser un arbre lors d’enquêtes ultérieures, les photos de chaque arbre peuvent aider à détecter des erreurs d’observation flagrantes lorsque la qualité des données est remise en question alors qu’il n’est pas possible de retourner sur le terrain (p. ex., l’espèce ou le DHP semble improbable pour cette zone d’étude).

La gestion des photos pour chaque arbre est généralement plus facile à grande échelle lorsque des téléphones intelligents ou d’autres appareils mobiles sont

utilisés pour le travail sur le terrain, de sorte que chaque photo puisse être associée à l'enregistrement de l'arbre correspondant dans la base de données. Lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser la collecte de données mobile, des photos peuvent toujours être prises, mais il est essentiel de bien les organiser pour garantir que chaque photo est liée à un arbre précis. Par exemple, on peut prendre une photo avec un membre de l'équipe de terrain se tenant à côté de l'arbre et tenant un tableau blanc indiquant l'identifiant de l'arbre, ou on peut noter le numéro de la photo généré automatiquement par l'appareil photo sur la feuille de collecte de données. Une autre méthode consiste à prendre d'abord une photo de la feuille de collecte de données pour montrer l'enregistrement de l'arbre, puis une seconde photo de l'arbre lui-même. Les photos peuvent ensuite être nommées et organisées à l'aide d'outils de gestion de photos (p. ex., Google Photos, Flickr, Tropy). Sans cette organisation minutieuse, il devient difficile de trouver une photo lorsqu'on en a besoin sur le terrain. Le tableau 11 présente les avantages et les inconvénients des photos en tant que méthode de détermination de l'emplacement.

Même si un superviseur de projet choisit de ne pas prendre de photos de chaque arbre, nous recommandons d'utiliser les photos dans le but plus précis d'identifier les espèces d'arbres : demandez aux équipes de terrain de prendre des photos des espèces inconnues (voir la section 2.8 du Guide de terrain).

Tableau 11—Avantages et inconvénients de l'utilisation des photos comme méthode de détermination de l'emplacement

Avantage	Inconvénient
Fournit des indices visuels et des données de référence pour les surveillances ultérieures, afin que les équipes puissent être sûres qu'elles enregistrent le bon arbre.	La gestion des photos est plus simple lorsqu'on utilise un appareil mobile dont la collecte des données est intégrée aux photos, mais le coût de cette technologie peut être prohibitif.
Complète efficacement toutes les autres méthodes de localisation décrites dans le Guide des ressources.	Lorsque l'on prend des photos en dehors d'un système de collecte de données mobile, l'étiquetage et l'organisation des photos peuvent prendre beaucoup de temps.
Il est généralement facile et rapide de prendre des photos pendant le travail sur le terrain.	
Enregistrement visuel des changements dans la croissance et la santé des arbres, ainsi que dans le contexte environnemental, qui peut être utilisé dans des présentations ou pour la formation des équipes de terrain.	

2.3.9 Méthode par objets de référence

Les équipes de terrain consignent la distance et la direction entre l'arbre et un objet de référence (un objet susceptible de rester au même emplacement pendant plusieurs décennies). Parmi les exemples d'objets de référence, on peut citer les bornes d'incendie, les poteaux électriques aériens, les bornes géodésiques du National Geodetic Survey (NGS) et les bouches d'égout. Dans les parcelles i-Tree Eco, les renseignements sur l'objet de référence sont enregistrés par rapport au centre de la parcelle, puis les positions des arbres sont également enregistrées par rapport à ce centre. Les objets de référence sont souvent plus

difficiles à trouver dans les zones naturelles, car les infrastructures construites sont moins nombreuses à proximité. Dans ce cas, les plus grands arbres du site ou les espèces moins courantes peuvent servir d'objets de référence. Une autre approche pour les zones naturelles consiste à installer des marqueurs, tels que des barres d'armature ou des balises de signalisation souples, au centre de la parcelle. Pour plus de détails sur les protocoles d'enregistrement des objets de référence avec les parcelles i-Tree Eco, voir i-Tree (2017a).

Les mauvais objets de référence sont ceux qui sont facilement déplaçables, ceux qui apparaissent fréquemment et à proximité les uns des autres, ou ceux qui ne sont pas facilement identifiables en raison de leur taille ou de leur emplacement. Cependant, même pour des objets d'infrastructure relativement courants, tels que les lampadaires, il existe des moyens de faciliter le repérage de l'objet par les futures équipes. Par exemple, lors d'un relevé de parcelles à Philadelphie, une image satellite de Google Maps a été imprimée et apportée sur le terrain. Les équipes ont utilisé un marqueur doré pour y indiquer les trois objets de référence ainsi que la distance et l'orientation par rapport à chacun d'eux. En outre, l'équipe a pris quatre photos depuis le centre de la placette, orientées vers le nord, le sud, l'est et l'ouest, ainsi qu'une cinquième photo d'un membre de l'équipe au centre de la parcelle. Lorsque les chercheurs sont revenus pour vérifier la qualité des données, ils ont pu facilement repérer le centre de la parcelle. Pour en savoir plus sur les problèmes de qualité des données dans les parcelles forestières permanentes, y compris les stratégies pour prévenir et répondre à ces défis, voir van Doorn (2014).

Les risques liés à la stabilité des objets de référence comprennent le réaménagement d'une zone urbaine ou le développement d'une zone naturelle. Dans ces zones réaménagées ou développées, tous les arbres peuvent avoir été enlevés lors de la construction, mais parfois certains arbres sont préservés (Ames et Dewald 2003, Briber et al. 2015), et il peut alors être difficile de les relier aux données originales des parcelles et des arbres. Le tableau 12 présente les avantages et les inconvénients de la méthode par objets de référence.

Tableau 12—Avantages et inconvénients de la méthode par objets de référence

Avantage	Inconvénient
Ne dépend pas de l'emplacement actuel des arbres.	Il peut être difficile de trouver des objets de référence uniques qui sont susceptibles de perdurer, en particulier dans les zones naturelles.
S'appuie sur les méthodes basées sur les parcelles pour les zones naturelles dans le cadre de l'écologie forestière.	En cas de réaménagement, les objets de référence risquent d'être supprimés ou déplacés, ce qui est source d'ambiguïté.
	Les objets de référence éloignés de l'arbre cible ou du centre de la parcelle sont difficiles à repérer.
	Nécessite un équipement de terrain supplémentaire (p. ex., des rubans du transect ou des télémètres pour déterminer les distances et des boussoles pour s'orienter).

2.4. Type de site et utilisation des terres

Dans le Guide de terrain, nous définissons le type de site comme une description de la zone entourant immédiatement l'emplacement d'un arbre, et l'utilisation des terres comme une description de la façon dont la propriété autour de l'arbre et adjacente à celle-ci est utilisée par les humains (voir les sections 2.6 et 2.7 du Guide de terrain). L'utilisation des terres a été définie plus globalement dans la planification urbaine comme « l'occupation ou l'utilisation des terres ou des eaux pour toute activité humaine ou tout usage » (The Institute for Local Government 2010; voir également Anderson et al. 1976 et Lambin et al. 2006 pour plus de détails sur les définitions et les concepts d'utilisation des terres).

Les catégories de type de site comprennent la découpe de trottoir, la bande de plantation sur le trottoir, le terre-plein et la cour avant. Les catégories d'utilisation des terres comprennent les résidences unifamiliales (jumelée ou détachée), les commerces, les institutions et les cimetières. Les variables relatives au type de site et à l'utilisation des terres sont liées, mais distinctes. Par exemple, un arbre situé dans une découpe de trottoir (type de site) peut être adjacent à une propriété résidentielle, commerciale ou institutionnelle (utilisation des terres). De même, un arbre situé dans un environnement de type parc aménagé (type de site) peut se trouver dans un parc public, un campus universitaire ou un cimetière (utilisation des terres). Pour des exemples concrets de types de sites et de catégories d'utilisation des terres supplémentaires, voir le tableau 8 du Guide de terrain et l'annexe 1 du présent Guide des ressources.

Deux raisons principales justifient l'enregistrement du type de site : (1) à chaque type de site correspondent des méthodes recommandées pour enregistrer l'emplacement des arbres, et (2) la mortalité, la croissance et la santé peuvent varier selon les catégories de types de sites. Les catégories de types de sites fournissent des renseignements généraux sur la zone entourant l'espace de plantation (paysage dur ou non) et les contrôles sur le recrutement et l'élimination des arbres (plantation dominée par l'homme ou régénération naturelle). Nous utilisons le terme « environnements aménagés en surface dure » pour décrire les arbres urbains entourés de surfaces dures construites par l'homme, souvent imperméables (p. ex., l'asphalte, le béton), mais pouvant également inclure des matériaux modernes perméables (p. ex., des pavés perméables). Chaque catégorie de type de site comprend des méthodes recommandées pour l'enregistrement de l'emplacement (tableau 13). Ces renseignements sont destinés à aider les superviseurs de projets, qui doivent décider de la méthode de détermination de l'emplacement la mieux adaptée à chaque projet. Dans le tableau 13, le type de site est distingué selon que les arbres se trouvent dans un paysage aménagé en surface dure, dans un paysage aménagé (pas en surface dure) ou dans une zone naturelle.

Si nous n'avons pas mentionné les méthodes par coordonnées GPS, photos et étiquette d'identification pour les catégories de types de sites dans le tableau 13, c'est parce que ces trois méthodes sont appropriées pour tous les types de sites. Cependant, chacune de ces trois méthodes doit être utilisée conjointement avec une autre méthode complémentaire, comme décrite dans la section 2.3.

Tableau 13—Catégories de types de sites avec notes de gestion et méthodes recommandées pour l'enregistrement des sites. La prise de coordonnées GPS, l'utilisation de photos et les étiquettes d'identification s'appliquent à tous les types de sites.

Catégorie (code)	Description	Méthodes recommandées pour l'enregistrement de l'emplacement
Arbres dans les environnements aménagés en surface dure		
Les plantations et les retraits d'arbres dans ces types de sites sont dominés par l'humain.		
Découpe de trottoir (DT)	L'arbre est situé dans une fosse d'observation aménagée dans le trottoir. La découpe peut se situer n'importe où sur l'espace du trottoir (p. ex. à côté de la bordure, à côté d'un bâtiment). Ce type de site est généralement destiné à accueillir un seul arbre.	Adresse et code de site; méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâté de maisons; image satellite avec système mondial de localisation (GPS)
Bande de plantation sur le trottoir (BPT)	L'arbre est situé dans une bande de plantation à côté du trottoir. Cette bande de plantation peut se situer n'importe où dans l'espace du trottoir (p. ex. entre le trottoir et la bordure, entre le trottoir et un bâtiment). Les bandes de plantation peuvent contenir plusieurs arbres plantés en rangée (même lorsqu'il n'y a qu'un seul arbre). La longueur d'une bande de plantation est généralement d'au moins 3,05 m (10 pieds), bien qu'il puisse y avoir des exceptions ou des tailles différentes selon les villes.	Adresse et code de site; méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâté de maisons; image satellite avec GPS
Terre-plein (TP)	L'arbre est situé dans un espace de plantation au centre de la route, entre les voies de circulation. Comprend les terre-pleins centraux, les ronds-points et les découpes triangulaires.	Adresse et code du site; méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâté de maisons; image satellite avec GPS; carte du site paysager
Jardinière (J)	L'arbre est situé dans une jardinière surélevée.	Adresse et code du site; méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâté de maisons; image satellite avec GPS
Autres aménagements paysagers en surface dure (ASD)	L'arbre est situé dans un aménagement paysager en surface dure autre qu'un trottoir ou un terre-plein, comme des découpes dans un centre commercial ouvert ou un stationnement.	Image satellite avec GPS; distance et orientation par rapport à des objets de référence; plans du site paysager
Arbres dans des paysages aménagés, en surface non dure		
Les plantations et les retraits d'arbres dans ces types de sites sont dominés par l'humain.		
Cour avant (CA)	L'arbre est situé dans la cour devant un bâtiment (du côté de la rue). Cela inclut les cours latérales (bien que certaines études puissent enregistrer les cours latérales séparément). Les cours avant sont généralement associées aux propriétés résidentielles, mais peuvent également l'être à d'autres types d'utilisation des terres.	Distance et orientation par rapport à des objets de référence; cartes de sites paysagers; image satellite avec GPS
Cour arrière (CAR)	L'arbre est situé derrière un bâtiment. Les cours arrière sont généralement associées aux propriétés résidentielles, mais peuvent également être à l'arrière d'autres types d'utilisation des terres.	Distance et orientation par rapport à des objets de référence; cartes de sites paysagers; image satellite avec GPS

Tableau 13 (suite)—Catégories de types de sites avec notes de gestion et méthodes recommandées pour l'enregistrement des sites. La prise de coordonnées GPS, l'utilisation de photos et les étiquettes d'identification s'appliquent à tous les types de sites.

Catégorie (code)	Description	Méthodes recommandées pour l'enregistrement de l'emplacement
Parc aménagé (PA)	L'arbre est situé dans un parc aménagé ou dans un environnement semblable à un parc, tel qu'un parc municipal, un campus scolaire ou un cimetière. Cette catégorie concerne précisément les arbres situés dans les pelouses et autres espaces paysagers; les arbres de parcs situés dans des espaces paysagers aménagés en surface dure appartiennent à la catégorie « autres aménagements paysagers aménagés en surface dure entretenus ». Remarque : un parc aménagé est à la fois un type de site et une utilisation des terres.	Distance et orientation par rapport à des objets de référence; cartes de site paysager
Autre espace paysager aménagé (AEA)	L'arbre est situé dans un espace paysager qui ne correspond ni à la catégorie de cour ni à celle de parc aménagé. Utilisez cette catégorie à bon escient.	Distance et orientation par rapport à des objets de référence; cartes de site paysager
Arbres dans les zones naturelles Les ajouts et les retraits d'arbres pour ce type de site sont généralement naturels (p. ex., régénération naturelle et mort sur pied).		
Zone naturelle (ZN)	L'arbre est situé dans un parc naturel, une zone d'espace ouvert ou un terrain vacant végétalisé où l'intervention humaine est minimale. Cela inclut les parcelles de forêt résiduelle et autres zones naturelles ou non aménagées, quel que soit le type de propriété (p. ex., les parcelles boisées sur une propriété résidentielle ou institutionnelle sont incluses ici). Les zones naturelles comprennent les forêts, les prairies, les zones boisées et d'autres habitats naturels ou gérés de façon minimale. Certains superviseurs de projet peuvent choisir de séparer les différents types d'habitats naturels pertinents au niveau local (p. ex., forêt ou prairie). Remarque : la zone naturelle est à la fois une utilisation des terres et un type de site.	Distance et orientation par rapport à des objets de référence

Notez que les termes « zone naturelle » et « parc aménagé » désignent à la fois des types de sites et des utilisations des terres. Un arbre situé sur l'un de ces types de sites n'aura pas automatiquement la même utilisation des terres, et vice versa. Si l'on prend des exemples tirés du Guide de terrain (tableau 8), un arbre situé sur une pelouse aménagée d'un centre de loisirs municipal serait classé sous « parc aménagé » à la fois pour le type de site et l'utilisation des terres. Dans le cas d'un arbre situé dans la pelouse aménagée d'un complexe hospitalier, cet arbre aurait pour type de site « parc aménagé » et pour utilisation des terres « institutionnel ». Bien que certains protocoles d'inventaire des arbres urbains combinent les caractéristiques du site et de la propriété en une seule variable « utilisation des terres » (p. ex., i-Tree 2017a), nous recommandons de séparer le type de site et l'utilisation des terres, car ils décrivent des caractéristiques différentes, à savoir, l'environnement de croissance immédiat de l'arbre et la façon dont les humains utilisent la propriété.

2.5. Considérations relatives aux bases de données longitudinales

Un administrateur de base de données ou un ingénieur de base de données peut aider à s'assurer que la conception de la base de données est propice aux objectifs de surveillance.

Bien qu'il existe des lignes directrices générales pour l'organisation des feuilles de calcul et des bases de données (voir section 2.1.18), nous abordons ici certaines considérations propres aux données longitudinales sur les arbres urbains : sélection d'un identifiant de l'arbre approprié, définition de clés primaires et uniques, choix d'une structure de données en format long ou en format large, et suivi des sites de plantation et des arbres de remplacement.

Pour plus de renseignements sur les clés et la structure de la base de données, voir Boyer et al. (2016), qui propose un modèle de données pour la surveillance des arbres urbains, ou consulter des ouvrages plus généraux sur la conception de bases de données relationnelles et de feuilles de calcul (p. ex., Broman et Woo 2018, Harrington 2009, Hernandez 2013). Les superviseurs de projet peuvent également envisager de consulter un administrateur de base de données ou un ingénieur de base de données pour s'assurer que la conception de la base de données est conforme aux objectifs de surveillance, car ce guide ne fait que survoler la question de la conception et de l'administration des bases de données.

2.5.1. Sélection des clés primaires et uniques

Dans la conception de bases de données, les clés permettent aux utilisateurs de retrouver l'information, de la trier et d'y accéder. Nous abordons ici deux types de clés : les clés uniques et les clés primaires.

Dans la conception de bases de données, les clés permettent aux utilisateurs de retrouver les renseignements, de les trier et d'y accéder.

Une clé unique (cu), également appelée « contrainte d'unicité », définit l'unicité de l'entité stockée dans l'enregistrement. Par exemple, dans les bases de données de renseignements sur les personnes, chaque individu devrait avoir un identifiant unique, tel qu'un numéro de permis de conduire ou un numéro d'employé. De la même façon, dans les bases de données sur les arbres urbains, chaque arbre devrait avoir un identifiant unique qui reste associé à cet arbre (et uniquement à cet arbre) lors des surveillances ultérieures. Dans l'ensemble minimal de données, l'identifiant de l'arbre est un exemple de clé unique (voir la section 2.3 du Guide de terrain). Voir la figure 2 pour des exemples d'identifiants d'arbres. Une clé unique peut être dérivée d'une étiquette d'arbre (si présente) ou de données de plantation. Dans les projets de surveillance des cohortes de plantation, la clé servant à définir l'unicité d'un arbre donné peut être liée aux registres de plantation. Il peut y avoir plusieurs clés uniques dans une même table. Par exemple, un arbre de rue surveillé dans le cadre d'un inventaire municipal peut avoir, en plus d'un identifiant désigné par l'arboriste de la ville, un identifiant désigné par une organisation tierce qui entretient les arbres (p. ex., un entrepreneur). Il peut être utile de conserver les deux identifiants de l'arbre pour permettre le croisement des bases de données des deux organisations. Il faut également tenir compte du fait qu'une ou plusieurs colonnes ou champs peuvent constituer une clé unique. Une clé unique peut être créée de manière composée à partir de deux champs ou plus (p. ex., le numéro de l'arbre, le numéro du site ou l'année d'observation), tant que cette combinaison soit unique. Autrement dit, une clé unique peut couvrir plusieurs colonnes. Certains utilisateurs peuvent choisir de combiner les champs qui constituent une clé unique dans une nouvelle colonne et de la désigner comme clé unique. Dans les exemples qui suivent, les clés uniques couvrant plusieurs colonnes sont indiquées en gris foncé.



Figure 2—(A) Étiquette d'arbre à l'Université de Pennsylvanie à Philadelphie (Pennsylvanie). Dans le coin inférieur droit de l'étiquette, l'identifiant de l'arbre reflète une cellule de la grille qui correspond au plan du campus et au numéro de l'arbre à l'intérieur de la cellule de la grille. Photo de J.P. Fristensky, utilisée avec autorisation. (B) Arbre de rue sur lequel est apposée une étiquette, planté par University City Green, Philadelphie (Pennsylvanie). L'identifiant de l'arbre est le numéro d'identification utilisé dans la pépinière. Photo de L.A. Roman, Service des forêts du USDA. (C) Carte du site d'inventaire pour Casey Trees à Washington, DC. L'identifiant de l'arbre est une séquence numérique des arbres dans cette zone précise. Image de J.R. Sanders, utilisée avec autorisation.

Nous recommandons que l'identifiant de l'arbre, en tant que clé unique, ne soit utilisé que pour cet arbre précis, et qu'une fois cet arbre est mort ou enlevé, cet identifiant soit définitivement retiré afin d'éviter toute confusion future avec un nouvel arbre au même endroit.

La clé primaire est l'un des renseignements les plus importants pour la gestion des données longitudinales.

La clé primaire est l'un des éléments d'information les plus importants pour le suivi des arbres individuels dans le temps, car elle est essentielle à la gestion des données longitudinales. La clé primaire est une valeur unique pour chaque enregistrement dans une base de données, indépendamment de ce que l'enregistrement représente (Harrington 2009, Hernandez 2013). Deux enregistrements d'arbre ne peuvent pas avoir la même clé primaire, et il ne peut y avoir qu'une seule clé primaire par table. Les clés primaires ne doivent pas avoir de valeurs nulles, c'est-à-dire que chaque enregistrement doit avoir une clé primaire. Il ne peut y avoir qu'une seule colonne de clé primaire dans une table donnée, alors qu'il peut y avoir plusieurs colonnes de clé unique définies dans une table. En pratique, une clé primaire identifie la ligne d'une base de données et ne doit donc pas être répétée dans la base de données ou modifiée. La clé primaire sert également à relier les tableaux au sein d'une structure de base de données relationnelle de la manière la plus simple et la plus fiable possible. Les bases de données relationnelles contiennent plusieurs tables, et la clé primaire permet de relier ces tables entre elles. Les clés primaires doivent être des éléments qui ne changent jamais (ou très rarement) [Silberschatz et al. 2011]. Dans les exemples qui suivent, les clés primaires sont surlignées en gris clair.

Une **clé étrangère** est une colonne ou un groupe de colonnes dans une table qui fournit un lien entre des données au sein de la même table (dans ce cas, une clé étrangère récursive) ou dans deux tables différentes. Une clé étrangère fait référence à la clé primaire d'une autre table, assurant ainsi le lien entre les tables. Ceci est particulièrement utile dans les tables de format long pour établir un lien avec les visites passées et les arbres de remplacement.

Les clés uniques reflètent souvent des attributs importants ou naturels dans le système, tandis que les clés primaires sont généralement des numéros d'enregistrement qui n'ont pas de signification particulière en dehors de la base de données.

Bien que les clés primaires et uniques puissent sembler assez similaires, elles ont des rôles distincts. Dans la pratique, les clés uniques sont souvent (mais pas toujours) produites à l'aide d'attributs qui ont une signification naturelle dans le système, reflétant des valeurs ou des séquences de nombres pertinentes d'une manière ou d'une autre. Par exemple, une clé unique peut être le numéro de permis de conduire dans une base de données de renseignements sur les personnes, ou la séquence numérique d'une étiquette de pépinière (et donc l'identifiant d'enregistrement de l'arbre) dans une base de données de surveillance des arbres urbains sur des cohortes de plantation. En revanche, les clés primaires sont souvent (mais pas toujours) produites au sein de la base de données et n'ont pas de pertinence ou de signification en dehors de celle-ci (Larsen 2011). Pour en savoir plus sur la conception des bases de données et les clés, voir Harrington (2009), Hernandez (2013), Larsen (2011) et Silberschatz et al. (2011).

Les données en format long et en format court sont deux options pour organiser la structure d'une base de données ou d'une feuille de calcul contenant des données longitudinales.

2.5.2. Structure de données en format long ou en format large

Les données longitudinales peuvent être présentées en format large ou en format long (Long 2012). **Les données en format long**, également connues sous le nom de données empilées, présentent le même arbre représenté sur plusieurs lignes, chaque observation ayant sa propre ligne (tableau 14). Dans le tableau 14, Id_enr est un numéro généré par une séquence et représente la clé primaire. La clé unique est composée de Id_arb (identifiant de l'arbre) et Année. La combinaison de ces deux éléments doit être unique. Dans le format long, bien qu'il n'y ait qu'un seul arbre étiqueté comme Id_arb #23, le même arbre peut être répété dans plusieurs enregistrements parce que plus d'une mesure a été enregistrée (p. ex., Id_arb #23 a été mesuré en 2010, puis en 2015). Des contraintes ou une logique de validation des données peuvent être utilisées pour imposer les clés uniques et minimiser les erreurs. Par exemple, selon les instructions du gestionnaire, la base de données pourrait rejeter les valeurs de l'année inférieure à 2010 si aucune campagne de collecte de données n'a eu lieu avant cette date.

En revanche, pour les **données à format large**, également connues sous le nom de données non empilées, l'année est combinée avec les variables collectées (p. ex., DHP) pour générer des noms de colonnes tels que Dhp.cm.2010 et Dhp.cm.2015 (tableau 15). Chaque arbre est représenté par une seule ligne, les observations dans le temps s'étalant sur plusieurs colonnes. Comme dans le format de données longues, la clé primaire est un numéro généré par une séquence (Id_enr), mais la clé unique est composée du numéro d'identification de l'arbre (Id_arbre) et de l'année au cours de laquelle les observations ont été effectuées. Dans cet exemple, Id_arbre identifie de manière unique l'enregistrement de la base de données (c.-à-d. la ligne de la table) et pourrait théoriquement être désigné comme clé primaire, mais nous recommandons toujours d'avoir des clés primaires et uniques distinctes. Comme mentionné à la section 2.5.1, les clés primaires sont généralement générées au sein de la base de données et n'ont aucune pertinence dans le monde réel ni aucune signification particulière. En créant une clé primaire dont la valeur n'a aucune signification particulière, une erreur telle qu'un identifiant d'arbre incorrect n'entraînerait pas de corruption de la clé primaire.

Tableau 14—Exemple de données présentées en format long^a

cp	cu		
	Id_arbre	Année	
Id_enr			Dhp.cm
1	23	2010	2,5
2	24	2010	31,2
3	25	2010	3,2
4	23	2015	6,7
5	24	2015	31,5
6	25	2015	3,9

^a La clé primaire (cp) est l'identifiant de l'enregistrement (Id_enr) et la clé unique (cu) est une combinaison de l'identifiant de l'arbre et de l'année et couvre donc plusieurs champs. Séparément, Id_arbre et Année ne sont pas uniques, mais leur combinaison l'est. Les gestionnaires de bases de données peuvent choisir de les combiner en une seule colonne.

Tableau 15—Exemple de données présentées en format large^a

cp	cu		
Id_enr	Id_arbre	Dhp.cm.2010	Dhp.cm.2015
1	23	2,5	3,5
2	24	31,2	31,5
3	25	3,2	3,9

^a La clé primaire (cp) est le numéro d'identification de l'enregistrement (Id_enr) et la clé unique (cu) est le numéro d'identification de l'arbre. Des mesures du diamètre des troncs ont été effectuées en 2010 et 2015.

Les gestionnaires de bases de données préfèrent le format long au format large pour diverses raisons. Le format long est souvent nécessaire pour les analyses et les graphiques avancés et convient bien aux langages de programmation vectoriels comme R (R Core Team 2017). Lorsque de nombreuses variables ou plusieurs années de données sont impliquées, le stockage de données tabulaires peut devenir difficile à gérer, surtout en format large. En présence de grandes quantités de données, il peut être avantageux de passer d'un simple logiciel tabulaire, comme Microsoft® Excel, à un système de base de données relationnelle plus performant. Un format long est également plus adapté à l'ajout ou à la suppression de variables dans le protocole de collecte de données, comme c'est parfois le cas au cours de l'évolution d'un projet de surveillance à long terme. Il convient de noter qu'il est possible de passer du format large au format long et vice versa après la collecte des données, à condition que la clé primaire ait été conservée pour toutes les observations. Cela souligne l'importance de garder la clé primaire distincte de la clé unique. Il est possible d'utiliser un format long pour l'ensemble des données de référence et de le convertir en format large pour la collecte ou l'analyse des données, si nécessaire.

Comme souligné au début de la section 2.5, les professionnels de la foresterie urbaine qui ne sont pas habitués à ce type de problèmes de base de données peuvent consulter un expert en la matière afin de s'assurer que leur structure de données de suivi est optimisée pour les analyses prévues.

2.5.3. Suivi des sites de plantation et des arbres de remplacement

Certains projets peuvent choisir de suivre à la fois les arbres et les sites de plantation, notamment pour la surveillance des arbres de rue ou d'autres aménagements paysagers en surface dure pour lesquels les sites de plantation demeurent relativement fixes. Les sites de plantation où des arbres ont été enlevés restent vacants ou sont remplacés par de nouveaux. Un site de plantation peut donc être occupé par différents arbres au fil des ans. Le suivi des sites vacants et des taux de remplacement peut s'avérer précieux pour les gestionnaires et les chercheurs, car ces données ont des répercussions sur les niveaux de peuplement et les trajectoires démographiques.

Les tableaux 16 et 17 illustrent la manière de suivre les sites de plantation et les arbres de remplacement dans les données au format large et au format long. Dans les deux exemples, Id_site (identifiant du site) fait référence à un site de plantation précis, tandis que Id_arbre fait référence à un arbre particulier.

Tableau 16—Une table de données en format large montre comment assurer le suivi des sites de plantation et des arbres de remplacement^a

cp	cu						
Id_enr	Id_site	Id_arbre.2010	Dhp.cm.2010	Id_arbre.2015	Dhp.cm.2015	Nvl_arbre.2015	Remplacé.2015
1	1	23	2,5	59	2,2	Oui	Oui
2	2	24	31,2	24	31,5	Non	Non
3	3	25	3,2	25	3,9	Non	Non
4	4	s.o.	s.o.	60	2,6	Oui	Non

^a Id_enr représente la clé primaire, tandis que la clé unique s'étend sur plusieurs colonnes et est composée de Id_site et de Id_arbre.2010. Les noms des variables pour les observations et les mesures (Id_arb, Espèce, et Dbh.cm) sont combinés avec Année pour refléter la date à laquelle les observations ont été faites.

Tableau 17—Une table de données en format long montre comment assurer le suivi des sites de plantation et des arbres de remplacement^a

cp	cu					
Id_enr	Id_site	Id_arb	Année	Dhp.cm	Nvl_arbre	Remplacé
1	1	23	2010	2,5	Non	Non
2	2	24	2010	31,2	Non	Non
3	3	25	2010	3,2	Non	Non
4	4	s.o.	2010	s.o.	s.o.	s.o.
5	1	59	2015	2,2	Oui	Oui
6	2	24	2015	31,5	No	No
7	3	25	2015	3,9	Non	Non
8	4	60	2015	2,6	Oui	Non

^a Id_enr représente la clé primaire, tandis que la clé unique s'étend sur plusieurs colonnes et se compose de Id_site, Id_arbre et Année.

Dans le format large des données (tableau 16), l'identifiant de l'arbre est enregistré dans des colonnes distinctes pour chaque période d'observation (p. ex., Id_arbre.2010 renvoie aux arbres enregistrés en 2010). Si un arbre précis est nouveau pour le site, nous indiquons « yes » (oui) dans la colonne Nvl_arbre.2015, comme pour Id_enr #1 et Id_enr #4. Les arbres peuvent être désignés comme nouveaux, qu'ils occupent un site précédemment occupé ou un site précédemment vide. Si la distinction entre l'occupation du site est nécessaire, une nouvelle colonne telle que Remplacé. 2015 (tableau 16) peut fournir une précision supplémentaire, comme dans l'exemple suivant. De même, si les plantations sur des sites précédemment vacants présentent un intérêt, une nouvelle colonne peut être ajoutée pour recueillir cette information.

Le premier enregistrement (Id_enr #1) du tableau 16 est un exemple de site où un arbre a été remplacé après la première visite. Il s'agissait à l'origine du Id_arbre #23 en 2010 avec un arbre de 2,5 cm de DHP. En 2015, il a été remplacé

par un arbre de 2,2 cm de DHP avec le Id_arbre #59. L'arbre étant nouveau sur le site, il a été ajouté à la colonne Nvl_arbre.2015. Par souci de clarté, nous avons ajouté une autre colonne (Remplacé.2015) pour indiquer que le Id_arbre #59 a remplacé un arbre qui occupait le site lors de la mesure précédente; cela permet de rechercher facilement tous les arbres remplacés si le calcul du taux de remplacement présente un certain intérêt.

Le tableau 16 illustre également la différenciation entre les sites et les arbres. Le quatrième enregistrement (Id_enr #4) représente un site qui n'avait pas d'arbre en 2010 (c.-à-d. un site vacant). Il convient de noter que, dans ce contexte, le terme « site vacant » fait précisément référence à un site de plantation qui est inoccupé, c'est-à-dire qui ne comporte pas d'arbre. Dans le contexte des arbres de rue, un site vacant est parfois appelé une fosse d'arbre vide. Le Id_site étant une variable dans le tableau, l'équipe peut enregistrer que le Site_Id #4 a été visité, mais qu'il n'y avait pas d'arbre. Conformément aux pratiques exemplaires énoncées par Broman et Woo (2018), plutôt que de laisser ces cellules vides, nous utilisons « s.o. » pour montrer que les cellules n'ont pas été laissées vides par accident. Lorsque l'équipe est revenue en 2015, un arbre a été observé sur ce site (Id_arbre.2015 #60) et mesuré (2,6 cm de DHP). Encore une, une colonne (Nvl_arbre.2015) a été ajoutée pour indiquer clairement qu'un arbre a été nouvellement observé en 2015. Sans Nvl_arbre.2015, le Id_enr #4 ne permettrait pas de savoir si le site a été visité en 2010 et qu'aucun arbre n'a été trouvé ou si le site n'a jamais été visité. On pourrait également ajouter une colonne pour désigner les sites vides au cours d'une année donnée (p. ex., Site_vacant.2010, Site_vacant.2015), si le calcul du pourcentage de sites occupés (ou du niveau de peuplement) présente un intérêt. Un inconvénient du format de données large est que cette méthode de suivi des arbres de remplacement ou nouvellement plantés est sujette aux erreurs à mesure que la base de données s'agrandit avec les années de surveillance successives.

Le même ensemble de données en format long aura un aspect différent, mais la distinction entre le site et l'arbre reste la même (tableau 17). Au lieu que les colonnes soient composées de variables collectées au cours d'une année particulière (p. ex., Dhp.cm.2010, Dhp.cm.2015), les colonnes contenant la variable (p. ex., Dhp.cm) et les années au cours desquelles la variable a été collectée constituent des lignes différentes.

Les données peuvent également être organisées dans une base de données relationnelle. La répartition des données dans plusieurs tableaux apparentés présente certains avantages. Les données ne sont stockées qu'une seule fois, ce qui évite d'avoir à modifier plusieurs enregistrements en cas de changement. Les bases de données relationnelles offrent une flexibilité accrue pour les ajouts futurs, même si aucun autre enregistrement n'utilise les enregistrements supplémentaires. Par exemple, un tableau contenant des renseignements sur les sites de plantation peut inclure tous les sites de plantation possibles, même s'il n'y a pas d'arbres correspondants dans un tableau d'arbres. Dans le tableau 18, les données présentées en format long sont constituées de deux sous-tables dans une base de données relationnelle : la table parente (table Site) décrit les renseignements relatifs au site de plantation, et la table enfant (table Arbre) décrit les renseignements relatifs à l'arbre. Étant donné que les renseignements relatifs au site de plantation et aux arbres figurent dans des tableaux distincts, différents arbres peuvent occuper le site au fil des ans. Id_enr est la clé primaire de chaque sous-table. Dans la table Site, la clé unique est composée de Id_site et Numéro_

Tableau 18—Les tables de données en format long montrent comment assurer le suivi des sites de plantation et des arbres de remplacement dans une base de données relationnelle^a**Table Site**

cp	cu			
Id_enr	Id_site	Numéro_visite	Année	Profondeur_sol.cm
10	1	1	2010	50
11	2	1	2010	70
12	3	1	2010	100
13	1	2	2015	45
14	2	2	2015	30
15	3	2	2015	100
16	4	1	2015	40

Table Arbre

cp	cu		ce		
Id_enr	Id_enr_table_site a	Id_arbre	Nvl_arbre	Id_enr_arbre_replacé	Dhp.cm
20	10	23	Non	s.o.	2,5
21	11	24	Non	s.o.	31,2
22	12	25	Non	s.o.	3,2
23	13	59	Oui	20	2,2
24	14	24	Non	s.o.	33,0
25	15	25	Non	s.o.	3.9
26	16	60	Oui	s.o.	2,6

^a Id_enr_table_site est également une clé étrangère (ce). Dans les tables Site et Arbre, la clé primaire (cp) est l'identifiant de l'enregistrement (Id_enr). Dans la table Site, la clé unique (cu) est la combinaison de Id_site et Numéro_visite. De même, dans la table Arbre, la cu est la combinaison de Id_enr_table_site et Id_arbre. La table Arbre est liée à la table Site au moyen d'une clé étrangère (Id_enr_table_site). Id_enr_table_site fait référence à la clé primaire de la table Site (Id_enr, et non Id_site).

visite. Id_site et Numéro_visite font partie des éléments qui rendent chaque enregistrement unique. La table Site et la table Arbre sont liées par une clé étrangère (Id_enr_table_site dans la table Arbre). Id_enr_table_site fait référence à la clé primaire de la table Site (Id_enr, et non Id_site). Dans la table Arbre, la clé unique est composée de Id_enr_table_site et Id_arbre.

L'enregistrement n°12 dans la table Site (Tableau 18) indique que le site n°3 a été échantillonné en 2010. Étant donné que Id_enr_table_site assure le lien entre la table Arbre et la table Site, nous pouvons rechercher Id_enr_table_site #12 pour voir si des arbres ont été enregistrés sur le site #3. En effet, l'enregistrement #22 montre que l'arbre #25 a été mesuré. Pour connaître la profondeur du sol de l'arbre #25, nous pouvons suivre le lien Id_enr_table_site jusqu'à l'enregistrement #12 de la table Site pour voir que la profondeur du sol est de 100 cm. L'enregistrement #15 de la table Site montre qu'en 2015, le site #3 a de nouveau été échantillonné. L'arbre #25 était toujours présent et a donc été mesuré (Id_enr #25).

Les clés étrangères constituent le lien entre les tables. Dans la table Arbre, Id_enr_table_site est une clé étrangère de l'enregistrement parent de la table Site. Elle pointe vers la clé primaire de la table Site. Par exemple, Id_enr #20 renvoie à Id_enr #1 parce que la clé étrangère (Id_enr_table_site) pointe vers Id_enr #10 de la table Site.

Une clé étrangère permet également de faire le suivi des arbres de remplacement. Par exemple, Id_enr #23 de la table Arbre affiche une entrée pour Id_enr_arbre_replacé (#20). Id_enr_arbre_replacé est une clé étrangère qui relie l'enregistrement #23 (qui contient des renseignements sur l'arbre #59) à l'enregistrement # 20 (qui contient des renseignements sur l'arbre #23). En d'autres termes, en 2010, l'équipe a échantillonné le site #1 et mesuré un arbre étiqueté Id_arbre #23, mais en 2015, elle a trouvé un autre arbre à sa place, a déterminé qu'il s'agissait d'un arbre de remplacement et l'a étiqueté Id_arbre #59. Le champ Id_enr_arbre_replacé permet également de différencier les arbres plantés sur des sites vacants et les arbres remplaçant d'autres arbres (c.-à-d. les remplacements). Par exemple, l'enregistrement #26 de la table Arbre montre que l'arbre #60 est un arbre nouvellement planté dans un nouvel emplacement (c.-à-d. qu'il ne s'agit pas d'un arbre de remplacement), car il ne contient des renseignements que pour l'année 2015, il est répertorié dans la colonne Nvl_arbre, et la colonne Id_arbre_replacé reste vide.

2.6. Système de collecte de données

Les données de surveillance des arbres urbains sur le terrain peuvent être collectées à l'aide d'appareils mobiles ou sur du papier. Chaque approche présente des avantages et des inconvénients. Malgré les avancées technologiques permettant de réaliser des inventaires d'arbres à l'aide d'appareils mobiles, de nombreux projets de surveillance peuvent continuer à utiliser le papier, en raison des ressources limitées pour l'acquisition de matériel et de logiciels, ou du fait que, dans le cas des projets de science citoyenne, la collecte de données sur papier peut rendre la participation plus largement accessible à tous les résidents. Cependant, la collecte de données sur papier présente des inconvénients, tels que le risque d'erreurs de transcription lors de la collecte des données et la nécessité de copier ou de numériser régulièrement les feuilles de données originales pour en assurer la sauvegarde (tableau 19). Un modèle de fiche de collecte de données pour l'ensemble minimal de données est fourni à l'annexe 2 du Guide de terrain.

Une évaluation complète des logiciels qui pourraient être utiles pour la surveillance des arbres urbains, y compris de nombreux logiciels de collecte de données mobiles, est présentée dans Boyer et al. (2016). Toutefois, aucun des systèmes logiciels évalués dans le présent rapport n'était parfaitement adapté à la collecte de données longitudinales et à la surveillance répétée. Depuis la publication de ce rapport, deux logiciels (OpenTreeMap d'Azavea et Urban Forest Cloud de Plan-It Geo) ont commencé à offrir des options pour la surveillance des cohortes de plantation. Lors du choix du logiciel à utiliser pour un projet de surveillance, il est recommandé de bien prendre en compte les exigences du logiciel et les utilisateurs visés (en se référant à Boyer et al. 2016 pour ces deux aspects). Les logiciels évalués dans ce rapport comprennent des logiciels propriétaires de foresterie urbaine, des logiciels propriétaires non spécialisés dans la foresterie et des logiciels libres. Certains logiciels propriétaires de foresterie urbaine peuvent être personnalisés pour la surveillance, mais une personnalisation plus avancée entraîne des coûts financiers plus élevés.

Parmi les diverses exigences d'un système logiciel de surveillance, deux aspects sont particulièrement importants : la gestion des données de localisation et la gestion des données longitudinales. Les logiciels existants peuvent ne pas être structurés pour enregistrer les données d'emplacement à l'aide des méthodes décrites à la section 2.3 ou ne pas être structurés pour permettre l'enregistrement

Tableau 19—Avantages et inconvénients de la collecte de données sur papier

Avantage	Inconvénient
Méthode abordable et peu dépendante de la technologie.	La sauvegarde des données prend plus de temps (p. ex., la copie ou la numérisation des feuilles de données par rapport au téléchargement d'un fichier électronique).
Si une approche de science citoyenne est envisagée, les fiches de données papier peuvent être plus adaptées pour certains bénévoles (p. ex., les personnes âgées ou celles ne possédant pas de téléphone intelligent).	La saisie des données dans un ordinateur prend du temps et introduit un risque d'erreurs de transcription.
La saisie des données dans un ordinateur pourrait donner l'occasion à un transcripateur d'examiner toutes les données et de signaler les entrées inhabituelles.	Impossible de restreindre les variables pour éviter les erreurs hors limites.
Fournit une copie de sauvegarde des données en cas de défaillance de l'ordinateur.	
Flexibilité du flux de travail pour les équipes de terrain (p. ex., les équipes utilisant des systèmes mobiles doivent souvent saisir un arbre à la fois, alors qu'avec le papier, les équipes pourraient mesurer et enregistrer toutes les données relatives à l'emplacement, puis toutes les mesures d'humidité relative, ou d'autres options pour maximiser le flux).	

d'au moins deux formes de localisation, comme nous le recommandons pour disposer de données de sauvegarde. Nous encourageons également fortement la prise de photos d'arbres individuels pour la plupart des études de surveillance des forêts urbaines. Cependant, tous les logiciels évalués par Boyer et al. (2016) ne permettent pas d'associer des photos à des enregistrements d'arbres individuels ni d'exporter des photos en lot. En outre, les logiciels disponibles pour les inventaires d'arbres urbains peuvent ne pas être adaptés à l'analyse de données longitudinales. Lorsque les logiciels propriétaires de foresterie urbaine sont conçus pour gérer les tâches des équipes d'entretien, les nouvelles données relatives à un arbre peuvent remplacer les anciennes données pour la vue de l'utilisateur, sans conserver les enregistrements longitudinaux d'une manière qui permette le calcul de la mortalité et de la croissance ou le suivi du remplacement et des nouvelles plantations. Ces données peuvent parfois encore exister dans la base de données du logiciel, mais il peut être difficile pour les gestionnaires d'y accéder et de relier les enregistrements dans le temps. Néanmoins, la collecte de données mobile présente des avantages, notamment l'élimination de l'étape de transcription des fiches de données et la possibilité de relier les photos aux enregistrements des arbres. Le tableau 20 résume les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'un logiciel de collecte de données mobile.

2.7. Partenariats entre chercheurs et praticiens

Pour réaliser des études productives sur le suivi des arbres urbains, il est utile d'établir des partenariats solides entre les chercheurs et les praticiens. Les deux parties apportent des compétences et une expérience essentielles. Les chercheurs savent concevoir des échantillons d'étude, analyser des données à l'aide de statistiques rigoureuses et relier ces éléments à des objectifs de recherche clairs, tandis que les professionnels de la foresterie urbaine ont une expérience approfondie de la gestion de leurs arbres et peuvent générer des questions et des idées novatrices pour interpréter les résultats. L'établissement de

Les partenariats entre la recherche et la pratique peuvent renforcer les études de surveillance des arbres urbains.

Tableau 20—Avantages et inconvénients de l'utilisation d'un logiciel de collecte de données mobile

Avantage	Inconvénient
Peut permettre aux équipes de terrain de visualiser l'emplacement des arbres sur une carte ou une image satellite, si l'appareil dispose d'un plan de données ou s'il est possible de télécharger des cartes et des données de localisation des arbres.	Les logiciels, les appareils mobiles et l'accès au plan de données peuvent être très coûteux.
Les options de saisie des données peuvent être restreintes pour chaque variable afin d'éviter les erreurs hors limites pour les variables continues et de fournir un ensemble limité d'options pour les variables nominales (p. ex., le DHP ne peut dépasser 100, l'espèce et le statut de mortalité sont sélectionnés dans des menus déroulants).	Dans le cadre d'une approche de science citoyenne, les fiches de données papier peuvent être plus adaptées pour certains bénévoles. Les reflets sur l'écran d'un appareil mobile peuvent également poser problème dans certaines conditions météorologiques.
Peut permettre de relier des photos à des enregistrements d'arbres individuels dans la base de données.	L'appareil mobile peut avoir besoin d'être rechargé chaque nuit et une source d'énergie de rechange doit être emportée sur le terrain. En outre, les données doivent être téléchargées fréquemment afin d'éviter les pertes de données. Peut nécessiter des plans de données coûteux pour chaque appareil afin d'enregistrer les coordonnées de la carte et de télécharger les données. Les options d'exportation en masse de données et de fichiers (p. ex., des photos) peuvent ne pas être disponibles.

partenariats entre chercheurs et praticiens peut également mener à des résultats exploitables par les aménagistes de forêts urbaines, tels que des rapports de programmes internes ou des présentations à des professionnels locaux, en plus des articles de journaux évalués par des pairs. Pour en savoir plus sur les différentes façons dont la recherche et la pratique collaborent pour produire des connaissances en foresterie urbaine, voir Campbell et al., (2016) Parmi les exemples de collaboration entre la recherche et la pratique pour la surveillance des forêts urbaines, on peut citer l'analyse de la survie et de la croissance dans les initiatives de plantation à San Francisco, en Californie (Martin et al. 2016), dans plusieurs villes de Floride (Koeser et al., 2014), à Indianapolis, Indiana (Vogt et al., 2015a), à Sacramento, Californie (Ko et al., 2015a, Roman et al. 2014a), ainsi qu'à East Palo Alto (Californie) et à Philadelphie (Pennsylvanie) (Roman et al., 2015). Ces études ont permis de faire progresser les connaissances scientifiques fondamentales sur la survie et la croissance des arbres urbains, tout en produisant des données utiles que les gestionnaires locaux peuvent appliquer à leurs programmes.

3. Gestion du travail sur le terrain

3.1. Conseils pour la formation des équipes de terrain

La formation et la supervision active des équipes de terrain contribuent à améliorer la qualité des données.

Une fois que les organisateurs d'un projet de surveillance ont défini les objectifs du projet, choisi les stratégies d'échantillonnage et de collecte de données, et embauché les équipes de terrain, ils doivent se consacrer à la formation de ces dernières. D'après notre expérience collective dans la gestion de centaines d'équipes de terrain, plus on consacre de temps à la formation et à l'assistance technique pendant la saison de terrain, plus les données seront cohérentes et moins il y aura de problèmes de qualité. La conception et le suivi d'un protocole de formation aideront à orienter ces efforts. Si le temps de formation est limité (un jour ou moins), concentrez-vous sur les sections les plus difficiles, comme le diamètre du tronc et les espèces. Voir l'annexe 4 pour des exemples de programmes et d'activités de formation.

3.1.1. Formation en salle

Une partie de la formation peut se dérouler en salle. Nous recommandons de mettre l'accent sur les points suivants lors de la formation en salle :

- **Donner un aperçu du Guide de terrain en mettant l'accent sur les sections les plus difficiles.** Pendant la formation, les superviseurs peuvent présenter une vue d'ensemble du guide et examiner plus en détail les sections les plus complexes. Il ne faut pas présumer que tous les membres de l'équipe ont lu l'intégralité du Guide de terrain avant la formation. En consacrant du temps à l'examen de quelques sous-sections (voire en lisant ensemble certaines d'entre elles à haute voix), on peut s'assurer que tous les membres de l'équipe ont pris connaissance des renseignements essentiels.
- **Présenter tous les équipements.** Les participants à la formation doivent se familiariser avec l'ensemble de l'équipement qu'ils utiliseront sur le terrain (c.-à-d., à quoi sert chaque élément, comment il s'appelle, quelles unités utiliser, quels sont les pièges possibles) et avec tout le matériel écrit qu'ils devront emporter avec eux sur le terrain (p. ex., guides de terrain ou aide-mémoire). Les équipes doivent s'exercer à utiliser ce matériel à l'extérieur, mais elles devraient d'abord se familiariser avec leurs outils en salle. Par exemple, les équipes peuvent s'exercer à mesurer les diamètres des poignets de leurs collègues dans la salle de formation avant de s'exercer à mesurer le DHP des arbres sur le terrain. Le superviseur peut s'assurer que tout le monde sait lire correctement le ruban de mesure du diamètre (généralement appelé **ruban forestier**) (voir les sections 3.3 et l'activité de l'annexe 4 « Rubans forestiers et poignets »). Ce ruban de mesure spécialisé pour forestiers est l'outil idéal pour mesurer les troncs de 2,54 cm (1 pouce) ou plus. En ce qui concerne l'équipement électronique, les participants à la formation doivent également apprendre à le calibrer et à suivre un protocole sur la fréquence de calibration. Par exemple, si l'on mesure la hauteur des arbres (voir l'ensemble de données sur les arbres, section 7), les hypsomètres doivent être calibrés quotidiennement, car ils dépendent de la température ambiante.

La sécurité est un élément important dans la formation des équipes de terrain.

- **Activités pour favoriser l'apprentissage actif.** Ces activités visent à donner un aperçu du travail que les équipes effectueront sur le terrain. Par exemple, les participants à la formation peuvent s'exercer à l'aide de feuilles de travail pour apprendre à enregistrer un emplacement avec une adresse et un code de site, s'exercer à utiliser des roues de mesure pour appliquer la méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâté de maisons, ou encore s'exercer à mesurer le DHP en mesurant les poignets des autres participants. Le superviseur peut également s'entraîner à l'identification des espèces en salle en utilisant des images d'arbres associées à des échantillons de feuilles, pour ensuite s'exercer à l'identification des espèces sur le terrain. Des exemples d'activités (« Rubans forestiers et poignets » et « Jeu-questionnaire sur l'adresse et le code du site ») sont fournis à l'annexe 4.
- **Discuter des questions de sécurité.** La séance de formation en salle est également l'occasion d'aborder les questions de sécurité et les protocoles connexes. Ces protocoles peuvent varier selon l'organisation et la ville, mais devraient de manière générale inclure des pratiques sûres pour les conducteurs et les piétons, les menaces spécifiques à la zone (p. ex., les maladies transmises par les tiques, les plantes toxiques pouvant provoquer des éruptions cutanées) et la façon de déclarer un incident. Faites signer aux participants à la formation les décharges de responsabilité ou les formulaires de couverture d'assurance appropriés. L'équipement de sécurité doit être adapté à la zone dans laquelle l'équipe travaille. Les gilets de sécurité de couleur vive assurent la visibilité dans la circulation et peuvent donner aux équipes une allure plus officielle devant les piétons et les résidents. Le port d'un casque de protection est recommandé en cas de risque de chute de matériaux. Les trousse de premiers secours peuvent être personnalisées de manière à inclure des remèdes pour des situations telles que les piqûres d'abeilles et le sumac vénéneux. Les superviseurs de projet doivent continuer à discuter de sécurité avec les équipes de terrain tout au long de la saison. Ils doivent également insister sur le fait que le harcèlement sexuel et l'intimidation ne sont pas tolérés. De nombreuses ressources en ligne fournissent des directives de sécurité et couvrent divers sujets, notamment les maladies liées à la chaleur, le stress et la sécurité (CDCP NIOSH, s.d.a; NWCG, s.d.; NWS, s.d.), les risques liés à la conduite (CDCP NIOSH, s.d.b) et les équipements de protection individuelle (USDL OSHA, s.d.).
- **Discuter de la manière d'interagir avec le public.** Le travail de terrain en foresterie urbaine implique souvent des interactions avec les piétons et les résidents. Dans le cas de la surveillance des cohortes de plantation, le travail sur le terrain peut également impliquer des interactions avec les résidents qui ont reçu des arbres. Les superviseurs doivent former les équipes de terrain sur ce qu'il convient de dire lors de ces interactions, comme une brève explication des objectifs de l'étude et les coordonnées à fournir pour obtenir plus d'information. Une telle formation est non seulement importante pour maintenir de bonnes relations publiques pour l'organisation ou les organisations que les équipes représentent, mais elle peut également contribuer à améliorer la qualité des données. Les conversations avec les résidents et les piétons peuvent perturber le déroulement des opérations de mesure des arbres. Il est donc important de définir une stratégie à l'avance pour gérer ces interactions de manière polie et efficace. Un script à suivre pour les conversations ou un feuillet à distribuer peut être utile. Certains résidents peuvent souhaiter obtenir des conseils sur la plantation, l'entretien et le retrait des arbres. Les équipes doivent donc se munir de coordonnées ou de brochures sur les programmes locaux pertinents. Dyson et al. (2019) fournissent des conseils supplémentaires sur la conduite de recherches sur des propriétés privées.

La formation des équipes de terrain doit inclure des discussions explicites sur les sources d'erreur et sur la gestion des erreurs décelées.

- **Discuter des sources d'erreur.** Nous recommandons d'avoir une discussion explicite avec les participants à la formation sur les sources potentielles d'erreur. L'objectif de cette discussion est d'encourager les équipes de terrain à imaginer les façons dont elles pourraient commettre des erreurs, d'expliquer comment les éviter et de discuter de la façon de gérer les erreurs si elles sont découvertes après coup. Un exemple d'activité sur ce thème est fourni à l'annexe 4 (« Sources d'erreur »).

3.1.2. Formation sur le terrain

Une séance de formation sur le terrain permettrait de mettre en pratique les apprentissages. C'est l'occasion de s'assurer que les équipes sont familiarisées avec le matériel et l'utilisent correctement. Nous recommandons d'inclure les éléments suivants dans la séance de formation sur le terrain :

- **Chaque participant doit s'exercer à faire des observations, à prendre des mesures et à enregistrer des données.** Tous les participants à la formation doivent s'exercer à mesurer la même série d'arbres afin de pouvoir comparer les résultats et discuter des écarts. Il arrive souvent qu'un participant à la formation ne se rende pas compte des hypothèses qui conduisent à des erreurs systématiques, ce qui l'empêche d'identifier les aspects pour lesquels il aurait besoin d'aide. Les membres de l'équipe doivent se répartir les rôles d'observation, de mesure et d'enregistrement des données. Veillez à la cohérence des observations entre les personnes et les équipes. Les données ne doivent pas nécessairement être identiques pour chaque participant, mais doivent se situer dans des limites raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude (voir 2.1.13). Par exemple, Roman et al. (2017) ont proposé que les mesures du DHP à $\pm 2,54$ cm (1 pouce) des mesures d'experts soient acceptables pour la plupart des applications d'aménagement des forêts urbaines, tandis qu'une tolérance de $\pm 0,254$ cm (0,1 pouce) est acceptable pour la plupart des applications de recherche. Dans cette étude, les scientifiques citoyens ont enregistré des valeurs du DHP avec une précision de $\pm 2,54$ cm (1 pouce) par rapport aux experts pour 93,3 % des arbres à tronc unique, et de $\pm 0,254$ cm (0,1 pouce) pour 54,4 % d'entre eux. En suivant une courte formation et en s'exerçant un peu sur le terrain, la plupart des équipes de stagiaires ou de bénévoles devraient être au moins aussi cohérentes, voire meilleures. Si les données obtenues lors de cette séance de formation sont enregistrées et remises au superviseur, elles peuvent être utilisées pour créer des graphiques simples illustrant le niveau de concordance entre les équipes (p. ex., pour le diamètre du tronc et la vigueur de la cime). Cet exercice peut mettre en évidence les domaines dans lesquels les participants à la formation ont besoin de plus d'aide et servir d'expérience d'apprentissage de la qualité des données.
- **S'exercer à la collecte de données en répétant pour confirmer.** Nous recommandons que la personne responsable de consigner les données prenne l'habitude de répéter à haute voix ce que la personne qui effectue la mesure vient d'annoncer, avant de le noter (ou de l'entrer dans un appareil mobile). Cette étape est particulièrement importante en présence de bruits urbains forts ou de piétons distrayants. Par exemple, la personne qui mesure un arbre dirait : « Le DHP est de 8,9 cm (3,5 pouces) à 1,31 m (4,3 pieds) », et la personne responsable de l'enregistrement répondrait : « J'ai noté 8,9 cm (3,5 pouces) à 1,31 m (4,3 pieds). » Cela permet à la personne qui prend les mesures de corriger la personne responsable de l'enregistrement au besoin. Ce processus oblige également la personne qui prend les mesures à ralentir et à suivre le même rythme que celle qui enregistre (voir la description de la division potentielle du travail au point 3.2).

Pour préserver l'intégrité des données, les personnes responsables de l'enregistrement devraient relire à voix haute les mesures annoncées par la personne qui les prend avant de les noter.

Les stratégies de formation à l'identification des espèces dépendront des besoins en matière de qualité des données ainsi que de l'expertise préalable des équipes de terrain.

- **Pratique de l'identification des espèces.** En plus de pratiquer l'ensemble du protocole de collecte de données sur quelques arbres, du temps supplémentaire pourrait être consacré à la pratique de l'identification des espèces. Le superviseur pourrait emmener l'équipe se promener dans un quartier ou un parc où l'on trouve de nombreuses espèces qu'ils sont susceptibles de rencontrer pendant la saison de collecte de données sur le terrain. Lorsque vous rencontrez une espèce qui a été examinée, demandez à l'équipe de l'identifier. Comment savent-ils de quelle espèce il s'agit? Quelles caractéristiques leur permettent de la reconnaître? Insistez sur les caractéristiques des feuilles, de l'écorce ou des fruits de l'espèce d'arbre qui la distinguent des autres espèces d'apparence similaire. Il est recommandé d'apporter toutes les ressources portables d'identification des arbres et de s'exercer à les utiliser sur le terrain (voir l'annexe 2 pour une liste de ressources d'identification des espèces d'arbres urbains). Il faut s'assurer que les équipes savent quoi faire lorsqu'elles rencontrent des espèces inconnues, par exemple, consulter des ressources en ligne ou imprimées, demander de l'aide au superviseur ou enregistrer l'arbre comme « espèce inconnue » (voir la section 2.8 du Guide de terrain). Le temps nécessaire à l'identification des espèces dépendra du niveau de formation préalable des équipes ainsi que de l'importance accordée à la précision des données d'identification pour le projet. Si l'identification au niveau du genre est suffisante, la formation pourrait être plus brève. Si l'identification au niveau de l'espèce est primordiale, il faut alors consacrer plus de temps à cette formation, et le superviseur doit envisager d'engager des équipes d'experts ou d'utiliser des photos pour valider les identifications (voir la section 2.8 du Guide de terrain et Roman et al. 2017). Pour les études de surveillance des cohortes de plantation, les équipes n'ont pas besoin de connaître toutes les espèces potentielles dans une zone, mais seulement l'ensemble des espèces plantées pour la cohorte en question; ces équipes utilisent des données préremplies sur les espèces à partir des registres de plantation pour confirmer qu'elles se trouvent au bon arbre, plutôt que d'identifier une espèce donnée à partir de zéro.
- **S'exercer avec la plateforme de collecte de données prévue.** Que ce soit à l'aide de fiches de données papier ou d'un appareil mobile, les équipes doivent s'exercer à la collecte de données avec le système qu'elles utiliseront pendant toute la période de collecte de données sur le terrain. Vérifiez leurs entrées pour vous assurer qu'elles enregistrent les données comme il se doit. Apprenez à connaître les points forts des membres de l'équipe en matière de saisie de données, fin que, par exemple, la personne ayant la plus belle écriture ou étant la plus habile avec une application mobile puisse assumer principalement ce rôle (voir la section 3.2 sur les rôles de l'équipe de terrain).
- **Prévoir suffisamment de temps pour les questions.** Il est essentiel de laisser assez de temps aux équipes de poser des questions lorsqu'elles s'exercent à la collecte de données sur le terrain. Il ne faut pas précipiter cette période de pratique. Demandez aux participants à la formation quelles sont les variables qu'ils ont trouvé les plus difficiles à collecter et celles qu'ils ont trouvé les plus faciles.
- **Fournir une assistance technique lors de la première journée de collecte des données.** Les superviseurs, les chefs d'équipe ou les formateurs doivent accompagner les équipes lors de leur première journée de collecte de données. Ce personnel de supervision doit être présent pour répondre rapidement aux questions techniques et donner des conseils, et non pour collecter des données pour le groupe. Cette collecte de données supervisée est particulièrement importante pour les équipes de terrain inexpérimentées (p. ex., les scientifiques citoyens, les stagiaires n'ayant que peu d'expérience préalable sur le terrain), mais elle aussi utile pour les équipes de terrain plus

chevronnées afin de s'assurer qu'elles suivent les protocoles précis conçus pour un projet de surveillance particulier. Dans le cadre de projets de surveillance particulièrement axés sur la qualité des données, les superviseurs ou les formateurs peuvent accompagner les équipes pendant toute leur première semaine complète de collecte de données sur le terrain.

3.2. Conseils pour la gestion et le soutien des équipes de terrain

La gestion efficace des équipes de terrain est un rôle clé du superviseur de projet. En investissant du temps et des ressources dans une planification de haut niveau, les équipes peuvent être plus efficaces sur le terrain, ce qui, selon nous, conduit également à une meilleure qualité des données. Nous recommandons de prendre en compte les éléments suivants :

- **Saisonnalité de la collecte des données.** Tenez compte des arbres à feuilles caduques et du moment de la chute des feuilles au printemps et de leur changement à l'automne, car cela peut affecter la détermination du statut de mortalité et de la vigueur de la cime. Si les données sont collectées trop tôt dans l'année, les feuilles pourraient ne pas être encore complètement sorties, tandis que, si elles sont collectées trop tard, les feuilles pourraient déjà commencer à brunir. Dans de telles circonstances, les équipes peuvent ne pas être en mesure de distinguer la saisonnalité de la perte de vigueur. Si l'étude vise à évaluer les changements au niveau de la croissance et de la santé au fil des ans, les mesures doivent être répétées à peu près à la même période de l'année, généralement après que les arbres ont cessé leur croissance pour l'année. Il est préférable d'estimer de manière prudente la durée des relevés sur le terrain, car il ne serait pas judicieux de les prolonger au-delà d'une saison. Planifiez en estimant la durée du travail sur le terrain en fonction du temps par arbre et du transport afin de vous assurer que les relevés sur le terrain peuvent être réalisés au cours de la saison souhaitée (voir section 2.1.5).
- **Planifier l'itinéraire quotidien.** Il faut soigneusement planifier les itinéraires de transport chaque jour lorsque les travaux de terrain qui se déroulent dans toute la ville. Les journées seront ainsi beaucoup plus productives et les équipes pourront recenser plus d'arbres par jour (voir section 2.1.5). Différents itinéraires sont requis en fonction du mode de transport (voiture, transport en commun, bicyclette, etc.). Les itinéraires de transport doivent inclure la séquence optimale d'arbres ou de parcelles à visiter ainsi que les directions entre les sites. Les équipes de terrain ou le superviseur du projet doivent prévoir du temps au bureau pour planifier leurs itinéraires de transport (p. ex., à l'aide de Google Maps). Dans les villes ayant de sérieux problèmes de circulation, il peut être pertinent de débiter le travail sur le terrain avant l'heure de pointe du matin, ou d'utiliser le vélo ou les transports en commun plutôt que la voiture. Pour les arbres des cours résidentielles, on peut envisager d'effectuer un travail de terrain le soir ou la fin de semaine, soit lorsque les résidents sont plus susceptibles d'être à la maison et de permettre l'accès (et d'adapter les temps de déplacement prévus en conséquence).
- **Inclure la fréquence des transferts de données et des sauvegardes dans le protocole de gestion de l'équipe de terrain.** Si vous enregistrez des données sur papier sur le terrain, assurez-vous d'entrer les données dans l'ordinateur tous les jours (idéalement) ou au moins une fois par semaine. Une saisie fréquente des données permet de corriger tout écart ou toute confusion pendant que le site est encore frais dans la mémoire de l'équipe, ou, au besoin, de le revisiter. Lorsque les fiches sont remplies, laissez-les en lieu sûr au bureau, au lieu de demander à l'équipe de continuer à les emporter sur le terrain. Procédez à des numérisations pour la sauvegarde. Des sauvegardes quotidiennes sont

Une planification minutieuse des itinéraires de transport de l'équipe de terrain peut permettre une collecte de données plus efficace.

préférables pour l'enregistrement électronique des données. Renommez le fichier en fonction du jour où il a été téléchargé, au cas où des fichiers futurs seraient corrompus et qu'il serait nécessaire de revenir au dernier fichier de données fonctionnel. Si les données enregistrées sont automatiquement téléchargées dans un système en nuage, le superviseur doit s'assurer que les données saisies sont complètes.

- **Demander à la personne responsable de l'enregistrement des données de vérifier les mesures précédentes.** Lorsque les arbres sont mesurés à nouveau, il est utile que la personne responsable de l'enregistrement dispose des mesures précédentes pour vérifier en cas de confusion concernant un arbre et pour identifier les « erreurs » (van Doorn 2014) lorsque l'on se trouve encore sur le terrain, afin de pouvoir les corriger (voir « Créer un protocole de contrôle qualité » ci-dessous). Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de mesures antérieures à titre de référence, soit sur papier, soit sous forme électronique. Imaginons par exemple qu'une équipe mesure un arbre qui a été mesuré cinq ans auparavant. La personne responsable de l'enregistrement doit connaître l'emplacement et les renseignements sur l'espèce et doit également disposer de la photo de l'arbre (si elle est disponible) pour facilement retrouver un arbre. En revanche, la personne qui mesure l'arbre ne doit pas connaître toutes les données précédentes, telles que le diamètre du tronc et la vigueur de la couronne, afin de ne pas biaiser la mesure actuelle. Toutefois, afin de s'assurer que la croissance du DHP est correctement mesurée exactement au même endroit sur le tronc, la personne responsable de l'enregistrement devra indiquer à quelle hauteur la mesure avait été prise.
- **Tenir régulièrement des réunions avec les équipes de terrain.** Le superviseur et les membres de l'équipe de terrain doivent se rencontrer régulièrement pour discuter des progrès réalisés et résoudre les éventuels problèmes. Les sujets abordés peuvent inclure les difficultés liées à l'équipement, la gestion des espèces inconnues, le partage d'expériences d'interactions avec le public et la réitération des protocoles de sécurité. Idéalement, ces réunions devraient avoir lieu chaque semaine et être combinées à d'autres tâches administratives pour les équipes, telles que la numérisation des fiches techniques et la planification des itinéraires de transport pour la semaine à venir.
- **Optimiser la taille des équipes en fonction du personnel disponible et des besoins en données.** Même si l'on pourrait croire que plus il y a de membres dans une équipe, mieux c'est, une équipe trop nombreuse peut en réalité devenir inefficace. Le principal facteur limitant est la vitesse de la personne responsable de l'enregistrement, car un trop grand nombre de personnes prenant des mesures et communiquant des données peut entraîner des erreurs ou une mauvaise communication.
- **Équipe de deux personnes.** En règle générale, une équipe fonctionnelle comprend au minimum deux personnes : une pour la prise de mesures et une autre pour l'enregistrement des données. Outre l'efficacité de deux paires de mains pour porter l'appareil d'enregistrement et les outils de mesure, cette taille d'équipe permet un contrôle de qualité impartial. Elle est également utile pour des raisons de sécurité en cas d'urgence ou de blessure. De plus, l'évaluation de la cime (p. ex. la vigueur de la cime) est plus fiable lorsque deux paires d'yeux inspectent et font la moyenne des résultats, et le diamètre du tronc est plus précis lorsque le diamètre du tronc et la hauteur jusqu'au point de mesure sont mesurés minutieusement, ce qui nécessite deux paires de mains. Dans une petite équipe, la personne responsable de l'enregistrement peut parfois devoir attendre avant de saisir les données, mais elle peut aussi s'occuper d'autres tâches, comme photographier

Des réunions régulières avec les équipes de terrain et le superviseur sont importantes pour gérer la logistique, discuter des défis, résoudre les problèmes liés aux données et réitérer les procédures de sécurité.

l'arbre. Elle devrait également mettre en œuvre des protocoles de contrôle de la qualité sur le terrain, en demandant que de nouvelles mesures soient effectuées si nécessaire (voir le point ci-dessous dans cette section des conseils sur la mise en place d'un protocole de contrôle de la qualité).

- **Équipe de trois personnes.** L'avantage d'avoir un membre d'équipe supplémentaire est que la personne responsable de l'enregistrement reste occupée en continu. Cela signifie aussi que cette personne doit traiter un plus grand volume de données rapidement et doit donc être très organisée et capable de gérer la saisie à un rythme efficace, sans précipitation. Les personnes qui collectent les données doivent s'exercer à enregistrer les données afin de savoir à quel rythme et dans quel ordre les communiquer (p. ex. d'abord l'état de mortalité, puis la vigueur de la cime, puis le diamètre du tronc, ou toute autre séquence qui semble fonctionner le mieux pour ce projet). Si possible, les personnes qui collectent les données devraient regrouper toutes les données d'un arbre avant de les lire à voix haute, pendant que la personne responsable de l'enregistrement leur accorde toute son attention. Ensuite, la personne responsable de l'enregistrement pourra se consacrer à l'arbre suivant. Sinon, une troisième personne peut s'occuper de tâches nécessitant peu d'interaction avec la personne responsable de l'enregistrement, comme photographier l'arbre ou prêter main-forte pour la mesure du DHP. La troisième personne pourrait aussi être principalement chargée de parler aux résidents, ce qui permettrait aux deux autres de rester concentrées sur les données. Une troisième personne peut également être particulièrement utile si des variables provenant des ensembles de données supplémentaires sont collectées (sections 7, 8, 9, 10).
- **Équipe de quatre personnes (ou plus).** Une équipe peut être trop nombreuse. Dans certains cas, il est préférable de se diviser en plusieurs groupes et d'inventorier les parcelles/arbres en parallèle. Toutefois, en fonction des capacités et des intérêts de chacun, il peut s'avérer avantageux d'avoir une équipe de quatre personnes. Quatre membres de l'équipe peuvent se rendre ensemble dans un quartier et se voir attribuer des parcelles ou des segments de rue à proximité les uns des autres, afin de travailler en parallèle tout en restant proches les uns des autres. Ce format peut également convenir si la surveillance est associée à d'autres travaux d'entretien des arbres sur le terrain. Dans le cadre de la surveillance des cohortes de plantation, l'organisation locale de plantation peut souhaiter que les équipes de terrain discutent de l'intendance des arbres avec les résidents ou effectuent des soins de base aux arbres en même temps que la collecte des données (Roman et al. 2018b). Dans une équipe de quatre personnes, deux personnes peuvent se charger de la collecte et de l'enregistrement des données, tandis que les deux autres peuvent se concentrer sur le soin des arbres et les interactions avec les résidents.
- **Créer un protocole de contrôle de la qualité.** Le contrôle de la qualité est un système qui permet de maintenir un niveau de qualité des données en testant un échantillon des données collectées selon des spécifications. Un protocole de contrôle de la qualité fournit des étapes concrètes permettant de réduire les erreurs non aléatoires. Tout au long du processus de collecte des données, différents moments peuvent servir au contrôle de la qualité des données. Bon nombre des points abordés ci-dessous s'appuient sur l'expérience des scientifiques de la forêt expérimentale de Hubbard Brook (dans les Montagnes Blanches du New Hampshire), qui collectent et gèrent des données sur les arbres depuis des décennies. Bien que ces conseils proviennent de projets

de surveillance menés par des chercheurs et des étudiants diplômés, dont les données sont destinées à des analyses scientifiques et à des publications scientifiques, ils peuvent aussi être utiles aux forestiers urbains des municipalités et des organisations à but non lucratif.

- **Quotidiennement** : Avant de quitter une rue, une parcelle ou une autre zone d'échantillonnage, un membre de l'équipe doit s'assurer que tous les champs de la fiche de données ont été remplis et que tous les arbres ont été enregistrés. Par exemple, lors de l'enregistrement des arbres d'un pâté de maisons, l'équipe peut recompter les arbres pour vérifier qu'aucun n'a été oublié ou compté deux fois (Roman et al. 2017). Une stratégie similaire peut être appliquée aux parcelles.
- **Hebdomadairement** : Le superviseur doit prévoir du temps pour examiner les notes destinées à la révision par le superviseur (voir la section 2.13 du Guide de terrain) dans les données collectées, que ce soit tous les jours, toutes les semaines ou toutes les deux semaines. Il ne faut pas remettre cette tâche à la fin de la saison de collecte de données sur le terrain. Il est plus efficace d'examiner les problèmes lorsque les données sont encore fraîches dans l'esprit de l'équipe.
- **Saisonnier** : Le superviseur doit effectuer des vérifications au début de la saison de collecte de données sur le terrain, de préférence au cours de la première semaine, afin de détecter toute erreur majeure. Par exemple, il se peut que l'équipe se trompe systématiquement sur certaines espèces ou utilise mal l'équipement (p. ex., lire le ruban forestier dans le mauvais sens; voir la section 2.12.2 du Guide de terrain). La détection précoce de ces erreurs permet aux équipes d'améliorer leur travail et peut donner le temps de revenir sur les arbres ou les parcelles dont les données sont inexactes. Il faut aussi vérifier régulièrement que les équipes continuent de collecter des données de haute qualité tout au long de la période de collecte de données sur le terrain. Les programmes FIA et UFIA fournissent des protocoles (USDA FS 2016, 2017) sur les contrôles de qualité des données, dans lesquels des équipes d'experts hautement expérimentés vérifient les données collectées par des forestiers professionnels saisonniers. Cependant, il faut garder à l'esprit qu'il s'agit d'équipes de terrain professionnelles disposant de niveaux de ressources qui peuvent être supérieurs à ce que les programmes de foresterie urbaine, dont les ressources sont limitées, sont en mesure de fournir.
- **Seuils de valeur des données** : Avant le début du projet, le superviseur doit définir les seuils d'acceptabilité pour ce qui constitue un niveau acceptable de changement par rapport aux mesures précédentes, qui permettraient de distinguer un changement biologique d'une « erreur » (van Doorn 2014). Pour les mesures quantitatives, telles que le DHP, il peut s'agir d'un pourcentage ou une valeur supérieure ou inférieure au DHP (voir la section 2.1.13). Si une mesure dépasse ce seuil, la personne responsable de l'enregistrement demanderait une nouvelle mesure, sans toutefois indiquer le problème. La mesure suivante serait enregistrée, qu'elle soit supérieure ou inférieure à la première, afin de ne pas biaiser les résultats. La même stratégie peut être appliquée aux évaluations qualitatives, telles que la vigueur de la cime. Le superviseur peut établir des seuils, comme un changement de vigueur de deux classes par rapport aux données précédentes. Par exemple, à la forêt expérimentale de Hubbard Brook, le protocole prévoit que la personne responsable de l'enregistrement consulte

Le contrôle de la qualité est un système qui permet de maintenir un niveau de qualité des données en testant un échantillon des données collectées par rapport aux spécifications.

l'indice de vigueur enregistré lors de l'enquête précédente pour s'assurer que la vigueur actuelle de l'arbre n'est pas enregistrée par erreur comme vivante alors qu'elle était auparavant enregistrée comme morte (voir la question des « arbres zombies », section 2.1.16). De plus, tout changement de deux classes dans la vigueur de la cime, dans un sens ou dans l'autre, nécessite une réévaluation, car il arrive qu'on ait inspecté la mauvaise cime.

La supervision des équipes de terrain n'est pas un travail d'appoint.

- **Allouer du temps pour la gestion active du projet.** Superviser des équipes de terrain n'est pas un rôle secondaire! Les gestionnaires de programme qui supervisent les équipes doivent savoir que le travail commence 2 à 4 semaines avant l'arrivée des équipes et se poursuit encore 2 à 4 semaines après leur départ (voire plus), en raison du temps nécessaire à la préparation et à l'organisation de la saison sur le terrain. Pour garantir l'efficacité du travail des équipes et assurer une bonne collecte de données, le superviseur du projet doit avoir un plan clair pour toute la saison, y compris les activités de formation. Pendant la saison de terrain, il devra consacrer beaucoup de temps à la communication avec l'équipe et à répondre aux questions, à rédiger des notes pour révision par la supervision et à organiser régulièrement des réunions de contrôle avec l'équipe. L'embauche d'un superviseur temporaire pour l'été peut permettre au personnel principal du programme de poursuivre son travail habituel. Par exemple, des étudiants aux cycles supérieurs expérimentés pourraient faire office de superviseurs temporaires tandis que des étudiants de premier cycle feraient office de stagiaires au sein de l'équipe de terrain. Pour équilibrer les coûts, il peut être nécessaire d'engager moins de stagiaires afin de financer un superviseur temporaire. Les programmes disposant de ressources limitées doivent être conscients du fait que, si un membre du personnel permanent assume la tâche de supervision des équipes de terrain, cette personne devra avoir une charge de travail réduite dans d'autres domaines.
- **Considérations supplémentaires pour les projets de science citoyenne.** Les projets de surveillance des arbres urbains lancés par les professionnels de la foresterie urbaine font appel à des scientifiques citoyens pour le travail de terrain (Roman et al. 2013). D'autres éléments doivent alors être pris en compte pour gérer efficacement ces équipes de bénévoles. Comme ils ne sont pas rémunérés, il est essentiel de valoriser leur temps et de rendre l'expérience de collecte de données enrichissante afin d'encourager leur participation future. Dans le cas de la surveillance des arbres urbains, les journées de travail sur le terrain peuvent prendre la forme d'une journée de « cartographie » avec une formation rapide le matin, suivie de la collecte de données sur des parcelles prédéterminées, comme cela a été fait à New York (New York) (Silva et al. 2013). Un autre exemple est celui des événements de cartographie à Portland, en Oregon, qui font intervenir des arboristes se déplaçant à vélo pour aider à identifier les espèces et à résoudre d'autres problèmes (di Salvo 2016). Dans les projets de surveillance des cohortes de plantation, la collecte peut être couplée à des soins aux arbres ou à des conversations avec les résidents sur la manière de les entretenir. Si c'est le cas, les bénévoles auront besoin d'une formation supplémentaire sur la manière d'aborder ces conversations avec les résidents et sur la manière de procéder à un entretien approprié. Par exemple, les bénévoles de la Pennsylvania Horticultural Society à Philadelphie (Pennsylvanie) font du porte-à-porte lorsqu'ils surveillent les arbres urbains pour discuter des techniques appropriées d'arrosage, de paillage et de tuteurage avec les résidents qui ont demandé des arbres (Roman et al. 2018 b). Les bénévoles laissent ensuite des « bulletins » aux résidents pour évaluer leurs techniques d'entretien. Lorsque l'on travaille avec des scientifiques citoyens, il est important

de reconnaître la contribution des bénévoles qui consacrent beaucoup de temps au projet de surveillance en les remerciant dans des bulletins d'information ou lors de cérémonies de remise de prix. Si l'on utilise une application mobile, le projet de science citoyenne pourrait intégrer une approche ludique, dans laquelle les bénévoles gagnent des écussons ou d'autres récompenses amusantes pour leur service (Bowser et al. 2014, Crown et al. 2018). Des ressources supplémentaires pour la conception et la mise en œuvre de projets de science citoyenne réussis sont disponibles sur le site Web de la Federal Citizen Science and Crowdsourcing Toolkit (citizenscience.gov [en anglais seulement]). Parmi les exemples publiés de projets de science citoyenne dans le domaine de la foresterie urbaine (y compris les questions de qualité des données), on peut citer Roman et al. (2017), Bancks et al. (2018), Crown et al. (2018), Hallett et Hallett (2018), Hamilton et al. (2018), et Roman et al. (2018b).

3.3. Suggestions d'équipements de terrain

Une liste d'équipements à collecter pour l'ensemble minimal de données est fournie dans le Guide de terrain (annexe 3). Les décisions relatives aux équipements à utiliser varient en fonction des besoins du projet, de la taille des arbres à mesurer, du contexte social de la zone d'étude (arbres privés ou publics) et des ressources financières disponibles. Il est recommandé de discuter avec d'autres chefs de projet afin de recueillir des idées sur l'équipement à utiliser en fonction des objectifs de surveillance et du budget. Nous présentons ci-dessous les considérations pour la mesure du DHP (à partir de l'ensemble minimal de données) ainsi que la hauteur totale des arbres et la largeur du couvert (à partir de l'ensemble des données sur les arbres).

- **Pour la mesure du diamètre des troncs.** Comme indiqué précédemment, le ruban de mesure du diamètre (ruban forestier) est l'outil le plus couramment utilisé pour mesurer le diamètre des troncs en écologie forestière. Cet outil de mesure forestière spécialisé comporte d'un côté des unités de mesure classiques pour la circonférence, et de l'autre des unités pour le diamètre. Il utilise la formule classique de la géométrie : $\text{circonférence} = \text{diamètre} \times \pi$. Cependant, tous les projets d'inventaire et de surveillance des forêts urbaines n'utilisent pas le ruban forestier. Lorsque les arbres mesurés sont très petits, soit moins de 2,54 cm (1 pouce) de DHP, les **compas forestiers** sont plus appropriés (notamment les compas forestiers numériques). Enrouler du ruban forestier autour d'un très petit arbre n'est pas très pratique et requiert de tenir le ruban en angle pour lire la valeur. Les compas forestiers peuvent également être utilisés pour les troncs présentant des obstacles (p. ex., des liens de tuteurage, des vignes) qui rendraient difficile l'enroulement d'un ruban forestier. Par ailleurs, il existe de nombreux types de rubans forestiers disponibles à l'achat, faits de matériaux variés (tissu, acier inoxydable, etc.) et avec différentes largeurs. Pour les arbres de plus grand diamètre, il existe des rubans forestiers dont l'extrémité est munie de crochets à griffes qui peuvent être placés dans l'écorce pendant qu'une personne enroule le ruban autour de l'arbre, ce qui permet à une seule personne de mesurer un grand arbre sans assistance (p. ex., rubans en tissu ou en acier de 6 m [20 pieds] de long, rubans de bûcheron à usage intensif de 15 m [50 pieds] et plus). Le ruban forestier en tissu (plutôt qu'en acier inoxydable) peut être plus facile à enrouler autour des arbres de petite ou moyenne taille. Toutefois, lorsque les équipes utilisent des rubans de tissu, elles doivent veiller à ne pas étirer le tissu; le ruban forestier doit être bien ajusté, mais pas trop serré, autour du tronc. Les superviseurs de projet doivent s'assurer que les rubans forestiers en tissu utilisés précédemment ne se sont pas étirés

Le ruban de mesure du diamètre (ruban forestier) est l'outil le plus couramment utilisé pour mesurer le diamètre des troncs en écologie forestière.

au point de devenir imprécis. Pour les arbres plus petits (mais dont le DHP est supérieur à 2,54 cm [1 pouce]), il existe des rubans forestiers « de poche » plus fins (p. ex., rubans minces de 1,8 m [6 pi]). Notamment, les baguettes de Biltmore, outil de forestier pour mesurer approximativement le DHP, ne sont pas appropriées pour une nouvelle mesure du DHP. De même, les rubans forestiers ou les compas forestiers avec une résolution approximative (p. ex., affichant uniquement des unités de 1,27 cm [0,5 pouce]) ne conviennent pas aux projets visant à mesurer la croissance du DHP au fil du temps; la résolution de ces instruments de mesure n'est pas assez précise pour refléter la croissance relativement lente des troncs d'arbres. Pour les projets en unités impériales, nous recommandons des rubans forestiers en pouces et en 1/10 de pouce. Pour les projets en unités métriques, nous recommandons des rubans forestiers avec des unités centimétriques et millimétriques (voir section 2.1.10).

En plus du DHP, nos protocoles dans le Guide de terrain indiquent d'enregistrer la hauteur à laquelle le diamètre est mesuré (voir la section 2.12.1 du Guide de terrain). Bien que cette hauteur puisse être mesurée à l'aide de la partie du ruban forestier réservée aux unités régulières, il est généralement plus facile de disposer d'un autre outil pour mesurer cette hauteur. Nous recommandons l'utilisation d'un ruban à mesurer rigide de qualité professionnelle (semblable aux rubans à mesurer que de nombreuses personnes utilisent à la maison) ou d'une perche de hauteur de 1,37 m (4,5 pieds) coupée sur mesure (fait d'un matériau comme le PVC). Toutefois, si une telle tige est utilisée, il sera nécessaire de prévoir des marquages pour d'autres hauteurs, pour les situations où le diamètre est mesuré plus bas ou plus haut que 1,37 m (4,5 pieds). Si l'on utilise les unités impériales, les marques pourraient être placées tous les 10 pieds (plutôt qu'en pieds avec des graduations en pouces). Une perche de hauteur manuelle (parfois appelée perche de relevé télescopique) peut aussi servir à mesurer la hauteur jusqu'au point du DHP. Quel que soit l'outil de mesure utilisé pour déterminer la hauteur jusqu'au point du DHP, il faut toujours indiquer les unités de mesure dans la base de données finale.

Les équipes ne doivent pas utiliser la « **hauteur de poitrine** » sur leur corps comme référence de hauteur, même si certaines équipes peuvent déjà connaître cette approche grâce à des cours et des expériences sur le terrain. Cette approche peut être acceptable lorsque des mesures approximatives du DHP sont nécessaires (p. ex., enregistrer le DHP comme se situant dans une fourchette de classe de taille de plusieurs pouces), mais elle n'est pas appropriée pour le DHP lorsque des mesures de croissance répétées sont prévues.

- **Pour la mesure de la hauteur des arbres.** Les outils disponibles pour mesurer la hauteur totale d'un arbre comprennent une perche de hauteur manuelle (également appelée perche télescopique ou perche de relevé), un clinomètre utilisé avec un ruban de mesure et un hypsomètre laser numérique. Le choix du matériel dépendra de la hauteur générale des arbres. Pour les arbres de petite taille (<25 pi ou 7,6 m), une perche de hauteur est recommandée, car les équipes peuvent voir clairement où elle atteint le sommet de l'arbre. Les clinomètres ou hypsomètres numériques sont plus appropriés pour les arbres de taille moyenne à grande, et ce type d'équipement offre des options variables en termes de coût et de précision.

Il est important que toutes les équipes utilisent le même équipement et les mêmes unités de mesure.

- **Pour la mesure de la largeur de la cime.** Pour mesurer la largeur de la cime, on peut utiliser des rubans à mesurer de qualité professionnelle ou pour usage domestique, ainsi que des hypsomètres laser numériques. Pour les petits arbres, un ruban de mesure est facile à utiliser et est très pratique. Lorsque la largeur de la cime est telle qu'un mètre ruban est difficile à manier, il est préférable d'utiliser des appareils électroniques, tels que les hypsomètres. Voir l'ensemble de données sur les arbres (section 7) pour plus de renseignements sur les options d'enregistrement de la largeur de la cime.
- **Utiliser les mêmes outils de mesure pour toutes les équipes et au fil du temps.** Dans un souci de cohérence, il est important que toutes les équipes utilisent le même équipement et les mêmes unités de mesure. Les projets débutés en unités impériales doivent se poursuivre avec ces unités au cours des années de surveillance successives, et il en va de même pour les projets en unités métriques. Pour procéder à de nouvelles mesures de la croissance, il convient notamment d'utiliser le même matériel que lors de la collecte de données précédente. Si l'utilisation de différents outils est inévitable (p. ex. emprunt d'équipements à différents partenaires en raison de coûts limités, mesure de certains arbres très courts avec des perches de hauteur manuelles et de certains arbres très hauts avec des hypsomètres), il faut veiller à leur calibration. En d'autres termes, il faut mesurer les mêmes arbres avec les deux outils pour s'assurer que les différences entre eux se situent dans une marge d'erreur acceptable.

4. Conclusion

Dans ce Guide des ressources, nous avons décrit les techniques de conception et de mise en œuvre des projets de surveillance des arbres urbains sur le terrain. Ce qu'il faut retenir, c'est qu'une planification préalable est nécessaire pour garantir le bon déroulement des projets de surveillance, avec une collecte de données bien organisée, et pour produire des résultats qui seront ultimement utiles à la réalisation des objectifs du projet. Les sections restantes de ce Guide des ressources présentent le contexte de la sélection des variables pour l'ensemble minimal de données, les variables à considérer pour les projets allant au-delà de l'ensemble minimal de données, ainsi que divers documents de soutien relatifs à la surveillance des arbres urbains (p. ex., ressources pour l'identification des espèces, glossaire, activités de formation). L'ensemble de ces ressources devrait permettre de personnaliser les projets en fonction des objectifs et des niveaux d'expérience du personnel. Bien que la collecte de données à long terme sur les arbres urbains soit un domaine relativement récent de la recherche et de la gestion des ressources, nous pouvons mettre à profit les longues traditions de surveillance des arbres dans les écosystèmes ruraux et tirer les leçons des expériences des chercheurs et des praticiens qui ont été les pionniers de la surveillance des arbres dans les zones urbaines.

Partie II : Ensembles de données pour la surveillance des arbres urbains

5. Cadre des ensembles de données

Nous avons organisé les protocoles de surveillance en un ensemble minimal de données et en quatre ensembles de données supplémentaires. Cette structure permet aux praticiens et aux chercheurs en foresterie urbaine d'adapter ces protocoles à leurs propres besoins en fonction des objectifs du projet de surveillance et de la capacité organisationnelle. Reportez-vous à la section 1.4.3 pour des exemples de mise en œuvre des protocoles avec adaptation aux objectifs de surveillance locaux.

Les ensembles de données sont organisés de la façon suivante :

- **Ensemble minimal de données.** Les variables fondamentales nécessaires à tout projet de surveillance des arbres urbains, y compris l'identification de l'équipe de terrain, le niveau d'expérience de l'équipe de terrain, les espèces, l'emplacement, le type de site, l'utilisation des terres, l'état de mortalité, la vigueur de la cime et le diamètre du tronc (section 6).
- **Ensemble de données sur les arbres.** Les variables relatives à la taille, à la croissance et à la santé des arbres, y compris la hauteur totale, la largeur de la cime, la présence de ravageurs et de maladies, et les tâches d'entretien. Comprend les variables liées à la gestion des arbres adultes (section 7).
- **Ensemble de données sur les sites.** Les caractéristiques du paysage urbain entourant l'arbre, y compris le site de plantation, l'environnement bâti et les sols (Urban 2008) (section 8).
- **Ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres.** Les pratiques d'entretien des arbres recommandées par les organisations locales et les actions d'intendance observées sur le terrain, ainsi que des renseignements sur les programmes et les institutions qui plantent et entretiennent les arbres (section 9).
- **Ensemble de données sur les communautés.** Renseignements socioéconomiques sur la communauté humaine vivant autour de l'arbre, tirés de bases de données existantes (p. ex. U.S. Census Bureau) pour des variables telles que le revenu médian, la valeur du logement et la densité de population. L'ensemble de données sur les communautés ne nécessite pas de travail supplémentaire sur le terrain, mais requiert du personnel ayant des compétences en matière de SIG (section 10).

Le Guide de terrain fournit des protocoles de terrain détaillés uniquement pour l'ensemble minimal de données. Le Guide des ressources, quant à lui, fournit des listes de variables pour chacun des cinq ensembles de données, avec des descriptions générales, mais sans protocoles de terrain détaillés; à la place, nous fournissons des références à d'autres ressources pour les lecteurs qui souhaiteraient incorporer ces variables dans leur projet. Nous expliquons également pourquoi certaines des méthodes utilisées dans l'ensemble minimal de données ont été sélectionnées.

Pour la plupart d'aménagistes de forêts urbaines et même pour de nombreuses études de recherche, l'ensemble minimal de données devrait être suffisant pour

atteindre les objectifs du programme de surveillance, tels que l'évaluation des performances en termes de mortalité et de croissance ou le suivi de l'évolution du nombre total d'arbres. Comme nous l'avons souligné à la section 1.3, nous invitons les concepteurs d'études de surveillance à faire preuve de prudence lorsqu'ils ajoutent d'autres variables. Il faut s'assurer que chaque variable collectée a un usage prévu, que les méthodes correspondent aux objectifs du projet de surveillance et que les équipes de terrain disposent de la formation et des compétences appropriées pour accomplir les tâches de collecte des données.

En outre, les variables énumérées dans chaque ensemble de données ne couvrent pas toutes les variables possibles qui pourraient être collectées pour surveiller les arbres urbains. Pour ceux qui souhaitent réaliser des études de surveillance impliquant un travail de terrain intensif, en particulier pour les variables liées aux arbres et aux sites, nous recommandons d'explorer les autres protocoles d'inventaire et de surveillance des arbres figurant à l'annexe 3.

Pour chacun des ensembles de données, nous énumérons les objectifs potentiels des études de surveillance qui pourraient être atteints en utilisant cet ensemble de données (ou des parties de celui-ci). Nous avons également codé les ensembles de données par niveaux pour représenter les différents degrés de complexité. Ces niveaux permettent de personnaliser les protocoles en fonction des niveaux de compétence des équipes de terrain et des ressources disponibles, en termes de temps de travail, d'équipement et de traitement des données après le travail sur le terrain.

- **Niveau 0 : Basique.** Il s'agit des données les plus faciles à collecter, qui peuvent être recueillies sur le terrain par des équipes ayant reçu une formation minimale. Pour les projets reposant sur des bénévoles et des stagiaires peu formés, nous recommandons de s'en tenir à l'ensemble minimal de données.
- **Niveau 1 : Modéré.** Il s'agit de données de terrain plus complètes, comprenant une série de variables provenant des ensembles de données sur la gestion des arbres, des sites et des jeunes arbres, en plus de l'ensemble minimal de données. Les stagiaires et les bénévoles pourraient encore éventuellement collecter ces données, mais une formation plus approfondie de l'équipe de terrain est nécessaire, et il faut plus de temps par arbre.
- **Niveau 2 : Difficile.** Il s'agit d'une collecte de données avancée, nécessitant des personnes ayant une expérience préalable et un équipement spécialisé. Ces options requièrent plus de connaissances que les niveaux basique et modéré, mais ne prennent pas nécessairement plus de temps sur le terrain.
- **Niveau 3 : Expert.** Ce niveau de collecte de données nécessite une formation et une analyse spécialisées dans des domaines pointus, tels que la gestion des risques liés aux arbres, l'analyse des sols et les sciences sociales. Le traitement des données et l'analyse statistique en dehors du travail sur le terrain sont également nécessaires pour certaines composantes. Nous recommandons que ce niveau de collecte de données soit entrepris en collaboration avec des experts, tels que des chercheurs scientifiques ou des arboristes certifiés.

Puisque l'ensemble de données sur la communauté ne nécessite pas de travail sur le terrain, il n'est pas classé par niveau. Cet ensemble de données consiste plutôt à accéder à des données socioéconomiques provenant de bases de données existantes, et il est donc organisé en fonction des sources de données (p. ex., le US Census Bureau, les données locales sur la criminalité).

6. Ensemble minimal de données

L'ensemble minimal de données contient des renseignements qui permettent aux praticiens et aux chercheurs d'évaluer la mortalité, la croissance et la santé des arbres urbains. Plus précisément, les objectifs de l'ensemble minimal de données sont de fournir des renseignements permettant aux utilisateurs de :

- Localiser de manière fiable les arbres en vue de futurs travaux sur le terrain par différentes équipes.
- Identifier et rechercher les erreurs associées à la collecte de données sur le terrain et procéder au contrôle et à l'assurance de la qualité.
- Rapporter les taux de survie et de mortalité et établir des courbes de mortalité en fonction du temps écoulé depuis la plantation (études de surveillance des cohortes de plantation) ou de la classe de taille, selon le DHP (études par recensements répétés).
- Rapporter les taux de croissance du DHP.
- Rapporter les changements de la santé du feuillage au fil du temps.
- Analyser les facteurs de risque potentiels pour la croissance et la mortalité qui sont inclus dans l'ensemble minimal de données :
 - Âge (temps écoulé depuis la plantation) ou classe de taille (DHP)
 - Espèces
 - Vigueur de la cime
 - Type de site
 - Utilisation des terres

Les études utilisant l'ensemble minimal de données peuvent également être combinées à d'autres renseignements ne nécessitant pas de travail supplémentaire sur le terrain, mais utiles pour l'analyse statistique de la mortalité, de la croissance et de l'état de santé :

- Groupes d'espèces (p. ex., niveaux de tolérance à la sécheresse ou à l'inondation, espèces indigènes par rapport aux espèces non indigènes, taille de l'arbre adulte, telle que déterminée par les manuels et les fiches de renseignements sur les arbres urbains).
- Caractéristiques socioéconomiques du quartier (p. ex., données du U.S. Census issues de l'ensemble de données sur les communautés, voir section 10).

Des protocoles détaillés pour l'ensemble minimal de données sont présentés dans le Guide de terrain. Les variables incluses dans cet ensemble sont présentées dans la figure 3. Nous justifions l'inclusion de chaque variable dans l'ensemble minimal de données dans le Guide de terrain (section 2). Ci-dessous se trouvent une brève description de chaque variable, ainsi que des détails supplémentaires expliquant comment nous avons décidé des protocoles à suivre pour le statut de mortalité, la vigueur de la cime et le diamètre du tronc.

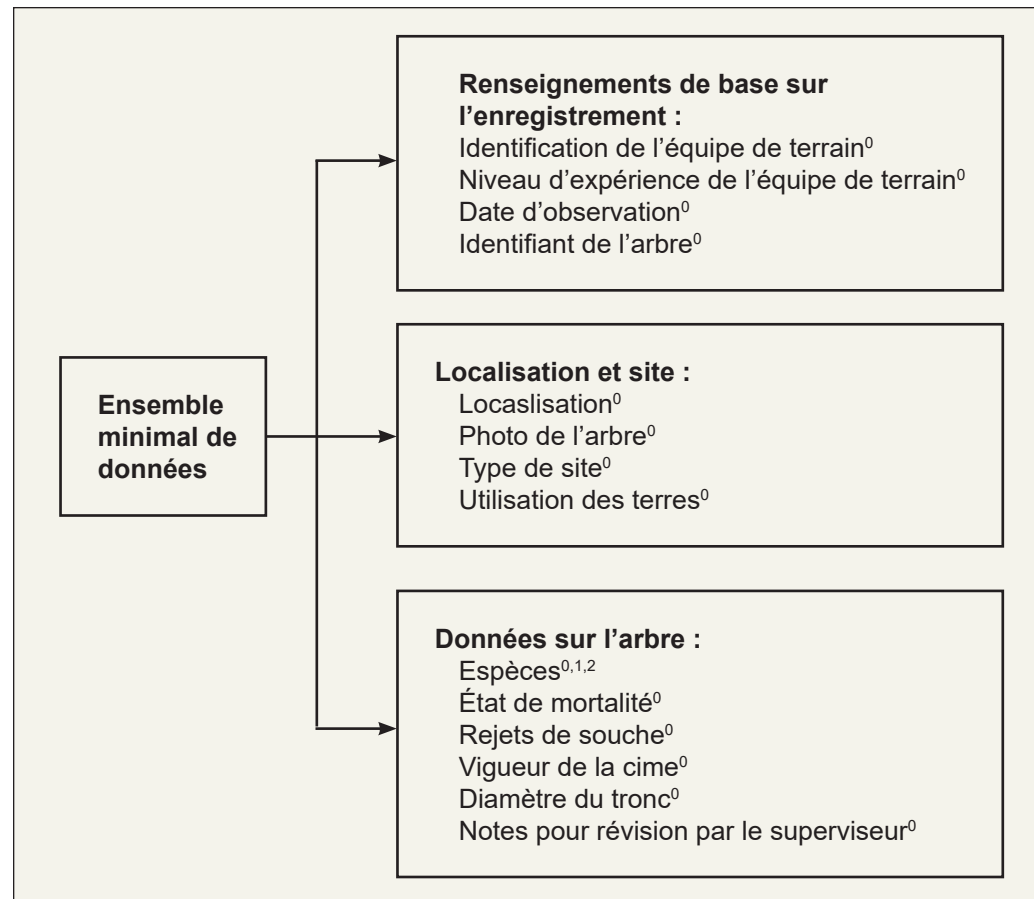


Figure 3—Variables de l'ensemble minimal de données. Les chiffres en exposant représentent les niveaux de complexité (voir section 5). Lorsqu'il y a plus d'un niveau indiqué, cela signifie que des équipes ayant davantage de compétences ou d'équipement pourraient recueillir des données plus détaillées.

6.1. Renseignements de base sur l'enregistrement

6.1.1. Identification de l'équipe de terrain

Description : L'identification de l'équipe de terrain est l'information sur la (les) personne(s) qui a (ont) collecté les données de terrain sur cet arbre. Des noms d'équipe, des initiales ou des numéros d'équipe peuvent être utilisés, mais ils doivent être cohérents au sein d'un projet donné.

6.1.2. Niveau d'expérience de l'équipe de terrain

Description : Le niveau d'expérience du membre le plus expérimenté de l'équipe de terrain qui a collecté les données sur cet arbre.

6.1.3. Date d'observation

Description : Date (année, mois, jour) de la collecte des données sur le terrain.

6.1.4. Identifiant de l'arbre

Description : Chaque enregistrement d'arbre doit avoir un code d'identification unique qui reste associé à l'arbre lors des surveillances futures. Pour les projets qui suivent les arbres récemment plantés, la clé unique pourrait être liée aux registres de plantation.

6.2. Localisation et site

6.2.1. Localisation

Description : Renseignements sur la position géographique de l'arbre dans le paysage, utilisés pour déterminer l'emplacement de l'arbre en vue d'une surveillance future et pour relier cet arbre à d'autres ensembles de données géospatiales. Le Guide de terrain (section 2.4) et le Guide des ressources (section 2.3) présentent différentes options pour déterminer l'emplacement des arbres.

6.2.2. Photo de l'arbre

Description : Une photographie prise pour montrer l'arbre entier dans le contexte de son emplacement immédiat et des infrastructures construites dans le paysage, avec une vue qui aiderait les futures équipes de terrain à retrouver facilement le même arbre.

6.2.3. Type de site

Description : Le type de site est une description de l'emplacement immédiat de l'arbre. Les catégories de type de site fournissent des renseignements d'ordre général sur l'environnement immédiat de l'arbre et les contraintes liées à la plantation et au retrait des arbres (espaces sous le contrôle de l'homme ou naturel).

6.2.4. Utilisation des terres

Description : Utilisation des terres est une description de la façon dont la propriété autour ou adjacente à l'arbre est utilisée par les hommes. La variable « Utilisation des terres » se distingue du type de site, bien que les deux soient liées et qu'il y ait un certain chevauchement dans leurs définitions, notamment pour les parcs et les zones naturelles. L'utilisation des terres que nous mentionnons renvoie à l'utilisation des terres au niveau de la propriété, et non au niveau de l'arbre.

6.3. Données sur les arbres

6.3.1. Espèces

Description : Enregistrez les espèces en utilisant les noms botaniques standards, avec à la fois le genre et l'espèce, ou les codes des espèces. Pour les codes d'espèces, nous recommandons les codes du programme Urban Forest Inventory and Analysis du Service des forêts (USDA FS 2017). Ces codes sont constitués des deux premières lettres du genre et de l'espèce. Par exemple, l'érable rouge doit être enregistré sous le nom d'*Acer rubrum* ou le code d'espèce ACRU. Les équipes moins douées en matière d'identification des espèces pourraient potentiellement se limiter à l'enregistrement des renseignements relatifs au genre ou des espèces les plus courantes (Roman et al. 2017).

6.3.2. État de mortalité

Description : Le statut de mortalité indique si l'arbre est vivant, mort sur pied, enlevé ou dans un autre état.

6.3.3. Rejets de souche

Description : Les rejets de souche, parfois appelés drageons ou gourmands, poussent à partir de bourgeons situés à la base du tronc ou dans les racines d'un arbre. Les rejets de souche peuvent indiquer que le système racinaire est encore vivant dans une souche ou un arbre mort sur pied. Indiquez « présent » si les rejets de souche sont présents, ou « absent » si les rejets de souche ne sont pas présents. Voir la section 2.1.17 pour des détails sur la détermination de l'utilisation prévue de la variable « rejet de souche ».

6.3.4. Vigueur de la cime

Description : La vigueur de la cime comprend cinq classes basées sur l'examen visuel de la santé de la cime. Il s'agit d'une évaluation globale de la santé de la cime qui reflète la proportion de la cime présentant des problèmes de feuillage et des pertes majeures de branches. Il convient de noter que la vigueur de la cime n'implique pas l'évaluation de l'état du tronc ou de la stabilité structurelle.

6.3.5. Diamètre du tronc

Description : Le diamètre du tronc est enregistré soit comme diamètre à hauteur de poitrine (DHP), soit comme **diamètre au calibre (DC)**, selon les caractéristiques de l'arbre. Le DHP correspond au diamètre mesuré à 1,37 m (4,5 pieds) du sol, tandis que le DC est le diamètre mesuré à 30,5 cm (1 pied) du sol, en utilisant le sens de « calibre » employé en pépinière, qui est différent de celui d'un instrument de mesure tel qu'un compas forestier. Alors que le DHP est la mesure standard de la taille du tronc pour les écologistes forestiers et la plupart d'aménagistes de forêts urbaines, le DC est couramment utilisé pour indiquer la taille des arbres en pépinière. Les mesures du diamètre du tronc comprennent le diamètre lui-même et la hauteur à laquelle le diamètre est mesuré. Les protocoles décrits dans le Guide de terrain contiennent également des instructions précises pour mesurer les arbres multitruncs (voir la section 2.12.4 du Guide de terrain et la section 6.5 ci-dessous, ainsi que Magarik et al. 2020). Bien que nous recommandions d'enregistrer le diamètre, certains projets peuvent préférer la circonférence, ce qui doit être noté lors de la collecte des données afin que les conversions puissent être effectuées lors du traitement des données.

6.3.6. Notes pour révision par le superviseur

Description : C'est ici que l'on peut noter les difficultés liées aux espèces, à l'état de mortalité, aux mesures du diamètre du tronc ou à d'autres variables. L'ajout d'une note ici signale l'arbre pour un examen par le superviseur du projet.

6.4. Information sur l'état de mortalité

Bien que la mortalité semble être une variable assez évidente à enregistrer, elle a causé une certaine confusion dans la recherche sur la foresterie urbaine et a été définie de différentes manières. Comme indiqué dans la section 1.1.1, nous définissons la mortalité comme incluant les arbres qui sont observés morts sur pied et ceux qui ont été enlevés. Cette définition est conforme à des dizaines d'études antérieures sur la mortalité des arbres urbains (Hilbert et al. 2019). Cependant, même si la mortalité tient compte à la fois des arbres morts sur pied et de ceux qui ont été enlevés, il est toujours utile de faire la distinction entre ces deux cas. Les catégories que nous avons établies pour l'état de mortalité sont les suivantes : vivant, mort sur pied, en souche, enlevé, jamais planté et inconnu (voir le Guide de terrain, section 2.9).

Le raisonnement qui sous-tend le choix de ces catégories repose à la fois sur des considérations pratiques de gestion et sur des applications de recherche. En termes de gestion, les arbres morts sur pied nécessitent un suivi pour les enlever, et les grands arbres morts sur pied peuvent créer des risques pour la sécurité humaine et des dommages matériels. Dans le même ordre d'idées, nous incluons « en souche » comme catégorie d'état de mortalité. En effet, les

arboristes peuvent vouloir savoir où se trouvent les souches afin que les ouvriers puissent les broyer par la suite. L'enregistrement des arbres morts sur pied dans une catégorie distincte des arbres enlevés présente également un intérêt pour les études de recherche. Par exemple, dans le cadre d'une étude de surveillance des arbres de rue à Oakland, en Californie, les arbres ont fait l'objet d'un suivi annuel de la mortalité pendant 5 ans (Roman et al. 2014 b). Les transitions dans la population d'arbres de rue ont été suivies, pour ce qui est des nouveaux arbres, des arbres mourants et des arbres enlevés. La proportion moyenne d'arbres observés morts sur pied était de 1,7 %. Pourtant, un grand nombre de ces arbres restaient présents dans le paysage au fil du temps, restant morts plutôt que d'être enlevés : en moyenne, 56,7 % des arbres morts sur pied observés une année donnée avaient été enlevés l'année suivante. Ces résultats révèlent un manque de suivi pour le retrait des arbres morts dans la zone d'étude.

La catégorie « jamais planté » a été créée pour les études de cohortes de plantation, en reconnaissance des programmes de foresterie urbaine qui fonctionnent sous forme de dons (Nguyen et al. 2017). Ces programmes distribuent des arbres, généralement aux habitants, qui sont ensuite chargés de les planter. Cependant, tous les arbres distribués ne seront pas plantés par les habitants dans leur cour. Par exemple, dans le cadre d'un programme de distribution d'arbres à Sacramento (Californie), 15,1 % des arbres distribués n'ont pas été plantés (Roman et al. 2014a). Si le problème de non-plantation et celui de la mortalité postplantation sont tous deux des problèmes pour le programme, ce sont des phénomènes distincts dont les causes peuvent être différentes. La catégorie « jamais planté » dans l'état de mortalité permet aux équipes de terrain de suivre ce résultat. Notamment, dans le cadre de programmes de dons, il peut être difficile, à partir des seules données de terrain, de distinguer les arbres qui n'ont jamais été plantés par les résidents de ceux qui ont été plantés puis enlevés. Des discussions avec les résidents peuvent être nécessaires pour déterminer ce qu'il est advenu des arbres « manquants ».

Bien que la catégorie des arbres jamais plantés soit essentielle dans la surveillance des cohortes des programmes de dons d'arbres de cour, elle peut également être utile pour le suivi des programmes de plantation d'arbres de rue. Les registres établis lors de la plantation dans le cadre des programmes de plantation d'arbres de rue pourraient par erreur inclure des arbres qui n'ont pas été plantés pour diverses raisons (Roman et al. 2018 b), comme un refus de dernière minute de la part d'un propriétaire adjacent, ou la présence inattendue de services publics souterrains.

Enfin, nous avons inclus la catégorie « inconnu » dans l'état de mortalité pour tenir compte des cas inhabituels qui peuvent survenir dans la surveillance des arbres urbains. Cela comprend notamment les cas d'« arbres zombies » évoquées à la section 2.1.16, ainsi que de tous les cas où il y a confusion quant à l'emplacement de l'arbre par rapport aux données de référence. Bien que les équipes de terrain attribuent rarement un arbre à la catégorie « inconnue », nous avons prévu cette option pour tenir compte des cas particuliers, afin que les superviseurs de projet puissent les résoudre plus tard.

6.5. Information sur la vigueur de la cime

Il existe de nombreuses options pour enregistrer la santé et l'état des arbres urbains, dont beaucoup sont examinées dans Bond (2010). D'autres protocoles d'évaluation de la santé des arbres ont été appliqués aux zones urbaines, notamment ceux de Bond (2012), Östberg et al. (2013), Pontius et Hallett (2014), et Vogt et Fischer (2014). De nombreuses méthodes d'évaluation visuelle de la santé, de l'état, de la vigueur ou de la vitalité des arbres nécessitent des connaissances préalables sur les performances typiques des différentes espèces d'arbres dans la région étudiée. Cette approche est difficile à mettre en œuvre pour de nombreux stagiaires et équipes de terrain bénévoles, c'est pourquoi nous avons voulu adopter une méthode d'évaluation qui nécessiterait moins d'expertise préalable.

Pour l'ensemble minimal de données final, nous avons utilisé la variable de vigueur de la cime basée sur Pontius et Hallett (2014), qui elle-même s'appuie sur des protocoles employés dans le cadre du North American Maple Project (NAMP) [Millers et al. 1991, Steinman 1998]) et utilisés pour étudier le dépérissement régional de l'érable à sucre (Hallett et al. 2006). Bien que cette variable n'ait pas été testée dans l'étude pilote du Guide de terrain, elle a été évaluée séparément dans une étude sur la qualité des données d'inventaire des arbres urbains provenant d'élèves du secondaire (Hallett et Hallett 2018). Cette étude a montré que les équipes d'élèves classaient les arbres dans la même catégorie de vigueur que les experts dans 56 % des cas, et dans une catégorie de vigueur adjacente dans 92 % des cas. Dans une étude portant sur des données de surveillance d'arbres récemment plantés, la vigueur évaluée par les bénévoles correspondait à celle des stagiaires à une classe près pour 90 % des arbres (Roman et al. 2018). L'étude de Hallett et Hallett (2018) a notamment consisté à enregistrer séparément la décoloration et la défoliation, ce qui peut présenter un intérêt pour certaines études de surveillance des arbres qui cherchent à obtenir des données plus approfondies sur les tendances de la santé des arbres afin de détecter la réaction au stress et le déclin au fil du temps. Cette approche a été utilisée pour étudier la réaction au stress des arbres de rue qui ont été inondés par l'eau salée lors de l'ouragan Sandy à New York (New York) [Hallett et al. 2018].

Les lecteurs de ce rapport peuvent préférer l'un ou l'autre des protocoles d'évaluation visuelle de la santé des arbres urbains mentionnés dans le premier paragraphe de cette section, plutôt que la vigueur de la cime telle que définie dans le Guide de terrain. Quelle que soit la méthode choisie, nous encourageons vivement l'utilisation de variables pour la santé, l'état, le dépérissement, la vigueur ou la vitalité, avec des définitions claires et des rubriques qui distinguent les différentes classes. Nous conseillons également vivement de réserver les évaluations de l'état du bois, de la stabilité structurelle et des besoins d'entretien ou de taille à des arboristes certifiés ou à d'autres experts comparables, compte tenu des conclusions de Bloniarz et Ryan (1996), Cozad (2005) et Roman et al. (2017) Pour plus de renseignements sur les variables propres à la santé des arbres et à l'état du bois, voir l'ensemble de données sur les arbres (section 7).

Il est important de souligner que toutes les méthodes d'évaluation de la santé, de l'état, du dépérissement, de la vigueur ou de la vitalité des arbres sont conçues pour des arbres à feuilles caduques ou à feuillage persistant, généralement dans des climats tempérés. Cependant, les villes situées dans des climats tropicaux, subtropicaux ou méditerranéens ont souvent des palmiers dans leurs forêts urbaines. Une publication récente donne des indications sur une méthode d'évaluation visuelle de la santé des palmiers (Blair et al. 2019).

6.6. Information sur le diamètre du tronc

Bien que le DHP soit un élément central de presque toutes les méthodes d'inventaire et de surveillance des arbres urbains (Bond 2013, Östberg et al. 2013, Roman et al. 2013), nous avons constaté que de nombreux professionnels de la foresterie urbaine l'enregistrent d'une manière qui ne facilite pas l'évaluation de la croissance des arbres au fil du temps. Plus précisément, le DHP est souvent enregistré à 2,54 cm (1 pouce) près, sans que la hauteur à laquelle la mesure est prise ne soit précisée. Cette approche convient aux inventaires à des fins de gestion, comme l'utilisation du DHP pour émettre des bons de travail pour l'enlèvement des arbres ou pour créer des graphiques de base sur la distribution des classes de taille des arbres. Cependant, des données sur le DHP aussi approximatives ne permettent pas d'analyser la croissance des troncs, et des données sur le DHP plus précises sont nécessaires pour analyser les services écosystémiques tels que la séquestration du carbone. Il convient de rappeler que, bien que la hauteur par défaut pour le DHP soit de 1,37 m (4,5 pieds) aux États-Unis, et qu'il s'agisse de la hauteur indiquée dans notre Guide de terrain, la hauteur réelle de mesure peut varier pour chaque arbre en raison de sa forme et des irrégularités de son tronc (voir Guide de terrain, section 2.12.3, « Considérations particulières » pour le DHP).

La variation de la hauteur réelle utilisée pour la mesure du DHP a mené les chercheurs en écologie forestière à employer des stratégies pour s'assurer que les futures remesures des arbres individuels soient effectuées au même point. Une stratégie consiste à utiliser une perche de 1,37 m (4,5 pieds) coupée sur mesure (van Doorn 2014), permettant aux équipes suivantes d'enrouler le ruban forestier au même endroit sur l'arbre. Dans la recherche en écologie forestière, le point de mesure du DHP est parfois marqué dans les parcelles permanentes à l'aide de peinture, de marqueurs permanents, de clous en aluminium ou de crayons de cire (Condit 1998, USDA FS 2017a). Toutefois, les aménagistes de forêts urbaines peuvent ne pas souhaiter que les arbres soient cloués ou peints, car ces techniques peuvent être considérées comme inesthétiques ou dérangeantes pour les résidents. Des solutions temporaires telles que la craie peuvent faciliter le processus d'enregistrement de la hauteur jusqu'au point de mesure du DHP (Magarik et al. 2020), tandis que les solutions plus durables telles que le marqueur permanent peuvent être utilisées d'une saison à l'autre. Cependant, même sans marquer l'arbre, si les équipes mesurent minutieusement la hauteur jusqu'au point de mesure initial du DHP, il est possible de remesurer le DHP au même endroit les années suivantes, ce qui permet d'évaluer la croissance de l'arbre.

Les arbres sont aussi des **organismes à croissance lente**, ce qui signifie que pour évaluer précisément leur croissance, il faut **noter le DHP au dixième de pouce près** (ou au millimètre le plus proche si l'on utilise le système métrique), ce qui est la norme dans les parcelles d'écologie forestière. Cette même approche peut s'appliquer aux arbres urbains, c'est pourquoi les protocoles du Guide de terrain préconisent des mesures au dixième de pouce (ou millimètre) le plus proche. Par exemple, la combinaison de mesures au dixième de pouce près et de l'enregistrement précis de la hauteur de mesure du DHP a permis à Roman et al. (2015) de calculer les taux de croissance annuels des arbres récemment plantés à Philadelphie, en Pennsylvanie : *Quercus palustris* a affiché une croissance de 1,9 cm (0,75 pouce) par an, tandis que *Acer rubrum* a grandi de 1,1 cm (0,43 pouce) par an. Les mesures initiales ont été prises un mois après la plantation et les arbres ont été remesurés six ans plus tard.

Les arbres dont le tronc se divise en dessous de 1,37 m (4,5 pieds), souvent appelés arbres multitroncs, posent des défis particuliers pour la mesure du DHP. Le traitement de ces arbres dans notre Guide de terrain repose sur les leçons tirées de l'essai pilote (Roman et al. 2017), où les équipes de scientifiques citoyens n'étaient parfois pas d'accord entre elles sur le nombre de tiges d'un arbre donné, malgré le fait qu'elles avaient reçu des indications sur la manière de déterminer les tiges à mesurer. Certaines équipes de cette étude ont également indiqué qu'il était difficile de mesurer le DHP sur plusieurs tiges. Dans nos autres expériences d'utilisation de protocoles multitroncs conventionnels, tels que les instructions pour mesurer jusqu'à six tiges dans i-Tree Eco (i-Tree 2017b), les équipes de stagiaires rémunérés et même les experts ont exprimé des difficultés similaires. En fin de compte, les coauteurs de cette étude pilote (Roman et al. 2017) ont conclu que les mesures du tronc à 1,37 m (4,5 pieds) ne sont pas bien adaptées aux espèces d'arbres ornementaux multitroncs de petite taille, qui sont courantes dans les forêts urbaines. De plus, l'enregistrement de plusieurs tiges ne semble pas propice à une remesure minutieuse de la croissance des troncs, car il n'est pas garanti que les futures équipes de terrain remesurent exactement les mêmes tiges, surtout si certaines tiges sont taillées. C'est pourquoi nous avons établi des lignes directrices recommandant de mesurer le DHP en dessous du point de ramification, là où l'arbre ne présente qu'une seule tige, dans la mesure du possible. Cette technique s'inspire également des méthodes pratiques de mesure du DHP utilisées par les arboristes professionnels (Swiecki et Bernhardt 2001). Nous pensons que la mesure au-dessous du point de ramification permettrait d'obtenir des données plus cohérentes entre les équipes de terrain et dans le temps, et donc d'analyser la croissance des arbres.

Cependant, outre la mesure du diamètre sous le point de ramification, il existe une autre méthode de mesure des arbres multitroncs qui permet de mesurer les arbres de manière cohérente sur plusieurs années : le diamètre à 30,5 cm (1 pied) du sol. Une étude d'évaluation sur le terrain des *Malus* spp., *Prunus* spp. et *Zelkova* spp. à Philadelphie, (Pennsylvanie), a montré que cette approche permettait d'obtenir les hauteurs jusqu'au point de mesure plus cohérentes, contrairement à la mesure du diamètre sous le point de ramification, où la variation de hauteur est inhérente à la méthode (Magarik et al. 2020). Dans cette étude, aucune méthode de mesure du diamètre ne présentait d'avantage indéniable en termes de capacité prédictive des corrélations avec la hauteur totale de l'arbre et la largeur de la cime, ce qui rendait les questions de cohérence et de répétabilité primordiales dans le choix de la méthode. En effet, le diamètre au calibre approximatif est déjà utilisé pour les arbres de pépinière (American Nursery & Landscape Association 2004), ainsi que par divers chercheurs pour les arbres multitroncs dans d'autres écosystèmes (MacDicken et al. 1991, Snowdon et al. 2002, Stewart et Dunsdon 1994, Stewart et Salazar 1992). La mesure du diamètre à 30,5 cm (1 pied) peut être l'approche la plus appropriée pour les chercheurs soucieux d'assurer une cohérence dans l'espace et le temps. Cependant, cette étude étant limitée à trois genres dans une seule ville, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les avantages et les inconvénients des différentes options de mesure des arbres urbains multitroncs pour différents groupes taxonomiques et conditions de croissance. Les différentes approches de mesure des arbres multitroncs peuvent avoir des implications pour les analyses de la croissance des arbres, de l'allométrie et des services écosystémiques.

Plus précisément, l'étude sur les arbres multitrunks à Philadelphie (Magarik et al. 2020) a également utilisé une notation pour indiquer la hauteur de mesure du diamètre, facilitant ainsi la communication de la hauteur par défaut et standard : la lettre « D » suivie d'un indice représentant la hauteur depuis le sol en centimètres (p. ex., $D_{30,5}$ pour un diamètre mesuré à 30,5 cm, D_{137} pour un diamètre mesuré à 137 cm), conformément à Brokaw et Thompson (2000). Cette notation peut être particulièrement utile pour comparer les méthodes et les résultats de la mesure du DHP entre les pays, car D_{137} est la norme aux États-Unis, mais D_{130} est la norme en Europe et la norme la plus courante dans les études d'écologie forestière, bien que de nombreuses publications ne précisent même pas la hauteur à laquelle le diamètre a été mesuré (Brokaw et Thompson 2000).

7. Ensemble de données sur les arbres

L'ensemble de données sur les arbres comprend des renseignements qui permettent aux praticiens et aux chercheurs d'évaluer la croissance des arbres ainsi que leur santé, la présence de ravageurs et de maladies, les besoins d'entretien et les risques. Les variables incluses dans l'ensemble de données sur les arbres sont présentées dans la figure 4. Pour ceux qui envisagent d'ajouter des variables en plus de l'ensemble minimal de données, nous recommandons de privilégier celles marquées d'un « 1 » et d'un « 2 » (ce qui signifie que l'effort à fournir est moindre; voir figure 4).

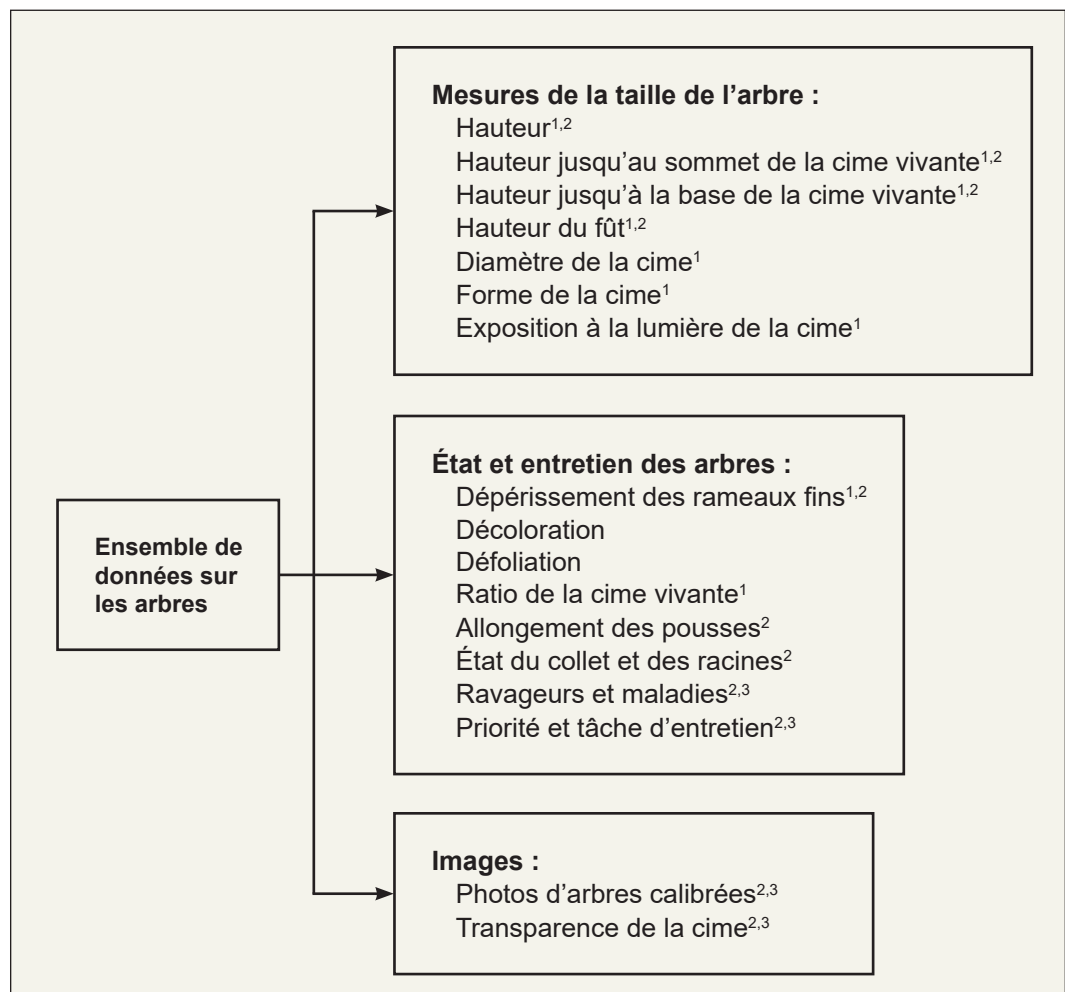


Figure 4—Variables dans l'ensemble de données sur les arbres. Les chiffres en exposant représentent les niveaux de complexité (voir section 5). Lorsqu'une variable est associée à plusieurs niveaux, cela signifie que des données plus détaillées peuvent être obtenues par des équipes de terrain ayant plus de compétences ou d'équipement.

Il convient de noter que les variables d'entretien de cet ensemble de données concernent surtout les arbres urbains adultes. Les variables d'entretien et d'intendance relatives aux jeunes arbres pendant leur établissement figurent dans l'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres.

Plus précisément, les objectifs de l'ensemble de données sur les arbres sont de fournir des renseignements qui permettront aux utilisateurs de :

- Surveiller la croissance des arbres en ce qui concerne la hauteur et la taille de la cime et élaborer des équations allométriques reliant le DHP à ces autres mesures de la taille de l'arbre.
- Évaluer et surveiller la santé des arbres afin de détecter les réactions au stress.
- Évaluer les considérations de gestion, en particulier l'élagage, le risque lié à l'arbre et le potentiel de conflit avec les infrastructures en raison de la taille de l'arbre ou de son mode de croissance.
- Fournir suffisamment d'information pour permettre le calcul des services écosystémiques pour d'autres applications, telles que i-Tree Eco (USDA FS 2017b) et EcoSmart Landscapes (McPherson et al. 2014), et pour les crédits carbone avec la Climate Action Reserve (Climate Action Reserve 2018).
- Fournir des données de base pour l'évaluation des impacts du site et du sol sur la croissance et l'état des arbres (en conjonction avec l'ensemble des données sur les sites).

Dans les variables de santé des arbres ci-dessous, le dépérissement des rameaux fins, la décoloration et la défoliation sont basés sur les méthodes d'évaluation décrites dans Pontius et Hallett (2014), Hallett et Hallett (2018), et Hallett et al. (2018)

7.1. Mesures de la taille des arbres

Les variables précédemment décrites dans les protocoles i-Tree Eco (2017a) et UFIA (i-Tree 2017b) sont citées entre parenthèses avec des termes et des numéros de page correspondants ou similaires.

7.1.1. Hauteur (totale)

Description : Hauteur totale de l'arbre, du sol au sommet de la cime, mesurée verticalement (i-Tree 2017a, p. 28).

7.1.2. Hauteur jusqu'au sommet de la cime vivante

Description : Hauteur depuis le niveau du sol jusqu'au sommet de la cime vivante (vert), mesurée verticalement (i-Tree 2017a, p. 28).

7.1.3 Hauteur jusqu'à la base de la cime vivante

Description : Distance entre le sol et la base du feuillage vivant de la cime (i-Tree 2017a, p. 29).

7.1.4. Hauteur du fût

Description : Mesure de la longueur du fût, depuis le niveau du sol jusqu'à la première branche formant la cime. Cette hauteur est parfois appelée hauteur du tronc ou hauteur du fût sans branche. Pour les palmiers, mesurer la tige depuis le sol jusqu'à la base des feuilles (méristème apical; base de la feuille du cœur; également appelée hauteur du tronc selon les normes relatives aux palmiers).

7.1.5. Diamètre de la cime

Description : Deux largeurs horizontales perpendiculaires, mesurées depuis l'extrémité d'une feuille ou d'un rameau (pourtour de l'arbre à l'aplomb de la ramure), en passant par le tronc. Il existe trois options pour enregistrer ces largeurs de cime : (1) enregistrer d'abord le diamètre le plus large de la cime, puis le diamètre perpendiculaire à celui-ci, conformément à l'UFIA (USDA FS 2017, p. 142); (2) enregistrer la largeur dans les directions cardinales nord-sud et est-ouest, conformément à i-Tree Eco (2017a, p. 30); et (3) pour les arbres de rue, enregistrer le diamètre parallèle et perpendiculaire à la rue, conformément à McPherson et al. (2016) La méthode des arbres de rue est souvent équivalente à celle de l'UFIA en raison des pratiques d'élagage courantes le long des routes. Nous n'avons pas connaissance d'études comparant ces options pour les mêmes arbres. Nous recommandons donc aux responsables de projets de suivi de choisir l'une de ces options et de l'appliquer de manière cohérente tout au long de l'étude.

7.1.6. Forme de la cime

Description : « La forme de la cime correspond à la silhouette d'un arbre, tracée d'une extrémité de branche à l'autre, englobant tout son feuillage. Normalement, les silhouettes sont établies à partir d'arbres vigoureux et isolés, et elles tendent à être propres à l'espèce. La forme de la cime sert de contour pour les côtés de l'arbre » [Traduction par nos soins] (USDA FS 2017, p. 156).

7.1.7. Exposition à la lumière de la cime

Description : Les cimes sont divisées verticalement en quatre côtés égaux (ou quartiers) auxquels s'ajoute le sommet, pour un total possible de cinq faces. Comptez combien des quatre côtés recevrait une lumière directe si le soleil se trouvait directement au-dessus de l'arbre. Essayez de diviser la cime de manière à ce que le plus grand nombre possible de quartiers reçoive une lumière complète. Ajoutez-en un si l'arbre reçoit une lumière directe par le haut (USDA FS 2017a, pp. 161–162, 173; USDA 2017b, p. 35).

7.2. État et entretien des arbres

7.2.1. Dépérissement des rameaux fins

Description : Le dépérissement des rameaux fins indique la mort des tissus responsables de la production et du soutien de la majeure partie de la surface foliaire et de l'allongement des branches d'un arbre. L'importance du dépérissement des rameaux fins est le reflet de la sévérité des stress récents subis par l'arbre. Le dépérissement des rameaux fins reflète le pourcentage de la surface de la cime affectée, en se concentrant plus particulièrement sur les parties supérieures et extérieures de la cime. La variable du dépérissement des rameaux fins se concentre sur la réaction récente au stress des rameaux fins plutôt que sur le dépérissement naturel des branches (élagage naturel dû à la concurrence de la couronne ou à l'ombrage dans la partie inférieure de la cime), la mortalité des branches plus anciennes, ou les sections élaguées de la cime.

Le dépérissement des rameaux fins reflète le pourcentage du volume de la cime affectée (encadré 1). Par conséquent, un arbre dont une seule branche présente un dépérissement peut avoir un pourcentage élevé de dépérissement si l'ensemble de la cime est petit, tandis qu'un arbre à la cime large et dont une branche comparable présente un dépérissement aura un pourcentage de dépérissement beaucoup plus faible. Voir les exemples dans l'encadré 1. Faites le tour de l'arbre

Encadré 1—Classes de dépérissement des rameaux fins

Classe de dépérissement	Pourcentage de la cime présentant un dépérissement
1	0–1 (none/trace)
5	2–5
10	6–10
15	11–15
20	16–20
25	21–25
30	26–30
35	31–35
40	36–40
45	41–45
50	46–50
55	51–55
60	56–60
65	61–65
70	66–70
75	71–75
80	76–80
85	81–85
90	86–90
95	91–95
99	96–99



Un arbre présentant un dépérissement des rameaux fins. Photo de J.P. Fristensky, utilisée avec autorisation.



Catégorie 5 : 2 à 5 % de dépérissement des rameaux fins. La différence entre le contour noir extérieur et le contour rouge en pointillés représente le pourcentage de dépérissement des rameaux fins. Superposition réalisée par J.P. Fristensky, utilisée avec autorisation.

pour observer le dépérissement des rameaux fins sous plusieurs angles et notez la moyenne. Si l'étude est réalisée par une équipe de terrain, essayez de parvenir à un consensus sur la classe de dépérissement.

La description du dépérissement des rameaux fins est basée sur i-Tree (2017a, 2017b).

7.2.2. Décoloration

Description : La décoloration foliaire correspond à la proportion de la cime dont la coloration diffère de celle d'un arbre en bonne santé de la même espèce. Les symptômes possibles sont des taches sombres sur les feuilles ou des feuilles jaunes, brunes ou même plus claires que celles d'un arbre sain de la même espèce. Il faut donc tenir compte des variétés horticoles d'arbres dont la couleur normale des feuilles est le bronze, le rouge foncé ou le jaune. L'évaluation porte sur la proportion totale de la cime affectée.

7.2.3. Défoliation

Description : La défoliation concerne la proportion de la cime présentant des défoliations (trous dans les feuilles ou parties de feuilles manquantes). L'évaluation porte sur la proportion totale de la cime affectée. Si 100 % des feuilles sont défoliées, l'indice de défoliation n'est pas de 100 % (i-Tree 2017a, pp. 144–151, pp. 30–31).

7.2.4. Ratio de de la cime vivante

Description : Le pourcentage de la hauteur totale de l'arbre occupé par la cime vivante verte. Lorsque la cime de l'arbre et le sommet de la cime vivante se trouvent au même endroit, seules la hauteur de l'arbre et la hauteur jusqu'à la base de la cime vivante sont nécessaires. Si la cime de l'arbre est morte, la hauteur jusqu'au sommet de la cime vivante est également requise (USDA FS 2017a, pp. 139–141).

7.2.5. Allongement des pousses

Description : Mesure de la santé de l'arbre basée sur l'allongement des pousses. Déterminé à partir des paramètres de la cime (Levinsson et al. 2017).

7.2.6. État du collet et des racines

Description : Évaluation des pratiques de plantation; mesure des racines encerclantes, étranglantes ou comprimantes actuellement au niveau du collet, ainsi que du potentiel de formation de telles racines (USDA FS 2017a, pp. 178–179, 187–188, 189–190).

7.2.7. Ravageurs et maladies

Description : Les renseignements sur les ravageurs et les maladies peuvent être enregistrés de deux manières principales : (1) présence/absence de ravageurs et de maladies spécifiques, ou (2) signes et symptômes de ravageurs et de maladies spécifiques. Pour des exemples de protocoles, voir USDA FS (2017) et i-Tree (2017b).

7.2.8. Priorité et tâche d'entretien

Description : Les arboristes et les travailleurs formés (niveau 2) ajoutent des détails d'entretien mutuellement exclusifs qui présentent un risque potentiel et devraient être inspectés par du personnel plus qualifié. Les arboristes qui ont suivi le cours et réussi l'examen TRACE (Tree Risk Assessor Course and Exam) ou le cours TRAQ (Tree Risk Assessment Qualification) [niveau 3] peuvent collecter des données relatives aux risques et aux dangers, notamment la probabilité de défaillance, la taille de la partie susceptible de se détacher et la cote cible. Les critères de collecte et les attributs sont entièrement expliqués dans le cours TRAQ.

7.3. Images

7.3.1. Photos d'arbres calibrées

Description : Des vues de profil de l'arbre prises perpendiculairement l'une à l'autre (c.-à-d., si l'une est prise en faisant face au nord/sud, l'autre fait face à l'est/ouest; alternativement, si l'une est prise en face de l'arbre parallèle à la rue, l'autre est prise perpendiculairement), avec la distance entre l'appareil photo et le tronc de l'arbre enregistrée pour chaque prise. Lorsque les images servent à mesurer des éléments de l'arbre, tels que la hauteur et la hauteur jusqu'à la base de la cime, il faut placer une échelle de référence sur le tronc de l'arbre photographié, ou recourir à une autre méthode d'étalonnage.

7.3.2. Photos pour estimer la transparence de la cime

Description : Quatre photographies prises en format vertical, chacune avec l'objectif de l'appareil photo pointant vers le haut à travers un quart de la cime de l'arbre. Des photographies numériques peuvent ensuite être utilisées pour quantifier le pourcentage de pixels ouverts par rapport aux pixels sombres (Pontius et Hallett 2014). Les images numériques sont traitées automatiquement à l'aide d'un script écrit pour CellProfiler (Lamprecht et al. 2007), qui indique le pourcentage de transparence pour chaque image. Les valeurs de transparence obtenues à partir de quatre photographies par arbre peuvent ensuite être moyennées pour représenter le pourcentage global de transparence de la cime. Il convient de conserver soigneusement les enregistrements afin de s'assurer que chaque photo est associée au bon arbre, et que les photographies sont organisées et conservées pour être traitées.

7.4. Information sur le dépérissement des rameaux fins

Lors de l'essai pilote du Guide de terrain, l'équipe de développement du protocole a élaboré des évaluations de l'état de la cime et du bois de l'arbre, avec une échelle en quatre parties clairement définie pour chacun (Roman et al. 2017). La composante « cime » a été divisée en deux parties, le dépérissement et la transparence, qui ont été considérées comme des variables que les équipes pouvaient collecter sans tenir compte des tendances au niveau de l'espèce. Nous avons utilisé des intervalles de 25 % pour ces deux variables (c.-à-d. de 0 à 25 % de dépérissement, de 26 à 50 %, etc.). L'objectif était de fournir un système qui reflétait l'échelle en quatre parties de l'état des arbres dans i-Tree Streets (bon, moyen, mauvais, en déclin), mais avec des catégories plus clairement définies. Cependant, l'essai pilote a montré que les équipes bénévoles étaient peu cohérentes avec les experts en ce qui concerne l'évaluation de la transparence de la couronne et de l'état du bois (Roman et al. 2017); par conséquent, ces variables ont été supprimées du Guide de terrain. Nous avons conservé le dépérissement des rameaux fins dans l'ensemble de données sur les arbres et choisi d'utiliser

la variable plus holistique de la vigueur de la cime dans l'ensemble minimale de données. Pour le dépérissement des rameaux fins dans l'ensemble de données sur les arbres, nous avons utilisé des intervalles de 5 % comme ceux utilisés par les protocoles pour i-Tree Eco, FIA et UFIA (i-Tree 2017a; USDA FS 2016, 2017). La plupart des arbres enregistrés dans l'étude pilote avaient un dépérissement inférieur à 25 %; par conséquent, les intervalles de 5 % pourraient potentiellement révéler des différences importantes dans le dépérissement dans la plage de 0 à 25 %. Cependant, nous reconnaissons qu'il y a un débat en cours sur la manière dont le dépérissement des rameaux fins devrait être enregistré, d'autres études ayant choisi des intervalles de 10 % (Vogt et Fischer 2014). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les niveaux d'accord entre les équipes sur le dépérissement en fonction des intervalles, ainsi que les meilleures façons de former les équipes de terrain à discerner visuellement le dépérissement. Il est aussi possible que les équipes incluent parfois la mortalité des grosses branches dans le dépérissement des rameaux fins; ce qui est incorrect, car le dépérissement des rameaux fins est censé se concentrer sur la croissance récente dans les parties extérieures de la cime (Roman et al. 2017). La formation sur cette variable doit inclure des photos de différents niveaux de dépérissement des rameaux fins, car il peut être difficile de rencontrer toutes les situations possibles lors d'une formation sur le terrain.

8. Ensemble de données sur les sites

L'ensemble de données sur les sites contient des informations qui permettent aux praticiens et aux chercheurs d'évaluer la qualité des sites de paysages urbains pour les arbres et les forêts. Les variables incluses dans l'ensemble de données sur les sites sont présentées dans la figure 5. L'ensemble de données sur les sites a pour objectif de fournir des renseignements permettant de :

- Distinguer les conditions du site en fonction de leurs effets potentiels sur les arbres et les forêts urbaines.
- Évaluer et surveiller les infrastructures urbaines (routes, bâtiments, trottoirs et services publics) pour déterminer leur impact potentiel sur la mortalité, la croissance et la santé des arbres.
- Évaluer et surveiller les infrastructures urbaines afin de déterminer leur impact sur les arbres et les problèmes d'entretien potentiels.
- Évaluer et surveiller l'espace de croissance des arbres et des forêts urbaines.
- Évaluer et surveiller les méthodes de gestion visant à améliorer la qualité des sols urbains.

La plupart des données relatives aux sites sont adaptées du Rapid Urban Site Index (Scharenbroch et al. 2017). Il est à noter que d'autres ressources sont disponibles pour la caractérisation et la gestion des sols urbains (Lindsey et Bassuk 1991, 1992; Scharenbroch et al. 2005, 2018; Scharenbroch et Catania 2012; Urban 1992, 2008). Les recherches sur les éléments nutritifs et les contaminants présents dans le sol doivent être menées en partenariat avec un spécialiste des sciences du sol.

8.1. Routes

8.1.1. Type

Description : Le type de la route la plus proche, classée selon la fonction, par exemple, artérielle, de collecte et locale (USDT FHA, s.d.). Ces données peuvent être disponibles auprès des organismes de planification locaux ou être évaluées sur le terrain.

8.1.2. Distance

Description : Distance entre le centre du tronc de l'arbre et la route la plus proche.

8.1.3. Azimut

Description : La direction cardinale ou la distance angulaire exprimée comme la direction vers laquelle on fait face lorsqu'on se tient près de l'arbre jusqu'au point le plus proche de la route.

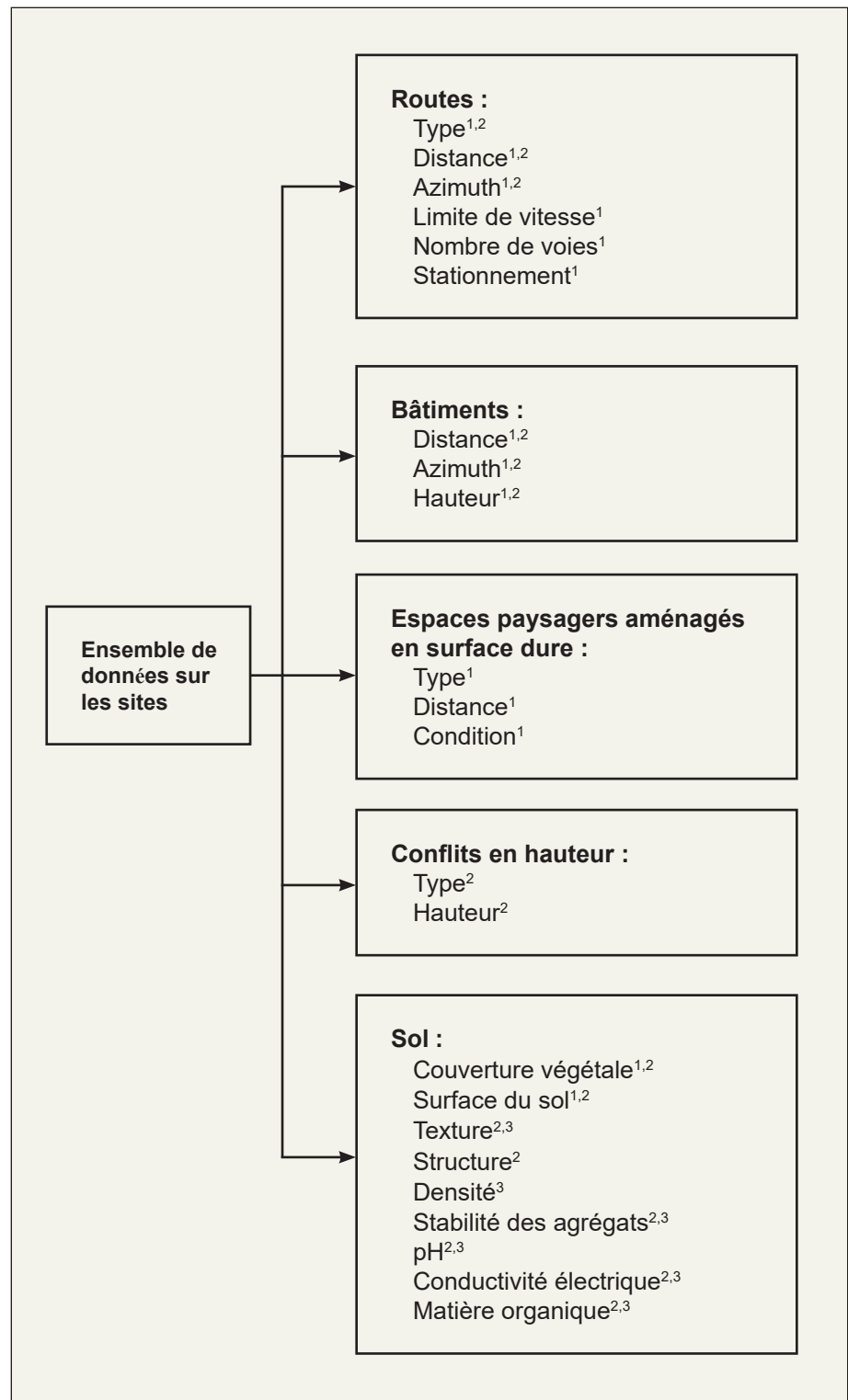


Figure 5—Variables dans l'ensemble de données sur les sites. Les chiffres en exposant représentent les niveaux de complexité (voir section 5). Lorsqu'une variable est associée à plusieurs niveaux, cela signifie que des données plus détaillées peuvent être obtenues par des équipes de terrain ayant plus de compétences ou d'équipement.

8.1.4. Limite de vitesse

Description : La limite de vitesse affichée sur la route.

8.1.5. Nombre de voies

Description : Le nombre de voies sur la route, en excluant les voies de stationnement, mais en incluant les voies pour les virages qui longent tout le segment de route.

8.1.6. Stationnement

Description : Stationnement disponible du côté de la route où se trouve l'arbre.

8.2. Bâtiments

8.2.1. Distance

Description : La distance jusqu'au bâtiment le plus proche.

8.2.2. Azimut

Description : La direction cardinale ou la distance angulaire exprimée comme la direction vers laquelle on fait face lorsqu'on se tient près de l'arbre jusqu'au point le plus proche du bâtiment.

8.2.3. Hauteur

Description : Le nombre d'étages ou la hauteur du bâtiment le plus proche.

8.3. Aménagement paysager en surface dure

8.3.1. Type

Description : Le type d'aménagement paysager en surface dure le plus proche de l'arbre.

8.3.2. Distance

Description : La distance jusqu'à l'aménagement paysager en surface dure le plus proche.

8.3.3. Condition

Description : L'état de l'aménagement paysager en surface dure. Ces données peuvent inclure le type, la quantité ou la gravité des dommages causés à la chaussée (McPherson et Muchnick 2005, MTC 1986).

8.4. Conflits en hauteur

8.4.1. Type

Description : Le type de conflits présents sur le site, tels que les lignes électriques aériennes, classés selon leur fonction (p. ex. les lignes primaires transportent l'électricité vers les sous-stations; les lignes secondaires transportent l'électricité des poteaux utilitaires vers un bâtiment; les lignes de télévision par câble et les lignes à large bande fournissent des services de câble et d'Internet; les lignes téléphoniques fournissent un service de téléphonie fixe).

8.4.2. Hauteur

Description : La hauteur du sol jusqu'au conflit le plus proche de l'arbre (p. ex., la hauteur du sol jusqu'à la ligne électrique primaire).

8.5. Sol

8.5.1. Couverture végétale

Description : Le type de couverture végétale entourant l'arbre.

8.5.2. Surface du sol

Description : Une estimation de la surface de sol disponible pour la croissance des racines, directement accessible à l'arbre (également appelée « sol disponible apparent ») (Sanders et Grabosky 2014).

8.5.3. Texture

Description : La texture du sol est une classification qualitative permettant de distinguer les contributions relatives du sable, du limon et de l'argile dans le sol.

8.5.4. Structure

Description : La structure du sol est l'agencement physique des parties solides du sol et des pores qui se trouvent entre elles. Les agrégats de taille moyenne et fine produisent de nombreux pores qui permettent la pénétration des racines, le stockage de l'eau et la circulation des organismes, des éléments nutritifs, de l'air et de l'eau dans le sol.

8.5.5. Densité

Description : La densité peut être évaluée en tant que densité apparente du sol ou résistance à la pénétration. La densité apparente du sol est le rapport entre la masse du sol séché à l'étuve et son volume apparent, incluant les particules et les espaces poreux. La résistance à la pénétration est une mesure de la facilité avec laquelle un objet peut être enfoncé dans le sol. Elle donne des indications sur les couches du sol qui empêchent les racines de se développer et peut être utilisée pour comparer les résistances relatives de types de sols similaires.

8.5.6. Stabilité des agrégats

Description : La stabilité des agrégats est une mesure de la vulnérabilité des agrégats du sol aux forces destructrices externes.

8.5.7. pH

Description : Le pH du sol est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'un sol.

8.5.8. Conductivité électrique

Description : La conductivité électrique du sol fait référence à la quantité de sels (cations ou anions) dans le sol.

8.5.9. Matière organique

Description : La matière organique du sol est constituée de résidus végétaux et animaux à divers stades de décomposition, de cellules et de tissus d'organismes du sol et de substances synthétisées par ces derniers.

9. Ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres

L'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres recense les « règles en vigueur » relatives aux soins et à la gestion des jeunes arbres. Les variables incluses dans l'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres sont présentées dans la figure 6. Ces règles ou stratégies sont probablement mises en œuvre dans le cadre d'un programme quelconque. Des données sont donc collectées sur le programme et ses politiques relatives à l'entretien ou à l'intendance des arbres (c.-à-d. les actions censées être mises en œuvre pour garantir un entretien adéquat des arbres). Ces renseignements peuvent être obtenus depuis le bureau. Les « règles en vigueur » sont les enregistrements des données de terrain correspondantes et les actions d'entretien ou d'intendance qui se déroulent sur le terrain. Les objectifs de l'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres sont de fournir des renseignements permettant de :

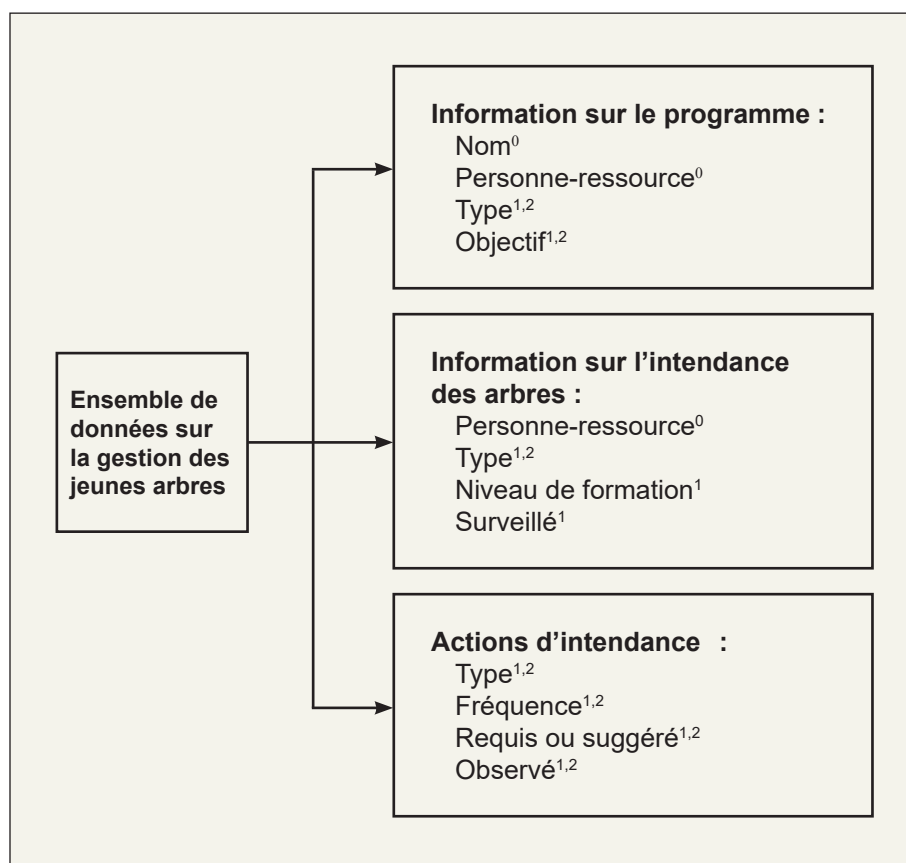


Figure 6—Variables dans l'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres. Les chiffres en exposant représentent les niveaux de complexité (voir section 5). Lorsqu'une variable est associée à plusieurs niveaux, cela signifie que des données plus détaillées peuvent être obtenues par des équipes de terrain ayant plus de compétences ou d'équipement

1. Différencier la croissance, la mortalité et la santé des arbres en fonction des programmes, des types de programmes et des caractéristiques des intendants.
2. Évaluer le niveau d'adhésion aux règles ou recommandations d'entretien basées sur le programme.
3. Associer l'entretien observé à la croissance, à la mortalité et à la santé des arbres.

9.1. Renseignements sur le programme

9.1.1. Nom du programme

Description : Si l'arbre a été planté dans le cadre d'un programme, notez le nom de ce programme. Un programme peut être une initiative de plantation municipale, régionale ou à but non lucratif (p. ex. NeighborWoods, Plant-a-Million). S'il existe plusieurs programmes pour un même arbre, enregistrez-les tous. Les autres variables propres au programme ci-dessous se rapportent à chaque programme.

9.1.2. Coordonnées des personnes-ressources du programme

Description : Nom et coordonnées du responsable ou du représentant du programme.

9.1.3. Type de programme

Description : Les catégories de programmes comprennent les programmes municipaux, de comté, d'État, d'autres programmes gouvernementaux, à but non lucratif, communautaires/civiques, de services publics et commerciaux. Les programmes gouvernementaux pourraient être subdivisés selon les départements ou ministères (p. ex. parcs et loisirs, transports). Plusieurs réponses sont autorisées pour un même programme, ce qui indique des partenariats.

9.1.4. Objectif du programme

Description : Catégories d'objectifs de programme basées sur des énoncés de mission de programme codés, notamment la plantation/végétalisation générique, le service écosystémique ciblé (p. ex. réduction du ruissellement des eaux pluviales, économies d'énergie grâce à l'ombrage des arbres), la mobilisation du public, l'équité, les dons aux résidents, l'objectif de couverture du couvert forestier et l'objectif de plantation d'un million d'arbres.

9.2. Renseignements sur l'intendance des arbres

Les renseignements suivants peuvent être collectés si le programme de plantation d'arbres comporte une composante structurée d'intendance ou d'entretien.

9.2.1. Coordonnées de l'intendant

Description : Nom et coordonnées du responsable ou du représentant des activités d'intendance.

9.2.2. Type d'intendant

Description : Une catégorisation de l'intendant, par exemple, le personnel du programme, le résident voisin, l'entreprise (ou l'organisation) voisine, le bénévole du quartier, le groupe d'intendance organisé, un autre bénévole et l'entité sous contrat (p. ex. les paysagistes).

9.2.3. Niveau de formation de l'intendant

Description : Une mesure de l'expertise de l'intendant. Les options pourraient être similaires au niveau d'expérience de l'équipe de terrain dans l'ensemble minimal de données (voir la section 2.1.2 du Guide de terrain), avec des niveaux de formation à l'intendance allant de débutant à expert en passant par intermédiaire.

9.2.4. Contrôle de l'intendant

Description : Indicateur binaire (oui/non) permettant de déterminer si l'intendant est tenu de rendre compte de ses activités à une autre entité ou s'il fait l'objet d'un contrôle par le programme pour vérifier ses actions.

9.3. Actions d'intendance

9.3.1. Type d'action d'intendance

Description : Catégories de types d'activités d'intendance qui sont pertinentes pour la croissance, la mortalité et la santé des arbres. Les catégories peuvent inclure l'arrosage, la taille, le paillage, le tuteurage, la fertilisation, l'aération du sol, la gestion des protections pour les arbres et la surveillance/le traitement des ravageurs. Les autres variables relatives aux actions d'intendance ci-dessous sont enregistrées séparément pour chaque type d'action.

9.3.2. Fréquence des actions d'intendance

Description : Catégories décrivant la fréquence d'exécution de chaque tâche d'intendance.

9.3.3. Action d'intendance requise ou suggérée

Description : Si le programme exige ou suggère cette action d'intendance des arbres.

9.3.4. Action d'intendance observée

Description : Pour chaque action d'intendance, indiquez si cette action a été observée sur le terrain. Les équipes de terrain moins expérimentées pouvaient noter la présence ou l'absence de l'action, tandis que les équipes plus expérimentées pouvaient observer différents degrés d'entretien approprié/inapproprié (p. ex., différents types de problèmes de paillage).

10. Ensemble de données sur les communautés

L'ensemble des données sur les communautés regroupe des informations démographiques, socioéconomiques, foncières et domestiques en lien avec la zone géographique située à proximité d'un arbre. Les variables incluses dans l'ensemble de données sur les communautés sont présentées dans la figure 7. Ces données peuvent aider les praticiens et les chercheurs à analyser l'impact que ces facteurs peuvent avoir sur la croissance et la mortalité des arbres urbains. Plus précisément, l'ensemble de données sur les communautés sert à :

1. Déterminer les variables essentielles telles que la densité de population, la valeur des propriétés, les taux de scolarisation et d'autres facteurs démographiques et socioéconomiques, y compris les renseignements relatifs aux ménages ou aux consommateurs qui peuvent être liés à la croissance, à la mortalité et à la santé des arbres.
2. Spécifier un niveau d'étendue géographique (p. ex. secteur de recensement, code postal, quartier) à utiliser dans l'analyse des données.

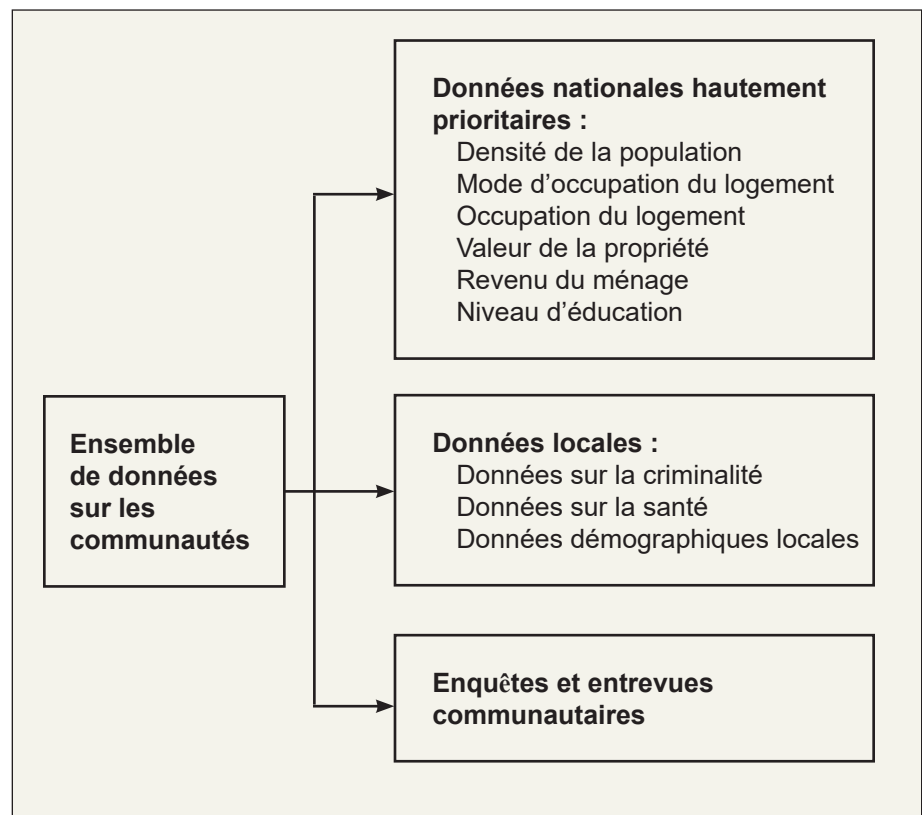


Figure 7—Variables dans l'ensemble de données sur les communautés.

Il est à noter que l'ensemble de données sur les communautés est regroupé par types de sources de données, plutôt que selon des niveaux d'habileté des équipes de terrain ou des ressources disponibles. En effet, l'ensemble de données sur les communautés n'est pas basé sur la collecte de données de terrain sur des arbres individuels. Certaines des variables sont liées à des ensembles de données existants disponibles par le biais de ressources publiques nationales, telles que le U.S. Census Bureau. D'autres renseignements relatifs à la communauté humaine entourant les arbres urbains pourraient nécessiter des enquêtes approfondies par courrier ou par Internet, ou des entrevues en personne avec les résidents. Nous n'avons pas fourni de directives détaillées concernant les méthodes de sciences sociales pour la collecte de ces données. Nous recommandons de collaborer avec des chercheurs en sciences sociales ou des analystes géospatiaux pour collecter et interpréter ces données dans le cadre de la surveillance des arbres.

10.1. Données nationales hautement prioritaires

Aux États-Unis, ces variables peuvent généralement être obtenues auprès du U.S. Census Bureau ou de l'American Community Survey, ainsi que des données associées aux arbres au niveau du secteur de recensement. D'autres pays peuvent disposer de bases de données nationales comparables.

10.1.1. Densité de la population

Description : Population totale par zone géographique où se trouve l'arbre.

10.1.2. Mode d'occupation du logement (locataire ou propriétaire)

Description : Pourcentage de propriétés occupées par des propriétaires et des locataires dans la zone où se trouve l'arbre.

10.1.3. Occupation du logement (unités de logements occupées ou vacantes)

Description : Pourcentage de logements occupés et vacants où se trouve l'arbre.

10.1.4. Valeur de la propriété (valeur médiane des unités occupées par leur propriétaire)

Description : Valeur médiane de la propriété où se trouve l'arbre.

10.1.5. Revenu des ménages (revenu médian en dollars)

Description : Revenu médian des ménages dans la zone où se trouve l'arbre.

10.1.6. Niveau de scolarité

Description : Pourcentage de la population ayant atteint un certain niveau de scolarité (p. ex., diplôme d'études secondaires, diplôme d'études supérieures) dans la zone où se trouve l'arbre.

10.2. Données locales

10.2.1. Données sur la criminalité

Description : Taux de criminalité dans la zone géographique proche de l'arbre (p. ex., agressions, possession de drogue). Voir, à titre d'exemple, Kondo et al. (2017)

10.2.2. Données sur la santé

Description : Taux de problèmes de santé dans la zone géographique proche de l'arbre (p. ex., asthme, maladies cardiaques).

10.2.3. Données démographiques locales

Description : D'autres données démographiques se rapportant à la communauté qui peuvent ne pas être disponibles au niveau national.

10.3. Enquêtes et entrevues communautaires

Des enquêtes et des entrevues auprès des personnes ayant reçu des arbres dans le cadre d'initiatives de plantation, ainsi qu'auprès d'autres personnes qui plantent, entretiennent et gèrent les arbres, peuvent aider à comprendre les changements des forêts urbaines au fil des ans. Comme pour les autres composantes de l'ensemble de données sur les communautés, nous recommandons vivement de collaborer avec des chercheurs pour collecter ces données. Voir, par exemple, les enquêtes sur les résidents et les programmes d'écologisation urbaine dans Moskele et Allred (2013), Locke et al. (2015), Conway (2016), Svendsen et al. (2016), et Breger et al. (2019). Les enquêtes et les entrevues communautaires pourraient permettre de recueillir, par exemple, des données sociodémographiques ou des données sur le mode de vie des consommateurs au niveau des ménages, la perception des arbres par les résidents et l'histoire des quartiers.

11. Remerciements

De nombreuses personnes ont contribué à l'élaboration du présent Guide des ressources. Des collègues actuels et anciens du groupe de travail de l'UTGL ont aidé à affiner les protocoles et ont proposé du contenu à inclure dans ce guide, notamment : Julia Bartens, David Bienemann, Michele Bigger, Cindy Blain, Jerry Bond, Chad Clink, Dana Dentice, Anne Fenkner, Burney Fischer, Jason Grabosky, Jennifer Karps, Emily King, Jackie Lu, Jessica Sanders, Phil Silva, Nancy Sonti, Emily Spillett, Matthew Stephens, Erika Teach, Doug Wildman et Ruth Williams. Nous leur sommes reconnaissants pour leur contribution à ce projet. Nous remercions également les participants au premier symposium de l'UTGL au Morton Arboretum en 2011 ainsi que les répondants à l'enquête sur les projets de surveillance menés par des praticiens (Roman et al. 2013), qui nous ont inspirés à produire ces protocoles et les ressources associées, ainsi que les scientifiques citoyens qui ont mis à l'essai le Guide de terrain (Roman et al. 2017). À The Nature Conservancy, nous remercions Bill Toomey et Rachel Holmes pour leur collaboration à la formation des stagiaires de terrain chargés de mettre en œuvre ces protocoles dans le cadre de l'initiative Healthy Trees, Healthy Cities. Cette expérience nous a permis d'affiner davantage les méthodes et ressources de terrain. Nous remercions également Lindsay Shafer pour sa contribution à la traduction de l'ensemble minimal de données en un guide de terrain convivial, dans le cadre de sa maîtrise à l'Université de Pennsylvanie. Nos remerciements vont à l'endroit des collègues qui ont examiné une version antérieure de ce document et qui nous ont fait part de leurs commentaires : Mark Hatfield, Yasha Magarik, Eric North, Marin Palmer et Sjana Schanning. Le financement de la production du Guide des ressources a été assuré par le programme State and Private Forestry, Urban and Community Forestry du Service des forêts du USDA. Le financement de l'essai pilote des protocoles a été assuré par le Service des forêts, Station de recherche du Nord, Station expérimentale de Philadelphie et The Morton Arboretum.

La traduction vers le français a été rendue possible grâce aux contributions financièrement du Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, gouvernement du Canada. Nous tenons à remercier les employés du Service canadien des forêts qui ont contribué à cette traduction, notamment Aileen Duncan, Clovis Houet-Larouche, et Kasia Tolwinski.

Partie III : Documentation de soutien

Ouvrages cités

- American Nursery & Landscape Association. 2004.** American standard for nursery stock. Indiana Department of Natural Resources, Division of Forestry. Columbus, OH : ANSI Z60.1-2004.
- Ames, B.; Dewald, S. 2003.** Working proactively with developers to preserve urban trees. *Cities*. 20(2) : 95–100.
- Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T.; Witmer, R.E. 1976.** A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Professional Paper 964. Alexandria, VA : U.S. Department of the Interior, Geological Survey. 28 p.
- Arbor Day Foundation. 2018.** The Arbor Day Foundation’s energy-saving trees and community canopy programs launch spring project season. Communiqué de presse du 20 avril 2018. (consulté le 7 octobre 2018).
- Avery, T.; Burkhardt, H. 2001.** Forest measurements. 5e éd. Boston, MA : McGraw-Hill Book Company. 456 p.
- Bancks, N.; North, E.A.; Johnson, G.R. 2018.** An analysis of agreement between volunteer- and researcher-collected urban tree inventory data. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 73–86.
- Barger, C.T.; Moorhead, D.J. 2007.** EDDMapS—early detection and distribution mapping system for the southeast exotic pest plant council. *Wildwood Weeds*. Automne 2007 : 4–8.
- Barnard, E. 2002.** New York City trees. New York, NY : Columbia University Press. 240 p.
- Barnard, E.; Meyer, P.; Bringer, C. 2017.** Philadelphia trees : a field guide to the city and the surrounding Delaware Valley. New York, NY : Columbia University Press. 280 p.
- Bernhardt, E.; Swiecki, T.J. 1991.** Guidelines for developing and evaluating tree ordinances. Rapport non publié pour le Urban Forestry Program, California Department of Forestry and Fire Protection, Sacramento, CA. 76 p.
- Bird, W.J. 2014.** Worcester Tree Initiative celebrates 30,000 trees planted. Worcester Magazine. <http://worcestermag.com/2014/10/06/worcester-tree-initiative-celebrates-30000-trees-planted/27824>. (consulté le 24 octobre 2015).
- Blair, S.A.; Koeser, A.K.; Knox, G.W.; Roman, L.A.; Thetford, M. 2019.** Visual health assessments for palms. *Urban Forestry & Urban Greening*. 41 : 195–200.

- Bloniarz, D.V.; Ryan, H.D.P., III. 1996.** The use of volunteer initiatives in conducting urban forest resource inventories. *Journal of Arboriculture*. 22(2) : 75–82.
- Blood, A.; Starr, G.; Escobedo, F.J.; Chappelka, A.; Wiseman, P.E.; Sivakumar, R.; Staudhammer, C.L. 2016.** Resolving uncertainties in predictive equations for urban tree crown characteristics of the southeastern United States : local and general equations for common and widespread species. *Urban Forestry & Urban Greening*. 20 : 282–294.
- Bond, J. 2010.** Tree condition : health. *Arborist News*. 19(1) : 35–38.
- Bond, J. 2012.** Urban tree health : a practical and precise estimation method. Geneva, NY : Urban Forest Analytics. 107 p.
- Bond, J. 2013.** Best management practices—Tree inventories. 2e éd. 2013. Champaign, IL : International Society of Arboriculture. 35 p.
- Bowser, A.; Hansen, D.; Preece, J.; He, Y.; Boston, C.; Hammock, J. 2014.** Gamifying citizen science : a study of two user groups. Dans : *Proceedings of the companion publication of the 17th ACM conference on computer supported cooperative work and social computing*. New York, NY : ACM New York : 137–140.
- Boyer, D.J.; Roman, L.A.; Henning, J.G.; McFarland, M.; Dentice, D.; Low, S.C.; Thomas, C.; Abrams, G. 2016.** Data management for urban tree monitoring—software requirements. Philadelphie, PA : Azavea. 124 p. <http://www.azavea.com/research/urban-tree-monitoring>. (consulté le 18 avril 2019).
- Brassel, P.; Lischke, H. 2001.** Swiss national forest inventory : methods and models of the second assessment. Birmendorf, Suisse : WSL Institut fédéral suisse de recherche.
- Breger, B.; Eisenman, T.E.; Kramer, M.; Roman, L.A.; Rogan, J.; Martin, D. 2019.** Urban tree survival and stewardship in a state-managed planting initiative : a case study in Holyoke, Massachusetts. *Urban Forestry & Urban Greening*. 43 : e126382.
- Briber, B.; Hutyra, L.; Reinmann, A.; Raciti, S.; Dearborn, V.; Holden, C.; Dunn, A. 2015.** Tree productivity enhanced with conversion from forest to urban land covers. *PLoS ONE*. 10(8) : e0136237.
- Brokaw, N.; Thompson, J. 2000.** The H for DBH. *Forest Ecology & Management*. 129 : 89–91.
- Broman, K.W.; Woo, K.H. 2018.** Data organization in spreadsheets. *The American Statistician*. 72(1) : 2–10.
- Cadenasso, M. 2017.** Communication personnelle. Professeur, Université de Californie, Davis, One Shields Avenue, Davis, CA 95616.
- Campbell, L.K.; Svendsen, E.S.; Roman, L.A. 2016.** Co-production of knowledge at the research-practice interface : case studies from urban forestry. *Journal of Environmental Management*. 57 : 1262–1280.

- Celestian, S.B.; Martin, C.A. 2005.** Effects of parking lot location on size and physiology of four southwestern U.S. landscape trees. *Journal of Arboriculture*. 31 : 191–197.
- Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health [CDCP NIOSH]. [s.d.a].** Heat stress—heat related illness. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/heatrelillness.html>. (consulté le 7 août 2018).
- Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health [CDCP NIOSH]. [s.d.b].** Motor vehicle safety at work. <https://www.cdc.gov/niosh/motorvehicle/default.html>. (consulté le 7 août 2018).
- Choukas-Bradley, M. 2008.** City of trees : the complete field guide to the trees of Washington, DC. Baltimore, MD : Johns Hopkins University Press. 368 p.
- Citizenscience.gov. 2016.** Federal crowdsourcing and citizen science toolkit. <https://crowdsourcing-toolkit.sites.usa.gov/>. (consulté le 2 août 2017).
- Clark, J.R.; Matheny, N.P.; Cross, G.; Wake, V. 1997.** A model of urban forest sustainability. *Journal of Arboriculture*. 23 : 17–30.
- Climate Action Reserve. 2018.** Urban forest project. <http://www.climateactionreserve.org/urban-forest-project/>. (consulté le 2 août 2018).
- Condit, R. 1998.** Tropical forest census plots. Berlin, Heidelberg et New York, NY : Springer-Verlag.
- Conway, T.M. 2016.** Tending their urban forest : Residents' motivations for tree planting and removal. *Urban Forestry & Urban Greening*. 17 : 23–32.
- Cozad, S. 2005.** STRATUM case study evaluation in Minneapolis, Minnesota. Davis, CA : Université de Californie, Davis. 81 p. Thèse de maîtrise.
- Crall, A.W.; Newman, G.J.; Stohlgren, T.J.; Holfelder, K.A.; Graham, J.; Waller, D.M. 2011.** Assessing citizen science data quality : an invasive species case study. *Conservation Letters*. 4 : 433–442.
- Crown, C.A.; Greer, B.Z.; Gift, D.M.; Watt, F.S. 2018.** Every tree counts : reflections on NYC's third volunteer street tree inventory. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 49–58.
- Cumming, A.B.; Nowak, D.J.; Twardus, D.B.; Hoehn, R.; Mielke, M.; Rideout, R. 2007.** Urban forests of Wisconsin : pilot monitoring project 2002. NA-FR-05-07. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry. 33 p.
- Cumming, A.B.; Twardus, D.B.; Nowak, D.J. 2008.** Urban forest health monitoring : large-scale assessments in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34 : 341–346.
- Day, L.; Smoke, T. 2011.** Field guide to the street trees of New York City. Baltimore, MD : John Hopkins University Press. 296 p.
- di Salvo, A. 2016.** Communication personnelle. Outreach and science supervisor, Urban Forestry, Portland Parks & Recreation. 10910 N Denver Avenue, Portland, OR 97217.

- Dickinson, J.L.; Shirk, J.; Bonter, D.; Bonney, R.; Crain, R.L.; Martin, J.; Phillips, T.; Purcell, K. 2012.** The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology & Evolution*. 10 : 291–297.
- Dickinson, J.L.; Zuckerberg, B.; Bonter, D.N. 2010.** Citizen science as an ecological research tool : challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, & Systematics*. 41 : 149–172.
- Dyson, K.; Ziter, C.; Fuentes, T.L.; Patterson, M.S. 2019.** Conducting urban ecology research on private property : advice for new urban ecologists. *Journal of Urban Ecology*. 5(1) : juz001.
- Ellis, B. 2015.** Chesapeake gardening and landscaping : the essential green guide. Chapel Hill, NC : Université de Caroline du Nord. 315 p.
- Elmes, A.; Rogan, J.; Roman, L.A.; Williams, C.; Ratick, S.; Nowak, D.; Martin, D. 2018.** Predictors of mortality for juvenile trees in a residential urban-to-rural cohort in Worcester, MA. *Urban Forestry & Urban Greening*. 30 : 138–151.
- Gerhold, H.D. 2007a.** Callery pear cultivars tested as street trees : final report on a 12-year study. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33 : 153–156.
- Gerhold, H.D. 2007b.** Crabapple cultivars tested as street trees : third report. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33 : 176–181.
- Gerhold, H.D. 2008.** Serviceberry cultivars tested as street trees : second report. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34 : 129–132.
- Goldman, E. 2017.** Seeing community through the trees : characterizing resident response to urban-tree planting initiatives. *International Development, Community and Environment*. Worcester, MA : Université de Clark. 121 p. Thèse de maîtrise.
- Gschwantner, T.; Schadauer, K.; Vidal, C.; Lanz, A.; Tomppo, E.; di Cosmo, L.; Robert, N.; Duursma, D.E.; Lawrence, M. 2009.** Common tree definitions for national forest inventories in Europe. *Silva Fennica*. 43 : 303–321.
- Hallett, R.A.; Bailey, S.W.; Horsley, S.B.; Robert, P. 2006.** Influence of nutrition and stress on sugar maple at a regional scale. *Revue canadienne de recherche forestière*. 36 : 2235–2246.
- Hallett, R.A.; Hallett, T. 2018.** Citizen science and tree health assessment : How useful are the data? *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 236–247.
- Hallett, R.A.; Johnson, M.L.; Sonti, N.F. 2018.** Assessing the tree health impacts of salt water flooding in coastal cities : a case study in New York City. *Landscape and Urban Planning*. 177 : 171–177.
- Hamilton, K.; Koeser, A.K.; Landry, S.M. 2018.** Accuracy of volunteer-derived data from a single-day inventory event built around a crowd-sourcing tree mapping application. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 248–254.

- Harrington, J.L. 2009.** Relational database design and implementation : Clearly explained. 3e éd. Burlington, MA : Morgan Kaufmann. 419 p.
- Harris, R.W.; Clark, J.R.; Matheny, N.P. 2004.** Arboriculture : integrated management of landscape trees, shrubs, and vines. 4e éd. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall. 578 p.
- Hatch, C.; Faber, P. 2007.** Trees of the California landscape : a photographic manual of native and ornamental trees. Berkeley, CA : University of California Press. 544 p.
- Hauer, R.J.; Peterson, W.D. 2016.** Municipal tree care and management in the United States : a 2014 urban & community forestry census of tree activities. Special Publication 16-1. Madison, WI : College of Natural Resources, Université du Wisconsin à Stevens Point. 71 p.
- Hernandez, M.J. 2013.** Database design for mere mortals : a hands-on guide to relational database design. 3e éd. Upper Saddle River, NJ : Addison-Wesley. 613 p.
- Hilbert, D.R.; Roman, L.A.; Koeser, A.K.; van Doorn, N.S. 2019.** Factors associated with urban tree mortality : a literature review. *Arboriculture & Urban Forestry*. 45(5) : 167–200.
- Holt, L. 2010.** Sticky trees : learn to recognize at a glance the 15 most common trees in the United States—in just one hour, guaranteed. New York, NY : Laurence Holt Books. 256 p.
- Hostetler, A.E.; Rogan, J.; Martin, D.G.; DeLauer, V.; O’Neil-Dunne, J. 2013.** Characterizing tree canopy loss using multi-source GIS data in Central Massachusetts, USA. *Remote Sensing Letters*. 4 : 1137–1146.
- Husch, B.; Beers, T.W.; Kershaw, J.A., Jr. 2002.** Forest mensuration. New York, NY : John Wiley & Sons. 443 p.
- i-Tree. 2017a.** i-Tree Eco field guide, ver. 6.0. 16 avril 2017. Washington, DC : U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Kent, OH : Davey Tree Expert Co., en collaboration avec d’autres partenaires. 45 p. <https://www.itreetools.org>. (consulté le 11 juillet 2017).
- i-Tree. 2017b.** i-Tree pest detection. Washington, DC : U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Kent, OH : Davey Tree Expert Co., en collaboration avec d’autres partenaires. 45 p. <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-pest-detection-iped>. (consulté le 26 juin 2020).
- Kitahara, F.; Mizoue, N.; Yoshida, S. 2009.** Evaluation of data quality in Japanese National Forest Inventory. *Environmental Monitoring & Assessment*. 159 : 331–340.
- Ko, Y.; Lee, J.H.; McPherson, E.G.; Roman, L.A. 2015a.** Factors affecting long-term mortality of residential shade trees : evidence from Sacramento, California. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14 : 500–507.
- Ko, Y.; Lee, J.H.; McPherson, E.G.; Roman, L.A. 2015b.** Long-term monitoring of Sacramento shade program trees : tree survival, growth and energy-saving performance. *Landscape and Urban Planning*. 143 : 183–191.

- Koeser, A.K.; Gilman, E.F.; Paz, M.; Harchick, C. 2014.** Factors influencing urban tree planting program growth and survival in Florida, United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13 : 655–661.
- Koeser, A.K.; Smiley, E.T. 2017.** Impact of assessor on tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures. *Urban Forestry & Urban Greening*. 24 : 109–115.
- Kondo, M.C.; Han, S.; Donovan, G.H.; MacDonald, J.M. 2017.** The association between urban trees and crime : evidence from the spread of emerald ash borer in Cincinnati. *Landscape and Urban Planning*. 157 : 193–199.
- Konijnendijk, C.C.; Ricard, R.M.; Kenney, A.; Randrup, T.B. 2006.** Defining urban forestry—a comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*. 4 : 93–103.
- Kumar, N.; Belhumeur, P.N.; Biswas, A.; Jacobs, D.W.; Kress, W.J.; Lopez, I.C.; Soares, J.V.B. 2012.** Leafsnap : a computer vision system for automatic plant species identification. *Compte rendu de la 12e European conference on computer vision ECCV 2012*. Heidelberg, Allemagne : Springer-Verlag. 7573 : 502–516. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33709-3_36.
- Lambin, E.F.; Geist, H.; Rindfuss, R.R. 2006.** Introduction : local processes with global impacts. Dans : Lambin, E.F.; Geist, H., éd. *Land-use and land-cover change : local processes and global impacts*. Berlin, Allemagne : Springer-Verlag : 1–8.
- Lamprecht, M.R.; Sabatini, D.M.; Carpenter, A.E. 2007.** CellProfiler™ : free, versatile software for automated biological image analysis. *BioTechniques*. 42 : 71–75.
- Larsen, G.A. 2011.** SQL server : natural key versus surrogate key. *Database Journal*. Publié le 31 janvier 2011. www.databasejournal.com/features/mssql/article.php/3922066/SQL-Server-Natural-Key-Verses-Surrogate-Key.htm. (consulté le 18 avril 2019).
- Lawrence, A.B.; Escobedo, F.J.; Staudhammer, C.L.; Zipperer, W. 2012.** Analyzing growth and mortality in a subtropical urban forest ecosystem. *Landscape and Urban Planning*. 104 : 85–94.
- Leers, M.; Moore, G.M.; May, P.B. 2018.** Assessment of six indicators of street tree establishment in Melbourne, Australia. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 12–22.
- Leff, M. 2016.** The sustainable urban forest : a step-by-step approach. The Davey Institute and U.S. Department of Agriculture, Forest Service. www.itreetools.org/resources/content/Sustainable_Urban_Forest_Guide_14Nov2016.pdf. (consulté le 9 décembre 2016).
- Leibowitz, R. 2012.** Urban tree growth and longevity : an international meeting and research symposium white paper. *Arboriculture & Urban Forestry*. 38 : 237–241.

- Levinsson, A.; Fransson, A-M.; Emilsson, T. 2017.** Investigating the relationship between various measuring methods for determination of establishment success of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 28 : 21–27.
- Lima, J.M.T.; Staudhammer, C.L.; Brandeis, T.J.; Escobedo, F.J.; Zipperer, W. 2013.** Temporal dynamics of a subtropical urban forest in San Juan, Puerto Rico. *Landscape and Urban Planning*. 120 : 96–106.
- Lindenmayer, D.B.; Likens, G.E. 2010a.** The science and application of ecological monitoring. *Biological Conservation*. 143 : 1317–1328.
- Lindenmayer, D.B.; Likens, G.E. 2010b.** Effective ecological monitoring. Washington, DC : CSIRO Publishing. 169 p.
- Lindsey, P.; Bassuk, N.L. 1991.** Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers. *Journal of Arboriculture*. 17(6) : 141–149.
- Lindsey, P.; Bassuk, N.L. 1992.** Redesigning the urban forest from the ground below : a new approach to specifying adequate soil volumes for street trees. *Journal of Arboriculture*. 24 (3) : 25–39.
- Little, E. 1980a.** Audubon Society field guide to North American trees : Eastern region. New York, NY : Alfred A Knopf. 716 p.
- Little, E. 1980b.** Audubon Society field guide to North American trees : Western region. New York, NY : Alfred A Knopf. 640 p.
- Locke, D.H.; Roman, L.A.; Murphy-Dunning, C. 2015.** Why opt-in to a planting program? Long-term residents value street tree aesthetics. *Arboriculture & Urban Forestry*. 41 : 324–333.
- Loshin, D. 2011.** The practitioner's guide to data quality improvement. Burlington, MA : Morgan Kaufmann. 397 p.
- Lu, J.W.T.; Svendsen, E.S.; Campbell, L.K.; Greenfield, J.; Branden, J.; King, K.L.; Falxa-Raymond, N. 2010.** Biological, social, and urban design factors affecting young street tree mortality in New York City. *Cities and the Environment*. 3 : article 5.
- Lund, H.G. 1999.** A 'forest' by any other name... *Environmental Science & Policy*. 2 : 125–133.
- MacDicken, K.G.; Wolf, G.V.; Briscoe, C.B. 1991.** Standard research methods for multipurpose trees and shrubs : Manual No. 5. Arlington, VA : Winrock International Institute for Agricultural Development. 93 p.
- Magarik, Y.A.S.; Roman, L.A.; Henning, J.G. 2020.** How should we measure multi-stemmed urban trees? *Urban Forestry & Urban Greening*. 47 : e126481.
- Martin, M.P.; Simmons, C.; Ashton, M.S. 2016.** Survival is not enough : the effects of microclimate on growth and health of common urban tree species in San Francisco, California. *Urban Forestry & Urban Greening*. 19 : 1–6.

- McHale, M.; Burke, I.C.; Lefsky, M.; Peper, P.; McPherson, E.G. 2009.** Urban forest biomass estimates : Is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems*. 12(1) : 95–113.
- McPherson, E.G. 2014.** Monitoring million trees LA : tree performance during the early years and future benefits. *Arboriculture & Urban Forestry*. 40 : 285–300.
- McPherson, E.G.; Albers, S.N. 2014.** Evaluation of seven drought tolerant tree species for central California. *Western Arborist*. Automne : 10–15.
- McPherson, E.G.; Berry, A.; van Doorn, N.S. 2018.** Performance testing to identify climate-ready trees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 29 : 28–39.
- McPherson, E.G.; Kotow, L. 2013.** A municipal forest report card : results for California, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12 : 134–143.
- McPherson, E.G.; Muchnick, J. 2005.** Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. *Journal of Arboriculture*. 31(6) : 303–310.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Xiao, Q. 2005.** Municipal forest benefits and costs in five U.S. cities. *Journal of Forestry*. 103(8) : 411–416.
- McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Xiao, Q.; Wu, C. 2008.** Los Angeles 1-million tree canopy cover assessment. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-207. Albany, CA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 52 p.
- McPherson, E.G.; van Doorn, N.S.; Peper, P.J. 2016.** Urban tree database and allometric equations. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-253. Albany, CA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 86 p.
- McPherson, E.G.; Xiao, Q.; Purohit, J.; Dietenberger, M.; Boardman, C.R.; Simpson, J.; Peper, P. 2014.** ecoSmart landscapes : a versatile SaaS platform for green infrastructure applications in urban environments. Publication diverse. Dans : Ames, D.P.; Quinn, N.W.T.; Rizzoli, A.E., éd. 7th international congress on Environmental Modeling and Software. San Diego, CA : International Environmental Modelling and Software Society : 1017–1024.
- McRoberts, R.E.; Bechtold, W.A.; Patterson, P.L.; Scott, C.T.; Reams, G.A. 2005.** The enhanced Forest Inventory and Analysis program of the USDA Forest Service : historical perspective and announcement of statistical documentation. *Journal of Forestry*. 103 : 305–308.
- Metropolitan Transportation Commission [MTC]. 1986.** Pavement condition index distress identification manual for asphalt and surface treatment pavements. 2e éd. Oakland, CA. 35 p.
- Millers, I.; Lachange, D.; Burkman, W.G.; Allen, D.C. 1991.** North American sugar maple decline project : organization and field methods. Gen. Tech. Rep. NE-154. Radnor, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 26 p.

- Mincey, S.K.; Hutten, M.; Fischer, B.C.; Evans, T.P.; Stewart, S.I.; Vogt, J.M. 2013.** Structuring institutional analysis for urban ecosystems : a key to sustainable urban forest management. *Urban Ecosystems*. 16 : 553–571.
- Mincey, S.K.; Vogt, J.M. 2014.** Watering strategy, collective action, and neighborhood-planted trees : a case study of Indianapolis, Indiana. *Arboriculture & Urban Forestry*. 40 : 84–95.
- Morani, A.; Nowak, D.J.; Hirabayashi, S.; Calfapietra, C. 2011.** How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the MillionTreesNYC initiative. *Environmental Pollution*. 159 : 1040–1047.
- Moskell, C.; Allred, S.B. 2013.** Residents' beliefs about responsibility for the stewardship of park trees and street trees in New York City. *Landscape & Urban Planning*. 120 : 85–95.
- National Weather Service [NWS]. [s.d.].** Heat safety tips and resources. <https://www.weather.gov/safety/heat>. (consulté le 7 août 2018).
- National Wildfire Coordinating Group [NWCG]. [s.d.].** Heat illness prevention (HIP) pocket guide. <http://www.oregon.gov/ODF/Documents/Fire/HRIPocketGuide.pdf>. (consulté le 7 août 2018).
- Nguyen, V.D.; Roman, L.A.; Locke, D.H.; Mincey, S.K.; Sanders, J.R.; Smith Fichman, E.; Duran-Mitchell, M.; Tobing, S.L. 2017.** Branching out to residential lands : missions and strategies of five tree distribution programs in the U.S. *Urban Forestry & Urban Greening*. 22 : 24–35.
- Nowak, D.J.; Bodine, A.R.; Hoehn, R.E., III; Edgar, C.B.; Hartel, D.R.; Lister, T.W.; Brandeis, T.J. 2016a.** Austin's urban forest, 2014. *Resour. Bull. NRS-100*. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 55 p.
- Nowak, D.J.; Bodine, A.R.; Hoehn, R.E., III; Ellis, A.E.; Low, S.C.; Roman, L.A.; Henning, J.G.; Stephan, E.; Taggart, T.; Endreny, T. 2016b.** The urban forests of Philadelphia. *Resour. Bull. NRS-106*. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 80 p.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E.; Walton, J.T.; Bond, J. 2008.** A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture & Urban Forestry*. 34 : 347–358.
- Nowak, D.J.; Hoehn, R.E., III; Bodine, A.R.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F.; Bonnewell, V.; Watson, G. 2013a.** Urban trees and forests of the Chicago region. *Resour. Bull. NRS-84*. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 106 p.
- Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Bodine, A.R.; Greenfield, E.J.; O'Neil-Dunne, J. 2013b.** Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosystems*. 19 : 1455–1477.
- Nowak, D.J.; Kuroda, M.; Crane, D.E. 2004.** Tree mortality rates and population projections in Baltimore, MD : USA. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2 : 139–147.

- Nowak, D.J.; Stein, S.M.; Randler, P.B.; Greenfield, E.J.; Comas, S.J.; Carr, M.A.; Alig, R.J. 2010.** Sustaining America's urban trees and forests : a forests on the edge report. Gen. Tech. Rep. NRS-62. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 27 p.
- Östberg, J.; Delshammar, T.; Nielsen, A.B. 2012.** Standards for conducting tree inventories in urban environments. Version 1.0. Uppsala, Suède. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Landscape Architecture, Planning and Management. 49 p.
- Östberg, J.; Delshammar, T.; Wiström, B.; Nielsen, A.B. 2013.** Grading of parameters for urban tree inventories by city officials, arborists, and academics using the Delphi method. *Environmental Management*. 51 : 694–708.
- Oswalt, S.N.; Smith, W.B.; Miles, P.D.; Pugh, S.A. 2014.** Forest resources of the United States, 2012 : a technical document supporting the Forest Service 2010 update of the RPA assessment. Gen. Tech. Rep. WO-91. Washington, DC : U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 218 p.
- PA Urban & Community Forestry Council. 2018.** Urban Tree Monitoring Training Toolkit : train citizen scientists to monitor recently planted tree performance. <https://treepennsylvania.org/young-urban-tree-monitoring-training-toolkit/>. (consulté le 1er octobre 2018).
- Piana, M.; Troxel, B. 2014.** Beyond planting : an urban forestry primer. Scenario 4 : building the urban forest. <https://scenariojournal.com/article/beyond-planting/>. (consulté le 21 novembre 2017).
- Plotnik, A. 2000.** The urban tree book : an uncommon field guide for city and town. New York, NY : Three Rivers Press. 433 p.
- Pokorny, J.D. 2003.** Urban tree risk management : a community guide to program design and implementation. NA-TP-03-03. St. Paul, MN : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area. 194 p.
- Pontius, J.; Hallett, R. 2014.** Comprehensive methods for earlier detection and monitoring of forest decline. *Forest Science*. 60 : 1156–1163.
- Powell, D.C. 1999.** Suggested stocking levels for forest stands in northeastern Oregon and southeastern Washington : an implementation guide for the Umatilla National Forest. Tech. Publ. F14-SO-TP-03-99. Walla Walla, WA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Region, Umatilla National Forest. 300 p.
- Pregitzer, C.C.; Charlop-Powers, S.; Bibbo, S.; Forgione, H.M.; Gunther, B.; Hallett, R.A.; Bradford, M.A. 2018.** A city-scale assessment reveals that native forest types and overstory species dominate New York City forests. *Ecological Applications*. 29 : e01819.
- R Core Team. 2017.** R : a language and environment for statistical computing. Vienne, Autriche : R Foundation for Statistical Computing.
- Richards, N.A. 1979.** Modeling survival and consequent replacement needs of a street tree population. *Journal of Arboriculture*. 5 : 251–255.
- Richards, N.A. 1992.** Optimum stocking of urban trees. *Journal of Arboriculture*. 18 : 64–68.

- Ritter, M. 2011.** A Californian's guide to the trees among us. Berkeley, CA : Heydey. 192 p.
- Roman, L.A.; Battles, J.J.; McBride, J.R. 2014a.** Determinants of establishment survival for residential trees in Sacramento County, CA. *Landscape and Urban Planning*. 129 : 22–31.
- Roman, L.A.; Battles, J.J.; McBride, J.R. 2014b.** The balance of planting and mortality in a street tree population. *Urban Ecosystems*. 17 : 387–404.
- Roman, L.A.; Battles, J.J.; McBride, J.R. 2016.** Urban tree mortality : a primer on demographic approaches. Gen. Tech. Rep. NRS-158. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 24 p.
- Roman, L.A.; Campbell, L.K.; Jordan, R.C. 2018a.** Civic science in urban forestry : an introduction. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 41–48.
- Roman, L.A.; McPherson, E.G.; Scharenbroch, B.C.; Bartens, J. 2013.** Identifying common practices and challenges for local urban tree monitoring programs across the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 39 : 292–299.
- Roman, L.A.; Scharenbroch, B.C.; Östberg, J.P.A.; Mueller, L.S.; Henning, J.G.; Koeser, A.K.; Sanders, J.R.; Betz, D.R.; Jordan, R.C. 2017.** Data quality in citizen science urban tree inventories. *Urban Forestry & Urban Greening*. 22 : 124–135.
- Roman, L.A.; Smith, B.C.; Dentice, D.; Maslin, M.; Abrams, G. 2018b.** Monitoring young tree survival with citizen scientists : the evolving Tree Checkers program in Philadelphia, PA. *Arboriculture & Urban Forestry*. 44 : 255–265.
- Roman, L.A.; van Doorn, N.S.; McPherson, E.G.; Scharenbroch, B.C.; Henning, J.G. [et al.]. 2020.** Urban tree monitoring : A field guide. Gen. Tech. Rep. NRS-194. Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 48 p. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-194>.
- Roman, L.A.; Walker, L.A.; Martineau, C.M.; Muffly, D.J.; MacQueen, S.A.; Harris, W. 2015.** Stewardship matters : case studies in establishment success of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14 : 1174–1182.
- Rushforth, K.; Tomblin, G. 2004.** The easy tree guide : common native and cultivated trees of the United States and Canada. Guilford, CO : Falcon Guide. 288 p.
- Sanders, J.R.; Grabosky, J.C. 2014.** 20 years later : Does reduced soil area change overall tree growth? *Urban Forestry & Urban Greening*. 13 : 295–303.
- Scharenbroch, B.C.; Carter, D.; Bialecki, M.; Fahey, R.; Scheberl, L. [et al.]. 2017.** A rapid urban site index for assessing the quality of street tree planting sites. *Urban Forestry & Urban Greening*. 27 : 279–286.
- Scharenbroch, B.C.; Catania, M. 2012.** Soil quality attributes as indicators of urban tree performance. *Arboriculture and Urban Forestry*. 38 : 214–228.

- Scharenbroch, B.C.; Fite, K.; Kramer, E.; Uhlig, R. 2018.** Pedogenic processes and urban tree health in engineered urban soils in Boston, Massachusetts, USA. *Soil Science*. 183 : 159–167.
- Scharenbroch, B.C.; Lloyd, J.E.; Johnson-Maynard, J.L. 2005.** Distinguishing urban soils with physical, chemical, and biological properties. *Pedobiologia*. 49 : 283–296.
- Scharenbroch, B.C.; Roman, L.A.; McPherson, E.G.; Bartens, J.; Boyer, D. 2014.** Taking the urban forest's pulse : working group focused on tree growth and longevity. *Arborist News*. 23 : 54–55.
- Sheil, D. 1995.** A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda. *Forest Ecology and Management*. 77 : 11–34.
- Silberschatz, A.; Korth, H.F.; Sudarshan, S. 2011.** Database systems concepts. 6e éd. New York, NY : McGraw Hill. 1349 p.
- Silva, P.; Barry, E.; Plitt, S. 2013.** TreeKIT : measuring, mapping, and collaboratively managing urban forests. *Cities and the Environment*. 6(1) : article 3.
- Silvertown, J. 2009.** A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution*. 24 : 467–471.
- Sjöman, H.; Östberg, J.; Bühler, O. 2012.** Diversity and distribution of the urban tree population in ten major Nordic countries. *Urban Forestry & Urban Greening*. 11 : 31–39.
- Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H.; Ritson, P.; Grierson, P.; Adams, M.; Montagu, K.; Bi, H.; Burrows, W.; Eamus, D. 2002.** Protocol for sampling tree and stand biomass. Technical Report 31. Canberra, Australia : Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System.
- Staudhammer, C.; Escobedo, F.; Lawrence, A.; Duryea, M.; Smith, P.; Merritt, M. 2011.** Rapid assessment of change and hurricane impacts to Houston's urban forest structure. *Arboriculture & Urban Forestry*. 37 : 60–66.
- Steinman, J. 1998.** Tracking the health of trees over time on forest health monitoring plots. Dans : Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station : 334–339.
- Stewart, J.L.; Dundson, A.J. 1994.** Performance of 25 Central American dry zone hardwoods in a pantropical series of species elimination trials. *Forest Ecology & Management*. 65 : 183–193.
- Stewart, J.L.; Salazar, R. 1992.** A review of measurement options for multipurpose trees. *Agroforestry Systems*. 19 : 173–183.
- St. John, N. 2011.** Street tree inventories being conducted in five Portland neighborhoods. Neighborhood Notes, 29 juin. www.neighborhoodnotes.com/news/2011/06/street_tree_inventories_being_conducted_in_five_portland_neighborhoods/. (consulté le 9 décembre 2019).
- Straley, G. 1992.** Trees of Vancouver. Vancouver (C.-B.) : University of British Columbia Press. 270 p.

- Svendsen, E.S.; Campbell, L.K.; Fisher, D.R.; Connolly, J.T.; Johnson, M.L. [et al.]. 2016.** Stewardship mapping and assessment project : A framework for understanding community-based environmental stewardship. Gen. Tech. Rep. NRS-156. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 134 p.
- The Institute for Local Government. 2010.** Understanding the basics of land use and planning : glossary of land use and planning terms. https://www.ca-ilg.org/sites/main/files/file-attachments/2010_-_landuseglossary.pdf. (consulté le 16 mai 2019).
- Tracey, D. 2016.** Vancouver tree book : a living city field guide. Vancouver (C.-B.) : Pure Wave Media. 240 p.
- Troxel, B.; Piana, M.; Ashton, M.S.; Murphy-Dunning, C. 2013.** Relationships between bole and crown size for young urban trees in the northeastern USA. *Urban Forestry & Urban Greening*. 12(2) : 144–153.
- Tulloch, A.I.T.; Possingham, H.P.; Joseph, L.N.; Szabo, J.; Martin, T.G. 2013.** Realising the full potential of citizen science monitoring programs. *Biological Conservation*. 165 : 128–138.
- Urban, J. 1992.** Bringing order to the technical dysfunction within the urban forest. *Journal of Arboriculture*. 18(2) : 85–90.
- Urban, J. 2008.** Up by roots : healthy soils and trees in the built environment. Champaign, IL : International Society of Arboriculture. 479 p.
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service [USDA FS]. 2014.** Urban forest inventory : monitoring the trees where people live. Northern Research Station. <https://www.fs.fed.us/nrs/local-resources/docs/FIA-BrochureUrban14JUL.pdf>. (consulté le 27 novembre 2017).
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service [USDA FS]. 2015.** Urban forest inventory and analysis : frequently asked questions. Révisé le 8 septembre 2015. www.fs.fed.us/research/docs/urban/urban-fia-faq. (consulté le 27 novembre 2017).
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service [USDA FS]. 2016.** Forest Inventory and Analysis national core field guide. Volume 1 : Field data collection procedures for Phase 2 plots, version 7.1. Washington, DC. 432 p. https://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2016/core_ver7-1_10_2016-opt.pdf. (consulté le 1er août 2017).
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service [USDA FS]. 2017.** Forest Inventory and Analysis national urban FIA plot field guide : field data collection procedures for urban FIA plots, version 7.1. Washington, DC. 324 p. https://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/2016/core_ver7-1_10_2016-opt.pdf. (consulté le 11 juillet 2017).
- U.S. Department of Agriculture, Forest Service [USDA FS]. 2020.** Forest Inventory and Analysis National Program Urban FIA Programs. <https://www.fia.fs.fed.us/program-features/urban/>. (consulté le 1er juillet 2020).
- U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. [s.d.].** Personal protective equipment. https://www.osha.gov/SLTC/personalprotectiveequipment/hazards_solutions.html. (consulté le 8 août 2017).

- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration [USDT FHA]. [s.d.].** Flexibility in highway design. 193 p. <https://www.fhwa.dot.gov/environment/publications/flexibility/flexibility.pdf>. (consulté le 1er août 2017).
- van Doorn, N.S. 2014.** Best practices and quantified error rates for long-term tagged-tree inventories : examples from a temperate forest. Dans : *Patterns and processes of forest growth : the role of neighborhood dynamics and tree demography in a northern hardwood forest*. Berkeley, CA : University of California, Berkeley : 90–123. Thèse de doctorat. Chapitre 3.
- van Doorn, N.S.; Battles, J.J.; Fahey, T.J.; Siccama, T.G.; Schwarz, P.A. 2011.** Links between biomass and tree demography in a northern hardwood forest : a decade of stability and change in Hubbard Brook Valley, New Hampshire. *Revue canadienne de recherche forestière* 41 : 1369–1379.
- van Doorn, N.S.; McPherson, E.G. 2018.** Demographic trends in Claremont California’s street tree populations. *Urban Forestry & Urban Greening*. 29 : 200–211.
- Van Laar, A.; Akca, A. 2007.** Forest mensuration. Berlin, Allemagne : Springer. 385 p.
- Van Mantgem, P.J.; Stephenson, N.L. 2005.** The accuracy of matrix population model projections for coniferous trees in the Sierra Nevada, California. *Journal of Ecology*. 93(4) : 737–747.
- Vogt, J.M.; Fischer, B.C. 2014.** A protocol for citizen science monitoring of recently-planted urban trees. *Cities and the Environment*. 7(2) : article 4.
- Vogt, J.M.; Watkins, S.L.; Mincey, S.K.; Patterson, M.S.; Fischer, B.C. 2015a.** Explaining planted-tree survival and growth in urban neighborhoods : social-ecological approach to studying recently-planted trees in Indianapolis. *Landscape & Urban Planning*. 136 : 130–143.
- Vogt, J.; Watkins, S.L.; Widney, S.; Fischer, B. 2015b.** The need to standardize at-planting data. *Arborist News*. 24(6) : 27–31.
- Ward, R.C.; Loftis, J.C.; McBride, G.B. 1986.** The “data-rich but information-poor” syndrome in water quality monitoring. *Environmental Management*. 10 : 291–297.
- West, P.W. 2009.** Tree and forest measurement. 2e éd. Berlin, Allemagne : Springer-Verlag. 192 p.
- Westfall, J.A.; Woodall, C.W. 2007.** Measurement repeatability of a large-scale inventory of forest fuels. *Forest Ecology & Management*. 253 : 171–176.
- Widney, S.; Fischer, B.C.; Vogt, J. 2016.** Tree mortality undercuts ability of tree-planting programs to provide benefits : results of a three-city study. *Forests*. 7 : 65.
- Yang, J.; McBride, J. 2003.** A unique technique for street tree planting in Beijing. *Arboriculture Journal*. 27 : 1–10.

Annexe 1 : Exemples de types de sites et d'utilisations des terres

La série de photos de la figure 8 illustre des exemples de classification des arbres urbains selon le type de site et l'utilisation des terres en suivant les protocoles. Pour plus de renseignements et d'exemples sur les catégories, consulter le Guide de terrain, section 2.6 Type de site et section 2.7 Utilisation des terres. Les catégories de type de site et d'utilisation des terres sont énumérées ci-dessous par souci de commodité.

Catégories de type de site

- Découpe de trottoir
- Bande de plantation sur le trottoir
- Terre-plein
- Jardinière
- Autres aménagements paysagers en surface dure
- Cour avant
- Cour latérale
- Cour arrière
- Parc aménagé
- Autre espace paysager aménagé
- Zone naturelle

Catégories d'utilisation des terres

- Résidentiel unifamilial
 - Attenant
 - Individuel
- Résidentiel multifamilial
- Usage mixte
- Commercial
- Industriel
- Institutionnel
- Parc aménagé
- Zone naturelle
- Cimetière
- Terrain de golf
- Agricole
- Services publics
- Eau/zones humides
- Transport
- Terrain vacant
- Autres



Figure 8—(A) Type de site : découpe de trottoir; Utilisation des terres : commercial. Photo de B.C. Sharenbroch, utilisée avec autorisation. (B) Type de site : bande de plantation sur le trottoir; Utilisation des terres : résidentiel unifamilial — attenant. Photo de L.B. Shafer, utilisée avec autorisation. (C) Type de site : autre aménagement en surface dure; Utilisation des terres : institutionnel. Photo de L.A. Roman, Service des forêts du USDA. (D) Type de site : découpe de trottoir; Utilisation des terres : institutionnel. Photo de B.C. Sharenbroch, utilisée avec autorisation. (E) Type de site : découpe de trottoir; utilisation des terres : résidentiel unifamilial—attenant. Photo de B.C. Sharenbroch, utilisée avec autorisation. (F) Type de site : Autre aménagement en surface dure; Utilisation des terres : Commercial. Photo de L.A. Roman, Service des forêts du USDA.



Figure 8 (suite)—(G) Type de site : bande de plantation (arbre au premier plan); Utilisation des terres : résidentiel unifamilial—individuel. Photo de B.C. Sharenbroch, utilisée avec autorisation. (H) Type de site : parc aménagé; Utilisation des terres : parc aménagé. Photo de L.A. Roman, Service des forêts du USDA. (I) Type de site : découpe de trottoir; Utilisation des terres : terrain vacant. Photo de J.P. Fristensky, utilisée avec autorisation. (J) Type de site : bande de plantation; utilisation des terres : résidentiel multifamilial. Photo de N.S. van Doorn, Service des forêts du USDA. (K) Type de site : parc aménagé; Utilisation des terres : institutionnel. Photo de L.A. Roman, Service des forêts du USDA. (L) Type de site : autre aménagement en surface dure, arbres dans une cour derrière des maisons en rangée; Utilisation des terres : résidentiel unifamilial — attenant. Photo de J.P. Fristensky, utilisée avec autorisation.

Annexe 2 : Ressources pour l'identification des espèces

Vous trouverez ci-dessous un petit échantillon des ressources disponibles pour aider à l'identification du genre et de l'espèce des arbres urbains aux États-Unis et au Canada. Aucune ressource pour l'identification des espèces ne couvre tous les arbres urbains de cette vaste région géographique, et les ressources énumérées ci-dessous diffèrent en termes d'accessibilité pour les équipes de terrain ayant différents niveaux de connaissance en botanique. Les superviseurs de projet peuvent souhaiter créer des guides d'identification des espèces pour leur ville, en s'appuyant sur les renseignements présentés dans ces ressources.

Sites Web et applications

What Tree Is That?—Arbor Day Foundation

www.arborday.org/trees/whattree/mobile.cfm (en anglais seulement)

Une application gratuite qui guide l'utilisateur pas à pas dans l'identification des espèces et des genres d'arbres à l'aide de clés dichotomiques.

Audubon Field Guide to North American Trees

<http://www.audubonguides.com/index.html> (en anglais seulement)

Une application peu coûteuse avec des images et une fonction de recherche selon la forme des feuilles, la région, l'écorce et d'autres options avancées pour faciliter l'identification des espèces et des genres d'arbres d'Amérique du Nord.

Leafsnap

www.leafsnap.com (en anglais seulement)

Une application électronique gratuite permettant aux utilisateurs d'entrer des photos de feuilles et de voir une liste d'espèces d'arbres potentielles, de l'Université de Columbia, de l'Université du Maryland et de la Smithsonian Institution (Kumar et al. 2012)

Virginia Tech Dendrology Fact Sheets

<http://dendro.cnre.vt.edu/dendrology/factsheets.cfm> (en anglais seulement)

Fiches techniques de Virginia Tech décrivant les arbres courants en Amérique du Nord, comprenant un diaporama sur les conseils de base pour l'identification des arbres et des photos de nombreuses espèces montrant les feuilles, les parties reproductrices et l'écorce.

Livres

Audubon Society Field Guide to North American Trees: Eastern Region

Guide de terrain référençant près de 700 espèces d'arbres trouvées à l'est des Montagnes Rocheuses, principalement des espèces indigènes, mais incluant quelques arbres ornementaux exotiques (Little 1980a)

Audubon Society Field Guide to North American Trees: Western Region

Guide de terrain référençant près de 700 espèces d'arbres trouvées à l'est des Montagnes Rocheuses, principalement des espèces indigènes, mais incluant quelques arbres ornementaux exotiques (Little 1980b)

A Californian's Guide to the Trees Among Us

Guide de référence pour plus de 150 des arbres urbains les plus courants en Californie (Ritter 2011)

City of Trees: The Complete Field Guide to the Trees of Washington, D.C.

Visite guidée des arbres de Washington DC avec des clés botaniques pour aider à l'identification des espèces (Choukas-Bradley 2008)

Field Guide to the Street Trees of New York City

Des dessins et des photographies accompagnent les descriptions de 50 espèces que l'on trouve communément dans la ville de New York (Day and Smoke 2011)

New York City Trees

Guide de terrain du département des Parcs pour plus de 125 espèces de la ville de New York et de la région métropolitaine (Barnard 2002)

Philadelphia Trees: A Field Guide to the City and the Surrounding Delaware Valley

Guide de terrain pour 118 espèces que l'on rencontre couramment dans et autour de Philadelphie, Pennsylvanie (Barnard et al. 2017)

Sticky Trees—Learn to recognize at a glance the 15 most common trees in the United States—in just one hour, guaranteed

Guide de référence avec des images de 15 arbres courants aux États-Unis pour aider à l'identification des espèces (Holt 2010)

The Easy Tree Guide: Common Native and Cultivated Trees of the United States and Canada

Guide portable utile pour l'identification des espèces sur le terrain (Rushforth et Tomblin 2004)

The Urban Tree Book: an Uncommon Field Guide for City and Town

Guide d'identification de plus de 200 espèces d'Amérique du Nord. Comprend des illustrations et des histoires (Plotnik 2000)

Trees of the California Landscape: a Photographic Manual of Native and Ornamental Trees

Guide illustré des arbres de Californie comprenant 107 espèces indigènes et 311 espèces ornementales (Hatch et Faber 2007)

Trees of Vancouver

Guide de référence sur plus de 470 espèces d'arbres indigènes au Canada et d'arbres cultivés (Straley 1992)

Vancouver Tree Book : a Living City Field Guide

Guide de poche présentant plus de 110 espèces importantes de Vancouver (Tracey 2016)

Annexe 3 : Autres protocoles

Surveillance des arbres urbains : guide de terrain (Roman et al. 2020) et *Surveillance des arbres urbains : guide des ressources* s'appuient sur les travaux antérieurs de divers chercheurs et professionnels. Les ressources ci-dessous proposent des protocoles relatifs à l'inventaire et à la surveillance des arbres urbains.

i-Tree Eco

Références des méthodes : Nowak et al. 2008, i-Tree 2017a

Aperçu : Pour ceux qui souhaitent surveiller les changements dans l'ensemble de la forêt urbaine afin de représenter les caractéristiques de toute la ville, les parcelles aléatoires utilisant la méthode i-Tree Eco peuvent être les plus appropriées. Ce protocole bien établi offre un résumé de la structure, des fonctions et des services de la forêt urbaine sur la base d'un inventaire unique, mais il peut également être utilisé pour une surveillance continue, à condition que les parcelles soient référencées de manière permanente (voir section 2.6). Par rapport à l'ensemble minimal de données, un plus grand nombre de variables relatives à la taille des arbres, à la cim et aux conditions du site sont incluses. Parmi les exemples d'études de surveillance utilisant cette approche pour quantifier la mortalité des arbres urbains, la croissance, les changements de population et les impacts des tempêtes, on peut citer Nowak et al. (2004), Staudhammer et al. (2011), Lawrence et al. (2012), and Lima et al. (2013).

Urban Forest Inventory and Analysis

Références des méthodes : USDA FS (2017)

Aperçu : Le programme Forest Inventory and Analysis (FIA) du Service des forêts du USDA est un réseau de parcelles permanentes à long terme qui couvre l'ensemble des forêts à couvert fermé du pays. L'objectif du programme FIA est de créer un inventaire précis et opportun des forêts du pays, de surveiller l'état actuel des forêts et de faciliter l'aménagement durable. Récemment, le programme FIA a ajouté des méthodes d'évaluation des forêts urbaines qui combinent la rigueur statistique et scientifique des parcelles du FIA traditionnelles avec une méthodologie adaptée aux environnements urbains. Lorsqu'il sera entièrement mis en œuvre, le programme Urban FIA (UFIA) fournira un réseau national de parcelles de surveillance des forêts urbaines couvrant un large éventail de villes et d'utilisations des terres. Par rapport à l'ensemble minimal de données, un plus grand nombre de variables relatives à la taille des arbres, à la cime et aux conditions du site sont incluses. Les programmes FIA et UFIA sont menées par des équipes de terrain professionnelles qui doivent passer des certifications spéciales pour ces méthodes.

Protocole d'inventaire des arbres plantés

Références des méthodes : Vogt et Fischer (2014)

Aperçu : Ce protocole de terrain a été élaboré par le Bloomington Urban Forest Research Group du Center for the Study of Institutions, Populations and Environmental Change; Les méthodes sont spécialement conçues pour les projets de plantation d'arbres de rue dans les quartiers et comprennent des données sur le site de plantation, la croissance de l'arbre et l'entretien observé. Parmi les exemples d'études de surveillance utilisant cette méthode, on peut citer Vogt et al. (2015a) et Widney et al. (2016).

Méthode de cartographie collaborative TreeKIT

Références des méthodes : Silva et al. (2013)

Aperçu : Ce protocole de terrain vise à permettre aux bénévoles de la communauté de mesurer et de cartographier les arbres de rue dans la ville de New York (New York). La méthode de mesure de la distance par rapport au bord du pâte de maisons pour enregistrer l'emplacement des arbres de rue (voir le Guide de terrain, section 2.4.2) repose sur ces protocoles. Cette méthode de localisation a également été utilisée pour TreesCount! 2015, un projet de science citoyenne d'inventaire des arbres de rue dans la ville de New York.

Norme pour l'inventaire des arbres en milieu urbain—Suède

Références des méthodes : Östberg et al. (2012, 2013)

Aperçu : Des chercheurs en foresterie urbaine en Suède ont constaté que les municipalités utilisaient des méthodes d'inventaire des arbres très différentes. Les municipalités ont été interrogées pour comprendre les différents paramètres utilisés par chacune d'entre elles, et un ensemble commun de paramètres a été utilisé par la plupart d'entre elles. L'inventaire normalisé a été bien accueilli par le secteur de la foresterie urbaine en Suède. Les normes nationales d'inventaire des arbres urbains permettent notamment de formuler des recommandations nationales sur la manière de créer un plan de gestion des arbres et de travailler avec les arbres dangereux, et d'aider le secteur à adopter un langage et une terminologie plus uniformes.

Annexe 4 : Programmes de formation et activités pour les équipes de terrain

Vous trouverez ci-dessous des exemples de programmes de formation des équipes de terrain pour l'ensemble minimal de données, ainsi que des activités pouvant être utilisées pendant la formation.

Programme n° 1 : Programme de formation sur le terrain d'une journée complète (7 heures) pour les stagiaires ou les scientifiques citoyens

Il s'agit du programme de formation qui a été utilisé pour la formation des scientifiques citoyens dans le cadre de l'essai pilote du Guide de terrain (Roman et al. 2017) ainsi que des stagiaires saisonniers. Ce programme de formation pourrait également être adapté pour se dérouler en deux séances en soirée afin de permettre aux bénévoles d'y prendre part après leur journée de travail. Si l'on dispose de plus de temps pour former les stagiaires ou les bénévoles, la formation pourrait être allongée à deux jours pour permettre des cours plus longs (p. ex. plus de temps pour l'identification des espèces) ainsi qu'une journée complète de pratique sur le terrain.

- | | |
|-------------------|---|
| 9 h 00 - 9 h 30 | Présentations, aperçu du projet, objectifs de la surveillance, contacts téléphoniques |
| 9 h 30 - 10 h 00 | Information sur l'équipe de terrain, date, type de site, utilisation des terres, emplacement |
| 10 h 00 - 11 h 30 | Les espèces, y compris la pratique d'identification |
| 11 h 30 - 12 h 15 | Pause du midi |
| 12 h 15 - 13 h 00 | Statut de mortalité, rejets de souche, vigueur de la cime |
| 13 h 00 - 14 h 00 | Diamètre du tronc |
| 14 h 00 - 15 h 30 | Pratique sur le terrain <ul style="list-style-type: none"> • Perfectionnement à l'utilisation de l'équipement standard et à l'identification des espèces • Demandez à plusieurs équipes d'enregistrer les mêmes arbres séparément et comparez leurs observations. |
| 15 h 30 - 15 h 45 | Discussion sur les mesures de terrain, activité sur les sources d'erreur |
| 15 h 45 - 16 h 00 | Formation sur la sécurité et interactions avec les piétons |

Programme n° 2 : Programme de formation courte (2,5 heures) pour les stagiaires ou les scientifiques citoyens

Notez que cette formation concerne la surveillance des cohortes d'arbres plantés et suppose que des compétences approfondies en matière d'identification des espèces ne sont pas nécessaires, car les renseignements sur les espèces sont disponibles dans les registres de plantation.

- 9 h 00 - 9 h 20 Présentations, aperçu du projet, objectifs de la surveillance, contacts téléphoniques 9 h 20 - 9 h 40
Confirmation des espèces et emplacement
- 9 h 40 - 10 h 00 Vigueur de la cime
- 10 h 00 - 10 h 20 Diamètre du tronc
- 10 h 20 - 10 h 40 Discussion, activité sur les sources d'erreurs, répartition des équipes
- 10 h 40 - 11 h 30 Pratique sur le terrain

Activité n° 1 : Ruban forestier et poignets

Matériels : Ruban forestier, papier, stylos, rubans à mesurer, deux ou trois exemples d'arbres urbains

Objectif : Apprendre à utiliser un ruban forestier et comprendre les causes de la variation des mesures.

Temps requis : Entre 5 et 8 minutes

Demandez aux participants à la formation de se mettre par deux. Chaque participant à la formation doit noter le diamètre du poignet de son partenaire. Changez de partenaire et répétez l'exercice, en notant le poignet qui correspond à chaque mesure.

Pendant ce temps, le superviseur ou le formateur fait le tour pour s'assurer que les bonnes pratiques sont respectées (p. ex., les rubans de mesure ne sont pas lus à l'envers, ils sont bien ajustés autour du tronc).

Après avoir enregistré quelques mesures, réorganisez le groupe. Expliquez que le poignet n'est pas un cercle parfait, tout comme de nombreux arbres, et que les variations de l'endroit où le ruban forestier est placé sur le poignet influenceront les données. Passez en revue les leçons apprises.

Activité n° 2 : Source d'erreurs

Matériaux : Papillon adhésif Post-its[®], stylos

Objectif : L'équipe de terrain sera en mesure de trouver des exemples d'erreur de mesure (appelée « erreur humaine » pour les besoins de cet exercice) et de variabilité naturelle dans les dimensions des arbres (appelée « erreur de l'arbre »). L'équipe de terrain réfléchira aux moyens de corriger les erreurs de mesure.

Temps requis : Entre 10 et 15 minutes

Cette activité devrait être menée à la fin d'une séance de formation, après que le superviseur a expliqué les objectifs du projet de surveillance des arbres urbains et les protocoles d'enregistrement de chaque variable.

Chaque stagiaire reçoit une petite pile de papillons adhésifs. Les participants à la formation notent autant de sources d'erreurs ou de divergences qu'ils peuvent imaginer lors de la collecte des données.

Utilisez des papillons adhésifs pour créer deux catégories : « Problèmes liés aux arbres et aux sites » (c. à d. que certains arbres ou sites posent des problèmes particuliers) et « Problèmes humains » (c.-à-d. qu'une personne a commis une

erreur). Demandez aux membres de l'équipe de classer individuellement leurs papillons adhésifs dans ces deux catégories.

Passez en revue les résultats et discutez-en. Réfléchissez à des solutions pour traiter chacun des « problèmes liés aux arbres et au site ». Réfléchissez à des solutions pour traiter chacun des « problèmes humains ».

Activité n° 3 : Jeu-questionnaire sur la carte des adresses et des codes de site

Matériaux : Stylos, tableau et diagramme des codes de site imprimés (ci-dessous).

Objectif : Comprendre la méthode de détermination de l'emplacement par l'adresse et le code du site.

Demandez aux participants à la formation de s'exercer à enregistrer les données du tableau 21 à l'aide de la carte de la figure 9A. Il s'agit du même exemple que celui utilisé dans le Guide de terrain (Tableau 4, Figure 2A), demandez donc aux participants à la formation de fermer leur Guide de terrain pendant qu'ils font cette activité. À la fin de l'exercice, les participants à la formation peuvent utiliser le corrigé de la figure 9B pour vérifier leur résultat.

Tableau 21—Feuille de données utilisée pour pratiquer la méthode de l'adresse et du code de site

Numéro de l'arbre	Code du site	Numéro d'adresse et nom de la rue	Renseignements sur le pâté de maisons			
			Rue de l'arbre	Rue de départ	Rue d'arrivée	Côté de la rue
11	1D	200 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	O
2	1D	202 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	O
15	1A	204 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	O
12	2A	204 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	O
5	3A	204 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	O
6	1D	201 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	E
7	2D	201 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	E
30	1D	205 Apple St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	E
9	1AR	208 Pear St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	E
10	2AR	208 Pear St.	Apple St.	Maple St.	Juniper St.	E
46	2C	208 Pear St.	Juniper St.	Pear St.	Apple St.	S
4	1C	208 Pear St.	Juniper St.	Pear St.	Apple St.	S
13						
14						
26						
16						
17						
18						
88						
20						
1						
22						
23						
24						
25						
49						
27						
28						
29						
3						

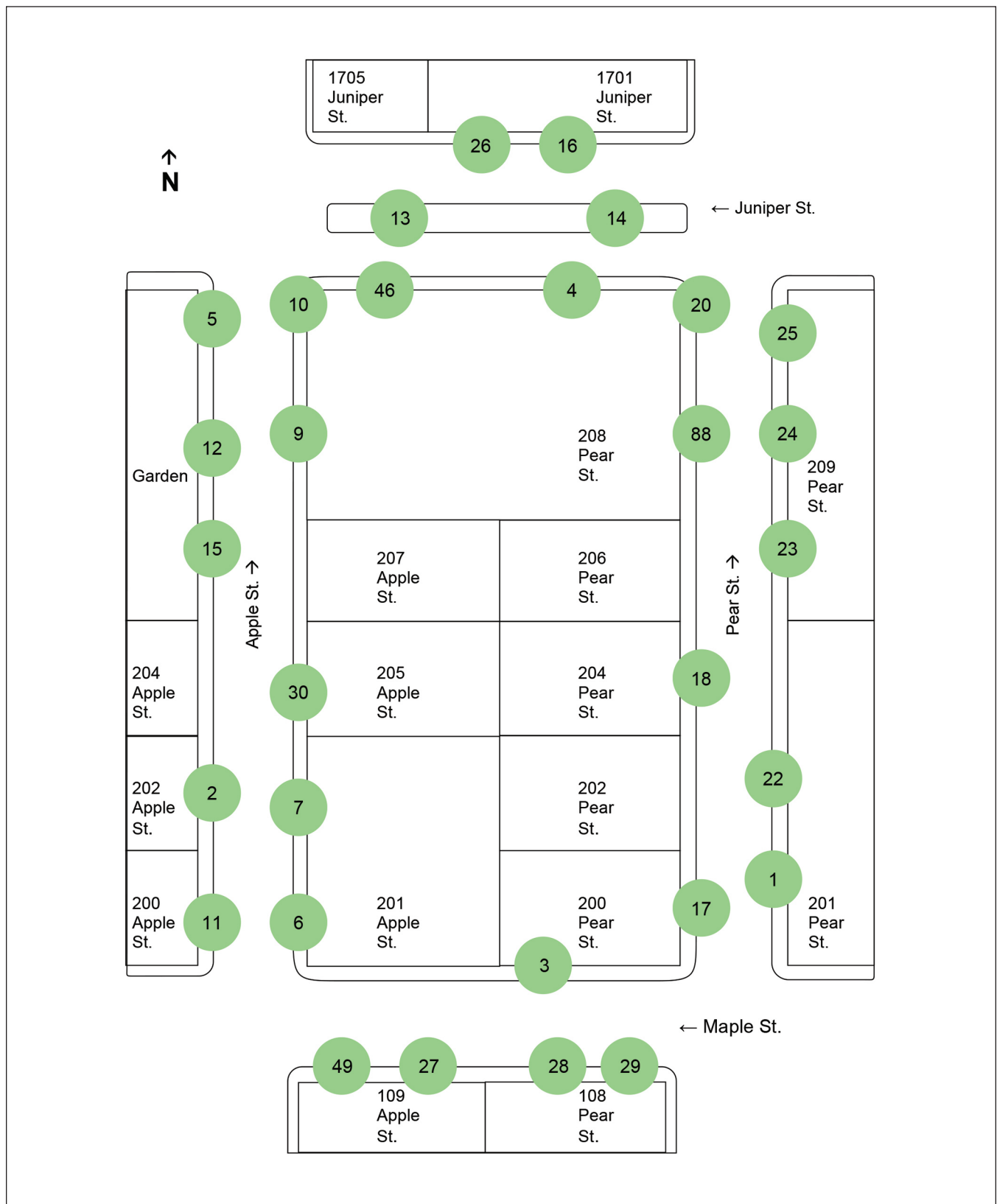


Figure 9A—Une carte utilisée pour pratiquer l'identification des codes de sites.

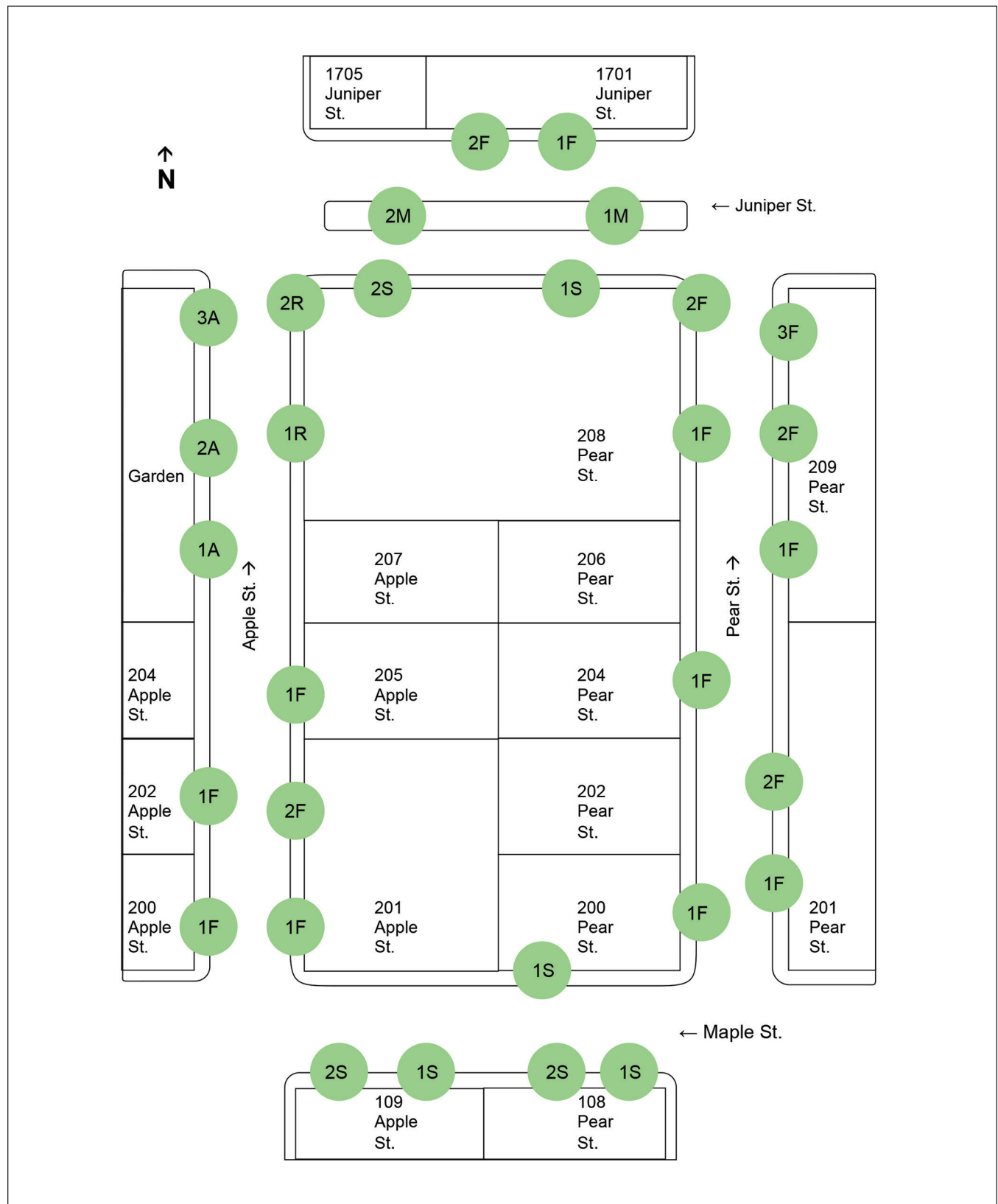


Figure 9B—Carte des adresses et des codes de site d'un pâté de maisons imaginaire correspondant au tableau 21. Les flèches avec les noms des rues indiquent l'ordre croissant des numéros d'adresse sur cette rue. Alors que la figure 9A présentait des numéros d'arbre pour désigner chaque arbre, cette figure montre les codes de site pour chaque arbre.

Glossaire

allométrie – Relations de taille des arbres (p. ex., équations permettant d'estimer la hauteur, les dimensions de la cime et la biomasse à partir de la taille du tronc).

taux de mortalité annuel – La proportion d'arbres individuels qui meurent (ou sont enlevés) au cours d'une année (Roman et al. 2016).

taux de survie annuel – La proportion d'arbres individuels survivant sur une année (Roman et al. 2016).

rejets de souche – Pousses qui se développent à partir de bourgeons situés à la base de la tige ou dans les racines d'un arbre; elles sont aussi parfois appelées drageons.

données de référence – Premier ensemble de données sur les arbres pertinent pour le projet de surveillance; ces données servent de point de départ pour les comparaisons futures.

compas forestier – Instrument de mesure utilisé pour mesurer la distance entre deux côtés d'un objet; en foresterie urbaine, les compas forestiers peuvent être utilisés pour mesurer les petits arbres ou les troncs qui présentent des obstructions.

science citoyenne – Approche visant à faire participer le public à la recherche écologique et à la gestion des ressources naturelles (Dickinson et al. 2010, 2012; Tulloch et al. 2013), et un scientifique citoyen est généralement considéré comme « un bénévole qui collecte ou traite des données dans le cadre d'une enquête scientifique » (Silvertown 2009).

collecte participative – Approche de la collecte de données dans laquelle un grand nombre de bénévoles soumettent des données quand et où ils le souhaitent; la collecte participative est une approche de science citoyenne qui peut être utilisée pour les données écologiques de terrain.

diamètre à hauteur de poitrine (DHP) – Diamètre du tronc d'un arbre à hauteur de poitrine (la hauteur standard aux États-Unis est de 4,5 pieds ou 1,37 m du sol).

diamètre au calibre (DC) – Diamètre du tronc d'un arbre à 30,5 cm (1 pied) du sol.

ruban forestier – Aussi connu sous le nom de ruban de mesure du diamètre, il s'agit d'un ruban de mesure forestier spécialisé qui constitue le meilleur équipement pour mesurer un diamètre de tronc $\geq 2,5$ cm (1 pouce).

phase d'établissement – Les premières années après la plantation (Hilbert et al. 2019), bien que l'établissement des arbres urbains plantés ait été défini de diverses manières (Leers et Moore 2018, Levinsson et al. 2017).

dépérissement des rameaux fins – Mortalité récente dans la partie supérieure et extérieure de la cime, et reflète la gravité des stress récents subis par l'arbre (USDA FS 2016).

clé étrangère – Dans une base de données relationnelle, la clé étrangère est un champ ou une collection de champs qui fait référence à la clé primaire ou à la clé unique d'une autre table, établissant ainsi un lien entre elles.

forêt – Selon la définition utilisée dans le programme FIA, est une zone d'au moins 0,4 ha (1 ac), 36,6 m (120 ft) de large, avec un couvert arboré d'au moins 10 % et un sous-bois non perturbé (Cumming et al. 2007, 2008; Oswalt et al. 2014).

i-Tree – Une suite logicielle gratuite pour les inventaires de forêts urbaines, les évaluations du couvert végétal et l'estimation des services écosystémiques du Service du USDA et de Davey Tree Expert Co.

i-Tree Eco – Le logiciel phare de la suite i-Tree, applicable aux échantillons par placette et aux recensements complets de toute population d'intérêt où l'estimation et la valorisation des services écosystémiques sont recherchées, anciennement connu sous le nom d'UFORE.

i-Tree Streets – Une composante de la suite i-Tree, utilisée pour les inventaires d'arbres de rue et l'estimation des services écosystémiques, anciennement connue sous le nom de STRATUM.

recrutement – Dans le cadre d'une nouvelle mesure d'inventaire inéquienne, le recrutement correspond aux nouveaux arbres intégrés dans le système en raison de la plantation ou de la régénération naturelle.

utilisation des terres – Description de la façon dont la propriété autour de l'arbre ou adjacente à celle-ci est utilisée par les hommes, voir également Anderson et al. (1976), Lambin et al. (2006), et The Institute for Local Government (2010) pour plus de renseignements sur les définitions de l'utilisation des terres.

surveillance de terrain à long terme – « Mesures empiriques répétées sur le terrain » (Lindenmayer et Likens 2010a); dans un contexte écologique, « long terme » désigne généralement des échelles de temps d'une décennie ou plus (Lindenmayer et Likens 2010b), bien que des périodes de surveillance plus courtes puissent être très pertinentes en foresterie urbaine (p. ex., mortalité, croissance et santé des arbres un an après la plantation).

données longitudinales – Observations répétées sur les mêmes arbres individuels au fil du temps.

données en format long – Aussi connues sous le nom de données empilées; format dans lequel il y a au moins une colonne répertoriant des catégories (p. ex., Treeid) et une colonne indiquant les valeurs associées à chacune de ces catégories (p. ex., DHP en centimètres); les catégories sont répétées pour autant d'observations que nécessaire.

métadonnées – Ensemble de données qui décrivent d'autres données. Plus précisément, un dépôt de métadonnées (également appelé dictionnaire de

données) stocke généralement des renseignements sur les champs d'une base de données, comme les définitions de chaque champ et les valeurs autorisées.

surveillance – Évaluation ou surveillance systématique sur une période de temps; ce Guide des ressources sur la surveillance des arbres urbains concerne la surveillance des arbres urbains sur le terrain, et d'autres formes de surveillance des forêts urbaines sont abordées dans Leff (2016).

mortalité – Pour les arbres urbains, la mortalité est généralement définie comme une combinaison des arbres morts sur pied et des arbres enlevés.

surveillance d'inventaire inéquienne – Surveillance des arbres dans une zone géographique donnée (p. ex., parcelles, quartiers), indépendamment de qui les a plantés ou de la date de plantation, comme les inventaires répétés d'arbres de rue ou les inventaires basés sur des parcelles.

cohorte de plantation – Renvoie à la collection d'arbres plantés à la même époque (p. ex., la même saison de plantation ou la même année civile).

surveillance de la cohorte de plantation – Approche qui consiste à suivre les arbres plantés ou distribués dans le cadre d'un programme donné et plantés à peu près au même moment.

taux de croissance de la population – Taux d'augmentation ou de diminution de la taille totale de la population.

clé primaire – Dans une base de données relationnelle, la clé primaire identifie chaque enregistrement de manière unique.

contrôle de la qualité – Système permettant de maintenir un niveau de qualité des données en testant un échantillon des données collectées par rapport aux spécifications.

arbre de remplacement – Arbre planté exactement au même endroit que l'arbre enlevé, souvent plus pertinent pour les découpes de trottoirs destinées aux arbres de rue.

emprise – Bande de terrain occupée par certains usages publics ou de transport (The Institute for Local Government 2010); dans le contexte de la foresterie urbaine, ce terme désigne souvent l'emprise publique le long des routes, incluant les arbres de rue, mais peut aussi faire référence aux emprises le long des corridors ferroviaires ou des infrastructures de services publics.

type de site – Description de l'emplacement immédiat de l'arbre ou du site de plantation.

peuplement – La quantité d'arbres dans une zone particulière, généralement donnée par rapport aux niveaux optimaux (Powell 1999, Richards 1992).

survie – La proportion d'une cohorte de plantation qui survit à un moment donné (c.-à-d. la survie cumulative, Roman et al. 2016).

démographie des arbres – L'étude de la dynamique des populations d'arbres, y compris l'analyse de l'évolution de la mortalité et de la croissance dans le temps.

croissance de l'arbre – Croissance de la taille de l'arbre, peut inclure le DHP. (également connu sous le nom de croissance radiale de la tige principale),

hauteur et croissance de la largeur du couvert; souvent exprimé en taux de croissance annuel.

clé unique – Dans une base de données relationnelle, une clé unique définit l'unicité de l'entité enregistrée.

forêt urbaine – Bien qu'il existe plusieurs définitions du terme forêt urbaine (Konijnendijk et al. 2006, Piana et Troxel 2014), une définition commune utilisée aux États-Unis est « tous les arbres appartenant à des propriétaires publics et privés dans une zone urbaine, y compris les arbres individuels le long des rues et dans les cours arrière, ainsi que les peuplements de forêts résiduelles » (Nowak et al. 2010).

Urban Forest Inventory and Analysis (UFIA) – l'expansion urbaine de l'inventaire forestier permanent et de la surveillance du Service des forêts du USDA, mandaté par le Congrès, à travers les États-Unis grâce à un système de parcelles nationales.

données à format large – Aussi appelées données non empilées; format dans lequel chaque catégorie de variables est représentée par une seule ligne (p. ex., toutes les observations pour un arbre sont dans une ligne); chaque variable de données différente (p. ex., dhp.cm.2010, dhp.cm.2015) est dans une colonne séparée de sorte que les observations dans le temps s'étendent sur plusieurs colonnes.

van Doorn, Natalie S.; Roman, Lara A.; McPherson, E. Gregory; Scharenbroch, Bryant C.; Henning, Jason G.; Östberg, Johan P.A.; Mueller, Lee S.; Koeser, Andrew K.; Mills, John R.; Hallet, Richard A.; Sanders, John E.; Battles, John J.; Boyer, Debra J.; Fristensky, Jason P.; Mincey, Sarah K.; Peper, Paula J.; Vogt, Jessica M. 2025. **Surveillance des arbres urbains : guide des ressources**. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-266. Albany, CA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 132 p. <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-266-FR>.

Les lignes directrices proposées dans le document *Surveillance des arbres urbains : guide des ressources* (ci-après dénommé le Guide des ressources) ont été élaborées et peaufinées au cours de nombreuses années pour répondre au besoin de protocoles normalisés de surveillance des arbres urbains. Le Guide des ressources fournit des conseils détaillés aux aménagistes de forêts urbaines et aux chercheurs qui souhaitent concevoir et mettre en œuvre un projet de surveillance des arbres. Le présent Guide des ressources est un document d'accompagnement du document intitulé *Surveillance des arbres urbains : guide de terrain*. Cependant, le Guide des ressources peut également être utilisé séparément. Le Guide des ressources est divisé en trois parties. Dans la première partie, nous abordons (1) les différents objectifs des projets de surveillance et la manière d'adapter la collecte de données à ces objectifs, (2) l'élaboration de ces normes de surveillance des arbres urbains, (3) les types de projets de surveillance et (4) les liens avec d'autres protocoles de collecte de données sur les arbres urbains. Nous donnons des indications concernant les méthodes d'enregistrement de l'emplacement des arbres, le développement d'identificateurs d'arbres, l'organisation de feuilles de calcul et de bases de données, le choix de systèmes de collecte de données, le renforcement de partenariats entre la recherche et la pratique, la formation des équipes et la gestion du travail sur le terrain. Ensuite, dans la deuxième partie, nous présentons cinq ensembles de données de surveillance : l'ensemble de données minimales, l'ensemble de données sur les arbres, l'ensemble de données sur les sites, l'ensemble de données sur la gestion des jeunes arbres et l'ensemble de données sur les communautés. Nous dressons la liste des objectifs de l'étude qui pourraient être atteints avec chaque ensemble de données et nous décrivons les variables pertinentes. Nous fournissons également des orientations sur les variables les mieux adaptées aux équipes débutantes et avancées. Enfin, dans la troisième partie, nous incluons des annexes contenant des ressources supplémentaires pour la conception et la mise en œuvre de projets de surveillance des arbres.

MOTS CLÉS : Forêt urbaine, surveillance des arbres, science citoyenne, survie des arbres, démographie des arbres, données longitudinales.

Conformément à la législation fédérale sur les droits civils et aux réglementations et politiques sur les droits civils du Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA), le USDA, ses agences, bureaux et employés, ainsi que les institutions participant à ou administrant des programmes du USDA, sont interdits d'exercer toute forme de discrimination fondée sur la race, la couleur, l'origine nationale, la religion, le sexe, l'identité de genre (y compris l'expression de genre), l'orientation sexuelle, le handicap, l'âge, l'état matrimonial, le statut familial/parental, les revenus provenant d'un programme d'aide publique, les croyances politiques, ou en raison de représailles ou de rétorsion liées à une activité antérieure en matière de droits civils, dans tout programme ou activité mené ou financé par le USDA (tous les critères ne s'appliquent pas à tous les programmes). Les recours et les délais de dépôt des plaintes varient en fonction du programme ou de l'incident.

Les personnes en situation de handicap qui ont besoin d'autres moyens de communication pour obtenir des renseignements sur les programmes (par exemple, le braille, les gros caractères, les bandes sonores, la langue des signes américaine, etc.) doivent communiquer avec l'agence responsable ou le centre TARGET du USDA au (202) 720-2600 (voix et ATS) ou communiquer avec le USDA par l'intermédiaire du Federal Relay Service au (800) 877-8339. En outre, les renseignements sur les programmes peuvent être disponibles dans d'autres langues que l'anglais.

Pour déposer une plainte pour discrimination dans le cadre d'un programme, remplissez le formulaire de plainte pour discrimination dans le cadre d'un programme du USDA, AD-3027, que vous trouverez en ligne à http://www.ascr.usda.gov/complaint_filing_cust.html et dans n'importe quel bureau du USDA ou écrivez une lettre adressée au USDA et fournissez dans la lettre tous les renseignements demandés dans le formulaire. Pour demander une copie du formulaire de plainte, composez le (866) 632-9992. Soumettez votre formulaire ou lettre dûment rempli au USDA par : (1) courrier à l'adresse : U.S. Department of Agriculture, Office of the Assistant Secretary for Civil Rights, 1400 Independence Avenue, SW, Washington, D.C. 20250-9410; (2) par télécopieur au numéro : (202) 690-7442; ou (3) par courriel à l'adresse : program.intake@usda.gov.



Imprimé sur papier recyclé